

MỤC LỤC

DANH MỤC CÁC CHỮ VIẾT TẮT	iv
PHẦN MỞ ĐẦU.....	1
1. Tính cấp thiết của luận án.....	1
2. Mục tiêu nghiên cứu của luận án.....	2
3. Đối tượng nghiên cứu:	2
4. Phạm vi nghiên cứu:	2
5. Phương pháp nghiên cứu:	2
6. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của luận án.....	3
7. Cấu trúc của Luận án	3
CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN NGHIÊN CỨU VỀ XẾP HẠNG TẢI TRỌNG CÔNG TRÌNH CẦU	4
1.1 Tổng quan tình hình nghiên cứu đánh giá khả năng chịu tải của công trình cầu trên thế giới.....	5
1.1.1 Các công trình nghiên cứu xếp hạng tải của cầu theo tài liệu tham khảo ngoài nước	6
1.1.2 Xếp hạng tải và phân tích cầu bằng qui trình thử nghiệm tải trọng	6
1.1.3 Xếp hạng tải cho cầu bằng thử tải cầu	8
1.1.4 Xếp hạng tải cho cầu bằng phương pháp phản hồi động.....	15
1.1.5 Xếp hạng tải cho cầu theo phương pháp thống kê xác suất - chỉ số độ tin cậy.....	18
1.1.6 Xếp hạng tải cho cầu bằng thuật toán sử dụng hệ thống giám sát sức khỏe kết cấu (SHM) và dữ liệu giao thông ngẫu nhiên (WIM).....	21
1.1.7 Xếp hạng tải cho cầu khi không còn hồ sơ thiết kế ban đầu	23
1.1.8 Xếp hạng tải cho cầu bằng cách sử dụng mạng nơ-ron nhân tạo	24
1.1.9 Xếp hạng tải cho cầu bằng thuật toán riêng	26
1.2 Tổng quan tình hình nghiên cứu xếp hạng tải công trình cầu ở trong nước.....	27
1.3 Thống kê phân tích tổng quan xếp hạng tải cầu và khoảng trống nghiên cứu	30
1.3.1 Thống kê phân tích tổng quan để lựa chọn phương pháp xếp hạng tải cầu	30
1.3.2 Tính khoa học việc ứng dụng ANN trong đánh giá xếp hạng tải cầu	35
1.3.3 Khoảng trống trong nghiên cứu xếp hạng tải cầu từ tài liệu tổng quan	35
Kết luận.....	36
CHƯƠNG 2 CƠ SỞ LÝ THUYẾT VÀ ANN TRONG ĐÁNH GIÁ XẾP HẠNG TẢI CHO CẦU.....	37
2.1 Cơ sở lý thuyết trong đánh giá xếp hạng tải cho cầu.....	37
2.1.1 Khái niệm xếp hạng tải cho cầu	37
2.1.2 Xếp hạng tải trọng cho đánh giá cầu	38
2.1.3 Đánh giá xếp hạng tải trọng khai thác cầu đường bộ TCVN 12882:2020:	38
2.1.4 Đánh giá xếp hạng tải trọng theo triết lý LRFR (MBE-2011)	39
2.1.5 Trình tự đánh giá xếp hạng các tải trọng theo TCVN 12882:2020 và LRFR	40

2.1.6	Đánh giá xếp hạng cầu theo phương pháp tích hợp hiện đại.....	41
2.2	Tải trọng xe và hiệu ứng hoạt tải dùng đánh giá xếp hạng tải cho cầu	43
2.2.1	Tải trọng xe tải trong đánh giá xếp hạng tải theo TCVN 12882:2020	43
2.2.2	Hiệu ứng hoạt tải trong đánh giá xếp hạng tải cầu (xác định bằng phương pháp đường ảnh hưởng theo giả thiết mặt cắt phẳng trên mô hình dầm Bernoulli)	44
2.3	Các lý thuyết cơ học kết cấu phục vụ đánh giá xếp hạng tải cầu	45
2.3.1	Lý thuyết dầm dữ liệu độ võng (thử tải tĩnh) để xếp hạng tải cầu dầm I DUL....	46
2.3.2	Lý thuyết dầm dữ liệu tần số (thử tải động) để xếp hạng tải cầu dầm I DUL.....	47
2.4	Cơ sở lý thuyết mạng nơ-ron nhân tạo cho đánh giá xếp hạng tải cho cầu.....	50
2.4.1	ANN trong ứng dụng vào công trình khoa học và xã hội	50
2.4.2	Cơ sở lý thuyết và kinh nghiệm xây dựng mạng nơ-ron nhân tạo trong đánh giá xếp hạng tải cho cầu.	51
2.4.3	Thiết lập mô hình mạng nơ-ron để đánh giá xếp hạng tải cho cầu trong luận án .	60
	Kết luận Chương 2	63
	CHƯƠNG 3 XÂY DỰNG ANN TRONG ĐÁNH GIÁ XẾP HẠNG TẢI CHO CẦU	64
3.1	Quy trình thiết lập mẫu hệ thống dầm I để đào tạo ANN xếp hạng tải cầu (RF)..	64
3.1.1	Thiết lập dữ liệu mẫu hệ thống dầm I DUL dùng đào tạo ANN	64
3.1.2	Thuật ngữ và công thức chi tiết dùng tạo hệ thống dầm I dùng đào tạo ANN.....	66
3.1.3	Quy trình tính toán tạo mẫu hệ thống dầm I DUL liên hợp dùng đào tạo ANN....	66
3.2	Xây dựng mạng nơ-ron nhân tạo cho đánh giá xếp hạng tải cầu dầm I DUL	73
3.2.1	Xây dựng mạng nơ-ron nhân tạo cho đào tạo hệ thống dầm I DUL	73
3.3	So sánh hiệu suất dự đoán của mạng nơ-ron nhân tạo với phương trình hồi quy đa biến cho xếp hạng tải cầu dầm I DUL.....	81
3.3.1	Biểu thức phương trình hồi quy tuyến tính đa biến.....	81
3.3.2	Xây dựng phương trình hồi quy đa biến cho nội lực hệ thống dầm I DUL	81
3.3.3	So sánh hiệu suất mô phỏng dự đoán của mạng nơ-ron nhân tạo với phương trình hồi quy đa biến cho xếp hạng tải cầu dầm I DUL.....	82
3.4	Xây dựng phương pháp xếp hạng tải RF bằng ANN cho các cầu dầm BTCT khác	86
3.4.1	Xây dựng chương trình chuẩn hoá bằng Excel dùng tính toán sức kháng và hiệu ứng tải cho các dầm bê tông cốt thép DUL (hoặc bê tông cốt thép thường).....	86
3.4.2	Xây dựng ANN riêng biệt về sức kháng và hiệu ứng tải cho các dầm bê tông cốt thép DUL (hoặc bê tông cốt thép thường).....	89
	Kết luận Chương 3	91
	CHƯƠNG 4 ỨNG DỤNG MẠNG NƠ-RON NHÂN TẠO CHO ĐÁNH GIÁ XẾP HẠNG TẢI CHO CẦU	92
4.1	Kiểm chứng 1 - Ứng dụng ANN để đánh giá xếp hạng tải cầu dầm I [21] không có trong dữ liệu mạng đào tạo.....	92
4.1.1	Số liệu kiểm định cầu Ninh Chữ tóm tắt dùng đánh giá xếp hạng tải RF	93
4.1.2	Ứng dụng ANN (ứng dụng 1) để đánh giá xếp hạng tải cầu dầm I DUL	94
4.1.3	Ứng dụng ANN (ứng dụng 2) kết hợp dữ liệu đo độ võng Δ (từ thử tải tĩnh) để đánh giá xếp hạng tải cầu dầm I DUL	95

4.1.4 Ứng dụng ANN (ứng dụng 3) kết hợp dữ liệu đo dao động (thử tải động) để đánh giá xếp hạng tải cầu dầm I DUL.....	99
4.1.5 So sánh kết quả dùng 03 ứng dụng ANN đánh giá xếp hạng tải cầu dầm I DUL	101
4.2 So sánh xếp hạng tải RF cầu dầm [21] thực tiễn bằng phương pháp ANN với tính tay trực tiếp truyền thống, thuật toán hồi quy đa biến và FE	102
4.2.1 Xếp hạng tải cầu NC thực tế [21] theo phương pháp truyền thống tính tay trực tiếp.....	102
4.2.2 Xếp hạng tải cầu NC thực tế [21] theo phương pháp thuật toán hồi quy đa biến	102
4.2.3 Xếp hạng tải cầu NC thực tế [21] theo phương pháp phần tử hữu hạn (Midas)	103
4.2.4 So sánh xếp hạng tải cầu Ninh Chữ thực tế [21] bằng ANN với phương pháp tính tay trực tiếp, thuật toán hồi quy đa biến và phần tử hữu hạn.	105
4.3 Kiểm chứng 2 - Đánh giá xếp hạng tải cầu dầm [7] thực tế bằng ANN.....	108
4.3.1 Đánh giá xếp hạng tải cầu dầm [7] thực tế theo TCVN 12882:2020.....	108
4.3.2 So sánh xếp hạng tải RF cầu dầm [7] bằng ANN với tính tay và FE.....	110
4.4 Đánh giá ứng dụng ANN cho xếp hạng tải cầu dầm I thực tiễn.....	112
4.5 Phân tích độ nhạy cho đánh giá xếp hạng tải RF cầu dầm [21] bằng ANN	113
4.6 Hiệu quả học sâu đào tạo ANN (02 – 03) lớp xếp hạng tải RF cầu dầm I	119
4.7 Thảo luận đánh giá phương pháp nghiên cứu luận án xếp hạng tải RF cầu dầm I	125
Kết luận Chương 4.....	132
5. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ.....	134
DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ CỦA TÁC GIẢ	136
TÀI LIỆU THAM KHẢO	137
PHỤ LỤC.....	- 1 -
PHỤ LỤC 1.....	- 2 -
PHỤ LỤC 2.....	- 12 -
PHỤ LỤC 3.....	- 28 -
PHỤ LỤC 4.....	- 37 -
PHỤ LỤC 5.....	- 46 -

DANH MỤC CÁC CHỮ VIẾT TẮT

AASHTO	: American Association of State Highway and Transportation Officials - (Hiệp hội các viên chức và vận tải đường bộ Hoa Kỳ)
AAT	: Automated Ambient Traffic – (Giao thông xung quanh tự động)
ANN	: Artificial Neural Network – (Mạng nơ-ron nhân tạo)
ASR	: Allowable Stress Rating – (Đánh giá theo ứng suất cho phép)
BDI	: Bridge Diagnostics Incorporated – (Hệ thống chẩn đoán cầu)
BP	: Back Propagation – (Lan truyền ngược)
BTCT	: Bê tông cốt thép
BTCT DUL	: Bê tông cốt thép dự ứng lực
Cross_Validation + Early Stopping	: Xác thực chéo – Dừng sớm
DFA	: Distribution Factor Analysis – (Phân tích hệ số phân phối)
DL	: Dead Load – (Tĩnh tải)
DUL	: Dự ứng lực
Eout	: Lỗi sai số của mẫu Test (sai số ngoài mẫu)
FE	: Finite Element – (Phần tử hữu hạn)
FEA	: Finite Element Analysis – (Phân tích phần tử hữu hạn)
FEM	: Finite Element Model – (Mô hình phần tử hữu hạn)
GDM	: Gradient Descent Marquardt - (Thuật toán hạ Gradient Marquardt)
LFR	: Load Factor Rating – (Đánh giá theo hệ số tải trọng)
LL	: Live Load – (Hoạt tải)
LM	: Levenberg - Marquardt
LRFR	: Load and Resistance Factor Rating – (Đánh giá theo hệ số sức kháng và hệ số tải trọng)
MAE	: Mean Absolute Error – (Sai số tuyệt đối trung bình)
MBE	: Manual for Bridge Evaluation – (Hướng dẫn đánh giá cầu)
MCE	: Manual for Condition Evaluation - (Hướng dẫn đánh giá tình trạng)
MSE	: Mean Square Error – (Sai số bình phương trung bình)
NCHRP	: National Cooperative Highway Research Program – (Chương trình nghiên cứu hợp tác đường cao tốc Quốc gia)
RF	: Rating Factor – (Hệ số đánh giá)
RMSE	: Root Mean Square Error – (Căn bậc hai sai số bình phương trung bình)
SHM	: Structural Health Monitoring – (Giám sát sức khỏe kết cấu)
TCVN	: Tiêu chuẩn Việt Nam

TKT : Traditional Known Truck – (Xe tải truyền thống đã biết)

Training, Validation, Test : Huấn luyện, Xác thực, Kiểm tra

Ứng dụng (2): Ứng dụng ANN loại 2

VBA Excel: Visual Basic for Applications Excel – (Visual Basic dành cho Ứng dụng Excel)

WIM : Weigh-In-Motion – (Cân động/Cân xe tự động khi đang chạy)

(2.8) : (chương 2. công thức theo thứ tự số 8 trong chương 2)

(5-m-1) : (số tham số đầu vào mạng – m số nơ-ron lớp ẩn– số đầu ra của mạng)

(5-m-m-1) : (số tham số đầu vào mạng – m số nơ-ron lớp ẩn (1, 2)– số đầu ra của mạng)

(5-15-15-1): (số tham số đầu vào mạng – số nơ-ron lớp ẩn1 (m) – số nơ-ron lớp ẩn2 (m) – số đầu ra của mạng).

DANH MỤC BẢNG BIỂU

Bảng 1. 1	Thông kê và so sánh đặc trưng các công trình nghiên cứu xếp hạng tải cầu	31
Bảng 1. 2	So sánh các mô hình học máy và tính ưu việt của ANN ứng dụng cho đánh giá xếp hạng tải cầu dầm I DUL.	33
Bảng 2. 1	Bảng tính momen hoạt tải và dải tải trọng của xe thiết kế HL-93; xe hợp pháp [3] và [3-S2]; xe cấp phép 03 trục.....	44
Bảng 2. 2	Giá trị momen do tải trọng xe cấp phép 03 trục khi thử tải tĩnh theo hình 2.6.	46
Bảng 2. 3	Xấp xỉ các tham số tự do của ($g \in H$) mô hình mạng nơ-ron từ công thức (RF)...	56
Bảng 3. 1	Kích thước dữ liệu mẫu của “biến tham số cầu đầu vào - đại lượng đầu ra” cho hệ thống dầm I dùng đào tạo ANN.....	65
Bảng 3. 2	Đặc trưng hình học của hệ dầm I33 DUL trước và sau liên hợp mặt cầu.	67
Bảng 3. 3	Thông số cơ lý của hệ dầm I DUL trước và sau liên hợp mặt cầu	68
Bảng 3. 4	Giá trị sức kháng điển hình dầm I33 DUL lập trình theo VBA.	68
Bảng 3. 5	Tính momen hoạt tải theo xe thiết kế HL-93 cho dầm I33 DUL với 2 làn tải.	69
Bảng 3. 6	Tiền xử lý dữ liệu vào ANN đào tạo hệ thống dầm I DUL.	74
Bảng 3. 7	Các bộ vec-tơ dữ liệu vào ANN đào tạo hệ thống dầm I DUL.	74
Bảng 3. 8	So sánh Lỗi sai số % và hệ số tương quan r của ANN-hồi quy đa biến.....	85
Bảng 3. 9	Lập thông số hình học chuẩn cho các dầm BTCT theo phương pháp luận án.....	88
Bảng 3. 10	Lập chi tiết cấp DUL cho các dầm BTCT theo phương pháp luận án	88
Bảng 3. 11	Tham số đầu vào và số kích thước đào tạo ANN cho dầm BTCT khác.....	90
Bảng 4. 1	f^c và cao dầm, f^c mặt cầu, tần số nhịp (1, 2, 12, 13) cầu NC (nguồn [21]).	93
Bảng 4. 2	Xe tải thử tải, độ võng đo nhịp (1, 2, 12, 13)-cầu Ninh Chữ (nguồn [21]).	93
Bảng 4. 3	Mẫu đầu vào mạng sức kháng-tĩnh tải-hoạt tải được tiền xử lý [0.2÷0.8].....	94
Bảng 4. 4	Kết quả đánh giá xếp hạng tải RF theo TCVN 12882:2020 bằng ứng dụng (1) ANN.	95
Bảng 4. 5	Bảng tỷ lệ modun đàn hồi giữa dầm I và mặt cầu theo đo thực tế.	96
Bảng 4. 6	Momen quán tính I_i tại giữa các nhịp toàn mặt cắt ngang cầu theo đo thực tế....	96
Bảng 4. 7	Giá trị M_i nhịp dầm (1, 2, 12, 13) dùng tính năng lượng thử tải ($\sum a_i \cdot \pi_i$)* L^3	97
Bảng 4. 8	Cường độ f^c nhịp dầm I33 (1, 2, 12, 13) xác định theo độ võng Δ_i đo thực tế...97	
Bảng 4. 9	Kết quả xếp hạng tải RF theo xe 03 trục cấp phép bằng ứng dụng (2) ANN.....	98
Bảng 4. 10	Khối lượng toàn cầu mt được xác định cho thử tải rung động (tần số rung).....	99
Bảng 4. 11	f^c kết cấu nhịp cầu xác định theo thử tải rung động (tần số rung thực tế).....	99
Bảng 4. 12	Đánh giá xếp hạng tải RF theo xe 03 trục cấp phép bằng ứng dụng (3) ANN....	100
Bảng 4. 13	Kết quả xếp hạng tải RF các nhịp dầm [21] theo tính tay truyền thống.....	102
Bảng 4. 14	Kết quả xếp hạng tải RF các nhịp dầm [21] theo thuật toán hồi quy đa biến. ...	103
Bảng 4. 15	Số liệu hình học và cơ lý kết cấu để mô hình hoá cầu bằng PTHH (Midas).	104
Bảng 4. 16	Kết quả hiệu ứng lực HL-93 cầu [21] phân tích bằng PTHH (Midas).....	105
Bảng 4. 17	Kết quả xếp hạng tải RF các nhịp dầm [21] bằng phần tử hữu hạn (Midas).	105
Bảng 4. 18	% sai số RF cầu [21] giữa ANN_tính tay_hồi quy đa biến_phần tử hữu hạn. ..	106
Bảng 4. 19	Cường độ f^c dầm và mặt cầu, tần số nhịp N1, cao dầm cầu ĐĐ (nguồn [7]).	108
Bảng 4. 20	Momen quán tính I_i tại L/2 mặt cắt ngang cầu [7] theo đo thực tế.	109
Bảng 4. 21	f^c kết cấu nhịp cầu [7] được xác định theo kết quả thử tải động thực tế.	109
Bảng 4. 22	Đầu vào mạng sức kháng-tĩnh tải-hoạt tải tiền xử lý [0.2÷0.8] cầu [7].	109
Bảng 4. 23	Giá trị mô phỏng ANN-nội lực-đánh giá xếp hạng tải RF cầu [7].	109
Bảng 4. 24	Hiệu ứng tải từ xe thiết kế HL-93 bằng phần tử hữu hạn cầu [7].	110
Bảng 4. 25	Sai số % RF xe HL-93 giữa ANN - tính tay - phần tử hữu hạn cầu [7].	110

Bảng 4. 26 Phân tích độ nhạy toàn cục theo Monte Carlo - tham số cầu thứ tự cao hơn- Dầm I cố định hình học, mở rộng f^c (trên) - Dầm I mở rộng hình học, cố định f^c (giữa)	117
Bảng 4. 27 Số lượng nơ-ron trong lớp ẩn của ANN riêng biệt (2 và 3) lớp	120
Bảng 4. 28 Giá trị hàm sai số mục tiêu của ANN riêng biệt (2 và 3) lớp	120
Bảng 4. 29 Số vòng lặp đào tạo tối ưu của ANN riêng biệt (2 và 3) lớp	120
Bảng 4. 30 Mô phỏng sức kháng- hiệu ứng tải theo ANN (02-03) lớp và tính tay cầu [21].	121

DANH MỤC HÌNH ẢNH

Hình 1. 1	Các nghiên cứu xếp hạng tải của cầu theo tài liệu tham khảo ở ngoài nước.....6
Hình 1. 2	So sánh LFR(HS20) và LRFR(HL93) với giả thiết phân bố hoạt tải trong đường .7
Hình 1. 3	Các xếp hạng xe tải thiết kế (a) LFD, (b) BDI và so sánh (c) cầu số 7 [76] .....8
Hình 1. 4	Vị trí thiết bị tại mặt cắt ngang cầu S-1021-Xếp hạng tải RFI, RFO từ hệ số K [73].....9
Hình 1. 5	Momen Field-AASHTO, FEM cầu Royalton (trái) cầu Weathersfield (phải)_ Vị trí làn tải _ Sơ đồ đầu đo thử nghiệm cầu Royalton (trên), Weathersfield (dưới) [34]. .....10
Hình 1. 6	(Trái) Mặt bằng dầm bố trí thiết bị đo và đường tải trọng. (Phải) So sánh hệ số xếp hạng tải và % gia tăng xếp hạng [37]. .....10
Hình 1. 7	Mặt bằng thiết bị đo dầm hiện trường – Xe HS20 và bảng xếp hạng tải [29]. .....11
Hình 1. 8	Sơ đồ cầu (đỏ-1 đầu đo biến dạng đáy dầm; vàng-02 đầu đo biến dạng đỉnh đáy dầm; chữ thập đỏ-đầu đo trên mặt cầu) [80]. .....11
Hình 1. 9	So sánh lịch sử biến dạng thời gian giữa dữ liệu thu thập và kết quả FE bằng phương pháp tiếp cận AAT - Làn nam mặt cắt D [80]. .....11
Hình 1. 11	Kết quả thử tải bằng chứng và giá trị tổng momen ở dầm thử nghiệm [62]. .....12
Hình 1. 12	Lực cắt tới hạn - Bước tải, chu kỳ tải, mức tải cho thử tải bằng chứng [45].....13
Hình 1. 13	(Trái) Xe thử tải của BELFA trên cầu cạn Vlijmen-Oost- (Phải) Hệ thống kích thủy lực thử tải bằng chứng cầu cạn Zijlweg [44].....13
Hình 1. 14	Quan hệ tải trọng và độ võng của mô hình máy tính và cầu quy cách chịu tải tại dầm trong B(trái)- dầm ngoài A(phải) [38]. .....14
Hình 1. 15	DFs các mô hình và thử nghiệm cầu dầm ngoài (trái)-dầm trong (phải) [38].....14
Hình 1. 16	Tỷ lệ (sau-trước) cháy_ Độ võng giảm 23% và Tần số xấp xỉ 97% [77].....15
Hình 1. 17	Mô hình-Tương quan modal thực nghiệm và phân tích FE dầm BTCT [53].....15
Hình 1. 18	Mặt bằng cầu Ashtabula [32].....16
Hình 1.19	Xếp hạng tải trọng của nghiên cứu tương đồng phần mềm VIRTIS-BARS [32]...16
Hình 1. 20	DF phân tải dùng phản ứng động do phương tiện gây ra [65]. .....17
Hình 1. 21	So sánh độ võng-tần số cơ bản ở giữa nhịp từ phản ứng tĩnh-động [61]. .....17
Hình 1. 22	Thống kê tính toán chỉ số an toàn [54]. .....18
Hình 1. 23	Xếp hạng vận hành phụ thuộc thời gian so chỉ số độ tin cậy cầu E16-M[48].....19
Hình 1. 24	(trên) Chỉ số an toàn; (dưới) Biểu đồ công thức đề xuất MLC(20;50;80) [79].....20
Hình 1. 25	(trên) Dữ liệu cầu dùng phân tích ở 04 vùng Hoa Kỳ thống kê 2014. (dưới) Ước tính miền suy giảm (Trái) - Hệ số suy giảm của các khu vực riêng (Phải): (a) Bản mặt cầu; (b) Kết cấu nhịp [78].....20
Hình 1. 26	Các công thức hồi quy bình phương nhỏ nhất [56]. .....21
Hình 1. 27	Bộ phân phối xếp hạng tải trọng cho (1) (2) (3) (4) (5) biến dạng (1 2 3 4 5). .....21
Hình 1. 28	Ảnh hưởng tham số đặc tính của xe tải đến xếp hạng tải: (1) biến dạng 1; (2) biến dạng 2; (3) biến dạng 3; (4) biến dạng 4; và (5) biến dạng 5 [57]. .....22
Hình 1. 29	(trên) Các hàm mật độ xác suất- đường ảnh hưởng trường hợp momen uốn (WIM). (dưới) Bảng phân tích kết quả xếp hạng tải cầu (Skokandic 2016) [42]. 23
Hình 1. 30	Khung phương pháp đề xuất xếp hạng tải cầu mà thiếu hồ sơ [30]. .....24
Hình 1. 31	Lưu đồ phương pháp đề xuất xếp hạng tải cầu hạn chế tài liệu [31].....24
Hình 1. 32	(trái) Kiến trúc mạng cuối (a) 6-10-1 monen LR và (b) 6-9-1 lực cắt LR. (phải) Lỗi kiểm tra tối đa theo số lượng nút lớp ẩn của momen LR [69].....25
Hình 1. 33	Kiến trúc ANN dùng cập nhật mô hình FE tuyến tính và phi tuyến [70].....25
Hình 1. 34	Cầu 3776 mặt cắt thực và mặt cắt ủy thác [35]. .....26

Hình 1. 35	So sánh hệ số làn dầm GLF theo PFEA và suy từ thử tải chẩn đoán [35].	27
Hình 2. 1	Sơ đồ xếp hạng tải theo TCVN 12882:2020 [1].	42
Hình 2. 2	Biến dạng tĩnh và động của xe tải ở tốc độ bình thường trên đường ô tô.	42
Hình 2. 4	Xe tải thiết kế HL93_Xe tải [3] 03 trục_Xe cấp phép_Xe tải [3-S2] 05 trục theo TCVN 12882:2020 và TCVN 11823:2017.	44
Hình 2. 5	Phương pháp tính momen hoạt tải bằng phương pháp đường ảnh hưởng theo giả thiết mặt cắt phẳng trên mô hình dầm Bernoulli.	45
Hình 2. 6	Sơ đồ tải và momen tải trọng xe thử tải trên kết cấu nhịp giản đơn.	46
Hình 2. 7	Mô hình cầu lý tưởng là một dầm đơn để phân tích động.	48
Hình 2. 8	Hàm dạng dầm đơn để phân tích động.	49
Hình 2. 9	Tần số cơ bản dầm đơn để phân tích động.	49
Hình 2. 10	Mạng nơron truyền thẳng nhiều lớp sử dụng thuật học BP.	51
Hình 2. 11	Lưu đồ tạo hàm giả thiết $g \in H$ cho mô hình_ (Vapnik-Chervonenkis).	57
Hình 2. 12	(trái) Mô hình mạng nơ-ron 02 lớp và 03 lớp xấp xỉ hàm (RF) – (phải) Giả định bộ giả thiết H cho mô hình mạng nơ-ron tại hình 2.11.	57
Hình 2. 13	Mối liên hệ giữa sai số và kích thước mẫu.	58
Hình 2. 14	Biểu thị tốc độ học của thuật toán GDM về mục tiêu cực tiểu.	59
Hình 2. 15	Mô hình đào tạo ANN (2 ÷ 3) lớp theo số nơ-ron lớp ẩn về mục tiêu cực tiểu.	60
Hình 2. 16	Sai số E% đào tạo ANN theo số nơ-ron lớp ẩn về mục tiêu cực tiểu.	61
Hình 2. 17	Phương pháp chọn cross – validation trên tập dữ liệu mô hình.	62
Hình 2. 18	Minh họa Validation trên tập dữ liệu mô hình.	62
Hình 3. 1	Sơ đồ khối thiết lập mẫu hệ thống dầm I dùng đào tạo ANN.	64
Hình 3. 2	Các mặt cắt ngang chuẩn hoá mẫu hệ thống dầm I dùng đào tạo ANN.	65
Hình 3. 3	Sơ đồ qui trình tạo mẫu sức kháng hệ thống dầm I dùng đào tạo ANN.	66
Hình 3. 4	Sơ đồ qui trình tạo mẫu momen hoạt tải hệ thống dầm I đào tạo ANN.	67
Hình 3. 5	Biểu đồ giá trị Momen tĩnh tải DC (trên) và DW (dưới) của hệ thống dầm I DUL dùng đào tạo ANN.	70
Hình 3. 6	Biểu đồ giá trị Momen hoạt tải do xe HL-93_02 làn tải cho dầm I33 và bản mặt cầu dày 20cm dùng đào tạo ANN.	71
Hình 3. 7	Biểu đồ giá trị Momen hoạt tải xe hợp pháp [3] _02 làn tải cho dầm I33 và bản mặt cầu dày 20cm dùng đào tạo ANN.	71
Hình 3. 8	Biểu đồ giá trị Momen hoạt tải xe hợp pháp [3-S2] _02 làn tải cho dầm I33 và bản mặt cầu dày 20cm dùng đào tạo ANN.	71
Hình 3. 9	Biểu đồ giá trị Momen hoạt tải xe cấp phép _02 làn tải cho dầm I33 và bản mặt cầu dày 20cm dùng đào tạo ANN.	72
Hình 3. 10	Biểu đồ các mẫu giá trị Sức kháng dầm I33 DUL và bản mặt cầu dày 20cm dùng đào tạo ANN.	72
Hình 3. 11	Sơ đồ khối đào tạo ANN tối ưu dùng xếp hạng tải hệ thống dầm I DUL.	73
Hình 3. 12	(trên) Kiến trúc mạng DC (3-8-8-1);(3-10-1) & DW (3-12-12-1);(3-20-1). (dưới) Sai số tối ưu Momen tĩnh tải DC, DW cho các mạng trên.	75
Hình 3. 13	Biểu đồ đào tạo ANN tối ưu cho momen tĩnh tải DC_DW dầm I DUL.	76
Hình 3. 14	Kiến trúc mạng (6-24-1)&(6-21-21-1) - Sai số tối ưu momen hoạt tải xe thiết kế HL-93 của mạng 2lớp và 3lớp, tương ứng.	77
Hình 3. 15	Kiến trúc mạng (6-19-1), (6-30-1), (6-27-1) & Sai số tối ưu momen hoạt tải xe hợp pháp [3], [3-S2] và cấp phép 3trục, tương ứng.	78
Hình 3. 16	Biểu đồ đào tạo ANN tối ưu cho momen hoạt tải xe các loại_ dầm I.	79
Hình 3. 17	Biểu đồ đào tạo ANN tối ưu (2 & 3) lớp cho momen xe HL93.	79

Hình 3. 18 Kiến trúc mạng (5-21-1), (5-15-15-1) và sai số tối ưu mạng sức kháng dầm.	80
Hình 3. 19 Biểu đồ đào tạo ANN tối ưu cho sức kháng _dầm I DUL.....	80
Hình 3. 20 Biểu đồ lỗi sai số % “ANN & hồi quy” momen tĩnh tải DC_DW dầm I DUL....	83
Hình 3. 21 Biểu đồ lỗi sai số % “ANN & hồi quy” sức kháng dầm I DUL.....	83
Hình 3. 22 Biểu đồ lỗi sai số % “ANN & hồi quy” momen hoạt tải các xe tải theo TCVN 12882:2020 cho dầm I DUL.....	85
Hình 3. 23 Mặt cắt chi tiết các dầm BTCT DUL khác điển hình.	87
Hình 3. 24 Sơ đồ qui trình tạo mẫu sức kháng hệ thống dầm bê tông cốt thép khác	89
Hình 3. 25 Sơ đồ qui trình tạo mẫu momen hoạt tải hệ thống dầm bê tông cốt thép khác	89
Hình 4. 1 Sơ đồ khối đánh giá xếp hạng tải cho cầu dầm I DUL bằng ANN.	92
Hình 4. 2 Mặt cắt ngang cầu dầm thử tải cầu dầm I DUL [21].....	93
Hình 4. 3 Biểu đồ đánh giá xếp hạng tải RF các nhịp dầm bằng ANN theo ứng dụng 1.....	94
Hình 4. 4 Biểu đồ đánh giá xếp hạng tải RF các nhịp dầm bằng ANN theo ứng dụng (2)..	98
Hình 4. 5 Biểu đồ đánh giá xếp hạng tải RF các nhịp dầm bằng ANN theo ứng dụng (3).	100
Hình 4. 6 Biểu đồ so sánh đánh giá xếp hạng tải RF dầm I theo 03 ứng dụng ANN.....	101
Hình 4. 7 (a, b) Mô hình hoá và (c, d, e) Hiệu ứng tải kết cấu nhịp N1 cầu [21] theo f ^c .	104
Hình 4. 8 Biểu đồ so sánh xếp hạng tải RF cầu [21] bằng ứng dụng ANN với phương pháp tính tay trực tiếp, thuật toán hồi quy đa biến và phần tử hữu hạn.	106
Hình 4. 9 Biểu đồ so sánh % sai số xếp hạng tải RF cầu [21] bằng ứng dụng ANN với phương pháp tính tay trực tiếp và phần tử hữu hạn.....	107
Hình 4. 10 Biểu đồ kết quả xếp hạng tải RF theo xe cấp phép 03 trục cầu [7].....	110
Hình 4. 11 Biểu đồ so sánh RF từ xe HL-93 theo ANN - tính tay - PTHH cầu [7].	111
Hình 4. 12 Biểu đồ % sai số RF từ xe HL-93 theo ANN - tính tay - PTHH cầu [7].....	111
Hình 4. 13 Thử tải động trên mặt cắt ngang cầu Đại Đồng [7].	111
Hình 4. 14 Cầu Ninh Chữ [21] _ xếp xe 3 trục thực tế để thử tải đúng tâm trên cầu.....	112
Hình 4. 15 Cầu Đại Đồng [7] _ xếp xe 3 trục thực tế để thử tải đúng tâm trên cầu.....	113
Hình 4. 16 Dữ liệu biến liên tục tạo ma trận - Ma trận Saltelli và ANN mô phỏng RF– Dầm I cố định hình học, mở rộng f ^c (trái) - Dầm I mở rộng hình học, cố định f ^c (giữa) - Dầm I hình học mở rộng, mở rộng f ^c (phải).....	114
Hình 4. 17 Biểu đồ phân tán giá trị RF các ma trận SALTELLI.....	115
Hình 4. 18 Biểu đồ độ nhạy toàn cục – Monte Carlo Saltelli - Dầm I cố định hình học, mở rộng f ^c (trên) - Dầm I mở rộng hình học, cố định f ^c (giữa) - Dầm I hình học mở rộng, mở rộng f ^c (dưới).....	118
Hình 4. 19 Hàm kích hoạt Sigmoid của ANN riêng biệt (2 và 3) lớp	119
Hình 4. 20 Biểu đồ mô phỏng sức kháng theo ANN (02-03) lớp và tính tay cầu [21].	121
Hình 4. 21 Mô phỏng momen hoạt tải HL-93 theo ANN (02-03) lớp và tính tay cầu [21]. .	122
Hình 4. 22 Mô phỏng momen tĩnh tải DC theo ANN (02-03) lớp và tính tay cầu [21].	122
Hình 4. 23 Mô phỏng momen tĩnh tải DW theo ANN (02-03) lớp và tính tay cầu [21].	122
Hình 4. 24 Biểu đồ xếp hạng tải RF theo ANN (02-03) lớp và tính tay cầu [21].	124

PHẦN MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của luận án

Trong hơn hai thập niên gần đây, hệ thống cầu đường bộ tại Việt Nam phát triển nhanh cả về số lượng và quy mô, trong đó cầu dầm bê tông dự ứng lực dạng chữ I và Super-T được sử dụng rộng rãi. Cùng với quá trình khai thác lâu dài và gia tăng tải trọng giao thông, việc yêu cầu đánh giá khả năng chịu tải và xếp hạng khai thác đối với cầu hiện hữu ngày càng trở nên cấp thiết nhằm bảo đảm an toàn và hiệu quả vận hành.

Theo quy định hiện hành, việc đánh giá xếp hạng tải cầu được thực hiện theo TCVN 12882:2020 trên cơ sở kết hợp đo đạc thực nghiệm và tính toán lý thuyết. Mặc dù phương pháp này có cơ sở khoa học chặt chẽ, song trong thực tiễn áp dụng còn tồn tại những hạn chế như khối lượng tính toán lớn, nhiều tham số đầu vào, yêu cầu thời gian và chi phí đáng kể, đặc biệt trong trường hợp đánh giá đồng loạt nhiều cầu hoặc khi thiếu hồ sơ thiết kế ban đầu. Điều này đặt ra nhu cầu nghiên cứu các phương pháp hỗ trợ có tính linh hoạt cao hơn nhưng vẫn bảo đảm tuân thủ tiêu chuẩn kỹ thuật.

Xếp hạng tải trọng theo TCVN 12882:2020 và phương pháp hệ số sức kháng và hệ số tải trọng (LRFR) có hai nhóm tham số chính: nhóm thứ nhất là những tham số ảnh hưởng đến khả năng sức kháng của kết cấu, nhóm thứ hai liên quan đến hiệu ứng lực trong kết cấu. Để giá trị xếp hạng tải trọng sát với thực tế của kết cấu bên cạnh việc kết hợp công tác khảo sát, đo đạc các tham số từ thực tế của kết cấu và cũng cần phải có các phương pháp để phán đoán từ các số liệu thực tế và khái quát mang tính hệ thống.

Sự phát triển của trí tuệ nhân tạo, đặc biệt là mạng nơ-ron nhân tạo (ANN), cho phép xây dựng các mô hình dự đoán có khả năng xử lý quan hệ phi tuyến phức tạp và học từ dữ liệu. Tuy nhiên, việc ứng dụng ANN một cách hệ thống để đánh giá hệ số sức kháng và xếp hạng tải cầu bê tông cốt thép theo tiêu chuẩn Việt Nam vẫn còn hạn chế. Trên thế giới nhiều tác giả đã sử dụng mạng nơ-ron nhân tạo để hỗ trợ trong việc xác định sức kháng của mặt cắt như các nghiên cứu của Abdollah Bagheri và các cộng sự [30], [31], như nghiên cứu của Oguzhan Hasançebi, Taha Dumlupınar [69], [70]. Nhìn chung các nghiên cứu của các tác giả như trên chủ yếu tập trung vào dạng kết cấu cầu bê tông cốt thép thường và cần có những nghiên cứu cho dạng kết cấu khác thông dụng trong thực tế hơn cụ thể là cầu dầm I DUL mà luận án sẽ nghiên cứu.

Vì vậy, nghiên cứu ứng dụng mạng nơ-ron nhân tạo trong xếp hạng tải trọng của kết cấu nhịp cầu bê tông cốt thép dự ứng lực là cần thiết cả về phương diện khoa học và thực tiễn,

góp phần nâng cao hiệu quả công tác kiểm định, đánh giá và quản lý khai thác cầu hiện hữu tại Việt Nam.

2. Mục tiêu nghiên cứu của luận án

(i) Mục tiêu tổng quát:

Xây dựng và phát triển một phương pháp đánh giá xếp hạng tải công trình cầu bê tông cốt thép dựa trên ứng dụng mạng nơ-ron nhân tạo (ANN), bảo đảm tuân thủ tiêu chuẩn TCVN 12882:2020 và có khả năng áp dụng trong điều kiện cầu hiện hữu tại Việt Nam.

(ii) Mục tiêu cụ thể:

1/ Xây dựng hệ thống dữ liệu mẫu có kích thước lớn, phản ánh mối quan hệ giữa các tham số hình học, cơ lý và hiệu ứng tải trọng, nhằm xác định sức kháng mặt cắt và các đại lượng nội lực phục vụ tính toán xếp hạng tải.

2/ Thiết lập và đào tạo các mô hình mạng nơ-ron nhân tạo (ANN) mô phỏng riêng biệt sức kháng và hiệu ứng tải trọng, trên cơ sở bộ dữ liệu mẫu đã xây dựng.

3/ Ứng dụng mô hình ANN đã được huấn luyện để xác định hệ số xếp hạng tải (Rating Factor – RF) cho cầu dầm I DUL theo TCVN 12882:2020.

4/ Kiểm chứng và đánh giá độ tin cậy của phương pháp đề xuất thông qua áp dụng cho các kết cấu nhịp cầu dầm I DUL thực tế, so sánh với phương pháp tính toán truyền thống và các phương pháp phân tích khác.

3. Đối tượng nghiên cứu:

Hệ thống kết cấu nhịp của công trình cầu dầm I bê tông cốt thép DUL căng sau (dữ liệu cụ thể nghiên cứu).

4. Phạm vi nghiên cứu:

Dạng cầu dầm I liên hợp DUL căng sau theo TCVN 11823:2017 và TCVN 12882:2020. Các công trình cầu cũ (dầm I liên hợp DUL căng sau) theo các tiêu chuẩn đã từng áp dụng tại Việt Nam. Với dạng cầu khác, trên nền tảng khung phương pháp của luận án sẽ ứng dụng nghiên cứu vẫn hiệu quả khi có đủ dữ liệu mẫu dạng cầu đó để đào tạo.

5. Phương pháp nghiên cứu:

Luận án thực hiện dựa vào một số phương pháp nghiên cứu:

(1) Phương pháp lý thuyết: Xây dựng hệ thống dữ liệu mẫu của cầu theo lý thuyết.

(2) Phương pháp mô hình: Xây dựng mô hình mạng nơ-ron nhân tạo từ hệ thống dữ liệu mẫu của cầu đã xây dựng.

(3) Phương pháp nghiên cứu thực nghiệm: Kiểm chứng mô hình ANN với số liệu từ công trình cầu thực tế theo TCVN 12882:2020.

(4) Phương pháp phân tích: So sánh hiệu quả của mô hình nghiên cứu với phương pháp truyền thống thông qua số liệu cầu dầm I DUL thực tế.

6. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của luận án

Ý nghĩa khoa học của luận án:

- Luận án xây dựng được một khung phương pháp ứng dụng mạng nơ-ron nhân tạo (ANN) trong mô hình hóa mối quan hệ phi tuyến giữa các tham số hình học, cơ lý và hiệu ứng tải trọng của kết cấu nhịp cầu bê tông cốt thép DUL, qua đó phục vụ đánh giá hệ số xếp hạng tải trọng cho kết cấu nhịp dầm chữ I BTCT DUL.

- Bộ dữ liệu mẫu có kích thước lớn được thiết lập có hệ thống theo tiêu chuẩn thiết kế và đánh giá hiện hành, tạo cơ sở khoa học cho việc đào tạo, tối ưu hóa và khái quát hóa mô hình ANN, góp phần mở rộng hướng nghiên cứu ứng dụng học máy trong lĩnh vực cơ học và kiểm định công trình cầu.

- Luận án đề xuất cách tiếp cận tích hợp giữa mô phỏng số, dữ liệu thử tải và học máy trong đánh giá xếp hạng tải, bổ sung cơ sở lý luận cho việc chuyển đổi từ phương pháp tính toán truyền thống sang các mô hình dự đoán dựa trên dữ liệu.

Ý nghĩa thực tiễn của luận án:

- Phương pháp đề xuất cho phép hỗ trợ đánh giá xếp hạng tải cầu dầm I DUL theo TCVN 12882:2020 với độ chính xác cao, giảm khối lượng tính toán lặp lại và nâng cao hiệu quả triển khai trong điều kiện thực tế tại Việt Nam.

- Mô hình ANN sau khi được đào tạo có khả năng áp dụng cho các cầu ngoài tập dữ liệu huấn luyện nhưng có đặc trưng tương đồng, góp phần hỗ trợ đánh giá nhanh các cầu hiện hữu trong khai thác.

- Phương pháp có tiềm năng ứng dụng trong trường hợp thiếu hoặc thất lạc hồ sơ thiết kế, thông qua việc sử dụng các tham số đo đạc hiện trường kết hợp mô hình học máy, qua đó nâng cao hiệu quả công tác kiểm định và quản lý cầu.

7. Cấu trúc của Luận án

Gồm phần mở đầu, 4 chương nội dung và kết luận có cấu trúc sau:

Chương 1: Tổng quan nghiên cứu về xếp hạng tải trọng công trình cầu.

Chương 2: Cơ sở lý thuyết và ANN trong đánh giá xếp hạng tải cho cầu.

Chương 3: Xây dựng ANN trong đánh giá xếp hạng tải cho cầu.

Chương 4: Ứng dụng mạng Nơ-ron nhân tạo cho đánh giá xếp hạng tải cho cầu.

Kết luận và kiến nghị

CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN NGHIÊN CỨU VỀ XẾP HẠNG TẢI TRỌNG CÔNG TRÌNH CẦU

Bài toán xếp hạng tải trọng và đánh giá khả năng chịu tải của công trình ngày càng có ý nghĩa to lớn về kinh tế và kỹ thuật. Trong thực tế, khi xếp hạng tải trọng và đánh giá khả năng chịu tải công trình người ta thường căn cứ vào khả năng hay thường dùng là sức kháng của kết cấu và các hiệu ứng do tải trọng gây ra. Khả năng của kết cấu không phải là hằng số mà sẽ thay đổi theo thời gian phụ thuộc rất nhiều từ tác động bên ngoài như điều kiện tự nhiên, chế độ bảo dưỡng và khai thác. Ngoài ra, tải trọng giao thông tác động lên công trình cũng thay đổi theo thời gian góp phần làm cho hệ số xếp hạng của tải trọng sẽ thay đổi theo thời gian. Do đó bài toán xếp hạng tải trọng và đánh giá khả năng chịu tải của công trình thu hút được nhiều sự quan tâm của các nhà khoa học trong và ngoài nước. Các nghiên cứu trong nước và ngoài nước cũng cho thấy đều theo xu hướng làm sao cải thiện được kết quả chính xác nhất, đó chính là phản ánh sát với sự làm việc thực tế của kết cấu. Điều khó khăn gặp phải khi xác định chính xác khả năng chịu lực của kết cấu là khi không rõ tình trạng suy thoái của vật liệu cũng như thiếu các thông tin của thiết kế ban đầu của công trình và sự thay đổi của tải trọng so với thiết kế ban đầu cũng gây ra một số khó khăn cho công tác đánh giá xếp hạng tải.

Thông qua việc quan sát và các kết quả đo được (như là biến dạng và dao động) các mô hình phân tử hữu hạn dùng cho phân tích kết cấu công trình cầu được cập nhật sát với sự làm việc ngoài thực tế. Kết quả từ mô hình phân tích kết cấu đã được cập nhật sẽ sử dụng để thực hiện các tính toán xếp hạng tải và so sánh với các tính toán xếp hạng truyền thống. Các mô hình tính toán ngày càng hoàn thiện và đầy đủ kết hợp các mô hình phụ thuộc thời gian như là có xem xét sự phát triển của hoạt tải và sự suy giảm sức kháng. Do hệ số xếp hạng không thể phản ánh sự an toàn thực tế của cây cầu trong suốt vòng đời của nó cho nên cần có chu kỳ đánh giá để kịp thời phát hiện ra sự xuống cấp của công trình từ đó đưa ra các biện pháp xử lý kịp thời.

Vậy việc xếp hạng tải trọng hay đánh giá khả năng chịu tải của công trình cầu là cần được nghiên cứu một cách liên tục, nên cập nhật những thành tựu mới của khoa học kỹ thuật để luôn thực sự hữu ích cũng như dễ dàng vận hành cho công tác quản lý cầu. Là mục tiêu chính mà tổng quan sẽ mô tả chỉ rõ với nhiều phương pháp xếp hạng tải cầu khác nhau được so sánh để thấy được hướng nghiên cứu của luận án thực sự đúng đắn và hữu ích. Giải quyết các khó khăn trên phương pháp đã được đề xuất như: *kết hợp thử tải kiểm tra,*

cập nhật lại mô hình từ kết quả đo tại công trình thực và ứng dụng mạng nơ ron nhân tạo để xếp hạng tải trọng cho cầu.

1.1 Tổng quan tình hình nghiên cứu đánh giá khả năng chịu tải của công trình cầu trên thế giới

Công trình cầu sau một thời gian khai thác chịu rất nhiều những tác động bất lợi khác nhau (như do quá tải trọng, tai nạn xảy ra với công trình và sự suy giảm của cường độ vật liệu theo thời gian) do đó không tránh được các hiện tượng xuống cấp của công trình và khi một hệ thống công trình giao thông bị xuống cấp sẽ cần một nguồn lực rất lớn để nâng cấp hệ thống đây là yếu tố bức thiết trong công tác quản lý đánh giá xếp hạng tải cho cầu.

Đánh giá chính xác khả năng chịu tải của cầu đang vận hành là rất quan trọng, giúp việc quản lý và khai thác của các cơ quan chuyên trách giao thông hiểu được khả năng thích ứng giữa tải trọng xe hiện có và sức kháng của cầu, nhằm thực hiện các việc vận hành duy tu bảo dưỡng cần thiết. Thế giới hiện nay có nhiều phương pháp nghiên cứu để đánh giá hoạt động hiện tại của cầu theo truyền thống, tích hợp thuật toán và công nghệ hiện đại.

Để thấy được sự xếp hạng tải trọng cầu một cách sâu rộng và đa diện hơn, chương này sẽ trình bày khái quát một loạt các nghiên cứu của nhiều tác giả trên thế giới trong lĩnh vực xếp hạng tải cầu theo tài liệu tham khảo cùng với các đặc trưng chính, với các chủ đề sau:

Qui trình xếp hạng tải và phân tích cầu bằng thử nghiệm tải trọng AASHTO;

Xếp hạng tải cầu bằng Thử tải cầu;

+ Xếp hạng tải bằng Thử tải chẩn đoán (hệ thống BDI biến dạng bán tĩnh);

+ Xếp hạng tải bằng Thử tải bằng chứng;

Xếp hạng tải cho cầu bằng phương pháp Phản hồi động;

Xếp hạng tải cho cầu theo Thống kê xác suất - Chỉ số độ tin cậy;

Xếp hạng tải cho cầu bằng Thuật toán kết hợp hệ thống giám sát sức khỏe kết cấu (SHM) và dữ liệu Giao thông ngẫu nhiên (WIM);

Xếp hạng tải cho cầu khi không còn Hồ sơ thiết kế ban đầu;

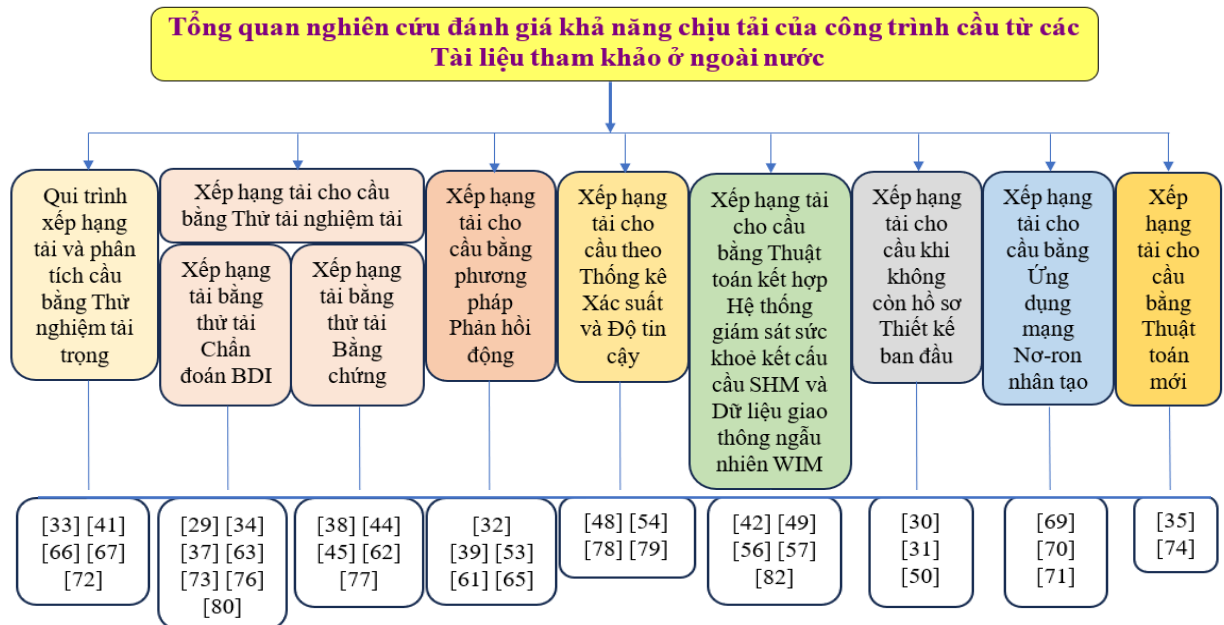
Xếp hạng tải cho cầu bằng ứng dụng mạng Nơ-ron Nhân tạo;

Xếp hạng tải cho cầu bằng Thuật toán khác;

Và hình 1.1 sẽ cho thấy được sự liệt kê và phân loại các phương pháp đánh giá khả năng chịu tải / xếp hạng tải cho cầu như trên theo tài liệu tham khảo của Luận án.

Quá trình nghiên cứu các tài liệu tham khảo trên theo sau sẽ cho thấy nét đặc trưng ưu việt cùng sự giới hạn từ các phương pháp xếp hạng tải trọng cầu trên thế giới (từ 1998 đến 2021), và khoảng trống còn phải nghiên cứu của lĩnh vực xếp hạng tải này được chỉ rõ.

1.1.1 Các công trình nghiên cứu xếp hạng tải của cầu theo tài liệu tham khảo ngoài nước



Hình 1. 1 Các nghiên cứu xếp hạng tải của cầu theo tài liệu tham khảo ở ngoài nước

1.1.2 Xếp hạng tải và phân tích cầu bằng qui trình thử nghiệm tải trọng

Xếp hạng tải theo qui trình ASSHTO hướng dẫn được trích dẫn bao gồm [33, 66, 67].

Bản hướng dẫn đánh giá cầu đầu tiên của Mỹ xuất bản là MBE. First Edition (2008), *The Manual for Bridge Evaluation*, [33]. được coi như là một tài liệu chi tiết cho việc đánh giá cầu. Trong tài liệu này có hướng dẫn chi tiết cho từng công việc như hệ thống quản lý cầu, công tác kiểm tra, thí nghiệm vật liệu, xếp hạng tải trọng, đánh giá mỗi cho cầu thép, thí nghiệm tải trọng không phá hủy và các ví dụ minh họa. Cùng với sự phát triển của tiêu chuẩn thiết kế thì tài liệu hướng dẫn đánh giá cầu cũng có các bản cập nhật cho lần xuất bản thứ hai (2011) và thứ ba (2018).

Các thí nghiệm không phá hủy được sử dụng chính như là công cụ cung cấp sự hiểu biết tốt hơn về tải trọng và sự phân bố tải trọng theo NCHRP Research Results Digest. 234. (1998), *Manual for Bridge Rating through Load Testing*, [66]. Thử nghiệm chính là thử nghiệm chấn đoán và thử nghiệm bằng chứng:

- Thử nghiệm tải chấn đoán: $RF_T = RFc * K; K = 1 + Ka * Kb$.

Với: RF_T : hệ số xếp hạng tải hiệu chỉnh từ kết quả thử tải. RFc : hệ số xếp hạng tính toán theo kết quả thử nghiệm. K : hệ số điều chỉnh từ giá trị đo với mô hình phân tích.

$$RFc = \frac{\text{Sức kháng} - \text{Hiệu ứng tĩnh tải} * \text{hệ số tĩnh tải}}{\text{Hiệu ứng hoạt tải} * \text{hệ số hoạt tải} * (1 + \text{xung kích})}$$

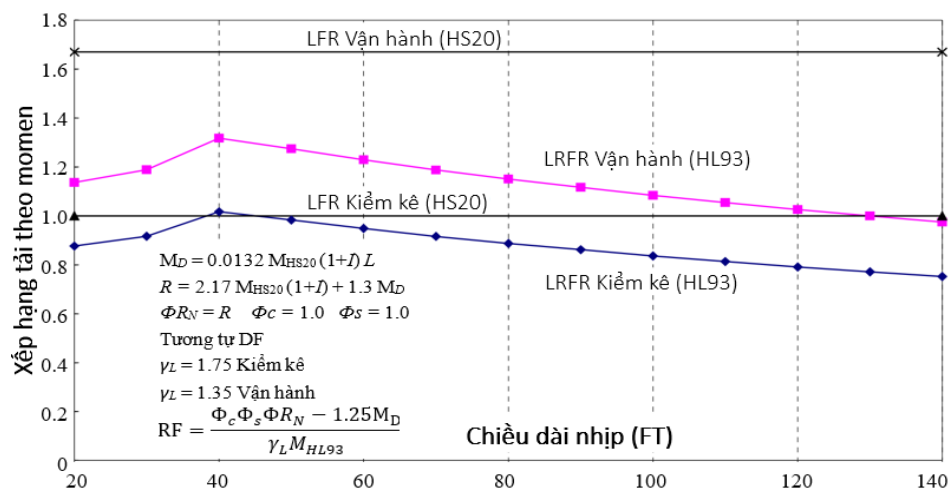
+ Ka : hiệu quả thu được từ thử tải thực tế, nếu có, và xem xét yếu tố mặt cắt chống lại tải trọng thử nghiệm tác dụng, xác định theo [66].

+ K_b : thể hiện sự hiểu biết về kết quả thử tải khi so sánh với: • kết quả dự đoán theo lý thuyết tính toán • loại và tần suất kiểm tra tiếp theo và • sự có hoặc vắng mặt của các tính năng đặc biệt như không dư thừa và các chi tiết dễ bị mỏi, xác định theo [66].

+ Không có thử tải, $K = 1$. Kết quả thử tải đúng với lý thuyết thì $K = 1$. Sau khi thử tải, nếu $K > 1$ thì phản ứng của cầu thuận lợi hơn so với dự đoán của lý thuyết và khả năng chịu tải của cầu có thể được nâng cao. Ngược lại, nếu $K < 1$ thì phản ứng thực của cầu sẽ nghiêm trọng hơn so với dự đoán và khả năng chịu tải lý thuyết của cầu có thể phải giảm xuống.

• Thử nghiệm tải bằng chứng: là cầu phải chịu tải trọng cụ thể và quan sát xem cầu mang các tải này để không bị hư hỏng. Tải trọng thử được gia tăng số và cầu được giám sát để cảnh báo sớm về sự cố có thể xảy ra hoặc kết cấu cầu làm việc ở trạng thái không đàn hồi tuyến tính. Một tải trọng lớn hơn tải trọng di động mà cây cầu dự kiến sẽ chịu được đặt lên cầu, sẽ cung cấp biên độ an toàn ở trường hợp quá tải trong quá trình vận hành của cầu. Tải trọng tác dụng lớn nhất là giới hạn về khả năng chịu tải của cầu, năng lực này của cầu cần được điều chỉnh bằng hệ số an toàn để đạt được mức khai thác cho khả năng chịu tải của cầu. Hệ số hoạt tải mục tiêu X_{PA} , tải trọng bằng chứng mục tiêu L_T , xếp hạng, khả năng mang tải mức vận hành và kiểm kê theo [66].

Cùng năm 2001, NCHRP công bố báo cáo số 28 Hướng dẫn đánh giá tình trạng và xếp hạng tải trọng cầu đường cao tốc sử dụng triết lý hệ số sức kháng và tải trọng là NCHRP Project 12-46, Final Report (2001), [67]. Thời điểm đó Hướng dẫn AASHTO (Manual for Condition Evaluation-MCE) được dùng để đánh giá tình trạng cầu quy định cho các phương pháp ứng suất cho phép và hệ số tải trọng. Trong báo cáo phân tích chi tiết sự khác biệt giữa phương pháp đánh giá LRFR và LFR. Sự cấp thiết cần sở tay đánh giá mới toàn diện nhất quán về triết lý, cách tiếp cận và công nghệ.



Hình 1. 2 So sánh LFR(HS20) và LRFR(HL93) với giá thiết phân bố hoạt tải tương đương

1.1.3 Xếp hạng tải cho cầu bằng thử tải cầu

a/ Xếp hạng tải cầu bằng thử tải chẩn đoán (BDI)

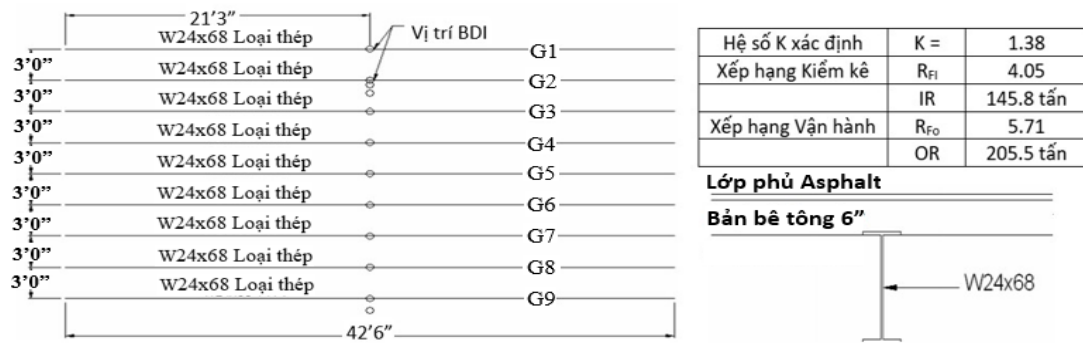
Bằng thử tải chẩn đoán, xếp hạng tải cầu theo các tài liệu như [76, 73, 34, 37, 29, 80, 63].

Báo cáo của Trường đại học bang IOWA về Phát triển qui trình thử tải cầu để đánh giá tải trọng của T.J. Wipf và cộng sự, (2003), [76] . Hệ thống Chẩn đoán cầu (Bridge Diagnostics, Inc-BDI) dùng đánh giá tải trọng theo hệ số tải trọng. Các thí nghiệm tải chẩn đoán cho thấy các đặc tính cường độ và khả năng phục vụ vượt quá các tham số được tiêu chuẩn dự đoán, dẫn đến xếp hạng tải trọng chính xác hơn và các hệ số xếp hạng tăng so với việc tính toán thông thường. So sánh xếp hạng momen uốn (BDI với LFD), 02 cầu dầm thép sàn gỗ xếp hạng > 47% (trung bình), 03 cây cầu dầm thép sàn bê tông xếp hạng > 57% (trung bình), 02 cầu bản bê tông xếp hạng > 117% (trung bình). Khác biệt ở các giá trị xếp hạng 05 cầu dầm thép là do tăng độ cứng của dầm biên bởi sự hiện diện của lan can bê tông cốt thép và xuất hiện tác động liên hợp ngoài ý muốn. Tăng giá trị xếp hạng cho hai cầu bản bê tông là để phân tích chính xác hơn về kết cấu tấm.

Hệ số xếp hạng xe thiết kế - theo LFD	HS20				H20				Type-3			
	Momen uốn		Lực cắt		Momen uốn		Lực cắt		Momen uốn		Lực cắt	
	Kkê	Vành	Kkê	Vành	Kkê	Vành	Kkê	Vành	Kkê	Vành	Kkê	Vành
Bản mặt cầu	0.77	1.29	2.10	3.51	0.79	1.32	2.73	4.56	0.88	1.47	2.76	4.61
Hệ số xếp hạng xe thiết kế - theo BDI	HS20				H20				Type-3			
	Momen uốn		Lực cắt		Momen uốn		Lực cắt		Momen uốn		Lực cắt	
	Kkê	Vành	Kkê	Vành	Kkê	Vành	Kkê	Vành	Kkê	Vành	Kkê	Vành
Bản mặt cầu	1.57	2.62	1.95	3.26	1.61	2.69	2.31	3.86	1.94	3.24	2.76	4.61
% sai số LFD-BDI	HS20				H20				Type-3			
	Momen uốn		Lực cắt		Momen uốn		Lực cắt		Momen uốn		Lực cắt	
	Kkê	Vành	Kkê	Vành	Kkê	Vành	Kkê	Vành	Kkê	Vành	Kkê	Vành
Bản mặt cầu	103.9		-7.1		103.8		-15.4		120.5		0.0	

Hình 1. 3 Các xếp hạng xe tải thiết kế (a) LFD, (b) BDI và so sánh (c) cầu số 7 [76]

Nghiên cứu mối liên hệ giữa thử tải và xếp hạng cầu, Research Project 655, (2005), [73] . Để kiểm tra và phân tích hiệu quả hai hoặc nhiều cây cầu mỗi tháng, một chương trình để “mô hình hóa, phân tích và xếp hạng tải trọng” đã đơn giản hóa hiện hữu để kiểm tra và phân tích hiệu quả. Cầu S-1021 nằm ở Anderson, cầu dầm thép không liên hợp, một nhịp, 9 dầm dài 42feet + 6in cách nhau 3feet được nghiên cứu. Cầu được xếp hạng tải trọng trên cơ sở ứng suất cho phép từ lợi ích bổ sung của thử tải chẩn đoán, $RF_T = K*RF_C$, với RF_C xếp hạng thực tế và K hệ số điều chỉnh, cập nhật mô hình có quan tâm.



Hình 1. 4 Vị trí thiết bị tại mặt cắt ngang cầu S-1021-Xếp hạng tải R_{FI}, R_{FO} từ hệ số K [73] .

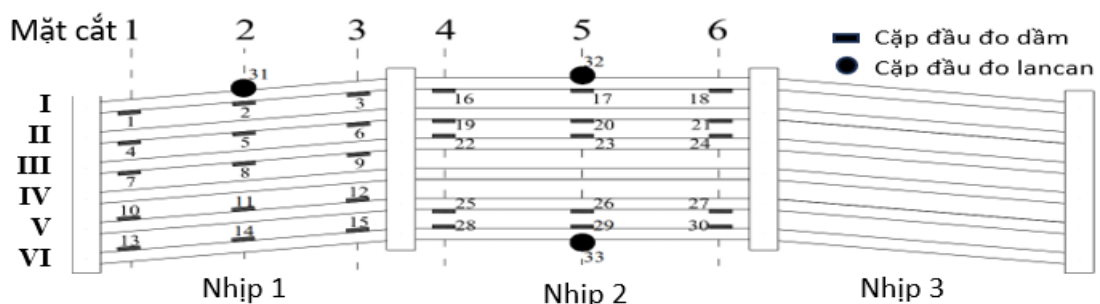
Đánh giá hiệu suất và xếp hạng cầu thông qua thử tải không phá hủy, Andrew Jeffrey và cộng sự, (2009), [34] . Hai cây cầu minh chứng cho phân tích lý thuyết, qui trình kết quả.

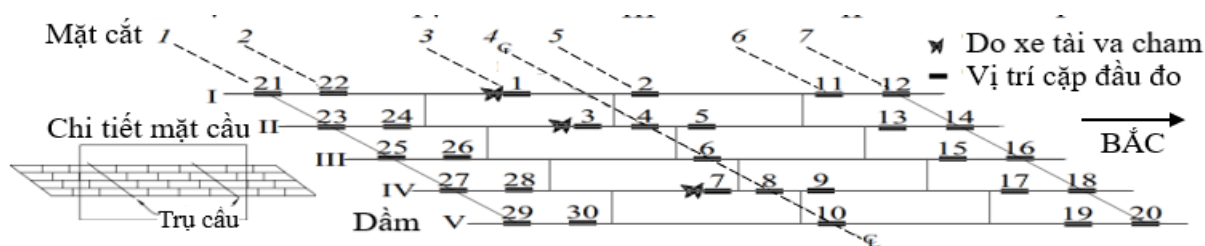
- Cầu Royalton 3 nhịp cũ (năm 1920) gói giản đơn, 06 dầm bê tông cốt thép/nhip, 02 làn xe tải (Royalton, Vermont). Thông tin kết cấu thiếu; bê tông bị bong tróc và cốt thép bị ăn mòn số nơi của cầu. Thử nghiệm 05 chỉ tiêu, đóng góp lan can vào làm việc tổng thể cầu, phân bố mômen theo phương ngang, sự truyền tải lực qua các dầm, sự chuyển momen qua các trụ bên trong, tải trọng phân bố lên mặt cầu. Gồm 33 cặp đầu đo như hình 1.5 (trên).

- Cầu Weathersfield, cầu dầm thép liên tục 3 nhịp từ 1965, mặt cầu bê tông không liên hợp, 02 làn đường (Weathersfield, Vermont). Hạn chế tải trọng với xe quá tải do cường độ mômen âm tại các gối đỡ bên trong trụ cầu. Một số dầm chính bị hư do va chạm xe dưới cầu. Thử nghiệm tải trọng để biết về giá định không liên hợp giữa bản mặt cầu với các dầm trong thiết kế và đánh giá cầu để kiểm tra sự phân bố mômen ngang cho các dầm, tính toán mômen âm gần các gối tựa và điều tra bất lợi hư hỏng mặt cầu do xe tải va chạm. Thiết bị thử nghiệm bố trí tại nhịp giữa như hình 1.5 (dưới).

Ước tính xếp hạng tải hai cầu này phù hợp với các phép đo hiện trường thử nghiệm tải.

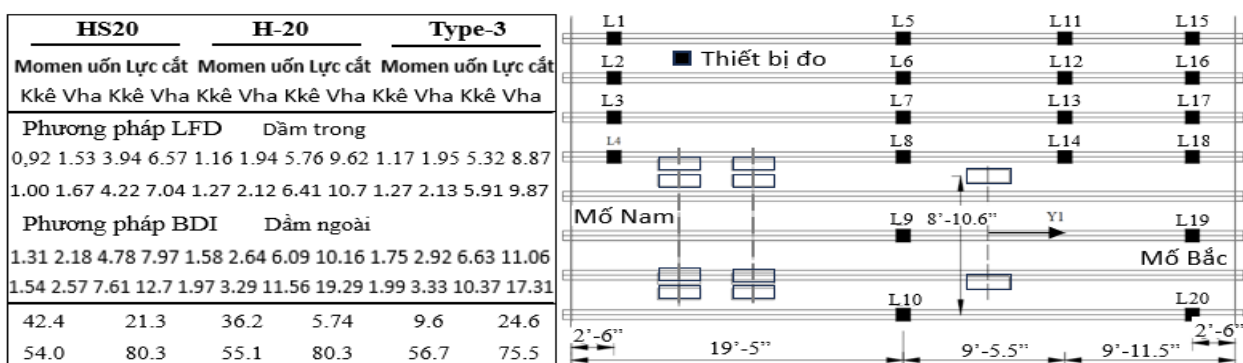
Nhịp	Số làn tải trọng	Momen thực địa	Momen AASHTO LRFD	Momen Thực địa/AASHTO LRFD	Momen	Số làn tải trọng	Momen thực địa	Momen thực địa/momen AASHTO LRFD	Momen Thực địa/momen AASHTO LRFD	Momen Phần tử hữu hạn	Momen thực địa/momen PT hữu hạn
		(K-ft)	(K-ft)	(%)			(K-ft)	(K-ft)	(%)	(K-ft)	(%)
1	1 làn	90	127	71	Dương	1 làn	250	350	71	117	137
	2 làn	129	156	83		2 làn	434	490	89	303	143
2	1 làn	84	150	56	Âm	1 làn	-156	-294	53	-108	144
	2 làn	120	190	63		2 làn	-240	-406	59	-164	146





Hình 1. 5 Kết quả mô men cầu Royalton (trái) cầu Weathersfield (phải) Vị trí làn tải_Sơ đồ đầu đo thử nghiệm cầu Royalton (trên), Weathersfield (dưới) [34].

Nghiên cứu tại Đại học bang Iowa về xếp hạng tải trọng cầu thông qua thí nghiệm ngoài hiện trường sử dụng hệ thống BDI Brent M. Phares và cộng sự, (2003), [37]. Cầu ở bắc Boone County # 11, IA, dầm thép composite, nhịp đơn giản với mặt cầu bằng gỗ điển hình trong bảy cây cầu thuộc nghiên cứu hiện tại được trang bị 40 đầu đo biến dạng và được thử nghiệm với các tải trọng đã biết bằng hệ thống BDI. Thử nghiệm hiện trường của cầu cho thấy các dầm hoạt động không liên hợp, ít sự ngàm cứng gối ở mố cầu và xuất hiện sự cứng cạnh. Đánh giá hệ số xếp hạng quan trọng > 42% bằng phương pháp BDI. Xếp hạng tải cầu > phân tích lý thuyết, hình 1.6.

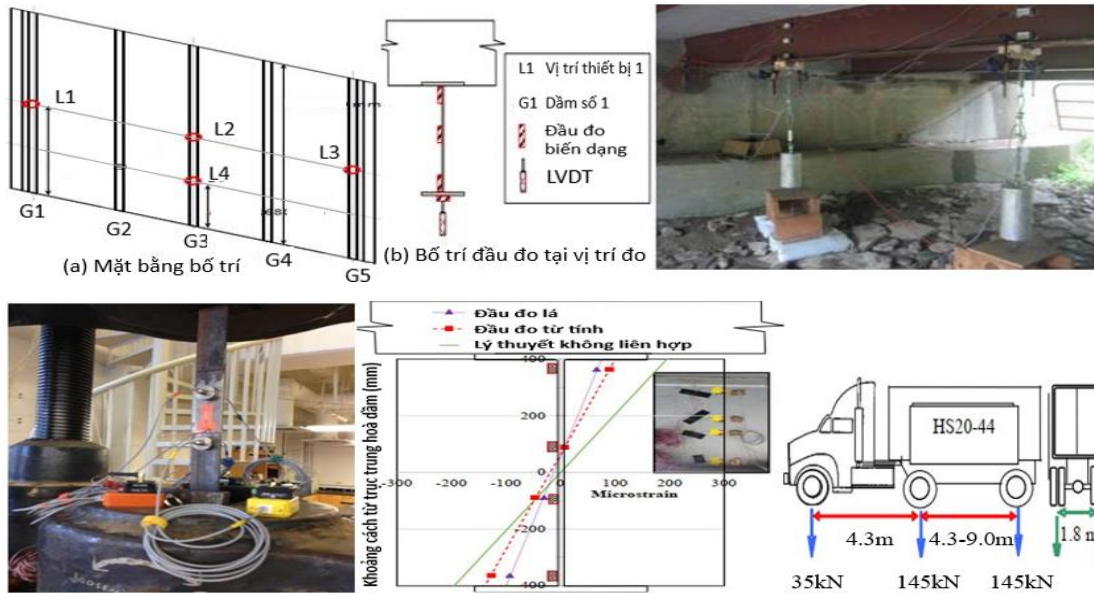


Hình 1. 6 (Trái) Mặt bằng dầm bố trí thiết bị đo và đường tải trọng. (Phải) So sánh hệ số xếp hạng tải và % gia tăng xếp hạng [37].

Theo hướng xếp hạng tải MBE có xét đến sự làm việc thực tế của công trình qua các hệ số điều chỉnh trên ba cây cầu dầm thép là A. Peiris và I. Harik. (2016), [29]. Các hệ thống đo biến dạng như tính toán và máy đo lá điện trở được sử dụng cùng nhau để kiểm tra cầu dầm thép Lewis County Bridge, dữ liệu hai hệ thống được so sánh có biến dạng tương tự nhau, hình 1.7. Máy đo biến dạng từ trường, đồng hồ đo biến dạng và thu thập dữ liệu không dây, đã nhanh chóng thử tải và cải tiến xếp hạng tải trọng cầu.

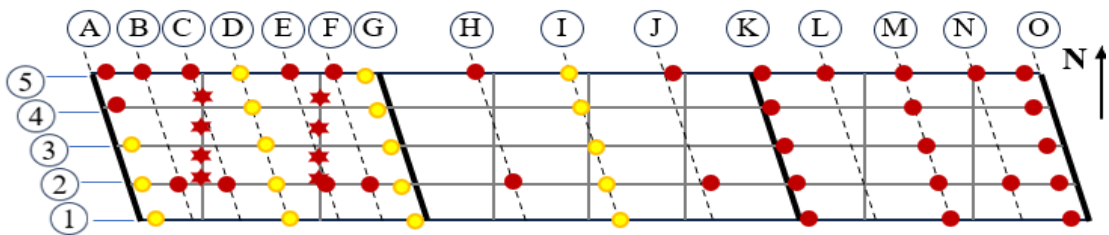
$$\text{Hệ số } K: RF_T = RF_c * K; K = 1 + Ka * Kb; Ka = (\epsilon_c / \epsilon_T) - 1; Kb = Kb_1 * Kb_2 * Kb_3.$$

Cầu	Xe tải thực hiện Loại	Phân tích AASHTO Hệ số xếp hạng	Thử nghiệm tải Hệ số xếp hạng
KY 1068 - Hạt Lewis	KY Loại 3	0.48	0.70
KY 220 - Hạt Hardin	KY Loại 3	0.62	1.25

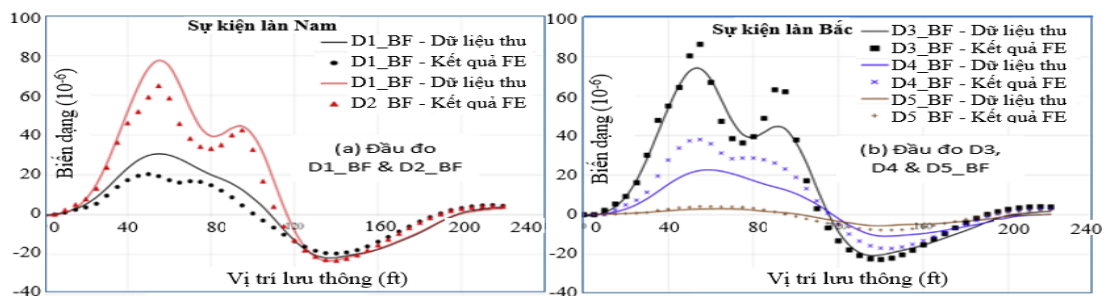


Hình 1. 7 Mặt bằng thiết bị đo dầm hiện trường – Xe HS20 và bảng xếp hạng tải [29] .

Yaohua Deng, Brent M. Phares và cộng sự (2016), [80] trình bày cách tiếp cận giao thông xung quanh tự động (Automated Ambient Traffic-AAT) xếp hạng tải trọng cầu theo hệ số tải trọng, sử dụng biến dạng môi trường xung quanh xe tải. Phương pháp AAT được phát triển bằng cách tích hợp các thuật toán khác nhau để độc lập việc phát hiện xe tải, hiệu chuẩn mô hình cầu và xếp hạng tải trọng cầu. Một cầu dầm thép I-80 ba nhịp, 5 dầm và mặt cầu bê tông 2 làn xe được sử dụng. Kết quả xếp hạng tải trọng và hiệu chuẩn của cầu I-80 sử dụng phương pháp AAT với 03 chiến lược lấy mẫu khác (A, B, C), so sánh với các kết quả thu được khi sử dụng phương pháp xe tải được biết truyền thống (Traditional Known Truck -TKT).



Hình 1. 8 Sơ đồ cầu (đỏ-1 đầu đo biến dạng đáy dầm; vàng-02 đầu đo biến dạng đỉnh đáy dầm; chữ thập đen-đầu đo trên mặt cầu) [80] .

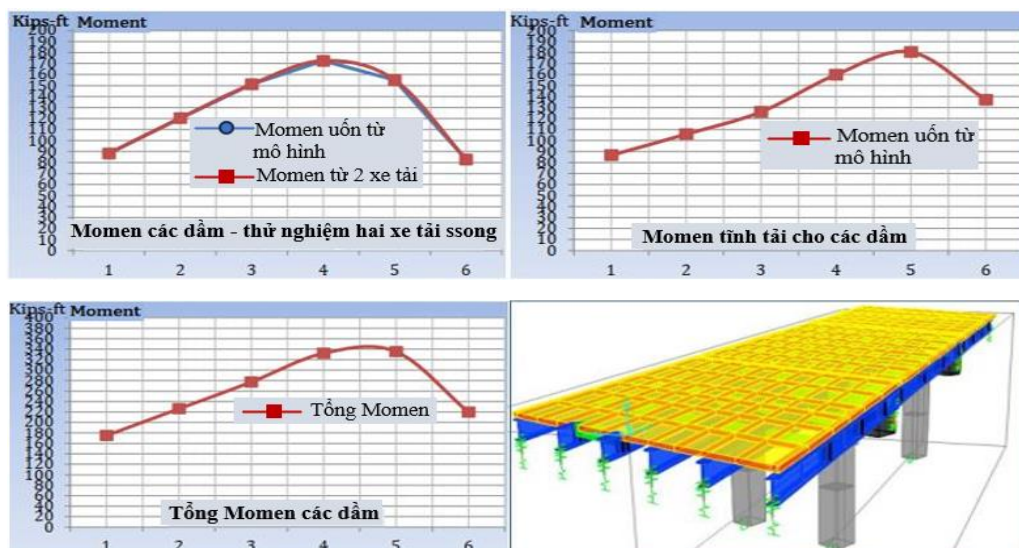


Hình 1. 9 So sánh lịch sử biến dạng thời gian giữa dữ liệu thu thập và kết quả FE bằng phương pháp tiếp cận AAT - Làn nam mặt cắt D [80] .

b/ Xếp hạng tải cầu bằng thử tải bằng chứng

Thử tải bằng chứng, xếp hạng tải cầu theo các tài liệu như [62, 45, 44, 38, 77].

Năm 2015, Maria M. Szerszen [62] đã có báo cáo về phương thức đánh giá và xếp hạng cầu hiện có. Các kết quả thử nghiệm tải trọng cho thấy khả năng thực tế của một cây cầu cũ, xuống cấp và bị ăn mòn, cao hơn nhiều so với dự đoán về mặt phân tích, có độ an toàn thực sự, đặc biệt là những cây cầu cũ hơn. Cụ thể thử tải bằng chứng trên cầu Penny phía đông trong tình trạng xấu, dầm thép bị ăn mòn mất 30% độ dày bản cánh dầm và mặt cầu bê tông đã bị nứt. Xếp hạng tải cuối cùng bởi NDOR (xe tải Loại 3) xếp hạng kiểm kê thấp là 0,31 và xếp hạng vận hành 0,52. Cầu được đề nghị đăng tải thêm 17 tấn và tải giấy phép là 22,2 tấn. Kết quả kiểm tra, tổng biến dạng dầm chịu tải lớn nhất (tĩnh + hoạt tải, số 5) là $360 \cdot 10^{-6}$ bằng 30% biến dạng chảy của dầm ($1138 \cdot 10^{-6}$), tổng biến dạng dầm < 50% biến dạng chảy. Tải trọng thử tối đa 102,24 kips (hai xe tải song song) > 2,3 lần so với 44,4 kips tải cho phép (LFR), không có dèo trong dầm.

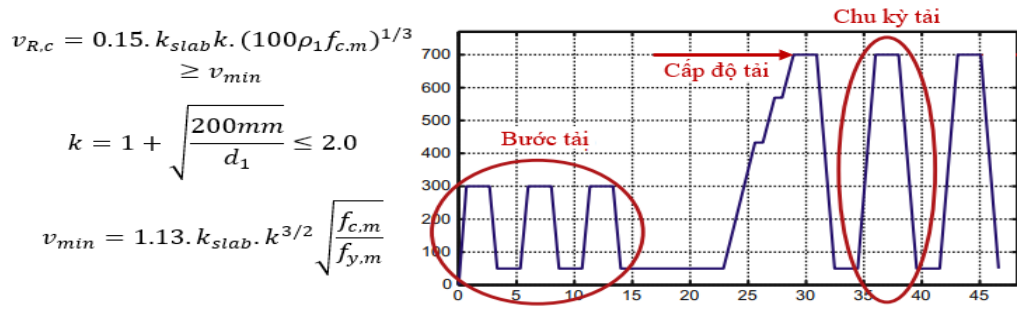


Hình 1. 10 Kết quả thử tải bằng chứng và giá trị tổng momen ở dầm thử nghiệm [62] .

Trình bày thí nghiệm tải trọng kiểm chứng cầu để chứng minh bằng thực nghiệm cầu nhất định có thể chịu hoạt tải theo quy định bởi Eva O.L. Lantsoght và cộng sự. (2017), [45] . Thông qua việc thử tải kiểm chứng của một cầu bản bê tông cốt thép, các khuyến nghị cho việc chuẩn bị, thực hiện và xử lý hậu kiểm thử tải bằng chứng được tóm tắt trong bài viết này. Tính mới của các khuyến nghị là thử nghiệm tải bằng chứng cho lực cắt được nghiên cứu và đề xuất về tiêu chí dừng cho lực cắt và mô men uốn được đưa ra.

$k_{slab} = 1,2$ với cầu bản có gối đỡ đường và tính toán trực tiếp, và $1,0$ với bản có gối đỡ rời hoặc dùng mô hình phần tử hữu hạn; hệ số k là hiệu ứng kích thước; ρ_l là lượng cốt thép dọc; $f_{c,m}$ là cường độ bê tông nén hình trụ; $f_{y,m}$ là cường độ chảy của thép; v_{min} là giới hạn

dưới lực cắt $v_{R,c}$; d_1 là chiều cao có hiệu của cốt thép.



Hình 1. 11 Lực cắt tối hạn - Bước tải, chu kỳ tải, mức tải cho thử tải bằng chứng [45] .

Một công bố khác của Eva O.L. Lantsoght và cộng sự. (2017), [44] xử lý thí nghiệm tải chẩn đoán và bằng chứng:

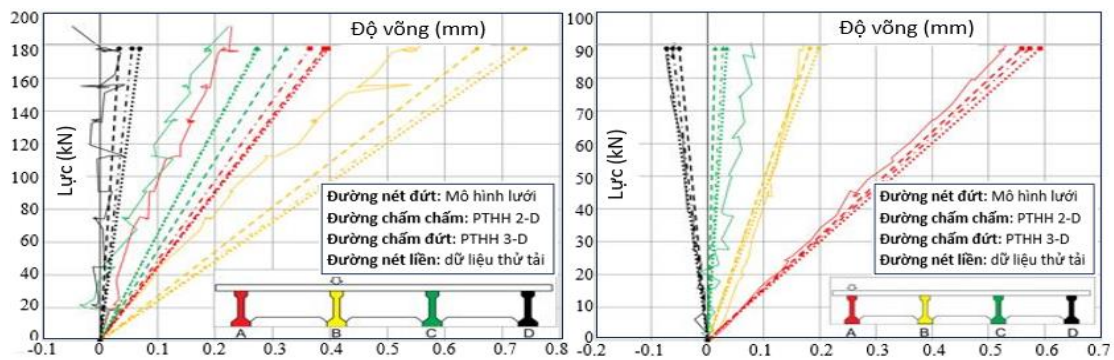
- Thử tải chẩn đoán xác định các tham số: xác định phân bố uốn ngang bằng đo biến dạng trên cầu từ kết quả kiểm tra thực địa; đánh giá độ cứng bằng đo độ võng để so sánh độ cứng phân tích với độ cứng thực tế của cầu và ảnh hưởng suy thoái vật liệu đến hiệu suất kết cấu, xét các yếu tố phi kết cấu, gờ chắn lan can, góp phần vào độ cứng tổng thể của cây cầu; thử nghiệm tải trước khi thông cầu, theo thời gian và sau khi phục hồi.
- Thí nghiệm tải bằng chứng: tải trọng bằng chứng mục tiêu là phải gấp đôi tải trọng tối đa cho phép; các phương tiện đặc biệt như xe tăng quân sự hoặc các phương pháp tải khác là hệ thống kích thủy lực yêu cầu để kiểm tra tải bằng chứng; đặc biệt hữu ích cho các kết cấu có độ không xác định lớn, chẳng hạn như cầu không có thiết kế và cầu bị xuống cấp.



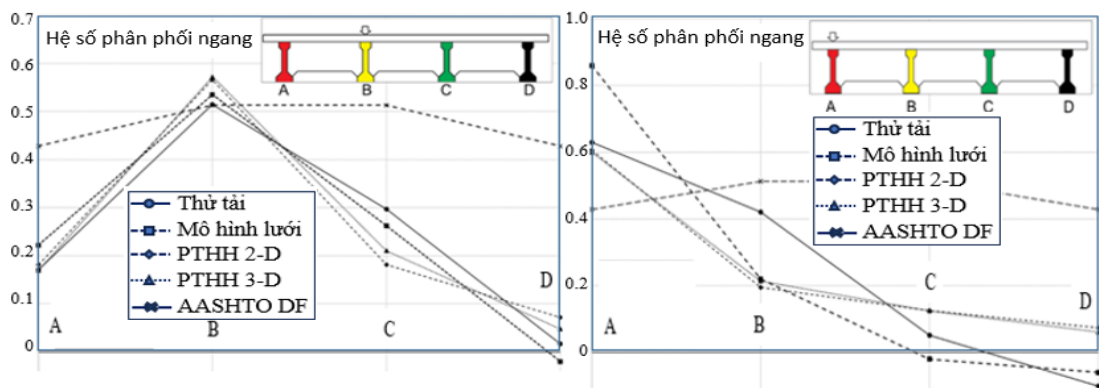
Hình 1. 12 (Trái) Xe thử tải của BELFA trên cầu cạn Vlijmen-Oost- (Phải) Hệ thống kích thủy lực thử tải bằng chứng cầu cạn Zijlweg [44] .

Cameron D. Murray và cộng sự. (2019), [38] sử dụng thử nghiệm phá hoại và mô hình hóa máy tính cho cầu dầm I ứng suất trước mô hình thực, để nghiên cứu chi tiết sự làm việc tới hạn của cây cầu, đặc biệt tập trung vào hệ số phân phối tải trọng sau khi nứt và đóng góp của dầm ngang đầu cầu cho khả năng kết cấu. Một tải trọng tập trung đặt tại 1/4 nhịp cầu trên một dầm bên trong, khi gia tải đến phá hoại, dầm ngang đầu cầu bị nứt. Mô men xoắn đã được quan sát để gây ra nứt ở dầm bên ngoài và dầm ngang đầu cầu quay ra khỏi cây cầu khi mặt cầu bị biến dạng. Một phá hoại cắt đã kết thúc thử nghiệm, tuy nhiên phá hoại cho thấy sự làm việc trượt

hai chiều đã được quan sát trong mặt cầu. Phá hoại này cho thấy, dầm ngang đầu cầu cho phép phân phối lại mô men trong mặt cầu và có tiềm năng tăng khả năng chịu tải trọng. Thử nghiệm ở phạm vi đàn hồi so phù hợp độ võng và hệ số phân bố cắt từ mô hình lưới dầm, FE 2D-3D.



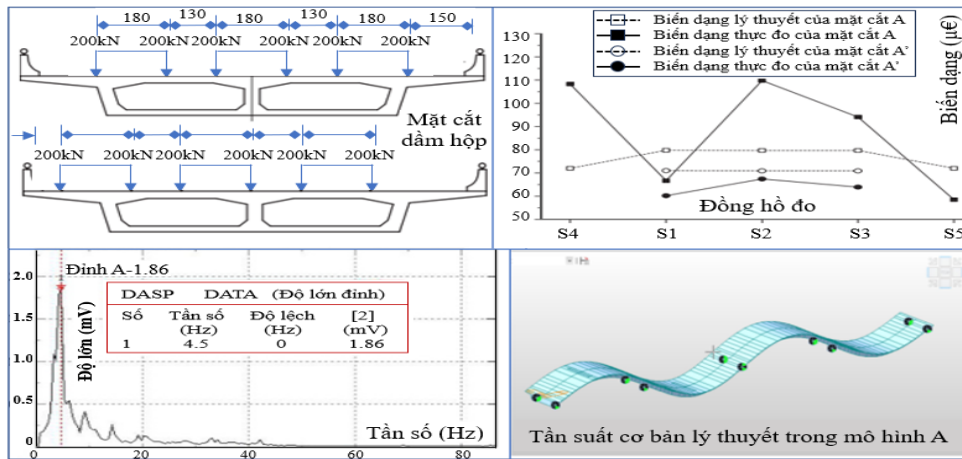
Hình 1. 13 Quan hệ tải trọng và độ võng của mô hình máy tính và cầu quy cách chịu tải tại dầm trong B(trái)- dầm ngoài A(phải) [38] .



Hình 1. 14 DFs các mô hình và thử nghiệm cầu dầm ngoài (trái)-dầm trong (phải) [38] .

Trình bày thử nghiệm vật liệu và hiện trường của cầu dầm hộp T bê tông ứng suất trước sau khi cháy, Xuzheng Liu và các cộng sự. (2019), [77] . Kiểm tra chi tiết đo lửa phá hủy thấy: màu bê tông thay đổi với bờ hóng, hồng và xám trắng ở khu vực phát sinh lửa; Bê tông bị bong tróc, mất lớp phủ ở mặt dưới và sườn dầm, cột trụ; Nứt mặt dầm và cột trụ; Các thanh cốt thép lộ ra trên mặt cầu. Dầm hộp sau cháy được đo đạc và mô hình phân tử hữu hạn (phần mềm Midas) phân tích kết cấu theo hình 1.16.

- Độ võng đo từ thử tải bằng chứng tĩnh, độ cứng nhịp 1 giảm 23% sau khi cháy và không đáp ứng yêu cầu thiết kế. Sau cháy, kết quả độ võng thể hiện tốt hơn kết quả biên dạng.
- Phản hồi động, tần số cơ bản đo của nhịp 1 xấp xỉ 97% so với tần số cơ bản gốc và tần số cơ bản lý thuyết, có ảnh hưởng ít đến tần số của kết cấu bê tông sau khi cháy. Một thử nghiệm tải trọng tại hiện trường sau khi sửa chữa được thực hiện để xác định hiệu quả tăng cường và chứng minh việc sửa chữa là hiệu quả.

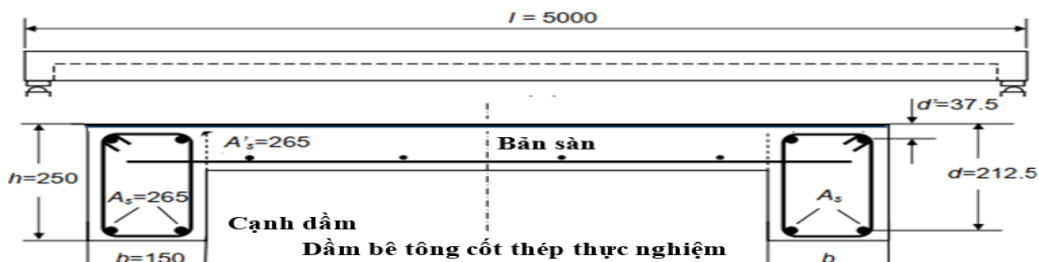


Hình 1. 15 Tỷ lệ (sau-trước) chày_ Độ võng giảm 23% và Tần số xấp xỉ 97% [77] .

1.1.4 Xếp hạng tải cho cầu bằng phương pháp phản hồi động

Theo phương pháp động có các tài liệu tham khảo [53, 32, 65, 61, 39].

Phép đo động của cầu được dùng để thu dữ liệu phản hồi theo modal đã liên kết với các mô hình FE nhằm xác định độ cứng và ước tính khả năng chịu tải cầu trên đường cao tốc và đi bộ, James M W Brownjohn và cộng sự. (2001), [53] . Dùng cập nhật mô hình FE xác thực trước và xác thực sau. Xác thực trước, sử dụng kiểm tra độ rung của kết cấu ban đầu, mô hình FE tham chiếu thu được, chủ yếu điều chỉnh các điều kiện biên (gối déo) và mô đun bê tông. Xác thực sau → cho tải trọng tác động, dùng dữ liệu kiểm tra độ rung sau khi kết cấu bị hư hỏng do tải trọng phá hủy và giả sử các điều kiện biên và mô đun bê tông không thay đổi, mô hình FE đại diện cho sự phá hủy kết cấu được thành lập. Mômen quán tính tiết diện nứt xuyên suốt độ dài được tính cho tình trạng phá hủy. Từ mô men quán tính tiết diện, tính tỷ lệ thép, rồi ước tính momen tối đa và khả năng chịu tải còn lại của kết cấu.



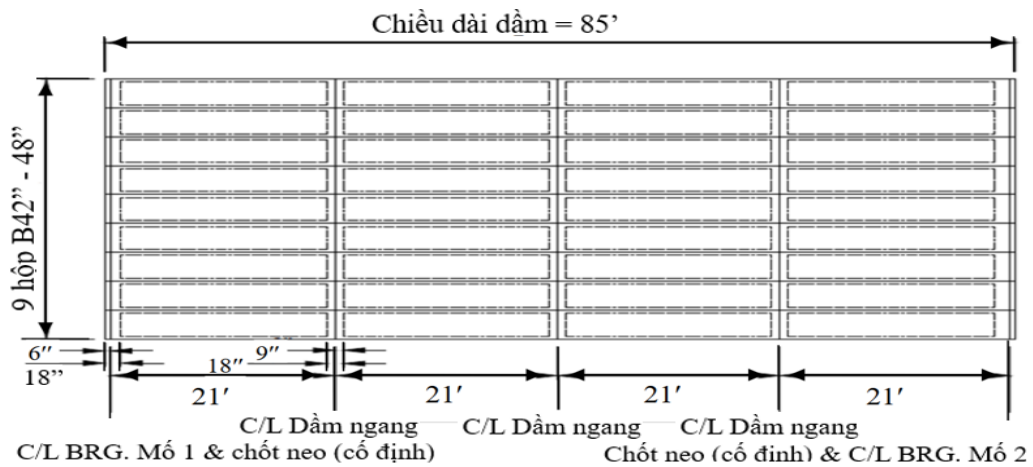
Số	Kết cấu chưa bị phá hoại				Kết cấu bị phá hoại			
	f_a (Hz)	f_e (Hz)	Δf (%)	MAC (%)	f_a (Hz)	f_e (Hz)	Δf (%)	MAC (%)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
1	13.3	12.9	3.20	98.8	10.0	10.0	-0.40	99.7
2	31.3	33.0	-5.12	97.6	32.0	32.2	-0.76	99.0
3	44.5	42.6	4.40	97.3	41.1	40.8	0.69	97.7
4	74.1	70.6	4.99	96.6	70.2	68.8	1.98	93.2
5	78.2	81.4	-3.95	98.2	78.6	78.5	0.13	97.6

$\Delta f = (f_a - f_e) / f_e \times 100\%$

Hình 1. 16 Mô hình-Tương quan modal thực nghiệm và phân tích FE dầm BTCT [53] .

f_a tần số đo kết cấu thực – f_e tần số FE tham chiếu – MAC tiêu chí bảo đảm phương thức.

AKM Anwarul Islam và cộng sự (2014), [32]. Cầu PSBB nhịp đơn ngầm cố định hai đầu, dài 85feet, rộng 36feet, chín dầm hộp dự ứng lực liền kề, (48x42) in/1dầm, 02 làn đường (12 + 2*6)feet. Mô hình cầu FEA được xác nhận bằng thử nghiệm hiện trường và phân tích số. So sánh về đáp ứng động giữa cầu mới nhất bởi FE 5,45 Hz và cầu hiện tại do thử nghiệm 3,44 Hz, tỉ lệ là $3,44/5,45 = 0,63$, cho thấy giảm 37% tần số thứ nhất của cầu trong 25 năm tuổi thọ. Giảm tần số này được liên kết với giảm trọng đánh giá hiện trạng của cây cầu hiện hữu. Dựa trên dữ liệu phân tích động lực học kết cấu và các thông số hình học, nghiên cứu tiến hành tính toán độ cứng trong quá trình khai thác và đánh giá khả năng chịu tải của công trình. Kết quả đánh giá xếp hạng tải trọng được so sánh trong hình 1.19.



Hình 1. 17 Mặt bằng cầu Ashtabula [32].

OHIO LEGAL LOADS						Trọng lượng xe tải (Tấn)	Vận tốc xe tải (mph)	Khả năng của cầu (Tấn)		
Tải chi định	Cấu hình tải trọng			Tổng trọng lượng xe	Khả năng trung bình của 8 cảm biến			Khả năng T. bình theo vận tốc trọng lượng xe tải	Hệ số xếp hạng	
2F1				15 Tấn						
Phần mềm VIRTIS			Phần mềm BARS			16.15	10	64.481	66.977	4.147
Hoạt tải	X. hạng tải (Tấn)	Hệ số Xếp hạng	Hoạt tải	X. hạng tải (Tấn)	Hệ số Xếp hạng		15	70.680		
							20	63.142		
							25	68.822		
OH-2F1	70.63	4.708	OH-2F1	73	4.867					

Hình 1.18 Xếp hạng tải trọng của nghiên cứu tương đồng phần mềm VIRTIS-BARS [32].

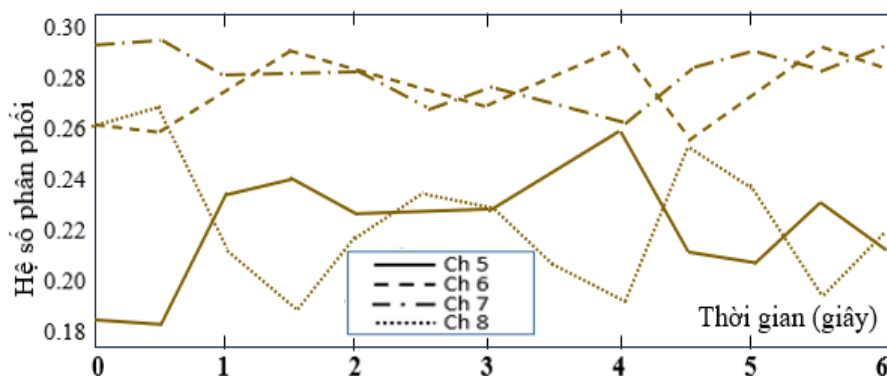
Mostafiz R. Chowdhury và cộng sự. (2003), [65] mô tả quy trình thử tải cầu sử dụng phản ứng gia tốc kế và so sánh với kết quả thu được bằng cách sử dụng dữ liệu đo biến dạng truyền thống. Kết quả chỉ ra, gia tốc kế có thể trích xuất DF (hệ số phân bố lực đàn hồi) thuận lợi cho xếp hạng tải trọng cầu. Khi dùng thiết bị đo biến dạng trên một dầm bê tông bị nứt có thể cung cấp thông tin sai lệch trừ khi chiều dài thiết bị đo dài hơn được dùng để tính gần đúng biến dạng trung bình.

DF là sự phân bố tải trọng xe cho dầm chịu tải tham gia của cầu, DF cho dầm thứ i

trong n dầm chịu tải trọng tính như phương trình dưới.

DLFA thu được từ dữ liệu gia tốc kế phản ánh tốt hơn sự tương tác động giữa xe và cầu do các phương tiện đang di chuyển. Dữ liệu gia tốc được thu thập cho tốc độ di chuyển (~ 8 km/h) và tốc độ nhanh (24-97 km/h) được sử dụng để xác định DLFA dựa trên so sánh các mức phản hồi giả tĩnh và động như phương trình dưới.

$$DF_i(t) = \frac{\dot{y}_i(t)}{\sum_{j=1}^n \left(\frac{I_j}{I_i}\right) \dot{y}_j(t)} \quad DF_i = \frac{M_i}{M_{Total}} \quad DLFA = \frac{\dot{y}_{fast}(t)}{\dot{y}_{slow}(t)}$$



Hình 1. 19 DF phân tải dầm dùng phản ứng động do phương tiện gây ra [65] .

Trình bày một nghiên cứu điển hình giám sát sức khỏe kết cấu của một cầu đang vận hành, Marco Gatti. (2019), [61] . Một cầu dầm BTCT hình hộp chữ nhật $b \times h$ (740×84) cm, 03 nhịp giản đơn, $L=5500$ cm đã so sánh các phản ứng kết cấu, hiệu suất và chi phí của các thử nghiệm tải trọng tĩnh và động. Tại thử nghiệm tải trọng tĩnh, được sử dụng để đo độ võng của bản mặt cầu do 04 xe tải nặng khoảng 36 tấn gây ra. Thử nghiệm tải trọng động, các máy đo gia tốc đặt trên dầm chính được dùng để đo tần số rung động sau một xung lực do một xe tải 2 tấn tạo ra. Dữ liệu từ công tác thử tải động được sử dụng để cập nhật mô hình phân tử hữu hạn của cầu. Nhìn chung, thử tải động không chỉ bổ sung cho thử tải tĩnh khi nghiệm thu cầu mới, mà còn là một phương án khả thi để theo dõi sức khỏe kết cấu đối với các cầu đang trong quá trình khai thác.

Độ võng lớn nhất	δ (mm)
Thử tải cầu 1960s	8.95
Phần tử hữu hạn thô	18.0
Phần tử hữu hạn tinh chỉnh = thử tải động	9.8
Thử tải tĩnh	10.0
Dạng rung động thứ nhất	f (Hz)
Phần tử hữu hạn thô	8.07
Phần tử hữu hạn tinh chỉnh = thử tải động	5.23
Thử tải động	5.2

Hình 1. 20 So sánh độ võng-tần số cơ bản ở giữa nhịp từ phản ứng tĩnh-động [61] .

Các nghiên cứu gần đây, Chuanzhi Dong và cộng sự. (2020), [39] đã thử nghiệm tải cầu để xác định hệ số phân phối tải trọng hoạt tải (DF), hệ số xếp hạng tải trọng (RF), khả năng và phản ứng động. Kết quả thử tải tĩnh được sử dụng để xác định hệ số phân bố ngang, hệ số đánh giá sức chịu tải cũng như kiểm toán trạng thái giới hạn sử dụng thông qua độ võng. Trong khi đó, các đặc trưng dao động — bao gồm tần số dao động riêng, dạng dao động (mode shape) và hệ số xung kích (IM) — được xác định thông qua kết hợp mô hình phần tử hữu hạn (FEM) và dữ liệu thử tải động dưới các kích bản tải trọng và vận tốc khác nhau. Kết quả so sánh cho thấy, việc tính toán hệ số phân phối tải trọng hoạt tải và sức chịu tải theo tiêu chuẩn AASHTO cho ra các giá trị thiên về an toàn hơn so với phương pháp thực nghiệm và mô hình FE. Đồng thời, hệ số xung kích (IM) thực tế thu được trong các trường hợp tải trọng đều nhỏ hơn đáng kể so với mức quy định 33% của AASHTO. Các đặc trưng dao động thu thập được phản ánh rõ hiệu ứng của độ cứng và điều kiện biên thực tế của công trình, cung cấp cơ sở dữ liệu tin cậy để hiệu chỉnh mô hình FE (FEMU). Dựa trên mô hình FE đã được hiệu chỉnh, có thể kết luận rằng sức chịu tải của cầu sau khi sửa chữa đã đáp ứng yêu cầu khai thác.

1.1.5 Xếp hạng tải cho cầu theo phương pháp thống kê xác suất - chỉ số độ tin cậy

Theo phương pháp này có các tài liệu tham khảo sau [54, 48, 79, 78].

