

Πρόβλεψη του επιπέδου σεισμικής βλάβης κτιρίων ο/σ με εφαρμογή Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων

Κωνσταντίνος Μορφίδης

Εντεταλμένος Ερευνητής ΟΑΣΠ/ΙΤΣΑΚ, email: konmorf@gmail.com

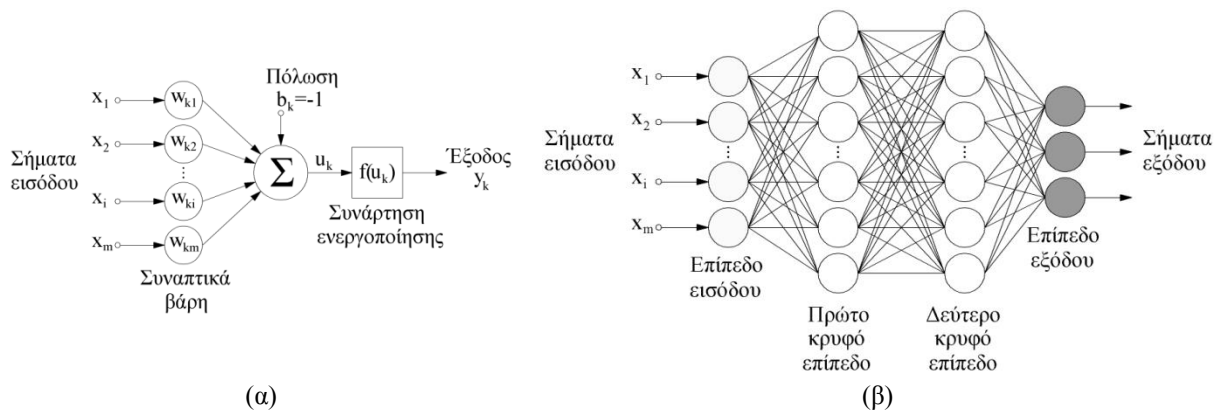
Κωνσταντίνος Κωστινάκης

Μεταδιδακτορικός Ερευνητής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ., email: kkostina@civil.auth.gr

Εκτενής περίληψη

Το πρόβλημα της εκτίμησης/πρόβλεψης του αναμενόμενου επιπέδου της σεισμικής βλάβης κτιρίων ο/σ αποτελεί διαρκές αντικείμενο έρευνας σε Ελληνικό και παγκόσμιο επίπεδο. Προϊόντα της έρευνας αυτής είναι η ανάπτυξη και η εξέλιξη μεθόδων για την αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας υφιστάμενων κτιρίων ο/σ και την εκτίμηση του αναμενόμενου επιπέδου της σεισμικής βλάβης τους σε μελλοντικούς σεισμούς. Καθώς πολύ μεγάλα ποσοστά του δομημένου περιβάλλοντος σε μικρά ή μεγάλα πολεοδομικά συγκροτήματα που βρίσκονται σε ζώνες υψηλής σεισμικότητας αποτελούνται από κτίρια ο/σ, πολλά από τα οποία μάλιστα έχουν σχεδιαστεί με παλαιούς κανονισμούς, οι μέθοδοι εκτίμησης του επιπέδου σεισμικής βλάβης που έχουν αναπτυχθεί δεν αφορούν μόνον σε μεμονωμένα κτίρια αλλά και σε σύνολα κτιρίων. Για την περίπτωση μεμονωμένων υφιστάμενων κτιρίων ο/σ οι σύγχρονοι κανονισμοί (π.χ. EN1998-3 2005, ΚΑΝ.ΕΠΕ. 2013) συστήνουν και περιγράφουν αναλυτικές μεθοδολογίες (γραμμικές και μη γραμμικές) βάσει των οποίων επιτυγχάνεται η εκτίμηση της φέρουσας ικανότητας τους με την μέγιστη δυνατή ακρίβεια. Αντίστοιχα, για την περίπτωση συνόλων υφισταμένων κτιρίων όπου η υψηλή ακρίβεια του επιπέδου εκτίμησης προσκρούει σε χρονικούς και οικονομικούς περιορισμούς, έχουν προταθεί ειδικές μεθοδολογίες για την ταχεία (και αναγκαστικά) προσεγγιστική εκτίμηση της φέρουσας ικανότητας, όπως μεθοδολογίες ταχέως οπτικού ελέγχου (π.χ. ΟΑΣΠ) ή την προσεγγιστική εκτίμηση της τρωτότητας π.χ. με τις καμπύλες τρωτότητας (π.χ. Karros et al. 2006). Οι μέθοδοι του ταχέως οπτικού ελέγχου στηρίζονται σε επί τόπου καταγραφή δομικών χαρακτηριστικών των κτιρίων και βαθμονόμηση του επιπέδου της φέρουσας ικανότητας τους βάσει των χαρακτηριστικών αυτών (π.χ. ΟΑΣΠ). Οι καμπύλες τρωτότητας στηρίζονται είτε στην επεξεργασία δεδομένων βλαβών από αυτοψίες μετά από σεισμούς, είτε στην εκτίμηση του επιπέδου βλάβης με βάση αναλυτικές μεθόδους για μεμονωμένα κτίρια, είτε ακόμα και σε συνδυασμό πραγματικών και αναλυτικών δεδομένων (Karros et al. 2006).

