

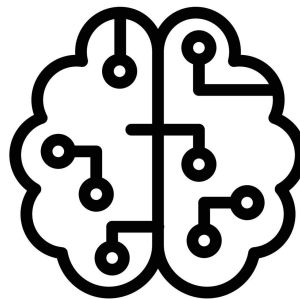
Εργασία 3 στα Ασαφή συστήματα

Υπολογιστική Νοημοσύνη

Εκπαίδευση Μοντέλων TSK - Regression

Παναγιώτης Αβραμίδης 8768

Αύγουστος 2024



Fuzzy Logic

Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών
Ηλεκτρονικών Υπολογιστών
Τομέας Ηλεκτρονικής

Περιεχόμενα

| | | |
|----------|----------------------------------|-----------|
| 1 | Περιγραφή Εργασίας | 1 |
| 2 | Εκπαίδευση 4 TSK Μοντέλων | 2 |
| 2.1 | TSK Μοντέλο 1 | 2 |
| 2.2 | TSK Μοντέλο 2 | 5 |
| 2.3 | TSK Μοντέλο 3 | 9 |
| 2.4 | TSK Μοντέλο 4 | 13 |
| 2.5 | Σχολιασμός | 17 |
| 3 | Μοντέλο Υψηλών Διαστάσεων | 18 |
| 3.1 | K-fold | 18 |
| 3.2 | Αποτελέσματα | 19 |
| | Βιβλιογραφία | 24 |

1 Περιγραφή Εργασίας

Ζητείται η υλοποίηση μοντέλων TSK (Takagi-Sugeno-Kang). Στο πρώτο μέρος θα πρέπει κάθε είσοδος να έχει συγκεκριμένο αριθμό συναρτήσεων συμμετοχής και μορφή εισόδου είτε Singleton είτε πολυωνυμική (Πίνακας). Στο δεύτερο μέρος επειδή το dataset έχει μεγάλες διαστάσεις, υπάρχει το φαινόμενο του Rule Explosion που είναι γενικότερο αποτέλεσμα της κατάρας της διαστασιμότητας (Curse of Dimensionality). Ως εκ τούτου εφαρμόζεται Subtractive Clustering.

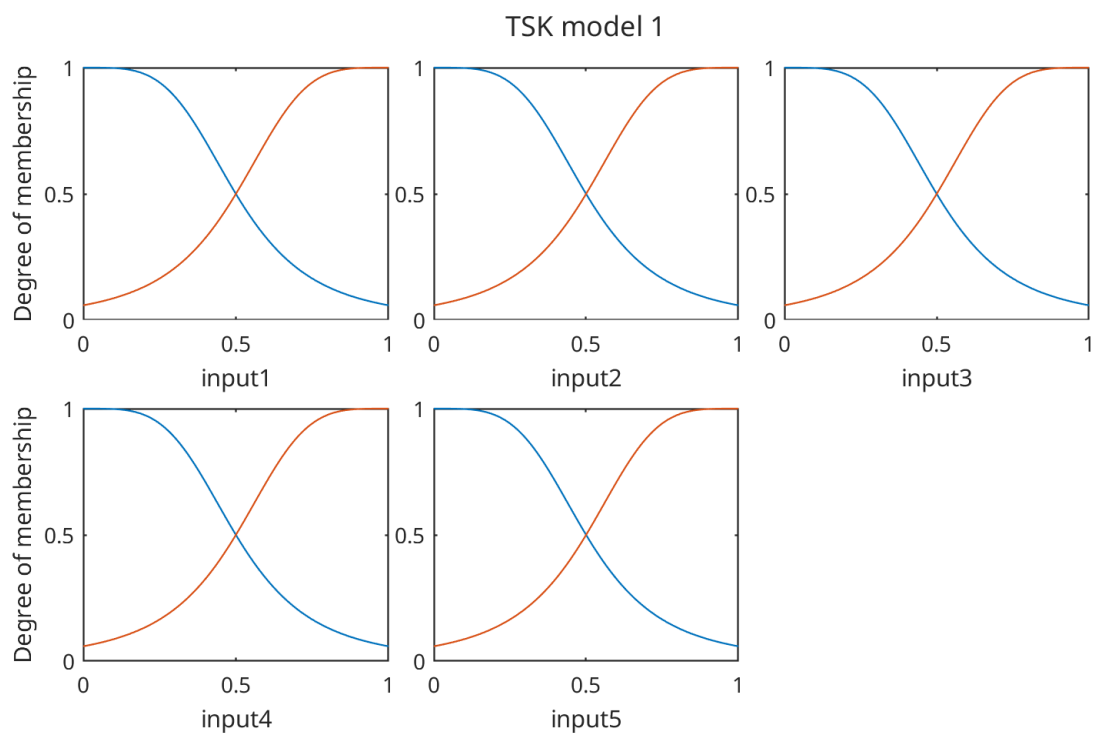
| | Πλήθος συναρτήσεων συμμετοχής | Μορφή εξόδου |
|-------------|-------------------------------|--------------|
| TSK_model_1 | 2 | Singleton |
| TSK_model_2 | 3 | Singleton |
| TSK_model_3 | 2 | Polynomial |
| TSK_model_4 | 3 | Polynomial |

Σχήμα 1.1: Ταξινόμηση μοντέλων προς εκπαίδευση.

2 Εκπαίδευση 4 TSK Μοντέλων

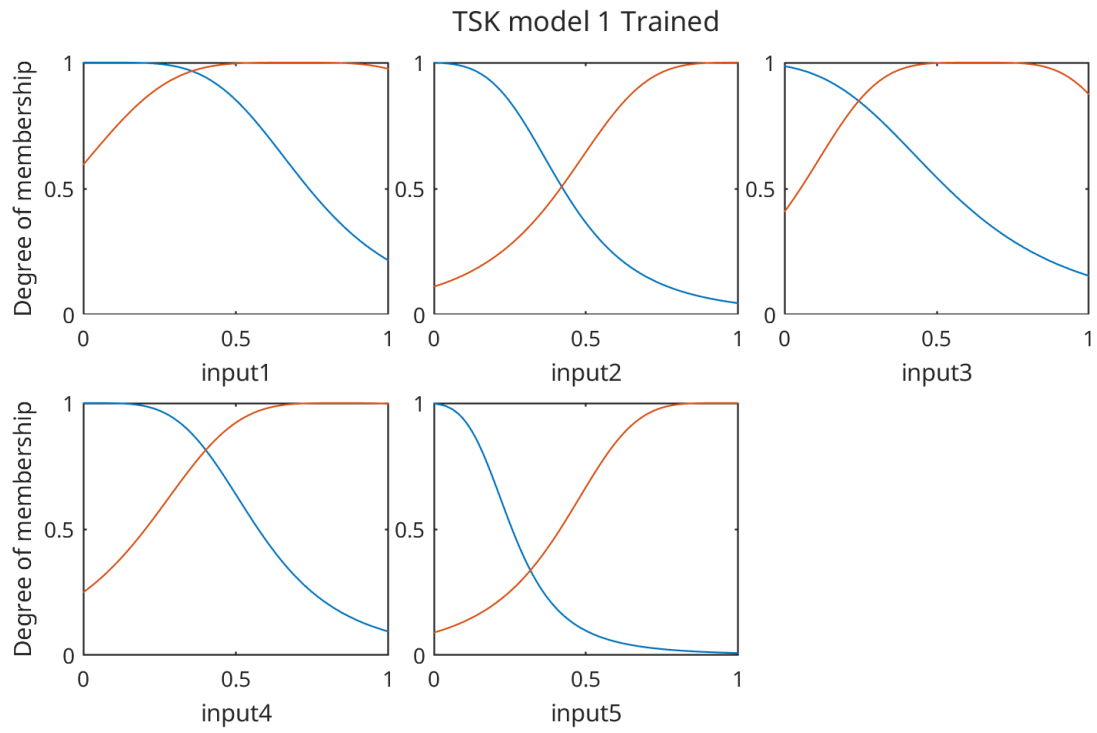
2.1 TSK Μοντέλο 1

Για το πρώτο μοντέλο εκπαιδεύουμε 4 μοντέλα με Grid Partitioning όπως φαίνεται στον παραπάνω πίνακα, πάνω στο dataset «airfoil_self_noise».