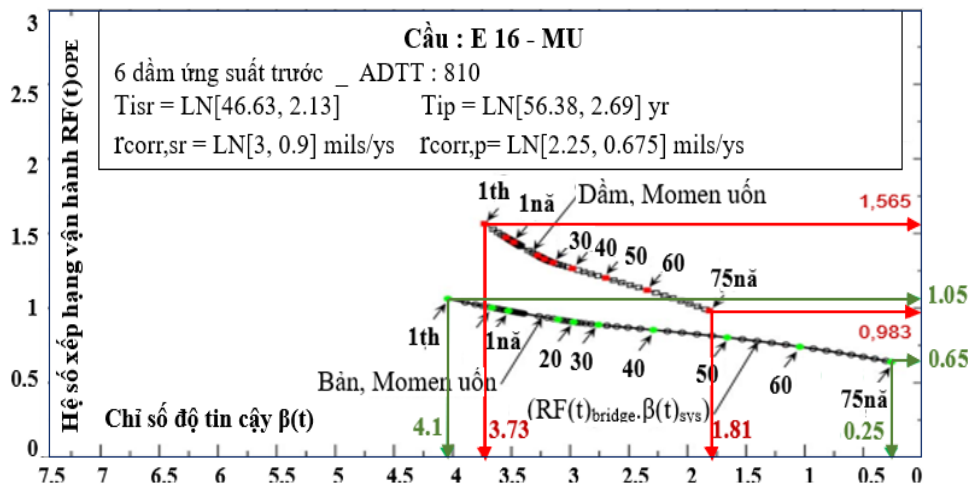
John M. Samuels và cộng sự. (2001), NCHRP Report 454 [54]. Hiệu chuẩn hệ số tải trọng cho đánh giá cầu theo LRFR là chọn các hệ số tải trọng và sức kháng tương ứng với một chỉ số độ tin cậy thống nhất. Hàm trạng thái giới hạn: $g(R, D, L) = R - D - L = 0$ và biến ngẫu nhiên là sức kháng, R , hiệu ứng tĩnh tải, D , và hiệu ứng hoạt tải, L , được xác định. Sau đó, dữ liệu sức kháng và tải được thu thập cho quá trình hiệu chuẩn. Ở mức tối thiểu, mỗi biến nên có một hệ số biến thiên (COV), mô tả “sự phân tán của biến” và một hệ số Bias, là tỷ lệ giữa giá trị trung bình và giá trị thiết kế danh nghĩa. Sau cùng, chỉ số độ tin cậy mục tiêu được chọn và các hệ số tải trọng và sức kháng có thể được xác định. β mục tiêu vận hành là 2,5 được dùng thay vì 3,5 cho mức kiểm kê. Hệ số an toàn từng phần được xác định từ các tỷ số hoạt tải / tĩnh tải thuộc $(0,5 \div 2)$. Hệ số hoạt tải đề nghị thuộc $(1,65 \div 1,77)$ cho chỉ số độ tin cậy ứng với đánh giá mức độ kiểm kê. Đánh giá mức độ vận hành, hệ số hoạt tải thuộc $(1,28 \div 1,35)$. Hệ số hoạt tải vận hành thận trọng là 1,35.

Trường hợp	Bias	COV	Phân phối
Tĩnh tải	1,04	8%	Thông thường
Hoạt tải	1,00	18%	L.Thông thường
Sức kháng	1,12	10%	Thông thường

Hình 1. 21 Thông kê tính toán chỉ số an toàn [54].

Tương tác phụ thuộc thời gian giữa hệ số xếp hạng tải và độ tin cậy cho xếp hạng tải

trọng là một biện pháp quan trọng để quản lý cầu, Ferhat Akgul và Dan M. Frangopol. (2004), [48]. Mặc dù xếp hạng tải đại diện cho thực tiễn hiện tại trong đánh giá cầu, phương pháp độ tin cậy có xét sự tăng hoạt tải và các mô hình suy giảm vật liệu, thường được sử dụng để đánh giá vòng đời cầu. Hệ số xếp hạng vận hành đối với độ uốn của dầm trong

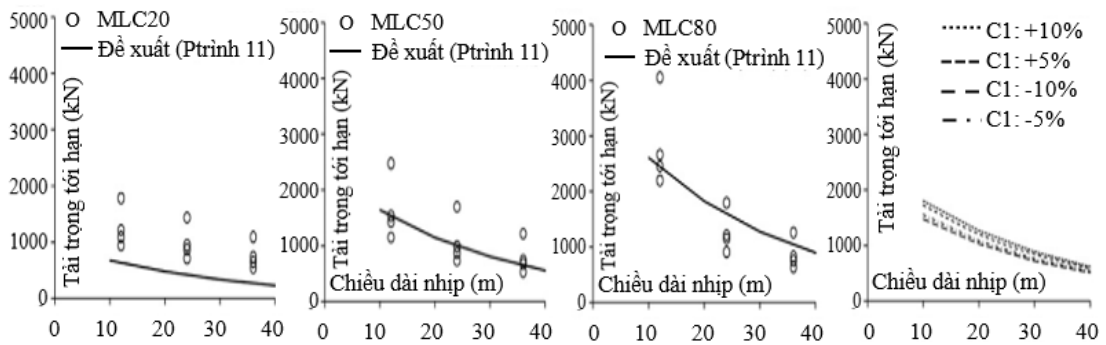


Hình 1.22 Xếp hạng vận hành phụ thuộc thời gian so chỉ số độ tin cậy cầu E16-M[48]

thời gian tồn tại của cầu E-16-MU (hình 1.23) giảm 37% (từ 1,565 → 0,983), ngược lại chỉ số độ tin cậy của hệ thống giảm 51% (từ 3,73 → 1,81). Giảm của xếp hạng tải nhỏ hơn so với độ tin cậy. Đối với các bản, như bản E-16-MU, mức giảm lớn hơn đáng kể so với độ tin cậy, như 25% với xếp hạng từ (1 → 0,75) và 93% đối với độ tin cậy từ (4,1 → 0,25). Vì chỉ số độ tin cậy đánh giá mức độ an toàn thực tế kết cấu, hệ số xếp hạng chỉ phản ánh khả năng chịu tải trọng trực tiếp, nên việc giảm mạnh mức độ an toàn thực tế của kết cấu đáng được quan tâm hơn so với việc giảm khả năng chịu tải trọng trực tiếp. Vậy, có thể thích hợp hơn để đánh giá tuổi thọ cầu dựa trên chỉ số độ tin cậy hơn là xếp hạng tải.

Một đánh giá an toàn của cầu dầm thép tấm chịu tải trọng quân sự (Military Load Classification -MLC), Yail J. Kim (2012), [79]. Các mô hình phần tử hữu hạn ba chiều được phát triển để dự đoán phản ứng cầu, gồm ba độ dài nhịp khác nhau (L=12m, 24m và 36m). Các phương pháp đánh giá được dùng ở đây là tiếp cận trọng số và xếp hạng tải trọng theo ứng suất cho phép (ASR), xếp hạng tải theo hệ số tải (LFR), và hệ số sức kháng- tải trọng (LRFr). Chỉ số an toàn là 2,5 được khuyến nghị để đánh giá các cây cầu chịu tải của xe tải MLC.

Xe tải	Dầm Tải	L = 12m		L = 24m		L = 36m	
		Dầm ngoài	Dầm trong	Dầm ngoài	Dầm trong	Dầm ngoài	Dầm trong
MLC20	1 lần	6.80	6.94	5.88	5.97	4.89	4.89
	2 lần	6.60	6.64	5.62	5.65	4.62	4.57
MLC50	1 lần	6.15	6.59	4.85	5.45	3.85	4.34
	2 lần	5.70	5.98	4.25	4.66	3.22	3.58
MLC80	1 lần	6.33	6.69	4.22	4.96	3.18	3.83
	2 lần	6.07	6.16	3.62	4.26	2.53	2.90

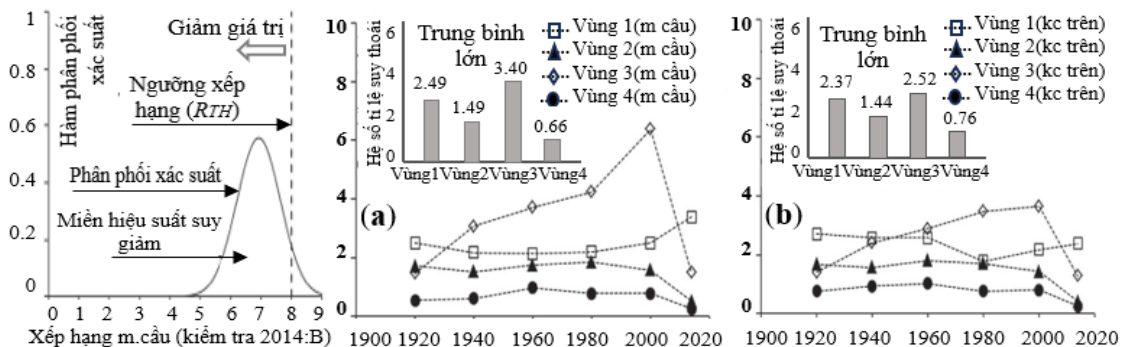


Hình 1. 23 (trên) Chỉ số an toàn; (dưới) Biểu đồ công thức đề xuất MLC(20;50;80) [79] .

- Trọng lượng tới hạn của xe tải MLC có từ FEA: $Wcr = Wn * (\sigma_{avail} / \sigma_n)$ trong đó Wn là trọng lượng danh nghĩa xe tải MLC và σ_n là ứng suất lớn nhất tại thớ chịu kéo cực hạn của dầm chịu tác dụng Wn . σ_{avail} ứng suất khả dụng.
- Trọng lượng từ công thức đề xuất: $Wcr = C_1 \text{Exp}(C_2 L) * Wn$, trong đó C_1 và C_2 hằng số thực nghiệm. Theo hồi quy, $C_1 = 7,7487$ và $C_2 = 0,03133$ chiều dài cầu $L < 40$ m, tải lên đến MLC80.

Trình bày phân tích dữ liệu lớn về đánh giá tình trạng cầu ở Hoa Kỳ, Yail J. Kim. (2017), Leticia B. Queiroz. [78] . Một bộ dữ liệu lớn bao gồm 1.002.172 bản mặt cầu và kết cấu bên trên được xây dựng (từ Kiểm kê Cầu Quốc gia NBI). Dữ liệu phân tích cầu NBI, hình 1.26. Dữ liệu của NBI tăng nhiều theo thời gian, cập nhật thông tin kỹ thuật thường xuyên (5–10) năm/lần, và dùng nghiên cứu đề xuất cho phép cơ quan giao thông vận tải thực hiện chương trình quản lý cầu hiện đại.

Năm thanh tra	Vùng							
	1		2		3		4	
	Bang A	Bang B	Bang C	Bang D	Bang E	Bang F	Bang G	
2010	33.557	9551	30.157	16.031	15.908	1216	1250	
2011	33.678	9612	30.473	16.058	16.004	1213	1269	
2012	34.062	9688	30.611	16.064	16.034	1212	1286	
2013	24.955	8612	26.621	13.137	12.070	1125	1196	
2014	25.401	8668	26.588	12.961	12.137	1137	1544	
Tổng theo bang	151.653	46.131	144.450	74.251	72.153	5903	6545	
Tổng 4 vùng	501.086 (Nghiên cứu tất cả các phần tử kết cấu thượng tầng và mặt cầu = 1.002.172)							



Hình 1. 24 (trên) Dữ liệu cầu dùng phân tích ở 04 vùng Hoa Kỳ thống kê 2014. (dưới) Ước tính miền suy giảm (Trái) - Hệ số suy giảm của các khu vực riêng (Phải): (a) Bản mặt cầu; (b) Kết cấu nhịp [78] .

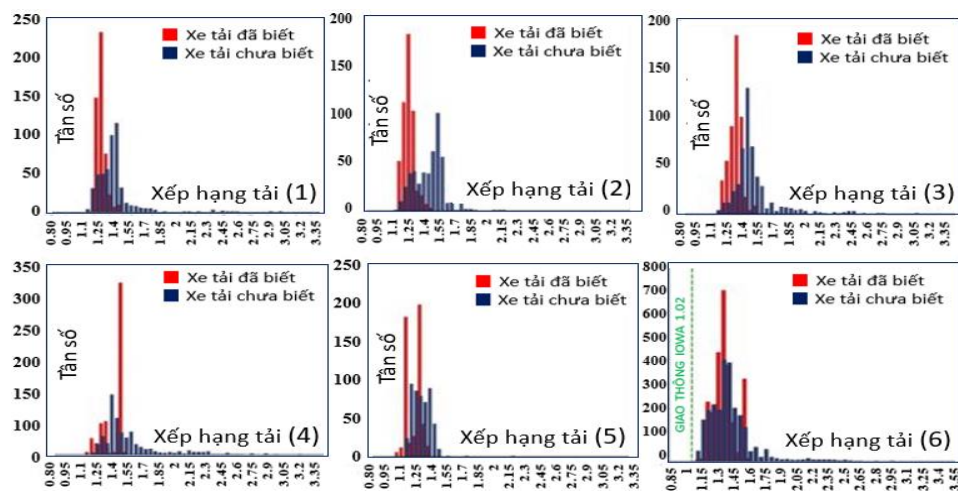
1.1.6 Xếp hạng tải cho cầu bằng thuật toán sử dụng hệ thống giám sát sức khỏe kết cấu (SHM) và dữ liệu giao thông ngẫu nhiên (WIM)

Theo SHM và dữ liệu (WIM) có tài liệu tham khảo [56, 57, 42, 45].

Junwon Seo và cộng sự. (2013), [56] . Một cây cầu dầm thép liên hợp bê tông ba nhịp liên tục (29,7 - 38,1 - 29,7)m ở Iowa và các đặc điểm xe tải xung quanh, sử dụng dữ liệu WIM từ Iowa DOT chọn để nghiên cứu. Hệ thống SHM cung cấp 05 bộ dữ liệu biến dạng

$$PE = 100. \left(\frac{\sum (\varepsilon_f - \varepsilon_a)^2}{\sum (\varepsilon_f)^2} \right) \quad PSE = 100. \left(\frac{\sum \max |\varepsilon_f - \varepsilon_a|}{\sum \max |\varepsilon_f|} \right) \quad CC = \left(\frac{\sum (\varepsilon_f - \bar{\varepsilon}_f)(\varepsilon_a - \bar{\varepsilon}_a)}{\sum \sqrt{(\varepsilon_f - \bar{\varepsilon}_f)^2 (\varepsilon_a - \bar{\varepsilon}_a)^2}} \right)$$

Hình 1. 25 Các công thức hồi quy bình phương nhỏ nhất [56] .

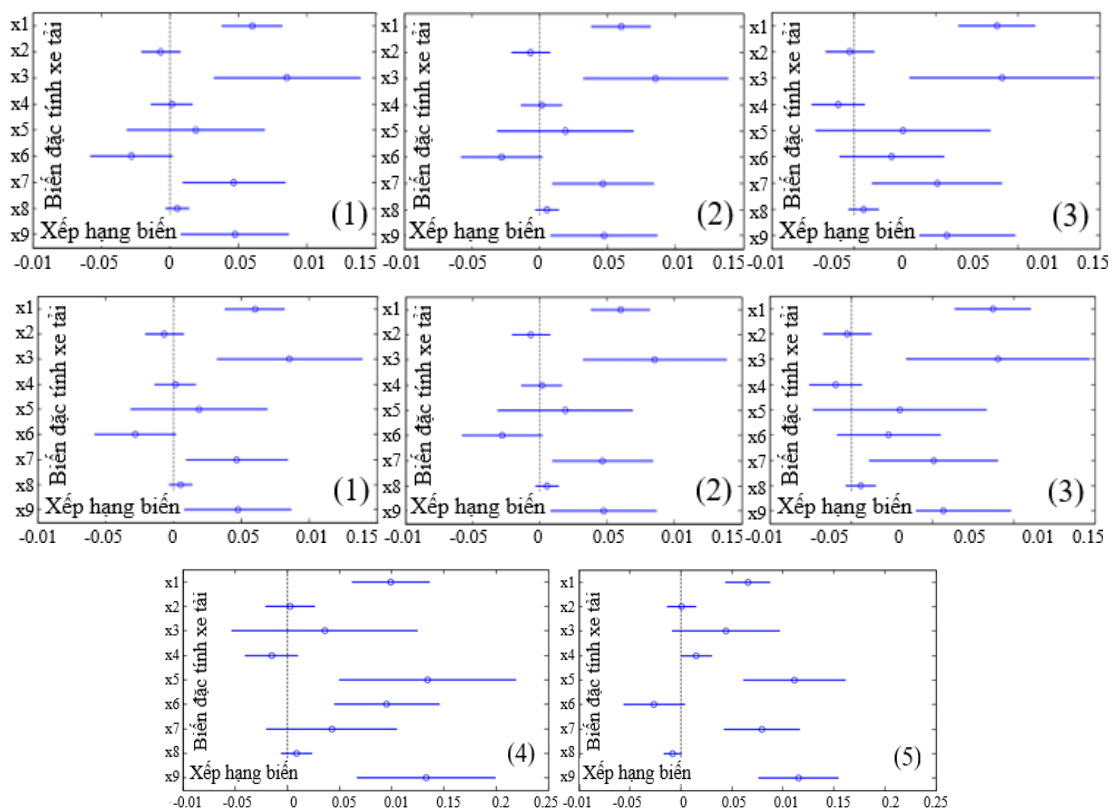


Hình 1. 26 Bộ phân phối xếp hạng tải trọng cho (1) (2) (3) (4) (5) biến dạng (1 2 3 4 5).

thời gian thực của cầu từ môi trường xung quanh của xe tải năm trực. Các mô hình phần tử hữu hạn được tạo và được hiệu chỉnh bằng cách sử dụng xe tải WIM từ hai tình huống, lựa chọn đặc tính xe tải đã biết và chưa biết. Quá trình hiệu chuẩn nhiều vòng lặp và phân tích hồi quy bình phương min để giảm thiểu sai số trung bình giữa các phản hồi tại hiện trường và phân tích, công thức hình 1.26. Các mô hình kết hợp xe tải HS-20 được sử dụng để tính toán phân bố xếp hạng cho cả hai tình huống. Xếp hạng trung bình cho các xe tải đã biết khoảng (1,29 - 1,47), xếp hạng các xe tải không xác định thay đổi (1,26 -1,54) khác không nhiều hệ số biến thiên hình 1.27.

Mô hình hồi quy xếp hạng tải trọng phù hợp nhất cho phép đánh giá khả năng kết cấu theo thời gian thực chính xác và hiệu quả nhất đối với các cầu thép phức tạp chịu các xe tải bất kỳ, Junwon Seo và cộng sự. (2015), [57] . Sử dụng 05 bộ biến dạng (SHM) và dữ liệu trạm cân động (WIM), 04 mô hình hồi quy được tạo có (04 khoảng cách và 05 trọng lượng) trực để dự đoán 500 xếp hạng tải thông thường:

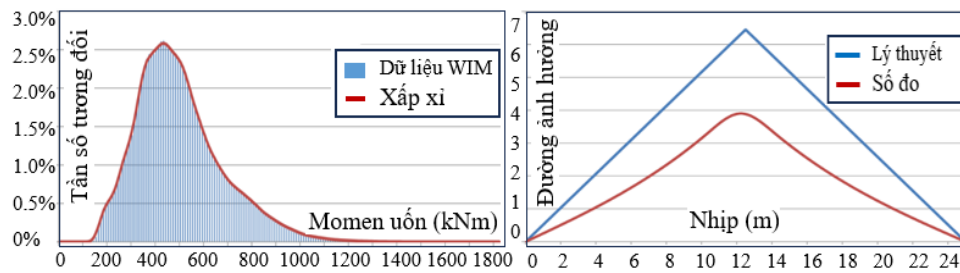
Mô hình hồi quy 1, dùng các đặc tính của xe tải thứ 351 từ 175.392 xe tải năm trực WIM thông qua xếp hạng tải hoạt động do bộ biến dạng 1. Mô hình hồi quy 2, dùng các đặc tính của xe tải trích xuất ngẫu nhiên của 175.392 xe tải năm trực WIM thông qua xếp hạng tải hoạt động do bộ biến dạng 1. Mô hình hồi quy 3, sử dụng dữ liệu xe tải thu được qua các khoảng dung sai nhận dạng xe tải. Ví dụ, dữ liệu xe tải 6933 được trích xuất cho các khoảng dung sai của bộ biến dạng 1 và từ bộ dữ liệu 500 xe tải đã được chọn ngẫu nhiên để sử dụng tạo mô hình hồi quy. Mô hình hồi quy 4, sử dụng dữ liệu kết hợp từ mô hình hồi quy 3 với tất cả dữ liệu xếp hạng do tất cả năm bộ biến dạng để tạo ra mô hình hồi quy. Bốn mô hình hồi quy sẽ được so sánh bằng đồ họa và thống kê bằng sử dụng hàm phân phối tích lũy (Cumulative Distribution Function - CDF). Dùng mô hình hồi quy phù hợp nhất, phân tích độ nhạy được thực hiện để tìm xem mỗi thông số đặc tính của xe tải ảnh hưởng đến xếp hạng dự đoán mức nào hình 1.29.



Hình 1. 27 Ảnh hưởng tham số đặc tính của xe tải đến xếp hạng tải: (1) biến dạng 1; (2) biến dạng 2; (3) biến dạng 3; (4) biến dạng 4; và (5) biến dạng 5 [57] .

Qua công cụ giám sát sức khỏe kết cấu (SHM) cho phép việc quan sát và ghi lại nhiều dữ liệu khác nhau trong một khoảng thời gian để ước tính tình trạng hiện tại và theo dõi những thay đổi cuối cùng trong sự làm việc của cầu, Dominik Skokandic và cộng sự. (2017), [42] . Các phép đo cân động cầu B-WIM, như một phần của việc giám sát tình trạng kết cấu của các cây cầu hiện có, cung cấp các thông tin chi tiết về khối lượng và trọng lượng giao thông, đồng

thời theo dõi phản ứng kết cấu trên cầu. Các mô hình tải trọng cụ thể tại vị trí kiểm tra trên cầu có thể được phát triển từ dữ liệu giao thông thu thập, dùng các phép ngoại suy khác nhau.



	Dầm 1	Dầm 2	Dầm 3	Dầm 4	Dầm 5
M_{Rd}/M_{Ed} -theo tiêu chuẩn	1.046	0.992	1.022	1.124	1.390
M_{Rd}/M_{Ed} -theo PP đề xuất	2.036	1.965	1.894	2.042	2.797

Hình 1. 28 (trên) Các hàm mật độ xác suất- đường ảnh hưởng trường hợp mômen uốn (WIM). (dưới) Bảng phân tích kết quả xếp hạng tải cầu (Skokandić 2016) [42] .

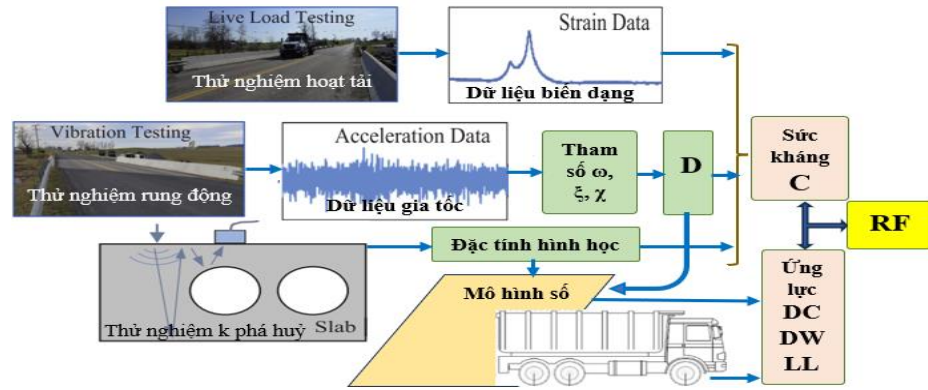
Đối với việc áp dụng rộng rãi hệ thống giám sát sức khỏe kết cấu (SHM) trong các cây cầu, Hadi T. Al-Khateeb và cộng sự. (2018), [45] chứng minh giá trị gia tăng của hệ thống SHM trong việc bảo trì và vận hành cây cầu đối với chủ sở hữu. Sử dụng hệ thống và dữ liệu SHM để cung cấp xếp hạng tải trọng hoạt tải chính xác, thường xuyên và thực tế hơn của cây cầu, vì xếp hạng tải trọng được chấp nhận rộng rãi là điều gần nhất mà chủ sở hữu cầu có hiện nay, đối với "sức khỏe" chỉ số của kết cấu. Để giải quyết nhu cầu này, một phương pháp đã được phát triển sử dụng dữ liệu từ hệ thống SHM kết hợp với các phương trình đánh giá tải trọng thông thường, để tính toán các hệ số đánh giá tải liên tục trong suốt vòng đời của cầu. Xếp hạng bằng SHM có tính đến các thay đổi chậm khác nhau do hiệu ứng nhiệt và sự suy giảm chất lượng, cũng như phản ứng trong khai thác thực tế do hoạt tải.

1.1.7 Xếp hạng tải cho cầu khi không còn hồ sơ thiết kế ban đầu

Xếp hạng theo phương pháp này có tài liệu tham khảo [30, 31].

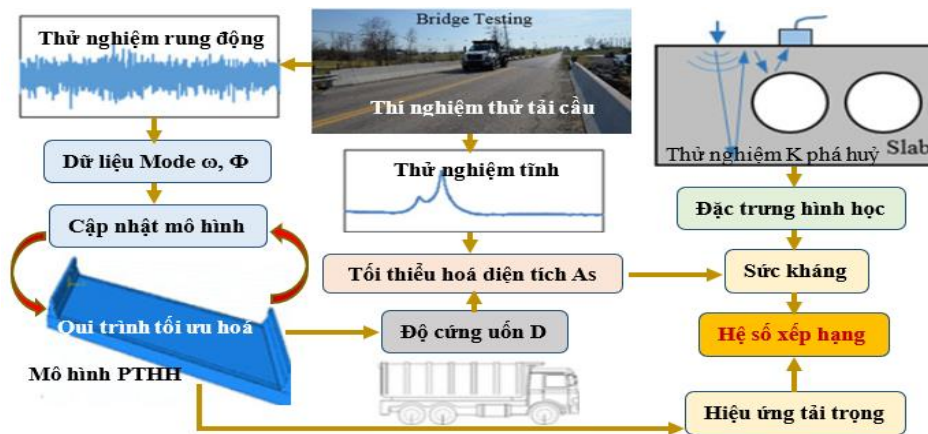
Đối với các trường hợp kết cấu không có hồ sơ thiết kế, Abdollah Bagheri và cộng sự. (2018), [30] đề xuất phương pháp sử dụng một loạt các phân tích phần tử hữu hạn đã được thực hiện để mô tả các thuộc tính modal của một nhóm lớn cầu với các đặc điểm hình học khác nhau. Các kết quả và đầu vào hình học sau đó đã được sử dụng để phát triển mô hình mạng nơ-ron nhân tạo dự đoán độ cứng uốn của cầu dựa trên tần số modal đo có được từ thử nghiệm dao động. Các phương pháp không phá hủy được trình bày để có được kích thước mặt cắt của cầu cũng như mô đun đàn hồi và cường độ nén của bê tông. Và, diện tích mặt cắt ngang của cốt thép bên trong được ước tính thông qua thử nghiệm tải trọng bán tĩnh kết hợp với phương pháp tối ưu hóa. Các tính chất vật liệu và kết cấu này sau đó được sử dụng để

xác định hiệu ứng tải và cuối cùng là khả năng chịu tải trọng của cầu.



Hình 1. 29 Khung phương pháp đề xuất xếp hạng tải cầu mà thiếu hồ sơ [30].

Abdollah Bagheri và cộng sự. (2019), [31]. Đề xuất một phương pháp kết hợp, sử dụng thử nghiệm rung động và tải trọng trực tiếp cùng với các kỹ thuật mô phỏng số và cập nhật mô hình, để tập trung vào ước tính các thông số kết cấu chưa biết. Các đặc tính vật liệu của cầu và lượng cốt thép để tính toán khả năng chịu uốn của cầu được xác định thông qua kết quả cập nhật mô hình và phương pháp tiếp cận không phá hủy.



Hình 1. 30 Lưu đồ phương pháp đề xuất xếp hạng tải cầu hạn chế tài liệu [31].

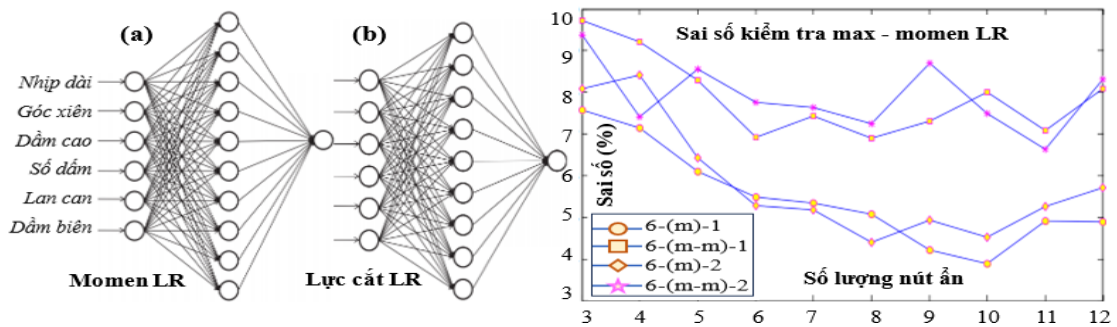
Mô hình cập nhật sau đó được sử dụng để xác định các hiệu ứng tải trọng để tính các hệ số xếp hạng tải và các kết quả này được kết hợp với kết quả thử nghiệm tải trọng hoạt tải cho ra khả năng chịu tải của cầu và xếp hạng tải trọng cầu.

1.1.8 Xếp hạng tải cho cầu bằng cách sử dụng mạng nơ-ron nhân tạo

Sử dụng mạng nơ-ron nhân tạo xếp hạng tải có tài liệu tham khảo như [69, 70]

Theo hướng ứng dụng trí tuệ nhân tạo, Oguzhan Hasançebi, Taha Dumlupınar (2013), [69] trình bày một quy trình phân tích xếp hạng tải trọng chi tiết để đánh giá tình trạng của cầu thông qua các mô hình phần tử hữu hạn (Finite Element-FE) phi tuyến và mạng nơ-ron nhân tạo (Artificial Neural Network - ANN). Một phân tích thống kê được thực hiện đầu tiên, trong đó tính phổ biến của các tham số thiết kế và mức độ phụ thuộc giữa các đặc tính kết cấu và hình

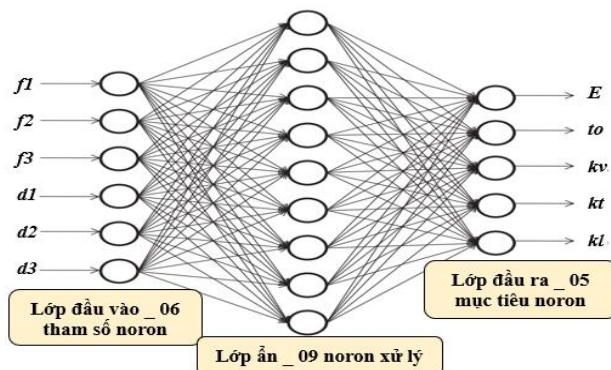
học của các cây cầu được nghiên cứu để xác định sáu tham số cầu độc lập chi phối phân tích xếp hạng tải trọng của cầu: *chiều dài nhịp (L)*, *chiều cao dầm (d)*, *số lượng dầm T (nb)*, *góc chéo (α)*, *hiện diện dầm ngang cuối và lan can RC*.



Hình 1. 31 (trái) Kiến trúc mạng cuối (a) 6-10-1 momen LR và (b) 6-9-1 lực cắt LR. (phải) Lỗi kiểm tra tối đa theo số lượng nút lớp ẩn của momen LR [69] .

Rõ ràng, kích thước của cơ sở dữ liệu cần thiết cho đào tạo mạng sẽ tăng lên với số lượng tham số cầu tăng lên. Một mạng được đào tạo đúng cách, xếp hạng tải trọng cho tất cả các cây cầu phổ biến được thực hiện trong các vấn đề chỉ trong vài giây bất kể kích thước cầu. Do đó, so với FE tiêu chuẩn dựa trên đánh giá xếp hạng tải trọng, phương pháp đề xuất cho phép nhiều lệnh giảm cường độ trong thời gian tính toán và nỗ lực trong việc đánh giá tình trạng của cầu phổ biến một cách đáng tin cậy và chính xác.

Theo hướng ứng dụng trí tuệ nhân tạo, Oguzhan Hasançebi, Taha Dumlupınar. (2013), [70] sử dụng các kết quả thu được từ các phân tích động và tĩnh được tổng hợp để tạo ra 150 bộ dữ liệu cầu cho phát triển các mạng nơ-ron được đào tạo dựa trên các phân tích phản hồi tuyến tính và phi tuyến tính của cầu riêng biệt. Trong cả hai tập dữ liệu, gồm 150 mẫu cầu huấn luyện được đảo ngược để, 06 thành phần phản hồi là ($f_1, f_2, f_3, d_1, d_2, d_3$) là các tần số riêng và độ võng của mẫu cầu được phân tích từ mô hình FE, là đầu vào và 05 tham số cầu là độ cứng, modun đàn hồi (tức là, k_v, k_t, k_l, E và t_o) dưới dạng kết quả đầu ra. Các phản hồi mô phỏng thu được từ các mô hình FE đã hiệu chỉnh được so sánh với các phản hồi đo tại hiện trường của cầu để xác định độ chính xác của ước tính tham số và sự thành công của quá trình cập nhật mô hình.



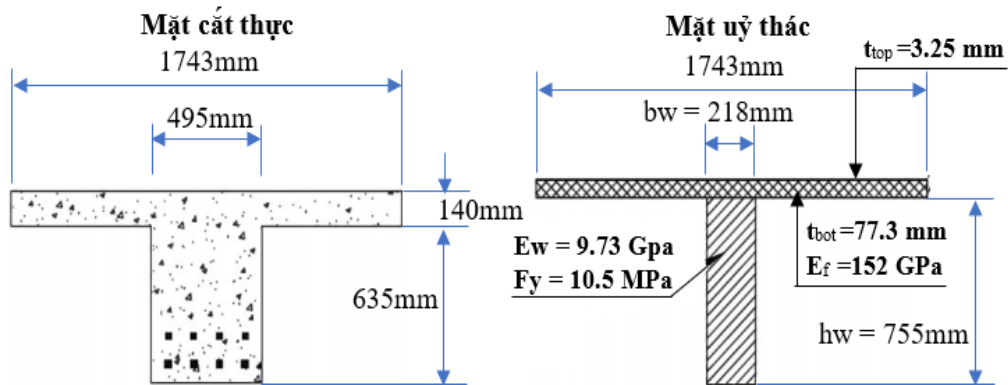
Hình 1. 32 Kiến trúc ANN dùng cập nhật mô hình FE tuyến tính và phi tuyến [70] .

1.1.9 Xếp hạng tải cho cầu bằng thuật toán riêng

Bằng thuật toán riêng xếp hạng tải có tài liệu tham khảo [35, 74].

Năm 2020, Andrew P. Schanck, William G. Davids, [35] trình bày kỹ thuật phân tích phần tử hữu hạn ủy nhiệm phi tuyến (nonlinear Proxy Finite Element Analysis - PFEA) mới được phát triển cho phép dự đoán hiệu quả tính toán của phản ứng cầu đến phá hoại trong khi tính toán độ dẻo của dầm và phân phối lại tải trọng trong kết cấu ba chiều. PFEA sử dụng thuật toán di truyền để tối ưu hóa các tham số cấu thành và hình học được gán cho sự rời rạc phần tử vỏ của mỗi dầm có đáp ứng độ cong-mô men tương đương với các mặt cắt dầm bê tông cốt thép, từ hai biểu thức dưới và mặt cắt ủy thác theo hình 1.35.

$$\int \sigma dA \approx \left(\sum_{j=1}^n f_{c_j} b_j t \right) + f_s A_s = 0 \quad \text{và} \quad \int \sigma y dA - M \approx \left(\sum_{j=1}^n f_{c_j} b_j y_j t \right) + f_s A_s y_s - M = 0$$



Hình 1. 33 Cầu 3776 mặt cắt thực và mặt cắt ủy thác [35] .

Lớp t_{top} có mô đun đàn hồi E_f theo hướng ngang. Tổng độ cứng uốn ngang của cả hai lớp bản

cánh dầm = độ cứng uốn thực tế của bản mặt cầu, biểu thức $t_{top} = \sqrt[3]{\frac{12E_c I_c}{E_f}} - t_{bot}$,

t_{top} là độ dày của lớp bản cánh dầm trên cùng, E_c là độ đàn hồi thực tế mô đun của bê tông, và I_c là mômen quán tính không nứt trên một đơn vị.

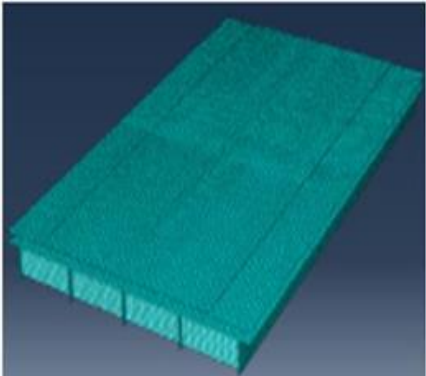
Kỹ thuật PFEA dự đoán chính xác các cầu thực tế phản ứng tải trọng dọc và tải ngang, và kết hợp cả độ dẻo của dầm và phân phối lại tải trọng khi cũng có thể đánh giá các cầu với hình học không đồng nhất.

Hệ số làn dầm suy ra từ thử tải hiện trường, $GLFi = \frac{2S_{unc_i} \cdot \epsilon_i r_i}{\sum_{i=1}^{ng} S_{unc_i} \cdot \epsilon_i r_i}$.

với: S_{unc_i} là mô đun tiết diện không kéo của dầm thứ i , ϵ_i là biến dạng đo được ở dầm thứ i ; r_i là hệ số nứt mặt cắt trong dầm thứ i sẽ được xác định sau đó; và ng là tổng số dầm; 02, ở tử số của $GLFi$ là cả hai làn xe của cầu đều được chịu tải trong quá trình thử nghiệm.

GLF Method	Girder Number Bridge 3776 comparison					GLF Method	Girder Number Bridge 3307 comparison				
	G1	G2	G3	G4	G5		G1	G2	G3	G4	G5
PFFA	0,238	0,389	0,510	0,487	0,376	PFFA	0,343	0,435	0,480	0,427	0,316
Test, r = 1,0	0,225	0,545	0,464	0,434	0,332	Test, r = 1,0	0,298	0,427	0,558	0,458	0,260
% Error, r = 1,0	-5,83	40,09	-8,91	-	-	% Error, r = 1,0	-	-1,80	16,42	7,36	-
Test, r = 0,643	0,249	0,388	0,514	0,481	0,368	Test, r = 0,779	0,354	0,395	0,517	0,424	0,309
% Error, r = 0,643	4,28	-0,15	0,90	-1,25	-2,15	% Error, r = 0,779	2,99	-9,01	7,87	-0,51	-2,15

GLF Method	Girder Number Bridge 3356 comparison of GLF					
	G1	G2	G3	G4	G5	G1
PFFA	0,105	0,223	0,376	0,506	0,576	0,215
Test, r = 1,0	0,105	0,199	0,419	0,494	0,458	0,325
% Error, r = 1,0	0,06	-10,67	11,31	-2,25	-20,54	-51,67
Test, r = 0,796& 0,583	0,118	0,224	0,375	0,556	0,514	0,213
% Error, r = 0,643&0,583	12,56	0,44	-0,39	9,92	-10,66	-0,67



Hình 1. 34 So sánh hệ số làn dầm GLF theo PFEA và suy từ thử tải chân đoán [35] .

1.2 Tổng quan tình hình nghiên cứu xếp hạng tải công trình cầu ở trong nước

Ở Việt Nam bài toán đánh giá cầu cũ chứa đựng nhiều yếu tố không chắc chắn hơn bài toán thiết kế, bởi qui luật suy thoái vật liệu, tính biến động của tải trọng khai thác hiện tại. Bên cạnh những khó khăn do chứa đựng nhiều yếu tố không chắc chắn, ở Việt Nam có một khối lượng lớn các công trình đã được kiểm định, gắn hệ thống quan trắc, các hệ thống này cung cấp một khối lượng khổng lồ các số liệu phản ánh sự làm việc thực tế của kết cấu mà chưa được phân tích chi tiết theo hướng trí tuệ nhân tạo. Do đó, việc xây dựng một phương pháp ứng dụng có tính kế thừa những thành quả nghiên cứu đi trước và các số liệu thu nhận được từ công việc đã làm cho công trình cầu là rất cần thiết. Bên cạnh các tài liệu sách khoa học của các Viện nghiên cứu và các Trường Đại học như [8] , [17] , [20] có một số nghiên cứu điển hình như sau:

* ThS. Bùi Xuân Học (2012). “Nghiên cứu cơ sở qui định biên báo hạn chế tải trọng xe cơ giới trên cầu đường bộ Việt Nam” [4] . Đề tài mã số: DT114057 đã hệ thống lại các nội dung: hạn chế tải trọng khai thác cầu đường bộ trên thế giới và Việt Nam hiện hành; cơ sở phương pháp đánh giá cầu theo tiêu chuẩn 22TCN 243-98, 22TCN 180-78 và tiêu chuẩn đánh giá cầu của Hoa kỳ LRFR-2003.

* ThS. Bùi Xuân Trường, GS. Nguyễn Viết Trung. Tập hợp và phân tích so sánh phương pháp cấm biên giới hạn hiện tại ở Việt Nam và Hoa Kỳ, kiến nghị thực hiện các nghiên cứu về

lưu hành tải trọng nặng cũng như thêm biển báo giới hạn tải trọng theo loại xe [5].

* TS. Hoàng Thanh Nam (2023), “Chẩn đoán kết cấu cầu dựa trên chuỗi dữ liệu đo dao động theo thời gian kết hợp sử dụng mạng học sâu tích chập”, Luận án Tiến sỹ [9].

Sử dụng mạng học sâu với dữ liệu động thu được theo thời gian để chẩn đoán hư hỏng trong kết cấu. Mạng học sâu kết hợp mạng 1DCNN (mạng nơ-ron tích chập một chiều) và LSTM (bộ nhớ ngắn dài hạn), theo đó mạng 1DCNN được sử dụng để xử lý dữ liệu gốc, lọc ra một số thông tin không quan trọng, liên kết các dữ liệu về mặt không gian, sau đó mạng LSTM được sử dụng để học và phân loại các dữ liệu. Phương pháp SAX và MDWD cũng được áp dụng cải thiện dữ liệu thô và tăng độ chính xác của mô hình. Kết quả đánh giá cho thấy phương pháp SAX-MDWD-1DCNN-LSTM đạt độ chính xác lần lượt là 83% và 95% trên tập dữ liệu cầu thực tế Z24 và dầm trong phòng thí nghiệm. Mô hình này thể hiện hiệu năng ưu việt hơn hẳn so với các phương pháp học sâu thông thường (1DCNN, 1DCNN-LSTM).

* TS. Hồ Khắc Hạnh (2021), “Chẩn đoán dầm cầu bằng phương pháp phân tích dao động trên mô hình số hoá kết cấu được cập nhật sử dụng thuật toán tối ưu hoá bầy đàn kết hợp mạng nơ-ron nhân tạo”, Luận án Tiến sỹ kỹ thuật [10]. Đề xuất sử dụng thuật toán ANN làm việc song song với PSO (Particle Swarm Optimization - Thuật toán tối ưu hóa bầy đàn) để xác định hư hỏng cho các kết cấu dựa trên phương pháp đánh giá thông qua tần số dao động. ANN-PSO sử dụng tốc độ hội tụ nhanh của các kỹ thuật GD của ANN và khả năng tìm kiếm toàn cục của PSO để xác định các hư hỏng trong kết cấu. Vì PSO được sử dụng để làm việc song song với ANN trong quá trình đào tạo mạng, điều này đảm bảo rằng mạng có thể xác định giải pháp tối ưu một cách nhanh chóng và tránh bị mắc kẹt trong các tối ưu cục bộ. Thuật toán kết hợp giữa PSO và ANN có thể phát hiện không chỉ chính xác vị trí mà còn xác định chính xác mức độ của các hư hỏng xảy ra trong kết cấu trong bài toán mô hình số. Đối với các mô hình thực tế dưới ảnh hưởng của các yếu tố môi trường như nhiễu, thuật toán đề xuất vẫn có thể phát hiện chính xác được khu vực và ước tính gần đúng mức độ hư hỏng trong kết cấu.

* TS. Nguyễn Lan (2014). “Nghiên cứu đánh giá và xác định tải trọng cho phép qua cầu trên cơ sở kết quả kiểm định cầu” Luận án TSKT [13]. Lý thuyết xác suất thống kê dùng các hàm trạng thái giới hạn (TTGH) phân tích biến dữ liệu và thiết lập mô hình dùng đánh giá cầu (thông qua chỉ số độ tin cậy β). Dùng hàm $g(R, Q) = R - Q$, hàm xác suất phá hoại kết cấu, $P_f = P(R - Q < 0) = P(g < 0)$, với $R, Q, P(R - Q)$ là các biến ngẫu nhiên liên tục và có hàm mật độ xác suất. Hàm biểu diễn dạng $g(x_1, x_2, \dots, x_n)$, x_i là các tham số sức kháng R , hiệu ứng tải Q .

Độ tin cậy, $\beta = \frac{\mu_R - \mu_Q}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_Q^2}}$, μ_R , μ_Q và σ_R , σ_Q là kỳ vọng và phương sai của biến R , Q .

Luận án sử dụng dữ liệu cân động (WIM) trong giao thông ngẫu nhiên kết hợp phương pháp thống kê xác suất để đưa ra chỉ số độ tin cậy cho tải trọng giao thông qua cầu. Nghiên cứu phù hợp với thực tế giao thông hiện tại và cho các cầu tại gần khu vực có vị trí trạm cân động hiện hữu, xác định được ứng lực nhiều mô hình xe hợp pháp với lưu lượng thực tế.

* PGS.TS. Tống Trần Tùng. Các nghiên cứu và bình luận cho rằng phương pháp xác định nội dung cấm biển hạn chế tải trọng cầu hiện tại còn một số tồn tại, việc dùng sơ đồ tải và tải trọng xe thiết kế như trong các tiêu chuẩn thiết kế cầu đều mang tính chất lý thuyết và đơn giản hoá trong thiết kế. Và cầu phải đảm bảo lưu thông cho tất cả các loại xe được sản xuất làm nhiệm vụ vận tải đường bộ. Các giá trị tải trọng xe (30, 25, 20, 18, 13, 10) tấn trong tiêu chuẩn thiết kế cầu theo qui trình 79 được dùng qui định tải trọng khai thác và cấm biển hạn chế cho cầu ở Việt Nam là không đúng [25].

* GS.TS. Trần Đức Nhiệm. Có một số kết quả nghiên cứu liên quan đến xe chở quá tải (10; 20; 30 và 95)% giảm tuổi thọ của cây cầu tăng lên (1,5; 2,0; 2,7 và 12,42) lần [26].

* TS. Trịnh Văn Toàn (2009). “Nghiên cứu tác động của xe tải nặng đến các bộ phận kết cấu nhịp cầu và xác lập chế độ khai thác thích hợp cho hệ thống khai thác cầu đường bộ” Luận án Tiến sĩ kỹ thuật [27], đã nghiên cứu các vấn đề: tổng quan về hệ thống cầu đường bộ Việt nam; thực trạng quá tải trên các tuyến Quốc lộ từ cơ sở thu thập phân tích các dữ liệu đếm xe tại các trạm cân tĩnh năm 1997-1998; hiện trạng hư hỏng các bộ phận kết cấu nhịp các cầu trên Quốc lộ 1; phân tích hư hỏng một số bộ phận kết cấu nhịp cầu do tác động của xe tải nặng, có tính toán cầu BTĐUL giản đơn gây hư hỏng mỏi, theo lý thuyết tổn thương mỏi tuyến tính của Palgerm-Miner cho các loại xe tải từ 2-6 trục sau đó khuyến nghị một số giải pháp quản lý kiểm soát xe tải nặng đang khai thác.

Tổng quan trong nước đã có nhiều nghiên cứu về ảnh hưởng của xe tải nặng tác động đến các bộ phận kết cấu nhịp cũng như tuổi thọ cầu, xác lập chế độ thích hợp cho khai thác cầu và chỉ số độ tin cậy của tải trọng giao thông qua cầu. Các nghiên cứu về chẩn đoán hư hỏng trong kết cấu bằng phương pháp phân tích dao động có sử dụng mạng 1D-CNN hoặc ANN có thể phát hiện chính xác vị trí và mức độ của các hư hỏng xảy ra trong kết cấu.

Do vậy với mô hình học máy hiện nay, điều kiện về nghiên cứu xếp hạng tải trọng cầu bằng ứng dụng ANN rất thuận lợi và phù hợp. Và tiêu chuẩn Việt Nam về “Đánh giá tải trọng khai thác cầu đường bộ” TCVN 12882: 2020 [1] đã được ban hành theo tài liệu của MBE như giới thiệu ở trên, nên nghiên cứu cụ thể rất cần thiết. Tầm quan trọng và tính cấp bách nêu ra ở trên,

xếp hạng tải cho kết cấu nhịp cầu hiện hữu với phương pháp ứng dụng trí tuệ nhân tạo trên cơ sở các dữ liệu thống kê có nhiều ưu điểm hơn cả và luận án lựa chọn phương pháp này để ứng dụng xếp hạng tải trọng cho kết cấu nhịp cầu bê tông cốt thép dự ứng lực.

1.3 Thống kê phân tích tổng quan xếp hạng tải cầu và khoảng trống nghiên cứu

1.3.1 Thống kê phân tích tổng quan để lựa chọn phương pháp xếp hạng tải cầu

Mạng nơ-ron nhân tạo (ANN) trong kỷ nguyên dữ liệu lớn, việc phân tích xử lý thông tin nhanh chóng và chính xác là cực kỳ quan trọng. ANN đã chứng minh được khả năng tối ưu hoá quy trình ra quyết định nhận diện hình ảnh, phân tích giọng nói và chẩn đoán xấp xỉ hàm ... sử dụng chính trong học sâu (Deep Learning) là một nhánh con của học máy (Machine Learning). Học máy thuộc lĩnh vực trí tuệ nhân tạo (Artificial Intelligence - AI), tập trung xây dựng các thuật toán cho phép máy tính tự học hỏi để nhận diện khuôn mẫu và đưa ra dự đoán/quyết định từ dữ liệu, không cần được lập trình cụ thể cho từng tác vụ, xử lý lượng dữ liệu lớn và tự động hoá các quy trình phức tạp.

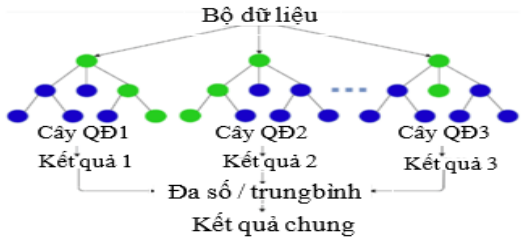
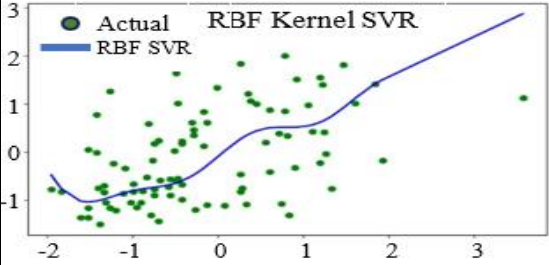
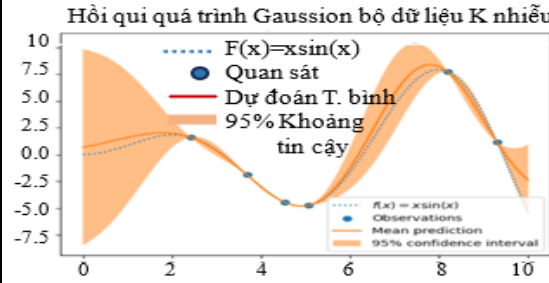
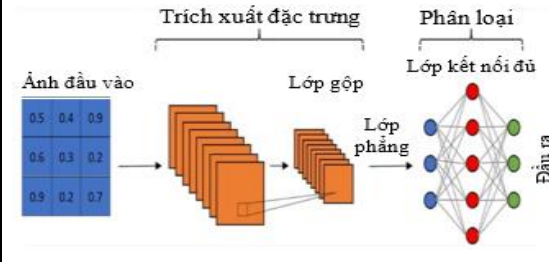
Mục tiêu của luận án là ứng dụng ANN để đánh giá xếp hạng tải RF trong bộ dữ liệu đủ lớn của hệ thống cầu dầm I DUL được xây dựng riêng. Nhằm nhấn mạnh tính ưu việt của ANN, luận án trình bày tóm gọn khả năng của các thuật toán mạnh khác trong học máy và so sánh với ANN cho sự lựa chọn mô hình đánh giá xếp hạng tải cầu dầm I DUL. Nguồn thông tin về mô hình học máy ở Phụ Lục 5.

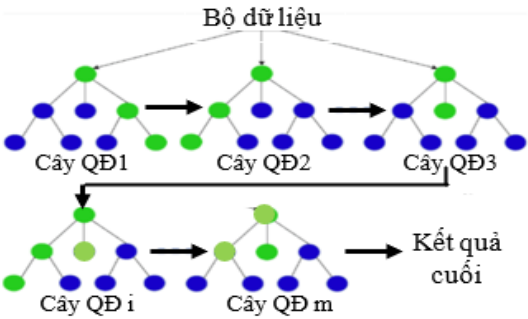
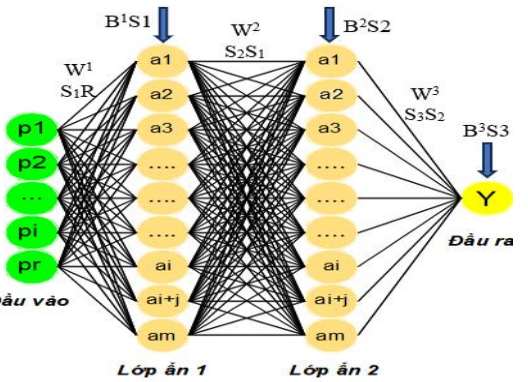
Bảng 1. 1 Thống kê và so sánh đặc trưng các công trình nghiên cứu xếp hạng tải cầu

Phương pháp	Công trình nghiên cứu ngoài nước	Cầu	Đặc điểm và so sánh hiệu quả các phương pháp
LFR - LRFR	Hướng dẫn đánh giá tình trạng và xếp hạng tải trọng cầu đường cao tốc sử dụng triết lý hệ số sức kháng và tải trọng (2001) [67].		<ul style="list-style-type: none"> Tính toán lý thuyết và sử dụng thiết bị đo cho thử tải.
(A1) Thử tải chẩn đoán	<ul style="list-style-type: none"> Phát triển qui trình thử tải cầu để đánh giá tải trọng (2003) [76]. Thử tải để đánh giá và xếp hạng cầu (2005) [73]. Đánh giá hiệu suất cầu và xếp hạng cầu qua thử tải không phá hủy (2009) [34]. Xếp hạng tải trọng cầu thông qua thí nghiệm ngoài hiện trường (2003) [37]. Thử tải cầu cho xếp hạng tải (2016) [29]. Xếp hạng tải trọng cầu theo hệ số tải trọng, sử dụng biến dạng môi trường xung quanh xe tải (2016) [80]. 	Dầm thép sàn (gỗ, bê tông)	<ul style="list-style-type: none"> Thử nghiệm dùng nhiều thiết bị đo cảm biến và thuật toán tối ưu hóa. Cần có phương pháp đơn giản hơn trong đánh giá cầu [34], [76]. Sử dụng nhiều đầu đo (40 BDI), tốn chi phí hơn xếp hạng tải bằng cách tính toán thử công truyền thống [37].
(A2) Thử tải bằng chứng	<ul style="list-style-type: none"> Phương thức đánh giá và xếp hạng cầu hiện có (2015) [62]. Xây dựng các khuyến nghị cho thử tải bằng chứng của cầu bản BTCT (2017) [45]. Công nghệ hiện đại liên quan đến thử nghiệm tải trọng của cầu bê tông (2017) [44]. Thử nghiệm phá hoại và mô hình hóa máy tính cho cầu dầm I ứng suất trước quy cách thí nghiệm (2019) [38]. Thử nghiệm vật liệu và thử nghiệm hiện trường cầu dầm hộp T bê tông ứng suất trước sau khi cháy (2019) [77]. 	Dầm hộp BT DUL Bản BTCT Dầm BTCT	<ul style="list-style-type: none"> Cần theo dõi chặt chẽ và kiểm tra nghiêm ngặt trong thử nghiệm; tốn và thời gian. Việc che chắn làn đường và / hoặc đóng cầu hoàn toàn có thể là cần thiết, ảnh hưởng đến giao thông đi lại. [44], [45], [62].
(B) Phản hồi động	<ul style="list-style-type: none"> Đánh giá tình trạng kết cấu cầu dựa trên kết quả đo động (2001) [53]. Đánh giá tình trạng cầu và xếp hạng tải trọng bởi dùng phản ứng động (2014) [32]. Thử tải cầu sử dụng phản ứng gia tốc kế (2003) [65]. Giám sát sức khỏe kết cấu của một cầu vận hành (2019) [61]. Thử nghiệm tải cầu để xác định hệ số phân phối tải trọng hoạt tải (DF), hệ số xếp hạng tải trọng (RF), khả năng và phản ứng động (2020) [39]. 	Dầm BTCT Dầm hộp BT DUL	<ul style="list-style-type: none"> Sử dụng thiết bị và công nghệ trong kỹ thuật SHM [61]. Khó giải quyết các biến đổi nhỏ về tần số ngay cả các hiệu ứng môi trường có thể được bù trừ [53].
(C) T. kê X. suất Độ T.cậy	<ul style="list-style-type: none"> Hiệu chuẩn hệ số tải trọng cho đánh giá cầu theo LRFR (2001) [54]. Tương tác phụ thuộc thời gian, hệ số xếp hạng tải và độ tin cậy (2004) [48]. Đánh giá an toàn của cầu dầm thép tấm chịu tải trọng quân sự (2012) [79] Dữ liệu lớn về đánh giá tình trạng cầu (2017) [78]. 	Dầm-Bản BTCT	<ul style="list-style-type: none"> Thu thập và sử dụng số liệu lớn về thống kê xếp hạng cầu nhiều vùng lãnh thổ và năm xây dựng [78], tiêu chuẩn nhiều loại xe quân sự khác nhau [79].

<p>(D) Giám sát sức khỏe kết cấu (SHM)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Giao thức đánh giá cầu sử dụng xe tải xung quanh thông qua hệ thống giám sát sức khỏe kết cấu (2013) [56] . • Mô hình hồi quy đa biến kết hợp hệ thống giám sát sức khỏe kết cấu và để xác định xếp hạng tải cho cầu thép (2015) [57] . • Ứng dụng cân chuyển động của cầu các phép đo trong đánh giá cầu đường hiện có (2017) [42]. • Tính toán hệ số đánh giá tải trọng liên tục cho cầu sử dụng dữ liệu giám sát tình trạng kết cấu (2018) [45]. 	<p>Dầm thép liên hợp bê tông</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sử dụng thiết bị đo, quan trắc khá nhiều, thu thập dữ liệu từ WIM → nhiều chi phí; thời gian khá dài; dùng cho đánh giá cầu phức tạp, chỉ phù hợp cho công trình cầu đố; ngoại suy cầu đồng dạng khó chấp nhận. ▪ Khung làm việc giới hạn ở loại cầu thực hiện; dùng dữ liệu WIM gần cầu là cần thiết để thực hiện thành công nghiên cứu này.
<p>(E) Thiếu hồ sơ thiết kế</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Phương pháp không phá hủy để đánh giá tải trọng của cầu không có đặc tính kết cấu và sơ đồ (2018) [30]. • Một phương pháp tiếp cận thực nghiệm-số lai cho tải trọng của cầu bê tông cốt thép không đủ đặc tính kết cấu (2019) [31]. 	<p>Dầm bản rộng BTCT</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sử dụng nhiều thiết bị công nghệ hiện đại và thuật toán trên máy tính (ANN) cho cầu Bản rộng BTCT thường không còn nhiều tại Việt Nam: [30] , [31] .
<p>(F) Mạng nơ-ron nhân tạo</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Phân tích xếp hạng tải trọng chi tiết để đánh giá tình trạng của cầu thông qua các mô hình phần tử hữu hạn phi tuyến và mạng nơ-ron nhân tạo (2013) [69] . • Cập nhật mô hình tuyến tính và phi tuyến của cầu dầm chữ T bê tông cốt thép sử dụng mạng lưới thần kinh nhân tạo (2013) [70]. 	<p>Dầm BTCT chữ T</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Không thiết bị và công nghệ hiện đại (BDI). ▪ Ngh. cứu điển hình, dữ liệu mẫu đào tạo nhỏ. ▪ Nghiên cứu cầu dầm T bê tông cốt thép ít phổ biến tại Việt Nam [69] , [70] .
<p>(G) Thuật toán riêng</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Đánh giá năng lực của các cầu dầm T cũ bằng phân tích phần tử hữu hạn proxy phi tuyến (2020) [35]. 	<p>Dầm BTCT chữ T</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Xây dựng mặt cắt dầm ủy nhiệm và phân tích độ cong-momen; tối ưu hóa từ GA để mô phỏng sự làm việc phi tuyến tính phức tạp của RC từ các mô hình cấu tạo dẻo đàn hồi đơn giản.
	<p>Lựa chọn phương pháp đánh giá cầu</p>	<p>Thông kê đặc trưng chính của các phương pháp</p>	
	<p>Các phương pháp khác ngoài ANN (A1), (A2), (B), (C), (D), (E), (G)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Thử nghiệm chẩn đoán cần dùng nhiều thiết bị đo cảm biến và thuật toán → nhiều chi phí ▪ Thu thập và sử dụng số liệu lớn về thống kê xếp hạng cầu của nhiều vùng lãnh thổ và năm xây dựng, cũng như tiêu chuẩn nhiều loại xe tải khác nhau (thống kê xác suất – độ tin cậy). ▪ Quan trắc khá nhiều khi dùng SHM, cũng như thu thập dữ liệu từ WIM → nhiều chi phí; thời gian khá dài; xử lý số liệu để dùng cho đánh giá cầu phức tạp và chỉ phù hợp cho công trình cầu đố; phép ngoại suy cho các cầu đồng dạng khác khó chấp nhận. ▪ Cập nhật mô hình FEM sử dụng dữ liệu rung chỉ chính xác với dữ liệu rung và tải trọng bình thường. 	
	<p>Mạng nơ-ron nhân tạo (ANN) (E), (F)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Quá trình đánh giá cầu nhanh chóng hiệu quả, ít chi phí. ▪ Với bộ dữ liệu đào tạo cho xếp hạng tải cầu đủ lớn, ANN khả năng học và khái quát hoá tốt để dự đoán chính xác cao như [30]. ANN ưu việt hơn với các thuật toán học máy khác như bảng 1.2 ▪ Chỉ xếp hạng cho cầu bê tông cốt thép thường chữ T. 	

Bảng 1. 2 So sánh các mô hình học máy và tính ưu việt của ANN ứng dụng cho đánh giá xếp hạng tải cầu dầm I DUL.

Mô hình học máy/Tiêu chí lựa chọn	Dữ liệu	Độ phức tạp	Loại bài toán	Ứng dụng	Kết luận
 <p>Rừng ngẫu nhiên RF</p>	<p>Ít - trung bình. Hiệu quả nhất với dữ liệu có cấu trúc bảng Excel</p>	<p>Hoạt động dựa trên việc chia nhỏ dữ liệu theo các quy tắc "nếu-thì" đơn giản.</p>	<p>Phân loại trạng thái hư hỏng hoặc dự báo nhanh dựa trên dữ liệu bảng.</p>	<p>Phân loại tình trạng dầm các mức (tốt, T.bình, xấu) từ dữ liệu kiểm định cầu. Xác định thông số vật lý cầu ảnh hưởng nhất đến sức tải cầu.</p>	<p>Bài toán phân loại hoặc dự báo dựa trên dữ liệu bảng, vì ổn định, ít (overfitting) quá khớp và không cần tinh chỉnh nhiều.</p>
 <p>Hỗ trợ hồi quy véc tơ SVR</p>	<p>Hoạt động cực kỳ hiệu quả với tập dữ liệu nhỏ, trung bình</p>	<p>Sử dụng "Kernel trick" để xử lý dữ liệu phi tuyến tính nhưng cấu trúc mô hình đơn giản hơn.</p>	<p>Chẩn đoán các trạng thái hư hỏng cụ thể như vùng nứt hoặc dự đoán tải trọng ổn định đàn hồi của dầm.</p>	<p>Ổn định với tập dữ liệu nhỏ. Kiểm định cầu, thu thập dữ liệu thử tải thực thường tốn kém và ít mẫu, SVR giúp dự đoán chính xác, không cần quá nhiều đầu vào.</p>	<p>Nếu dùng dữ liệu thực nghiệm ít, từ vài lần thử tải thực tế, sử dụng SVR sẽ là lựa chọn an toàn và hiệu quả hơn</p>
 <p>hồi quy quá trình Gaussian GPR</p>	<p>Hiệu quả với <u>tập dữ liệu nhỏ</u> và <u>vừa</u>.</p>	<p>Tăng theo hàm mũ khối (cubic complexity) của số mẫu, khó mở rộng khi dữ liệu quá lớn.</p>	<p>Dữ liệu hiếm thí nghiệm vật lý-hóa học. Cần biết độ tin cậy của kết quả dự báo hoặc cần nội suy chính xác trong phạm vi dữ liệu đã biết.</p>	<p>GPR cung cấp số liệu "tình trạng thực" của dầm (tiết diện cấp ăn mòn). Đầu vào chính để cập nhật mô hình tính, xếp hạng tải phản ánh thực trạng.</p>	<p>Dữ liệu thí nghiệm (vật lý, hóa học) ít. Cần biết, độ tin cậy của kết quả dự báo hoặc nội suy chính xác trong phạm vi dữ liệu đã biết.</p>
 <p>Mạng Neuron tích chập CNN</p>	<p>Dữ liệu dạng lưới như ảnh 2D/3D</p>	<p>CNN (1D-CNN) thường được ứng dụng trong giám sát sức khỏe kết cấu (SHM) để phát hiện hư hỏng từ dữ liệu phản hồi động.</p>	<p>Tự động trích xuất các đặc trưng nhạy cảm với hư hỏng từ tín hiệu thô. Xác định chính xác vị trí và độ hư hỏng giảm hạng tải cầu.</p>	<p>Có dữ liệu từ cảm biến (vibrations, dynamic strain) hoặc hình ảnh và muốn phát hiện hư hỏng / vết nứt: dùng CNN.</p>	<p>Có dữ liệu cảm biến tần số, biến dạng động hoặc hình ảnh và muốn phát hiện hư hỏng / vết nứt: dùng CNN.</p>

 <p>Tăng cường độ độc cực cao XG Boost</p>	<p>Với dữ liệu lớn về kiểm định cầu “Thông số hình học dầm, lưu lượng xe tải, hư hỏng”</p>	<p>Xếp hạng tải cầu dầm I DUL. ANN và XGBoost đều mạnh mẽ để thay thế hoặc hỗ trợ các mô hình FEA truyền thống, tiết kiệm thời gian tính.</p>	<p>Vượt trội hơn các mô hình khác ở phân loại mức độ xuống cấp và xếp hạng tải. Dùng SHAP để xác định yếu tố nào (độ võng, ăn mòn thép) ảnh hưởng lớn nhất khả năng chịu tải của dầm.</p>	<p>Chẩn đoán tình trạng thực tế của dầm I DUL đưa vào mô hình tính toán xếp hạng tải trọng Dự đoán hệ số xếp hạng tải trọng RF từ các thông số kỹ thuật và số liệu đo đạc cầu</p>	<p>Chẩn đoán xếp hạng tải cầu I dul. ANN và XGBoost đều ứng dụng mạnh mẽ, thay thế hoặc hỗ trợ các mô hình FEA truyền thống, tiết kiệm thời gian và lưu lượng tính toán.</p>	
 <p>Mạng Neuron nhân tạo ANN</p>	<p>Yêu cầu tập dữ liệu lớn ($> a \cdot 10^5$ mẫu) để đạt hiệu suất tốt và độ chính xác cao.</p>	<p>Học được các mối quan hệ phi tuyến tính cực kỳ phức tạp từ các lớp ẩn. và khái quát hoá chúng để giải quyết vấn đề</p>	<p>ANN dùng như mô hình hồi quy để dự đoán Hệ số xếp hạng tải trọng RF từ các thông số kỹ thuật và số liệu đo đạc tĩnh. Xử lý các bài toán phức tạp như nhận dạng hình ảnh, ngôn ngữ tự nhiên.</p>	<p>Huấn luyện xong, ANN có thể dự đoán RF gần như tức thì cho các cây cầu có cấu trúc tương tự, giúp quản lý mạng lưới cầu quy mô lớn hiệu quả hơn.</p>	<p>Có dữ liệu thiết kế theo lý thuyết, mô phỏng từ phần mềm (Midas Civil, Ansys) với số lượng mẫu lớn, phức tạp. Dự báo hệ số tải RF từ dữ liệu thiết kế đo đạc/mô phỏng.</p>	
<p>Đánh giá lựa chọn mô hình học máy cho xếp hạng tải cầu dầm I DUL: Hàm hệ thống phức tạp, phi tuyến cao. Kích thước mẫu đủ lớn $\sim (2 \cdot 10^5)$ mẫu</p>						
<p>Tiêu chí/Mô hình</p>	<p>RF</p>	<p>SVR</p>	<p>GPR</p>	<p>CNN</p>	<p>XG Boost</p>	<p>ANN</p>
<p>Dữ liệu đào tạo</p>	<p>Ít phù hợp</p>	<p>Ít phù hợp</p>	<p>Ít phù hợp</p>	<p>Phù hợp</p>	<p>Phù hợp</p>	<p>Phù hợp</p>
<p>Độ phức tạp</p>	<p>Ít phù hợp</p>	<p>Ít phù hợp</p>	<p>Ít phù hợp</p>	<p>Phù hợp</p>	<p>Phù hợp</p>	<p>Phù hợp</p>
<p>Loại bài toán</p>	<p>Ít phù hợp</p>	<p>Ít phù hợp</p>	<p>Ít phù hợp</p>	<p>Ít phù hợp</p>	<p>Phù hợp</p>	<p>Phù hợp</p>
<p>Ứng dụng</p>	<p>Ít phù hợp</p>	<p>Phù hợp</p>	<p>Ít phù hợp</p>	<p>Ít phù hợp</p>	<p>Phù hợp</p>	<p>Phù hợp</p>
<p>Xử lý mô hình</p>	<p>Phức tạp</p>	<p>Đơn giản</p>	<p>Đơn giản</p>	<p>Phức tạp</p>	<p>Phức tạp</p>	<p>Đơn giản</p>
<p>Mô hình ANN qua đánh giá là “ưu việt” hơn các mô hình học máy khác cho xếp hạng tải cầu dầm I DUL của luận án</p>						

1.3.2 Tính khoa học việc ứng dụng ANN trong đánh giá xếp hạng tải cầu

Việc ứng dụng trí tuệ nhân tạo không những giúp cập nhật lại mô hình sát với sự làm việc ngoài thực tế, bên cạnh đó góp phần khôi phục những dữ liệu không được ghi chép một cách chi tiết như trong nghiên cứu của Oguzhan Hasançebi và Taha Dumlupinar [69], [70];

Từ ứng dụng trí tuệ nhân tạo trong xếp hạng tải trọng cầu thiếu các dữ liệu đầu vào, kết hợp các phương pháp không phá hủy và trí tuệ nhân tạo để khôi phục các dữ liệu thiếu sau đó hoàn thiện trong mô hình. Nghiên cứu của Abdollah Bagheri và các cộng sự [30], [31];

1.3.3 Khoảng trống trong nghiên cứu xếp hạng tải cầu từ tài liệu tổng quan

Tổng quan cho thấy, các nghiên cứu gần đây của tác giả trên thế giới về xếp hạng tải trọng kết cấu nhịp cầu rất đa dạng. Trong đó, việc sử dụng phương pháp học máy cụ thể là áp dụng ANN để đánh giá xếp hạng tải cầu là xu hướng nhưng chưa thành nét đặc trưng hiện nay trên thế giới và nhiều dạng cầu khác (ngoài phần tổng quan trình bày) cũng như phổ biến tại Việt Nam (như cầu dầm I liên hợp DUL ...) vẫn còn chưa được khai thác. Mục này, với trình bày tổng quan ở phần trước và chi tiết bảng 1.1, luận án nghiên cứu chỉ rõ “Khoảng trống trong đánh giá xếp hạng tải cầu” như sau:

a/ Máy học (Machine Learning) cụ thể là ứng dụng ANN chưa thực sự thông dụng để đánh giá xếp hạng tải cho cầu, cụ thể như:

- Hiện đang là xu hướng chưa thông dụng.
- ANN thực hiện đa phần ở loại hình kết cấu cầu bê tông cốt thép thường (bảng 1.1), do đó nhiều loại hình cầu khác cần được nghiên cứu đánh giá nhằm phù hợp thực trạng giao thông hiện tại Việt Nam (như cầu dầm giản đơn chữ I DUL).

• Sẽ là nhu cầu mô hình dự báo nhanh giúp các nhà quản lý nhanh chóng ra được quyết định cho công trình cầu với các thông tin đưa vào đơn giản và nhanh chóng.

b/ Cần một phương pháp hỗ trợ linh hoạt hơn cho đánh giá cầu như ANN ít tốn phí và thời gian đánh giá, tính toán hiệu quả và vận hành đơn giản, nhằm thoả mãn:

• Đánh giá cầu hiện nay sử dụng nhiều thiết bị hiện đại và công nghệ tiên tiến (BDI, SHM kết hợp WIM), chỉ phù hợp các loại hình cầu lớn như cầu Dây văng, cầu Extradosed, cầu Dầm liên tục nhiều nhịp. Tuy hiệu quả nhưng chi phí rất tốn kém và thời gian theo dõi dài hạn.

• Với loại hình cầu dầm giản đơn bê tông DUL chữ I liên hợp rất thông dụng ở Việt Nam hiện nay nên rất cần một phương pháp hỗ trợ đánh giá mới phù hợp hơn như ANN.

c/ Các công trình nghiên cứu khoa học cho đánh giá xếp hạng tải của công trình cầu ở Việt Nam đặc biệt là lĩnh vực xác định hệ số xếp hạng tải cầu vẫn chưa được nghiên cứu nhiều.

Từ “Khoảng trống trong đánh giá xếp hạng tải trọng cầu” trên, một phương pháp nghiên cứu như sử dụng phương pháp học máy là ứng dụng mạng nơ-ron nhân tạo kết hợp với thử tải chân đoán cầu thông dụng hiện nay ở Việt Nam là rất cần thiết dùng để hỗ trợ đánh giá xếp hạng tải cầu thực tế trên cơ sở kiểm chứng bằng lý thuyết và mô hình phần tử hữu hạn (Midas, Sap2000).

Từ nghiên cứu trên sẽ cho thấy việc sử dụng mô hình phần tử hữu hạn được cập nhật từ các số liệu đo ngoài thực tế cho kết quả đáng tin cậy là công cụ tạo các bộ dữ liệu huấn luyện ANN.

Với tính cấp thiết đã trình bày như trên đề tài chọn hướng đi xây dựng ANN trên cơ sở bộ dữ liệu hệ thống cầu dầm I được tính toán trên cơ sở tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 11823:2017, kết quả được so sánh với kết quả phân tích của các nghiên cứu trước cũng như kết quả phân tích thông qua ứng dụng phần mềm PTHH và tính toán trực tiếp theo hướng dẫn của MBE.

Kết luận

Nghiên cứu tổng quan cho thấy đánh giá xếp hạng tải trọng cầu là rất quan trọng và được quan tâm hàng đầu nhằm đảm bảo cho cầu luôn an toàn trong vận hành khai thác. Vì vậy, mặc dù có cơ sở lý thuyết tính toán truyền thống (TCVN 12882:2020, MBE - Hoa Kỳ) nhưng cũng có rất nhiều nghiên cứu trên thế giới sử dụng nhiều phương pháp khác nhau được mô tả ở tổng quan. Trong đó, các nghiên cứu đánh giá xếp hạng tải công trình cầu thông qua công tác thử tải hầu như chiếm một ưu thế lớn, công tác này đòi hỏi cần nhiều thiết bị đo đạc cảm biến chuyên dụng, thao tác sử dụng thiết bị phức tạp, xử lý số liệu tinh vi nhiều rắc rối và thời gian dài.

Áp dụng ANN để đánh giá khả năng chịu tải kết cấu và xác định hệ số xếp hạng tải trọng nhịp cầu là xu hướng của thế giới hiện nay, nghiên cứu này có thể giúp các nhà quản lý nhanh chóng ra được quyết định cho công trình cầu với các thông tin đưa vào đơn giản và nhanh chóng. Vấn đề quan trọng khi áp dụng ANN đó chính là lựa chọn các thông số đầu vào sao cho phát huy được sự ưu việt khi ứng dụng ANN.

Từ đây hướng nghiên cứu của luận án là đi xây dựng mô hình ANN trên cơ sở bộ dữ liệu cầu dầm I DUL được kiểm chứng và tạo theo TCVN 11823:2017, theo đó khi đánh giá các thông số dầm I dễ dàng xác định tại hiện trường hoặc trường hợp cầu mất hồ sơ lưu trữ. ANN có khả năng học mẫu và khái quát hoá tốt thành “xấp xỉ hàm trong mô hình” để dự đoán kết quả sức kháng và hiệu ứng tải trọng qua đó xác định hệ số xếp hạng tải trọng có độ chính xác cao và khả năng đánh giá xếp hạng tải đồng loạt nhiều cầu đồng dạng, nhanh chóng tiện lợi ít tốn chi phí và vận hành mô hình ANN cho đánh giá cầu tương đối dễ dàng.

ANN đã được huấn luyện có thể dùng phân tích độ nhạy tham số kết cấu ảnh hưởng đến sức chịu tải của cầu, đây cũng là vấn đề cốt lõi của công việc xếp hạng tải và quản lý vận hành cầu.

CHƯƠNG 2 CƠ SỞ LÝ THUYẾT VÀ ANN TRONG ĐÁNH GIÁ XẾP HẠNG TẢI CHO CẦU

Chương 1, tổng quan, luận án đã mô tả một bức tranh tổng thể về khả năng nghiên cứu đánh giá xếp hạng tải trọng cho công trình cầu với nhiều phương pháp và thuật toán khác nhau. Bằng thống kê phân tích logic, những nét đặc trưng của các phương pháp nghiên cứu xếp hạng tải trọng cầu được thấy rõ. Với tính cấp thiết của luận án và khoảng trống trong nghiên cứu xếp hạng tải này, mô hình học máy đặc biệt là mạng nơ-ron nhân tạo được đánh giá có tính ưu việt, khả năng ứng dụng cũng như kết hợp với thử tải chẩn đoán cầu thông dụng hiện nay ở Việt Nam là rất cần thiết dùng để hỗ trợ đánh giá xếp hạng tải cầu thực tế tuân thủ TCVN 12882:2020. Chương 2 của luận án, với nội dung về lý thuyết cơ học tính toán xếp hạng tải trọng cầu và đặc biệt lý thuyết xây dựng đào tạo mạng nơ-ron nhân tạo, là nền tảng khoa học minh chứng nghiên cứu ứng dụng ANN trong xếp hạng tải trọng cầu.

2.1 Cơ sở lý thuyết trong đánh giá xếp hạng tải cho cầu

2.1.1 Khái niệm xếp hạng tải cho cầu

Xếp hạng tải cho cầu là một hoạt động trong công tác kiểm định cầu, là một tổ hợp hoạt động khoa học được kết hợp từ cơ sở lý thuyết và khoa học thực nghiệm cho thử nghiệm cầu tại hiện trường theo một qui trình cho phép, nhằm so sánh khả năng mang tải hiện hữu của cầu với khả năng lưu thông của hoạt tải để đánh giá xếp hạng phục vụ công tác vận hành khai thác an toàn cho cầu. Việc xếp hạng tải cho cầu phải bao gồm các công việc: Thử nghiệm cầu chính là thực hiện các thí nghiệm tại hiện trường, dùng máy móc thiết bị để đo đạc các tham số cơ học của kết cấu công trình (ứng suất, độ võng, chu kỳ dao động, v.v...) và đặc trưng vật liệu để làm cơ sở so sánh giữa sự làm việc theo lý thuyết với số đo thực tế của kết cấu công trình.

Thử tải cầu là công tác thử nghiệm cầu dưới tác dụng của tải trọng thử tĩnh và tải trọng thử động để xác định các phản ứng của kết cấu biểu thị bằng các số liệu đo đạc được ghi lại bằng các thiết bị trong thử nghiệm cầu. Thử tải cầu có hai phương pháp là thử tải chẩn đoán và thử tải bằng chứng.

Kiểm tra chất lượng công trình cầu là quá trình đánh giá và xác định mức độ đáp ứng của sản phẩm, hạng mục hoặc toàn bộ công trình so với yêu cầu thiết kế, quy chuẩn và tiêu chuẩn kỹ thuật hiện hành. Hoạt động này được thực hiện thông qua việc kết hợp kiểm tra trực quan, quan trắc hiện trạng, thí nghiệm vật liệu và tính toán phân tích cấu kiện.

Xếp hạng tải phải đánh giá năng lực chịu tải công trình cầu thông qua công tác thử tải

và kiểm tra chất lượng kết cấu của cầu. Trong đánh giá xếp hạng cần xác định: Hệ số đánh giá RF là tỷ số giữa khả năng chịu hoạt tải của bộ phận đánh giá với hiệu ứng của hoạt tải đánh giá lên bộ phận đó.

Mức Thiết kế (Inventory Rating) IR: Việc đánh giá ở mức này thường sử dụng tải trọng thiết kế (ví dụ: HL-93) để đảm bảo độ tin cậy tương đương với cầu mới.

Mức Khai thác (Operation Rating) OR: Với mức tải trọng tối đa tuyệt đối mà cầu có thể chịu đựng an toàn. Khai thác cầu thường xuyên ở mức tải trọng này có thể làm giảm tuổi thọ của công trình.

Mức cấm biển (Posting Rating): Với mức tải trọng an toàn cho phép phương tiện lưu thông thường xuyên qua cầu, được xác định dựa trên các xe tải tiêu chuẩn.

2.1.2 Xếp hạng tải trọng cho đánh giá cầu

Xếp hạng tải trọng được sử dụng để đánh giá khả năng chịu tải của cầu và được biểu thị bằng các hệ số đánh giá (RF). Là tỷ lệ khả năng chịu hoạt tải của cây cầu (nghĩa là tổng sức kháng bị giảm do tải trọng tĩnh thường xuyên) với hiệu ứng hoạt tải yêu cầu do tải trọng phương tiện giao thông tạo ra. Hệ số đánh giá chính xác bằng 1 khi khả năng chịu tải bằng với nhu cầu hoạt tải, lớn hơn 1 khi cầu có khả năng chịu tải cao hơn nhu cầu hoạt tải và nhỏ hơn 1 là ngược lại. Xếp hạng tải trọng thường được thực hiện ở hai mức độ xếp hạng: mức Thiết kế và mức Khai thác. Khả năng mức thiết kế mô tả giới hạn dưới của khả năng chịu tải an toàn của cầu, có thể được áp dụng vô thời hạn và tương ứng với chỉ số độ tin cậy là phù hợp với yêu cầu thiết kế hiện hành. Khả năng mức khai thác mô tả mức khả năng chịu tải tối đa mà một cấu trúc có thể chịu được một cách an toàn trên danh nghĩa, tương ứng với chỉ số độ tin cậy thấp hơn so với chỉ số được sử dụng trong thiết kế điển hình ngày nay. Cầu với RF hoạt động nhỏ hơn 1 sẽ được đánh giá thêm bằng cách sử dụng tải trọng hợp pháp, thường là một bộ cấu hình xe tải và có thể khác nhau tùy theo yêu cầu riêng. Cầu có RF pháp lý nhỏ hơn bằng 0,3 phải cấm biển cảnh báo và hạn chế các phương tiện qua cầu.

Xếp hạng tải trọng cho cầu thường là xếp hạng cho kết cấu nhịp của cầu gồm nhiều bộ phận, mỗi bộ phận cầu được xếp hạng bằng một hệ số xếp hạng. Hệ số xếp hạng của kết cấu nhịp là hệ số xếp hạng nhỏ nhất của các bộ phận kết cấu nhịp đó. Hệ số xếp hạng của bộ phận cầu là tỷ số giữa khả năng chịu hoạt tải của nó với hiệu ứng của hoạt tải mà cầu phải chịu.

2.1.3 Đánh giá xếp hạng tải trọng khai thác cầu đường bộ TCVN 12882:2020:

$$RF = \frac{C-DL}{LL} = \frac{HL}{LL} \quad (2.1)$$

Ở đây:

RF - Hệ số đánh giá của kết cấu cần đánh giá;

C - Khả năng chịu lực của kết cấu cần đánh giá;

LL - Hiệu ứng của hoạt tải trên kết cấu cần đánh giá;

DL - Hiệu ứng của tải trọng tĩnh trên kết cấu cần đánh giá;

$HL = C - DL$ - Khả năng chịu hoạt tải kết cấu cần đánh giá.

Trong trường hợp $RF \geq 1$: năng lực chịu hoạt tải lớn hơn hay bằng hiệu ứng của hoạt tải, kết cấu đánh giá khai thác được với hoạt tải xét đến. Khi $RF < 1$: năng lực chịu hoạt tải nhỏ hơn hiệu ứng của hoạt tải, kết cấu được đánh giá sẽ không khai thác được với hoạt tải xét đến.

2.1.4 Đánh giá xếp hạng tải trọng theo triết lý LRFR (MBE-2011)

Các phương pháp xếp hạng tải được dựa trên các phương pháp thiết kế kết cấu bê tông cốt thép là thiết kế theo ứng suất cho phép, thiết kế theo hệ số tải trọng và thiết kế theo hệ số sức kháng và hệ số tải trọng. Như các thiết kế, các phương pháp xếp hạng tải phụ thuộc vào khả năng phân tích kết cấu cũng như vào khả năng kiểm soát các hiệu ứng của tải trọng và sức kháng của vật liệu. Trước đây, các hệ số an toàn định ra trong thiết kế được dựa trên kinh nghiệm, được điều chỉnh cho phù hợp với những kinh nghiệm và kiến thức mới tích lũy được từ các sự cố xảy ra tại thực địa cũng như từ các thí nghiệm trong phòng.

Sự phát triển mạnh mẽ các phương pháp đánh giá kết cấu bê tông cốt thép bằng phân tích và thực nghiệm, việc áp dụng lý thuyết xác suất đối với việc mô phỏng trạng thái làm việc của kết cấu và việc phát triển các công cụ tính toán số cho phép phân tích nhanh chóng mức độ an toàn và độ tin cậy của kết cấu.

Trong Luận án trình bày một đánh giá xếp hạng tải được sử dụng rộng rãi hiện nay trên thế giới là đánh giá xếp hạng tải theo triết lý hệ số sức kháng và hệ số tải trọng (LRFR). Trong đó R_n là sức kháng danh định là sức kháng được xác định với giả thiết là các thông số của vật liệu và kết cấu đều phù hợp với các điều kiện thiết kế. Hệ số sức kháng Φ đối với một trạng thái giới hạn cụ thể được sử dụng để xét đến tính ngẫu nhiên của các đặc trưng vật liệu, các phương trình xác định sức kháng, tay nghề công nhân, việc kiểm soát chất lượng và hậu quả của việc kết cấu bị phá hoại. Hệ số tải trọng γ_i đối với một loại tải trọng cụ thể được sử dụng để xét đến tính ngẫu nhiên của cường độ tải trọng, sự phân bố (vị trí) tải trọng và các tổ hợp tải trọng có thể xảy ra.

Ưu điểm của đánh giá theo LRFR:

- Xét đến mức độ biến thiên của cả sức kháng và tải trọng,

- Đạt được mức độ an toàn tương đối đồng đều đối với các trạng thái giới hạn và các loại kết cấu khác nhau mà không phải tiến hành phân tích về mặt xác suất thống kê phức tạp.
- Đưa ra một phương pháp hợp lý và nhất quán.

Công thức xếp hạng:

$$RF = \frac{C - \gamma_{DC}DC - \gamma_{DW}DW + \gamma_{PP}}{\gamma_{LL}LL(1+IM)} \quad (2.2)$$

- Đối với TTGH cường độ: $C = \phi * \Phi_C * \phi_S * R_n$.

Trong đó các mức giới hạn thấp hơn sau đây được áp dụng: $\Phi_C * \phi_S \geq 0,85$.

- Đối với TTGH sử dụng: $C = f_R$.

Ở đây: các đại lượng trong công thức trên tuân theo TCVN 12882:2020.

2.1.5 Trình tự đánh giá xếp hạng các tải trọng theo TCVN 12882:2020 và LRF

- Cầu đường bộ được đánh giá theo 3 mức ứng suất khác nhau, đó là mức Thiết kế, mức Khai thác và mức Cấm biển.

- Phương pháp nêu trên đánh giá cầu tại 3 trạng thái giới hạn: trạng thái giới hạn cường độ (TTGHCD), trạng thái giới hạn sử dụng (TTGHSD) và trạng thái giới hạn mỏi (TTGHM). TTGHCD là cơ bản cho vấn đề an toàn kết cấu công trình cầu và là yếu tố xác định nội dung cấm biển trên công trình cầu đó, hay dùng để cấm thông xe qua cầu và trong khi sửa chữa cầu. TTGHSD và TTGHM sẽ được áp dụng chọn lọc cho từng loại công trình cầu.

- Theo phương pháp nêu trên, cầu được đánh giá theo một quy trình sẽ bao gồm ba bước cho từng trạng thái giới hạn nói trên, như mô tả trên sơ đồ ở hình 2.1.

+ Đánh giá theo tải trọng xe thiết kế (xe HL-93): là đánh giá công trình cầu ở mức đầu tiên, trên cơ sở tải trọng xe thiết kế HL93 theo MBE-2011 và TCVN 12882:2020. Trước tiên là đánh giá theo TTGHCD, theo sau đó đánh giá theo TTGHSD. Khi công trình cầu được đánh giá có hệ số đánh giá theo mức thiết kế $RF > 1$, thì kết luận là công trình cầu này sẽ thỏa mãn cho tất cả các mức tải trọng hợp pháp.

+ Đánh giá theo tải trọng xe hợp pháp: sẽ được đánh giá ở cấp 2 cung cấp khả năng chịu tải an toàn đơn chiếc (cho các loại hình loại xe tải đã cho). Các hệ số tải trọng được lựa chọn theo điều kiện khai thác ở hiện trường. Cường độ là TTGH đầu tiên để đánh giá tải trọng. TTGHSD được áp dụng có lựa chọn.

+ Đánh giá theo tải trọng xe cấp phép: Đánh giá theo tải trọng xe cấp phép dùng để kiểm tra tính an toàn và tính phục vụ khi soát lại việc cấp phép qua cầu cho loại xe vượt trên giới hạn trọng lượng hợp pháp đã xác lập.

2.1.6 Đánh giá xếp hạng cầu theo phương pháp tích hợp hiện đại

a/ Xác định hệ số phân bố ngang

Dữ liệu biến dạng do hoạt tải thử nghiệm có thể xác định được hệ số phân bố tải cho dầm (GDF) và hệ số xung kích. Ghosn (1986) giả sử hệ số phân bố tải cho dầm bằng tỷ số giữa biến dạng tĩnh lớn nhất của dầm đó với tổng biến dạng tĩnh các dầm. Stallings and Yoo (1993) sử dụng biến dạng có trọng số để kể đến sự khác nhau về mô đun tiết diện giữa các dầm.

$$GDF_i = \frac{M_i}{\sum_{j=1}^k M_j} = \frac{E J_i \varepsilon_i}{\sum_{j=1}^k E J_j \varepsilon_j} = \frac{\frac{J_i}{J_1} \varepsilon_i}{\sum_{j=1}^k \frac{J_j}{J_1} \varepsilon_j} = \frac{\varepsilon_i w_i}{\sum_{j=1}^k \varepsilon_j w_j} \quad (2.3)$$

Trong đó: M_i mômen uốn của dầm i ; E mô đun đàn hồi; J_i Mômen quán tính dầm i ; JL Mô men quán tính dầm trong điển hình; ε_i biến dạng tĩnh lớn nhất đáy dầm i ; w_i tỷ số của mô đun tiết diện dầm i với dầm trong điển hình; k số lượng dầm.

Hệ số phân bố ngang tải trọng cho các dầm cũng có thể tính toán từ kết quả đo độ võng ở quá trình thử tải hiện trường: $DF_i = \frac{\delta_i}{\sum \delta_i}$. (2.4)

Trong đó: DF_i Hệ số phân bố tải trọng của dầm thứ i ; δ_i Độ võng tĩnh lớn nhất của dầm thứ i .

Khi cầu BTCT bị nứt, số liệu đo biến dạng sẽ sai số lớn (trừ khi kéo dài chiều dài đầu đo để tính giá trị trung bình) có thể sử dụng số liệu đo gia tốc để xác định hệ số phân bố ngang tải trọng và hệ số xung kích [19].

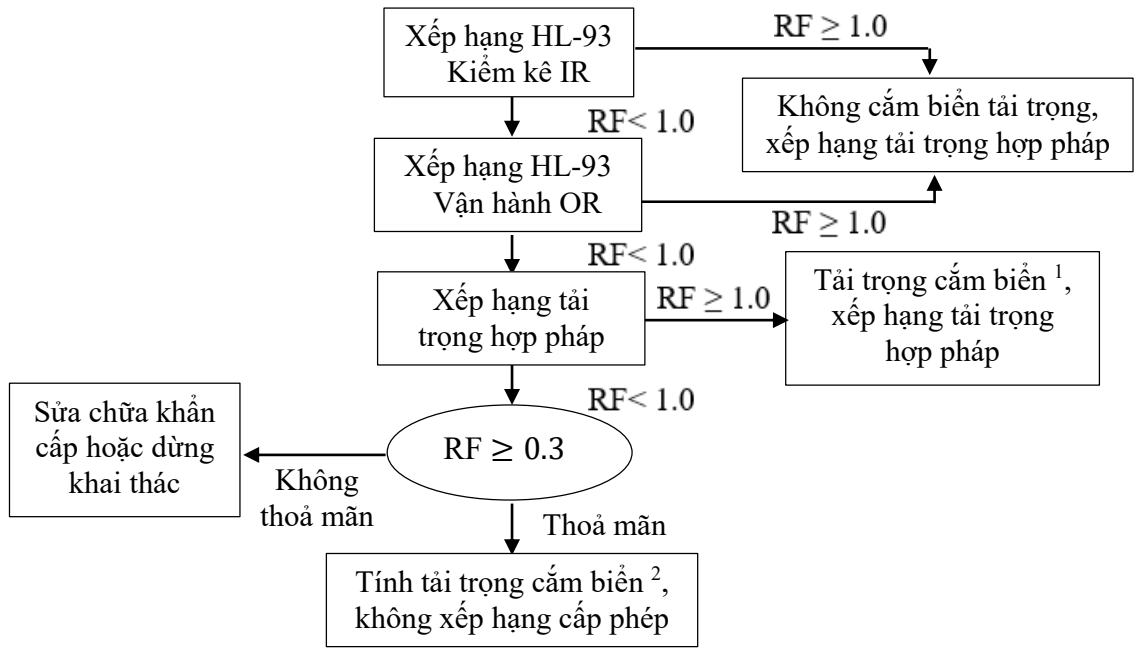
$$DF_i(t) = \frac{\ddot{y}_i(t)}{\sum_{j=1}^n \left(\frac{I_j}{I_i}\right) \ddot{y}_j(t)} ; DF_i = \frac{M_i}{M_{Total}} ; DLFA = \frac{\ddot{y}_{fast}(t)}{\ddot{y}_{slow}(t)} \quad (2.5)$$

Trong đó: \ddot{y}_i gia tốc của dầm i ; I_i momen quán tính cắt ngang dầm i ; M_i momen của dầm thứ i ; M_{Total} tổng mômen của các dầm.

Hệ số phân bố tải trọng có thể được tính toán bằng mô hình FE, so sánh với kết quả đo thực nghiệm và tính theo tiêu chuẩn thiết kế AASHTO LRFD.

b/ Xác định hệ số xung kích

Hệ số xung kích liên quan đến việc gia tăng các hiệu ứng tĩnh do hiệu ứng tải trọng động, có

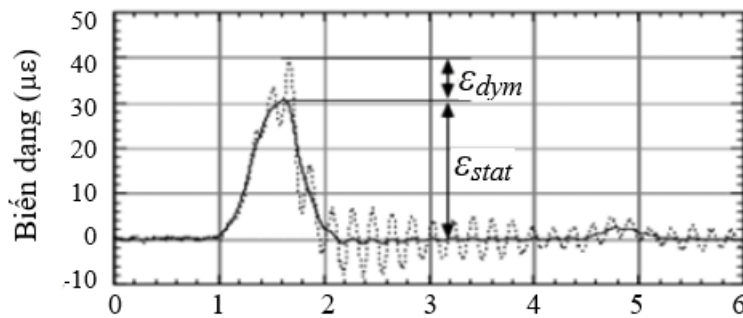


Hình 2. 1 Sơ đồ xếp hạng tải theo TCVN 12882:2020 [1] .

hiều tham số ảnh hưởng đến hệ số xung kích như: tần số dao động riêng của cầu, tính liên tục cầu, tần số dao động của xe, tính chất nhíp xe, cấu hình trục xe và trọng lượng, tốc độ xe, trắc dọc và độ gồ ghề mặt cầu, sự tham gia độ cứng của các kết cấu phụ như lan can và gờ chắn bánh. Trong nghiên cứu thực nghiệm, hệ số xung kích thường xác định bằng biến dạng (hoặc độ võng) của động lớn nhất chia cho tĩnh lớn nhất.

$$DLF = \frac{\varepsilon_{dyn}}{\varepsilon_{sta}} \quad (2.6)$$

Trong đó: ε_{dyn} , ε_{sta} _ biến dạng động, tĩnh lớn nhất do tốc độ xe bình thường và rất chậm hoặc biến dạng tĩnh tương đương sau khi lọc thành phần biến dạng động.



Hình 2. 2 Biến dạng tĩnh và động của xe tải ở tốc độ bình thường trên đường ô tô.

c/ Hiệu chỉnh điều kiện biên của mô hình FE cho cầu

Điều kiện biên mô hình cầu dùng trong đánh giá khả năng chịu tải như tính chất các liên kết gối cầu (ngàm cố định, gối di động, hay gối cố định) hoặc các tham số độ cứng gối đàn hồi (K_x , K_y , K_z , R_x , R_y , R_z) có thể được cập nhật nhờ các số liệu thu được từ kết quả thử

tải chẩn đoán trong đó có bố trí các cảm biến tại khu vực gối cầu và trực tiếp quan trắc các chuyển vị của gối cầu do thử tải. Các dữ liệu đo đạc được sẽ là căn cứ cho quá trình cập nhật mô hình FE để đánh giá [70].

d/ Cập nhật mô hình FE cho cầu từ kết quả thử tải chẩn đoán

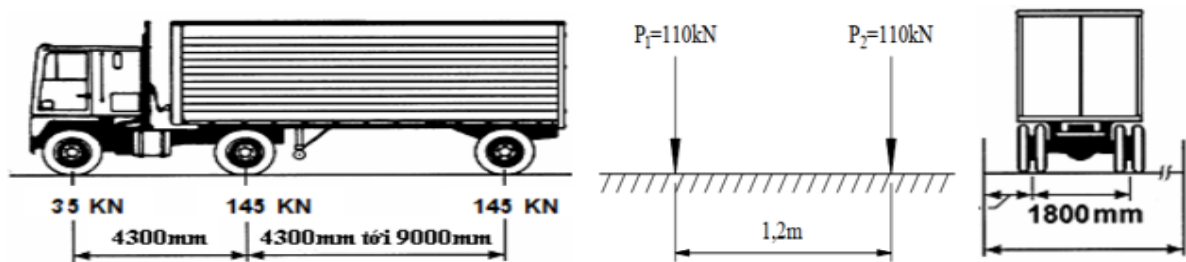
Kỹ thuật cập nhật mô hình FE của cầu dựa trên các kết quả đo đạc hiện trường và thử tải chẩn đoán đã được phát triển. Nguyên lý phương pháp này là sử dụng dữ liệu thử tải chẩn đoán để thay đổi các tham số mô hình FE.

2.2 Tải trọng xe và hiệu ứng hoạt tải dùng đánh giá xếp hạng tải cho cầu

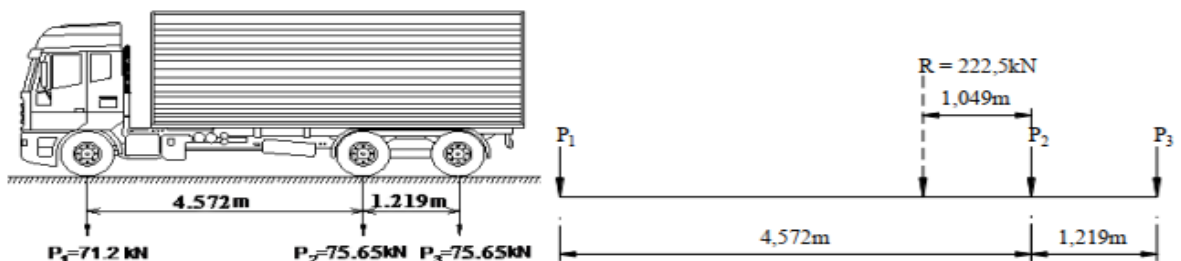
2.2.1 Tải trọng xe tải trong đánh giá xếp hạng tải theo TCVN 12882:2020

Bao gồm Tải trọng xe Thiết kế, Tải trọng xe hợp pháp, Tải trọng xe cấp phép.

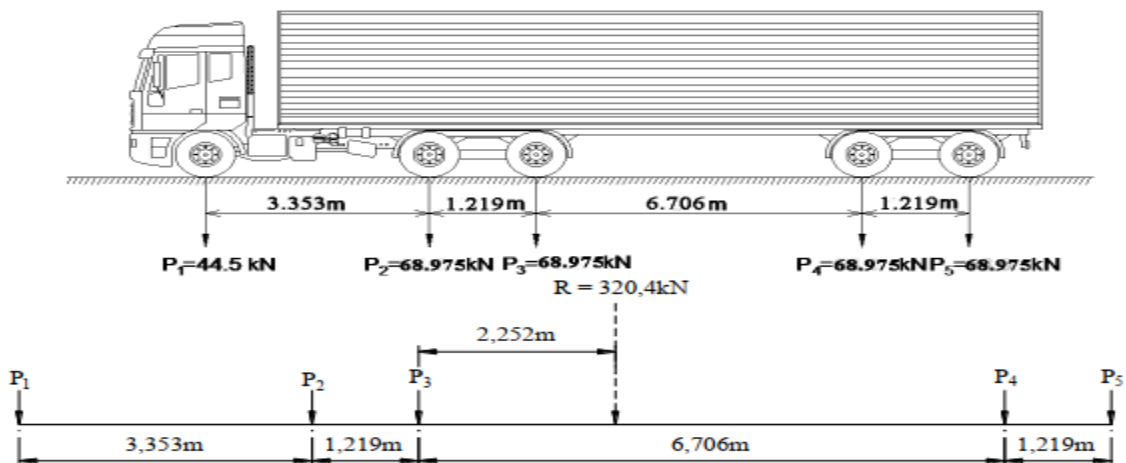
Tải trọng xe thiết kế: hiện hành là HL-93, là tổ hợp của xe tải thiết kế (xe ba trục) hoặc xe hai trục thiết kế và Tải trọng làn 9,3 kN/m suốt chiều dài nhịp dầm.



Tải trọng xe hợp pháp: Xe tải [3] (xe 03 trục) theo TCVN 12882:2020.

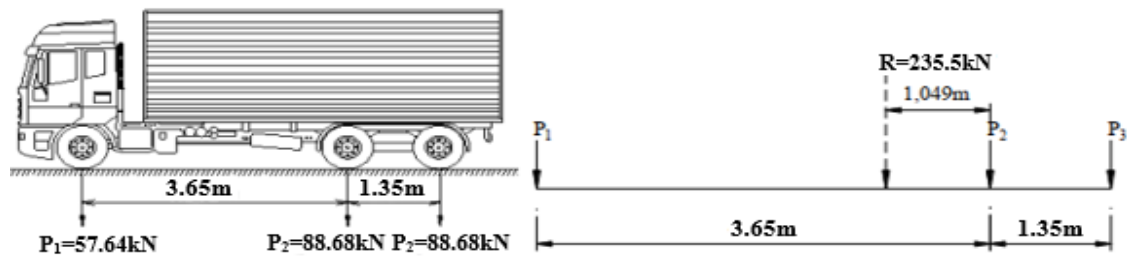


Tải trọng xe hợp pháp: xe tải [3-S2] (xe 05 trục) theo TCVN 12882:2020.



Tải trọng xe hợp pháp: xe tải [3-3] (xe 06 trục), bảng tính momen hoạt tải và sơ đồ tính momen hoạt tải theo TCVN 12882:2020 được trình bày ở Phụ lục 1.

Tải trọng xe cấp phép: xe cấp phép là xe 03 trục theo thực tế tại Việt Nam.



Hình 2. 3 Xe tải thiết kế HL93_Xe tải [3] 03 trục_Xe cấp phép_Xe tải [3-S2] 05 trục theo TCVN 12882:2020 và TCVN 11823:2017.

