

# ***Υπολογιστική Νοημοσύνη***

*4η Εργασία στα Νευρωνικά Δίκτυα*

Επίλυση προβλήματος παλινδρόμησης με χρήση RBF  
δικτύου

Κωνσταντίνος Κωνσταντινίδης, ΑΕΜ: 9162

Στοιχεία Επικοινωνίας:

- email: [konkonstantinidis@ece.auth.gr](mailto:konkonstantinidis@ece.auth.gr)

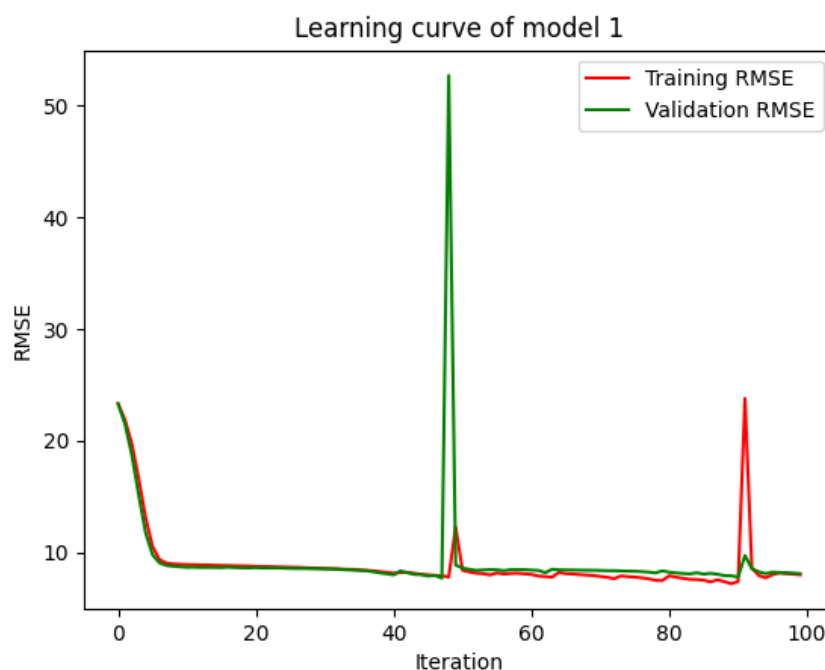
Για παράδοση κατά την πτυχιακή εξεταστική του Φεβρουαρίου 2022

## 1. Απλή εφαρμογή σε RBF δίκτυο

Χρησιμοποιώντας το Boston Housing dataset, υλοποιήθηκε ένα RBF δίκτυο με ένα στρώμα εισόδου/RBF (το στρώμα εισόδου με το RBF στρώμα συγχωνεύτηκαν χωρίς κανένα πρόβλημα), ένα ενδιάμεσο κρυφό στρώμα με 128 νευρώνες και ένα στρώμα εξόδου με 1 νευρώνα, για να υλοποιηθεί η έξοδος παλινδρόμησης.

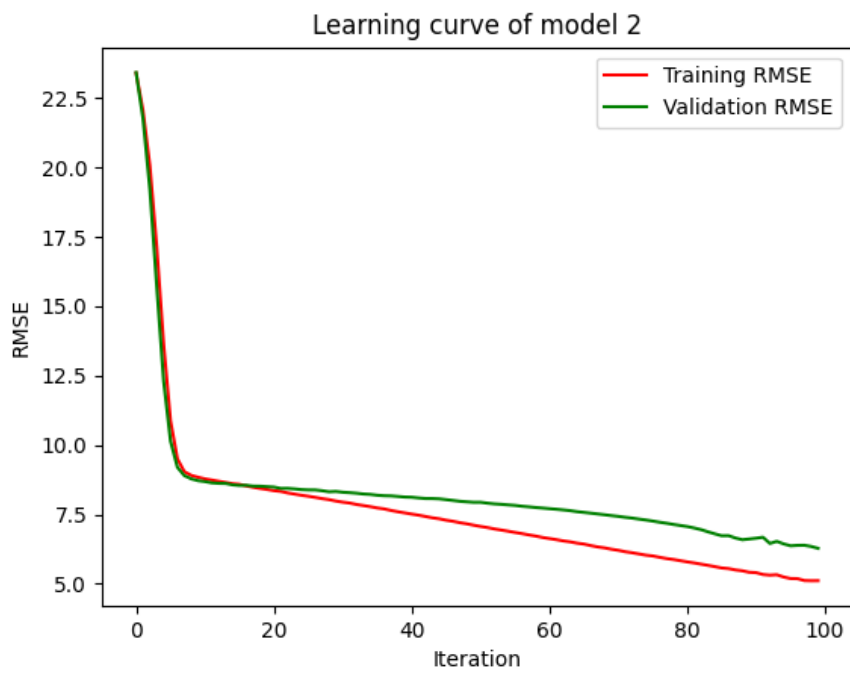
Εκπαιδεύτηκαν τρεις εκδόσεις αυτού του δικτύου, όπου η καθεμία είχε ένα συγκεκριμένο ποσοστό (10%, 50%, 90%) του αριθμού των εγγραφών του σετ εκπαίδευσεως ως αριθμό νευρώνων του RBF στρώματος.

