



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΚΑΙ

ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

**Εφαρμογές των μεθόδων Συμβολικής Συνολικής
Προσέγγισης και Εντροπίας Μετάθεσης στην
επεξεργασία δεδομένων**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Του

Νικόλαου Χατζηγιαννάκη

Επιβλέπων: Ιωάννης Αντωνιάδης, Καθηγητής Ε.Μ.Π.



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΚΑΙ

ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

**Εφαρμογές των μεθόδων Συμβολικής Συνολικής
Προσέγγισης και Εντροπίας Μετάθεσης στην
επεξεργασία δεδομένων**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Του

Νικόλαου Χατζηγιαννάκη

Αθήνα, Ιούνιος 2018

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως αντικείμενο τον εντοπισμό και τον σχολιασμό αποκλινοσών καταστάσεων των χρονοσειρών από τρεις διαφορετικές εφαρμογές μέσω των μεθόδων Εντροπίας Μετάθεσης (PE) ή και Συμβολικής Συνολικής Προσέγγισης (SAX).

Πιο συγκεκριμένα, αρχικά θα γίνει μία εισαγωγή ως προς τον στόχο και το περιεχόμενο της διπλωματικής εργασίας και μετά μία γενική παρουσίαση των βασικών αρχών των δύο αυτών μεθόδων. Έπειτα, θα αναλυθεί η πρώτη εφαρμογή, η οποία εδράζεται στην χημική διεργασία της εταιρείας Eastman Chemical Company. Στην συνέχεια, θα περιγραφεί η δεύτερη εφαρμογή, που βασίζεται στην βάση δεδομένων των εγκεφαλογραφημάτων της κλινικής για την επιληψία του Πανεπιστημίου Bonn. Μετά, θα αναλυθεί η τρίτη εφαρμογή, η οποία υλοποιείται σε τέσσερις οικονομικούς δείκτες της Αμερικής της Federal Reserve Bank of St.Louis. Στο τέλος, θα διεξαχθούν συμπεράσματα για κάθε μία εφαρμογή, καθώς και τα γενικότερα συμπεράσματα αυτής της διπλωματικής εργασίας.

Ολοκληρώνοντας τη διπλωματική εργασία, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κύριο Ιωάννη Αντωνιάδη, επιβλέποντα καθηγητή, τόσο για την ανάθεση της εργασίας όσο και για την άριστη συνεργασία, τον πολύτιμο χρόνο που διέθεσε και την υπομονή που έδειξε για τη διεκπεραίωση της εργασίας αυτής.

ΕΠΟΨΗ

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι ο εντοπισμός τυχουσών αποκλινοσών συμπεριφορών σε χρονοσειρές τριών διαφορετικών εφαρμογών μέσω των μεθόδων Εντροπίας Μετάθεσης (PE) ή και Συμβολικής Συνολικής Προσέγγισης (SAX). Προς την εκπλήρωση αυτού του σκοπού, η διπλωματική εργασία αποτελείται από τα παρακάτω κεφάλαια:

Στο **πρώτο κεφάλαιο** γίνεται μία γενική εισαγωγή όσον αφορά τον στόχο και το περιεχόμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Στο **δεύτερο κεφάλαιο** γίνεται η παρουσίαση των βασικών αρχών των δύο μεθόδων.

Στο **τρίτο κεφάλαιο**, αναλύεται η πρώτη εφαρμογή, η οποία λαμβάνει χώρα στην χημική διεργασία της εταιρείας Eastman Chemical Company. Αναλυτικότερα, περιγράφονται το σύστημα αυτής της διεργασίας, η αναγκαιότητα της εφαρμογής συνδυασμού των μεθόδων SAX και PE σε αυτό, τα αποτελέσματα αυτού του συνδυασμού συγκριτικά με θεωρητικές εκτιμήσεις και τέλος δίνονται πιθανές εξηγήσεις για τα απροσδόκητα υψηλά αποτελέσματα που παρήχθησαν.

Στο **τέταρτο κεφάλαιο**, αναλύεται η δεύτερη εφαρμογή, η οποία υλοποιείται στην βάση δεδομένων των εγκεφαλογραφημάτων της κλινικής για την επιληψία του Πανεπιστημίου Bonn. Ειδικότερα, περιγράφονται η επιληψία και η αναγκαιότητα της εφαρμογής του συνδυασμού των μεθόδων SAX και PE στα ηλεκτροεγκεφαλογράφηματα, η βάση δεδομένων και η βασική αρχή της μελέτης, έπειτα η αρχική προσέγγιση του προβλήματος και η βελτιστοποίηση των παραμέτρων των δύο μεθόδων και τέλος τα αποτελέσματα.

Στο **πέμπτο κεφάλαιο**, αναλύεται η τρίτη εφαρμογή, η οποία πραγματοποιείται σε τέσσερις οικονομικούς δείκτες αναφερόμενους στην Αμερική της Federal Reserve Bank of St.Louis (κατασκευαστική παραγωγή, βαθμός ανεργίας, πωλήσεις των κατασκευαστών και τιμές των κατασκευαστών παραγωγών). Αναλυτικότερα, αποδεικνύεται η γενικότερη χρησιμότητα εφαρμογής μεθόδου PE στους οικονομικούς δείκτες, έπειτα αιτιολογείται η αναγκαιότητα της εφαρμογής της μεθόδου PE με χρονικά παράθυρα και στο τέλος παρουσιάζονται και σχολιάζονται τα αποτελέσματα αυτής της μεθόδου.

Στο **έκτο κεφάλαιο**, διεξάγονται συμπεράσματα για κάθε μία από τις τρεις εφαρμογές, καθώς και τα γενικότερα συμπεράσματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Αφιερώνω την εργασία αυτή στους γονείς μου

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	9
ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΣΥΜΒΟΛΙΚΗΣ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗΣ ΚΑΙ ΕΝΤΡΟΠΙΑΣ ΜΕΤΑΘΕΣΗΣ.....	11
2.1 Η μέθοδος Συμβολικής Συνολικής Προσέγγισης (SAX).....	11
2.2 Η μέθοδος Εντροπίας Μετάθεσης (PE).....	14
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΧΗΜΙΚΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ	17
3.1 Περιγραφή της χημικής διεργασίας της Eastman Chemical Company.....	17
3.2 Αιτιολόγηση της αναγκαιότητας συνδυασμού των μεθόδων SAX και PE	22
3.3 Αποτελέσματα και σύγκρισή τους με τις θεωρητικές εκτιμήσεις	39
3.4 Αιτιολόγηση υψηλών αποτελεσμάτων για τις μεταβλητές κάθε διαταραχής που δεν προβλέφθηκαν στις θεωρητικές εκτιμήσεις.....	57
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΕΓΚΕΦΑΛΟΓΡΑΦΗΜΑΤΑ	72
4.1 Η επιληψία και η αναγκαιότητα εφαρμογής του συνδυασμού των μεθόδων SAX και PE στα ηλεκτροεγκεφαλογράφημα.....	72
4.2 Περιγραφή της Βάσης Δεδομένων.....	74
4.3 Βασική Αρχή της Μελέτης.....	74
4.3 Αρχική Προσέγγιση.....	77
4.4 Βελτιστοποίηση παραμέτρων	82
4.5 Αποτελέσματα.....	84
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΥΣ ΔΕΙΚΤΕΣ	90
5.1 Χρησιμότητα εφαρμογής μεθόδου PE στους οικονομικούς δείκτες.....	90
5.2. Αιτιολόγηση της αναγκαιότητας της εφαρμογής μεθόδου PE με χρονικά παράθυρα	90
5.3 Αποτελέσματα και σχολιασμός τους	94
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	101
6.1 Συμπεράσματα εφαρμογής σε χημική βιομηχανία	101
6.2 Συμπεράσματα εφαρμογής σε εγκεφαλογράφημα.....	102
6.3 Συμπεράσματα εφαρμογής σε οικονομικούς δείκτες	102
6.4 Γενικά συμπεράσματα	103
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	105
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	108

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζονται τρεις διαφορετικές εφαρμογές των μεθόδων Συμβολικής Συνολικής Προσέγγισης, ή αλλιώς Symbolic Aggregate Approximation (SAX), και Εντροπίας Μετάθεσης, ή αλλιώς Permutation Entropy (PE). Ο γενικότερος σκοπός αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι η ανάδειξη της χρησιμότητας της εφαρμογής των μεθόδων PE ή και SAX ως διαγνωστικά εργαλεία χρονοσειρών ποικίλων διαφορετικών εφαρμογών για τον εντοπισμό τυχουσών αποκλινοσών συμπεριφορών τους.

Πιο συγκεκριμένα, η πρώτη εφαρμογή αφορά τον συνδυασμό των δύο παραπάνω μεθόδων (πρώτα του SAX και έπειτα του PE) στα σήματα των μετρήσεων (μεταβλητών) της χημικής διεργασίας της εταιρείας Eastman Chemical Company με στόχο τον εντοπισμό της διαταραχής (αν υπάρχει) που υφίσταται σε αυτήν.

Ομοίως, εφαρμόζεται ξανά ο συνδυασμός αυτός στην βάση δεδομένων των εγκεφαλογραφημάτων της κλινικής για την επιληψία του Πανεπιστημίου Bonn με σκοπό την ταξινόμησή τους σε εγκεφαλογραφήματα με επιληπτική διαταραχή και σε εγκεφαλογραφήματα χωρίς επιληπτική διαταραχή.

Τέλος, εφαρμόζεται η μέθοδος PE σε τέσσερις χρονοσειρές οικονομικών δεικτών αναφερόμενων στην Αμερική της Federal Reserve Bank of St.Louis (κατασκευαστική παραγωγή, βαθμός ανεργίας, πωλήσεις των κατασκευαστών και τιμές των κατασκευαστών παραγωγών) με σκοπό τον εντοπισμό των ετών που ήταν επικρατέστερη η δυσμενής εξέλιξη (υφέσεις) και των ετών όπου ήταν επικρατέστερη η πρόοδος αυτών των σημάτων.

Η δομή της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ακόλουθη. Αρχικά, παρουσιάζονται οι βασικές αρχές των μεθόδων SAX και PE. Έπειτα, ακολουθεί η εφαρμογή στην χημική βιομηχανία, όπου περιγράφεται αναλυτικά η χημική διεργασία που εξετάζεται, αιτιολογείται η αναγκαιότητα εφαρμογής και των δύο μεθόδων SAX και PE σε αυτήν, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και συγκρίνονται με τις θεωρητικές εκτιμήσεις, καθώς και αιτιολογούνται τα αποτελέσματα που δεν προβλέφθηκαν από τις θεωρητικές εκτιμήσεις. Μετά, αναλύεται η εφαρμογή στα εγκεφαλογραφήματα, όπου περιγράφεται η επιληψία και η αναγκαιότητα εφαρμογής του συνδυασμού των SAX και PE στα ηλεκτροεγκεφαλογραφήματα, παρουσιάζεται η βάση δεδομένων και η βασική αρχή της μελέτης, καθώς και αναλύονται η αρχική προσέγγιση της μελέτης, η βελτιστοποίηση των παραμέτρων της και τα αποτελέσματά της. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται η εφαρμογή στους οικονομικούς δείκτες, όπου αιτιολογούνται τόσο η χρησιμότητα του PE σε αυτούς, όσο και

η αναγκαιότητα εφαρμογής χρονικών παραθύρων στο ΡΕ, καθώς και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προκύπτουν. Τέλος, αναφέρονται τα συμπεράσματα για κάθε μία από τις τρεις εφαρμογές, καθώς και τα γενικά συμπεράσματα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΣΥΜΒΟΛΙΚΗΣ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗΣ ΚΑΙ ΕΝΤΡΟΠΙΑΣ ΜΕΤΑΘΕΣΗΣ

2.1 Η μέθοδος Συμβολικής Συνολικής Προσέγγισης (SAX)

Η μέθοδος Συμβολικής Συνολικής Προσέγγισης, ή αλλιώς Symbolic Aggregate Approximation (SAX), προτάθηκε πρώτη φορά από τους Jessica Lin et al. [1] για να καλύψει τα μειονεκτήματα προηγούμενων συμβολικών απεικονίσεων. Πιο συγκεκριμένα, έκτος από τις γνωστές απεικονίσεις χρονοσειρών όπως τα wavelets ή οι μετασχηματισμοί Fourier, πολλές άλλες εναλλακτικές συμβολικές αναπαραστάσεις έχουν προταθεί [1]. Όμως, αυτές οι απεικονίσεις έχουν το κύριο μειονέκτημα ότι η διάσταση που απομένει μετά από αυτά παραμένει η ίδια με την αρχική χρονοσειρά (raw time series) [1]. Το ενδιαφέρον γεγονός με το SAX είναι ότι αποτελεί την πρώτη συμβολική προσέγγιση για χρονοσειρές που επιτρέπει μείωση της διάστασης [1].

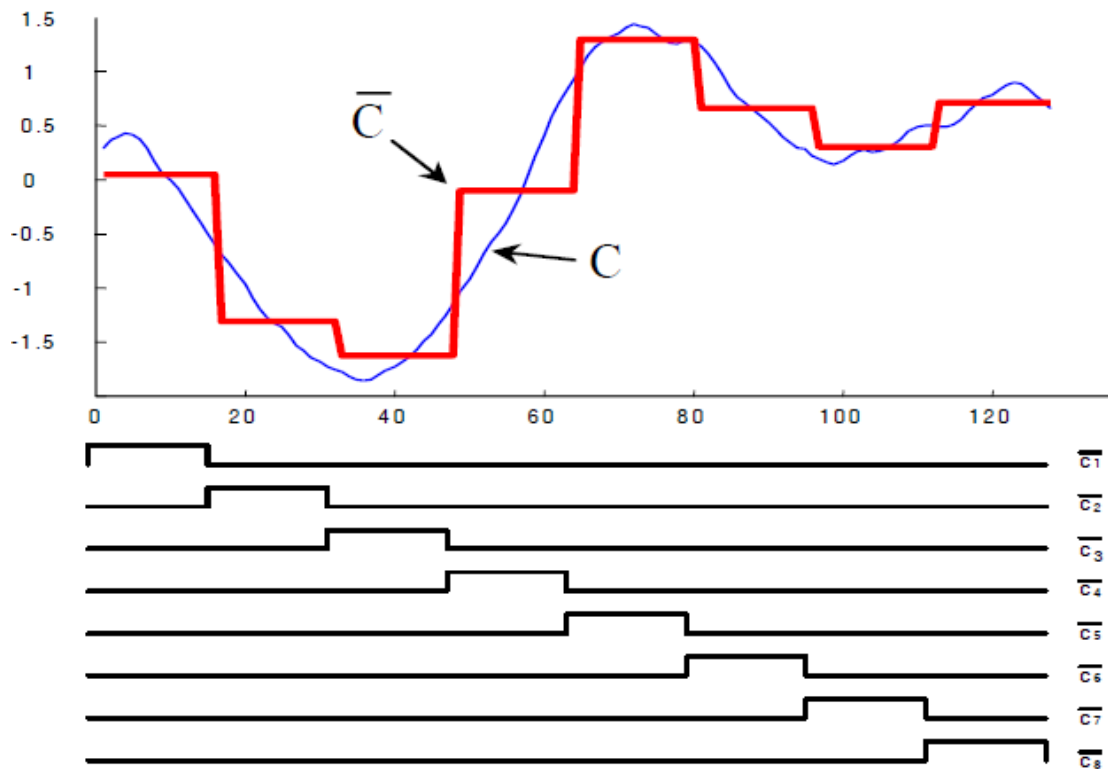
Το SAX εφαρμόζεται σε δύο βήματα. Το πρώτο είναι η μείωση της διάστασης (Dimensionality Reduction) και το δεύτερο η διακριτοποίηση (Discretization). Το πρώτο βήμα επιτυγχάνεται με την προσέγγιση του συνολικού κατακερματισμού (Piecewise Aggregate Approximation ή αλλιώς PAA) [1]. Παρόλο που το συγκεκριμένο βήμα θεωρείται απλό, ανταγωνίζεται αντάξια υψηλότερου επιπέδου τεχνικές μείωσης διάστασης, όπως τον μετασχηματισμό Fourier και τα wavelets [1].

Πιο συγκεκριμένα, μία χρονοσειρά C μήκους n μπορεί να αναπαρασταθεί στον w -διάστατο χώρο, όπου $w < n$, με ένα διάνυσμα $\bar{C} = \bar{c}_1, \bar{c}_2, \dots, \bar{c}_w$ (1). Το $i^{\text{στο}}$ στοιχείο του διανύσματος υπολογίζεται από την εξίσωση [1]:

$$\bar{C}_i = \frac{w}{n} \sum_{j=\frac{n}{w}(i-1)+1}^{\frac{n}{w}i} (C_j) \quad (2)$$

Με άλλα λόγια, ο στόχος του συγκεκριμένου βήματος είναι να μειώσει την χρονοσειρά από n σε w διαστάσεις. Συνεπώς, η χρονοσειρά χωρίζεται σε w ίσου μεγέθους πλαίσια (frames). Αυτή η διαδικασία μπορεί να θεωρηθεί ως μία προσπάθεια να προσεγγίσει την αρχική χρονοσειρά (raw time series) σε έναν γραμμικό συνδυασμό σταθερών συναρτήσεων,

όπως φαίνεται στο Σχήμα 1, όπου το SAX εφαρμόζεται σε ένα τυχαίο σήμα, οι τιμές του οποίου δεν είναι υποχρεωτικό να είναι γνωστές.

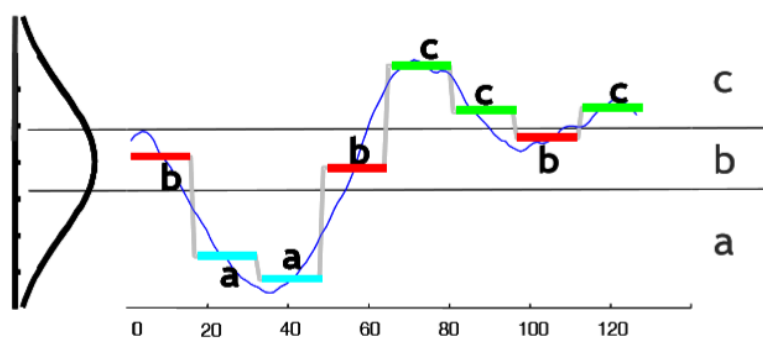


Σχήμα 1: Η τεχνική μείωσης της διάστασης στο SAX

Πηγή: [1]

Μετά την μείωση της διάστασης μέσω του PAA, είναι επιθυμητό να λάβει χώρα μία τεχνική διακριτοποίησης, η οποία θα παράγει ισοπίθانا σύμβολα (συγκεκριμένα, γράμματα αλφαβήτου). Αυτό είναι εύκολα επιτεύξιμο, καθώς οι κανονικοποιημένες χρονοσειρές ακολουθούν την γνωστή Γκαουσιανή κατανομή. Πιο συγκεκριμένα, το SAX χωρίζει την διαστασιολογικά μειωμένη χρονοσειρά σε οριζόντια ισοπίθανα μέρη, με κάθε ένα από αυτά να αντιπροσωπεύεται από ένα γράμμα της αλφαβήτου, όπως φαίνεται στο

σχήμα 2. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο ορίζεται η παράμετρος α , η οποία ονομάζεται μέγεθος αλφαβήτου (alphabet size). Τα σημεία τα οποία χωρίζουν την χρονοσειρά σε α τμήματα συμβολίζονται με β και ονομάζονται αριθμοί σημείων διακοπής (breakpoint numbers), τα οποία παρουσιάζονται στον πίνακα 1. Με σκοπό να διαχωριστεί η χρονοσειρά ισοπίθανα, αυτά τα σημεία χωρίζουν την Γκαουσιανή καμπύλη έτσι ώστε κάθε περιοχή που παράγεται από αυτά να έχει επιφάνεια ίση με το $1/\alpha$ αυτής της καμπύλης [1].



Σχήμα 2: Η τεχνική διακριτοποίησης στο SAX

Πηγή: [1]

Πίνακας 1: Τιμές των αριθμών σημείων διακοπής β συναρτήσει του μεγέθους αλφαβήτου α

α	3	4	5	6	7	8	9	10
β_1	-0.43	-0.67	-0.84	-0.97	-1.07	-1.15	-1.22	-1.28
β_2	0.43	0	-0.25	-0.43	-0.57	-0.67	-0.76	-0.84
β_3		0.67	0.25	0	-0.18	-0.32	-0.43	-0.52
β_4			0.84	0.43	0.18	0	-0.14	-0.25
β_5				0.97	0.57	0.32	0.14	0
β_6					1.07	0.67	0.43	0.25
β_7						1.15	0.76	0.52
β_8							1.22	0.84
β_9								1.28

Πηγή: [1]

2.2 Η μέθοδος Εντροπίας Μετάθεσης (PE)

Η μέθοδος Εντροπίας Μετάθεσης, ή αλλιώς Permutation Entropy (PE), είναι μία υπολογιστική μέθοδος που μετράει την πολυπλοκότητα του σήματος και βασίζεται στην τακτική ανάλυση (ordinal analysis) [2]. Κάθε χρονική στιγμή s μίας χρονοσειράς $X = \{x_t: t = 1, \dots, N\}$ (3), παράγεται ένα διάνυσμα που απαρτίζεται από D ακολουθούμενες τιμές [2]:

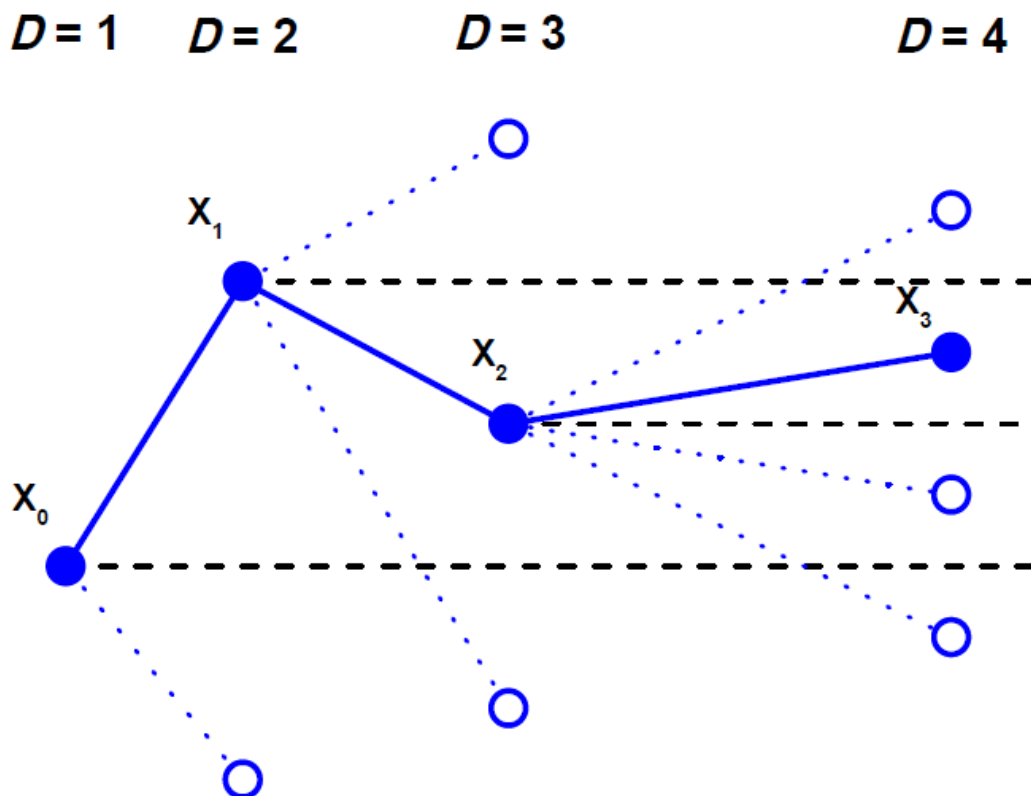
$$S \rightarrow (x_s, x_{s+1}, \dots, x_{s+(D-2)}, x_{s+(D-1)}) \quad (4)$$

Αξίζει να αναφερθεί ότι σε πολλές περιπτώσεις, αυτή η εξίσωση επεκτείνεται λαμβάνοντας υπόψη μία χρονική υστέρηση $\tau > 1$ [2]:

$$S \rightarrow (x_s, x_{s+\tau}, \dots, x_{s+\tau(D-2)}, x_{s+\tau(D-1)}) \quad (5)$$

Το D ονομάζεται διάσταση ενσωμάτωσης (embedding dimension) ή αλλιώς διάσταση μοτίβου και καθορίζει την ποσότητα της πληροφορίας που περιέχεται σε κάθε διάνυσμα. Σε αυτό το διάνυσμα, αντιστοιχεί ένα τακτικό μοτίβο (ordinal pattern), το οποίο ορίζεται ως η μετάθεση (permutation) $\pi = (r_0 r_1 \dots r_{D-1})$ (6) του $(0, 1, \dots, D-1)$, για την οποία ισχύει:

$$x_{s+r_0} \leq x_{s+r_1} \leq \dots \leq x_{s+r_{D-2}} \leq x_{s+r_{D-1}} \quad (7)$$



Σχήμα 3: Παράδειγμα της βασικής αρχής των τακτικών μοτίβων μήκους D

Πηγή: [2]

Έτσι, σε κάθε χρονοσειρά, αντιστοιχίζεται μία κατανομή πιθανοτήτων Π , της οποίας το κάθε στοιχείο π_i είναι η συχνότητα του i πιθανού μοτίβου, όπου $i = 1, \dots, D!$. Συνεπώς, το PE ορίζεται ως η εντροπία Shannon που σχετίζεται με αυτήν την κατανομή [2]:

$$H = -\sum_{j=1}^{j=D!} (\pi_j \ln \pi_j) \quad (8)$$

Με στόχο να εκτιμηθεί η ποσότητα της πληροφορίας που εμπεριέχεται σε αυτή την κατανομή, ο λογάριθμος που χρησιμοποιείται στον κώδικα έχει βάση 2. Δηλαδή:

$$PE = -\sum_{j=1}^{j=D!} (\pi_j \log_2 \pi_j) \quad (9)$$

Ένα κοινό και λογικό πρόβλημα του PE είναι η διαχείριση ίσων τιμών σε μία ακολουθία. Σύμφωνα με τους Riedl *et al* [3], υπάρχουν τρεις διαφορετικοί τρόποι επίλυσης του συγκεκριμένου προβλήματος:

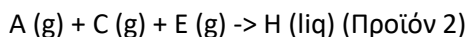
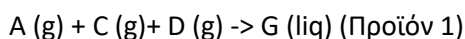
1. Η τάξη (rank) αυτών των τιμών να καθορίζεται σύμφωνα με την σειρά τους στην ακολουθία.
2. Η ταυτότητα να εξαλείφεται εισάγοντας λευκό θόρυβο (white noise).
3. Οι τιμές να έχουν τον ίδιο αριθμό τάξης (rank number) εντός της ακολουθίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

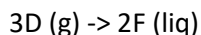
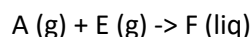
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΧΗΜΙΚΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ

3.1 Περιγραφή της χημικής διεργασίας της Eastman Chemical Company

Η χημική διεργασία που εξετάζεται αποτελείται από ένα σύστημα αντιδραστήρα-διαχωριστή-ανακύκλωσης, στο οποίο πραγματώνονται δύο ταυτόχρονες εξώθερμες αντιδράσεις αερίου-υγρού, οι οποίες παράγουν δύο προϊόντα. Η μορφή τους φαίνεται παρακάτω:



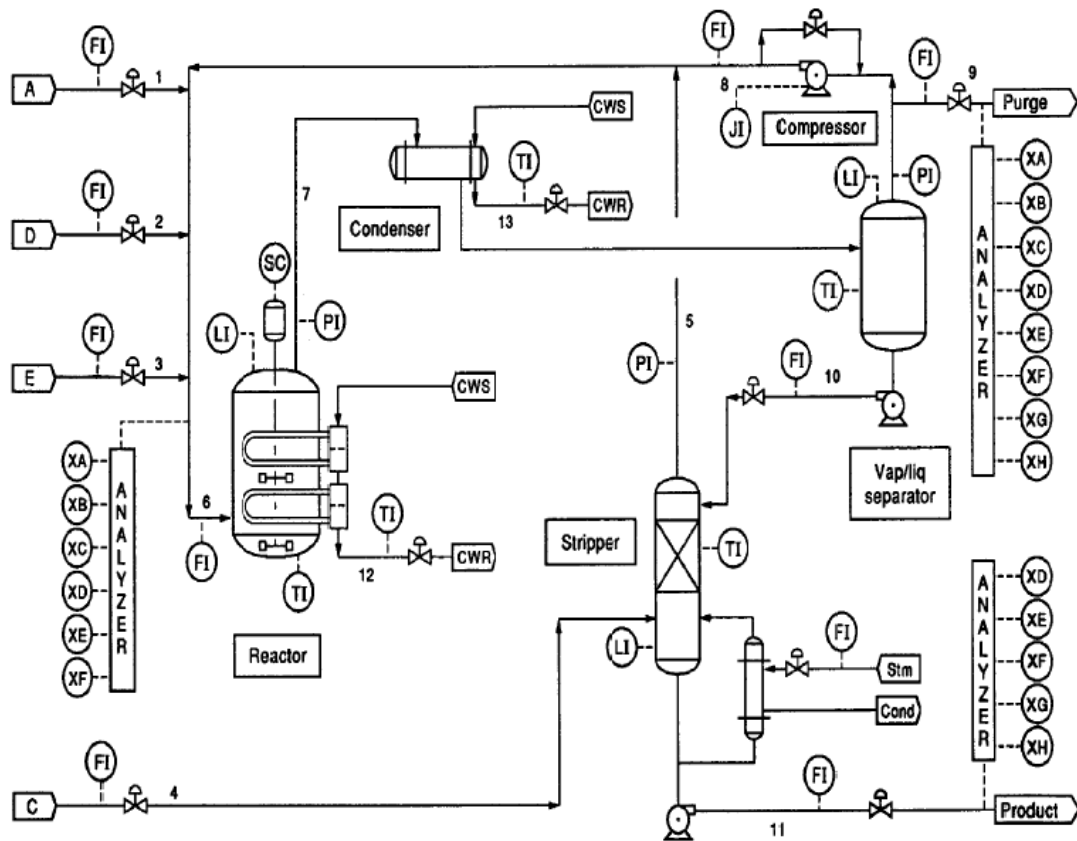
Πέραν όμως αυτών των αντιδράσεων, συμβαίνουν και άλλες δύο πρόσθετες, οι οποίες παράγουν υποπροϊόν, των οποίων η μορφή φαίνεται παρακάτω:



Έτσι, συνολικά υπάρχουν οκτώ συστατικά στην χημική διεργασία, τέσσερα εκ των οποίων είναι αντιδρώντα (A, C, D, E), δύο είναι προϊόντα (G και H), ένα είναι υποπροϊόν (F) και ένα είναι αδρανές (B). Όλες οι αντιδράσεις είναι μη αντιστρέψιμες και εξώθερμες [4].

Το σύστημα της διεργασίας εμπεριέχει πέντε μονάδες: τον αντιδραστήρα, τον συμπυκνωτή προϊόντος, διαχωριστή ατμού-υγρού (vapor-liquid separator), τον συμπιεστή ανακύκλωσης, καθώς και τον stripper του προϊόντος, όπως φαίνεται στο σχήμα 4. Τα αέρια αντιδρώντα εισέρχονται προς τον αντιδραστήρα, όπου και αντιδρούν για να σχηματίσουν τα υγρά προϊόντα. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι αντιδράσεις αέριας φάσεως καταλύονται μέσω ενός μη πτητικού καταλύτη, ο οποίος είναι διαλυμένος στην υγρή φάση. Επιπροσθέτως, ο αντιδραστήρας διαθέτει μία εσωτερική ψυκτική δέσμη για την αποβολή της θερμότητας που εκλύεται από την αντίδραση. Έπειτα, τα προϊόντα εξέρχονται από τον αντιδραστήρα ως ατμοί μαζί με συστατικά που δεν αντέδρασαν, ενώ ο καταλύτης παραμένει εντός του αντιδραστήρα. Έτσι, το προϊόν του αντιδραστήρα εισέρχεται μέσα από έναν ψύκτη για να συμπυκνώσει τα προϊόντα και από αυτόν κατευθύνεται προς τον διαχωριστή ατμού-υγρού. Τα μη συμπυκνωμένα συστατικά ανακυκλώνονται προς την είσοδο του αντιδραστήρα μέσω ενός φυγόκεντρου συμπιεστή. Αντίθετα, τα συμπυκνωμένα συστατικά κατευθύνονται προς τον stripper για να αποβληθούν τα εναπομείναντα αντιδρώντα, χάρη στον σωλήνα 4. Με αυτόν τον τρόπο, τα προϊόντα G και H εξέρχονται από

την βάση του stripper. Τέλος, το αδρανές συστατικό και το υποπροϊόν κυρίως αποβάλλονται από το σύστημα ως ατμοί από τον διαχωριστή ατμού-υγρού [4].



Σχήμα 4: Σχέδιο Χημικής Διεργασίας της Eastman Chemical Company

Πηγή: [4]

Στον πίνακα 2 που ακολουθεί φαίνονται οι παροχές, οι θερμοκρασίες και οι συστάσεις των σωλήνων τροφοδοσίας στην κανονική κατάσταση (χωρίς διαταραχές) της διεργασίας. Παρατηρώντας τις συστάσεις αυτές, κατανοείται εις βάθος η λειτουργία του συστήματος που περιγράφηκε παραπάνω.

Πίνακας 2: Παροχές, θερμοκρασίες και συστάσεις σωλήνων τροφοδοσίας κανονικής κατάστασης της χημικής διεργασίας

Process stream data						
Stream name	A feed	D feed	E feed	C feed	Strp Ovhd	Reactor feed
Stream number	1	2	3	4	5	6
Molar flow (kgmol h ⁻¹)	11.2	114.5	98.0	417.5	465.7	1890.8
Mass flow (kg h ⁻¹)	22.4	3664.0	4509.3	6419.4	8979.6	48015.4
Temperature (°C)	45.0	45.0	45.0	45.0	65.7	86.1
Mole fractions	A					
	B					
	C					
	D					
	E					
	F					
	G					
	H					
Stream name	Reactor product	Recycle	Purge	Separation liquid	Product	
Stream number	7	8	9	10	11	
Molar flow (kgmol h ⁻¹)	1476.0	1201.5	15.1	259.5	211.3	
Mass flow (kg h ⁻¹)	48,015.4	30,840.0	386.5	16,788.9	14,288.6	
Temperature (°C)	120.4	102.9	80.1	80.1	65.7	
Mole fractions	A					
	B					
	C					
	D					
	E					
	F					
	G					
	H					

Πηγή: [4]

Επίσης, όσον αφορά τους περιορισμούς του παραπάνω συστήματος που περιγράφηκε, αυτοί είναι οι παρακάτω. Η πίεση του αντιδραστήρα έχει άνω όριο κανονικής λειτουργίας τα 2895 kPa, ενώ έχει άνω όριο τερματισμού τα 3000 kPa. Επίσης, η στάθμη του αντιδραστήρα, όσον αφορά την κανονική λειτουργία της, έχει κάτω όριο 50% (11.8 m³) και άνω 100% (21.3 m³), ενώ τα όρια τερματισμού είναι κάτω: 2 m³ και άνω: 24 m³. Η θερμοκρασία του αντιδραστήρα έχει άνω όριο κανονικής λειτουργίας ίσο με 150°C και άνω όριο τερματισμού 175 °C. Επιπροσθέτως, η στάθμη του διαχωριστή στη κανονική της λειτουργία πρέπει να κυμαίνεται από 30% (3.3 m³) μέχρι 100% (9 m³), ενώ τα όρια τερματισμού είναι 1 m³ και 12 m³ αντίστοιχα. Τέλος, ο stripper για να λειτουργεί κανονικά πρέπει να έχει στάθμη η οποία κυμαίνεται από 30% (3.5 m³) μέχρι 100% (6.6 m³) και για να μην τερματιστεί η λειτουργία του (συνεπώς και του συστήματος) πρέπει η στάθμη να κυμαίνεται από 1 m³ έως 8 m³.

Ακόμα, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η παροχή του σωλήνα 11 δεν πρέπει να μεταβάλλεται περισσότερο από ±5% με συχνότητα από 8 έως 16 h⁻¹, καθώς θεωρείται επιβλαβής για το σύστημα. Επιπροσθέτως, η σύσταση του G δεν πρέπει να μεταβάλλεται περισσότερο από ±5% με συχνότητα από 6 έως 10 h⁻¹, καθώς θεωρείται εξίσου επιβλαβής για το σύστημα.

Επομένως, για να πραγματοποιηθεί σωστά η παραπάνω λειτουργία και να επιτευχθούν ορθά οι παραπάνω αντιδράσεις, στην διεργασία αυτή εμπεριέχονται συνολικά 12 διαθέσιμες βαλβίδες προς χειρισμό και μετρούνται συνολικά 41 μετρήσεις (μεταβλητές), ενώ οι πιθανές διαταραχές που μπορούν να συμβούν στο σύστημα είναι 28 (IDV 1-28). Οι πίνακες που ακολουθούν περιέχουν τα βασικά στοιχεία στα οποία βασίζεται η παρούσα μελέτη. Αναλυτικότερα, οι βαλβίδες χειρισμού φαίνονται στον πίνακα 3, όπου φαίνονται

και: η αρίθμησή τους, οι τιμές τους στην κανονική κατάσταση, τα άνω και κάτω όριά τους και οι μονάδες μέτρησής τους. Οι συνεχείς μετρήσεις (μεταβλητές) φαίνονται στον πίνακα 4, ενώ οι δειγματοληπτημένες από τους αναλυτές (analyzers) φαίνονται στον πίνακα 5, όπου παρουσιάζονται και: η αρίθμηση και οι τιμές τους στην κανονική κατάσταση, καθώς και οι μονάδες μέτρησής τους. Τέλος, οι διαταραχές παρουσιάζονται στους πίνακες 6 και 7, όπου φαίνονται και η αρίθμησή τους και οι τύποι τους. Οι προσομοιώσεις για κάθε διαταραχή και για την κανονική κατάσταση πραγματοποιούνται μέσω του Simulink, ενώ η εφαρμογή των SAX και PE γίνεται μέσω του Matlab.