2.2.2 Hiệu ứng hoạt tải trong đánh giá xếp hạng tải cầu (xác định bằng phương pháp đường ảnh hưởng theo giả thiết mặt cắt phẳng trên mô hình dầm Bernoulli)

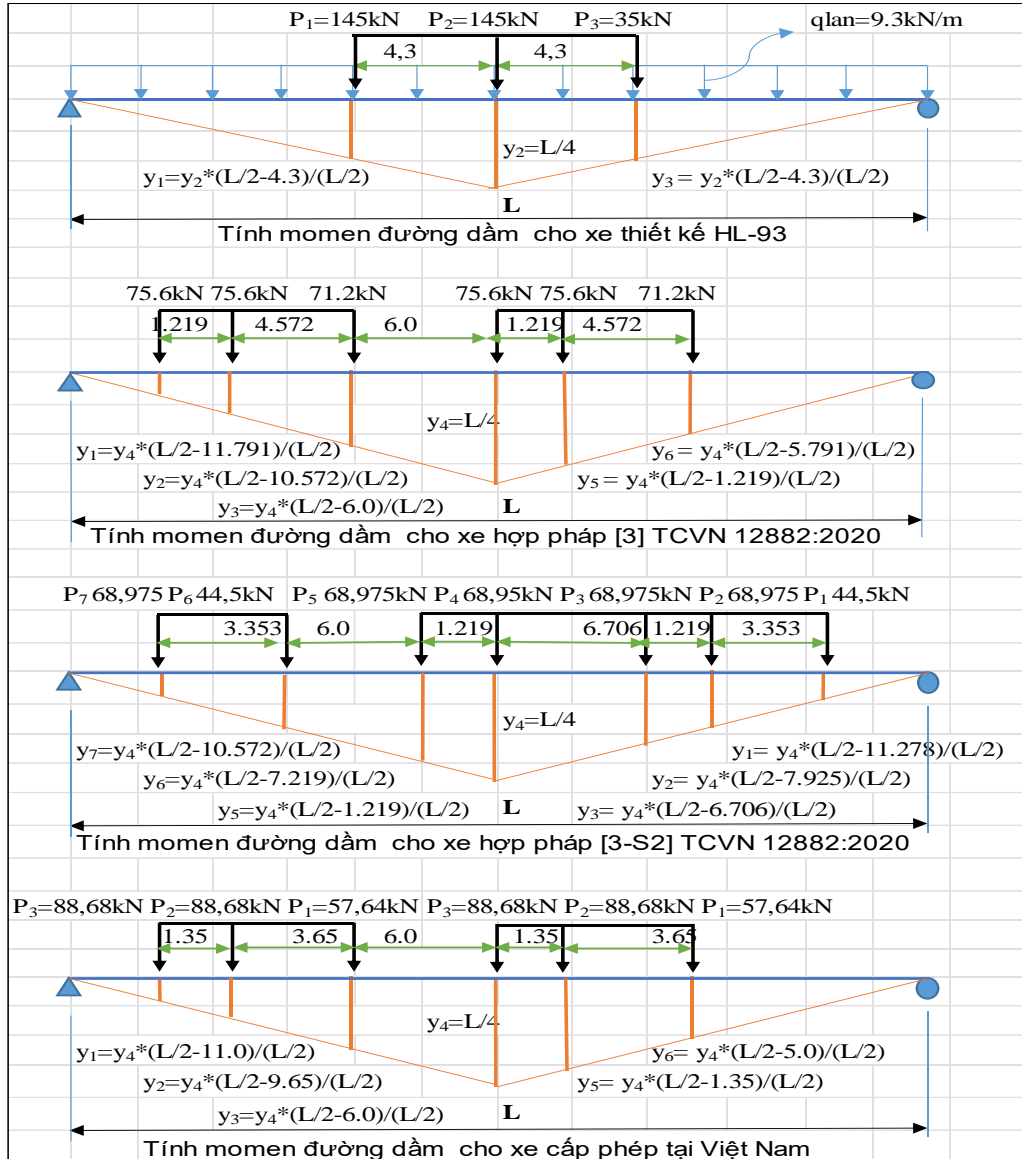
Bảng 2. 1 Bảng tính momen hoạt tải và dải tải trọng của xe thiết kế HL-93; xe hợp pháp [3] và [3-S2]; xe cấp phép 03 trục.

Tung độ và momen tải xe Thiết kế HL-93											Phân bố
Nhịp	Tung độ yi (m)			M _{lan}	M _{pi} = yi*Pi		M _{3trục}	M _{HL93} LRFR (kNm)			
L(m)	y1	y2	y3	9.3	145	35	ΣM _{pi}	2 Làn	3 Làn	4 Làn	ngang nhân g
32.4	5.950	8.100	5.950	1220	2037	208	2246	14095	17971	18324	
29.4	5.200	7.350	5.200	1005	1820	182	2002	12275	15650	15957	
23.94	3.835	5.985	3.835	666	1424	134	1558	9149	11665	11893	
19.4	2.700	4.850	2.700	438	1095	95	1189	6734	8586	8755	
17.4	2.200	4.350	2.200	352	950	77	1027	5724	7298	7441	

Tung độ và momen tải xe hợp pháp [3] 03 trục											Phân bố		
Nhịp	Tung độ yi (m)						M _{pi} = yi*Pi		M _{3trục}	M _{HL93} LRFR (kNm)			
L(m)	y1	y2	y3	y4	y5	y6	75.6	71.2	ΣM _{pi}	2 Làn	3 Làn	4 Làn	ngang nhân g
32.4	2.205	2.814	5.100	8.100	7.491	5.205	1558	734	2292	10026	12784	13034	
29.4	1.455	2.064	4.350	7.350	6.741	4.455	1331	627	1958	8567	10923	11137	
23.94	0.090	0.699	2.985	5.985	5.376	3.090	918	433	1351	5910	7536	7684	
19.4			1.850	4.850	4.241	1.955	687	271	958	4192	5345	5449	
17.4			1.350	4.350	3.741	1.455	612	200	811	3550	4526	4614	

Tung độ và momen tải trọng xe hợp pháp [3-S2] 05 trục											Phân bố			
Nhịp	Tung độ yi (m)							M _{pi} = yi*Pi		M _{3trục}		M _{HL93} LRFR (kNm)		
L(m)	y1	y2	y3	y4	y5	y6	y7	68.98	44.5	ΣM _{pi}	2 Làn	3 Làn	4 Làn	ngang nhân g
32.4	2.461	4.138	4.747	8.100	7.491	4.491	2.814	1882	309	2192	9588	12225	12465	
29.4	1.711	3.388	3.997	7.350	6.741	3.741	2.064	1624	243	1866	8165	10410	10614	
23.94	0.346	2.023	2.632	5.985	5.376	2.376	0.699	1153	121	1274	5574	7106	7246	
19.4		0.888	1.497	4.850	4.241	1.241		791	55	847	3704	4723	4816	
17.4		0.388	0.997	4.350	3.741	0.740		654	33	686	3003	3829	3904	

Tung độ và momen tải xe cấp phép 03 trục												Phân bố ngang
Nhịp	Tung độ y_i (m)						$M_{P_i} = y_i * P_i$	$M_{3trục}$	M_{HL93} LRFR (kNm)			
L(m)	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	y_6	88.68	57.64	ΣM_{P_i}	2 Làn	3 Làn	4 Làn
32.4	2.600	3.275	5.100	8.100	7.425	5.600	1898	617	25 15	11001	14026	14301
29.4	1.850	2.525	4.350	7.350	6.675	4.850	1632	530	2162	9459	12060	12296
23.94	0.485	1.160	2.985	5.985	5.310	3.485	1148	373	1520	6652	8481	8648
19.4		0.025	1.850	4.850	4.175	2.350	803	242	1045	4570	5827	5941
17.4			1.350	4.350	3.675	1.850	712	184	896	3920	4999	5097



Hình 2. 4 Phương pháp tính momen hoạt tải bằng phương pháp đường ảnh hưởng theo giả thiết mặt cắt phẳng trên mô hình dầm Bernoulli.

2.3 Các lý thuyết cơ học kết cấu phức vụ đánh giá xếp hạng tải cầu

Có hai thông số có thể dễ dàng thu nhận được từ quá trình kiểm định thử tải công trình đó là độ võng và tần số dao động cơ bản của kết cấu nhịp. Do đó, trong phần này luận án đi vào thiết lập mối quan hệ giữa hai thông số này với thông số ảnh hưởng đến việc tính toán sức kháng của mặt cắt (cường độ bê tông dầm $f'c$).

2.3.1 Lý thuyết dùng dữ liệu độ võng (thử tải tĩnh) để xếp hạng tải cầu dầm I DUL

Quan hệ chuyển vị Δ và tải trọng P trong cơ học được xác định theo biểu thức:

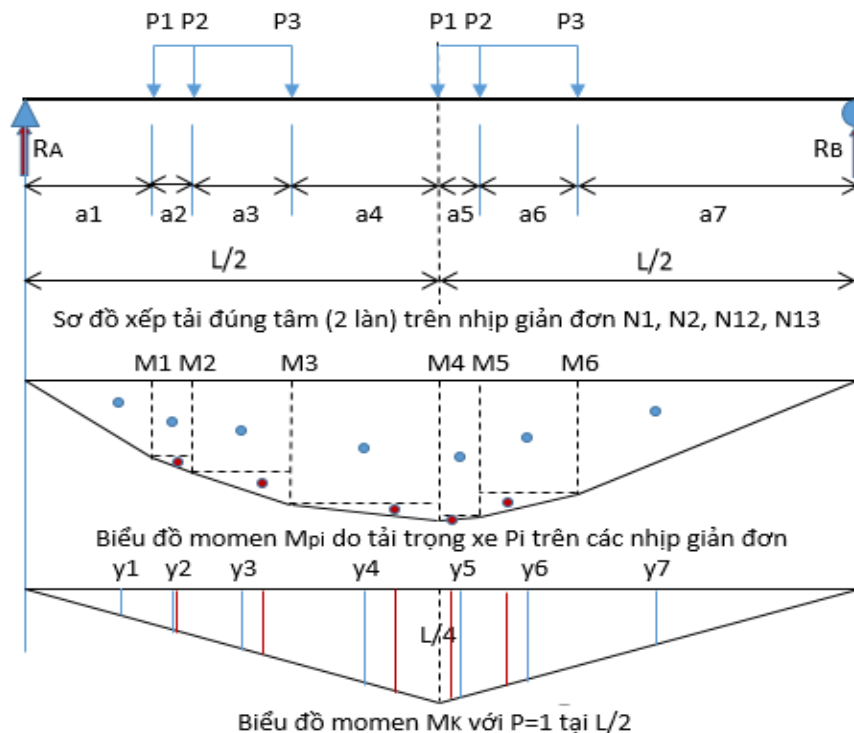
$$\Delta = \frac{P}{K} \quad \text{và} \quad K = a \frac{EI}{L^3} \rightarrow \Delta = \frac{1}{a} \frac{PL^3}{EI} \quad (2.7)$$

Với: Δ là chuyển vị của kết cấu; P là tải trọng tác dụng lên kết cấu từ bên ngoài; K là độ cứng hiệu dụng của kết cấu hệ dầm giản đơn với biểu thức như trên.

Theo công thức 2.7, độ võng Δ thực đo trong quá trình thử tải cầu có mặt cắt ngang phân bố trên toàn bề rộng cầu. Để ước tính xếp hạng tải của cầu, thì độ cứng hiệu dụng K của cầu trong điều kiện hiện trường thực tế cần được xác định theo tải trọng P thực nghiệm và độ võng Δ thực đo trong thực nghiệm. Từ đây cường độ bê tông $f'c$ của kết cấu được tính toán từ giá trị module đàn hồi E và momen quán tính I của mặt cắt ngang toàn bề rộng cầu theo công thức 2.9.

Chuyển vị đứng tại giữa kết cấu toàn bề rộng nhịp cầu được xác định theo sơ đồ xếp tải đúng tâm (giả sử) với các giá trị momen tải trọng xe và momen quán tính toàn cầu tính toán sau.

Biểu đồ momen do tải trọng xe thử tải cấp phép 03 trực tác dụng trên hình 2.5 và các giá trị momen M_i được xác định thể hiện ở bảng 2.2.



Hình 2. 5 Sơ đồ tải và momen tải trọng xe thử tải trên kết cấu nhịp giản đơn.

Thực hiện phương pháp nhân biểu đồ *Veresaghin* trong cơ học kết cấu ở hình 2.5, chuyển vị đứng Δ tại giữa nhịp hệ dầm được xác định là:

$$\Delta = \frac{1}{EI} (M_{pi}) (\overline{Mk}) \quad (2.8)$$

Bảng 2. 2 Giá trị momen do tải trọng xe cấp phép 03 trục khi thử tải tĩnh theo hình 2.5.

Khoảng cách của các tải trọng trục xe (ai) trên dầm giản đơn cho thử tải tĩnh (m)							
L	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	a ₅	a ₆	a ₇
32.40	5.20	1.35	3.65	6.00	1.35	3.65	11.20
Giá trị momen (kNm) do tải trọng xe thử tĩnh dùng tính chuyển vị đứng tại L/2							
M1	(0.430P ₁ + 0.403P ₂ + 0.331P ₃)*L			M4	(1.000P ₁ + 0.958P ₂ + 0.846P ₃)*L		
M2	(0.500P ₁ + 0.508P ₂ + 0.417P ₃)*L			M5	(0.605P ₁ + 0.682P ₂ + 0.776P ₃)*L		
M3	(0.689P ₁ + 0.678P ₂ + 0.649P ₃)*L			M6	(0.457P ₁ + 0.514P ₂ + 0.670P ₃)*L		

Biểu thức độ võng Δ của công thức *Veresaghin* được xác định từ hình 2.5 ở công thức 2.9.

$$\Delta = \frac{1}{2324.8} \frac{(171.8*P_1 + 175.6*P_2 + 179.1*P_3)*L^3}{EI} \quad (2.9)$$

Các kết quả tính toán xác định momen tải M_i , modun đàn hồi E_i và momen quán tính I_i của các nhịp dầm I DUL được trình bày chi tiết trong Phụ Lục 4.

2.3.2 Lý thuyết dùng dữ liệu tần số (thử tải động) để xếp hạng tải cầu dầm I DUL

a/ Phân tích kết cấu ở điều kiện dao động

Phân tích dao động cho phép xác định các đặc trưng động lực học cốt lõi của kết cấu dưới tác dụng của dao động cơ bản của kết cấu, bao gồm tần số riêng, tỷ số cản và dạng dao động. Trong khi khối lượng của công trình cầu gần như không đổi theo thời gian, độ cứng kết cấu lại bị suy giảm do quá trình xuống cấp vật liệu hay do bị nứt nẻ. Do tần số dao động riêng tỷ lệ thuận với căn bậc hai của độ cứng, sự suy giảm độ cứng sẽ dẫn đến sự dịch chuyển về tần số, đồng thời làm giảm sức chịu tải của kết cấu. Dựa trên nguyên lý này, việc quan trắc biến thiên tần số dao động giữa trạng thái ban đầu và hiện tại là cơ sở quan trọng để đánh giá mức độ xuống cấp và năng lực chịu tải thực tế của công trình cầu.

Do vậy, thông qua việc theo dõi và so sánh sự thay đổi tần số dao động của công trình cầu giữa các thời điểm khác nhau, có thể đánh giá mức độ hư hỏng và chẩn đoán tình trạng chịu lực hiện hữu của kết cấu cầu.

Lý thuyết động lực học kết cấu, phương trình chuyển động của bất kỳ hệ đàn hồi tuyến tính nào chịu tác dụng của lực động ngoài có thể được mô tả bằng phương trình 2.10.

$$[M]\{\ddot{x}\} + [C]\{\dot{x}\} + [K]\{x\} = \{f(t)\} \quad (2.10)$$

Ở đây: $[M]$ _ ma trận khối lượng tổng thể, $[C]$ _ ma trận cản tổng thể, $[K]$ _ ma trận độ cứng tổng thể, $\{f(t)\}$ _ vector lực nút, $\{x\}$ _ vector chuyển vị, $\{\dot{x}\}$ _ vector vận tốc, $\{\ddot{x}\}$ _ vector gia tốc.

Trong trường hợp rung động không có lực, $\{f(t)\} = 0$ và phương trình 2.10 trở thành phương trình 2.11.

$$[M]\{\ddot{x}\} + [C]\{\dot{x}\} + [K]\{x\} = 0 \quad (2.11)$$

Giải phương trình vi phân 2.11 và một số tính toán, tần số góc tự nhiên (ω) của hệ thống có thể được biểu thị bằng biểu thức 2.12.

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (2.12)$$

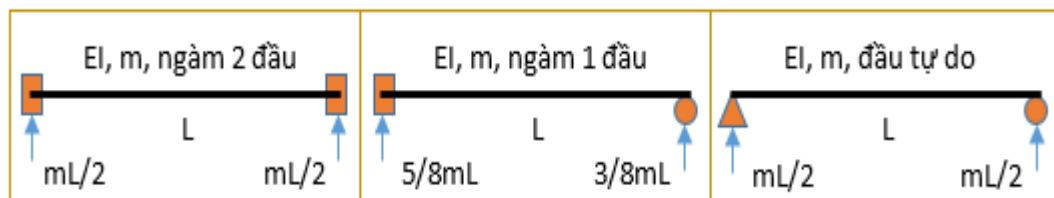
Từ động lực học kết cấu, tần số phương thức, f , của một hệ thống bằng tần số góc ω , chia cho 2π và được tính bằng phương trình 2.13.

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (2.13)$$

f _ tần số dao động của một chu kỳ dao động; k , m _ độ cứng và khối lượng toàn hệ thống.

b/ Phân tích động của hệ thống dầm cầu giản đơn

Việc lý tưởng hóa một kết cấu thực phức tạp thành một hệ thống kết cấu đơn giản là một phần thiết yếu trong lý thuyết về kỹ thuật kết cấu. Một hệ thống liên tục với khối lượng phân tán có số bậc tự do không giới hạn và một loạt các mẫu biến dạng không xác định. Phân tích một hệ thống với sự phức tạp như vậy là không thuận tiện trong thực tế. Luận án phân tích cầu dầm I DUL được lý tưởng hóa như một dầm đơn giản như trong hình 2.6, với khối lượng phân bố, độ cứng của hệ thống và điều kiện biên là giv cố định và di động để phân tích động lực học.



Hình 2. 6 Mô hình cầu lý tưởng là một dầm đơn để phân tích động.

Chuyển vị đứng của dầm xác định theo khoảng cách và thời gian, phương trình 2.14:

$$y(x, t) = \varphi(x) * f(t) \quad (2.14)$$

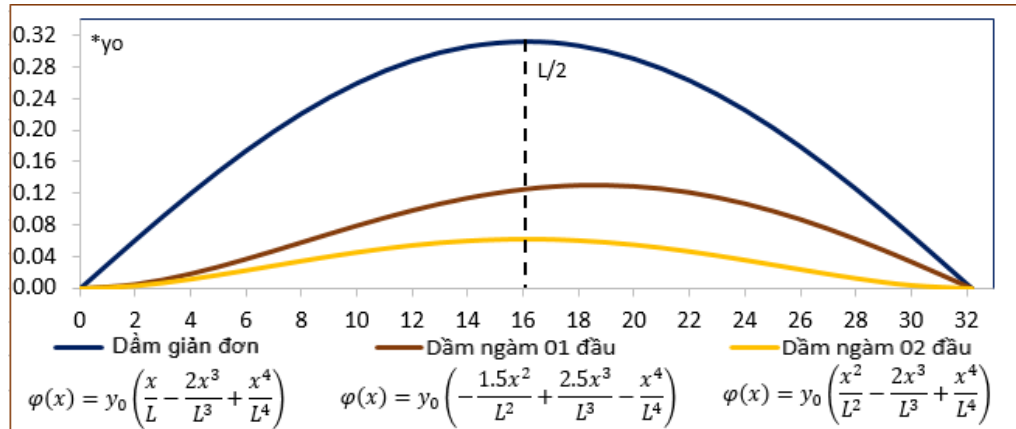
Trong đó: x _ khoảng cách dọc theo chiều dài của dầm; y _ chuyển vị đứng; t _ thời gian; $f(t)$ _ hàm của thời gian; $\varphi(x)$ _ hàm hình dạng chuyển động của dầm.

▪ Dùng phương pháp tích phân momen trong Sức bền Vật liệu cho các phương trình góc xoay $\theta(x)$ và chuyển vị $v(x)$, hàm dạng hệ dầm xác định bằng phương trình 2.15:

$$\varphi = - \int \frac{M_x}{EI_x} dz + C ; \vartheta = \iint \frac{M_x}{EI_x} dz dz + C_z + D \quad (2.15)$$

Trong đó C , D là những hằng số tích phân theo các điều kiện biên.

Đồ thị các hàm dạng dầm đơn được thể hiện theo hình 2.7.



Trong đó: y_0 _ hệ số rung động; L _ chiều dài dầm đơn.

Hình 2. 7 Hàm dạng dầm đơn để phân tích động.

- Sử dụng phương pháp năng lượng _ Công thức Rayleigh và hàm hình dạng $\varphi(x)$, khối lượng hiệu dụng M_e và độ cứng hiệu quả K_e được tính bằng các phương trình (2.16; 2.17):

$$M_e = \int_0^L m\{\varphi(x)\}^2 dx \quad (2.16)$$

$$K_e = \int_0^L EI\{\varphi''(x)\}^2 dx \quad (2.17)$$

Tần số phương thức của dầm đơn, được xác định theo biểu thức trong hình 2.8.

■ EI, m, ngàm 2 đầu ■	■ EI, m, ngàm 1 đầu ●	▲ EI, m, 2 đầu tự do ●
$M_e = \frac{1}{630} m_t y_0^2$ $K_e = \frac{4 EI}{5 L^3} y_0^2$	$M_e = \frac{19}{630} m_t y_0^2$ $K_e = \frac{108 EI}{15 L^3} y_0^2$	$M_e = \frac{31}{630} m_t y_0^2$ $K_e = \frac{4.8 EI}{1 L^3} y_0^2$
$f_1 = 3.573 \sqrt{\frac{EI}{m_t L^3}}$	$f_1 = 2.459 \sqrt{\frac{EI}{m_t L^3}}$	$f_1 = 1.572 \sqrt{\frac{EI}{m_t L^3}}$
$f_1 = 2.273 * f_3$	$f_1 = 1.564 * f_3$	$f_1 = f_3$

Hình 2. 8 Tần số cơ bản dầm đơn để phân tích động.

Độ cứng động hiệu quả EI của dầm hai đầu gối tự do, được xác định phương trình 2.18:

$$EI = \frac{f^2 * \pi^2 * m_t * L^3}{24.3871} \quad (2.18)$$

Cường độ f^c của kết cấu được tính toán từ giá trị module đàn hồi E theo công thức 2.18.

2.4 Cơ sở lý thuyết mạng nơ-ron nhân tạo cho đánh giá xếp hạng tải cho cầu

2.4.1 ANN trong ứng dụng vào công trình khoa học và xã hội

Mạng nơ-ron nhân tạo, Artificial Neural Network (ANN) thường được gọi tắt là mạng nơ-ron nhân tạo, là một mô hình xử lý thông tin phỏng theo cách thức xử lý thông tin của các hệ nơ-ron sinh học. Mạng nơ-ron nhân tạo được cấu thành từ một hệ thống lớn các phần tử xử lý (nơ-ron) kết nối với nhau thông qua các trọng số liên kết, hoạt động đồng bộ để giải quyết các bài toán phức tạp. Mạng được tinh chỉnh cho từng ứng dụng đặc thù — như nhận dạng mẫu hay phân loại dữ liệu — thông qua quá trình huấn luyện trên tập dữ liệu mẫu. Về bản chất, quá trình học của mạng chính là sự tối ưu hóa và cập nhật liên tục các trọng số liên kết này. Sức mạnh tính toán của ANN không nằm ở từng nơ-ron riêng lẻ, mà bắt nguồn từ sự phối hợp đa chiều trong một kiến trúc thống nhất. Về mặt toán học, một mô hình mạng nơ-ron được đặc trưng bởi ba yếu tố cốt lõi: đặc tính của nơ-ron (đóng vai trò là các nút xử lý), cấu trúc kết nối (kiến trúc mạng), và thuật toán huấn luyện.

ANN được chứng minh là đặc biệt phù hợp cho các bài toán (kết hợp sai, không đầy đủ hoặc mờ dữ liệu) mà không thể xử lý dễ dàng bằng các phương pháp cổ điển. Khả năng ANN học hỏi từ kinh nghiệm và sau đó khái quát hóa việc học này để giải quyết các vấn đề mới và làm chúng trở thành một công cụ phổ biến, duy nhất để mô hình hóa một số vấn đề kỹ thuật đầy thách thức gặp phải trong nhiều lĩnh vực như Điện tử, Viễn thông, Tự động hóa, Y học Sinh học, Kỹ thuật Kết cấu, ... cũng như phản ứng gần đúng kết cấu sự vật và nhận dạng hệ thống.

ANN được áp dụng để nhận dạng cũng như xấp xỉ hàm hệ thống trong nhiều lĩnh vực theo [11], [12], [14], [16], [18], [22], [36], [40], [43], [46], [52], [58], [59], [60], [64], [71], [75].

Các tài liệu khoa học về lĩnh vực công trình cầu giao thông [69], [70], [30], [31], [47] đã được trình bày trong chương Tổng quan.

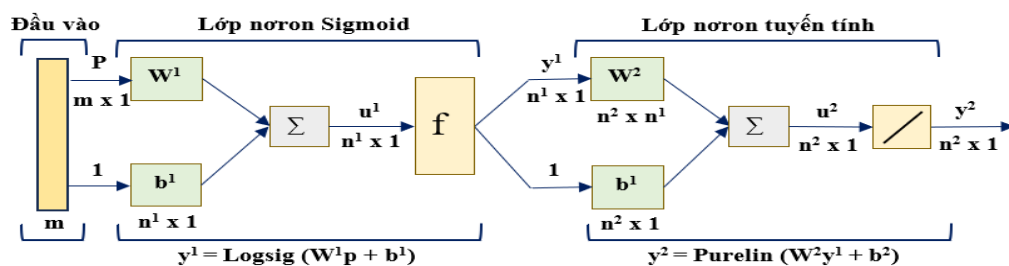
Phần giới thiệu cho thấy ứng dụng mạng nơ-ron nhân tạo có thể nhận dạng, đánh giá việc dự báo kết quả của một hệ thống trong rất nhiều lĩnh vực như đã mô tả, mà không có một phương pháp toán học nào thực hiện chính xác đến hiện nay bởi tính phi tuyến của hệ thống đang cần giải quyết. Bài toán “Ứng dụng mạng nơ-ron nhân tạo để đánh giá xếp hạng tải cho công trình cầu” được xây dựng hoàn chỉnh trong chương của Luận án.

2.4.2 Cơ sở lý thuyết và kinh nghiệm xây dựng mạng nơ-ron nhân tạo trong đánh giá xếp hạng tài cho cầu.

Lý thuyết và kinh nghiệm xây dựng mạng nơ-ron nhân tạo theo [3] , [15] , [28] , [81] .

a/ Thuật toán lan truyền ngược BP (Back-Propagation) trong ANN

Thuật toán lan truyền ngược áp dụng trong ANN sử dụng một tập hợp các giá trị đầu vào và đầu ra để tìm ra mạng nơ-ron nhân tạo mà người sử dụng mong muốn. Từ một tập hợp đầu vào được người sử dụng đưa vào một hệ thống giả định trước đó để tính ra giá trị đầu ra, sau đó giá trị đầu ra này được so sánh với giá trị mong muốn. Trong trường hợp không có sự khác biệt nào, thì sẽ không cần thực hiện một quá trình kiểm tra nào, trong trường hợp ngược lại các trọng số sẽ được tính toán để thay đổi trong quá trình lan truyền ngược trong mạng nơ-ron để giảm sự sai khác đó. Thuật toán lan truyền ngược có thể xem là dạng tổng quát của thuật toán trung bình bình phương tối thiểu (Least Means Square). Thuật toán này thuộc dạng thuật toán xấp xỉ để tìm các điểm mà tại đó hiệu năng của mạng là tối ưu. Các chỉ số tối ưu được xác định bởi một hàm số của ma trận trọng số và các đầu vào nào đó được đưa vào trong mạng.



Hình 2. 9 Mạng nơron truyền thẳng nhiều lớp sử dụng thuật học BP.

Thông thường Mạng lan truyền ngược có một hoặc nhiều lớp ẩn với các nơ-ron dạng sigmoid và lớp ra là các nơ-ron với hàm truyền dạng tuyến tính. Trong khi đó mạng nhiều lớp thường sử dụng thuật học lan truyền ngược. Luật học lan truyền ngược được phát triển từ luật học delta. Cũng như luật học delta, luật học lan truyền ngược là xấp xỉ của thuật toán giảm độ dốc nhất, trong đó hàm chất lượng là sai số bình phương trung bình. Sự khác nhau rõ rệt nhất giữa luật học delta và luật học lan truyền ngược chỉ là cách thức lấy đạo hàm.

Bỏ qua sự phức tạp về mặt toán học, thuật toán phát biểu đơn giản như sau:

i/ Lan truyền xuôi các tính toán trong mạng truyền thẳng (Bước1)

- Các nơ-ron trong lớp đầu vào nhận các tín hiệu từ bên ngoài (với p chính là điểm bắt đầu của mạng ở hình 2.9: $a_0 = p$ (2.19)

- Khi đó, đầu ra của lớp đầu vào trở thành đầu vào của lớp ẩn thứ nhất trong mạng thông qua hàm kết hợp: $a_{inj} = \sum(x_i * w_{ji}) + b_j$ (2.20)

Sau đó, hàm kích hoạt (hàm truyền) sẽ được sử dụng để chuyển giá trị được nhận thành giá trị đầu ra của lớp ẩn thứ nhất. $a_j = f_j(a_{inj})$ (2.21)

▪ Giá trị đầu ra của lớp ẩn thứ nhất thành đầu vào của lớp ẩn thứ hai trong mạng:

$$a_{ink} = \sum_{j=1}^J (a_j * w_{kj}) + b_k \quad (2.22)$$

hàm kích hoạt sẽ được sử dụng để chuyển giá trị được nhận thành giá trị đầu ra của lớp ẩn thứ hai trong mạng: $a_k = f_k(a_{ink})$ (2.23)

▪ Đầu ra của lớp ẩn thứ hai thành đầu vào của lớp đầu ra của mạng: $a_M = a_k$

$$a_{ink} = \sum_{j=1}^J (a_j * w_{kj}) + b_k ; (M \text{ là số thứ tự lớp cuối của mạng}) \quad (2.24)$$

▪ Khi đầu ra của mạng chỉ có một kết quả tức $k = 1$, thì $a_M = f_M(a_{inM})$ là:

$$a_{inM} = \sum_{k=1}^1 (a_k * w_k) + b_M \quad (2.25)$$

Giai đoạn lan truyền thẳng đến đây kết thúc, và chuyển đến giai đoạn lan truyền ngược.

ii/ Lan truyền lỗi (hay độ nhạy cảm) ngược lại qua mạng (Bước 2)

Phương pháp luyện mạng nơ-ron bằng thủ tục lan truyền ngược kết hợp với bước học để tìm nghiệm tối ưu toàn cục. Sử dụng phương pháp giảm nhanh độ dốc nhất để cập nhật trọng số của mạng, ta cần các thông tin liên quan đến đạo hàm riêng của hàm lỗi lấy trên từng trọng số và thuật toán cập nhật trọng số trong các lớp ẩn và lớp ra.

Với một tập mẫu cho trước, đạo hàm hàm sai số bằng cách lấy tổng đạo hàm hàm lỗi trên từng mẫu trong tập đó. Phân tích và tính đạo hàm này dựa trên “qui tắc chuỗi”. Độ dốc của tiếp tuyến với đường cong sai số trong mặt cắt theo trục w gọi là đạo hàm riêng của hàm lỗi J lấy theo trọng số đó, ký hiệu là $\partial J / \partial w$, dùng quy tắc chuỗi ta có:

$$\frac{\partial J}{\partial w} = \frac{\partial J}{\partial w_1} * \frac{\partial w_1}{\partial w_2} * \dots * \frac{\partial w_n}{\partial w} \quad (2.26)$$

Thuật toán lan truyền ngược sử dụng chỉ số hiệu năng là trung bình bình phương lỗi của đầu ra so với giá trị đích tương ứng. Đầu vào của thuật toán chính là tập các cặp mô tả số liệu đầu vào và giá trị đích thực tế của nó. Từ đó, với mỗi bộ số liệu tính được từng sai số đầu ra tương ứng, giá trị này được gọi là hàm mất mát (Cost Function - J).

$$J = \frac{1}{NP} \sum_{P=1}^P \sum_{i=1}^N (t_{Pi} - y_{Pi})^2 \quad (2.27)$$

Trong đó: t_{Pi} một đầu vào; y_{Pi} đầu ra mong muốn tương ứng; i số nơ-ron đầu ra.

iii/ Cập nhật lại các trọng số và độ lệch tương ứng (Bước 3)

• Điều chỉnh trọng số lớp ra: $\frac{\partial J}{\partial w_{out}} = \frac{\partial J}{\partial z} * \frac{\partial z}{\partial v} * \frac{\partial v}{\partial w_{out}}$ (2.28)

Gọi: w_{out} : trọng số lớp ra; z : đầu ra của nơ-ron lớp ra; t : giá trị đích mong muốn; y :

đầu ra của nơ-ron trong lớp ẩn; v : tổng trọng hóa, $v = \sum_{j=0}^{M-1} w_j^{out} y_j$ nên $\partial v / \partial w_j^{out} = y_j$ (bỏ qua các chỉ số của các nơ-ron lớp đầu ra).

$$\text{Dùng hàm mục tiêu } J = 0.5 * (z - t)^2, \text{ nên } \partial J / \partial z = (z - t) \quad (2.29)$$

Hàm kích hoạt nơ-ron lớp ra là sigmoid, $z = g(v)$,

$$\text{với } \partial z / \partial v = z * (1 - z) \quad (2.30)$$

$$z = \frac{1}{(1 + e^{-v})} \text{ nên } \partial z / \partial v = z * (1 - z) \quad (2.31)$$

$$\text{Ta có: } \frac{\partial J}{\partial w_{out}} = \frac{\partial J}{\partial z} * \frac{\partial z}{\partial v} * \frac{\partial v}{\partial w_{out}} = (z - t) * z * (1 - z) * y \quad (2.32)$$

Từ đó ta có công thức cập nhật trọng số lớp ra như sau (bỏ qua các chỉ số):

$$\Delta w_{out} = (z - t) * z * (1 - z) * y \quad (2.33)$$

• Điều chỉnh trọng số lớp ẩn:

Lớp ẩn tự chúng không gây ra lỗi nhưng nó góp phần tác động vào sai số của lớp ra. Đạo hàm hàm mục tiêu của mạng đối với một trọng số lớp ẩn được tính theo qui tắc chuỗi từ (đạo hàm đầu ra của nơ-ron lớp ra đến đầu ra của nơ-ron lớp ẩn)*(đạo hàm đầu ra của nơ-ron lớp ẩn đến trọng số lớp ẩn), như sau:

$$\frac{\partial J}{\partial w_{in}} = \frac{\partial J}{\partial y} * \frac{\partial y}{\partial w_{in}} \quad (2.34)$$

$$\text{Ở đây: } \frac{\partial J}{\partial y} = \frac{\partial J}{\partial z} * \frac{\partial z}{\partial v} * \frac{\partial v}{\partial y} \quad \text{và} \quad \frac{\partial J}{\partial w_{in}} = \frac{\partial y}{\partial u} * \frac{\partial u}{\partial w_{in}} \quad (2.35)$$

Gọi w_{in} : trọng số lớp ẩn; y : đầu ra của một nơ-ron trong lớp ẩn; x_i : vectơ vào của lớp vào; u : tổng trọng hóa $u = \sum_{i=0}^{N-1} w_i^{in} x_i$, nên $\frac{\partial u}{\partial w_i^{in}} = x_i$; k : chỉ số của các nơ-ron trong lớp ra.

$$\text{Ta có: } \frac{\partial J}{\partial y} = \sum_{k=0}^{K-1} \frac{\partial J}{\partial z_k} * \frac{\partial z_k}{\partial v_k} * \frac{\partial v_k}{\partial y} \quad (2.36)$$

Chỉ xét cho một nơ-ron lớp ẩn nên chỉ số của lớp ẩn được lược bỏ cho đơn giản. Đến đây nhận thấy lượng $\left(\frac{\partial J}{\partial z}\right) * \left(\frac{\partial z}{\partial v}\right)$ được lan truyền ngược về lớp ẩn, chỉ số k nói rằng:

$$\left(\frac{\partial J}{\partial z}\right) * \left(\frac{\partial z}{\partial v}\right) = (z_k - t_k) * z_k * (1 - z_k), \text{ nơ-ron thứ } k \text{ ở lớp ra} \quad (2.37)$$

Như đã biết thì v là tổng trọng hóa, nên $\left(\frac{\partial v}{\partial y}\right) = w_{out}$ với chỉ số k thì $\left(\frac{\partial v_k}{\partial y}\right) = w_k^{out}$.

$$\frac{\partial J}{\partial y} = \sum_{k=0}^{K-1} (z_k - t_k) * z_k * (1 - z_k) * w_k^{out} \quad (2.38)$$

trong công thức này đã lược bỏ chỉ số của nơ-ron lớp ẩn, cái mà được gắn với y (viết đầy đủ là $\left(\frac{\partial J}{\partial j_i}\right)$, với $j = 0 \dots M-1$).

$$\text{Đến đây, số hạng đầu tiên của } \frac{\partial J}{\partial w_{in}} \text{ là } \frac{\partial J}{\partial y} = \frac{\partial J}{\partial z} * \frac{\partial z}{\partial v} * \frac{\partial v}{\partial y} \text{ hoàn thành.} \quad (2.39)$$

Tiếp theo, xét số hạng thứ hai $\left(\frac{\partial v}{\partial w_{in}}\right)$, là sự biến đổi của đầu ra của một nơ-ron thuộc lớp ẩn theo tổng trọng hóa các thành phần vectơ đầu vào của lớp vào.

Mối quan hệ giữa y và u theo hàm kích hoạt nơ-ron, $y = \frac{1}{(1+e^{-u})}$ nên $\left(\frac{\partial v}{\partial y}\right) = y * (1 - y)$ và $\left(\frac{\partial v}{\partial w_{in}}\right)$ là sự biến đổi của đầu ra của nơ-ron lớp ẩn theo trọng số lớp ẩn. Vì u là tổng trọng hóa của các thành phần vectơ đầu vào, nên $u = \sum_{i=0}^{N=1} w_i^{in} x_i$ và có ngay $\frac{\partial v}{\partial w_i^{in}} = x_i$.

Tóm lại, ta có đạo hàm hàm mục tiêu theo một trọng số của lớp ẩn:

$$\frac{\partial J}{\partial w_i^{in}} = \sum_{k=0}^{k-1} (z_k - t_k) * z_k * (1 - z_k) * w_k^{out} * y * (1 - y) * x_i \quad (2.40)$$

Từ đây đi đến công thức điều chỉnh trọng số cho lớp ẩn:

$$\Delta w_i^{in} = \alpha \sum_{k=0}^{k-1} (z_k - t_k) * z_k * (1 - z_k) * w_k^{out} * y * (1 - y) * x_i \quad (2.41)$$

Trong công thức Δw_i^{in} , chỉ số i biểu thị tham số thứ i của lớp vào, chỉ số k biểu thị nơ-ron thứ k lớp ra; trong công thức chúng ta đã không biểu thị chỉ số j , biểu thị nơ-ron lớp ẩn.

• Thuật toán sẽ điều chỉnh các tham số của mạng bằng cách tối thiểu hóa hàm J , từ hàm J vừa tìm được, tính đạo hàm của hàm này theo trọng số giữa lớp ẩn/lớp ra và trọng số giữa lớp nhập/lớp ẩn.

$$\Delta w_{kl} = \frac{\partial J}{\partial w_{kl}} \text{ và } \Delta w_{ji} = \frac{\partial J}{\partial w_{ji}} \quad (2.42)$$

Với: $\frac{\partial J}{\partial w_{kl}}$ là Đạo hàm riêng của hàm J theo w_{kl} ; $\frac{\partial J}{\partial w_{ji}}$ là Đạo hàm riêng của hàm J theo w_{ji}

d/ Giá trị trọng số liên kết giữa lớp ẩn/lớp ra cũng như giá trị trọng số liên kết giữa lớp nhập/lớp ẩn được hiệu chỉnh lại đồng thời.

$$w_{ji(new)} = w_{ji(old)} + \alpha * \Delta w_{ji}; w_{kl(new)} = w_{kl(old)} + \alpha * \Delta w_{kl} \quad (2.43)$$

w_{new} _trọng số đã được cập nhật; w_{old} _trọng số chưa được cập nhật; α _tốc độ học.

b/ Nhận dạng hệ thống đánh giá xếp hạng tải cầu (RF) bằng mạng nơ-ron

► Nhận dạng đối tượng khả năng sử dụng mạng nơ-ron

Xét trường hợp đối tượng phi tuyến có độ phức tạp cao, nếu sử dụng phương pháp giải tích thông thường để nhận dạng sẽ rất khó khăn, thậm chí không thực hiện được do sự hiểu biết nghèo về đối tượng. Vì vậy các nhà khoa học đã đưa ra ý tưởng là sử dụng công cụ tính toán mềm như hệ mờ, mạng nơ-ron, đại số gia tử để xấp xỉ - chính là nhận dạng đối tượng. Nhiều tài liệu chỉ ra rằng, mạng nơ-ron là một trong những công cụ hữu hiệu để nhận dạng mô hình đối tượng, tuy không biết được mô hình toán thực sự của đối tượng nhưng hoàn toàn có thể dùng kết quả xấp xỉ để thay thế đối tượng. Hàm kích hoạt phi tuyến trong

các mạng nơ-ron được dùng để mô tả các hệ thống phi tuyến phức tạp. ANN là một trong những công cụ nhận dạng tốt nhất vì các đặc trưng như: khả năng học từ kinh nghiệm; khả năng khái quát hoá cho các đầu vào không được huấn luyện. Từ việc học mạng có thể sẽ dự đoán đầu ra từ đầu vào không biết trước.

► Nhận dạng hệ thống sử dụng mạng nơ-ron

Hệ thống ở đây là hệ thống mẫu đào tạo, chính là quy luật tuyệt đối để liên kết từ giá trị đầu vào đến giá trị đầu ra của tất cả mẫu trong hệ thống trên cơ sở toán học chắc chắn. Nhận dạng hệ thống cần hai giai đoạn, là lựa chọn mô hình và tối ưu tham số mô hình.

- Lựa chọn mô hình: đối với ANN lựa chọn số nút ẩn, số lớp ẩn (kiến trúc của mạng) tương đương với mô hình lựa chọn. ANN có thể được huấn luyện kiểu giám sát với kỹ thuật lan truyền ngược, dựa vào luật học sai số hiệu chỉnh, tín hiệu sai số được lan truyền ngược qua mạng.

- Tối ưu tham số: kỹ thuật lan truyền ngược đã sử dụng phương pháp giảm gradient để xác định các trọng số của mạng vậy tương đương với tối ưu tham số. Mạng nơ-ron được huấn luyện để xấp xỉ mối quan hệ giữa các biến.

Quá trình huấn luyện mạng nơ-ron về bản chất là việc cực tiểu hóa hàm sai số, thường là sai số toàn phương giữa đầu ra dự đoán của mạng và dữ liệu mục tiêu. Trong bài toán nhận dạng mô hình ngược, dữ liệu mục tiêu chính là tín hiệu đầu vào của hệ thống thực tế. Khi mạng được huấn luyện hội tụ, đầu ra của nó sẽ bám sát tín hiệu đầu vào này, đồng nghĩa với việc mạng đã đặc trưng thành công hàm truyền ngược của hệ thống. Ngược lại, đối với bài toán nhận dạng mô hình thuận, mục tiêu là làm cho đầu ra của mạng hội tụ về đầu ra của hệ thống thực tế, qua đó mạng đóng vai trò biểu diễn hàm truyền thuận.

Giả thiết rằng các hàm phi tuyến mô tả hệ thống thuộc một lớp hàm xác định trong miền khảo sát, cấu trúc của mô hình nhận dạng cần được thiết kế tương thích với hệ thống thực tế. Nếu tồn tại một bộ ma trận trọng số lý tưởng cùng các điều kiện ban đầu phù hợp, mô hình mạng nơ-ron có thể tái tạo chính xác tín hiệu đầu ra của hệ thống đối với bất kỳ kích thích đầu vào nào.

c/ Xây dựng mô hình mạng nơ-ron cho xếp hạng tải cầu theo [81] (bộ giả thiết H)

► Xác định bậc tự do trong hệ thống công thức xếp hạng tải (RF) cho cầu

RF , là hàm phức đa biến có bậc 1 hoặc bậc >1 trong không gian đa chiều, có rất nhiều tham số (ẩn số) biểu thị bằng công thức sau:

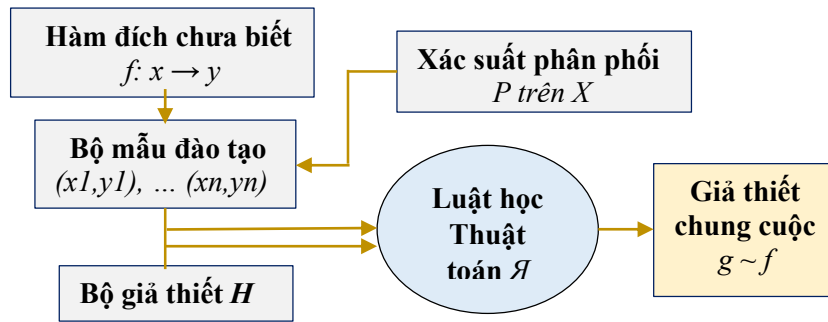
$$RF = \frac{C - \gamma_{DC} * DC - \gamma_{DW} * DW + \gamma_P * P}{\gamma_{LL} * LL * (1 + IM)} \quad (2.44)$$

Bảng 2. 3 Xấp xỉ các tham số tự do của ($g \in H$) mô hình mạng nơ-ron từ công thức (RF)

Momen tĩnh tải ~ N4 ẩn số (bậc 1 hoặc >1)		Ẩn số	Diện tích đơn vị	Adw, Ap	>2
Chiều dài dầm	L	1	Momen do thép dulong	$M_{peg} = P_i \cdot e_{peg}$	>1
Trọng lượng riêng bê tông	γ_c	1	Momen do dầm nguyên	$M_{cg} = q_{cg} \cdot L^2/8$	>1
Trọng lượng riêng thép	γ_s	1	Momen do bản	$M_{sL} = q_{sL} \cdot L^2/8$	>1
Lực căng thép dulong $P_i =$	$n \cdot A_{ps} \cdot (0.78 \cdot f_{pu} - \Delta f_{PT})$	>1	Momen do lớp phủ	$M_{dw} = q_{dw} \cdot L^2/8$	>1
Trọng lượng đơn vị	$q_{cg}, q_{sL}, q_{dw}, q_p$	>4*1	Momen do tải khác	$M_P = q_p \cdot L^2/8$	>1
Đặc trưng hình học ~ N1 ẩn số (bậc 1 hoặc >1)		Ẩn số	Mất mát DUL ~ N2 ẩn số (bậc 1 hoặc >1)		Ẩn số
Chiều cao dầm	H_g	1	Tuyệt neo	Δf_{pA}	>1
Chiều rộng dầm	B_g	1	Ma sát $\Delta f_{PF} =$	$f_{pj} \cdot [1 - e^{-(K_x + \mu \alpha)}]$	>1
Chiều cao bản	H_{sl}	1	Co ngắn đàn hồi Δf_{pES}	$(N-1)/2N \cdot E_p/E_{ci} \cdot f_{cgp}$	>1
Chiều rộng bản	B_{sl}	1	. Lực kéo thép dulong $F =$	$(f_{pj} - \Delta f_{pA} - \Delta f_{pF}) \cdot A_{ps}$	>1
Diện tích thép dulong	A_{ps}	>1	. US tại tâm dulong $f_{cgp} =$	$F / (A_g + F \cdot e_{pg}^2 / I_g - M_{cg} \cdot e_{pg} / I_g)$	
Chiều cao trọng tâm thép dulong	$A_p = (\sum a_i \cdot A_{psi}) / A_{ps}$	>1	. Momen D. nguyên	$M_{cg} = q_{cg} \cdot L^2/8$	>1
Diện tích dầm	$A_g = B_g \cdot H_g + A_{ps}$	>1	Co góc	$\Delta f_{pSR} = 93 - 0.85 \cdot H$	>1
Diện tích bản	$A_{sl} = B_{sl} \cdot H_{sl}$	>1	Từ biến	$\Delta f_{pCR} = 2 \cdot f_{cgp} - 7 \cdot \Delta f_{cdp}$	>1
M tính D. nguyên, liên hợp	S_g, S_c	>1	. Δf_{cdp}	$M_{cd} \cdot e_{pg} / I_g + M_{cp} \cdot e_{pc} / I_c$	>1
Chiều cao miền bê tông	$Y_g^t, Y_g^b, Y_c^t, Y_c^b$	>1	Tự chùng $\Delta f_{pR1} = [\log 24t/40] \cdot [f_{pj} / f_{py} - 0.55] \cdot f_{pj}$		>1
Momen quán tính D. nguyên	$I_g = B_g \cdot H_g^3 / 12$	>1	. $f_{pj} = 0.74 \cdot f_{pu} - \Delta f_{pA} - \Delta f_{pF} - \Delta f_{pES}$		>1
Momen quán tính dôi dầm	$I'_g = A_g \cdot Y_g^2$	>1	. $f_{pR2} = 0.3 \cdot (138 - 0.3 \cdot \Delta f_{pF} - 0.4 \cdot \Delta f_{pES} - 0.2 \cdot (\Delta f_{pSR} + \Delta f_{pCR}))$		>1
Momen quán tính dôi bản	$I'_{sl} = A_{sl} \cdot Y_{sl}^2$	>1			
Sức kháng ~ N3 ẩn số (bậc 1 hoặc >1)		Ẩn số	Chiều cao bê tông nén	$a/2 = \beta_1 \cdot C/2$	>1
Cường độ nén bê tông	f'_c	1	Hệ số β_1	$\beta_1 = 0.85 - 0.05 \cdot (f'_c - 28) / 7$	>1
Cường độ kéo thép dulong	f_{pu}	1	Ứng suất thép dulong	$f_{ps} = f_{pu} \cdot (1 - k \cdot C / d_p)$	>1
$C = (A_{ps} + A_{sfs} - A'_{sfs}) / (0.85 \cdot \beta_1 \cdot f'_c \cdot b + k \cdot A_{ps} \cdot f_{pu} / d_p)$		>1	Sức kháng kết cấu	$M_r = A_{ps} \cdot f_{ps} \cdot (d_p - a/2)$	>1
Momen hoạt tải ~ N5 ẩn số (bậc 1 hoặc >1)		Ẩn số	Khoảng cách tâm dầm/bản	$E_g = (H - Y_{gb}) + h_{sl} / 2$	>1
Tải trọng trục xe (3 trục)	P_i	3	Độ cứng dầm I liên hợp	$K_g = n \cdot (I + A_g \cdot e_g^2)$	>1
Khoảng cách gối-trục xe	L_i	5	Hệ số ngang $g_{in} = 0,075 + (S/2900)^{0.6} \cdot (S/L)^{0.2} \cdot (Kg/Lt)^{0.1}$		
Chiều cao tung độ ĐAH	Y_i	5	Hệ số ngang $g_{out} = g_{in} \cdot (B_{out} - 0.5 B_{in} - 500) / 2800$		>1
Số làn hoạt tải	(1, 2, 3, 4) làn	4	Phản lực gối	R_i	>1
Số làn bộ hành	(0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3)	6	Momen hoạt tải	$M_{LL} = 2 \cdot \sum P_i \cdot Y_i$	>1
Tải trọng làn	q_{lan}	1	Momen bộ hành	$M_{BH} = q_{bh} \cdot L^2 / 8$	>1
Tải trọng bộ hành	q_{bh}	1	Momen do làn tải	$M_{lan} = q_{lan} \cdot L^2 / 8$	>1
Hệ số làn hoạt tải, f	(1, 2, 3)	3	$M_{LL.LRFR} = 1.75 \cdot ((1.25 M_{3truc} + M_{qlan}) \cdot lan \cdot f + M_{bh}) \cdot g_{in}$		
Hệ số ngang đôn bẫy $g_{inLL}, g_{inPL}, g_{outLL}, g_{outPL}$		>4*1	$M_{db.LRFR} = 1.75 \cdot (1.25 M_{3truc} + M_{qlan}) \cdot g_{inPL}$		>1
Tổng tham số tự do	$N_1 + N_2 + N_3 + N_4 + N_5$		Độ võng $\Delta = 5 \cdot q \cdot L^4 / (384 \cdot E \cdot I)$		>1

Xấp xỉ các tham số tự do (ẩn số ước tính) trong hệ thống dầm I, số lượng ẩn số trong biểu thức toán học của sức kháng, hiệu ứng tĩnh tải, hiệu ứng hoạt tải có khả năng tương đương (200, 40, 100) ẩn số, tương ứng.

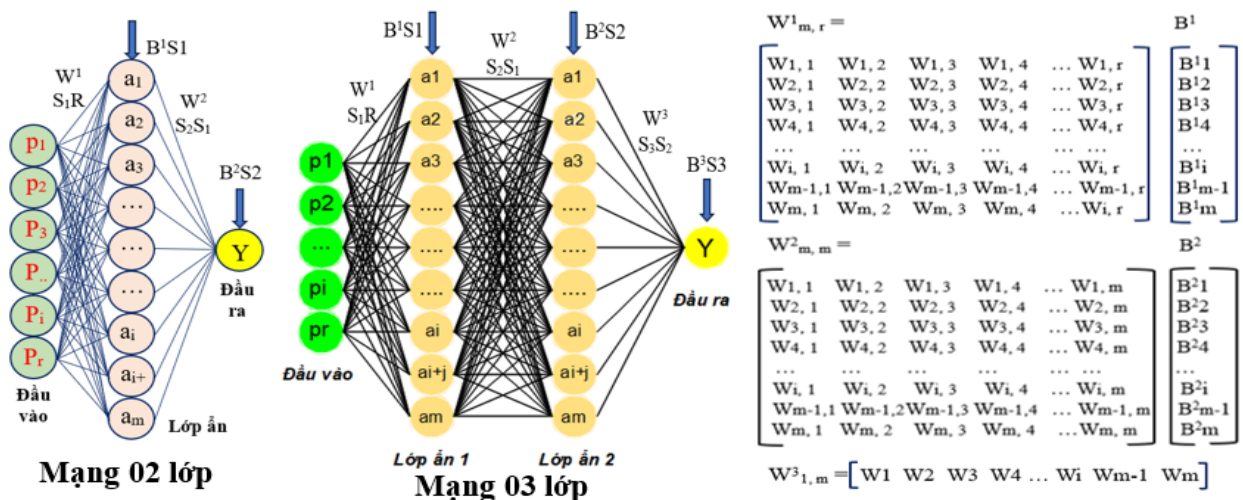
► Xác định bộ giả thiết H cho mô hình mạng nơ-ron (The VC Dimension)



Hình 2. 10 Lưu đồ tạo hàm giả thiết $g \in H$ cho mô hình_ (Vapnik-Chervonenkis).

(nguồn California Institute of Technology_Yaser S Abu-Mostafa _The VC Dimension)

Theo lưu đồ hình 2.10, hàm đích f là hàm đa biến (bậc 1 hoặc >1) tạo từ số lượng ẩn số của sức kháng, momen tĩnh tải, momen hoạt tải được xấp xỉ ở trên. Với mạng nơ-ron thì một perceptron đại diện cho một hàm tuyến tính bậc nhất $y = aw_1 + w_0$ (w_1, w_0 là trọng số và bias) tương ứng 02 tham số tự do trong mô hình mạng nơ-ron. Các bộ giả thiết H của mô hình có thể được tạo từ các perceptron để xấp xỉ hàm f với lượng bậc tự do đã ước tính.



Hình 2. 11 (trái) Mô hình mạng nơ-ron 02 lớp và 03 lớp xấp xỉ hàm (RF) – (phải) Giả định bộ giả thiết H cho mô hình mạng nơ-ron tại hình 2.11.

► Xác định Input (r đầu vào) - Hidden layers (m số lớp ẩn) - Outputs (lớp đầu ra)

Tham số hiệu quả mô hình (W_i, B_i) được chọn sao cho tương quan với số lượng ẩn số của hàm đích f (hàm RF). Mạng có số lượng tham số đầu vào r lớn thì thông tin nhiều, học nhanh và khái quát hoá tốt nhưng vận hành mạng sẽ nhiều thời gian và tốn năng lượng máy. Dự kiến tham số đầu vào r và số lượng nơ-ron lớp ẩn m cho mô hình ANN:

- Input (đầu vào): tham số đầu vào $r = (3 \div 6)$ dự kiến cho ANN của (RF).
- Hidden layers (Số lớp ẩn): lớp ẩn có số lượng nơ-ron $m = (5 \div 35)$.
- Outputs (lớp đầu ra) = 01 (tham số chính xếp hạng tải (RF): sức kháng, hiệu ứng tải).

d/ Xây dựng mô hình mạng nơ-ron từ kinh nghiệm nghiên cứu khoa học

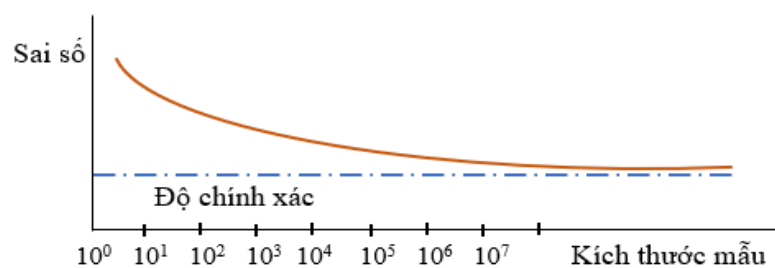
Theo N.T. T. Nga, Luận án TSKT [19].

Xác định cấu hình lớp ẩn tối ưu là một thách thức thiết kế đáng kể, do các bài toán phức tạp thường yêu cầu kiến trúc đa lớp ẩn để đảm bảo độ chính xác. Tuy nhiên, lý thuyết xấp xỉ vạn năng đã chứng minh năng lực của mạng MLP: một mạng 2 lớp với hàm kích hoạt sigmoid hoàn toàn có thể biểu diễn bất kỳ hàm Boolean nào. Mở rộng hơn, một mạng MLP 2 lớp đủ khả năng xấp xỉ mọi hàm liên tục với sai số nhỏ tùy ý. Đối với các hàm toán học bất kỳ ở mức độ phức tạp cao hơn, kiến trúc mạng MLP 3 lớp với cơ chế kích hoạt tương tự được chứng minh là cấu trúc cần thiết và đủ để thực hiện quá trình xấp xỉ.

Trong trường hợp dữ liệu huấn luyện nằm phân tán và không chứa các đặc tính chung, số lượng nơ-ron có thể gần bằng với số lượng các mẫu huấn luyện để mạng có thể hội tụ. Nhiều nhà nghiên cứu đề nghị việc chọn số lượng nơ-ron lớp ẩn h trong một mạng MLP, $h > (p-1)/(n+2)$, trong đó p là số lượng mẫu huấn luyện và n là số lượng đầu vào của mạng. Càng nhiều nơ-ron ẩn trong mạng, thì càng nhiều đặc tính của dữ liệu huấn luyện sẽ được mạng nắm bắt, nhưng thời gian học sẽ càng tăng.

e/ Xác định kích thước mẫu cho đào tạo ANN

Kích thước tập dữ liệu huấn luyện tỷ lệ thuận với hai yếu tố: sự phức tạp của hệ thống cần mô phỏng và mức độ nhiễu của dữ liệu đo đạc. Đối với mạng nơ-ron truyền thẳng, độ chính xác của mô hình bị giới hạn bởi một ngưỡng tiệm cận lý thuyết, đòi hỏi lượng dữ liệu vô hạn để đạt được sai số tối thiểu. Quá trình gia tăng số lượng mẫu sẽ giúp cải thiện độ chính xác theo quy luật tiệm cận: tăng vọt ở giai đoạn đầu và chậm dần khi mô hình bão hòa. Mối quan hệ giữa sự sụt giảm sai số và kích thước tập dữ liệu được đặc trưng bởi đường cong học tập của mô hình.



Hình 2. 12 Mối liên hệ giữa sai số và kích thước mẫu

Theo Yaser Abu-Mostafa (2012), *Learning from Data*, Hameetman auditorium, Caltech. [81], với quy tắc ngón tay cái, số lượng mẫu được xác định là:

$$N = 10*(d_{VC} + 1); \quad (2.45)$$

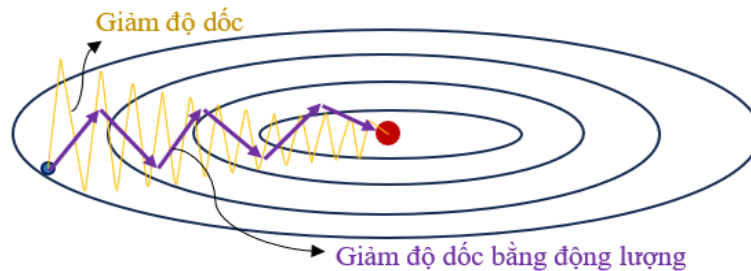
d_{VC} là kích thước VC chính là bậc tự do của giả thiết mô hình.

Kích thước mẫu cần đào tạo cho ANN của RF là: (500 ÷ 1000).

f/ Thuật toán huấn luyện mạng nơ-ron trong Luận án

Huấn luyện mạng là quá trình thay đổi các trọng số kết nối cũng như cấu trúc của mạng sao cho phù hợp với các mẫu học. Với 3 kỹ thuật học phân biệt, là học có giám sát (supervised learning), học không giám sát (unsupervised learning) và học tăng cường (reinforcement learning). Ở mỗi kỹ thuật học có nhiều giải thuật huấn luyện khác nhau. Trong Luận án, dùng luật học có giám sát và giới thiệu các thuật toán chính phục vụ cho việc tính toán hệ số RF_ xếp hạng tải cho cầu.

► Thuật toán Giảm độ dốc với Động lượng (Gradient Descent with Momentum)



Hình 2. 13 Biểu thị tốc độ học của thuật toán GDM về mục tiêu cực tiểu

- Theo phương đứng: tốc độ học tập chậm và dao động trung bình tiến về giá trị không
- Theo phương ngang: tốc độ học tập nhanh, có vận tốc, gia tốc hỗ trợ cho đạo hàm biến

Tiến hành: khởi tạo $Vdw = 0; Vdb = 0$. Tại mỗi vòng lặp t : tính dw, db ở bộ dữ liệu

$$\rightarrow Vdw = \beta_1 * Vdw + (1 - \beta_1) * dW; Vdw_vận\ tốc; (1 - \beta_1) * dW_gia\ tốc \quad (2.46)$$

$$\rightarrow Vdb = \beta_1 * Vdb + (1 - \beta_1) * db \quad (2.47)$$

$$W = W - \alpha * Vdw; b = b - \alpha * Vdb; 02\ tham\ số\ là\ \alpha; \beta_1\ (\beta_1 = 0.9) \quad (2.48)$$

► Thuật toán Levenberg - Marquardt_ đào tạo mô hình ANN luận án

Thuật toán Levenberg - Marquardt ổn định và có tốc độ hội tụ nhanh nhất đối với ứng dụng nhận dạng mô hình. Gọi $W_{ji}(n)$ là trọng số kết nối từ neuron thứ i đến neuron thứ j ở thời kỳ huấn luyện (epoch) thứ (n) . Giải thuật Levenberg - Marquardt cập nhật trọng số này ở thời kỳ huấn luyện thứ $(n+1)$ như sau:

$$W_{ji}(n+1) = W_{ji}(n) - [J^T J + \mu * I]^{-1} * J^T e \quad (2.49)$$

$$j_j = j_x * j_x; j_e = j_x * E; dX = - (j_j + I * \mu) \setminus j_e \quad (2.50)$$

I là ma trận đơn vị; μ là một hệ số có giá trị nhỏ được thay đổi trong quá trình huấn luyện; J^T là ma trận chuyển vị của J và J là ma trận Jacobian chứa các đạo hàm bậc nhất của hàm lỗi e theo trọng số kết nối $(\partial e / \partial w_{ji})$.

Có tập dữ liệu huấn luyện là $\{p_1, t_1\}, \{p_2, t_2\}, \dots, \{p_N, t_N\}$. Với $p_i \in p$ là đầu vào của mạng,

$t_i \in t$ là đầu ra mong muốn tương ứng. Khi mỗi mẫu dữ liệu đưa vào mạng, vectơ đầu ra thực tế a (mạng tính toán) được so sánh với t để xác định lỗi: $e_i = t_i - a_i$.

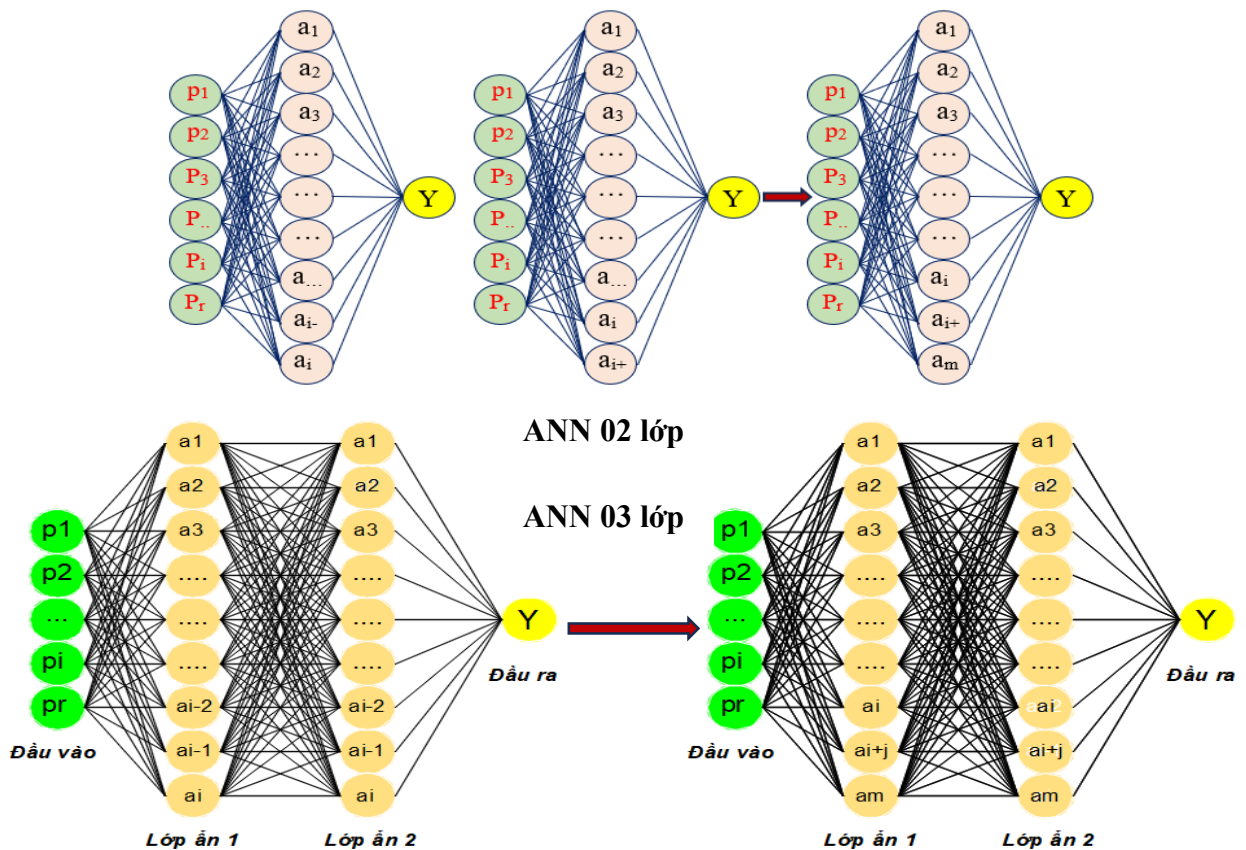
Lỗi của huấn luyện mạng được đánh giá dựa trên hàm mục tiêu MSE (Mean Square Error). Với N mẫu huấn luyện được đưa vào mạng, $MSE = \sum_{i=1}^n e_i^2$.

2.4.3 Thiết lập mô hình mạng nơ-ron để đánh giá xếp hạng tải cho cầu trong luận án

a/ Kiến trúc mạng nơ-ron được xây dựng dùng đánh giá xếp hạng tải cầu

► Kiến trúc cho mạng nơ-ron sẽ được lập như tiểu mục c/ mục 2.4.2 thể hiện ở hình 2.11

Mô hình mạng nơ-ron được xây dựng theo 2 lớp và 3 lớp:



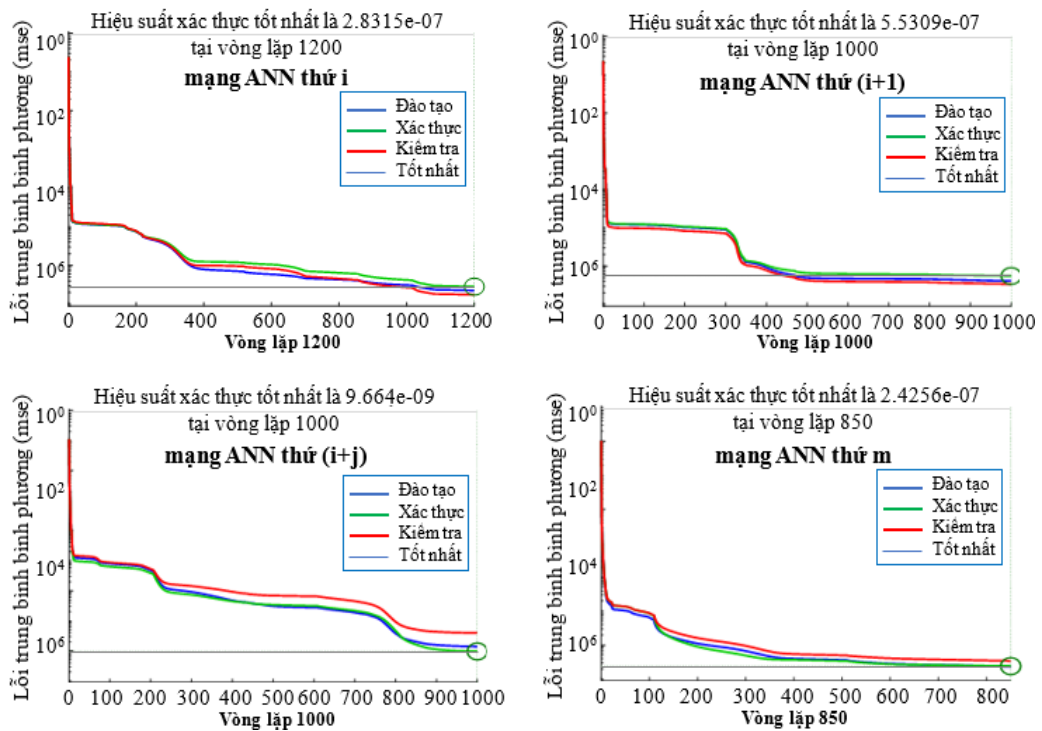
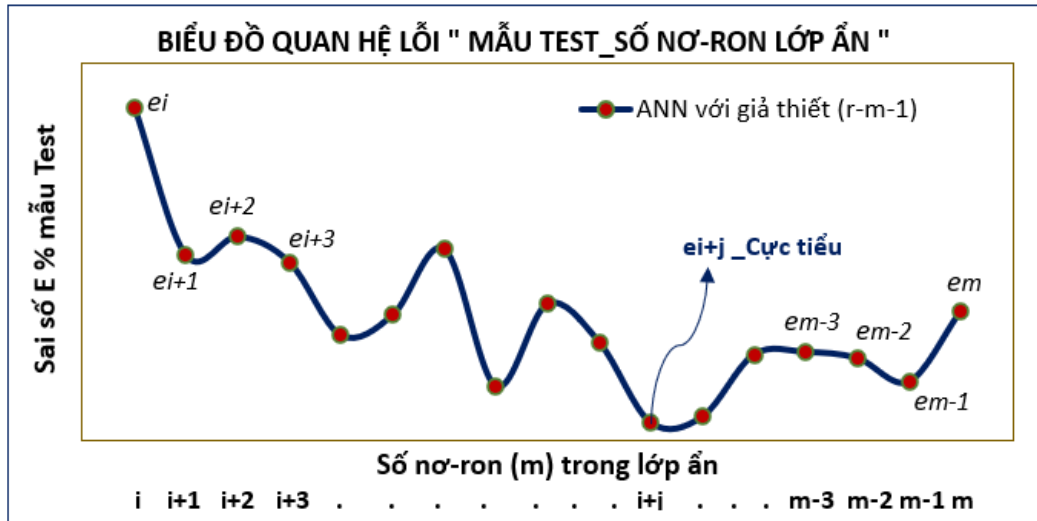
Hình 2. 14 Mô hình đào tạo ANN (2 ÷ 3) lớp theo số nơ-ron lớp ẩn về mục tiêu cực tiểu

► Đào tạo mô hình mạng theo số lượng nơ-ron lớp ẩn

Khởi điểm đào tạo ở số lượng nơ-ron nhỏ nhất thứ i , tiếp tục đến số lượng nơ-ron cao nhất thứ m sao cho giá trị hàm lỗi (sai số của mẫu Test) đạt được nhỏ nhất, ở hình 2.14.

► Sau đó, thiết lập biểu đồ quan hệ lỗi kiểm tra min / số lượng nơ-ron trong (các) lớp ẩn, để chọn mạng tối ưu, thể hiện ở hình 2.15.

► Mô hình mạng tối ưu sau đó chọn để mô phỏng đánh giá xếp hạng tải cho cầu trong luận án là mạng có lỗi kiểm tra min nhỏ nhất



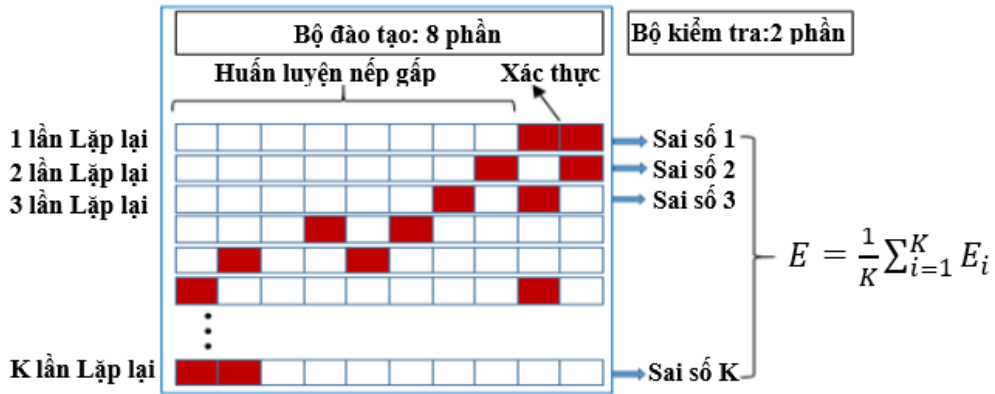
Hình 2. 15 Sai số E% đào tạo ANN theo số nơ-ron lớp ẩn về mục tiêu cực tiểu.

b/ Tối ưu hóa tham số kỹ thuật mạng nơ-ron dùng trong Luận án

- Thuật toán đào tạo: Trainlm và Luật học: Learngd.
- Hàm sai số mục tiêu: MSE và MAE (Sai số trung bình bình phương và tuyệt đối).
- Các tham số kỹ thuật đào tạo: Chọn lọc trong thuật toán để tối ưu hóa toàn cục.
- Phương pháp đào tạo: Cross_Validation + Early Stopping.
 - Chia bộ dữ liệu tổng là 100% dùng để tạo mô hình làm 02 phần là bộ dữ liệu dùng đào tạo TrainingS ~ (80÷85) % và bộ dữ liệu dùng kiểm tra Test ~ (15÷20) %.
 - Diễn hình, chia tiếp bộ TrainingS gấp lại làm 10 phần, lấy 08 phần là bộ dữ liệu dùng đào tạo chính thức Training và 02 phần làm bộ dữ liệu dùng để xác thực Validation.

▪ **Cross_Validation:** Thực hiện việc phân chia bộ TrainingS làm nhiều tập con, K tập con, mang tính ngẫu nhiên và rải đều trên suốt chiều dài số lượng mẫu. Số lượng các tập con này càng lớn thì khả năng xác thực càng nhiều và tối ưu hóa hàm mục tiêu càng cao.

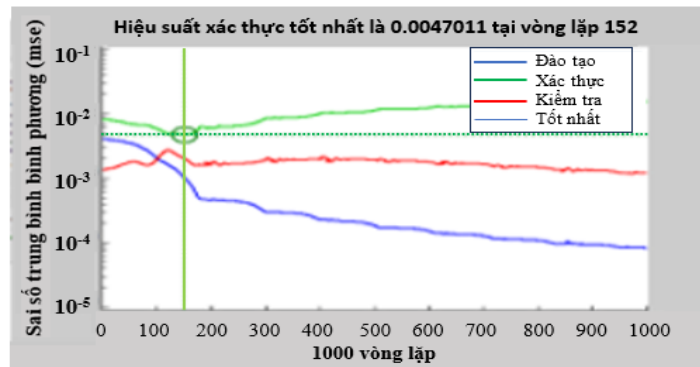
$$\text{TrainingS} = \sum (\text{Training} + \text{Validation})_i \quad i \in K, \text{ tập con thứ } i \text{ trong } K.$$



Hình 2. 16 Phương pháp chọn cross – validation trên tập dữ liệu mô hình.

▪ **Early Stopping:** Thực hiện đào tạo mạng trên các tập con thuộc K tập là các (Training và Validation) i . Việc dừng đào tạo trên từng tập con này khi giá trị hàm sai số trên bộ Validation bắt đầu tăng lên so với vòng lặp trước đó. Trung bình trọng số (w) và bias (b) tất cả của tập K là ma trận trung bình chính là ma trận cần tìm mạng tối ưu hóa.

• Giá trị MSE của mô hình mạng đào tạo được chọn tối ưu là MSE của bộ xác thực, Validation (xanh lá). Là điều kiện để quá trình đào tạo tránh được hiện tượng Overfitting.



Hình 2. 17 Minh họa Validation trên tập dữ liệu mô hình.

Kết luận Chương 2

Chương 2 đã trình bày cơ sở lý thuyết cho đánh giá khả năng chịu tải hay xác định hệ số xếp hạng tải trọng cho công trình cầu, trong đó lý thuyết dùng tính toán kết cấu cầu là theo TCVN 11823:2017, MBE:2011 (AASHTO), các quy trình đánh giá cầu theo TCVN 12882:2020 và Triết lý xếp hạng tải theo hệ số sức kháng và hệ số tải trọng (LRFR).

Chương 2 đã trình bày các lý thuyết tính toán cơ học mở rộng mối tương quan giữa “Độ cứng đến chuyển vị đứng và tần số dao động của dầm” trong kết cấu để làm cơ sở đánh giá xếp hạng tải cho cầu trong chương 4 của Luận án.

Chương 2 cũng đã trình bày cơ sở lý thuyết mạng nơ-ron nhân tạo (ANN) cũng như cách xây dựng kiến trúc ANN trong bài toán xếp hạng tải trọng kết cấu nhịp dầm chữ I bê tông cốt thép dự ứng lực. Trong đó, mạng nơ-ron nhân tạo là một thuật toán mềm có khả năng tính toán mạnh mẽ, một trong những công cụ hữu hiệu để nhận dạng mô hình đối tượng, có khả năng dự đoán tốt cho một hay nhiều sự kiện sự vật trong rất nhiều lĩnh vực.

Các cơ sở lý thuyết từ chương 2 sẽ được luận án triển khai theo hướng nguyên lý khoa học để tạo ra bộ dữ liệu mẫu hệ thống cầu dầm I dự ứng lực và các ANN riêng biệt về sức kháng và hiệu ứng tải nhằm mục tiêu xác định xếp hạng tải cho công trình cầu theo hướng luận án nghiên cứu. Nội dung này sẽ được thể hiện rõ trong chương 3 của luận án.

CHƯƠNG 3 XÂY DỰNG ANN TRONG ĐÁNH GIÁ XẾP HẠNG TẢI CHO CẦU

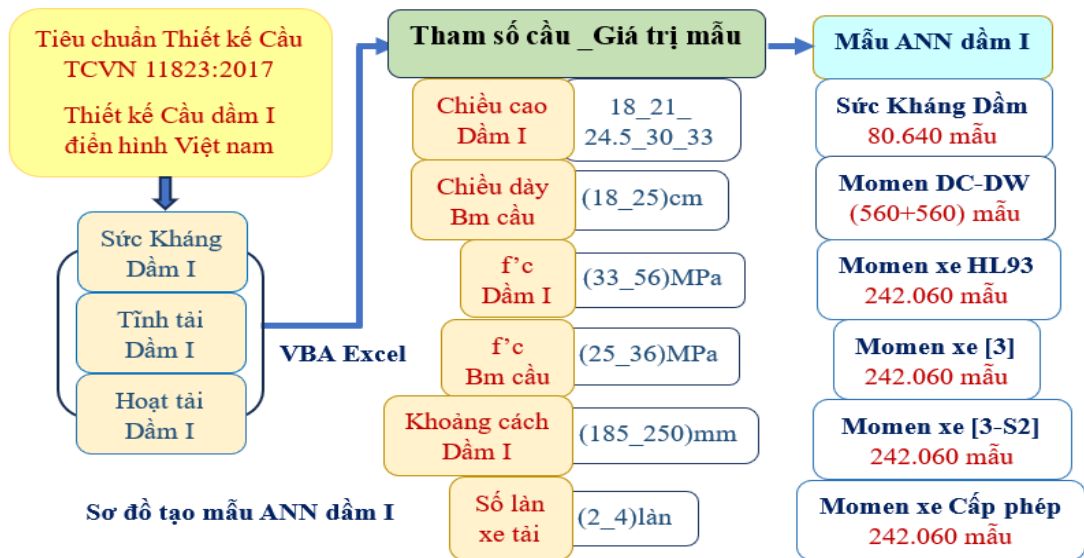
Chương 3 luận án theo nguyên lý khoa học sẽ tạo ra bộ dữ liệu mẫu hệ thống cầu dầm I dự ứng lực trên cơ sở TCVN 11823:2017. Từ bộ dữ liệu mẫu này, ANN được huấn luyện đào tạo để hình thành các ANN riêng biệt về sức kháng và hiệu ứng tải nhằm mục tiêu xác định xếp hạng tải cho công trình cầu tuân thủ theo TCVN 12882:2022 của luận án nghiên cứu. Tiến trình, quy trình thiết lập mẫu hệ thống dầm I được trình bày chi tiết sau.

3.1 Quy trình thiết lập mẫu hệ thống dầm I để đào tạo ANN xếp hạng tải cầu (RF)

Mẫu dùng cho việc đào tạo mạng nơ-ron nhân tạo của Luận án là hệ thống thượng tầng cầu dầm giản đơn bê tông dự ứng lực chữ I đúc sẵn liên hợp với bản mặt cầu, được thiết kế bởi các cơ quan thiết kế cầu giao thông ở Việt Nam là Công Ty Cổ Phần Tư Vấn Thiết Kế Giao Thông Vận Tải Phía Nam -TEDI SOUTH [6] ... Thực tế cho thấy nhiều công trình cầu loại này được khai thác, phục vụ và tồn tại trong hơn hai thập kỷ nay đã chứng tỏ sự ổn định và an toàn trong giao thông. Vì vậy mẫu được xây dựng dùng đào tạo ANN của Luận án là thực tiễn và có độ tin cậy cao. Mẫu dầm chữ I bê tông DUL được thu thập có thông số cố định của mẫu là *Tiết diện hình học bê tông* và *Diện tích cáp DUL* là đặc trưng của loại dầm. Các tham số tạo hệ thống mẫu thể hiện ở mục 3.1.1 được trình bày sau.

3.1.1 Thiết lập dữ liệu mẫu hệ thống dầm I DUL dùng đào tạo ANN

a/ Sơ đồ khối thiết lập dữ liệu mẫu hệ thống dầm I DUL (hình 3.1)



Hình 3. 1 Sơ đồ khối thiết lập mẫu hệ thống dầm I dùng đào tạo ANN

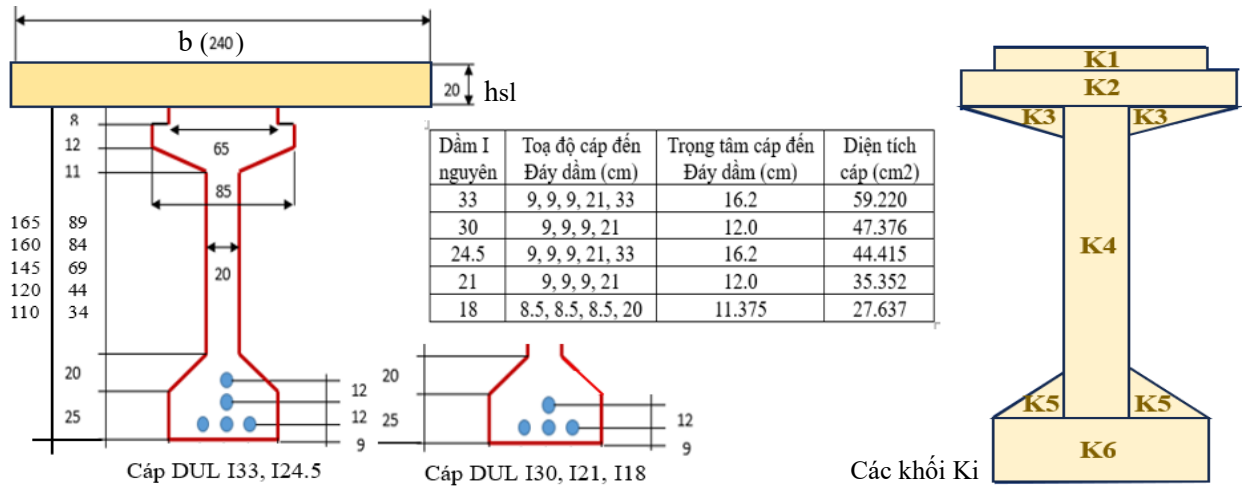
Định nghĩa các loại tải trọng trong hình 3.1

- DC: tĩnh tải bản thân kết cấu và phụ trợ.
- DW: tĩnh tải lớp phủ mặt cầu và tiện ích.

- HL-93: Tải trọng hoạt tải.

b/ Phương pháp tạo dữ liệu mẫu cho hệ thống dầm I DUL đào tạo ANN

► Các mặt cắt ngang chuẩn hoá dầm I DUL: Diện tích và trọng tâm cáp DUL cố định.



Hình 3. 2 Các mặt cắt ngang chuẩn hoá mẫu hệ thống dầm I dùng đào tạo ANN.

► Tính nội lực dầm I:

Sức kháng dầm; tĩnh tải DC và DW; hoạt tải dầm của “các xe thiết kế HL-93, xe hợp pháp [3], xe hợp pháp [3-S2], xe cấp phép 03 trục” theo TCVN 12882:2020 được xác định từ công thức tiêu chuẩn thiết kế cầu TCVN 11823:2017, trên cơ sở tài liệu thiết kế chuẩn hoá của các cơ quan thiết kế cầu trong mục 3.1 và mục 3.1.1 mặt cắt ngang chuẩn hoá.

► Xây dựng kích thước dữ liệu mẫu của “biến tham số cầu đầu vào - đại lượng đầu ra” cho hệ thống dầm I dùng đầu vào và đầu ra của ANN

Bảng 3. 1 Kích thước dữ liệu mẫu của “biến tham số cầu đầu vào - đại lượng đầu ra” cho hệ thống dầm I dùng đào tạo ANN.

Bảng tham số và thang chọn kích thước dùng tạo mẫu dữ liệu hệ thống dầm I DUL làm đầu vào cho đào tạo ANN																
Tham số cầu	Đ/vị	Bước thang chọn kích thước dữ liệu													Cấp số	
Chiều cao dầm	cm	110	120	145	160	165									5	
Chiều dày bản mặt cầu	cm	18	19	20	21	22	23	24	25						8	
Cường độ f_c dầm	Mpa	33	35.5	37.5	40	42	44	46	48	50	52	54	56		12	
Cường độ f_c bản mặt cầu	Mpa	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36		12	
Khoảng cách các dầm	cm	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250	14
Số làn xe tải trọng	làn	2	3	4												3

Kích thước dữ liệu mẫu hệ thống dầm I được tạo dùng làm đầu ra cho đào tạo ANN									
Đại lượng và tham số cầu tính xếp hạng tải RF	Đ/vị	Chiều cao dầm	Chiều dày bản mặt cầu	Cường độ f_c dầm	Cường độ f_c bản mặt cầu	Khoảng cách các dầm	Số làn xe tải trọng	Kích thước mẫu	Nguồn xác định
Sức kháng dầm	mẫu	5	8	12	12	14		80640	Tiêu chuẩn TCVN 11823: 2017
Tĩnh tải dầm DC	mẫu	5	8			14		560	
Tĩnh tải dầm DW	mẫu	5	8			14		560	
Hoạt tải xe thiết kế HL-93	mẫu	5	8	12	12	14	3	241920	
Hoạt tải xe hợp pháp [3]	mẫu	5	8	12	12	14	3	241920	
Hoạt tải xe hợp pháp [3-S2]	mẫu	5	8	12	12	14	3	241920	
Hoạt tải xe cấp phép 03 trục	mẫu	5	8	12	12	14	3	241920	

► Sự phù hợp chọn biến tham số cầu cho các đại lượng của nội lực dầm I

- Sức kháng: “chiều cao dầm, chiều dày bản mặt cầu, $f'c$ dầm, $f'c$ bản mặt cầu, khoảng cách dầm” là các tham số dùng tính toán xác định momen danh định của dầm (M_n).

- Tĩnh tải DC, DW: “chiều cao dầm, chiều dày bản mặt cầu, khoảng cách dầm” là các tham số dùng tính toán xác định momen tĩnh của dầm.

- Hoạt tải: “chiều cao dầm, chiều dày bản mặt cầu, $f'c$ dầm, $f'c$ bản mặt cầu, khoảng cách dầm, số làn tải trọng” là các tham số dùng tính toán xác định momen hoạt tải dầm.

3.1.2 Thuật ngữ và công thức chi tiết dùng tạo hệ thống dầm I dùng đào tạo ANN

Trình bày ở Phụ Lục 1.

3.1.3 Quy trình tính toán tạo mẫu hệ thống dầm I DUL liên hợp dùng đào tạo ANN

Luận án tính toán thiết lập dữ liệu mẫu hệ thống dầm I DUL trên cơ sở như mục 3.1.1 đã trình bày. Bằng cách thiết lập “các bảng tính trên nền Excel” và lập trình bằng ngôn ngữ VBA để tự động tính toán tạo hàng loạt các mẫu trong hệ thống dầm I DUL theo các sơ đồ qui trình tạo dữ liệu mẫu được trình bày tiếp theo. “các bảng tính trên nền Excel” bao gồm:

Bảng Đặc trưng hình học của hệ dầm I DUL liên hợp dùng đào tạo ANN.

Bảng Thông số và đặc tính cơ lý vật liệu của hệ dầm I DUL.

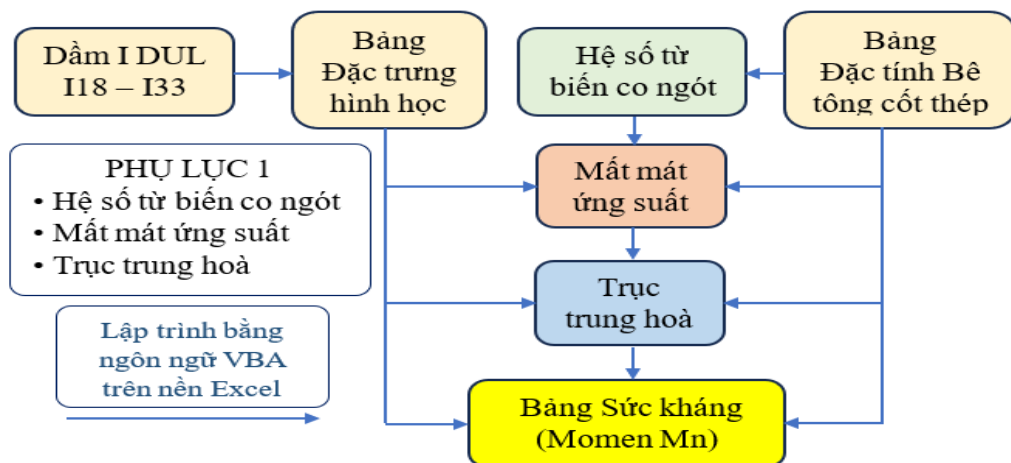
Các bảng tính Tổng mất mát ứng suất của hệ dầm I DUL (TCVN 11823:2017).

- Tính hệ số co ngót và từ biến; Tính giá trị mất mát ứng suất do tụt neo; Tính giá trị mất mát ứng suất do ma sát; Tính mất mát ứng suất do co ngắn đàn hồi; Tính mất mát ứng suất theo thời gian của hệ dầm của hệ dầm I DUL (TCVN 11823:2017).

Bảng tính chiều cao trục trung hoà c của hệ dầm I DUL liên hợp (TCVN 11823:2017).

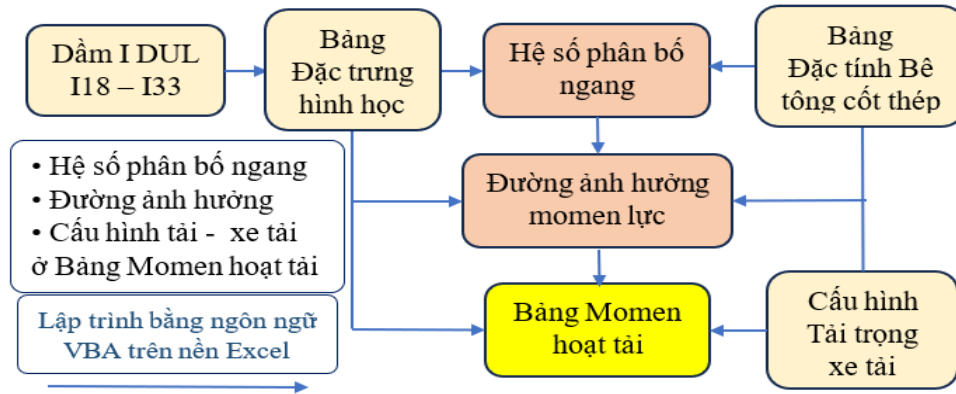
Bảng tính momen tĩnh tải (DC và DW) và momen hoạt tải của dầm I DUL.

a/ Sơ đồ qui trình tính tạo dữ liệu mẫu Sức kháng (từ công thức tiêu chuẩn)



Hình 3. 3 Sơ đồ qui trình tạo mẫu sức kháng hệ thống dầm I dùng đào tạo ANN

b/ Sơ đồ qui trình tính tạo dữ liệu mẫu momen hoạt tải (từ công thức tiêu chuẩn)



Hình 3. 4 Sơ đồ qui trình tạo mẫu momen hoạt tải hệ thống dầm I đào tạo ANN.

Như tiêu mục b/ mục 3.1.1 trình bày, dữ liệu mẫu hệ thống dầm I DUL được thiết lập có số lượng lớn, cần nhiều bảng tính được thiết lập trên Excel. Những mục sau, luận án sẽ trình bày phương cách tính toán bằng các bảng tính và số liệu đặc trưng điển hình, cụ thể là những bảng tính Excel và số liệu tính cho dầm I33 DUL. Những bảng tính Excel và số liệu tính cho các dầm I DUL khác của luận án được đưa vào Phụ Lục theo từng nội dung phù hợp.

c/ Đặc trưng hình học của hệ dầm I DUL dùng đào tạo ANN

Bảng 3. 2 Đặc trưng hình học của hệ dầm I33 DUL trước và sau liên hợp mặt cầu.

Dầm I33	L (cm)	Hg	Các thông số hình học bê tông dầm I33 DUL									Kích thước dầm	
Khối	Tiết diện	(cm)	b & n	Ag	a	Si	Ygb	Ygb-a	Ai*(Ygb-a)^2	bh^3/12	Ig	Rộng	Cao
K1	Gờ đỉnh	8	(cm)	(cm2)	(cm)	(cm3)	(cm)	(cm)	(cm4)	(cm4)	(cm4)	b(cm)	hsl
K2	Gờ trên	12	85	1020	151	154020	69.4	4913264	12240			190	19
K3	Vút trên	11	32.5	357.5	141.3	50527	59.7	1275759	3605			200	20
K4	Sườn	120	20	2400	85	204000	3.4	27811	2880000			205	21
K5	Vút dưới	20	22.5	450	31.7	14250	49.9	1121819	15000			210	22
K6	Bầu dưới	25	65	1625	12.5	20313	69.1	7758152	84635			215	23
cápDUL	5*12*0.987*(Ep/Ec)	5.207	308.4	16.2	4995	65.4	1318732	177				220	24
K8	Trừ lỗ cáp	5*3.14*3.6^2	-203.5	16.2	-3296	65.4	-870174	-659				225	25
			6477		528528	81.60		18823966	2997771	2182173.7		230	has
Các thông số hình học bê tông dầm I33 DUL sau liên hợp												235	5
b	hsl	n	Asl	hsl/2+Ygt	Ssl	Ag	Ac	Dgsl	Ycb	Yct		240	6
(cm)	(cm)		(cm2)	(cm)	(cm3)	(cm2)	(cm2)	(cm)	(cm)	(cm)		245	7
250	25	0.802	5011	95.90	480590	6477	11489	41.8	123.4	66.6		250	8
Isl	Ig	I'sl	I'g	Ic									9
(cm4)	(cm4)	(cm4)	(cm4)	(cm4)									
260997	21821737	14651486	11334938	48069158									
Các thông số hình học cáp DUL dầm I33 nguyên													
Cáp số	1	2	3	4	5	Trọng tâm (cáp-dầm nguyên), L/2							
Trọng tâm						Trọng tâm (cáp-dầm liên hợp), L/2							
Trọng tâm	33	21	9	9	9								

Các bảng đặc trưng hình học của hệ dầm I (18÷33) DUL ở Phụ Lục 1. Khối Ki hình 3.2.

d/ Bảng Thông số và đặc tính cơ lý vật liệu của hệ dầm I DUL.

Bảng 3. 3 Thông số cơ lý của hệ dầm I DUL trước và sau liên hợp mặt cầu

Thép DUL và thép thường				
Modun đàn hồi thép DUL	E_p	MPa	197000	
Cường độ bền thép DUL	f_{pu}	MPa	1860	
Cường độ chảy thép DUL	$f_{py}=0.9*f_{pu}$	MPa	1674	
Cường độ kích thép DUL	$f_{pj}=0.74*f_{pu}$	MPa	1376	
Cường độ chảy thép thường	f_s	MPa	400	
Bê tông các loại				
Trọng lượng riêng asphalt	γ_a	kG/m ³	2350	$f'c$ dầm ▾ $f'c$ bản m ▾
Trọng lượng riêng bê tông	γ_c	kG/m ³	2400	33 25
Cường độ nén bê tông dầm	$f'c$	MPa	56	35.5 26
Cường độ nén bê tông bản	$f'cd$	MPa	36	37.5 27
Modun đàn hồi bê tông dầm	$E_{cg}=0.043*\gamma_c^{1.5}*f'c'^{0.5}$		37834	40 28
Modun đàn hồi bê tông dầm tại lúc căng lực DUL	$E_{ci}=0.043*\gamma_c^{1.5}*(0.9*f'c')^{0.5}$		35892	42 29
				44 30
Modun đàn hồi bê tông bản	$E_d=0.043*\gamma_c^{1.5}*f'cd'^{0.5}$		30334	46 31
Hệ số khối ứng suất bê tông	$khi f'c \leq 70 MPa, \alpha_1 =$		0.85	48 32
	$khi f'c > 70 MPa, \alpha_1 = 0.85 - 0.02*(f'c - 70)/5 =$		0.83	50 33
Cường độ nén bê tông cao	$f''c$	MPa	75	52 34
Hệ số khối ứng suất bê tông	$khi f'c \leq 28 MPa, \beta_1 =$		0.85	54 35
	$khi f'c > 28 MPa, \beta_1 = 0.85 - 0.05*(f'c - 28)/7 =$		0.792857	56 36

e/ Tính Sức kháng cho các dầm I DUL

Với khối lượng tính toán lớn 80.640 mẫu sức kháng cầu dầm I DUL, luận án chỉ trình bày bảng tính Excel điển hình với lập trình VBA Excel cho dầm I33 DUL, các bảng tính Excel khác trình bày trong Phụ Lục 2.

Bảng 3. 4 Giá trị sức kháng điển hình dầm I33 DUL lập trình theo VBA.

Tính sức kháng dầm DUL chữ I liên hợp bản mặt cầu														
$M_n = A_{ps} * f_{ps} * (d_p - a/2) + A_s * f_s * (d_s - a/2) - a' * f_s * (d'_s - a/2) + \alpha_1 * f_c * (b - bw) * hf * (a/2 - hf/2)$														
Giá thiết bỏ qua cốt thép thường và tiết diện tính toán là chữ nhật ($bw = b$), thì $M_n = A_{ps} * f_{ps} * (d_p -$														
Bảng các thông số hình học và tọa độ cấp DUL dầm I33 DUL nguyên														
A_{ps}	f_{ps}	d_p	β_1	$\beta_1 * C$	$a/2$	α_1	f_c	$b - bw$	hsl	M_n	C	d_p	f_{ps}	
mm ²	MPa	mm		mm	mm		MPa	mm	mm	kNm	mm	mm	MPa	
5922	1812	1738	0.836	125.9	63.0	0.85	36	1850	250	17978	158.8	1738	1812	
Bảng giá trị Sức Kháng của cầu dầm I33 DUL												f_{pu}	f_{pv}	k
	fcg	b	hsl	fcs								MPa	MPa	
	56	250	25	36								1860	1674	0.28
hsl	25	fcs	36											
fcg_b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
33	17664	17705	17743	17780	17815	17849	17881	17911	17941	17969	17996	18022	18047	18070
35.5	17647	17688	17727	17764	17799	17833	17865	17896	17926	17954	17981	18007	18032	18056
37.5	17635	17676	17715	17752	17788	17822	17854	17885	17915	17943	17970	17996	18021	18046
40	17621	17663	17702	17739	17775	17809	17841	17872	17902	17931	17958	17984	18009	18034
42	17611	17653	17692	17729	17765	17799	17832	17863	17893	17922	17949	17975	18001	18025
44	17602	17643	17683	17720	17756	17791	17823	17855	17884	17913	17941	17967	17992	18017
46	17593	17635	17674	17712	17748	17782	17815	17847	17877	17905	17933	17959	17985	18009
48	17585	17627	17667	17704	17740	17775	17808	17839	17869	17898	17926	17952	17978	18002
50	17577	17619	17659	17697	17733	17768	17801	17832	17862	17891	17919	17946	17971	17996
52	17570	17612	17652	17690	17726	17761	17794	17826	17856	17885	17913	17939	17965	17990
54	17564	17606	17646	17684	17720	17755	17788	17820	17850	17879	17907	17934	17959	17984
56	17558	17600	17640	17678	17714	17749	17782	17814	17844	17873	17901	17928	17954	17978
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Các công thức tính toán trong bảng Excel này được liên kết với các bảng tính Excel khác trong hệ thống như mục 3.1.3 trình bày.

f/ Tính toán hiệu ứng hoạt tải theo TCVN 12882:2020 cho dầm I DUL đào tạo ANN

Với khối lượng tính toán lớn 242.060 mẫu momen hoạt tải cho từng loại xe tải (theo TCVN 12882:2020). Luận án chỉ trình bày bảng tính Excel lập trình VBA điển hình cho dầm I33 DUL với 02 làn xe tải của xe HL-93 và tất cả bảng tính Excel khác được thể hiện trong Phụ lục 2.

- ▶ Tính hiệu ứng hoạt tải của dầm I DUL với mặt cầu < 800cm, 3 dầm (Đòn bẩy)
- ▶ Tính hiệu ứng hoạt tải của dầm I DUL theo các xe tải cho mặt cầu rộng >= 800cm và >3 dầm chủ.

Các công thức tính toán trong bảng Excel này được liên kết với các bảng tính Excel khác trong hệ thống như mục 3.1.3 trình bày.

Bảng 3. 5 Tính momen hoạt tải theo xe thiết kế HL-93 cho dầm I33 DUL với 2 làn tải.