Για τα μοντέλα αυτά (από εδώ και εξής μοντέλο 1, μοντέλο 2 και μοντέλο 3 αντιστοίχως), έχουμε τις εξής καμπύλες εκμάθησης και μετρικές απόδοσης:

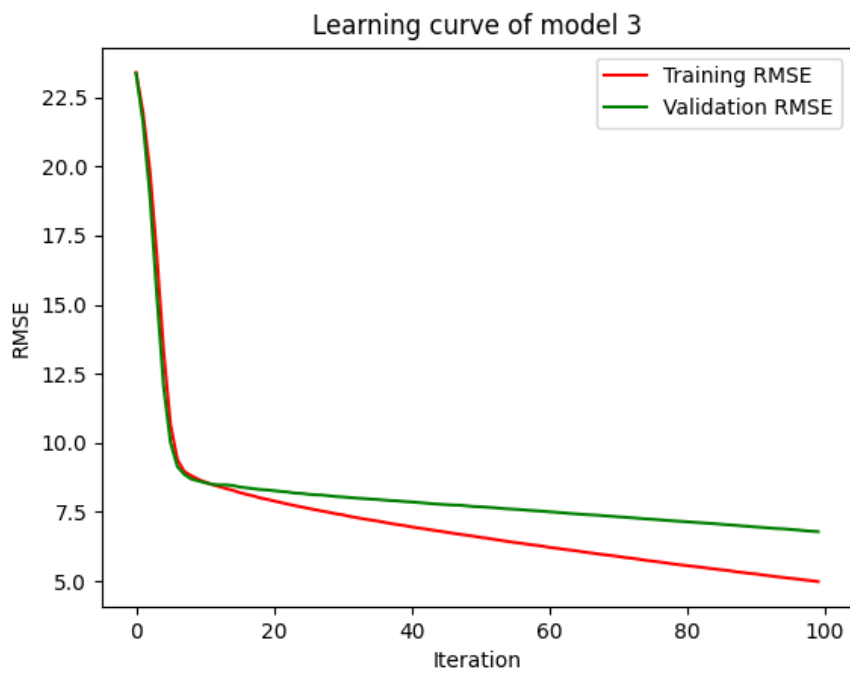


Διάγραμμα 1, Καμπύλες εκμάθησης του μοντέλου 1

Από τα διαγράμματα 1-3, βλέπουμε ότι τα μοντέλα δεν πάσχουν από overfitting, ενώ ταυτόχρονα οι αποδόσεις τους είναι αρκετά κοντά, τουλάχιστον σε ό,τι αφορά το Root Mean Squared Error (RMSE).



Διάγραμμα 2, Καμπύλες εκμάθησης του μοντέλου 2



Διάγραμμα 3, Καμπύλες εκμάθησης του μοντέλου 3

Ειδικότερα, όσον αφορά τις αποδόσεις των μοντέλων, έχουμε τον εξής πίνακα:

Μοντέλο / Μετρική	$R^2$	RMSE
Μοντέλο 1	0.129	9.255
Μοντέλο 2	0.489	7.148
Μοντέλο 3	0.426	7.429