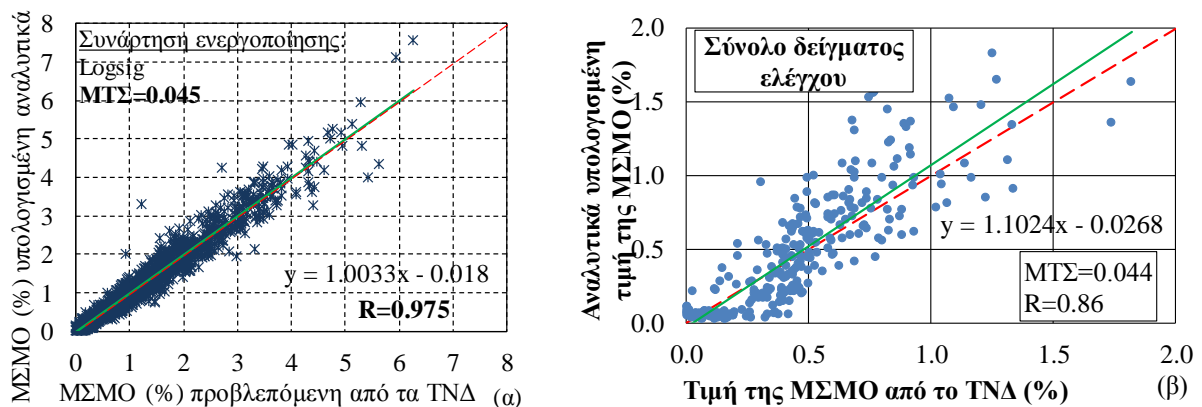
Μία σχετικώς καινούργια προσέγγιση στο πρόβλημα της εκτίμησης του αναμενόμενου επιπέδου βλάβης υφιστάμενων κτιρίων ο/σ αποτελεί η εφαρμογή μεθοδολογιών που εμπίπτουν στο πεδίο της τεχνητής νοημοσύνης και πιο συγκεκριμένα στο πεδίο των Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων (ΤΝΔ). Η προσέγγιση αυτή παρουσιάστηκε τη δεκαετία του 1990 (Molas and Yamazaki 1995), αν και η ιδέα των ΤΝΔ έχει τις ρίζες της τη δεκαετία του 1940. Τα ΤΝΔ είναι σύνθετες υπολογιστικές δομές (Σχ. 1) που στηρίζονται στις βασικές αρχές λειτουργίας των βιολογικών νευρώνων του ανθρώπινου εγκεφάλου. Έτσι η λειτουργία τους στηρίζεται στην συνδυασμένη λειτουργία των τεχνητών νευρώνων (Σχ. 1α) με τη βοήθεια της οποίας επιτυγχάνεται η εκτέλεση λειτουργιών του εγκεφάλου όπως π.χ. η μάθηση και η μνήμη. Επιπλέον, τα ΤΝΔ έχουν το πλεονέκτημα της λειτουργίας σε πραγματικό χρόνο, όπως λειτουργεί και ο ανθρώπινος εγκέφαλος για την αναγνώριση μίας εικόνας ή ενός ήχου αρκεί να έχει προηγηθεί η παρουσίαση της εικόνας ή του ήχου αυτού για να εκπαιδευτεί ο εγκέφαλος στην αναγνώριση τους.