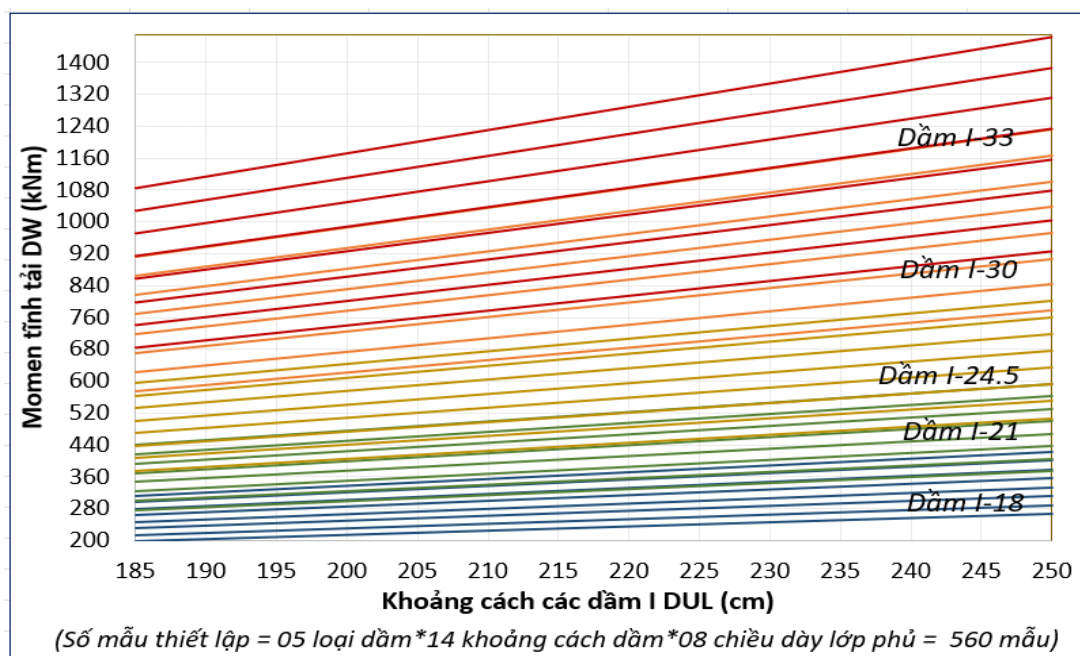
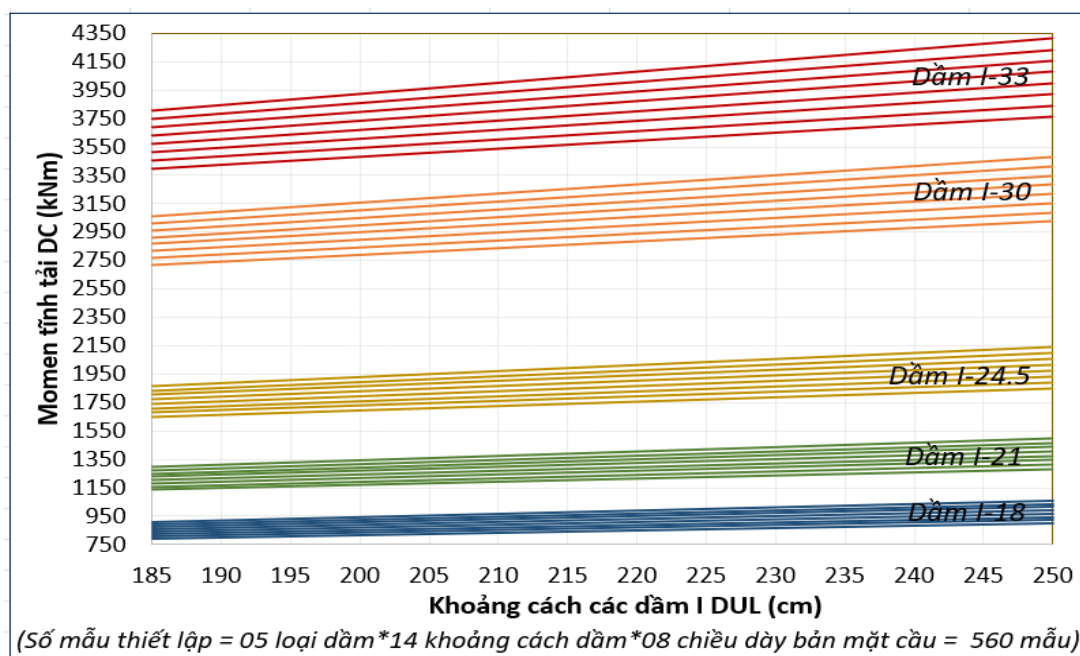
n	Ig	Ag	Ygb	Hg										
	cm4	cm2	cm	cm										
0.802	21731341	6464	81.43	164.8										
Kg	Số qui đổi độ cứng			eg										
cm4	Kg = n*(I+Ag*eg ²)			cm										
62610899	eg=(H-Ygb)+hsl/2			93.372										
Bảng tính hệ số phân phối ngang														
S	ts	S/2900	S/L	Kg/Lts ³										
mm	mm	-	-	-										
2500	200	0.862	0.077	2.4155										
g_in	Hệ số Làn tải, f			qlan										
-	2 Làn	3 Làn	4 Làn	kN/m										
0.674	1.0	0.85	0.65	9.3										
Nhịp	Tung độ yi (m)			M _{Pi} =yi*Pi (kNm)			M _{3truc}	M _{qlan}						
L(m)	y1	y2	y3	145	145	35	ΣM _{Pi}	9.3						
32.4	5.95	8.1	5.95	863	1175	208	2246	1220						
							M _{HL93}	LRFR						
							2 Làn	3 Làn	4 Làn					
	f_{cg}	b	hsl	f_{cs}			5425	6917	7053					
	56	250	20	36										
hsl	20	f_{cs}	36	2										
f_{cg_S}	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
33	4506	4590	4674	4757	4840	4923	5005	5086	5168	5249	5329	5409	5489	5569
35.5	4490	4574	4657	4740	4823	4905	4987	5068	5149	5230	5310	5390	5469	5549
37.5	4478	4562	4645	4728	4810	4892	4973	5054	5135	5215	5295	5375	5454	5534
40	4464	4548	4630	4713	4795	4876	4957	5038	5119	5199	5279	5358	5437	5516
42	4454	4537	4619	4702	4783	4865	4946	5026	5106	5186	5266	5345	5424	5502
44	4444	4527	4609	4691	4773	4854	4934	5015	5095	5175	5254	5333	5411	5490
46	4434	4517	4599	4681	4762	4843	4924	5004	5084	5163	5242	5321	5400	5478
48	4425	4508	4590	4671	4753	4833	4914	4994	5073	5153	5231	5310	5388	5466
50	4417	4499	4581	4662	4743	4824	4904	4984	5063	5142	5221	5299	5378	5455
52	4409	4491	4572	4653	4734	4815	4895	4974	5054	5132	5211	5289	5367	5445
54	4401	4483	4564	4645	4726	4806	4886	4965	5044	5123	5201	5280	5357	5435
56	4393	4475	4556	4637	4717	4797	4877	4956	5035	5114	5192	5270	5348	5425

2Lan
HTai

g/ Tính hiệu ứng tĩnh tải của dầm I DUL dùng đào tạo ANN

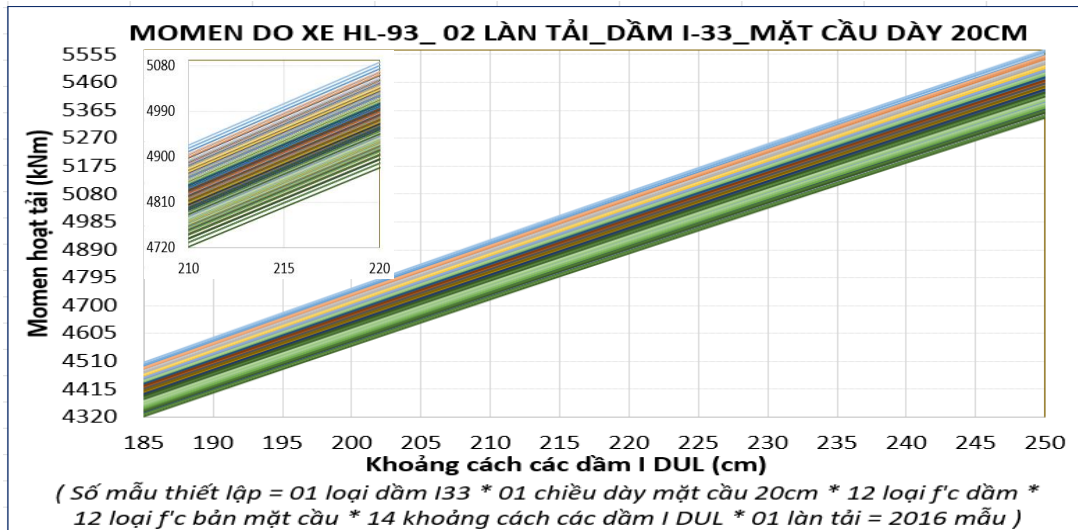
Hiệu ứng tĩnh tải dầm I DUL được xác định cho tất cả các loại dầm I DUL mục 3.1.3. Trong luận án cũng chỉ trình bày bảng tính Excel lập trình VBA cho dầm (I18 đến I33) DUL được thể hiện trong Phụ lục 2.

h/ Biểu đồ giá trị nội lực dữ liệu mẫu hệ thống dầm I DUL đào tạo ANN

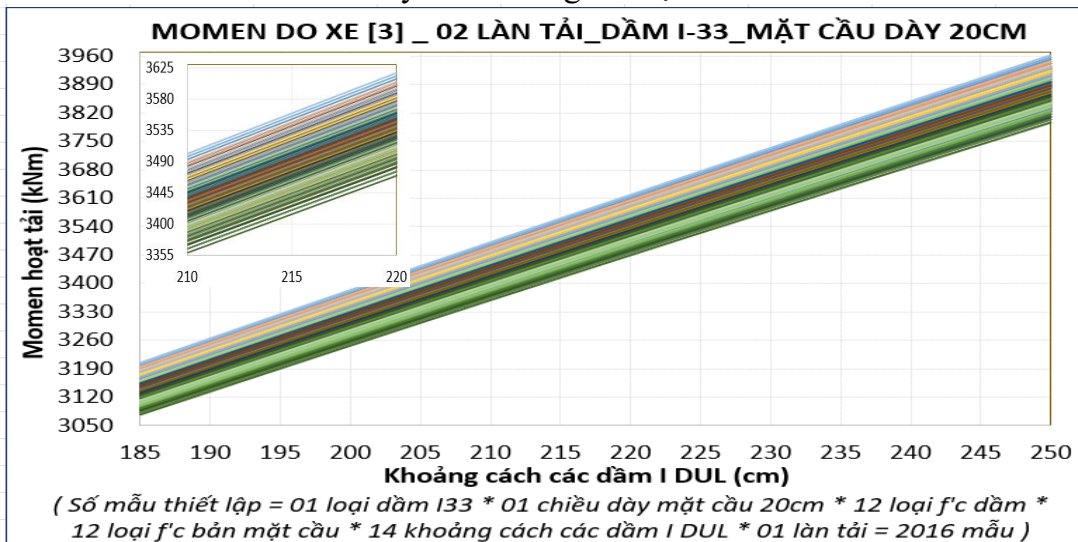


Hình 3. 5 Biểu đồ giá trị Momen tĩnh tải DC (trên) và DW (dưới) của hệ thống dầm I DUL dùng đào tạo ANN.

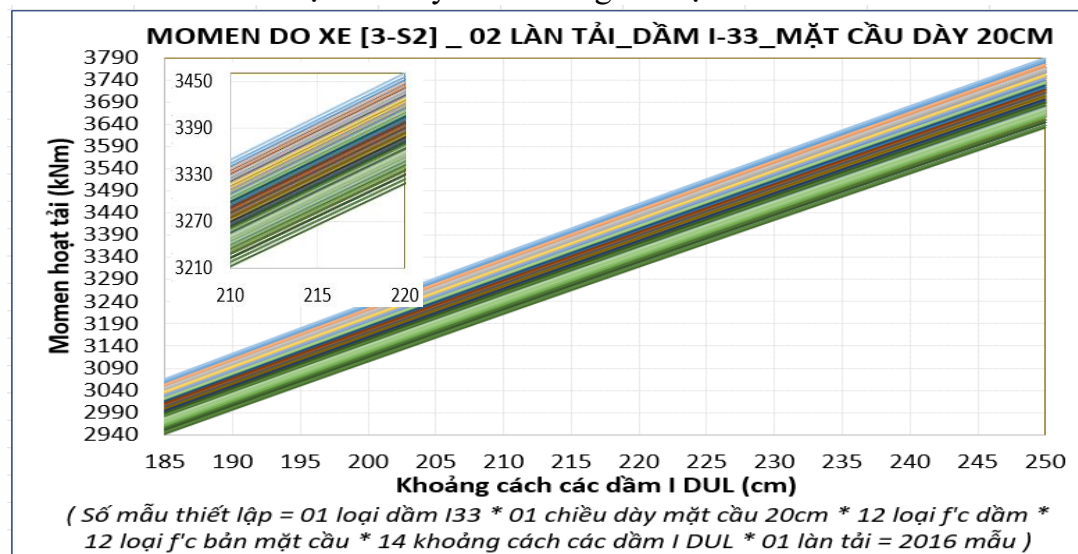
Tương tự các bảng tính Excel lập trình VBA cho nội lực của hệ thống dầm I DUL, luận án cũng chỉ trình bày đặc trưng điển hình của các biểu đồ nội lực dầm I33 DUL. Các biểu đồ nội lực của các loại dầm I DUL khác được thể hiện trong Phụ lục 2.



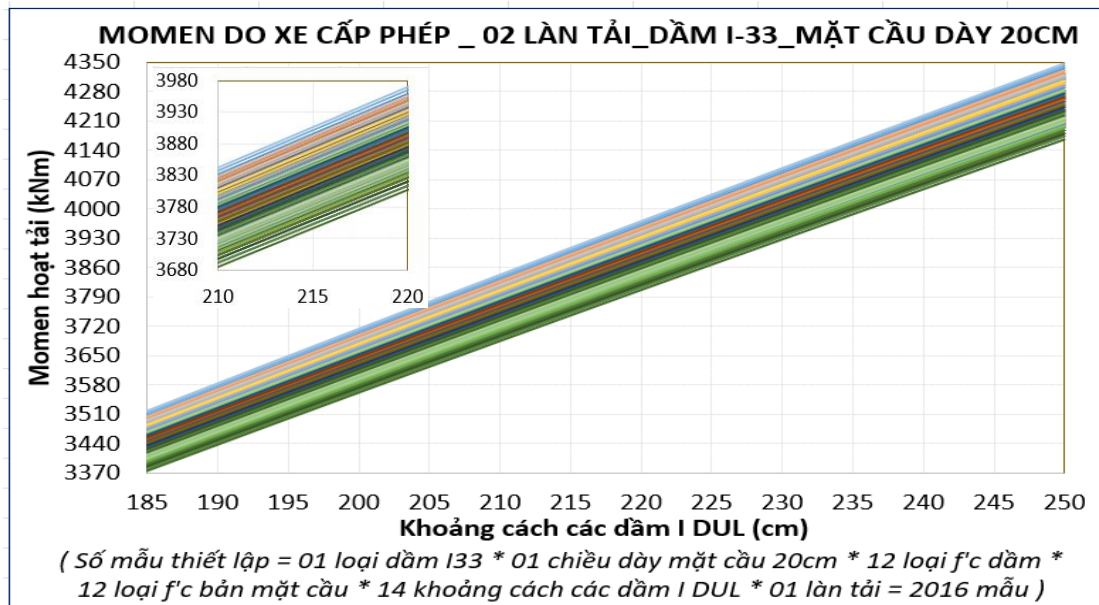
Hình 3. 6 Biểu đồ giá trị Momen hoạt tải do xe HL-93_02 làn tải cho dầm I33 và bản mặt cầu dày 20cm dùng đào tạo ANN.



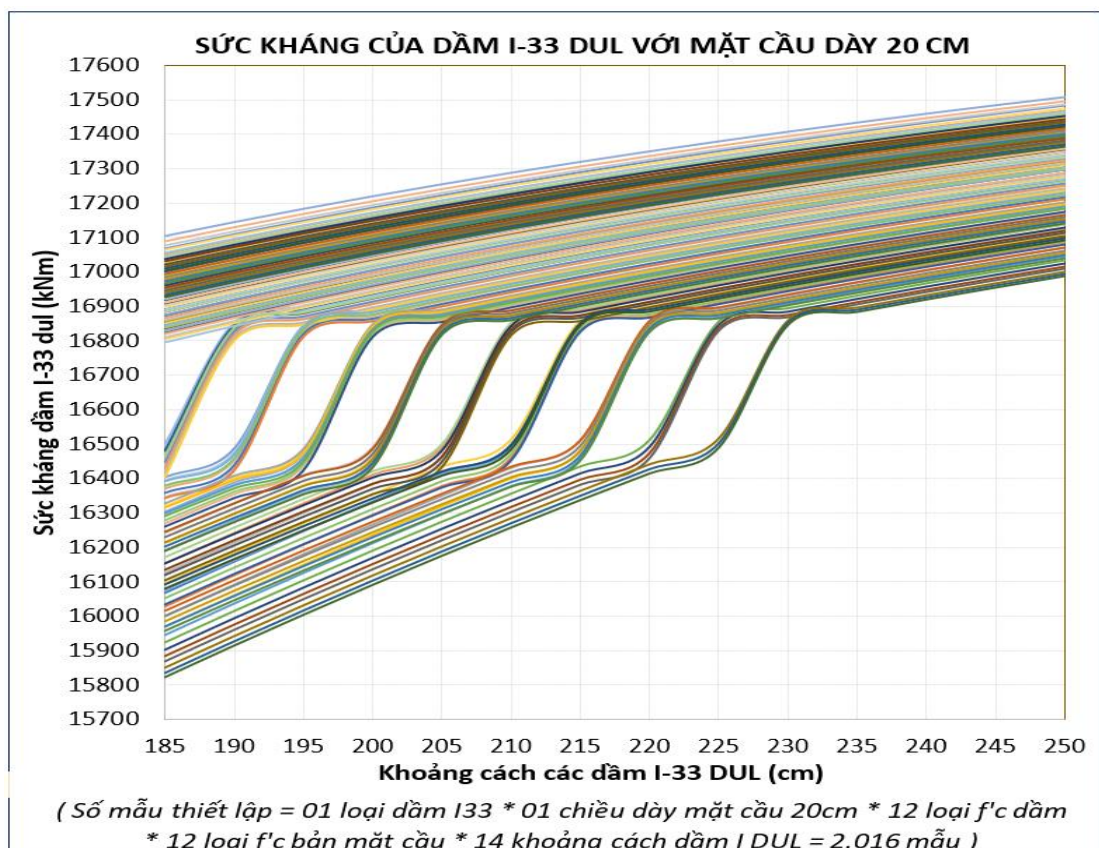
Hình 3. 7 Biểu đồ giá trị Momen hoạt tải xe hợp pháp [3]_02 làn tải cho dầm I33 và bản mặt cầu dày 20cm dùng đào tạo ANN.



Hình 3. 8 Biểu đồ giá trị Momen hoạt tải xe hợp pháp [3-S2]_02 làn tải cho dầm I33 và bản mặt cầu dày 20cm dùng đào tạo ANN.



Hình 3. 9 Biểu đồ giá trị Momen hoạt tải xe cấp phép _02 lần tải cho dầm I33 và bản mặt cầu dày 20cm dùng đào tạo ANN.

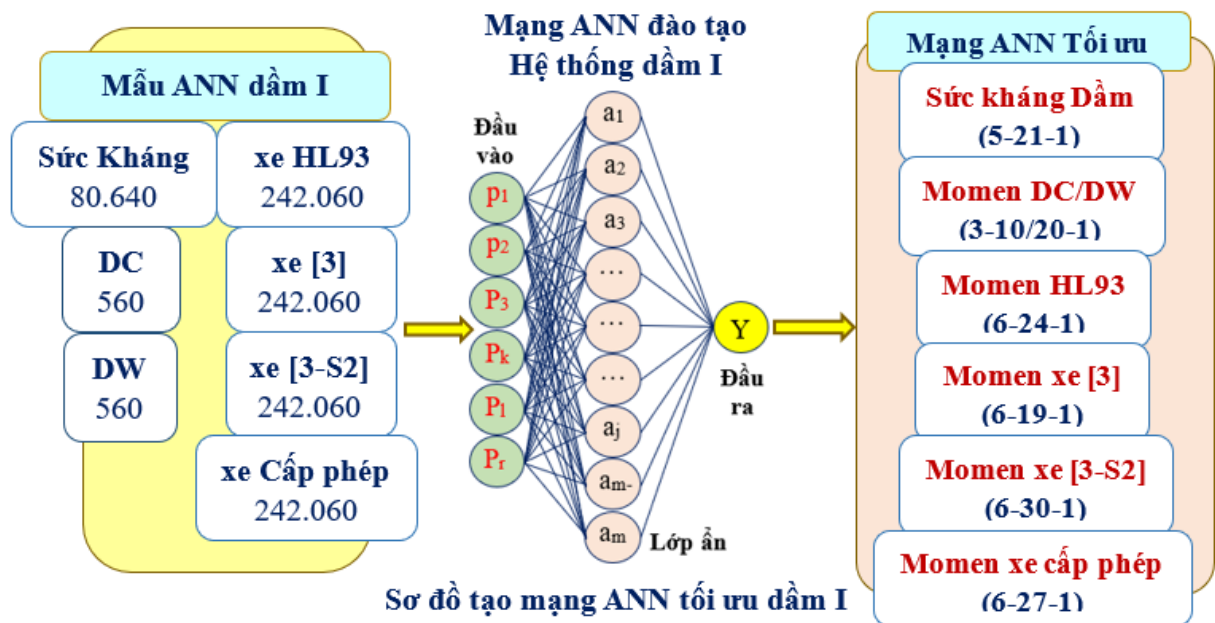


Hình 3. 10 Biểu đồ các mẫu giá trị Sức kháng dầm I33 DUL và bản mặt cầu dày 20cm dùng đào tạo ANN.

3.2 Xây dựng mạng nơ-ron nhân tạo cho đánh giá xếp hạng tải cầu dầm I DUL

Ứng dụng mạng nơ-ron nhân tạo cho đánh giá xếp hạng tải trọng cho công trình cầu trong luận án là xếp hạng tải cầu dầm chữ I DUL liên hợp bản mặt cầu bằng hệ thống mẫu cầu dầm I DUL đã được chương 3 xây dựng. Việc đánh giá xếp hạng tải sẽ được xác định theo từng nhóm tham số trong RF nghĩa là ứng dụng mạng nơ-ron nhân tạo để xác định cho nhóm sức kháng và hiệu ứng tải riêng biệt, sau đó dùng công thức xác định hệ số RF từ các kết quả riêng được tạo từ mạng nơ-ron nhân tạo của nhóm sức kháng và hiệu ứng tải đó.

Sơ đồ khối theo hình 3.11 cho thấy hình thức và tiến trình xây dựng ANN tối ưu cho nội lực trong hệ thống dầm I DUL là ANN sức kháng dầm, ANN momen DC-DW và ANN momen hoạt tải các xe tải (HL-93, hợp pháp [3], hợp pháp [3-S2], cấp phép 03 trục).



Hình 3. 11 Sơ đồ khối đào tạo ANN tối ưu dùng xếp hạng tải hệ thống dầm I DUL

3.2.1 Xây dựng mạng nơ-ron nhân tạo cho đào tạo hệ thống dầm I DUL

Mạng nơ-ron nhân tạo được xây dựng có kiến trúc mạng tùy thuộc vào sự phức tạp của hệ thống mẫu cho sức kháng và hiệu ứng tải. Trong Luận án này, ANN được đào tạo bằng công cụ “nntool” Toolbox Matlab [64].

a/ Xây dựng ANN bằng “nntool” Toolbox Matlab đào tạo hệ thống dầm I

► Lập dữ liệu vào ANN

Dữ liệu vào ANN là các bộ vec-tơ cho các phần tử đầu vào và các phần tử đầu ra mạng. ANN đào tạo hệ thống dầm I trong luận án gồm các mạng có dữ liệu vào mạng như:

ANN đào tạo sức kháng: dữ liệu vào mạng có 80.640 bộ vec-tơ, mỗi vec-tơ vào mạng

gồm có 05 phần tử đầu vào và 01 mục tiêu đầu ra.

ANN đào tạo momen DC và DW: dữ liệu vào mạng có 560 bộ vec-tơ, mỗi vec-tơ vào mạng gồm có 03 phần tử đầu vào và 01 mục tiêu đầu ra.

ANN đào tạo momen hoạt tải: dữ liệu vào mạng có 242.060 bộ vec-tơ, mỗi vec-tơ vào mạng gồm có 06 phần tử đầu vào và 01 mục tiêu đầu ra.

► Tiền xử lý dữ liệu [68] các giá trị tham số trong hệ thống mẫu dầm I vào ANN

Dữ liệu mẫu khi đưa vào mạng cần được tiền xử lý các số liệu để chuẩn hoá giá trị trong một phạm vi [0.2÷0.8] nhằm không gây ảnh hưởng bởi các tham số lẫn nhau như bảng 3.6.

Bảng 3. 6 Tiền xử lý dữ liệu vào ANN đào tạo hệ thống dầm I DUL.

Giá trị tham số cầu		Max	Min	Công thức Tiền xử lý tham số cầu
<i>Số làn tải</i>	(làn)	4	2	$((X_i-2)/(4-2)*(0,8-0,2)+0,2$
<i>Cao dầm</i>	(cm)	165	110	$((X_i-110)/(165-110)*(0,8-0,2)+0,2$
<i>Dày bản mặt cầu</i>	(cm)	25	18	$((X_i-18)/(25-18)*(0,8-0,2)+0,2$
<i>f'c bản mặt cầu</i>	(Mpa)	36	25	$((X_i-25)/(36-25)*(0,8-0,2)+0,2$
<i>f'c dầm</i>	(Mpa)	56	33	$((X_i-33)/(56-33)*(0,8-0,2)+0,2$
<i>Khoảng cách dầm</i>	(cm)	250	185	$((X_i-185)/(250-185)*(0,8-0,2)+0,2$

Bảng 3. 7 Các bộ vec-tơ dữ liệu vào ANN đào tạo hệ thống dầm I DUL.

Số lượng mẫu		1	2	3	4	5	...	...	...	560	...	...	...	80640	...	...	...	242060
Tham số đầu vào	Chiều cao dầm																	
	Dày bản mặt cầu																	
	Khoảng cách dầm																	
	f'c dầm																	
	f'c bản mặt cầu																	
	Số làn xe tải																	
Tham số đầu ra	Momen DC																	
	Momen DW																	
	Sức kháng dầm																	
Lớp đầu ra	Momen xe HL-93																	
	Momen xe hợp pháp [3]																	
	Momen xe hợp pháp [3-S2]																	
	Momen xe cấp phép 3 trục																	

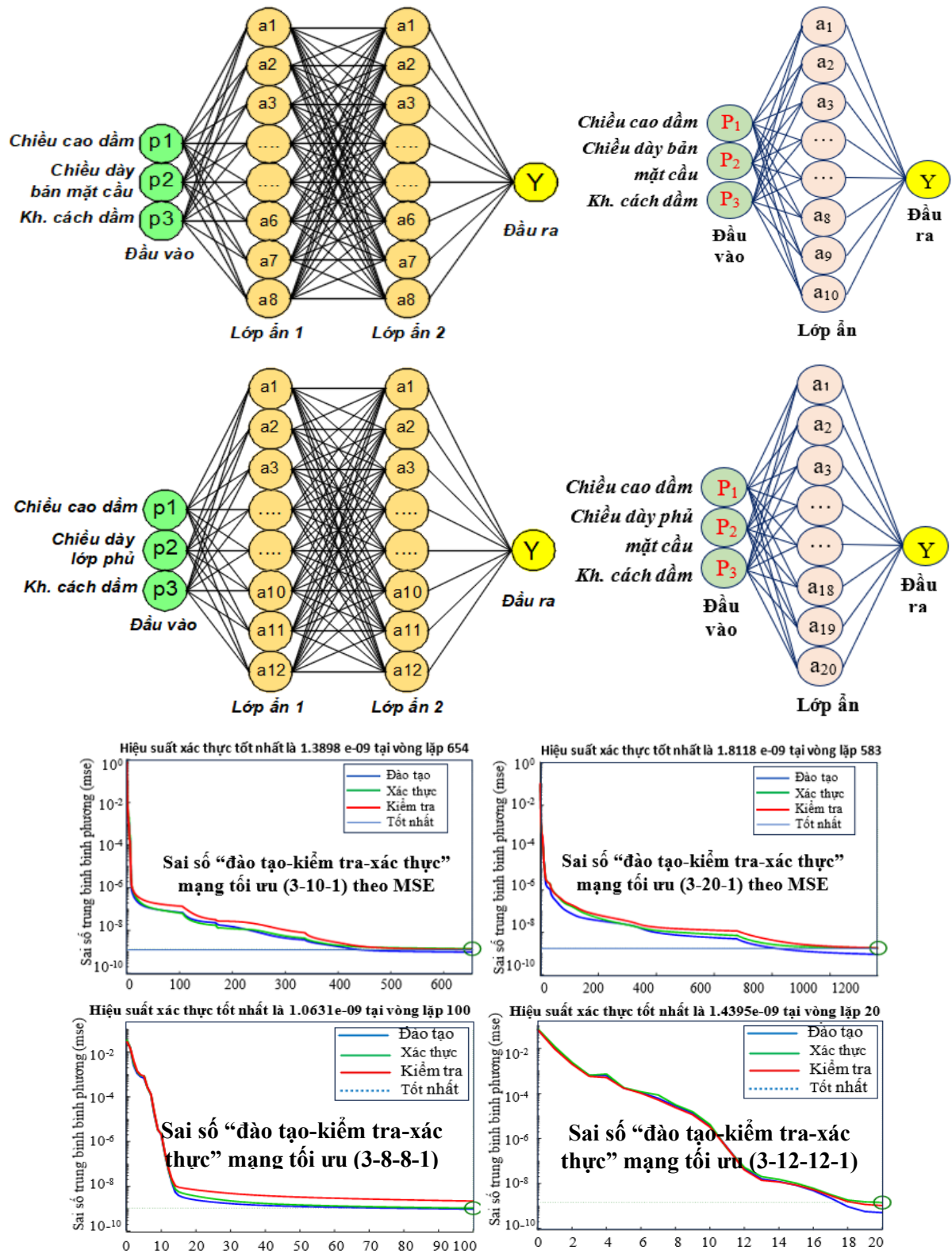
► Đưa dữ liệu vào ANN và đào tạo _nhập 'nntool' trên Command window

Số liệu hình ở Phụ Lục 5, minh hoạ quá trình đào tạo ANN bằng “nntool” Matlab.

Ký hiệu ANN 2 lớp (5-m-1): 5 là tham số vào, m là số nơ-ron lớp ẩn, 1 là đầu ra. Mạng 3 lớp (5-m-m-1), biểu thị ANN có hai lớp ẩn m-m.

b/ Kết quả xây dựng ANN cho hiệu ứng tĩnh tải (DC-DW) dầm I

Mạng được đào tạo theo thuật toán Levenberg - Marquardt. Kiến trúc và biểu đồ hiệu suất ANN (2 & 3) lớp của momen tĩnh tải được thể hiện ở hình 3.12.



Hình 3. 12 (trên) Kiến trúc mạng DC (3-8-8-1); (3-10-1) & DW (3-12-12-1) ;(3-20-1). (dưới) Sai số tối ưu Momen tĩnh tải DC, DW cho các mạng trên.

Bộ dữ liệu dùng đào tạo mạng nơ-ron hiệu ứng tĩnh tải từ mục 3.1.1 và g/ mục 3.1.3:

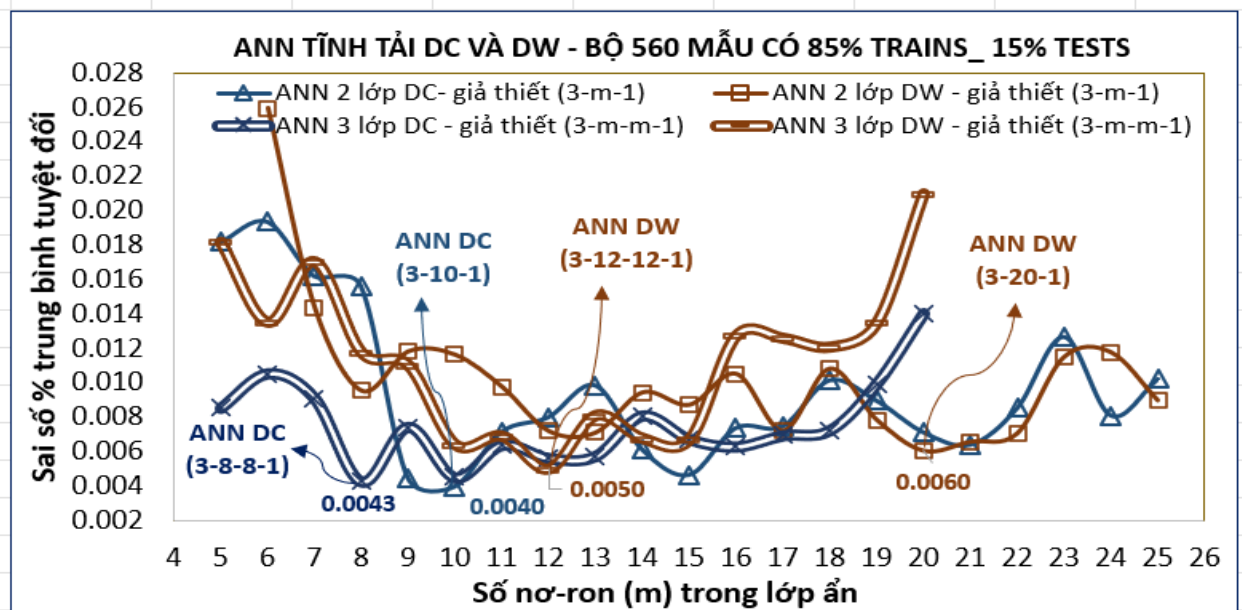
- 85% bộ dữ liệu là 476 mẫu dùng làm bộ huấn luyện ANN (Trains).
- 15% bộ dữ liệu là 84 mẫu làm bộ kiểm tra (Tests) hiệu suất bộ huấn luyện ANN.

Kết quả đào tạo ANN tối ưu cho momen tĩnh tải DC_DW ở biểu đồ hình 3.13.

Kết quả đào tạo mạng, ma trận trọng số weight và bias mạng tối ưu tại Phụ Lục 4.

Tĩnh tải DC: ANN 02 lớp, tối ưu (3-10-1) và lỗi sai số mẫu tests, Eout = 0,00396%; ANN 03 lớp tối ưu (3-8-8-1) và Lỗi sai số mẫu tests, Eout = 0,004255 %.

Tĩnh tải DW: ANN 02 lớp, tối ưu (3-20-1) và lỗi sai số mẫu tests, Eout = 0,00604%; ANN 03 lớp tối ưu (3-12-12-1) và lỗi sai số mẫu tests, Eout = 0,004968 %.



Hình 3. 13 Biểu đồ đào tạo ANN tối ưu cho momen tĩnh tải DC_DW dầm I DUL.

Mô hình đào tạo mạng (3-m-1) của tĩnh tải (DC, DW) có số nơ-ron m từ (5÷25). Mạng nơ-ron (3-10-1) & (3-20-1) đạt giá trị lỗi % MAE là (0,004 & 0,006)%, lỗi % RMSE là (0,0037 & 0,0043)%.

Mô hình đào tạo mạng (3-m-m-1) của tĩnh tải (DC, DW) có số nơ-ron m từ (5÷20). ANN (3-8-8-1) & (3-12-12-1) đạt giá trị lỗi % MAE là (0,0043 & 0,005)%, lỗi % RMSE là (0,0033 & 0,0038)%.

Hàm gốc momen tĩnh tải độ phức tạp không cao, tính phi tuyến của mạng 3 lớp chỉ thể hiện giảm số nơ-ron lớp ẩn (từ 10 đến 8) DC, (từ 20 đến 12) DW. Cả hai ANN (02 lớp và 03 lớp) hiệu suất và độ hội tụ cao tương đồng như nhau.

c/ Xây dựng ANN cho hiệu ứng hoạt tải xe tải theo TCVN 12882:2020 dầm I

Mạng được đào tạo theo thuật toán Levenberg - Marquardt. Bộ dữ liệu dùng đào tạo

ANN hiệu ứng hoạt tải các xe tải từ mục 3.1.1 và f/ mục 3.1.3.

Kiến trúc và tham số đầu vào mạng như hình 3.14 đến hình 3.17; đầu ra mạng là giá trị momen hoạt tải các xe tải.

Bộ dữ liệu đào tạo là 242.060 mẫu cho mạng momen hoạt tải các xe tải. Dữ liệu chia:

- 80% bộ dữ liệu là 193.648 mẫu dùng làm bộ huấn luyện ANN (Trains).
- 20% bộ dữ liệu là 48.412 mẫu làm bộ kiểm tra (Tests) hiệu suất huấn luyện ANN.

Kết quả đào tạo mạng, ma trận trọng số weight và bias mạng tối ưu: tại Phụ Lục 4.

Xe thiết kế HL-93: • ANN tối ưu 2 lớp (6-24-1) - sai số mẫu tests, Eout = 0,009549 %.

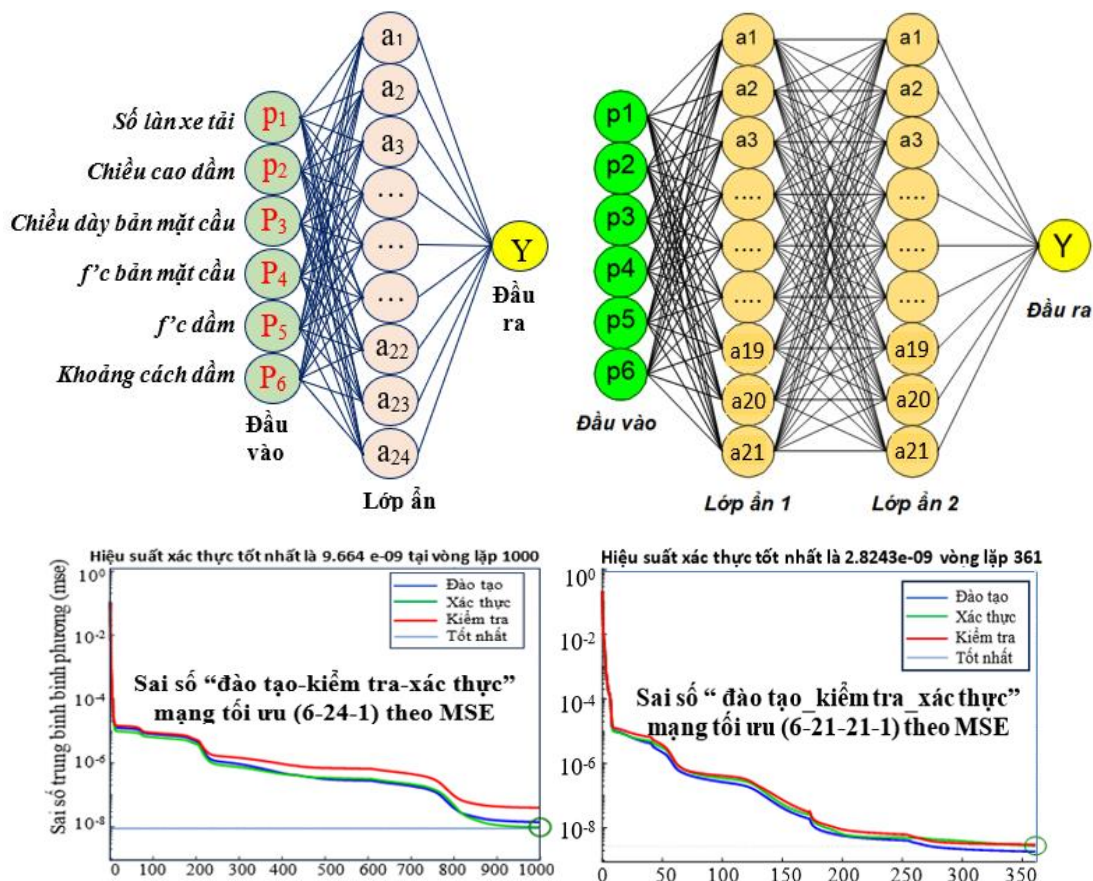
- ANN tối ưu 3 lớp (6-21-21-1) - sai số mẫu tests, Eout = 0,002081 %.

Xe hợp pháp [3]: ANN tối ưu là (6-19-1) và sai số mẫu tests, Eout = 0,008762 %.

Xe hợp pháp [3-S2]: ANN tối ưu (6-30-1) và sai số mẫu tests, Eout = 0,009673 %.

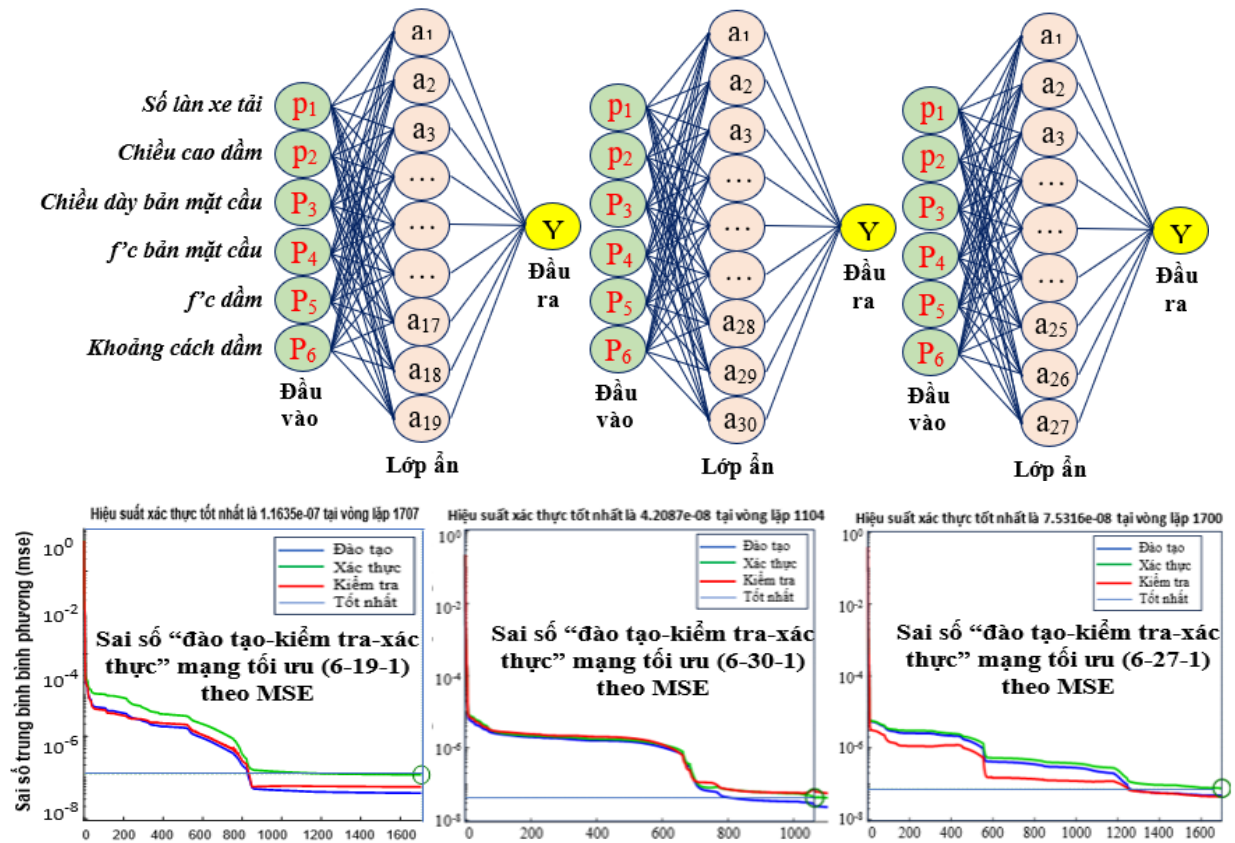
Xe cấp phép 03 trục: ANN tối ưu (6-27-1) và sai số mẫu tests, Eout = 0,008508 %.

Kiến trúc, biểu đồ hiệu suất ANN momen hoạt tải xe thiết kế HL-93 ở hình 3.14.



Hình 3. 14 Kiến trúc mạng (6-24-1)&(6-21-21-1) - Sai số tối ưu momen hoạt tải xe thiết kế HL-93 của mạng 2lớp và 3lớp, tương ứng.

Kiến trúc và biểu đồ hiệu suất ANN của momen hoạt tải các xe hợp pháp [3], [3-S2] và xe cấp phép 3 trục ở hình 3.15.



Hình 3. 15 Kiến trúc mạng (6-19-1), (6-30-1), (6-27-1) & Sai số tối ưu momen hoạt tải xe hợp pháp [3], [3-S2] và cấp phép 3trục, tương ứng.

Kết quả đào tạo ANN tối ưu cho momen hoạt tải các xe tải theo TCVN 12882:2020 của dầm I DUL trình bày ở biểu đồ hình 3.16 và hình 3.17.

Nhận xét quá trình đào tạo:

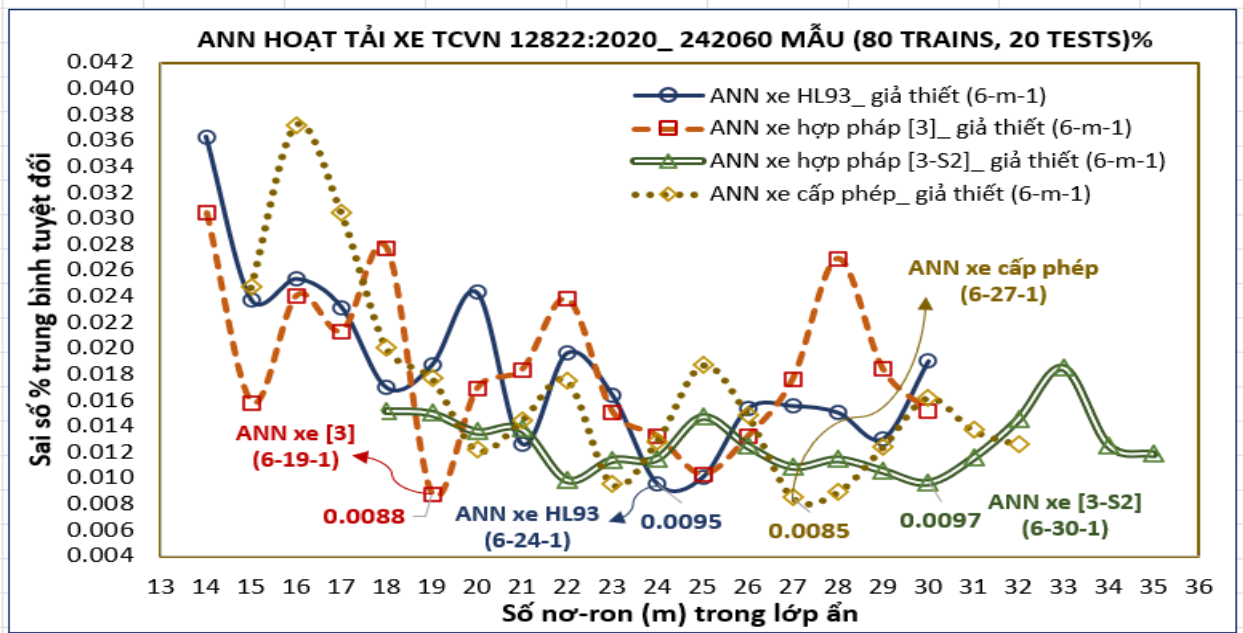
Mạng 2 lớp: Mô hình mạng (6-m-1) của momen hoạt tải dầm I DUL cho các xe tải theo TCVN 12882:2020 có số nơ-ron lớp ẩn m từ (14÷35). Các kiến trúc ANN (6-24-1), (6-19-1), (6-30-1), (6-27-1) và lỗi % MAE nhỏ nhất là 0,0095 %, 0,0088 %, 0,0097 %, 0,0085 % cho các xe thiết kế HL-93, xe hợp pháp [3], xe hợp pháp [3-S2], xe cấp phép 03 trục, tương ứng. Bởi có cùng hàm gốc và mô hình mạng như nhau nên 04 ANN hoạt tải có độ chính xác tương đồng, hiệu suất rất tốt, độ hội tụ cao.

Mạng 3 lớp: Momen hoạt tải là biểu thức phức tạp có biến tham số về xe tải lưu thông, hình học và độ cứng liên hợp dầm. Sử dụng ANN 3 lớp có khả năng học sâu tổ hợp phi tuyến cao hơn, thể hiện ở kết quả đào tạo ANN momen hoạt tải xe HL-93:

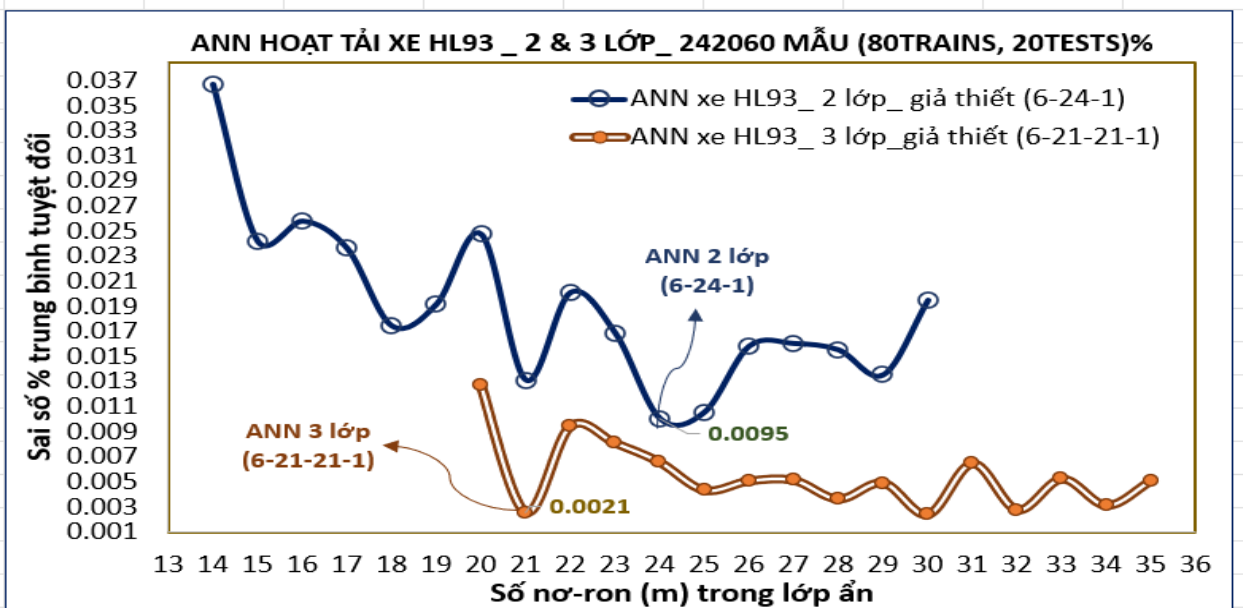
+ Lỗi % MAE nhỏ nhất là, mạng 3 lớp 0,0021 % < 0,0095 % mạng 2 lớp. Lỗi % RMSE nhỏ nhất là, mạng 3 lớp 0,0053 % < 0,0098 % mạng 2 lớp.

+ Số nơ-ron tối ưu trong lớp ẩn là, mạng 3 lớp 21 nơ-ron < 24 nơ-ron mạng 2 lớp.

Chứng tỏ độ chính xác của mạng 3 lớp hơn mạng 2 lớp bởi khả năng phi tuyến mạnh.



Hình 3. 16 Biểu đồ đào tạo ANN tối ưu cho momen hoạt tải xe các loại _dầm I.



Hình 3. 17 Biểu đồ đào tạo ANN tối ưu (2 & 3) lớp cho momen xe HL93.

d/ Kết quả xây dựng ANN cho sức kháng dầm I DUL

Mạng được đào tạo theo thuật toán Levenberg - Marquardt. Bộ dữ liệu dùng đào tạo ANN sức kháng từ mục 3.1.1 và e/ mục 3.1.3.

Kiến trúc và tham số đầu vào mạng như hình 3.18, được đào tạo bằng mạng 01 lớp ẩn và 02 lớp ẩn, nhằm thấy hiệu suất phi tuyến của mạng. Đầu ra mạng là giá trị *sức kháng*.

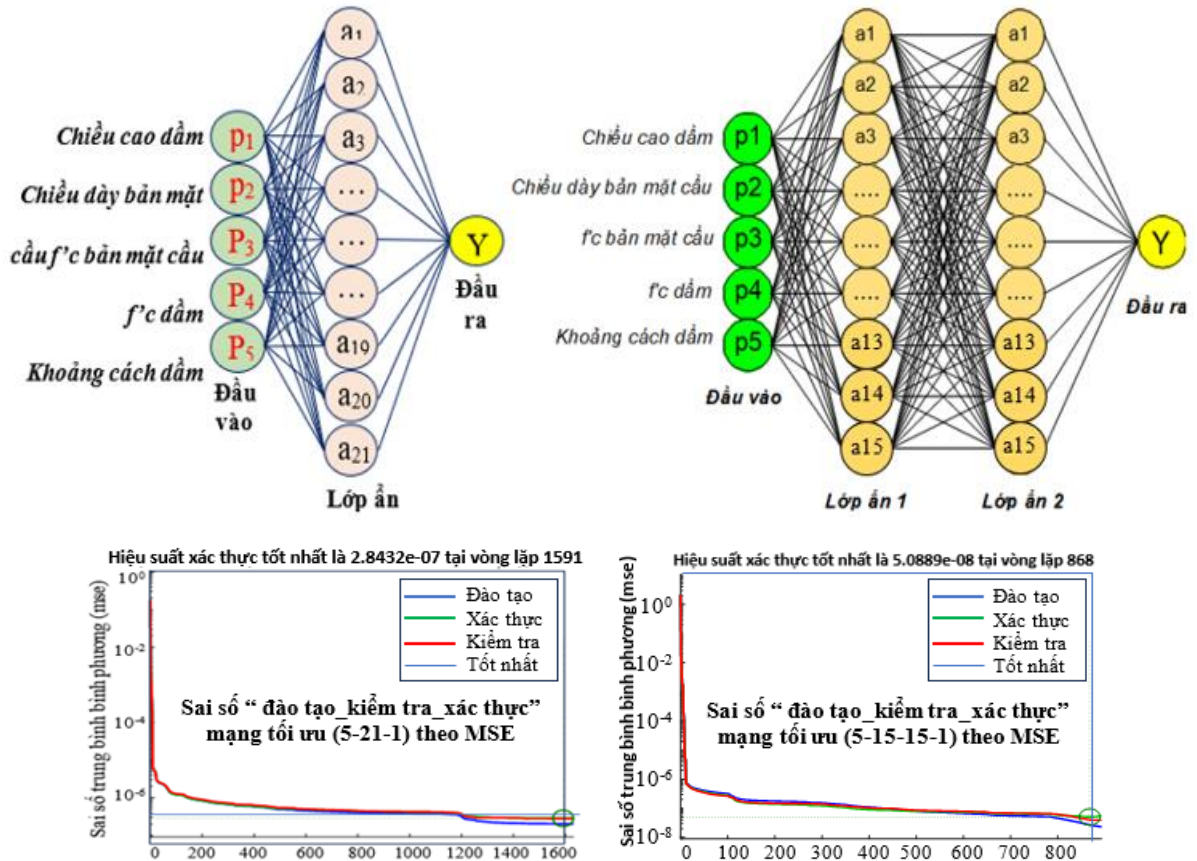
Bộ dữ liệu đào tạo là 80.640 mẫu cho ANN sức kháng. Dữ liệu đào tạo được chia:

- 80% bộ dữ liệu là 64.512 mẫu dùng làm bộ huấn luyện ANN (Trains).
- 20% bộ dữ liệu là 16.128 mẫu làm bộ kiểm tra (Tests) hiệu suất bộ huấn luyện ANN.

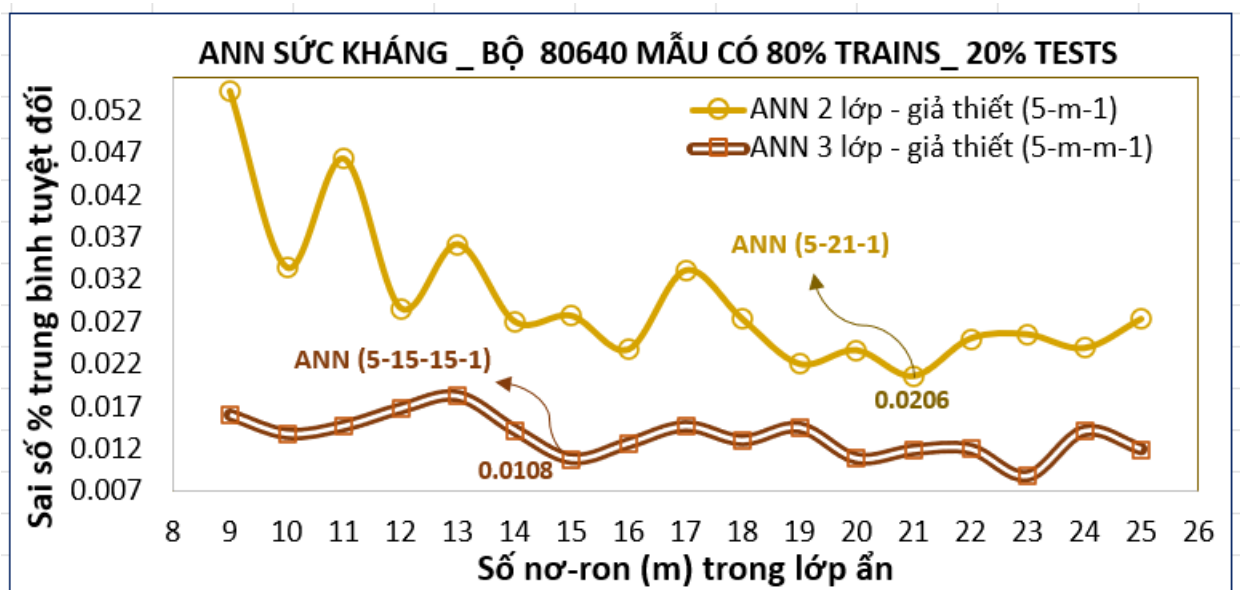
Kết quả đào tạo mạng, ma trận trọng số weight và bias mạng tối ưu: tại Phụ lục 4.

Sức kháng: ANN 02 lớp tối ưu là (5-21-1) và lỗi sai số mẫu tests, $E_{out}=0,02058\%$; ANN 03 lớp tối ưu là (5-15-15-1) và lỗi sai số mẫu tests, $E_{out} = 0,010788 \%$.

Biểu đồ hiệu suất ANN của sức kháng được trình bày ở hình 3.18.



Hình 3. 18 Kiến trúc mạng (5-21-1), (5-15-15-1) và sai số tối ưu mạng sức kháng dầm.



Hình 3. 19 Biểu đồ đào tạo ANN tối ưu cho sức kháng _dầm I DUL.

Kết quả đào tạo ANN tối ưu sức kháng của dầm I DUL trình bày ở biểu đồ hình 3.19.

Mô hình mạng nơ-ron 01 lớp ẩn (5-21-1) và 02 lớp ẩn (5-15-15-1) cho sức kháng dầm đều có số nơ-ron lớp ẩn từ (9÷25). Sử dụng ANN 3 lớp có khả năng học sâu tổ hợp phi tuyến cao hơn, thể hiện ở kết quả đào tạo ANN sức kháng như sau:

+ Lỗi % MAE nhỏ nhất là, mạng 3 lớp 0,0108 % < 0,0206 % mạng 2 lớp. Lỗi % RMSE nhỏ nhất là, mạng 3 lớp 0,0225 % < 0,0533 % mạng 2 lớp.

+ Số nơ-ron tối ưu trong lớp ẩn là, mạng 3 lớp 15 nơ-ron < 21 nơ-ron mạng 2 lớp.

Chúng tỏ độ chính xác của mạng 3 lớp hơn mạng 2 lớp bởi khả năng phi tuyến mạnh.

3.3 So sánh hiệu suất dự đoán của mạng nơ-ron nhân tạo với phương trình hồi quy đa biến cho xếp hạng tải cầu dầm I DUL

3.3.1 Biểu thức phương trình hồi quy tuyến tính đa biến

$$Y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 \dots a_{n-1}x_{n-1} + a_nx_n. \quad (3.1)$$

Với: - a_i ($i= 0 \div n$) là các hệ số của phương trình tuyến tính đa biến.

- x_i ($i= 1 \div n$) là các biến số của phương trình tuyến tính đa biến.

- Y là giá trị của phương trình tuyến tính đa biến.

Cho một nhóm có số lượng là m mẫu với mỗi mẫu thỏa mãn một hàm tuyến tính y có n biến, thì phương trình hồi quy tuyến tính Y có n biến sẽ là biểu thị đặc trưng cho nhóm mẫu đó, sao cho giá trị phương sai của tổng các phần tử trong nhóm m mẫu là nhỏ nhất. Xác định phương trình hồi quy đa biến là xác định các hệ số a_i ($i= 0 \div n$) từ nhóm m mẫu đó. Công thức xác định các hệ số a_i ($i= 0 \div n$):

$$\beta = (X^T X)^{-1} X^T Y \quad (3.2)$$

Với: β _ là ma trận cột các hệ số của phương trình hồi quy tuyến tính đa biến.

X _ là ma trận các biến số vào của phương trình tuyến tính n biến của nhóm mẫu.

X^T _ là ma trận chuyển vị của ma trận X .

$(X^T X)^{-1}$ _ là ma trận nghịch đảo của ma trận $(X^T X)$.

Y _ là ma trận cột của các giá trị đầu ra của nhóm mẫu.

3.3.2 Xây dựng phương trình hồi quy đa biến cho nội lực hệ thống dầm I DUL

a/ Xây dựng phương trình hồi quy đa biến momen tĩnh tải DC, DW dầm I

Dữ liệu dùng để xây dựng phương trình hồi quy đa biến là bộ dữ liệu đào tạo ANN cho hiệu ứng tĩnh tải dầm (Trains): 476 mẫu (85% của bộ dữ liệu đào tạo momen tĩnh tải).

Phương trình hồi quy tuyến tính 03 biến cho momen tĩnh tải DC dầm I:

$$y = -0.03105 + 0.7506188 * x_1 + 0.076893 * x_2 + 0.069784 * x_3.$$

Phương trình hồi quy tuyến tính 03 biến cho momen tĩnh tải DW dầm I:

$$y = -0.05462 + 0.5303863*x_1 + 0.223155*x_2 + 0.147835*x_3.$$

b/ Xây dựng phương trình hồi quy đa biến cho momen hoạt tải xe tải dầm I

Dữ liệu dùng để xây dựng phương trình hồi quy đa biến là bộ dữ liệu đào tạo mạng nơ-ron cho hiệu ứng hoạt tải dầm của các xe tải (Trains): 193.648 mẫu (80% của bộ dữ liệu đào tạo momen hoạt tải dầm của các xe tải).

Phương trình hồi quy tuyến tính 06 biến cho momen hoạt tải xe thiết kế HL-93 dầm I:

$$y = 0.1461 + 0.154654147*x_1 + 0.451364*x_2 - 0.04892*x_3 + 0.010312*x_4 - 0.01463*x_5 + 0.129069*x_6.$$

Phương trình hồi quy tuyến tính 06 biến cho momen hoạt tải xe hợp pháp [3] dầm I:

$$y = 0.057927 + 0.144075*x_1 + 0.495965*x_2 - 0.04696*x_3 + 0.008839*x_4 - 0.01489*x_5 + 0.120925*x_6.$$

Phương trình hồi quy tuyến tính 06 biến cho momen hoạt tải xe hợp pháp [3-S2] dầm I:

$$y = 0.049831 + 0.1373347*x_1 + 0.519885*x_2 - 0.04435*x_3 + 0.008751*x_4 - 0.01434*x_5 + 0.115409*x_6.$$

Phương trình hồi quy tuyến tính 6 biến cho momen hoạt tải xe cấp phép 03 trục dầm I:

$$y = 0.0582 + 0.1454214*x_1 + 0.497404*x_2 - 0.04697*x_3 + 0.008803*x_4 - 0.01471*x_5 + 0.122147*x_6.$$

c/ Xây dựng phương trình hồi quy đa biến cho sức kháng dầm I

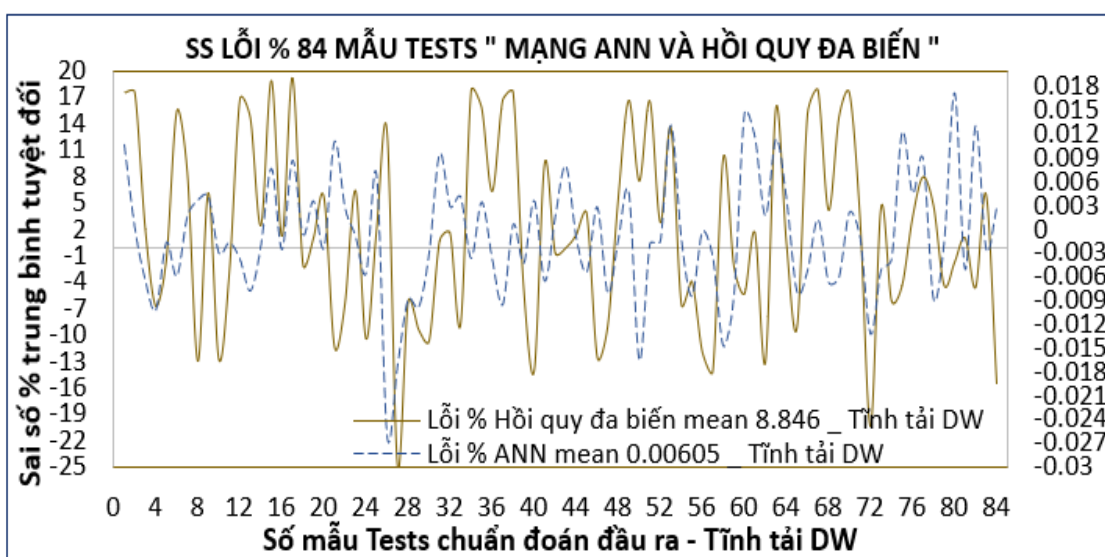
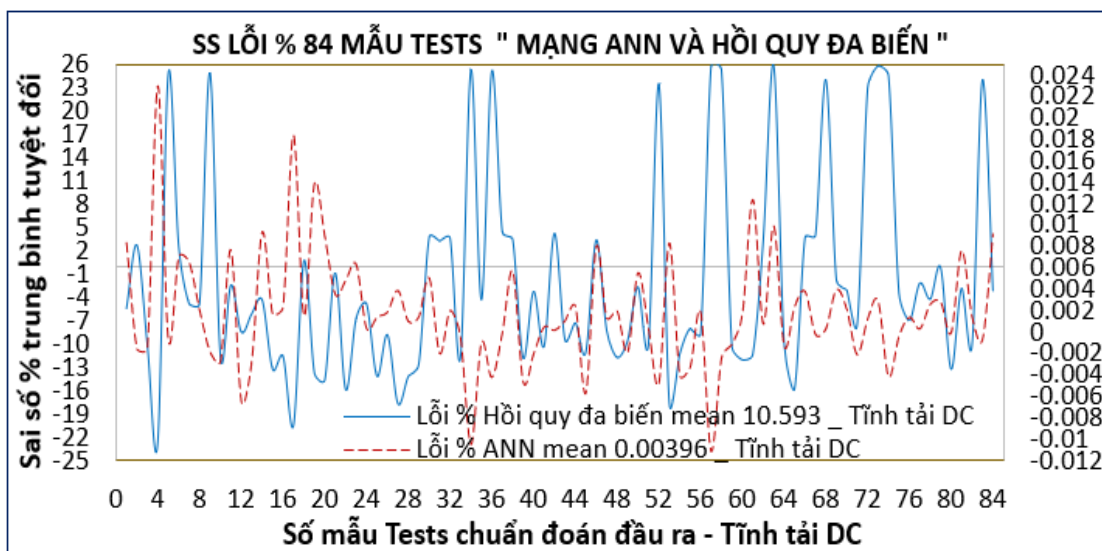
Dữ liệu dùng để xây dựng phương trình hồi quy đa biến là bộ dữ liệu đào tạo mạng nơ-ron cho sức kháng dầm (Trains): 64.512 mẫu (80% của bộ dữ liệu đào tạo sức kháng dầm).

Phương trình hồi quy tuyến tính 05 biến cho sức kháng dầm I:

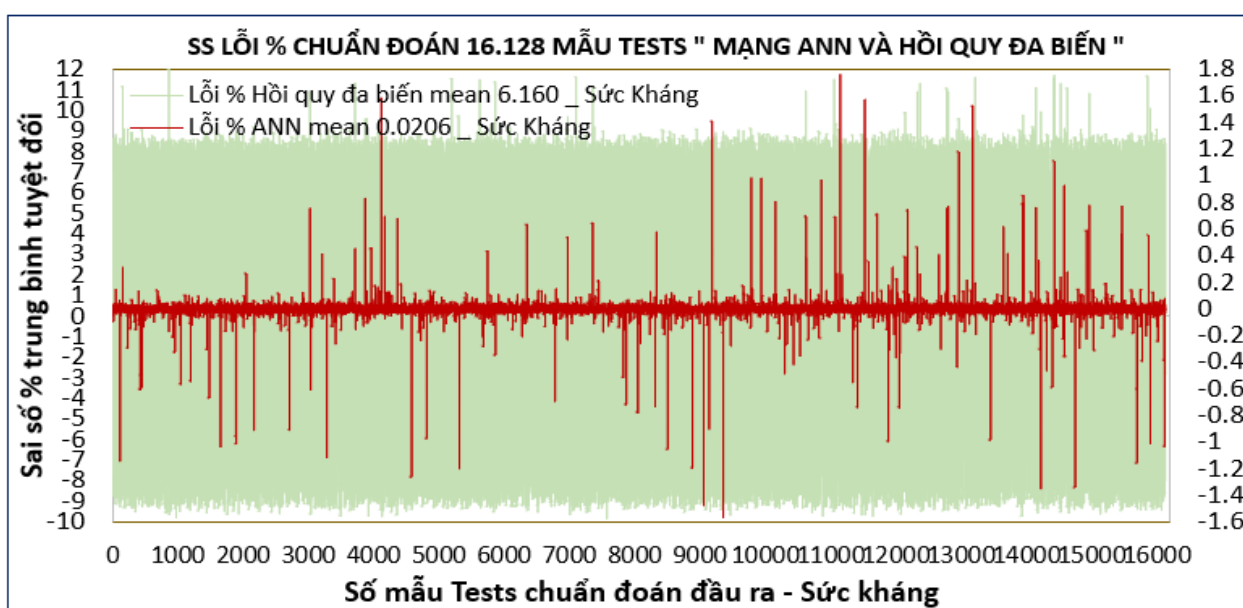
$$y = 0.007811 + 0.8024242*x_1 + 0.046705*x_2 + 0.024537*x_3 - 0.00479*x_4 + 0.024238*x_5.$$

3.3.3 So sánh hiệu suất mô phỏng dự đoán của mạng nơ-ron nhân tạo với phương trình hồi quy đa biến cho xếp hạng tải cầu dầm I DUL

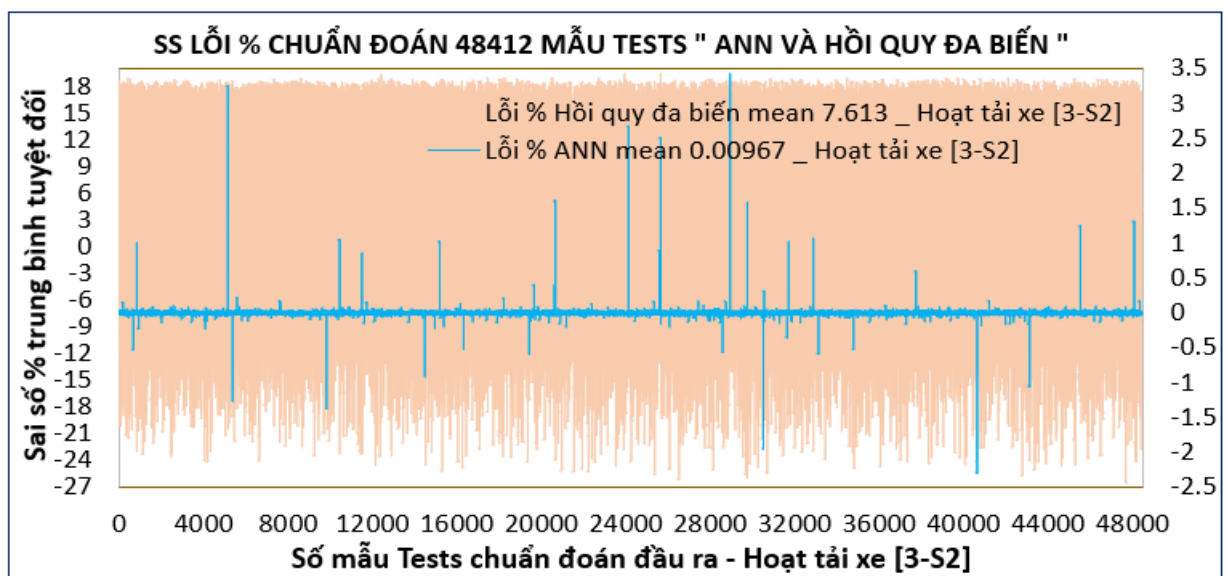
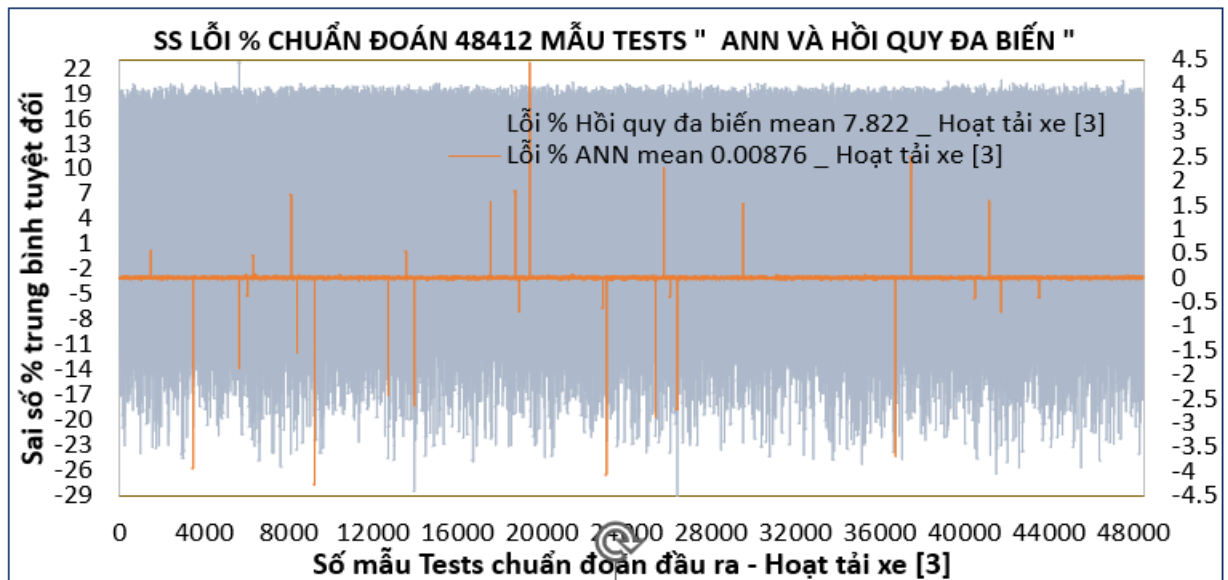
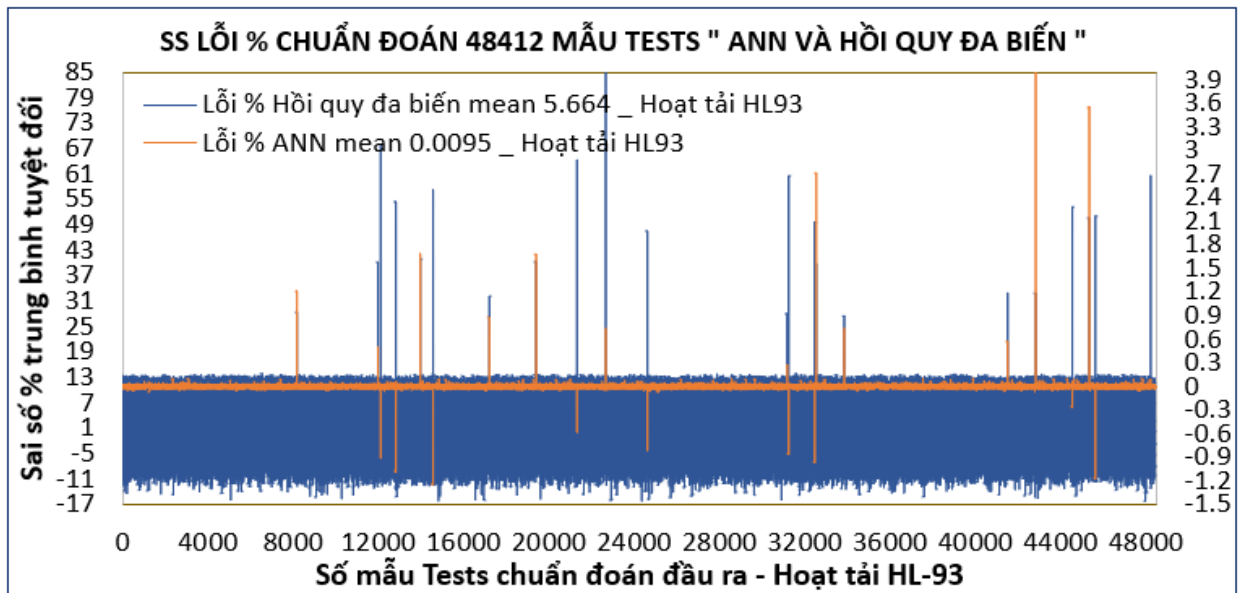
Hiệu suất phần trăm và độ chính xác của giá trị dự đoán bằng ANN được so sánh với hồi quy đa biến cũng từ các bộ mẫu được thiết lập trên, dùng bộ dữ liệu “Trains” để xây dựng và bộ dữ liệu ngoài “Tests” để mô phỏng dự đoán hiệu suất của phương pháp.

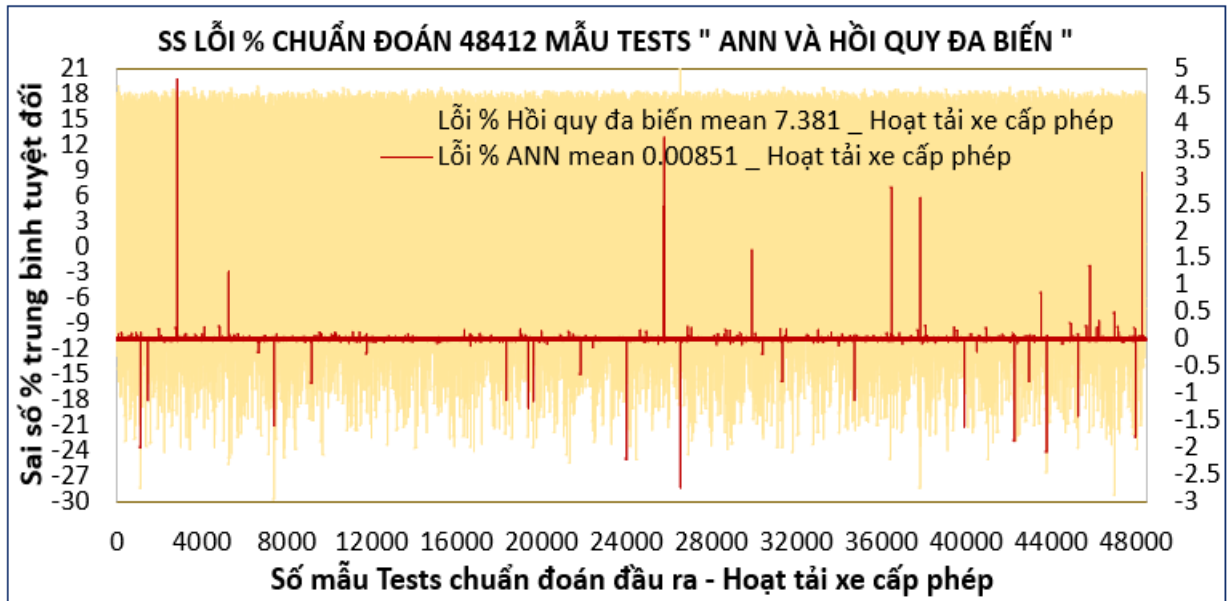


Hình 3. 20 Biểu đồ lỗi sai số % “ANN & hồi quy” momen tĩnh tải DC_DW dầm I DUL



Hình 3. 21 Biểu đồ lỗi sai số % “ANN & hồi quy” sức kháng dầm I DUL





Hình 3. 22 Biểu đồ lỗi sai số % “ANN & hồi quy” momen hoạt tải các xe tải theo TCVN 12882:2020 cho dầm I DUL.

So sánh theo hiệu suất phần trăm: thể hiện bằng các biểu đồ đường giá trị lỗi % của các giá trị momen hoạt tải, momen tĩnh tải và sức kháng.

Thiết lập hệ số Tương quan r kết quả dự đoán cho bộ mẫu ngoài_Test của hai phương pháp mạng nơ-ron và phương trình hồi quy đa biến.

Công thức hệ số Tương quan r theo Pearson:

$$\rho_{xy} = Cov(x,y) / \sigma_x * \sigma_y \quad (3.3)$$

$Cov(x,y)$: Hiệp phương sai của hai biến x, y ; σ_x, σ_y : Độ lệch chuẩn của hai biến x, y .

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (3.4)$$

x_i là các giá trị của biến x (mẫu ngoài_Test).

y_i là các giá trị của biến y (mạng nơ-ron hoặc hồi quy đa biến.)

n là số lượng giá trị của biến x, y .

\bar{x}, \bar{y} là giá trị trung bình của biến x, y .

Bảng 3. 8 So sánh Lỗi sai số % và hệ số tương quan r của ANN-hồi quy đa biến.

Lỗi sai số % của Eout Bộ dữ liệu mẫu ngoài (Test)							
Phương pháp	Sức kháng	Tĩnh tải DC	Tĩnh tải DW	Xe HL-93	Xe HP [3]	Xe HP [3-S2]	Xe cấp phép
	Trung bình	Trung bình	Trung bình	Trung bình	Trung bình	Trung bình	Trung bình
ANN	0.0206	0.00396	0.00605	0.0095	0.00876	0.00967	0.00851
Hồi quy	6.160	10.596	8.846	5.664	7.822	7.613	7.381
Tỷ lệ	1/299	1/2676	1/1642	1/596	1/893	1/787	1/867

Công thức tương quan r	Sức kháng	MDC	MDW	MHL-93	M_{xe} [3]	M_{xe} [3-S2]	M_{xe} CP
$\sum(xi-x')_{test}*(yi-y')_{hoiqui}$	584.740	2.863	1.449	649.549	753.289	805.477	762.872
$(\sum(xi-x')_{test}^2*\sum(yi-y')_{hoiqui}^2)^{0.5}$	597.186	2.980	1.525	676.625	789.868	839.541	795.509
$r_{(hoi\ qui)}$	0.9792	0.9606	0.9501	0.9600	0.9537	0.9594	0.9590
$\sum(xi-x')_{test}*(yi-y')_{ANN}$	609.900	3.111	1.722	703.294	826.045	872.864	828.320
$(\sum(xi-x')_{test}^2*\sum(yi-y')_{ANN}^2)^{0.5}$	609.902	3.111	1.722	703.294	826.046	872.864	828.322
$r_{(ANN)}$	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

Kết quả thống kê tại bảng 3.8 cho thấy độ chính xác chẩn đoán của ANN:

- Hiệu suất dự đoán từ mô hình ANN đạt rất cao. Lỗi sai số % chẩn đoán cho bộ dữ liệu mẫu Tests (mẫu ngoài mạng) của ANN nhỏ hơn rất nhiều và chỉ bằng từ 1/299 đến 1/2676 so với hồi quy đa biến.

- Hệ số tương quan r của ANN chẩn đoán so với mục tiêu là 1.0. Và hồi quy đa biến dự đoán so với mục tiêu từ 0.95 đến 0,979.

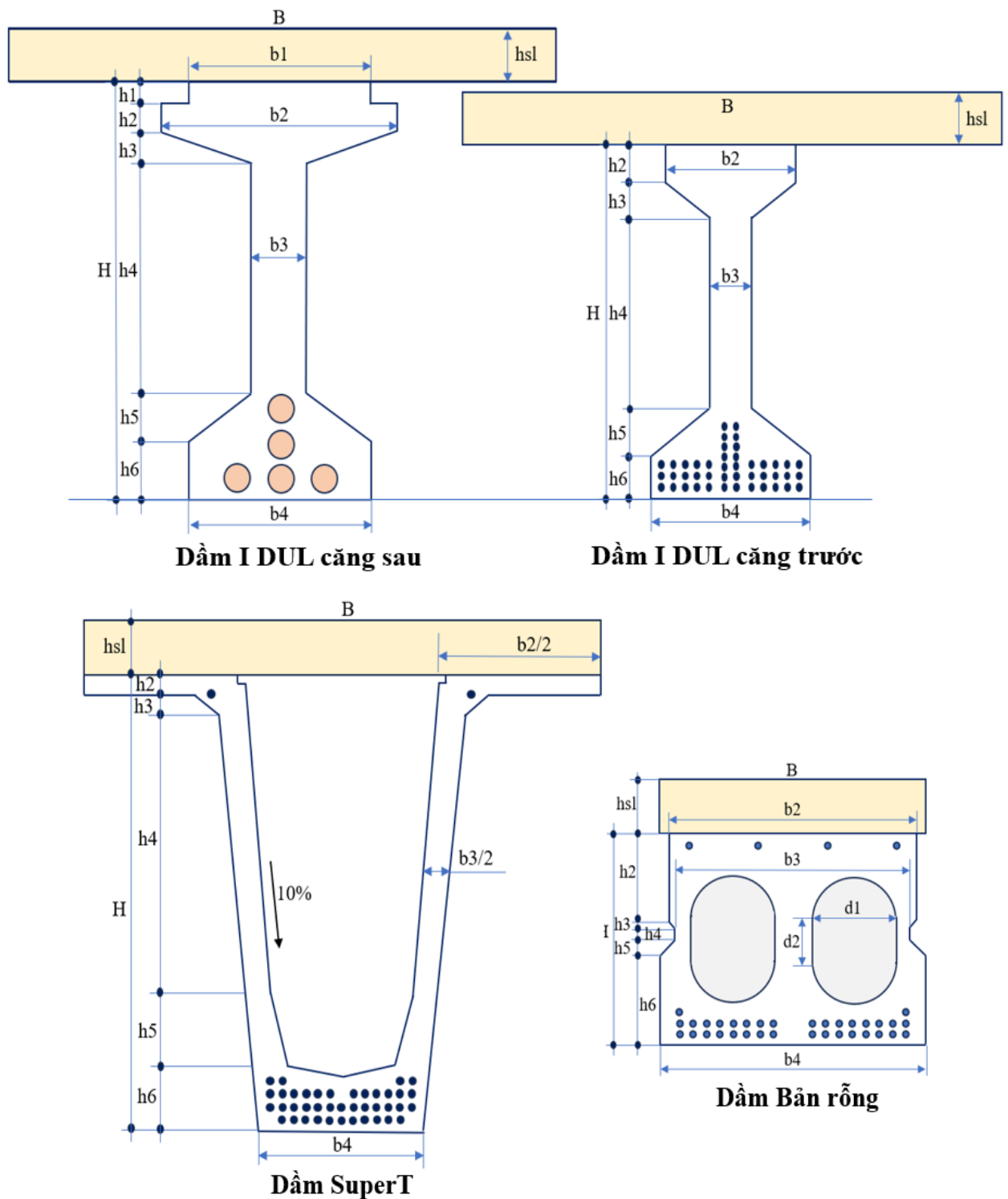
3.4 Xây dựng phương pháp xếp hạng tải RF bằng ANN cho các cầu dầm BTCT khác

Theo mục tiêu nghiên cứu của luận án, các mục (3.1 đến 3.3) chương 3 của luận án đã tập trung xây dựng phương pháp nghiên cứu ứng dụng ANN trong xếp hạng tải RF cho cầu dầm bê tông cốt thép DUL. Nhưng với tính cấp thiết, luận án đã chọn đối tượng nghiên cứu là dầm bê tông cốt thép chữ I DUL để nghiên cứu bằng việc xây dựng một hệ thống dữ liệu mẫu dầm I DUL căng sau, sau đó tiến hành đào tạo ANN trên hệ thống dữ liệu mẫu dầm này để tìm mạng tối ưu riêng biệt cho sức kháng và hiệu ứng tải và cuối cùng là xếp hạng tải RF cho dầm.

Thực tế, thực hiện nghiên cứu ứng dụng ANN trong xếp hạng tải RF dầm I DUL của luận án có khối lượng rất lớn về xây dựng hệ thống dữ liệu mẫu và đào tạo ANN. Cũng trên cơ sở của phương pháp nghiên cứu được trình bày minh bạch từ mục (3.1 đến 3.3) và cũng theo mục tiêu nghiên cứu của luận án, mục 3.4 này sẽ trình bày một hình thức chung để ứng dụng ANN trong xếp hạng tải RF cho các cầu dầm bê tông cốt thép khác (ngoài dầm I DUL căng sau).

3.4.1 Xây dựng chương trình chuẩn hoá bằng Excel dùng tính toán sức kháng và hiệu ứng tải cho các dầm bê tông cốt thép DUL (hoặc bê tông cốt thép thường)

Các dầm bê tông cốt thép DUL được liệt kê ví dụ làm điển hình trong mục này là dầm bê tông cốt thép DUL chữ I căng trước, dầm bản rộng bê tông cốt thép DUL căng trước, dầm superT theo hình 3.23 đang thông dụng trong các cầu giao thông đường bộ hiện nay.



Hình 3. 23 Mặt cắt chi tiết các dầm BTCT DUL khác điển hình.

a/ Điều chỉnh kích thước hình học các dầm khác theo khuôn mẫu dầm I DUL căng sau
 Thông số hình học như bề rộng (B, b_1, b_2, b_3, b_4) và chiều cao ($H, h_1, h_2, h_3, h_4, h_5, h_6$) ứng với loại dầm khác (hình 3.23), sử dụng bản Excel “Đặc trưng hình học của hệ dầm I DUL trước và sau liên hợp mặt cầu” để tính toán học đặc trưng hình cho dầm khác, ví dụ bảng 3.2 được rút gọn ở bảng 3.9.

Bảng 3. 9 Lập thông số hình học chuẩn cho các dầm BTCT theo phương pháp luận án

Dầm I33	L (cm)	Hg	Các thông số hình học bê tông dầm I33 DUL								
	3240	165	b & n	Ag	a	Si	Ygb	Ygb-a	Ai*(Ygb-a)^2	bh^3/12	Ig
Khoá	Tiết diện	(cm)	(cm)	(cm2)	(cm)	(cm3)	(cm)	(cm)	(cm4)	(cm4)	(cm4)
K1	Gờ đỉnh	8	65	520	161	83720		79.4	3278604	2773	
K2	Gờ trên	12	85	1020	151	154020		69.4	4913264	12240	
K3	Vút trên	11	32.5	357.5	141.3	50527		59.7	1275759	3605	
K4	Sườn	120	20	2400	85	204000		3.4	27811	2880000	
K5	Vút dưới	20	22.5	450	31.7	14250		49.9	1121819	15000	
K6	Bầu dưới	25	65	1625	12.5	20313		69.1	7758152	84635	
cáp DUL	5*12*0.987*(Ep/Ec)		5.207	308.4	16.2	4995		65.4	1318732	177	
K8	Trừ lỗ cáp	5*3.14*3.6^2		-203.5	16.2	-3296		65.4	-870174	-659	
				6477		528528	81.60		18823966	2997771	21821737

Chi tiết cốt thép dự ứng lực loại dầm khác từ (hình 3.23) thay thế vào bảng 3.10, dùng xác định trọng tâm cáp DUL của mặt cắt dầm khác.

Bảng 3. 10 Lập chi tiết cáp DUL cho các dầm BTCT theo phương pháp luận án

						A _{ps} bó	11.844	11.844	11.844	11.844	11.844	59.22
						Sg	390.852	248.724	106.596	106.596	106.596	959.36
Các thông số hình học cáp DUL dầm I33 nguyên						Trọng tâm (cáp-đáy dầm), L/2				a _{oc}	16.2	
Cáp số	1	2	3	4	5	Trọng tâm (cáp-dầm nguyên), L/2	e _{oc} = Ygb - a _{oc}				65.40	
Loại cáp	33	21	9	9	9	Trọng tâm (cáp-dầm liên hợp), L/2	e _{oc} = Ycb - a _{oc}				107.23	

b/ Điều chỉnh mất mát ứng suất của dầm khác theo khuôn mẫu dầm I DUL căng sau

Tính tổng mất mát ứng suất trước của hệ dầm I DUL (TCVN 11823:2017).

Hệ số co ngót và từ biến của hệ dầm I DUL (TCVN 11823:2017).

Mất mát ứng suất do co ngắn đàn hồi hệ dầm I DUL (TCVN 11823:2017).

Mất mát ứng suất do tự chùng cáp truyền lực hệ dầm I DUL (TCVN 11823:2017).

Mất mát ứng suất do co ngót hệ dầm I DUL (TCVN 11823:2017).

Mất mát ứng suất do từ biến hệ dầm I DUL (TCVN 11823:2017).

Mất mát ứng suất theo thời gian của hệ dầm I (TCVN 11823:2017).

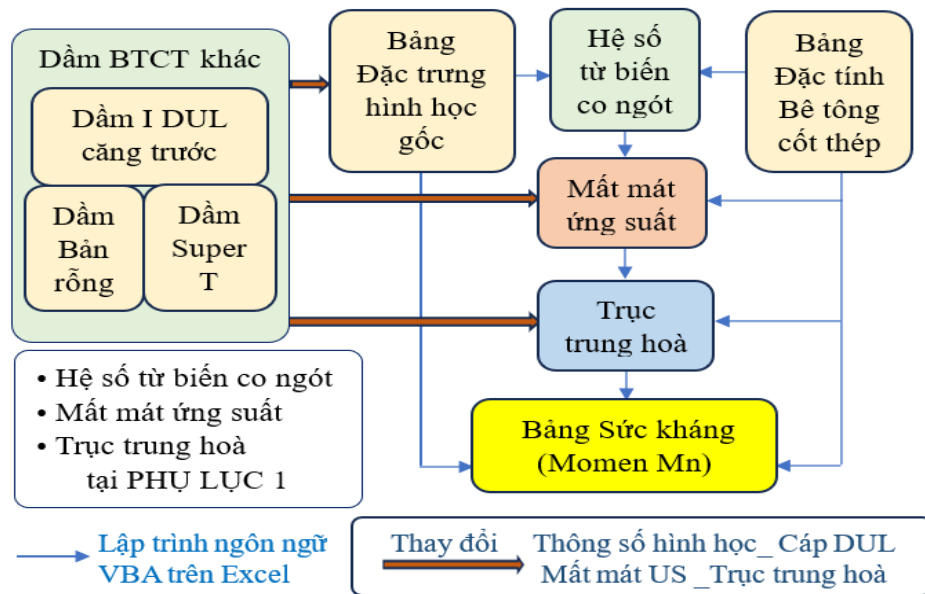
(mất mát ứng suất căng trước hoặc căng sau được tính lại theo các bảng Excel ở Phụ Lục 1)

c/ Điều chỉnh trục trọng tâm theo DUL căng trước

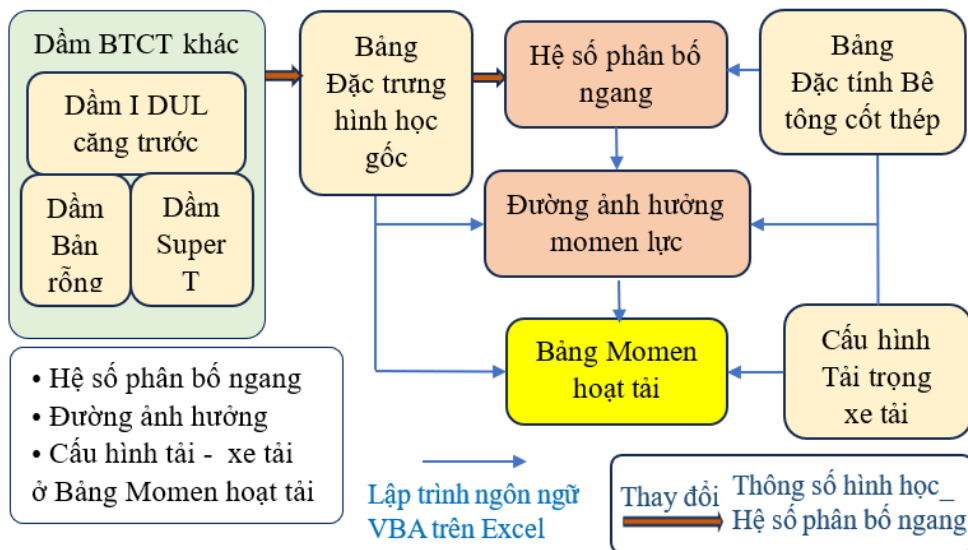
d/ Xây dựng hệ thống dữ liệu mẫu dùng đào tạo ANN cho các dầm bê tông cốt thép khác

Việc tạo mẫu dữ liệu hệ thống dầm bê tông cốt thép khác cho đào tạo ANN, được thực hiện như đối với dầm I DUL căng sau tại mục (3.1 đến 3.3). Dầm cần đánh giá sau khi tập hợp các mẫu điển hình trong sản xuất thực tế, được nhập kích thước thực của dầm vào bảng

“Đặc trưng hình học của hệ dầm I DUL trước và sau liên hợp mặt cầu” để tính đặc trưng hình học. Tiếp theo tiến hành tính mất mát ứng suất của loại dầm này, cuối cùng sức kháng và momen hoạt tải được xác định theo bảng (3.24 và 3.25).



Hình 3. 24 Sơ đồ qui trình tạo mẫu sức kháng hệ thống dầm bê tông cốt thép khác



Hình 3. 25 Sơ đồ qui trình tạo mẫu momen hoạt tải hệ thống dầm bê tông cốt thép khác

3.4.2 Xây dựng ANN riêng biệt về sức kháng và hiệu ứng tải cho các dầm bê tông cốt thép DUL (hoặc bê tông cốt thép thường).

a/ Xây dựng số lượng mẫu dữ liệu hệ thống dầm dùng đào tạo ANN

Dữ liệu mẫu hệ thống dầm bê tông cốt thép khác thay đổi tùy thuộc vào kích thước dầm định hình được sản xuất thực tế và kiểu liên hợp của dầm với mặt cầu. Luận án chọn số kích thước theo tương đồng với dầm I DUL căng sau, tại bảng 3.11:

Bảng 3. 11 Tham số đầu vào và số kích thước đào tạo ANN cho dầm BTCT khác.

Dầm BTCT khác	Tham số cầu đầu vào và số kích thước đào tạo ANN				
Dầm I DUL căng trước	<i>Chiều cao dầm (m)</i>	<i>Chiều dày bản MC (cm)</i>	<i>f'c bản MC (Mpa)</i>	<i>f'c dầm (Mpa)</i>	<i>Khoảng cách dầm (cm)</i>
	33; 24.5; 18.6; 12.5	18; 19; 20; 21; 22; 23; 24; 25	25; 26; 27; 28; 29; 30; 31; 32; 33; 34; 35; 36	33; 35.5; 37.5; 40; 42; 44; 48; 50; 52; 54; 56	185; 190; 195; 200; 205; 210; 215; 220; 225; 230; 235; 240; 245; 250
Dầm Bản rộng	<i>Chiều cao dầm (m)</i>	<i>Chiều dày bản MC (cm)</i>	<i>f'c bản MC (Mpa)</i>	<i>f'c dầm (Mpa)</i>	<i>Diện tích cáp DUL (cm²)</i>
	24; 22; 20; 18; 15; 12.5	12; 13; 14; 15; 16; 17	25; 26; 27; 28; 29; 30; 31; 32; 33; 34; 35; 36	33; 35.5; 37.5; 40; 42; 44; 48; 50; 52; 54; 56	± 1 tao cáp cho mỗi diện tích cáp/mặt cắt dầm
Dầm Super T	<i>Chiều cao dầm (m)</i>	<i>Chiều dày bản MC (cm)</i>	<i>f'c bản MC (Mpa)</i>	<i>f'c dầm (Mpa)</i>	<i>Diện tích cáp DUL (cm²)</i>
	38.2	18; 19; 20; 21; 22; 23; 24; 25	25; 26; 27; 28; 29; 30; 31; 32; 33; 34; 35; 36	33; 35.5; 37.5; 40; 42; 44; 48; 50; 52; 54; 56	± 2 tao cáp cho diện tích cáp/mặt cắt dầm

Với dữ liệu cho momen hoạt tải, tham số cầu đầu vào có thêm số làn tải trọng.

b/ Đào tạo ANN tối ưu riêng biệt sức kháng và hiệu ứng tải cho các dầm bê tông cốt thép khác

Quá trình đào tạo và đánh giá hiệu quả ANN cho các dữ liệu hệ thống dầm bê tông cốt thép khác như mục 3.4 mô tả tương tự như đào tạo và đánh giá hiệu quả ANN dầm I DUL căng sau, theo mục 3.2.

Kết quả đào tạo các ANN tối ưu riêng biệt về sức kháng và hiệu ứng tải của hệ thống dầm I DUL căng sau ở mục 3.2 đã thu được các bộ trọng số (w , b) cho ANN (2 lớp và 3 lớp) có hiệu quả thực tế, có thể dùng tham khảo để việc đào tạo các ANN cho các dầm bê tông cốt thép khác được nhanh chóng hơn.

Kết luận Chương 3

Chương này đã xây dựng một hệ thống mẫu kết cấu nhịp cầu dầm I DUL liên hợp mặt cầu, sau đó dùng hệ thống mẫu cầu để đào tạo mạng nơ-ron nhân tạo trở thành một *Phương pháp hỗ trợ chuyên đánh giá xếp hạng tải (RF)* cho kết cấu nhịp cầu dầm I DUL liên hợp thực tế, sau hoàn thành đưa vào khai thác hoặc cần đánh giá lại cầu đã khai thác nhiều năm.

Chương 3 đã xây dựng mô hình ANN để dự đoán sức kháng và hiệu ứng tải trọng cho hệ thống mẫu cầu dầm I kết quả cho thấy mô hình ANN tối ưu đạt được với:

- Hiệu ứng tĩnh tải DC, DW có mô hình toán (công thức) ít phức tạp. ANN tối ưu (02 lớp/03 lớp) có số nơ-ron lớp ẩn 10/8 (DC) và 20/12 (DW), không lệch nhiều. Sai số mẫu Test theo MAE tương đồng nhau 0,004% / 0,0043% (DC) và 0,006% / 0,005% (DW). Sai số mẫu Test theo RMSE 0,0033% / 0,0037% (DC) và 0,0043% / 0,0038% (DW). Hiệu suất đào tạo theo MAE và RMSE tương đồng nhau.

- Sức kháng có mô hình toán phức tạp hơn. ANN tối ưu 03 lớp có khả năng nhận dạng phi tuyến cao hơn bởi lặp lại 02 lần hàm kích hoạt Logsig, số nơ-ron lớp ẩn của ANN tối ưu 03 lớp được tối ưu hơn ANN tối ưu 02 lớp là (15/21). ANN tối ưu 03 lớp có sai số mẫu Test theo MAE tốt hơn ANN tối ưu 02 lớp là “0,0108% < 0,0206%”. Sai số mẫu Test theo RMSE là 0,0225% < 0,0533%. Hiệu suất đào tạo theo MAE hiệu quả hơn RMSE.

- Hiệu ứng mô men do hoạt tải xe HL93, ANN 03 lớp dự đoán tốt hơn ANN 02 lớp với số nơ-ron tối ưu lớp ẩn là “21 < 24” nơ-ron và sai số mẫu Test theo MAE là “0,0021% < 0,0095%”. Sai số mẫu Test theo RMSE là 0,0053% < 0,0098%. Hiệu suất đào tạo theo MAE hiệu quả hơn RMSE.

Mạng nơ-ron nhân tạo được xây dựng và ứng dụng trong nghiên cứu luận án đã được so sánh với phương pháp hồi quy đa biến, kết quả có độ chính xác cao hơn nhiều là tỉ lệ sai số mẫu tests của cả hai từ (1/300 đến 1/2700) và hệ số tương quan r là 1/(0,95 – 0,97).

Cuối chương 3 trên cơ sở của mục (3.1 và 3.2) đã trình bày một hình thức chung để xây dựng ứng dụng ANN trong xếp hạng tải RF cho các cầu dầm bê tông cốt thép khác (dầm I DUL căng trước, dầm bản rộng, dầm superT). Điều này cho thấy phương pháp nghiên cứu luận án có thể áp dụng cho các loại dầm bê tông cốt thép khác trong xếp hạng tải RF dầm bằng ứng dụng ANN

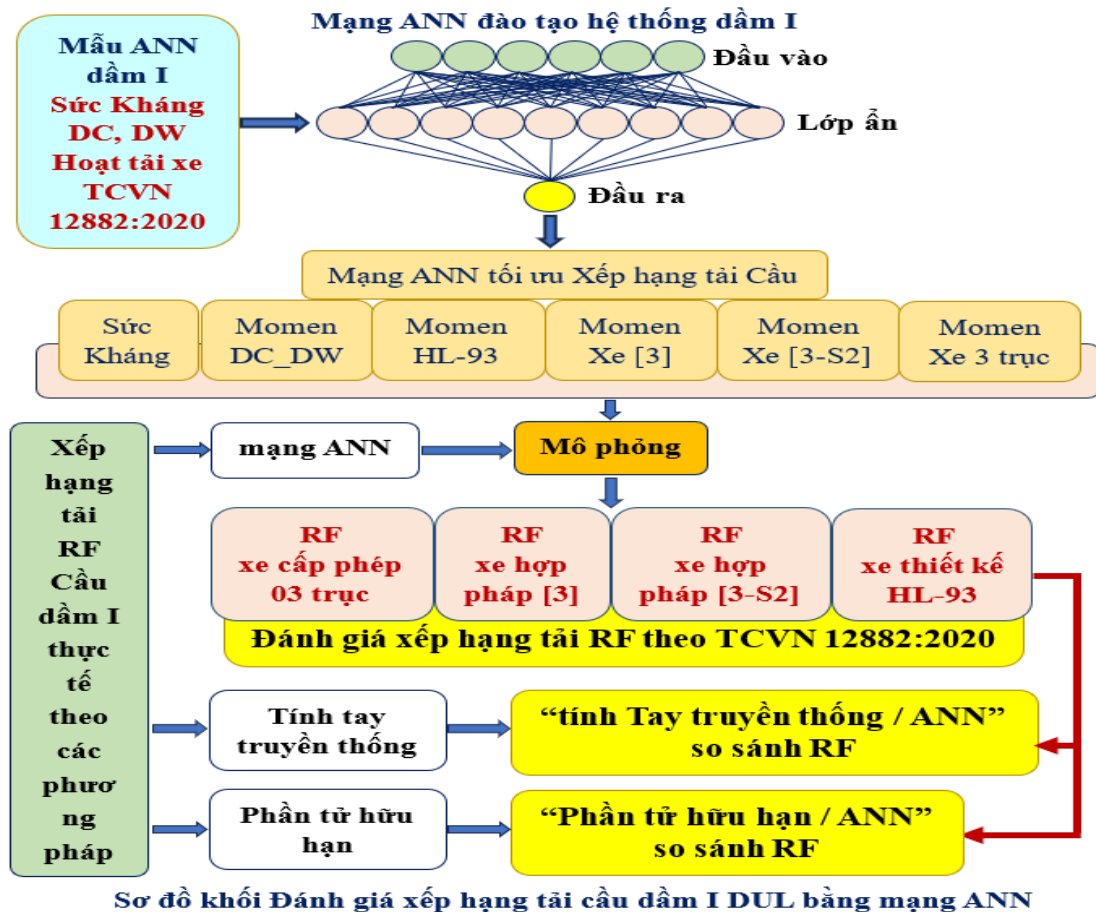
Kết quả kiểm chứng được thực hiện trong chương 4.

CHƯƠNG 4 ỨNG DỤNG MẠNG NƠ-RON NHÂN TẠO CHO ĐÁNH GIÁ XẾP HẠNG TẢI CHO CẦU

Chương 4 của luận án với mục tiêu kiểm chứng đánh giá kết quả nghiên cứu hoàn chỉnh ở chương 3. Để thấy được tính minh bạch và sự hiệu quả của phương pháp nghiên cứu luận án, việc kiểm chứng đánh giá được thực hiện bằng xếp hạng tải theo tiêu chuẩn hiện hành Việt Nam là TCVN 12882:2022 và được kiểm chứng xác thực bằng các cầu dầm I dự ứng lực thực tế đang khai thác. Cuối cùng là so sánh hiệu quả của phương pháp nghiên cứu với các phương pháp truyền thống khác hiện nay cũng như phân tích độ nhạy ảnh hưởng của các tham số đến kết quả xếp hạng tải cầu.

4.1 Kiểm chứng 1 - Ứng dụng ANN để đánh giá xếp hạng tải cầu dầm I [21] không có trong dữ liệu mạng đào tạo

Sơ đồ khối đánh giá xếp hạng tải cầu dầm I DUL bằng ANN của luận án hình 4.1.



Hình 4. 1 Sơ đồ khối đánh giá xếp hạng tải cho cầu dầm I DUL bằng ANN.

Sự phù hợp và hiệu quả của nghiên cứu Luận án sẽ được minh chứng đánh giá bằng ứng dụng mạng nơ-ron 02 lớp để xếp hạng tải cầu dầm I DUL mà không có trong dữ liệu đào tạo. Từ “Báo cáo kết quả kiểm định cầu Ninh Chữ” huyện Ninh Hải tỉnh Ninh Thuận do Phòng thí nghiệm trọng điểm đường bộ III - Viện khoa học công nghệ GTVT (2014) [21]

thực hiện được dùng kiểm chứng. Luận án sẽ trình bày 03 cách ứng dụng ANN 02 lớp từ cơ sở thu thập số liệu đầu vào mạng và kết hợp với số liệu thử tải thực tế để xếp hạng tải cầu dầm I DUL.