Πίνακας 1, Μετρικές αξιολογήσεις των μοντέλων 1-3

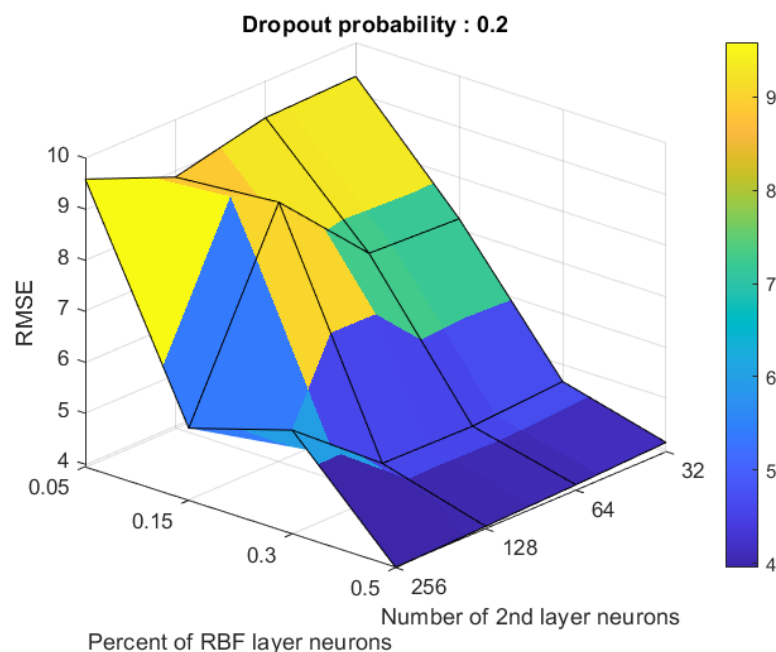
### Παρατηρήσεις / Συμπεράσματα:

Τελικά, όπως φαίνεται από τον πίνακα 1, ενώ τα μοντέλα έχουν κοντινές τιμές RMSE, τα μοντέλα 2 και 3 (50% και 90% ποσοστό νευρώνων στο RBF στρώμα) είναι σημαντικά καλύτερα έναντι του μοντέλου 1 (10% νευρώνων στο RBF στρώμα) όσον αφορά την  $R^2$  μετρική. Ουσιωδώς δηλαδή, τα δύο μοντέλα αυτά περιγράφουν καλύτερα τη διακύμανση της τιμής-στόχου από ότι το μοντέλο 1. Ωστόσο, τα δύο μοντέλα μεταξύ τους δεν παρουσιάζουν ουσιώδης διαφορά στην μετρική  $R^2$ . Από αυτό μπορεί να συμπεραθεί ότι, ως ένα σημείο, η αύξηση του αριθμού των νευρώνων του RBF στρώματος ωφελεί το RBF δίκτυο, ωστόσο μετά από αυτό το σημείο δεν παρουσιάζεται ιδιαίτερα βελτίωση στην ικανότητα του μοντέλου να ακολουθεί τη διακύμανση της τιμής-στόχου.

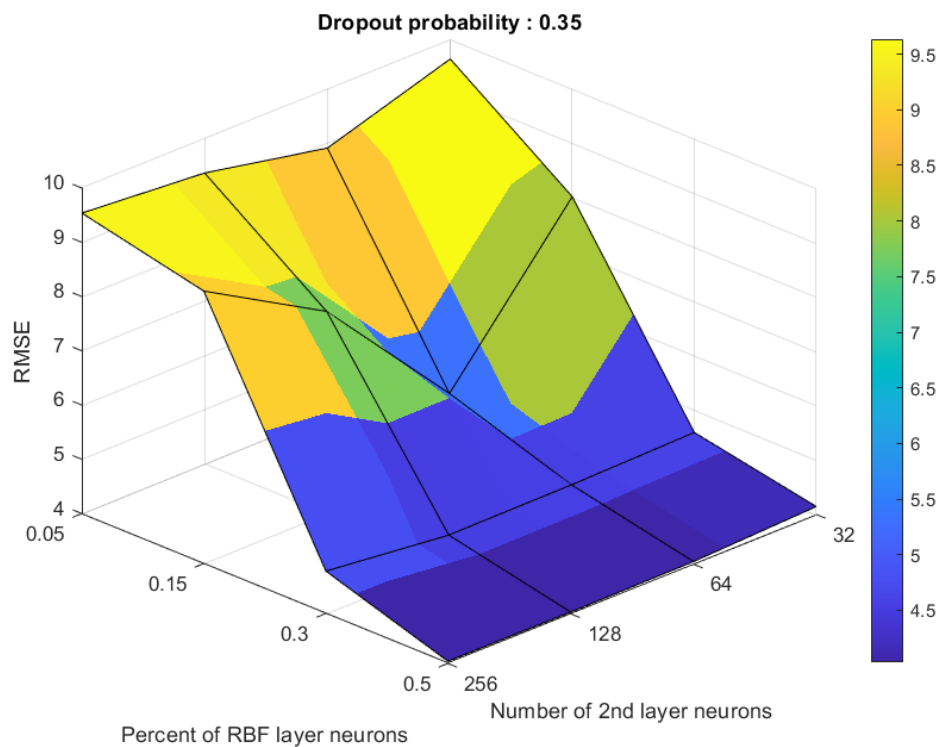
## 2. Fine tuning RBF δικτύου

Στο δεύτερο μέρος, πραγματοποιείται και πάλι βελτιστοποίηση παραμέτρων, ενός RBF δικτύου αυτή τη φορά, με την τεχνική αναζήτησης πλέγματος, μετρική αξιολόγησης το RMSE και εφαρμογή 5-fold cross validation για την αξιολόγηση του κάθε μοντέλου.