Πίνακας 3: Βαλβίδες χειρισμού στην χημική διεργασία

Variable name	Variable number	Base case value (%)	Low limit	High limit	Units
D feed flow (stream 2)	XMV (1)	63.053	0	5811	kg h ⁻¹
E feed flow (stream 3)	XMV (2)	53.980	0	8354	kg h ⁻¹
A feed flow (stream 1)	XMV (3)	24.644	0	1.017	kscmh
A and C feed flow (stream 4)	XMV (4)	61.302	0	15.25	kscmh
Compressor recycle valve	XMV (5)	22.210	0	100	%
Purge valve (stream 9)	XMV (6)	40.064	0	100	%
Separator pot liquid flow (stream 10)	XMV (7)	38.100	0	65.71	m ³ h ⁻¹
Stripper liquid product flow (stream 11)	XMV (8)	46.534	0	49.10	m ³ h ⁻¹
Stripper steam valve	XMV (9)	47.446	0	100	%
Reactor cooling water flow	XMV (10)	41.106	0	227.1	m ³ h ⁻¹
Condenser cooling water flow	XMV (11)	18.114	0	272.6	m ³ h ⁻¹
Agitator speed	XMV (12)	50.000	150	250	rpm

Πηγή: [4]

Πίνακας 4: Συνεχείς μετρήσεις της χημικής διεργασίας

Variable name	Variable number	Base case value	Units
A feed (stream 1)	XMEAS (1)	0.25052	kscmh
D feed (stream 2)	XMEAS (2)	3664.0	kg h ⁻¹
E feed (stream 3)	XMEAS (3)	4509.3	kg h ⁻¹
A and C feed (stream 4)	XMEAS (4)	9.3477	kscmh
Recycle flow (stream 8)	XMEAS (5)	26.902	kscmh
Reactor feed rate (stream 6)	XMEAS (6)	42.339	kscmh
Reactor pressure	XMEAS (7)	2705.0	kPa gauge
Reactor level	XMEAS (8)	75.000	%
Reactor temperature	XMEAS (9)	120.40	°C
Purge rate (stream 9)	XMEAS (10)	0.33712	kscmh
Product separator temperature	XMEAS (11)	80.109	°C
Product separator level	XMEAS (12)	50.000	%
Product separator pressure	XMEAS (13)	2633.7	kPa gauge
Product separator underflow (stream 10)	XMEAS (14)	25.160	m ³ h ⁻¹
Stripper level	XMEAS (15)	50.000	%
Stripper pressure	XMEAS (16)	3102.2	kPa gauge
Stripper underflow (stream 11)	XMEAS (17)	22.949	m ³ h ⁻¹
Stripper temperature	XMEAS (18)	65.731	°C
Stripper steam flow	XMEAS (19)	230.31	kg h ⁻¹
Compressor work	XMEAS (20)	341.43	kW
Reactor cooling water outlet temperature	XMEAS (21)	94.599	°C
Separator cooling water outlet temperature	XMEAS (22)	77.297	°C

Πηγή: [4]

Πίνακας 5: Δειγματοληπτημένες μετρήσεις της χημικής διεργασίας

Reactor feed analysis (stream 6)			
Component	Variable number	Base case value	Units
A	XMEAS (23)	32.188	mol%
B	XMEAS (24)	8.8933	mol%
C	XMEAS (25)	26.383	mol%
D	XMEAS (26)	6.8820	mol%
E	XMEAS (27)	18.776	mol%
F	XMEAS (28)	1.6567	mol%
Purge gas analysis (stream 9)			
Component	Variable number	Base case value	Units
A	XMEAS (29)	32.958	mol%
B	XMEAS (30)	13.823	mol%
C	XMEAS (31)	23.978	mol%
D	XMEAS (32)	1.2565	mol%
E	XMEAS (33)	18.579	mol%
F	XMEAS (34)	2.2633	mol%
G	XMEAS (35)	4.8436	mol%
H	XMEAS (36)	2.2986	mol%
Product analysis (stream 11)			
Component	Variable number	Base case value	Units
D	XMEAS (37)	0.01787	mol%
E	XMEAS (38)	0.83570	mol%
F	XMEAS (39)	0.09858	mol%
G	XMEAS (40)	53.724	mol%
H	XMEAS (41)	43.828	mol%

Πηγή: [4]

Πίνακας 6: Διαταραχές IDV1-20 της χημικής διεργασίας

Variable number	Process variable	Type
IDV (1)	A/C feed ratio, B composition constant (stream 4)	Step
IDV (2)	B composition, A/C ratio constant (stream 4)	Step
IDV (3)	D feed temperature (stream 2)	Step
IDV (4)	Reactor cooling water inlet temperature	Step
IDV (5)	Condenser cooling water inlet temperature	Step
IDV (6)	A feed loss (stream 1)	Step
IDV (7)	C header pressure loss—reduced availability (stream 4)	Step
IDV (8)	A, B, C feed composition (stream 4)	Random variation
IDV (9)	D feed temperature (stream 2)	Random variation
IDV (10)	C feed temperature (stream 4)	Random variation
IDV (11)	Reactor cooling water inlet temperature	Random variation
IDV (12)	Condenser cooling water inlet temperature	Random variation
IDV (13)	Reaction kinetics	Slow drift
IDV (14)	Reactor cooling water valve	Sticking
IDV (15)	Condenser cooling water valve	Sticking
IDV (16)	Unknown	Unknown
IDV (17)	Unknown	Unknown
IDV (18)	Unknown	Unknown
IDV (19)	Unknown	Unknown
IDV (20)	Unknown	Unknown

Πηγή: [4]

Πίνακας 7: Επεξήγηση των διαταραχών IDV16-20 του πίνακα 6 και διαταραχές IDV21-28 της χημικής διεργασίας

IDV	Description
16	Deviation in the heat transfer of the heat exchanger of the stripper (originally specified as unknown)
17	Deviation in heat transfer in reactor (originally specified as unknown)
18	Deviation in heat transfer in condenser (originally specified as unknown)
20	unknown
21	A feed temperature (stream 1)
22	E feed temperature (stream 3)
23	A feed flow (stream 1)
24	D feed flow (stream 2)
25	E feed flow (stream 3)
26	A and C feed flow (stream 4)
27	Reactor cooling water flow
28	Condenser cooling water flow

Πηγή: [5]

3.2 Αιτιολόγηση της αναγκαιότητας συνδυασμού των μεθόδων SAX και PE

Στο υποκεφάλαιο αυτό αποδεικνύεται η δυσκολία εντοπισμού της διαταραχής (εφόσον υπάρχει) που υφίσταται στην χημική διεργασία στην περίπτωση εφαρμογής μόνο της μεθόδου PE, καθώς και η αναγκαιότητα της εφαρμογής του συνδυασμού των μεθόδων SAX και PE. Αρχικά, για την πραγματοποίηση της μεθόδου PE, όσον αφορά την προσομοίωση της χημικής διεργασίας στο Simulink για κάθε διαταραχή και για την κανονική της κατάσταση, αποφασίσθηκε η διάρκειά της να είναι ίση με 36 ώρες και η περίοδος δειγματοληψίας να είναι ίση με 0.36 ώρες. Τα παραπάνω αποφασίσθηκαν επειδή η διάρκεια των 36 ωρών αποτελεί ένα αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα ώστε να αναπτυχθούν οι διαταραχές και επειδή η περίοδος δειγματοληψίας αποτελεί μία αξιόλογη υποποσότητα (1/100) της διάρκειας. Επιπροσθέτως, όπως αιτιολογείται παρακάτω, οι παράμετροι που επιλέχθηκαν ήταν: η διάσταση του κάθε μοτίβου (pattern) να είναι 5 αριθμοί (δηλαδή embedding dimension $D = 5$), η χρονική υστέρηση να είναι ίση με την

μονάδα (δηλαδή time lag $\tau = 1$) και σε περίπτωση ύπαρξης δύο ή περισσότερων ίσων αριθμών σε ένα μοτίβο, αυτοί οι αριθμοί να θεωρηθούν ίσοι σε κατάταξη.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η επιλογή της τελευταίας παραμέτρου στην συγκεκριμένη μέθοδο που ακολουθείται δεν παίζει ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο, καθώς εδώ επεξεργάζεται άμεσα η πρωτογενής χρονοσειρά (raw data), της οποίας κάθε δείγμα έχει ακρίβεια τεσσάρων δεκαδικών ψηφίων. Επομένως, η πιθανότητα δύο (πόσο μάλλον περισσότεροι) αριθμοί στο ίδιο μοτίβο να έχουν την ίδια ακριβώς τιμή είναι σχεδόν μηδαμινή. Με άλλα λόγια, τα αποτελέσματα θα ήταν ίδια είτε είχε επιλεγεί ίση θεώρηση ίσων αριθμών, είτε θεώρηση ανάλογα με την σειρά των ίσων αριθμών εντός του μοτίβου. Η επιλογή της δεύτερης παραμέτρου προέκυψε από το γεγονός ότι δεν επιθυμείται να χαθεί πολύτιμη πληροφορία. Αναλυτικότερα, με την χρονική υστέρηση ίση με τη μονάδα, λαμβάνεται υπόψη στον υπολογισμό του PE κάθε δείγμα των χρονοσειρών, ενώ αν αυτή ήταν μεγαλύτερη της μονάδας, ο αλγόριθμος του PE θα «μεταπηδούσε» δείγματα ανάλογα με την τιμή της. Πέραν όμως αυτού, σύμφωνα με το [2], προτείνεται ο αλγόριθμος του PE να εφαρμόζεται με χρονική υστέρηση ίση με τη μονάδα και με διάσταση μοτίβου από 3 έως 7. Έτσι, η επιλογή της πρώτης παραμέτρου προέκυψε εξετάζοντας τις διαστάσεις μοτίβου από 3 έως 7 με κριτήρια:

- Μέγιστη μέση τιμή των ποσοστιαίων απόλυτων διαφορών των PE των μεταβλητών συγκριτικά με την κανονική τους κατάσταση για κάθε διαταραχή.
Δηλαδή:

$$\max \left\{ \frac{\sum_{k=1}^{41} \frac{|PE(k, IDV, D = 3) - PE(k, normal, D = 3)|}{PE(k, normal, D = 3)}}{41}, \dots, \frac{\sum_{k=1}^{41} \frac{|PE(k, IDV, D = 7) - PE(k, normal, D = 7)|}{PE(k, normal, D = 7)}}{41} \right\}$$

για $IDV = 1, 2, \dots, 28$ (10)

- Μέγιστη τυπική απόκλιση των ποσοστών απόλυτης διαφοράς PE των μεταβλητών συγκριτικά με την κανονική τους κατάσταση για κάθε διαταραχή.

Δηλαδή, συμβολίζοντας ως ΔPE την ποσοστιαία απόλυτη διαφορά για κάθε μεταβλητή, IDV και D ($\Delta PE(k, IDV, D) = \frac{|PE(k, IDV, D) - PE(k, normal, D)|}{PE(k, normal, D)}$) και ως ΔPE_{μ}

την μέση τιμή για κάθε IDV και D ($\Delta PE_{\mu}(idv, D) = \frac{\sum_{k=1}^{41} \frac{|PE(k, IDV, D) - PE(k, normal, D)|}{PE(k, normal, D)}}{41}$),

το δεύτερο κριτήριο είναι το εξής:

$$\max \left\{ \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{41} |\Delta PE(k, IDV, D = 3) - \Delta PE_{\mu}(IDV, D = 3)|^2}{40}}, \dots, \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{41} |\Delta PE(k, IDV, D = 7) - \Delta PE_{\mu}(IDV, D = 7)|^2}{40}} \right\}$$

για $IDV = 1, 2, \dots, 28$ (11)

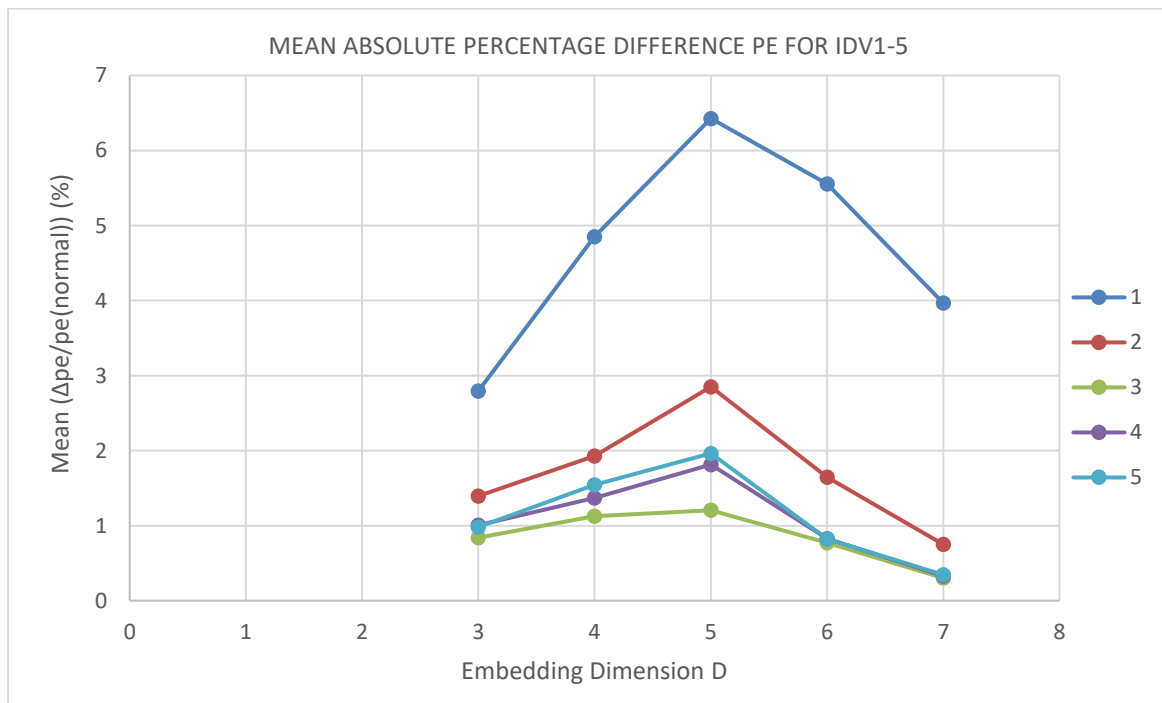
Τα δύο αυτά κριτήρια επιλέχθηκαν γιατί για τον εντοπισμό για κάθε διαταραχή των μεταβλητών που διαφέρουν σημαντικά στα PE τους από την κανονική τους κατάσταση, απαιτείται η μέγιστη δυνατή διακρίσιμότητα. Αυτή επιτυγχάνεται όταν η μέση απόλυτη

ποσοστιαία διαφορά των μεταβλητών μεταξύ διαταραγμένης και κανονικής κατάστασης και ταυτόχρονα η τυπική απόκλιση των απόλυτων ποσοστιαίων διαφορών των μεταβλητών είναι οι υψηλότερες για κάθε διαταραχή.

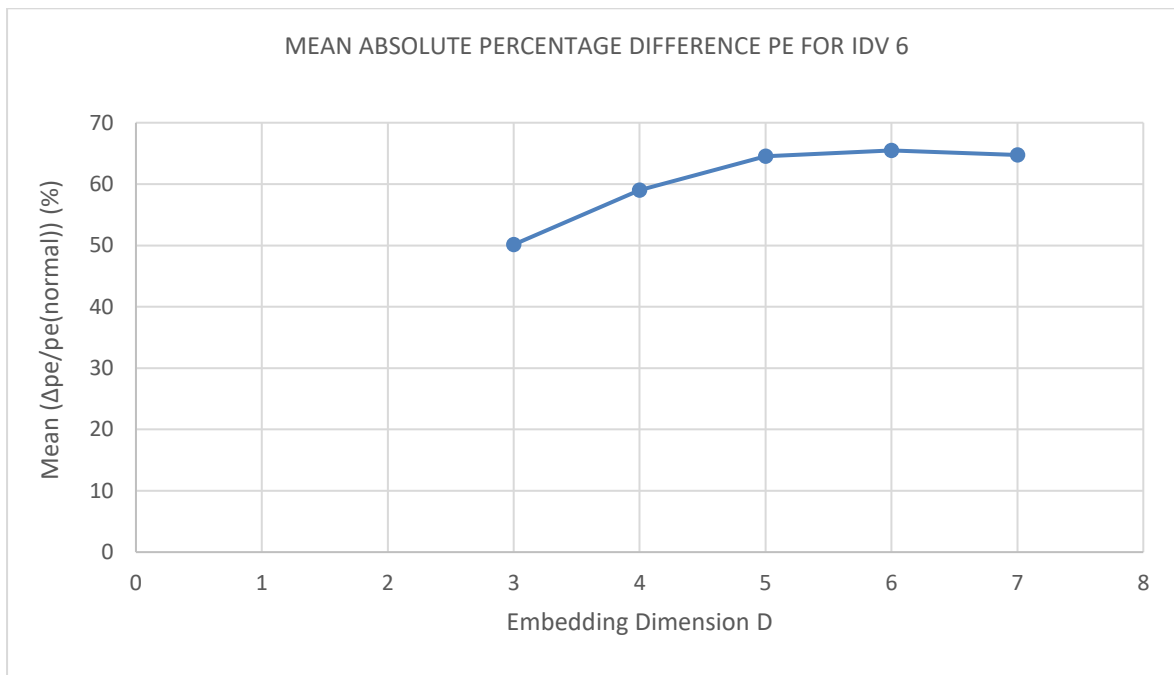
Έτσι, με την εφαρμογή του κώδικα 2 του παραρτήματος στο Matlab (ο οποίος χρησιμοποιεί τον κώδικα 1) για κάθε D από 3 έως 7, προέκυψαν η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση για κάθε μία διαταραχή IDV 1-28 για καθένα από αυτά τα πέντε διαφορετικά D. Τα αποτελέσματα αυτά φαίνονται στον πίνακα 8 και στα σχήματα 5.1-5.7 και 6.1-6.7 που τον απεικονίζουν.

Πίνακας 8: Μέση τιμή και Τυπική Απόκλιση απόλυτων ποσοστιαίων διαφορών PE για D= 3-7 και IDV 1-28

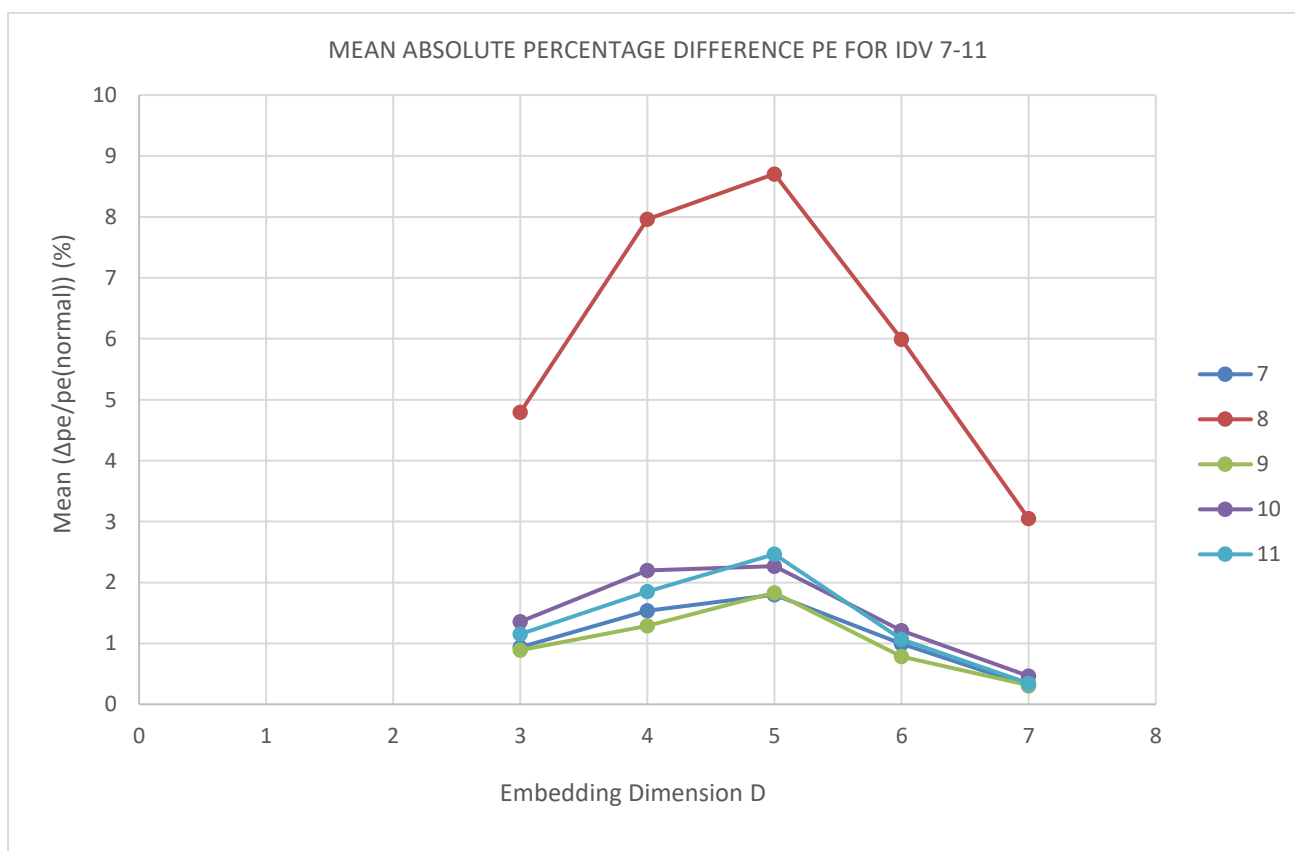
MEAN (%)																												
D\IDV	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
3	2.79	1.39	0.84	1.01	0.98	50.1	0.94	4.79	0.89	1.355	1.15	1.14	11.8	0.86	0.77	0	2.31	2.2	0.81	4.31	0.95	0.91	0.98	1.63	1.18	1.29	0.99	1
4	4.85	1.93	1.13	1.37	1.54	59	1.53	7.96	1.29	2.198	1.85	1.69	17.9	1.19	1.38	0	3.29	2.88	1.5	6.59	1.61	1.41	1.47	2.67	1.91	2.12	1.39	1.49
5	6.43	2.85	1.21	1.81	1.96	64.5	1.8	8.7	1.83	2.268	2.46	1.83	19.7	1.61	1.58	0	3.43	3.19	1.62	7.01	2.02	1.77	1.66	2.96	2.02	2.23	1.64	1.97
6	5.55	1.65	0.77	0.83	0.82	65.5	1	5.99	0.79	1.211	1.07	1.05	16.3	0.83	0.92	0	2.16	1.95	0.84	4.55	0.93	0.95	0.96	1.62	1.07	1.17	0.81	0.94
7	3.97	0.75	0.3	0.33	0.35	64.7	0.31	3.05	0.31	0.465	0.35	0.37	11.8	0.38	0.36	0	0.85	1.4	0.4	1.91	0.38	0.36	0.32	0.68	0.33	0.38	0.32	0.33
STD (%)																												
D\IDV	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
3	3.64	1.67	0.81	1.31	0.79	34.6	1.17	5.17	0.84	2.953	1.24	1.18	12.7	0.68	0.93	0	6.13	7.74	0.65	6.49	0.93	0.79	0.99	2.4	1.14	1.23	0.81	0.9
4	6.31	2.49	1.11	1.36	1.01	29.3	1.56	7.69	1.13	4.242	1.9	1.45	16.8	0.91	1.07	0	7.45	8.56	0.98	8.77	1.18	0.99	1.31	3.75	2.01	1.98	1	1.16
5	7.53	2.96	1.02	1.47	1.19	24.8	1.55	8.32	1.36	3.804	1.89	1.53	17.7	1.19	1.19	0	7.32	8.76	1.31	9.14	1.55	1.42	1.29	3.68	1.79	1.95	1.43	1.51
6	7.08	2.55	0.66	0.66	0.68	23.2	0.67	6.47	0.54	2.369	0.67	0.7	16.3	0.7	0.67	0	5.2	8.23	0.71	6.6	0.65	0.81	0.8	2.4	0.95	1.19	0.65	0.76
7	5.78	1.8	0.25	0.28	0.32	23	0.3	4.26	0.29	1.013	0.33	0.29	13.5	0.38	0.3	0	2.45	6.99	0.34	3.18	0.27	0.35	0.26	0.93	0.31	0.5	0.34	0.31



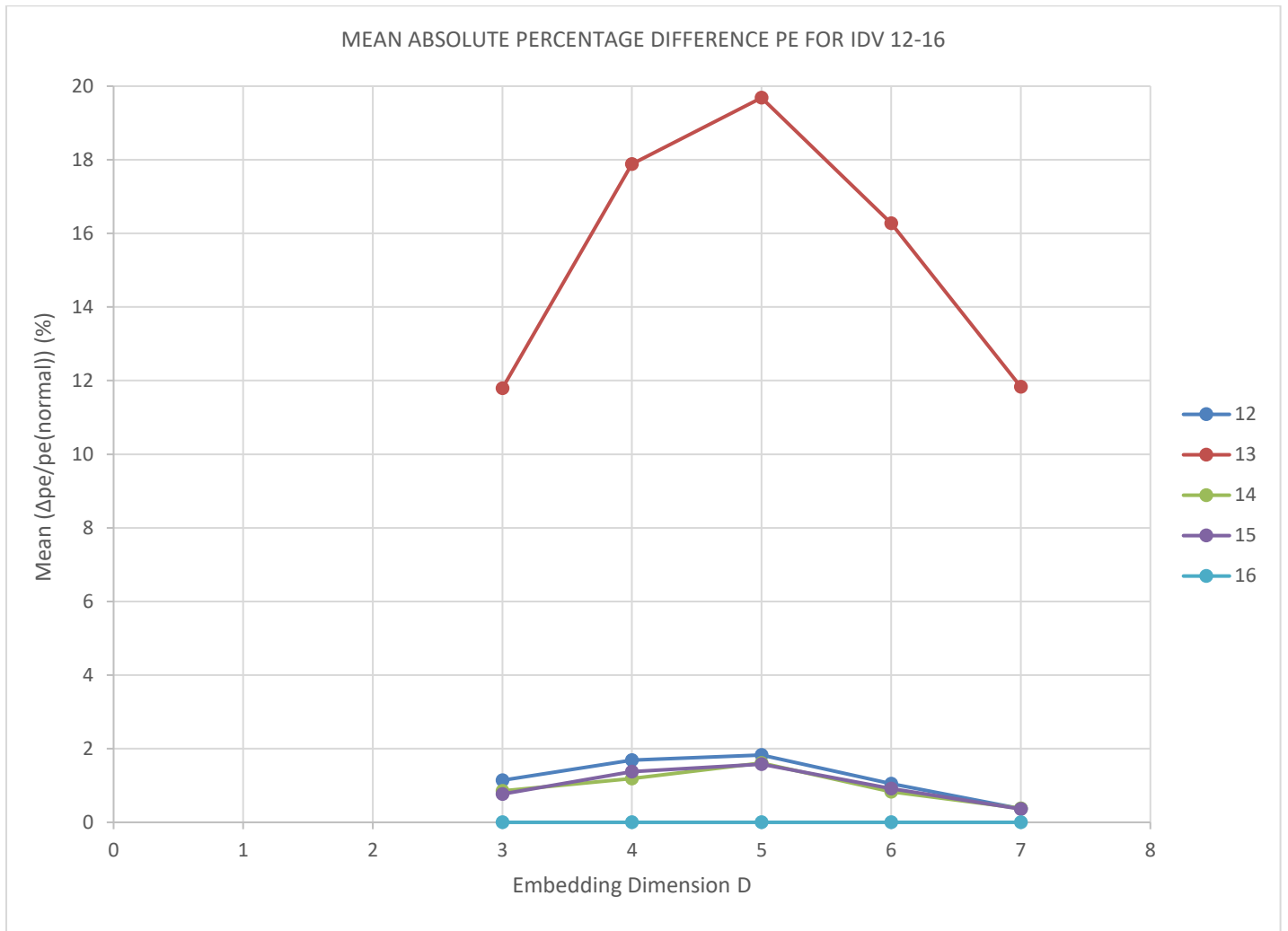
Σχήμα 5.1: Μέσες απόλυτες ποσοστιαίες διαφορές PE για D=3-7 για IDV 1-5



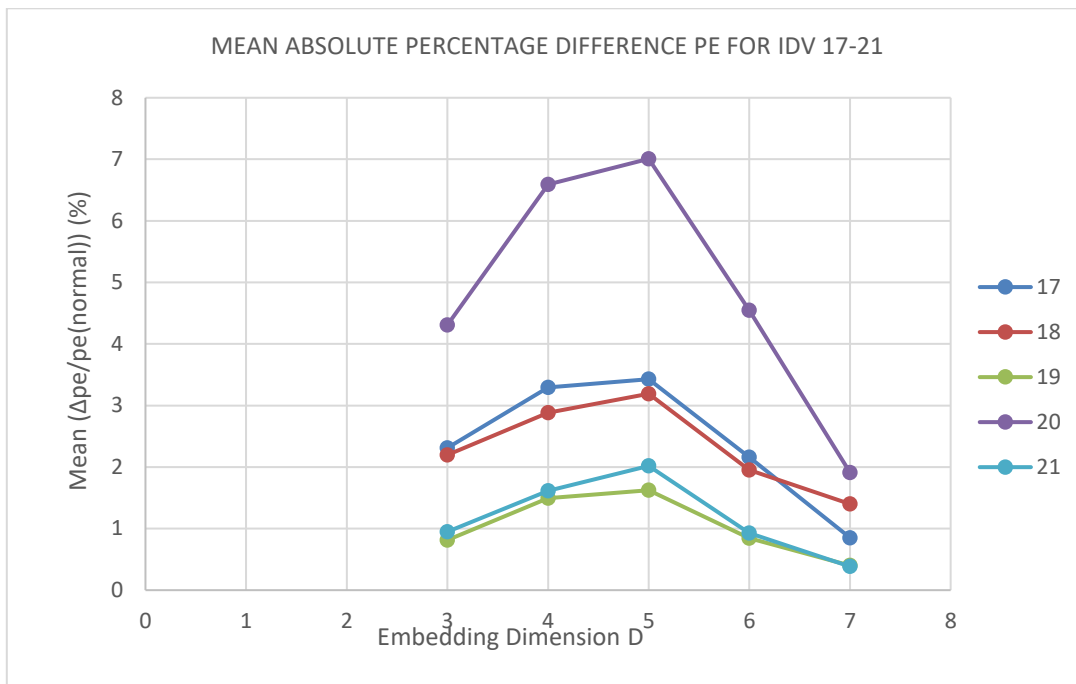
Σχήμα 5.2: Μέσες απόλυτες ποσοστιαίες διαφορές PE για D=3-7 για IDV 6



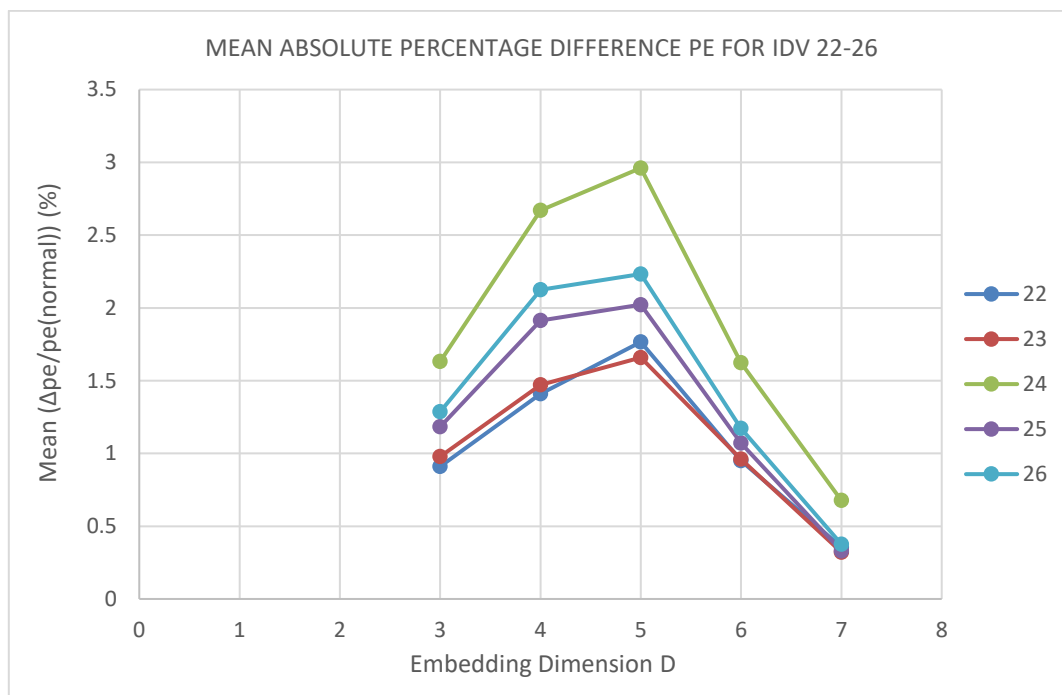
Σχήμα 5.3: Μέσες απόλυτες ποσοστιαίες διαφορές PE για D=3-7 για IDV 7-11



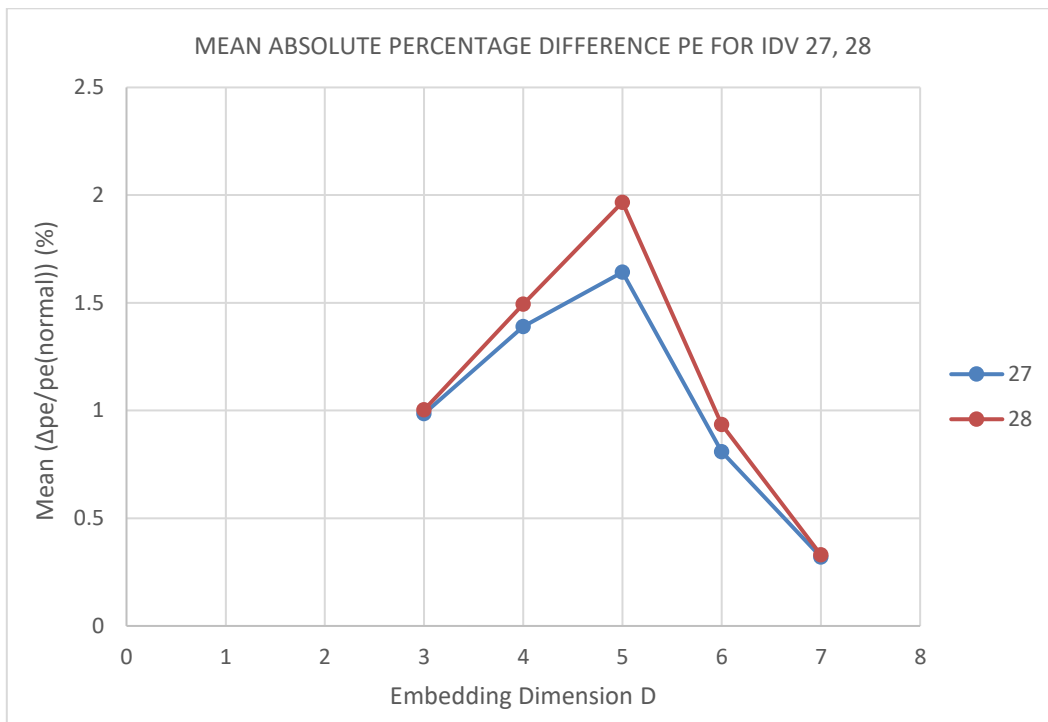
Σχήμα 5.4: Μέσες απόλυτες ποσοστιαίες διαφορές PE για D=3-7 για IDV 12-16



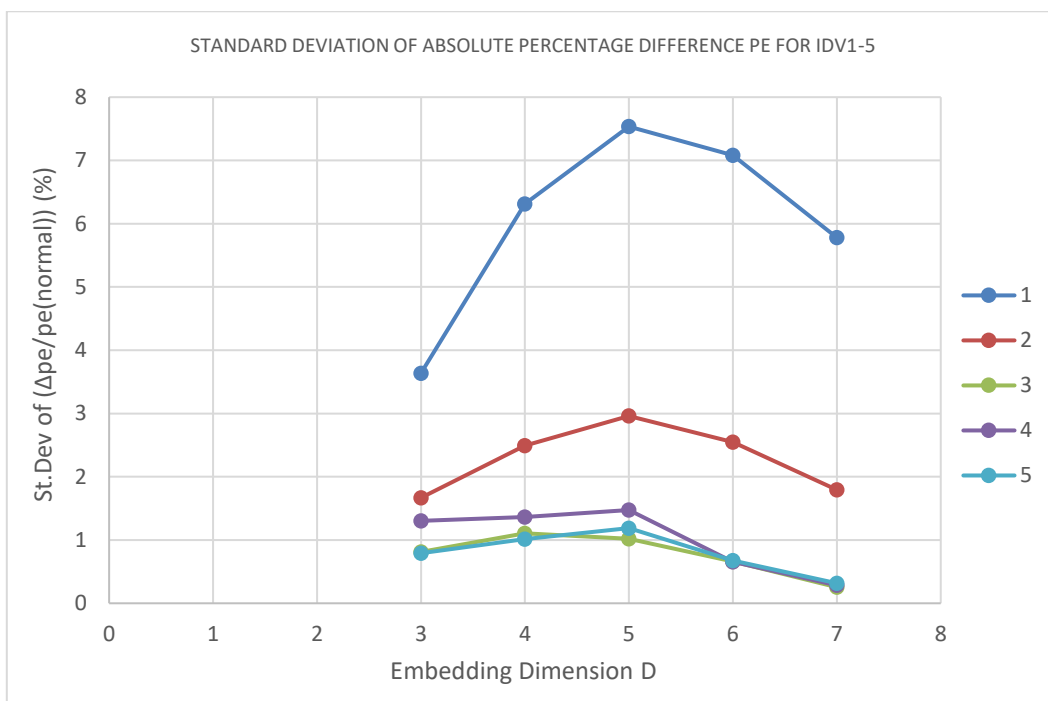
Σχήμα 5.5: Μέσες απόλυτες ποσοστιαίες διαφορές PE για D=3-7 για IDV 17-21



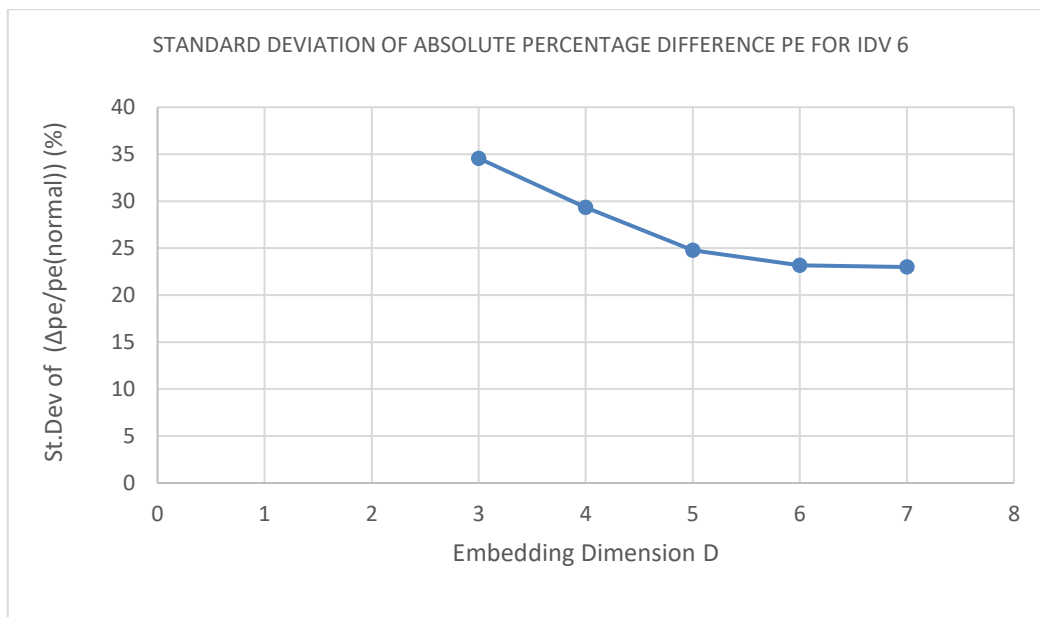
Σχήμα 5.6: Μέσες απόλυτες ποσοστιαίες διαφορές PE για D=3-7 για IDV 22-26



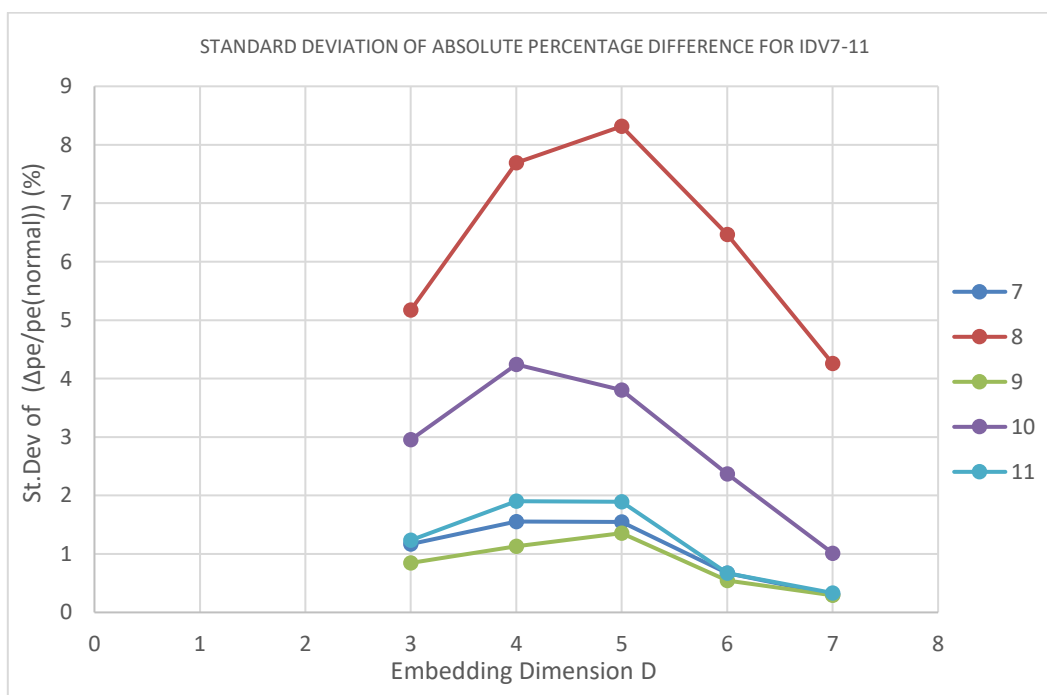
Σχήμα 5.7: Μέσες απόλυτες ποσοστιαίες διαφορές PE για D=3-7 για IDV 27-28