4.1.1 Số liệu kiểm định cầu Ninh Chữ tóm tắt dùng đánh giá xếp hạng tải RF

- Tham số kết cấu nhịp: Số lượng dầm chủ I33 = 05; Khoảng cách dầm = 2,4m; Chiều dày bản mặt cầu = 20cm; (bề rộng cầu = 12m). Số liệu chi tiết hình học dầm theo [21] .
- Tham số Làn hoạt tải = 02 làn, Làn bộ hành = 2*1,5m. Số liệu kiểm định ở Phụ lục 4.
- Tham số đầu vào cường độ $f'c$, chiều cao dầm và tần số nhịp cầu Ninh Chữ, bảng 4.1.

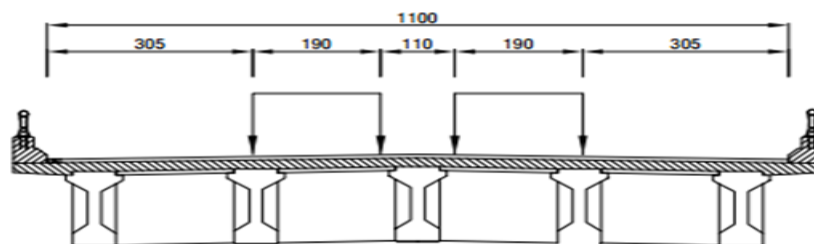
Bảng 4. 1 $f'c$ và cao dầm, $f'c$ mặt cầu, tần số nhịp (1, 2, 12, 13) cầu Ninh Chữ [21] .

Dầm	Nhịp 1		Nhịp 2		Nhịp 12		Nhịp 13	
	$f'c$ (MPa)	Cao dầm (cm)	$f'c$ (MPa)	Cao dầm (cm)	$f'c$ (MPa)	Cao dầm (cm)	$f'c$ (MPa)	Cao dầm (cm)
D1	43.6	165.0	45.4	165.1	44.1	164.9	43.0	165.1
D2	44.4	164.8	45.6	164.8	45.6	165.1	41.3	164.8
D3	45.2	164.9	42.3	164.8	45.6	164.8	45.4	164.9
D4	44.1	164.8	44.3	165.2	43.6	164.9	44.7	164.8
D5	45.6	165.2	41.1	164.9	46.1	165.2	45.9	164.8
Mặt cầu (Mpa)	37.05		35.85		35.65		36.25	
Tần số (Hz)	3.65		3.83		3.81		3.84	

- Tham số đầu vào cấu hình xe thử tải và độ võng nhịp cầu Ninh Chữ theo bảng 4.2.

Bảng 4. 2 Xe tải thử tải, độ võng đo nhịp (1, 2, 12, 13)-cầu Ninh Chữ (nguồn [21]).

Stt	Tên xe	Trọng lượng trục xe Pi (T)			Tổng tải trọng (T)		
		P1 trục sau	P2 trục giữa	P3 trục trước			
04	Xe trung bình nhịp 12, 13	10.72	11.26	6.12	4*28.1		
04	Xe trung bình nhịp 1, 2	14.09	14.32	6.10	4*34.5		
Khoảng cách trục xe (đầu-giữa)		1.35m		Khoảng cách trục xe (giữa-sau)		3.65m	
Vị trí tải trọng		Giá trị độ võng nhịp (mm) tại mặt cắt L/2					
		F1	F2	F3	F4	F5	$\sum Fi$
Nhịp 1	Chính tâm	7.12	7.7	8.1	7.92	7.05	37.89
	Lệch trái	14.01	10.91	7.6	5.0	1.9	39.42
	Lệch phải	1.50	4.80	7.40	11.20	11.06	35.96
Nhịp 2	Chính tâm	7.40	7.87	7.90	7.40	7.40	37.97
	Lệch trái	13.65	12.05	7.92	4.85	1.75	40.22
	Lệch phải	1.15	3.55	7.70	11.00	11.45	34.85
Nhịp 12	Chính tâm	5.00	6.10	6.60	5.70	5.60	29.00
	Lệch trái	10.70	9.80	6.90	3.90	1.40	32.70
	Lệch phải	0.90	3.40	4.90	7.90	8.80	25.90
Nhịp 13	Chính tâm	5.30	6.20	6.61	5.75	5.00	28.86
	Lệch trái	10.40	7.69	5.88	3.81	1.56	29.34
	Lệch phải	1.30	4.00	6.05	8.30	9.51	29.16



Hình 4. 2 Mặt cắt ngang cầu dùng thử tải cầu dầm I DUL [21].

4.1.2 Ứng dụng ANN (ứng dụng 1) để đánh giá xếp hạng tải cầu dầm I DUL

Ứng dụng ANN 02 lớp (UD 1) sử dụng mẫu dữ liệu đầu vào ANN là các tham số hình học cầu và dữ liệu kiểm tra cường độ $f'c$ của kết cấu nhịp cầu bằng súng bật nảy.

Mẫu số liệu tham số thực đo hiện trường là đầu vào ANN được tiền xử lý trong đoạn $[0,2\div 0,8]$ [68]. Số liệu gồm chung sức kháng-tĩnh tải-hoạt tải trình bày ở bảng 4.3.

Sức kháng dầm: dùng mạng 02 lớp (5-21-1).

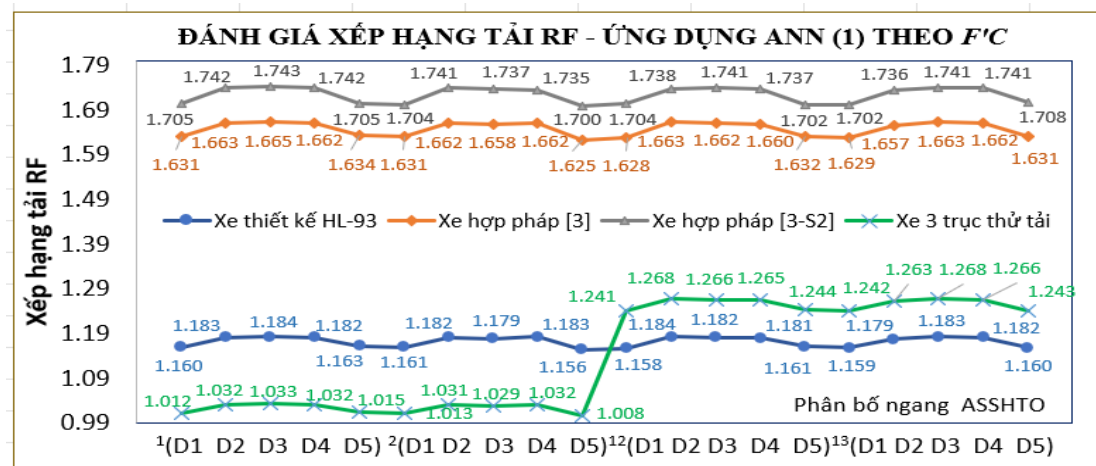
Momen Tĩnh tải: dùng mạng 02 lớp (3-10-1) cho DC và mạng (3-20-1) cho DW.

Momen Hoạt tải: dùng mạng 02 lớp (6- 24-1), (6- 19-1), (6- 30-1), (6- 27-1) tương ứng xe HL93, xe hợp pháp [3], xe hợp pháp [3-S2], xe cấp phép 03 trực.

Bảng 4. 3 Mẫu đầu vào mạng sức kháng-tĩnh tải-hoạt tải được tiền xử lý $[0,2\div 0,8]$.

Nhịp dầm	Số làn tải	Cao dầm	Dày bản mc	Dày lớp phủ	Số liệu tham số Thực đo hiện trường			Số liệu tham số Tiền xử lý ANN							
					$f'c$ bản mc	$f'c$ dầm	Cự ly dầm	Số làn tải	Cao dầm	Dày bản mc	Dày lớp phủ	$f'c$ bản mc	$f'c$ dầm	Cự ly dầm	
N1-D1	2	165.0	200	70	37.05	43.60	240	0.2	0.8000	0.3714	0.3714	0.8573	0.4765	0.7077	
N1-D2	2	164.8	200	70	37.05	44.40	240	0.2	0.7978	0.3714	0.3714	0.8573	0.4974	0.7077	
N1-D3	2	164.9	200	70	37.05	45.20	240	0.2	0.7989	0.3714	0.3714	0.8573	0.5183	0.7077	
N1-D4	2	164.8	200	70	37.05	44.10	240	0.2	0.7978	0.3714	0.3714	0.8573	0.4896	0.7077	
N1-D5	2	165.2	200	70	37.05	45.60	240	0.2	0.8022	0.3714	0.3714	0.8573	0.5287	0.7077	
N2-D1	2	165.1	200	70	35.85	45.40	240	0.2	0.8011	0.3714	0.3714	0.7918	0.5235	0.7077	
N2-D2	2	164.8	200	70	35.85	45.60	240	0.2	0.7978	0.3714	0.3714	0.7918	0.5287	0.7077	
N2-D3	2	164.8	200	70	35.85	42.30	240	0.2	0.7978	0.3714	0.3714	0.7918	0.4426	0.7077	
N2-D4	2	165.2	200	70	35.85	44.30	240	0.2	0.8022	0.3714	0.3714	0.7918	0.4948	0.7077	
N2-D5	2	164.9	200	70	35.85	41.10	240	0.2	0.7989	0.3714	0.3714	0.7918	0.4113	0.7077	
N12-D1	2	164.9	200	70	35.65	44.10	240	0.2	0.7989	0.3714	0.3714	0.7809	0.4896	0.7077	
N12-D2	2	165.1	200	70	35.65	45.60	240	0.2	0.8011	0.3714	0.3714	0.7809	0.5287	0.7077	
N12-D3	2	164.8	200	70	35.65	45.60	240	0.2	0.7978	0.3714	0.3714	0.7809	0.5287	0.7077	
N12-D4	2	164.9	200	70	35.65	43.60	240	0.2	0.7989	0.3714	0.3714	0.7809	0.4765	0.7077	
N12-D5	2	165.2	200	70	35.65	46.10	240	0.2	0.8022	0.3714	0.3714	0.7809	0.5417	0.7077	
N13-D1	2	165.1	200	70	36.25	43.00	240	0.2	0.8011	0.3714	0.3714	0.8136	0.4609	0.7077	
N13-D2	2	164.8	200	70	36.25	41.30	240	0.2	0.7978	0.3714	0.3714	0.8136	0.4165	0.7077	
N13-D3	2	164.9	200	70	36.25	45.40	240	0.2	0.7989	0.3714	0.3714	0.8136	0.5235	0.7077	
N13-D4	2	164.8	200	70	36.25	44.70	240	0.2	0.7978	0.3714	0.3714	0.8136	0.5052	0.7077	
N13-D5	2	164.8	200	70	36.25	45.90	240	0.2	0.7978	0.3714	0.3714	0.8136	0.5365	0.7077	

Kết quả tính xếp hạng tải RF theo phân bố ngang ASSHTO của các Nhịp dầm (1, 2, 12, 13) từ các số liệu đo hình học và kiểm tra cường độ bê tông $f'c$, thể hiện hình 4.3.



Hình 4. 3 Biểu đồ đánh giá xếp hạng tải RF các nhịp dầm bằng ANN theo ứng dụng 1.

Bảng 4. 4 Kết quả đánh giá xếp hạng tải RF theo TCVN 12882:2020 bằng ứng dụng (1) ANN.

Nhíp dầm	Giá trị mô phỏng của mạng ANN cho dầm I DUL thực tế							Giá trị Nội lực của dầm I DUL theo mạng ANN							RF-TCVN 12882:2020			Hệ số vượt tải xe 3 trục thử tải	RF xe 3 trục thử tải
	Sức kháng	Tĩnh tải DC	Tĩnh tải DW	T.kế HL-93	Hợp pháp [3]	Hợp pháp [3S2]	Cấp phép 3 trục	Sức kháng	Tĩnh tải DC	Tĩnh tải DW	T.kế HL-93	Hợp pháp [3]	Hợp pháp [3S2]	Cấp phép 3 trục	T.kế HL-93	Hợp pháp [3]	Hợp pháp [3S2]		
N1-D1	0.7699	0.7221	0.5970	0.6116	0.5581	0.5635	0.5577	17439	3857	1036	5341	3800	3634	4169	1.160	1.631	1.705	1.4685	1.012
N1-D2	0.7636	0.7163	0.5935	0.6087	0.5550	0.5595	0.5547	17308	3823	1029	5308	3776	3604	4143	1.183	1.663	1.742	1.4685	1.032
N1-D3	0.7666	0.7192	0.5953	0.6095	0.5559	0.5609	0.5556	17370	3840	1032	5318	3783	3614	4151	1.184	1.665	1.743	1.4685	1.033
N1-D4	0.7637	0.7163	0.5935	0.6088	0.5551	0.5597	0.5549	17309	3823	1029	5310	3777	3605	4144	1.182	1.662	1.742	1.4685	1.032
N1-D5	0.7754	0.7280	0.6005	0.6131	0.5597	0.5661	0.5592	17554	3892	1043	5358	3813	3655	4183	1.163	1.634	1.705	1.4685	1.015
N2-D1	0.7709	0.7251	0.5987	0.6112	0.5577	0.5637	0.5573	17460	3874	1040	5337	3798	3636	4166	1.161	1.631	1.704	1.4685	1.013
N2-D2	0.7620	0.7163	0.5935	0.6074	0.5536	0.5583	0.5534	17273	3823	1029	5294	3765	3594	4131	1.182	1.662	1.741	1.4685	1.031
N2-D3	0.7626	0.7163	0.5935	0.6091	0.5554	0.5600	0.5551	17285	3823	1029	5314	3779	3607	4147	1.179	1.658	1.737	1.4685	1.029
N2-D4	0.7739	0.7280	0.6005	0.6131	0.5597	0.5660	0.5592	17523	3892	1043	5358	3813	3655	4182	1.183	1.662	1.735	1.4685	1.032
N2-D5	0.7658	0.7192	0.5953	0.6111	0.5574	0.5624	0.5571	17354	3840	1032	5335	3795	3626	4164	1.156	1.625	1.700	1.4685	1.008
N12-D1	0.7650	0.7192	0.5953	0.6093	0.5556	0.5606	0.5553	17336	3840	1032	5315	3781	3612	4148	1.158	1.628	1.704	1.1957	1.241
N12-D2	0.7706	0.7251	0.5987	0.6110	0.5575	0.5634	0.5571	17453	3874	1040	5335	3796	3634	4164	1.184	1.663	1.738	1.1957	1.268
N12-D3	0.7617	0.7163	0.5935	0.6073	0.5535	0.5581	0.5533	17268	3823	1029	5293	3764	3593	4130	1.182	1.662	1.741	1.1957	1.266
N12-D4	0.7651	0.7192	0.5953	0.6096	0.5559	0.5609	0.5556	17338	3840	1032	5318	3783	3614	4151	1.181	1.660	1.737	1.1957	1.265
N12-D5	0.7733	0.7280	0.6005	0.6120	0.5586	0.5650	0.5582	17510	3892	1043	5346	3805	3646	4173	1.161	1.632	1.702	1.1957	1.244
N13-D1	0.7719	0.7251	0.5987	0.6128	0.5593	0.5651	0.5588	17481	3874	1040	5354	3810	3647	4179	1.159	1.629	1.702	1.1957	1.242
N13-D2	0.7632	0.7163	0.5935	0.6099	0.5562	0.5607	0.5559	17300	3823	1029	5322	3785	3613	4154	1.179	1.657	1.736	1.1957	1.263
N13-D3	0.7655	0.7192	0.5953	0.6089	0.5553	0.5603	0.5550	17348	3840	1032	5312	3778	3610	4146	1.183	1.663	1.741	1.1957	1.268
N13-D4	0.7626	0.7163	0.5935	0.6081	0.5543	0.5589	0.5541	17286	3823	1029	5302	3771	3599	4138	1.182	1.662	1.741	1.1957	1.266
N13-D5	0.7624	0.7163	0.5935	0.6074	0.5537	0.5583	0.5535	17282	3823	1029	5295	3766	3594	4132	1.160	1.631	1.708	1.1957	1.243

4.1.3 Ứng dụng ANN (ứng dụng 2) kết hợp dữ liệu đo độ võng Δ (từ thử tải tĩnh) để đánh giá xếp hạng tải cầu dầm I DUL

Ứng dụng ANN 02 lớp (UD 2) sử dụng mẫu dữ liệu đầu vào ANN là các tham số hình học cầu và dữ liệu đo độ võng Δ thử tải tĩnh.

Mục đích: bằng phương pháp giải tích, cường độ $f'c$ của kết cấu nhịp cầu được xác định từ quá trình thử tĩnh như độ võng Δ , thông số xe tải thử nghiệm, mô hình và tham số cầu. Theo lý thuyết của mục 2.3.1 trong luận án này, cường độ bê tông $f'c$ của kết cấu được tính toán từ giá trị modun đàn hồi Ei và momen quán tính Ii theo công thức (2.9), và làm đầu vào cho ANN cho ứng dụng 2 của ANN trong luận án.

Cơ chế và trình tự tính toán để đến kết quả $f'c$ của kết cấu nhịp như sau:

Tỷ lệ modun đàn hồi giữa dầm I và mặt cầu được xác định tính momen quán tính Ii .

Bảng 4. 5 Bảng tỷ lệ modun đàn hồi giữa dầm I và mặt cầu theo đo thực tế.

Dầm	Nhịp 1			Nhịp 2			Nhịp 12			Nhịp 13		
	Ei (MPa)	Hệ số ni	Cao dầm (cm)	Ei (MPa)	Hệ số ni	Cao dầm (cm)	Ei (MPa)	Hệ số ni	Cao dầm (cm)	Ei (MPa)	Hệ số ni	Cao dầm (cm)
D1	33383	0.9218	165.0	33574	0.9016	165.1	33574	0.8991	164.9	33153	0.9182	165.1
D2	33688	0.9135	164.8	34140	0.8867	164.8	34140	0.8842	165.1	32491	0.9369	164.8
D3	33990	0.9054	164.9	32882	0.9206	164.8	34140	0.8842	164.8	34065	0.8936	164.9
D4	33574	0.9166	164.8	33650	0.8996	165.2	33383	0.9042	164.9	33802	0.9005	164.8
D5	34140	0.9014	165.2	32412	0.9340	164.9	34327	0.8794	165.2	34252	0.8887	164.8
Mặt cầu	30774 (Mpa)			30271 (Mpa)			30187 (Mpa)			30440 (Mpa)		

Momen quán tính Ii tại vị trí giữa các nhịp toàn mặt cắt ngang cầu xác định bằng 4.6.

Bảng 4. 6 Momen quán tính Ii tại giữa các nhịp toàn mặt cắt ngang cầu theo đo thực tế.

Momen quán tính	Dầm I33 nguyên	Bản mặt cầu	Bê tông Lanca	Bê tông Ván Khuôn	Bê tông Asphalt	Thép Dọc bản mc	Thép Dầm chủ & đai	Gia Cường L/2	Ống gel capDUL	Vữa chèn capDUL	Dầm I liên hợp (mm ⁴)
Ký hiệu (cm ⁴)	lg	lmc	llc	lvk	las	lt	lt	lgc	lt	lvc	ltc
N1D1	32079393	14237119	8721483	4198157	1328890	967170	1960306	7568840	2617988	1237557	749647049008
N1D2	31664787	14110677	8644949	4161964	1317311	958757	1936610	7506748	2583423	1221217	741543801514
N1D3	31707202	14149624	8617284	4161951	1314787	957226	1912362	7453232	2551129	1205952	740766251146
N1D4	31782316	14175317	8672869	4175018	1321516	961809	1941818	7509133	2592615	1225563	744042349761
N1D5	31561098	14080814	8598028	4157675	1312487	955667	1914201	7508537	2549513	1205188	738946299646
N2D1	31597526	14107579	8604478	4161926	1335420	972392	1941955	7472594	2586172	1222517	740529429593
N2D2	31422046	14087472	8510342	4129504	1322502	963291	1887183	7305090	2513994	1188398	733733794848
N2D3	32064396	14306241	8723872	4203078	1351805	983936	1978045	7487676	2643341	1249542	750356398094
N2D4	31784255	14186064	8614187	4174486	1337942	974411	1933547	7452529	2576789	1218082	743004866448
N2D5	32076675	14229146	8779876	4211105	1358030	988024	2028242	7632506	2707966	1280091	753425830209
N12D1	31500889	14119856	8585097	4153805	1336307	973067	1932277	7407358	2574621	1217057	738472069106
N12D2	31481906	14097682	8515120	4139511	1327945	967435	1893605	7342342	2520542	1191493	735241523464
N12D3	31341363	14067109	8495059	4124373	1324120	964523	1886186	7290920	2511499	1187218	732362759214
N12D4	31796686	14175550	8622167	4168507	1341658	976888	1944609	7427309	2592901	1225698	743180478485
N12D5	31395299	14053664	8487294	4130954	1324247	964858	1884688	7339636	2506363	1184791	733201109202
N13D1	31861504	14200262	8704764	4194966	1341523	976477	1976388	7567967	2636035	1246088	747564885898
N13D2	32252987	14355610	8812628	4228250	1355739	986391	2014101	7594456	2694533	1273741	756136175838
N13D3	31652260	14140883	8559057	4148450	1322111	962898	1897576	7362445	2529620	1195784	738152407206
N13D4	31667735	14163472	8593811	4156694	1326376	965805	1914439	7386977	2553687	1207161	739799131732
N13D5	31339746	14068214	8515431	4128144	1315480	958088	1884149	7328816	2509924	1186474	732788267758
Ký hiệu Ei	Eg	Emc	Elc	Evk	Eas	Etb	Ecd	Egc	Egl	Evc	Etc
giá trị (Mpa)	Eg	Emc	Elc	22610	4000	197000	197000	Eg	197000	39162	Etc

Biểu đồ Đah nhịp do xe cấp phép 3 trục tạo, để xác định momen lực Mi theo hình 2.5.

Các giá trị Mi được xác định dùng tính năng lượng thử tải $(\sum ai*Pi)*L^3$ ở bảng 4.7.

Bảng 4. 7 Giá trị M_i nhịp dầm (1, 2, 12, 13) dùng tính năng lượng thừa tải $(\sum a_i \cdot P_i) \cdot L^3$.

Giá trị momen M_i (kNm) do tải trọng xe thừa tải tính dùng tính chuyển vị đứng tại L/2 - Nhịp (1 và 2)					
M1	$(0.43P_1 + 0.403P_2 + 0.331P_3)L$	4487.6	M4	$(1.0P_1 + 0.958P_2 + 0.846P_3)L$	10682.9
M2	$(0.5P_1 + 0.508P_2 + 0.417P_3)L$	5462.5	M5	$(0.605P_1 + 0.682P_2 + 0.776P_3)L$	7460.6
M3	$(0.689P_1 + 0.678P_2 + 0.649P_3)L$	7575.5	M6	$(0.457P_1 + 0.514P_2 + 0.67P_3)L$	5794.8
Giá trị momen M_i (kNm) do tải trọng xe thừa tải tính dùng tính chuyển vị đứng tại L/2 - Nhịp (12 và 13)					
M1	$(0.43P_1 + 0.403P_2 + 0.331P_3)L$	3620.5	M4	$(1.0P_1 + 0.958P_2 + 0.846P_3)L$	8646.4
M2	$(0.5P_1 + 0.508P_2 + 0.417P_3)L$	4415.8	M5	$(0.605P_1 + 0.682P_2 + 0.776P_3)L$	6128.6
M3	$(0.689P_1 + 0.678P_2 + 0.649P_3)L$	6154.8	M6	$(0.457P_1 + 0.514P_2 + 0.67P_3)L$	4790.7

Từ biểu thức chuyển vị đứng Δ (2.9), momen quán tính I_i tại bảng 4.6, các giá trị P_i độ võng Δ thực đo ở bảng 4.2, M_i ở bảng 4.7. Theo đó giá trị như năng lượng thừa tải $(\sum a_i \cdot P_i) \cdot L^3$ được xác định bằng phân phối ngang cầu theo độ võng thực đo. Và modun đàn hồi E_i được tính toán, sau đó cường độ $f'c$ dầm xác định theo biểu thức $f'c = [E/(0.043 \cdot 2400^{1.5})]^2$ và kết quả cường độ $f'c$ của kết cấu nhịp dầm trình bày ở bảng 4.8.

Bảng 4. 8 Cường độ $f'c$ nhịp dầm I33 (1, 2, 12, 13) xác định theo độ võng Δ_i đo thực tế.

Kết cấu nhịp (1, 2, 12, 13)		1	2	3	4	5	Nhịp
Momen quán tính nhịp 1 (mm^4)		7.496E+11	7.415E+11	7.408E+11	7.440E+11	7.389E+11	3.715E+12
Momen quán tính nhịp 2 (mm^4)		7.405E+11	7.337E+11	7.504E+11	7.430E+11	7.534E+11	3.721E+12
Độ võng thực đo	nhịp 1	7.12	7.70	8.10	7.92	7.05	37.89
Δ (mm)	nhịp 2	7.40	7.87	7.90	7.40	7.40	37.97
Năng lượng thừa tải	nhịp 1	1.657E+17	1.792E+17	1.885E+17	1.844E+17	1.641E+17	8.819E+17
$(\sum a_i \cdot P_i)L^3$ (N.mm ²)	nhịp 2	1.719E+17	1.828E+17	1.835E+17	1.719E+17	1.719E+17	
	nhịp 1	31050	31389	31422	31284	31500	31329
	nhịp 2	30985	31323	31356	31218	31433	31263
Module đàn hồi	dầm nhịp 1	31538	31936	32021	31809	32126	31886
E (N/mm ²)	dầm nhịp 2	31598	32039	31857	31849	31852	31839
	bản mc nhịp 1	29073	29173	28991	29156	28958	29070
	bản mc nhịp 2	28490	28408	29328	28651	29748	28925
	dầm nhịp 1	38.9	39.9	40.1	39.6	40.4	39.8
Cường độ bê tông	dầm nhịp 2	39.1	40.2	39.7	39.7	39.7	39.7
$f'c$ (N/mm ²)	bản mc nhịp 1	33.1	33.3	32.9	33.3	32.8	33.1
	bản mc nhịp 2	31.8	31.6	33.6	32.1	34.6	32.7
Momen quán tính nhịp 12 (mm^4)		7.385E+11	7.352E+11	7.324E+11	7.432E+11	7.332E+11	3.682E+12
Momen quán tính nhịp 13 (mm^4)		7.476E+11	7.561E+11	7.382E+11	7.398E+11	7.328E+11	3.714E+12
Độ võng thực đo	nhịp 12	5.00	6.10	6.60	5.70	5.60	29.00
Δ (mm)	nhịp 13	5.30	6.20	6.61	5.75	5.00	28.86
Năng lượng thừa	nhịp 12	1.240E+17	1.513E+17	1.637E+17	1.413E+17	1.389E+17	7.191E+17
$(\sum a_i \cdot P_i)L^3$ (N.mm ²)	nhịp 13	1.321E+17	1.545E+17	1.647E+17	1.433E+17	1.246E+17	
	nhịp 12	33580	33728	33861	33368	33822	33672
	nhịp 13	33333	32955	33758	33683	34005	33547
Module đàn hồi	dầm nhịp 12	34263	34516	34652	34010	34646	34417
E (N/mm ²)	dầm nhịp 13	33883	33375	34482	34357	34769	34173
	bản mc nhịp 12	30806	30519	30639	30753	30467	30637
	bản mc nhịp 13	31110	31268	30812	30940	30899	31006
	dầm nhịp 12	45.9	46.6	47.0	45.3	47.0	46.3
Cường độ bê tông	dầm nhịp 13	44.9	43.6	46.5	46.2	47.3	45.7
$f'c$ (N/mm ²)	bản mc nhịp 12	37.1	36.4	36.7	37.0	36.3	36.7
	bản mc nhịp 13	37.9	38.2	37.1	37.5	37.4	37.6

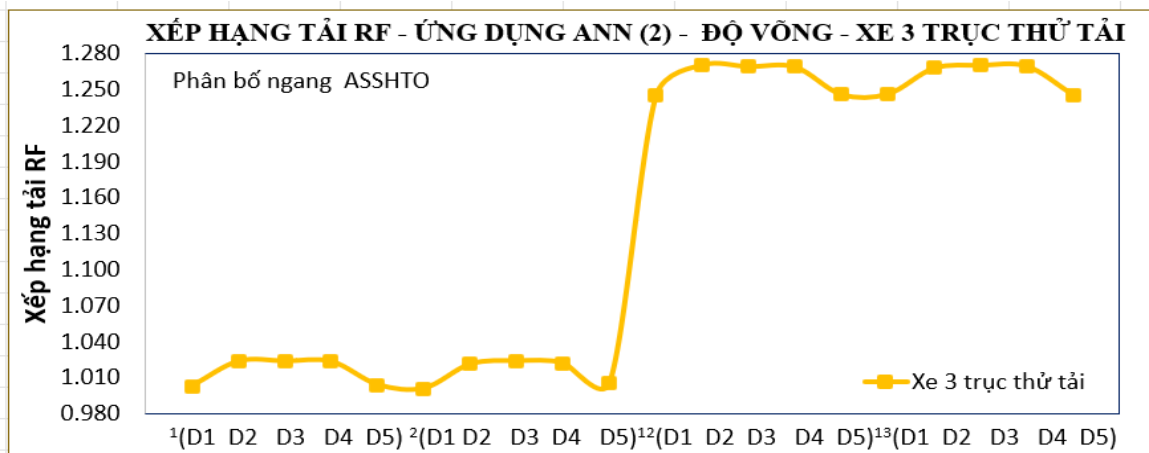
Tương tự như mục 4.1.2, các giá trị $f'c$ ở bảng 4.3 thay bằng các $f'c$ trong bảng 4.8 để trở

thành mẫu đầu vào cho ứng dụng ANN (2). Các kết quả tính toán cho momen lực M_i , momen quán tính I_i , năng lượng thử tải $(\sum a_i \cdot P_i) \cdot L^3$ được trình bày ở Phụ Lục 4.

Sức kháng, momen tĩnh tải DC_DW, momen hoạt tải xe cấp phép dùng thử tải có kết quả dự đoán bằng ANN theo ứng dụng (2) và được đánh giá xếp hạng tải RF các nhịp dầm theo TCVN 12882:2020 (kNm) trình bày ở bảng 4.9.

Bảng 4. 9 Kết quả xếp hạng tải RF theo xe 03 trục cấp phép bằng ứng dụng (2) ANN.

Nhịp dầm	Mô phỏng ANN dầm I thực tế				Nội lực dầm I theo ANN				Hệ số vượt tải xe 3 trục thử tải	RF xe 3 trục thử tải
	Sức kháng	Tĩnh tải DC	Tĩnh tải DW	Cấp phép 3 trục	Sức kháng	Tĩnh tải DC	Tĩnh tải DW	Cấp phép 3 trục		
N1-D1	0.7653	0.7221	0.5970	0.5580	17343	3857	1036	4171	1.4685	1.003
N1-D2	0.7597	0.7163	0.5935	0.5549	17225	3823	1029	4145	1.4685	1.024
N1-D3	0.7620	0.7192	0.5953	0.5558	17272	3840	1032	4153	1.4685	1.024
N1-D4	0.7597	0.7163	0.5935	0.5551	17225	3823	1029	4146	1.4685	1.023
N1-D5	0.7700	0.7280	0.6005	0.5595	17442	3892	1043	4185	1.4685	1.004
N2-D1	0.7659	0.7251	0.5987	0.5583	17356	3874	1040	4174	1.4685	1.001
N2-D2	0.7571	0.7163	0.5935	0.5537	17170	3823	1029	4134	1.4685	1.021
N2-D3	0.7602	0.7163	0.5935	0.5553	17236	3823	1029	4148	1.4685	1.024
N2-D4	0.7690	0.7280	0.6005	0.5594	17421	3892	1043	4184	1.4685	1.022
N2-D5	0.7645	0.7192	0.5953	0.5572	17326	3840	1032	4164	1.4685	1.006
N12-D1	0.7666	0.7192	0.5953	0.5553	17369	3840	1032	4148	1.1957	1.245
N12-D2	0.7715	0.7251	0.5987	0.5571	17472	3874	1040	4164	1.1957	1.271
N12-D3	0.7628	0.7163	0.5935	0.5532	17291	3823	1029	4130	1.1957	1.269
N12-D4	0.7665	0.7192	0.5953	0.5555	17368	3840	1032	4150	1.1957	1.269
N12-D5	0.7741	0.7280	0.6005	0.5581	17527	3892	1043	4173	1.1957	1.246
N13-D1	0.7737	0.7251	0.5987	0.5588	17518	3874	1040	4178	1.1957	1.246
N13-D2	0.7652	0.7163	0.5935	0.5558	17340	3823	1029	4153	1.1957	1.268
N13-D3	0.7665	0.7192	0.5953	0.5550	17367	3840	1032	4145	1.1957	1.270
N13-D4	0.7638	0.7163	0.5935	0.5540	17312	3823	1029	4137	1.1957	1.269
N13-D5	0.7635	0.7163	0.5935	0.5534	17305	3823	1029	4132	1.1957	1.245



Hình 4. 4 Biểu đồ đánh giá xếp hạng tải RF các nhịp dầm bằng ANN theo ứng dụng (2).

Kết quả tính xếp hạng tải RF theo phân bố ngang ASSHTO của các nhịp dầm (1, 2, 12, 13) của xe 03 trục cấp phép theo ứng dụng (2) ANN từ các số liệu đo hình học, cường độ

bê tông $f'c$ và dữ liệu đo độ võng thực tế thể hiện hình 4.3.

4.1.4 Ứng dụng ANN (ứng dụng 3) kết hợp dữ liệu đo dao động (thử tải động) để đánh giá xếp hạng tải cầu dầm IDUL

Ứng dụng ANN 02 lớp (UD 3) sử dụng mẫu dữ liệu đầu vào ANN là các tham số hình học cầu và dữ liệu đo tần số dao động f_i từ kết quả thử tải động.

Mục đích: bằng phương pháp giải tích, cường độ $f'c$ của kết cấu nhịp cầu được xác định từ quá trình thử động như *tần số dao động riêng, tổng khối lượng mt* tác dụng lên toàn bộ mặt cắt ngang nhịp cầu và *momen quán tính I_i* trên toàn mặt cắt ngang kết cấu nhịp theo thực tế (ứng dụng 2)” và làm đầu vào cho ANN cho ứng dụng của ANN.

Cơ chế và trình tự tính toán để đến kết quả $f'c$ của kết cấu nhịp như sau:

. Khối lượng mt gồm cả lớp bê tông phủ asphalt và bê tông tấm lót theo bảng 4.10.

Bảng 4. 10 Khối lượng toàn cầu mt được xác định cho thử tải rung động (tần số rung).

Thành phần	Số	Dài	Rộng	Cao	Thể tích	TL riêng, γ	Trọng lượng
Kết cấu	lượng	cm	cm	cm	cm ³	daN/cm ³	P (daN)
Dầm I33	5	0.975*24100000			117487500	0.0024	281970.0
Bản mặt cầu	5	3220	240	20.85	80564400	0.0023	185298.1
Dầm ngang giữa	12	28742.5		20	6898200	0.0023	15865.9
Dầm ngang gối	8	175	132	20	3696000	0.0023	8500.8
Lan can cầu	2	3220	2475		15939000	0.00225	35862.8
Bê tông Tấm lót	4	3220	175	8	18032000	0.00225	40572.0
Bê tông Asphalt	1	3220	1100	7	24794000	0.00225	55786.5
Trọng lượng toàn cầu, P(daN)							623856.0
Gia tốc trọng trường, g (cm/s ²)		981	Khối lượng toàn cầu, $mt = P/g$ (daN.s ² /cm)				635.9

. Momen quán tính I_i tại giữa nhịp toàn mặt cắt ngang cầu theo đo thực tế, ở bảng 4.6.

Từ cơ sở tính toán lý thuyết của Mục 2.3.2 “Sử dụng dữ liệu tần số riêng (thử tải động) để xếp hạng tải cầu dầm IDUL”. Trong đó, sử dụng công thức (2.18) và các giá trị momen quán tính I_i ở bảng 4.6 và kết quả khối lượng trên mặt cắt ngang toàn kết cấu nhịp cầu mt ở bảng 4.10, sau đó cường độ bê tông $f'c$ kết cấu nhịp cầu tính theo đo thực tế tần số dao động riêng f_i

Bảng 4. 11 $f'c$ kết cấu nhịp cầu xác định theo thử tải rung động (tần số rung thực tế).

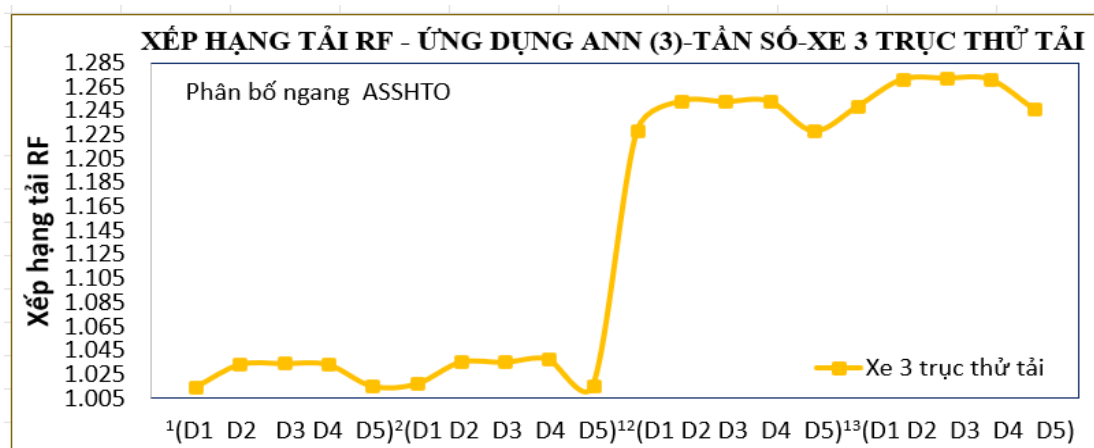
Kết cấu thử tải động	Tần số rung đo dao động tại L/2,	Số Pi	Khối lượng toàn cầu,	Chiều dài nhịp tính toán,	Momen quán tính ngang cầu L/2,	Module đàn hồi nhịp,	Cường độ bê tông	
			(daN.s ² /cm)	(cm ³)	(cm ⁴)		(MPa)	(MPa)
Nhịp	f^2	Π^2	mt	L^3	I_{tc}	E	$f'c$	$f'c$
N1	14.5161	9.8596	635.939	33386248000	371494575.1	33541.3	45.6	37.9
N22	14.7456	9.8596	635.939	33386248000	372105031.9	34015.7	46.9	38.7
N12	13.3225	9.8596	635.939	33386248000	368245793.9	31054.9	39.4	31.2
N13	14.6689	9.8596	635.939	33386248000	371444086.8	33898.9	46.6	38.4

sẽ được tính toán xác định trình bày tại bảng 4.11. Các chi tiết tính toán ở Phụ Lục 4.

Tương tự như mục 4.1.2, các giá trị $f'c$ ở bảng 4.3 thay bằng các $f'c$ trong bảng 4.11 để trở thành mẫu đầu vào cho ứng dụng ANN (3).

Sức kháng, momen tĩnh tải DC_DW, momen hoạt tải xe cấp phép dùng thử tải có kết quả dự đoán bằng ANN theo ứng dụng (3) và được đánh giá xếp hạng tải RF các nhịp dầm theo TCVN 12882:2020 (kNm) trình bày ở bảng 4.12.

Kết quả tính xếp hạng tải RF theo phân bố ngang ASSHTO của các nhịp dầm (1, 2, 12, 13) theo ứng dụng (3) ANN từ các số liệu đo hình học, cường độ bê tông $f'c$ và dữ liệu đo tần số rung động thực tế thể hiện hình 4.4.



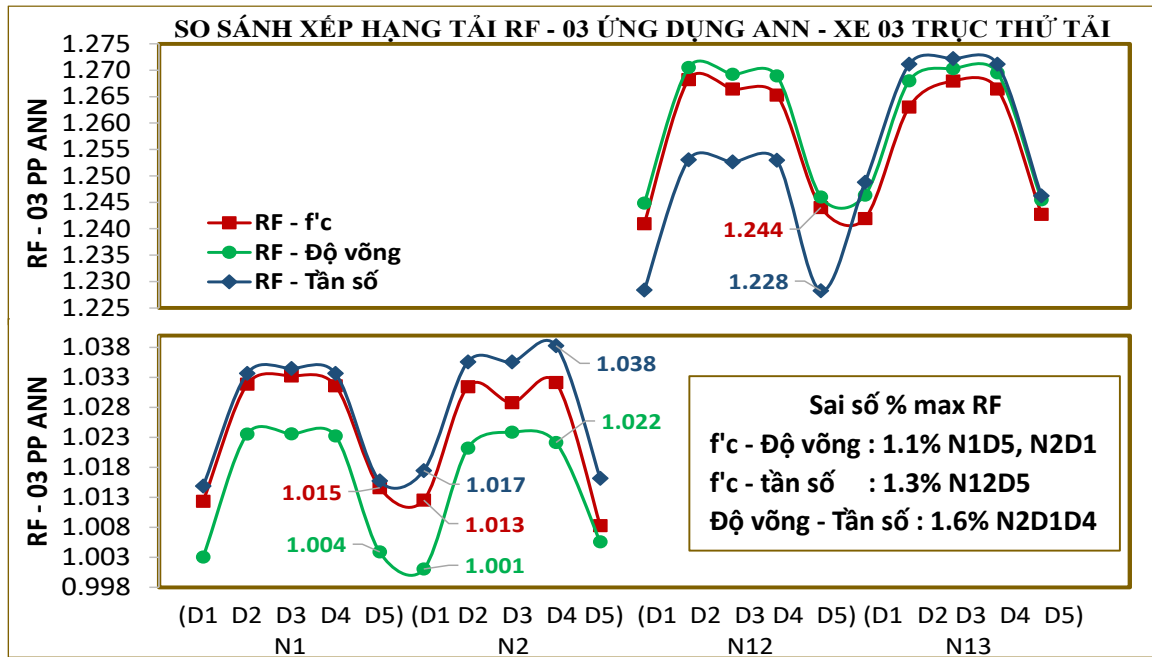
Hình 4. 5 Biểu đồ đánh giá xếp hạng tải RF các nhịp dầm bằng ANN theo ứng dụng (3).

Bảng 4. 12 Đánh giá xếp hạng tải RF theo xe 03 trục cấp phép bằng ứng dụng (3) ANN.

Nhịp dầm	Mô phỏng ANN dầm I thực tế				Nội lực dầm I theo ANN				Hệ số vượt tải xe 3 trục thử tải	RF xe 3 trục thử tải
	Sức kháng	Tĩnh tải DC	Tĩnh tải DW	Cấp phép 3 trục	Sức kháng	Tĩnh tải DC	Tĩnh tải DW	Cấp phép 3 trục		
N1-D1	0.7706	0.7221	0.5970	0.5572	17454	3857	1036	4164	1.4685	1.015
N1-D2	0.7644	0.7163	0.5935	0.5546	17324	3823	1029	4142	1.4685	1.034
N1-D3	0.7676	0.7192	0.5953	0.5559	17390	3840	1032	4153	1.4685	1.034
N1-D4	0.7644	0.7163	0.5935	0.5546	17324	3823	1029	4142	1.4685	1.034
N1-D5	0.7765	0.7280	0.6005	0.5597	17578	3892	1043	4187	1.4685	1.016
N2-D1	0.7745	0.7251	0.5987	0.5582	17535	3874	1040	4174	1.4685	1.017
N2-D2	0.7652	0.7163	0.5935	0.5544	17340	3823	1029	4140	1.4685	1.036
N2-D3	0.7652	0.7163	0.5935	0.5544	17340	3823	1029	4140	1.4685	1.036
N2-D4	0.7774	0.7280	0.6005	0.5595	17597	3892	1043	4185	1.4685	1.038
N2-D5	0.7683	0.7192	0.5953	0.5557	17406	3840	1032	4151	1.4685	1.016
N12-D1	0.7595	0.7192	0.5953	0.5552	17222	3840	1032	4147	1.1957	1.228
N12-D2	0.7650	0.7251	0.5987	0.5577	17336	3874	1040	4170	1.1957	1.253
N12-D3	0.7567	0.7163	0.5935	0.5539	17163	3823	1029	4136	1.1957	1.253
N12-D4	0.7595	0.7192	0.5953	0.5552	17222	3840	1032	4147	1.1957	1.253
N12-D5	0.7676	0.7280	0.6005	0.5590	17390	3892	1043	4181	1.1957	1.228
N13-D1	0.7741	0.7251	0.5987	0.5582	17527	3874	1040	4174	1.1957	1.249
N13-D2	0.7649	0.7163	0.5935	0.5544	17333	3823	1029	4140	1.1957	1.271
N13-D3	0.7680	0.7192	0.5953	0.5556	17399	3840	1032	4151	1.1957	1.272
N13-D4	0.7649	0.7163	0.5935	0.5544	17333	3823	1029	4140	1.1957	1.271
N13-D5	0.7649	0.7163	0.5935	0.5544	17333	3823	1029	4140	1.1957	1.246

4.1.5 So sánh kết quả dùng 03 ứng dụng ANN đánh giá xếp hạng tải cầu dầm I DUL

Từ các đánh giá xếp hạng tải cầu dầm I DUL theo TCVN 12882:2020 và MBE bằng phương pháp dùng ứng dụng ANN (1), (2), (3) đã được trình bày tại các mục 4.1.2, 4.1.3, 4.1.4. Tại mục này, kết quả RF từ các Ứng dụng ANN cho hoạt tải xe 03 trục thử tải được so sánh cùng nhau sẽ cho thấy hiệu quả, sự chính xác cũng như sự tương đồng của các ứng dụng ANN bằng biểu đồ tổng thể ở hình 4.6, được nhận xét và đánh giá như sau:



Hình 4. 6 Biểu đồ so sánh đánh giá xếp hạng tải RF dầm I theo 03 ứng dụng ANN.

. Với phương pháp luận án, 03 ứng dụng ANN (1), (2), (3) dùng đánh giá xếp hạng tải cầu dầm I DUL [21] hoàn toàn phù hợp TCVN 12882:2020 và MBE (Hoa Kỳ) cho tất cả các loại xe tải theo qui định, trong đó có xe thử tải 03 trục cấp phép theo bảng 4.2 là loại xe được cấp phép lưu thông được dùng thử tải cầu thể hiện ở hình 4.6.

. Hiệu quả và sự chính xác của phương pháp: trong công thức xếp hạng tải khi giá trị hoạt tải các xe dùng đánh giá lớn thì hệ số RF sẽ nhỏ và ngược lại. Mục 2.2.2 và hình 4.2 cho thấy \rightarrow momen hoạt tải xe HL-93 > momen hoạt tải xe cấp phép 03 trục > momen hoạt tải xe hợp pháp [3] > momen hoạt tải xe hợp pháp [3-S2] thì kết quả giá trị xếp hạng tải sẽ ngược lại \rightarrow $RF_{xe\ HL-93} < RF_{xe\ cấp\ phép\ 03\ trục} < RF_{xe\ hợp\ pháp\ [3]} < RF_{xe\ hợp\ pháp\ [3-S2]}$.

. Sự tương đồng của phương pháp trong đánh giá xếp hạng tải cầu dầm I DUL: Cường độ bê tông f'c đầu vào ANN được xác định biến đổi theo các phép đo từ thử tải thực tế như “súng bật nảy; phép đo chuyển vị đứng (độ võng); phép đo dao động (tần số riêng)”. Kết quả ở hình 4.5 cho thấy, giá trị RF từ 03 ứng dụng ANN có sai số max: f'c-Độ võng \leq 1.1% N1D5, N2D1; f'c-Tần số \leq 1.3% N12D5; Độ võng-Tần số \leq 1.6% N2D1D4.

4.2 So sánh xếp hạng tải RF cầu dầm [21] thực tiễn bằng phương pháp ANN với tính tay trực tiếp truyền thống, thuật toán hồi quy đa biến và FE

Ứng dụng ANN của luận án được đánh giá rõ nét sâu sắc hơn bằng phép so sánh với phương pháp tính tay truyền thống, thuật toán hồi quy đa biến và phân tử hữu hạn.

4.2.1 Xếp hạng tải cầu NC thực tế [21] theo phương pháp truyền thống tính tay trực tiếp

Từ số liệu kiểm định cầu Ninh chữ tóm tắt dùng đánh giá xếp hạng tải RF được mô tả trong mục 4.1.1 và xe tải dùng thử tải thực tế có thông số ở bảng 4.2.

Sức kháng, momen tĩnh tải và momen hoạt tải cho xe thiết kế HL-93 được xác định tính toán theo chương 3, số liệu tính toán xếp hạng tải RF được trình bày trong Phụ lục 4 Kết quả xếp hạng tải RF theo tính tay truyền thống được lập thành bảng 4.13.

Bảng 4. 13 Kết quả xếp hạng tải RF các nhịp dầm [21] theo tính tay truyền thống.

Nhịp dầm	Giá trị Nội lực và RF của dầm I DUL bằng phương pháp tính Tay truyền thống										
	Sức kháng từ phép đo thử tải			Tĩnh tải DC	Tĩnh tải DW	Momen hoạt tải xe thiết kế HL-93			Xếp hạng tải RF xe thiết kế HL-93		
	f _c	Độ võng	Tần số			f _c	Độ võng	Tần số	f _c	Độ võng	Tần số
N1-D1	17438	17342	17453	3860	814	5345	5348	5339	1.1940	1.1832	1.1969
N1-D2	17415	17325	17433	3853	814	5336	5339	5335	1.2184	1.2081	1.2207
N1-D3	17422	17320	17442	3856	814	5334	5337	5337	1.2192	1.2075	1.2207
N1-D4	17416	17324	17432	3865	814	5340	5343	5337	1.2160	1.2056	1.2185
N1-D5	17455	17351	17477	3856	814	5330	5334	5336	1.1995	1.1879	1.2006
N2-D1	17412	17310	17482	3854	814	5324	5334	5333	1.1969	1.1837	1.2021
N2-D2	17377	17264	17448	3863	814	5324	5328	5335	1.2156	1.2027	1.2208
N2-D3	17388	17334	17447	3869	814	5346	5348	5337	1.2110	1.2049	1.2194
N2-D4	17425	17329	17492	3871	814	5334	5337	5337	1.2176	1.2066	1.2240
N2-D5	17406	17377	17460	3853	814	5349	5350	5333	1.1907	1.1875	1.2000
N12-D1	17389	17423	17268	3858	814	5330	5329	5329	1.1924	1.1962	1.1800
N12-D2	17404	17423	17288	3864	814	5324	5323	5331	1.2186	1.2207	1.2045
N12-D3	17372	17397	17255	3852	814	5322	5321	5329	1.2171	1.2200	1.2030
N12-D4	17389	17420	17265	3858	814	5335	5334	5330	1.2152	1.2187	1.2030
N12-D5	17414	17429	17299	3854	814	5320	5320	5330	1.1979	1.1996	1.1836
N13-D1	17431	17466	17474	3843	814	5341	5339	5333	1.1965	1.2004	1.1982
N13-D2	17404	17447	17440	3870	814	5355	5353	5336	1.2107	1.2156	1.2188
N13-D3	17399	17419	17451	3865	814	5330	5329	5336	1.2166	1.2189	1.2207
N13-D4	17391	17418	17441	3862	814	5333	5332	5335	1.2154	1.2185	1.2202
N13-D5	17388	17413	17442	3856	814	5324	5323	5333	1.1940	1.1968	1.1975

4.2.2 Xếp hạng tải cầu NC thực tế [21] theo phương pháp thuật toán hồi quy đa biến

Mục 3.3.2 đã trình bày các phương trình hồi quy đa biến cho nội lực hệ thống dầm I là:

Momen Tĩnh tải DC: $y = -0.03105 + 0.7506188*x_1 + 0.076893*x_2 + 0.069784*x_3$.

Momen Tĩnh tải DW: $y = -0.05462 + 0.5303863*x_1 + 0.223155*x_2 + 0.147835*x_3$.

Momen hoạt tải xe thiết kế HL-93: $y = 0.1461 + 0.154654147*x_1 + 0.451364*x_2 - 0.04892*x_3 + 0.010312*x_4 - 0.01463*x_5 + 0.129069*x_6$.

Sức kháng dầm I: $y = 0.007811 + 0.8024242*x_1 + 0.046705*x_2 + 0.024537*x_3 - 0.00479*x_4 + 0.024238*x_5$.

Số liệu hình học cầu Ninh Chữ, xe thử tải thực tế có thông số ở bảng (4.1 và 4.2) và các giá trị cường độ $f'c$ kết cấu nhịp dầm xác định từ kết quả thử tải tĩnh và động ở mục 4.1.

Kết quả xếp hạng tải RF theo thuật toán hồi quy đa biến được lập thành bảng 4.14.

Bảng 4. 14 Kết quả xếp hạng tải RF các nhịp dầm [21] theo thuật toán hồi quy đa biến.

Nhịp dầm	Giá trị Nội lực và RF của dầm I DUL bằng phương pháp thuật toán Hồi quy đa biến										
	Sức kháng theo phép đo thử tải			Tĩnh tải	Tĩnh tải	Momen hoạt tải xe thiết kế HL-93			Xếp hạng tải RF xe thiết kế HL-93		
	f'c	Độ võng	Tần số	DC	DW	f'c	Độ võng	Tần số	f'c	Độ võng	Tần số
N1-D1	16037	15937	16055	3419	952	5358	5353	5355	1.0806	1.0712	1.0832
N1-D2	15998	15904	16019	3409	949	5344	5340	5344	1.1027	1.0936	1.1049
N1-D3	16014	15910	16037	3414	951	5346	5342	5350	1.1032	1.0930	1.1049
N1-D4	15999	15904	16019	3409	949	5345	5341	5344	1.1025	1.0934	1.1049
N1-D5	16068	15963	16092	3428	954	5361	5356	5366	1.0818	1.0716	1.0832
N2-D1	16017	15918	16094	3423	953	5349	5350	5360	1.0796	1.0794	1.0773
N2-D2	15961	15855	16039	3409	949	5331	5328	5344	1.1014	1.0908	1.1071
N2-D3	15970	15915	16039	3409	949	5345	5343	5344	1.0994	1.0941	1.1071
N2-D4	16038	15945	16112	3428	954	5359	5355	5366	1.1006	1.0915	1.1071
N2-D5	15991	15960	16057	3414	951	5356	5354	5349	1.0772	1.0743	1.0854
N12-D1	15978	16014	15866	3414	951	5342	5343	5334	1.0786	1.0783	1.0801
N12-D2	16010	16030	15903	3423	953	5347	5347	5345	1.1010	1.1030	1.0898
N12-D3	15955	15982	15848	3409	949	5330	5331	5329	1.1010	1.1037	1.0898
N12-D4	15979	16013	15866	3414	951	5344	5346	5334	1.0998	1.1031	1.0898
N12-D5	16028	16044	15921	3428	954	5350	5350	5351	1.0797	1.0813	1.0684
N13-D1	16034	16074	16085	3423	953	5361	5363	5359	1.0789	1.0785	1.0793
N13-D2	15984	16034	16030	3409	949	5352	5355	5343	1.0995	1.1043	1.1064
N13-D3	15991	16013	16049	3414	951	5340	5341	5349	1.1019	1.1041	1.1064
N13-D4	15975	16004	16030	3409	949	5338	5339	5343	1.1015	1.1045	1.1064
N13-D5	15971	15999	16030	3409	949	5333	5334	5343	1.0806	1.0833	1.0847

4.2.3 Xếp hạng tải cầu Ninh Chữ thực tế [21] theo phương pháp phần tử hữu hạn (Midas)

Căn cứ từ số liệu kiểm định cầu Ninh Chữ tóm tắt dùng đánh giá xếp hạng tải RF được mô tả trong mục 4.1.1. Phương pháp phần tử hữu hạn được dùng để mô hình hoá kết cấu bằng phần mềm Midas nhằm tính toán hiệu ứng lực và kết hợp lý thuyết xác định sức kháng của toàn bộ kết cấu nhịp cầu Ninh Chữ.

Để mô hình hoá, các số liệu theo số đo thực tế về hình học và các đặc trưng cơ lý của cầu đã được thiết lập theo số liệu trung bình cho từng nhịp N1, N2, N12, N13 thể hiện tại bảng 4.15 theo sau. Mô hình hoá và kết quả hiệu ứng tải điển hình trình bày ở hình 4.7.

Kết quả hiệu ứng tải với hệ số phân bố ngang theo ASSHTO và kết quả xếp hạng tải RF bằng phần tử hữu hạn (Midas) các nhịp cầu Ninh Chữ trình bày cụ thể tại bảng 4.16 và bảng 4.17.

Bảng 4. 16 Kết quả hiệu ứng lực HL-93 cầu [21] phân tích bằng PTHH (Midas).

Hiệu ứng tải HL-93 nhịp cầu NC phần tử hữu hạn Midas						Momen có Phân bố ngang g			Phân ngang g ASSHTO		
Nhịp dầm	Momen tĩnh tải DC/dầm	Momen tĩnh tải DW/dầm	Momen xe HL-93 (fc)	Momen xe HL-93 (độ võng)	Momen xe HL-93 (tần số)	Momen xe HL-93 (fc)	Momen xe HL-93 (độ võng)	Momen xe HL-93 (tần số)	g theo (fc)	g theo (độ võng)	g theo (tần số)
	kNm	kNm	kNm	kNm	kNm	kNm	kNm	kNm			
N1	3856.5	826.7	8551.5	8552.4	8552.4	5667	5670	5667	0.663	0.663	0.663
N2	3856.5	826.7	8551.4	8551.3	8551.6	5665	5669	5664	0.662	0.663	0.662
N12	3856.5	826.7	8553.1	8552.6	8553.1	5656	5655	5660	0.661	0.661	0.662
N13	3856.5	826.7	8552.2	8552.2	8552.2	5666	5665	5665	0.663	0.662	0.662

Bảng 4. 17 Kết quả xếp hạng tải RF các nhịp dầm [21] bằng phần tử hữu hạn (Midas).

Giá trị Nội lực và RF của dầm I DUL bằng phương pháp PTHH (phần mềm MIDAS) + Lý thuyết											
Nhịp dầm	Sức kháng từ phép đo thử tải (kNm)			Tĩnh tải DC (kNm)	Tĩnh tải DW (kNm)	Momen hoạt tải xe thiết kế HL-93 (kNm)			Xếp hạng tải RF xe thiết kế HL-93		
	fc	Độ võng	Tần số			fc	Độ võng	Tần số	fc	Độ võng	Tần số
N1-D1	17438	17342	17453	3857	827	5667	5670	5667	1.1248	1.1145	1.1262
N1-D2	17415	17325	17433	3857	827	5667	5670	5667	1.1449	1.1351	1.1467
N1-D3	17422	17320	17442	3857	827	5667	5670	5667	1.1456	1.1345	1.1477
N1-D4	17416	17324	17432	3857	827	5667	5670	5667	1.1450	1.1350	1.1467
N1-D5	17455	17351	17477	3857	827	5667	5670	5667	1.1265	1.1154	1.1286
N2-D1	17412	17310	17482	3857	827	5665	5669	5664	1.1225	1.1116	1.1296
N2-D2	17377	17264	17448	3857	827	5665	5669	5664	1.1415	1.1292	1.1487
N2-D3	17388	17334	17447	3857	827	5665	5669	5664	1.1426	1.1363	1.1486
N2-D4	17425	17329	17492	3857	827	5665	5669	5664	1.1464	1.1358	1.1531
N2-D5	17406	17377	17460	3857	827	5665	5669	5664	1.1220	1.1183	1.1274
N12-D1	17389	17423	17268	3857	827	5656	5655	5660	1.1220	1.1256	1.1092
N12-D2	17404	17423	17288	3857	827	5656	5655	5660	1.1460	1.1481	1.1335
N12-D3	17372	17397	17255	3857	827	5656	5655	5660	1.1427	1.1454	1.1302
N12-D4	17389	17420	17265	3857	827	5656	5655	5660	1.1444	1.1478	1.1312
N12-D5	17414	17429	17299	3857	827	5656	5655	5660	1.1245	1.1262	1.1124
N13-D1	17431	17466	17474	3857	827	5666	5665	5665	1.1242	1.1279	1.1288
N13-D2	17404	17447	17440	3857	827	5666	5665	5665	1.1439	1.1484	1.1479
N13-D3	17399	17419	17451	3857	827	5666	5665	5665	1.1434	1.1457	1.1490
N13-D4	17391	17418	17441	3857	827	5666	5665	5665	1.1426	1.1455	1.1479
N13-D5	17388	17413	17442	3857	827	5666	5665	5665	1.1199	1.1225	1.1255

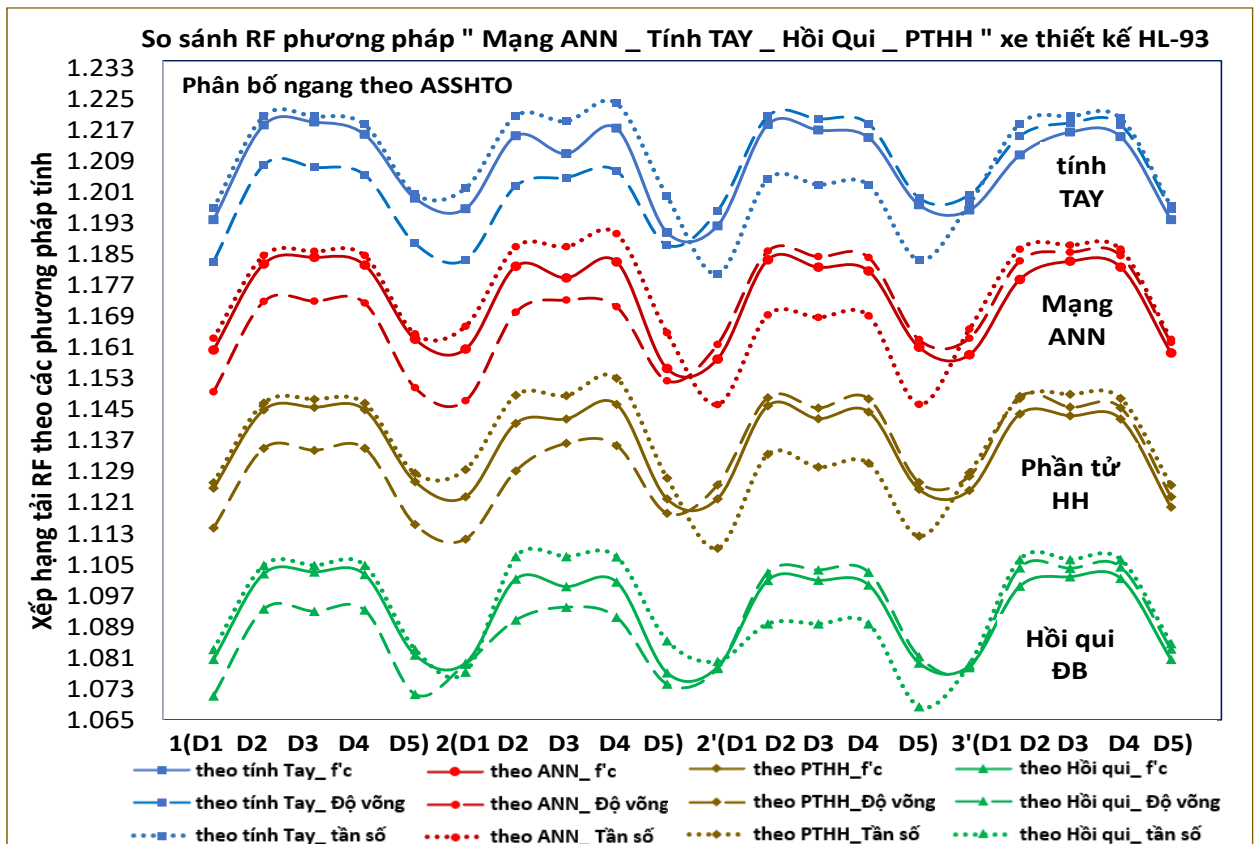
4.2.4 So sánh xếp hạng tải cầu Ninh Chữ thực tế [21] bằng ANN với phương pháp tính tay trực tiếp, thuật toán hồi quy đa biến và phần tử hữu hạn.

Các kết quả xếp hạng tải RF từ xe thiết kế HL-93 của ANN được trích từ các bảng (4.4,

4.9, 4.12); của phương pháp tính tay trực tiếp, thuật toán hồi quy đa biến và phân tử hữu hạn được trích từ các bảng (4.13, 4.14, 4.17). Biểu đồ hình 4.8 và bảng 4.18 sẽ cho thấy tổng quan khả năng xếp hạng tải RF cầu Ninh Chữ thực tế bằng ANN so với phương pháp tính tay trực tiếp, thuật toán hồi quy đa biến và phân tử hữu hạn.

Bảng 4. 18 % sai số RF cầu [21] giữa ANN_tính tay_ hồi quy đa biến_ phân tử hữu hạn.

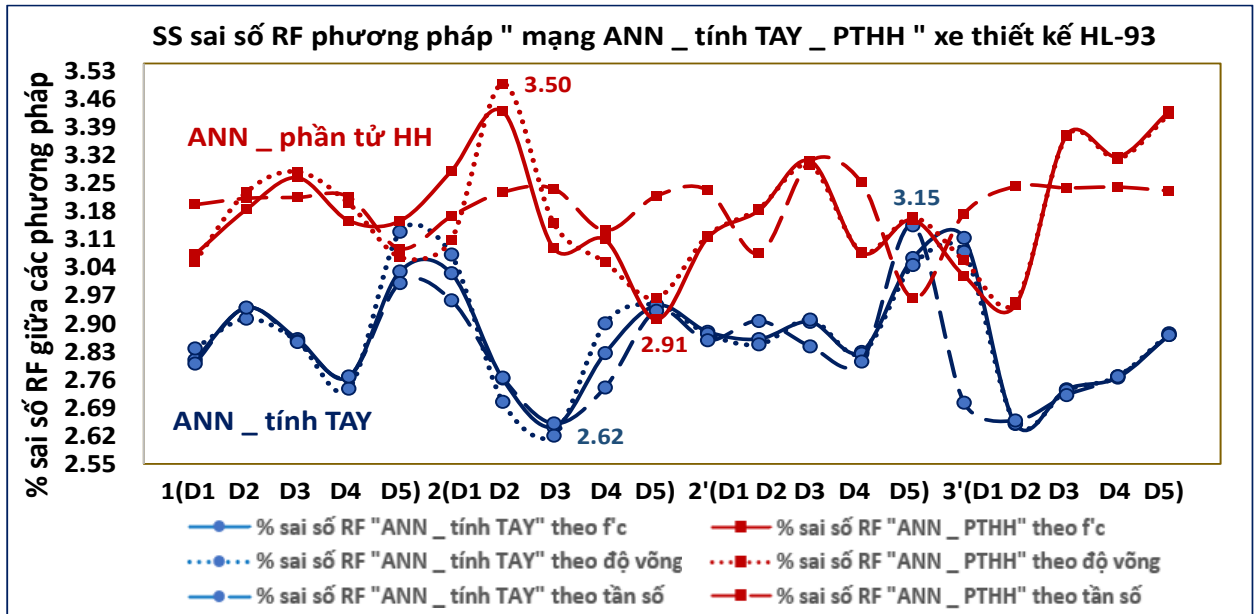
% tỷ lệ sai số RF giữa "mạng ANN - phương pháp tính Tay trực tiếp" theo hoạt tải xe thiết kế HL-93																				
Phép đo	D1	D2	D3	D4	D5	D1	D2	D3	D4	D5	D1	D2	D3	D4	D5	D1	D2	D3	D4	D5
f'c	2.81	2.94	2.86	2.77	3.03	3.03	2.76	2.64	2.83	2.95	2.88	2.86	2.91	2.83	3.06	3.11	2.65	2.74	2.77	2.87
Độ võng	2.84	2.91	2.86	2.74	3.13	3.07	2.71	2.62	2.90	2.95	2.87	2.85	2.91	2.83	3.05	3.08	2.65	2.73	2.77	2.88
Tần số	2.80	2.94	2.85	2.77	3.00	2.96	2.77	2.65	2.74	2.93	2.86	2.91	2.84	2.81	3.15	2.70	2.66	2.72	2.77	2.87
% tỷ lệ sai số RF giữa "thuật toán Hồi qui đa biến - phương pháp tính Tay trực tiếp" theo xe thiết kế HL-93																				
f'c	10.49	10.49	10.52	10.29	10.89	10.86	10.38	10.15	10.63	10.54	10.56	10.68	10.54	10.49	10.94	10.89	10.11	10.41	10.34	10.49
Độ võng	10.45	10.47	10.47	10.26	10.85	10.66	10.26	10.12	10.54	10.54	10.61	10.67	10.54	10.48	10.94	10.96	10.08	10.40	10.32	10.47
Tần số	10.50	10.48	10.48	10.29	10.84	10.90	10.27	10.14	10.56	10.56	10.43	10.52	10.39	10.39	10.78	11.01	10.16	10.33	10.28	10.40
% tỷ lệ sai số RF giữa "mạng ANN - phương pháp Phân tử hữu hạn (phần mềm Midas)" theo xe thiết kế HL-93																				
f'c	3.07	3.19	3.27	3.16	3.16	3.28	3.43	3.09	3.11	2.91	3.12	3.18	3.31	3.08	3.16	3.02	2.95	3.37	3.32	3.43
Độ võng	3.06	3.23	3.28	3.20	3.07	3.11	3.50	3.15	3.05	2.96	3.12	3.19	3.30	3.08	3.17	3.06	2.95	3.37	3.31	3.42
Tần số	3.20	3.21	3.22	3.22	3.09	3.17	3.23	3.24	3.13	3.22	3.23	3.08	3.31	3.25	2.96	3.18	3.24	3.24	3.24	3.23



Hình 4. 8 Biểu đồ so sánh xếp hạng tải RF cầu [21] bằng ứng dụng ANN với phương pháp tính tay trực tiếp, thuật toán hồi quy đa biến và phân tử hữu hạn.

Nhận xét: Từ hình (4.8, 4.9), bảng 4.18 và số liệu kiểm định cầu [21] cho thấy: phương

pháp tính tay trực tiếp truyền thống là dựa trên cơ sở cơ học lý thuyết cơ bản theo TCVN 11827:2017 và TCVN 12882:2020 cũng như của MBE (Hoa kỳ) được dùng để tính toán nội lực kết cấu và xác định xếp hạng tải RF cho cầu. Theo đó, thuật toán hồi quy đa biến và phương pháp phần tử hữu hạn (Midas) cũng được sử dụng để xếp hạng tải RF cho cầu [21] thực tế. Kết quả so sánh tỷ lệ sai số RF như sau:



Hình 4. 9 Biểu đồ so sánh % sai số xếp hạng tải RF cầu [21] bằng ứng dụng ANN với phương pháp tính tay trực tiếp và phần tử hữu hạn.

ANN _ tính tay trực tiếp truyền thống: $(2.62 \div 3.15)\%$.

ANN _ phần tử hữu hạn: $(2.91 \div 3.50)\%$.

Hồi quy đa biến _ tính tay trực tiếp truyền thống: $(10.08 \div 11.01)\%$.

Phân tích bình luận về xếp hạng cầu RF cho 3 ứng dụng ANN, phương pháp truyền thống, phương pháp hồi quy đa biến và phương pháp PTHH.

- Bài toán thực tế đúng theo mô hình gốc của phương pháp
- Phương pháp truyền thống đúng nhất bởi tính theo công thức hàm toán học.
- ANN thứ hai theo luận án nghiên cứu chỉ rõ.
- Phương pháp PTHH là thứ ba được luận án trình bày.
- Phương pháp hồi quy đa biến có độ chính xác cuối cùng.
- Bài toán thực tế cần sự linh hoạt của mô hình của phương pháp để phù hợp, nếu có
- ANN sẽ có độ chính xác cao hơn nữa nếu có sự tham gia của nhiều tham số cầu có ảnh hưởng đến đánh giá xếp hạng tải như: các tham số điều kiện biên, cơ lý vật liệu cho sự suy thoái kết cấu hoặc thêm nhiều tham số hình học khác.

Điều này sẽ làm cho ANN chẩn đoán chính xác hơn bởi thêm thông tin học từ đầu vào.

Nhưng mạng sẽ vận hành tốn nhiều tài nguyên và mất nhiều thời gian bởi dữ liệu mẫu lớn nên khối lượng tính toán xử lý lớn.

- Phương pháp PTHH là thứ hai, khi có sự cập nhật lại mô hình kết cấu theo đúng thực tế làm việc của kết cấu cầu. Nhưng cũng chỉ phù hợp cho mô hình cập nhật riêng biệt đó.
- Phương pháp hồi quy đa biến nếu dựa trên bộ dữ liệu mẫu trains của ANN, nghĩa là có thêm biến số phù hợp thì phương trình chẩn đoán cũng tiệm cận mục tiêu hơn.
- Khả năng phương pháp truyền thống tính toán trên mô hình chuẩn nên độ chính xác sẽ không cao khi điều kiện thực tế của kết cấu thay đổi.

Nhận xét:

Với phân tích bình luận cho hai trường hợp nêu trên thì ANN với bộ dữ liệu mẫu hệ thống dầm I có: đủ các tham số cầu có khả năng ảnh hưởng đến khả năng làm việc thực tế cầu; dải giá trị đo các tham số cầu đủ rộng để mô tả được sức kháng và hiệu ứng tải có thể xảy ra trong thực tế; ANN sẽ chẩn đoán chính xác nhất cho bài toán thực tế.

Kết quả phương pháp nghiên cứu ứng dụng ANN dùng xếp hạng tải RF cho cầu trong thực tiễn là hiệu quả và mức chính xác cao.

4.3 Kiểm chứng 2 - Đánh giá xếp hạng tải cầu dầm [7] thực tế bằng ANN

4.3.1 Đánh giá xếp hạng tải cầu dầm [7] thực tế theo TCVN 12882:2020

Cầu Đại Đồng xây dựng năm 2007 huyện Tứ Kỳ tỉnh Hải Dương với số liệu từ Báo cáo kết quả Kiểm định _ Thử tải [7] do Công ty CP Tư Vấn Kiểm định XD Nam Á thực hiện tháng 12 năm 2023 được sử dụng nhằm để đánh giá xếp hạng tải của cầu bằng phương pháp ứng dụng ANN của luận án. Cầu Đại Đồng được mô tả tóm tắt như sau:

. Kết cấu 01 nhịp: số lượng dầm chủ I33 = 05; bề rộng cầu = 12m. Làn hoạt tải = 02 làn.

. Tham số cường độ $f'c$, chiều cao dầm và tần số nhịp cầu Đại Đồng theo bảng 4.19.

Bảng 4. 19 Cường độ $f'c$ dầm và mặt cầu, tần số nhịp N1, cao dầm cầu ĐĐ (nguồn [7]).

Kết cấu nhịp	Dầm		Bản mặt cầu		Nhịp N			
	$f'c$ (MPa)	Modun đàn hồi (MPa)	$f'c$ (MPa)	Modun đàn hồi (MPa)	Tần số (Hz)	Cao dầm (cm)	K.cách dầm (cm)	Dày bản mc (cm)
Vị trí 1	57.15	38220	35.37	30068	4.082	165.0	240.0	20.0
Vị trí 2	55.41	37634	36.39	30498				
Trung bình	56.28	37927	35.88	30283	4.082	165.0	240.0	20.0

Sử dụng các cơ sở tính toán trong ứng dụng (1) và Ứng dụng (3) của mục (4.1.2, 4.1.4), momen quán tính mặt cắt ngang cầu I_{tc} được xác định, theo đó cường độ $f'c$ của kết cấu nhịp cũng được xác định theo tần số riêng f của cầu từ đo thực tế tại bảng (4.20 và 4.21).

Bảng 4. 20 Momen quán tính I_i tại $L/2$ mặt cắt ngang cầu [7] theo đo thực tế.

Momen quán tính	Dầm I33 nguyên	Bản mặt cầu	Bê tông Lancan	Bê tông Ván Khuôn	Bê tông Asphalt	Thép Dọc bản mc	Thép Dầm chủ & đai	Gia Cường L/2	Ống gel capDUL	Vữa chèn capDUL	Dầm I liên hợp (mm ⁴)
Ký hiệu (cm ⁴)	Ig	I _{mc}	I _{lc}	I _{vk}	I _{as}	I _t	I _t	I _{gc}	I _t	I _{vc}	I _{tc}
N1	30117419	13597225	7968620	3949833	1248511	911334	1652094	6817868	2184138	1032470	695201032956
Ký hiệu E _i	Eg	E _{mc}	E _{lc}	E _{vk}	E _{as}	E _{tb}	E _{cd}	E _{gc}	E _{gl}	E _{vc}	E _{tc}
giá trị (Mpa)	Eg	E _{mc}	E _{lc}	22610	4000	197000	197000	Eg	197000	39162	E _{tc}

Bảng 4. 21 $f'c$ kết cấu nhịp cầu [7] được xác định theo kết quả thử tải động thực tế.

Kết cấu thử tải động	Tần số rung đo dao động tại $L/2$,	Số Pi	Khối lượng toàn cầu, ($daN.s^2/cm$)	Chiều dài nhịp tính toán, (cm^3)	Momen quán tính ngang cầu $L/2$, (cm^4)	Module đàn hồi nhịp, (MPa)	Cường độ bê tông		
							Nhịp (MPa)	Dầm I, (MPa)	Mặt cầu, (MPa)
Nhịp	f^2	Π^2	mt	L^3	I _{tc}	E	$f'c$	$f'c$	$f'c$
N1	16.662724	9.8596	635.939	33386248000	347600516	41148	62.27	67.56	43.07

Giá trị đầu vào ANN dùng xếp hạng tải RF cầu [7] được thành lập theo bảng 4.22.

Bảng 4. 22 Đầu vào mạng sức kháng-tính tải-hoạt tải tiền xử lý [0.2÷0.8] cầu [7] .

Nhịp N1	Số làn tải	Cao dầm	Dày bản mc	Dày lớp phủ	$f'c$ bản mc	$f'c$ dầm	Cự ly dầm	Số làn tải	Cao dầm	Dày bản mc	Dày lớp phủ	$f'c$ bản mc	$f'c$ dầm	Cự ly dầm
	Số liệu tham số Thực đo hiện trường							Số liệu tham số Tiền xử lý ANN						
Đo $f'c$	2	165.0	200	70	35.88	56.28	240	0.2	0.8000	0.3714	0.3714	0.7935	0.8073	0.7077
Tần số đo	2	165.0	200	70	43.07	67.56	240	0.2	0.8000	0.3714	0.3714	1.1859	1.1017	0.7077

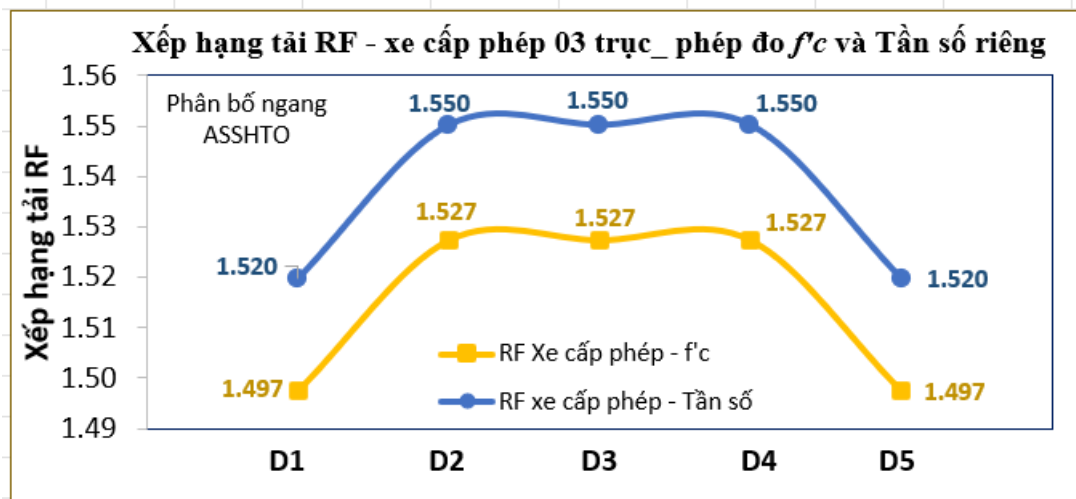
Kết quả mô phỏng ANN, tính toán nội lực và xếp hạng tải RF theo bảng 4.23.

Bảng 4. 23 Giá trị mô phỏng ANN-nội lực-đánh giá xếp hạng tải RF cầu [7] .

Nhịp N1	Phương pháp đo	Sức kháng	Tính tải DC	Tính tải DW	Cấp phép 3 trục
Mô phỏng ANN	Đo $f'c$	0.7664	0.7221	0.5970	0.5511
	Tần số đo	0.7737	0.7221	0.5970	0.5507
Giá trị Nội lực	Đo $f'c$	17366	3857	1036	4112
	Tần số đo	17519	3857	1036	4108
Đánh giá xếp hạng tải RF theo TCVN 12882:2020 cho cầu ĐĐ bằng mạng ANN			Đo $f'c$	Dầm trong	1.5274
			Tần số đo	Dầm trong	1.4974
				Dầm ngoài	1.5502
				Dầm ngoài	1.5198

Biểu đồ đánh giá xếp hạng tải RF cầu [7] bằng xe cấp phép TCVN12882:2020, ở hình 4.10.

Kết quả mô phỏng ở hình 4.10 cho thấy giá trị RF từ 02 ứng dụng ANN có sai số $\leq 1.5\%$.



Hình 4. 10 Biểu đồ kết quả xếp hạng tải RF theo xe cấp phép 03 trục cầu [7] .

4.3.2 So sánh xếp hạng tải RF cầu dầm [7] bằng ANN với tính tay và FE

Hiệu ứng tải từ xe thiết kế HL-93 bằng PTHH (Midas) cầu [7] thể hiện bảng 4.24,

Bảng 4. 24 Hiệu ứng tải từ xe thiết kế HL-93 bằng phần tử hữu hạn cầu [7] .

Hiệu ứng tải HL-93 cầu ĐĐ theo PTHH Midas					Momen có Phân bố ngang g ASSHTO			
Nhịp dầm	Momen tĩnh tải DC/dầm	Momen tĩnh tải DW/dầm	Momen xe HL-93 (f'c)	Momen xe HL-93 (tần số)	Momen xe HL-93 (f'c)	Momen xe HL-93 (tần số)	g theo (f'c)	g theo (tần số)
	kNm	kNm	kNm	kNm	kNm	kNm		
N1	3857	827	8558	8558	5599	5595	0.6543	0.6537

Kết quả xếp hạng tải và tỷ lệ sai số % RF cầu [7] bằng ANN, phương pháp tính tay trực tiếp, phần tử hữu hạn được tính toán tại bảng 4.25 và biểu đồ so sánh kết quả xếp hạng tải RF cầu [7] giữa các phương pháp trình bày ở hình 4.10.

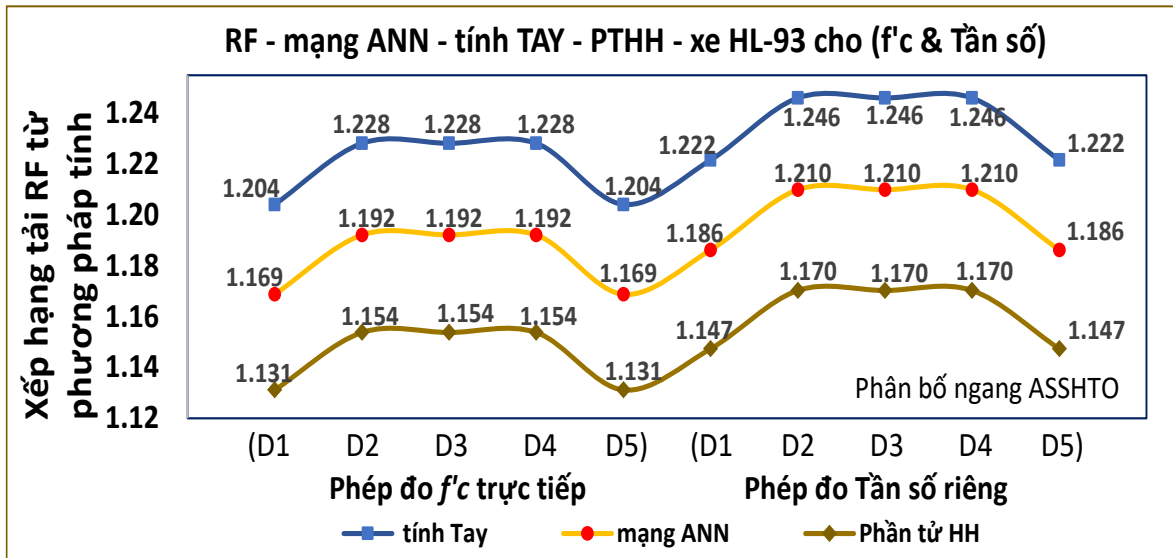
Bảng 4. 25 Sai số % RF xe HL-93 giữa ANN - tính tay - phần tử hữu hạn cầu [7] .

Phương pháp tính RF	Nhịp dầm	Sức kháng từ phép đo thử tải		Tĩnh tải DC	Tĩnh tải DW	Momen HT xe thiết kế HL-93		RF xe thiết kế HL-93		RF- mạng ANN xe thiết kế HL-93		Tỷ lệ sai số % RF "ANN_ tính Tay và PTHH"	
		f'c	Tần số			f'c	Tần số	f'c	Tần số	f'c	Tần số	f'c	Tần số
tính Tay	Dầm trong	17366	17519	3857	814	5268	5263	1.2282	1.2461	1.1921	1.2100	2.94	2.90
truyền thống	Dầm ngoài	17366	17519	3857	814	5268	5263	1.2041	1.2216	1.1688	1.1862	2.94	2.90
Phần tử	Dầm trong	17366	17519	3857	826.7	5599	5595	1.1538	1.1703	1.1921	1.2100	3.21	3.27
hữu hạn	Dầm ngoài	17366	17519	3857	826.7	5599	5595	1.1312	1.1474	1.1688	1.1862	3.21	3.27

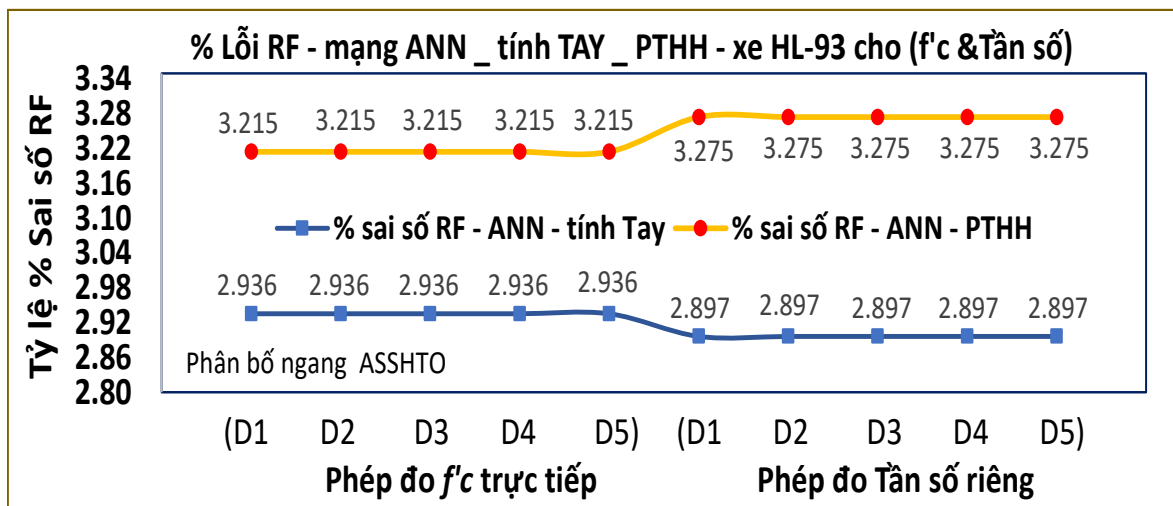
Nhận xét: Kết quả từ hình (4.11, 4.12), bảng 4.25 và số liệu kiểm định cầu [7] cho thấy tương tự như trong so sánh cầu [21] , tỷ lệ sai số RF như sau:

ANN _ tính tay trực tiếp truyền thống: $(2.90 \div 2.94)\%$.

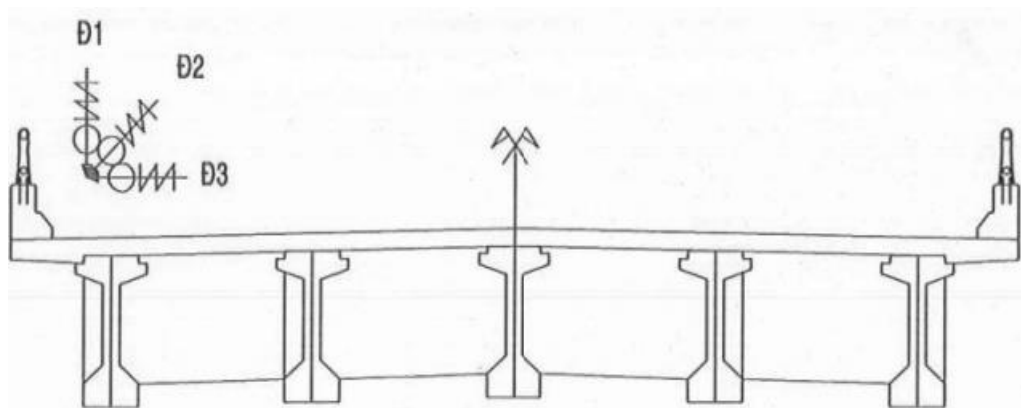
ANN _ phần tử hữu hạn: $(3.21 \div 3.27)\%$.



Hình 4. 11 Biểu đồ so sánh RF từ xe HL-93 theo ANN - tính tay - PTHH cầu [7] .



Hình 4. 12 Biểu đồ % sai số RF từ xe HL-93 theo ANN - tính tay - PTHH cầu [7] .



Hình 4. 13 Thử tải động trên mặt cắt ngang cầu Đại Đồng [7] .

Thêm một so sánh xếp hạng tải RF cho cầu dầm [7] trong thực tế khác, có thể nói ứng dụng ANN xếp hạng tải RF cho cầu trong thực tiễn là hiệu quả và chính xác cao.

4.4 Đánh giá ứng dụng ANN cho xếp hạng tải cầu dầm I thực tiễn

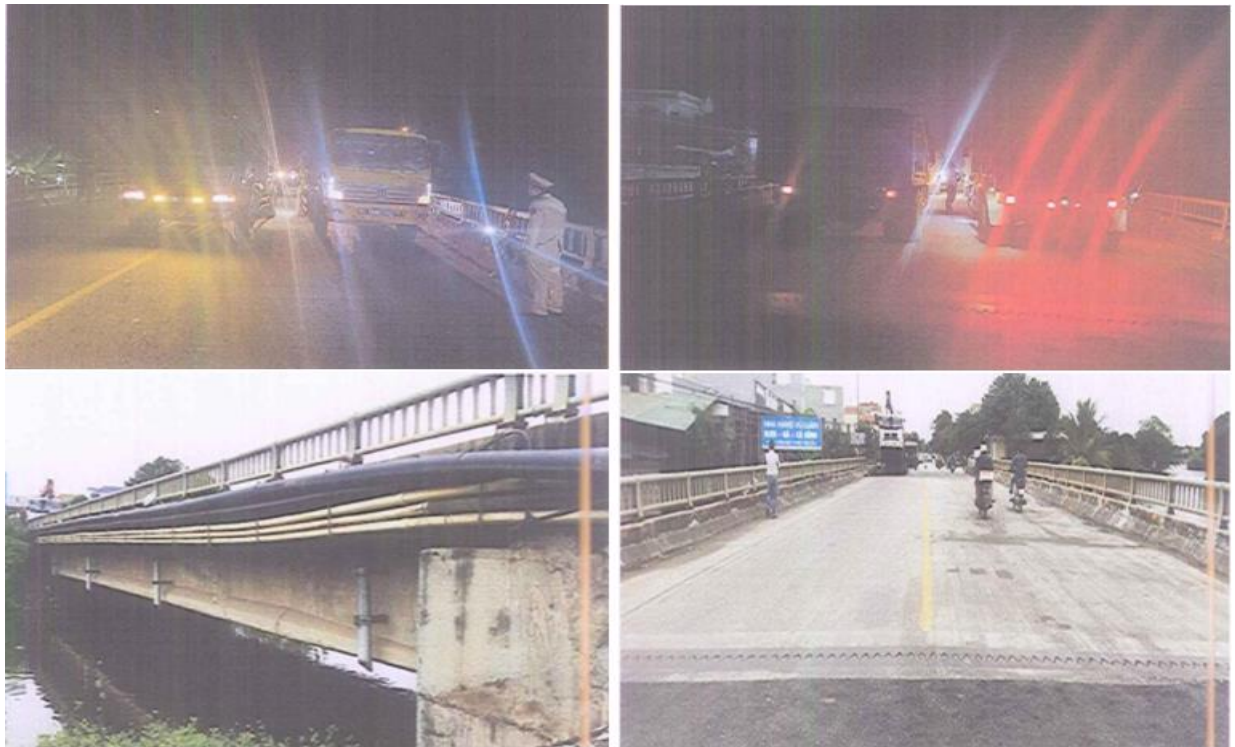
ANN được xây dựng trong chương 3 của luận án đã thực hiện việc đánh giá xếp hạng tải RF cho cầu Ninh Chữ thực tế tại mục 4.2 là loại mẫu cầu dầm I DUL đồng dạng với hệ thống mẫu nhưng không thuộc trong bộ mẫu cầu dùng huấn luyện. Từ các biểu đồ hình (4.8, 4.9, 4.11, 4.12) cho thấy ANN của nghiên cứu luận án đã đánh giá tốt các cầu dầm I có trong thực tiễn. Các cầu [21] và [7] được đánh giá có tham số cầu làm đầu vào ngẫu nhiên và cụ thể trong đo đạc và thử tải kết cấu nhịp cầu.

Cầu [21] và [7] là các cầu dầm I DUL trong thực tiễn giao thông ở Việt nam chưa được xác định khả năng kết cấu và thời gian hoạt động của cầu. Quá trình đánh giá xếp hạng tải cầu theo đúng tiêu chuẩn TCVN 12882:2020 và MBE (Hoa kỳ), việc thử tải cầu đã sử dụng xe tải thực tế được cấp phép để thử tải kiểm định.

Đánh giá xếp hạng tải cho cầu [21] và [7] đúng tính chất mô phỏng của ANN cho các cầu dầm I ngoài hệ thống huấn luyện, hoàn toàn phù hợp yêu cầu thực tế kinh tế xã hội.



Hình 4. 14 Cầu Ninh Chữ [21] _ xếp xe 3 trục thực tế để thử tải đúng tâm trên cầu



Hình 4. 15 Cầu Đại Đồng [7] _ xếp xe 3 trục thực tế để thử tải đúng tâm trên cầu

4.5 Phân tích độ nhạy cho đánh giá xếp hạng tải RF cầu dầm [21] bằng ANN

Bài toán phân tích độ nhạy sẽ lượng hoá được sự ảnh hưởng của từng biến tham số cầu tới kết quả xếp hạng RF, các biến tham số có mức độ ảnh hưởng nhiều nhất tới an toàn của kết cấu được xác định, các tham số không ảnh hưởng cũng được xác định và xem như là những yếu tố xác định. Và độ nhạy của các tham số sẽ phụ thuộc vào mức độ bất định (uncertainty) của biến tham số đó.

a/ Phân tích độ nhạy ảnh hưởng của các tham số

Luận án sẽ phân tích độ nhạy toàn cục theo phương pháp phương sai (phương pháp Sobol) của các biến tham số hình học và độ cứng kết cấu cho xếp hạng tải cầu dầm I với mô hình thay thế (Surrogate) đánh giá bằng mô phỏng ANN.

Phương pháp Monte Carlo – Saltelli (Sobol)

Phương pháp này tạo một chuỗi các điểm phân bố ngẫu nhiên trong không gian đơn vị d chiều (chuỗi giả ngẫu nhiên), thường thay bằng các chuỗi có độ lệch thấp để đạt hiệu quả của các ước lượng, là phương pháp Monte Carlo giả định. Các bước tính:

Tạo ma trận mẫu Saltelli có kích thước $(N \times d)$, ($N \geq 20.000$ mẫu) trong siêu không gian d chiều có phân phối xác suất biến đầu vào. Chọn $N = 10^5 = 100.000$ mẫu; $d = (X_1, X_2, X_3, X_4, X_5)$ 05 biến tham số cầu theo hình 4.16, giá trị biến đổi liên tục xoay quanh giá trị tham số gốc dầm I33 DUL [21] và giá trị được mở rộng nhiều cỡ dầm I liên hợp mặt cầu.

Tham số	Cao dầm	Dày bmc	f'c bmc	f'c dầm	KC dầm	Tham số	Cao dầm	Dày bmc	f'c bmc	f'c dầm	KC dầm	Tham số	Cao dầm	Dày bmc	f'c bmc	f'c dầm	KC dầm
Biến	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	biến	X1	X2	X3	X4	X5	biến	X1	X2	X3	X4	X5
1	164.5	19.5	27	37	239.5	1	138	18.5	29.5	39.5	190	1	138	18.5	27	37	190
2	164.6	19.6	28	38	239.6	2	141	19	29.6	39.6	195	2	141	19	28	38	195
3	164.7	19.7	29	39	239.7	3	144	19.5	29.7	39.7	200	3	144	19.5	29	39	200
4	164.8	19.8	30	40	239.8	4	147	20	29.8	39.8	205	4	147	20	30	40	205
5	164.9	19.9	31	41	239.9	5	150	20.5	29	39.9	210	5	150	20.5	31	41	210
6	165.0	20.0	32	42	240.0	6	153	21	30	40	215	6	153	21	32	42	215
7	165.1	20.1	33	43	240.1	7	156	21.5	30.1	40.1	220	7	156	21.5	33	43	220
8	165.2	20.2	34	44	240.2	8	159	22	30.2	40.2	225	8	159	22	34	44	225
9	165.3	20.3	35	45	240.3	9	162	22.5	30.3	40.3	230	9	162	22.5	35	45	230
10	165.4	20.4	36	46	240.4	10	165	23	30.4	40.4	240	10	165	23	36	46	240

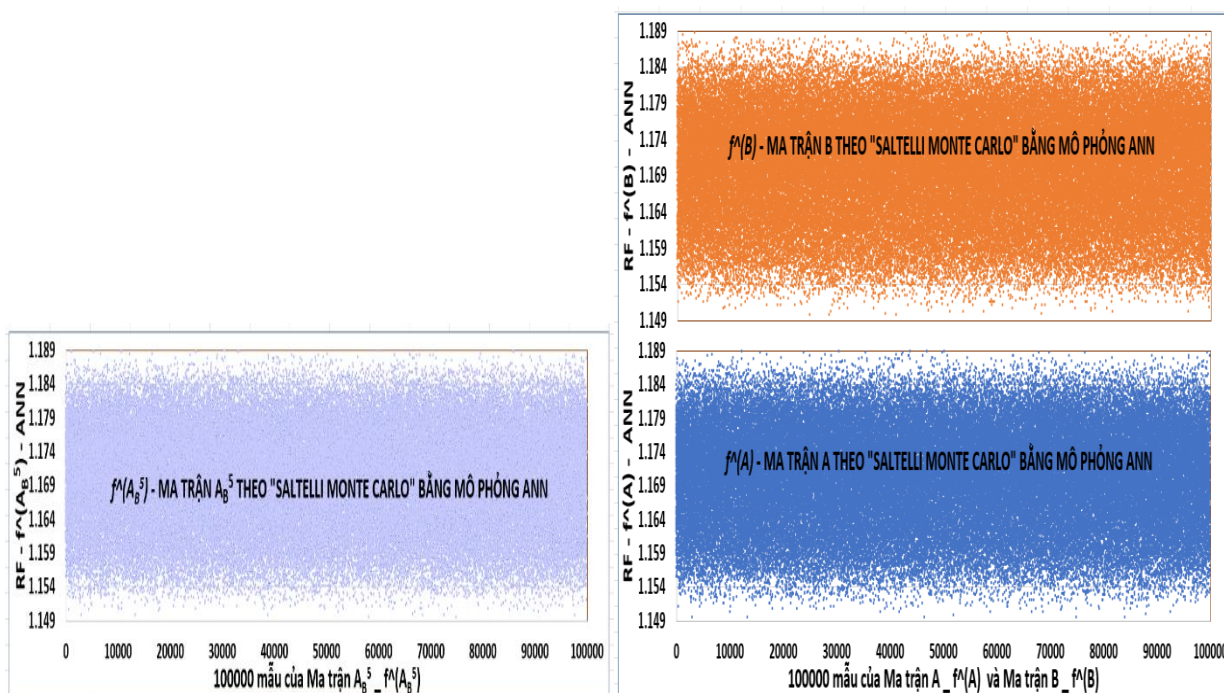
Hình 4. 16 Dữ liệu biến liên tục tạo ma trận - Ma trận Saltelli và ANN mô phỏng RF– Dầm I cố định hình học, mở rộng f'c (trái) - Dầm I mở rộng hình học, cố định f'c (giữa) - Dầm I hình học mở rộng, mở rộng f'c (phải).

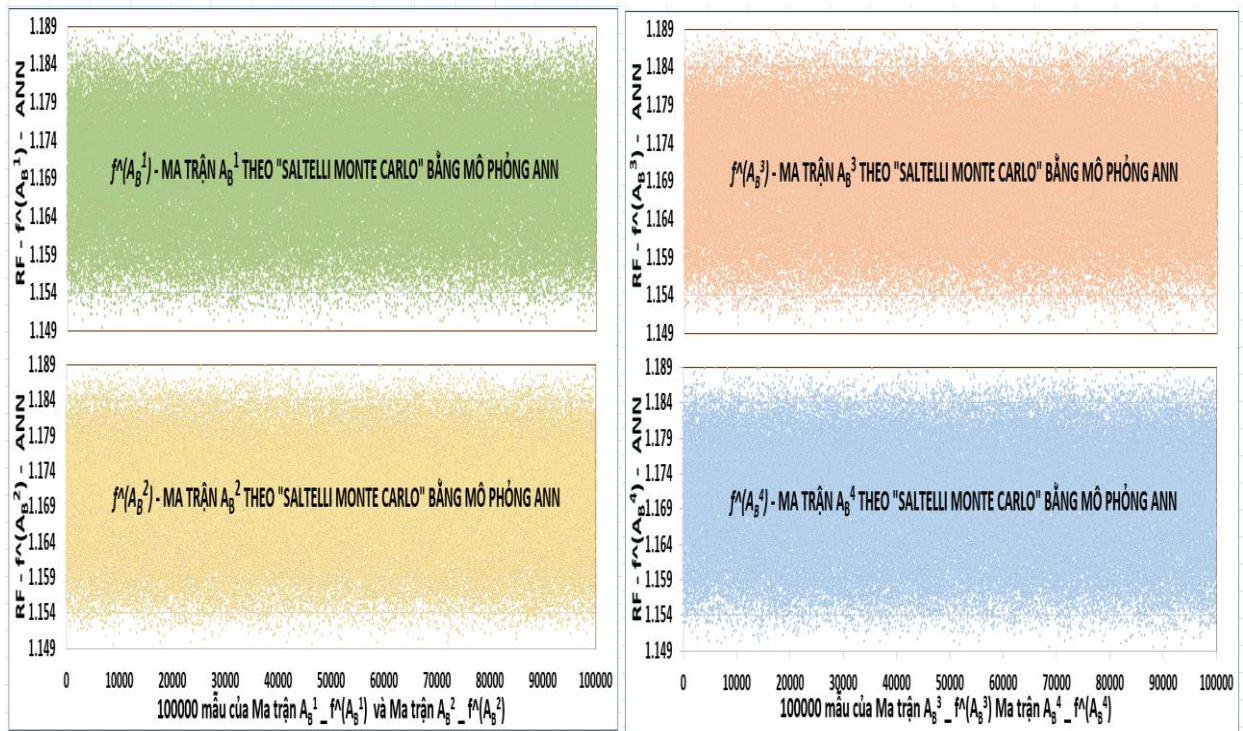
Thành lập ma trận A và ma trận B đều là hai ma trận độc lập (Saltelli) sao cho các hàng ở ma trận (A & B) có các biến tham số đều độc lập với nhau. Tạo d ma trận ($N \times d$), A_B^i , với $i = (1, 2, \dots, d)$, sao cho cột thứ i của A_B^i là cột thứ i của B, và các cột còn lại là từ A.

Đánh giá mô hình các ma trận Saltelli bằng Surrgate (mô phỏng ANN).

Đánh giá mô hình theo RF cho các ma trận A, B, và $A_B^1, A_B^2, A_B^3, A_B^4, A_B^5$ bằng mô phỏng ANN là hàm thay thế (Surrogate). Các ANN áp dụng là sức kháng (5-21-1), tải DC-DW (3-10/20-1), hoạt tải HL-93 (6-24-1).

Biểu đồ phân tán các giá trị RF cho các ma trận A, B, $A_B^1, A_B^2, A_B^3, A_B^4, A_B^5$ trình bày tại các hình 4.17 cho dầm I33 DUL như [21].





Hình 4. 17 Biểu đồ phân tán giá trị RF các ma trận SALTELLI.

Tính toán các chỉ số Sobol _ Công thức Saltelli (2002).

Chỉ số thứ nhất:

$$S_i = Var_{X_i}(E_{X_{\sim i}}(Y|X_i)) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N f(B)_j (f(A_B^i)_j - f(A)_j)$$

Chỉ số tổng thể:

$$ST_i = E_{X_{\sim i}}(Var_{X_i}(Y|X_i)) = \frac{1}{2N} \sum_{j=1}^N (f(A)_j - f(A_B^i)_j)^2$$

Trong đó $Var(f(X))$ được ước lượng từ tất cả mẫu.

b/ Kết quả phân tích độ nhạy thể hiện ở bảng 4.26 và hình 4.18

Độ nhạy các biến tham số cầu tương tác nhau trong mô hình xếp hạng tải RF cho thấy:

- Cho loại dầm I DUL liên hợp cố định (I33, mặt cầu 20cm), cường độ f'c mở rộng:
 - + Tham số độ cứng “f'c bản mặt cầu” có ảnh hưởng cao nhất đến momen dầm I, độ nhạy đạt (78–79)/100, vượt trội so với tham số độ cứng “f'c dầm” liền kề (12–14)/100. Tham số hình học (chủ yếu là bản mặt cầu) có ảnh hưởng nhưng độ nhạy nhỏ < 5/100.
 - + Tăng khả năng chịu lực của dầm I liên hợp cố định (dầm định hình) trong kết cấu nhịp thì “f'c bản mặt cầu” có tầm ảnh hưởng cao nhất hơn “f'c dầm”, là tham số cần tối ưu nhất trong lĩnh vực thiết kế, thi công, vận hành bảo trì cầu.

- Cho loại dầm I DUL liên hợp mở rộng kích thước hình học, cường độ f'c cố định:

+ Tham số hình học “chiều cao dầm” có ảnh hưởng cao nhất đến momen dầm I, độ nhay đạt (~ 56)/100, kể đến là tham số hình học “khoảng cách dầm” độ nhay đạt (~ 42)/100, tham số độ cứng “f’c dầm” và “f’c bản mặt cầu” không có ảnh hưởng. Tham số hình học chiều dày bản mặt cầu có ảnh hưởng nhỏ $\sim 1/100$.