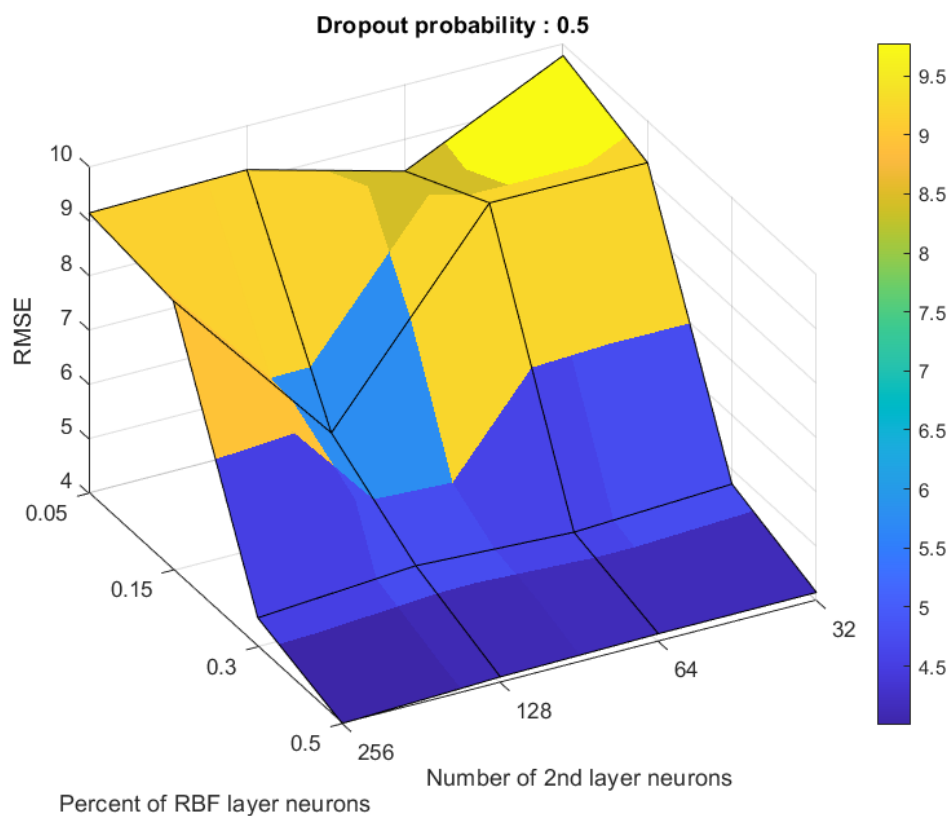
Όσον αφορά τη σχέση μεταξύ των παραμέτρων, διαχωρίζοντας τα δεδομένα με βάση την dropout πιθανότητα, έχουμε:



Διάγραμμα 4, dropout πιθανότητα = 0.2: RMSE συναρτήσει αριθμού νευρώνων στο RBF και στο δεύτερο κρυφό στρώμα



Διάγραμμα 5, dropout πιθανότητα = 0.35: RMSE συναρτήσει αριθμού νευρώνων στο RBF και στο δεύτερο κρυφό στρώμα



Διάγραμμα 6, dropout πιθανότητα = 0.5: RMSE συναρτήσει αριθμού νευρώνων στο RBF και στο δεύτερο κρυφό στρώμα

Όπως φαίνεται από τα διαγράμματα 3-6, ο μεγαλύτερος παράγοντας για το σφάλμα του μοντέλου είναι το ποσοστό των νευρώνων στο RBF στρώμα, ενώ σε δεύτερο χρόνο επίσης επηρεάζει το σφάλμα του μοντέλου ο αριθμός των νευρώνων στο δεύτερο κρυφό στρώμα, κυρίως όταν το RBF στρώμα έχει ποσοστά νευρώνων {0.15, 0.3}. Τέλος, για όλες τις τιμές της dropout πιθανότητας, είναι προφανές ότι μεγαλύτερος αριθμός νευρώνων οδηγεί σε μικρότερο RMSE για το μοντέλο, ανεξαρτήτως στρώματος.