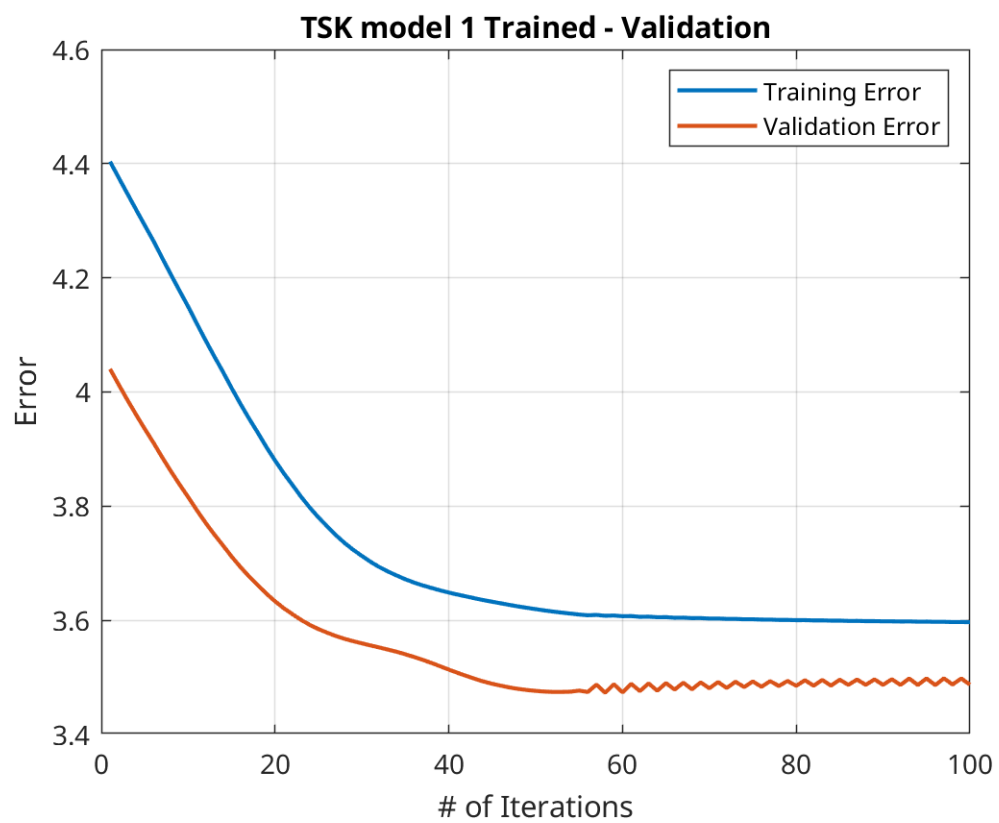
Σχήμα 2.1: Συναρτήσεις Συμμετοχής TSK 2

Μετά την εκπαίδευση οι συναρτήσεις συμμετοχής διαμορφώνονται ως εξής:

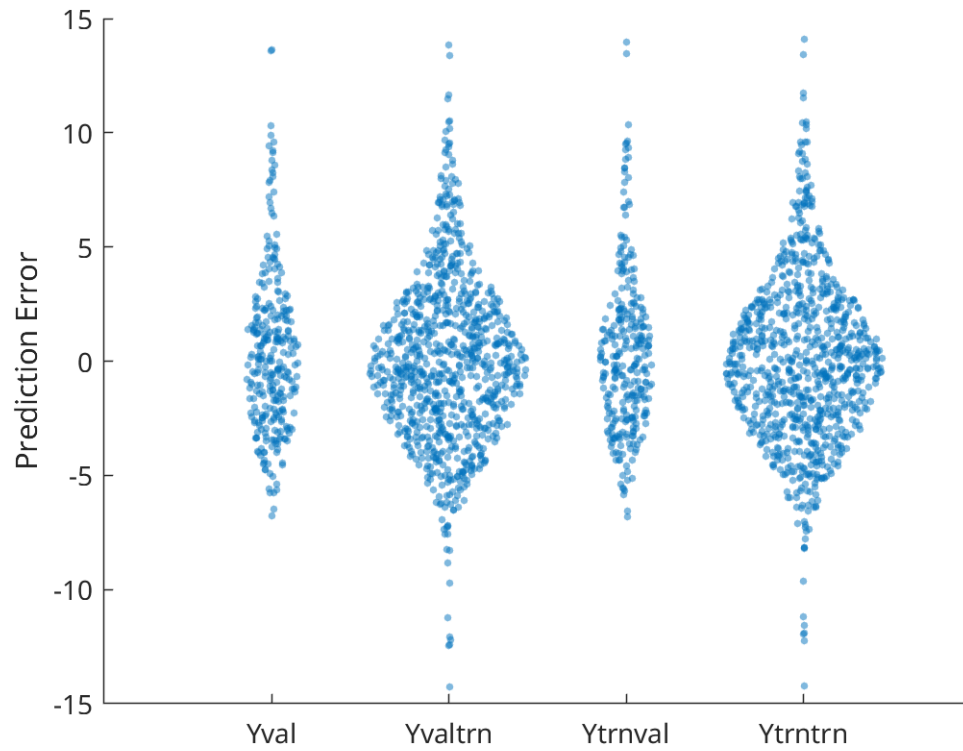


Σχήμα 2.2: Συναρτήσεις Συμμετοχής TSK 2 (Trained)

Το σφάλμα του σφάλμα του μοντέλου κατά την εκπαίδευση φαίνεται ως εξής:



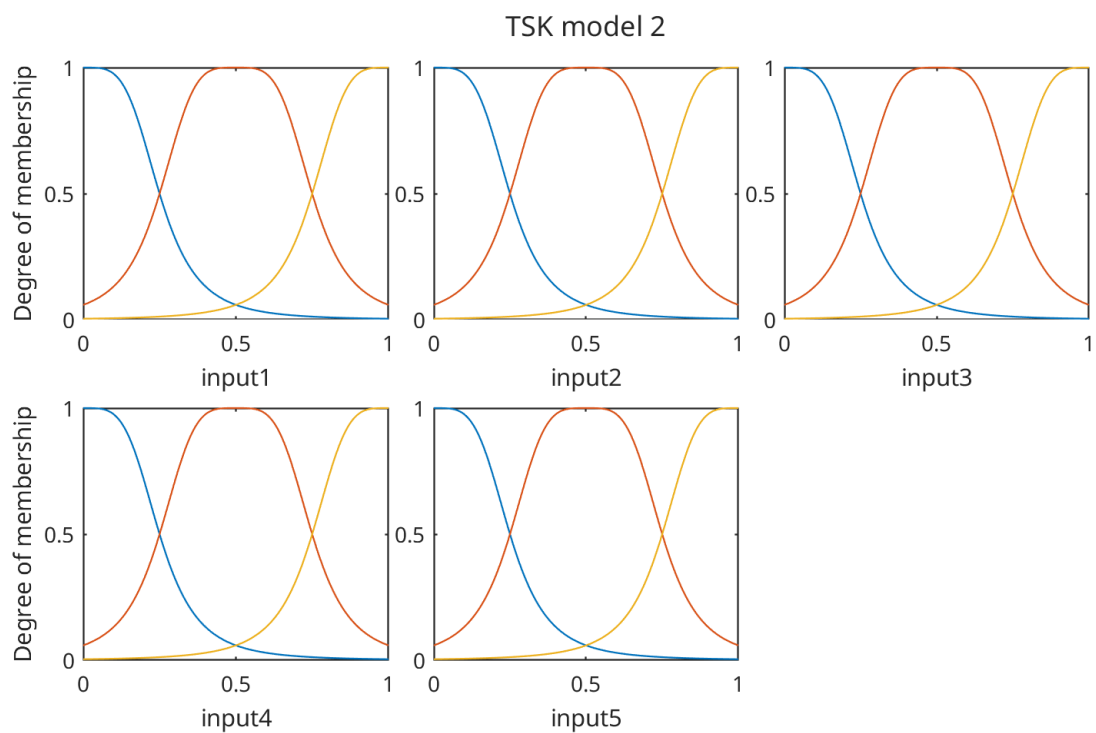
Σχήμα 2.3: Σφάλμα Εκπαίδευσης και Validation Set (TSK 2)