+ Khả năng chịu lực của dầm I liên hợp trong kết cấu nhịp thì tham số hình học “chiều cao dầm” cần tối ưu nhất, kể đến tham số “khoảng cách dầm”, tham số “chiều dày bản mặt cầu” có ảnh hưởng rất nhỏ, cho trong lĩnh vực thiết kế cầu.

• Cho loại dầm I DUL liên hợp mở rộng kích thước hình học, cường độ f’c mở rộng:

+ Tham số hình học “chiều cao dầm” có ảnh hưởng cao nhất đến momen dầm I, độ nhay đạt (~ 54)/100, kể đến là tham số hình học “khoảng cách dầm” độ nhay đạt (42-43)/100, vượt trội so với tham số độ cứng “f’c dầm”, “f’c bản mặt cầu” chỉ có độ nhay ($\sim 1/100$). Tham số hình học chiều dày bản mặt cầu có ảnh hưởng nhỏ ($\sim 1/100$).

+ Điều này chứng tỏ, khả năng chống uốn của dầm bê tông cốt thép chính là nhờ vào chiều cao dầm nguyên, thể hiện qua công thức momen chống uốn có tham số chiều cao bình phương và đây là tham số cần tối ưu nhất trong lĩnh vực thiết kế cầu lúc ban đầu.

c/ Xác định độ nhay toàn cục theo phương pháp Phương sai (phương pháp Monte carlo) với hỗ trợ ANN mô phỏng có ưu điểm:

- Độ nhay tính theo phương sai kết quả tốt và tổng chỉ số độ nhay theo (S_i và S_{Ti}) đều < 1 . Phản ánh sự mô phỏng của ANN có độ chính xác cao.

- ANN dùng là hàm thay thế (Surrgate) đánh giá ưu việt hơn các hàm hồi quy tuyến tính và phi tuyến thường dùng. Tính nhanh và xử lý khối lượng lớn.

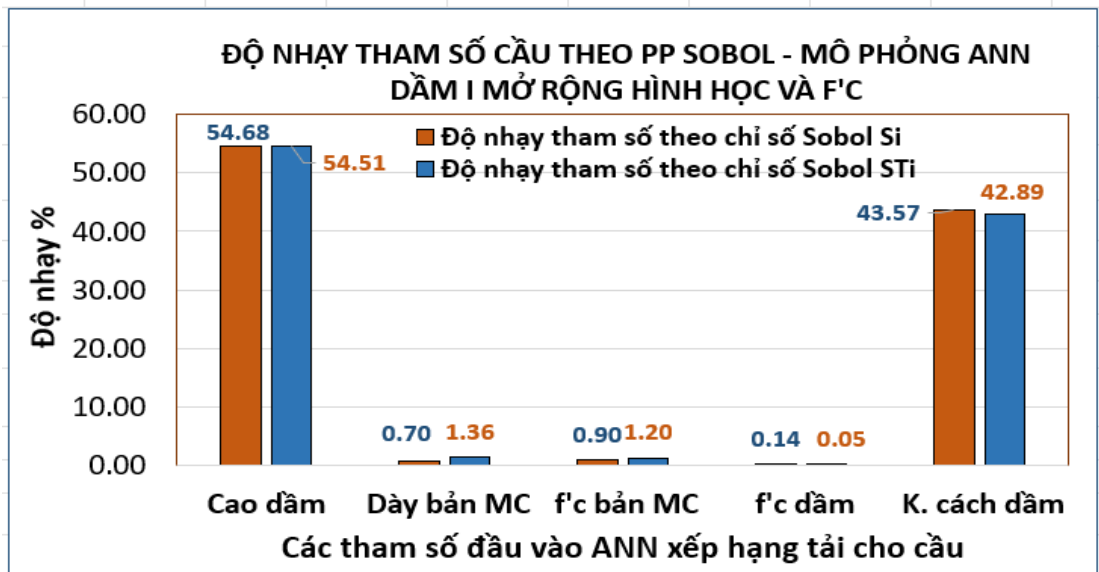
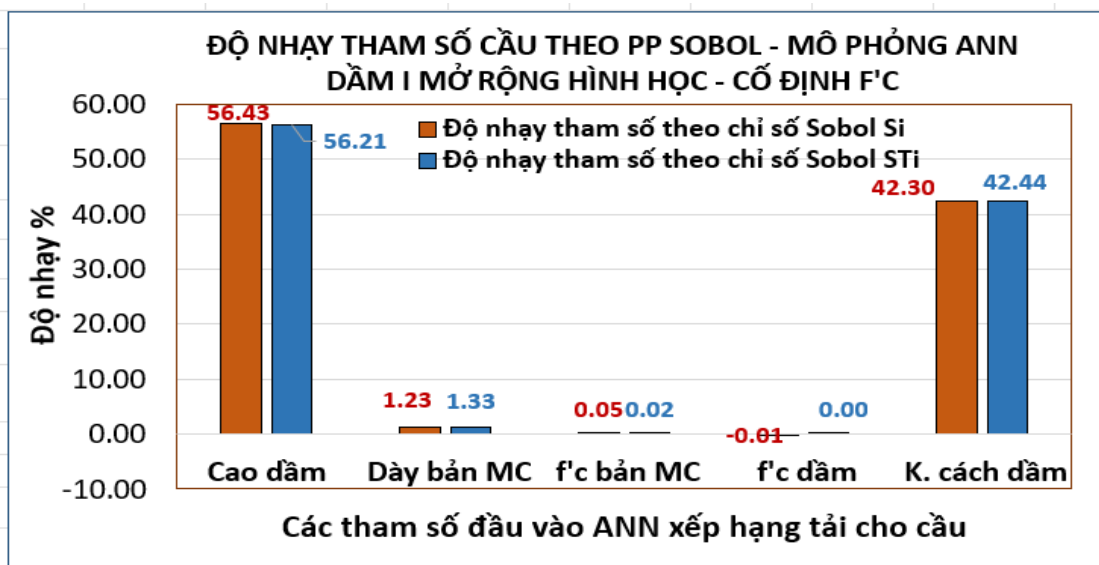
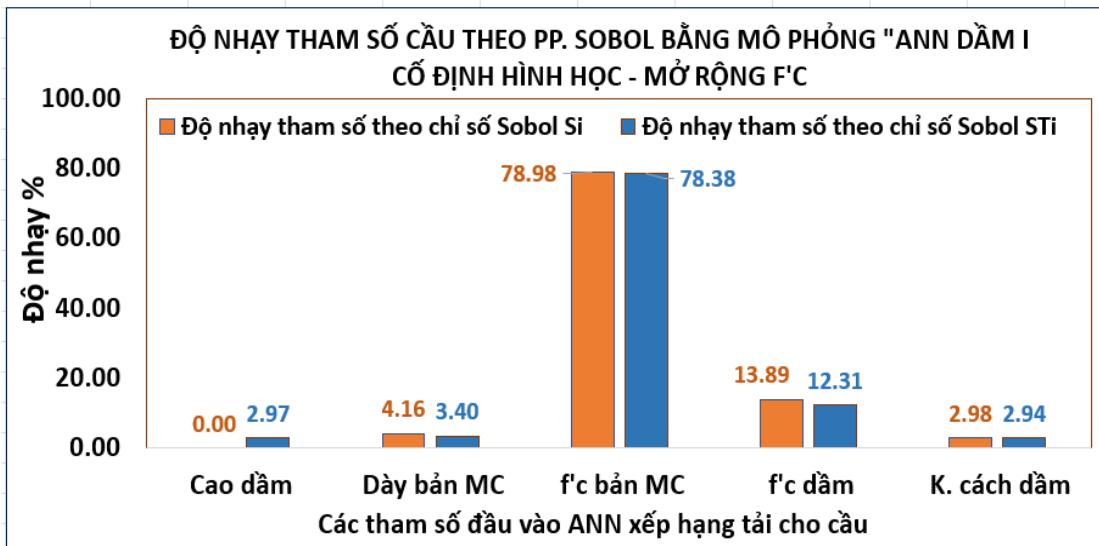
- ANN kết hợp phương pháp Monte Carlo – Saltelli đã phân tích độ nhay một cách hiệu quả, nhanh chóng với dữ liệu đủ lớn để có khả năng kết luận mức độ ảnh hưởng của các tham số cầu tác động đến khả năng chịu tải của công trình cầu.

Bảng 4. 26 Phân tích độ nhạy toàn cục theo Monte Carlo - tham số cầu thứ tự cao hơn-
 Dầm I cố định hình học, mở rộng f'c (trên) - Dầm I mở rộng hình học, cố định f'c (giữa)-
 Dầm I hình học mở rộng, mở rộng f'c (dưới).

Biến số	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	Tổng
[f(A) & f(B)]tb	1.1700	1.1700	1.1700	1.1700	1.1700	
Var (f(A) & f(B))	5.27E-05	5.27E-05	5.27E-05	5.27E-05	5.27E-05	
f(Bn) * (f(A ⁽ⁱ⁾ _{Bn}) - f(An))	-6.30E-06	1.94E-06	3.69E-05	6.49E-06	1.39E-06	
$S_i = \frac{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N f(B)_j (f(A_B^i)_j - f(A)_j)}{\text{Var}(f(A)\&f(B))}$	-0.11968	0.03688	0.70085	0.12328	0.02640	0.88741
S _i - Độ nhạy (%)	0.00	4.16	78.98	13.89	2.98	100.00
(f(An) - f(A ⁽¹⁾ _{Bn}))^2	1.60E-06	1.83E-06	4.22E-05	6.62E-06	1.58E-06	
$S_{Ti} = \frac{\frac{1}{2N} \sum_{j=1}^N (f(An) - f(A_{Bn}^{(i)}))^2}{\text{Var}(f(A)\&f(B))}$	0.03033	0.03469	0.80073	0.12579	0.03005	1.02159
S _{Ti} - Độ nhạy (%)	2.97	3.40	78.38	12.31	2.94	100.00

Biến số	X1	X2	X3	X4	X5	Tổng
[f(A) & f(B)]tb	1.1637	1.1637	1.1637	1.1637	1.1637	1.1637
Var(f(A) & f(B))	0.0094	0.0094	0.0094	0.0094	0.0094	0.0094
f(Bn) * (f(A ⁽¹⁾ _{Bn}) - f(An))	0.003600	0.000078	0.000003	0.000000	0.002699	
$S_i = \frac{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N f(B)_j (f(A_B^i)_j - f(A)_j)}{\text{Var}(f(A)\&f(B))}$	0.3840	0.0083	0.0003	0.0000	0.2878	0.6804
S _i - Độ nhạy (%)	56.43	1.23	0.05	-0.01	42.30	100
(f(An) - f(A ⁽¹⁾ _{Bn}))^2	0.003661	8.648E-05	0.000001	3.1E-08	0.002765	
$S_i = \frac{\frac{1}{2N} \sum_{j=1}^N (f(A)_j - f(A_{Bn}^i))^2}{\text{Var}(f(A)\&f(B))}$	0.3905	0.0092	0.0001	0.0000	0.2948	0.6947
STi - Độ nhạy (%)	56.21	1.33	0.02	0.00	42.44	100

Biến số	X1	X2	X3	X4	X5	Tổng
[f(A) & f(B)]tb	1.1637	1.1637	1.1637	1.1637	1.1637	1.1637
Var(f(A) & f(B))	0.0094	0.0094	0.0094	0.0094	0.0094	0.0094
f(Bn) * (f(A ⁽¹⁾ _{Bn}) - f(An))	0.003552	0.000046	0.000059	0.000009	0.002830	
$S_i = \frac{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N f(B)_j (f(A_B^i)_j - f(A)_j)}{\text{Var}(f(A)\&f(B))}$	0.3788	0.0049	0.0063	0.0010	0.3019	0.6928
S _i - Độ nhạy (%)	54.68	0.70	0.90	0.14	43.57	100
(f(An) - f(A ⁽¹⁾ _{Bn}))^2	0.003625	9.026E-05	0.000080	3.6E-06	0.002852	
$S_i = \frac{\frac{1}{2N} \sum_{j=1}^N (f(A)_j - f(A_{Bn}^i))^2}{\text{Var}(f(A)\&f(B))}$	0.3866	0.0096	0.0085	0.0004	0.3042	0.7093
STi - Độ nhạy (%)	54.51	1.36	1.20	0.05	42.89	100



Hình 4. 18 Biểu đồ độ nhạy toàn cục – Monte Carlo Saltelli - Dầm I cố định hình học, mở rộng f'c (trên) - Dầm I mở rộng hình học, cố định f'c (giữa) - Dầm I hình học mở rộng, mở rộng f'c (dưới).

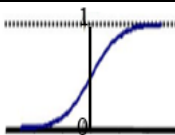
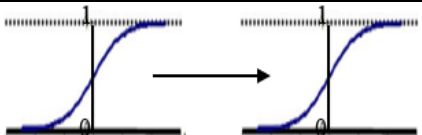
4.6 Hiệu quả học sâu đào tạo ANN (02 – 03) lớp xếp hạng tải RF cầu dầm I

ANN với kết nối đầy đủ 02 lớp, tuy đào tạo và mô phỏng các nhóm tham số chính cho RF cầu thể hiện hiệu suất tốt, dự đoán đầu ra mạng chính xác như chương 3 và chương 4 trình bày. Nhưng để tăng hiệu suất đào tạo của ANN, hiệu quả học sâu trong huấn luyện của ANN được phân tích tường minh trong mục này. ANN 03 lớp với hơn một tầng ẩn so ANN 02 lớp, có số lượng bậc tự do trong mô hình cao là yếu tố vượt trội trong khả năng để học tổ hợp phi tuyến sâu của hệ thống mẫu khi các hàm đích của hệ thống này có độ phức tạp và tính phi tuyến cao. Ưu việt hơn khi bộ kích thước mẫu dùng huấn luyện không lớn, khả năng học sâu phi tuyến của ANN 03 lớp càng thể hiện tối ưu hơn. Nhưng với hệ thống mẫu và hàm đích đơn giản, mô hình ANN 03 lớp khả năng không hiệu quả hơn so ANN 02 lớp, có thể xảy ra hiện tượng học quá khớp (Overfitting).

Để chứng minh cho hiệu quả học sâu trong đào tạo mạng của ANN 3 lớp so với ANN 2 lớp cho xếp hạng tải RF, theo các hình (3.12, 3.13, 3.14, 3.17, 3.18, 3.19), các tiêu chí, tham số mạng và tham số kỹ thuật đào tạo được xem xét và đánh giá như:

- Kiến trúc mô hình ANN;
- Số lượng nơ-ron trong lớp ẩn;
- Giá trị tối ưu hàm sai số mục tiêu;
- Số vòng lặp đào tạo tối ưu;
- Kiểm chứng mô phỏng xếp hạng tải RF cho cầu Ninh Chữ.

a/ Kiến trúc mô hình ANN

Kiến trúc ANN	ANN 2 lớp	ANN 3 lớp
Hàm kích hoạt Sigmoid		

Hình 4. 19 Hàm kích hoạt Sigmoid của ANN riêng biệt (2 và 3) lớp

Hàm kích hoạt Sigmoid có chức năng chuyển hoá dữ liệu mạng từ dạng tuyến tính sang phi tuyến. Với mạng có hai lần sử dụng hàm Sigmoid, khả năng nhận dạng tính phi tuyến sâu hơn so với dùng một hàm Sigmoid, hình 4.19.

b/ Số lượng nơ-ron trong lớp ẩn

Số lượng nơ-ron trong lớp ẩn là thể hiện quá trình đào tạo ANN sao cho mạng đạt đến mục tiêu cực tiểu toàn cầu.

Bảng 4. 27 Số lượng nơ-ron trong lớp ẩn của ANN riêng biệt (2 và 3) lớp

Tham số mạng	ANN riêng biệt	ANN 2 lớp	ANN 3 lớp
Số lượng nơ-ron trong lớp ẩn	Sức kháng	24	21
	Momen tĩnh tải DC	10	8
	Momen tĩnh tải DW	20	12
	Momen HL-93	21	15

Ở bảng 4.27, theo các mô hình mạng sức kháng, momen tĩnh tải DC-DW, momen hoạt tải HL-93 nhận thấy, số lượng nơ-ron trong lớp ẩn của mạng 3 lớp đều ít hơn so với mạng 2 lớp. Chứng tỏ ANN 3lớp khả năng hội tụ nhanh hơn và học sâu hơn ANN 2lớp.

c/ Giá trị hàm sai số mục tiêu tối ưu

Bảng 4. 28 Giá trị hàm sai số mục tiêu của ANN riêng biệt (2 và 3) lớp

Tham số kỹ thuật	ANN riêng biệt	MAE %		RMSE %	
		ANN 2 lớp	ANN 3 lớp	ANN 2 lớp	ANN 3 lớp
Giá trị hàm sai số mục tiêu	Sức kháng	0,0206	0,0108	0,0533	0,0225
	Momen tĩnh tải DC	0,0040	0,0043	0,0037	0,0033
	Momen tĩnh tải DW	0,0060	0,0050	0,0043	0,0038
	Momen HL-93	0,0095	0,0021	0,0098	0,0053

Ở bảng 4.28, theo các mô hình mạng sức kháng, momen hoạt tải HL-93, nhận thấy, giá trị hàm sai số mục tiêu của mạng 3 lớp đều nhỏ hơn so với mạng 2 lớp. Điều này chứng tỏ ANN 3 lớp khả năng đào tạo có độ chính xác cao hơn ANN 2 lớp. Với các mô hình mạng momen tĩnh tải DC-DW, ANN 2 lớp có độ chính xác tương đồng ANN 3 lớp.

d/ Số vòng lặp đào tạo tối ưu

Bảng 4. 29 Số vòng lặp đào tạo tối ưu của ANN riêng biệt (2 và 3) lớp

Tham số kỹ thuật	ANN riêng biệt	ANN 2 lớp	ANN 3 lớp
Số vòng lặp đào tạo tối ưu	Sức kháng	1591	868
	Momen tĩnh tải DC	654	100
	Momen tĩnh tải DW	583	20
	Momen HL-93	1000	361

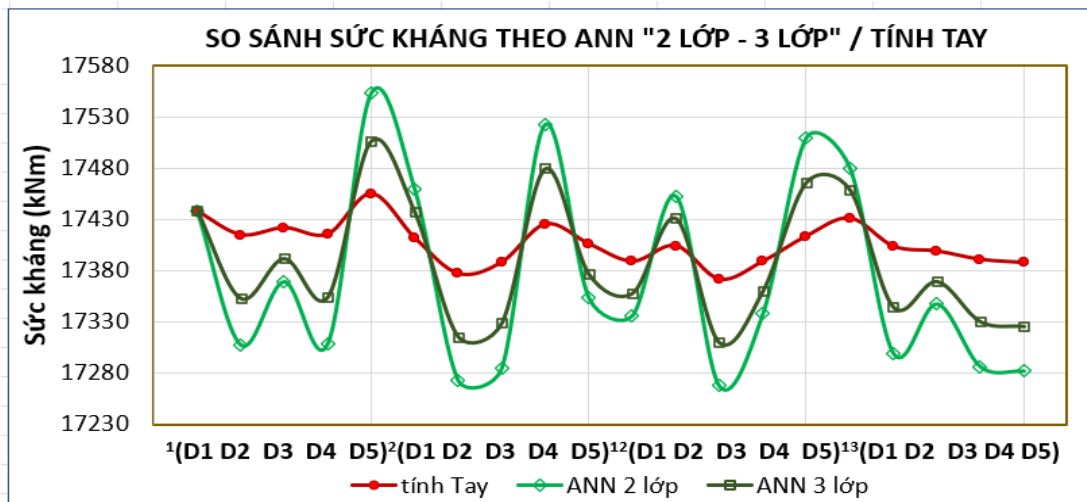
Cũng ở bảng 4.29, theo các mô hình mạng sức kháng, momen tĩnh tải DC-DW, momen hoạt tải HL-93, nhận thấy, số vòng lặp đào tạo tối ưu của mạng 3 lớp đều nhỏ hơn so với mạng 2 lớp. Điều này chứng tỏ ANN 3 lớp khả năng đào tạo hội tụ nhanh hơn và học sâu hơn ANN 2 lớp.

e/ Kết quả mô phỏng bởi ANN 02 lớp và 03 lớp và tính Tay cho cầu Ninh chữ sau:

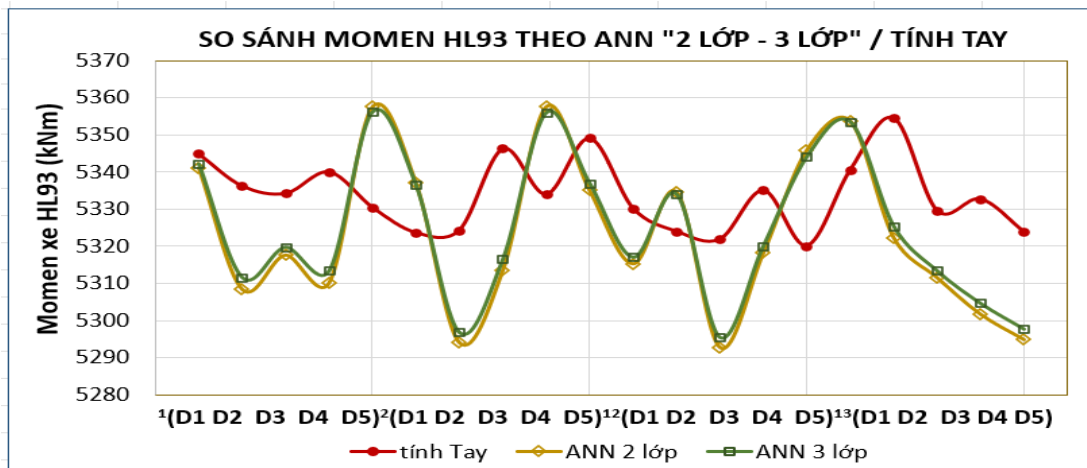
ANN (02 – 03) lớp tối ưu thu được sau đào tạo tại chương 3, dùng mô phỏng sức kháng, hiệu ứng tải trọng, và so sánh hiệu suất với phương pháp tính tay cho cầu [21]

Bảng 4. 30 Mô phỏng sức kháng- hiệu ứng tải theo ANN (02-03) lớp và tính tay cầu [21]

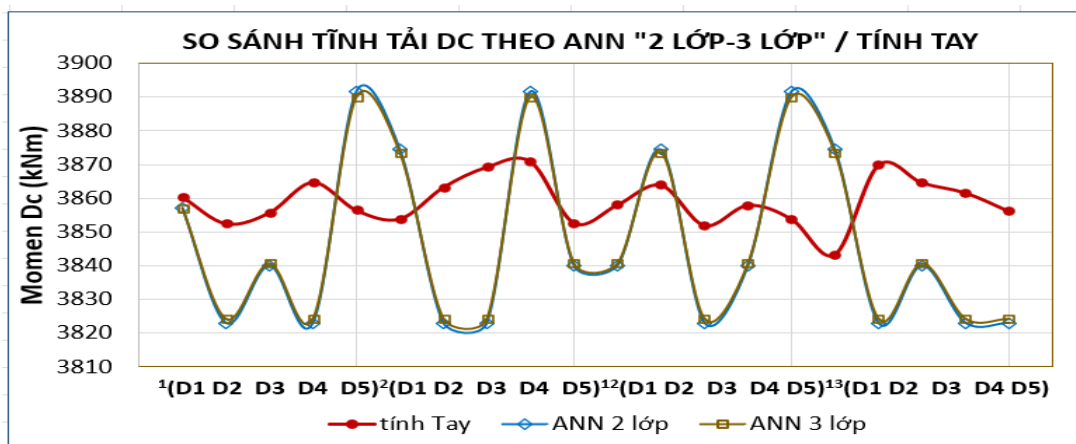
Nhịp dầm	tính Tay truyền thống				ANN 2layer				ANN 3layer			
	Sức kháng	T.tải DC	T.tải DW	H.tải HL93	Sức kháng	T.tải DC	T.tải DW	H.tải HL93	Sức kháng	T.tải DC	T.tải DW	H.tải HL93
N1-D1	17438	3860	814	5345	17439	3857	1036	5341	17439	3857	1036	5342
N1-D2	17415	3853	814	5336	17308	3823	1029	5308	17353	3824	1029	5312
N1-D3	17422	3856	814	5334	17370	3840	1032	5318	17392	3841	1032	5320
N1-D4	17416	3865	814	5340	17309	3823	1029	5310	17355	3824	1029	5313
N1-D5	17455	3856	814	5330	17554	3892	1043	5358	17507	3890	1043	5356
N2-D1	17412	3854	814	5324	17460	3874	1040	5337	17438	3873	1040	5337
N2-D2	17377	3863	814	5324	17273	3823	1029	5294	17316	3824	1029	5297
N2-D3	17388	3869	814	5346	17285	3823	1029	5314	17329	3824	1029	5317
N2-D4	17425	3871	814	5334	17523	3892	1043	5358	17480	3890	1043	5356
N2-D5	17406	3853	814	5349	17354	3840	1032	5335	17377	3841	1032	5337
N12-D1	17389	3858	814	5330	17336	3840	1032	5315	17358	3841	1032	5317
N12-D2	17404	3864	814	5324	17453	3874	1040	5335	17431	3873	1040	5334
N12-D3	17372	3852	814	5322	17268	3823	1029	5293	17310	3824	1029	5296
N12-D4	17389	3858	814	5335	17338	3840	1032	5318	17360	3841	1032	5320
N12-D5	17414	3854	814	5320	17510	3892	1043	5346	17467	3890	1043	5344
N13-D1	17431	3843	814	5341	17481	3874	1040	5354	17459	3873	1040	5353
N13-D2	17404	3870	814	5355	17300	3823	1029	5322	17345	3824	1029	5325
N13-D3	17399	3865	814	5330	17348	3840	1032	5312	17370	3841	1032	5313
N13-D4	17391	3862	814	5333	17286	3823	1029	5302	17330	3824	1029	5305
N13-D5	17388	3856	814	5324	17282	3823	1029	5295	17326	3824	1029	5298



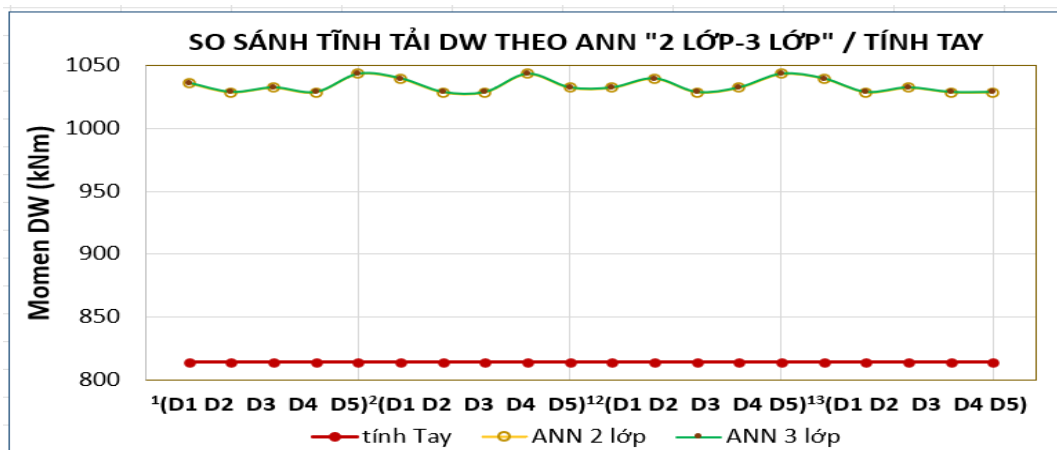
Hình 4. 20 Biểu đồ mô phỏng sức kháng theo ANN (02-03) lớp và tính tay cầu [21] .



Hình 4. 21 Mô phỏng momen hoạt tải HL-93 theo ANN (02-03) lớp và tính tay cầu [21] .



Hình 4. 22 Mô phỏng momen tĩnh tải DC theo ANN (02-03) lớp và tính tay cầu [21] .



Hình 4. 23 Mô phỏng momen tĩnh tải DW theo ANN (02-03) lớp và tính tay cầu [21] .

► Đại lượng sức kháng:

- Hàm đích phức tạp, tính phi tuyến cao, ước tính ẩn số của các tham số ~ 100. Hàm đích có bậc hàm ẩn cao > 2 và các ẩn tương tác nhau.
- Kiến trúc mạng có 5 đầu vào, kích thước 80.640 mẫu. Kết quả đào tạo từ hình 3.18 thấy:

+ ANN tối ưu: (5-21-1) 2 lớp và (5-15-15-1) 3 lớp.

+ Bậc tự do của mô hình:

$(5 \times 21 + 21 + 21 + 1) = 148$ (2 lớp) và $(5 \times 15 + 15 + 15 \times 15 + 15 + 15 + 1) = 346$ (3 lớp).

- Mô phỏng giá trị Sức kháng:

Trên biểu đồ hình 4.20, đường ANN 3 lớp gần đường tính tay hơn so với đường ANN 02 lớp. Chênh lệch giá trị mô phỏng của ANN (02 - 03) lớp ~ 50 kNm.

Đánh giá:

Từ mô phỏng ở hình 4.20, đường giá trị sức kháng ANN 03 lớp (xanh rêu) liền kề đường giá trị sức kháng tính Tay (đỏ) hơn so với đường giá trị sức kháng ANN 02 lớp (xanh mạ). Điều này cho thấy, mô hình ANN 03 lớp đã học sâu hơn, biểu thị tính phi tuyến, nắm bắt được các mối liên hệ phức tạp của các tham số cầu trong mẫu đào tạo nên khái quát hoá mô hình tốt hơn và mô phỏng có độ chính xác cao hơn ANN 02 lớp.

Vậy với hàm đích phức tạp và kích thước mẫu như trên (80.060 mẫu). Mô hình ANN 03 lớp có 05 đầu vào, số bậc tự do 346, thực sự phù hợp để học sâu và khả năng nhận dạng phi tuyến cao trong mô hình.

► Đại lượng tính tải DC, DW:

- Hàm đích không phức tạp, tính phi tuyến thấp, ước tính ẩn số của các tham số ~ 40 . Hàm đích có bậc hàm ẩn là 2 và các ẩn tương tác ít.

- Kiến trúc mạng có 03 đầu vào, kích thước 560 mẫu. Kết quả đào tạo từ hình 3.12 thấy:

+ ANN tối ưu:

2 lớp: DC (3-10-1) và DW (3-20-1) và 3 lớp: DC (3-8-8-1) và DW (3-12-12-1).

+ Bậc tự do của mô hình:

2 lớp: DC $(3 \times 10 + 10 + 10 + 1) = 51$ và DW $(3 \times 20 + 20 + 20 + 1) = 101$.

3 lớp: DC $(3 \times 8 + 8 \times 8 + 8 + 8 + 1) = 105$ và DW $(3 \times 12 + 12 \times 12 + 12 + 12 + 1) = 205$.

- Mô phỏng giá trị momen tĩnh tải:

Trên biểu đồ hình 4.22 và hình 4.23, đường ANN 03 lớp trùng đường ANN 02 lớp, theo tĩnh tải DW và sát nhau, theo tĩnh tải DC, có chênh lệch mô phỏng giá trị ~ 1 kNm.

Đánh giá:

Từ mô phỏng như hình (4.22, 4.23) chỉ rõ ANN 02 lớp đủ khả năng học để khái quát hoá mô hình và mô phỏng độ chính xác tương đồng với ANN 03 lớp.

Với hàm đích không phức tạp, phi tuyến không cao, kích thước mẫu đào tạo nhỏ (560 mẫu) thì cần mô hình ANN 02 lớp đơn giản cũng có khả năng khái quát hoá mô hình. Do

vậy, mô hình ANN 03 lớp tuy số lượng bậc tự do cao hơn nhưng hiệu suất mô phỏng cũng không hiệu quả hơn.

► Đại lượng Hoạt tải HL-93:

- Hàm đích phức tạp, tính phi tuyến cao, ước tính ẩn số của các tham số ~ 200. Hàm đích có bậc hàm ẩn cao >2 và các ẩn tương tác nhau nhiều.

- Kiến trúc mạng có 6 đầu vào, kích thước 242.060 mẫu. Kết quả đào tạo từ hình 3.14 thấy:

+ ANN tối ưu: (6-24-1)² lớp và (6-21-21-1)³ lớp,

+ Bậc tự do của mô hình: $(6 \times 24 + 24 + 24 + 1) = 193$ và $(6 \times 21 + 21 + 21 \times 21 + 21 + 21 + 1) = 631$

- Mô phỏng giá trị momen HL-93:

Trên biểu đồ hình 4.21, đường ANN 03 lớp gần đường tính tay hơn so với đường ANN 02 lớp, nhưng giá trị chênh lệch mô phỏng của ANN (02 - 03) lớp bé ~ 3 kNm.

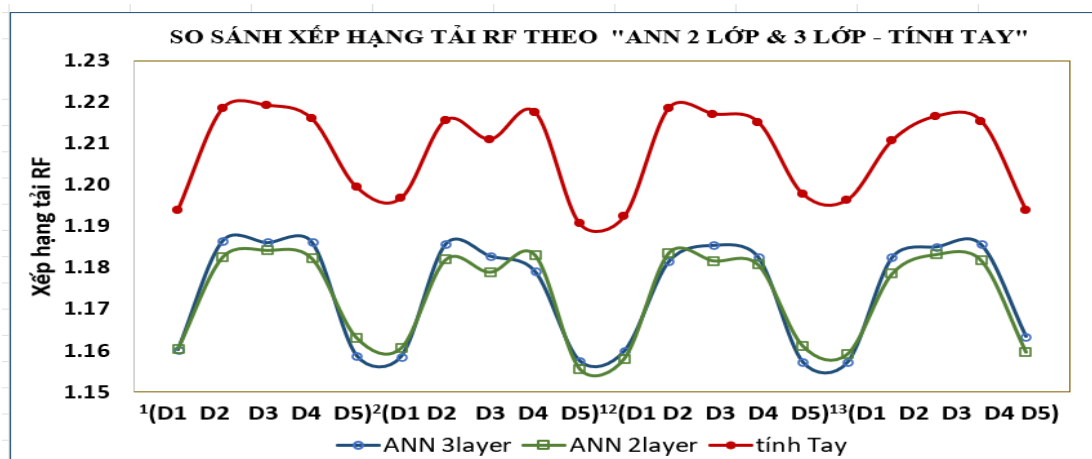
Đánh giá:

Kết quả mô phỏng ở hình 4.21 cho thấy, mô hình ANN 03 lớp có khái quát hoá nhưng thể hiện quan hệ phi tuyến không cao hơn và chênh lệch giá trị mô phỏng momen hoạt tải HL-93 là rất nhỏ.

Với đầu vào 06 tham số, kích thước mẫu đào tạo rất lớn (242.060 mẫu), ANN 02 lớp có số bậc tự do 193 thể hiện khả năng học sâu và khái quát tốt để mô phỏng đầu ra có độ chính xác cao gần như với ANN 03 lớp. Điều này cho thấy, với số lượng đầu vào khá đủ và kích thước mẫu huấn luyện lớn, một ANN 02 lớp sẽ đủ khả năng học sâu, nắm bắt được quan hệ phi tuyến và khái quát tốt cho mô hình mạng.

f/ So sánh xếp hạng tải RF cho cầu [21] theo ANN (02 – 03) lớp và tính tay

Các kết quả mô phỏng sức kháng và hiệu ứng tải từ các ANN (02 – 03) lớp và tính Tay theo bảng 4.30 được tính để xác định RF cầu [21] , và thể hiện bằng biểu đồ hình 4.24.



Hình 4. 24 Biểu đồ xếp hạng tải RF theo ANN (02-03) lớp và tính tay cầu [21] .

Biểu đồ ở hình 4.24 cho thấy ANN 03 và 02 lớp rất tương đồng chẩn đoán, độ chính xác mạng của ANN 03 lớp tốt hơn ANN 02 lớp nhưng không nhiều (tỷ lệ RF ~ 0.0035 %).

Giá trị RF tuy không được đào tạo trực tiếp bằng ANN. Nhưng thông qua các đại lượng sức kháng và hiệu ứng tải được mô phỏng, ANN 3 lớp đã thể hiện hiệu quả tốt trong học sâu, khái quát tốt hơn, cuối cùng xác định xếp hạng tải RF chính xác hơn ANN 02 lớp.

ĐÁNH GIÁ CHUNG:

Từ các kết quả được trình bày và phân tích trong các tiểu mục (a/, b/, c/, d/, e/) của mục 4.6 này, nhận định đưa đến kết luận sau:

- ANN có thể nắm bắt được tính chất phi tuyến phức tạp cao trong các mô hình như sức kháng và momen hoạt tải. Cụ thể, ANN 3 lớp với lợi thế nhiều hơn một lớp ẩn, dữ liệu mạng khi đào tạo sẽ được chuyển hoá hai lần khi kết hợp hàm kích hoạt sigmoid trong mỗi lớp ẩn. Ở lớp ẩn 1, dữ liệu vào tuyến tính sẽ chuyển thành phi tuyến qua hàm kích hoạt sigmoid 1. Ở lớp ẩn 2, dữ liệu vào phi tuyến sẽ chuyển thành phi tuyến cao hơn qua hàm kích hoạt sigmoid 2.

- Tốc độ hội tụ của ANN 3 lớp nhanh hơn ANN 2 lớp trong quá trình đào tạo mạng. Điều này thể hiện cụ thể ở các tham số mạng và tham số kỹ thuật đào tạo mạng như: số lượng nơ-ron trong lớp ẩn nhỏ hơn; số lượng vòng lặp sau đào tạo ít hơn (số liệu ở các tiểu mục b/, d/).

- Độ chính xác cho chẩn đoán đầu ra theo dữ liệu đào tạo mạng của ANN 3 lớp cao hơn ANN 2 lớp được thể hiện qua các giá trị hàm sai số mục tiêu tối ưu là nhỏ hơn như tiểu mục c/ trình bày.

- Kiểm chứng bằng mô phỏng giá trị thực tế cho cầu Ninh Chữ [21] theo tiểu mục e/ cho thấy ANN 3 lớp đã chẩn đoán giá trị sức kháng và momen hoạt tải được so sánh với phương pháp tính tay truyền thống, có sai số nhỏ hơn so với ANN 2 lớp. Với chẩn đoán giá trị momen tĩnh tải DC-DW, ANN 3 lớp có sai số tương đồng ANN 2 lớp.

Cuối cùng có thể kết luận cả hai ANN (02 – 03) lớp đều có khả năng chẩn đoán xếp hạng tải RF cầu dầm I DUL rất chính xác và hiệu quả. ANN 3 lớp với lợi thế về kiến trúc mạng (3 lớp so 2 lớp) khả năng hiệu quả cao hơn nữa trong đánh giá xếp hạng tải RF cầu dầm I DUL, là sự ưu việt của việc ứng dụng mô hình ANN trong luận án.

4.7 Thảo luận đánh giá phương pháp nghiên cứu luận án xếp hạng tải RF cầu dầm I

Phương pháp nghiên cứu của luận án được trình bày trong các mục của chương 3 và chương 4 đã được kiểm chứng xếp hạng tải cho hai cầu dầm I thực tế. Mục thảo luận đánh

giá phương pháp nghiên cứu luận án để thấy được những tồn tại hạn chế cũng như ảnh hưởng rõ nét hơn của việc *hình thành dữ liệu mẫu hệ thống, chọn tham số cầu đầu vào, xác định biên độ giá trị của dữ liệu, huấn luyện đào tạo dữ liệu mạng và đánh giá hiệu quả, khả năng mô phỏng dữ liệu thực tế ngoài mạng ...* Trên quan điểm góp ý khoa học và thực tiễn, các vấn đề cốt lõi của phương pháp nghiên cứu luận án được nhìn rõ, hiệu chỉnh bổ sung các yếu tố tích cực mang tính khoa học sẽ giúp phát huy hiệu quả hơn trong đánh giá cầu của phương pháp nghiên cứu trong tương lai.

i./ Hình thành dữ liệu mẫu hệ thống dầm I DUL theo TCVN 11823:2017

TỒN TẠI HẠN CHẾ:

- Hệ thống mẫu dữ liệu dầm I DUL của luận án chưa có dữ liệu mẫu từ thực nghiệm thử tải cầu. Bởi thực trạng đánh giá cầu ở Việt Nam mới được chú trọng gần đây nên dữ liệu thực nghiệm thu thập không nhiều và đồng bộ.
- Độ chính xác chẩn đoán của các ANN riêng biệt (sức kháng và hiệu ứng tải) phụ thuộc độ chính xác của công thức TCVN 11823:2017.
- Công trình cầu được thiết kế theo tiêu chuẩn khác với tiêu chuẩn TCVN 11823:2017 sẽ không được đánh giá chính xác bằng nghiên cứu này. Cần điều chỉnh tương đồng giữa hai tiêu chuẩn bằng một hệ số nhất định sau khi mô phỏng ANN các đại lượng sức kháng và hiệu ứng tải.

SỬA ĐỔI DỮ LIỆU MẪU HỆ THỐNG:

- Dữ liệu thực nghiệm từ kiểm định cầu sẽ được thu thập để bổ sung vào bộ dữ liệu mẫu hệ thống dầm khi phương pháp nghiên cứu luận án được áp dụng cho công tác quản lý cầu.
- Trường hợp hai cầu dầm Ninh Chữ và Đại Đồng sau khi kiểm chứng, dữ liệu đầu vào và kết quả mô phỏng sẽ được bổ sung vào hệ thống dữ liệu mẫu dầm I DUL của luận án.

ii./ Tham số cầu đầu vào cho bộ dữ liệu mẫu hệ thống dầm I

Cơ sở đầu tiên và quyết định cho việc xây dựng một ANN. Là những thông tin “cần” để mạng học, nắm bắt tính phi tuyến, tìm hiểu quy luật mô hình toán sự vật, khái quát hoá mô hình mạng để mô phỏng mục tiêu có độ chính xác.

► Ví dụ cụ thể cho sức kháng:

- Công thức tiêu chuẩn: $M_n = A_{ps} f_{ps} \left(d_p - \frac{a}{2} \right) + 0.85 f'_c (b - b_w) \beta_1 h_f \left(\frac{a}{2} - \frac{h_f}{2} \right)$

- ANN không là một bản chất vật lý nhưng chẩn đoán như là một xấp xỉ hàm. Với phép ánh xạ hoàn toàn theo công thức tiêu chuẩn, thì hàm ẩn $f(xi)$ được giả định như sau:

$$M_n = f[f'_d, f'_{c.BMC}, f_{ps}, b, b_w, h_d, h_f, d_p, A_{ps}, a, L]$$

- Phương pháp nghiên cứu luận án chọn:

$$M_n = f[h_d, h_f, f'_d, f'_{c.BMC}, b]$$

(chiều cao dầm (h_d); chiều dày bmc (h_f); f'_c bmc; f'_c dầm; khoảng cách dầm (b))

PHÙ HỢP:

- Tham số cầu đầu vào được luận án lựa chọn phù hợp hoàn toàn với công thức tiêu chuẩn của sức kháng và độc lập nhau, dễ dàng xác định trong quá trình đo đạc thử tải cầu.
- Các tham số cầu không được chọn (trừ bề rộng sườn dầm I, b_w) phụ thuộc vào tham số chiều cao dầm (h_d), không phù hợp để tính toán đại lượng đầu ra cho thiết lập hệ thống dữ liệu mẫu dầm.
- (h_d ; h_f ; b) là những tham số hình học chính và các tham số hình học phụ khác, sẽ đại diện cho sự biến đổi về tiết diện của kết cấu thực tế (sai lệch thi công hoặc khiếm khuyết).
- (f'_c bản mặt cầu; f'_c dầm) là những tham số cơ lý vật liệu, sẽ đại diện cho sự biến đổi về cường độ của kết cấu (sai lệch thi công hoặc suy giảm cường độ theo thời gian hoặc do môi trường tác động).

TỒN TẠI HẠN CHẾ:

- Không thể hiện hết bản chất vật lý thực của sức kháng trong ANN. Nhiều tham số mang tính chất vật lý rõ nét trong công thức của sức kháng nhưng không chọn làm tham số đầu vào, như:

Cường độ chịu kéo cấp DUL (f_{ps});

Diện tích cấp DUL (A_{ps});

Bề rộng sườn dầm I (b_w);

Chiều cao ngẫu lực momen uốn (d_p);

Chiều cao khối ứng ứng chịu nén của bê tông dầm (a) ...

→ vì vậy khó biểu thị hết các đặc tính của sức kháng như: nứt bê tông, biến dạng ... nếu xét về lĩnh vực cơ học.

- Điều kiện biên (độ cứng liên kết gối) cũng là thông số ảnh hưởng hiệu ứng hoạt tải (nhất là tần số rung) không là tham số đầu vào.

→ tham số này tuy không trực tiếp ảnh hưởng đến sức kháng nhưng trực tiếp tác động đến momen hoạt tải vì mô hình kết cấu thay đổi, vì vậy hệ số RF sẽ bị ảnh hưởng.

- Tham số cầu đầu vào ít, mạng sẽ ít có thông tin học:

+ Khả năng khái quát hoá không cao, hội tụ khó đạt cực tiểu toàn cầu.

+ Mạng khó học sâu được quan hệ phi tuyến giữa các tham số, độ chính xác của mô phỏng kém.

► Trường hợp cho momen hoạt tải, xem xét tương tự như sức kháng

iii./ Biên độ giá trị tham số cầu đầu vào cho bộ dữ liệu mẫu hệ thống dầm

Biên độ giá trị của các tham số cầu đầu vào được thiết lập nhằm tạo nên số lượng mẫu cho hệ thống mẫu dữ liệu dầm I, cơ sở hình thành nên sự khái quát hoá của mô hình và độ chính xác mô phỏng chẩn đoán của ANN.

Đảm bảo khả năng bao phủ để cần đánh giá xếp hạng cho tất cả tiết diện dầm trong thực tế từ mô hình ANN được xây dựng, theo bảng 3.1.

PHÙ HỢP:

- Với giá trị dữ liệu hệ thống mẫu khả năng bao phủ lớn, ANN sẽ ít đánh giá khả năng "ngoại suy" (dữ liệu đánh giá nằm ngoài giá trị khung dữ liệu hệ thống mẫu) và đánh giá khả năng "nội suy" chính xác hơn.

Theo trên là ưu điểm cho thực tế đánh giá cầu. Nhưng với luận án, góc độ nghiên cứu, phương pháp nghiên cứu sẽ có tài nguyên dữ liệu lớn, khó khăn vận hành máy tính trong đào tạo ANN. Việc này thực sự phù hợp khi phương pháp nghiên cứu được áp dụng cho công tác quản lý cầu.

TỒN TẠI HẠN CHẾ:

- Khung giá trị của các tham số đầu vào với bước số còn rộng, tham số hình học là 1cm, cường độ bê tông là 2 MPa. Thực tế trong kiểm định, sai số đo hình học trong tiết diện dầm là 1mm và cường độ bê tông là 0,1Mpa.

→ Điều này làm mạng sẽ mô phỏng chẩn đoán "nội suy" có sai số nhiều hơn.

- Độ bao phủ của khung giá trị tham số cầu vẫn còn thiếu so công trình cầu thực tế.

Đa phần cầu thực tế có chiều dày bản mặt cầu < max 25cm. Hoặc chiều dày bản mặt cầu là 16cm < (18-25) cm; khoảng cách dầm là 160cm < (185-250)cm. Hoặc $f'c$ của kết cấu trong thực tế chế tạo thi công có sai số so thiết kế rất lớn (5-10)%.

→ Trường hợp này mạng sẽ mô phỏng chẩn đoán qua "ngoại suy", khả năng sai số lớn nếu tính khái quát hoá không cao.

iv./ Đào tạo ANN cho xếp hạng tải RF cầu và đánh giá hiệu quả

Luận án đã trình bày hoàn tất việc đào tạo mô hình ANN 2 lớp và 3 lớp cho dữ liệu mẫu hệ thống dầm I DUL, thu được ANN tối ưu riêng biệt về sức kháng và hiệu ứng tải để xếp hạng tải RF cầu. Kết quả của mạng sau đào tạo:

PHÙ HỢP:

- Đồng loạt, nhanh trong vài giây mô phỏng chẩn đoán cho dữ liệu mẫu ngoài mạng (tests): 16.128 mẫu của sức kháng và 48.412 mẫu của momen hoạt tải.
- Độ chính xác mô phỏng dữ liệu ngoài mạng (tests) được so sánh với thuật toán hồi quy đa biến, tỷ lệ ANN/hồi quy: 1/299 theo sức kháng, 1/(1642; 2676) theo tĩnh tải và 1/(596 – 893) theo hoạt tải.
 - ANN có độ chính xác vượt trội so với hồi quy đa biến.

TỒN TẠI HẠN CHẾ:

- Chưa được so sánh với các mô hình học máy khác như bảng 1.2 chương Tổng quan các phương pháp nghiên cứu xếp hạng tải cầu trên thế giới giới thiệu.

Nguyên do: đề tài luận án được có ý tưởng vào các năm (2018 đến 2020), tại thời điểm này các mô hình học máy khác chưa phát triển mạnh.

- ANN là “hộp đen” (black box) sẽ không cho giải thích rõ kết quả đầu ra từ giá trị đầu vào. Và chưa được tiêu chuẩn hóa.

- Độ tin cậy và an toàn của ANN phụ thuộc hoàn toàn vào sự chính xác của dữ liệu mẫu đào tạo (ít hoặc không nhiều) và quá trình huấn luyện mạng để đạt cực tiểu mong muốn.

v./ Khả năng mô phỏng dữ liệu thực tế ngoài mạng huấn luyện đào tạo

Luận án đã trình bày kiểm chứng xếp hạng tải cho hai cầu dầm I thực tế (Ninh Chũ và Đại Đồng), đã so sánh với các phương pháp truyền thống (lý thuyết, phân tử hữu hạn, hồi quy). Nhận định đánh giá sự mô phỏng này của phương pháp nghiên cứu sau:

PHÙ HỢP:

- Đánh giá cầu thực tế hoàn thành bằng mô phỏng chẩn đoán cho các dữ liệu mẫu ngoài mạng có giá trị “nội suy” và “ngoại suy”.
- Độ chính xác của phương pháp nghiên cứu so với các phương pháp truyền thống khác là nhỏ hơn 3,5%.

THẢO LUẬN THÊM VỀ TỒN TẠI:

- Suy giảm khả năng chịu lực hoặc biến đổi mô hình kết cấu theo thời gian (kể cả sai phạm trong thi công) của cầu, sẽ tạo nên các tham số cầu có giá trị đột biến khó xác định, sẽ có hoặc không có trong phổ giá trị mẫu hệ thống đào tạo.

Ví dụ, dữ liệu mẫu thuộc cầu thực tế (Ninh Chũ) có giá trị tham số như bảng dưới là:

Nhịp dầm	Số làn tải	Cao dầm	Dày bản mc	Dày lớp phủ	f'c bản mc	f'c dầm	Cự ly dầm
	Số liệu tham số Thực đo hiện trường						
N1-D1	2	165.0	200	70	37.05	43.60	240
N1-D2	2	164.8	200	70	37.05	44.40	240
N1-D3	2	164.9	200	70	37.05	45.20	240
N1-D4	2	164.8	200	70	37.05	44.10	240
N1-D5	2	165.2	200	70	37.05	45.60	240

Hoặc dữ liệu mẫu thuộc cầu thực tế (Đại Đồng) có giá trị tham số như bảng dưới là:

Nhịp N1	Số làn tải	Cao dầm	Dày bản mc	Dày lớp phủ	f'c bản mc	f'c dầm	Cự ly dầm
	Số liệu tham số Thực đo hiện trường						
Đo f'c	2	165.0	200	70	35.88	56.28	240
Tần số đo	2	165.0	200	70	43.07	67.56	240

Theo như các bảng trên minh chứng, các tham số giá trị số lẻ là không thuộc dữ liệu hệ thống mẫu đào tạo (“nội suy” hoặc “ngoại suy”).

Các giá trị theo bảng như: 165,2cm > (110-165)cm ; (37,05 và 43,07)MPa > (25-36)MPa ; (56,28 và 67,56)Mpa > (33-56)MPa theo nghĩa bóng là “ngoại suy” đều là những giá trị nằm ngoài biên độ giá trị hệ thống dữ liệu mẫu đào tạo mạng.

→ mạng đã chẩn đoán hoàn thành đầu ra bằng sự khái quát hoá của mô hình.

► Trường hợp kết cấu xuất hiện các dạng hư hỏng cục bộ phức tạp hoặc các kích bản tổ hợp tải trọng bất lợi mà chưa được đưa vào tập mẫu huấn luyện ban đầu, có thể ứng dụng linh hoạt tùy các trường hợp sau:

■ Khiếm khuyết về hình học:

Hiện tượng này sẽ làm momen quán tính toàn cầu giảm và thử tải tĩnh sẽ có độ võng lớn hơn. $f'c$ xác định theo ứng dụng 1 và (2 hoặc 3) sẽ không tương đồng, lệch nhau rõ. Khó xác định tần số cho trường hợp này.

. Tại mặt cắt L/2: đo kích thước hình học, tính momen quán tính mặt cắt L/2, đo độ võng bằng thử tải tĩnh.

→ sử dụng ứng dụng ANN 2 để xác định tham số cầu đầu vào và xếp hạng.

. Không tại mặt cắt L/2: thực hiện như tại mặt cắt L/2 và nơi khiếm khuyết. Đánh giá ảnh hưởng sự khiếm khuyết đến độ võng và momen quán tính toàn cầu theo giải tích.

→ sử dụng ứng dụng ANN 2 để xác định tham số cầu đầu vào và xếp hạng.

■ Suy giảm về cường độ kết cấu:

. Suy giảm lực căng cáp (ăn mòn hoặc tụt neo ...): hiện tượng này không suy giảm $f'c$ kết cấu (kiểm tra bằng súng bật nảy), kiểm tra độ võng tăng lên thấy rõ, nghĩa là làm

momen uốn giảm (sức kháng giảm). $f'c$ xác định theo ứng dụng 1 và (2 hoặc 3) sẽ không tương đồng, lệch nhau rõ.

→ Sử dụng ứng dụng ANN (2 hoặc 3) để xác định tham số cầu đầu vào và xếp hạng tải theo đó đều khả dụng.

. Suy giảm cường độ do từ biến hoặc môi trường tác động: hiện tượng này làm suy giảm $f'c$ kết cấu (kiểm tra bằng súng bật nảy), kiểm tra độ võng tăng lên thấy rõ. $f'c$ xác định theo ứng dụng 1 và (2 hoặc 3) sẽ tương đồng nhau.

→ Sử dụng các ứng dụng ANN (1, hoặc 2 hoặc 3) để xác định tham số cầu đầu vào và xếp hạng tải theo đó đều khả dụng.

- Thay đổi về điều kiện biên:

Là những hiện tượng mà *độ cứng gối đỡ, liên kết đầu dầm* (ngàm cứng một phần hay toàn bộ liên kết) thay đổi. Ở đây, hình học tiết diện dầm và cơ lý vật liệu không ảnh hưởng, momen hoạt tải sẽ biến đổi lớn nên xếp hạng tải RF thay đổi.

Trường hợp này, không có dữ liệu đầu vào để ứng dụng phương pháp nghiên cứu của luận án. Để giải quyết vấn đề này cần phải xây dựng bổ sung thêm dữ liệu hệ thống mẫu dầm theo những tham số cầu cho vấn đề này.

- Thay đổi tổ hợp tải trọng bất lợi:

Ở đây sẽ có hai vấn đề thảo luận, phương pháp nghiên cứu xếp hạng tải RF cho cầu dầm BTCT theo TCVN 12882:2020 và xe cấp phép 3 trục. Vì vậy, với các loại xe tải khác để đánh giá cầu cần phải có sự bổ sung và điều chỉnh trong dữ liệu hệ thống mẫu dầm.

. Xe tải không theo TCVN12882:2020:

Xây dựng dữ liệu hệ thống mẫu dầm theo tải trọng trục xe và momen hoạt tải cho xe tải này và bổ sung vào dữ liệu hệ thống mẫu. Đánh giá cầu bằng phương pháp nghiên cứu luận án với dữ liệu hệ thống mẫu dầm bổ sung cho loại xe tải mới này.

. Xe tải như TCVN 12882:2020 và xe cấp phép 3 trục nhưng tải trọng trục khác nhau, bất lợi hơn:

Đánh giá cầu với dữ liệu hệ thống mẫu dầm theo TCVN 12882:2020 và xe cấp phép 3 trục bằng phương pháp nghiên cứu luận án. Điều chỉnh chênh lệch là tỷ số giữa tổng tải trọng của xe tải thực và xe tải theo TCVN 12882:2020 thành một hệ số. Hệ số này sau đó điều chỉnh vào các giá trị mô phỏng của ANN riêng biệt.

Kết luận Chương 4

Chương này đã sử dụng ANN trở thành một phương pháp mới để đánh giá xếp hạng tải RF cho cầu dầm I DUL.

Phương pháp nghiên cứu Luận án có thể ứng dụng tốt cho đánh giá xếp hạng tải các cầu dầm I DUL trong thực tế, cụ thể đánh giá xếp hạng tải nhịp N_1 , N_2 , N_{12} , N_{13} cầu Ninh Chữ [21] và nhịp N_1 cầu Đại Đồng [7]. Kết quả xếp hạng tải RF của các ứng dụng ANN có độ chính xác tốt và hơn phương pháp hồi quy đa biến được lập từ bộ mẫu huấn luyện ANN. So sánh ứng dụng ANN với phương pháp tính toán truyền thống có kết quả sai số $(2,62 \div 3,15)\%$ và $(2,90 \div 2,94)\%$; với phương pháp phần tử hữu hạn có kết quả sai số $(2,92 \div 3,50)\%$ và $(3,21 \div 3,27)\%$. Tỷ lệ sai số RF tương đồng theo các phương pháp tính và đều nhỏ hơn 3,5%, có thể nói ANN đã đánh giá xếp hạng cầu dầm I có trong thực tiễn rất chính xác.

Hiệu quả của phương pháp nghiên cứu luận án trong đánh giá xếp hạng tải các cầu khi được kết hợp với một hoặc cả hai công tác thử tải cầu sẽ nâng cao độ chính xác: đo độ võng ngang toàn nhịp cầu (chỉ cần đo độ võng) hoặc, và đo tần số riêng dao động nhịp cầu. Với cầu dầm I DUL liên hợp thất lạc hồ sơ, kết hợp dữ liệu đo thử tĩnh hoặc thử động với mô hình thực tế của cầu và xác định momen quán tính tại $L/2$ toàn kết cấu nhịp theo tất cả các kết cấu vật liệu thực tồn tại trong mặt cắt ngang của nó cũng như các kết cấu vật liệu này có kích thước hình học và trọng lượng cùng tham gia vào dao động riêng của nhịp cầu. ANN hoàn toàn đánh giá chính xác hệ số xếp hạng tải (RF) cho cầu.

Chương 4 cũng cho thấy hiệu quả của ANN trong việc phân tích độ nhạy các biến tham số cầu dầm I DUL liên hợp có ảnh hưởng tối ưu trong xác định hệ số xếp hạng tải (RF) cầu dầm I DUL được chính xác và rõ nét. Luận án đang xét độ nhạy cho ba trường hợp tổng quát về sự thay đổi hai nhóm tham số cầu chính là “tham hình học cố định – tham số cơ lý vật liệu thay đổi” - “tham hình học thay đổi – tham số cơ lý vật liệu cố định” - “tham hình học và tham số cơ lý vật liệu đều thay đổi”. Kết quả phân tích thấy rõ khả năng chịu tải của cầu bị ảnh hưởng lớn nhất bởi tham số “chiều cao dầm”, khoảng (54-56/100) và kế tiếp là “khoảng cách dầm” khoảng (42-43/100). Khi đó tham số “ f^c bản mặt cầu và f^c dầm” hầu như không có mức ảnh hưởng, khoảng (1/100). Trường hợp khi đã chọn xong kích thước dầm I liên hợp thì “ f^c bản mặt cầu” có ảnh hưởng lớn hơn “ f^c dầm” trong khả năng chịu tải của cầu.

Một so sánh về hiệu quả học sâu trong đào tạo mạng nơ-ron nhân tạo 02 và 03 lớp được

phân tích tường minh cho khả năng học tổ hợp phi tuyến trong đào tạo mạng để mô phỏng chẩn đoán chính xác đầu ra của phương pháp nghiên cứu luận án. Kết quả cũng cho thấy ANN 3 lớp có khả năng đào tạo hiệu quả sâu hơn ANN 2 lớp nhờ kiến trúc mạng tinh vi sâu rộng hơn.

Xếp hạng tải các cầu theo phương pháp nghiên cứu luận án kết hợp sử dụng kết quả thử tải chẩn đoán sẽ ít tổn kém chi phí và giảm thiểu rủi ro hơn so với các phương pháp xếp hạng tải khác.

5. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

5.1 KẾT LUẬN

- Luận án đã xây dựng được hệ thống cơ sở dữ liệu mẫu phong phú cho cầu dầm I căng sau liên hợp, bao gồm các thông số hình học, cơ lý vật liệu, sức kháng kết cấu và hiệu ứng tải trọng theo các tiêu chuẩn TCVN 11823:2017, TCVN 12882:2020 và MBE (Hoa Kỳ). Bộ dữ liệu này được sử dụng để huấn luyện, kiểm tra và đánh giá mô hình mạng nơ-ron nhân tạo, tạo nền tảng khoa học cho việc ứng dụng trí tuệ nhân tạo trong lĩnh vực đánh giá khả năng chịu tải cầu ở Việt Nam.

- Luận án đã thiết lập và tối ưu hóa thành công các mô hình mạng nơ-ron nhân tạo 02 lớp và 03 lớp nhằm dự đoán sức kháng và hiệu ứng tải trọng của cầu dầm I. Kết quả huấn luyện cho thấy:

+ Sai số dự báo đối với moment tĩnh tải DC và DW đạt khoảng $(0,0040 \div 0,0060)\%$ đối với tập kiểm tra (Test);

+ Sai số dự báo sức kháng kết cấu của mô hình ANN 03 lớp đạt khoảng $0,0108\%$ nhỏ hơn đáng kể so với mô hình ANN 02 lớp (khoảng $0,0206\%$);

+ Sai số dự báo moment hoạt tải HL-93 của mô hình ANN 03 lớp đạt khoảng $0,0021\%$, thấp hơn so với mô hình ANN 02 lớp (khoảng $0,0095\%$).

Các kết quả này chứng tỏ mô hình ANN được xây dựng có độ chính xác cao và khả năng khái quát hóa tốt đối với dữ liệu ngoài tập huấn luyện.

- Luận án đã chứng minh được hiệu quả của phương pháp ANN trong đánh giá hệ số xếp hạng tải trọng (RF) thông qua việc so sánh với các phương pháp truyền thống. Kết quả cho thấy:

+ Sai số RF khi so sánh với phương pháp tính toán truyền thống dao động trong khoảng $2,62\% \div 3,15\%$;

+ Sai số RF khi so sánh với phương pháp phần tử hữu hạn dao động trong khoảng $2,92\% \div 3,50\%$;

+ Sai số RF giữa các phương pháp đều nhỏ hơn $3,5\%$.

Điều này cho thấy phương pháp ANN cho kết quả tương đương với các phương pháp phân tích truyền thống, đồng thời có ưu thế về tốc độ tính toán và khả năng xử lý dữ liệu lớn.

- Đã làm rõ mối quan hệ định lượng giữa các tham số kết cấu (mô đun đàn hồi, mô men quán tính, chiều cao dầm, độ cứng liên hợp), tham số tải trọng và kết quả xếp hạng tải trọng

thông qua phân tích độ nhảy Monte Carlo - Saltelli. Kết quả phân tích đã xác định được các tham số ảnh hưởng chủ yếu đến RF, qua đó góp phần nâng cao cơ sở khoa học cho việc lựa chọn thông số đầu vào trong mô hình đánh giá cầu.

- Đã đề xuất được một quy trình đánh giá xếp hạng tải trọng cầu dầm I DUL căng sau liên hợp dựa trên ANN phù hợp với hệ thống tiêu chuẩn hiện hành của Việt Nam và quốc tế. Quy trình này cho phép tích hợp dữ liệu đo đạc thực tế (độ võng, tần số dao động) với mô hình trí tuệ nhân tạo, góp phần nâng cao độ tin cậy của kết quả đánh giá trong điều kiện khai thác thực tế.

- Kết quả nghiên cứu của luận án đã được kiểm chứng thông qua hai ví dụ thực tế tại các cầu NC, ĐĐ. Kết quả xếp hạng tải trọng thu được từ mô hình ANN phù hợp với kết quả thử tải của đơn vị tư vấn thực hiện và kết quả phân tích bằng phần tử hữu hạn, khẳng định tính ổn định và độ tin cậy của phương pháp đề xuất.

Từ các kết quả trên có thể khẳng định rằng, luận án đã đóng góp những kết quả mới có giá trị khoa học trong việc ứng dụng trí tuệ nhân tạo vào đánh giá khả năng chịu tải cầu, góp phần phát triển hướng nghiên cứu kết hợp giữa cơ học kết cấu, tiêu chuẩn thiết kế và khoa học dữ liệu trong lĩnh vực công trình giao thông.

5.2 KIẾN NGHỊ

Luận án mới nghiên cứu trong phạm vi cầu dầm I DUL liên hợp. Thông qua phương pháp thực hiện như đã trình bày trong luận án, phương pháp nghiên cứu của luận án có khả năng áp dụng cho các dạng kết cấu nhịp, dạng cầu khác khi có đủ hệ thống cơ sở dữ liệu mẫu được xây dựng theo dạng kết cấu nhịp và dạng cầu đó.

HƯỚNG CÁC NGHIÊN CỨU TIẾP THEO

- Xây dựng hoàn chỉnh một phương pháp đánh giá xếp hạng tải cho cầu bằng chương trình liên kết Ứng dụng ANN kết hợp thử tải cầu nhanh gọn, ít chi phí.
- Phát triển sâu rộng hơn khả năng của mô hình ANN trong việc xử lý các sai khác, hư hỏng, hoặc các yếu tố bất thường trong thực tế thi công cầu mà dữ liệu mẫu chưa có.
- Mở rộng nghiên cứu đánh giá xếp hạng tải cho các dạng cầu khác đang tồn tại thực tế Việt Nam.

PHỤ LỤC

Các PHỤ LỤC của Luận án cũng chỉ được trình bày thông tin điển hình bởi hạn chế số trang in ấn. Để xem nhiều thông tin của PHỤ LỤC hơn, NCS sẽ gửi các đường Link dưới đây để tiện theo dõi

Đường Link liên kết với PHỤ LỤC để xem trực tiếp trên mạng

<https://docs.google.com/document/d/14wgrWzpLixW6Goeu2S32TDKYdx6qmcNI/edit?tab=t.0>

Đường Link liên kết với PHỤ LỤC để tải PHỤ LỤC dưới dạng PDF

<https://docs.google.com/document/d/14wgrWzpLixW6Goeu2S32TDKYdx6qmcNI/export?format=pdf>

PHỤ LỤC 1

1/ Bảng tính đặc trưng hình học của hệ dầm I DUL

Bảng Đặc trưng hình học của hệ dầm I18 DUL trước và sau liên hợp mặt cầu

Dầm I18	L (cm)	Hg	Các thông số hình học bê tông dầm I18 DUL						Kích thước dầm cơ bản			Kích thước dầm		
			b & n	Ag	a	Si	Ygb	Ygb-a	$A_i*(Ygb-a)^2$	$bh^3/12$	Ig	Rộng	Cao	
Khối	Tiết diện	(cm)	(cm)	(cm ²)	(cm)	(cm ³)	(cm)	(cm)	(cm ⁴)	(cm ⁴)	(cm ⁴)	b(cm)	hsl	
K1	Gờ đỉnh	8	60	480	106	50880			50.0	1197877	2560		185	18
K2	Gờ trên	12	80	960	96	92160			40.0	1532604	11520		190	19
K3	Vút trên	11	30	330	86.3	28490			30.3	302752	3328		200	20
K4	Sườn	65	20	1300	57.5	74750			1.5	2755	457708		205	21
K5	Vút dưới	20	20	400	31.7	12667			24.4	237707	13333		210	22
K6	Bầu dưới	25	60	1500	12.5	18750			43.5	2844152	78125		215	23
cáp DUL	4*7*0.987*(Ep/Ec)		5.207	143.9	11.375	1637			44.7	287130	177		220	24
K8	Trừ lỗ cáp	4*3.14*3.6 ²		-162.8	11.375	-1852			44.7	-324797	-659		225	25
				4951		277482	56.04			6080180	566092	6646271	230	has
Các thông số hình học bê tông dầm I18 DUL sau liên hợp														
b	hsl	n	Asl	hsl/2+Ygt	Ssl	Ag	Ac	Dgsl	Ycb	Yct			235	5
(cm)	(cm)		(cm ²)	(cm)	(cm ³)	(cm ²)	(cm ²)	(cm)	(cm)	(cm)			240	6
250	25	0.802	5011	66.46	333020	4951	9962	33.4	89.5	45.5			245	7
Isl	Ig	I'sl	I'g	Ic									250	8
(cm ⁴)	(cm ⁴)	(cm ⁴)	(cm ⁴)	(cm ⁴)										9
260997	6646271	5466296	5532567	17906132		A _{sp} bó	6.909	6.909	6.909	6.909	0		27.636	10
						Sg	138.18	58.7265	58.7265	58.727	0		314.36	11
Các thông số hình học cáp DUL dầm I18 nguyên									Trọng tâm (cáp-dây dầm), L/2		a _{pg}	11.375	12	
Cáp số	1	2	3	4	5	Trọng tâm (cáp-dầm nguyên), L/2				e _{pg} = Ygb - a _{pg}	44.67			
Tọađộcap	20	8.5	8.5	8.5	0	Trọng tâm (cáp-dầm liên hợp), L/2				e _{pc} = Ycb - a _{pg}	78.10			

Bảng Đặc trưng hình học của hệ dầm I21 DUL trước và sau liên hợp mặt cầu

Dầm I21	L (cm)	Hg	Các thông số hình học bê tông dầm I21 DUL						Kích thước dầm cơ bản			Kích thước dầm		
			b & n	Ag	a	Si	Ygb	Ygb-a	$A_i*(Ygb-a)^2$	$bh^3/12$	Ig	Rộng	Cao	
Khối	Tiết diện	(cm)	(cm)	(cm ²)	(cm)	(cm ³)	(cm)	(cm)	(cm ⁴)	(cm ⁴)	(cm ⁴)	b(cm)	hsl	
K1	Gờ đỉnh	8	60	480	116	55680			55.4	1473054	2560		185	18
K2	Gờ trên	12	80	960	106	101760			45.4	1978480	11520		190	19
K3	Vút trên	11	30	330	96.3	31790			35.7	421304	3328		200	20
K4	Sườn	75	20	1500	62.5	93750			1.9	5400	703125		205	21
K5	Vút dưới	20	20	400	31.7	12667			28.9	334917	13333		210	22
K6	Bầu dưới	25	60	1500	12.5	18750			48.1	3470802	78125		215	23
cáp DUL	4*9*0.987*(Ep/Ec)		5.207	185.0	12	2220			48.6	437046	177		220	24
K8	Trừ lỗ cáp	4*3.14*3.6 ²		-162.8	12	-1953			48.6	-384517	-659		225	25
				5192		314664	60.60			7736486	811508	8547995	230	has
Các thông số hình học bê tông dầm I21 DUL sau liên hợp														
b	hsl	n	Asl	hsl/2+Ygt	Ssl	Ag	Ac	Dgsl	Ycb	Yct			235	5
(cm)	(cm)		(cm ²)	(cm)	(cm ³)	(cm ²)	(cm ²)	(cm)	(cm)	(cm)			240	6
250	25	0.802	5011	71.90	360288	5192	10203	35.3	95.9	49.1			245	7
Isl	Ig	I'sl	I'g	Ic									250	8
(cm ⁴)	(cm ⁴)	(cm ⁴)	(cm ⁴)	(cm ⁴)										9
260997	8547995	6707846	6473897	21990735		A _{sp} bó	8.883	8.883	8.883	8.883	0		35.532	10
						Sg	186.543	79.947	79.947	79.947	0		426.384	11
Các thông số hình học cáp DUL dầm I21 nguyên									Trọng tâm (cáp-dây dầm), L/2		a _{pg}	12	12	
Cáp số	1	2	3	4	5	Trọng tâm (cáp-dầm nguyên), L/2				e _{pg} = Ygb - a _{pg}	48.60			
Tọađộcap	21	9	9	9	0	Trọng tâm (cáp-dầm liên hợp), L/2				e _{pc} = Ycb - a _{pg}	83.91			

Bảng Đặc trưng hình học của hệ dầm I24.5 DUL trước và sau liên hợp mặt cầu

Dầm I24.5	L (cm)	Hg	Các thông số hình học bê tông dầm I 24.5 DUL							Kích thước dầm cơ bản			Kích thước dầm	
	2374	145	b & n	Ag	a	Si	Ygb	Ygb-a	$A_i*(Ygb-a)^2$	$bh^3/12$	Ig	Rộng	Cao	
Khối	Tiết diện	(cm)	(cm)	(cm ²)	(cm)	(cm ³)	(cm)	(cm)	(cm ⁴)	(cm ⁴)	(cm ⁴)	b(cm)	hsl	
K1	Gờ đỉnh	8	60	480	141	67680		68.4	2247382	2560		185	18	
K2	Gờ trên	12	80	960	131	125760		58.4	3276995	11520		190	19	
K3	Vút trên	11	30	330	121.3	40040		48.8	784549	3328		200	20	
K4	Sườn	100	20	2000	75	150000		2.4	11766	1666667		205	21	
K5	Vút dưới	20	20	400	31.7	12667		40.9	669381	13333		210	22	
K6	Bầu dưới	25	60	1500	12.5	18750		60.1	5413422	78125		215	23	
cáp DUL	$5*9*0.987*(E_p/E_c)$		5.207	231.3	16.2	3747		56.4	734991	177		220	24	
K8	Trừ lỗ cáp	$5*3.14*3.6^2$		-171.0	16.2	-2770		56.4	-543367	-659		225	25	
				5730		415873	72.57		12595120	1775050	14370170	230	has	
Các thông số hình học bê tông dầm I24.5 DUL sau liên hợp												235	5	
b	hsl	n	Asl	$hsl/2+Ygt$	Ssl	Ag	Ac	Dgsl	Ycb	Yct		240	6	
(cm)	(cm)		(cm ²)	(cm)	(cm ³)	(cm ²)	(cm ²)	(cm)	(cm)	(cm)		245	7	
250	25	0.802	5011	84.93	425574	5730	10741	39.6	112.2	57.8		250	8	
Isl	Ig	I'sl	I'g	Ic									9	
(cm ⁴)	(cm ⁴)	(cm ⁴)	(cm ⁴)	(cm ⁴)		A_{sp} bó	8.883	8.883	8.883	8.883	8.883	44.415	10	
260997	14370170	10285893	8995022	33912081		Sg	293.139	186.543	79.947	79.947	79.947	719.523	11	
Các thông số hình học cáp DUL dầm I24.5 nguyên								Trọng tâm (cáp-dây dầm), L/2			a_{pg}	16.2	12	
Cáp số	1	2	3	4	5	Trọng tâm (cáp-dầm nguyên), L/2				$e_{pg} = Ygb - a_{pg}$	56.37			
Toạ độ cáp	33	21	9	9	9	Trọng tâm (cáp-dầm liên hợp), L/2				$e_{pc} = Ycb - a_{pg}$	95.99			

Bảng Đặc trưng hình học của hệ dầm I30 DUL trước và sau liên hợp mặt cầu

Dầm I30	L (cm)	Hg	Các thông số hình học bê tông dầm I30 DUL								Kích thước dầm			
	2940	160	b & n	Ag	a	Si	Ygb	Ygb-a	$A_i*(Ygb-a)^2$	$bh^3/12$	Ig	Rộng	Cao	
Khối	Tiết diện	(cm)	(cm)	(cm ²)	(cm)	(cm ³)	(cm)	(cm)	(cm ⁴)	(cm ⁴)	(cm ⁴)	b(cm)	hsl	
K1	Gờ đỉnh	8	65	520	156	81120		76.7	3058659	2773		185	18	
K2	Gờ trên	12	85	1020	146	148920		66.7	4537111	12240		190	19	
K3	Vút trên	11	32.5	357.5	136.3	48739		57.0	1162650	3605		200	20	
K4	Sườn	115	20	2300	82.5	189750		3.2	23470	2534792		205	21	
K5	Vút dưới	20	22.5	450	31.7	14250		47.6	1021259	15000		210	22	
K6	Bầu dưới	25	65	1625	12.5	20313		66.8	7252347	84635		215	23	
cáp DUL	$4*12*0.987*(E_p/E_c)$		5.207	246.7	12	2960		67.3	1117499	177		220	24	
K8	Trừ lỗ cáp	$4*3.14*3.6^2$		-162.8	12	-1953		67.3	-737389	-659		225	25	
				6356		504099	79.31		17435607	2652563	20088169	230	has	
Các thông số hình học bê tông dầm I30 DUL sau liên hợp												235	5	
b	hsl	n	Asl	$hsl/2+Ygt$	Ssl	Ag	Ac	Dgsl	Ycb	Yct		240	6	
(cm)	(cm)		(cm ²)	(cm)	(cm ³)	(cm ²)	(cm ²)	(cm)	(cm)	(cm)		245	7	
250	21	0.707	3712	91.19	338542	6356	10069	33.6	112.9	68.1		250	8	
Isl	Ig	I'sl	I'g	Ic									9	
(cm ⁴)	(cm ⁴)	(cm ⁴)	(cm ⁴)	(cm ⁴)		A_{sp} bó	11.844	11.844	11.844	11.844	0	47.376	10	
136427	20088169	12304279	7186024	39714900		Sg	248.724	106.596	106.596	106.596	0	568.512	11	
Các thông số hình học cáp DUL dầm I30 nguyên								Trọng tâm (cáp-dây dầm), L/2			a_{pg}	12	12	
Cáp số	1	2	3	4	5	Trọng tâm (cáp-dầm nguyên), L/2				$e_{pg} = Ygb - a_{pg}$	67.31			
Toạ độ Cáp	21	9	9	9	0	Trọng tâm (cáp-dầm liên hợp), L/2				$e_{pc} = Ycb - a_{pg}$	100.93			

Bảng Đặc trưng hình học của hệ dầm I33 DUL trước và sau liên hợp mặt cầu

Dầm I33	L (cm)	Hg	Các thông số hình học bê tông dầm I33 DUL									Kích thước dầm	
Khối	Tiết diện	(cm)	(cm)	(cm ²)	(cm)	(cm ³)	(cm)	(cm)	(cm ⁴)	(cm ⁴)	(cm ⁴)	Rộng	Cao
K1	Gờ đỉnh	8	65	520	161	83720		79.4	3278604	2773		185	18
K2	Gờ trên	12	85	1020	151	154020		69.4	4913264	12240		190	19
K3	Vút trên	11	32.5	357.5	141.3	50527		59.7	1275759	3605		200	20
K4	Sườn	120	20	2400	85	204000		3.4	27811	2880000		205	21
K5	Vút dưới	20	22.5	450	31.7	14250		49.9	1121819	15000		210	22
K6	Bầu dưới	25	65	1625	12.5	20313		69.1	7758152	84635		215	23
cáp DUL	5*12*0.987*(Ep/Ec)		5.207	308.4	16.2	4995		65.4	1318732	177		220	24
K8	Trừ lỗ cáp	5*3.14*3.6 ²		-203.5	16.2	-3296		65.4	-870174	-659		225	25
				6477		528528	81.60		18823966	2997771	21821737	230	has
Các thông số hình học bê tông dầm I33 DUL sau liên hợp												235	5
b	hsl	n	Asl	hsl/2+Ygt	Ssl	Ag	Ac	Dgsl	Ycb	Yct		240	6
(cm)	(cm)		(cm ²)	(cm)	(cm ³)	(cm ²)	(cm ²)	(cm)	(cm)	(cm)		245	7
250	25	0.802	5011	95.90	480590	6477	11489	41.8	123.4	66.6		250	8
Isl	Ig	I'sl	I'g	Ic									9
(cm ⁴)	(cm ⁴)	(cm ⁴)	(cm ⁴)	(cm ⁴)		A _{ps} bó	11.844	11.844	11.844	11.844	11.844	59.22	10
260997	21821737	14651486	11334938	48069158		Sg	390.852	248.724	106.596	106.596	106.596	959.36	11
Các thông số hình học cáp DUL dầm I33 nguyên						Trọng tâm (cáp-đáy dầm), L/2				a _{pg}	16.2	12	
Cáp số	1	2	3	4	5	Trọng tâm (cáp-dầm nguyên), L/2				e _{pg} = Ygb - a _{pg}	65.40		
Tọa độ Cáp	33	21	9	9	9	Trọng tâm (cáp-dầm liên hợp), L/2				e _{pc} = Ycb - a _{pg}	107.23		

Bảng thông số cơ lý của hệ dầm I DUL trước và sau liên hợp mặt cầu

Thép DUL và thép thường			
Modun đàn hồi thép DUL	Ep	MPa	197000
Cường độ bền thép DUL	fpu	MPa	1860
Cường độ chảy thép DUL	fpy = 0.9*fpu	MPa	1674
Cường độ kích thép DUL	f _{pj} = 0.74*fpu	MPa	1376
Cường độ chảy thép thường	fs	MPa	400
Bê tông các loại			
Trọng lượng riêng asphalt	γa	kG/m ³	2350
Trọng lượng riêng bê tông	γc	kG/m ³	2400
Cường độ nén bê tông dầm	f'c	MPa	56
Cường độ nén bê tông bản	f'cd	MPa	36
Modun đàn hồi bê tông dầm	Ec _g = 0.043 * γc ^{1.5} * f'c ^{0.5}		37834
Modun đàn hồi bê tông dầm tại lúc căng lực DUL	Eci = 0.043 * γc ^{1.5} * (0.9 * f'c) ^{0.5}		35892
Modun đàn hồi bê tông bản	Ed = 0.043 * γc ^{1.5} * f'cd ^{0.5}		30334
Hệ số khối ứng suất bê tông	khi f'c ≤ 70 MPa, α1 =		0.85
	khi f'c > 70 MPa, α1 = 0.85 - 0.02 * (f'c - 70) / 5 =		0.83
Cường độ nén bê tông cao	f'c	MPa	75
Hệ số khối ứng suất bê tông	khi f'c ≤ 28 MPa, β1 =		0.85
	khi f'c > 28 MPa, β1 = 0.85 - 0.05 * (f'c - 28) / 7 =		0.792857

2/ Tính tổng mất mát ứng suất của hệ dầm I DUL (TCVN 11823:2017)

2.1 Tính hệ số co ngót và từ biến của hệ dầm I DUL (TCVN 11823:2017)

Bảng công thức và tính giá trị điển hình hệ số co ngót- từ biến cho dầm I DUL và f'c

$kt_d = t / [12 * ((100 - 0,58f'c_i) / (0,145f'c_i + 20)) + t]$						$k_{hc} = 1,56 - 0,008 * H; (H = 80)$						
$k_s = 1,45 - 0,0051 * (V/S)$			$k_{hs} = 2,00 - 0,014 * H$			$k_f = 35 / (7 + f'c_i); (f'c_i = 0,9 * 40)$						
$\Psi(t, t_i) = 1,9 * k_s * k_{hc} * k_f * k_{td} * t_i^{-0,118}$						$\epsilon_{sh} = 1,2 * k_s * k_{hs} * k_f * k_{td} * 0,48 * 10^{-3}$						
t_i, t (ngày)	3	100	10000									
f'c (MPa)	33	35.5	37.5	40	42	44	46	48	50	52	54	56
V/S	18	21	24	24.5	30	33						
t	t _i	f'c	V/S	k _s	k _{hc}	k _f	k _{hs}	k _{td} (t)	Ψ(t, t _i)	ε _{sh}		
10000	3	56	18	1.358	0.92	0.610	0.88	0.997	1.268	4E-04		
100	3							0.763	0.97			
10000	100							0.997	0.838			

- Hệ số co ngót- từ biến hệ dầm I DUL trước và sau liên hợp tính trong luận án phù hợp:

Loại dầm I DUL (V/S) và cường độ chịu nén của bê tông dầm (f'c) và hệ số khác

Trong đó: Ψ(t, t_i)_ Hệ số từ biến bê tông phụ thuộc thời gian t, t_i tác dụng; ε_{sh}_ Hệ số co ngót bê tông phụ thuộc độ cứng và diện tích mặt kết cấu; k_{td}_ Hệ số độ cứng kết cấu theo thời gian; k_f_ Hệ số độ cứng kết cấu; k_s_ Hệ số tỷ lệ thể tích / diện tích tiếp xúc không khí của kết cấu (V/S); k_{hs} và k_{hc}_ Hệ số phụ thuộc độ ẩm co ngót và độ ẩm cho từ biến.

2.2 Tính giá trị mất mát ứng suất do tụt neo của hệ dầm I DUL

Bảng Giá trị mất mát ứng suất do tụt neo của hệ dầm I DUL

Loại dầm	Bỏ cáp DUL	1	2	3	4	5	Trung bình
I18 DUL	Δ - chiều dài tụt neo (mm)	9	9	9	9	0	8
	Ep - modul đàn hồi thép DUL	197000	197000	197000	197000	197000	197000
	Ae - chiều dài tb bỏ DUL (mm)	17684	17657	17623	17605	1	17642
	ΔfPA = Σ(Δ*Ep/Ltb)/5 (MPa)	100.3	100.4	100.6	100.7	0.0	100.5
I21 DUL	Δ - chiều dài tụt neo (mm)	10	10	10	10	0	10
	Ep - modul đàn hồi thép DUL	197000	197000	197000	197000	197000	197000
	Ae - chiều dài tb bỏ DUL (mm)	20870	20850	20820	20810	1	20837.5
	ΔfPA = Σ(Δ*Ep/Ltb)/5 (MPa)	94.4	94.5	94.6	94.7	0.0	94.5
I24.5DUL	Δ - chiều dài tụt neo (mm)	10	10	10	10	10	10
	Ep - modul đàn hồi thép DUL	197000	197000	197000	197000	197000	197000
	Ae - chiều dài tb bỏ DUL (mm)	24242	24256	24282	24302	24325	24281.4
	ΔfPA = Σ(Δ*Ep/Ltb)/5 (MPa)	81.3	81.2	81.1	81.1	81.0	81.1
I30 DUL	Δ - chiều dài tụt neo (mm)	10	10	10	10	0	10
	Ep - modul đàn hồi thép DUL	197000	197000	197000	197000	197000	197000
	Ae - chiều dài tb bỏ DUL (mm)	29844	29792	29842	29704	1	29795.5
	ΔfPA = Σ(Δ*Ep/Ltb)/5 (MPa)	66.0	66.1	66.0	66.3	0.0	66.1
I33 DUL	Δ - chiều dài tụt neo (mm)	10	10	10	10	10	10
	Ep - modul đàn hồi thép DUL	197000	197000	197000	197000	197000	197000
	Ae - chiều dài tb bỏ DUL (mm)	32705	32715	32740	32760	32780	32730
	ΔfPA = Σ(Δ*Ep/Ltb)/5 (MPa)	60.2	60.2	60.2	60.1	60.1	60.2

2.3 Tính giá trị mất mát ứng suất do ma sát của hệ dầm I DUL

Bảng Giá trị mất mát ứng suất do ma sát của hệ dầm I DUL

Loại dầm	Hệ số lắc $K = 6,6 \cdot 10^{-7} (\text{mm})$	Hệ số ma sát $\mu = 0,2$			$f_{pj} = 1674 (\text{MPa})$		$\Delta f_{pF} (\text{MPa})$
	Bóc cáp	5	4	3	2	1	trung bình
I18 DUL	α (độ)	0	0.94	3.10	6.68	8.17	36.85
	α (Radian)	0	0.02	0.05	0.12	0.14	
	$2 \cdot x$ (chiều dài cáp được căng)	0	17605	17623	17657	17684	
	$Kx + \mu\alpha$	0	0.01	0.02	0.03	0.03	
	$[1 - e^{-(Kx + \mu\alpha)}]$	0	0.01	0.02	0.03	0.03	
	$\Delta f_{pF} = f_{pj} \cdot [1 - e^{-(Kx + \mu\alpha)}]$	0	15.15	27.62	48.08	56.53	
I21 DUL	α (độ)	0	1.45	3.98	6.45	7.77	39.68
	α (Radian)	0	0.03	0.07	0.11	0.14	
	$2 \cdot x$ (chiều dài cáp được căng)	0	20810	20820	20850	20870	
	$Kx + \mu\alpha$	0	0.012	0.021	0.029	0.034	
	$[1 - e^{-(Kx + \mu\alpha)}]$	0	0.012	0.021	0.029	0.033	
	$\Delta f_{pF} = f_{pj} \cdot [1 - e^{-(Kx + \mu\alpha)}]$	0	19.85	34.40	48.49	55.97	
I24.5DUL	α (độ)	8.25	7.05	5.83	3.58	1.32	43.20
	α (Radian)	0.14	0.12	0.10	0.06	0.02	
	$2 \cdot x$ (chiều dài cáp được căng)	24325	24302	24282	24256	24242	
	$Kx + \mu\alpha$	0.04	0.03	0.03	0.02	0.01	
	$[1 - e^{-(Kx + \mu\alpha)}]$	0.04	0.03	0.03	0.02	0.01	
	$\Delta f_{pF} = f_{pj} \cdot [1 - e^{-(Kx + \mu\alpha)}]$	60.52	53.74	46.81	33.97	20.97	
I30 DUL	α (độ)	0	1.4	3.7	5.9	7.4	44.20
	α (Radian)	0	0.0	0.1	0.1	0.1	
	$2 \cdot x$ (chiều dài cáp được căng)	0	29704	29842	29792	29844	
	$Kx + \mu\alpha$	0	0.015	0.023	0.031	0.036	
	$[1 - e^{-(Kx + \mu\alpha)}]$	0	0.014	0.022	0.030	0.035	
	$\Delta f_{pF} = f_{pj} \cdot [1 - e^{-(Kx + \mu\alpha)}]$	0	24.237	37.390	50.336	58.392	
I33 DUL	α (độ)	6.63	5.63	4.62	2.80	1.00	45.20
	α (Radian)	0.12	0.10	0.08	0.05	0.02	
	$2 \cdot x$ (chiều dài cáp được căng)	32780	32760	32740	32705	32705	
	$Kx + \mu\alpha$	0.03	0.03	0.03	0.02	0.01	
	$[1 - e^{-(Kx + \mu\alpha)}]$	0.03	0.03	0.03	0.02	0.01	
	$\Delta f_{pF} = f_{pj} \cdot [1 - e^{-(Kx + \mu\alpha)}]$	55.90	50.23	44.48	34.08	23.74	

2.4 Mất mát ứng suất do co ngắn đàn hồi hệ dầm I DUL (TCVN 11823:2017)

$$\text{Công thức: } \Delta f_{pES} = (N-1)/2N \cdot E_p/E_{ci} \cdot f_{cgp}$$

Trong đó: $f_{cgp} = F/Ag + F \cdot e_{pg}/I_g - M_{cg} \cdot e_{pg}/I_g$; $F = (f_{pj} - \Delta f_{pA} - \Delta f_{pF}) \cdot A_{ps}$;

$$M_{cg} = q_{cg} \cdot L^2/8 \text{ và } q_{cg} = 1.088 \cdot A_g \cdot \gamma_c$$

Giá trị mất mát ứng suất do co ngắn đàn hồi hệ dầm I DUL thể hiện bảng sau:

Bảng Giá trị mất mát ứng suất của hệ dầm I DUL do co ngắn đàn hồi (điển hình)

I18	A_g	γ_c	q_{cg}	L	M_{cg}	f_{pj}	Δf_{pA}	Δf_{pF}	A_{ps}	F
	cm ²	kG/cm ³	kG/cm	cm	kGcm	MPa	MPa	MPa	mm ²	N
	4951	0.0024	12.93	1740	4892742	1376	100.5	36.8	2764	342426
	F/Ag	e_{pg}	I_g	$F \cdot e_{pg}^2 / I_g$	$M_{cg} \cdot e_{pg} / I_g$	f_{cgp}	N	E_p/E_{ci}	Δf_{pES}	
	kG/cm ²	cm	cm ⁴	kG/cm ²	kG/cm ²	kG/cm ²	bóc cáp		(MPa)	
	69.2	42.7	6649568	93.7	31.4	131.5	4	5.489	27.1	

I21	Ag	γ_c	qcg	L	M_{cg}	f_{pj}	Δf_{pA}	Δf_{pF}	A_{ps}	F	
	cm2	kG/cm3	kG/cm	cm	kGcm	MPa	MPa	MPa	MPa	mm2	N
	5192	0.0024	13.78	2040	7169539	1376	94.5	39.7	3553	441371	
	F/A_g	e_{pg}	I_g	$F*e^2_{pg}/I_g$	$M_{cg}*e_{pg}/I_g$	f_{cgp}	N	Ep/Eci	Δf_{pES}		
	kG/cm2	cm	cm4	kG/cm2	kG/cm2	kG/cm2	bócáp		(MPa)		
	85.0	46.1	8542729	109.9	38.7	156.2	4	5.489	32.1		

I	Ag	γ_c	qcg	L	M_{cg}	f_{pj}	Δf_{pA}	Δf_{pF}	A_{ps}	F	
	cm2	kG/cm3	kG/cm	cm	kGcm	MPa	MPa	MPa	MPa	mm2	N
	5730	0.0024	15.35	2374	10817289	1376	81.132	43.2	4442	556104	
24.5	F/A_g	e_{pg}	I_g	$F*e^2_{pg}/I_g$	$M_{cg}*e_{pg}/I_g$	f_{cgp}	N	Ep/Eci	Δf_{pES}		
	kG/cm2	cm	cm4	kG/cm2	kG/cm2	kG/cm2	bócáp		(MPa)		
	97.0	53.5	14350957	110.9	40.3	167.6	5	5.489	36.8		

I30	Ag	γ_c	qcg	L	M_{cg}	f_{pj}	Δf_{pA}	Δf_{pF}	A_{ps}	F	
	cm2	kG/cm3	kG/cm	cm	kGcm	MPa	MPa	MPa	MPa	mm2	N
	6356	0.0024	17.2	2940	18584218	1376	66.118	42.6	4738	600582	
	F/A_g	e_{pg}	I_g	$F*e^2_{pg}/I_g$	$M_{cg}*e_{pg}/I_g$	f_{cgp}	N	Ep/Eci	Δf_{pES}		
	kG/cm2	cm	cm4	kG/cm2	kG/cm2	kG/cm2	bócáp		(MPa)		
	94.5	64.8	20060449	125.9	60.1	160.3	4	5.489	33.0		

I33	Ag	γ_c	qcg	L	M_{cg}	f_{pj}	Δf_{pA}	Δf_{pF}	A_{ps}	F	
	cm2	kG/cm3	kG/cm	cm	kGcm	MPa	MPa	MPa	MPa	mm2	N
	6477	0.0024	17.75	3240	23285575	1376	60.171	41.7	5922	754786	
	F/A_g	e_{pg}	I_g	$F*e^2_{pg}/I_g$	$M_{cg}*e_{pg}/I_g$	f_{cgp}	N	Ep/Eci	Δf_{pES}		
	kG/cm2	cm	cm4	kG/cm2	kG/cm2	kG/cm2	bócáp		(MPa)		
	116.5	62.5	21782822	135.5	66.9	185.2	5	5.489	40.7		

2.5 Tính mất mát ứng suất theo thời gian của hệ dầm I (TCVN 11823:2017)

- Δf_{pSD} _Mất US do co ngót bê tông dầm khi đổ bê tông bản đến 10000 ngày

$$\Delta f_{pSD} = \epsilon_{bdf} * E_p * K_{df}$$

$$K_{df} = 1 / (1 + (E_p / E_{ci}) * (A_{ps} / A_c) * (1 + (A_c * e_{pc}^2) / I_c) * (1 + 0,7 \psi_b(t_f, t_i)))$$

- Δf_{pCD} _Mất US do từ biến bê tông dầm khi đổ bê tông bản đến 10000 ngày

$$\Delta f_{pCD} = (E_p / E_{ci}) * f_{cgp} * (\psi_b(t_f, t_i) - \psi_b(t_d, t_i)) * K_{df} + (E_p / E_c) * \Delta f_{cd} * \psi_b(t_f, t_{di}) * K_{df} \text{ (Mpa)}$$

$$\Delta f_{cd} = M_{cd} * e_{pc} / I_c$$

- Δp_{R2} _Mất US do tự chùng của cáp DUL khi đổ bê tông bản đến 10000 ngày

$$\Delta p_{R2} = (f_{pt} / KL) * (f_{pt} / f_{py} - 0,55) \text{ Mpa}$$

$$f_{pt} = 0,74 * f_{pu} - \Delta f_{pA} - \Delta f_{pF} - \Delta f_{pES}$$

- Δf_{pSS} _Mất US do co ngót bê tông bản khi đổ bê tông bản đến 10000 ngày

$$\Delta f_{pSS} = (E_p / E_{ci}) * \Delta f_{cd} * K_{df} * (1 + 0,7 * \psi_b(t_f, t_d))$$

$$K_{df} = ((\epsilon_{ddf} * A_d * E_{cdeck}) / (1 + 0,7 * \psi_b(t_f, t_d))) * (1 / A_c - (e_{pc} * e_d) / I_c)$$

- Δf_{pLT} _Tổng mất ứng suất theo thời gian khi căng sau

$$\Delta f_{pLT} = \Delta f_{pSD} + \Delta f_{pCD} + \Delta p_{R2} - \Delta f_{pSS}$$

a/ Tính mất ứng suất do co ngót bê tông đầm trong khi bê tông bản đến 10000 ngày

Bảng Mất mất ứng suất do co ngót bê tông đầm trong khi bê tông bản 10000 ngày

Loại	E_p	E_{ci}	A_{ps}	A_c	e_{pc}	I_c	$\Psi_{b(tf, ti)}$	K_{df}	ε_{bdf}	Δf_{pSD}
Dầm	MPa	MPa	cm ²	cm ²	cm	cm ⁴				MPa
I18	197000	37834	27.64	8611	69.8	15380745	1.268	0.895	0.00042	73.8
I21	197000	37834	35.53	8852	74.8	18999653	1.253	0.876	0.00041	71.4
I24.5	197000	37834	44.42	9390	85.6	29634824	1.237	0.868	0.00041	69.8
I30	197000	37834	47.38	10016	98.0	39272081	1.211	0.864	0.00040	68.1
I33	197000	37834	59.22	10137	96.2	42285613	1.196	0.847	0.00039	65.9

b/ Tính mất ứng suất do từ biến bê tông đầm trong khi bê tông bản đến 10000 ngày

Bảng Mất mất ứng suất do từ biến bê tông đầm trong khi bê tông bản 10000 ngày

Loại	A_{sl}	A_{cs}	A_{as}	A_{para}	q_{sl}	q_{cs}	q_{as}	q_{para}	L	M_{sl}	M_{cs}	M_{as}	M_{para}	M_{cd}
Dầm	cm ²	cm ²	cm ²	cm ²	kG/cm	kG/cm	kG/cm	kG/cm	cm	kGem	kGem	kGem	kGem	kGem
I18	5000	750	1750	3105	12	1.8	4.1	7.5	1740	4541400	667018	1556376		6764794
I21	5000	750	1750	3105	12	1.8	4.1	7.5	2040	6242400	916852.5	2139323		9298575
I24.5	5000	750	1750	3105	12	1.8	4.1	7.5	2374	8453814	1241654	2897193		12592660
I30	5000	750	1750	3105	12	1.8	4.1	7.5	2940	12965400	1904293	4443351		19313044
I33	5000	750	1750	3105	12	1.8	4.1	7.5	3240	15746400	2312753	5396423		23455575

Loại	E_p	E_{ci}	E_c	M_{cd}	e_{pc}	I_c	Δf_{cd}	f_{cgf}	$\Psi_{b(tf, ti)}$	$\Psi_{b(td, ti)}$	$\Psi_{b(tf, td)}$	K_{df}	Δf_{pCD}
Dầm	MPa	MPa	MPa	kGem	cm	cm ⁴	MPa	MPa					MPa
I18	197000	37834	37834	6764794	69.8	15380745	3.1	13.1	1.268	0.970	0.838	0.895	30.2
I21	197000	37834	37834	9298575	74.8	18999653	3.7	15.6	1.253	0.959	0.829	0.876	34.8
I24.5	197000	37834	37834	12592660	85.6	29634824	3.6	16.8	1.237	0.946	0.818	0.868	35.4
I30	197000	37834	37834	19313044	98.0	39272081	4.8	16.0	1.211	0.926	0.800	0.864	37.9
I33	197000	37834	37834	23455575	96.2	42285613	5.3	18.5	1.196	0.915	0.791	0.847	41.6

c/ Tính mất ứng suất do tự chùng cấp DUL đầm trong khi bê tông bản 10000 ngày

Bảng Mất mất ứng suất do tự chùng cấp DUL đầm trong khi bê tông bản 10000 ngày

Loại	Δf_{pA}	Δf_{pF}	Δf_{pES}	f_{pu}	K_L	f_{py}	f_{pt}	Δ_{pR2}
Dầm	MPa	MPa	MPa	MPa		MPa	MPa	MPa
I18	100.5	36.8	27.1	1860	30	1860	1212.0	4.10
I21	94.5	39.7	32.1	1860	30	1860	1210.0	4.06
I24.5	81.1	43.2	36.8	1860	30	1860	1215.3	4.19
I30	66.1	42.6	33.0	1860	30	1860	1234.7	4.68
I33	60.2	41.7	40.7	1860	30	1860	1233.9	4.66

d/ Tính mất ứng suất do co ngót bê tông bản đầm trong khi bê tông bản 10000 ngày

Bảng Mất mất ứng suất do co ngót bê tông bản đầm trong khi bê tông bản 10000 ngày

Loại	E_p	E_{ci}	E_c	E_{cdeck}	$A_d (A_{sl})$	A_c	e_d	e_{pc}	I_c	Δf_{cd}	$\varepsilon_{d df}$	$\Psi_{b(tf, td)}$	K_{df}	Δf_{pSS}
Dầm	MPa	MPa	MPa	MPa	mm ²	mm ²	mm	mm	cm ⁴	MPa				MPa
I18	197000	37834	37834	27691	500000	861075	367.8	698.5	15380745	3.1	0.00042	0.838	-1.858	-47.2
I21	197000	37834	37834	27691	500000	885186	407.0	748.0	18999653	3.7	0.00041	0.829	-1.714	-51.6
I24.5	197000	37834	37834	27691	500000	938992	502.8	856.2	29634824	3.6	0.00041	0.818	-1.394	-41.5
I30	197000	37834	37834	27691	500000	1001603	575.4	979.6	39272081	4.8	0.00040	0.800	-1.549	-60.6
I33	197000	37834	37834	27691	500000	1013701	596.5	962.5	42285613	5.3	0.00039	0.791	-1.307	-56.4

e/ Tổng Mất ứng suất theo thời gian căng sau (điển hình) cho hệ dầm I DUL

Bảng Tổng Mất ứng suất căng sau theo thời gian (điển hình) của hệ dầm I DUL

Dầm	Δf_{pSD}	Δf_{pCD}	Δf_{pR2}	Δf_{pSS}	Δf_{pLT}	Dầm	Δf_{pSD}	Δf_{pCD}	Δf_{pR2}	Δf_{pSS}	Δf_{pLT}
Trong	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	Ngoài	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa
I18	73.8	30.2	4.1	-47.2	155.3	I18	73.7	34.0	4.1	-59.9	171.7
I21	71.4	34.8	4.1	-51.6	161.9	I21	71.4	39.7	4.1	-69.7	184.9
I24.5	69.8	35.4	4.2	-41.5	150.9	I24.5	69.6	41.1	4.2	-61.0	176.0
I30	68.1	37.9	4.7	-60.6	171.2	I30	68.1	44.6	4.7	-85.1	202.4
I33	65.9	41.6	4.7	-56.4	168.6	I33	65.9	48.8	4.7	-79.2	198.6

2.6 Tổng Mất ứng suất căng sau (điển hình) cho hệ dầm I DUL

Bảng Tổng Mất ứng suất căng sau (điển hình) của hệ dầm I DUL căng sau

Dầm	Tuyệt	Ma	Co ngắn	Thời	Tổng mất	Dầm	Tuyệt	Ma	Co ngắn	Thời	Tổng mất
Ngoài	neo	sát	đàn hồi	gian	ứng suất	Trong	neo	sát	đàn hồi	gian	ứng suất
	Δf_{pA}	Δf_{pF}	Δf_{pES}	Δf_{pLT}	Δf_{pT}		Δf_{pA}	Δf_{pF}	Δf_{pES}	Δf_{pLT}	Δf_{pT}
I18	100.5	36.8	27.1	171.7	336.1	I18	100.5	36.8	27.1	155.3	319.7
I21	94.5	39.7	32.1	184.9	351.2	I21	94.5	39.7	32.1	161.9	328.2
I24.5	81.1	43.2	37.5	176.0	337.8	I24.5	81.1	43.2	36.8	150.9	312.1
I30	66.1	42.6	33.0	202.4	344.1	I30	66.1	42.6	33.0	171.2	312.9
I33	60.2	41.7	40.7	198.6	341.1	I33	60.2	41.7	40.7	168.6	311.1

3/ Tính chiều cao trục trung hòa C của hệ dầm I DUL liên hợp (TCVN 11823:2017)

- Giả định trục Trung hòa qua cánh, $\beta_1 * C < h_{sl}$ và $b_w = b$

+ Cấp DUL căng sau và không dính bám:

$$C1 = Aps * (fpe * \lambda e + 6300 * dp) / \lambda e * \alpha_1 * fc' * \beta_1 * b + Aps * 6300$$

- Khi trục Trung hòa qua sườn, $\beta_1 * C > h_{sl}$ và $b_w < b$

+ Cấp DUL căng sau và không dính bám:

$$C2 = Aps * (fpe * \lambda e + 6300 * dp) - \lambda e * 0.85 * fc' * \beta_1 * (b - b_w) * h_{sl} / \lambda e * \alpha_1 * fc' * \beta_1 * b_w + Aps * 6300$$

+ Cấp DUL căng sau và dính bám:

$$C = Aps * fps + As * fs - A's * fs' - 0.85 * fc' * \beta_1 * (b - b_w) * hf / \alpha_1 * fc' * \beta_1 * b_w$$

Bảng tính điển hình giá trị trục trung hòa của hệ dầm I DUL thể hiện ở bảng sau:

Bảng Tổng Mất ứng suất căng sau (điển hình) của hệ dầm I DUL căng sau

Dầm	Hg	hsl	ap	dp	f_{pj}	Δf_{pT}	f_{ps}	λe	α_1	β_1	f_c	b_w	b	Aps	$C1$	$C2$	$\beta_1 * C1$	$\beta_1 * C2$
Trong	cm	cm	cm	cm	MPa	MPa	MPa	mm			MPa	mm	mm	mm ²	mm	mm	mm	mm
I18	110	20	13.4	116.6	1674	319.7	1354.3	17642	0.85	0.836	30	600	2500	2764	90.2	-232.6	75.4	-194.4
I21	120	20	14.5	125.5	1674	328.2	1345.8	20838	0.85	0.836	30	600	2500	3553	112.8	-142.0	94.3	-118.7
I24.5	145	20	19.1	145.9	1674	312.1	1361.9	24281	0.85	0.836	30	600	2500	4442	142.0	-26.4	118.7	-22.0
I30	160	20	14.5	165.5	1674	312.9	1361.1	29796	0.85	0.836	30	650	2500	4738	149.3	14.9	124.8	12.4
I33	165	20	19.1	165.9	1674	311.1	1362.9	32730	0.85	0.84	30	650	2500	5922	183.1	138.5	153.0	115.8

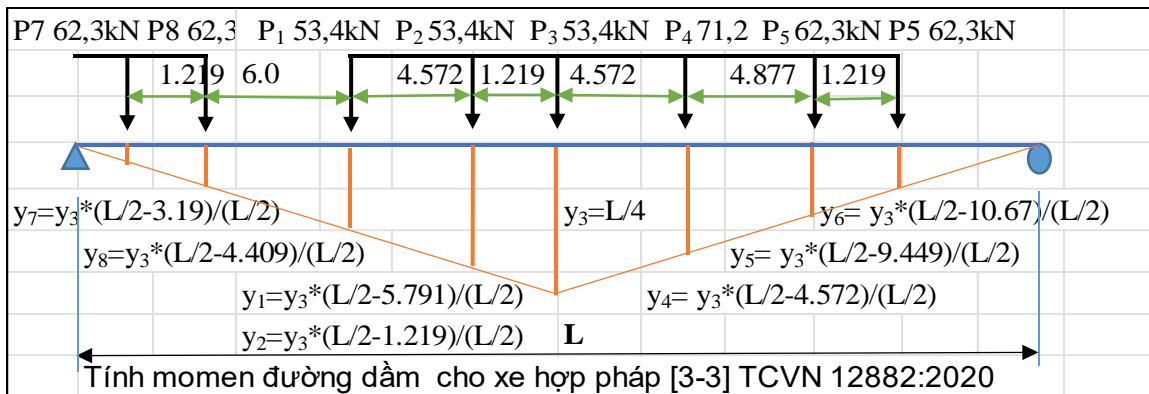
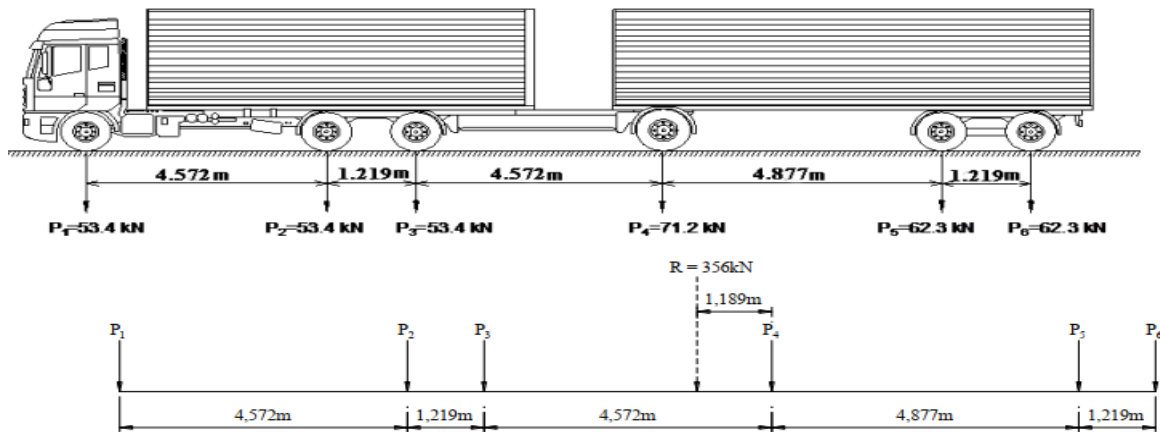
4/ Thuật ngữ và công thức chi tiết hệ thống dầm I DUL dùng đào tạo ANN

Bảng thuật ngữ và công thức chi tiết hệ thống dầm I DUL dùng đào tạo ANN

Thông số đặc tính bê tông và cấp DUL		Thông số hình học tiết diện dầm và cấp DUL	
E_p	Modun đàn hồi của cấp DUL	L	Chiều dài nhịp
f_{pu}	Ứng suất bền của cấp DUL	H_g	Chiều cao dầm nguyên
f_{py}	Ứng suất chảy của cấp DUL	b_i	Chiều rộng các khối trong tiết diện dầm
f_{pj}	Ứng suất ngay khi kích của cấp DUL	$n = E_p/E_c$	ti lệ modun cấp DUL và bê tông
f_{pt}	Ứng suất cấp ngay khi căng lực có trừ mất mát	$\sum A_i = A_g$	Diện tích các khối trong tiết diện dầm
$f_{ps} = f_{pu} * (1 - k * C / d_p)$	Ứng suất trung bình thép DUL	a_i	Cự ly giữa (tâm A_i - đáy dầm)
$f_{pe} = f_{pj} - \Delta f_{pT}$	Ứng suất có hiệu thép DUL đã trừ mất mát	$\sum S_i = \sum A_i * a_i = S_g$	Momen tĩnh các khối trong tiết diện dầm, S_g
E_c	Modun đàn hồi bê tông dầm	$Y_{gb} = S_g / A_g$	Trọng tâm dầm nguyên dưới
E_{ci}	Modun đàn hồi bê tông dầm lúc căng lực	$Y_{gb} - a_i$	Cự ly dãi trực A_i
E_d	Modun đàn hồi bê tông bản mặt cầu	$A_i * (Y_{gb} - a_i)^2$	Momen quán tính các khối K_i dãi trực
f_c	Cường độ nén bê tông dầm	$bh^3 / 12$	Momen quán tính các khối K_i
f'_{cd}	Cường độ nén bê tông bản mặt cầu	I_g	Momen quán tính dầm nguyên
γ_c	Trọng lượng riêng bê tông dầm, bản mặt cầu	b	Bản mặt cầu rộng
γ_a	Trọng lượng riêng bê tông asphalt	h_{sl}	Chiều cao bản mặt cầu
α_1, β_1	Hệ số khối ứng suất bê tông	$n = E_{sl} / E_g$	ti lệ modun bê tông bản mặt cầu và dầm
Thông số từ biến và co ngót của bê tông		A_{sl}	Diện tích bản mặt cầu qđôi
t_i, t	thời gian trong từ biến	$h_{sl} / 2 + Y_{gt}$	Khoảng cách tâm của (bản-dầm)
V/S	thể tích & diện tích dầm	S_{sl}	Momen tĩnh bản mặt cầu
k_s	hệ số về V/S	A_g	Diện tích dầm nguyên
k_{hc}	hệ số về độ ẩm	A_c	Diện tích dầm liên hợp với bản mặt cầu
k_f	hệ số về cường độ bê tông	A_{ps}	Diện tích cấp DUL
k_{hs}	hệ số về độ ẩm	D_{gsl}	Độ dãi trực tâm dầm do bản mặt cầu
$k_{td}(t)$	hệ số theo thời gian	$Y_{cb} = (D_{gsl} + Y_{gb})$	Trọng tâm dầm dưới sau liên hợp
$\Psi_{b(t_f, t_i)}$	Hệ số từ biến bê tông bản sau liên hợp	$Y_{ct} = H_g + h_{sl} - Y_{cb}$	Trọng tâm dầm trên Y_{ct} sau liên hợp
$\Psi_{b(t_d, t_i)}$	Hệ số từ biến bê tông bản sau liên hợp	$I_{sl} = bh_{sl}^3 / 12$	Momen quán tính bản mặt cầu
$\Psi_{b(t_f, t_d)}$	Hệ số từ biến bê tông bản sau liên hợp	I_g	Momen quán tính dầm nguyên
K_{df}	Hệ số từ biến về cường độ	$I'_{sl} = A_{sl} * (Y_{ct} - h/2)$	Momen quán tính bản dãi trực
ϵ_{bdf}	Hệ số co ngót bê tông bản sau liên hợp	$I'_{g} = A_g * D_{gsl}^2$	Momen quán tính dầm dãi trực
Thông số mất mát ứng suất		$I_c = I_g + I'_{g} + I_{sl} + I'_{sl}$	Momen quán tính dầm liên hợp
l_e	Chiều dài trung bình các bó cấp DUL	Thông số đặc tính lực và ứng suất co ngót đàn hồi	
Δf_{pA}	Mất ứng suất do tụt neo	N	số bó cấp
Δf_{pF}	Mất ứng suất do ma sát	f_{cgp}	Ứng suất tại tâm cấp trừ trọng lượng dầm
Δf_{pES}	Mất ứng suất do co ngót đàn hồi	Δf_{pES}	Mất ứng suất do co ngót đàn hồi
Δf_{pSS}	Mất ứng suất co ngót bê tông bản sau liên hợp	F/A_g	Ứng suất do lực căng gây ra
Δp_{R2}	Mất US tự chùng cấp DUL khi đổ bê tông bản	e_{pg}	Cự ly giữa tâm (cấp-dầm) nguyên
K_L	Hệ số tự chùng của cấp DUL theo thời gian	$F * e_{pg}^2 / I_g$	Ứng suất do momen từ lực căng
Δf_{pT}	Tổng mất ứng suất theo thời gian	$M_{cg} * e_{pg} / I_g$	Ứng suất do trọng lượng dầm gây ra
Thông số hình học và đặc tính bê tông theo thời gian		F	Lực căng cấp trừ mất mát tức thời
A_{cs}	Diện tích lớp bê tông tạo dốc	Δf_{cd}	Ứng suất thay đổi tại trọng tâm cấp sau liên hợp
A_{as}	Diện tích lớp bê tông asphalt	$f_{c_{gf}}$	Ứng suất tại trọng tâm cấp trước liên hợp
A_{para}	Diện tích bê tông lan can	$k = 2 * (1.04 * f_{py} / f_{pu})$	Hệ số ảnh hưởng của cấp DUL
$q_{sl} = A_{sl} * \gamma_c$	Trọng lượng đơn vị bản mặt cầu	Thông số Sức kháng dầm	
$q_{cs} = A_{cs} * \gamma_a$	Trọng lượng đơn vị lớp bê tông tạo dốc	$d_p = h_g + h_{sl} - a_p$	Chiều cao có hiệu thép DUL
$q_{as} = A_{as} * \gamma_a$	Trọng lượng đơn vị lớp bê tông asphalt	$a/2 = \beta_1 * C/2$	1/2 Chiều cao khối ứng suất tương đương
q_{para}	Trọng lượng đơn vị bê tông lan can	b_w	Bề rộng sườn tính toán dầm T
M_{cd}	Momen tổng tĩnh tải dầm liên hợp	b	Bề rộng cánh tính toán dầm T

$M_{sl}=q_{sl}*L^2/8$	Momen do bản mặt cầu gây ra	$C1 (bw=b)$	$C \leq h_{sl}$ thì $C = C1$
$M_{cs}=q_{cs}*L^2/8$	Momen do lớp bê tông tạo dốc gây ra	$C2 (bw < b)$	$C > h_{sl}$ thì $C = C2$
$M_{as}=q_{as}*L^2/8$	Momen do lớp bê tông asphalt gây ra	C	Chiều cao trục trung hòa dầm liên hợp
$M_{para} =$	$q_{para}*L^2/8$ Momen do lan can gây ra	M_n	Sức kháng danh định dầm liên hợp
$M_{cd} =$	$(M_{sl}+M_{cs}+M_{as})$ Momen do tổng tĩnh tải sau liên hợp gây ra	a_p	Cự ly giữa tâm (cáp-dây dầm)
$M_{cg}=q_{cg}*L^2/8$	Momen do trọng lượng dầm	e_{pc}	Độ lệch giữa tâm (cáp-dầm) dầm liên hợp
$Ag*γ_c$	Trọng lượng đơn vị dầm q_{cg}	$e_d=Y_{ct}-0.5*hf$	Cự ly giữa tâm của (bản-dầm) dầm liên hợp
Thông số hoạt tải xe HL93 và làn bộ hành		$K_g=n*(I+Ag*eg^2)$	Hệ số quy đổi độ cứng quán tính dầm liên hợp
$M_{pi} = y_i*P_i (kN)$	Momen do tải trọng trục xe	$eg=(H-Y_{gb})+h_{sl}/2$	Cự ly tâm giữa dầm nguyên và bản mặt cầu
$M_{3trục} = \sum M_{pi}$	Momen do hoạt tải xe	f	Hệ số làn xe tải
$M_{qlan} = 9.3*L^2/8$	Momen do tải trọng làn xe tải	lan	Làn xe tải
$M_{qbo} = (q_{bo} *L^2/8)/2$	Momen do tải trọng bộ hành	$q_{bo} = 3*L_{bo}$	Tải trọng làn bộ hành tính toán
$M_{HL93 LRFR}$	Momen do hoạt tải xe HL93 theo LRFR	$q_{lan} = 9.3 kN/3m$	Tải trọng làn xe tải tính toán
$M_{HL93 LFR}$	Momen do hoạt tải xe HL93 theo LFR	L_{bo}	bề rộng tính toán làn bộ hành
$M_{LL LRFR}$	Momen do (xe HL93 + làn bộ) theo LRFR	$de = (B_{out}-0.5*Bin-500)/2800$	Cự ly tính g dầm ngoài

5/ Tính momen đường dầm cho xe hợp pháp [3-3] TCVN 12882:2020



Tung độ và momen tải trọng xe hợp pháp [3-3] 06 trục theo nguyên lý đường dầm													Phân bố			
Nhịp	Tung độ y_i (m)								$M_{pi} = y_i*P_i$			$M_{3trục}$	$M_{HL93 LRFR}$ (kNm)			ngang
L(m)	y1	y2	y3	y4	y5	y6	y7	y8	53.4	71.2	62.3	$\sum M_{pi}$	2 Làn	3 Làn	4 Làn	
32.4	5.205	7.491	8.100	5.814	3.376	2.765	2.205	1.595	1110	414	619	2144	9379	11958	12192	nhân g
29.4	4.455	6.741	7.350	5.064	2.626	2.015	1.455	0.845	990	361	432	1783	7802	9947	10142	
23.94	3.090	5.376	5.985	3.699	1.261	0.650	0.09		772	263	125	1160	5073	6469	6595	
19.4	1.955	4.241	4.850	2.564	0.126				590	183	8	780	3413	4352	4437	
17.4	1.455	3.741	4.350	2.064					510	147	0	657	2873	3663	3735	

PHỤ LỤC 2

1/ Sức kháng của dầm I DUL theo TCVN 11823:2017 bằng lập trình VBA trên nền Excel

Bảng giá trị Sức kháng của dầm I18 DUL

Bảng các thông số hình học và tọa độ cấp DUL dầm I18 DUL nguyên															
<i>Aps</i>	<i>fps</i>	<i>dp</i>	β_1	$\beta_1 * C$	<i>a/2</i>	αI	<i>f'c</i>	<i>b-bw</i>	<i>hsl</i>	<i>Mn</i>	<i>C</i>	<i>dp</i>	<i>fps</i>		
mm2	MPa	mm		mm	mm		MPa	mm	mm	kNm	mm	mm	MPa		
2764	1827	1236	0.836	62.9	31.4	0.85	36	1900	250	6082	79.3	1236	1827		
Bảng giá trị Sức Kháng của cầu dầm I18 DUL												<i>fpu</i>	<i>fpy</i>	<i>k</i>	
				fcg	b	hsl	fcs					SK G_in	MPa	MPa	
				56	250	25	36						1860	1674	0.28
hsl	25	fcs	36												
f'cg_b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250	
33	6,006	6,015	6,024	6,033	6,041	6,048	6,056	6,063	6,070	6,076	6,082	6,088	6,094	6,099	
35.5	6,002	6,012	6,021	6,029	6,038	6,045	6,053	6,060	6,067	6,073	6,079	6,085	6,091	6,097	
37.5	6,000	6,010	6,019	6,027	6,035	6,043	6,051	6,058	6,065	6,071	6,077	6,083	6,089	6,095	
40	5,997	6,007	6,016	6,025	6,033	6,041	6,048	6,055	6,062	6,069	6,075	6,081	6,087	6,092	
42	5,995	6,005	6,014	6,023	6,031	6,039	6,046	6,053	6,060	6,067	6,073	6,079	6,085	6,091	
44	5,994	6,003	6,012	6,021	6,029	6,037	6,045	6,052	6,059	6,065	6,072	6,078	6,084	6,089	
46	5,992	6,001	6,011	6,019	6,028	6,036	6,043	6,050	6,057	6,064	6,070	6,076	6,082	6,088	
48	5,990	6,000	6,009	6,018	6,026	6,034	6,042	6,049	6,056	6,062	6,069	6,075	6,081	6,086	
50	5,989	5,998	6,008	6,016	6,025	6,033	6,040	6,048	6,054	6,061	6,068	6,074	6,080	6,085	
52	5,987	5,997	6,006	6,015	6,023	6,031	6,039	6,046	6,053	6,060	6,066	6,072	6,078	6,084	
54	5,986	5,996	6,005	6,014	6,022	6,030	6,038	6,045	6,052	6,059	6,065	6,071	6,077	6,083	
56	5,985	5,995	6,004	6,013	6,021	6,029	6,037	6,044	6,051	6,058	6,064	6,070	6,076	6,082	

Bảng giá trị Sức kháng của dầm I21 DUL

Bảng các thông số hình học và tọa độ cấp DUL dầm I21 DUL nguyên															
<i>Aps</i>	<i>fps</i>	<i>dp</i>	β_1	$\beta_1 * C$	<i>a/2</i>	αI	<i>f'c</i>	<i>b-bw</i>	<i>hsl</i>	<i>Mn</i>	<i>C</i>	<i>dp</i>	<i>fps</i>		
mm2	MPa	mm		mm	mm		MPa	mm	mm	kNm	mm	mm	MPa		
3553	1821	1330	0.836	78.2	39.1	0.85	36	1900	250	8354	98.7	1330	1821		
Bảng giá trị Sức Kháng của cầu dầm I21 DUL												<i>fpu</i>	<i>fpy</i>	<i>k</i>	
				fcg	b	hsl	fcs					SK G_in	MPa	MPa	
				56	250	25	36						1860	1674	0.28
hsl	25	fcs	36												
f'cg_b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250	
33	8235	8250	8264	8278	8291	8303	8315	8326	8337	8347	8357	8367	8376	8385	
35.5	8229	8244	8259	8272	8285	8298	8310	8321	8332	8342	8352	8362	8371	8380	
37.5	8225	8240	8255	8268	8281	8294	8306	8317	8328	8339	8349	8358	8368	8377	
40	8220	8235	8250	8264	8277	8290	8302	8313	8324	8335	8345	8354	8364	8373	
42	8217	8232	8247	8260	8274	8286	8298	8310	8321	8331	8342	8351	8361	8370	
44	8213	8229	8243	8257	8271	8283	8295	8307	8318	8329	8339	8349	8358	8367	
46	8210	8226	8241	8255	8268	8281	8293	8304	8315	8326	8336	8346	8355	8364	
48	8208	8223	8238	8252	8265	8278	8290	8302	8313	8324	8334	8344	8353	8362	
50	8205	8221	8235	8249	8263	8276	8288	8299	8311	8321	8331	8341	8351	8360	
52	8203	8218	8233	8247	8260	8273	8286	8297	8308	8319	8329	8339	8349	8358	
54	8200	8216	8231	8245	8258	8271	8283	8295	8306	8317	8327	8337	8347	8356	
56	8198	8214	8229	8243	8256	8269	8281	8293	8304	8315	8326	8335	8345	8354	

Bảng giá trị Sức kháng của dầm I24.5 DUL

Bảng các thông số hình học và tọa độ cấp DUL dầm I24.5 DUL nguyên														
<i>Aps</i>	<i>fps</i>	<i>dp</i>	βI	$\beta I * C$	<i>a/2</i>	αI	<i>f'c</i>	<i>b-bw</i>	<i>hsl</i>	<i>Mn</i>	<i>C</i>	<i>dp</i>	<i>fps</i>	
<i>mm2</i>	<i>MPa</i>	<i>mm</i>		<i>mm</i>	<i>mm</i>		<i>MPa</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>kNm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>MPa</i>	
4442	1818	1538	0.836	98.6	49.3	0.85	36	1900	250	12020	124.3	1538	1818	
Bảng giá trị Sức Kháng của cầu dầm I24.5 DUL												<i>fpu</i>	<i>fpy</i>	<i>k</i>
	f_{cg}	b	h_{sl}	f_{cs}								<i>MPa</i>	<i>MPa</i>	
	56	250	25	36								1860	1674	0.28
	h_{sl}	25	f_{cs}	36										
f_{cg} b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
33	11832	11856	11878	11899	11919	11939	11957	11975	11992	12008	12023	12038	12052	12066
35.5	11823	11847	11869	11891	11911	11931	11949	11967	11984	12000	12016	12031	12045	12059
37.5	11817	11841	11863	11885	11905	11925	11943	11961	11978	11995	12010	12025	12040	12054
40	11810	11834	11857	11878	11899	11918	11937	11955	11972	11988	12004	12019	12034	12048
42	11805	11829	11851	11873	11894	11913	11932	11950	11967	11984	12000	12015	12029	12043
44	11800	11824	11847	11869	11889	11909	11928	11946	11963	11980	11995	12011	12025	12039
46	11796	11820	11843	11864	11885	11905	11924	11942	11959	11976	11991	12007	12021	12035
48	11791	11816	11838	11860	11881	11901	11920	11938	11955	11972	11988	12003	12018	12032
50	11788	11812	11835	11857	11877	11897	11916	11934	11952	11969	11984	12000	12015	12029
52	11784	11808	11831	11853	11874	11894	11913	11931	11949	11965	11981	11997	12011	12026
54	11781	11805	11828	11850	11871	11891	11910	11928	11946	11962	11978	11994	12009	12023
56	11777	11802	11825	11847	11868	11888	11907	11925	11943	11960	11976	11991	12006	12020

Bảng giá trị Sức kháng của dầm I30 DUL

Bảng các thông số hình học và tọa độ cấp DUL dầm I30 DUL nguyên														
<i>Aps</i>	<i>fps</i>	<i>dp</i>	βI	$\beta I * C$	<i>a/2</i>	αI	<i>f'c</i>	<i>b-bw</i>	<i>hsl</i>	<i>Mn</i>	<i>C</i>	<i>dp</i>	<i>fps</i>	
<i>mm2</i>	<i>MPa</i>	<i>mm</i>		<i>mm</i>	<i>mm</i>		<i>MPa</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>kNm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>MPa</i>	
4738	1812	1690	0.836	132.4	66.2	0.85	28	1850	210	13940	155.7	1690	1812	
Bảng giá trị Sức Kháng của cầu dầm I30 DUL												<i>fpu</i>	<i>fpy</i>	<i>k</i>
	f_{cg}	b	h_{sl}	f_{cs}								<i>MPa</i>	<i>MPa</i>	
	56	250	21	28								1860	1674	0.28
	h_{sl}	21	f_{cs}	28										
f_{cg} b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
33	13679	13712	13743	13773	13802	13829	13855	13880	13904	13926	13948	13969	13990	14009
35.5	13666	13700	13731	13761	13790	13817	13843	13868	13892	13915	13937	13958	13979	13998
37.5	13657	13691	13722	13752	13781	13809	13835	13860	13884	13907	13929	13950	13971	13990
40	13647	13680	13712	13742	13771	13799	13825	13850	13874	13898	13920	13941	13961	13981
42	13639	13673	13705	13735	13764	13792	13818	13843	13868	13891	13913	13934	13955	13975
44	13632	13666	13698	13728	13757	13785	13812	13837	13861	13884	13907	13928	13949	13968
46	13626	13659	13692	13722	13751	13779	13806	13831	13855	13879	13901	13922	13943	13963
48	13620	13653	13686	13716	13745	13773	13800	13825	13850	13873	13896	13917	13938	13958
50	13614	13648	13680	13711	13740	13768	13795	13820	13845	13868	13890	13912	13933	13953
52	13609	13643	13675	13706	13735	13763	13790	13815	13840	13863	13886	13907	13928	13948
54	13604	13638	13670	13701	13730	13758	13785	13811	13835	13859	13881	13903	13924	13944
56	13599	13633	13666	13697	13726	13754	13781	13807	13831	13855	13877	13899	13920	13940

Bảng giá trị Sức kháng của dầm I33 DUL

Tính sức kháng dầm DUL chữ I liên hợp bản mặt cầu

$$M_n = A_{ps} * f_{ps} * (d_p - a/2) + A_s * f_s * (d_s - a/2) - a' * f_s * (d'_s - a/2) + \alpha l * f_c * (b - bw) * hf * (a/2 - hf/2)$$

Giả thiết bỏ qua cốt thép thường và tiết diện tính toán là chữ nhật ($bw = b$), thì $M_n = A_{ps} * f_{ps} * (dp -$

Bảng các thông số hình học và tọa độ cáp DUL dầm I33 DUL nguyên														
<i>Aps</i>	<i>fps</i>	<i>dp</i>	$\beta 1$	$\beta 1 * C$	<i>a/2</i>	αl	<i>f'c</i>	<i>b-bw</i>	<i>hsl</i>	<i>Mn</i>	<i>C</i>	<i>dp</i>	<i>fps</i>	
mm2	MPa	mm		mm	mm		MPa	mm	mm	kNm	mm	mm	MPa	
5922	1812	1738	0.836	125.9	63.0	0.85	36	1850	250	17978	158.8	1738	1812	
Bảng giá trị Sức Kháng của cầu dầm I33 DUL											<i>fpu</i>	<i>fpv</i>	<i>k</i>	
			<i>fcg</i>	<i>b</i>	<i>hsl</i>	<i>fcs</i>	SK							
			56	250	25	36	G_in					1860	1674	0.28
<i>hsl</i>	25	<i>fcs</i>	36											
<i>fcg_b</i>	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
33	17664	17705	17743	17780	17815	17849	17881	17911	17941	17969	17996	18022	18047	18070
35.5	17647	17688	17727	17764	17799	17833	17865	17896	17926	17954	17981	18007	18032	18056
37.5	17635	17676	17715	17752	17788	17822	17854	17885	17915	17943	17970	17996	18021	18046
40	17621	17663	17702	17739	17775	17809	17841	17872	17902	17931	17958	17984	18009	18034
42	17611	17653	17692	17729	17765	17799	17832	17863	17893	17922	17949	17975	18001	18025
44	17602	17643	17683	17720	17756	17791	17823	17855	17884	17913	17941	17967	17992	18017
46	17593	17635	17674	17712	17748	17782	17815	17847	17877	17905	17933	17959	17985	18009
48	17585	17627	17667	17704	17740	17775	17808	17839	17869	17898	17926	17952	17978	18002
50	17577	17619	17659	17697	17733	17768	17801	17832	17862	17891	17919	17946	17971	17996
52	17570	17612	17652	17690	17726	17761	17794	17826	17856	17885	17913	17939	17965	17990
54	17564	17606	17646	17684	17720	17755	17788	17820	17850	17879	17907	17934	17959	17984
56	17558	17600	17640	17678	17714	17749	17782	17814	17844	17873	17901	17928	17954	17978
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

2/ Tính tải của dầm I DUL theo TCVN 11823:2017 bằng lập trình VBA trên nền Excel

Bảng giá trị Momen Tĩnh tải của dầm I18 DUL

Bảng giá trị Hiệu ứng tĩnh tải của dầm trong I18 DUL liên hợp														
<i>Asl</i>	<i>Apara</i>	<i>qsl</i>	<i>qpara</i>	<i>L</i>	<i>Mcg</i>	<i>Msl</i>	<i>Mpara</i>	Momen DC						
cm2	cm2	N/mm	N/mm	cm	kNm	kNm	kNm	kNm						
6250	3105	15	7.5	1740	491	568		1059			hUtt LRFR			
b	250	hsl	25											
hsl	25	cm												
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	911	923	934	945	957	968	979	990.7	1002	1013	1025	1036	1047	1059
hsl	18	cm												
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	794	802	810	818	826	834	843	850.8	859	867.1	875.3	883	892	900
hsl	19	cm												
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	810	819	828	836	845	854	862	870.8	879	888	896.6	905	914	923
hsl	20	cm												
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	827	836	845	854	863	873	882	890.7	900	908.9	918	927	936	945
hsl	21	cm												
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	844	854	863	873	882	892	901	910.7	920	929.8	939.3	949	958	968
hsl	22	cm												
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	861	871	881	891	901	911	921	930.7	941	950.7	960.7	971	981	991
hsl	23	cm												
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	878	888	898	909	919	930	940	950.7	961	971.6	982	992	1003	1013
hsl	24	cm												
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	894	905	916	927	938	949	960	970.7	982	992.5	1003	1014	1025	1036
hsl	25	cm												
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	911	923	934	945	957	968	979	990.7	1002	1013	1025	1036	1047	1059

Bảng giá trị Hiệu ứng tĩnh tải của dầm trong I18 DUL liên hợp														
		Acs	Aas	qcs	qas	L	Mcs	Mas	Momen DW	b	has			
		cm2	cm2	N/mm	N/mm	cm	kNm	kNm	kNm	cm	cm			
b	250	1750	3000	4.11	7.1	1740	156	267	422		250	12		
has	12													
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	313	321	330	338	346	355	363	372	380	389	397.1	406	414	422
has	5													
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	197	203	208	213	219	224	229	235	240	245	250.8	256	261	267
has	6													
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	214	220	225	231	237	243	249	254	260	266	271.7	277	283	289
has	7													
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	230	237	243	249	255	261	268	274	280	286	292.6	299	305	311
has	8													
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	247	253	260	267	273	280	287	293	300	307	313.5	320	327	334
has	9													
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	263	270	277	285	292	299	306	313	320	327	334.4	342	349	356
has	10													
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	280	287	295	302	310	318	325	333	340	348	355.3	363	370	378
has	11													
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	296	304	312	320	328	336	344	352	360	368	376.2	384	392	400
has	12													
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	313	321	330	338	346	355	363	372	380	389	397.1	406	414	422

Bảng giá trị Momen Tĩnh tải của dầm I21 DUL

Bảng giá trị Hiệu ứng tĩnh tải của dầm trong I21 DUL liên hợp														
	Asl	Apara	qsl	qpara	L	Mcg	Msl	Mpara	Momen DC					
	cm2	cm2	N/mm	N/mm	cm	kNm	kNm	kNm	kNm			hUtt		
	6250	3105	15	7.5	2040	718	780		1499			LRFR		
b	250	hsl	25											
hsl	25	cm												
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	1296	1311	1327	1343	1358	1374	1390	1405	1421	1436	1452	1468	1483	1499
hsl	18	cm												
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	1134	1145	1157	1168	1179	1190	1202	1213	1224	1235	1247	1258	1269	1280
hsl	19	cm												
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	1157	1169	1181	1193	1205	1217	1228	1240	1252	1264	1276	1288	1300	1311
hsl	20	cm												
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	1180	1193	1205	1218	1230	1243	1255	1268	1280	1293	1305	1318	1330	1343
hsl	21	cm												
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	1203	1217	1230	1243	1256	1269	1282	1295	1308	1321	1335	1348	1361	1374
hsl	22	cm												
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	1227	1240	1254	1268	1282	1295	1309	1323	1336	1350	1364	1378	1391	1405
hsl	23	cm												
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	1250	1264	1278	1293	1307	1321	1336	1350	1365	1379	1393	1408	1422	1436
hsl	24	cm												
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	1273	1288	1303	1318	1333	1348	1363	1378	1393	1408	1423	1438	1453	1468
hsl	25	cm												
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	1296	1311	1327	1343	1358	1374	1390	1405	1421	1436	1452	1468	1483	1499

Bảng giá trị Hiệu ứng tĩnh tải của dầm trong I21 DUL liên hợp														
			Acs	Aas	qcs	qas	L	Mcs	Mas	Momen DW	b	has		
			cm2	cm2	N/mm	N/mm	cm	kNm	kNm	kNm	cm	cm		
b	250		1750	3000	4.2	7.2	2040	218	375	593	250	12		
has	12													
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	439	451	463	474	486	498	510	522	534	546	557.4	569	581	593
has	5													
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	277	285	292	300	307	315	322	330	337	345	352.1	360	367	375
has	6													
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	300	308	316	325	333	341	349	357	365	373	381.4	390	398	406
has	7													
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	323	332	341	350	358	367	376	385	393	402	410.7	419	428	437
has	8													
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	346	356	365	375	384	393	403	412	421	431	440.1	449	459	468
has	9													
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	370	380	390	400	410	419	429	439	449	459	469.4	479	489	499
has	10													
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	393	403	414	424	435	446	456	467	478	488	498.8	509	520	531
has	11													
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	416	427	438	449	461	472	483	494	506	517	528.1	539	551	562
has	12													
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	439	451	463	474	486	498	510	522	534	546	557.4	569	581	593

Bảng giá trị Momen Tĩnh tải của dầm I24.5 DUL

Bảng giá trị Hiệu ứng tĩnh tải của dầm trong I24.5 DUL liên hợp														
	Asl	Apara	qsl	qpara	L	Mcg	Msl	Mpara	Momen DC					
	cm2	cm2	N/mm	N/mm	cm	kNm	kNm	kNm	kNm					
	6250	3105	15	7.5	2374	1084	1057		2141					
b	250	hsl	25											
hsl	25	cm												
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	1866	1887	1909	1930	1951	1972	1993	2014	2035	2056	2078	2099	2120	2141
hsl	18	cm												
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	1647	1663	1678	1693	1708	1723	1739	1754	1769	1784	1799	1815	1830	1845
hsl	19	cm												
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	1679	1695	1711	1727	1743	1759	1775	1791	1807	1823	1839	1855	1871	1887
hsl	20	cm												
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	1710	1727	1744	1761	1777	1794	1811	1828	1845	1862	1879	1896	1913	1930
hsl	21	cm												
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	1741	1759	1777	1794	1812	1830	1848	1865	1883	1901	1919	1936	1954	1972
hsl	22	cm												
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	1772	1791	1810	1828	1847	1865	1884	1903	1921	1940	1958	1977	1996	2014
hsl	23	cm												
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	1804	1823	1843	1862	1881	1901	1920	1940	1959	1979	1998	2018	2037	2056
hsl	24	cm												
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	1835	1855	1876	1896	1916	1936	1957	1977	1997	2018	2038	2058	2078	2099
hsl	25	cm												
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	1866	1887	1909	1930	1951	1972	1993	2014	2035	2056	2078	2099	2120	2141

Bảng giá trị Hiệu ứng tĩnh tải của dầm trong I24.5 DUL liên hợp														
			Acs	Aas	qcs	qas	L	Mcs	Mas	Momen DW	b	has		
			cm2	cm2	N/mm	N/mm	cm	kNm	kNm	kNm	cm	cm		
b	250		1750	3000	4.2	7.2	2374	296	507	803	250	12		
has	12													
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	594	610	626	642	659	675	691	707	723	739	754.9	771	787	803
has	5													
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	375	385	396	406	416	426	436	446	457	467	476.8	487	497	507
has	6													
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	407	418	429	440	451	462	473	484	495	506	516.5	528	539	549
has	7													
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	438	450	462	473	485	497	509	521	533	544	556.3	568	580	592
has	8													
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	469	482	495	507	520	533	545	558	571	583	596	609	621	634
has	9													
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	500	514	528	541	555	568	582	595	609	622	635.7	649	663	676
has	10													
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	532	546	560	575	589	604	618	632	647	661	675.5	690	704	719
has	11													
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	563	578	593	609	624	639	654	670	685	700	715.2	730	746	761
has	12													
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	594	610	626	642	659	675	691	707	723	739	754.9	771	787	803

Bảng giá trị Momen Tĩnh tải của dầm I30 DUL

Bảng giá trị Hiệu ứng tĩnh tải của dầm trong I30 DUL liên hợp														
	Asl	Apara	qsl	qpara	L	Mcg	Msl	Mpara	Momen DC					
	cm2	cm2	N/mm	N/mm	cm	kNm	kNm	kNm	kNm					
	6250	3105	15	7.5	2940	1858	1621		3479					
b	250	hsl	25											
hsl	25	cm												
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	3058	3090	3123	3155	3187	3220	3252	3285	3317	3349	3382	3414	3447	3479
hsl	18	cm												
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	2722	2745	2769	2792	2815	2839	2862	2885	2909	2932	2955	2979	3002	3025
hsl	19	cm												
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	2770	2795	2819	2844	2868	2893	2918	2942	2967	2992	3016	3041	3066	3090
hsl	20	cm												
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	2818	2844	2870	2896	2922	2948	2973	2999	3025	3051	3077	3103	3129	3155
hsl	21	cm												
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	2866	2893	2920	2948	2975	3002	3029	3056	3084	3111	3138	3165	3193	3220
hsl	22	cm												
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	2914	2942	2971	2999	3028	3056	3085	3113	3142	3171	3199	3228	3256	3285
hsl	23	cm												
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	2962	2992	3021	3051	3081	3111	3141	3171	3200	3230	3260	3290	3320	3349
hsl	24	cm												
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	3010	3041	3072	3103	3134	3165	3196	3228	3259	3290	3321	3352	3383	3414
hsl	25	cm												
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	3058	3090	3123	3155	3187	3220	3252	3285	3317	3349	3382	3414	3447	3479

Bảng giá trị Hiệu ứng tĩnh tải của dầm trong I30 DUL liên hợp														
			Acs	Aas	qcs	qas	L	Mcs	Mas	Momen DW	b	has		
			cm ²	cm ²	N/mm	N/mm	cm	kNm	kNm	kNm	cm	cm		
b	250		1750	3000	4.2	7.2	2940	454	778	1232	250	12		
has	12													
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	911	936	961	985	1010	1035	1059	1084	1109	1133	1158	1182	1207	1232
has	5													
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	576	591	607	622	638	653	669	684.6	700	716	731.2	747	762	778
has	6													
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	624	640	657	674	691	708	725	741.6	758	775	792.2	809	826	843
has	7													
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	672	690	708	726	744	762	781	798.7	817	835	853.1	871	889	908
has	8													
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	720	739	758	778	797	817	836	855.7	875	895	914.1	934	953	972
has	9													
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	768	788	809	830	851	871	892	912.8	934	954	975	996	1016	1037
has	10													
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	816	838	860	882	904	926	948	969.8	992	1014	1036	1058	1080	1102
has	11													
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	863	887	910	934	957	980	1004	1027	1050	1074	1097	1120	1144	1167
has	12													
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	911	936	961	985	1010	1035	1059	1084	1109	1133	1158	1182	1207	1232

Bảng giá trị Momen Tĩnh tải của dầm I30 DUL

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Bảng giá trị Hiệu ứng tĩnh tải của dầm trong I33 DUL liên hợp														
	Asl	Apara	qsl	qpara	L	Mcg	Msl	Mpara	Momen DC					
	cm ²	cm ²	N/mm	N/mm	cm	kNm	kNm	kNm	kNm					
	6250	3105	15	7.5	3240	2346	1968		4314					
b	250	hsl	25											
hsl	25	cm												
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	3802	3842	3881	3920	3960	3999	4038	4078	4117	4157	4196	4235	4275	4314
hsl	18	cm												
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	3394	3423	3451	3479	3508	3536	3564	3593	3621	3650	3678	3706	3735	3763
hsl	19	cm												
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	3453	3483	3513	3542	3572	3602	3632	3662	3692	3722	3752	3782	3812	3842
hsl	20	cm												
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	3511	3542	3574	3605	3637	3668	3700	3731	3763	3794	3826	3857	3889	3920
hsl	21	cm												
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	3569	3602	3635	3668	3701	3735	3768	3801	3834	3867	3900	3933	3966	3999
hsl	22	cm												
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	3627	3662	3697	3731	3766	3801	3835	3870	3905	3939	3974	4009	4043	4078
hsl	23	cm												
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	3686	3722	3758	3794	3831	3867	3903	3939	3975	4012	4048	4084	4120	4157
hsl	24	cm												
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	3744	3782	3820	3857	3895	3933	3971	4009	4046	4084	4122	4160	4197	4235
hsl	25	cm												
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	3802	3842	3881	3920	3960	3999	4038	4078	4117	4157	4196	4235	4275	4314

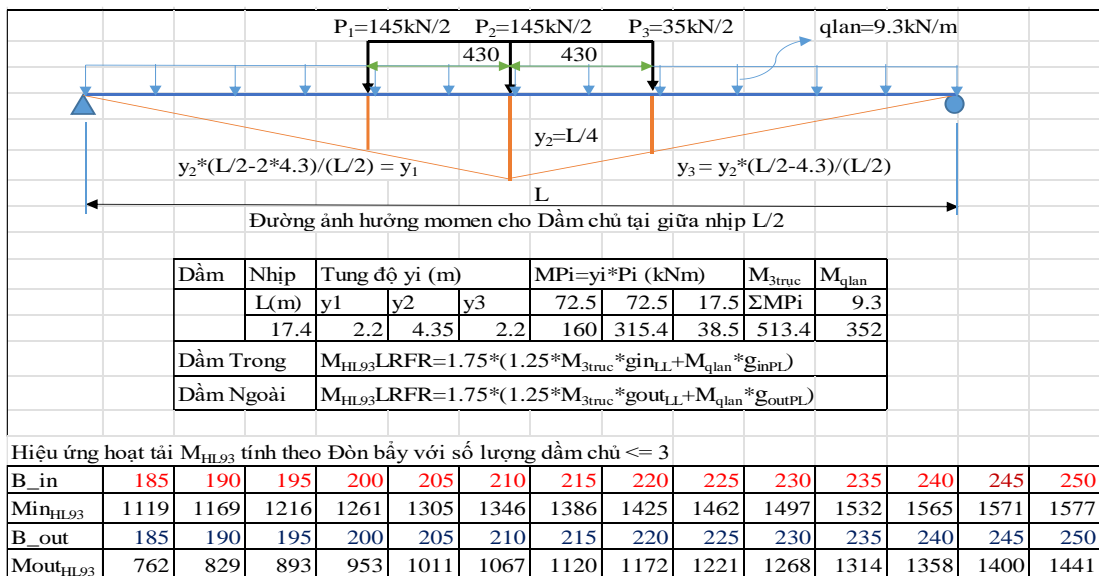
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Bảng giá trị Hiệu ứng tĩnh tải của dầm trong I33 DUL liên hợp														
			Acs	Aas	qcs	qas	L	Mcs	Mas	Momen DW	b	has		
			cm ²	cm ²	N/mm	N/mm	cm	kNm	kNm	kNm	cm	cm		
b	250		750	3000	1.8	7.1	3240	231	925	1156				
has	12													
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	1084	1113	1142	1172	1201	1230	1260	1289	1318	1348	1377	1406	1435	1465
has	5													
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	685	703	722	740	758.6	777.1	795.6	814.1	833	851	869.6	888	907	925
has	6													
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	742	762	782	802	821.8	841.8	861.9	881.9	902	922	942.1	962	982	1002
has	7													
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	799	820	842	863	885	906.6	928.2	949.8	971	993	1015	1036	1058	1079
has	8													
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	856	879	902	925	948.2	971.4	994.5	1018	1041	1064	1087	1110	1133	1156
has	9													
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	913	937	962	987	1011	1036	1061	1085	1110	1135	1159	1184	1209	1233
has	10													
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	970	996	1022	1048	1075	1101	1127	1153	1180	1206	1232	1258	1284	1311
has	11													
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	1027	1055	1082	1110	1138	1166	1193	1221	1249	1277	1304	1332	1360	1388
has	12													
b	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	1084	1113	1142	1172	1201	1230	1260	1289	1318	1348	1377	1406	1435	1465

3/ Hoạt tải của dầm I DUL theo TCVN 11823:2017 bằng lập trình VBA trên nền Excel

3.1 Momen Hoạt tải của dầm I DUL theo xe thiết kế HL-93

3.1.1 Momen Hoạt tải của dầm I18 DUL

Bảng giá trị Momen Hoạt tải của dầm I18 DUL theo PP Đòn bẩy



Bảng giá trị Momen Hoạt tải của dầm I18 DUL theo > 03 Dầm

n	Ig	Ag	Ygb	Hg
-	cm4	cm2	cm	cm
0.802	6646271	4951	56.0	110
Kg	Qui đổi độ cứng			eg
cm4	$Kg = n*(I+Ag*eg^2)$			cm
22860657	$eg=(H-Ygb)+hsl/2$			66.46

Nhịp	Tung độ yi(m)			$M_{Pi}=y_i*P_i$			M_{3truc}	M_{qlan}
(m)	y1	y2	y3	145	145	35	ΣM_{Pi}	$q*L^2/8$
17.40	2.2	4.35	2.2	319	631	77	1027	352

f_{cg}				b				hsl				f_{cs}			
56				250				25				36			
hsl				25				fcs				36			
25				fcs				36				2			

M_{HL93} LRFR (kNm)											
2Làn			3Làn			4Làn					
2240			2856			2912					

Bảng tính hệ số phân phối ngang														
S	ts	S/2900	S/L	Kg/Lts ³										
mm	mm	-	-	-										
2500	250	0.862	0.144	0.841										
g _{in}	Hệ số làn tải, f			qlan										
-	2	3	4	kN/m										
0.685	1.0	0.85	0.65	9.3										

f_{cg} S	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
33	1858	1893	1928	1962	1996	2030	2064	2098	2132	2165	2198	2232	2265	2298
35.5	1852	1887	1921	1955	1989	2023	2057	2091	2124	2158	2191	2224	2257	2289
37.5	1847	1882	1916	1950	1984	2018	2052	2085	2119	2152	2185	2218	2251	2283
40	1842	1876	1910	1944	1978	2012	2046	2079	2112	2145	2178	2211	2244	2276
42	1837	1872	1906	1940	1974	2007	2041	2074	2107	2140	2173	2206	2239	2271
44	1833	1868	1902	1936	1969	2003	2036	2070	2103	2136	2168	2201	2234	2266
46	1830	1864	1898	1932	1965	1999	2032	2065	2098	2131	2164	2196	2229	2261
48	1826	1860	1894	1928	1961	1995	2028	2061	2094	2127	2160	2192	2224	2257
50	1823	1857	1891	1924	1958	1991	2024	2057	2090	2123	2155	2188	2220	2252
52	1819	1853	1887	1921	1954	1987	2020	2053	2086	2119	2151	2184	2216	2248
54	1816	1850	1884	1917	1951	1984	2017	2050	2083	2115	2148	2180	2212	2244
56	1813	1847	1881	1914	1947	1981	2013	2046	2079	2112	2144	2176	2208	2240

3.1.2 Momen Hoạt tải của dầm I21 DUL

Bảng giá trị Momen Hoạt tải của dầm I21 DUL theo PP Đòn bẩy

Đường ảnh hưởng momen cho Dầm chủ tại giữa nhịp L/2

Dầm	Nhịp	Tung độ yi (m)			$M_{Pi}=y_i*P_i$ (kNm)			M_{3truc}	M_{qlan}
	L(m)	y1	y2	y3	72.5	72.5	17.5	ΣM_{Pi}	9.3
	20.4	2.95	5.1	2.95	214	369.8	51.63	635.3	483.8

Dầm Trong	$M_{HL93}LRFR=1.75*(1.25*M_{3truc}*g_{inLL}+M_{qlan}*g_{inPL})$
Dầm Ngoài	$M_{HL93}LRFR=1.75*(1.25*M_{3truc}*g_{outLL}+M_{qlan}*g_{outPL})$

Hiệu ứng hoạt tải M_{HL93} tính theo Đòn bẩy với số lượng dầm chủ ≤ 3

B _{in}	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
Min _{HL93}	1414	1477	1536	1593	1648	1700	1750	1799	1845	1890	1933	1975	1983	1991
B _{out}	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
Mout _{HL93}	966	1049	1129	1205	1278	1347	1414	1478	1540	1600	1657	1712	1766	1818

Bảng giá trị Momen Hoạt tải của dầm I21 DUL theo > 03 Dầm

n	Ig	Ag	Ygb	Hg
0.802	8547995	5192	60.6	120
Kg		Qui đổi độ cứng		eg
cm4		Kg=n*(I+Ag*eg ²)		cm
28373388		eg=(H-Ygb)+hsl/2		71.897

Nhịp	Tung độ yi(m)			MPi=yi*Pi		M _{3truc}		M _{qlan}
(m)	y1	y2	y3	145	145	35	ΣMPi	9.3L ² /8
20.4	2.95	5.1	2.95	428	740	103	1271	484
				M _{HL93} LRFR (kNm)				
				2Làn	3Làn	4Làn		
				2773	3536	3605		

hsl	fcg	b	hsl	fcs
25	56	250	25	36
2			36	2

fcg_S	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
33	2302	2345	2388	2430	2473	2515	2557	2598	2640	2681	2722	2763	2804	2845
35.5	2294	2337	2380	2422	2464	2506	2548	2589	2631	2672	2713	2754	2794	2835
37.5	2288	2331	2374	2416	2458	2500	2541	2583	2624	2665	2706	2746	2787	2827
40	2282	2324	2366	2408	2450	2492	2533	2575	2616	2656	2697	2738	2778	2818
42	2276	2319	2361	2403	2445	2486	2527	2569	2609	2650	2691	2731	2772	2812
44	2271	2314	2356	2398	2439	2481	2522	2563	2604	2644	2685	2725	2765	2805
46	2267	2309	2351	2392	2434	2475	2516	2557	2598	2639	2679	2719	2759	2799
48	2262	2304	2346	2388	2429	2470	2511	2552	2593	2633	2674	2714	2754	2794
50	2258	2300	2342	2383	2424	2466	2507	2547	2588	2628	2668	2709	2748	2788
52	2254	2296	2337	2379	2420	2461	2502	2543	2583	2623	2664	2703	2743	2783
54	2250	2292	2333	2375	2416	2457	2497	2538	2578	2619	2659	2699	2738	2778
56	2246	2288	2329	2370	2412	2452	2493	2534	2574	2614	2654	2694	2734	2773

S	ts	S/2900	S/L	K _g /L _{t_s} ³
2500	250	0.862	0.123	0.8901
g _{in}		Hệ số làn tải, f		qlan
-		2	3	4 kN/m
0.669	1.0	0.85	0.65	9.3

3.1.3 Momen Hoạt tải của dầm I24.5 DUL

Bảng giá trị Momen Hoạt tải của dầm I24.5 DUL theo PP Đòn bẩy

Đường ảnh hưởng momen cho Dầm chủ tại giữa nhịp L/2

Dầm	Nhịp	Tung độ yi (m)			MPi=yi*Pi (kNm)			M _{3truc}	M _{qlan}	
	L(m)	y1	y2	y3	72.5	72.5	17.5	ΣMPi	9.3	
	23.74	3.785	5.935	3.785	274	430.3	66.24	770.9	655.2	
Dầm Trong		M _{HL93} LRFR=1.75*(1.25*M _{3truc} *g _{inLL} +M _{qlan} *g _{inPL})								
Dầm Ngoài		M _{HL93} LRFR=1.75*(1.25*M _{3truc} *g _{outLL} +M _{qlan} *g _{outPL})								

Hiệu ứng hoạt tải M_{HL93} tính theo Đòn bẩy với số lượng dầm chủ <= 3

B _{in}	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
Min _{HL}	1758	1835	1908	1979	2046	2111	2173	2233	2290	2346	2400	2451	2462	2473
B _{out}	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
Mout _t	1204	1306	1404	1498	1587	1673	1755	1835	1911	1984	2055	2124	2190	2254

Bảng giá trị Momen Hoạt tải của dầm I24.5 DUL theo > 03 Dầm

n	Ig	Ag	Ygb	Hg																																																																																																																																																																																																																
	cm ⁴	cm ²	cm	cm																																																																																																																																																																																																																
0.802	14370170	5730	72.6	145																																																																																																																																																																																																																
Kg	Qui đổi độ cứng			eg																																																																																																																																																																																																																
cm ⁴	Kg = n*(I+Ag*eg ²)			cm																																																																																																																																																																																																																
44658546	eg=(H-Ygb)+hsl/2			84.93																																																																																																																																																																																																																
Bảng tính hệ số phân phối ngang																																																																																																																																																																																																																				
S	ts	S/2900	S/L	Kg/Lts ³																																																																																																																																																																																																																
mm	mm	-	-	-																																																																																																																																																																																																																
2500	250	0.862	0.105	1.204																																																																																																																																																																																																																
g_in	Hệ số Làn tải, f			qlan																																																																																																																																																																																																																
-	2 Làn	3 Làn	4 Làn	kN/m																																																																																																																																																																																																																
0.669	1.0	0.85	0.65	9.3																																																																																																																																																																																																																
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Nhịp</th> <th colspan="3">Tung độ yi (m)</th> <th colspan="3">MPi=yi*Pi(kNm)</th> <th>M_{3truc}</th> <th>M_{qlan}</th> </tr> <tr> <th>L(m)</th> <th>y1</th> <th>y2</th> <th>y3</th> <th>145</th> <th>145</th> <th>35</th> <th>ΣMPi</th> <th>qL²/8</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>23.74</td> <td>3.785</td> <td>5.935</td> <td>3.785</td> <td>549</td> <td>861</td> <td>132</td> <td>1542</td> <td>655</td> </tr> </tbody> </table>														Nhịp	Tung độ yi (m)			MPi=yi*Pi(kNm)			M _{3truc}	M _{qlan}	L(m)	y1	y2	y3	145	145	35	ΣMPi	qL ² /8	23.74	3.785	5.935	3.785	549	861	132	1542	655																																																																																																																																																																												
Nhịp	Tung độ yi (m)			MPi=yi*Pi(kNm)			M _{3truc}	M _{qlan}																																																																																																																																																																																																												
	L(m)	y1	y2	y3	145	145	35	ΣMPi	qL ² /8																																																																																																																																																																																																											
23.74	3.785	5.935	3.785	549	861	132	1542	655																																																																																																																																																																																																												
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">f_{cg}</th> <th rowspan="2">b</th> <th rowspan="2">hsl</th> <th rowspan="2">f_{cs}</th> <th colspan="3">M_{HL93} LRFR</th> </tr> <tr> <th>2Làn</th> <th>3Làn</th> <th>4Làn</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>56</td> <td>250</td> <td>25</td> <td>36</td> <td>3456</td> <td>4406</td> <td>4493</td> </tr> </tbody> </table>														f _{cg}	b	hsl	f _{cs}	M _{HL93} LRFR			2Làn	3Làn	4Làn	56	250	25	36	3456	4406	4493																																																																																																																																																																																						
f _{cg}	b	hsl	f _{cs}	M _{HL93} LRFR																																																																																																																																																																																																																
				2Làn	3Làn	4Làn																																																																																																																																																																																																														
56	250	25	36	3456	4406	4493																																																																																																																																																																																																														
<table border="1"> <thead> <tr> <th>hsl</th> <th>25</th> <th>36</th> <th>4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>f_{cg_S}</td> <td>185</td> <td>190</td> <td>195</td> <td>200</td> <td>205</td> <td>210</td> <td>215</td> <td>220</td> <td>225</td> <td>230</td> <td>235</td> <td>240</td> <td>245</td> <td>250</td> </tr> <tr> <td>33</td> <td>3731</td> <td>3800</td> <td>3870</td> <td>3939</td> <td>4007</td> <td>4075</td> <td>4143</td> <td>4211</td> <td>4278</td> <td>4345</td> <td>4412</td> <td>4478</td> <td>4544</td> <td>4610</td> </tr> <tr> <td>35.5</td> <td>3718</td> <td>3787</td> <td>3856</td> <td>3925</td> <td>3993</td> <td>4061</td> <td>4129</td> <td>4196</td> <td>4263</td> <td>4329</td> <td>4396</td> <td>4462</td> <td>4528</td> <td>4593</td> </tr> <tr> <td>37.5</td> <td>3708</td> <td>3777</td> <td>3846</td> <td>3914</td> <td>3983</td> <td>4050</td> <td>4118</td> <td>4185</td> <td>4251</td> <td>4318</td> <td>4384</td> <td>4450</td> <td>4516</td> <td>4581</td> </tr> <tr> <td>40</td> <td>3697</td> <td>3766</td> <td>3834</td> <td>3902</td> <td>3970</td> <td>4038</td> <td>4105</td> <td>4172</td> <td>4238</td> <td>4304</td> <td>4370</td> <td>4436</td> <td>4502</td> <td>4567</td> </tr> <tr> <td>42</td> <td>3688</td> <td>3757</td> <td>3825</td> <td>3893</td> <td>3961</td> <td>4028</td> <td>4095</td> <td>4162</td> <td>4228</td> <td>4294</td> <td>4360</td> <td>4426</td> <td>4491</td> <td>4556</td> </tr> <tr> <td>44</td> <td>3680</td> <td>3749</td> <td>3817</td> <td>3885</td> <td>3952</td> <td>4019</td> <td>4086</td> <td>4153</td> <td>4219</td> <td>4285</td> <td>4350</td> <td>4416</td> <td>4481</td> <td>4546</td> </tr> <tr> <td>46</td> <td>3673</td> <td>3741</td> <td>3809</td> <td>3877</td> <td>3944</td> <td>4011</td> <td>4077</td> <td>4144</td> <td>4210</td> <td>4276</td> <td>4341</td> <td>4406</td> <td>4471</td> <td>4536</td> </tr> <tr> <td>48</td> <td>3665</td> <td>3733</td> <td>3801</td> <td>3869</td> <td>3936</td> <td>4003</td> <td>4069</td> <td>4135</td> <td>4201</td> <td>4267</td> <td>4332</td> <td>4397</td> <td>4462</td> <td>4526</td> </tr> <tr> <td>50</td> <td>3658</td> <td>3726</td> <td>3794</td> <td>3861</td> <td>3928</td> <td>3995</td> <td>4061</td> <td>4127</td> <td>4193</td> <td>4258</td> <td>4324</td> <td>4388</td> <td>4453</td> <td>4517</td> </tr> <tr> <td>52</td> <td>3652</td> <td>3719</td> <td>3787</td> <td>3854</td> <td>3921</td> <td>3987</td> <td>4054</td> <td>4120</td> <td>4185</td> <td>4250</td> <td>4315</td> <td>4380</td> <td>4445</td> <td>4509</td> </tr> <tr> <td>54</td> <td>3645</td> <td>3713</td> <td>3780</td> <td>3847</td> <td>3914</td> <td>3980</td> <td>4046</td> <td>4112</td> <td>4178</td> <td>4243</td> <td>4308</td> <td>4372</td> <td>4437</td> <td>4501</td> </tr> <tr> <td>56</td> <td>3639</td> <td>3706</td> <td>3774</td> <td>3841</td> <td>3907</td> <td>3973</td> <td>4039</td> <td>4105</td> <td>4170</td> <td>4235</td> <td>4300</td> <td>4365</td> <td>4429</td> <td>4493</td> </tr> </tbody> </table>														hsl	25	36	4	f _{cg_S}	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250	33	3731	3800	3870	3939	4007	4075	4143	4211	4278	4345	4412	4478	4544	4610	35.5	3718	3787	3856	3925	3993	4061	4129	4196	4263	4329	4396	4462	4528	4593	37.5	3708	3777	3846	3914	3983	4050	4118	4185	4251	4318	4384	4450	4516	4581	40	3697	3766	3834	3902	3970	4038	4105	4172	4238	4304	4370	4436	4502	4567	42	3688	3757	3825	3893	3961	4028	4095	4162	4228	4294	4360	4426	4491	4556	44	3680	3749	3817	3885	3952	4019	4086	4153	4219	4285	4350	4416	4481	4546	46	3673	3741	3809	3877	3944	4011	4077	4144	4210	4276	4341	4406	4471	4536	48	3665	3733	3801	3869	3936	4003	4069	4135	4201	4267	4332	4397	4462	4526	50	3658	3726	3794	3861	3928	3995	4061	4127	4193	4258	4324	4388	4453	4517	52	3652	3719	3787	3854	3921	3987	4054	4120	4185	4250	4315	4380	4445	4509	54	3645	3713	3780	3847	3914	3980	4046	4112	4178	4243	4308	4372	4437	4501	56	3639	3706	3774	3841	3907	3973	4039	4105	4170	4235	4300	4365	4429	4493
hsl	25	36	4																																																																																																																																																																																																																	
f _{cg_S}	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250																																																																																																																																																																																																						
33	3731	3800	3870	3939	4007	4075	4143	4211	4278	4345	4412	4478	4544	4610																																																																																																																																																																																																						
35.5	3718	3787	3856	3925	3993	4061	4129	4196	4263	4329	4396	4462	4528	4593																																																																																																																																																																																																						
37.5	3708	3777	3846	3914	3983	4050	4118	4185	4251	4318	4384	4450	4516	4581																																																																																																																																																																																																						
40	3697	3766	3834	3902	3970	4038	4105	4172	4238	4304	4370	4436	4502	4567																																																																																																																																																																																																						
42	3688	3757	3825	3893	3961	4028	4095	4162	4228	4294	4360	4426	4491	4556																																																																																																																																																																																																						
44	3680	3749	3817	3885	3952	4019	4086	4153	4219	4285	4350	4416	4481	4546																																																																																																																																																																																																						
46	3673	3741	3809	3877	3944	4011	4077	4144	4210	4276	4341	4406	4471	4536																																																																																																																																																																																																						
48	3665	3733	3801	3869	3936	4003	4069	4135	4201	4267	4332	4397	4462	4526																																																																																																																																																																																																						
50	3658	3726	3794	3861	3928	3995	4061	4127	4193	4258	4324	4388	4453	4517																																																																																																																																																																																																						
52	3652	3719	3787	3854	3921	3987	4054	4120	4185	4250	4315	4380	4445	4509																																																																																																																																																																																																						
54	3645	3713	3780	3847	3914	3980	4046	4112	4178	4243	4308	4372	4437	4501																																																																																																																																																																																																						
56	3639	3706	3774	3841	3907	3973	4039	4105	4170	4235	4300	4365	4429	4493																																																																																																																																																																																																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th>4Làn HTai</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>4Làn HTai</td> </tr> </tbody> </table>														4Làn HTai	4Làn HTai																																																																																																																																																																																																					
4Làn HTai																																																																																																																																																																																																																				
4Làn HTai																																																																																																																																																																																																																				

3.1.4 Momen Hoạt tải của dầm I30 DUL

Bảng giá trị Momen Hoạt tải của dầm I30 DUL theo PP Đòn bẩy

Đường ảnh hưởng momen cho Dầm chủ tại giữa nhịp L/2																																											
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Dầm</th> <th>Nhịp</th> <th colspan="3">Tung độ yi (m)</th> <th colspan="3">MPi=yi*Pi (kNm)</th> <th>M_{3truc}</th> <th>M_{qlan}</th> </tr> <tr> <td></td> <td>L(m)</td> <td>y1</td> <td>y2</td> <td>y3</td> <td>72.5</td> <td>72.5</td> <td>17.5</td> <td>ΣMPi</td> <td>9.3</td> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>29.4</td> <td>5.2</td> <td>7.35</td> <td>5.2</td> <td>377</td> <td>532.9</td> <td>91</td> <td>1001</td> <td>1005</td> </tr> </tbody> </table>														Dầm	Nhịp	Tung độ yi (m)			MPi=yi*Pi (kNm)			M _{3truc}	M _{qlan}		L(m)	y1	y2	y3	72.5	72.5	17.5	ΣMPi	9.3		29.4	5.2	7.35	5.2	377	532.9	91	1001	1005
Dầm	Nhịp	Tung độ yi (m)			MPi=yi*Pi (kNm)			M _{3truc}	M _{qlan}																																		
	L(m)	y1	y2	y3	72.5	72.5	17.5	ΣMPi	9.3																																		
	29.4	5.2	7.35	5.2	377	532.9	91	1001	1005																																		
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Dầm Trong</th> <th>M_{HL93} LRFR=1.75*(1.25*M_{3truc}*g_{inLL}+M_{qlan}*g_{inPL})</th> </tr> <tr> <th>Dầm Ngoài</th> <th>M_{HL93} LRFR=1.75*(1.25*M_{3truc}*g_{outLL}+M_{qlan}*g_{outPL})</th> </tr> </thead> </table>														Dầm Trong	M _{HL93} LRFR=1.75*(1.25*M _{3truc} *g _{inLL} +M _{qlan} *g _{inPL})	Dầm Ngoài	M _{HL93} LRFR=1.75*(1.25*M _{3truc} *g _{outLL} +M _{qlan} *g _{outPL})																										
Dầm Trong	M _{HL93} LRFR=1.75*(1.25*M _{3truc} *g _{inLL} +M _{qlan} *g _{inPL})																																										
Dầm Ngoài	M _{HL93} LRFR=1.75*(1.25*M _{3truc} *g _{outLL} +M _{qlan} *g _{outPL})																																										
Hiệu ứng hoạt tải M _{HL93} tính theo Đòn bẩy với số lượng dầm chủ ≤ 3																																											
B_in	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250																													
Min _{HL93}	2378	2480	2578	2672	2762	2848	2931	3012	3089	3164	3236	3306	3323	3340																													
B_out	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250																													
Mout _{HL93}	1635	1771	1900	2025	2144	2258	2368	2473	2575	2673	2768	2860	2949	3035																													

Bảng giá trị Momen Hoạt tải của dầm I30 DUL theo > 03 Dầm

n	Ig	Ag	Ygb	Hg
	cm ⁴	cm ²	cm	cm
0.802	20088169	6356	79.31	160
Kg	Qui đổi độ cứng			eg
cm ⁴	Kg = n*(I+Ag*eg ²)			cm
58956784	eg=(H-Ygb)+hsl/2			91.694

Bảng tính hệ số phân phối ngang									
S	ts	S/2900	S/L	Kg/Lt _s ³					
mm	mm	-	-	-					
2500	220	0.862	0.085	1.8833					
g_in	Hệ số Làn tải, f			qlan					
-	2 Làn	3 Làn	4 Làn	kN/m					
0.670	1.0	0.85	0.65	9.3					

Nhịp	Tung độ yi (m)			M _{Pi=yi*Pi} (kNm)			M _{3truc}	M _{qlan}	
L(m)	y1	y2	y3	145	145	35	ΣMPi	9.3	
29.4	5.2	7.35	5.2	754	1066	182	2002	1005	
							M _{HL93}	LRFR	
							2 Làn	3 Làn	4 Làn
	f_{cg}	b	hsl	f_{cs}			4701	5994	6112
hsl	22	f_{cs}	36	2					

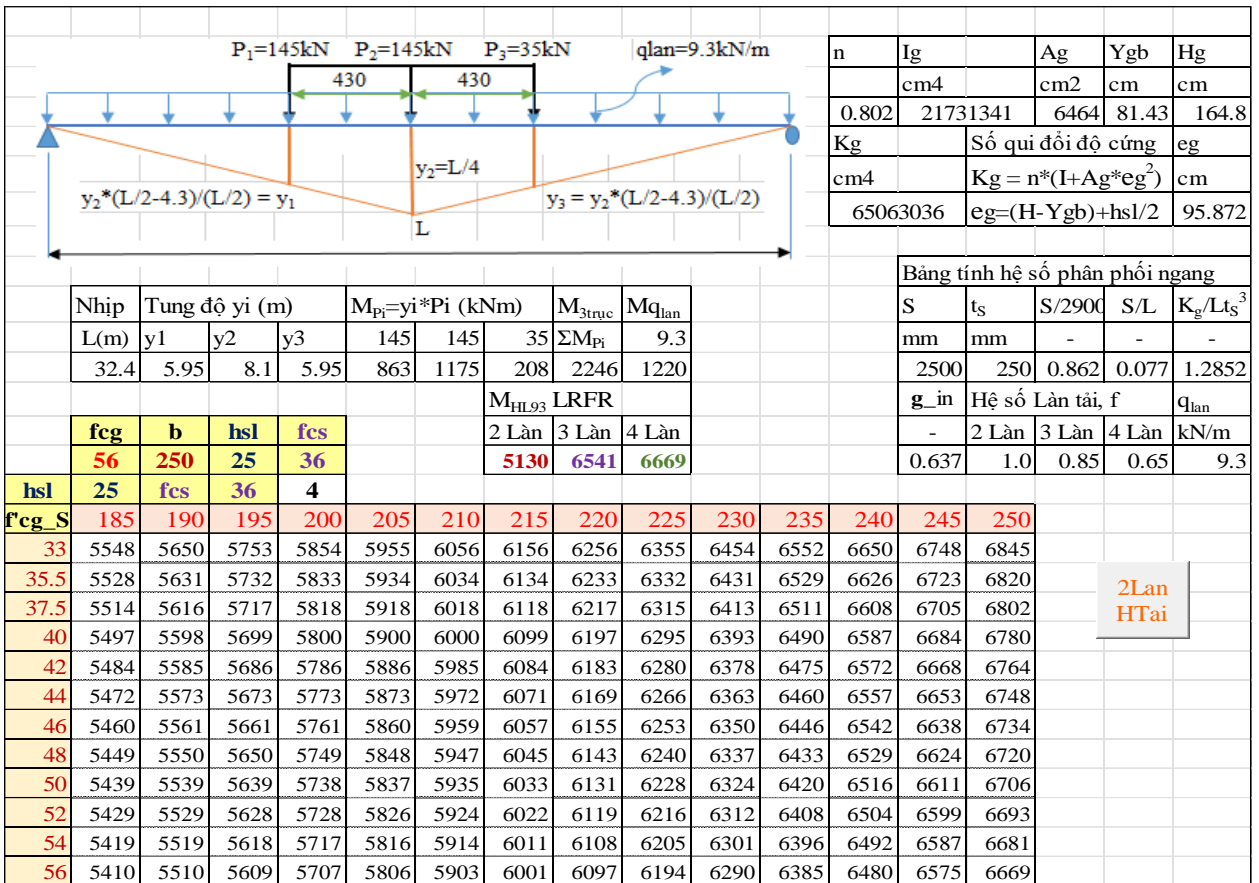
f _{cg_S}	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
33	3904	3977	4049	4122	4193	4265	4336	4406	4477	4547	4617	4686	4755	4824
35.5	3891	3963	4035	4107	4178	4250	4320	4391	4461	4531	4600	4669	4738	4807
37.5	3880	3953	4025	4096	4167	4238	4309	4379	4449	4519	4588	4657	4726	4794
40	3868	3941	4012	4084	4155	4225	4295	4365	4435	4504	4573	4642	4711	4779
42	3860	3931	4003	4074	4145	4215	4285	4355	4425	4494	4563	4631	4700	4768
44	3851	3923	3994	4065	4136	4206	4276	4345	4415	4484	4552	4621	4689	4757
46	3843	3915	3986	4056	4127	4197	4267	4336	4405	4474	4543	4611	4679	4746
48	3835	3907	3978	4048	4119	4188	4258	4327	4396	4465	4533	4601	4669	4737
50	3828	3899	3970	4040	4111	4180	4250	4319	4388	4456	4524	4592	4660	4727
52	3821	3892	3963	4033	4103	4173	4242	4311	4379	4448	4516	4584	4651	4718
54	3814	3885	3956	4026	4096	4165	4234	4303	4372	4440	4508	4575	4643	4710
56	3808	3878	3949	4019	4089	4158	4227	4296	4364	4432	4500	4567	4635	4701

3.1.5 Momen Hoạt tải của dầm I33 DUL

Bảng giá trị Momen Hoạt tải của dầm I33 DUL theo PP Đòn bẩy

Dầm	Nhịp	Tung độ yi (m)			MPi=yi*Pi (kNm)			M _{3truc}	M _{qlan}					
	L(m)	y1	y2	y3	72.5	72.5	17.5	ΣMPi	9.3					
	32.4	5.95	8.1	5.95	431	587.3	104.1	1123	1220					
	Dầm Trong	M _{HL93} LRFR=1.75*(1.25*M _{3truc} *g _{inLL} +M _{qlan} *g _{inPL})												
	Dầm Ngoài	M _{HL93} LRFR=1.75*(1.25*M _{3truc} *g _{outLL} +M _{qlan} *g _{outPL})												
Hiệu ứng hoạt tải M _{HL93} tính theo Đòn bẩy với số lượng dầm chủ <= 3														
B_in	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
Min _{HL93}	2725	2841	2952	3059	3162	3260	3355	3447	3535	3620	3703	3783	3803	3824
B_out	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
Mout _{HL93}	1878	2032	2179	2320	2455	2585	2710	2830	2946	3058	3166	3270	3372	3470

Bảng giá trị Momen Hoạt tải của dầm I33 DUL theo > 03 Dầm



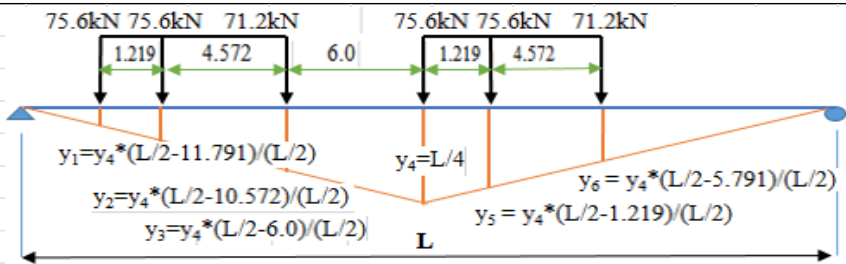
hsl	25	fcs	36	3										
fcg_S	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
33	5441	5542	5642	5742	5841	5940	6038	6136	6233	6330	6426	6522	6618	6713
35.5	5422	5522	5622	5721	5820	5918	6016	6114	6210	6307	6403	6499	6594	6689
37.5	5408	5508	5607	5706	5805	5903	6000	6097	6194	6290	6386	6481	6576	6671
40	5391	5491	5590	5688	5786	5884	5981	6078	6174	6270	6366	6461	6555	6650
42	5378	5478	5577	5675	5773	5870	5967	6064	6160	6255	6350	6445	6540	6634
44	5367	5466	5564	5662	5760	5857	5954	6050	6146	6241	6336	6431	6525	6618
46	5355	5454	5552	5650	5748	5845	5941	6037	6133	6228	6322	6417	6511	6604
48	5344	5443	5541	5639	5736	5833	5929	6025	6120	6215	6309	6403	6497	6590
50	5334	5433	5530	5628	5725	5821	5917	6013	6108	6203	6297	6391	6484	6577
52	5324	5423	5520	5617	5714	5810	5906	6001	6096	6191	6285	6379	6472	6565
54	5315	5413	5510	5607	5704	5800	5895	5991	6085	6180	6273	6367	6460	6553
56	5306	5404	5501	5598	5694	5790	5885	5980	6075	6169	6262	6356	6449	6541

hsl	25	fcs	36	2										
fcg_S	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
33	4267	4346	4425	4503	4581	4658	4735	4812	4889	4964	5040	5116	5191	5265
35.5	4252	4331	4409	4487	4565	4642	4719	4795	4871	4947	5022	5097	5172	5246
37.5	4241	4320	4398	4475	4553	4629	4706	4782	4858	4933	5008	5083	5158	5232
40	4228	4306	4384	4461	4538	4615	4691	4767	4843	4918	4993	5067	5141	5215
42	4218	4296	4374	4451	4528	4604	4680	4756	4831	4906	4981	5055	5129	5203
44	4209	4287	4364	4441	4518	4594	4670	4745	4820	4895	4969	5044	5117	5191
46	4200	4278	4355	4432	4508	4584	4660	4735	4810	4884	4959	5033	5106	5180
48	4192	4269	4346	4423	4499	4575	4650	4725	4800	4874	4948	5022	5096	5169
50	4184	4261	4338	4414	4490	4566	4641	4716	4790	4865	4939	5012	5086	5159
52	4176	4253	4330	4406	4482	4557	4632	4707	4781	4856	4929	5003	5076	5149
54	4169	4245	4322	4398	4474	4549	4624	4698	4773	4847	4920	4994	5067	5139
56	4161	4238	4314	4390	4466	4541	4616	4690	4764	4838	4912	4985	5058	5130

3.2 Momen Hoạt tải của dầm I DUL theo xe thiết kế hợp pháp [3]

3.2.1 Momen Hoạt tải của dầm I33 DUL

Bảng giá trị Momen Hoạt tải của dầm I33 DUL theo PP Đòn bẩy

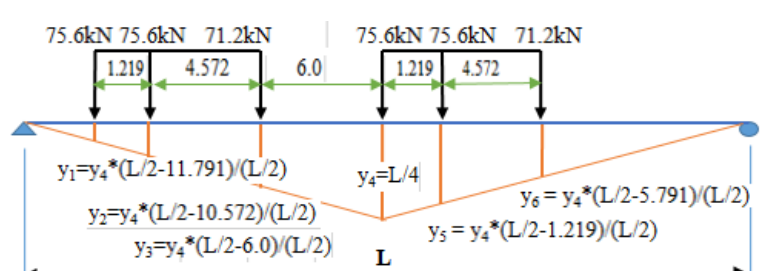


Đường ảnh hưởng momen cho Dầm chủ tại giữa nhịp L/2									
Nhịp	Tung độ yi(m)						M _{Pi} =yi*Pi		M _{3truc}
(m)	y1	y2	y3	y4	y5	y6	75.6	71.2	ΣM _{Pi}
32.40	2.205	2.814	5.1	8.10	7.49	5.20	1558	734	2292
Dầm Trong	M _[3] LRFR=1.25*M _{3truc} *gin _{LL}								
Dầm Ngoài	M _[3] LRFR=1.25*M _{3truc} *gout _{LL}								

Hiệu ứng hoạt tải M_[3] tính theo Đòn bẩy với số lượng dầm chủ <= 3

B_in	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
Min _[3]	4026	4222	4407	4583	4751	4911	5063	5208	5347	5480	5607	5729	5729	5729
B_out	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
Mout _[3]	2671	2940	3195	3438	3668	3888	4097	4297	4488	4671	4846	5013	5174	5328

Bảng giá trị Momen Hoạt tải của dầm I33 DUL theo > 03 Dầm



n	Ig	Ag	Ygb	Hg
	cm ⁴	cm ²	cm	cm
0.802	21731341	6464	81.43	164.8
Kg	Số qui đổi độ cứng			eg
cm ⁴	Kg = n*(I+Ag*eg ²)			cm
65063036	eg=(H-Ygb)+hsl/2			95.872

Nhịp	Tung độ yi(m)						M _{Pi} =yi*Pi		M _{3truc}
(m)	y1	y2	y3	y4	y5	y6	75.6	71.2	ΣM _{Pi}
32.40	2.205	2.814	5.1	8.10	7.49	5.20	1558	734	2292

M _{HL93} LRFR				
f _{cg}	b	hsl	f _{cs}	
56	250	25	36	
hsl	25	f _{cs}	36	4

Bảng tính hệ số phân phối ngang				
S	t _s	S/2900	S/L	K _g /L _{t_s} ³
mm	mm	-	-	-
2500	250	0.862	0.077	1.2852
g_in	Hệ số Làn tải, f			q _{lan}
-	2 Làn	3 Làn	4 Làn	kN/m
0.637	1.0	0.85	0.65	9.3

f _{cg_S}	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
33	3946	4019	4092	4164	4236	4308	4379	4450	4520	4591	4661	4730	4800	4869
35.5	3932	4005	4077	4149	4221	4292	4363	4434	4504	4574	4644	4713	4782	4851
37.5	3922	3995	4067	4138	4210	4281	4352	4422	4492	4562	4631	4701	4770	4838
40	3910	3982	4054	4126	4197	4268	4338	4408	4478	4548	4617	4686	4754	4823
42	3901	3973	4045	4116	4187	4258	4328	4398	4467	4537	4606	4675	4743	4811
44	3892	3964	4036	4107	4178	4248	4318	4388	4457	4526	4595	4664	4732	4800
46	3884	3956	4027	4098	4169	4239	4309	4378	4448	4517	4585	4654	4722	4790
48	3876	3948	4019	4090	4160	4230	4300	4369	4439	4507	4576	4644	4712	4780
50	3869	3940	4011	4082	4152	4222	4292	4361	4430	4499	4567	4635	4703	4770
52	3862	3933	4004	4074	4144	4214	4284	4353	4421	4490	4558	4626	4694	4761
54	3855	3926	3996	4067	4137	4206	4276	4345	4413	4482	4550	4618	4685	4752
56	3848	3919	3990	4060	4130	4199	4268	4337	4406	4474	4542	4610	4677	4744
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

2Lan
HTai

3.3 Momen Hoạt tải của dầm I DUL theo xe thiết kế hợp pháp [3-S2]

3.3.1 Momen Hoạt tải của dầm I33 DUL

Bảng giá trị Momen Hoạt tải của dầm I33 DUL theo PP Đòn bẩy

Đường ảnh hưởng momen cho Dầm chủ tại giữa nhịp L/2

Nhịp	Tung độ yi (m)							M _{pi} = yi*Pi		M _{Struc}		
L(m)	y1	y2	y3	y4	y5	y6	y7	68.98	44.5	ΣM _{pi}		
32.4	2.461	4.138	4.75	8.1	7.491	4.491	2.814	1882	309	2192		
	Dầm Trong		M _[3S2] LRFR=1.25*M _{Struc} *gin _{LL}									
	Dầm Ngoài		M _[3S2] LRFR=1.25*M _{Struc} *gout _{LL}									

Hiệu ứng hoạt tải M_[3S2] tính theo Đòn bẩy với số lượng dầm chủ <= 3

B_in	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
Min _[3S2]	3850	4037	4215	4383	4544	4696	4842	4981	5114	5241	5362	5479	5479	5479
B_out	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
Mout _[3S2]	2554	2812	3056	3287	3508	3718	3918	4109	4292	4467	4634	4794	4948	5095

Bảng giá trị Momen Hoạt tải của dầm I33 DUL theo > 03 Dầm

n	Ig	Ag	Ygb	Hg
	cm ⁴	cm ²	cm	cm
0.802	21731341	6464	81.43	164.8
Kg	Số qui đổi độ cứng eg			
cm ⁴	Kg = n*(I+Ag*eg ²)			cm
65063036	eg=(H-Ygb)+hsl/2			95.872

Nhịp	Tung độ yi (m)							M _{pi} = yi*Pi		M _{3truc}				
L(m)	y1	y2	y3	y4	y5	y6	y7	68.98	44.5	ΣM _{pi}				
32.4	2.461	4.138	4.75	8.1	7.491	4.491	2.814	1882	309	2192				
	f _{cg}		b		hsl		f _{cs}		M _{Hl93} LRFR					
	56		250		25		36		2 Làn 3 Làn 4 Làn					
	hsl		f _{cs}		36		4		3490 4450 4537					
	hsl		f _{cs}		36		4							
f _{cg_S}	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
33	3774	3844	3913	3982	4051	4120	4188	4255	4323	4390	4457	4524	4590	4656
35.5	3761	3830	3899	3968	4037	4105	4173	4240	4307	4374	4441	4507	4574	4639
37.5	3751	3820	3889	3958	4026	4094	4162	4229	4296	4363	4429	4495	4561	4627
40	3739	3808	3877	3945	4013	4081	4149	4216	4282	4349	4415	4481	4547	4612
42	3730	3799	3868	3936	4004	4072	4139	4206	4272	4339	4405	4470	4536	4601
44	3722	3791	3859	3927	3995	4062	4129	4196	4263	4329	4395	4460	4525	4590
46	3714	3783	3851	3919	3987	4054	4121	4187	4253	4319	4385	4450	4516	4581
48	3707	3775	3843	3911	3978	4045	4112	4179	4245	4310	4376	4441	4506	4571
50	3700	3768	3836	3903	3971	4038	4104	4170	4236	4302	4367	4432	4497	4562
52	3693	3761	3829	3896	3963	4030	4096	4162	4228	4294	4359	4424	4489	4553
54	3686	3754	3822	3889	3956	4023	4089	4155	4221	4286	4351	4416	4481	4545
56	3680	3748	3815	3882	3949	4016	4082	4148	4213	4279	4344	4408	4473	4537

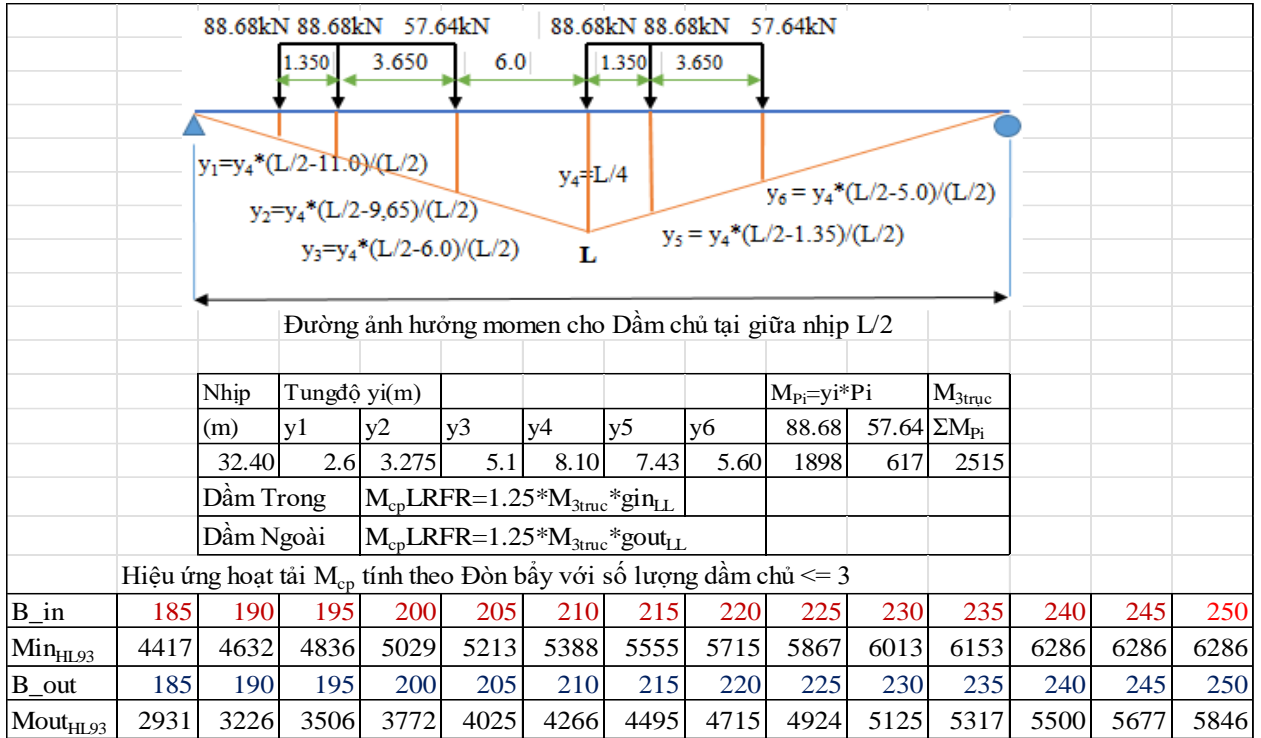
Bảng tính hệ số phân phối ngang				
S	t _s	S/2900	S/L	K _g /Lt _s ³
mm	mm	-	-	-
2500	250	0.862	0.077	1.2852
g _{in}		Hệ số Làn tải, f		q _{lan}
-	2 Làn	3 Làn	4 Làn	kN/m
0.637	1.0	0.85	0.65	9.3

2Lan HTai													
------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

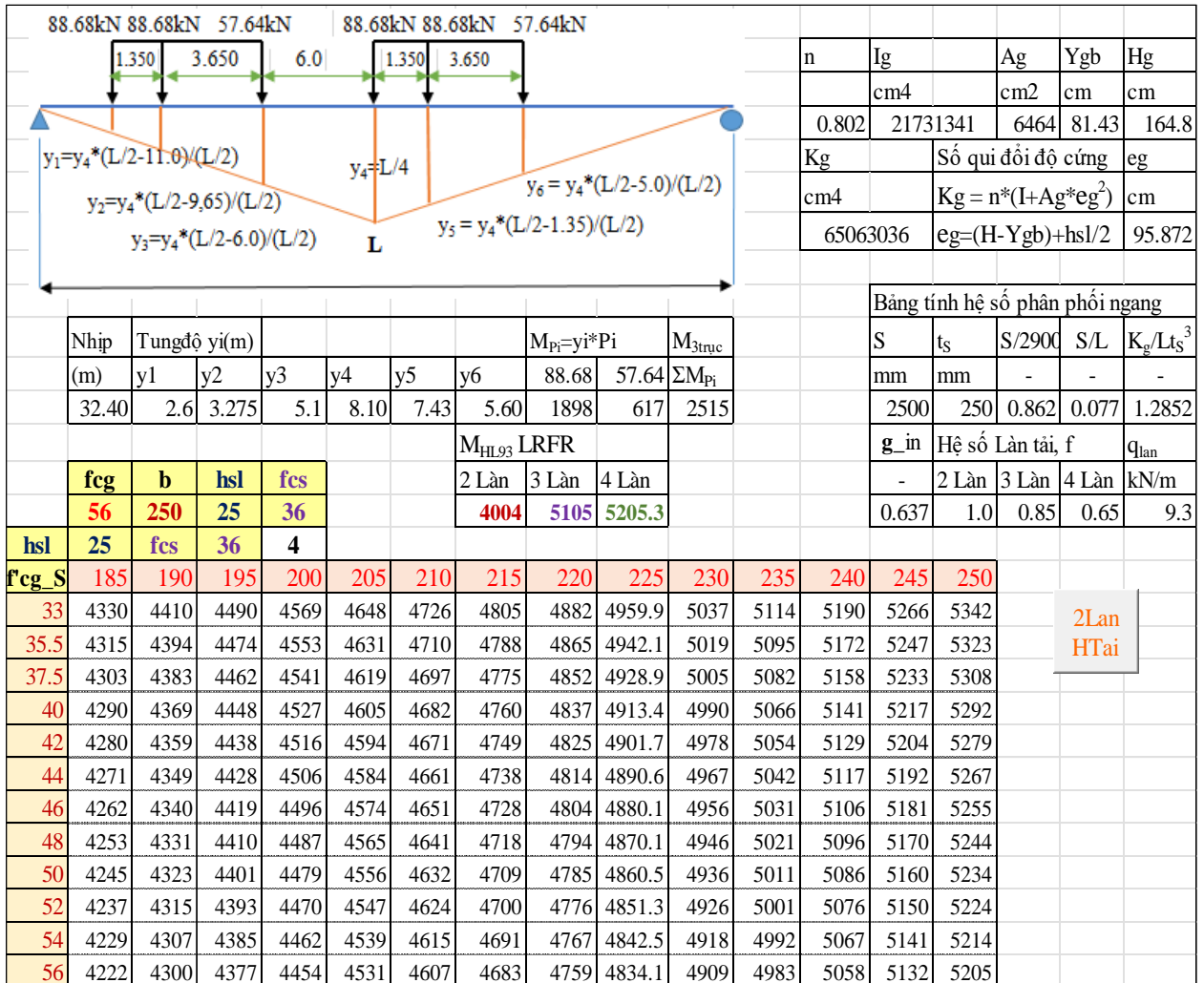
3.3 Momen Hoạt tải của dầm I DUL theo xe thiết kế cấp phép 03 trục

3.3.1 Momen Hoạt tải của dầm I33 DUL

Bảng giá trị Momen Hoạt tải của dầm I33 DUL theo PP Đòn bẩy



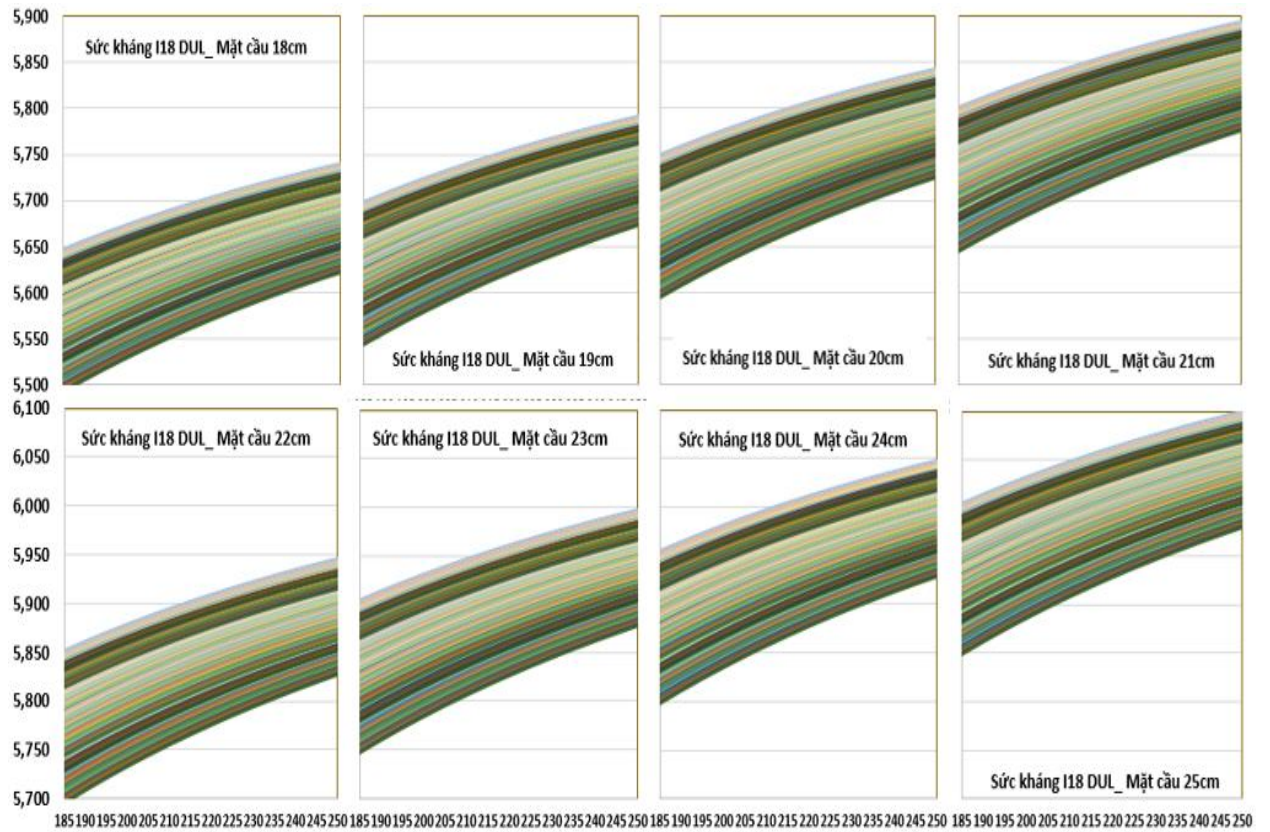
Bảng giá trị Momen Hoạt tải của dầm I33 DUL theo > 03 Dầm



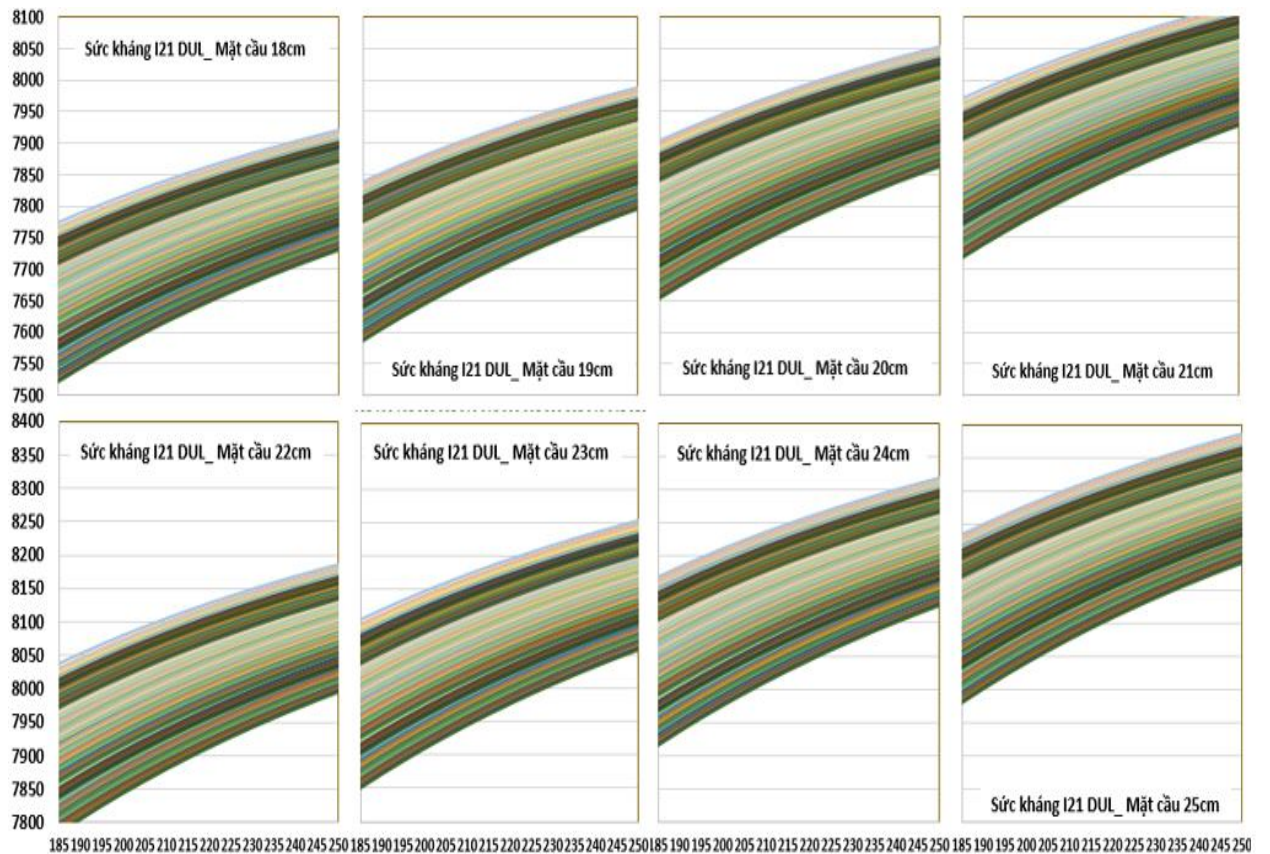
4/ Biểu đồ nội lực tính xếp hạng tải RF của dầm I DUL theo TCVN 11823:2017

4.1 Biểu đồ Sức Kháng tính xếp hạng tải RF của dầm I DUL

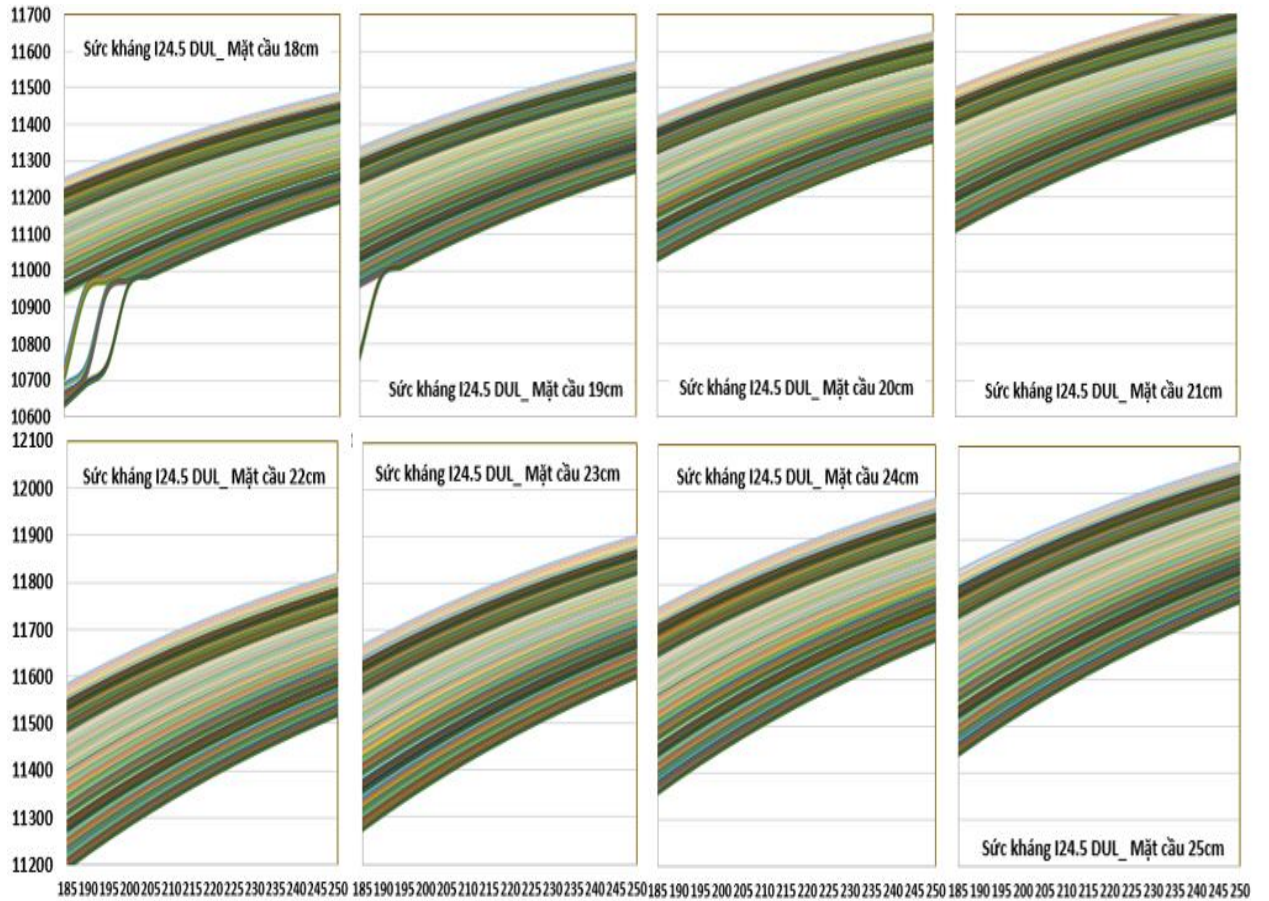
Biểu đồ Sức Kháng tính xếp hạng tải RF của dầm I18 DUL



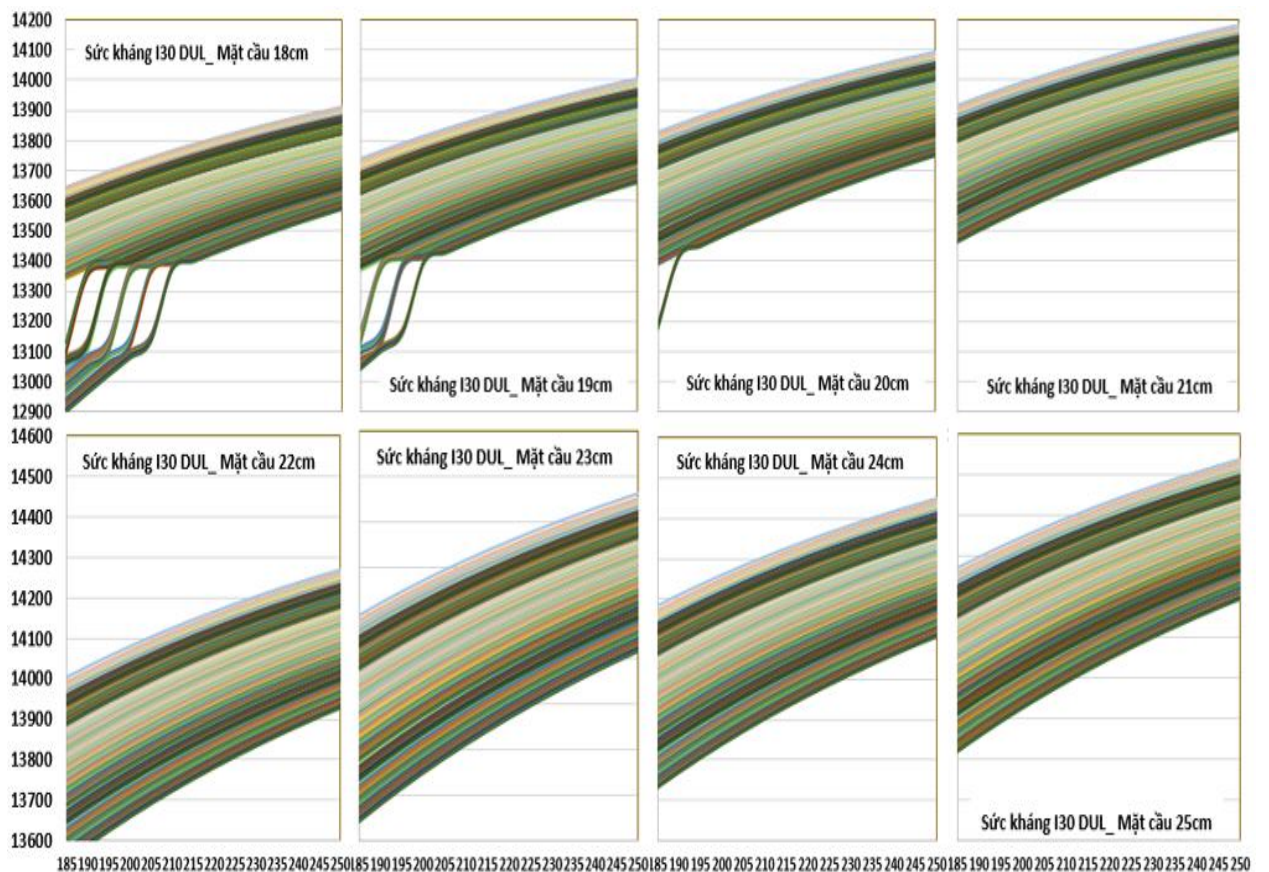
Biểu đồ Sức Kháng tính xếp hạng tải RF của dầm I21 DUL