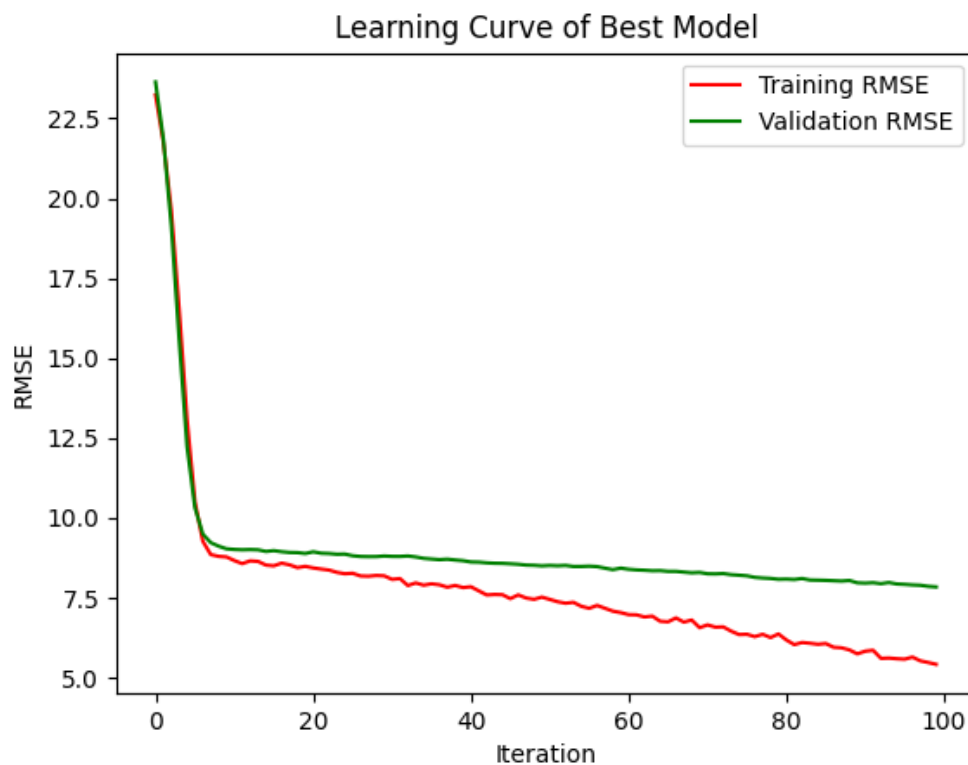
Με βάση την παραπάνω αναζήτηση πλέγματος, έχουμε ότι ο καλύτερος συνδυασμός παραμέτρων είναι {0.5, 256, 0.2}, δηλαδή 50% ποσοστό νευρώνων στο RBF στρώμα, 256 νευρώνες στο δεύτερο κρυφό στρώμα και 0.2 dropout πιθανότητα.

Για αυτές τις παραμέτρους, το τελικό μοντέλο έχει τις ακόλουθες μετρικές απόδοσης:

Παράμετροι / Μετρικές	MSE	RMSE	R <sup>2</sup>
{0.5, 256, 0.2}	71.931	8.481	0.248

Πίνακας 2, Μετρικές απόδοσης καλύτερου μοντέλου

Τέλος, για την εκπαίδευση του μοντέλου έχουμε τις καμπύλες εκμάθησης:



Εικόνα 1, Καμπύλες εκμάθησης του καλύτερου μοντέλου

### Παρατηρήσεις / Συμπεράσματα:

Όπως ήδη ειπώθηκε, καθοριστικό ρόλο για το σφάλμα του μοντέλου έχει ο αριθμός των νευρώνων του RBF στρώματος. Σε δευτερεύουσα θέση βρίσκεται ο αριθμός των νευρώνων του δεύτερου κρυφού στρώματος, ενώ η dropout πιθανότητα επιφέρει κάποιες τοπικές αλλαγές στη γεωμετρία των διαγραμμάτων 3-6, ωστόσο δεν αλλάζει ουσιωδώς τα μέγιστα/ελάχιστα του σφάλματος στα διαγράμματα αυτά.

Τέλος, πρέπει να σημειωθεί ότι, εποπτικά, το μοντέλο δεν έχει καλή απόδοση για κανένα συνδυασμό παραμέτρων.