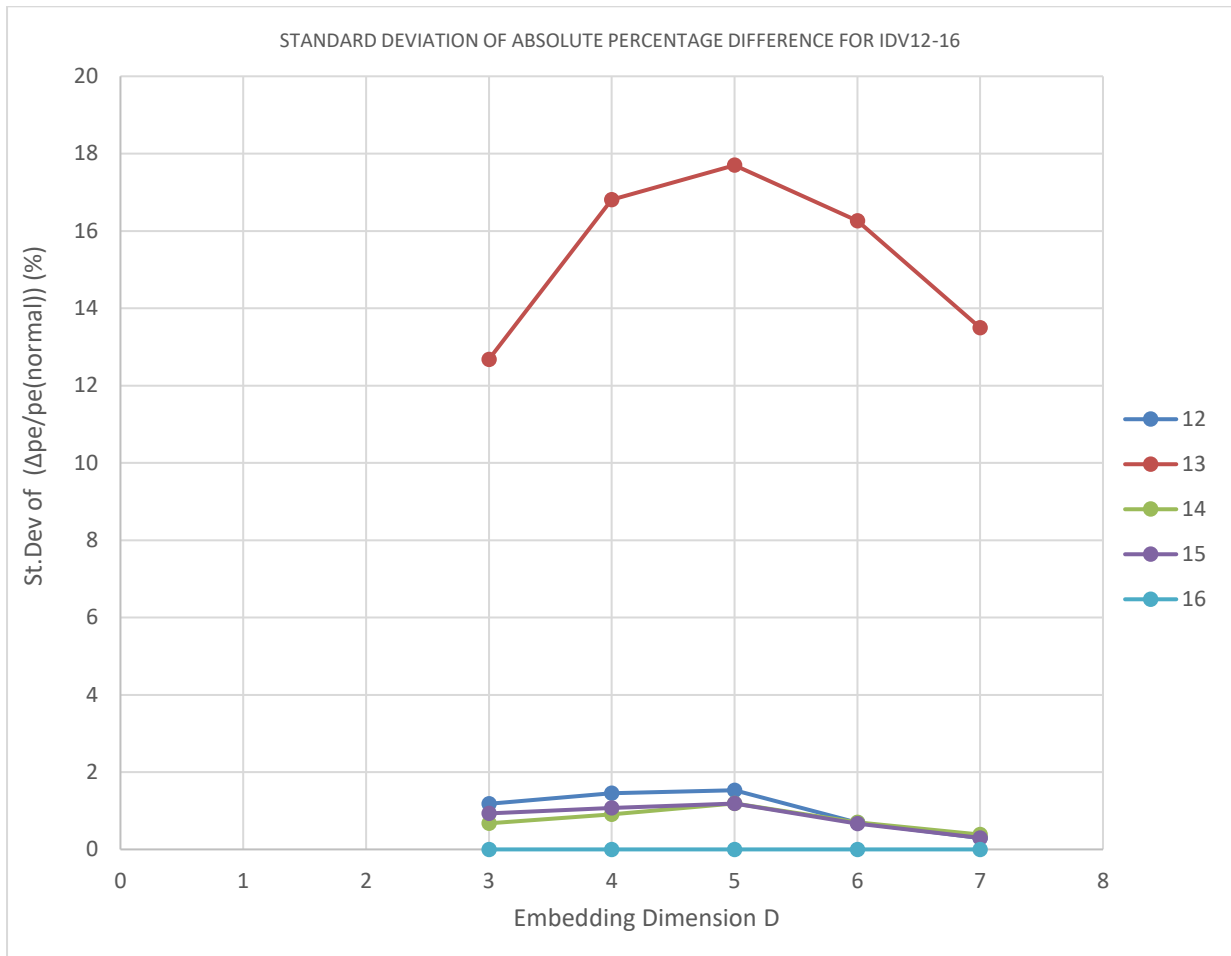
Σχήμα 6.1: Τυπικές αποκλίσεις απόλυτων ποσοστιαίων διαφορών PE για D=3-7 για IDV 1-



Σχήμα 6.2: Τυπικές αποκλίσεις απόλυτων ποσοστιαίων διαφορών PE για D=3-7 για IDV 6

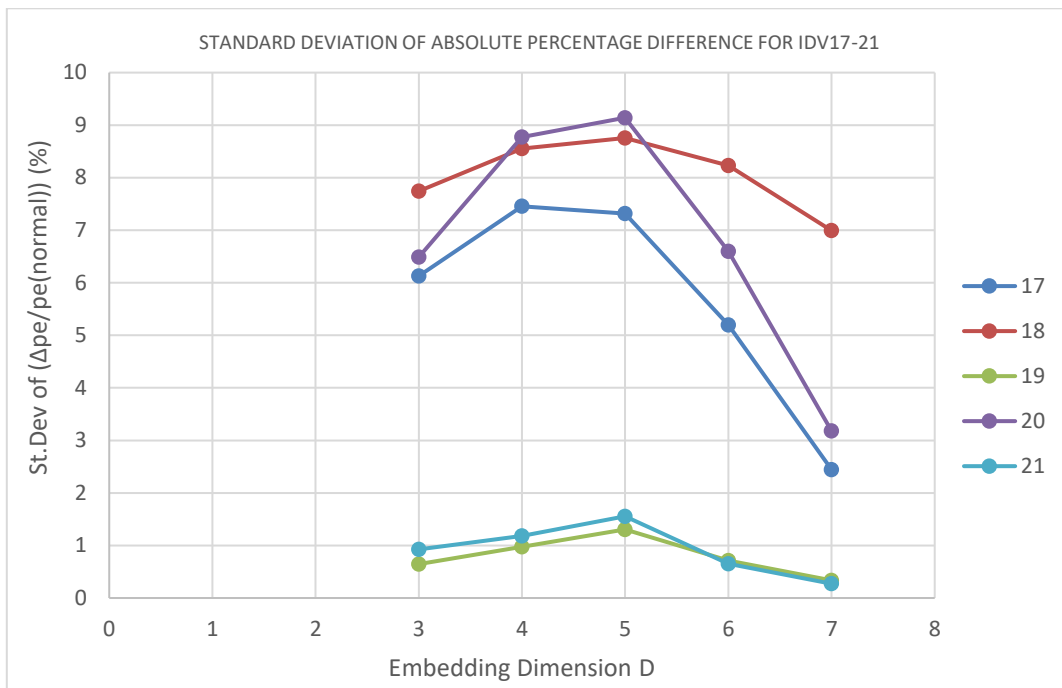


Σχήμα 6.3: Τυπικές αποκλίσεις απόλυτων ποσοστιαίων διαφορών PE για D=3-7 για IDV 7-

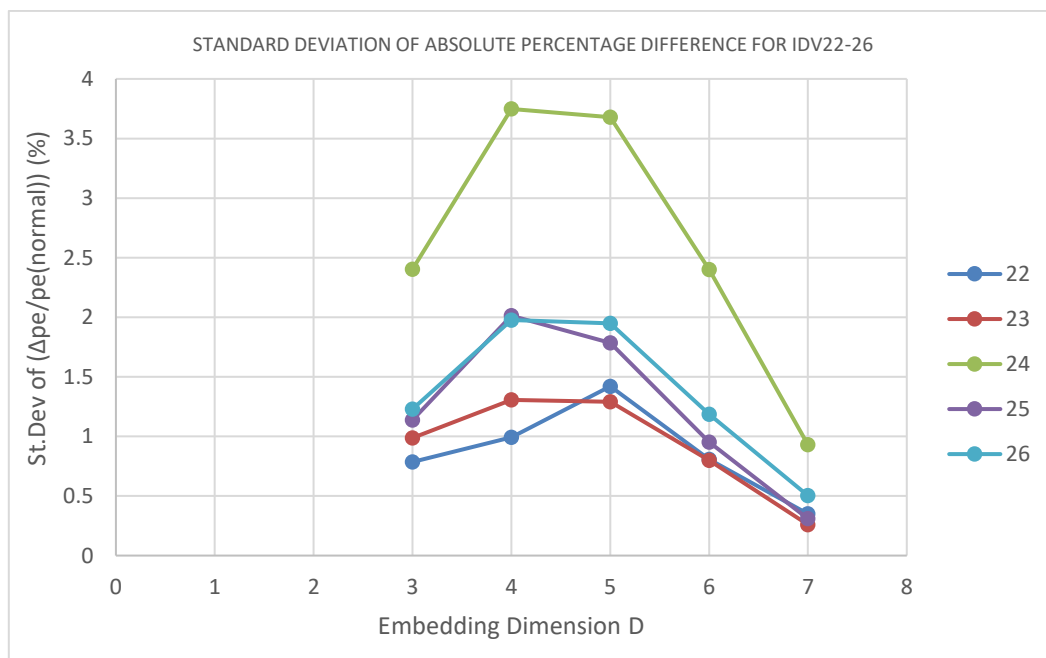


Σχήμα 6.4: Τυπικές αποκλίσεις απόλυτων ποσοστιαίων διαφορών PE για D=3-7 για IDV

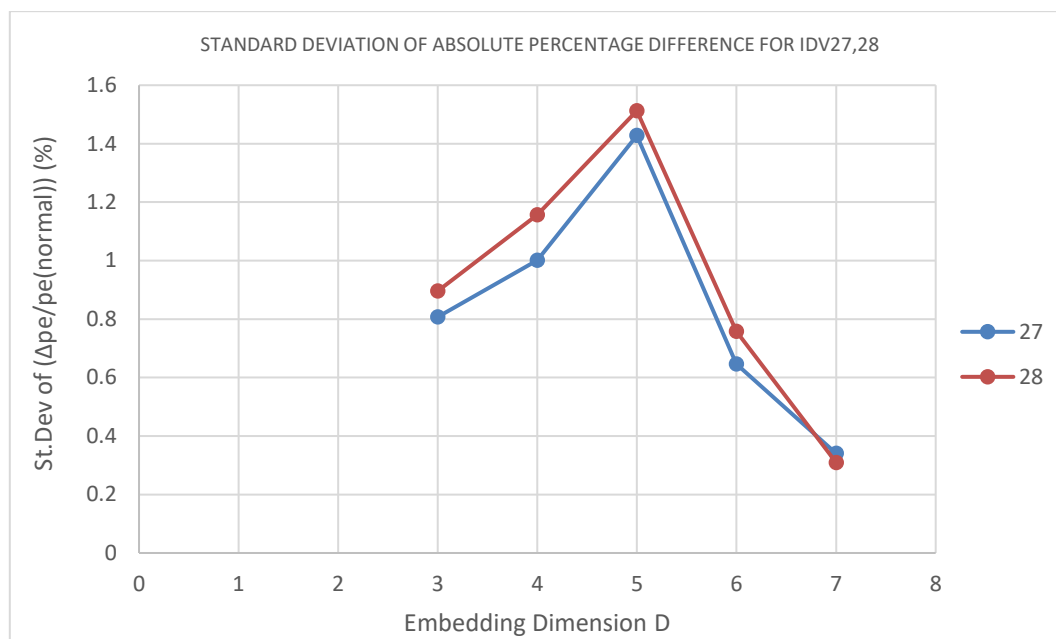
12-16



Σχήμα 6.5: Τυπικές αποκλίσεις απόλυτων ποσοστιαίων διαφορών PE για D=3-7 για IDV
17-21



Σχήμα 6.6: Τυπικές αποκλίσεις απόλυτων ποσοστιαίων διαφορών PE για D=3-7 για IDV
22-26



Σχήμα 6.7: Τυπικές αποκλίσεις απόλυτων ποσοστιαίων διαφορών PE για D=3-7 για IDV

27-28

Παρατηρώντας τα παραπάνω σχήματα, πρέπει να σημειωθεί ότι εξαιρείται από την μελέτη η τυχαία διαταραχή IDV16, καθώς φαίνεται να ταυτίζεται με την κανονική κατάσταση, αφού οι διαφορές PE είναι συνεχώς μηδενικές. Για τον λόγο αυτό απεικονίζεται στους πίνακες και τα σχήματα που ακολουθούν με κόκκινο χρώμα.

Επομένως, από τα παραπάνω σχήματα παρατηρείται ότι η διάσταση μοτίβου 5 αριθμών αποτελεί την βέλτιστη επιλογή, καθώς ικανοποιεί τα κριτήρια που τέθηκαν στον ικανοποιητικότερο βαθμό. Συγκεκριμένα, παρέχει:

- την μέγιστη μέση τιμή των ποσοστιαίων απόλυτων διαφορών των PE των μεταβλητών συγκριτικά με την κανονική τους κατάσταση για κάθε διαταραχή ανεξαιρέτως (βλέπε σχήματα 5.1-5.7)
- την μέγιστη τυπική απόκλιση των ποσοστών απόλυτης διαφοράς PE των μεταβλητών συγκριτικά με την κανονική τους κατάσταση για την συντριπτική πλειοψηφία των διαταραχών (18 εκ των 28). Επίσης, η τυπική απόκλισή της για τις υπόλοιπες 9 εκ των 10 διαταραχών (IDV 3, 7, 10, 11, 17, 23, 24, 25 και 26) είναι αμελητέα μικρότερη της D=4 (με μέση διαφορά ~0.11%). Μόνον μία εκ των υπολοίπων 10 διαταραχών, συγκεκριμένα η IDV6, παρουσιάζει μη αμελητέα διαφορά υπέρ της D=4 (~4.6%). Αυτή η διαταραχή, όμως, αποτελεί μία ειδική και όχι συνηθισμένη περίπτωση, καθώς όταν επιδρά, υπάρχει υπέρβαση της επιτρεπόμενης πίεσης του αντιδραστήρα (3000 kPa) και έτσι η δειγματοληψία σταματά μόλις στα 20 πρώτα δείγματα αντί των 100 που είναι όλα τα υπόλοιπα.

Για τους παραπάνω λόγους, συμπεραίνεται ότι για δεδομένες τις: δειγματοληψία, διάρκεια και χρόνο υστέρησης, η βέλτιστη διάσταση μοτίβου που παρέχει τα κατά το δυνατόν πιο ευδιάκριτα αποτελέσματα είναι ίση με 5.

Όμως, παρά την βέλτιστη επιλογή των παραμέτρων, εφαρμόζοντας μονάχα την κλασική μέθοδο PE, για ορισμένες εκ των 28 διαταραχών που εξετάσθηκαν δεν εμφανίσθηκαν αξιόλογες απόλυτες ποσοστιαίες διαφορές στα PE συγκριτικά με την κανονική κατάσταση σε καμία εκ των 41 μεταβλητών. Διευκρινίζεται ότι αξιόλογες θεωρήθηκαν οι απόλυτες ποσοστιαίες διαφορές PE που είναι μεγαλύτερες ή ίσες του 5 %. Τα παραπάνω συμπεράσματα διεξήχθησαν από τον παρακάτω δυαδικό πίνακα 9, ο οποίος κατασκευάσθηκε χάρη στην τρίτη έξοδο του κώδικα 2, η οποία αποτελεί τον πίνακα των απόλυτων ποσοστιαίων διαφορών PE. Διευκρινίζεται ότι το 0 αντιστοιχεί σε απόλυτη ποσοστιαία διαφορά κατώτερη του 5%, ενώ το 1 σε ανώτερη ή ίση του 5%.

Πίνακας 9: Δυαδικός πίνακας μεθόδου PE για T=0.36 h

VAR. No.\IDV	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0
2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
8	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
10	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1
11	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0
14	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
18	1	1	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0
19	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
22	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
29	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
36	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
37	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
38	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
39	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
41	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SUM	15	5	0	1	0	41	2	22	0	1	2	1	27	0	1	0	3	3	1	12	1	2	1	3	2	4	1	2

Παρατηρείται από τον πίνακα 9 λοιπόν ότι με περίοδο δειγματοληψίας 0.36 h, για τις IDV 3, 5, 9, 14 και προφανώς για την IDV 16 (που ταυτίζεται με την κανονική κατάσταση), η κλασική εφαρμογή της μεθόδου PE δεν είναι ικανή να εντοπίσει αξιόλογες απόλυτες ποσοστιαίες διαφορές συγκριτικά με τη κανονική κατάσταση σε καμία από τις μεταβλητές παρά την βέλτιστη επιλογή των παραμέτρων της.

Στην περίπτωση αύξησης της συχνότητας δειγματοληψίας, συγκεκριμένα για περίοδο δειγματοληψίας ίση με 0.036 h με τις ίδιες επιλεγμένες παραμέτρους και τις ίδιες συνθήκες αξιολόγησης των απόλυτων ποσοστιαίων διαφορών, τα αποτελέσματα ήταν ακόμη πιο δυσμενή. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ήταν πλέον περισσότερες οι διαταραχές των οποίων οι απόλυτες ποσοστιαίες διαφορές PE συγκριτικά με την κανονική κατάσταση όλων

των μεταβλητών ήταν μη αξιόλογες,. Τα παραπάνω συμπεράσματα προέκυψαν από τον παρακάτω δυαδικό πίνακα 10, ο οποίος επίσης κατασκευάστηκε χάρη στην τρίτη έξοδο του κώδικα 2. Διευκρινίζεται ξανά ότι το 0 αντιστοιχεί σε απόλυτη ποσοστιαία διαφορά κατώτερη του 5%, ενώ το 1 σε ανώτερη ή ίση του 5%.

Πίνακας 10: Δυαδικός πίνακας μεθόδου PE για T=0.036 h

VAR.No.\IDV	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	
1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
7	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
9	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
10	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	
11	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
12	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
13	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	
14	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
15	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
16	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	
17	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
18	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
20	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
21	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	
22	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
23	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
27	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
28	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
29	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
30	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
31	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
33	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
34	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
36	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
38	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
SUM	2	0	0	0	0	29	0	8	0	1	7	7	8	2	0	0	5	2	1	8	0	0	1	6	2	1	4	1	

Παρατηρείται από τον πίνακα 10 λοιπόν ότι με περίοδο δειγματοληψίας 0.036 h, για IDV 2, 3, 4, 5, 7, 9, 15, 21, 22 και προφανώς 16, η κλασική εφαρμογή της μεθόδου PE δεν είναι ικανή να εντοπίσει αξιόλογες απόλυτες ποσοστιαίες διαφορές συγκριτικά με τη κανονική κατάσταση σε καμία από τις μεταβλητές παρά την βέλτιστη επιλογή των παραμέτρων της.

Με σκοπό την βελτίωση των αποτελεσμάτων εφαρμόστηκε πρώτα η μείωση της διάστασης της πρωτογενούς πληροφορίας (dimensionality reduction) χάρη στο SAX και

πάνω στο νέο απλουστευμένο σήμα που δημιουργήθηκε εφαρμόστηκε η PE. Σε αυτό το σημείο αξίζει να σημειωθεί ότι πλέον για το PE, η μέθοδος θεώρησης ισότητας σε περίπτωση ύπαρξης δύο ή περισσότερων ίσων αριθμών σε ένα μοτίβο είναι σημαντικότερη γιατί το νέο σήμα που παράγεται από το SAX έχει τόσα πιθανά γράμματα όσα και το μέγεθος της αλφαβήτου που θα ορισθεί, δηλαδή, μεταφράζοντας τα γράμματα σε ακέραιους αριθμούς, έχει λίγες και ακέραιες πιθανές τιμές. Επομένως, έχοντας σημαντική πιθανότητα να συμβεί η ισότητα δύο ή περισσότερων αριθμών στο ίδιο μοτίβο, κρίθηκε απαραίτητη η ίση αντιμετώπισή τους. Επίσης, επιλέχθηκε ξανά χρονική υστέρηση ίση με 1 για να μην χάνεται πληροφορία. Τέλος, αποφασίστηκε η διάρκεια της κάθε προσομοίωσης να είναι και πάλι ίση με 36 ώρες και η περίοδος δειγματοληψίας να είναι ίση με 0.036 ώρες, καθώς επιθυμείται υψίσυχη δειγματοληψία για την παραγωγή του κατά δυνατόν ακριβέστερου νέου σήματος.

Όπως εξηγείται παρακάτω, το μέγεθος της αλφαβήτου "α", ο αριθμός των τμημάτων "n" και η διάσταση μοτίβου "D" επιλέχθηκαν ίσα με 3, 39 και 3 αντίστοιχα, καθώς αυτός είναι ο βέλτιστος συνδυασμός των 3 αυτών παραμέτρων. Συγκεκριμένα, το α = 3 αποτελεί την βέλτιστη τιμή μεταξύ των 3 και 11 (σε αυτό το εύρος συνήθως εφαρμόζεται το SAX, σύμφωνα με το [1]) συνδυαζόμενο με το n = 39, που αποτελεί τον βέλτιστο μεταξύ των 36 και 50 και με τη D = 3, που αποτελεί την βέλτιστη μεταξύ των 3 και 7 (σε αυτό το εύρος συνήθως εφαρμόζεται το PE, σύμφωνα με το [2]). Με άλλα λόγια, ο συνδυασμός (3, 39, 3) αποτέλεσε τον βέλτιστο συγκριτικά με κάθε άλλο πιθανό συνδυασμό των α = 3 έως 11, n = 36 έως 50 και D = 3 έως 7. Εδώ αξίζει να σημειωθεί ότι το 36 επιλέχθηκε ως το κατώτερο όριο, καθώς αποτελεί τον ελάχιστο αποδεκτό αριθμό τμημάτων, γιατί για την περίπτωση D=7 και IDV=6 (όπου λόγω της αύξησης της πίεσης του αντιδραστήρα πάνω από τα επιτρεπτά όρια η λειτουργία διακόπτεται στα 197 δείγματα αντί των 1001), για λιγότερα των 36 δειγμάτων θα έχουμε 7 τμήματα και αναγκαστικά PE ίσο με το μηδέν. Από την άλλη, το 50 επιλέχθηκε ως ανώτερο όριο για λόγους μείωσης του αριθμού των συνδυασμών και κατ'επέκταση του απαιτούμενου χρόνου υπολογισμών από τον υπολογιστή.

Ως κριτήρια βελτιστοποίησης για την διεξαγωγή των παραπάνω συμπερασμάτων επιλέχθηκαν και εδώ τα 2 κριτήρια μέγιστης διακριτότητας. Δηλαδή, τα κριτήρια:

- Μέγιστη μέση τιμή των ποσοστιαίων απόλυτων διαφορών των PE των μεταβλητών συγκριτικά με την κανονική τους κατάσταση για κάθε διαταραχή.
Δηλαδή:

$$\max \left\{ \frac{\sum_{k=1}^{41} |PE(k, IDV, a = 3, n = 36, D = 3) - PE(k, normal, a = 3, n = 36, D = 3)|}{PE(k, normal, a = 3, n = 36, D = 3)}, \dots, \frac{\sum_{k=1}^{41} |PE(k, IDV, a = 11, n = 50, D = 3) - PE(k, normal, a = 11, n = 50, D = 7)|}{PE(k, normal, a = 11, n = 50, D = 7)} \right\}$$

για $IDV = 1, 2, \dots, 28$ (12)

- Μέγιστη τυπική απόκλιση των ποσοστών απόλυτης διαφοράς PE των μεταβλητών συγκριτικά με την κανονική τους κατάσταση για κάθε διαταραχή.
Δηλαδή, συμβολίζοντας ως ΔPE την ποσοστιαία απόλυτη διαφορά για κάθε μεταβλητή, IDV και α ($\Delta PE(k, IDV, a) = \frac{|PE(k, IDV, a, n, D) - PE(k, normal, a, n, D)|}{PE(k, normal, a, n, D)}$) και ως

ΔPE_{μ} την μέση τιμή για κάθε IDV και α ($\Delta PE_{\mu}(IDV, \alpha) = \frac{\sum_{k=1}^{41} |PE(k, IDV, \alpha, n, D) - PE(k, normal, \alpha, n, D)|}{PE(k, normal, \alpha, n, D)}$), το δεύτερο κριτήριο είναι το εξής:

$$\max \left\{ \begin{array}{l} \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{41} |\Delta PE(k, IDV, \alpha = 3, n = 36, D = 3) - \Delta PE_{\mu}(IDV, \alpha = 3, n = 36, D = 3)|^2}{40}} \\ \dots \\ \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{41} |\Delta PE(k, IDV, \alpha = 11, n = 50, D = 7) - \Delta PE_{\mu}(IDV, \alpha = 11, n = 50, D = 7)|^2}{40}} \end{array} \right\}$$

για $IDV = 1, 2, \dots, 28$ (13)

Έτσι, εφαρμόζοντας τον κώδικα 4 του παραρτήματος (ο οποίος χρησιμοποιεί τους κώδικες 1 και 3), προκύπτουν για κάθε μία διαταραχή οι παράμετροι για τις οποίες είναι μέγιστη η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση των απόλυτων ποσοστιαίων διαφορών PE. Τα αποτελέσματα αυτά φαίνονται στον παρακάτω πίνακα 11, ο οποίος αναλύεται στατιστικά μέσω των πινάκων 12 και 13.

Πίνακας 11: Συνδυασμοί α, n, D με μέγιστη μέση και μέγιστη τυπική απόκλιση απόλυτων ποσοστιαίων διαφορών re από την κανονική κατάσταση για κάθε διαταραχή IDV 1-28

MEAN																												
IDVS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
ALPHABET SIZE α	3	3	3	3	3	10	3	3	3	3	3	3	3	3	3	0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
NUMBER OF SEGMENTS n	39	39	46	39	39	40	46	46	39	39	39	46	46	39	39	0	46	39	39	39	39	46	46	46	39	46	46	46
EMBEDDING DIMENSION D	3	3	4	4	3	7	3	4	3	4	3	3	4	4	3	0	3	3	4	3	4	4	3	3	3	3	4	3
STD																												
IDVS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
ALPHABET SIZE α	3	3	5	5	5	3	3	3	5	3	3	3	3	3	3	0	3	3	3	3	3	5	5	3	3	3	3	3
NUMBER OF SEGMENTS n	46	50	37	37	37	46	46	46	41	39	46	46	46	39	46	0	46	39	39	46	50	41	41	46	39	46	46	46
EMBEDDING DIMENSION D	4	3	4	4	4	3	3	4	4	3	3	3	4	3	3	0	3	3	4	3	3	4	4	3	3	3	3	4

Πίνακας 12: Μέτρηση μέγιστων μέσων τιμών και μέγιστων τυπικών αποκλίσεων για κάθε συνδυασμό

ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ	MEAN	STD
(3,39,3)	8	4
(3,39,4)	5	1
(3,46,3)	7	10
(3,46,4)	5	4

Παρατηρούμε από τους πίνακες 11 και 12 ότι οι 2 υποψήφιοι συνδυασμοί για τον βέλτιστο είναι οι (3, 39, 3) και (3, 46, 3). Όμως, δεν μπορεί ακόμη να επιλεγθεί κάποιος εκ των δύο, καθώς ο (3, 39, 3) έχει περισσότερες μέγιστες μέσες τιμές και ο (3, 46, 3) περισσότερες μέγιστες τυπικές αποκλίσεις. Επομένως, για την τελική επιλογή βοηθάει ο Πίνακας 13.

Πίνακας 13: Μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις για τους συνδυασμούς (3, 39, 3) και (3, 46, 3) και οι διαφορές τους από τις αντίστοιχες μέγιστες

IDV	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	
MAX MEAN (%)	52	50	25	26	28	86	31	56	25	31	41	35	53	33	27	0	36	34	37	57	25	28	25	59	33	34	35	26	
MEAN FOR (3,39,3)	52	50	23	26	28	52	23	54	25	30	41	31	50	32	27	0	34	34	36	57	25	27	22	50	33	30	30	24	15 ΚΑΤΩ ΑΠΟ 5%
MEAN FOR (3,46,3)	51	32	24	15	22	56	31	56	16	25	38	35	52	29	26	0	36	27	29	56	13	26	25	59	28	34	35	26	9 ΚΑΤΩ ΑΠΟ 5%
																													AVERAGE MEAN DIF (%)
DIF MEANMAX-MEAN FOR (3,39,3)	0	0	2.1	0.3	0	34	7.5	2.6	0	0.4	0	4.1	3	0.6	0	0	2.1	0	1.4	0	0.1	1.2	3.2	8.8	0	4.2	5.4	1.5	4.56590604
DIF MEANMAX-MEAN FOR (3,46,3)	0.3	18	1	11	6.2	30	0	0.8	9.6	5.4	3.1	0	1.4	3.7	0.8	0	0	7.3	8	1	12	1.5	0	0	5.1	0	0.6	0	6.364581045
MAX STD (%)	75	70	40	41	40	66	58	125	43	57	85	73	116	37	33	0	85	61	68	118	31	44	36	123	65	58	68	39	
STD FOR (3,39,3)	60	68	29	26	30	53	34	103	28	57	72	33	100	37	31	0	49	61	65	101	30	33	26	108	65	35	60	26	5 ΚΑΤΩ ΑΠΟ 5%
STD FOR (3,46,3)	70	31	28	16	25	66	58	121	17	47	85	73	110	30	33	0	85	37	46	118	18	39	28	123	38	58	68	38	4 ΚΑΤΩ ΑΠΟ 5%
																													AVERAGE STD DIF (%)
DIF STDMAX-STD FOR (3,39,3)	15	2.4	11	15	10	13	24	22	14	0	12	40	16	0	2.2	0	36	0	3.6	16	1.5	11	10	15	0	23	7.7	13	14.51959797
DIF STDMAX-STD FOR (3,46,3)	5.4	40	11	26	16	0	0	3.4	26	9.8	0	0	5.8	6.4	0	0	0	25	22	0	13	4.4	7.4	0	28	0	0	0.6	13.81254346

Από τον πίνακα 13 παρατηρείται ότι ο συνδυασμός (3, 39, 3) παρουσιάζει αμελητέα διαφορά (< 5 %) με την μέγιστη μέση τιμή σε 15 διαταραχές (εξαιρούμενων των διαταραχών που οι μέσες τιμές του είναι οι μέγιστες), ενώ ο (3, 46, 3) σε 9. Ομοίως, ο (3, 39, 3) παρουσιάζει αμελητέα διαφορά (< 5 %) με την μέγιστη τυπική απόκλιση σε 5 διαταραχές (εκτός των διαταραχών που οι τυπικές αποκλίσεις του είναι μέγιστες), ενώ ο (3, 46, 3) σε 4. Επίσης, ο μέσος όρος των διαφορών των μέσων τιμών για τον (3, 39, 3) που δεν είναι μέγιστες με την μέγιστη μέση τιμή είναι 4.57 %, ενώ αντίστοιχα για τον (3, 46, 3) είναι 6.36 %. Τέλος, ο μέσος όρος των διαφορών των τυπικών αποκλίσεων για τον (3, 39, 3) που δεν είναι μέγιστες με την μέγιστη τυπική απόκλιση είναι 14.52 %, ενώ αντίστοιχα για τον (3, 46, 3) είναι 13.81 %, δηλαδή είναι περίπου ίσα.

Χάρη στις παραπάνω παρατηρήσεις που προσέφερε ο πίνακας 13, διεξήχθη το συμπέρασμα ότι ο βέλτιστος συνδυασμός είναι αυτός με μέγεθος αλφαβήτου ίσο με 3, αριθμό τμημάτων ίσο με 39 και διάσταση μοτίβου ίση με 3.

Αφού λοιπόν καθορίστηκαν όλες οι απαραίτητες παράμετροι για τις δύο μεθόδους, παρατηρείται από τον πίνακα 14 (ο οποίος κατασκευάστηκε από την έκτη έξοδο του κώδικα 4) ότι τα αποτελέσματα ήταν με διαφορά ικανοποιητικότερα, καθώς πλέον για κάθε διαταραχή (με εξαίρεση την IDV16) που εξετάστηκε εμφανίστηκαν αξιολογες απόλυτες ποσοστιαίες διαφορές στα PE συγκριτικά με την κανονική κατάσταση σε πολλές εκ των 41 μεταβλητών. Ομοίως, αξιολογες θεωρήθηκαν οι απόλυτες ποσοστιαίες διαφορές PE που είναι μεγαλύτερες ή ίσες του 5%. Επομένως, συμπεραίνεται ότι η εφαρμογή του συνδυασμού των μεθόδων SAX και PE είναι με διαφορά καταλληλότερη από την εφαρμογή της μεθόδου PE.

Πίνακας 14: Διαδικός πίνακας μεθόδων SAX και PE για T=0.036 h

VAR No.\IDV	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1
3	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1
5	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
7	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1
8	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0
9	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1
10	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	0
11	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
12	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0
13	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	1
14	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1
15	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
16	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1
17	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0	0
18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
19	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1
20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
21	1	1	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0
22	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
23	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1
24	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
25	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
26	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1
27	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1
28	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1
29	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1
30	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
31	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
32	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
33	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
34	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1
35	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1
36	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1
37	0	0	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0
38	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1
39	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
40	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1
41	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
SUM	38	37	29	35	36	40	27	32	28	25	36	35	33	32	35	0	34	29	37	33	34	34	29	32	30	31	32	35

3.3 Αποτελέσματα και σύγκρισή τους με τις θεωρητικές εκτιμήσεις

Οι ποσοστιαίες διαφορές PE για κάθε μεταβλητή συγκριτικά με την κανονική της κατάσταση για κάθε διαταραχή με τις βέλτιστες παραμέτρους που υπολογίστηκαν προηγουμένως φαίνονται στον πίνακα 15, ο οποίος αποτελεί το μέρος της εβδομης εξόδου του κώδικα 4 του παραρτήματος για τις παραμέτρους αυτές. Σε αυτό το σημείο, αξίζει να διευκρινισθεί ότι η ποσοστιαία διαφορά -100% σημαίνει μηδενικό διαταραγμένο PE και μη μηδενικό PE κανονικής κατάστασης. Επομένως, δεν σημαίνει πάντοτε μεγάλη διαφορά μεταξύ δύο σημάτων. Συνεπώς, αν και αποτελούν υψηλό ποσοστό κατ' απόλυτη τιμή, στους

παρακάτω σχολιασμούς δεν δίνεται έμφαση στα αποτελέσματα ίσα με -100%, καθώς αποτελούν αβέβαια στοιχεία.

Πίνακας 15: Πίνακας αποτελεσμάτων συνδυασμού μεθόδων SAX και PE

VAR No. \ IDV	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
1	-33	8	22	9	16	-74	11	-9.1	18	21	12	-3.5	-12	29	12	0	14	9.8	12	18	8.9	20	17	30	28	18	25	12
2	-23	-19	1.4	-3.6	-78	-35	-2.2	14	-37	4.6	-37	-55	-7.5	5	-73	0	-15	-16	-2.1	-14	0.8	-43	-52	33	-29	-78	-78	-15
3	-1.1	30	-10	20	5.9	-12	22	-1.1	-3.1	2.7	40	11	21	1.9	-10	0	-61	34	32	21	37	-9.5	7.9	17	49	-41	29	47
4	209	250	0	68	33	197	0	269	66	164	0	98	250	-100	68	0	164	98	33	206	88	-33	68	68	0	122	0	68
5	-41	-16	-39	-56	-71	-31	-30	4	-49	-30	-39	-39	5.9	-100	-100	0	-38	-54	-61	44	-54	-34	-61	-1.7	-54	-44	-61	-61
6	-11	5.3	-63	-63	-100	-18	-48	24	-20	-27	-45	-100	36	-100	-45	0	0	-9.2	-53	73	-22	-27	-13	24	-57	-1.1	-72	-39
7	-61	-24	-21	-6.9	-8.4	-53	-53	5.7	3.7	-2	-5.4	-30	-16	-4.3	-6.4	0	-5.2	-52	-11	3.3	-11	2.2	-21	1.4	-12	3.4	4.2	-7.8
8	68	-50	-100	-50	-100	18	0	137	-100	0	0	12	170	-100	-100	0	-83	-50	-50	215	-100	12	0	123	33	-100	-50	0
9	185	-66	0	-66	-100	235	-100	418	55	98	343	98	442	-100	98	0	223	-100	120	335	-100	-100	0	492	0	-100	386	-100
10	-51	-48	0.8	0.6	8.8	-50	-24	-6.5	4	0.1	8.4	5.6	-35	10	4.4	0	11	-2	3.1	10	12	9.1	6.6	5.1	2	7.8	3.1	3
11	-37	-51	-0.3	21	-19	-32	1.8	-19	-1.4	32	24	7	-0.8	19	6.2	0	36	-0.3	16	42	6.7	13	-2.5	42	36	33	17	11
12	229	346	-100	68	66	173	164	425	0	303	312	122	362	-100	0	0	164	358	405	525	33	0	0	505	399	128	0	0
13	-53	-29	-36	-5.7	-23	-54	-66	4.1	-1.9	1.2	-3.8	-28	-17	-2.8	-10	0	-11	-53	-10	-4.1	-16	1	-24	-5.9	-7.5	-0.8	-4.4	-14
14	2.3	16	-100	-37	5.7	-0.7	-4.7	58	-66	28	-4.5	-19	32	-44	-66	0	-55	-12	-12	109	1.3	10	-66	107	-3.4	-66	23	-55
15	-28	-1.9	-28	-44	-34	-16	-24	16	-53	15	41	-29	-7.8	-28	-12	0	-18	4.7	22	64	-16	-61	-34	35	15	-0.4	-37	-24
16	-63	-41	-21	-12	-22	-55	-59	-0.2	-0.8	-0.1	-8.1	-29	-11	-3.9	-13	0	-12	-54	-12	-7.9	-15	0.6	-25	-1.5	-13	0.5	-2.9	-13
17	252	167	-100	-100	-100	197	-100	266	98	-100	-100	98	267	120	-100	0	0	-100	68	0	98	164	-100	0	-100	0	0	0
18	-39	-73	17	15	26	-30	-24	-17	14	50	21	22	6.2	45	33	0	38	14	31	56	18	30	-25	46	38	44	28	16
19	-100	152	0	-100	0	-100	0	0	-100	-100	164	-100	0	0	33	0	98	0	-100	0	-100	-100	98	0	-100	33	0	-100
20	-21	-33	44	45	28	-7.2	6.3	40	43	0	43	43	34	42	64	0	41	14	52	95	37	29	0.8	52	73	53	43	33
21	-41	-23	0.7	-2.4	-1.9	-46	-16	1.9	9	-13	-45	-52	-21	-100	8.5	0	20	-26	-14	3.8	-2.1	13	-5.6	23	-9.7	16	-15	-1.1
22	-6.8	-56	31	26	-5.9	15	6.7	42	39	93	76	51	45	18	23	0	52	146	67	146	19	85	44	150	108	92	46	76
23	-44	-5.2	-30	9.9	-2.5	-42	1.1	-19	9.5	-10	-23	8	-35	-8.2	-4	0	-11	-41	-7.4	7.9	-9.5	-1.6	-2.3	-6.8	-1.2	-2.5	6.2	-18
24	-22	-59	-4	5.7	1.1	-38	2.6	3.6	14	11	15	1.2	-7.7	-14	5.8	0	-14	-0	-8.7	27	-16	-33	-2.3	34	-9.4	6.2	21	8.4
25	-44	-23	-6.4	-16	-34	-42	-19	-24	-9.9	-7	-25	-13	-15	-20	3.6	0	-13	-6.3	-19	-9.7	-17	-17	-18	-15	-16	-19	-12	-28
26	-11	21	-18	-19	-52	-36	-0.5	3.7	-5.9	-12	-50	23	8.5	7.9	11	0	2	2	2.8	34	4.1	-16	14	-6.4	-21	-5.8	-19	-59
27	-31	-16	-28	-24	-28	-37	-9	-43	-24	-10	-6.1	-7.1	-27	-31	-8	0	-0.9	-20	-11	1.1	-9	-34	-3.3	-2	-6.9	-29	-35	-11
28	-27	-79	-11	11	-22	-44	-13	-40	-42	-5.3	-5.4	-13	-24	-17	-1.2	0	-9.8	2.7	-27	15	-2.2	-13	-17	4.8	-3.8	9.8	-32	-23
29	-52	-4.4	-6.6	-4.6	-16	-44	-1.9	-22	-3	-10	-17	-14	-34	-6.2	-12	0	-20	-16	-20	-7.6	11	0.6	-5	-11	-33	-12	-11	-9.9
30	-19	-75	-15	16	15	-6.9	1.2	8.8	11	-2.2	25	24	-2.3	15	15	0	19	15	9.5	35	6.7	19	18	31	24	21	14	-10
31	-39	13	14	0.7	-11	-41	0.2	-22	0.6	2.7	-3.1	-4.9	-1.3	2.7	9.7	0	7.8	-2.6	17	8.8	-2.8	-18	-14	15	-5.9	-7	-5.9	9.8
32	32	42	18	31	-0.1	-9.4	-19	40	-2.7	9.4	24	13	24	-29	11	0	17	-29	-15	17	42	-15	14	25	24	20	32	6.4
33	-35	-15	-10	-7.3	-8.1	-32	-15	-42	19	-22	9	-1.7	-8.9	-2.6	4.3	0	-42	-7.3	10	11	-8	19	-42	5.8	3.2	-32	-9.6	-13
34	-56	-79	4.8	5.4	-22	-44	-20	-39	-23	-4.9	16	1	-21	-12	-8.3	0	-11	-4.6	-24	19	-2.4	-6.5	-5.3	-4.1	6	1.6	-11	-10
35	-48	-15	-16	11	19	-35	-5.2	-30	-3	0	-9.9	12	-2.2	-0.4	13	0	3.2	4.6	19	32	11	12	1.6	35	-2.2	14	-5.7	14
36	-31	-10	5.3	-44	19	-37	11	-9.7	-23	0.3	-8.8	-7.8	8.3	-23	-11	0	12	-9.6	-43	43	-13	-15	0	26	-0.1	21	-12	-17
37	-4.2	-4.7	7.7	-5.5	-5.3	-51	1.1	-5.5	1.2	-1.8	-6	-9.2	3.1	-15	-15	0	-0.2	-6.6	-3.8	3.9	-15	-6.9	-0.3	3.6	-5.5	-4.1	-6.8	-0.1
38	-34	-23	-0.2	-1.7	12	-44	-34	-43	15	14	7.9	0.9	-20	9.4	13	0	8.4	-7.2	9.8	20	-5.4	4.1	19	5.8	13	0.9	19	8.4
39	9.1	-22	16	21	6.7	-37	20	-11	26	25	31	11	-11	18	28	0	38	29	17	32	28	38	11	17	29	23	28	20
40	16	4.4	4	11	-11	-46	5.7	-0.5	3.6	4.1	9.2	15	1.3	6.6	7.1	0	-0.5	-4.3	7.9	2	19	12	-15	20	0.8	8.4	-1.6	7.4
41	7.9	25	2.5	9.4	23	-33	2.5	15	18	4.5	18	28	-2.9	20	31	0	5.2	-0.9	15	26	15	9	13	12	0.9	16	25	18

Προκειμένου να αξιολογηθούν τα αποτελέσματα του συνδυασμού των SAX και PE, έγινε μία θεωρητική εκτίμηση των μεταβλητών που αναμένονται να επηρεαστούν έντονα από κάθε μία διαταραχή που μπορεί να υπάρξει στην χημική διεργασία. Έτσι, παρακάτω αναφέρονται και αιτιολογούνται αναλυτικά οι μεταβλητές που πιστεύεται ότι θα έχουν έντονη μεταβολή στο σήμα τους συγκριτικά με την κανονική τους κατάσταση για κάθε μία από τις 28 διαταραχές και συγκρίνονται με τα αποτελέσματα του παραπάνω πίνακα.

ΒΗΜΑΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΡΑΧΕΣ

IDV 1 (βηματική διαταραχή κλάσματος τροφοδότησης A/C, σύνθεση στο B σταθερή, σωλήνας 4)

Στην IDV1 αναμένεται να επηρεαστούν έντονα οι παρακάτω μεταβλητές:

- Παροχή του A και C στον σωλήνα 4 (μεταβλητή 4)

Εφόσον αλλάξει βηματικά το κλάσμα τροφοδότησης A/C στον σωλήνα 4, διατηρώντας τη σύνθεση στο B σταθερή (0.5 %), αναμένεται να επηρεαστεί έντονα η μεταβλητή 4 (παροχή του A και C στον σωλήνα 4), καθώς η αρχική (κανονική) του κατάσταση αποτελείται από A κατά 48.5% και C κατά 51%, ποσοστά που πρόκειται να μεταβληθούν για να αλλάξει βηματικά το κλάσμα τους.

- Παροχή ατμού μετά τον stripper (μεταβλητή 19)

Η διεργασία διαχωρισμού στον stripper γίνεται με χρησιμοποιούμενο αέριο το C, του οποίου η παροχή, όπως ειπώθηκε προηγουμένως, αναμένεται να μεταβληθεί από την διαταραχή IDV1. Έτσι, αφού ο ατμός αποτελεί την συνέχεια του αερίου αυτού στην έξοδο του stripper, είναι λογικό η παροχή του (μεταβλητή 19) να επηρεαστεί από αυτήν την μεταβολή.

- Παροχή τροφοδότησης αντιδραστήρα, σωλήνας 6 (μεταβλητή 6)

Εφόσον αναμένεται μεταβολή της παροχής στον σωλήνα 5, κατ' επέκταση, αναμένεται και μεταβολή της παροχής στον σωλήνα 6, αφού ισχύει:

$$Q_6 = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_5 + Q_8 \quad (13)$$

- Στάθμη υγρού stripper (μεταβλητή 15)

Πιστεύεται ότι θα μεταβληθεί και η στάθμη υγρού στον stripper. Αυτή η εκτίμηση προκύπτει από το γεγονός ότι επειδή θα αλλάξει η παροχή του αερίου μέσου που εξατμίζει, τότε θα αλλάξει και η ποσότητα που εξατμίζεται, άρα και η ποσότητα που παραμένει υγρή.

- Πίεση στον stripper (μεταβλητή 16)

Αφού αναμένεται να αλλάξει η παροχή του αερίου, εκτιμάται ότι θα αλλάξει και η πίεση εντός του stripper.

- Θερμοκρασία στον stripper (μεταβλητή 18)

Το ίδιο αναμένεται και για την θερμοκρασία του stripper.

- Παροχή εξόδου στον stripper (μεταβλητή 17)

Μεγάλη αλλαγή εξ αιτίας της IDV1 αναμένεται να υπάρξει και στην παροχή εξόδου του stripper (σωλήνας 11), γιατί εφόσον η παροχή του C μέσω του οποίου εκτελείται η διεργασία μεταβάλλεται, μεταβάλλεται και ο ρυθμός της διεργασίας αυτής. Επομένως, εκτιμάται ότι το σύστημα ελέγχου θα μεταβάλλει την βάνα του σωλήνα 11 (διαχειρίσιμη μεταβλητή XMV 8) σύμφωνα με τον ρυθμό της διεργασίας στον stripper με σκοπό τον έλεγχο της απόκλισης παροχής των προϊόντων.

- Σύσταση A στην είσοδο του αντιδραστήρα (μεταβλητή 23)
- Σύσταση C στην είσοδο του αντιδραστήρα (μεταβλητή 25)
- Σύσταση A στην εκκαθάριση (μεταβλητή 29)
- Σύσταση C στην εκκαθάριση (μεταβλητή 31)

Οι 4 παραπάνω μεταβλητές αναμένονται να επηρεαστούν, εφόσον αλλάζει το κλάσμα της σύστασης των A και C στον σωλήνα 4.

- Σύσταση E στο προϊόν (μεταβλητή 38)

Η σύσταση του E στην έξοδο των προϊόντων αναμένεται να επηρεαστεί, καθώς το E αποτελεί το κύριο συστατικό το οποίο εξατμίζεται χάρη στο αέριο C στον stripper.

Από τα αποτελέσματα παρατηρούνται μεγάλες ποσοστιαίες διαφορές PE στις μεταβλητές 4, 9, 12 και 17, δηλαδή στην τροφοδοσία A και C στον σωλήνα 4, την θερμοκρασία του αντιδραστήρα, την στάθμη του διαχωριστή και την παροχή εξόδου του stripper (σωλήνας 11), αντίστοιχα.

Επομένως, υπάρχει πράγματι μεγάλη ποσοστιαία διαφορά PE στην παροχή A και C του σωλήνα 4 (μεταβλητή 4), όπως και αναμενόταν. Συγκεκριμένα, η διαφορά μεταξύ του PE κατά την IDV1 και του PE κατά την κανονική κατάσταση είναι ίση με το 209% του PE της κανονικής κατάστασης. Με άλλα λόγια, η πολυπλοκότητα του σήματος μετά το SAX κατά την IDV1 είναι 309% (δηλαδή 3.09) φορές μεγαλύτερη από την πολυπλοκότητα του σήματος μετά το SAX στην κανονική κατάσταση. Επίσης, πράγματι μεγάλη ποσοστιαία διαφορά PE στην παροχή εξόδου του stripper στον σωλήνα 11 (μεταβλητή 17), όπως αναμενόταν. Συγκεκριμένα, η διαφορά μεταξύ του PE κατά την IDV1 και του PE κατά την κανονική κατάσταση είναι ίση με το 252% του PE της κανονικής κατάστασης. Δηλαδή, η πολυπλοκότητα του σήματος μετά το SAX κατά την IDV1 είναι 352% (δηλαδή 3.52) φορές μεγαλύτερη από την πολυπλοκότητα του σήματος μετά το SAX στην κανονική κατάσταση.

Επιπροσθέτως, αρκετά μεγάλη ποσοστιαία διαφορά PE κατά απόλυτη τιμή (πραγματική τιμή: -63%) εμφανίζει και η πίεση στον stripper (μεταβλητή 16), όπως περιμέναμε. Συγκεκριμένα, η πολυπλοκότητά της κατά την IDV1 είναι ίση με το 37% της πολυπλοκότητας της κανονικής της κατάστασης. Επίσης, και η θερμοκρασία στον stripper (μεταβλητή 18) εμφανίζει σχετικά μεγάλο αποτέλεσμα κατ' απόλυτη τιμή. Πιο συγκεκριμένα, είναι ίσο με -39.2%, δηλαδή η πολυπλοκότητά του είναι ίση με το 60.8 % αυτής της κανονικής κατάστασης. Τέλος, και οι μεταβλητές 23, 25, 29, 31 και 38 εμφανίζουν ικανοποιητικά μεγάλα αποτελέσματα κατ' απόλυτη τιμή που επιβεβαιώνουν τους φυσικούς κανόνες (-43.6%, -44.5%, -52.1%, -39.1%, -34% αντίστοιχα).

Από την άλλη, οι υπόλοιπες μεταβλητές (19, 6, 15) που αναμενόταν να έχουν ψηλά αποτελέσματα λόγω του έντονου επηρεασμού τους, τελικά δεν είχαν τόσο μεγάλες ποσοστιαίες διαφορές PE όσο οι άλλες. Επομένως, παρά την διαφορετικότητα των σημάτων τους συγκριτικά με αυτών της κανονικής τους κατάστασης, δεν ανιχνεύονται εξίσου εύκολα με τις άλλες από την εφαρμογή της μεθόδου μας. Συγκεκριμένα, όσον αφορά την παροχή ατμού μετά τον stripper (μεταβλητή 19), έχει ποσοστιαία διαφορά PE ίση με -100%, η οποία, όπως προαναφέρθηκε, σημαίνει μηδενικό διαταραγμένο PE και μη μηδενικό PE κανονικής κατάστασης. Επομένως, εφόσον το PE της μεταβλητής 19 της κανονικής κατάστασης είναι ίσο μόνο με 0.5345, η διαφορά στην προκειμένη περίπτωση δεν θεωρείται μεγάλη. Επιπροσθέτως, η παροχή αντιδραστήρα στον σωλήνα 6 (μεταβλητή 6), έχει ποσοστιαία διαφορά PE ίση με -11.3%. Τέλος, η στάθμη του υγρού στον stripper (μεταβλητή 15) έχει ποσοστιαία διαφορά PE -28.5%.

IDV2 (βηματική διαταραχή σύστασης B, A/C σταθερό, σωλήνας 4)

Οι μεταβλητές που εκτιμώνται να επηρεαστούν είναι οι ίδιες με αυτές τις IDV1, με εξαίρεση αυτές που αφορούν τις συστάσεις για τα A και C (23, 25, 29, 31), που στην θέση τους θα μπουν αυτές για τη σύσταση του B (μεταβλητή 24 για είσοδο αντιδραστήρα και 30 για εκκαθάριση). Αυτό γιατί απλώς τώρα διατηρείται σταθερή η αναλογία A/C ($48.5 / 51 = 0.951 = \text{constant}$) και εφαρμόζεται βηματική μεταβολή στην σύσταση στο B στον σωλήνα 4 (που δεν είναι πια σταθερή στο 0.5%). Με άλλα λόγια, η διαταραχή αυτή είναι απλώς η ανάποδη της IDV1. Έτσι, οι μεταβλητές που αναμένονται να αλλάξουν έντονα είναι οι: 4, 6, 15, 16, 17, 18, 19, 38 (ίδιες με IDV1) και οι 24 και 30.

Τα αποτελέσματα είναι αρκετά όμοια με αυτά της IDV1. Αναλυτικότερα, παρατηρούνται μεγάλες ποσοστιαίες διαφορές PE στις μεταβλητές 4, 9, 12, 17, αλλά και 19, δηλαδή στην τροφοδοσία A και C στον σωλήνα 4, την θερμοκρασία του αντιδραστήρα, την στάθμη του διαχωριστή, την παροχή εξόδου του stripper (σωλήνας 11) και την παροχή ατμού μετά τον stripper, αντίστοιχα.

Επομένως, σε αυτή την διαταραχή, η θεωρητική εκτίμηση ταυτίζεται με τα αποτελέσματα της τροφοδοσίας A και C στον σωλήνα 4 (μεταβλητή 4), της παροχής εξόδου του stripper στον σωλήνα 11 (μεταβλητή 17), καθώς και της παροχής ατμού μετά τον stripper (μεταβλητή 19). Συγκεκριμένα, η πολυπλοκότητα του σήματος μετά το SAX κατά την IDV2 είναι 3.5 φορές μεγαλύτερη από την πολυπλοκότητα του σήματος μετά το SAX στην κανονική κατάσταση για την μεταβλητή 4, 2.67 για την 17 και 2.52 για την 19.

Αρκετά μεγάλη απόλυτη ποσοστιαία διαφορά PE έχει και η θερμοκρασία στον stripper (μεταβλητή 18) (πραγματική τιμή: -73%). Με άλλα λόγια, η πολυπλοκότητά της κατά την IDV2 είναι ίση με το 27% της πολυπλοκότητας της κανονικής της κατάστασης. Επίσης, αρκετά μεγάλη κατ' απόλυτη τιμή έχει και η μεταβλητή 16 (-41%, δηλαδή πολυπλοκότητα ίση με το 59% αυτής της κανονικής κατάστασης). Αρκετά μεγάλα

κατ'απόλυτη τιμή αποτελέσματα έχουν και οι μεταβλητές 24 και 30 (-59% και -75% αντίστοιχα).

Αντίθετα, οι υπόλοιπες μεταβλητές (6,15,38) που αναμένονταν να έχουν υψηλά αποτελέσματα λόγω του έντονου επηρεασμού τους και κατ'επέκταση της διαφορετικότητας των σημάτων τους, εν τέλει δεν είχαν τόσο υψηλά όσο οι παραπάνω μεταβλητές. Συγκεκριμένα, η μεταβλητή 6 έχει ποσοστιαία διαφορά PE ίση με 5.34%, η 15 -1.9% και η 38 -23%.

IDV 3 (βηματική διαταραχή θερμοκρασίας τροφοδότησης D, σωλήνας 2)

Αναμένεται να επηρεαστούν έντονα οι παρακάτω μεταβλητές:

- Θερμοκρασία Αντιδραστήρα (μεταβλητή 9)

Η θερμοκρασία του αντιδραστήρα αναμένεται να επηρεαστεί, καθώς μεταβάλλοντας την θερμοκρασία στον σωλήνα 2, μεταβάλλεται και η θερμοκρασία στην είσοδο του αντιδραστήρα, καθώς ο σωλήνας αυτός αποτελεί έναν από τους 4 σωλήνες τροφοδότησής του.

- Θερμοκρασία εξόδου Ψυκτικού Υγρού Αντιδραστήρα (μεταβλητή 21)

Εφόσον αναμένεται έντονη μεταβολή της θερμοκρασίας του αντιδραστήρα, περιμένουμε και αύξηση της θερμοκρασίας του νερού στην έξοδό του.

- Παροχή τροφοδότησης του αντιδραστήρα (μεταβλητή 6)

Αφού αλλάζουν οι τροφοδοτήσεις των A, D και E και ανακύκλωσης (προκειμένου να αντισταθμιστεί από το σύστημα ελέγχου η αλλαγή της θερμοκρασίας στο D), όπως φαίνεται και από τις μεταβλητές 1, 2, 3 και 5 αντίστοιχα, αναμένεται να αλλάξει και η συνολική τροφοδότηση προς τον αντιδραστήρα (σωλήνας 6).

Η μεγαλύτερη κατά απόλυτη τιμή ποσοστιαία διαφορά εμφανίζεται στην μεταβλητή 6, δηλαδή την παροχή τροφοδότησης του αντιδραστήρα (πραγματική τιμή: -63%). Επομένως, πράγματι επιβεβαιώνει τις φυσικές αρχές.

Από την άλλη, καμία από τις άλλες 2 μεταβλητές δεν έχει αποτέλεσμα ανάλογο των θεωρητικών εκτιμήσεων. Συγκεκριμένα, η θερμοκρασία αντιδραστήρα (μεταβλητή 9) έχει μηδενική διαφορά πολυπλοκότητας με την κανονική κατάστασή της, ενώ η θερμοκρασία εξόδου ψυκτικού υγρού αντιδραστήρα έχει σχεδόν μηδενική (0.66%).

IDV4 (βηματική διαταραχή θερμοκρασίας εισόδου ψυκτικού υγρού αντιδραστήρα)

Αναμένεται και εδώ να επηρεαστούν έντονα οι μεταβλητές:

- Θερμοκρασία Αντιδραστήρα (μεταβλητή 9)

Είναι λογικό εφόσον μεταβληθεί η θερμοκρασία του νερού πριν την είσοδό του στον αντιδραστήρα, η θερμοκρασία του τελευταίου να μεταβληθεί έντονα.

- Θερμοκρασία εξόδου Ψυκτικού Υγρού Αντιδραστήρα (μεταβλητή 21)

Εφόσον αναμένεται έντονη μεταβολή της θερμοκρασίας του αντιδραστήρα, περιμένουμε και αύξηση της θερμοκρασίας του νερού στην έξοδό του.

Παρατηρούνται μεγάλες ποσοστιαίες διαφορές PE στις μεταβλητές 4, 9 και 12, δηλαδή στην τροφοδοσία A και C στον σωλήνα 4, την θερμοκρασία του αντιδραστήρα και την στάθμη του διαχωριστή, αντίστοιχα.

Επομένως, το αποτέλεσμα της θερμοκρασίας του αντιδραστήρα (μεταβλητή 9), ήταν κατ'απόλυτη τιμή υψηλό, όπως αναμενόταν. Συγκεκριμένα, η διαφορά μεταξύ του PE κατά την IDV4 και του PE κατά την κανονική κατάσταση είναι ίση με το -66% του PE της κανονικής κατάστασης. Με άλλα λόγια, η πολυπλοκότητα του σήματος μετά το SAX κατά την IDV1 είναι μονάχα ίση με 0.34 φορές την πολυπλοκότητα του σήματος μετά το SAX στην κανονική κατάσταση.

Η μεταβλητή 21 που αναμενόταν να εμφανίσει υψηλό αποτέλεσμα λόγω της διαφορετικότητας του σήματός της κατά την διαταραχή IDV4 συγκριτικά με την κανονική της κατάσταση, εν τέλει είχε χαμηλό (μόνο -2.4% ποσοστιαία διαφορά PE).

IDV5 (βηματική διαταραχή θερμοκρασίας εισόδου ψυκτικού υγρού συμπυκνωτή)

Αναμένεται να επηρεαστούν έντονα οι παρακάτω μεταβλητές:

- Θερμοκρασία προϊόντος διαχωριστή (μεταβλητή 11)

Εφόσον μεταβάλλεται η θερμοκρασία εισόδου του ψυκτικού στον συμπυκνωτή, είναι επόμενο να μεταβληθεί έντονα και η θερμοκρασία του προϊόντος του κατά την έξοδό του και κατ'επέκταση και η θερμοκρασία του προϊόντος του διαχωριστή.

- Θερμοκρασία εξόδου ψυκτικού νερού διαχωριστή (μεταβλητή 22)

Εφόσον μεταβάλλεται η παραπάνω μεταβλητή, αναμένεται να μεταβληθεί και η παρούσα.

- Στάθμη Διαχωριστή (μεταβλητή 12)

Είναι λογικό να επηρεαστεί η στάθμη του διαχωριστή, καθώς αν μεταβληθεί η θερμοκρασία κατά την είσοδο του ψυκτικού νερού στον συμπυκνωτή θα μεταβληθεί και το ποσοστό της συμπυκνωμένης φάσης του ρευστού που θα ενταχθεί μέσα στον διαχωριστή, συνεπώς και η στάθμη του.

- Παροχή προϊόντος διαχωριστή στον σωλήνα 10 (μεταβλητή 14)

Μεγάλη αλλαγή εξ αιτίας της IDV4 αναμένεται να υπάρξει και στην παροχή εξόδου του διαχωριστή (σωλήνας 10), καθώς αναμένεται μεταβολή της στάθμης. Επομένως, εκτιμάται ότι το σύστημα ελέγχου θα μεταβάλλει την βάννα του σωλήνα 10 (διαχειρίσιμη μεταβλητή ΧΜV 7) ανάλογα με την στάθμη με σκοπό τον έλεγχο της απόκλισης παροχής των προϊόντων.

- Παροχή ανακύκλωσης στον σωλήνα 8 (μεταβλητή 5)

Είναι λογικό να επηρεαστεί η παροχή ανακύκλωσης των μη συμπυκνωμένων στοιχείων, καθώς αν μεταβληθεί η θερμοκρασία κατά την είσοδο του ψυκτικού νερού στον συμπυκνωτή θα μεταβληθεί και το ποσοστό της μη συμπυκνωμένης φάσης του ρευστού που θα ενταχθεί μέσα στον διαχωριστή, συνεπώς και η παροχή του κατά την έξοδό του ως αέριο.

- Έργο Συμπιεστή (μεταβλητή 20)

Συνεπώς, ο συμπιεστής οφείλει να εκτελέσει διαφορετικό έργο από την κανονική κατάσταση, αφού εκτιμάται έντονη μεταβολή των μη συμπυκνωμένων στοιχείων.

Οι μεγαλύτερες κατ' απόλυτη τιμή ποσοστιαίες διαφορές PE παρατηρούνται στις μεταβλητές 2, 5 και 12, δηλαδή στην τροφοδοσία D στον σωλήνα 2, την παροχή ανακύκλωσης στον σωλήνα 8 και την στάθμη του διαχωριστή, αντίστοιχα.

Συνεπώς, η εκτίμησή μας για υψηλές απόλυτες τιμές για την παροχή ανακύκλωσης στον σωλήνα 8 (μεταβλητή 5) και την στάθμη του διαχωριστή (μεταβλητή 12) ήταν σωστή. Συγκεκριμένα, στην μεταβλητή 5 έχουμε ποσοστιαία διαφορά PE ίση με -78%, δηλαδή πολυπλοκότητα ίση με το 12% της κανονικής κατάστασης. Στην μεταβλητή 12 έχουμε ποσοστιαία διαφορά PE ίση με 65%, δηλαδή πολυπλοκότητα ίση με το 165% της κανονικής κατάστασης.

Από την άλλη, οι υπόλοιπες μεταβλητές (11, 14, 20, 22) με αναμενόμενα υψηλά αποτελέσματα είχαν στην πράξη αρκετά χαμηλότερα συγκριτικά με τις παραπάνω, παρά την διαφορετικότητα των σημάτων τους συγκριτικά με την κανονική τους κατάσταση. Η μεταβλητή 11 είχε -19%, η 14 είχε 5.69%, η 20 είχε 28.3% και η 22 είχε -5.9%.

IDV 6 (βηματική απώλεια τροφοδότησης A, σωλήνας 1)

Όπως ειπώθηκε και προηγουμένως, στην συγκεκριμένη διαταραχή, λόγω αύξησης της πίεσης του αντιδραστήρα που άγγιξε τα 3 MPa, οι μετρήσεις διακόπτονται αυτόματα μόλις στις πρώτες περίπου 7 ώρες αντί των 36 και έτσι υπάρχουν μόλις 197 δείγματα αντί των 1001. Επομένως, αντί των 39 τμημάτων, πλέον υπάρχουν 8.

Αναμένεται να επηρεαστούν έντονα οι:

- Παροχή A, σωλήνας 1 (Μεταβλητή 1)

Αποτελεί την ίδια την μεταβλητή που διαταράσσεται, επομένως, σαφώς αναμένεται να επηρεαστεί έντονα.

- Παροχή αντιδραστήρα, σωλήνας 6 (Μεταβλητή 6)

Από την εξίσωση (1), εφόσον θα υπάρξει απώλεια τροφοδότησης στον σωλήνα 1, είναι λογικό να διαταραχτεί έντονα η παροχή του αντιδραστήρα.

- Σύσταση A στην είσοδο του Αντιδραστήρα (μεταβλητή 23)

Προφανώς αφού διαταράσσεται η τροφοδότηση του A προς τον αντιδραστήρα αναμένεται και έντονη μεταβολή της σύστασής του στην εισοδό του.

- Σύσταση A στην εκκαθάριση (μεταβλητή 29)

Αφού διαταράσσεται η τροφοδότηση του A, αναμένεται και έντονη μεταβολή της σύστασής του στην εκκαθάριση.

- Παροχή A και C, σωλήνας 4 (Μεταβλητή 4)

Είναι αναμενόμενο, εφόσον υπάρχει απώλεια τροφοδότησης A, η παροχή του σωλήνα 4 να μεταβληθεί αυτόματα για να διατηρηθεί η επιθυμητή αναλογία (G και H) προϊόντος.

Παρατηρείται ότι οι μεταβλητές 4, 9, 12 και 17 έχουν τα μεγαλύτερα αποτελέσματα. Άρα, η μεταβλητή 4 επιβεβαιώνει τις θεωρητικές εκτιμήσεις (196.5%). Παρόλα αυτά, και η μεταβλητή 1 έχει αρκετά μεγάλο απόλυτο αποτέλεσμα, με ποσοστιαία διαφορά PE ίση με -74.4%, δηλαδή πολυπλοκότητα ίση με το 15.6% της κανονικής. Επίσης, και οι μεταβλητές 23 και 29 έχουν μεγάλα κατ'απόλυτη τιμή αποτελέσματα (πραγματικές τιμές: -42% και -44% αντίστοιχα, δηλαδή πολυπλοκότητες ίσες με το 58% και 56% της κανονικής αντίστοιχα). Συνεπώς, οι εκτιμήσεις για τις συγκεκριμένες μεταβλητές επιβεβαιώθηκαν. Από την άλλη, στην μεταβλητή 6, ενώ επηρεάζεται έντονα όπως προβλέφθηκε, το αποτέλεσμά της δεν είναι τόσο υψηλό όσο των παραπάνω. Συγκεκριμένα, έχει ποσοστιαία διαφορά PE ίση με -17.6%.

IDV 7 (βηματική απώλεια πίεσης C, σωλήνας 4)

Επειδή αναμένεται έντονη μεταβολή στην παροχή του σωλήνα 4 προκειμένου να επιτευχθεί η διαταραχή στην πίεση, αναμένονται να επηρεαστούν έντονα οι ίδιες μεταβλητές με τις IDV1 και IDV2 με εξαίρεση αυτές των συστάσεων για τα A και C και B (δηλαδή αναμένονται οι 4, 6, 15, 16, 17, 18, 19 και 38).

Η μεταβλητή 12 αποτελεί αυτήν με την μεγαλύτερη απόλυτη ποσοστιαία διαφορά. Πέραν αυτής, όμως, οι μεταβλητές 6, 16 και 38 έχουν και αυτές αρκετά μεγάλες απόλυτες ποσοστιαίες διαφορές. Συγκεκριμένα, έχουν ποσοστιαίες διαφορές ίσες με -48%, -59% και -34%, δηλαδή πολυπλοκότητες ίσες με 52%, 41% και 66% της κανονικής τους κατάστασης, αντίστοιχα. Συνεπώς, τα αποτελέσματα επιβεβαιώνουν την φυσική εκτίμηση, δηλαδή εκφράζουν την διαφορετικότητα μεταξύ διαταραγμένου σημάτος και κανονικής κατάστασης για αυτές τις 3 μεταβλητές.

Όμως, οι υπόλοιπες (4, 17, 18, 19) δεν εκφράζουν στον ίδιο βαθμό αυτή την διαφορετικότητα. Δηλαδή, έχουν ως αποτελέσματα μόνο 0%, -100% (που, όπως προειπώθηκε, δεν αποτελεί σημαντική διαφορά εδώ γιατί PE κανονικής κατάστασης είναι ίσο με 0.5345), -24% και 0% αντιστοίχως.

ΤΥΧΑΙΑΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΔΙΑΤΑΡΑΧΕΣ

IDV8 (τυχαίας μεταβολής διαταραχή συστάσεων σε A, B και C, σωλήνας 4)

Αναμένεται να επηρεαστούν όλες οι μεταβλητές που προβλέφθηκαν για τα IDV1 και IDV2 (δηλαδή οι 4, 6, 15, 16, 17, 18, 19, 23, 24, 25, 29, 30, 31, 38), καθώς εδώ επηρεάζονται και οι 3 συστάσεις (A, B, C) του σωλήνα 4.

Οι μεταβλητές με την μεγαλύτερη ποσοστιαία διαφορά PE είναι οι 4, 8, 9, 12 και 17. Επομένως, οι μεταβλητές 4 και 17 έχουν αποτελέσματα που επιβεβαιώνουν την φυσική εκτίμηση και εκπροσωπούν την διαφορετικότητα των σημάτων τους μεταξύ της διαταραγμένης και κανονικής τους κατάστασης. Αναλυτικότερα, η μεταβλητή 4 έχει ποσοστιαία διαφορά PE ίση με 269%, δηλαδή πολυπλοκότητα ίση με 3.69 φορές την πολυπλοκότητα της κανονικής της κατάστασης, ενώ η 17 ίση με 266%, δηλαδή πολυπλοκότητα ίση με 3.66 φορές την πολυπλοκότητα της κανονικής της κατάστασης. Επίσης, και η μεταβλητή 38 έχει αρκετά υψηλό απόλυτο αποτέλεσμα (πραγματική τιμή: -43%).

Αντίθετα, οι άλλες μεταβλητές (6, 15, 16, 18, 19, 23, 24, 25, 29, 30, 21) δεν έχουν αποτελέσματα εξίσου ανάλογα των φυσικών μας προβλέψεων, δηλαδή ανάλογα της

διαφορετικότητας των σημάτων τους με την κανονική τους κατάσταση (24%, 16%, 0.2%, -17%, 0%, -19%, 3.6%, -24%, -22%, 8.8%, -22% αντίστοιχα).

IDV 9 (τυχαίας μεταβολής διαταραχή θερμοκρασίας τροφοδότησης D, σωλήνας 2)

Αναμένεται να επηρεαστούν έντονα οι ίδιες μεταβλητές με αυτές της IDV3, δηλαδή οι 9, 21 και 6. Οι εντονότερα επηρεασμένες μεταβλητές σύμφωνα με τον πίνακα αποτελεσμάτων είναι οι 4, 9, 14, 15, 17. Επομένως, η μεγάλη ποσοστιαία διαφορά PE της μεταβλητής 9 επιβεβαιώνει την φυσική διαίσθηση. Συγκεκριμένα, είναι ίση με 55.5%, δηλαδή το απλουστευμένο σήμα έχει πολυπλοκότητα ίση με το 155.5% αυτής του απλουστευμένου κανονικής κατάστασης. Από την άλλη, η μεταβλητή 21 έχει αποτέλεσμα ίσο με 8.95%, ενώ η 6 έχει -20% δηλαδή ποσοστά όχι τόσο υψηλά κατ'απόλυτη τιμή όσο περιμέναμε.

IDV10 (τυχαίας μεταβολής διαταραχή θερμοκρασίας C, σωλήνας 4)

Αναμένεται να επηρεαστούν οι παρακάτω μεταβλητές:

- Θερμοκρασία στον stripper (Μεταβλητή 18)

Εφόσον μεταβάλλεται η θερμοκρασία εισόδου του αερίου C εντός του stripper, αναμένεται να επηρεαστεί και η θερμοκρασία του τελευταίου.

- Θερμοκρασία αντιδραστήρα (Μεταβλητή 9)

Επίσης, αναμένεται και μεταβολή της θερμοκρασίας στον σωλήνα 5, άρα και μεταβολή της θερμοκρασίας στον σωλήνα 6, δηλαδή την είσοδο του αντιδραστήρα. Αυτό γιατί οι σωλήνες 1, 2, 3, 5 και 8 ενώνονται και δημιουργούν τον 6, επομένως η θερμοκρασία του 5 συμβάλλει στην θερμοκρασία του 6. Έτσι, επηρεάζεται και η θερμοκρασία του αντιδραστήρα.

- Στάθμη υγρού stripper (Μεταβλητή 15)

Επιπροσθέτως, πιστεύεται ότι θα μεταβληθεί και η στάθμη υγρού στον stripper, καθώς αφού θα αλλάξει η θερμοκρασία του αερίου μέσου που εξατμίζει, θα αλλάξει και η ποσότητα που εξατμίζεται, άρα και η ποσότητα που παραμένει υγρή.

- Παροχή του A και C στον σωλήνα 4 (Μεταβλητή 4)

Επειδή αλλάζει η διεργασία εντός του stripper όταν μεταβάλλεται η θερμοκρασία του ρευστού στον σωλήνα 4 (καθώς είναι το μέσο που διαχωρίζει τα 2 υγρά), για να

διατηρηθεί η σωστή αναλογία των προϊόντων Η και G, πρέπει να μεταβληθεί και η παροχή του, μέσω του συστήματος ελέγχου.

- Πίεση στον stripper (Μεταβλητή 16)

Αφού αναμένεται να αλλάξει η θερμοκρασία του αερίου, εκτιμάται ότι θα αλλάξει και η πίεση εντός του stripper.

- Παροχή εξόδου στον stripper (Μεταβλητή 17)

Μεγάλη αλλαγή αναμένεται να υπάρξει και στην παροχή εξόδου του stripper (σωλήνας 11), γιατί εφόσον μεταβάλλεται η στάθμη του υγρού, το σύστημα ελέγχου θα μεταβάλλει την βάνα του σωλήνα 11 (διαχειρίσιμη μεταβλητή ΧΜV 8) σύμφωνα με αυτήν με σκοπό τον έλεγχο της απόκλισης παροχής των προϊόντων.

Οι μεταβλητές με την μεγαλύτερη ποσοστιαία διαφορά ΡΕ είναι οι 4, 9, 12, 22. Επομένως, οι μεταβλητές 4 και 9 συμφωνούν με τις φυσικές εκτιμήσεις, με ποσοστιαίες διαφορές ίσες με 163.7% και 98%. Αρκετά υψηλή ποσοστιαία διαφορά ΡΕ έχει και η μεταβλητή 18, δηλαδή η θερμοκρασία του stripper, συγκεκριμένα, ίση με 50.3% δηλαδή με πολυπλοκότητα 150.3% της κανονικής.

Από την άλλη, οι μεταβλητές 15, 16, 17 δεν παρουσιάζουν αποτελέσματα ανάλογα των φυσικών εκτιμήσεων, όπως οι παραπάνω 2 μεταβλητές. Αναλυτικότερα, η μεταβλητή 15 έχει αποτέλεσμα ίσο με 15.12%, η 16 -0.08% και η 17 -100% (με ΡΕ κανονικής κατάστασης, ως γνωστόν, ίσο με 0.5345, δηλαδή όχι μεγάλη διαφορά στην πράξη).

IDV11 (τυχαίας μεταβολής διαταραχή θερμοκρασίας εισόδου ψυκτικού υγρού αντιδραστήρα)

Αναμένεται να επηρεαστούν έντονα οι ίδιες μεταβλητές με αυτές της IDV4, δηλαδή η 9 και η 21. Οι μεταβλητές με την μεγαλύτερη ποσοστιαία διαφορά ΡΕ είναι οι 9, 12 και 19. Επομένως, η μεταβλητή 9 συμφωνεί με τις φυσικές εκτιμήσεις, με ποσοστιαία διαφορά ίση με 343%. Αρκετά υψηλή κατ'απόλυτη τιμή ποσοστιαία διαφορά ΡΕ έχει και η μεταβλητή 21, δηλαδή η θερμοκρασία του stripper. Συγκεκριμένα έχει αποτέλεσμα ίσο με -45.3% δηλαδή με πολυπλοκότητα 54.7% της κανονικής.

IDV12 (τυχαίας μεταβολής διαταραχή θερμοκρασίας εισόδου ψυκτικού υγρού συμπυκνωτή)

Αναμένεται να επηρεαστούν οι ίδιες μεταβλητές με αυτές που αναμένονταν για την διαταραχή IDV5, δηλαδή οι 5, 11, 12, 14, 20 και 22. Οι μεταβλητές με την μεγαλύτερη

ποσοστιαία διαφορά PE είναι οι 4, 9, 12 και 17. Επομένως, η μεταβλητή 12 συμφωνεί με τις φυσικές εκτιμήσεις, με ποσοστιαία διαφορά ίση με 122%. Σχετικά υψηλή ποσοστιαία διαφορά PE έχουν και οι μεταβλητές 20 και 22, δηλαδή το έργο του συμπιεστή και η θερμοκρασία εξόδου ψυκτικού υγρού του διαχωριστή, αντίστοιχα. Συγκεκριμένα έχουν αποτελέσματα ίσα με 42.6% (δηλαδή πολυπλοκότητα 142.6% της κανονικής) και 50.9% (δηλαδή πολυπλοκότητα 150.9% της κανονικής). Επίσης, και η μεταβλητή 5 έχει μεγάλο σχετικό αποτέλεσμα κατ'απόλυτη τιμή (πραγματική τιμή: -39%).

Όμως, οι μεταβλητές 11 και 14 δεν παρουσιάζουν αποτελέσματα τόσο ανάλογα των φυσικών εκτιμήσεων όσο οι παραπάνω 2 μεταβλητές. Αναλυτικότερα, η μεταβλητή 11 έχει αποτέλεσμα ίσο με 7.04% και η 17 ίσο με -19%.

ΑΡΓΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΔΙΑΤΑΡΑΧΕΣ

IDV13 (αργής μεταβολής διαταραχή στην κινητική της αντίδρασης)

Αναμένεται να επηρεαστούν οι παρακάτω μεταβλητές:

- Στάθμη αντιδραστήρα (μεταβλητή 8)

Είναι επόμενο να επηρεάζεται η στάθμη του αντιδραστήρα εφόσον η ταχύτητα της αντίδρασης μεταβάλλεται.

- Θερμοκρασία αντιδραστήρα (μεταβλητή 9)

Είναι επόμενο να επηρεάζεται η θερμοκρασία του αντιδραστήρα εφόσον η ταχύτητα της αντίδρασης μεταβάλλεται.

- Πίεση αντιδραστήρα (μεταβλητή 7)

Το ίδιο ισχύει και για την πίεση του αντιδραστήρα.

- Στάθμη διαχωριστή (μεταβλητή 12)

Είναι λογικό εφόσον μεταβάλλεται η ταχύτητα της αντίδρασης να εισάγεται στον συμπυκνωτή διαφορετική ποσότητα ρευστού και κατ'επέκταση και στον διαχωριστή διαφορετική ποσότητα υγρού.

Οι μεταβλητές με την μεγαλύτερη ποσοστιαία διαφορά PE είναι οι 4, 8, 9, 12 και 17. Επομένως, οι μεταβλητές 8, 9 και 12 συμφωνούν με τις φυσικές εκτιμήσεις, με ποσοστιαίες διαφορές ίσες με 170%, 442% και 362%. Από την άλλη, η μεταβλητή 7 δεν έχει τόσο υψηλό αποτέλεσμα όσο αναμενόταν, καθώς αυτό είναι πολύ κατώτερο των υπολοίπων που προβλέφθηκαν. Συγκεκριμένα, είναι ίσο με -16%.

ΠΑΡΑΜΕΝΟΥΣΕΣ ΔΙΑΤΑΡΑΧΕΣ

IDV14 (παραμένουσα διαταραχή της βαλβίδας ψυκτικού στον αντιδραστήρα)

Αναμένεται να επηρεαστούν οι μεταβλητές 9 και 21 (με την ίδια λογική που αναμένονταν για την διαταραχή IDV4), καθώς και η μεταβλητή 17 (παροχή του προϊόντος). Η τελευταία αναμένεται γιατί εφόσον μεταβάλλεται η θερμοκρασία του αντιδραστήρα, μεταβάλλεται και η αντίδραση, συνεπώς πρέπει να μεταβληθεί και η παροχή του προϊόντος από το σύστημα ελέγχου για να έχει τα ποσοστά των G και H που απαιτούνται. Η μεταβλητή με τη μεγαλύτερη ποσοστιαία διαφορά είναι η 17, γεγονός που επιβεβαιώνει την φυσική διαίσθηση (αποτέλεσμα: 120%). Και η 9 και η 21 έχουν ποσοστιαία διαφορά PE ίση με -100%, τιμή η οποία εξ αρχής δηλώθηκε ότι θα αγνοηθεί για τα αβέβαια αποτελέσματά της.

IDV15 (παραμένουσα διαταραχή της βαλβίδας ψυκτικού στον συμπυκνωτή)

Αναμένεται να επηρεαστούν οι ίδιες μεταβλητές με αυτές που αναμένονταν για την διαταραχή IDV5, δηλαδή οι 5, 11, 12, 14, 20 και 22. Υψηλότερα κατ'άπολυτη τιμή αποτελέσματα έχουν οι μεταβλητές 2, 4, 9, 14 και 20. Άρα, τα αποτελέσματα των μεταβλητών 14 και 20 ικανοποιούν τους φυσικούς κανόνες και είναι αντίστοιχα: -66% και 63.7%. Οι μεταβλητές 5, 11 και 12 έχουν αποτελέσματα -100% (αδιάφορος αριθμός), 6.16% και 0% αντίστοιχα.