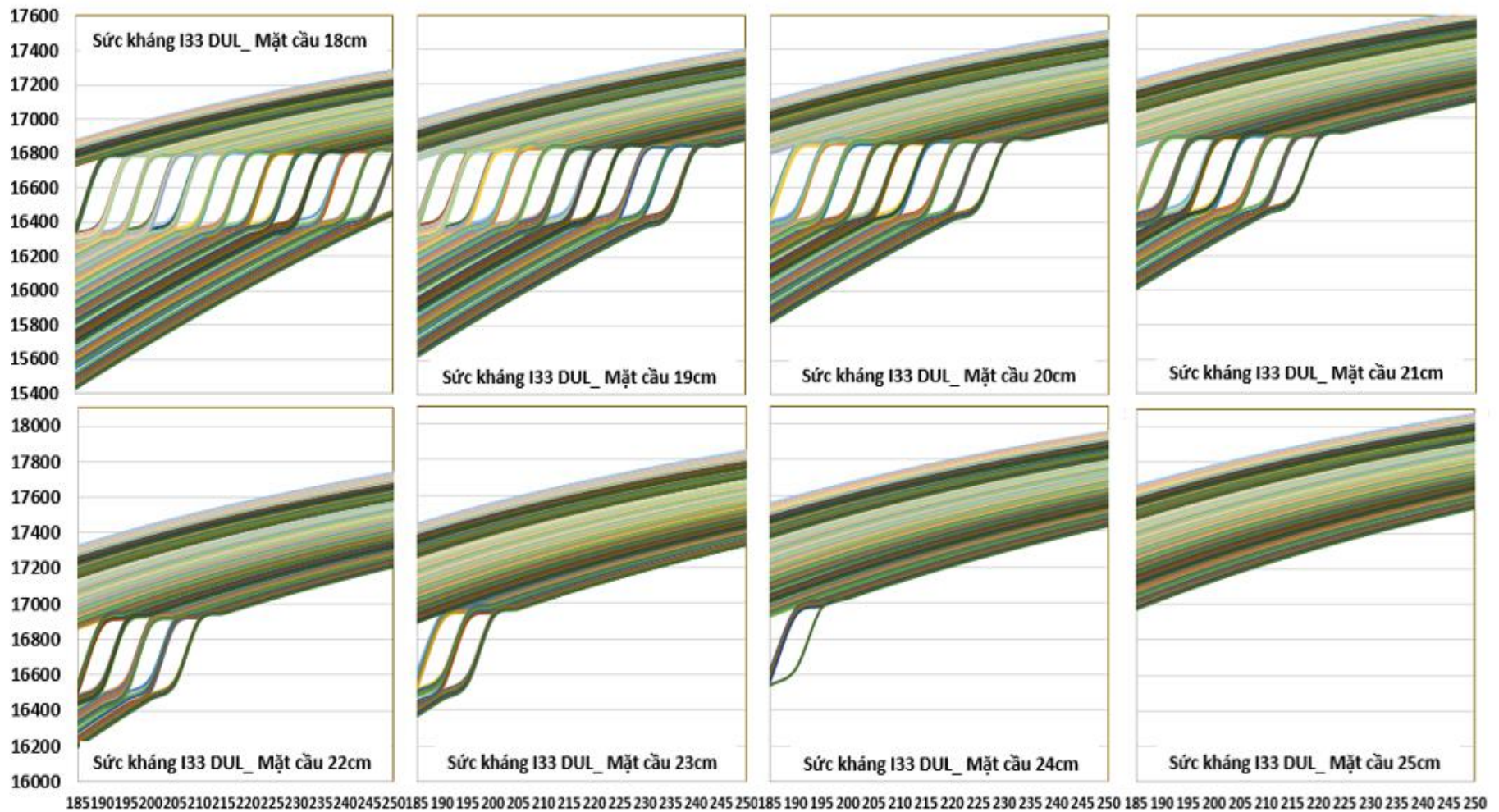
Biểu đồ Sức Kháng tính xếp hạng tải RF của dầm I24.5 DUL



Biểu đồ Sức Kháng tính xếp hạng tải RF của dầm I30 DUL



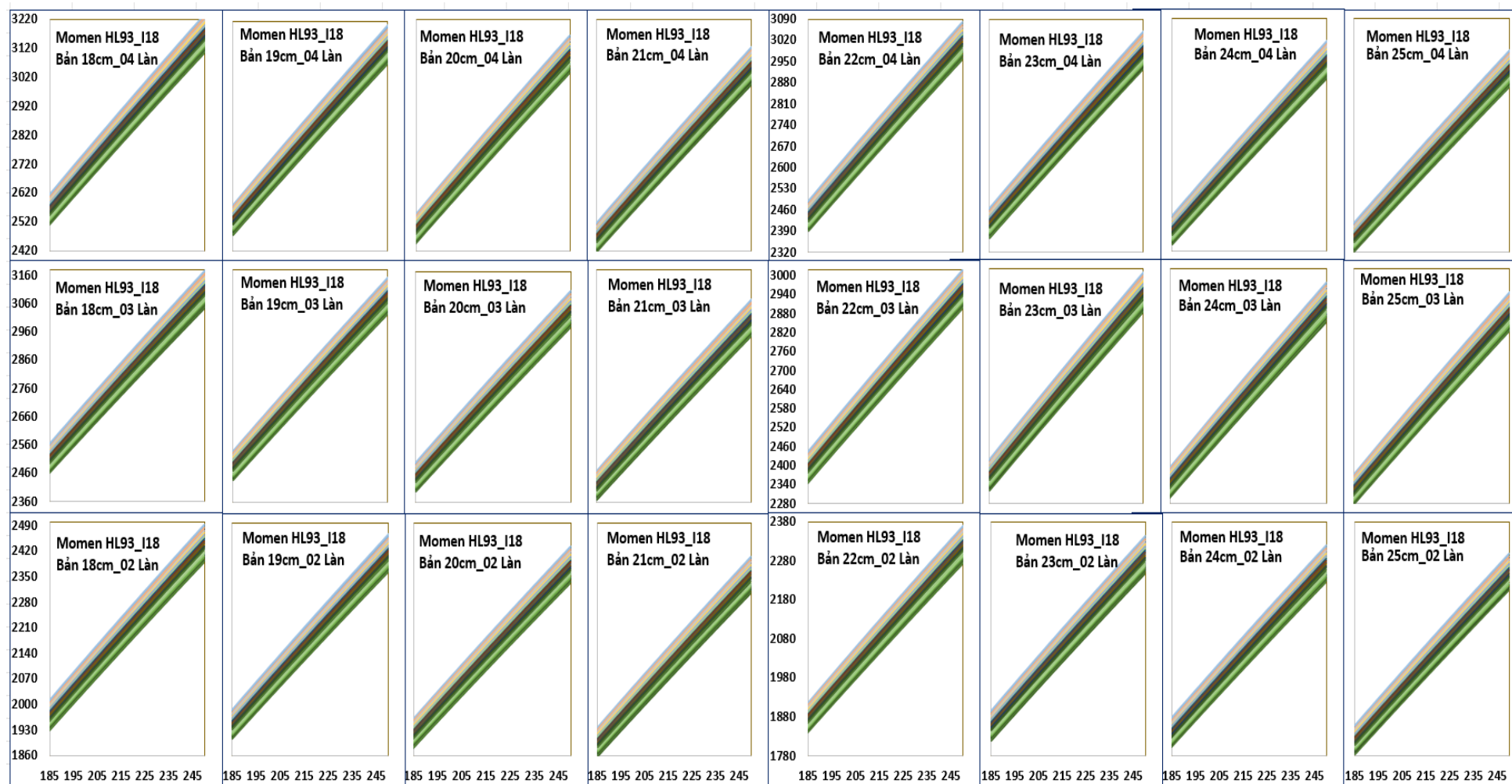
Biểu đồ Sức Kháng tính xếp hạng tải RF của dầm I33 DUL



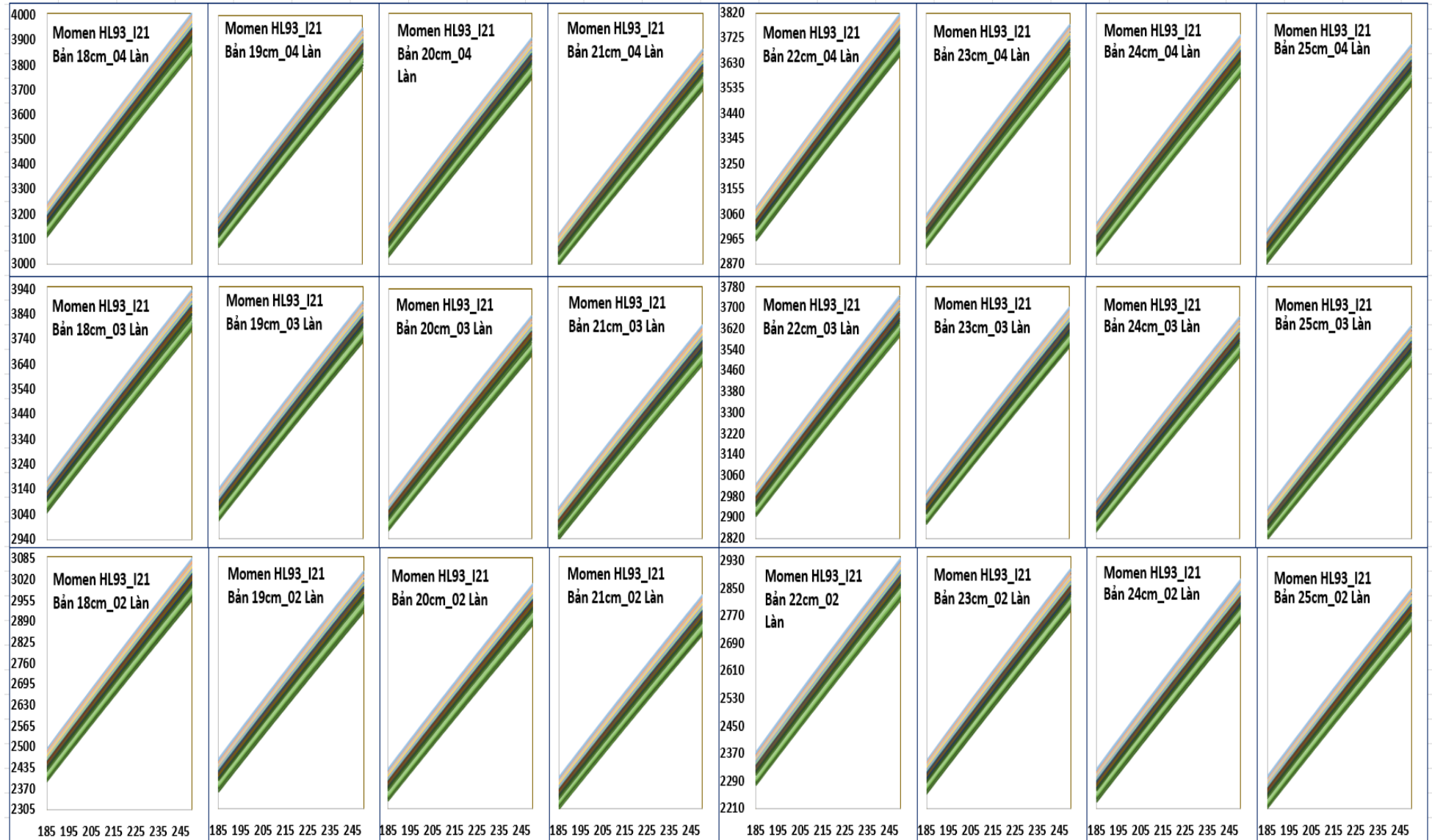
4.2 Biểu đồ Momen hoạt tải tính xếp hạng tải RF của dầm I DUL

4.2.1 Biểu đồ Momen hoạt tải tính xếp hạng tải RF của xe thiết kế HL-93

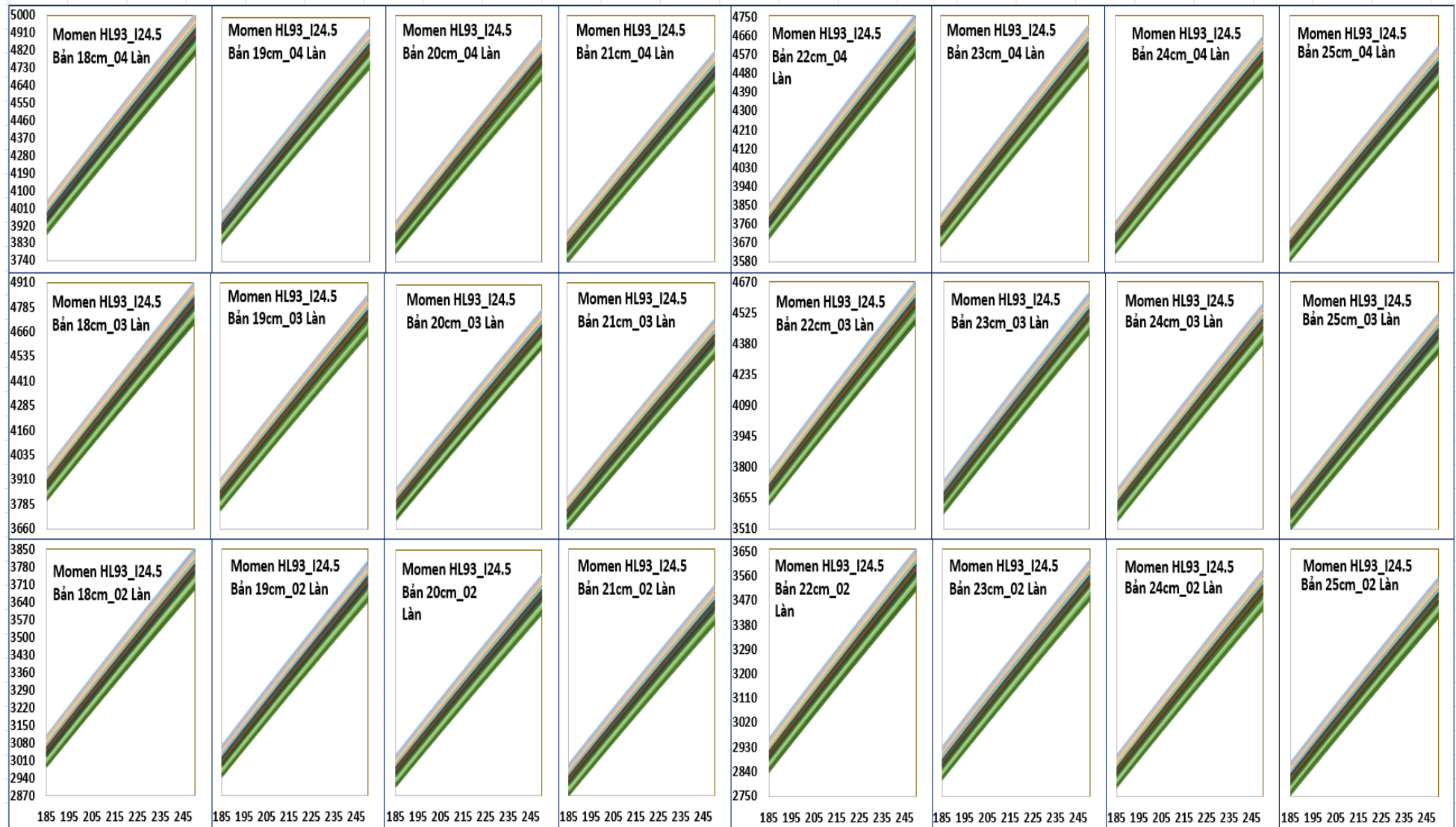
Biểu đồ Momen hoạt tải của xe thiết kế HL-93 cho dầm I18 DUL



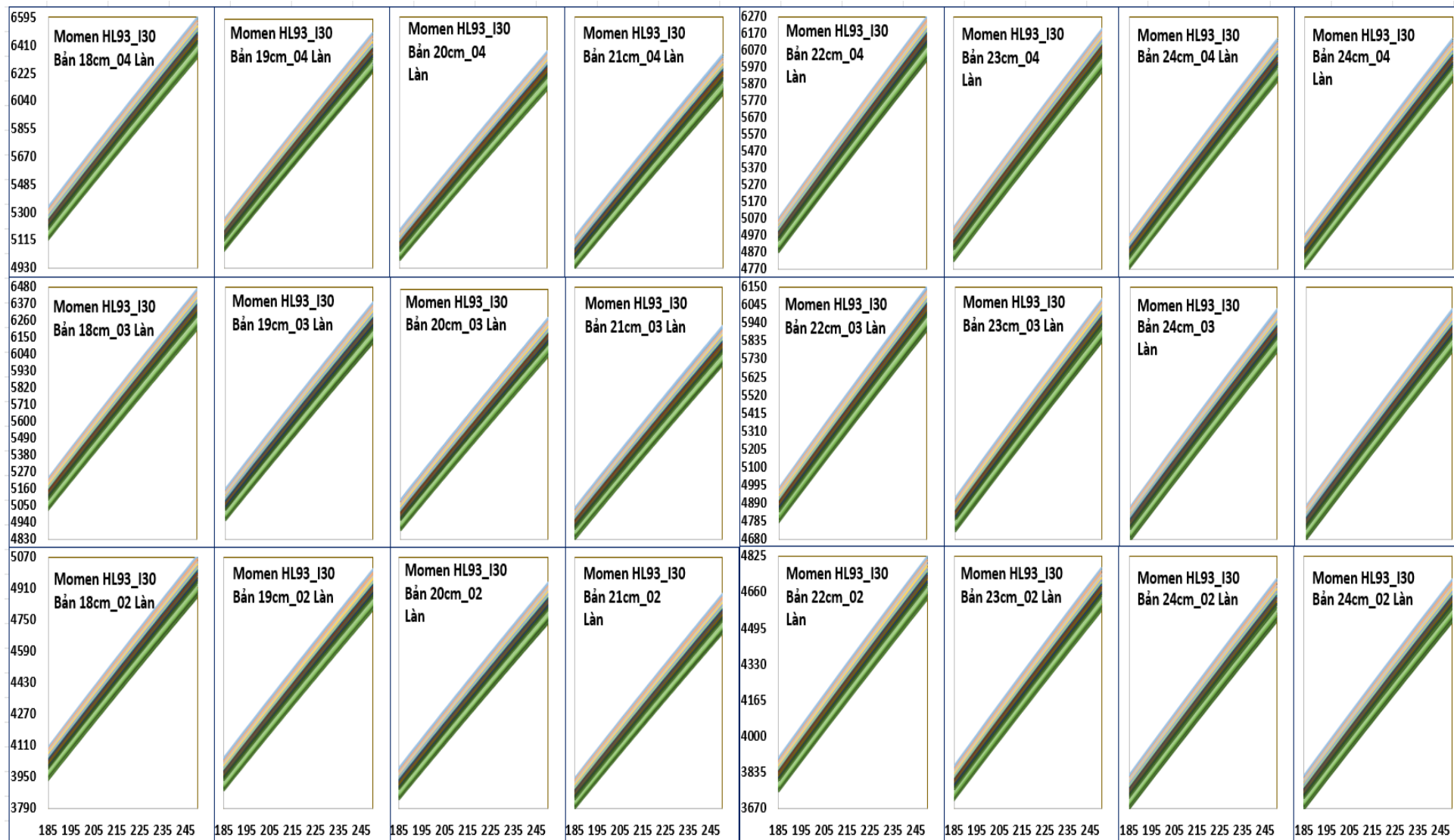
Biểu đồ Momen hoạt tải của xe thiết kế HL-93 cho dầm I21 DUL



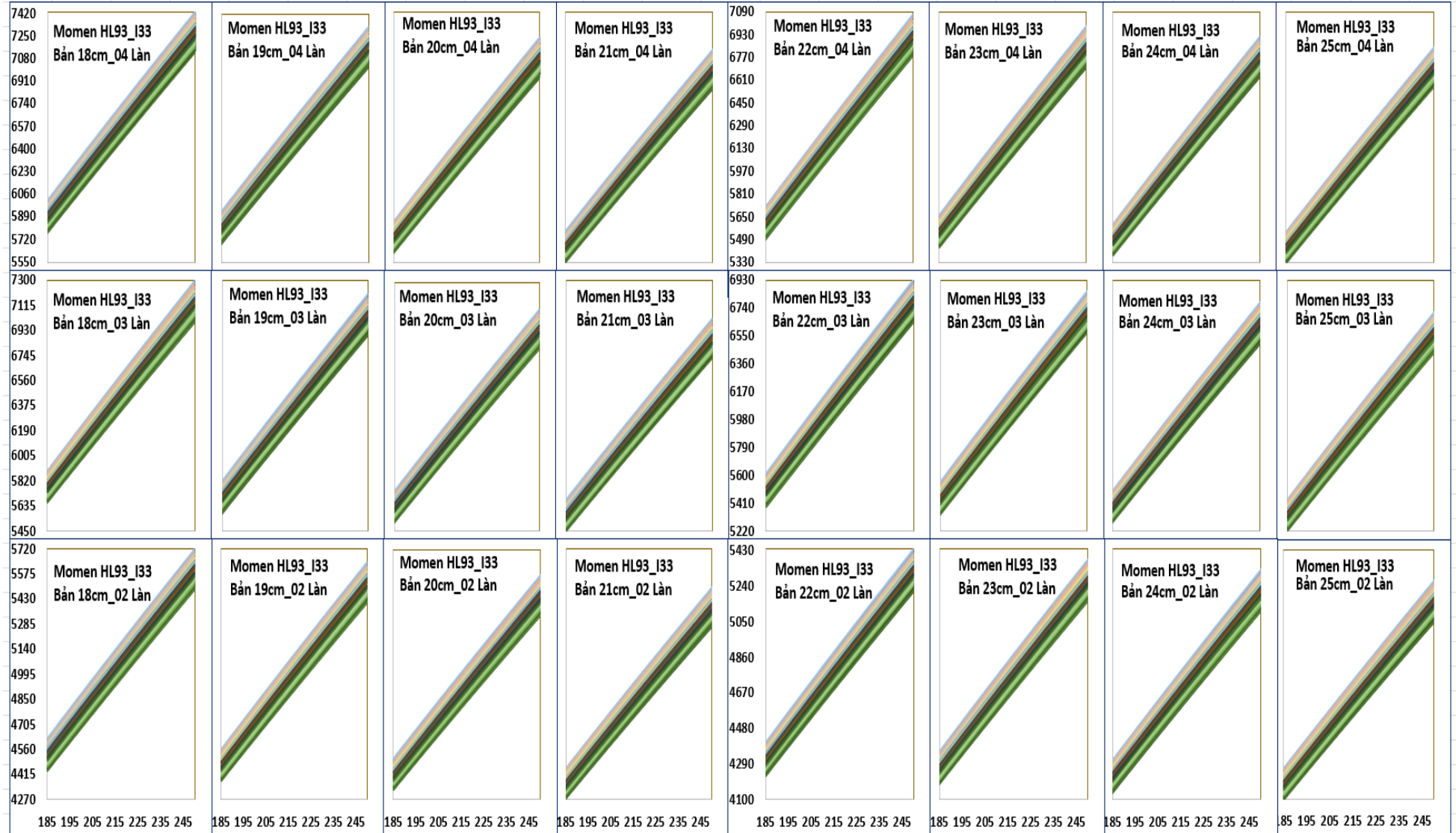
Biểu đồ Momen hoạt tải của xe thiết kế HL-93 cho dầm I24.5 DUL



Biểu đồ Momen hoạt tải của xe thiết kế HL-93 cho dầm I30 DUL



Biểu đồ Momen hoạt tải của xe thiết kế HL-93 cho dầm I33 DUL



PHỤ LỤC 3

1/ Ma trận trọng số weight và bias của mạng nơ-ron Sức Kháng

1.1/ Ma trận trọng số weight và bias của mạng tối ưu (5-21-1), Eout = 0.0206 %

$Iw\{1,1\}$

[28.483 -7.5032 -8.013 1.3867 -6.8284;
-1.6947 0.31526 0.46074 -0.10345 0.65202;
-3.6999 1.0149 0.84777 -0.17504 0.43262;
-12.5142 -0.025575 0.12596 -0.011309 0.063614;
1.1051 -0.22979 -0.32669 0.43859 -0.4004;
-5.1277 1.7063 1.8125 -0.33754 1.6804;
-18.47 7.4189 7.9374 -1.3695 6.7625;
17.6617 -8.2017 -8.7763 1.5108 -7.4813;
14.4666 -4.1179 -4.331 0.77956 -3.7239;
5.5216 0.051617 -0.027001 -0.017564 0.24047;
-0.6653 -0.49466 0.55262 4.2075 -1.3891;
-5.4653 0.044034 0.0061048 -0.030775 0.36515;
-4.1913 -0.072847 0.010741 0.0049718 -0.026548;
-2.3532 0.63834 0.77406 -0.14522 0.84333;
-2.9088 -0.04653 -0.0030568 0.0021774 -0.0063401;
-0.74449 0.095975 0.83125 -0.10865 0.23603;
-0.94466 -0.84884 0.045942 -4.3244 -1.2562;
2.5343 -0.37311 -0.34144 0.071993 -0.2091;
5.1156 -0.10352 -0.041875 0.012031 -0.019657;
22.3593 -7.0937 -7.5833 1.3111 -6.4606;
-2.1532 0.53842 0.67295 -0.12733 0.76173]

$Lw\{2,1\}$

[3.0641 4.1304 -0.503 -1.1407 1.6805 0.5797 -7.0415 -2.5216 0.08986 -0.74059 0.00062748
0.37584 -2.0904 3.6683 -1.9462 1.4226 0.00068233 -4.8768 -0.60772 -7.5965 -7.4439]

$B\{1\}$

[-38.8193; 3.5091; 5.1728; 11.5234; -5.2998; 8.1015; 30.0793; -31.0514; -18.4836; -1.8966;
0.18425; 0.84663; 0.94595; 3.1893; -2.8734; 4.8234; -3.7271; -4.7579; 2.5548; -32.7351;
3.3395]

$B\{2\}$: [8.1291]

1.2/ Ma trận trọng số weight và bias của mạng tối ưu (5-23-23-1), Eout = 0.0087 %

Iw{1,1}

[-13.109 -0.090007 -0.12322 0.039919 -0.16771;
17.4484 1.6776 2.4974 -0.41684 -3.632;
6.1529 0.64151 0.7022 -0.2593 0.5849;
14.9472 1.808 2.2466 -4.0374 2.4067;
17.5368 15.2954 16.6921 -2.5571 14.6308;
-14.8448 -4.7984 0.214 0.70598 -4.1842;
-2.2144 -0.92017 -1.082 -0.29621 -0.87188;
17.6211 -2.2606 3.4478 -0.99633 3.6726;
-4.0165 2.4874 2.7924 -0.26119 2.2427;
-0.54631 -0.078336 0.64878 -0.06423 0.7507;
-3.0454 -0.1287 -0.084319 0.022793 -0.15124;
-7.1499 5.1507 5.6465 -0.9056 4.9343;
0.82644 2.4418 2.716 -0.51183 2.3891;
7.1372 0.77427 0.8725 -0.093953 0.89013;
16.3019 -9.7958 -10.6981 1.6135 -9.3637;
-5.9245 0.15668 0.22852 0.019555 0.19324;
4.4966 0.0031605 -0.082259 -0.2367 -0.00392;
-4.5801 0.71875 0.75403 -0.39737 0.75676;
-0.60714 -0.067334 0.25579 -0.047858 0.39861;
-3.5514 8.1263 8.8665 -1.4408 7.7133;
0.4693 -0.041813 -0.59311 0.013377 0.037695;
7.1121 0.1187 0.085717 0.03126 0.11396;
-3.0937 -0.15695 -0.11383 0.0077613 -0.17468]

Lw{2,1}

[-1.4141 0.71572 -2.074 -0.10641 -2.6499 -0.35275 1.5072 0.29219 -0.27709 0.48757 -0.50536
-0.097536 -1.3099 0.7113 0.97451 3.2151 -1.299 -2.169 -1.3186 2.1843 0.98072 2.2486
0.81184;
0.97889 1.2257 -0.55854 -1.514 -2.0902 -2.0718 0.0057511 2.0881 -1.1665 -0.16337 0.25719
0.98928 1.0106 0.92778 5.8285 -0.57098 0.55177 0.3634 -0.7347 3.7936 0.16719 1.8911
2.4117;

-0.69865 -0.69144 -0.75125 0.26004 -0.59931 0.55102 0.52322 -0.55175 0.44383 -0.35599 -
1.1533 1.1425 0.49884 -0.65953 -2.228 0.3678 -0.27417 -2.4271 -1.0575 2.0393 -1.6499 -3.145
-1.7565;

2.0006 -0.24129 1.7404 -1.2955 1.7553 0.3755 0.23432 -0.054797 1.9248 -0.14317 3.5702
1.468 -1.0485 -0.58456 -0.01792 -1.019 2.8879 2.2483 0.46153 -2.4494 1.6561 -0.043535
1.7475;

-1.5115 2.2215 3.0434 -2.9318 -3.7362 -3.2081 1.8134 3.3868 -1.5982 0.32119 -0.059938 -
3.3416 2.0389 -4.1496 3.5097 2.3115 -3.7972 -0.69909 0.58304 0.2712 0.26869 -1.9968 1.7377;

5.8163 -0.62941 -1.9446 0.42533 0.54784 0.84534 -0.86435 -0.97868 -0.46788 0.63011 -3.3551
-2.8024 0.52986 -0.14963 8.7365 3.2027 -0.1325 1.4873 0.60277 -0.69165 -0.096517 -4.2954
2.0699;

-0.82495 -0.69846 -0.045763 0.36361 -0.38208 0.63269 -0.099506 -0.7313 0.75736 -0.28609
1.002 -1.6052 0.27344 -0.46786 1.0591 -0.085089 2.3337 -1.3111 -0.059934 -1.6938 -0.85371 -
0.72185 -2.1094;

-3.4606 -0.28432 -0.53069 0.62061 0.20743 0.73318 0.35719 -0.77002 -0.53325 -0.26809 -
0.4583 -0.39971 -0.18337 0.30868 0.67342 4.795 -1.4291 -0.79162 0.58117 -3.6468 -1.239
0.94948 0.57523;

1.5268 -0.10826 -0.85477 -0.017854 -0.035722 0.073943 -0.49625 -0.075083 0.16089 -0.28712
-3.5072 -0.85834 0.23835 -1.0396 0.76009 -0.15426 -0.097972 0.68329 -2.7416 -0.044102 -
2.3304 0.78211 0.021902;

-4.0309 2.68 1.7719 -3.4734 -0.97952 -3.7503 2.6964 3.9935 -2.0156 0.62367 0.39977 -2.6594
-1.8753 -3.5676 9.4892 -0.34877 0.5468 -0.75235 -1.8198 -1.2424 0.47867 1.4047 0.90171;

-1.7717 -0.65668 0.34459 1.6499 0.34302 2.0575 -0.47082 -1.9913 0.50709 0.62732 -0.73435 -
1.6567 -0.25988 1.2665 1.1627 0.03453 1.8672 -0.02454 0.53763 1 1.0401 2.6688 -0.83194;

0.69957 0.77225 -0.37672 1.5023 -0.93057 1.0177 -0.96362 -1.1285 -0.85461 0.14406 2.8418
1.9115 -1.6897 -1.8855 4.7536 2.2168 -2.4737 -2.1059 1.214 0.63321 1.0694 0.83261 2.1835;

-8.644 12.9893 2.4879 -15.7042 -20.9804 -17.4186 8.3436 18.735 -5.7811 0.32632 4.7042 -
2.2849 -1.7666 -4.8291 21.481 3.8538 -0.55605 0.23719 0.49655 5.4794 2.905 0.58707 -1.4181;

-0.9317 -1.1781 -1.6928 -0.43208 -0.64841 0.71809 0.77934 -0.2276 0.76364 -1.1842 -0.30143
0.35846 0.61828 -2.9136 0.9744 -1.6082 -1.6978 -1.4028 -0.31209 -2.1751 -0.025257 -3.6454
1.3023;

3.4014 -0.31208 -1.6831 0.39345 -1.7449 0.46408 -2.0922 -0.53353 -2.3658 -0.12133 1.7576
6.2792 -2.1513 -2.468 -0.2868 -2.2396 -2.3638 1.9671 0.12974 2.4314 -1.5485 1.0811 -2.0294;

3.1829 -0.019895 -0.90601 0.025882 -2.3135 0.018554 -0.14933 -0.019918 -0.043934 0.10953
2.0425 0.14935 -0.79853 -0.69706 -2.0222 -1.2168 0.81895 0.9682 1.6249 0.93283 0.92741 -
1.1491 2.1531;

-2.947 0.33917 1.568 -0.061782 5.4356 -0.028693 2.1743 -3.1436e-05 -4.1664 0.041183 -1.228
-0.37171 1.0532 4.5586 -2.0996 -1.831 5.3762 -4.8254 0.36252 -11.1278 1.1613 3.3946
0.23888;

-0.45779 5.7843 -1.328 -6.9328 -3.9157 -7.7798 2.1706 8.3268 -6.2483 0.4078 1.8317 -0.14429
2.0241 -2.364 18.3828 7.1936 -4.0344 0.24964 0.76227 1.0804 -0.28753 -3.6227 0.6216;

0.075936 0.056565 1.6419 0.10733 0.26985 -0.019126 0.966 0.013095 -1.2889 0.172 -0.45837
0.76506 0.054167 -2.0361 -3.6617 0.78684 2.1195 0.713 0.086095 0.84006 1.078 0.083006 -
1.1858;

4.0767 0.10077 1.2139 -0.48523 -5.1962 -0.67557 -1.1671 0.70012 0.94057 0.078787 0.24317
0.94872 -1.1839 -2.9654 -3.0865 2.2038 0.83139 1.648 0.73837 5.8364 0.18399 -0.97425 -
0.40692;

-1.7203 -0.83512 -2.0585 0.051268 -0.012848 0.13958 0.0041961 -0.17982 -0.01939 -0.19384
2.9993 -0.60634 0.58571 -3.1437 -3.988 4.1063 0.84886 3.6517 0.40958 -6.2858 2.4894 -1.6031
2.6354;

1.7355 -0.21037 -0.17701 -0.84165 -0.87749 0.10428 -1.7309 -0.0044475 2.4021 -1.7797 -
2.8577 -1.9871 1.5008 1.229 -0.27921 -0.69926 -0.48803 -1.5397 0.47212 -0.92862 -1.6964 -
1.1412 1.4359;

-0.5034 0.88018 0.41945 0.62521 0.25493 -2.1225 0.3386 -0.32365 -0.27318 1.3601 -0.41604
0.23428 0.072514 -3.6349 -2.5062 2.302 -1.8615 -1.6755 0.57407 0.54749 -0.59712 -2.5969 -
0.10764]

Lw{3,2}

[0.10404 0.16994 0.82025 -0.015435 -0.20758 -0.23735 -0.303 0.85787 1.0191 0.10406 1.0934
-0.067147 -0.14046 -0.44037 1.5907 -2.1872 -0.12216 0.19423 1.1677 0.41153 -0.59038
0.14699 -0.39747]

B{1}

[12.0101; -19.4042; -4.2966; -14.0746; 4.4717; 12.6543; 2.0452; -17.186; 8.1195; 0.55524;
1.8548; 13.637; 4.4833; -0.35655; -30.2519; 1.3596; 1.4559; 5.5734; -2.6159; 24.2349; -3.8315;
3.2967; -3.448]

B{2}

[3.1324; -10.1733; 0.10457; -9.0383; 8.9368; -3.6524; 0.76419; 3.1865; 1.2164; 3.9418; 1.4591;
-0.82284; 5.0818; 6.0063; 6.6575; 2.2975; -1.4295; 5.7593; -5.5701; 2.0759; 3.259; 7.5122; -
1.7965]

B{3}

[-1.3758]

2/ Ma trận trọng số weight và bias của mạng nơ-ron Momen Tĩnh tải

2.1/ Ma trận trọng số weight và bias của mạng nơ-ron Momen Tĩnh tải DC

2.1.1/ Ma trận trọng số weight và bias của mạng tối ưu (3-10-1), Eout = 0.004 %

Iw{1,1}

[-4.4359 -0.18079 0.067341;

-1.3776 -2.7487 -3.3195;

4.6844 -0.13576 0.25693;
-1.4196 5.7327 -0.32519;
-3.7714 -0.12804 -0.12409;
-0.26531 0.23736 -0.22783;
0.0054569 0.16435 0.15309;
-0.24939 -0.25012 0.2278;
2.7191 -0.10429 -0.094437;
-4.4761 -4.3273 -1.466]

$lw_{\{1,1\}}$

[-0.53997 -0.0002486 0.31227 -4.2886e-05 -4.5897 -1.0239 2.0633 -1.0171 2.2719 0.00031943]

$b_{\{1\}}$

[3.605; 3.6879; -3.6749; 0.89037; 5.821; -0.45032; -1.0822; -0.50273; 4.6425; -4.9725]

$b_{\{2\}}$

[2.6063]

2.1.2/ Ma trận trọng số weight và bias của mạng tối ưu (3-8-8-1), Eout = 0.0043 %

$Iw_{\{1,1\}}$

[-3.2285 0.05489 0.034795;
-2.3512 -0.31338 -0.48196;
0.5831 -0.29464 -3.7324;
-0.082092 0.23088 0.43436;
-0.084774 -0.27914 0.39587;
0.67564 0.22805 0.41846;
-0.58298 0.29205 3.7345;
4.5596 -0.026873 0.064304]

$Iw_{\{2,1\}}$

[2.3662 -2.6884 2.7396 -2.8377 -0.9811 -3.6043 2.3146 -2.6462;
3.5249 -0.34606 -0.54804 2.3139 -4.8234 -1.4284 -0.76007 -2.6965;
-2.3855 3.104 0.83936 -3.7424 1.7208 -1.2138 -1.9923 -3.8954;
-0.99611 0.7115 2.0394 -0.72968 -2.9241 -0.19028 2.4142 5.0995;
2.8695 4.492 -0.43176 1.5283 1.4977 1.0889 -0.45238 0.30568;
-3.6367 1.0989 -0.58808 2.1943 -0.78867 2.3295 -0.58294 2.5056;
0.3082 -4.9435 -2.0803 -0.7847 -0.86533 2.1601 -2.0645 1.229;

-1.766 3.1713 -2.0433 -4.8225 -2.5492 -0.29641 -1.6726 -1.8471]

$Iw_{\{3,2\}}$

[0.032827 -0.093743 0.0052854 0.085528 -1.6133 1.3742 1.2833 -0.53739]

$b_{\{1\}}$

[2.8693; 4.0302; -2.7848; -0.35325; -1.3303; 1.195; 2.7834; 5.2844]

$b_{\{2\}}$

[-0.17768; 0.6448; 5.9204; -2.4203; -6.0095; -3.8399; 4.7967; 0.87011]

$b_{\{3\}}$

[-0.047865]

2.2/ Ma trận trọng số weight và bias của mạng nơ-ron Momen Tĩnh tải DW

2.2.1/ Ma trận trọng số weight và bias của mạng tối ưu (3-20-1), Eout = 0.006 %

$Iw_{\{1,1\}}$

[3.9571 -0.60269 0.63193;

-5.4944 -0.44315 -0.65036;

3.7144 0.25732 0.47155;

-5.0861 -2.4261 -3.4304;

-5.0098 -0.1144 0.52461;

-0.74206 0.34951 -2.2089;

1.2507 -0.39288 0.42116;

-0.24799 -3.9807 2.0694;

1.2706 -0.0059198 0.9873;

4.9283 0.22212 -5.0897;

-0.62187 -0.22253 -0.22227;

-4.5839 0.078382 -4.1788;

-0.83657 -3.8313 -5.0988;

3.3576 -0.040726 2.3559;

3.3829 4.4474 3.9239;

-6.6146 0.068721 0.23498;

7.6524 -0.53708 0.30277;

3.4931 -5.3144 -3.6399;

4.8534 1.2982 -0.91973;

-4.5224 -1.3262 -1.0686]

$lw_{\{1,1\}}$

[-0.71405 -1.4376 0.91851 -0.00023596 -0.094732 -0.040468 -0.80505 -0.000478 0.15551
0.0004709 -2.5463 -0.0018432 1.5122e-05 0.016061 0.0012008 -1.247 -0.17245 -0.00090711
0.012698 -0.034239]

$b_{\{1\}}$

[-6.3112; 7.6466; -3.5598; 2.3448; 3.0481; -3.3061; -1.6218; 1.8645; -0.36655; -0.29809;
0.80433; -0.95288; -2.9848; 3.3008; 4.527; -8.3939; 4.6728; 5.7074; 4.8759; -6.7701]

$b_{\{2\}}$

[2.9468]

2.2.2/ Ma trận trọng số weight và bias của mạng tối ưu (3-12-12-1), Eout = 0.005 %

$Iw_{\{1,1\}}$

[-0.24915 -0.58964 -0.41245;
2.2163 0.38512 -2.2931;
1.6215 -0.081577 0.21756;
-0.36038 -0.52042 -0.028315;
-2.1363 1.4189 -0.06575;
1.1585 0.19106 -1.7918;
1.3359 1.1518 0.20079;
2.0317 -0.46577 -0.90519;
6.8023 -1.3797 0.243;
-2.259 -0.1851 -0.84157;
-7.0833 -0.14458 -0.27344;
-4.8322 -0.62265 -1.0173]

$Iw_{\{2,1\}}$

[-2.1795 -1.9887 -0.56795 3.0537 1.0459 -0.80305 2.7891 -0.21796 1.3697 -0.53567 2.7097 -
2.736;
-2.7952 -0.84677 0.01022 2.4615 -3.1365 0.56044 -0.86401 1.1388 0.32499 0.36765 -2.1787
1.4448;
-1.3427 -0.26063 -2.3235 3.4881 0.86372 -0.3354 -1.3128 -0.67405 0.26009 2.9747 -0.86344
2.379;
3.073 2.0227 -2.6624 0.50553 2.2057 -3.0076 1.0242 0.04504 2.7681 0.047692 0.50812 1.187;
1.6399 -1.0089 1.6925 0.79822 2.575 0.81246 -3.1546 -0.79346 1.5206 -2.5972 3.8872 -
0.72228;

-3.3004 1.3581 0.91516 1.0369 0.9218 1.0423 -1.3807 1.63 2.2301 -0.66011 0.37019 0.037933;
3.4164 -1.1126 1.0909 3.9939 0.12345 0.52622 -1.4963 2.6782 -1.1961 1.9347 0.45395 -
2.9074;

-1.0625 -0.52597 -2.8235 -1.9424 -3.4764 -0.18611 -0.9362 -2.1745 -0.97004 1.1018 3.6106
1.1597;

1.9595 -0.014956 -4.1517 3.6975 -0.080921 -0.089937 -1.4632 -0.95567 0.45973 3.8181
2.2637 -1.087;

3.0811 0.92293 -1.2721 -0.84607 0.88722 -0.74099 -1.7643 2.1119 2.1981 -1.5504 3.3051 3.63;
-2.3475 0.073136 -0.38306 -2.0166 0.1987 -0.3848 1.275 -0.83726 0.74816 0.5184 -1.1067 -
0.5101;

-1.3925 -2.0412 1.2812 0.65658 -1.4482 -0.81008 -1.5921 1.7902 -1.3286 0.86968 -4.6092 -
1.9132]

$Iw\{3,2\}$

[2.4436 -0.069022 -0.38406 -0.037626 0.063471 -0.20617 -0.13996 -0.24838 -5.1484 -0.38887
0.72996 -0.043013]

$b\{1\}$

[2.8268; -3.8087; -1.3533; -0.70444; 0.99624; -0.31494; 2.0508; 1.1322; 2.8756; -1.8237; -
5.1728; -5.911]

$b\{2\}$

[4.8332; 5.5737; 2.2546; -6.2801; -2.2825; -0.23454; -2.3018; 2.9294; 3.1606; -0.94294; 1.1715;
2.6269]

$b\{3\}$

[2.8312]

3/ Ma trận trọng số weight và bias của mạng nơ-ron Momen Hoạt tải

3.1 Ma trận trọng số weight và bias của mạng nơ-ron Momen hoạt tải xe thiết kế HL-93

Ma trận trọng số weight và bias của mạng tối ưu (6-24-1), Eout = 0.0095%

$Iw\{1,1\}$

[0.22641 -1.2515 1.7855 2.2539 -2.6941 2.1657;
-0.34553 -2.5286 0.051328 -0.0084194 0.018795 -0.051939;
-3.5644 0.55772 -1.4834 -0.23357 2.9933 -0.10786;
-0.16922 6.1108 0.041721 0.0016809 0.012113 0.0048992;
-39.6313 0.4375 -0.0071323 0.0030068 -0.0052844 -0.036908;
-2.3279 2.1451 -1.4986 -1.2638 -0.79862 -1.6213;
1.1035 -1.9477 0.064175 0.0054421 0.023778 0.19424;

17.9367 0.60339 -0.017962 -0.00073847 -0.0044907 0.0087459;
-0.84436 0.15656 -0.31219 0.014206 -0.031939 0.16578;
0.91215 1.8657 1.4716 0.32932 2.6445 2.4606;
-0.36231 -1.4171 0.74248 -2.5992 0.31512 0.73693;
0.13006 -3.0282 -0.019488 0.0029028 -0.0049106 0.039352;
-1.8205 -1.2699 0.037999 0.0044734 0.011975 0.1383;
-8.4743 0.54086 -0.015906 0.0032423 -0.0058661 0.011192;
-7.0061 -2.661 0.074969 0.0015649 0.02681 0.23422;
-4.3803 -0.64462 0.025101 -0.0055145 0.0072424 -0.033604;
-0.11276 -1.5008 0.012546 0.004616 0.0036555 0.070936;
0.70224 -2.8762 -0.96036 1.7958 -2.2401 -1.548;
-2.1825 3.6564 -0.11034 -0.021943 -0.040935 -0.35135;
-9.4067 -2.6827 0.076062 0.0010178 0.0271 0.23201;
0.79432 2.7694 2.4466 1.2083 -2.8145 0.47703;
-0.045998 -0.19649 -0.11783 0.7203 -0.066212 -0.41756;
0.068551 0.53256 -0.58717 0.032341 -0.019775 0.14593;
0.13162 0.44363 -0.042352 0.036804 -0.7235 0.11587]

Lw{2,1}

[2.4435e-06 -9.0186 -0.00033582 1.0966 27.3598 -0.00036228 3.332 14.0373 0.27264 -
0.00029665 -0.0012518 -1.3168 -1.9714 13.4968 8.2678 -6.3597 5.6078 -2.616e-05 0.32936 -
7.8932 0.0001348 -0.04039 1.3554 0.3218]

B{1}

[-4.7796; 5.4437; 3.4693; 6.7039; -42.1208; 2.1074; 2.4636; 16.0221; -1.0739; -0.89207; -
0.07591; -0.19164; -0.15598; -1.3224; -1.4623; 4.8698; -0.7563; 2.2377; -3.5971; -1.5317;
2.9172; -1.0123; -3.9843; -3.6392]

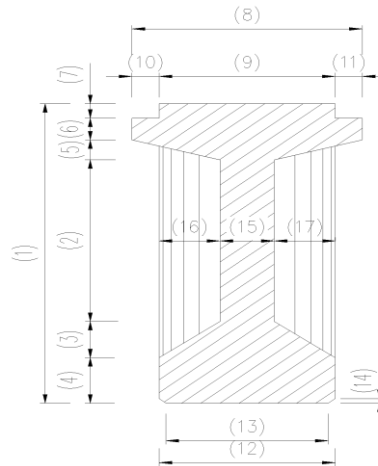
B{2}

[-6.4183]

PHỤ LỤC 4

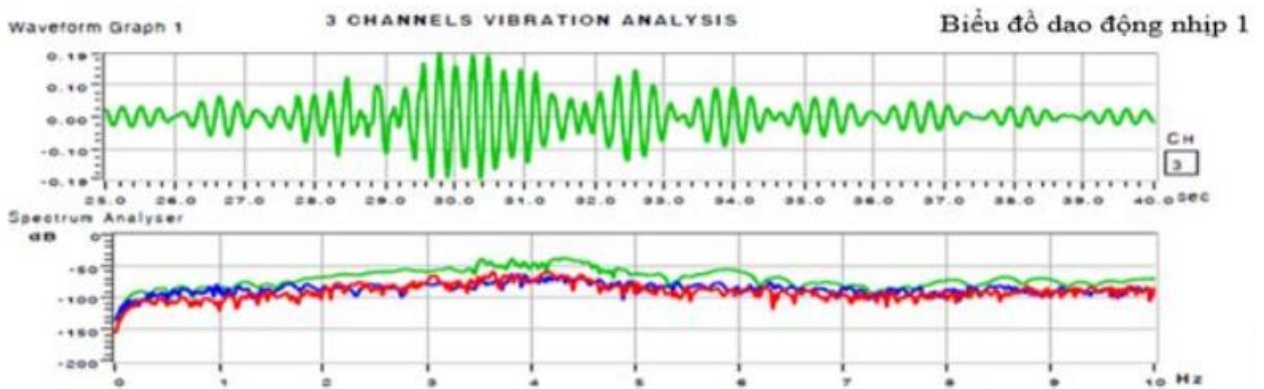
1/ Các số liệu kiểm định thử tải của các cầu [21] và [9]

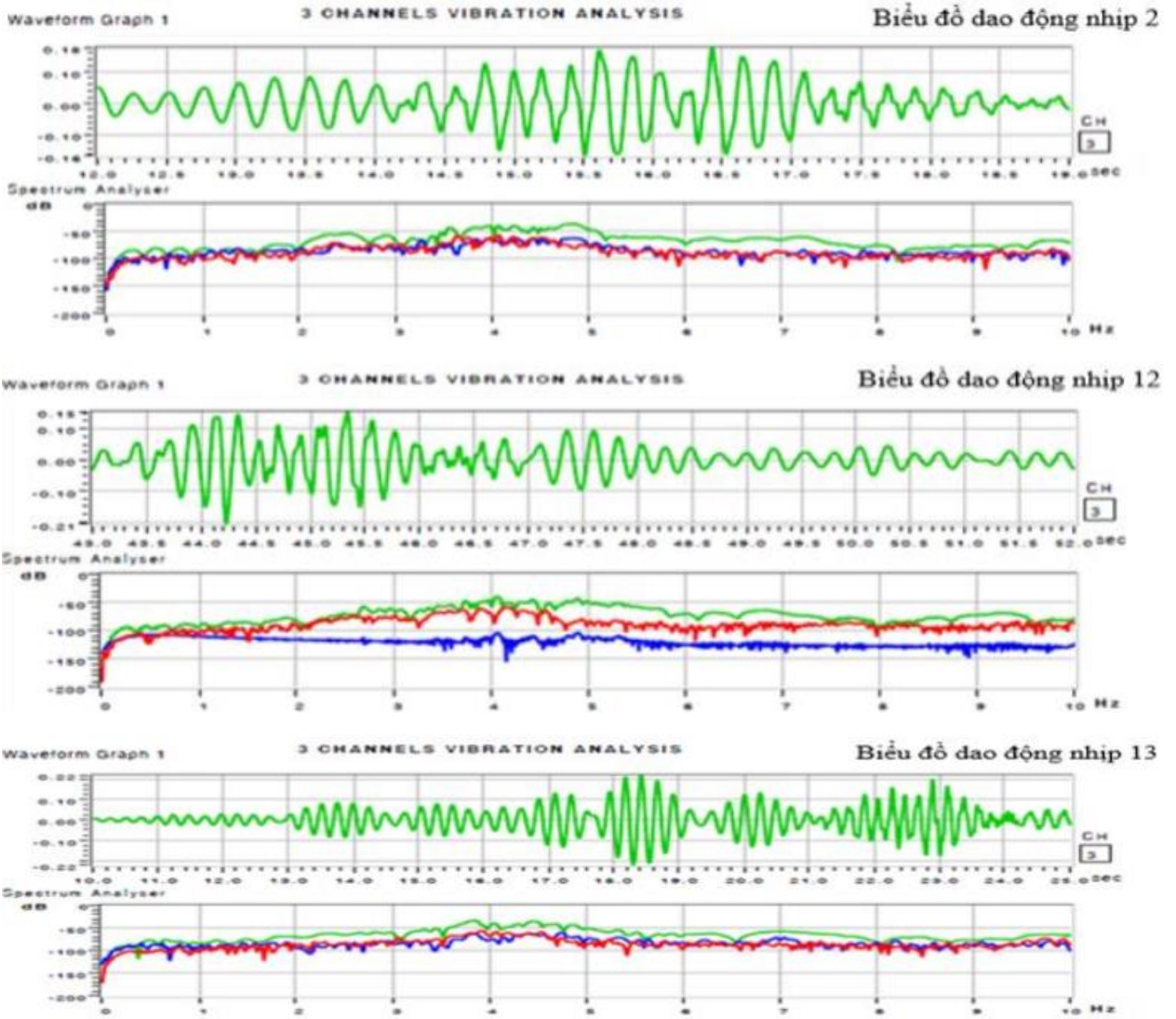
1.1 Kết quả đo kích thước hình học các nhịp N1, N2, N12, N13 cầu Ninh Chữ [21]



Nhịp Dầm	Vị trí mặt cắt	Kích thước mặt cắt ngang điển hình dầm I33 cầu Ninh Chữ (cm)														
		1	2	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
N1Dầm 1	Giữa dầm	165.0	89.1	12.20	8.0	85.0	65.2	10.2	10.1	65.0	59.8	2.6	19.9	22.3	22.7	
N1Dầm 2	Giữa dầm	164.8	88.8	12.00	7.9	84.9	65.1	10.1	9.9	64.9	59.9	2.6	20.0	22.4	22.5	
N1Dầm 3	Giữa dầm	164.9	89.1	11.90	8.1	84.9	64.9	10.2	10.0	64.9	59.9	2.7	20.0	22.7	22.3	
N1Dầm 4	Giữa dầm	164.8	88.8	12.20	7.8	85.0	64.9	9.9	10.2	64.9	59.9	2.4	20.2	22.5	22.6	
N1Dầm 5	Giữa dầm	165.2	88.8	12.10	7.9	84.9	65.1	10.0	9.9	65.0	60.1	2.7	20.0	22.7	22.4	
N2Dầm 1	Giữa dầm	165.1	89.0	12.00	7.9	85.1	65.1	9.9	10.0	64.8	59.8	2.4	20.0	22.3	22.6	
N2Dầm 2	Giữa dầm	164.8	88.8	12.00	8.1	85.1	64.8	10.0	10.0	65.1	60.0	2.5	20.1	22.6	22.6	
N2Dầm 3	Giữa dầm	164.8	89.1	12.10	8.0	84.9	65.0	10.1	10.2	65.0	60.0	2.4	20.2	22.4	22.3	
N2Dầm 4	Giữa dầm	165.2	88.9	12.20	8.2	85.1	64.9	9.8	10.0	64.9	60.1	2.6	20.1	22.5	22.3	
N2Dầm 5	Giữa dầm	164.9	88.8	12.10	8.0	84.9	65.1	9.9	10.1	64.8	60.1	2.6	19.9	22.6	22.3	
N12Dầm 1	Giữa dầm	164.9	88.9	11.90	7.9	84.8	65.0	10.1	9.9	64.9	60.0	2.3	20.2	22.7	22.4	
N12Dầm 2	Giữa dầm	165.1	89.1	12.20	7.8	85.1	64.9	9.8	10.0	65.0	60.1	2.6	20.1	22.4	22.5	
N12Dầm 3	Giữa dầm	164.8	89.1	11.80	7.9	85.2	64.9	10.1	10.2	65.2	60.0	2.3	20.0	22.6	22.3	
N12Dầm 4	Giữa dầm	164.9	89.0	12.10	8.1	84.9	65.0	10.1	10.2	65.0	59.9	2.5	19.9	22.4	22.6	
N12Dầm 5	Giữa dầm	165.2	89.1	11.90	8.2	85.0	64.8	9.8	9.8	64.9	60.2	2.6	19.9	22.7	22.6	
N13Dầm 1	Giữa dầm	165.1	89.2	11.90	7.8	84.8	65.0	10.2	9.9	65.2	59.8	2.5	19.8	22.7	22.7	
N13Dầm 2	Giữa dầm	164.8	89.0	12.20	7.8	85.1	65.1	9.9	10.2	65.2	60.2	2.3	20.2	22.4	22.4	
N13Dầm 3	Giữa dầm	164.9	89.2	12.20	7.9	84.9	65.0	10.0	10.2	64.8	60.2	2.6	20.1	22.7	22.4	
N13Dầm 4	Giữa dầm	164.8	89.1	11.90	8.0	85.2	65.2	9.8	9.8	65.1	60.0	2.6	20.1	22.5	22.6	
N13Dầm 5	Giữa dầm	164.8	89.1	11.80	7.9	85.0	64.9	9.9	9.9	64.8	60.0	2.5	20.2	22.3	22.6	


1.2 Kết quả đo dao động các nhịp N1, N2, N12, N13 cầu Ninh Chữ [21]






1.3 Các số liệu kiểm định thử tải cầu Đại Đồng [9]

a/ Kết quả đo cường độ bê tông kết cấu nhịp N1_ Bản mặt cầu và Dầm I33

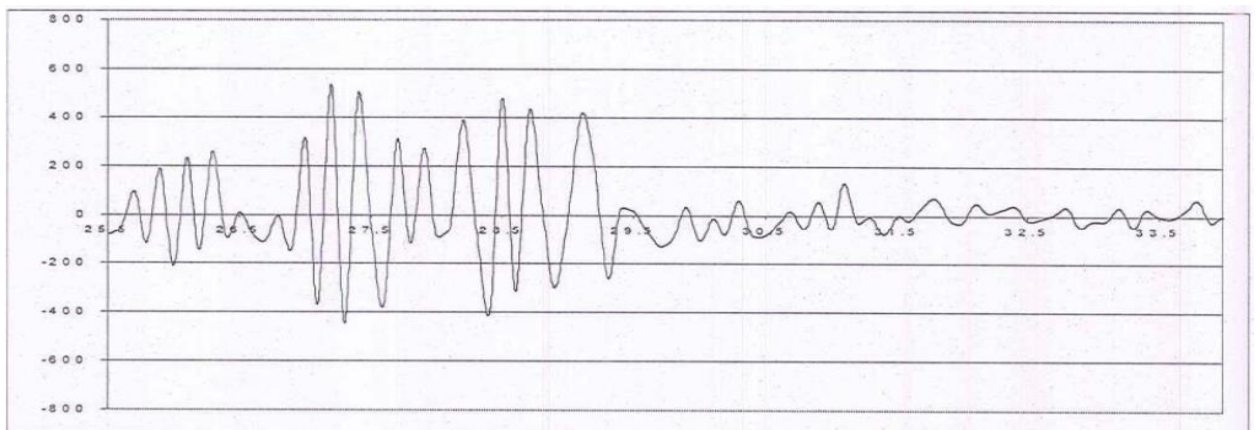
 CÔNG TY CỔ PHẦN TƯ VẤN KIỂM ĐỊNH XÂY DỰNG NAM Á PHÒNG THỬ NGHIỆM VẬT LIỆU XÂY DỰNG LAS - XD 335 <small>D/C: Số 44 - Đường số 7 - KDC Nam Long - Phường An Lạc - Quận Bình Tân - TP.HCM Điện thoại: 0822.480.688 Fax: 0837.524.108</small>							
PHIẾU THỬ NGHIỆM KIỂM TRA CƯỜNG ĐỘ CỦA BÊ TÔNG BẢNG PHƯƠNG PHÁP BẮN SÚNG BẬT NẤY							
STT	Tên cấu kiện	Vị trí kiểm tra	Đo bằng súng bật nẩy			Cường độ kháng nén (MPa)	Ghi chú
			Góc bắn	Ni	Ntbi		
1	BẢN MẶT CẦU	(VT1)	0	42	41,10	35,37	
2			0	41			
3			0	41			
4			0	42			
5			0	41			
6			0	40			
7			0	40			
8			0	42			
9			0	42			
10			0	40			
1	BẢN MẶT CẦU	(VT2)	0	43	41,60	36,39	
2			0	42			
3			0	42			
4			0	41			
5			0	42			
6			0	42			
7			0	40			
8			0	41			
9			0	42			
10			0	41			

 CÔNG TY CỔ PHẦN TƯ VẤN KIỂM ĐỊNH XÂY DỰNG NAM Á PHÒNG THÍ NGHIỆM VẬT LIỆU XÂY DỰNG LAS - XD 835 Đ/C: Số 44 - Đường số 7 - KDC Nam Long - Phường An Lạc - Quận Bình Tân - TP.HCM Điện thoại: 0822.480.688 Fax: 0837.524.108							
PHIẾU THỬ NGHIỆM KIỂM TRA CƯỜNG ĐỘ CỦA BÊ TÔNG BẰNG PHƯƠNG PHÁP BẮN SÚNG BẬT NẤY							
-	Gói thầu	: Kiểm định cầu Xe, cầu Đại Đồng, cầu vượt Lai Cách, cầu Di Linh, cầu Neo.					
-	Công trình	: Cầu Đại Đồng.					
-	Hạng mục	: Kiểm định chất lượng công trình					
-	Địa điểm	: Km9+700 trên ĐT.391, xã Đại Sơn, huyện Tứ Kỳ, tỉnh Hải Dương.					
-	Yêu cầu thí nghiệm	: Xác định cường độ của bê tông bằng súng bật nẩy.					
-	Người thí nghiệm	: Giã Minh Thân, Nguyễn Ngọc Hoài Luân, Nguyễn Thanh Toàn...					
-	Tiêu chuẩn thí nghiệm	: TCVN 9334 - 2012					
-	Thiết bị thí nghiệm	: Súng bắn bật nẩy, máy mài cầm tay, giấy nhám, ...					
STT	Tên cấu kiện	Vị trí kiểm tra	Đo bằng súng bật nẩy			Cường độ kháng nén (MPa)	Ghi chú
			Góc bắn	Ni	Ntbi		
1	DÀM	(VT1)	0	48	48,70	57,15	
2			0	47			
3			0	50			
4			0	47			
5			0	50			
6			0	46			
7			0	48			
8			0	50			
9			0	50			
10			0	51			
1	DÀM	(VT2)	0	47	47,80	55,41	
2			0	47			
3			0	49			
4			0	50			
5			0	48			
6			0	48			
7			0	49			
8			0	46			
9			0	47			
10			0	47			

b/ Kết quả đo dao động kết cấu nhịp N1_ Bản mặt cầu và Dầm I33

Hạng mục	Phương đo	Tầng số F (Hz)	Chu kỳ T (giây)	Biên độ dao động lớn nhất Amax (mm)	Biên độ dao động nhỏ nhất Amin (mm)	Hệ số xung kích đo	Hệ số xung kích theo quy trình
Nhịp N1	Đứng	4,082	0,245	7,623	5,932	1,125	1,158
	Ngang	4,464	0,224	0,624	0,495	1,115	1,158
	Dọc	5,376	0,186	0,432	0,345	1,112	1,158

BIỂU ĐỒ DAO ĐỘNG KẾT CẤU NHỊP THEO PHƯƠNG THẲNG ĐỨNG NHỊP N1



2/ Kết quả tính momen quán tính I_{tc} ; modun đàn hồi E_i và cường độ bê tông f'_c của dầm nhịp cầu theo số đo Thử tải

a/ Cầu Ninh chữ [21]

Bảng tính momen quán tính I_{tc} của dầm D1 nhịp N1 cầu [21] (điển hình)

Dầm I33	L (cm)	Hg		Các thông số hình học bê tông dầm I33 DUL						Ig (cm4)	22135800.3
	3240	165.0	b & n	Ag	a	Si	Ygb	Ygb-a	Ai*(Ygb-a)^2	bh^3/12	
Khối	Tiết diện	(cm)	(cm)	(cm2)	(cm)	(cm3)	(cm)	(cm)	(cm4)	(cm4)	
K1	Gờ đỉnh	8.0	65.2	521.6	161	83977.6		79.8347	3324458.6	2781.86667	
K2	Gờ trên	12.2	85	1037	150.9	156483.3		69.7347	5042856	12862.2567	
K3	Vút trên	11	32.5	357.5	141.133333	50455.17		59.96803	1285628.8	3604.79167	
K4	Sườn	120.1	19.9	2389.99	84.75	202551.7		3.584695	30711.466	2872769.97	
K5	Vút dưới	20	22.5	450	31.3666667	14115		49.79864	1115957	15000	
K6	Bầu dưới	25	65	1625	12.2	19825		68.9653	7728846.6	84635.4167	
cáp DUL	5*12*0.987*(Ep/Ec)		5.901163715	349.4669152	16.2	5661.364		64.9653	1474921.9	176.643774	
K8	Trừ lỗ cáp	5*3.14*3.6^2		-203.472	16.2	-3296.25		64.9653	-858751.71	-659.24928	
				6527.084915		529772.8	81.165		19144629	2991171.7	
Các thông số hình học bê tông dầm I33 DUL sau liên hợp											
b	hsl	n	Asl	hsl/2+Ygt	Ssl	Ag	Ac	Dgsl	Ycb	Yct	
(cm)	(cm)		(cm2)	(cm)	(cm3)	(cm2)	(cm2)	(cm)	(cm)	(cm)	
240	20.85	0.921830051	4612.837573	94.25969517	434804.664	6527.085	11139.922	39.03121	120.19652	65.6534843	
Isl	Ig	I'sl	I'g	Ic							
(cm4)	(cm4)	(cm4)	(cm4)	(cm4)							
167108.6902	22135800	14070010.19	9943592.353	46316512							
Lancan cầu											
b	hpara	n	Apara	trọng tâm	tr.tâm+Yct	Spara	Ipara(i)	Ypara	I'para(i)		
(cm)	(cm)		(cm2)	(cm)	(cm)	(cm3)	(cm4)	(cm)	(cm4)		
50	17	0.921830051	1567.111086	8.5	74.1534843	116206.7	37741.259	76.22501	9105310.3		
25	50	0.921830051	2304.575127	42	107.653484	248095.5	480119.818	109.725	27746111		
25	30	0.921830051	691.372538	27	92.6534843	64058.07	34568.627	94.72501	6203566.4		
		sum	4563.058751		sum	428360.4	552429.704		43054988		
Bê tông XM ván khuôn											
b	hwf	n	Awf	trọng tâm	tr.tâm+Yct	Spara	Iwf	Ywf	I'wf		
(cm)	(cm)		(cm2)	(cm)	(cm)	(cm3)	(cm4)	(cm)	(cm4)		
175	8	0.921830051	5162.248283	4	61.6534843	318270.6	27531.991	63.72501	20963254		
Bê tông asphalt											
b	hwf	n	Awf	trọng tâm	tr.tâm+Yct	Spara	Iwf	Ywf	I'wf		
(cm)	(cm)		(cm2)	(cm)	(cm)	(cm3)	(cm4)	(cm)	(cm4)		
240	7	0.119820583	1006.492898	13.5	79.1534843	79667.42	4109.846	81.22501	6640339		
Cốt thép bản mặt cầu											
Dwf (120)	Pi	n	Adwf	trọng tâm	tr.tâm+Yct	Sdwf	ldwf	Ydwf	I'dwf		
(cm)			(cm2)	(cm)	(cm)	(cm3)	(cm4)	(cm)	(cm4)		
1.2	3.14	5.901163715	800.4810556	10	75.6534843	60559.18		77.72501	4835848		
Cốt thép chủ của dầm I											
Ds (30)	Pi	n	Ads	trọng tâm	tr.tâm+Yct	Sds	lds	Yds	I'ds		
(cm)			(cm2)	(cm)	(cm)	(cm3)	(cm4)	(cm)	(cm4)		
2	3.14	5.901163715	555.889622	3.4	-116.79652	-64926		-118.868	7854504		
Cốt thép đai của dầm I											
Dc	Pi	n	Adc	trọng tâm	tr.tâm+Yct	Sdc	ldc	Ydc	I'dc		
(cm)	(cm)		(cm2)	(cm)	(cm)	(cm3)	(cm4)	(cm)	(cm4)		
1.4	3.14	5.901163715	907.9530492		-48.379303	-43926.1		-46.3078	1947024		
Gia cường L/2											
b	hgt	n	Agt	trọng tâm	tr.tâm+Yct	Spara	Iwf	Ywf	I'wf		
(cm)	(cm)		(cm2)	(cm)	(cm)	(cm3)	(cm4)	(cm)	(cm4)		
22.5	11	1	1237.5	137.6666667	17.470151	21619.3	4159.4	19.54168	472572.9		
22.5	89	1	20025	89.5	-30.696516	-614698	6609084.4	-28.625	16408287		
22.5	20	1	2250	38.33333333	-81.863182	-184192	25000.0	-79.7917	14325094		
			23512.5			-777271	6638243.8		31205954		
Ống gel bọc cáp bơm vữa											
Agel	Apsi	n	A(gel-psi)	trọng tâm	tr.tâm+Yct	S(gel-psi)	I(gel-psi)	Y(gel-psi)	I'(gel-psi)		
(cm2)	(cm2)		(cm2)	(cm)	(cm)	(cm3)	(cm4)	(cm)	(cm4)		
160.768	59.22	1.173092831	595.6261538	16.2	-103.99652	-61943		-101.925	6187783.7		
203.472	160.768	5.901163715	1260.016476	16.2	-103.99652	-131037		-101.925	13089938		
						-192980			19277722		
	Atc	St	Sb	Dt	Db	Dtc	I'tc	I'tc	Ic.dam		
	(cm2)	(cm3)	(cm3)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm4)	(cm4)	(cm4)		
	92803.86	886857.6	-1079103.0	9.556257	-11.62778	-2.0715	239018.985	3.7E+08	7.496E+11		
Momen qt I	Dầm I33	Bản m.cầu	B.Lancan	B.VánKhuôn	Asphalt	Th. bản	Th. Dầm	G.Cg L/2	Ống gel	Vữa	
N1D1	32079393	14237119	8721483	4198157	1328890	967170	1960306	7568840	2617988	1237557	

Bảng tính momen quán tính I_{tc} của các dầm nhịp cầu [21] theo số đo Độ võng

Tính momen quán tính li kết cấu nhịp dầm theo độ võng Δ đo thực tế	Momen quán tính	Dầm I33 nguyên	Bản mặt cầu	Bê tông Lancan	Bê tông Ván Khuôn	Bê tông Asphalt	Thép Dọc bản mc	Thép Dầm chủ & đai	Gia Cường L/2	Ống gel capDUL	Vữa chèn capDUL	Dầm I liên hợp (mm4)
	Ký hiệu (cm4)	Ig	I _{mc}	I _{lc}	I _{vk}	I _{as}	I _t	I _t	I _{gc}	I _t	I _{vc}	I _{tc}
	N1D1	32079393	14237119	8721483	4198157	1328890	967170	1960306	7568840	2617988	1237557	749647049008
	N1D2	31664787	14110677	8644949	4161964	1317311	958757	1936610	7506748	2583423	1221217	741543801514
N1D3	31707202	14149624	8617284	4161951	1314787	957226	1912362	7453232	2551129	1205952	740766251146	
N1D4	31782316	14175317	8672869	4175018	1321516	961809	1941818	7509133	2592615	1225563	744042349761	
N1D5	31561098	14080814	8598028	4157675	1312487	955667	1914201	7508537	2549513	1205188	738946299646	
N2D1	31597526	14107579	8604478	4161926	1335420	972392	1941955	7472594	2586172	1222517	740529429593	
N2D2	31422046	14087472	8510342	4129504	1322502	963291	1887183	7305090	2513994	1188398	733733794848	
N2D3	32064396	14306241	8723872	4203078	1351805	983936	1978045	7487676	2643341	1249542	750356398094	
N2D4	31784255	14186064	8614187	4174486	1337942	974411	1933547	7452529	2576789	1218082	743004866448	
N2D5	32076675	14229146	8779876	4211105	1358030	988024	2028242	7632506	2707966	1280091	753425830209	
N12D1	31500889	14119856	8585097	4153805	1336307	973067	1932277	7407358	2574621	1217057	738472069106	
N12D2	31481906	14097682	8515120	4139511	1327945	967435	1893605	7342342	2520542	1191493	735241523464	
N12D3	31341363	14067109	8495059	4124373	1324120	964523	1886186	7290920	2511499	1187218	732362759214	
N12D4	31796686	14175550	8622167	4168507	1341658	976888	1944609	7427309	2592901	1225698	743180478485	
N12D5	31395299	14053664	8487294	4130954	1324247	964858	1884688	7339636	2506363	1184791	733201109202	
N13D1	31861504	14200262	8704764	4194966	1341523	976477	1976388	7567967	2636035	1246088	747564885898	
N13D2	32252987	14355610	8812628	4228250	1355739	986391	2014101	7594456	2694533	1273741	756136175838	
N13D3	31652260	14140883	8559057	4148450	1322111	962898	1897576	7362445	2529620	1195784	738152407206	
N13D4	31667735	14163472	8593811	4156694	1326376	965805	1914439	7386977	2553687	1207161	739799131732	
N13D5	31339746	14068214	8515431	4128144	1315480	958088	1884149	7328816	2509924	1186474	732788267758	
Ký hiệu E _i	E _g	E _{mc}	E _{lc}	E _{vk}	E _{as}	E _t	E _{cd}	E _{gc}	E _{gl}	E _{vc}	E _{tc}	
giá trị (Mpa)	E _g	E _{mc}	E _{lc}	22610	4000	197000	197000	E _g	197000	39162	E _{tc}	

Bảng tính modun đàn hồi và $f'c$ của các dầm nhịp cầu [21] theo số đo Độ võng

Tính modun đàn hồi E _i và f'c kết cấu nhịp dầm theo độ võng Δ đo thực tế	Nhịp dầm	E _{di}	E _{bi}	f'c _{di}	f'c _{bi}	n _{mc}	n _{vk}	n _{as}	n _{cd}	n _{vc}	E _{tc}
	N1D1	31538	29073	38.91	33.07	0.92183	0.67729	0.11982	5.90116	1.17309	31050
N1D2	31936	29173	39.90	33.30	0.913488	0.67116	0.11874	5.84776	1.16248	31389	
N1D3	32021	28991	40.11	32.88	0.905367	0.6651901	0.1176808	5.795777	1.15214	31422	
N1D4	31809	29156	39.59	33.26	0.916589	0.673435	0.1191394	5.867615	1.16642	31284	
N1D5	32126	28958	40.38	32.81	0.901388	0.6622662	0.1171635	5.770301	1.14708	31500	
N2D1	31598	28490	39.06	31.75	0.901624	0.673435	0.1191394	5.867615	1.16642	30985	
N2D2	32039	28408	40.16	31.57	0.88667	0.6622662	0.1171635	5.770301	1.14708	31323	
N2D3	31857	29328	39.70	33.65	0.920607	0.6876142	0.1216479	5.991157	1.19098	31356	
N2D4	31849	28651	39.69	32.12	0.899586	0.6719131	0.1188701	5.854355	1.16379	31218	
N2D5	31852	29748	39.69	34.62	0.93395	0.6975801	0.123411	6.07799	1.20824	31433	
N12D1	34263	30806	45.93	37.13	0.899105	0.673435	0.1191394	5.867615	1.16642	33580	
N12D2	34516	30519	46.61	36.44	0.884194	0.6622662	0.1171635	5.770301	1.14708	33728	
N12D3	34652	30639	46.98	36.73	0.884194	0.6622662	0.1171635	5.770301	1.14708	33861	
N12D4	34010	30753	45.25	37.00	0.904246	0.6772855	0.1198206	5.901164	1.17309	33368	
N12D5	34646	30467	46.96	36.31	0.879386	0.6586649	0.1165264	5.738924	1.14084	33822	
N13D1	33883	31110	44.91	37.86	0.918163	0.6819943	0.1206536	5.942192	1.18125	33333	
N13D2	33375	31268	43.58	38.25	0.936869	0.695889	0.1231118	6.063256	1.20532	32955	
N13D3	34482	30812	46.52	37.14	0.893565	0.6637233	0.1174213	5.782997	1.1496	33758	
N13D4	34357	30940	46.18	37.45	0.900534	0.6689001	0.1183371	5.828102	1.15857	33683	
N13D5	34769	30899	47.30	37.35	0.888685	0.6600984	0.11678	5.751413	1.14332	34005	

Bảng tính momen quán tính I_{tc} của các dầm nhịp cầu theo số đo Tần số riêng

Momen quán tính	Dầm I33 nguyên	Bản mặt cầu	Bê tông Lancan	Bê tông VánKhuôn	Bê tông Asphalt	Thép Dọc bản mc	Thép Dầm chủ & đai	Gia Cường L/2	Ống gel capDUL	Vữa chèn capDUL	Dầm I liên hợp (mm4)
Ký hiệu (cm4)	lg	lmc	llc	lvk	las	lt	lt	lgc	lt	lvc	ltc
M/c ngang N1	158794796	70753551	43254614	20854765	6594990	4800629	9665296	37546489	12894668	6095477	3714945751075
M/c ngang N2	158944897	70916501	43232755	20880099	6705699	4882053	9768972	37350395	13028262	6158629	3721050319192
M/c ngang N12	157516143	70513861	42704737	20717150	6654276	4846771	9541365	36807565	12705927	6006257	3682457939471
M/c ngang N13	158774233	70928441	43185690	20856504	6661230	4849658	9686653	37240662	12923799	6109248	3714440868432

Bảng tính modun đàn hồi và $f'c$ của các dầm nhịp cầu theo số đo Tần số riêng

Tính Ei theo Tần số fi thực tế	Nhịp	E _{di}	E _{bi}	f' _{cdi}	f' _{cbi}	n _{mc}	n _{vk}	n _{as}	n _{cd}	n _{vc}	E _{tc}
M/c ngang N1	34137	31124	45.6	37.9	0.911732	0.669867	0.118508	5.836523	1.160243	33541.3	
M/c ngang N2	34642	31472	46.9	38.7	0.908487	0.678562	0.120046	5.912284	1.175303	34015.7	
M/c ngang N12	31742	28258	39.4	31.2	0.890225	0.666784	0.117963	5.809661	1.154903	31054.9	
M/c ngang N13	34530	31338	46.6	38.4	0.907563	0.674121	0.119261	5.873592	1.167612	33898.9	

b/ Cầu Đại Đồng [9]

Bảng tính momen quán tính I_{tc} của dầm nhịp cầu theo số đo Tần số riêng

Tính Ei từ Tần số fi thực tế cầu Đại Đồng	Momen quán tính	Dầm I33 nguyên	Bản mặt cầu	Bê tông Lancan	Bê tông VánKhuôn	Bê tông Asphalt	Thép Dọc bản mc	Thép Dầm chủ & đai	Gia Cường L/2	Ống gel capDUL	Vữa chèn capDUL	Dầm I liên hợp (mm4)
Ký hiệu (cm4)	lg	lmc	llc	lvk	las	lt	lt	lgc	lt	lvc	ltc	
N1	30117419	13597225	7968620	3949833	1248511	911334	1652094	6817868	2184138	1032470	695201032956	
Ký hiệu Ei	Eg	Emc	Elc	Evk	Eas	Etb	Ecd	Egc	Egl	Evc	Etc	
giá trị (Mpa)	Eg	Emc	Elc	22610	4000	197000	197000	Eg	197000	39162	Etc	

Bảng tính modun đàn hồi và $f'c$ của dầm nhịp cầu theo số đo Tần số riêng

Nhịp	E _{di}	E _{bi}	f' _{cdi}	f' _{cbi}	n _{mc}	n _{vk}	n _{as}	n _{cd}	n _{vc}	E _{tc}
M/c ngang N1	42863	34224	67.6	43.1	0.798456	0.596144	0.105466	5.194178	1.032551	41148

3/ Xây dựng phương trình momen lực của nhịp cầu theo số đo Thử tải từ các xe tải dùng thử tải gây ra (cầu Ninh Chữ [21])

a/ Kết quả tính tổng momen lực của nhịp cầu theo số đo Thử tải từ các xe tải dùng thử tải

Bảng thiết lập các thông số cho momen lực nhịp N1, N2 cầu [21]

Ký hiệu trục xe tải	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	L
Cự ly trục xe tải (m)	5.20	1.35	3.65	6.00	1.35	3.65	11.2	32.4
$L/x_i =$	6.2308	24.0000	8.8767	5.4000	24.000	8.8767	2.8929	1
	$L/6.2308$	$L/24$	$L/8.8767$	$L/5.4$	$L/24$	$L/8.8767$	$L/2.8929$	L
$\sum x_i$	x_1+x_2	$x_1+x_2+x_3$	x_2+x_3	$x_2+x_3+x_4$	x_3+x_4	x_6+x_7		
$L/\sum x_i$	4.9466	3.1765	6.4800	2.9455	3.3575	2.1818		
Trọng lượng P1(kN)	140.9	732.68						4565.2
Trọng lượng P2(kN)	143.2	744.64	193.32					4639.7
Trọng lượng P3(kN)	61.0	317.20	82.35	222.65				1976.4
$P = 4(P_1+P_2+P_3)$	1380.4	(kN)						

Phương trình momen lực Mi của nhịp N1, N2 cầu [21]

Giá trị momen Mi (kNm) do tải trọng xe thử tĩnh dùng tính chuyển vị đứng tại L/2 - Nhịp (1 và 2)					
M1	$(0.43P_1 + 0.403P_2 + 0.331P_3)L$	4487.6	M4	$(1.0P_1 + 0.958P_2 + 0.846P_3)L$	10682.9
M2	$(0.5P_1 + 0.508P_2 + 0.417P_3)L$	5462.5	M5	$(0.605P_1 + 0.682P_2 + 0.776P_3)L$	7460.6
M3	$(0.689P_1 + 0.678P_2 + 0.649P_3)L$	7575.5	M6	$(0.457P_1 + 0.514P_2 + 0.67P_3)L$	5794.8

Bảng xác định các hệ số α_i cho phương trình momen lực Mi nhịp N1, N2 cầu [21]

Thông số Lực	*P1	*P2	*P3	Phản lực R
$R_B L =$	$2(L/2+x_1)$	$2(L/2+(x_1+x_2+x_5))$	$2(L/2+(x_1+x_2+x_3+x_5+x_6))$	
$R_B =$	$2(L/2+x_1)/L$	$2(L/2+(x_1+x_2+x_5))/L$	$2(L/2+(x_1+x_2+x_3+x_5+x_6))/L$	
hệ số Pi của R_B	1.32099	1.48765	1.93827	
$R_B =$	$1.321*P_1$	$1.4877*P_2$	$1.9383*P_3$	517.3938
$R_A = P - R_B$	$4-(L+2x_1)/L$	$4-(L+2(x_1+x_2+x_5))/L$	$4-(L+2(x_1+x_2+x_3+x_5+x_6))/L$	
hệ số Pi của R_A	2.67901	2.51235	2.06173	
$R_A =$	$2.679*P_1$	$2.5123*P_2$	$2.0617*P_3$	863.0062
Các momen Mi	$\alpha_1 * P_1 * L$	$\alpha_2 * P_2 * L$	$\alpha_3 * P_3 * L$	$M_i = (\alpha_1 * P_1 + \alpha_2 * P_2 + \alpha_3 * P_3) * L$
hệ số $\alpha_1 * P_i$ của M1	0.42996	0.4032	0.3309	
hệ số $\alpha_1 * P_i$ của M2	0.49992	0.5079	0.4168	
hệ số $\alpha_1 * P_i$ của M3	0.68907	0.6783	0.6491	
hệ số $\alpha_1 * P_i$ của M4	1.00000	0.9583	0.8457	
hệ số $\alpha_1 * P_i$ của M5	0.60545	0.6818	0.7757	
hệ số $\alpha_1 * P_i$ của M6	0.45664	0.5143	0.6700	

4/ Xây dựng phương trình chuyển vị của nhịp cầu theo số đo Thử tải từ các xe tải dùng thử tải gây ra (cầu Ninh Chữ [21])

Bảng xác định tổng năng lượng gây chuyển vị do xe tải được thử tải tạo ra trên N1N2

Vùng momen tải trên ĐAH	1	2	3	4	5	6	7	
Cự ly tải ai trên nhịp	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	L
Giá trị ai (m)	5.20	1.35	3.65	6.00	1.35	3.65	11.2	32.4
Giá trị ai theo L	L/6.2308	L/24	L/8.8767	L/5.4	L/24	L/8.8767	L/2.8929	L
Tỷ lệ L/ai	6.2308	24.0000	8.8767	5.4000	24.0000	8.8767	2.8929	1
Momen tải Mi trên (Mpi)	M1	M2	M3	M4	M5	M6	L/2	16.2
Giá trị Mi (kN.m)	4487.6	5462.5	7575.5	10682.9	7460.6	5794.8	L/4	8.1
Diện tích Mi trên (Mpi) (a)	$1/2 * M_1 * L / 6.2308$	$M_2 * L / 24$	$M_3 * L / 8.8767$	$M_4 * L / 5.4$	$M_5 * L / 24$	$M_6 * L / 8.8767$	$M_7 * L / (2 * 2.8929)$	
Giá trị diện tích Mi (kN.m ²)	11667.84	6058.30	19938.04	45452.90	10071.88	21151.06	32450.94	
Tỷ lệ L/(ai) (a)	12.4615	24.0000	8.8767	5.4000	24.0000	8.8767	5.7857	
Tung độ yki trên (Mk) (a)	$(2/3) * 5.2 * (L/4) / L/2$	$(5.2 + 1.35/2) * (L/4) / L/2$	$(5.2 + 1.35 + 3.65/2) * (L/4) / L/2$	$(5.2 + 1.65 + 3.65 + 6/2) * (L/4) / L/2$	$(16.2 - 1.35/2) * (L/4) / L/2$	$(16.2 - 1.35 - 3.65/2) * (L/4) / L/2$	$2/3 * 11.2 * (L/4) / L/2$	
Giá trị yki trên (Mk)(a)	1.7333	2.9375	4.1875	6.6000	7.7625	6.5125	3.7333	
Tỷ lệ L/yki	18.6923	11.0298	7.7373	4.9091	4.1739	4.9750	8.6786	
Năng lượng tạo chuyển vị (a)	20224.3	17796.3	83490.5	299989.1	78182.9	137746.3	121150.2	758580
Diện tích Mi trên (Mpi) (b)		$(M_2 - M_1) * L / (2 * 24)$	$(M_3 - M_2) * L / (2 * 8.8767)$	$(M_4 - M_3) * L / (2 * 5.4)$	$(M_5 - M_4) * L / (2 * 24)$	$(M_6 - M_5) * L / (2 * 8.8767)$		
Giá trị diện tích Mi (kN.m ²)		658.02	3856.24	9322.31	2175.03	3040.15		
Tỷ lệ L/ai		48.0	17.8	10.8	48.0	17.75342		
Tung độ yki trên (Mk) (b)		$(5.2 + 1.35 * 2/3) * (L/4) / L/2$	$(5.2 + 1.35 + 3.65 * 2/3) * (L/4) / L/2$	$(5.2 + 1.35 + 3.65 + 6 * 2/3) * (L/4) / L/2$	$(16.2 - 1.35 * 3) * (L/4) / L/2$	$(16.2 - 1.35 - 3.65 * 3) * (L/4) / L/2$		
Giá trị yki trên (Mk)(b)		3.0500	4.4917	7.1000	7.8750	6.8167		
Tỷ lệ L/(ai) (b)		10.6230	7.2134	4.5634	4.1143	4.7531		
Năng lượng tạo chuyển vị (b)		2007.0	17320.9	66188.4	17128.4	20723.7		123368
Tổng năng lượng (kN.m ²)	881948.0	8.81948E+17	(N.mm ³)					

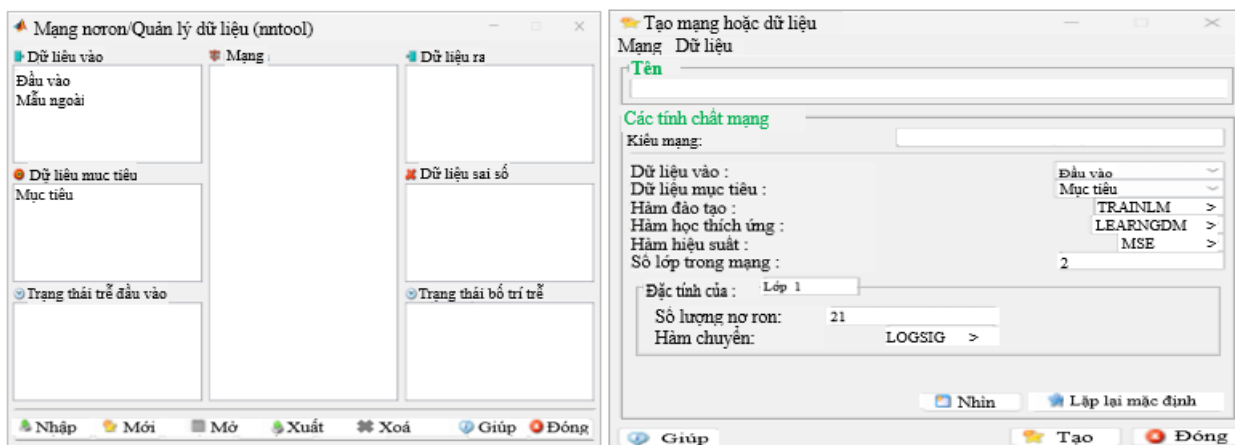
Bảng xác định biểu thức chuyển vị Δ do xe tải được thử tải tạo ra trên N1N2

Xác định Biểu thức Độ võng Δ cho toàn nhịp cầu theo kết quả thử tải								
Diện tích momen lực trên (Mpi)	Trục xe thử tải Pi	Hệ số lực Pi theo momen	Hệ số diện tích Mi	Hệ số tung độ Yki	Hệ số Pi theo chuyển vị Δ	Hệ số Pi toàn cầu	Giá trị Pi toàn cầu	(Hệ số Pi)*Pi
1	P1	0.42996	12.46154	18.69231	0.00185	0.07391	140.9	10.4133
	P2	0.40322	12.46154	18.69231	0.00173	0.07553	143.2	10.8163
	P3	0.33089	12.46154	18.69231	0.00142	0.07706	61	4.7008
2 (a)	P1	0.42996	24.0	11.02979	0.00162			25.9303
	P2	0.40322	24.0	11.02979	0.00152	Chiều dài nhịp L (m)		
	P3	0.33089	24.0	11.02979	0.00125	32.4		
2 (b)	P1	0.06996	48.0	10.62295	0.00014	Tổng năng lượng toàn cầu (kNm3)		
	P2	0.10468	48.0	10.62295	0.00021	881948		
	P3	0.08591	48.0	10.62295	0.00017	Biểu thức độ võng Δ toàn cầu		
3 (a)	P1	0.49992	8.87671	7.73731	0.00728	$\Delta = (0.07391P_1 + 0.07553P_2$		
	P2	0.50790	8.87671	7.73731	0.00739	$+ 0.07706P_3)L_3/ EI$		
	P3	0.41680	8.87671	7.73731	0.00607	$\Delta = (171.8P_1 + 175.6P_2$		
3 (b)	P1	0.18915	17.75342	7.21336	0.00148	$+ 179.1P_3)L_3/ 2324.6EI$		
	P2	0.17037	17.75342	7.21336	0.00133			
	P3	0.23226	17.75342	7.21336	0.00181			
4 (a)	P1	0.68907	5.4	4.90909	0.02599			
	P2	0.67827	5.4	4.90909	0.02559			
	P3	0.64906	5.4	4.90909	0.02448			
4 (b)	P1	0.31093	10.8	4.56338	0.00631			
	P2	0.28006	10.8	4.56338	0.00568			
	P3	0.19662	10.8	4.56338	0.00399			
5 (a)	P1	0.60545	24.0	4.17391	0.00604			
	P2	0.68184	24.0	4.17391	0.00681			
	P3	0.77572	24.0	4.17391	0.00774			
5 (b)	P1	0.39455	48.0	4.11429	0.00200	1.00000		
	P2	0.27649	48.0	4.11429	0.00140	0.95833		
	P3	0.06996	48.0	4.11429	0.00035	0.84568		
6 (a)	P1	0.45664	8.87671	4.97505	0.01034			
	P2	0.51425	8.87671	4.97505	0.01164			
	P3	0.67002	8.87671	4.97505	0.01517			
6 (b)	P1	0.14881	17.75342	4.75306	0.00176			
	P2	0.16759	17.75342	4.75306	0.00199			
	P3	0.10570	17.75342	4.75306	0.00125			
7	P1	0.45664	5.78571	8.67857	0.00909			
	P2	0.51425	5.78571	8.67857	0.01024			
	P3	0.67002	5.78571	8.67857	0.01334			

PHỤ LỤC 5

1/ Thiết lập ANN bằng công cụ “nntool” Toolbox matlab

Tạo mạng: nhấp New (Mới) trên Neural Network/Data Manager (Mạng nơ-ron/Quản lý dữ liệu) và thiết lập mạng trên cửa sổ Create Network or Data (Tạo mạng hoặc dữ liệu).



Cửa sổ Neural Network/Data Manager (nntool) nhập dữ liệu vào mạng và Cửa sổ Create Network or Data thiết lập ANN đã tạo. Create: Ok

Kiểu mạng (Net work Type): Lan truyền ngược (Feed-forward backprop);

Dữ liệu vào, mục tiêu (Input, target data): chọn (i, t);

Hàm đào tạo (Training function): chọn TRAINLM (thuật toán Levenberg Marquet);

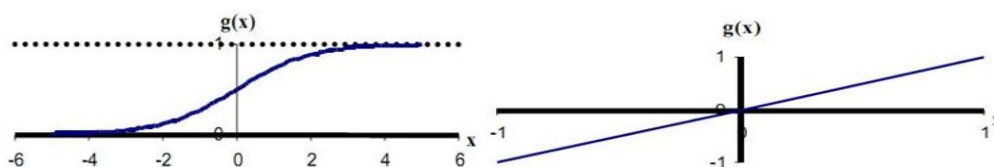
Hàm học (Adaption Learning function): LEARNGDM (giảm độ dốc với momentum);

Hàm hiệu suất (Performance funtion): MSE (sai số trung bình bình phương);

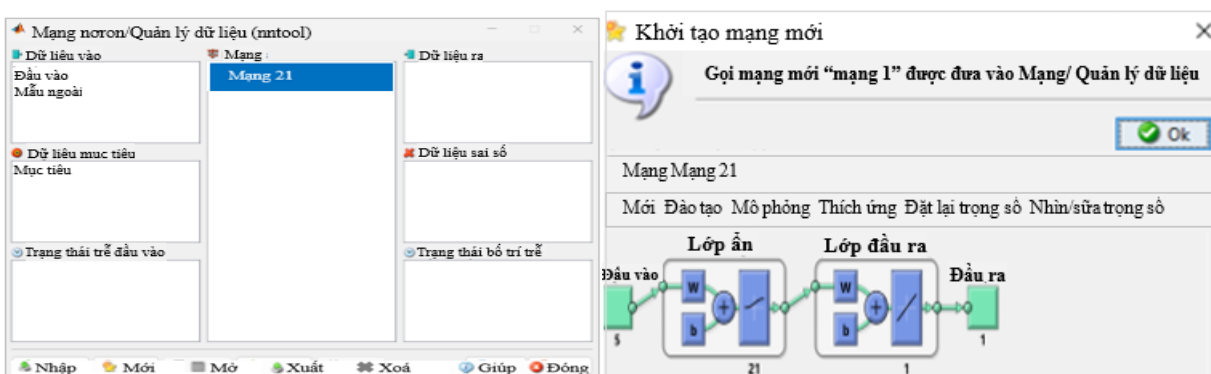
Số lớp ẩn trong mạng (Number of layers): (1÷2) lớp ẩn, 1 lớp ra;

Số nơ-ron lớp ẩn m (Number of neurons): (r-m-1); (r-m-m-1) như mục 2.4.3.3 mô tả

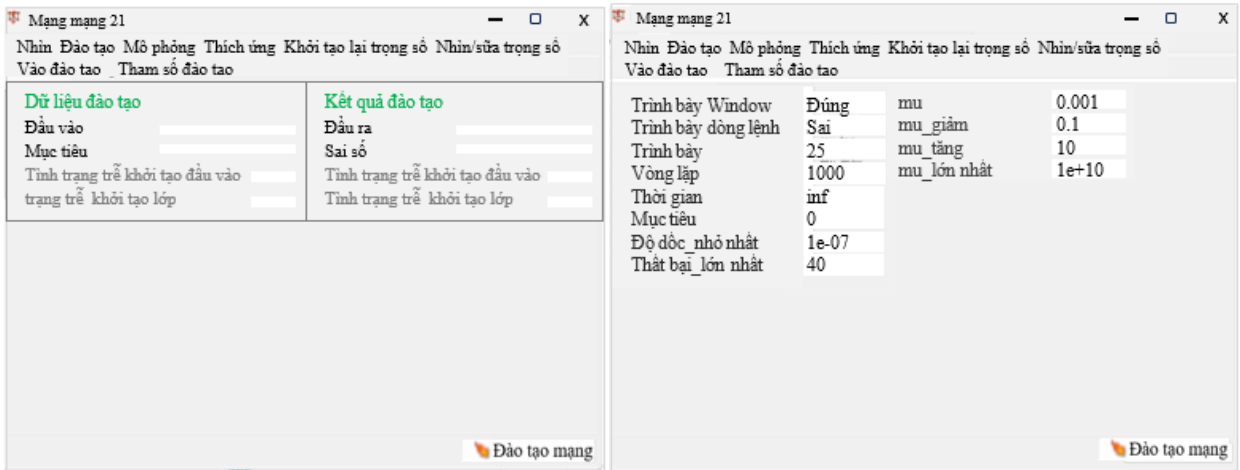
Hàm truyền (Transfer function): (Logsig ; Purelin). View: hình trạng mạng



Hàm kích hoạt Logsig và Purelin cho lớp ẩn và lớp đầu ra



Hình trạng thiết lập ANN đã tạo



Cửa sổ Network mạng dùng điều chỉnh tham số đào tạo ANN

Show: (số lần mạng trình bày);

Epochs: (Kỷ nguyên đào tạo);

Time (Thời gian đào tạo);

Goal (Mục tiêu đào tạo);

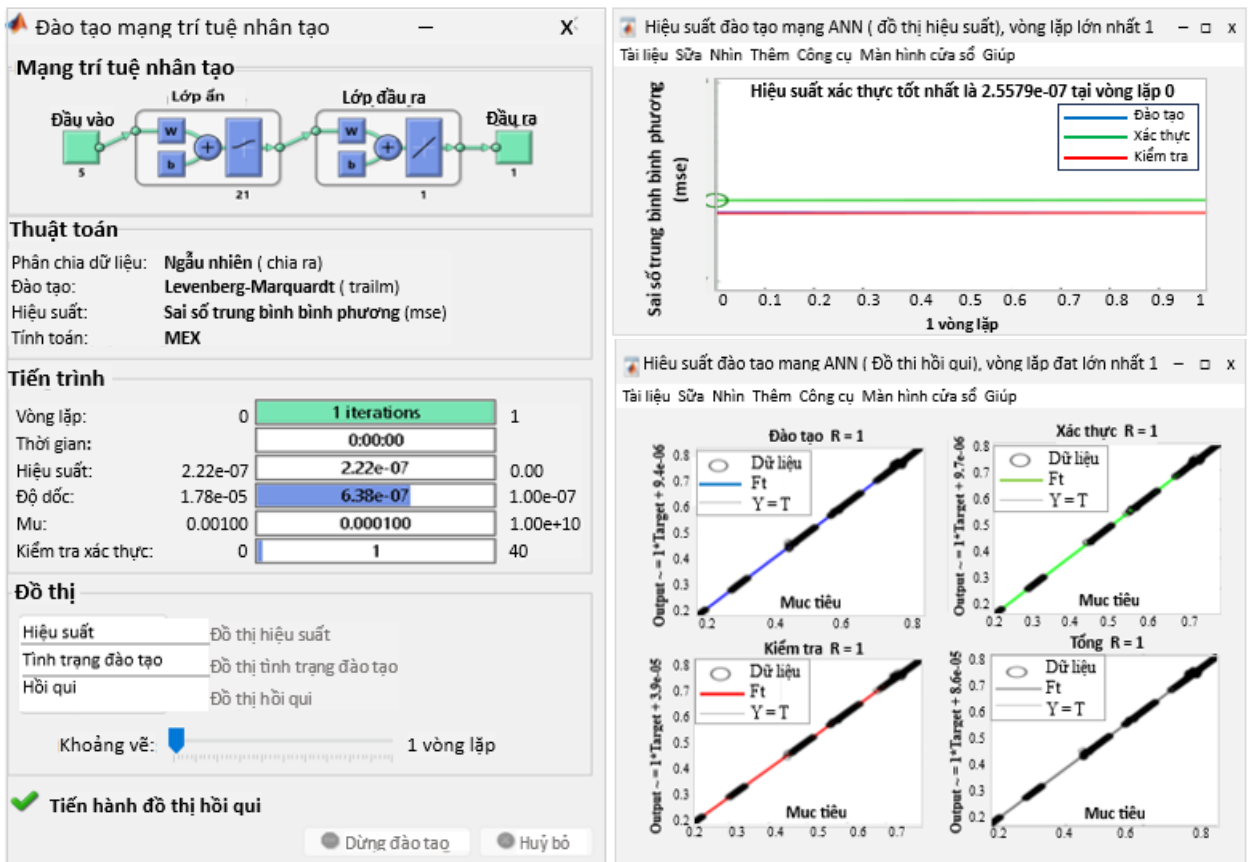
Min-grad: (độ dốc min);

Min-fail: (số lần xác thực);

Ir: (tốc độ học tập);

mu: (hệ số thuật toán).

Trong quá trình đào tạo mạng có thể thay đổi các tham số kỹ thuật mạng để mạng đạt tới mục tiêu cực tiểu. Sau đó nhấp Train network và mạng tiến hành đào tạo ở hình 3.13.



Cửa sổ Neural Network Training_Kết quả đào tạo mẫu Trains ANN

Kết quả huấn luyện sau Epochs (vòng lặp).

Thời gian đào tạo (Time):

Hiệu suất mạng (Performance MSE):

Độ dốc (Gradient):

Xác thực (validation checks)): kiểm tra chéo trong quá trình đào tạo.

Biểu đồ hiệu suất đào tạo (Plots Performance):

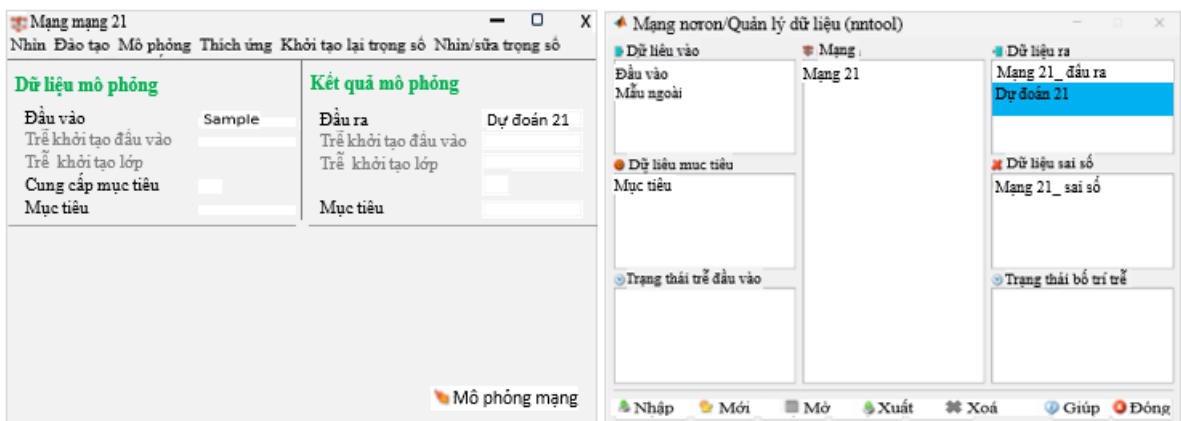
Đường màu xanh lá: kết quả xác thực của mẫu ngoài dữ liệu mạng (Validation)

Đường màu đỏ: kết quả kiểm tra của mẫu ngoài dữ liệu mạng (Test)

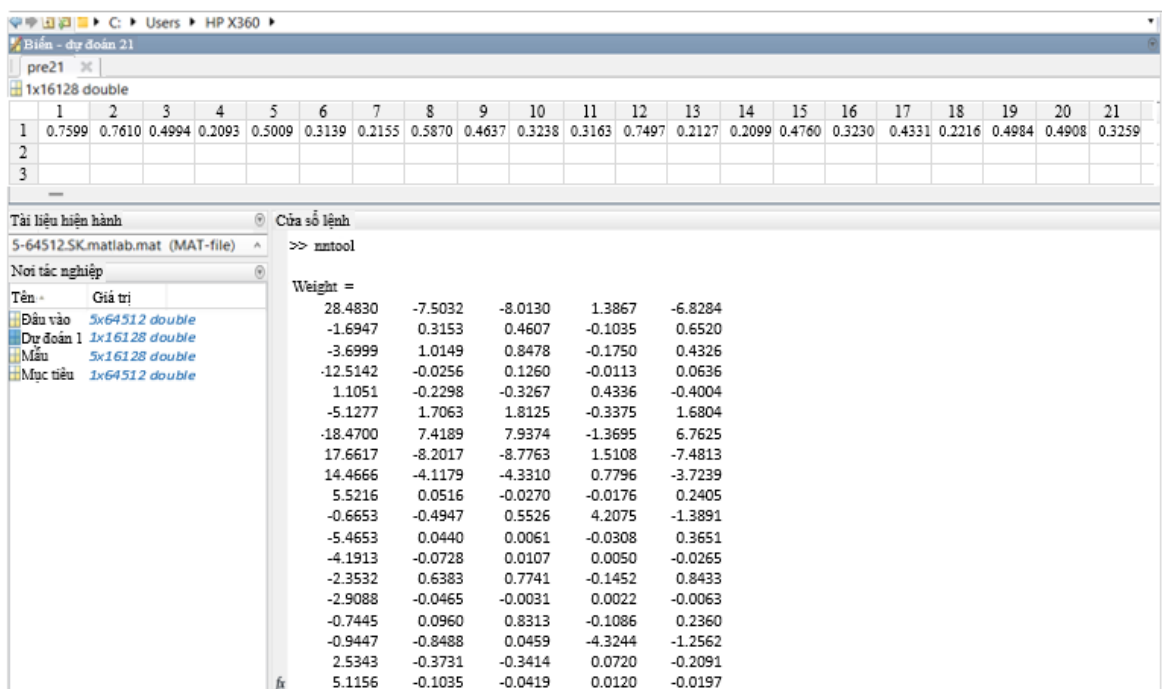
Đường màu xanh dương: kết quả đào tạo của mẫu trong dữ liệu mạng (Train)

Biểu đồ hệ số tương quan (Plots Regression): cho (training, validation, test)

Sau kết quả đào tạo mẫu Trains và xác thực mẫu Validation như hình 3.13, ANN sẽ mô phỏng mẫu Tests để đánh giá hiệu suất của quá trình đào tạo mạng. Nhấp Simulate trong Network21 và chọn Sample, mạng sẽ mô phỏng giá trị mẫu Tests như hình 3.14



Cửa sổ Network 21 dùng Mô phỏng dữ liệu ngoài mạng (Test)



Kết quả mô phỏng dữ liệu ngoài mạng (Test) trên Workspace

Cuối cùng, xuất kết quả mô phỏng mẫu Tests sang Workspace (Nơi tác nghiệp) ở hình 3.15 và dùng kết quả này để đánh giá hiệu suất của ANN bằng hàm mục tiêu “**Lỗi sai số trung bình tuyệt đối**”. Dùng biểu đồ so sánh hiệu suất của các ANN như mục 2.4.4.1 đã trình bày để xác định ANN tối ưu.

2/ Đường dẫn thông tin về Cấu trúc và Nguyên tắc hoạt động của các mô hình học máy Random Forest – Rừng ngẫu nhiên

<https://www.analyticsvidhya.com/blog/2021/06/understanding-random-forest/#h-what-is-random-forest>

Support Vector Regression - Hỗ trợ hồi quy véctor SVR

<https://www.geeksforgeeks.org/machine-learning/vector-autoregression-var-for-multivariate-time-series/>

Gaussian Processes Regression - hồi quy quá trình Gaussian

<https://www.geeksforgeeks.org/machine-learning/gaussian-process-regression-gpr/>

Convolution Neural Networks - Mạng Nơ-ron tích chập

<https://stanford.edu/~shervine/1/vi/teaching/cs-230/cheatsheet-convolutional-neural-networks/>

Extreme Gradient Boost- Tăng cường độ dốc cực cao

<https://towardsdatascience.com/xgboost-the-definitive-guide-part-1-cc24d2dcd87a/>