

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



Εργασία στο Μάθημα Ασαφή Συστήματα

**Classification**

Ομάδα 7

**Εργασία 4**

Όνομα: Στέφανος Γανωτάκης

AEM: 7664

Email: sganotak@auth.gr

ΙΟΥΝΙΟΣ 2019

## Περιεχόμενα

1	Εισαγωγή .....	3
1.1	Αντικείμενο Εργασίας .....	3
1.2	Scripts Εργασίας .....	3
2	Avila Dataset .....	4
2.1	7 Κανόνες .....	4
2.2	6 Κανόνες .....	6
2.3	5 Κανόνες .....	8
2.4	4 Κανόνες .....	10
2.5	3 Κανόνες .....	12
2.6	Σχολιασμός Αποτελεσμάτων .....	14
3	Isolet Dataset .....	14
3.1	Grid Search & 5-Fold Cross Validation .....	14
3.2	Τελικό TSK μοντέλο .....	15
3.2.1	Σύγκριση με μοντέλο 3 χαρακτηριστικών .....	16
3.2.2	Σχολιασμός Αποτελεσμάτων .....	17

# 1 Εισαγωγή

## 1.1 Αντικείμενο Εργασίας

Στην εργασία επιλύθηκε ένα πρόβλημα ομαδοποίησης (classification) με την εκπαίδευση ασαφών νευρωνικών δικτύων. Στο πρώτο κομμάτι της εργασίας εκπαιδεύτηκαν και αναλύθηκαν 5 διαφορετικά TSK μοντέλα για το avila Dataset του UCI Repository. Στο δεύτερο κομμάτι της εργασίας, εκπαιδεύτηκε ένα αρκετά πιο σύνθετο dataset, στο οποίο βρήκαμε τον βέλτιστο συνδυασμό χαρακτηριστικών και κανόνων, με τη χρήση του αλγορίθμου relief και εφαρμόζοντας grid partitioning με 5 fold cross validation στο dataset.

## 1.2 Scripts Εργασίας

Για την εκπόνηση της εργασίας χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω scripts σε Matlab

tskmodel.m: Script για το 1<sup>ο</sup> μέρος της εργασίας

grid\_search\_classification.m: Αλγόριθμος αναζήτησης πλέγματος για το 2<sup>ο</sup> μέρος της εργασίας

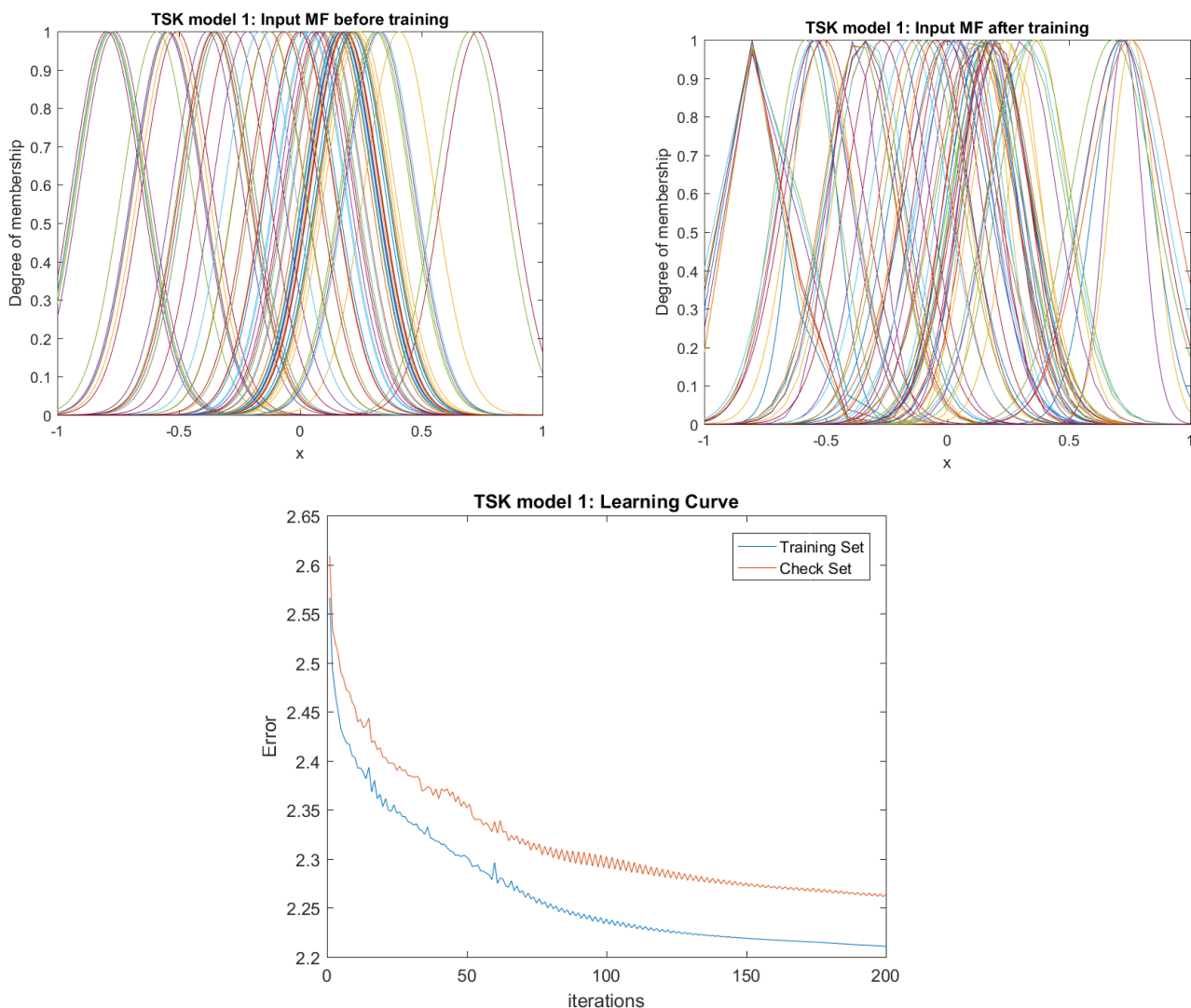
FinalModel\_classification.m: Script για την εκπαίδευση του τελικού TSK μοντέλου για το 2<sup>ο</sup> μέρος της εργασίας