Σχήμα 2.4: Σφάλματα Πρόβλεψης - TSK 1 (swarmplot)

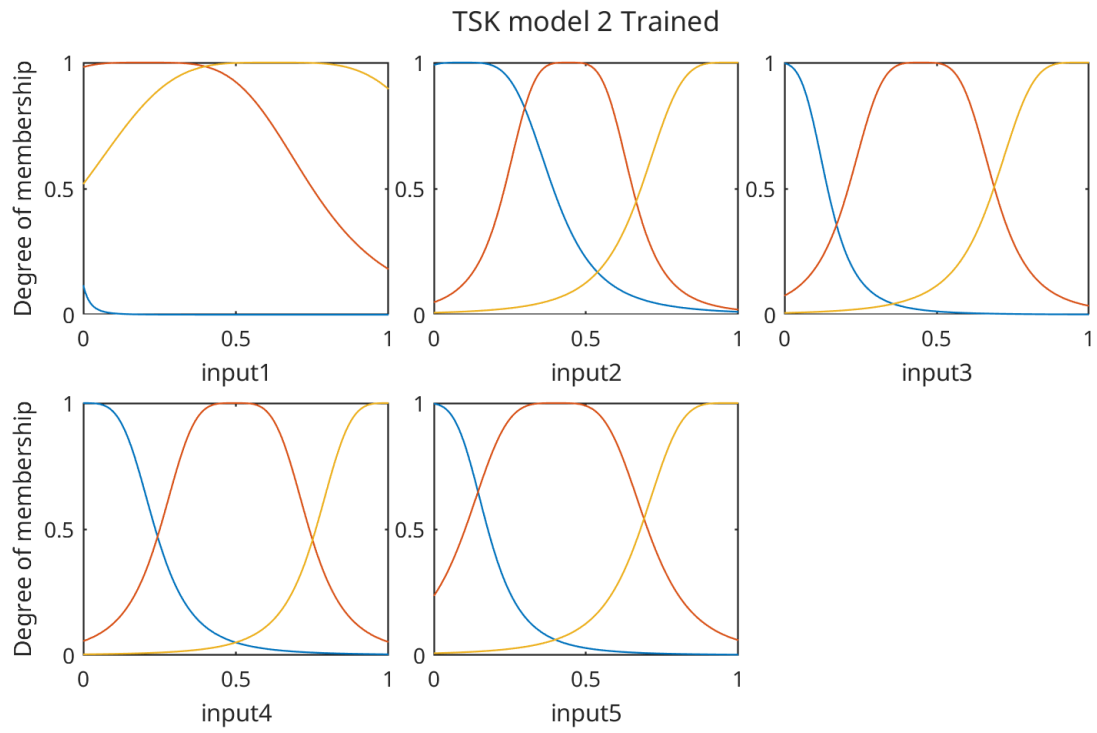
2.2 TSK Μοντέλο 2

Για το δεύτερο μοντέλο τρεις συναρτήσεις συμμετοχής και έξοδο singleton.



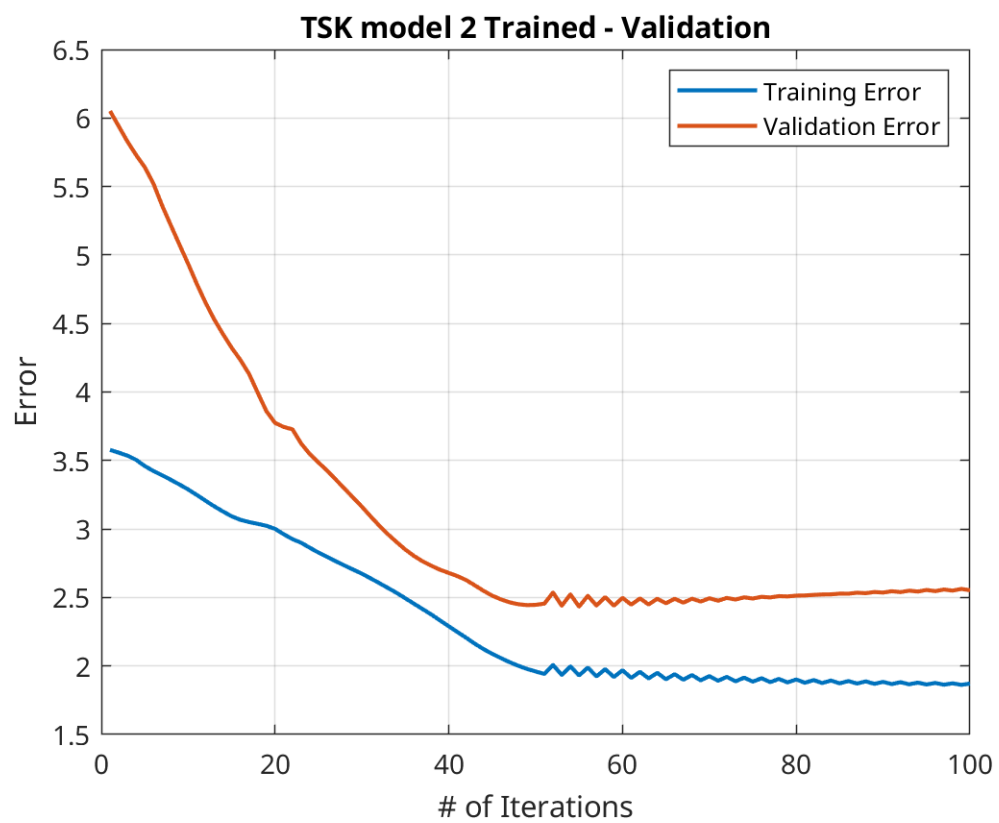
Σχήμα 2.5: Συναρτήσεις Συμμετοχής TSK 2

Μετά την εκπαίδευση οι συναρτήσεις συμμετοχής διαμορφώνονται ως εξής:

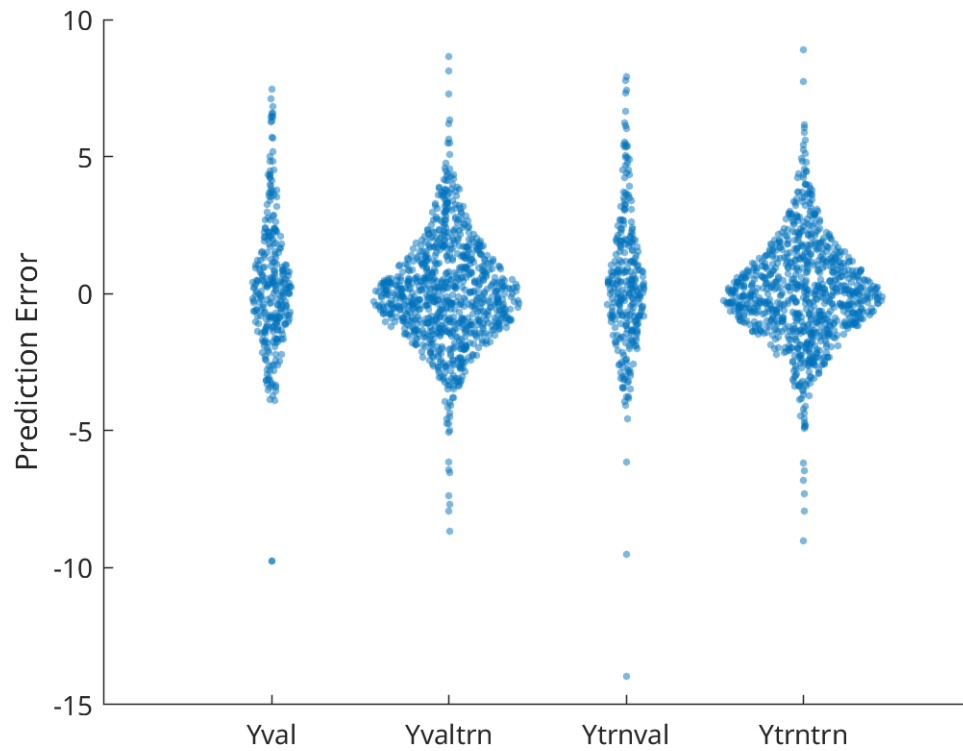


Σχήμα 2.6: Συναρτήσεις Συμμετοχής TSK 2 (Trained)