ΔΙΑΤΑΡΑΧΕΣ ΑΓΝΩΣΤΟΥ ΤΥΠΟΥ

IDV16 (απόκλιση στην μεταφορά θερμότητας του εναλλάκτη στον stripper)

Όπως έχει ήδη ειπωθεί, δεν εντοπίζεται καμία αλλαγή στα σήματα της διαταραχής αυτής συγκριτικά με αυτά της κανονικής κατάστασης. Για τον λόγο αυτό τα αποτελέσματα είναι παντού 0 και δεν έχει ουσία να σχολιασθεί η συγκεκριμένη διαταραχή.

IDV17 (απόκλιση στην μεταφορά θερμότητας στον αντιδραστήρα)

Αναμένεται να επηρεαστούν οι ίδιες μεταβλητές με αυτές που αναμένονταν για την διαταραχή IDV4, δηλαδή η 9 και η 21. Υψηλότερα κατ'άπόλυτη τιμή αποτελέσματα έχουν οι μεταβλητές 4,9, 12 και 19. Άρα, το αποτέλεσμα της μεταβλητής 9 ικανοποιεί τους φυσικούς κανόνες και είναι ίσο με 223%. Η μεταβλητή 21, όμως, έχει αποτέλεσμα μικρότερο των εκτιμήσεών μας και ίσο με 19.8%.

IDV18 (απόκλιση στην μεταφορά θερμότητας στον συμπυκνωτή)

Αναμένεται να επηρεαστούν οι ίδιες μεταβλητές με αυτές που αναμένονταν για την διαταραχή IDV5, δηλαδή οι 5, 11, 12, 14, 20 και 22. Υψηλότερα κατ'άπόλυτη τιμή αποτελέσματα έχουν οι μεταβλητές 4, 12 και 22. Άρα, τα αποτελέσματα των μεταβλητών 12 και 22 ικανοποιούν τους φυσικούς κανόνες και είναι ίσα με 358% και 146% αντίστοιχα. Επίσης, η μεταβλητή 5 έχει αρκετά υψηλό κατά απόλυτη τιμή αποτέλεσμα και ίσο με -54%. Οι μεταβλητές 11, 14, 20 δεν έχουν τόσο υψηλές κατ'άπόλυτη τιμή ποσοστιαίες διαφορές ΡΕ όσο περιμέναμε. Συγκεκριμένα, είναι μόνον ίσες με -0.3%, -12% και 13.7%

Οι διαταραχές IDV19 και 20 δεν αναλύονται γιατί είναι άγνωστες.

IDV21 (διαταραχή στην θερμοκρασία τροφοδοσίας Α, σωλήνας 1)

Αναμένεται να επηρεαστούν έντονα οι ίδιες μεταβλητές με αυτές της IDV3, δηλαδή η 9, η 21 και η 6, καθώς και η μεταβλητή 17 (παροχή του προϊόντος). Η τελευταία αναμένεται γιατί εφόσον μεταβάλλεται η θερμοκρασία ενός από τα αντιδρώντα, μεταβάλλεται και η αντίδραση, συνεπώς πρέπει να μεταβληθεί και η παροχή του προϊόντος από το σύστημα ελέγχου για να έχει τα ποσοστά των G και H που απαιτούνται. Υψηλότερα κατ'άπόλυτη τιμή αποτελέσματα έχουν οι μεταβλητές 4 και 17. Άρα, πράγματι η μεταβλητή 17 επιβεβαιώνει τις εκτιμήσεις (αποτέλεσμα: 98%). Η μεταβλητή 9 έχει -100% (αδιάφορο νούμερο), η 21 μόνο -2.1% και η 6 μόνο -22%.

IDV22 (διαταραχή στην θερμοκρασία τροφοδοσίας E, σωλήνας 3)

Με την ίδια λογική με την IDV21 αναμένεται να επηρεαστούν έντονα οι ίδιες μεταβλητές, δηλαδή οι 9, 21, 6 και 17. Υψηλότερο αποτέλεσμα έχει η μεταβλητή 17 (164%), που επιβεβαιώνει τις εκτιμήσεις. Η μεταβλητή 9 έχει -100% (αδιάφορο νούμερο), η 21 μόνο -12.6% και η 6 μόνο -22%.

IDV23 (διαταραχή παροχής τροφοδοσίας A, σωλήνας 1)

Αναμένεται να επηρεαστούν έντονα οι ίδιες μεταβλητές με αυτές της IDV6, δηλαδή οι 1, 4, 6, 23 και 29. Υψηλότερα κατ'άπολυτη τιμή αποτελέσματα έχουν οι μεταβλητές 14 και 19. Άρα, η μεταβλητή 4 επιβεβαιώνει τις εκτιμήσεις (αποτέλεσμα: 67.7%). Η μεταβλητή 1 έχει 16.8%, η 6 έχει -13% και η 23 μόνο -2.3%.

IDV24 (διαταραχή παροχής τροφοδοσίας D, σωλήνας 2)

Αναμένεται, ομοίως με την IDV6, να επηρεαστούν έντονα οι:

- Παροχή D, σωλήνας 2 (μεταβλητή 2)
- Παροχή τροφοδότησης αντιδραστήρα (μεταβλητή 6)
- Σύσταση D στην είσοδο του αντιδραστήρα (μεταβλητή 26)
- Σύσταση D στην εκκαθάριση (μεταβλητή 32)
- Σύσταση D στο προϊόν (μεταβλητή 37)

Υψηλότερα κατ'άπολυτη τιμή αποτελέσματα έχουν οι μεταβλητές 8, 9, 12, 14, 22. Η 2 έχει σχετικά υψηλό αποτέλεσμα συγκεκριμένα 33.1% (δηλαδή πολυπλοκότητα ίση με 66.9% της κανονικής κατάστασης), ενώ οι 6, 26, 32 και 37 χαμηλότερα, με 23.7%, -6.4%, 25.4 και 3.65% αντίστοιχα.

IDV25 (διαταραχή παροχής τροφοδοσίας E, σωλήνας 3)

Αναμένεται, ομοίως με την IDV6, να επηρεαστούν έντονα οι:

- Παροχή E, σωλήνας 3 (μεταβλητή 3)
- Παροχή τροφοδότησης αντιδραστήρα (μεταβλητή 6)
- Σύσταση E στην είσοδο του αντιδραστήρα (μεταβλητή 27)

- Σύσταση E στην εκκαθάριση (μεταβλητή 33)
- Σύσταση E στο προϊόν (μεταβλητή 38)

Υψηλότερα κατά απόλυτη τιμή αποτελέσματα έχουν οι μεταβλητές 12 και 22. Οι μεταβλητές 3 και 6 έχουν αρκετά υψηλά αποτελέσματα (-48.7% και 57% αντίστοιχα). Οι υπόλοιπες (27, 33, 38) δεν έχουν τόσο υψηλά όσο αναμενόταν να έχουν (-6.9%, 3.2% και 12.7% αντίστοιχα).

IDV26 (διαταραχή τροφοδοσίας A και C, σωλήνας 4)

Οι μεταβλητές που εκτιμάται να επηρεαστούν είναι οι ίδιες με αυτές τις IDV1 (δηλαδή οι 4, 6, 15, 16, 17, 18, 19, 23, 25, 29, 31, 38). Υψηλότερα κατ' απόλυτη τιμή αποτελέσματα έχουν οι μεταβλητές 4, 12 και 22. Άρα, πράγματι το αποτέλεσμα της μεταβλητής 4 (122%) συμβαδίζει με τις φυσικές αρχές. Οι μεταβλητές 18 και 19 έχουν αρκετά υψηλά αποτελέσματα (44% και 32.9% αντίστοιχα). Οι υπόλοιπες (6, 15, 16, 17, 23, 25, 29, 31, 38) έχουν πολύ χαμηλά (-1.1%, -0.4%, 0.47%, 0%, -2.5%, -19%, -12%, -7%, 0.89% αντίστοιχα).

IDV27 (διαταραχή τροφοδοσίας ψυκτικού αντιδραστήρα)

Οι μεταβλητές που εκτιμούμε να επηρεαστούν είναι οι ίδιες με αυτές τις IDV4 (δηλαδή οι 9, 21). Υψηλότερο αποτέλεσμα έχει η μεταβλητή 9. Άρα, πράγματι το αποτέλεσμα της μεταβλητής 9 (386%) συμβαδίζει με τις φυσικές αρχές. Η μεταβλητή 21 έχει πολύ χαμηλότερο αποτέλεσμα (ίσο με 15%).

IDV28 (διαταραχή τροφοδοσίας ψυκτικού συμπυκνωτή)

Οι μεταβλητές που εκτιμάται να επηρεαστούν είναι οι ίδιες με αυτές τις IDV5, δηλαδή οι 5, 11, 12, 14, 20, 22. Τα υψηλότερα κατ' απόλυτη τιμή αποτελέσματα είναι αυτά των 4, 5, 14 και 22. Επομένως, πράγματι οι 5, 14 και 22 έχουν αποτελέσματα ανάλογα με αυτά που αναμενόταν, σύμφωνα με τις φυσικές αρχές (-61%, -55% και 76.2% αντίστοιχα). Επίσης, η 20 έχει αρκετά ψηλό αποτέλεσμα (33%). Οι υπόλοιπες μεταβλητές (11, 12) έχουν αποτελέσματα χαμηλότερα των προσδοκιών μας (10.6% και 0% αντίστοιχα).

Έτσι, η επαλληλία των μεθόδων SAX και PE που χρησιμοποιήθηκε κρίθηκε επιτυχής για τον εντοπισμό κάθε μίας από τις 28 διαταραχές, καθώς όταν αυτή συμβαίνει στο σύστημα:

Α) υπάρχει μία τουλάχιστον μεταβλητή που εκτιμήθηκε να επηρεαστεί έντονα και πράγματι έχει υψηλή ποσοστιαία διαφορά PE μεταξύ του διαταραγμένου και του κανονικού σήματος και Β) οι μεταβλητές αυτές (ή η μεταβλητή αυτή) έχουν μοναδικές τιμές συγκριτικά με αυτές των υπόλοιπων διαταραχών. Έτσι, επιτυγχάνεται ο εντοπισμός κάθε διαταραχής λόγω της μοναδικότητας των αποτελεσμάτων των μεταβλητών (ή της μεταβλητής) που προβλέφθηκε ότι θα επηρεαστούν και πράγματι επηρεάζονται από αυτήν. Το συμπέρασμα για την επιτυχία εφαρμογής της επαλληλίας των δύο μεθόδων φαίνεται από τον πίνακα 16 παρακάτω.

Πίνακας 16: Πίνακας σύγκρισης αποτελεσμάτων συνδυασμού μεθόδων SAX και PE με τις θεωρητικές εκτιμήσεις. (Πράσινο χρώμα: Αποτελέσματα που επιβεβαιώνουν τις θεωρητικές εκτιμήσεις. Κόκκινο χρώμα: Διαταραχές που δεν μπορούν να αξιολογηθούν)

VAR No. \ IDV	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
1	-33	8	22	9	16	-74	11	-9.1	18	21	12	-3.5	-12	29	12	0	14	9.8	12	18	8.9	20	17	30	28	18	25	12
2	-23	-19	1.4	-3.6	-78	-35	-2.2	14	-37	4.6	-37	-55	-7.5	5	-73	0	-15	-16	-2.1	-14	0.8	-43	-52	33	-29	-78	-78	-15
3	-1.1	30	-10	20	5.9	-12	22	-1.1	-3.1	2.7	40	11	21	1.9	-10	0	-61	34	32	21	37	-9.5	7.9	17	49	-41	29	47
4	209	250	0	68	33	197	0	269	66	164	0	98	250	-100	68	0	164	98	33	206	88	-33	68	68	0	122	0	68
5	-41	-16	-39	-56	-71	-31	-30	4	-49	-30	-39	-39	5.9	-100	-100	0	-38	-54	-61	44	-54	-34	-61	-1.7	-54	-44	-61	-61
6	-11	5.3	-63	-63	-100	-18	-48	24	-20	-27	-45	-100	36	-100	-45	0	0	-9.2	-53	73	-22	-27	-13	24	-57	-1.1	-72	-39
7	-61	-24	-21	-6.9	-8.4	-53	-53	5.7	3.7	-2	-5.4	-30	-16	-4.3	-6.4	0	-5.2	-52	-11	3.3	-11	2.2	-21	1.4	-12	3.4	4.2	-7.8
8	68	-50	-100	-50	-100	18	0	137	-100	0	0	12	170	-100	-100	0	-83	-50	-50	215	-100	12	0	123	33	-100	-50	0
9	185	-66	0	-66	-100	235	-100	418	55	98	343	98	442	-100	98	0	223	-100	120	335	-100	-100	0	492	0	-100	386	-100
10	-51	-48	0.8	0.6	8.8	-50	-24	-6.5	4	0.1	8.4	5.6	-35	10	4.4	0	11	-2	3.1	10	12	9.1	6.6	5.1	2	7.8	3.1	3
11	-37	-51	-0.3	21	-19	-32	1.8	-19	-1.4	32	24	7	-0.8	19	6.2	0	36	-0.3	16	42	6.7	13	-2.5	42	36	33	17	11
12	229	346	-100	68	66	173	164	425	0	303	312	122	362	-100	0	0	164	358	405	525	33	0	0	505	399	128	0	0
13	-53	-29	-36	-5.7	-23	-54	-66	4.1	-1.9	1.2	-3.8	-28	-17	-2.8	-10	0	-11	-53	-10	-4.1	-16	1	-24	-5.9	-7.5	-0.8	-4.4	-14
14	2.3	16	-100	-37	5.7	-0.7	-4.7	58	-66	28	-4.5	-19	32	-44	-66	0	-55	-12	-12	109	1.3	10	-66	107	-3.4	-66	23	-55
15	-28	-1.9	-28	-44	-34	-16	-24	16	-53	15	41	-29	-7.8	-28	-12	0	-18	4.7	22	64	-16	-61	-34	35	15	-0.4	-37	-24
16	-63	-41	-21	-12	-22	-55	-59	-0.2	-0.8	-0.1	-8.1	-29	-11	-3.9	-13	0	-12	-54	-12	-7.9	-15	0.6	-25	-1.5	-13	0.5	-2.9	-13
17	252	167	-100	-100	197	-100	266	98	-100	-100	98	267	120	-100	0	0	-100	68	0	98	164	-100	0	-100	0	-100	0	0
18	-39	-73	17	15	26	-30	-24	-17	14	50	21	22	6.2	45	33	0	38	14	31	56	18	30	-25	46	38	44	28	16
19	-100	152	0	-100	0	-100	0	0	-100	-100	164	-100	0	0	33	0	98	0	-100	0	-100	-100	98	0	-100	33	0	-100
20	-21	-33	44	45	28	-7.2	6.3	40	43	0	43	43	34	42	64	0	41	14	52	95	37	29	0.8	52	73	53	43	33
21	-41	-23	0.7	-2.4	-1.9	-46	-16	1.9	9	-13	-45	-52	-21	-100	8.5	0	20	-26	-14	3.8	-2.1	13	-5.6	23	-9.7	16	-15	-1.1
22	-6.8	-56	31	26	-5.9	15	6.7	42	39	93	76	51	45	18	23	0	52	146	67	146	19	85	44	150	108	92	46	76
23	-44	-5.2	-30	9.9	-2.5	-42	1.1	-19	9.5	-10	-23	8	-35	-8.2	-4	0	-11	-41	-7.4	7.9	-9.5	-1.6	-2.3	-6.8	-1.2	-2.5	6.2	-18
24	-22	-59	-4	5.7	1.1	-38	2.6	3.6	14	11	15	1.2	-7.7	-14	5.8	0	-14	-0	-8.7	27	-16	-33	-2.3	34	-9.4	6.2	21	8.4
25	-44	-23	-6.4	-16	-34	-42	-19	-24	-9.9	-7	-25	-13	-15	-20	3.6	0	-13	-6.3	-19	-9.7	-17	-17	-18	-15	-16	-19	-12	-28
26	-11	21	-18	-19	-52	-36	-0.5	3.7	-5.9	-12	-50	23	8.5	7.9	11	0	2	2	2.8	34	4.1	-16	14	-6.4	-21	-5.8	-19	-59
27	-31	-16	-28	-24	-28	-37	-9	-43	-24	-10	-6.1	-7.1	-27	-31	-8	0	-0.9	-20	-11	1.1	-9	-34	-3.3	-2	-6.9	-29	-35	-11
28	-27	-79	-11	11	-22	-44	-13	-40	-42	-5.3	-5.4	-13	-24	-17	-1.2	0	-9.8	2.7	-27	15	-2.2	-13	-17	4.8	-3.8	9.8	-32	-23
29	-52	-4.4	-6.6	-4.6	-16	-44	-1.9	-22	-3	-10	-17	-14	-34	-6.2	-12	0	-20	-16	-20	-7.6	11	0.6	-5	-11	-33	-12	-11	-9.9
30	-19	-75	-15	16	15	-6.9	1.2	8.8	11	-2.2	25	24	-2.3	15	15	0	19	15	9.5	35	6.7	19	18	31	24	21	14	-10
31	-39	13	14	0.7	-11	-41	0.2	-22	0.6	2.7	-3.1	-4.9	-1.3	2.7	9.7	0	7.8	-2.6	17	8.8	-2.8	-18	-14	15	-5.9	-7	-5.9	9.8
32	32	42	18	31	-0.1	-9.4	-19	40	-2.7	9.4	24	13	24	-29	11	0	17	-29	-15	17	42	-15	14	25	24	20	32	6.4
33	-35	-15	-10	-7.3	-8.1	-32	-15	-42	19	-22	9	-1.7	-8.9	-2.6	4.3	0	-42	-7.3	10	11	-8	19	-42	5.8	3.2	-32	-9.6	-1.3
34	-56	-79	4.8	5.4	-22	-44	-20	-39	-23	-4.9	16	1	-21	-12	-8.3	0	-11	-4.6	-24	19	-2.4	-6.5	-5.3	-4.1	6	1.6	-11	-10
35	-48	-15	-16	11	19	-35	-5.2	-30	-3	0	-9.9	12	-2.2	-0.4	13	0	3.2	4.6	19	32	11	12	1.6	35	-2.2	14	-5.7	14
36	-31	-10	5.3	-44	19	-37	11	-9.7	-23	0.3	-8.8	-7.8	8.3	-23	-11	0	12	-9.6	-43	43	-13	-15	0	26	-0.1	21	-12	-17
37	-4.2	-4.7	7.7	-5.5	-5.3	-51	1.1	-5.5	1.2	-1.8	-6	-9.2	3.1	-15	-15	0	-0.2	-6.6	-3.8	3.9	-15	-6.9	-0.3	3.6	-5.5	-4.1	-6.8	-0.1
38	-34	-23	-0.2	-1.7	12	-44	-34	-43	15	14	7.9	0.9	-20	9.4	13	0	8.4	-7.2	9.8	20	-5.4	4.1	19	5.8	13	0.9	19	8.4
39	9.1	-22	16	21	6.7	-37	20	-11	26	25	31	11	-11	18	28	0	38	29	17	32	28	38	11	17	29	23	28	20
40	16	4.4	4	11	-11	-46	5.7	-0.5	3.6	4.1	9.2	15	1.3	6.6	7.1	0	-0.5	-4.3	7.9	2	19	12	-15	20	0.8	8.4	-1.6	7.4
41	7.9	25	2.5	9.4	23	-33	2.5	15	18	4.5	18	28	-2.9	20	31	0	5.2	-0.9	15	26	15	9	13	12	0.9	16	25	18

3.4 Αιτιολόγηση υψηλών αποτελεσμάτων για τις μεταβλητές κάθε διαταραχής που δεν προβλέφθηκαν στις θεωρητικές εκτιμήσεις

Παρακάτω αναλύονται οι πιθανές αιτίες που προκάλεσαν υψηλά αποτελέσματα στις μεταβλητές που δεν προβλέφθηκαν προηγουμένως στις θεωρητικές εκτιμήσεις για κάθε διαταραχή που συμβαίνει αυτό.

IDV 1 (βηματική διαταραχή κλάσματος τροφοδότησης A/C, σύνθεση στο B σταθερή, σωλήνας 4) και IDV2 (βηματική διαταραχή σύστασης B, A/C σταθερό, σωλήνας 4)

ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ 9: ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑ

Στην IDV1, η θερμοκρασία του αντιδραστήρα, δηλαδή η μεταβλητή 9, έχει διαφορά μεταξύ του PE κατά την IDV1 και του PE κατά την κανονική κατάσταση ίση με το 185% του PE της κανονικής κατάστασης. Με άλλα λόγια, η πολυπλοκότητα του σήματος μετά το SAX κατά την IDV1 είναι 285% (δηλαδή 2.85) φορές μεγαλύτερη από την πολυπλοκότητα του σήματος μετά το SAX στην κανονική κατάσταση. Αυτό το μεγάλο αποτέλεσμα πιστεύεται ότι οφείλεται στο γεγονός ότι η εκλύουσα θερμότητα μιας αντίδρασης είναι η διαφορά του ενεργειακού περιεχομένου μεταξύ των αντιδρώντων και των προϊόντων. Έτσι, αφού όλα τα mol αντιδρώντων μεταβάλλονται, όπως φαίνεται και από τις ποσοστιαίες απόλυτες διαφορές PE στις μεταβλητές 23-28 (A-F συστάσεις στην τροφοδότηση του αντιδραστήρα) είναι επόμενο να μεταβληθεί και η θερμοκρασία της αντίδρασης. Αυτό γίνεται, για να διατηρηθούν τα ποσοστά G και H σταθερά παρά την βηματική διαταραχή του A/C.

Στην IDV2, η μεταβλητή αυτή επηρεάζεται για τον ίδιο ακριβώς λόγο με παραπάνω. Αυτός είναι ο λόγος που η διαφορά μεταξύ του PE κατά την IDV2 και του PE κατά την κανονική κατάσταση είναι κατά απόλυτη τιμή μεγάλη και συγκεκριμένα ίση με το -66% του PE της κανονικής κατάστασης. Με άλλα λόγια, η πολυπλοκότητα του σήματος μετά το SAX κατά την IDV2 είναι ίση με το 34% (δηλαδή περίπου το 1/3) της πολυπλοκότητας του σήματος μετά το SAX στην κανονική κατάσταση.

ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ 12: ΣΤΑΘΜΗ ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΗ

Για την στάθμη του προϊόντος του διαχωριστή (μεταβλητή 12), η διαφορά μεταξύ του PE κατά την IDV1 και του PE κατά την κανονική κατάσταση είναι ίση με το 229% του PE της κανονικής κατάστασης. Δηλαδή, η πολυπλοκότητα του σήματος μετά το SAX κατά την IDV1 είναι 329% (δηλαδή 3.29) φορές μεγαλύτερη από την πολυπλοκότητα του σήματος

μετά το SAX στην κανονική κατάσταση. Αυτό το μεγάλο αποτέλεσμα πιστεύεται ότι οφείλεται στην μεταβολή των F, G, H και E στον analyzer της εκκαθάρισης, τα οποία αποτελούν σημαντικό μέρος των μη συμπυκνωμένων συστατικών.

Το ίδιο ισχύει για αυτή την μεταβλητή και για το IDV2. Για αυτό η διαφορά μεταξύ του PE κατά την IDV2 και του PE κατά την κανονική κατάσταση είναι μεγάλη και συγκεκριμένα ίση με το 346% του PE της κανονικής κατάστασης. Με άλλα λόγια, η πολυπλοκότητα του σήματος μετά το SAX κατά την IDV1 είναι 446% (δηλαδή 4.46) φορές μεγαλύτερη από την πολυπλοκότητα του σήματος μετά το SAX στην κανονική κατάσταση.

IDV4 (βηματική διαταραχή θερμοκρασίας εισόδου ψυκτικού υγρού αντιδραστήρα)

ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ 4: ΤΡΟΦΟΔΟΤΗΣΗ A ΚΑΙ C (ΣΩΛΗΝΑΣ 4)

Η διαφορά μεταξύ του PE κατά την IDV4 και του PE κατά την κανονική κατάσταση είναι ίση με το 68% του PE της κανονικής κατάστασης. Δηλαδή, η πολυπλοκότητα του σήματος μετά το SAX κατά την IDV4 είναι 168% (δηλαδή 1.68) φορές μεγαλύτερη από την πολυπλοκότητα του σήματος μετά το SAX στην κανονική κατάσταση. Το υψηλό αποτέλεσμα αυτό αποδίδεται στο γεγονός ότι σκοπός του συστήματος είναι να διατηρηθεί η επιθυμητή αναλογία στα ποσοστά G και H παρά την διαταραχή αυτή και για να επιτευχθεί αυτό είναι απαραίτητο να ελέγχεται από το σύστημα ελέγχου κατάλληλα το μέσο χάρη στο οποίο γίνεται η διεργασία του stripper, δηλαδή η μεταβλητή 4.

ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ 12: ΣΤΑΘΜΗ ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΗ

Η διαφορά μεταξύ του PE κατά την IDV4 και του PE κατά την κανονική κατάσταση είναι ίση με το 68% του PE της κανονικής κατάστασης. Με άλλα λόγια, η πολυπλοκότητα του σήματος μετά το SAX κατά την IDV4 είναι 168% (δηλαδή 1.68) φορές μεγαλύτερη από την πολυπλοκότητα του σήματος μετά το SAX στην κανονική κατάσταση. Αυτό το μεγάλο αποτέλεσμα πιστεύεται ότι οφείλεται στους ίδιους λόγους με αυτούς των IDV1 και 2 για την μεταβλητή 12 παραπάνω.

IDV5 (βηματική διαταραχή θερμοκρασίας εισόδου ψυκτικού υγρού συμπυκνωτή)

ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ 2: ΤΡΟΦΟΔΟΤΗΣΗ D (ΣΩΛΗΝΑΣ 2)

Η διαφορά μεταξύ του PE κατά την IDV5 και του pe κατά την κανονική κατάσταση είναι ίση με το -78% του PE της κανονικής κατάστασης. Με άλλα λόγια, η πολυπλοκότητα του σήματος μετά το SAX κατά την IDV5 είναι μόνον 22% (δηλαδή 0.22) φορές η πολυπλοκότητα του σήματος μετά το SAX στην κανονική κατάσταση. Το υψηλό αυτό αποτέλεσμα αποδίδεται στο γεγονός ότι η ζήτηση για το συστατικό D του σωλήνα 2 μεταβλήθηκε προκειμένου να καλυφθούν οι ανάγκες του συστήματος από αυτό, οι οποίες δημιουργήθηκαν εξ αιτίας της διαταραχής αυτής. Έτσι, το σύστημα ελέγχου ικανοποίησε τη ζήτηση του αντιδραστήρα μεταβάλλοντας το σήμα της μεταβλητής 2 όσο ήταν απαραίτητο.

IDV 6 (βηματική απώλεια τροφοδότησης A, σωλήνας 1)

ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ 9: ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑ

Στην IDV6, η θερμοκρασία του αντιδραστήρα έχει μεγάλο αποτέλεσμα για τον ίδιο λόγο όπως και για τις IDV1 και 2. Για αυτό τον λόγο η διαφορά μεταξύ του PE κατά την IDV6 και του PE κατά την κανονική κατάσταση είναι μεγάλη και συγκεκριμένα ίση με το 235.4% του PE της κανονικής κατάστασης. Δηλαδή, η πολυπλοκότητα του σήματος μετά το SAX κατά την IDV6 είναι 335.4% (δηλαδή 3.354) φορές μεγαλύτερη από την πολυπλοκότητα του σήματος μετά το SAX στην κανονική κατάσταση.

ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ 12: ΣΤΑΘΜΗ ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΗ

Το υψηλό αποτέλεσμα στην στάθμη του προϊόντος στον διαχωριστή (μεταβλητή 12) οφείλεται στον ίδιο λόγο με τις IDV1 και 2. Η διαφορά μεταξύ του PE κατά την IDV6 και του PE κατά την κανονική κατάσταση είναι ίση με το 173% του PE της κανονικής κατάστασης. Δηλαδή, η πολυπλοκότητα του σήματος μετά το SAX κατά την IDV6 είναι 273% (δηλαδή 2.73) φορές μεγαλύτερη από την πολυπλοκότητα του σήματος μετά το SAX στην κανονική κατάσταση.

ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ 17: ΠΑΡΟΧΗ ΕΞΟΔΟΥ STRIPPER (ΣΩΛΗΝΑΣ 11)

Η διαφορά μεταξύ του PE κατά την IDV6 και του PE κατά την κανονική κατάσταση είναι ίση με το 196.5% του PE της κανονικής κατάστασης. Δηλαδή, η πολυπλοκότητα του σήματος μετά το SAX κατά την IDV6 είναι 296.5% (δηλαδή 2.965) φορές μεγαλύτερη από την πολυπλοκότητα του σήματος μετά το SAX στην κανονική κατάσταση. Το υψηλό αποτέλεσμα στην παροχή εξόδου του stripper (ή αλλιώς την παροχή στον σωλήνα 11), οφείλεται στο ότι η διαδικασία διαχωρισμού στον stripper γίνεται με χρησιμοποιούμενο αέριο το C, δηλαδή χάρη στον σωλήνα 4, του οποίου η παροχή επηρεάζεται από την διαταραχή IDV6.

IDV 7 (βηματική απώλεια πίεσης C, σωλήνας 4)

ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ 12: ΣΤΑΘΜΗ ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΗ

Η διαφορά μεταξύ του PE κατά την IDV7 και του PE κατά την κανονική κατάσταση είναι ίση με το 164% του PE της κανονικής κατάστασης. Δηλαδή, η πολυπλοκότητα του σήματος μετά το SAX κατά την IDV7 είναι 264% (δηλαδή 2.64) φορές μεγαλύτερη από την πολυπλοκότητα του σήματος μετά το SAX στην κανονική κατάσταση. Το μεγάλο αποτέλεσμα αποδίδεται στην παρακάτω εξήγηση. Η παροχή της αντλίας μετά τον διαχωριστή φαίνεται να παραμένει αρκετά σταθερή (καθώς η μεταβλητή 14 «Παροχή προϊόντος διαχωριστή, σωλήνας 10» έχει διαφορά μεταξύ του PE κατά την IDV7 και του PE κατά την κανονική κατάσταση είναι ίση με το 4.7% του PE της κανονικής κατάστασης). Επομένως, εφόσον μειώνεται η πίεση εντός του stripper (μεταβλητή 16), αφού αυτός συνδέεται άμεσα με τον σωλήνα 10, πρέπει να επηρεαστεί και η πίεση και στον διαχωριστή για να παραμένει αμετάβλητη η παροχή του σωλήνα. Πράγματι, η μεταβλητή 13 «Πίεση προϊόντος διαχωριστή» επηρεάζεται με ποσοστιαία μεταβολή PE -66%. Έτσι, εν τέλει, επηρεάζεται και η στάθμη του διαχωριστή.

ΤΥΧΑΙΑΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΔΙΑΤΑΡΑΧΕΣ

IDV8 (τυχαίας μεταβολής διαταραχή συστάσεων σε A, B και C, σωλήνας 4)

Για τους ίδιους λόγους με τις IDV1 και 2, οι μεταβλητές 9 και 12 έχουν μεγάλο αποτέλεσμα και στην IDV8. Υψηλό αποτέλεσμα, όμως, έχει και η μεταβλητή 8, δηλαδή η στάθμη του αντιδραστήρα.

ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ 8: ΣΤΑΘΜΗ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑ

Η διαφορά μεταξύ του PE κατά την IDV8 και του PE κατά την κανονική κατάσταση είναι ίση με το 137% του PE της κανονικής κατάστασης. Δηλαδή, η πολυπλοκότητα του σήματος μετά το SAX κατά την IDV8 είναι 237% (δηλαδή 2.37) φορές μεγαλύτερη από την πολυπλοκότητα του σήματος μετά το SAX στην κανονική κατάσταση. Αυτό οφείλεται, όπως και για την θερμοκρασία του αντιδραστήρα (μεταβλητή 9), στο γεγονός ότι μεταβάλλονται τα mol των αντιδρώντων, όπως φαίνεται από τις μεταβλητές 23-28.

IDV 9 (τυχαίας μεταβολής διαταραχή θερμοκρασίας τροφοδότησης D, σωλήνας 2)

ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ 17: ΠΑΡΟΧΗ ΕΞΟΔΟΥ STRIPPER (ΣΩΛΗΝΑΣ 11)

Όπως φαίνεται, η διαφορά μεταξύ του PE κατά την IDV9 και του PE κατά την κανονική κατάσταση είναι ίση με το 98% του PE της κανονικής κατάστασης. Δηλαδή, η πολυπλοκότητα του σήματος μετά το SAX κατά την IDV9 είναι 198% (δηλαδή 1.98) φορές μεγαλύτερη από την πολυπλοκότητα του σήματος μετά το SAX στην κανονική κατάσταση. Για τον ίδιο λόγο με τις IDV1 και 2 είναι υψηλό το αποτέλεσμα στην μεταβλητή 17.

IDV10 (τυχαίας μεταβολής διαταραχή θερμοκρασίας C, σωλήνας 4)

ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ 12: ΣΤΑΘΜΗ ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΗ

Η διαφορά μεταξύ του PE κατά την IDV10 και του PE κατά την κανονική κατάσταση είναι ίση με το 303% του PE της κανονικής κατάστασης. Δηλαδή, η πολυπλοκότητα του σήματος μετά το SAX κατά την IDV10 είναι 403% (δηλαδή 4.03) φορές μεγαλύτερη από την πολυπλοκότητα του σήματος μετά το SAX στην κανονική κατάσταση. Είναι λογικό το μεγάλο αποτέλεσμα στην στάθμη του διαχωριστή για τους ίδιους λόγους με αυτούς των IDV1 και 2 παραπάνω.

IDV11 (τυχαίας μεταβολής διαταραχή θερμοκρασίας εισόδου ψυκτικού υγρού αντιδραστήρα)

ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ 12: ΣΤΑΘΜΗ ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΗ

Είναι λογικό να επηρεαστεί η στάθμη του διαχωριστή για τους ίδιους λόγους με αυτούς των IDV1 και 2 παραπάνω. Για αυτό η διαφορά μεταξύ του PE κατά την IDV11 και του PE κατά την κανονική κατάσταση είναι μεγάλη και πιο συγκεκριμένα ίση με το 312% του PE της κανονικής κατάστασης. Με άλλα λόγια, η πολυπλοκότητα του σήματος μετά το SAX κατά την IDV11 είναι 412% (δηλαδή 4.12) φορές μεγαλύτερη από την πολυπλοκότητα του σήματος μετά το SAX στην κανονική κατάσταση.

ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ 19: ΠΑΡΟΧΗ ΑΤΜΟΥ STRIPPER

Η διαφορά μεταξύ του PE κατά την IDV11 και του PE κατά την κανονική κατάσταση είναι ίση με το 164% του PE της κανονικής κατάστασης. Με άλλα λόγια, η πολυπλοκότητα του σήματος μετά το SAX κατά την IDV11 είναι 264% (δηλαδή 2.64) φορές μεγαλύτερη από την πολυπλοκότητα του σήματος μετά το SAX στην κανονική κατάσταση. Το μεγάλο αποτέλεσμα δικαιολογείται επειδή εν τέλει επηρεάζεται η παροχή του σωλήνα 4, άρα επηρεάζεται και η παροχή του ατμού που εξάγει ο stripper, καθώς το δεύτερο αποτελεί την συνέχεια του πρώτου μετά την επαφή του με το υγρό.

IDV12 (τυχαίας μεταβολής διαταραχή θερμοκρασίας εισόδου ψυκτικού υγρού συμπυκνωτή)

ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ 4: ΤΡΟΦΟΔΟΤΗΣΗ Α ΚΑΙ C (ΣΩΛΗΝΑΣ 4)

Η διαφορά μεταξύ του PE κατά την IDV12 και του PE κατά την κανονική κατάσταση είναι ίση με το 98% του PE της κανονικής κατάστασης. Με άλλα λόγια, η πολυπλοκότητα του σήματος μετά το SAX κατά την IDV12 είναι 198% (δηλαδή 1.98) φορές μεγαλύτερη από την πολυπλοκότητα του σήματος μετά το SAX στην κανονική κατάσταση. Το υψηλό αυτό ποσοστό οφείλεται στο ότι σκοπός του συστήματος είναι να διατηρηθεί η επιθυμητή αναλογία στα ποσοστά G και H παρά την διαταραχή αυτή και για να επιτευχθεί αυτό είναι απαραίτητο να ελέγχεται από το σύστημα ελέγχου κατάλληλα το μέσο χάρη στο οποίο γίνεται η διεργασία του stripper, δηλαδή η μεταβλητή 4.

ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ 9: ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑ

Και εδώ η διαφορά μεταξύ του PE κατά την IDV12 και του PE κατά την κανονική κατάσταση είναι ίση με το 98% του PE της κανονικής κατάστασης. Με άλλα λόγια, η πολυπλοκότητα του σήματος μετά το SAX κατά την IDV12 είναι 198% (δηλαδή 1.98) φορές μεγαλύτερη από την πολυπλοκότητα του σήματος μετά το SAX στην κανονική κατάσταση. Το υψηλό αυτό ποσοστό οφείλεται ξανά στο ότι σκοπός του συστήματος είναι να διατηρηθεί η επιθυμητή αναλογία στα ποσοστά G και H παρά την διαταραχή. Επομένως, η δυναμική της αντίδρασης αλλάζει προκειμένου να ικανοποιήσει αυτή την απαίτηση των απαιτούμενων ποσοστών, συνεπώς και η θερμοκρασία του αντιδραστήρα.

ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ 17: ΠΑΡΟΧΗ ΕΞΟΔΟΥ STRIPPER (ΣΩΛΗΝΑΣ 11)

Και εδώ η διαφορά μεταξύ του PE κατά την IDV12 και του PE κατά την κανονική κατάσταση είναι ίση με το 98% του PE της κανονικής κατάστασης. Με άλλα λόγια, η πολυπλοκότητα του σήματος μετά το SAX κατά την IDV12 είναι 198% (δηλαδή 1.98) φορές μεγαλύτερη από την πολυπλοκότητα του σήματος μετά το SAX στην κανονική κατάσταση. Το μεγάλο αυτό αποτέλεσμα οφείλεται στο ότι το σύστημα ελέγχου μεταβάλλει την βάνα του σωλήνα 11 (διαχειρίσιμη μεταβλητή ΧΜV 8) σύμφωνα με τον ρυθμό της διεργασίας στον stripper με σκοπό τον έλεγχο της απόκλισης παροχής των προϊόντων, καθώς από την διαταραχή αυτή επηρεάζεται η μεταβλητή 4, η οποία επηρεάζει την διεργασία εντός του stripper.

ΑΡΓΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΔΙΑΤΑΡΑΧΕΣ

IDV13 (αργής μεταβολής διαταραχή στην κινητική της αντίδρασης)

ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ 4: ΤΡΟΦΟΔΟΤΗΣΗ Α ΚΑΙ C (ΣΩΛΗΝΑΣ 4)

Η διαφορά μεταξύ του PE κατά την IDV13 και του PE κατά την κανονική κατάσταση είναι ίση με το 250% του PE της κανονικής κατάστασης. Δηλαδή, η πολυπλοκότητα του σήματος μετά το SAX κατά την IDV13 είναι 350% (δηλαδή 3.5) φορές μεγαλύτερη από την πολυπλοκότητα του σήματος μετά το SAX στην κανονική κατάσταση. Το υψηλό ποσοστό αποδίδεται στο ότι αλλάζοντας την ταχύτητα της αντίδρασης, για να διατηρηθούν τα ποσοστά των G και H, είναι λογικό να πρέπει να μεταβληθεί μέσω του συστήματος ελέγχου η τροφοδότηση του σωλήνα 4 για να καθοριστεί η ταχύτητα διεργασίας στον stripper και κατ'επέκταση η σύσταση και παροχή των προϊόντων (σωλήνας 11).

ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ 17: ΠΑΡΟΧΗ ΕΞΟΔΟΥ STRIPPER (ΣΩΛΗΝΑΣ 11)

Η διαφορά μεταξύ του PE κατά την IDV13 και του PE κατά την κανονική κατάσταση είναι και εδώ πολύ υψηλή, συγκεκριμένα, ίση με το 267% του PE της κανονικής κατάστασης. Δηλαδή, η πολυπλοκότητα του σήματος μετά το SAX κατά την IDV13 είναι 367% (δηλαδή 3.67) φορές μεγαλύτερη από την πολυπλοκότητα του σήματος μετά το SAX στην κανονική κατάσταση. Αυτό γίνεται επειδή πρέπει να ελέγχεται η παροχή του προϊόντος στον σωλήνα 11 από το σύστημα ελέγχου για να διατηρηθούν οι επιθυμητές αναλογίες και ποσότητες των G και H, επομένως είναι λογικό η παροχή εξόδου του stripper να μεταβληθεί.