## 2 Avila Dataset

Στο πρώτο κομμάτι της εργασίας μας ζητήθηκε να ταξινομήσουμε τα δεδομένα του avila dataset, το οποίο αποτελείται από 20867 δείγματα, 10 χαρακτηριστικών και 12 κλάσεων. Η διαμέριση του χώρου εισόδου έγινε με τη μέθοδο Subtractive Clustering. Επειδή ήταν αδύνατο να προσεγγίσουμε το σετ κανόνων που ζητούσε η εκφώνηση ( $NR=\{4,8,12,16,20\}$ ), καθώς για αριθμό κανόνων μεγαλύτερο από 7, δεν γινόταν να εκπαιδευτεί μοντέλο καταλήξαμε σε  $NR=\{7,6,5,4,3\}$ . Τα μοντέλα πριν και μετά την εκπαίδευση, οι καμπύλες εκμάθησης αυτών, οι πίνακες σφάλματος ταξινόμησης καθώς και οι τιμές των δεικτών απόδοσης Overall Accuracy, Users Accuracy, Producers Accuracy, Κ παρουσιάζονται αναλυτικά παρακάτω για κάθε αριθμό κανόνων.

### 2.1 7 Κανόνες

Η εκπαίδευση του παρακάτω μοντέλου έγινε για 200 εποχές.



	A.C1	A.C2	A.C3	A.C4	A.C5	A.C6	A.C7	A.C8	A.C9	A.C10	A.C11	A.C12
P.C1	280	397	490	367	137	30	9	3	0	1	0	0
P.C2	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
P.C3	2	1	2	12	15	5	3	1	0	0	0	0
P.C4	3	14	32	36	29	17	10	0	0	0	0	0
P.C5	4	14	25	73	136	113	51	14	3	3	2	0
P.C6	10	64	189	294	177	40	7	2	2	0	0	0
P.C7	0	1	10	45	76	33	8	0	3	2	0	0
P.C8	0	3	20	29	62	74	19	1	0	0	0	0
P.C9	0	1	2	4	6	5	13	57	179	57	8	1
P.C10	1	0	3	2	0	1	5	5	1	0	0	0
P.C11	0	0	3	4	10	11	17	13	22	39	36	53
P.C12	0	0	0	1	4	5	4	8	9	19	22	35

Table 1: Error Matrix

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
<u>P.Accuracy</u>	0.9333	0	0.0026	0.0415	0.2080	0.1198	0.0548	0.0096	0.8174	0	0.5294	0.3933
<u>U.Accuracy</u>	0.163	0	0.049	0.255	0.311	0.051	0.045	0.005	0.538	0	0.173	0.327

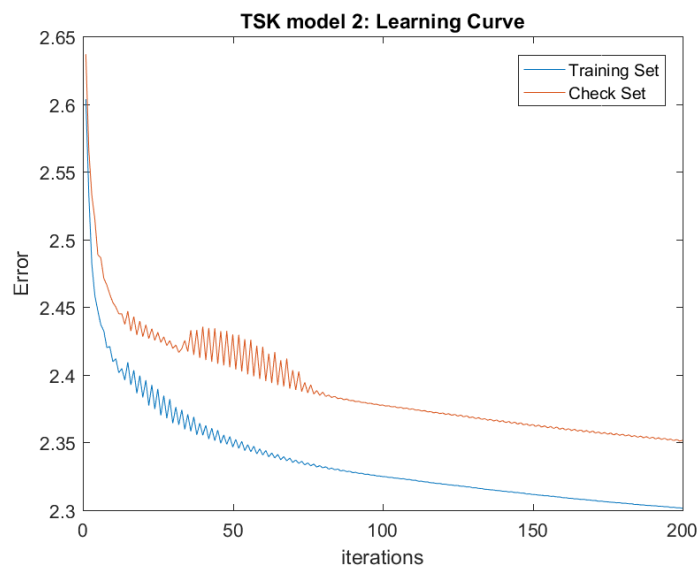
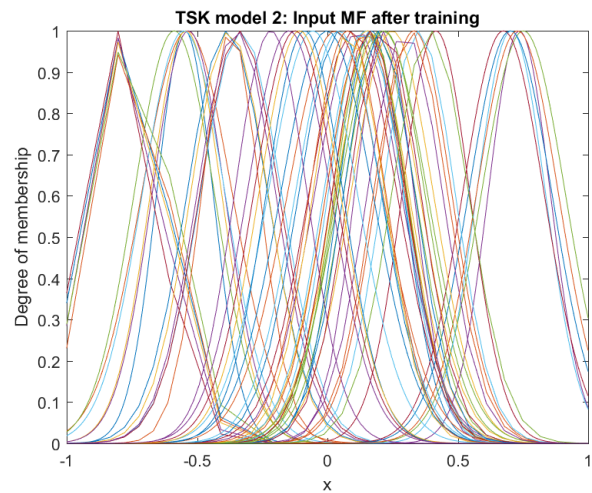
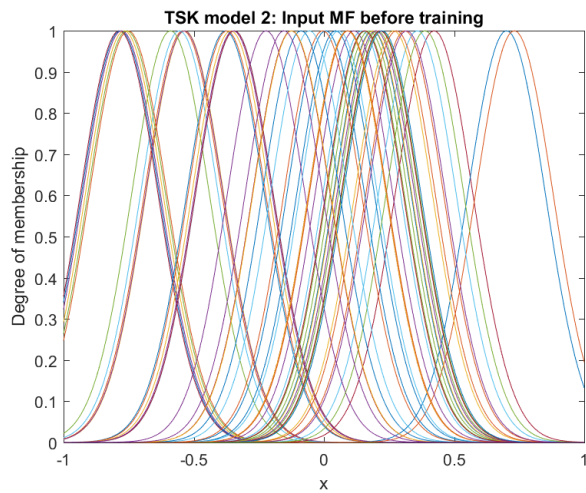
Table 2: Producer's & User's Accuracy