Το σφάλμα του σφάλμα του μοντέλου κατά την εκπαίδευση φαίνεται ως εξής:



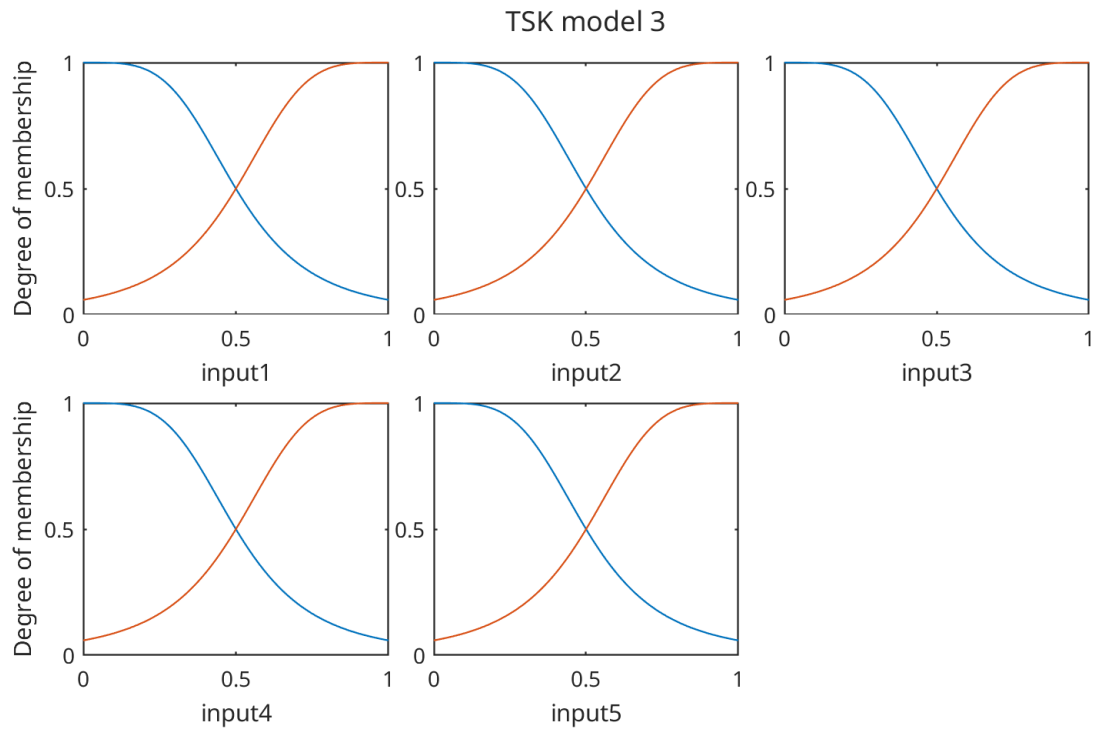
Σχήμα 2.7: Σφάλμα Εκπαίδευσης και Validation Set (TSK 2)



Σχήμα 2.8: Σφάλματα Πρόβλεψης - TSK 2 (swarmplot)

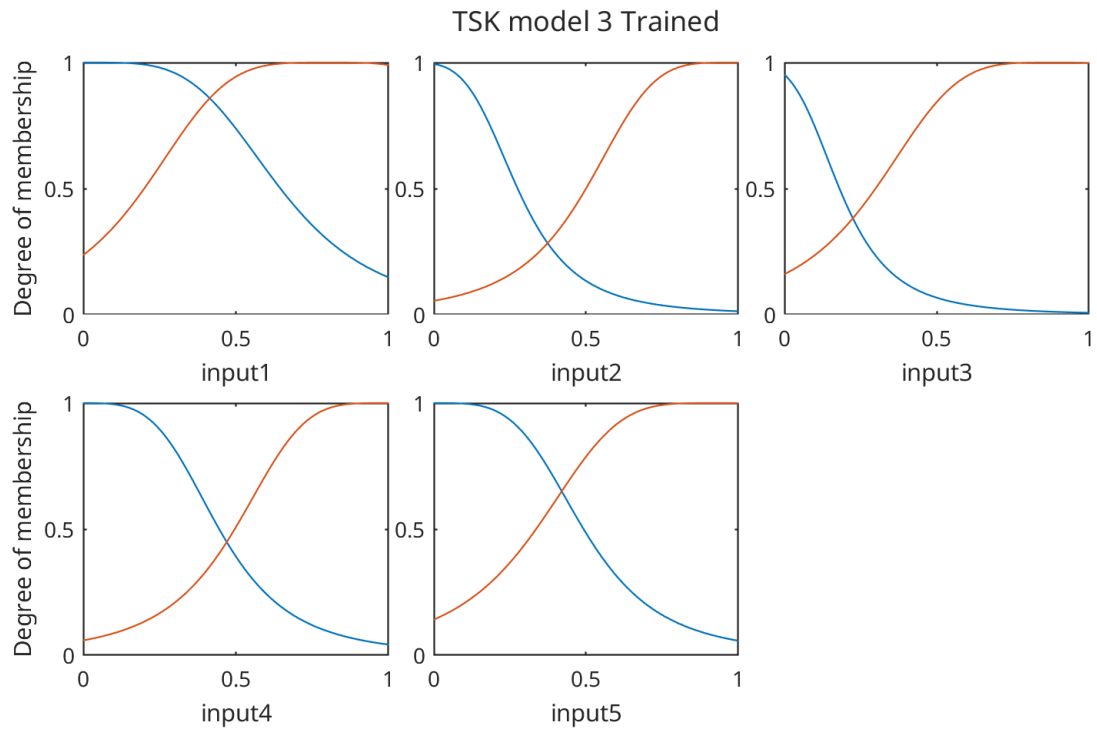
2.3 TSK Μοντέλο 3

Για το τρίτο μοντέλο δύο συναρτήσεις συμμετοχής και έξοδο πολυωνυμική.



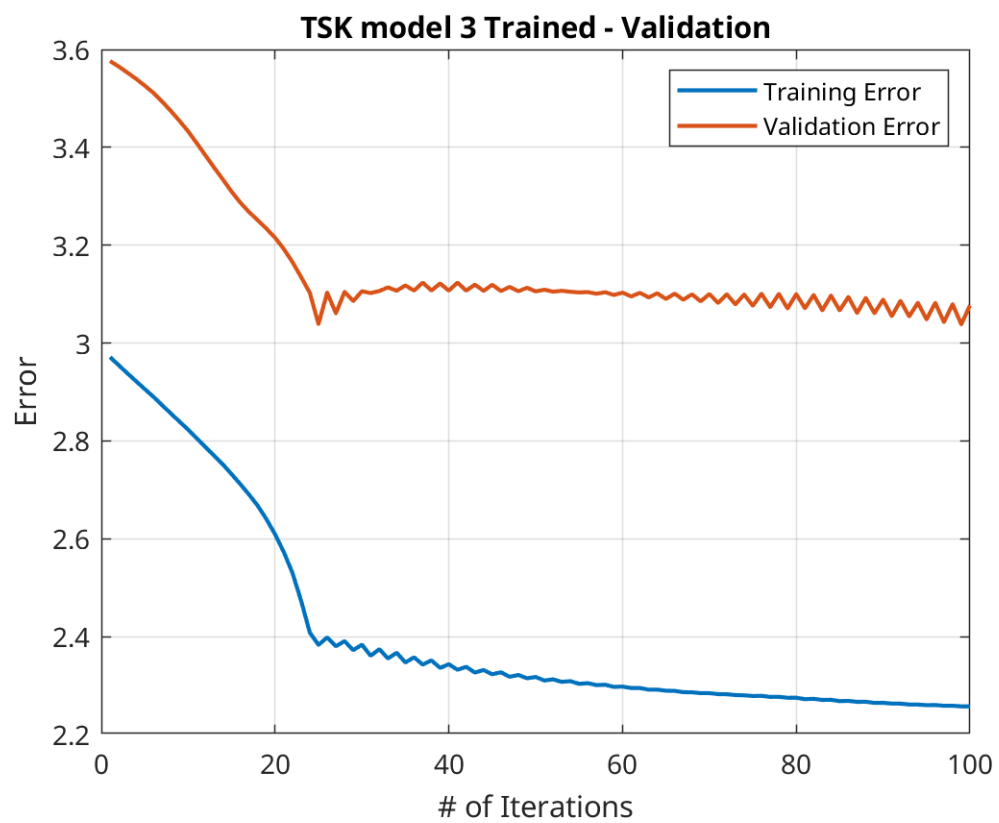
Σχήμα 2.9: Συναρτήσεις Συμμετοχής TSK 3

Μετά την εκπαίδευση οι συναρτήσεις συμμετοχής διαμορφώνονται ως εξής:

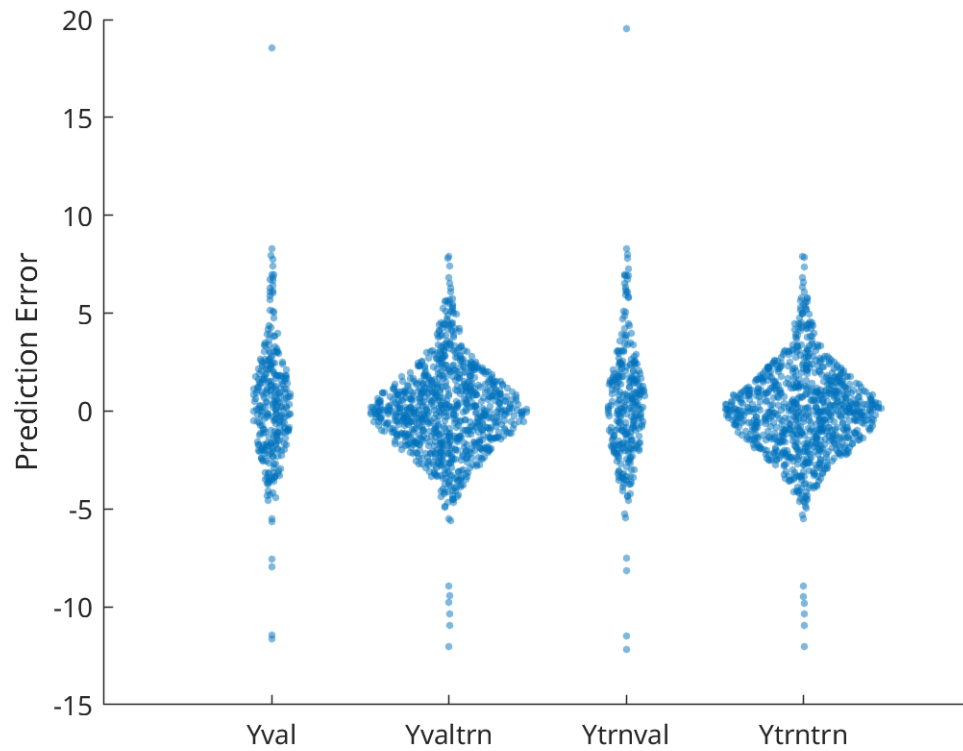


Σχήμα 2.10: Συναρτήσεις Συμμετοχής TSK 3 (Trained)

Το σφάλμα του σφάλμα του μοντέλου κατά την εκπαίδευση φαίνεται ως εξής:



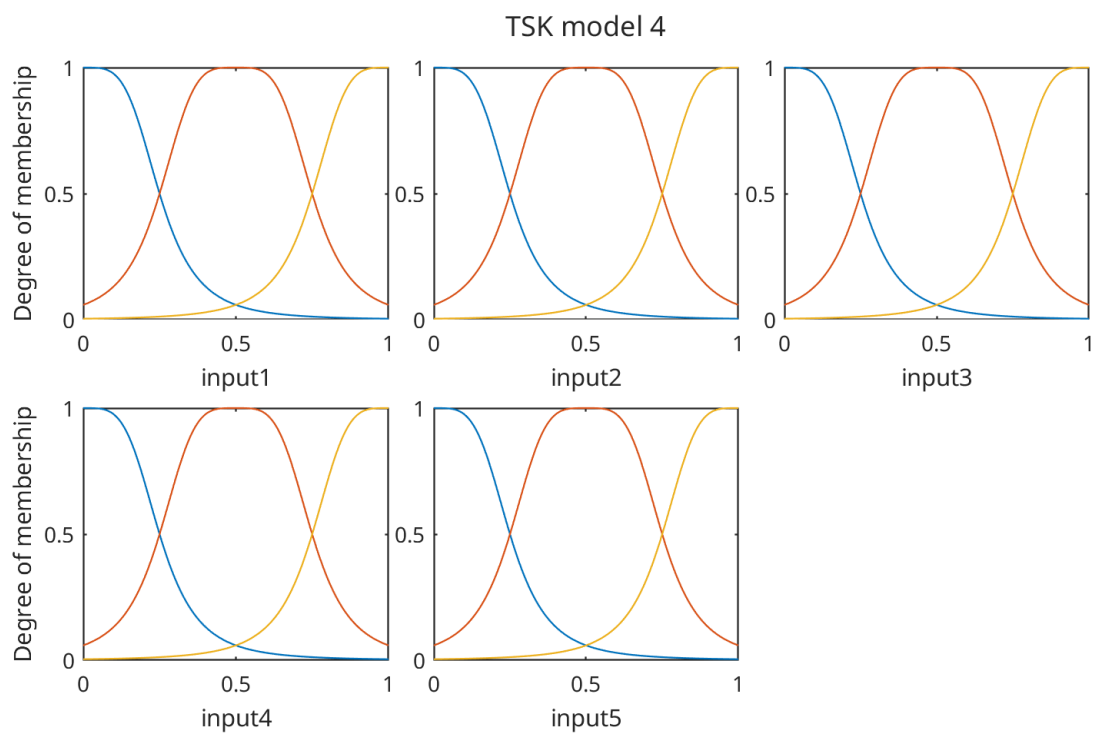
Σχήμα 2.11: Σφάλμα Εκπαίδευσης και Validation Set (TSK 3)



Σχήμα 2.12: Σφάλματα Πρόβλεψης - TSK 3 (swarmplot)

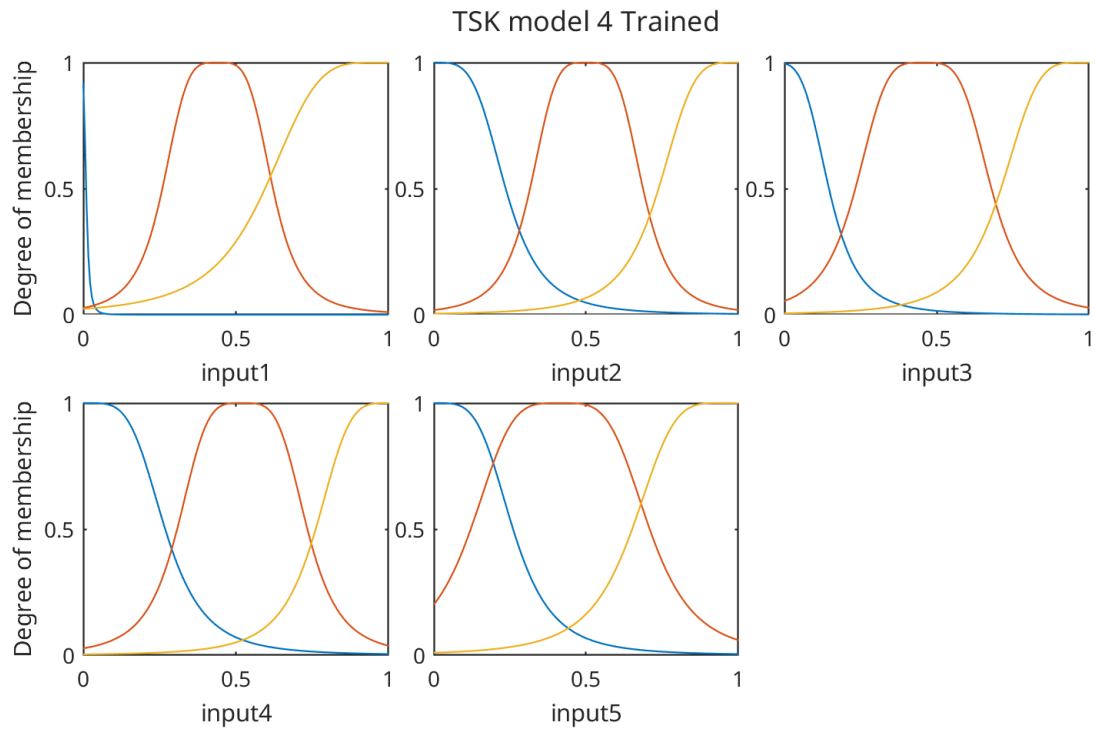
2.4 TSK Μοντέλο 4

Για το τέταρτο μοντέλο τρεις συναρτήσεις συμμετοχής και έξοδο πολυωνυμική.