Σχ. 1 Ο τεχνητός νευρώνας (α), και η τυπική μορφή ενός πολυεπίπεδου ΤΝΔ (β)

Έτσι και τα ΤΝΔ προκειμένου να επιτύχουν την επίλυση προβλημάτων με τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια θα πρέπει πρώτα να εκπαιδευτούν. Αυτό σημαίνει ότι θα πρέπει να λάβουν πληροφορία για τα δεδομένα αλλά και τις αντίστοιχες λύσεις ενός ικανού αριθμού προβλημάτων που εμπίπτουν στην γενική κατηγορία του προς επίλυση προβλήματος. Η διαδικασία εκπαίδευσης/μάθησης των ΤΝΔ είναι μία μαθηματική διαδικασία η οποία πραγματοποιείται μέσω κατάλληλων αλγορίθμων (βλ. π.χ. Haykin 2010). Στα πλαίσια της εκπαίδευσης προσάγονται διαδοχικά στην είσοδο των ΤΝΔ οι τιμές των παραμέτρων που έχουν επιλεγεί για την προσομοίωση του προς επίλυση προβλήματος (σήματα εισόδου) και υπολογίζονται τα αποτελέσματα με την μορφή παραμέτρων που έχουν επίσης επιλεγεί (σήματα εξόδου). Από τη σύγκριση των σημάτων εξόδου με τις αντίστοιχες τιμές που είναι ήδη γνωστές και αποτελούν την ορθή λύση του προβλήματος για τα συγκεκριμένα σήματα εισόδου, προκύπτουν και τα σφάλματα που παράγει το ΤΝΔ. Στόχος των αλγορίθμων εκπαίδευσης είναι η ελαχιστοποίηση του επιπέδου των σφαλμάτων για το σύνολο των υποδειγμάτων (δείγμα εκπαίδευσης) που χρησιμοποιούνται για το σκοπό αυτό. Μεγάλο πλεονέκτημα των ΤΝΔ αποτελεί και η δυνατότητα τους να δέχονται ως είσοδο μεγάλο αριθμό παραμέτρων, γεγονός που τα καθιστά ικανά στην επίλυση πολυπαραμετρικών προβλημάτων όπως είναι και το πρόβλημα της εκτίμησης του επιπέδου της αναμενόμενης σεισμικής βλάβης υφιστάμενων κτιρίων ο/σ στο οποίο υπεισέρχεται μεγάλος αριθμός δομικών αλλά και σεισμικών παραμέτρων (δηλ. παραμέτρων που περιγράφουν την σφοδρότητα μίας σεισμικής διέγερσης και επομένως της επίδρασης της στις κατασκευές).

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας επιχειρείται μία πιλοτική εφαρμογή των ΤΝΔ για την πρόβλεψη του επιπέδου της σεισμικής βλάβης σε κτίρια ο/σ που έχουν σχεδιαστεί με βάση τις διατάξεις του EN1998-1 (2005). Για το σκοπό αυτό επελέγησαν, σχεδιάστηκαν και αναλύθηκαν με τη μη γραμμική ανάλυση χρονοιστορίας 30 κτίρια ο/σ ορθογωνικής κάτοψης με διαφορετικές επιλογές συγκεκριμένων χαρακτηριστικών τους όπως το συνολικό τους ύψος, η δομική εκκεντρότητα τους, καθώς και το ποσοστό της σεισμικής τέμνουσας βάσης που παραλαμβάνουν τα τοιχώματά τους (όταν υπάρχουν) κατά τη διεύθυνση των δύο κάθετων μεταξύ τους κατασκευαστικών αξόνων τους. Τα κτίρια αυτά αναλύθηκαν για 65 σεισμικές διεγέρσεις που λήφθηκαν από σχετικές βάσεις δεδομένων. Από τις αναλύσεις αυτές υπολογίστηκε για κάθε περίπτωση ο δείκτης βλάβης σε όρους Μέγιστης Σχετικής Μετακίνησης Ορόφου (ΜΣΜΟ) που αποτελεί μία από τις ευρέως χρησιμοποιούμενες εκφράσεις του καθολικού δείκτη βλάβης κτιρίων ο/σ (Naeim 2011). Έτσι δημιουργήθηκε μία βάση δεδομένων εκπαίδευσης για ΤΝΔ με 1950 καταγραφές. Όσον αφορά στις σεισμικές παραμέτρους που χρησιμοποιήθηκαν για την προσομοίωση των σεισμικών διεγέρσεων έγινε επιλογή των εξής 14 (Kramer 1996): PGA, PGV, PGD, PGV/PGA, Arias Intensity, Specific Energy Density, Housner Intensity, Predominant Period, Effective Peak Acceleration, Cumulative Absolute Velocity, Acceleration Spectrum Intensity, Uniform Duration, Bracketed Duration και Significant Duration.