Overall Accuracy: 18,04%

K: 0,1108

## 2.2 6 Κανόνες

Η εκπαίδευση του παρακάτω μοντέλου έγινε για 200 εποχές.



	A.C1	A.C2	A.C3	A.C4	A.C5	A.C6	A.C7	A.C8	A.C9	A.C10	A.C11	A.C12
P.C1	224	357	538	418	140	30	6	0	0	0	1	0
P.C2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P.C3	0	4	3	14	10	6	4	0	0	0	0	0
P.C4	7	11	33	41	26	17	5	1	0	0	0	0
P.C5	1	11	18	77	139	129	46	12	3	2	0	0
P.C6	9	71	200	307	164	22	8	4	0	0	0	0
P.C7	0	0	8	51	76	34	7	1	0	1	0	0
P.C8	0	1	16	34	64	68	25	0	0	0	0	0
P.C9	1	0	4	3	5	20	13	46	154	72	12	3
P.C10	0	0	2	3	4	6	3	0	0	0	0	0
P.C11	0	1	2	3	9	15	19	17	35	41	26	40
P.C12	0	0	0	0	7	6	6	10	11	27	18	22

Table 3:Error Matrix

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
<u>P.Accuracy</u>	0.9180	0	0.0036	0.0431	0.2158	0.0623	0.0493	0	0.7586	0	0.4561	0.3385
<u>U.Accuracy</u>	0.1307	0	0.0732	0.2908	0.3174	0.0280	0.0393	0	0.4625	0	0.1250	0.2056

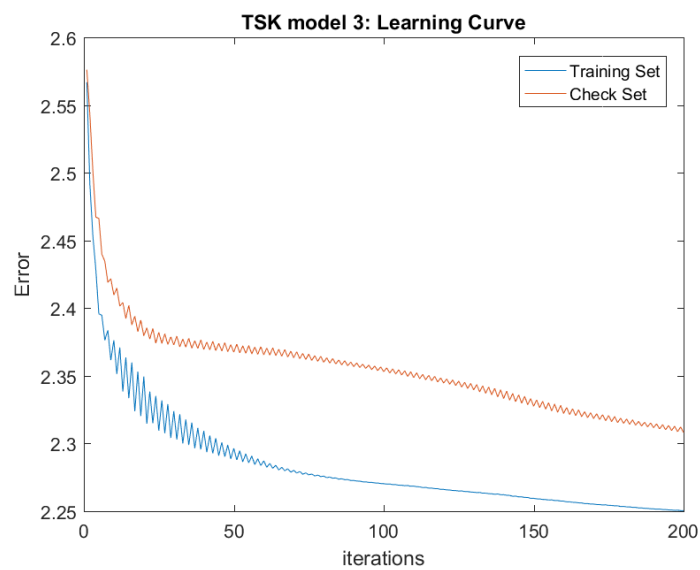
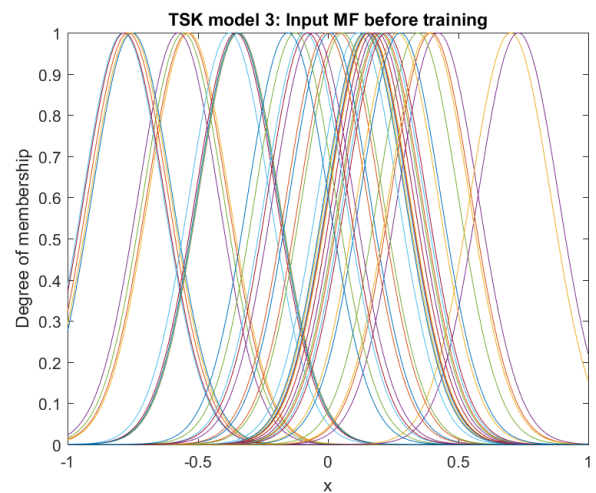
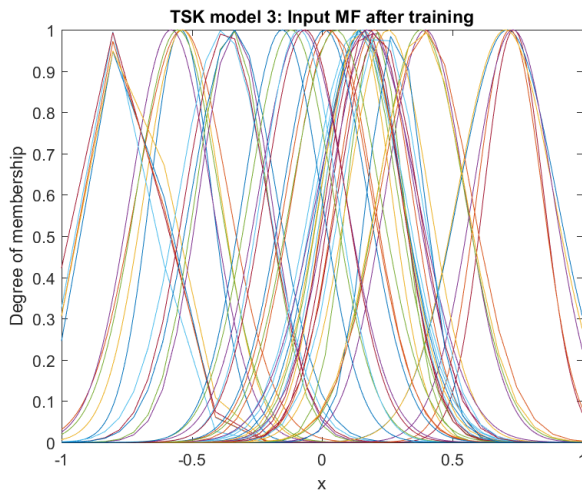
Table 4:Producer's & User's Accuracy

Overall Accuracy: 15,3%

K: 0,0857

## 2.3 5 Κανόνες

Η εκπαίδευση του παρακάτω μοντέλου έγινε για 200 εποχές.