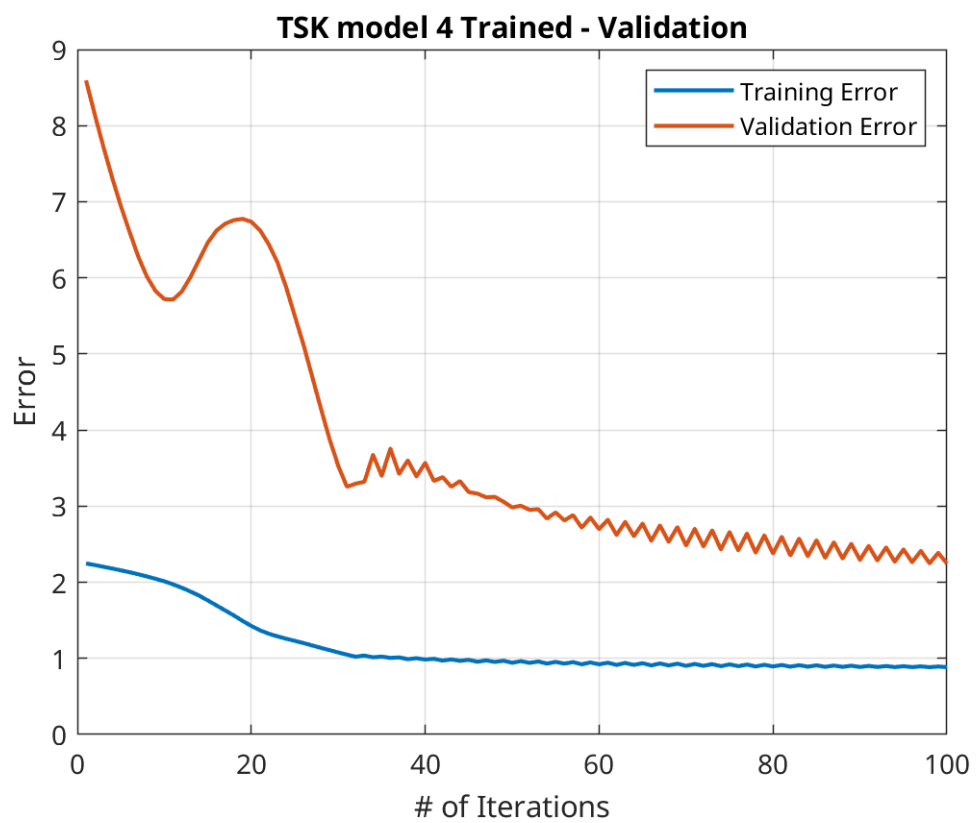
Σχήμα 2.13: Συναρτήσεις Συμμετοχής TSK 4

Μετά την εκπαίδευση οι συναρτήσεις συμμετοχής διαμορφώνονται ως εξής:

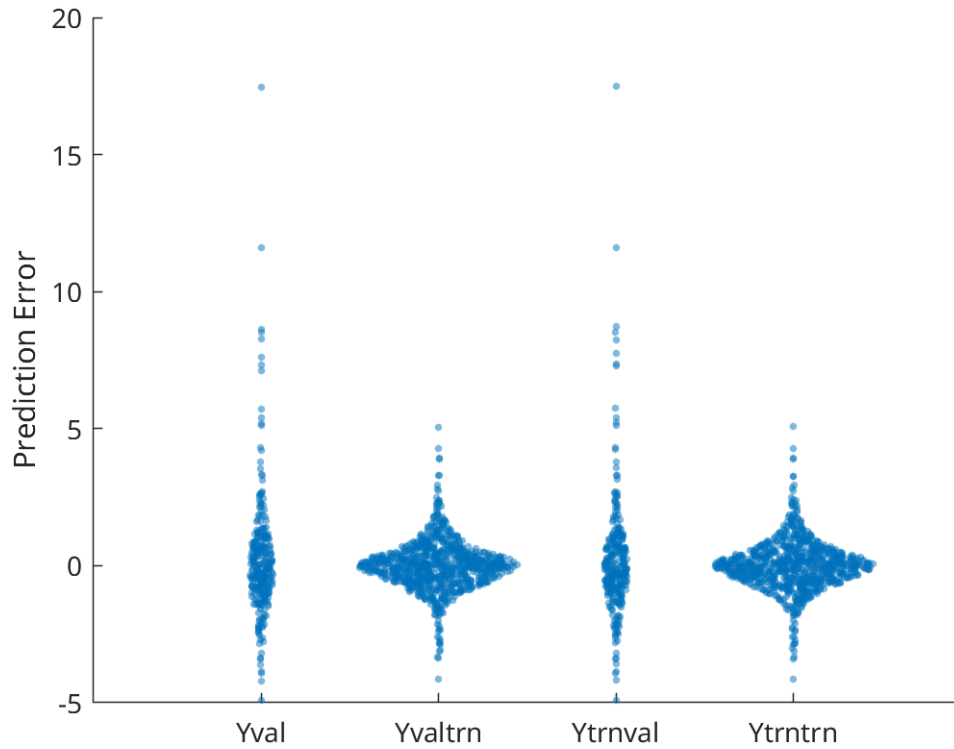


Σχήμα 2.14: Συναρτήσεις Συμμετοχής TSK 4 (Trained)

Το σφάλμα του σφάλμα του μοντέλου κατά την εκπαίδευση φαίνεται ως εξής:



Σχήμα 2.15: Σφάλμα Εκπαίδευσης και Validation Set (TSK 4)



Σχήμα 2.16: Σφάλματα Πρόβλεψης - TSK 3 (swarmplot)

2.5 Σχολιασμός

Όπως φαίνεται από τον παρακάτω πίνακα το 4ο μοντέλο με δύο συναρτήσεις συμμετοχής και έξοδο πολυωνυμική είναι αυτό με το μικρότερο Validation σφάλμα, ενώ το χειρότερο μοντέλο είναι το πρώτο, που έχει έξοδο Σινγκλετον και δύο μόνο συναρτήσεις συμμετοχής στην είσοδο. Άρα συνάγεται ότι μεγαλύτερος αριθμός λεκτικών εισόδων (3) και πολυνομιαλ έξοδος δίνει τη δυνατότητα στο μοντέλο να εκφράσει καλύτερα την κατανομή του dataset.

| RMSE | R2 | NMSE | NDEI |
|--------|---------|---------|---------|
| 3.4731 | 0.73114 | 0.26886 | 0.51851 |
| 2.4336 | 0.868 | 0.132 | 0.36332 |
| 3.0383 | 0.79424 | 0.20576 | 0.4536 |
| 2.2449 | 0.88767 | 0.11233 | 0.33515 |