Σχ. 2 Διαγράμματα συσχέτισης αποτελεσμάτων αναλύσεων και αποτελεσμάτων ΤΝΔ για το δείγμα εκπαίδευσης (α) και το σύνολο του δείγματος ελέγχου (β)

Χρησιμοποιήθηκαν ΤΝΔ τύπου perceptron (Σχ. 1β) με 18 εισόδους (4 δομικές + 14 σεισμικές), ένα εσωτερικό/κρυφό επίπεδο και μία έξοδο (δείκτης βλάβης ΜΣΜΟ). Για τον αριθμό των νευρώνων του εσωτερικού επιπέδου έγινε ειδική διερεύνηση προκειμένου να προσδιοριστεί ο αριθμός που οδηγεί στο μικρότερο δυνατό σφάλμα. Ως συναρτήσεις ενεργοποίησης χρησιμοποιήθηκαν μη γραμμικές σιγμοειδείς συναρτήσεις και συναρτήσεις υπερβολικής εφαπτομένης για τους νευρώνες του εσωτερικού επιπέδου και γραμμικές συναρτήσεις για τους νευρώνες του επιπέδου εξόδου. Για την εκπαίδευση των ΤΝΔ χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος Levenberg-Marquardt (Haykin 2010), ενώ για την αξιολόγηση του σφάλματος που παράγεται χρησιμοποιήθηκε το Μέσο Τετραγωνικό Σφάλμα και ο συντελεστής συσχέτισης R των αποτελεσμάτων που παράγει το ΤΝΔ με τα αποτελέσματα των μη γραμμικών δυναμικών αναλύσεων. Η δυνατότητα αξιόπιστης πρόβλεψης του επιπέδου σεισμικής βλάβης των κτιρίων ο/σ από τα ΤΝΔ ελέγχθηκε με τη βοήθεια ενός σεναρίου στα πλαίσια του οποίου τα 30 κτίρια του δείγματος εκπαίδευσης υποβλήθηκαν σε 10 σειμούς διαφορετικούς από τους 65 που χρησιμοποιήθηκαν για την εκπαίδευση. Έτσι επιχειρήθηκε η διερεύνηση της ικανότητας πρόβλεψης του επιπέδου βλάβης των 30 κτιρίων σε έναν μελλοντικό σεισμό. Τα αποτελέσματα της διερεύνησης έδειξαν πολύ καλό επίπεδο συσχέτισης των αποτελεσμάτων που εξάγει το ΤΝΔ με τα αποτελέσματα των αναλύσεων κυρίως όταν το δείγμα εκπαίδευσης και ελέγχου είναι μεγάλο και έχει σχετικά ομοιόμορφη κατανομή των τιμών των δεικτών βλάβης (Σχ. 2).

Βιβλιογραφία

- CEN (2005), “Eurocode 8. Design of structures for earthquake resistance – Part 3: Assessment and retrofitting of buildings (EN 1998-3)”, Brussels.
- CEN (2005), “Eurocode 8. Design of structures for earthquake resistance – Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings (EN 1998-1)”, Brussels.
- Haykin, S. (2010), “Νευρωνικά Δίκτυα και Μηχανική Μάθηση”, 3^η Έκδοση, Εκδόσεις Παπασωτηρίου.
- Kappos, A.J., Panagopoulos, G., Panagiotopoulos, Ch., and Penelis, Gr. (2006), “A Hybrid Method for the vulnerability assessment of R/C and URM buildings”, *Bull. Of Earthquake Engineering*, 4 (4), pp. 391-413.
- Kramer, S.L. (1996), “Geotechnical Earthquake Engineering”, Prentice-Hall Inc.
- Molas, G., Yamazaki F. (1995), “Neural Networks for quick Earthquake Damage Estimation”, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 24, pp. 505-516.
- Naeim, F. (2011), “The seismic design handbook”, 2nd ed. Kluwer Academic, Boston.
- Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (ΟΑΣΠ), Κανονισμός Επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ.), Αθήνα, 2013.
- Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (ΟΑΣΠ), Έλεγχος Δομικής Τρωτότητας, <http://www.oasp.gr/node/76>