	A.C1	A.C2	A.C3	A.C4	A.C5	A.C6	A.C7	A.C8	A.C9	A.C10	A.C11	A.C12
P.C1	246	387	508	423	124	21	4	1	0	0	0	0
P.C2	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
P.C3	0	3	6	13	7	8	4	0	0	0	0	0
P.C4	2	17	45	36	23	15	3	0	0	0	0	0
P.C5	6	11	32	72	138	98	57	14	4	2	4	0
P.C6	8	68	212	308	156	29	3	1	0	0	0	0
P.C7	0	0	7	64	62	37	6	0	1	1	0	0
P.C8	2	2	15	34	55	66	33	1	0	0	0	0
P.C9	1	0	4	1	9	8	15	50	152	83	10	0
P.C10	1	3	1	1	3	2	2	2	3	0	0	0
P.C11	0	0	0	7	7	10	15	17	24	41	34	53
P.C12	0	0	0	4	4	2	4	7	11	25	32	18

Table 5:Error Matrix

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
<u>P.Accuracy</u>	0.9248	0	0.0072	0.0374	0.2339	0.0980	0.0411	0.0108	0.7795	0	0.4250	0.2535
<u>U.Accuracy</u>	0.1435	0	0.1463	0.2553	0.3151	0.0369	0.0337	0.0048	0.4565	0	0.1635	0.1682

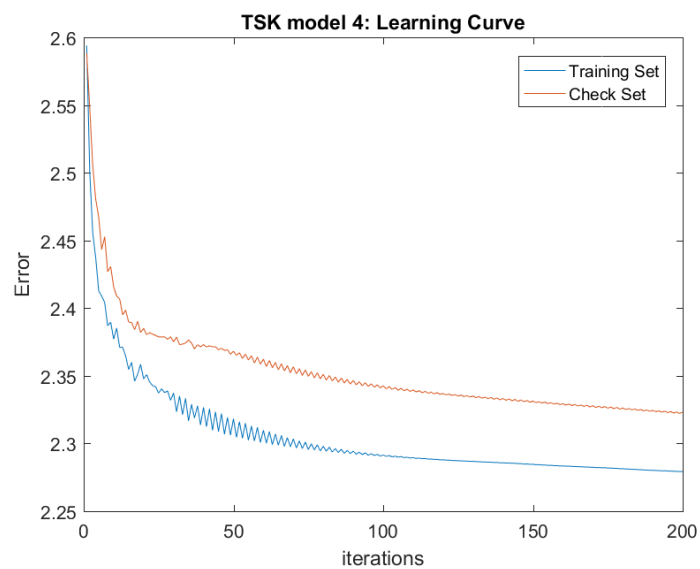
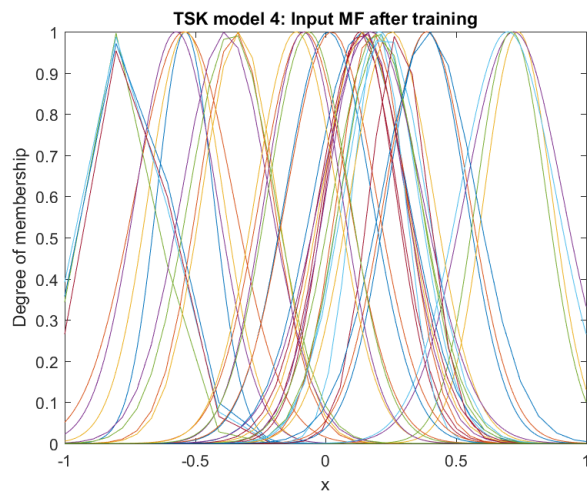
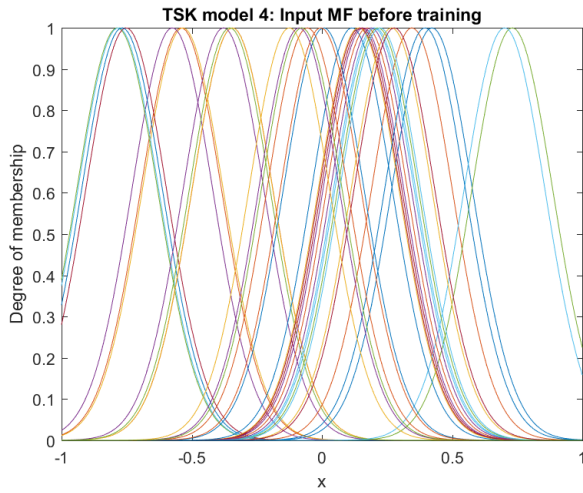
Table 6:Producer's & User's Accuracy

Overall Accuracy: 15,96%

K: 0,0943

## 2.4 4 Κανόνες

Η εκπαίδευση του παρακάτω μοντέλου έγινε για 200 εποχές.