IDV15 (παραμένουσα διαταραχή της βαλβίδας ψυκτικού στον συμπυκνωτή)

ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ 2: ΤΡΟΦΟΔΟΤΗΣΗ D (ΣΩΛΗΝΑΣ 2)

Η διαφορά μεταξύ του PE κατά την IDV15 και του PE κατά την κανονική κατάσταση είναι ίση με το -73% του PE της κανονικής κατάστασης. Με άλλα λόγια, η πολυπλοκότητα του σήματος μετά το SAX κατά την IDV15 είναι μόνον 27% (δηλαδή 0.27) φορές η πολυπλοκότητα του σήματος μετά το SAX στην κανονική κατάσταση. Το υψηλό αυτό αποτέλεσμα αποδίδεται στο γεγονός ότι η ζήτηση για το συστατικό D του σωλήνα 2 μεταβλήθηκε προκειμένου να καλυφθούν οι ανάγκες του συστήματος από αυτό που δημιουργήθηκαν εξ αιτίας της διαταραχής αυτής.

ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ 4: ΤΡΟΦΟΔΟΤΗΣΗ A ΚΑΙ C (ΣΩΛΗΝΑΣ 4)

Η διαφορά μεταξύ του PE κατά την IDV15 και του PE κατά την κανονική κατάσταση είναι ίση με το 68% του PE της κανονικής κατάστασης. Δηλαδή, η πολυπλοκότητα του σήματος μετά το SAX κατά την IDV15 είναι 168% (δηλαδή 1.68) φορές μεγαλύτερη από την πολυπλοκότητα του σήματος μετά το SAX στην κανονική κατάσταση. Το υψηλό αυτό ποσοστό οφείλεται στο γεγονός ότι σκοπός του συστήματος είναι να διατηρηθεί η επιθυμητή αναλογία στα ποσοστά G και H παρά την διαταραχή και για να επιτευχθεί αυτό είναι απαραίτητο να ελέγχεται από το σύστημα ελέγχου κατάλληλα το μέσο χάρη στο οποίο γίνεται η διεργασία του stripper, δηλαδή η μεταβλητή 4.

ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ 9: ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑ

Η διαφορά μεταξύ του PE κατά την IDV15 και του PE κατά την κανονική κατάσταση είναι ίση με το 98% του PE της κανονικής κατάστασης. Δηλαδή, η πολυπλοκότητα του σήματος μετά το SAX κατά την IDV15 είναι 198% (1.98) φορές μεγαλύτερη από την πολυπλοκότητα του σήματος μετά το SAX στην κανονική κατάσταση. Η μεγάλη διαφορά αυτή οφείλεται στο ότι επηρεάζεται η ψύξη των συμπυκνωμάτων άρα και η ανακύκλωση (recycle), και κατ'επέκταση και η αντίδραση.

ΔΙΑΤΑΡΑΧΕΣ ΑΓΝΩΣΤΟΥ ΤΥΠΟΥ

IDV17 (απόκλιση στην μεταφορά θερμότητας στον αντιδραστήρα)

ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ 4: ΤΡΟΦΟΔΟΤΗΣΗ Α ΚΑΙ C (ΣΩΛΗΝΑΣ 4)

Αφού μεταβάλλεται η μεταφορά θερμότητας στον αντιδραστήρα, μεταβάλλεται από το σύστημα ελέγχου η αντίδραση (βλέπε μεταβλητές 23-28). Πιο συγκεκριμένα, οι μεταβλητές 24 και 25 (Α, C συστάσεις στην τροφοδοσία του αντιδραστήρα) παρατηρείται ότι είναι 24% και 23% πολυπλοκότερες από την κανονική τους κατάσταση αντίστοιχα, δηλαδή επηρεάζονται αρκετά. Για να επιτευχθεί κάτι τέτοιο, όμως, χρειάζεται η μεταβολή της Α και C τροφοδοσίας στον σωλήνα 4. Αυτός είναι ο λόγος που η διαφορά μεταξύ του PE κατά την IDV17 και του PE κατά την κανονική κατάσταση είναι ίση με το 164% του PE της κανονικής κατάστασης.

ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ 12: ΣΤΑΘΜΗ ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΗ

Εφόσον μεταβάλλεται η μεταφορά θερμότητας στον αντιδραστήρα και αλλάζουν τα ποσοστά mol των E, F, G, H στην εκκαθάριση (Purge) (μεταβλητές 32-36), αλλάζουν και τα ποσοστά mol που υγροποιούνται στον διαχωριστή και δημιουργούν την στάθμη του. Δηλαδή, είναι η ίδια αιτία με τις IDV1 και 2. Για αυτό τελικά η διαφορά μεταξύ του PE κατά την IDV17 και του PE κατά την κανονική κατάσταση είναι μεγάλη και συγκεκριμένα ίση με το 164% του PE της κανονικής κατάστασης. Δηλαδή, η πολυπλοκότητα του σήματος μετά το SAX κατά την IDV17 είναι 264% (δηλαδή 2.64) φορές μεγαλύτερη από την πολυπλοκότητα του σήματος μετά το SAX στην κανονική κατάσταση.

ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ 19: ΠΑΡΟΧΗ ΑΤΜΟΥ STRIPPER

Η διαφορά μεταξύ του PE κατά την IDV17 και του PE κατά την κανονική κατάσταση είναι ίση με το 98% του PE της κανονικής κατάστασης. Με άλλα λόγια, η πολυπλοκότητα του σήματος μετά το SAX κατά την IDV17 είναι 198% (δηλαδή 2.64) φορές μεγαλύτερη από την πολυπλοκότητα του σήματος μετά το SAX στην κανονική κατάσταση. Το υψηλό αποτέλεσμα δικαιολογείται επειδή επηρεάζεται η παροχή του σωλήνα 4, άρα επηρεάζεται

και η παροχή του ατμού που εξάγει ο stripper, καθώς το δεύτερο αποτελεί την συνέχεια του πρώτου μετά την επαφή του με το υγρό.

IDV18 (απόκλιση στην μεταφορά θερμότητας στον συμπυκνωτή)

ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ 4: ΤΡΟΦΟΔΟΤΗΣΗ Α ΚΑΙ C (ΣΩΛΗΝΑΣ 4)

Η διαφορά μεταξύ του PE κατά την IDV18 και του PE κατά την κανονική κατάσταση είναι ίση με το 98% του PE της κανονικής κατάστασης. Δηλαδή, η πολυπλοκότητα του σήματος μετά το SAX κατά την IDV18 είναι 168% (δηλαδή 1.68) φορές μεγαλύτερη από την πολυπλοκότητα του σήματος μετά το SAX στην κανονική κατάσταση. Το μεγάλο αυτό ποσοστό οφείλεται στο ότι σκοπός του συστήματος είναι να διατηρηθεί η επιθυμητή αναλογία στα ποσοστά G και H παρά την διαταραχή και για να επιτευχθεί αυτό είναι απαραίτητο να ελέγχεται από το σύστημα ελέγχου κατάλληλα το μέσο χάρη στο οποίο γίνεται η διεργασία του stripper, δηλαδή η μεταβλητή 4.

IDV21 (διαταραχή στην θερμοκρασία τροφοδοσίας A, σωλήνας 1)

ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ 4: ΤΡΟΦΟΔΟΤΗΣΗ Α ΚΑΙ C (ΣΩΛΗΝΑΣ 4)

Εφόσον μεταβάλλεται η θερμοκρασία του A επηρεάζεται όλη η αντίδραση. Για να διατηρηθεί όμως η παραγωγή των προϊόντων στις επιθυμητές αναλογίες και ποσότητες, χρειάζεται η μεταβολή της A και C τροφοδοσίας στον σωλήνα 4 για την προσαρμογή του stripper στην διαταραχή αυτή. Για αυτό το λόγο η διαφορά μεταξύ του PE κατά την IDV21 και του PE κατά την κανονική κατάσταση είναι υψηλή και συγκεκριμένα ίση με το 88% του PE της κανονικής κατάστασης.

IDV23 (διαταραχή παροχής τροφοδοσίας A, σωλήνας 1)

ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ 19: ΠΑΡΟΧΗ ΑΤΜΟΥ STRIPPER

Είναι λογικό εφόσον επηρεάζεται η παροχή του σωλήνα 1 να επηρεάζεται και η παροχή του ατμού που εξάγει ο stripper, καθώς επηρεάζεται έντονα η παροχή του A και C (σωλήνας 4) που αποτελεί το μέσο της διεργασίας του stripper και εξάγεται ως ατμός από αυτόν. Για αυτό και η διαφορά μεταξύ του PE κατά την IDV23 και του PE κατά την κανονική κατάσταση είναι μεγάλη και συγκεκριμένα ίση με το 98% του PE της κανονικής κατάστασης.

IDV24 (διαταραχή παροχής τροφοδοσίας D, σωλήνας 2)

ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ 8: ΣΤΑΘΜΗ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑ

Αφού μεταβάλλεται η παροχή του D και έτσι αλλάζει η αντίδραση (καθώς ο σωλήνας 2 αποτελεί μία από τις εισόδους του αντιδραστήρα), είναι λογικό να μεταβάλλεται και η στάθμη του αντιδραστήρα. Για αυτό και η διαφορά μεταξύ του PE κατά την IDV24 και του PE κατά την κανονική κατάσταση είναι μεγάλη και συγκεκριμένα ίση με το 123% του PE της κανονικής κατάστασης.

ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ 9: ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑ

Είναι λογικό να επηρεάζεται η θερμοκρασία του αντιδραστήρα, καθώς μεταβάλλεται η παροχή του D και έτσι αλλάζει η αντίδραση. Για αυτό το λόγο η διαφορά μεταξύ του PE κατά την IDV24 και του PE κατά την κανονική κατάσταση είναι υψηλή και ίση με το 492% του PE της κανονικής κατάστασης.

ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ 12: ΣΤΑΘΜΗ ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΗ

Αφού με την μεταβολή τροφοδότησης D αλλάζουν τα ποσοστά mol των E, F, G, H στην εκκαθάριση (Purge) (μεταβλητές 32-36), αλλάζουν και τα ποσοστά mol που υγροποιούνται στον διαχωριστή και δημιουργούν την στάθμη του. Δηλαδή, είναι η ίδια

αιτία με τις IDV1 και 2. Για αυτό η διαφορά μεταξύ του PE κατά την IDV24 και του PE κατά την κανονική κατάσταση είναι μεγάλη και ίση με το 505% του PE της κανονικής κατάστασης.

ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ 14: ΠΑΡΟΧΗ ΥΓΡΟΥ ΕΞΟΔΟΥ ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΗ

Η παροχή του υγρού εξόδου μεταβάλλεται για να ελεγχθεί η παροχή του υγρού που κατευθύνεται προς τον stripper και κατά επέκταση προς παραγωγή. Για αυτό και η διαφορά μεταξύ του PE κατά την IDV24 και του PE κατά την κανονική κατάσταση είναι υψηλή και ίση με το 107% του PE της κανονικής κατάστασης. Δηλαδή, η πολυπλοκότητα του σήματος μετά το SAX κατά την IDV24 είναι 2.07 φορές μεγαλύτερη από την πολυπλοκότητα του σήματος μετά το SAX στην κανονική κατάσταση.

ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ 22: ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΕΞΟΔΟΥ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΗ

Η θερμοκρασία του υγρού στον διαχωριστή (μεταβλητή 11) και κατ'επέκταση η θερμοκρασία εξόδου του ψυκτικού υγρού του μεταβάλλονται. Για αυτό τελικά η διαφορά μεταξύ του PE κατά την IDV24 και του PE κατά την κανονική κατάσταση είναι υψηλή (ίση με το 150% του PE της κανονικής κατάστασης).

IDV25 (διαταραχή παροχής τροφοδοσίας E, σωλήνας 3)

ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ 12: ΣΤΑΘΜΗ ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΗ

Αφού με την μεταβολή τροφοδότησης E αλλάζουν τα ποσοστά mol των E, F, G, H στην εκκαθάριση (Purge) (μεταβλητές 32-36), αλλάζουν και τα ποσοστά mol που υγροποιούνται στον διαχωριστή και δημιουργούν την στάθμη του. Δηλαδή, είναι η ίδια αιτία με τις IDV1 και 2. Για αυτό τελικά η διαφορά μεταξύ του PE κατά την IDV25 και του PE κατά την κανονική κατάσταση είναι μεγάλη και ίση με το 399% του PE της κανονικής κατάστασης.

ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ 22: ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΕΞΟΔΟΥ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΗ

Η θερμοκρασία του υγρού στον διαχωριστή και κατά επέκταση η θερμοκρασία εξόδου του ψυκτικού υγρού του μεταβάλλονται. Για αυτό, εν τέλει, η διαφορά μεταξύ του PE κατά την IDV25 και του PE κατά την κανονική κατάσταση είναι και εδώ μεγάλη (ίση με το 108% του PE της κανονικής κατάστασης).

IDV26 (διαταραχή τροφοδοσίας A και C, σωλήνας 4)

ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ 12: ΣΤΑΘΜΗ ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΗ

Αφού με την μεταβολή τροφοδότησης A και C αλλάζουν τα ποσοστά mol των E, F, G και H στην εκκαθάριση (Purge) (μεταβλητές 32-36), αλλάζουν και τα ποσοστά mol που υγροποιούνται στον διαχωριστή και δημιουργούν την στάθμη του. Δηλαδή, είναι η ίδια αιτία με τις IDV1 και 2. Για αυτό και η διαφορά μεταξύ του PE κατά την IDV26 και του PE κατά την κανονική κατάσταση είναι υψηλή και ίση με το 128% του PE της κανονικής κατάστασης.

ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ 22: ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΕΞΟΔΟΥ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΗ

Η θερμοκρασία του υγρού στον διαχωριστή και κατ'επέκταση η θερμοκρασία εξόδου του ψυκτικού υγρού του μεταβάλλονται. Για αυτό τελικά η διαφορά μεταξύ του PE κατά την IDV26 και του PE κατά την κανονική κατάσταση είναι υψηλή (ίση με το 92% του PE της κανονικής κατάστασης).

IDV28 (διαταραχή τροφοδοσίας ψυκτικού συμπυκνωτή)

ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ 4: ΤΡΟΦΟΔΟΤΗΣΗ A ΚΑΙ C (ΣΩΛΗΝΑΣ 4)

Η διαφορά μεταξύ του PE κατά την IDV28 και του PE κατά την κανονική κατάσταση είναι ίση με το 68% του PE της κανονικής κατάστασης. Δηλαδή, η πολυπλοκότητα του σήματος μετά το SAX κατά την IDV28 είναι 168% (δηλαδή 1.68) φορές μεγαλύτερη από την

πολυπλοκότητα του σήματος μετά το SAX στην κανονική κατάσταση. Και εδώ, το μεγάλο αυτό ποσοστό οφείλεται στο ότι σκοπός του συστήματος είναι να διατηρηθεί η επιθυμητή αναλογία στα ποσοστά G και H παρά την διαταραχή και για να επιτευχθεί αυτό είναι απαραίτητο να ελέγχεται από το σύστημα ελέγχου κατάλληλα το μέσο χάρη στο οποίο γίνεται η διεργασία του stripper, δηλαδή η μεταβλητή 4.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΕΓΚΕΦΑΛΟΓΡΑΦΗΜΑΤΑ

4.1 Η επιληψία και η αναγκαιότητα εφαρμογής του συνδυασμού των μεθόδων SAX και PE στα ηλεκτροεγκεφαλογραφήματα

Η επιληψία είναι μία δυσλειτουργία του εγκεφάλου, η οποία χαρακτηρίζεται από επαναλαμβανόμενες και απρόβλεπτες διακοπές των φυσιολογικών λειτουργιών του, οι οποίες ονομάζονται επιληπτικές διαταραχές [6]. Πιο συγκεκριμένα, οι επιληπτικές διαταραχές είναι επεισόδια που παράγουν ισχυρό κλονισμό του ανθρώπινου σώματος [7] και η διάρκειά τους έχει εύρος από μερικά δευτερόλεπτα μέχρι παραπάνω από πέντε λεπτά (η δεύτερη περίπτωση ονομάζεται “status epilepticus”) [8]. Η επιληψία μπορεί να δημιουργηθεί ως αποτέλεσμα ποικίλων παραγόντων, όπως χτυπήματα, μολύνσεις, τραυματισμούς, όγκους στον εγκέφαλο και ελαττώματα κατά την γέννηση ενός ανθρώπου. Επιπροσθέτως, οι άνθρωποι οι οποίοι υποφέρουν από την επιληψία έχουν αυξημένη θνησιμότητα συγκριτικά με τον γενικό πληθυσμό [9]. Συμπερασματικά, πρέπει να γίνει κατανοητό πως η επιληψία είναι μία πολύ επικίνδυνη και δημοφιλής ασθένεια, καθώς περίπου 50 εκατομμύρια άνθρωποι έχουν διαγνωστεί με αυτήν [10], ενώ προσεγγιστικά 80% αυτών ζουν σε αναπτυσσόμενες χώρες [7].

Οι επιληπτικές διαταραχές ελέγχονται συνήθως με αντιεπιληπτική φαρμακευτική αγωγή. Έρευνες έχουν αποδείξει ότι μπορούν να θεραπευτούν με άλλες μεθόδους, όπως διακρανιακή μαγνητική διέγερση (transcranial magnetic stimulation) [11] ή με κωλυσιεργική άπνοια κατά τον ύπνο (obstructive sleep apnoea treatment) [12]. Παρά όλα αυτά, δεν είναι όλες οι διαταραχές ελεγχόμενες με θεραπεία, αλλά μόνο το 70% αυτών [7]. Συνεπώς, η ερώτηση που τίθεται είναι τι γίνεται όταν η επιληψία δεν μπορεί να ελεγχθεί.

Η μη ελεγχόμενη επιληψία συμβαίνει όταν δεν υπάρχουν διαθέσιμες θεραπείες που επιτρέπουν στους ασθενείς να επιτύχουν ολοκληρωτικό έλεγχο της διαταραχής [13]. Οι συνέπειες της μη ελεγχόμενης επιληψίας είναι νευροψυχολογικές και σωματικές βλάβες, νέκρωση των νευρώνων, φυσιολογική δυσλειτουργία, κοινωνική ανικανότητα και μειωμένη διάρκεια ζωής, το οποίο είναι το σημαντικότερο όλων [14].

Η τεχνολογία των ηλεκτροεγκεφαλογραφημάτων (EEG) είναι ένα από τα πιο καθιερωμένα και αποτελεσματικά εργαλεία εντοπισμού της επιληψίας [15, 16, 17]. Επιπροσθέτως, η παρακολούθηση βίντεο των EEG παράγει μακράς διάρκειας σήματα EEG που μπορεί να διαρκέσουν μέρες, ακόμα και εβδομάδες [18]. Αυτό αποτελεί μία πολύ κουραστική διαδικασία για τους νευρολόγους, καθώς είναι υποχρεωμένοι να εξετάσουν αυτά τα μακράς διάρκειας σήματα προκειμένου να εντοπίσουν επιληπτικές διαταραχές, οι οποίες αποτελούν μόνο ένα μικρό μέρος αυτών [19]. Ακόμα και αν εξαιρεθούν ο χρόνος και

το κόστος αυτής της διαδικασίας, υπάρχει μεγάλο περιθώριο για ανθρώπινο λάθος [19]. Πιο συγκεκριμένα, όπως ειπώθηκε από τους Wilson et al. [19], έχουν υπάρξει διαφορές μεταξύ των αναλύσεων που διεξήχθησαν από τέσσερις ειδικούς σε ένα οκτάωρο EEG σήμα. Επομένως, η ανάπτυξη αυτοματοποιημένων μεθόδων που ξεχωρίζουν τις επιληπτικές διαταραχές καθίσταται απαραίτητη.

Αρκετά πρόσφατα, η μέθοδος PE έδειξε σημαντικές δυνατότητες για να εισαχθεί στην αυτόματη επεξεργασία των EEG [20]. Για παράδειγμα, οι Ferlazzo et al. [20] μελέτησαν τις εγκεφαλικές δραστηριότητες ασθενών, χρησιμοποιώντας PE, με σκοπό να εντοπίσουν ανωμαλίες. Επίσης, οι Morabito et al. [21] χρησιμοποίησαν πολυπαραγοντική PE (multivariate multi-scale PE) πολλαπλών κλιμάκων για να εκτιμήσουν την πολυπλοκότητα των EEG σημάτων για το Alzheimer. Τέλος, οι Tawfik et al. [18] έχουν αναπτύξει ένα μοντέλο αυτόματου εντοπισμού διαταραχών ολοκληρώνοντας την ζυγισμένη PE (weighted PE) και το SVM (Support Vector Machine) για να ενισχύσουν την ευαισθησία και την ακρίβεια της διαδικασίας εντοπισμού. Όλα τα παραπάνω οφείλονται στο γεγονός ότι το PE θεωρείται μία απλή, γρήγορη και στιβαρή ως προς τον θόρυβο μέθοδος για να εξαγάγει πληροφορίες από μία χρονοσειρά μετρώντας την πολυπλοκότητά της [21].

Επομένως, αυτό το κεφάλαιο της διπλωματικής προτείνει ένα αυτόματο εργαλείο εντοπισμού διαταραχών που συνδυάζει το SAX και το PE. Συγκεκριμένα, αρχικά προτείνεται προεπεξεργασία των EEG σημάτων με το SAX ως πρώτο βήμα, που στοχεύει στην απλούστευση και τη μείωση της διάστασης του αρχικού σήματος. Αυτό γίνεται επειδή το SAX θεωρείται απλό στην κατανόηση, υπολογιστικά αποδοτικό και, πάνω από όλα, καθιστά ένα σήμα πολύ ευκολότερο να ερμηνευθεί και να εξαχθούν πληροφορίες από αυτό [1]. Όπως φαίνεται και από τα παρακάτω αποτελέσματα του παρόντος κεφαλαίου, το SAX όχι μόνο διευκολύνει την επεξεργασία και την ερμηνεία των EEG σημάτων, αλλά επίσης διατηρεί την απαραίτητη πληροφορία από καθένα από αυτά.

Η εφαρμογή του συνδυασμού των δύο αυτών μεθόδων δεν επιτρέπει απλώς την διάκριση των ασθενών που έχουν επιληπτικές διαταραχές, αλλά παρέχει και πρόσθετες πληροφορίες στους νευρολόγους για την κατάσταση των ασθενών. Αυτό επιτυγχάνεται χάρη στο γεγονός ότι το μοντέλο λαμβάνει υπόψη του τρεις διαφορετικές μεταβλητές που περιγράφουν την κάθε κατάσταση, οι οποίες είναι: η κατάσταση του ασθενούς, ο τύπος και η τοποθέτηση του ηλεκτροδίου που χρησιμοποιείται κατά την μέτρηση του EEG σήματος. Επίσης, το μοντέλο αυτό έχει μεγάλες δυνατότητες επεξεργασίας, όντας ικανό να παρέχει άμεσα αποτελέσματα ακόμα και για την βάση δεδομένων ενός ολόκληρου νοσοκομείου. Επομένως, ο χρόνος της διάγνωσης ελαχιστοποιείται, καθώς ένας νευρολόγος μπορεί πλέον να έχει άμεσα μία αρχική εκτίμηση για την κατάσταση κάθε ασθενούς. Συνεπώς, η παρούσα μελέτη στοχεύει στον χαρακτηρισμό της κατάστασης ενός ασθενούς μέσω μίας τιμής PE για κάθε σήμα που προκύπτει από την εφαρμογή του συνδυασμού των SAX και PE σε αυτό.

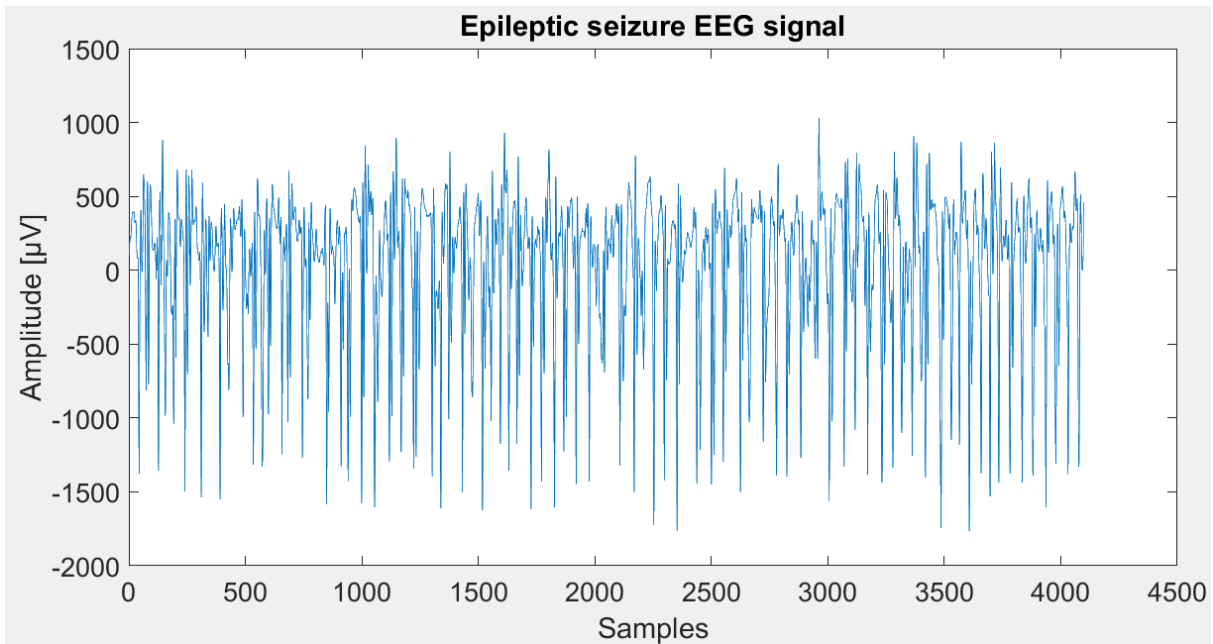
4.2 Περιγραφή της Βάσης Δεδομένων

Η μέθοδος εφαρμόστηκε στο σύνολο δεδομένων της Κλινικής για την Επιληψία του Πανεπιστημίου Bonn (Klinik für Epileptologie of Universität Bonn) [22]. Το σύνολο αυτό αποτελείται από πέντε διαφορετικά σετ, τα οποία συμβολίζονται ως O, Z, N, F και S. Κάθε ένα από αυτά περιέχει 100 EEG σήματα μονού καναλιού (single channel). Κάθε εγγραφή έχει διάρκεια 23.6 δευτερολέπτων και έχει παραχθεί με συχνότητα δειγματοληψίας 173.61 Hz. Αναλυτικότερα, τα σετ O και Z περιέχουν EEG σήματα που ανήκουν σε πέντε υγιείς εθελοντές σε κατάσταση χαλάρωσης (relaxing state) και με τα ηλεκτρόδια να είναι τοποθετημένα στην επιφάνεια του κρανίου. Η μόνη διαφορά μεταξύ των Z και O είναι ότι οι εθελοντές του σετ Z έχουν τα μάτια ανοιχτά, ενώ του O έχουν τα μάτια κλειστά. Από την άλλη, τα σετ N, F και S περιέχουν EEG σήματα με ενδοκρανιακές τοποθετήσεις των ηλεκτροδίων που ανήκουν σε πέντε επιληπτικούς ασθενείς. Το σετ N περιέχει σήματα που δεν εμπεριέχουν επιληπτικές διαταραχές και με τα ηλεκτρόδια να είναι εγκατεστημένα στην περιοχή του ιππόκαμπου του ενός ημισφαιρίου. Το σετ F περιέχει και αυτό σήματα απαλλαγμένα από επιληπτικές διαταραχές με τα ηλεκτρόδια να είναι τοποθετημένα στην επιληπτογόνο ζώνη. Τέλος, το σετ S είναι αυτό που περιέχει τα σήματα με επιληπτική διαταραχή, με τα ηλεκτρόδια να είναι και αυτά τοποθετημένα στην επιληπτογόνο ζώνη.

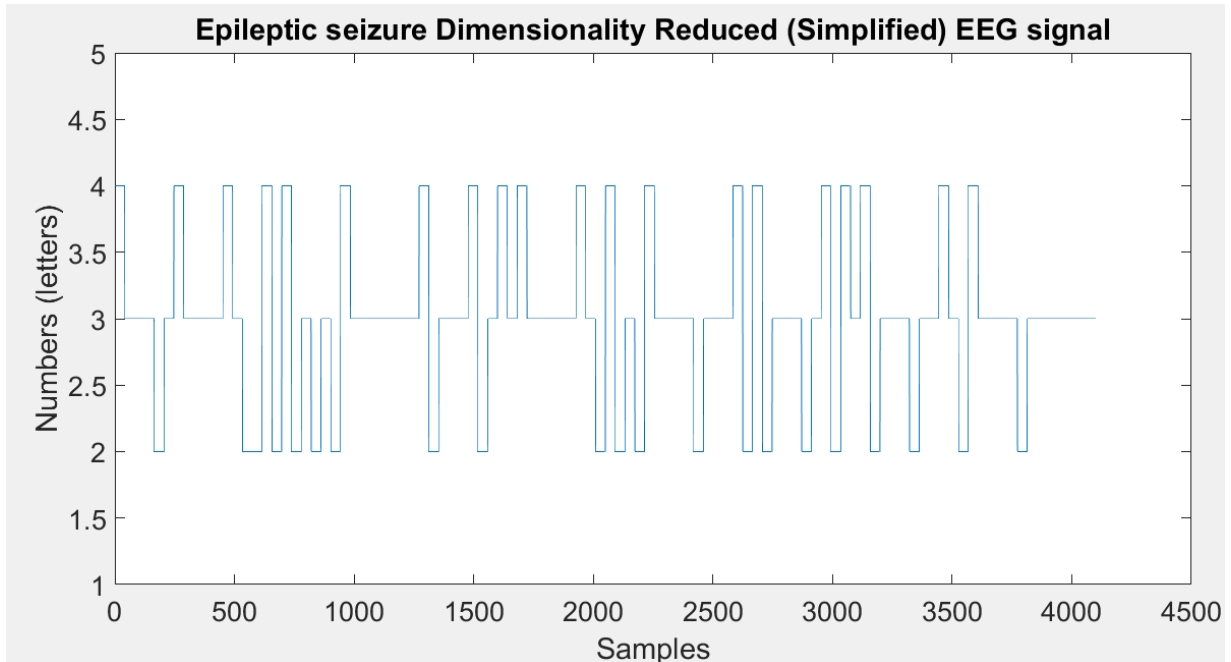
4.3 Βασική Αρχή της Μελέτης

Η μελέτη αυτή βασίζεται στο γεγονός ότι τα PE των σημάτων που εμπεριέχουν επιληπτική διαταραχή είναι μικρότερα των PE των σημάτων στα οποία δεν την εμπεριέχουν. Η αρχή αυτή ισχύει και για τα σήματα που είναι προεπεξεργασμένα από το SAX, όπως φαίνεται και από την παρακάτω ενδεικτική εφαρμογή.

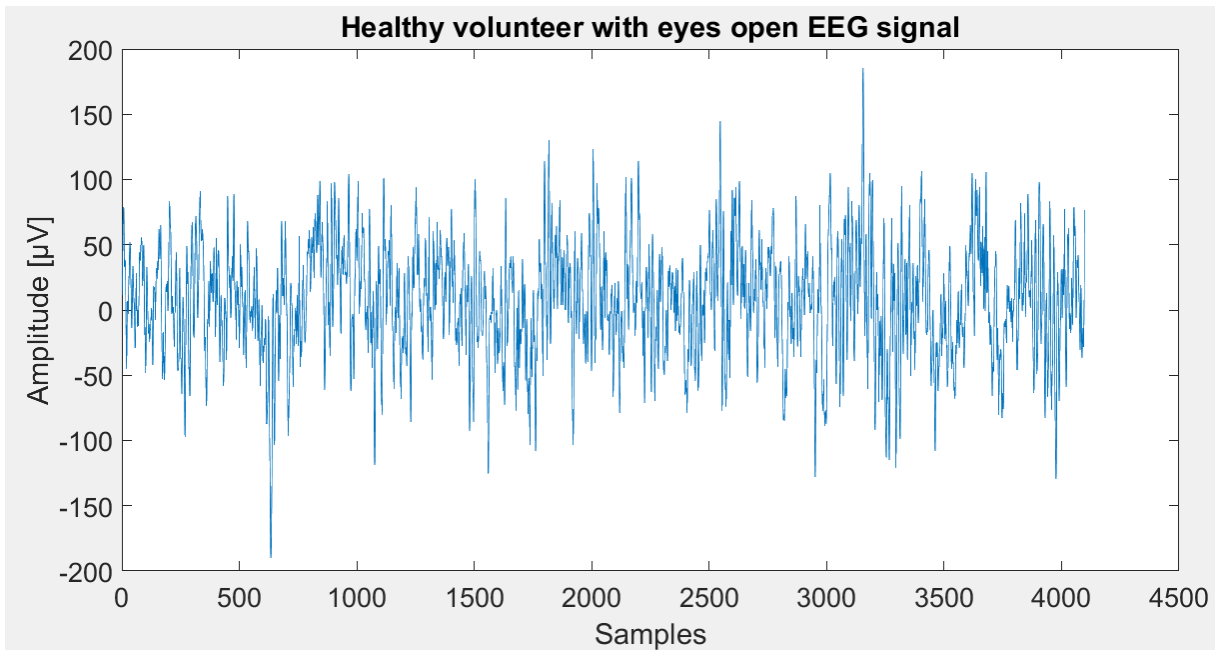
Εφαρμόζεται το SAX σε δύο διαφορετικά σήματα από την παραπάνω βάση δεδομένων: ένα που ανήκει σε έναν ασθενή στον οποίο συμβαίνει επιληπτική διαταραχή (δηλαδή ένα τυχαίο σήμα από το σετ S) και ένα που ανήκει σε έναν υγιή εθελοντή με ανοιχτά τα μάτια (δηλαδή ένα τυχαίο σήμα ενός τυχαίου σετ που εδώ επιλέχθηκε να είναι το Z). Παρατηρώντας τα δύο απλουστευμένα σήματα από τα παρακάτω σχήματα, συμπεραίνεται ότι το πρώτο είναι με διαφορά λιγότερο πολύπλοκο από το δεύτερο. Έτσι, επιβεβαιώνεται η βασική αρχή που αναφέρθηκε παραπάνω.



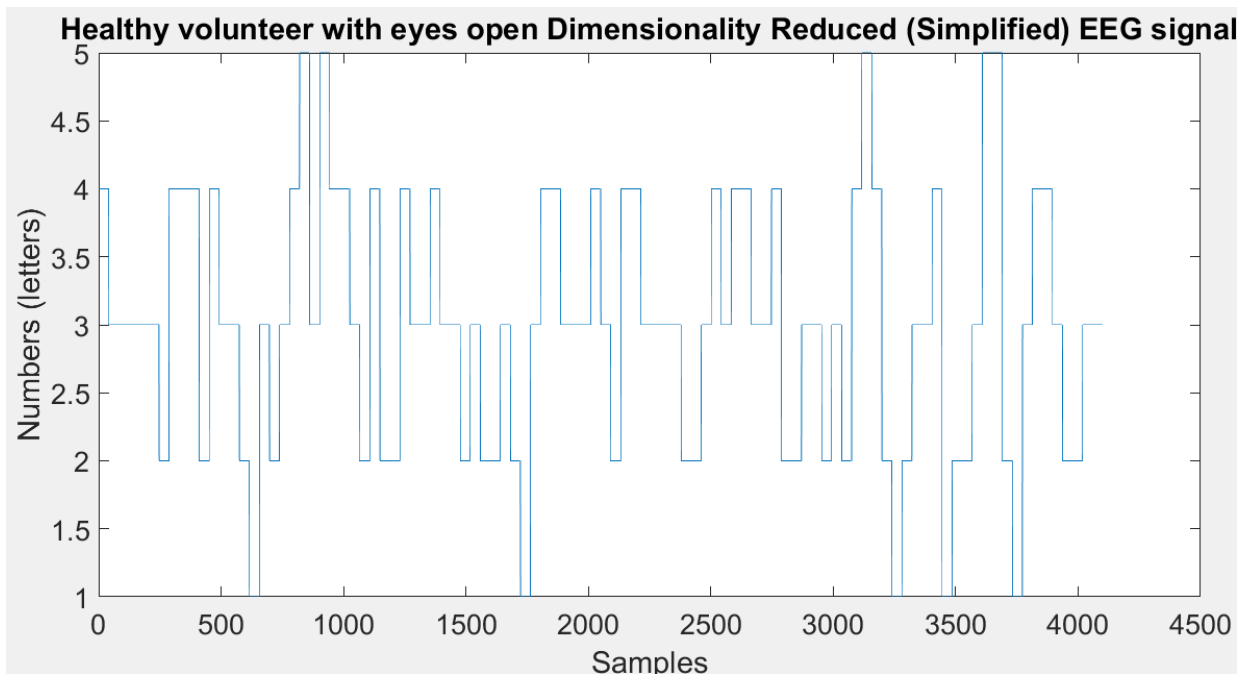
Σχήμα 7.1: EEG σήμα επιληπτικής διαταραχής



Σχήμα 7.2: Απλουστευμένο EEG σήμα επιληπτικής διαταραχής μετά το SAX



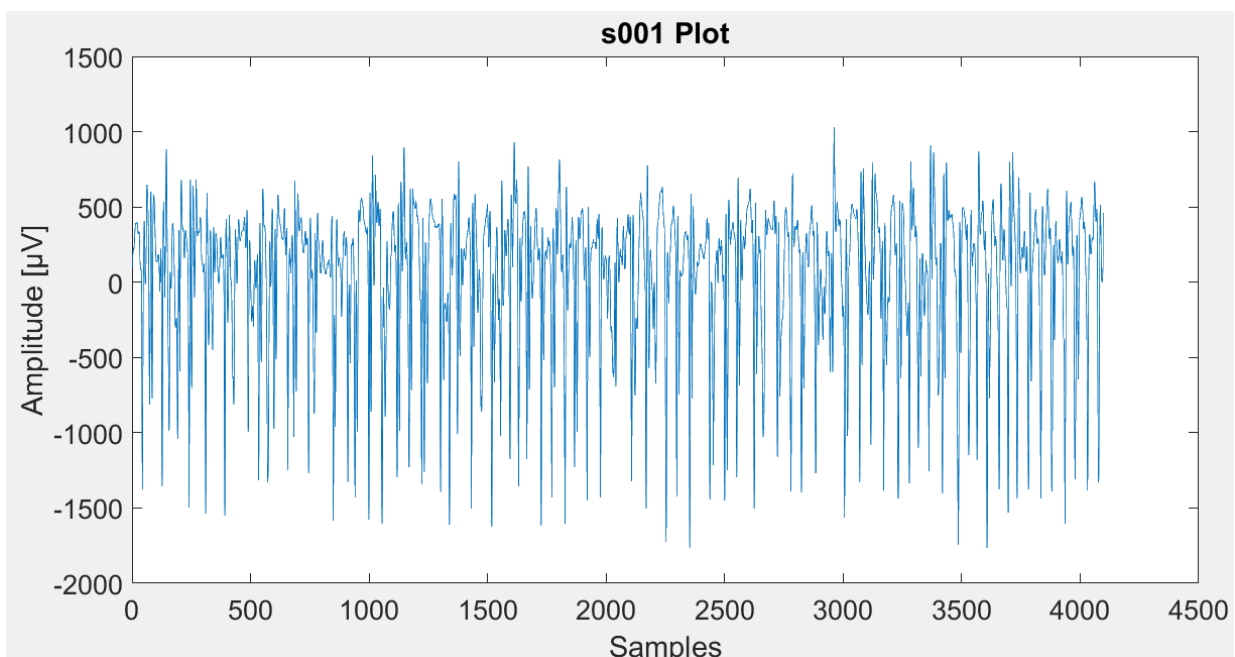
Σχήμα 8.1: EEG σήμα υγιούς εθελοντή



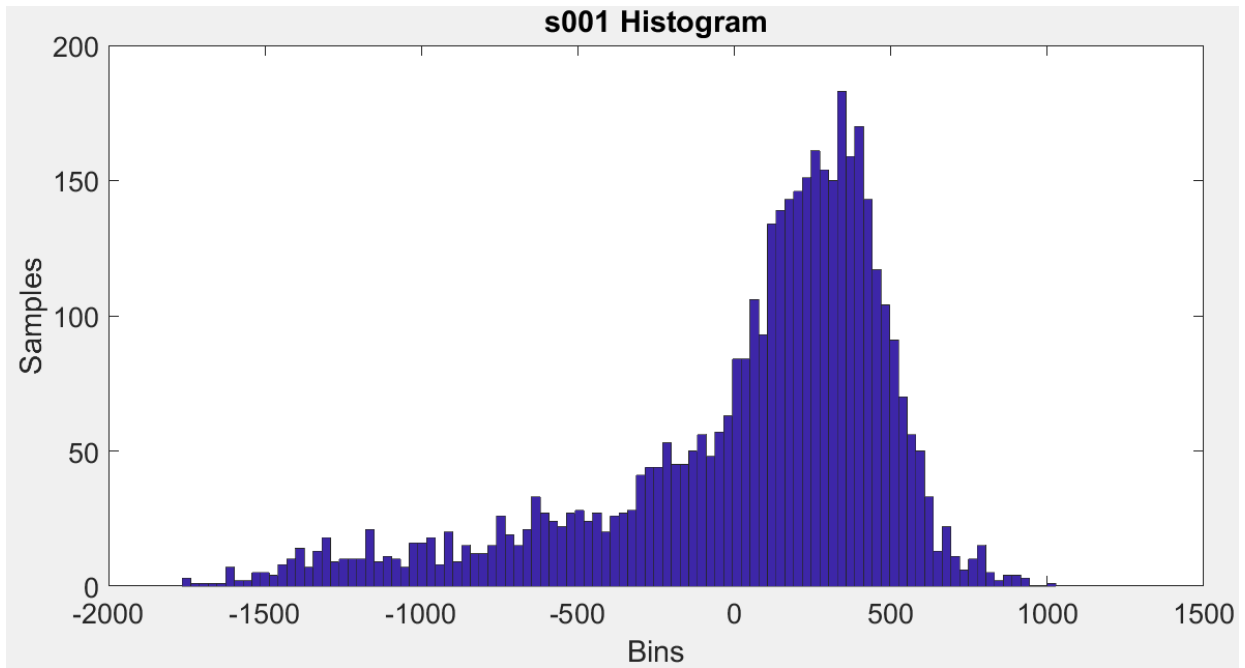
Σχήμα 8.2: Απλουστευμένο EEG σήμα υγιούς εθελοντή μετά το SAX

4.3 Αρχική Προσέγγιση

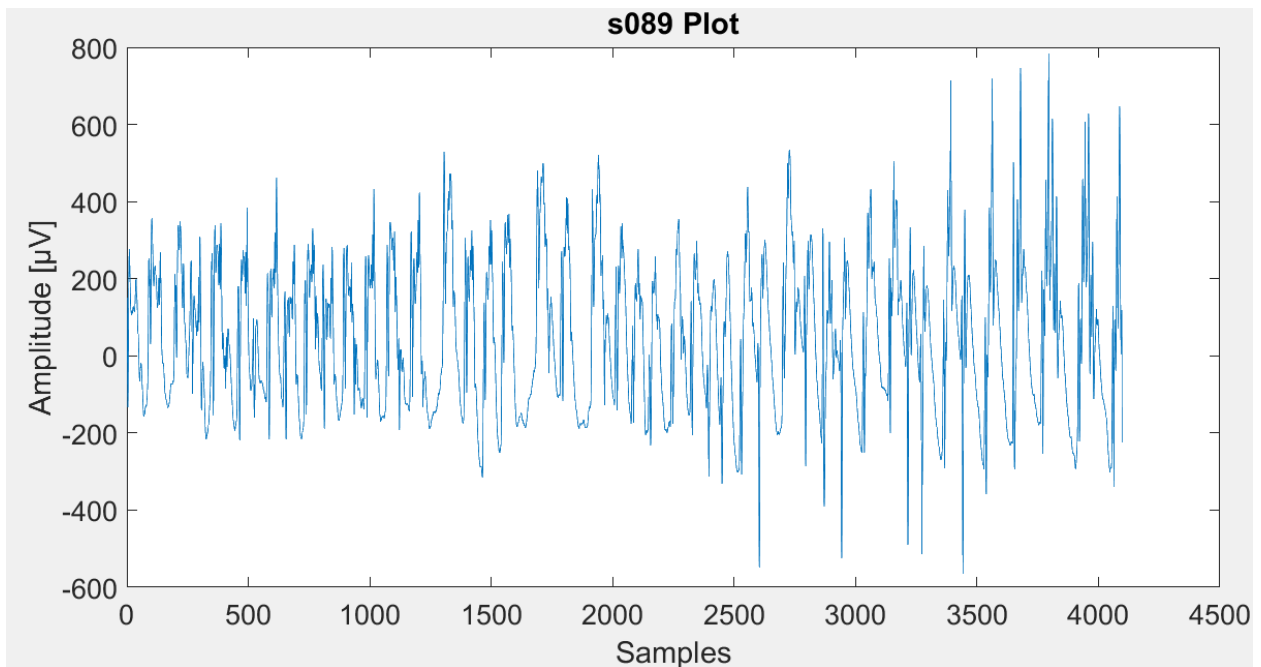
Η κύρια δυσκολία της μεθόδου ήταν να βρεθούν οι παράμετροι του SAX (αριθμός τμημάτων και μέγεθος αλφαβήτου) και η διάσταση μοτίβου του PE σύμφωνα με τις ανάγκες της παρούσας εφαρμογής. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρώντας τα EEG σήματα από τα ίδια σετ, έγινε κατανοητό ότι διαφέρουν πολύ το ένα με το άλλο. Για παράδειγμα, τα σήματα s001 και s089 του σετ S είναι πολύ διαφορετικά, όπως άλλωστε φαίνεται και από τα σήματα και από τα παρακάτω ιστογράμμά τους (Σχήματα 9.1-10.2). Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο αποφασίστηκε να μην διαιρεθούν τα EEG σήματα σε πολλά τμήματα, καθώς έτσι θα προσέγγιζαν όλο και περισσότερο την αρχική χρονοσειρά και κατά επέκταση θα υπήρχαν προβλήματα ομαδοποίησης των σημάτων στα δέοντα σετ.