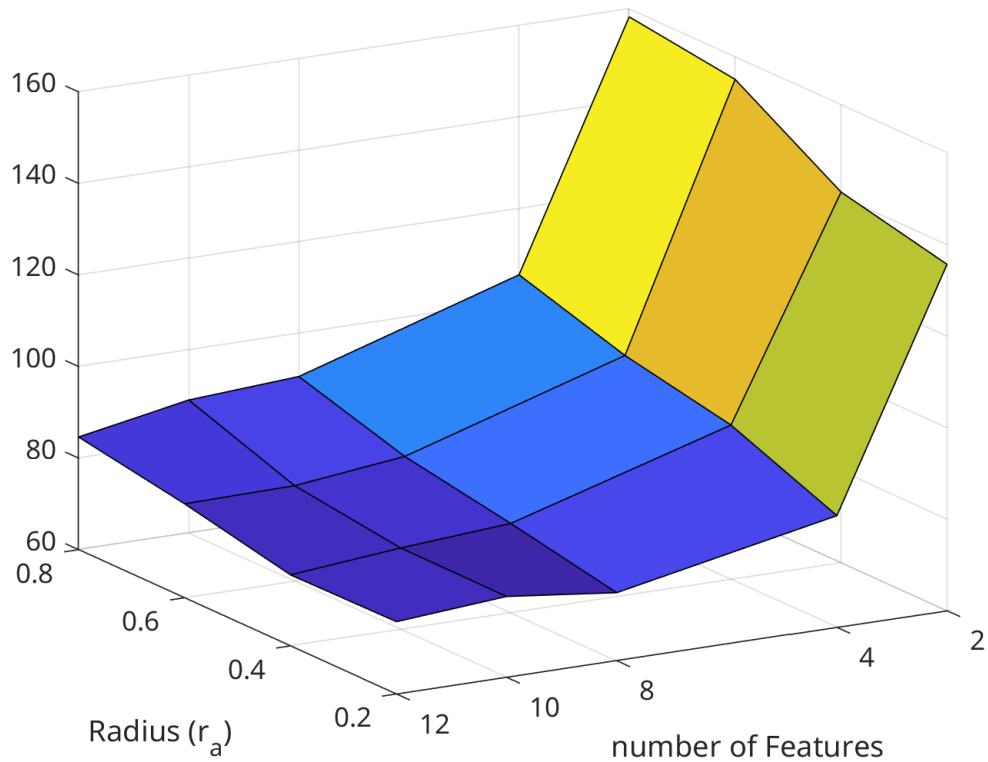
Σχήμα 2.17: Πίνακας μετρικών των τεσσάρων μοντέλων

3 Μοντέλο Υψηλών Διαστάσεων

Το δεύτερο μέρος της εργασίας ζητάει να εκπαιδευτεί ένα μοντέλο με 81 διαστάσεις, και για αυτό να χρησιμοποιηθεί Subtractive Clustering και μείωση διαστάσεων. Για τη μείωση διαστάσεων χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος Relief, διότι ενώ είναι πιο χρονοβόρος, αποδίδει καλύτερα από τον mRMR. Προκειμένου να επιλεγούν οι υπερπαράμετροι της μεθόδου αυτής (αριθμός features) και ακτίνα των cluster εφαρμόζεται Grid Search 5-φολδ με αξιολόγηση τον μέσο όρο του σφάλματος του Validation Error ώστε να έχω μια αντικειμενική εικόνα για το πόσο καλή επιλογή είναι οι εκάστοτε παράμετροι.

3.1 K-fold

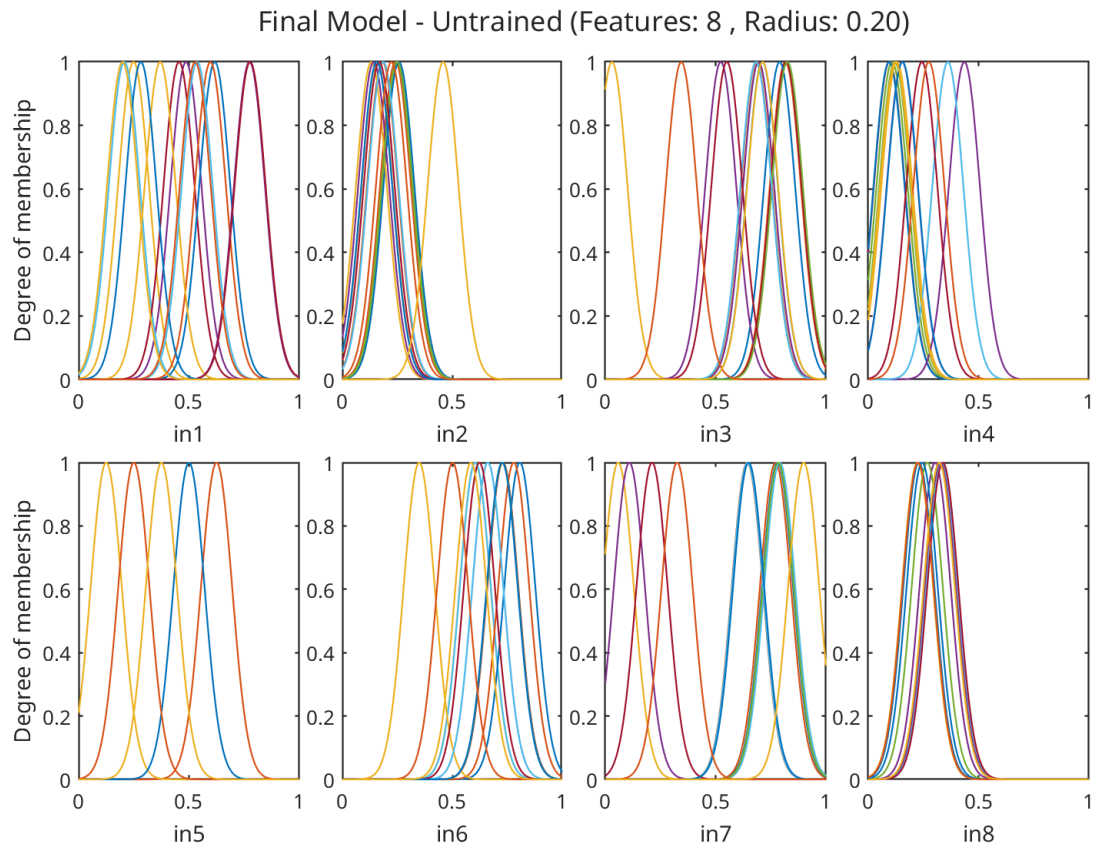
Η αναζήτηση Grid Search (5-φολδ) έχει το εξής σφάλμα ως προς τον αριθμό χαρακτηριστικών και την ακτίνα των cluster. Από το γράφημα φαίνεται ότι το σφάλμα φθίνει καθώς φθίνει το r_a ή αυξάνει ο αριθμός χαρακτηριστικών. Τελικά το προς εκπαίδευση μοντέλο είναι αυτό με $r_a = 0.2$ και num_features=8.