	A.C1	A.C2	A.C3	A.C4	A.C5	A.C6	A.C7	A.C8	A.C9	A.C10	A.C11	A.C12
P.C1	240	361	505	445	135	22	5	0	1	0	0	0
P.C2	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
P.C3	0	2	8	15	10	2	4	0	0	0	0	0
P.C4	1	16	37	44	22	19	2	0	0	0	0	0
P.C5	5	11	36	77	138	97	51	11	5	3	4	0
P.C6	16	58	173	341	166	31	0	0	0	0	0	0
P.C7	0	0	13	64	65	27	6	1	0	1	1	0
P.C8	1	5	17	42	59	68	14	2	0	0	0	0
P.C9	0	2	2	3	6	12	22	59	139	71	16	1
P.C10	1	3	1	3	1	1	2	4	2	0	0	0
P.C11	0	0	2	3	8	12	12	16	24	47	39	45
P.C12	0	0	0	3	5	2	3	9	9	25	32	19

Table 7:Error Matrix

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
<u>P.Accuracy</u>	0.9091	0	0.0101	0.0422	0.2244	0.1058	0.0496	0.0196	0.7722	0	0.4239	0.2923
<u>U.Accuracy</u>	0.1400	0	0.1951	0.3121	0.3151	0.0395	0.0337	0.0096	0.4174	0	0.1875	0.1776

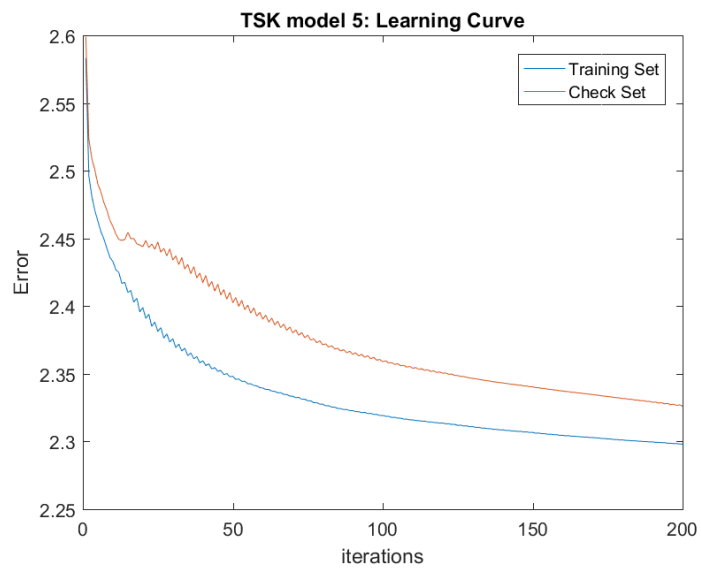
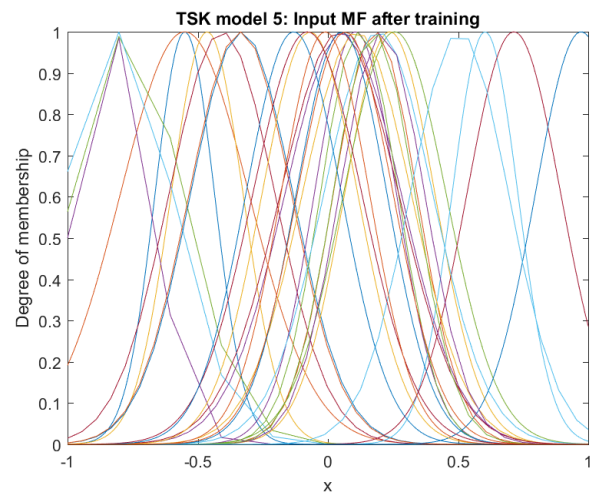
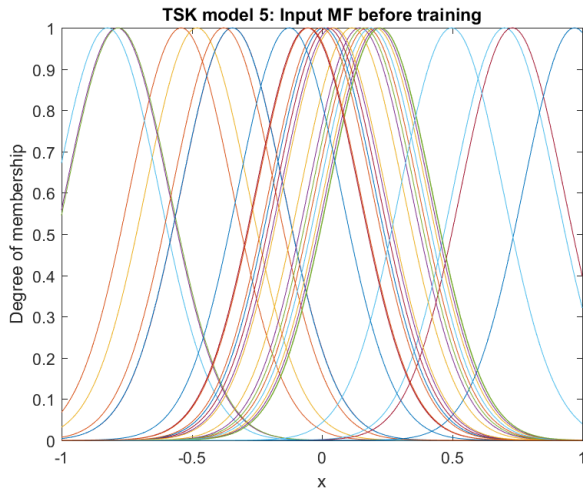
Table 8:Producer's & User's Accuracy

Overall Accuracy: 15,96%

K: 0,0938

## 2.5 3 Κανόνες

Η εκπαίδευση του παρακάτω μοντέλου έγινε για 200 εποχές.