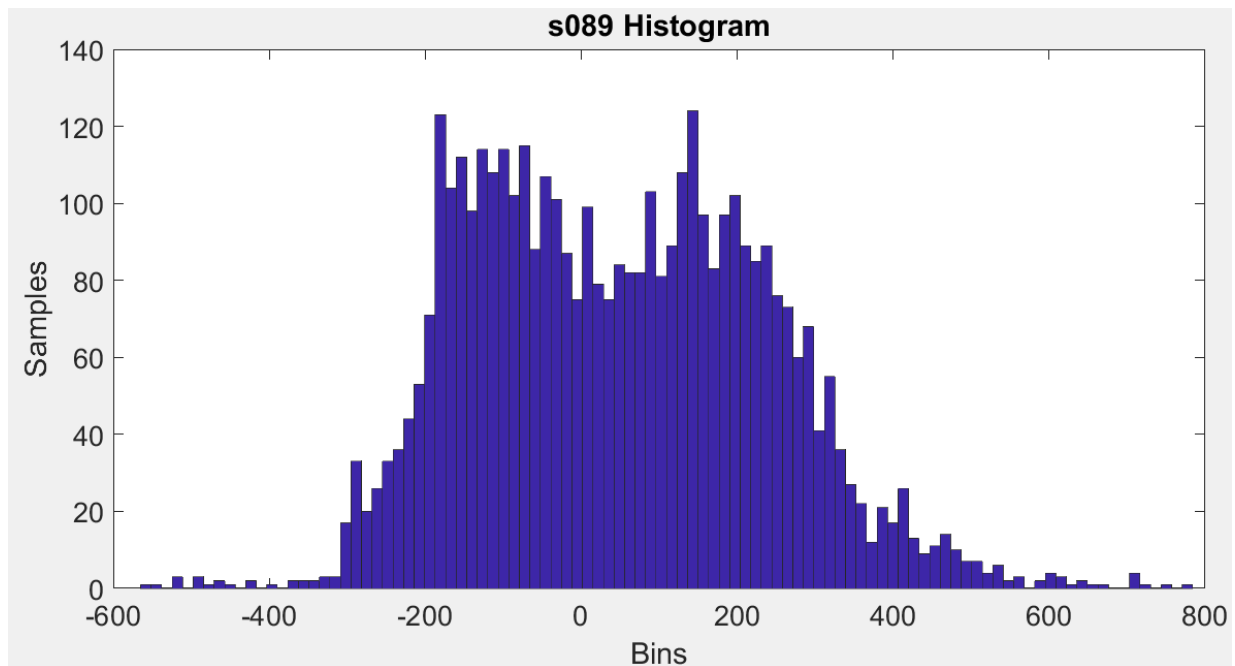
Σχήμα 9.1: Σήμα s001



Σχήμα 9.2: Ιστογράμμα σήματος s001



Σχήμα 10.1: Σήμα s089



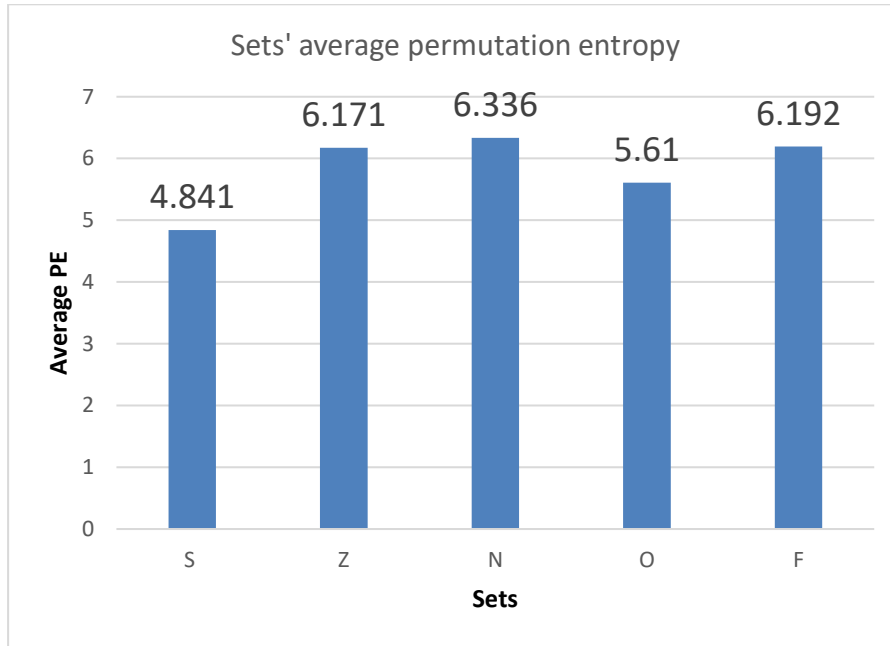
Σχήμα 10.2: Ιστόγραμμα σήματος s089

Συνεπώς, στόχος είναι να βρεθεί ένας μικρός αριθμός τμημάτων που να είναι ικανός να παράγει αποτελέσματα PE που θα ξεχωρίζουν τα σήματα επιληπτικής διαταραχής από τα υπόλοιπα. Αρχικά, επιλέχθηκε μέγεθος αλφαβήτου ίσο με 5, ως μία κλασσική τιμή μεταξύ των 3 και 11. Έπειτα, όπως και στην προηγούμενη εφαρμογή, η χρονική υστέρηση επιλέχθηκε ίση με 1 για να μην χάνεται πολύτιμη πληροφορία από το κάθε σήμα. Μετά, επιλέχθηκε διάσταση μοτίβου ίση με 5, ως μία μέση τιμή μεταξύ των 3 και 7. Επίσης, αποφασίστηκε οι τιμές να λαμβάνουν την ίδια τιμή μετά την εφαρμογή του SAX σε περίπτωση που είναι ίσες και εμπεριέχονται στο ίδιο μοτίβο, καθώς υπάρχει μεγάλη πιθανότητα μετά την εφαρμογή του SAX για μέγεθος αλφαβήτου ίσο με 5 δύο ή περισσότερες τιμές να είναι ίσες στο ίδιο μοτίβο. Έτσι, για μία προσεγγιστική αρχική εκτίμηση του αριθμού των τμημάτων n που πρέπει να επιλεχθούν, εξετάστηκαν ένα προς ένα 20 τυχαία διαλεγμένα σήματα από κάθε σετ για πολλά διαφορετικά τμήματα n σε

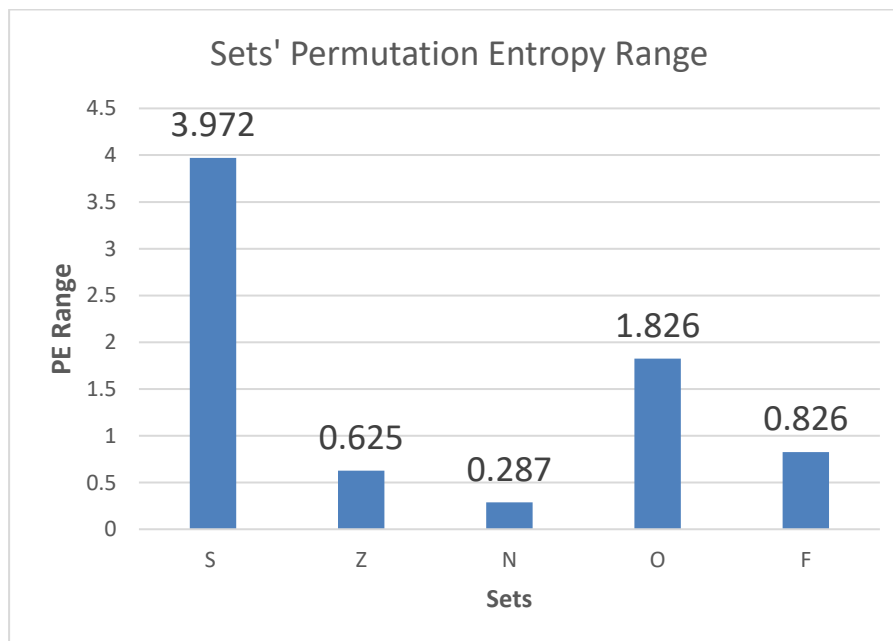
συνδυασμό με τις παραπάνω παραμέτρους. Από αυτές τις δοκιμές παρατηρήθηκε ότι τα 100 τμήματα θεωρούνται μία αρκετά καλή επιλογή, καθώς τα αποτελέσματά του, τα οποία φαίνονται στον πίνακα 17, επιβεβαιώνουν την βασική αρχή στην οποία στηρίζεται η μέθοδος. Η βασική αρχή ικανοποιείται, καθώς παρά το γεγονός ότι το εύρος και η τυπική απόκλιση (Σχήμα 12 και 13 αντίστοιχα) είναι μεγαλύτερες στο σετ της επιληπτικής διαταραχής S από ό,τι στα υπόλοιπα, η μέση τιμή του είναι αισθητά μικρότερη των υπολοίπων (Σχήμα 11).

Πίνακας 17: PE των 20 τυχαία επιλεγμένων EEG σημάτων για κάθε σετ

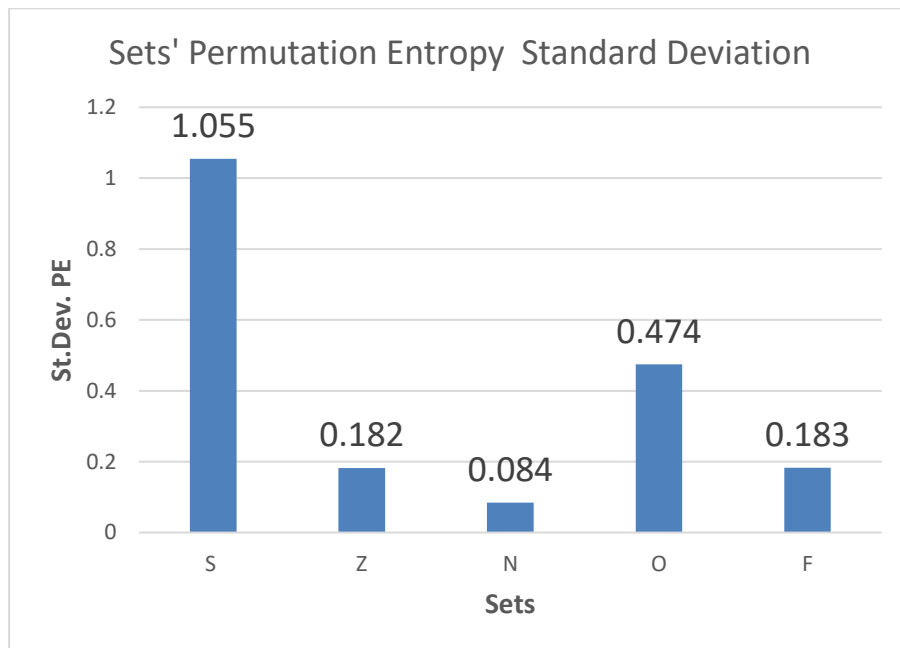
Set S		Set Z		Set N		Set O		Set F	
Signals	PE	Signals	PE	Signals	PE	Signals	PE	Signals	PE
s001	5.4713	Z001	6.2516	n008	6.3114	o001	6.335	f001	6.3975
s002	5.3212	Z017	6.3479	n017	6.3975	o003	6.0952	f003	6.2905
s011	4.2233	z020	5.853	n024	6.3558	o012	5.8216	f005	6.2776
s015	6.3817	z021	6.3192	n027	6.3192	o014	5.5743	f007	6.3192
s020	3.8563	z022	6.3558	n028	6.2072	o017	4.5089	f016	6.1683
s024	5.3311	z024	5.8711	n030	6.2359	o021	5.7075	f017	6.1942
s027	4.627	z029	6.0771	n032	6.1734	o022	4.909	f031	6.1864
s028	3.724	z036	6.2072	n037	6.46	o026	4.7773	f041	5.9493
S033	4.4901	z037	6.1813	n043	6.46	o030	5.9883	f043	5.9951
s056	5.6135	z040	6.0901	n055	6.335	o035	5.8373	f045	6.2489
s060	6.1577	z056	6.4391	n061	6.3766	o036	5.8059	f057	6.2438
s065	5.896	z059	6.1475	n069	6.1942	o040	5.9034	f064	6.2021
s072	4.6861	z063	6.3141	n072	6.2933	o045	5.445	f067	6.2933
s076	4.6118	z064	6.0665	n076	6.335	o054	5.4558	f070	6.0873
s080	2.41	z069	6.1577	n082	6.3479	o060	5.784	f078	6.2895
s082	3.4108	z077	6.3975	n087	6.3271	o065	6.0327	f080	5.5719
s089	6.2151	z078	5.8137	n090	6.3401	o072	5.6552	f089	6.3609
s094	3.794	z088	6.2359	n091	6.4234	o077	5.9353	f093	6.2854
s096	5.6549	z092	6.2854	n099	6.3766	o080	5.6241	f096	6.2567
s100	4.942	z093	6.0067	n100	6.4521	o096	4.9996	f100	6.2229



Σχήμα 11: Μέση τιμή των 20 τυχαία επιλεγμένων EEG σημάτων για κάθε σετ



Σχήμα 12: Εύρος των 20 τυχαία επιλεγμένων EEG σημάτων για κάθε σετ



Σχήμα 13: Τυπική απόκλιση των 20 τυχαία επιλεγμένων EEG σημάτων για κάθε σετ

4.4 Βελτιστοποίηση παραμέτρων

Για να υπάρχει ακόμη μεγαλύτερη ακρίβεια, βελτιστοποιήθηκαν οι παράμετροι: αριθμός τμημάτων “n”, μέγεθος αλφαβήτου “α” και διάσταση μοτίβου “D” για όλα τα EEG σήματα της βάσεως δεδομένων (100 σε κάθε σετ, 500 συνολικά), προκειμένου να εξαχθούν οι στατιστικές τιμές των PE για κάθε σετ που επιβεβαιώνουν την βασική αρχή. Με άλλα λόγια, βέλτιστες, συνεπώς και επιθυμητές, ορίστηκαν οι τρεις αυτές παράμετροι που εξάγουν την μέγιστη απόλυτη τιμή της διαφοράς μεταξύ της μέσης τιμής PE του σετ S με τον μέσο όρο των μέσων τιμών PE των υπόλοιπων σετ, η οποία συμβολίστηκε με το γράμμα f.

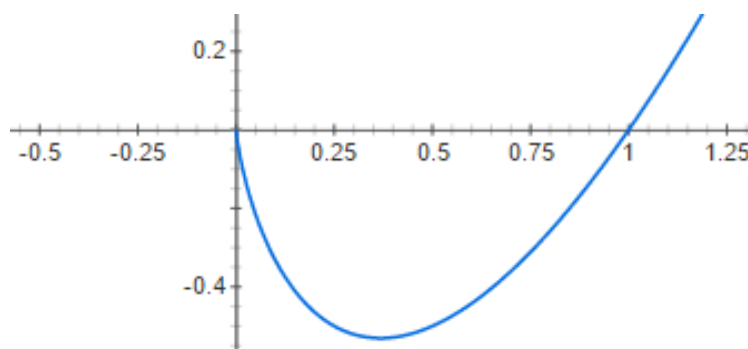
Αναφέρθηκε προηγουμένως ότι τα 100 τμήματα σε συνδυασμό με τα αυθαίρετα επιλεγμένα $\alpha = 5$ και $D = 5$ αποτελούν μία ικανοποιητική επιλογή. Επομένως, για τον προσδιορισμό των βέλτιστων τιμών των παραπάνω παραμέτρων, εκτελέστηκε ο κώδικας 5 για τιμές των παραμέτρων οι οποίες ήταν κοντινές με αυτές του ικανοποιητικού συνδυασμού. Αυτό έγινε προκειμένου να μειωθεί η απαιτούμενη υπολογιστική ισχύς. Τελικά, ο βέλτιστος συνδυασμός που βρέθηκε ήταν για μέγεθος αλφαβήτου ίσο με 5, αριθμό τμημάτων ίσο με 77 και διάσταση μοτίβου ίση με 5, με την απόλυτη τιμή της διαφοράς μεταξύ της μέσης τιμής PE του σετ S με τον μέσο όρο των μέσων τιμών PE των υπολοίπων σετ να είναι ίση με 1.8516. Αξίζει να αναφερθεί ότι ο προηγούμενος συνδυασμός των 100 τμημάτων ήταν 1.1661, το οποίο επιβεβαιώνει το γεγονός ότι αποτελούσε και αυτός μία καλή επιλογή.

Οι βέλτιστες αυτές παράμετροι προέκυψαν επειδή βρέθηκε ότι:

- το μέγεθος αλφαβήτου ίσο με 5 ήταν αυτό που είχε την μεγαλύτερη απόλυτη τιμή της διαφοράς μεταξύ της μέσης τιμής PE του σετ S με τον μέσο όρο των μέσων τιμών PE των υπολοίπων σετ για δεδομένη διάσταση μοτίβου και αριθμό τμημάτων και ταυτόχρονα δεν είχε κανένα EEG σήμα με μηδενικό PE, όπως φαίνεται στον πίνακα 18.
- η διάσταση μοτίβου ίση με 5 ήταν αυτή που είχε την μεγαλύτερη απόλυτη τιμή της διαφοράς μεταξύ της μέσης τιμής PE του σετ S με τον μέσο όρο των μέσων τιμών PE των υπολοίπων σετ για δεδομένο μέγεθος αλφαβήτου και αριθμό τμημάτων και ταυτόχρονα δεν είχε κανένα EEG σήμα με μηδενικό PE, όπως φαίνεται στον πίνακα 19.
- ο αριθμός τμημάτων ίσος με 77 ήταν αυτός που είχε την μεγαλύτερη απόλυτη τιμή της διαφοράς μεταξύ της μέσης τιμής PE του σετ S με τον μέσο όρο των μέσων τιμών PE των υπολοίπων σετ για μέγεθος αλφαβήτου ίσο με 5 και διάσταση μοτίβου ίση με 5 και ταυτόχρονα δεν είχε κανένα EEG σήμα με μηδενικό PE, όπως φαίνεται στους πίνακες 20 και 21.

Αξίζει να σημειωθεί ότι απαιτήθηκε σκοπίμως να μην υπάρχει σήμα με μηδενικό PE, καθώς μηδενικό PE, όπως φαίνεται και από το παρακάτω σχήμα, σημαίνει:

- όλες οι πιθανότητες p_i ενός μοτίβου να είναι ίσες με το μηδέν (το οποίο είναι αδύνατο)
- Μία πιθανότητα p_i ενός μοτίβου να είναι ίση με το 1 (100%) και όλες οι υπόλοιπες να είναι μηδέν, το οποίο συμβαίνει μόνο όταν το μοτίβο αυτό πραγματοποιείται και κανένα άλλο, γεγονός που σημαίνει μεγάλη απλούστευση του EEG σήματος.



Σχήμα 14: Συνάρτηση $x \log_2 x$

Πίνακας 18: PE για $\alpha = 3-11$ για δεδομένα D και n (5 και 100 αντίστοιχα). Κόκκινο χρώμα: Συνδυασμός με τουλάχιστον ένα EEG σήμα με μηδενικό PE. Πράσινο Χρώμα: Βέλτιστο α .

D	5										
n	100										
α	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
f	2.5603	0.9003	1.1661	0.7832	0.5992	0.4882	0.3295	0.2265	0.1949		

Πίνακας 19: PE για D = 3 -7 για δεδομένα α και n (5 και 100 αντίστοιχα). Κόκκινο χρώμα: Συνδυασμός με τουλάχιστον ένα EEG σήμα με μηδενικό PE. Πράσινο Χρώμα: Βέλτιστο D.

α	5				
n	100				
D	3	4	5	6	7
f	0.5215	1.0313	1.1661	1.0165	0.8136

Πίνακας 20: PE για n=50-150 με βήμα 10 για δεδομένα α και n (5 και 5 αντίστοιχα). Κόκκινο χρώμα: Συνδυασμός με τουλάχιστον ένα EEG σήμα με μηδενικό PE.

D	5										
α	5										
n	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
f	2.7166	2.4096	2.1581	1.6994	1.4097	1.1661	1.1532	1.1241	1.1243	1.0582	0.9735

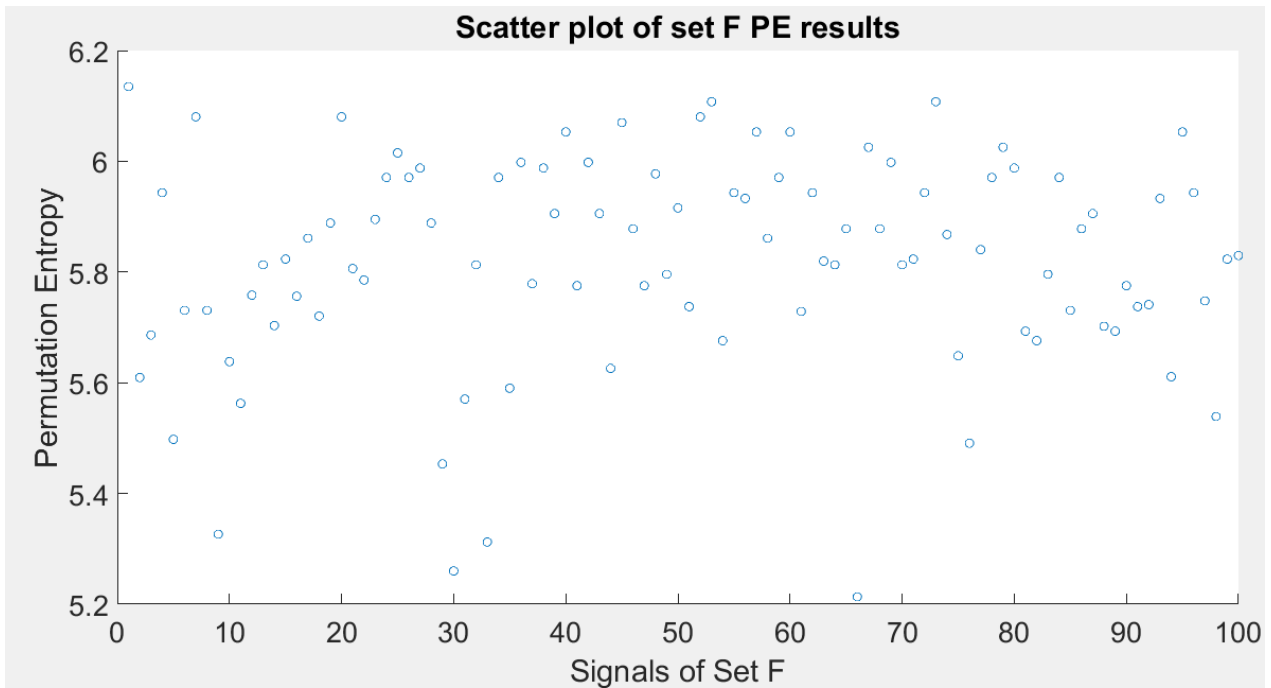
Πίνακας 21: PE για n=70-80 με βήμα 10 για δεδομένα α και n (5 και 5 αντίστοιχα). Κόκκινο χρώμα: Συνδυασμός με τουλάχιστον ένα EEG σήμα με μηδενικό PE. Πράσινο Χρώμα: Βέλτιστο n.

D	5										
α	5										
n	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
f	2.1581	2.2509	2.0934	2.1491	2.1305	1.8815	1.9776	1.8516	1.8118	1.7795	1.6994

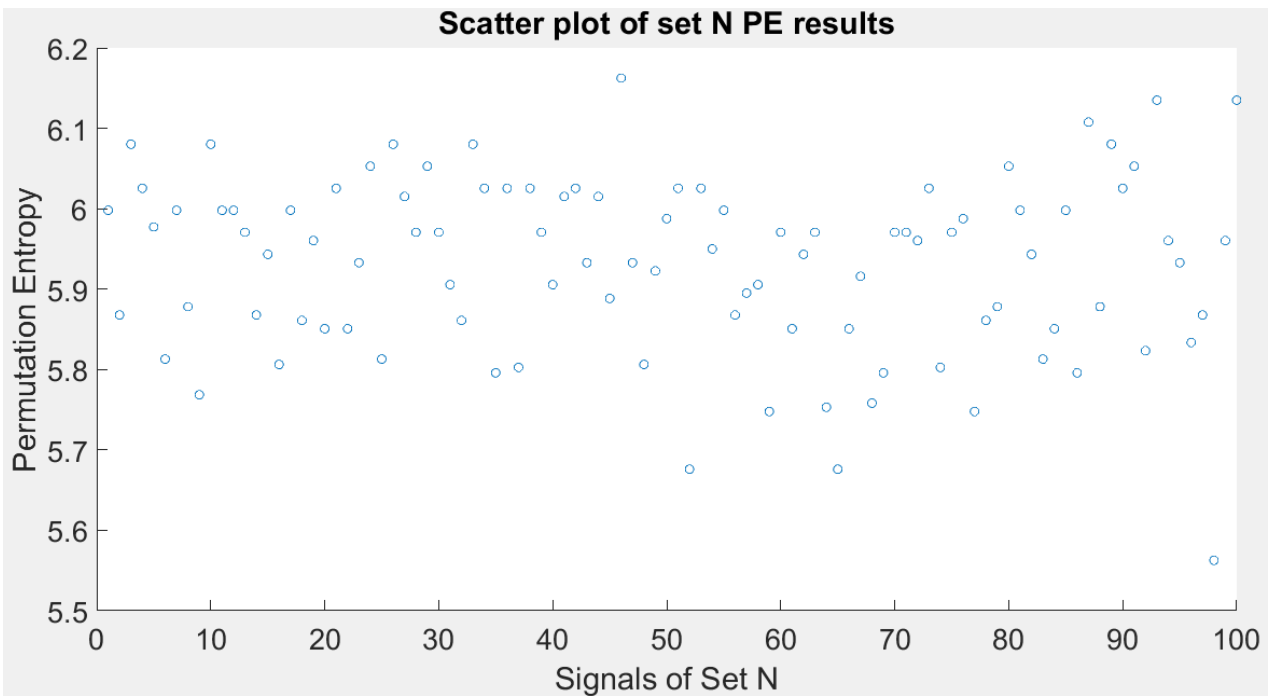
Το καθένα από τα παραπάνω αποτελέσματα στους πίνακες 18-21 προέκυψε εκτελώντας τον κώδικα 5 του παραρτήματος για κάθε συνδυασμό.

4.5 Αποτελέσματα

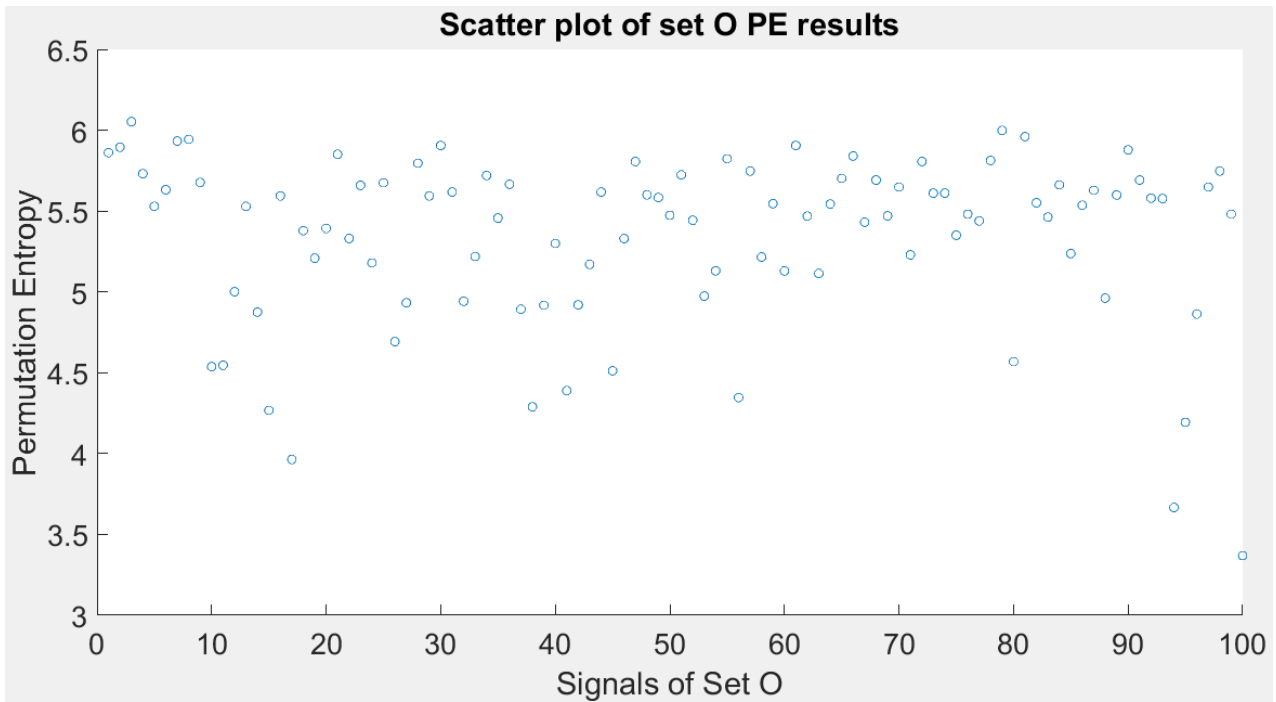
Για τον βέλτιστο συνδυασμό ($\alpha = 5, D=5, n = 77$), τα αποτελέσματα φαίνονται στα παρακάτω διαγράμματα διασποράς (σχήματα 15-19), τα οποία αναλύονται στατιστικά στα σχήματα 20-22.



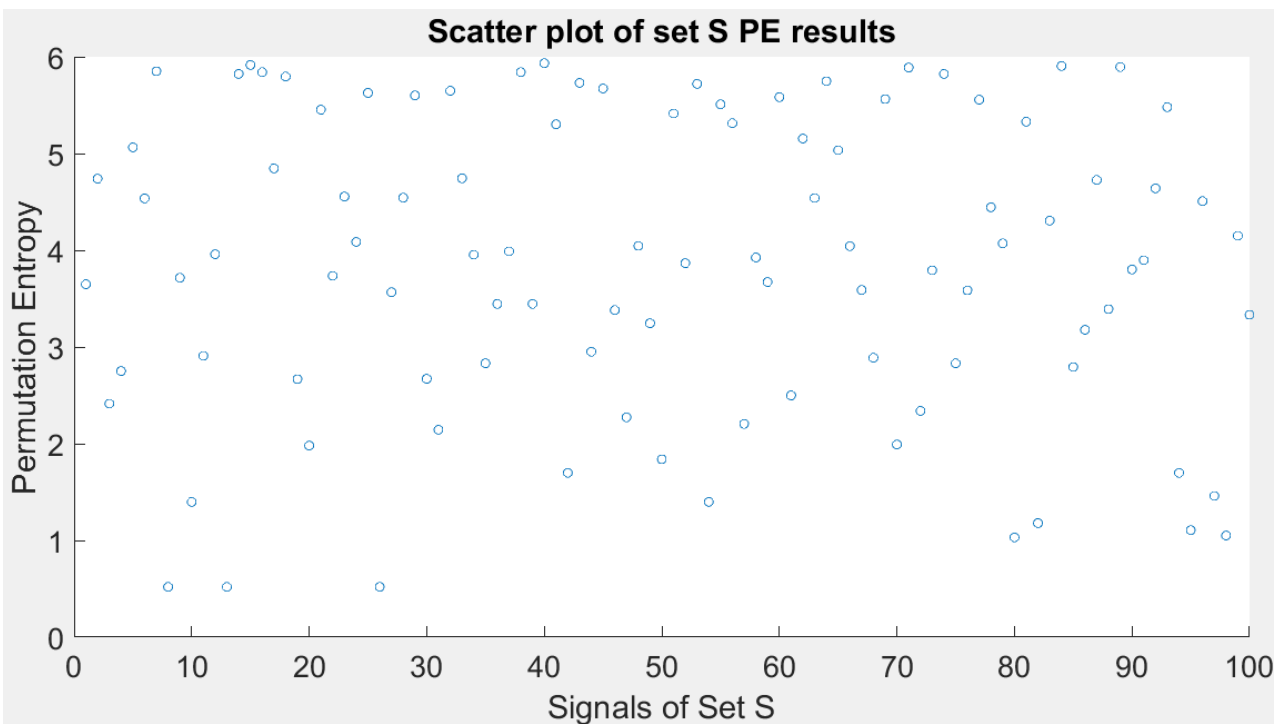
Σχήμα 15: Διάγραμμα διασποράς του σετ F



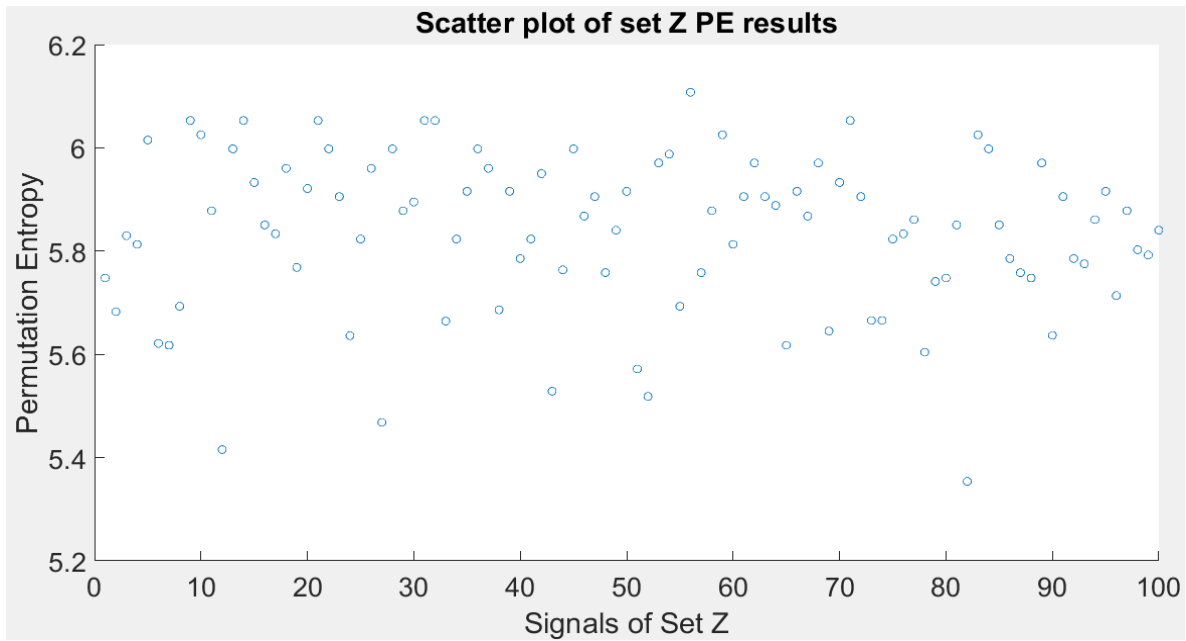
Σχήμα 16: Διάγραμμα διασποράς του σετ N



Σχήμα 17: Διάγραμμα διασποράς του σετ O

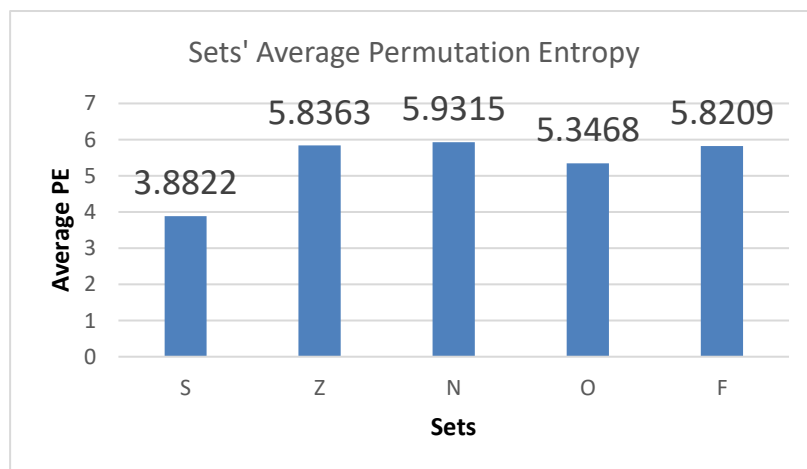


Σχήμα 18: Διάγραμμα διασποράς του σετ S

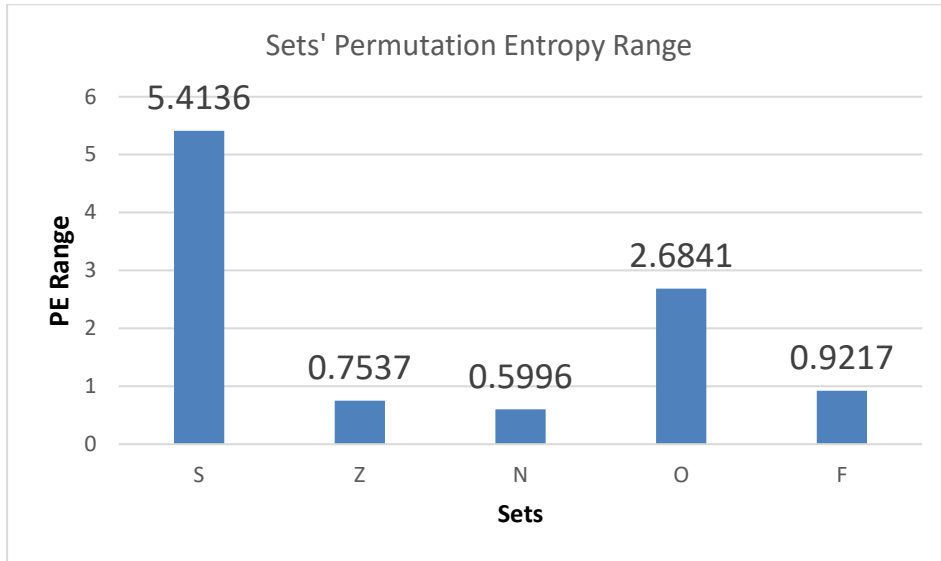


Σχήμα 19: Διάγραμμα διασποράς του σετ Z

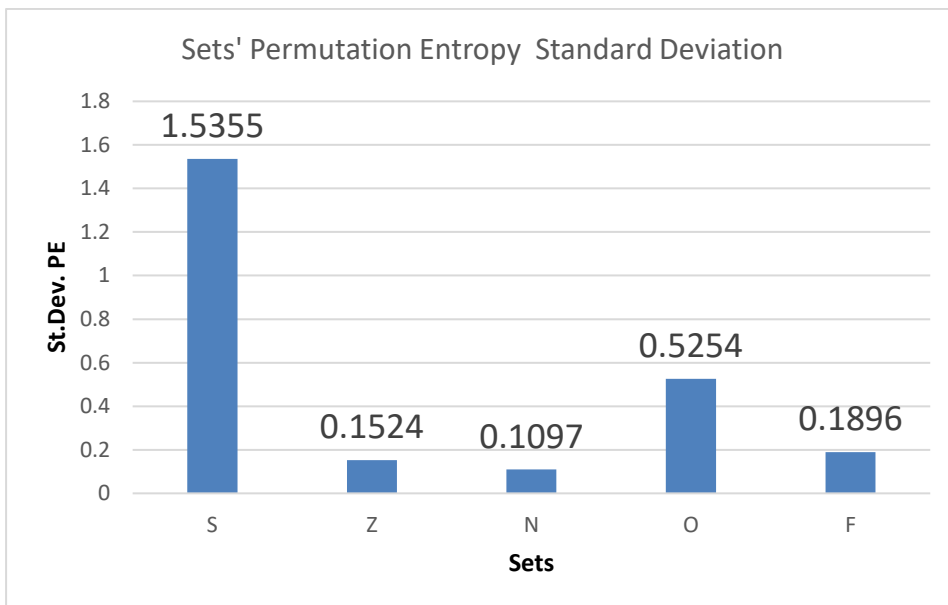
Όπως παρατηρείται από τα σχήματα 15-19, τα EEG σήματα του σετ S είναι με διαφορά πιο διεσπαρμένα από αυτά των υπολοίπων. Παρόλα αυτά, κατά μέση τιμή, είναι πολύ κατώτερα των υπολοίπων. Τα στατιστικά αυτά αποτελέσματα φαίνονται και από τα παρακάτω σχήματα (20-22).