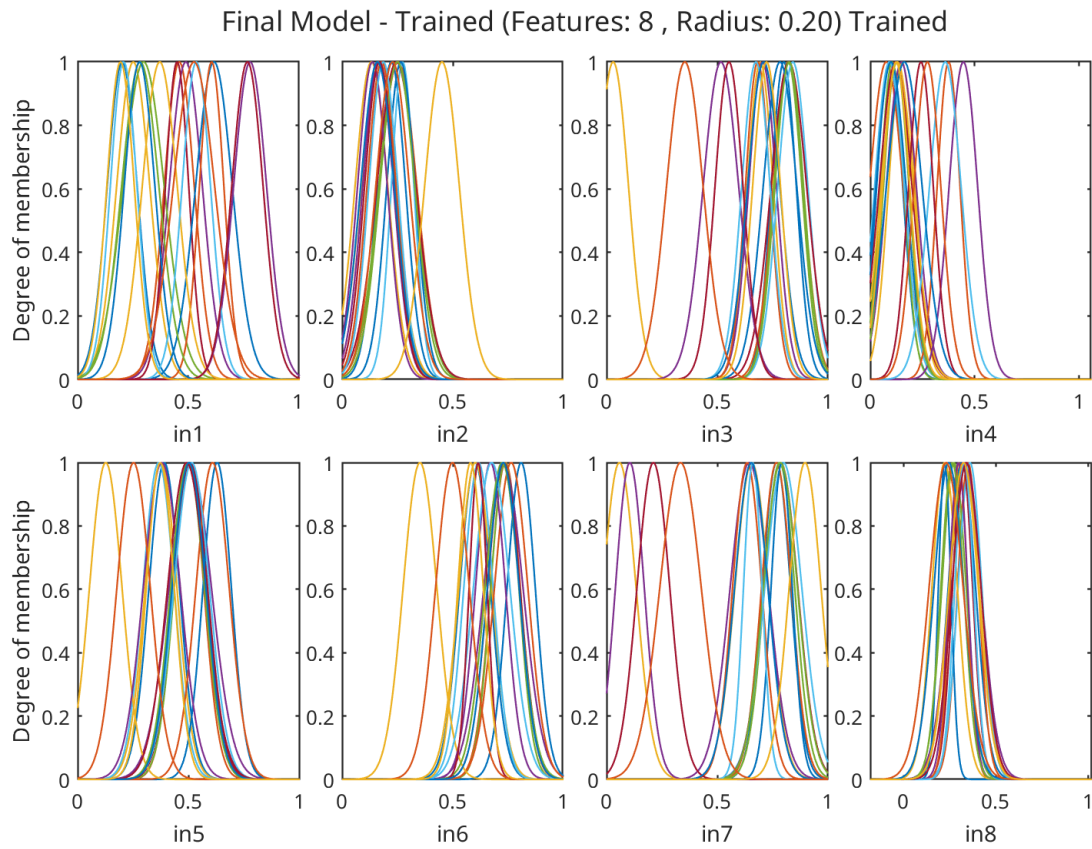
Σχήμα 3.1: Μέσο Validation Error

3.2 Αποτελέσματα

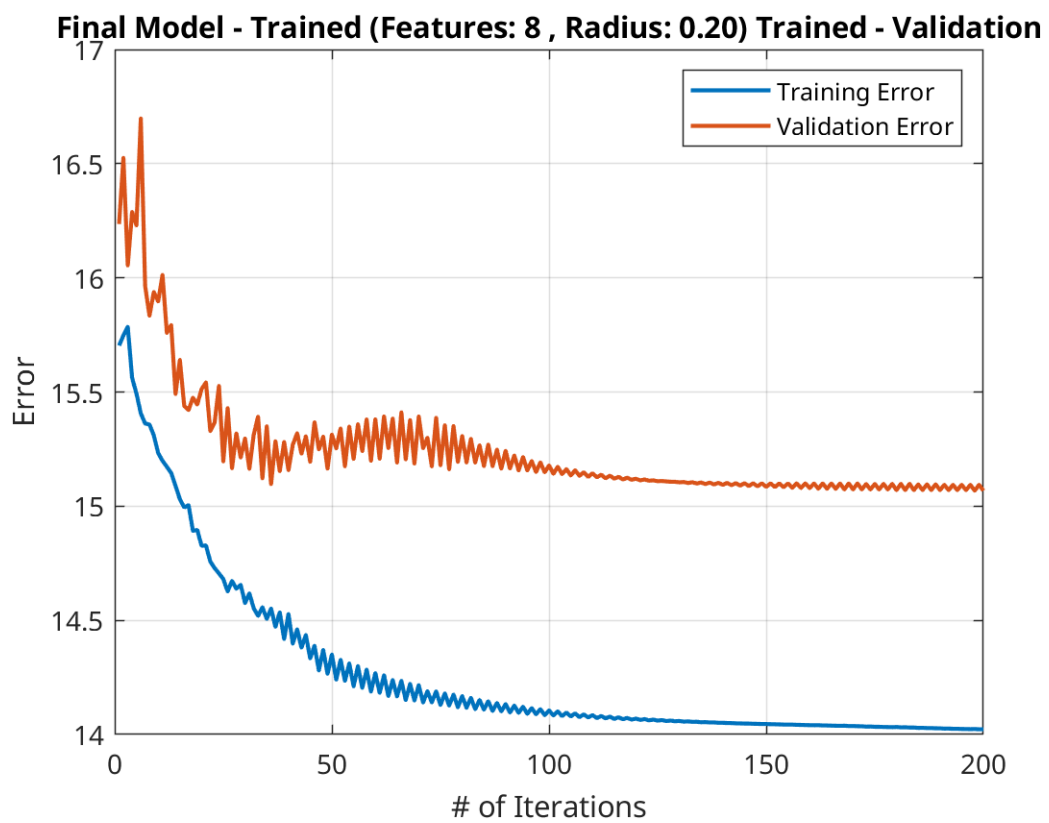
Ακολουθούν οι συναρτήσεις συμμετοχής πριν και μετά την εκπαίδευση. Όπως φαίνεται, το Validation Error μόλις που ξεπερνάει το 15. Αν και πήρε αρκετή ώρα το Grid Search (σχεδόν μιάμιση ώρα) τελικά κρίνεται ότι συμφέρει γιατί ο αριθμός των κανόνων πέφτει δραματικά. Σε περίπτωση που εφαρμόζοταν Γρίδ Παρτιτιονινγκ θα προέκυπταν 2^8 ή 3^8 κανόνες αναλόγως με τον αριθμό των ασαφών συνόλων.



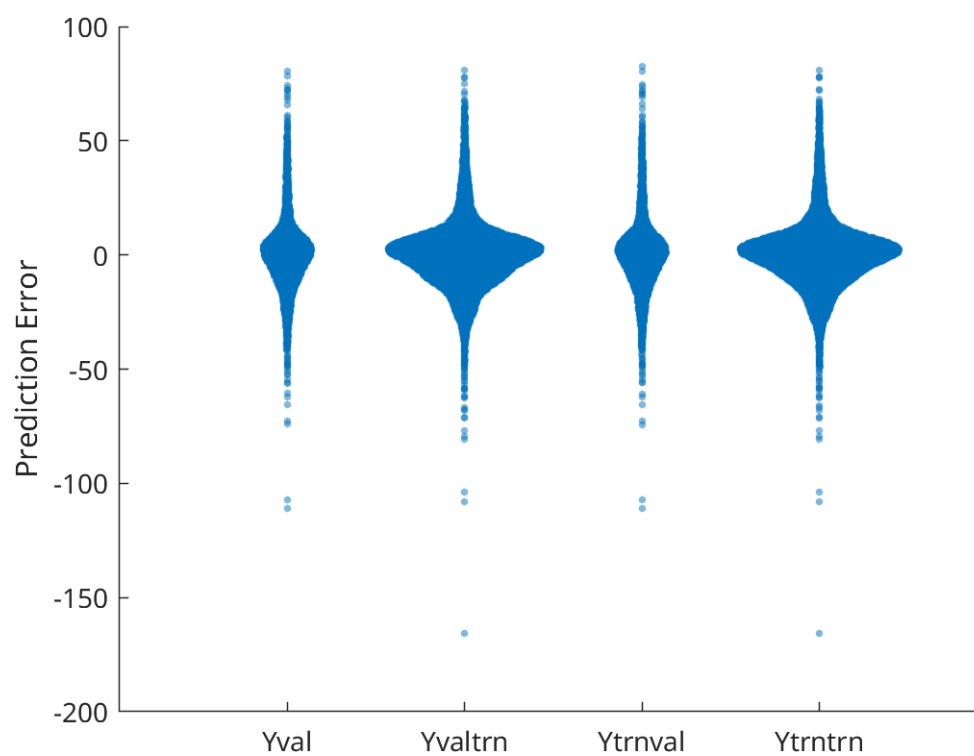
Σχήμα 3.2: Συναρτήσεις Συμμετοχής (αρχικά)



Σχήμα 3.3: Συναρτήσεις Συμμετοχής (τελικά)



Σχήμα 3.4: Σφάλματα Πρόβλεψης - (swarmplot)



Σχήμα 3.5: Σφάλματα Πρόβλεψης - (swarmplot)

| <u>RMSE</u> | <u>R2</u> | <u>NMSE</u> | <u>NDEI</u> |
|-------------|-----------|-------------|-------------|
| 15.068 | 0.81123 | 0.18877 | 0.43448 |

Σχήμα 3.6: Πίνακας μετρικών των τεσσάρων μοντέλων

Βιβλιογραφία

- [1] Ασαφή Συστήματα, Ι. Θεοχάρης <https://elearning.auth.gr/mod/folder/view.php?id=446790>