	A.C1	A.C2	A.C3	A.C4	A.C5	A.C6	A.C7	A.C8	A.C9	A.C10	A.C11	A.C12
P.C1	232	383	508	437	117	32	4	0	1	0	0	0
P.C2	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
P.C3	0	2	6	16	11	3	3	0	0	0	0	0
P.C4	1	11	34	49	27	16	1	1	1	0	0	0
P.C5	2	13	16	92	139	108	42	16	5	2	3	0
P.C6	13	72	214	301	166	17	1	1	0	0	0	0
P.C7	0	1	12	57	72	28	4	2	0	0	1	1
P.C8	1	3	18	41	66	48	27	2	2	0	0	0
P.C9	1	0	2	2	7	12	10	39	166	86	7	1
P.C10	0	2	4	4	2	0	0	6	0	0	0	0
P.C11	0	0	1	9	5	11	13	12	16	39	72	30
P.C12	0	0	1	5	3	5	3	5	10	17	46	12

Table 9:Error Matrix

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
<u>P.Accuracy</u>	0.9280	0	0.0074	0.0484	0.2253	0.0607	0.0370	0.0238	0.8259	0	0.5581	0.2727
<u>U.Accuracy</u>	0.1354	0	0.1463	0.3475	0.3174	0.0217	0.0225	0.0096	0.4985	0	0.3462	0.1121

Table 10:Producer's & User's Accuracy

Overall Accuracy: 16,75%

K: 0,1040

## 2.6 Σχολιασμός Αποτελεσμάτων

Από τα 5 μοντέλα που εκπαιδεύτηκαν, αυτό με τους 7 κανόνες παρουσιάζει την μεγαλύτερη ακρίβεια (18,04%). Την δεύτερη καλύτερη ακρίβεια παρουσίασε το μοντέλο με τους 3 κανόνες. Τα μοντέλα με 4 και 5 κανόνες είχαν σχεδόν την ίδια ακρίβεια ενώ λιγότερο ακριβές ήταν το μοντέλο με τους 6 κανόνες. Σε όλα τα μοντέλα που εκπαιδεύτηκαν οι τιμές της ακρίβειας ήταν σχετικά μικρές, ωστόσο κάτι τέτοιο ήταν αναμενόμενο δεδομένου του θορύβου που προϋπήρχε στα δεδομένα. Επίσης από τον confusion matrix είναι φανερό ότι και στις 5 περιπτώσεις, κάποιες κλάσεις (π.χ C10,C3) είχαν ελάχιστα συνολικά predictions σε σχέση με κάποιες άλλες. Άρα μπορούμε να πούμε ότι δεν υπάρχει ομοιόμορφη κατανομή των ασαφών συνόλων. Πιθανώς θα μπορούσαμε να βελτιώσουμε περαιτέρω την ακρίβεια όλων των μοντέλων εφαρμόζοντας resampling στο dataset

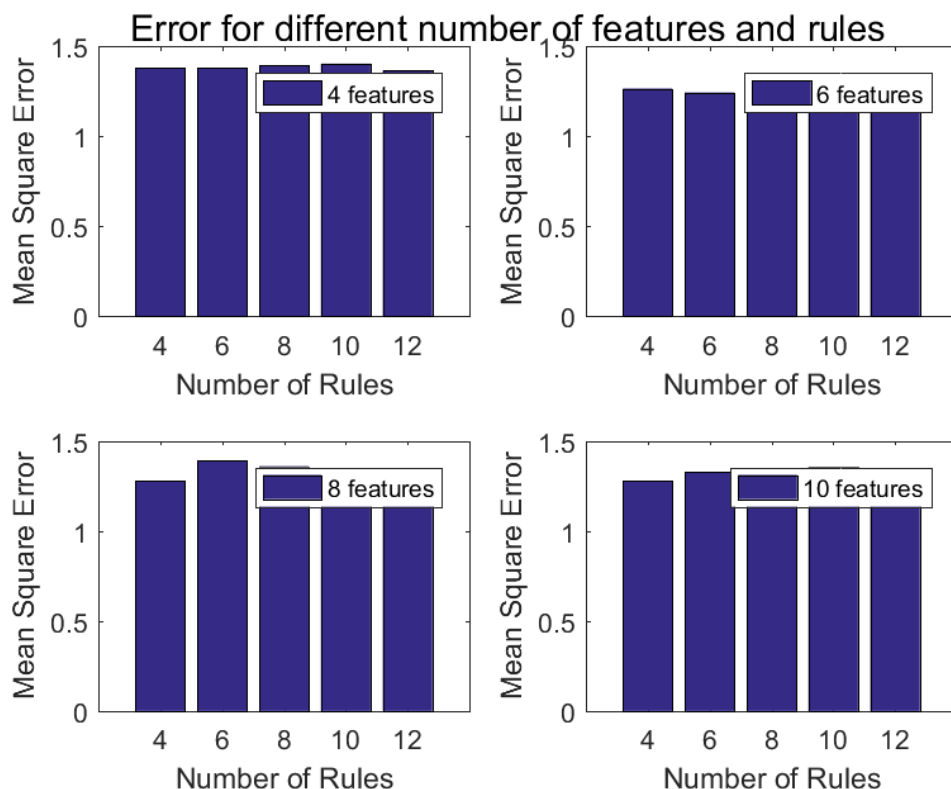
## 3 Isolet Dataset

Στο πρώτο κομμάτι της εργασίας μας ζητήθηκε να ταξινομήσουμε τα δεδομένα του Isolet dataset, το οποίο αποτελείται από 7797 δείγματα, 617 χαρακτηριστικών και 26 κλάσεων. Λόγω της υψηλής διασπασιμότητας του 2<sup>ου</sup> dataset ήταν αδύνατον να εκπαιδεύσουμε ένα TSK μοντέλο όπως κάναμε προηγουμένως. Για αυτόν τον λόγο αρχικά χρησιμοποιήσαμε τον αλγόριθμο Relief ώστε να κατατάξουμε τα χαρακτηριστικά με βάση την χρησιμότητα τους. Έπειτα εφαρμόσαμε αναζήτηση πλέγματος και 5-fold cross validation για την επιλογή του βέλτιστου συνδυασμού χαρακτηριστικών και κανόνων. Ως μέθοδος ομαδοποίησης για την δημιουργία των ασαφών κανόνων επιλέχθηκε ο αλγόριθμος Fuzzy C-Means. Η διαδικασία που ακολουθήσαμε για την επιλογή του βέλτιστου σετ παραμέτρων καθώς και τα αποτελέσματα που πήραμε από την εκπαίδευση του τελικού TSK μοντέλου περιγράφονται παρακάτω

### 3.1 Grid Search & 5-Fold Cross Validation

Σύμφωνα με την εκφώνηση τα σετ παραμέτρων με τα οποία έπρεπε να εργαστούμε ήταν τα  $NF=[5\ 10\ 15\ 20]$  και  $NR=[4\ 8\ 12\ 16\ 20]$ . Ωστόσο κατά το cross validation για τιμές  $NF \geq 10$  και  $NR \geq 12$  ήταν αδύνατο να εκπαιδεύσουμε μοντέλο και να εξάγουμε τους δείκτες για να αξιολογήσουμε την αποτελεσματικότητα του. Τελικά, έγινε αναπροσαρμογή των σετ παραμέτρων σε  $NF=[4\ 6\ 8\ 10]$  και  $NR=[4\ 6\ 8\ 10\ 12]$  για να πάρουμε πιο έγκυρα αποτελέσματα. Ο αλγόριθμος που ακολουθήσαμε για να βρούμε τον βέλτιστο συνδυασμό παραμέτρων είναι ο ακόλουθος. Η εκπαίδευση των TSK μοντέλων έγινε για 100 εποχές

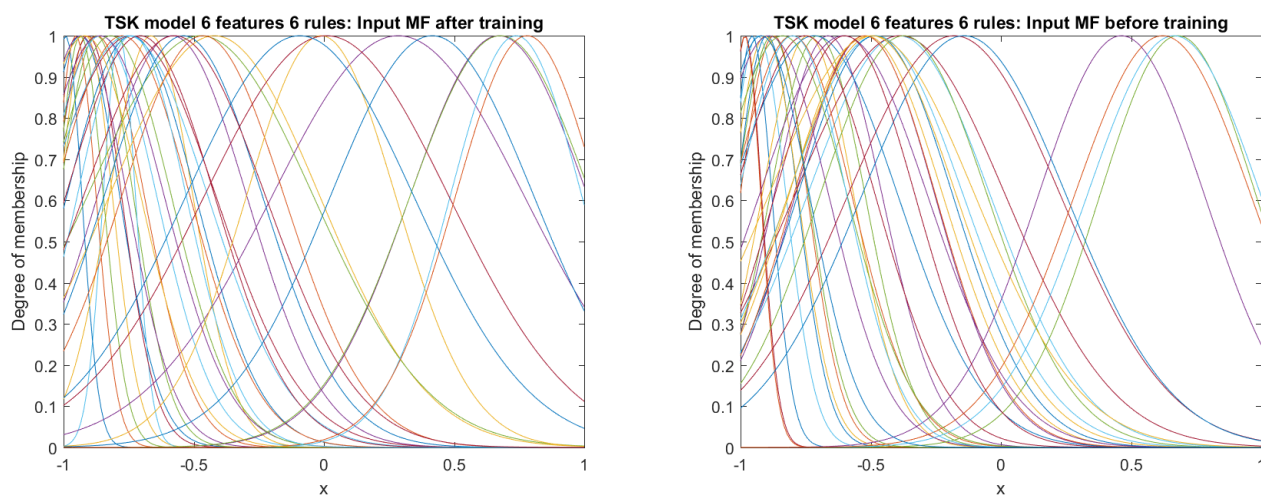
Οι τιμές του μέσου σφάλματος για τις διαφορετικές τιμές του grid παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα.

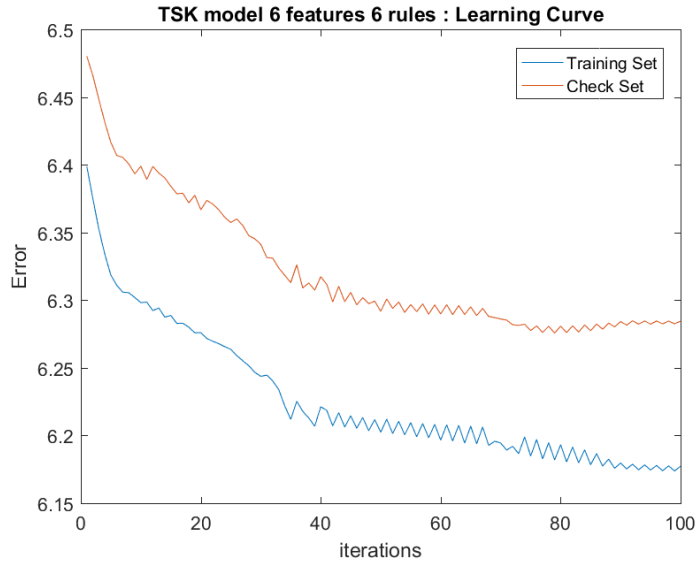


Όπως είναι φανερό, το μικρότερο μέσο σφάλμα παρουσιάζει το μοντέλο με τους 6 κανόνες και τα 6 χαρακτηριστικά.

### 3.2 Τελικό TSK μοντέλο

Παρακάτω παρουσιάζεται το τελικό TSK μοντέλο που εκπαιδεύτηκε για 6 κανόνες και 6 χαρακτηριστικά. Επιπλέον δίνονται διαγράμματα για τις συναρτήσεις συμμετοχής πριν και μετά την εκπαίδευση, την καμπύλη εκμάθησης του μοντέλου καθώς και οι δείκτες OA, UA, PA, K του μοντέλου





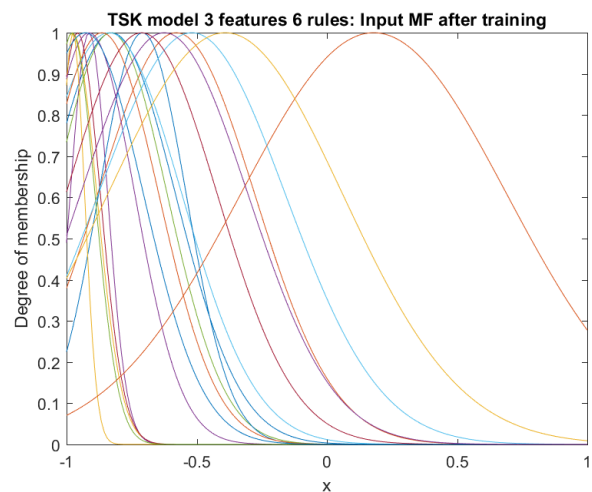
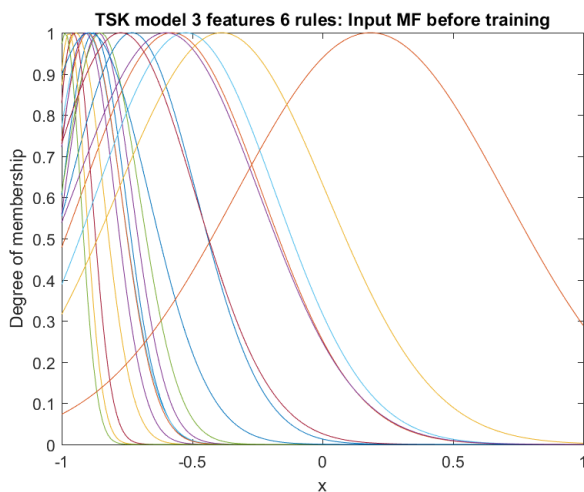
Οι πίνακες Error Matrix, User's Accuracy και Producer's Accuracy έχουν αποθηκευτεί ως αρχεία mat στον φάκελο metrics της εργασίας καθώς λόγω μεγέθους ήταν αδύνατο να χωρέσουν στην αναφορά.

Overall Accuracy: 9,3%

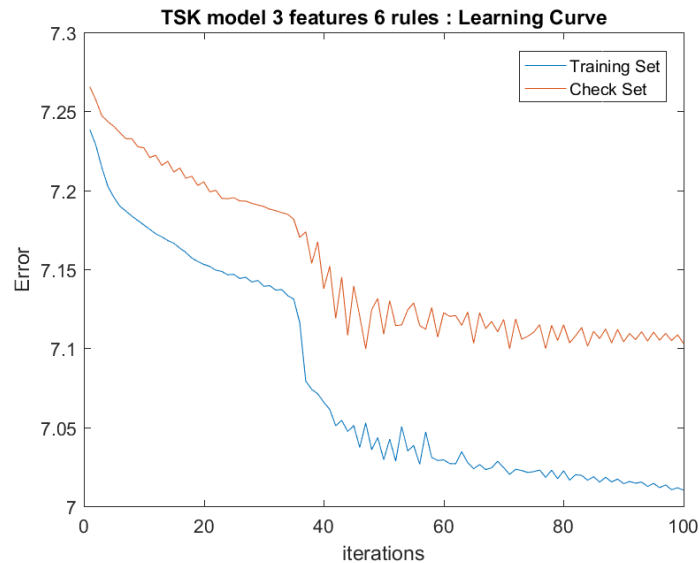
K: 0,0567

### 3.2.1 Σύγκριση με μοντέλο 3 χαρακτηριστικών

Εκπαιδευούμε ένα μοντέλο με 3 χαρακτηριστικά και 6 κανόνες για τον ίδιο αριθμό εποχών ώστε να συγκρίνουμε την απόδοση του με αυτή του βέλτιστου μοντέλου που εκπαιδεύτηκε προηγουμένως. Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα και οι δείκτες του μοντέλου.







Οι πίνακες Error Matrix, User's Accuracy και Producer's Accuracy έχουν αποθηκευτεί ως αρχεία mat στον φάκελο metrics της εργασίας καθώς λόγω μεγέθους ήταν αδύνατο να χωρέσουν στην αναφορά.

Overall Accuracy: 5,45%

K: 0,0167

### 3.2.2 Σχολιασμός Αποτελεσμάτων

Παρόλο που ο αλγόριθμος αναζήτησης πλέγματος δούλεψε ικανοποιητικά αφού το βέλτιστο μοντέλο που βρέθηκε αποδίδει καλύτερα από κάθε άλλο συνδυασμό κανόνων και χαρακτηριστικών του grid, τα τελικά αποτελέσματα δεν είναι και τόσο ικανοποιητικά. Εκτός από την μικρή ακρίβεια του μοντέλου, βλέπουμε από τον error matrix, ότι δεν υπάρχουν σχεδόν καθόλου predictions για ορισμένες κλάσεις, δηλαδή δεν έχουμε ομοιόμορφη κατανομή των ασαφών συνόλων.