Σχήμα 20: Μέση τιμή των EEG σημάτων για κάθε σετ



Σχήμα 21: Εύρος των EEG σημάτων για κάθε σετ



Σχήμα 22: Τυπική απόκλιση των EEG σημάτων για κάθε σετ

Όπως ειπώθηκε, η μέση τιμή του σετ S είναι σημαντικά μικρότερη από αυτές των υπολοίπων. Συγκεκριμένα, είναι ίση μόνο με το 68% του μέσου όρου των μέσων τιμών των

υπολοίπων. Αυτό επιβεβαιώνει την βασική αρχή. Επίσης, αποτελεί ένα σημαντικό πλεονέκτημα για τους νευρολόγους, καθώς μόνο πολύ λίγα σήματα άλλων σετ έχουν χαμηλή PE. Αναλυτικότερα, περίπου μόνο 20 σήματα του σετ O έχουν PE μικρότερη του 5. Όλα τα άλλα σήματα των άλλων σετ έχουν τιμές ανώτερες του 5. Συμπερασματικά, μόνο 5% των σημάτων των άλλων σετ έχουν PE<5, ενώ περίπου το 70% των σημάτων του σετ S έχουν PE<5. Αυτό σημαίνει ότι αν το PE ενός EEG σήματος είναι μικρότερο ή ίσο του 5, υπάρχει μεγάλη πιθανότητα (76%) αυτό το EEG σήμα να έχει επιληπτική διαταραχή. Επιπροσθέτως, αν το κατώφλι (threshold) τεθεί χαμηλότερα, για παράδειγμα στην τιμή 4.5, η πιθανότητα αυξάνεται στο 88%, καθώς σε αυτήν την περίπτωση υπάρχουν μόνο 8 σήματα μη επιληπτικά διαταραγμένα που έχουν PE κατώτερη ή ίση του 4.5. Τέλος, αν το κατώφλι τεθεί στο 3.3 ή λιγότερο, υπάρχει πιθανότητα 100% το σήμα αυτό να είναι επιληπτικά διαταραγμένο, καθώς δεν υπάρχει κανένα σήμα από άλλο σετ με PE χαμηλότερης ή ίσης τιμής.

Από την άλλη, η τυπική απόκλιση και το εύρος των PE των 100 σημάτων του σετ S είναι μεγαλύτερα από αυτά των υπολοίπων. Πιο συγκεκριμένα, η τυπική απόκλιση είναι 629% μεγαλύτερη της μέσης τιμής των τυπικών αποκλίσεων των υπολοίπων και το εύρος είναι 438% της μέση τιμής των ευρών των υπολοίπων. Αυτό παρουσιάζει ένα μειονέκτημα της συγκεκριμένης προσέγγισης, επειδή όσο μεγαλύτερο το PE ενός σήματος, τόσο δυσκολότερο γίνεται για τους νευρολόγους να αποφασίσουν εάν η διαταραχή συμβαίνει ή όχι, καθώς μπορεί να υπερκαλύπτει τιμές PE σημάτων άλλων σετ. Συγκεκριμένα, περίπου το 30% των σημάτων του σετ S έχουν PE πάνω από 5. Σε αυτές τις περιπτώσεις, εάν το ιατρικό ιστορικό του ασθενή έχει δείξει προδιάθεση ή συμβάντα σχετικά με την επιληψία, προτείνεται οι γιατροί να παρακολουθούν τον ασθενή προσεκτικότερα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

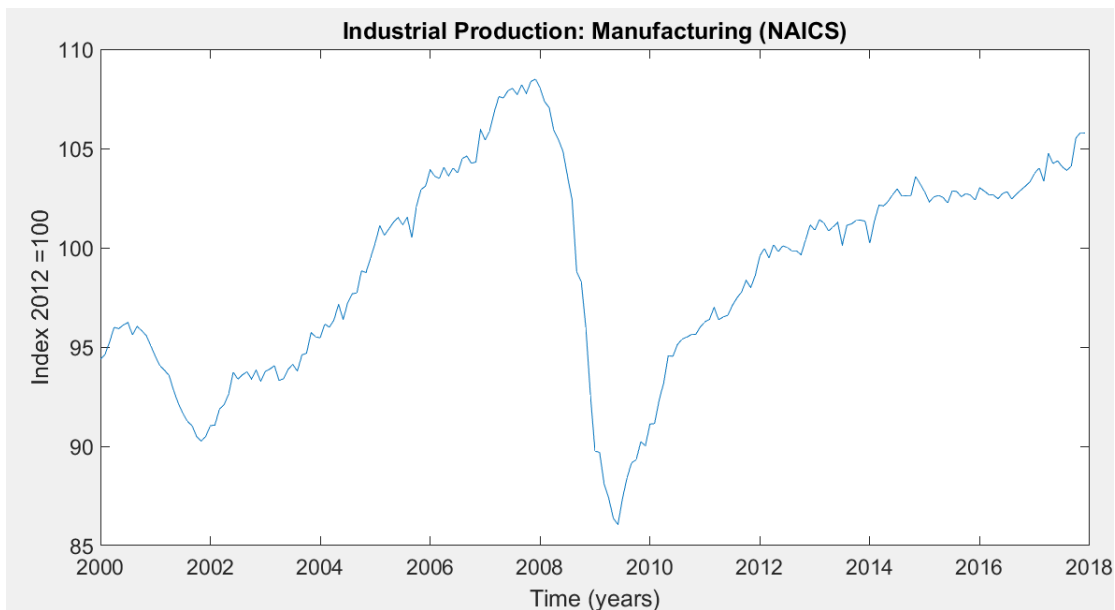
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΥΣ ΔΕΙΚΤΕΣ

5.1 Χρησιμότητα εφαρμογής μεθόδου PE στους οικονομικούς δείκτες

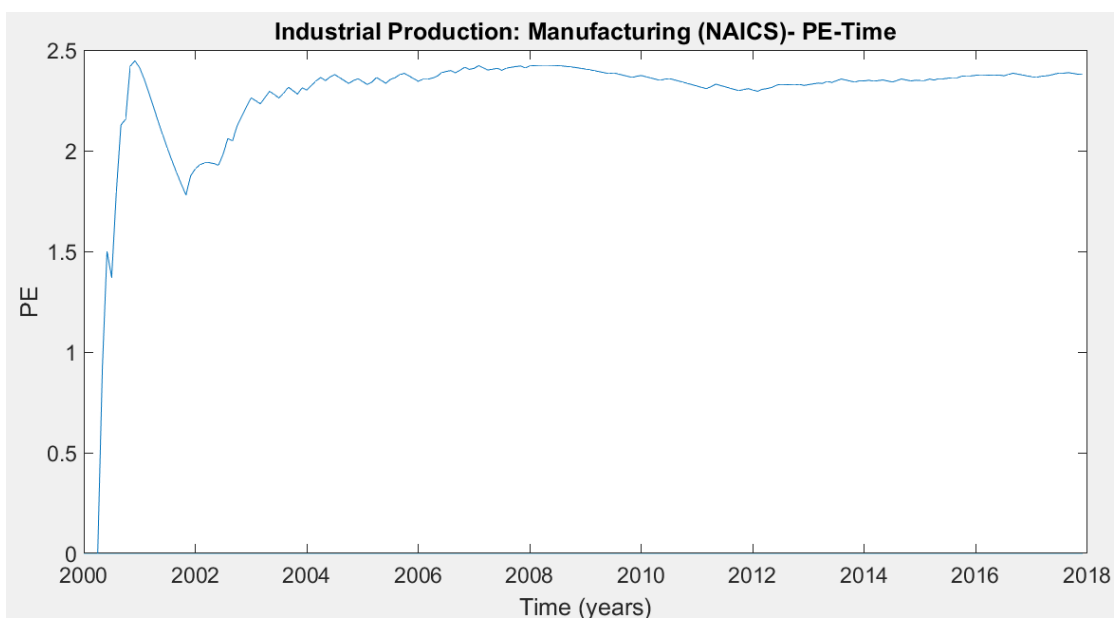
Όπως αναφέρθηκε και στην Εισαγωγή, στο παρόν κεφάλαιο εφαρμόζεται η μέθοδος PE σε τέσσερις χρονοσειρές οικονομικών δεικτών αναφερόμενων στην Αμερική της Federal Reserve Bank of St.Louis [23]. Συγκεκριμένα, είναι οι εξής: η κατασκευαστική παραγωγή, ο βαθμός ανεργίας, οι πωλήσεις των κατασκευαστών και οι τιμές των κατασκευαστών παραγωγών. Οι δείκτες αυτοί μετρούνται ανά μήνα. Επίσης, το χρονικό διάστημα το οποίο εξετάστηκε σε αυτούς τους οικονομικούς δείκτες είναι τα έτη 2000-2017. Σκοπός της συγκεκριμένης εφαρμογής είναι ο εντοπισμός των ετών που ήταν επικρατέστερη η δυσμενής εξέλιξη (υφέσεις) και των ετών όπου ήταν επικρατέστερη η πρόοδος αυτών των σημάτων. Επίσης, στόχος αυτής της εφαρμογής είναι η απόδειξη της χρησιμότητας του PE ως διαγνωστικό εργαλείο αυτόματης αναγνώρισης περιόδων ευημερίας και ύφεσης ενός οικονομικού δείκτη. Η ιδέα χρησιμοποίησης του PE στα οικονομικά προήλθε από την ίδια του τη φύση, δηλαδή την ικανότητά του να μετρά την πολυπλοκότητα μιας χρονοσειράς ή και ενός τμήματος αυτής.

5.2. Αιτιολόγηση της αναγκαιότητας της εφαρμογής μεθόδου PE με χρονικά παράθυρα

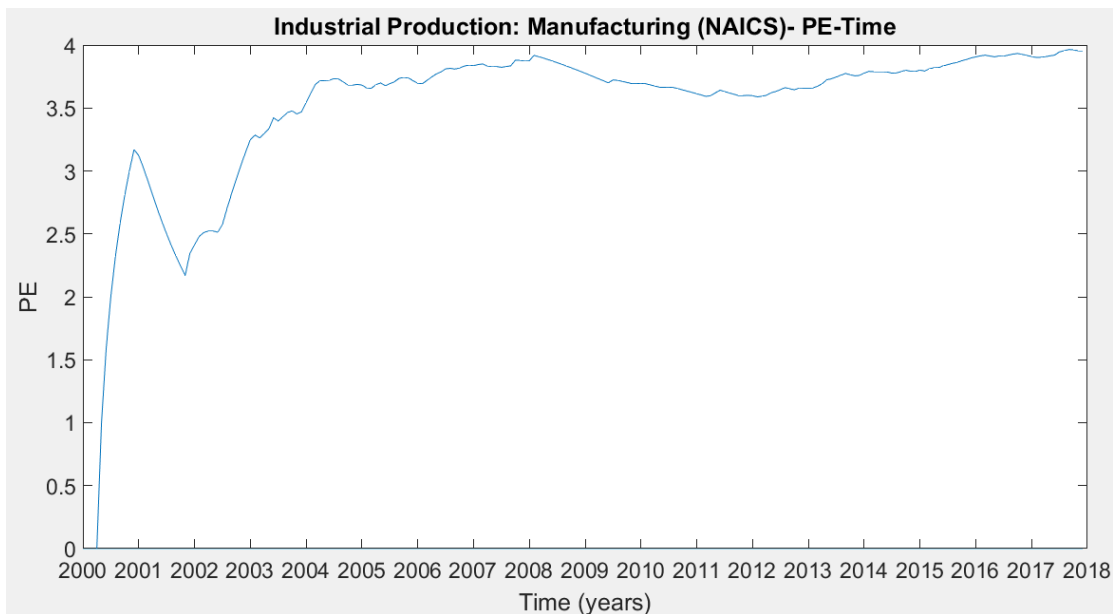
Αρχικά εφαρμόζεται η μέθοδος PE για τον πρώτο οικονομικό δείκτη (Παραγωγή Κατασκευαστών, σχήμα 23) συναρτήσει του χρόνου χωρίς χρονικά παράθυρα. Δηλαδή, για κάθε νέο δείγμα (μήνα) της παραγωγής κατασκευαστών, υπολογίζεται το PE από την αρχή του εξεταζόμενου χρονικού διαστήματος (Ιανουάριος 2000) μέχρι και αυτό το δείγμα. Έτσι, δημιουργείται μία χρονοσειρά του PE για την κατασκευαστική παραγωγή, η οποία εξετάζεται ως προς την ευκολία εντοπισμού των περιόδων ευημερίας και ύφεσης αυτού του δείκτη. Για αυτή την μέθοδο επιλέχθηκε χρονική υστέρηση ίση με 1 και ίση αντιμετώπιση ίσων τιμών για κάθε μοτίβο για τους ίδιους λόγους με τις δύο παραπάνω εφαρμογές, καθώς και διάσταση μοτίβου ίση με το 7. Το τελευταίο αποφασίσθηκε από το γεγονός ότι, εκτελώντας τον κώδικα 6 του παραρτήματος, παρατηρήθηκε ότι όσο μικρότερο είναι το D τόσο μικρότερη (κατά απόλυτη τιμή) κλίση έχει στην ύφεση από τον Μάιο του 2008 μέχρι και τον Ιούνιο του 2009, όπως φαίνεται στα σχήματα 24.1-24.5.



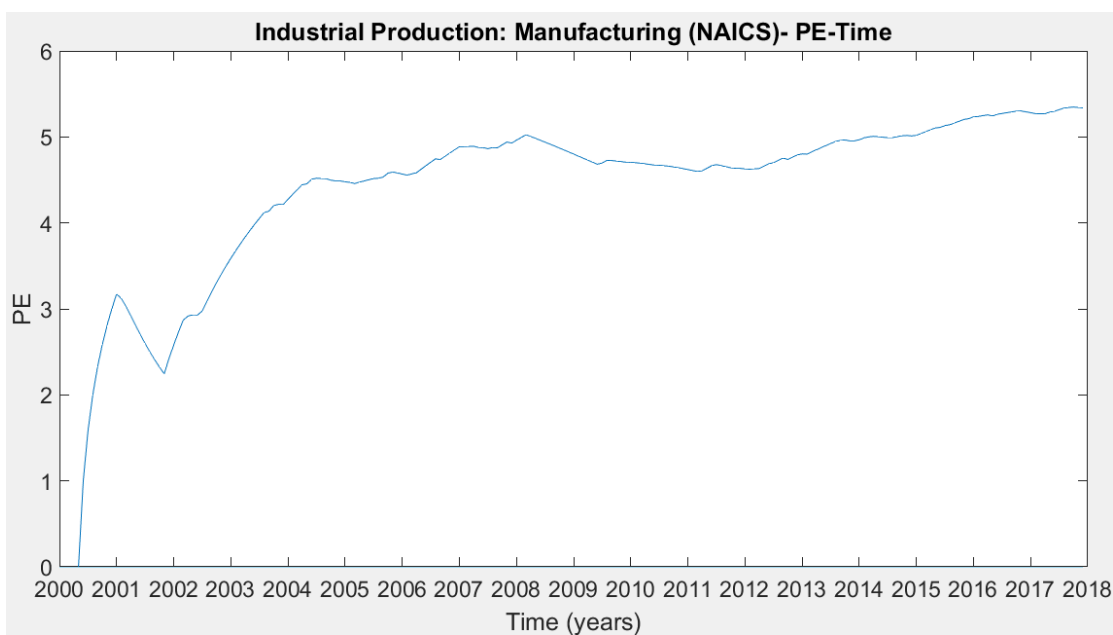
Σχήμα 23: Χρονοσειρά κατασκευαστικής παραγωγής κατά NAICS



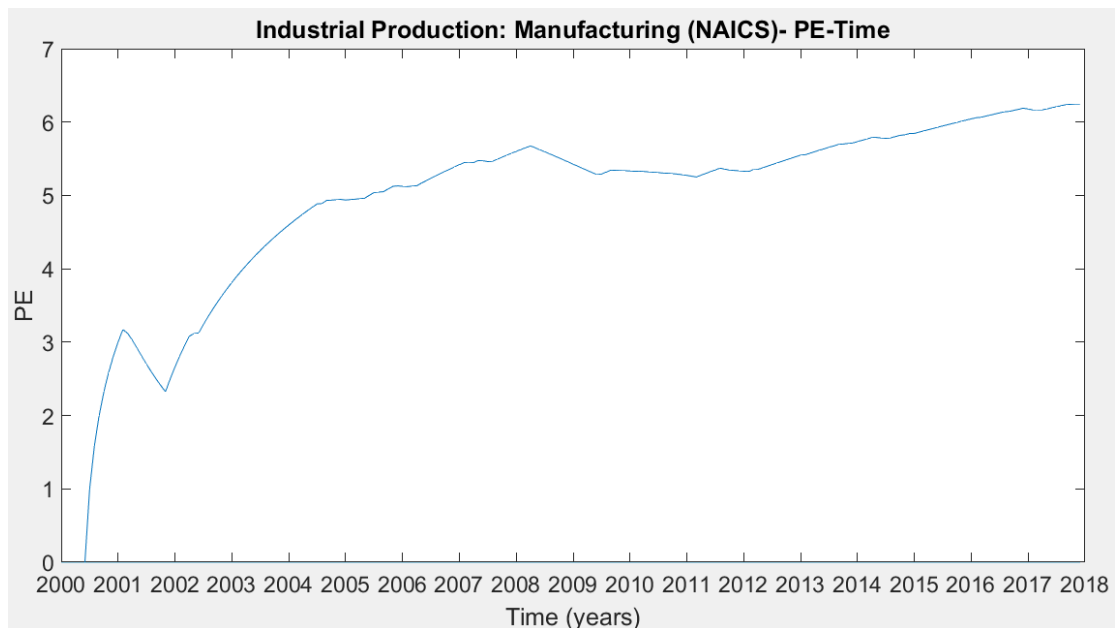
Σχήμα 24.1: Διάγραμμα PE – χρόνου για $D = 3$



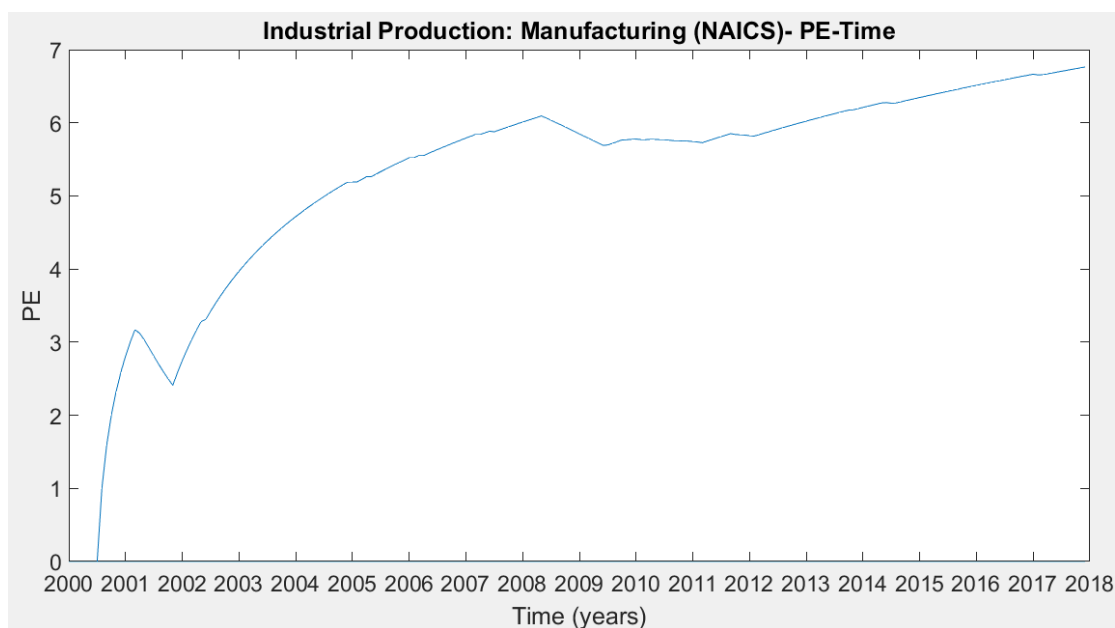
Σχήμα 24.2: Διάγραμμα PE – χρόνου για D=4



Σχήμα 24.3: Διάγραμμα PE – χρόνου για D=5



Σχήμα 24.4: Διάγραμμα PE – χρόνου για D=6



Σχήμα 24.5: Διάγραμμα PE – χρόνου για D=7

Όπως παρατηρείται από τα σχήματα 23 και 24.5, υπάρχει εμφανής πτώση του PE συναρτήσεως του χρόνου από τον Μάρτιο του 2001 έως τον Νοέμβριο του 2001. Το ίδιο ισχύει και για τον Μάιο του 2008 μέχρι και τον Ιούνιο του 2009. Επομένως, η μέθοδος του PE χωρίς χρονικά παράθυρα ανιχνεύει επιτυχώς την επιρροή των δύο μεγάλων υφέσεων στην κατασκευαστική παραγωγή.

Η απόλυτη τιμή της κλίσης στην ύφεση του 2008 είναι μικρότερη από την πρώτη, καθώς, όπως ειπώθηκε, η μέθοδος υπολογίζει για κάθε δείγμα το PE όλης της χρονοσειράς μέχρι και αυτό το δείγμα. Επομένως, ένας συγκεκριμένος αριθμός συνεχόμενων ίδιων μοτίβων (στην προκειμένη περίπτωση φθίνοντα) μειώνει πολύ εντονότερα το PE στα πρώτα στάδια της χρονοσειράς από ό,τι αργότερα. Αυτό συμβαίνει γιατί το συνολικό πλήθος των δειγμάτων είναι στην αρχή λιγότερο και έτσι η σημαντικότητα μιας σειράς σταθερών μοτίβων είναι μεγαλύτερη και μειώνει εντονότερα την πολυπλοκότητα (δηλαδή το PE). Αυτό αποτελεί ένα σημαντικό μειονέκτημα της συγκεκριμένης μεθόδου, καθώς όσο αργότερα εντός της χρονοσειράς υπάρχει ύφεση, τόσο λιγότερο εμφανής είναι. Άλλο ένα μειονέκτημα της μεθόδου και του τρόπου με τον οποίο αυτή εφαρμόζεται είναι ότι η πτώση του PE δεν μας εγγυάται απαραίτητα εντοπισμό δυσμενούς συμπεριφοράς στην οικονομία. Πιο συγκεκριμένα, το PE, όπως προειπώθηκε, μπορεί να ελαττωθεί συναρτήσει του χρόνου από την εμφάνιση ίδιων μοτίβων. Έτσι, αν τα μοτίβα αυτά είναι αυξανόμενα και πάλι ελαττώνουν το PE. Επομένως, καθίσταται ασαφές το αν η περίοδος στην οποία συμβαίνει πτώση του PE διακατέχεται από πρόοδο ή ύφεση του κάθε οικονομικού δείκτη. Συνεπώς, προτιμάται η μέθοδος των παραθύρων με τον τρόπο που εφαρμόζεται παρακάτω.

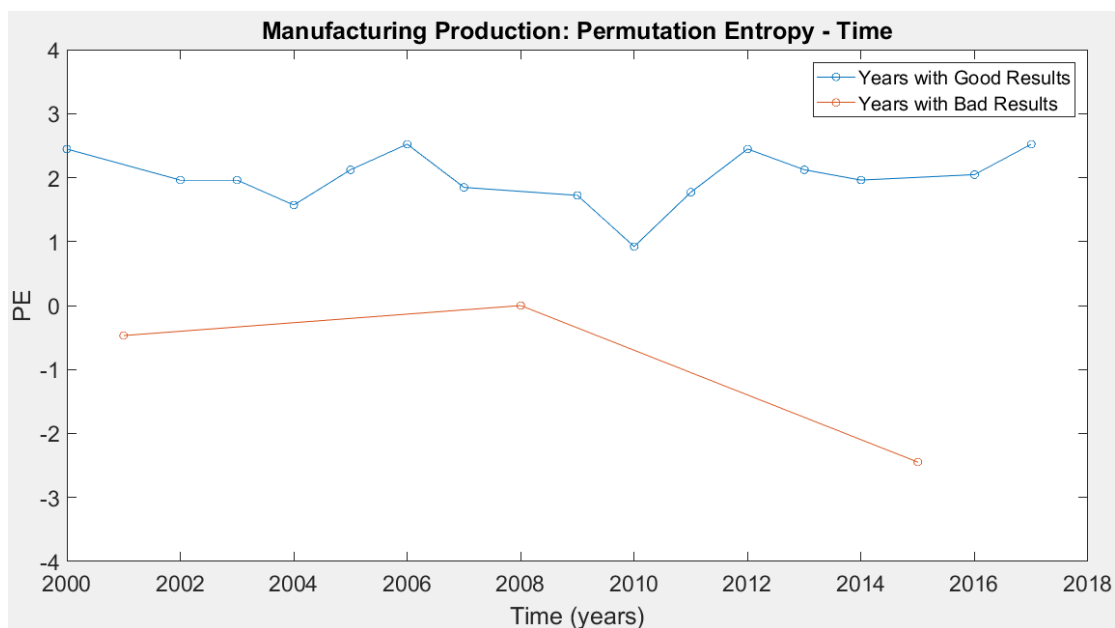
5.3 Αποτελέσματα και σχολιασμός τους

Επιλέχθηκε εύρος παραθύρου ίσο με έναν χρόνο και $D=3$ για να εξασφαλιστεί η μέγιστη δυνατή δειγματοληψία τιμών για το PE. Αναλυτικότερα, η πρώτη επιλογή αποφασίσθηκε επειδή ήταν επιθυμητό να αποκτηθεί μία γενική ιδέα της πορείας του κάθε δείκτη ανά έτος, το οποίο αποτελεί μία σημαντική μονάδα του χρόνου, ειδικά για τους οικονομικούς δείκτες. Όσον αφορά την δεύτερη επιλογή, η «μέγιστη δυνατή δειγματοληψία» σημαίνει ότι η διάσταση μοτίβου η οποία θα εξασφαλίσει την άντληση των περισσότερων μοτίβων ανά έτος είναι η μικρότερη επιτρεπτή, δηλαδή ίση με 3. Αυτό συμβαίνει επειδή όσο μεγαλύτερο είναι το D , τόσο λιγότερα μοτίβα είναι διαθέσιμα για τον υπολογισμό του PE ανά έτος. Επίσης, επιλέχθηκε ξανά χρονική υστέρηση ίση με το 1 και ίση αντιμετώπιση ίσων τιμών σε κάθε μοτίβο για τους ίδιους λόγους με τις παραπάνω δύο εφαρμογές. Έτσι, υπολογίστηκε το PE για κάθε χρόνο, με την διαφορά ότι τέθηκε σκοπίμως αρνητικό PE στα έτη που υπήρχε δυσμενής οικονομική εξέλιξη (δηλαδή πτώση στους δείκτες παραγωγής, πωλήσεων και τιμών και αύξηση στον δείκτη του βαθμού ανεργίας). Έτσι, για κάθε οικονομικό δείκτη υπάρχουν δύο καμπύλες: μία που ενώνει τα έτη που σημειώθηκε πρόοδος του δείκτη και μία που ενώνει τα έτη που σημειώθηκε δυσμενής εξέλιξη του δείκτη. Αυτή η αναπαράσταση επιλέχθηκε προκειμένου να εντοπίζεται (ακόμα και για PE ίσο με το 0) εάν είναι ευνοϊκή ή δυσμενής η κατάσταση του κάθε δείκτη.

Έτσι, με την μέθοδο αυτή, εντοπίζονται επιτυχώς όχι μόνο οι περίοδοι υφέσεων, αλλά και οι περίοδοι οικονομικής ανάπτυξης. Αναλυτικότερα, για δεδομένο οικονομικό δείκτη, όσο το PE ενός έτους πρόοδος είναι πλησιέστερο στο 0, σημαίνει ότι σε αυτό το έτος υπάρχει όλο και επικρατέστερη πρόοδος, καθώς όλο και μεγαλύτερο μέρος του αποτελείται από μοτίβα ευνοϊκά για αυτόν το δείκτη. Ομοίως, όσο το PE ενός έτους με

δυσμενή εξέλιξη είναι πλησιέστερο στο 0, σημαίνει ότι σε αυτό το έτος υπάρχει όλο και επικρατέστερη δυσμενής εξέλιξη, καθώς όλο και μεγαλύτερο μέρος του αποτελείται από μοτίβα δυσμενή για αυτόν το δείκτη. Με άλλα λόγια, όσο πιο κοντά στο 0 είναι μία θετική τιμή PE ή αρνητική τιμή PE, υπάρχει όλο και πιο συνεχής βελτίωση ή χειροτέρευση του δείκτη, αντίστοιχα. Αξίζει να σημειωθεί επίσης το συμπέρασμα ότι όσο πλησιέστερα είναι στο 0 το PE ενός έτους, τόσο μικρότερο είναι το ποσοστό άναρχων μοτίβων σε αυτό το έτος (καθώς, όπως ειπώθηκε, καταλαμβάνουν όλο και μεγαλύτερο μέρος τα ευνοϊκά ή δυσμενή μοτίβα). Ως άναρχα θεωρούνται τα μοτίβα που δεν είναι γνησίως αύξοντα ή φθίνοντα (δηλαδή είναι κοίλα ή κυρτά, πχ: 102, 010 κτλ.). Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι όλα τα παρακάτω αποτελέσματα προκύπτουν από την εκτέλεση του κώδικα 7 του παραρτήματος για καθέναν από τους οικονομικούς δείκτες.

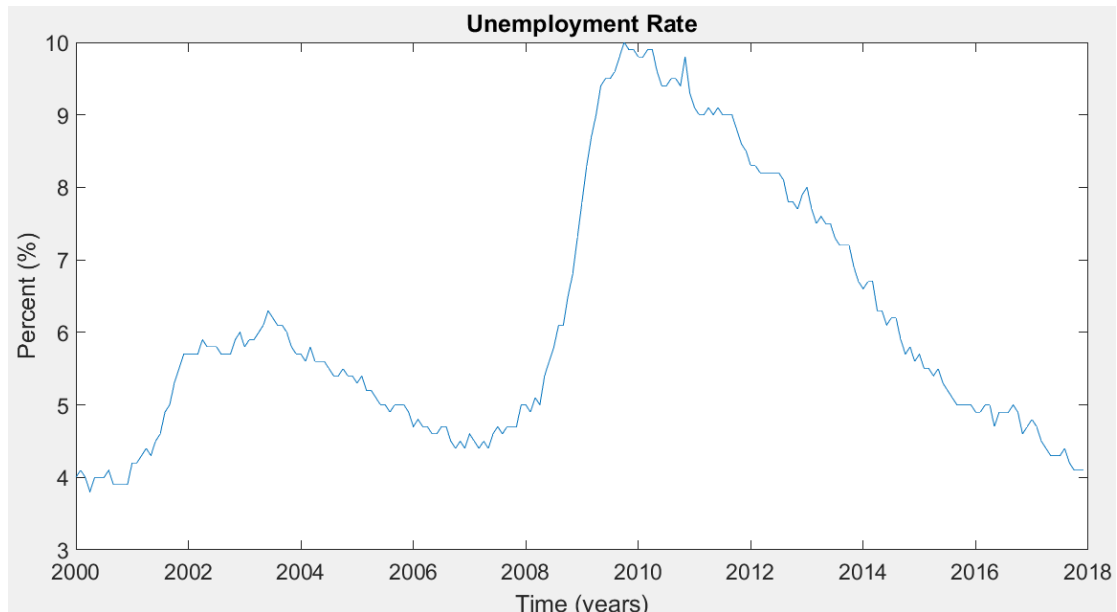
Συγκεκριμένα, από το σχήμα 25 παρακάτω φαίνεται ότι στην κατασκευαστική παραγωγή, είναι ευδιάκριτη η κρίση της τόσο το 2001 όσο και το 2008, καθώς το 2001 παρατηρείται αρνητικό PE πολύ κοντά στο 0 (-0.469) και το 2008 παρατηρείται PE ακριβώς ίσο με 0. Έτσι, εντοπίζεται επιτυχώς η επιρροή αυτών των υφέσεων στην κατασκευαστική παραγωγή. Επίσης, φαίνεται ότι το έτος με την συνεχέστερη πρόοδο είναι το 2010, γεγονός που συμπεραίνεται και από την χρονοσειρά του δείκτη, παρατηρώντας τον περιορισμένο αριθμό άναρχων και την κυριαρχία των αυξόντων μοτίβων που την διακατέχουν κατά την διάρκεια του 2010.



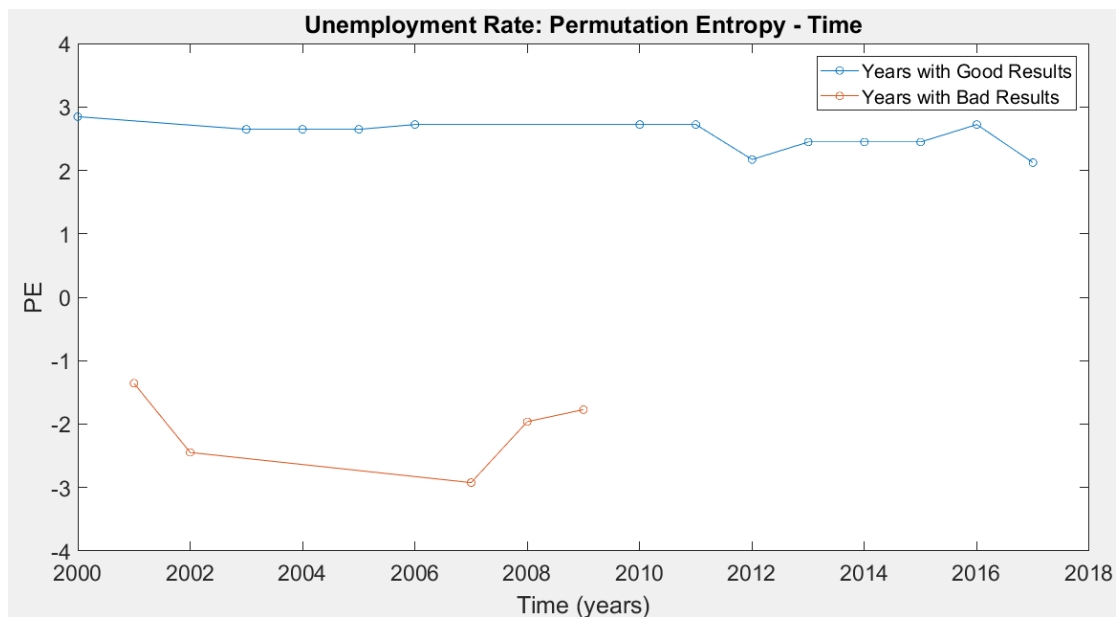
Σχήμα 25: Αποτελέσματα μεθόδου PE με χρονικά παράθυρα για την κατασκευαστική παραγωγή

Ομοίως, από τα παρακάτω σχήματα 26 και 27, παρατηρείται κρίση του βαθμού ανεργίας τόσο το 2001, όσο και το 2008 και 2009, καθώς τα PE τους είναι αντίστοιχα -1.357, -1.961, -1.771, τα οποία είναι τα κοντινότερα αρνητικά PE στο 0. Με αυτόν τον τρόπο,

εντοπίζεται επιτυχώς η επιρροή αυτών των υφέσεων στον βαθμό ανεργίας. Συγκεκριμένα, στις περισσότερες περιπτώσεις υφέσεων, ο βαθμός ανεργίας αυξάνεται [24]. Από την άλλη, η χαμηλότερη θετική PE είναι το έτος 2017 (2.122), δηλαδή το 2017 είναι το έτος με το μεγαλύτερο μερίδιο προόδου. Συγκριτικά με την παραγωγή, παρατηρείται πολύ μεγαλύτερη πολυπλοκότητα ανά έτος, καθώς ο βαθμός ανεργίας εξαρτάται από πολύ περισσότερους παράγοντες (κοινωνικούς, πολιτικούς κτλ.).



Σχήμα 26: Χρονοσειρά βαθμού ανεργίας



Σχήμα 27: Αποτελέσματα μεθόδου PE με χρονικά παράθυρα για τον βαθμό ανεργίας

Οι δύο αυτές συναρτήσεις (Βαθμός Ανεργίας και Κατασκευαστική Παραγωγή) είναι άρρηκτα συνδεδεμένες μεταξύ τους. Συγκεκριμένα, στις περιόδους κρίσεως, όσο αυξάνεται η ανεργία τόσο μειώνεται η παραγωγή λόγω μείωσης της ζήτησης από το αγοραστικό κοινό και αντίστροφα, όσο η παραγωγή μειώνεται, τόσο αυξάνεται η ανεργία λόγω απολύσεων. Το δεύτερο γίνεται σαφές και από το σχήμα 28 που φαίνεται παρακάτω, όπου η ραγδαία αύξηση το 2001-2002 και το 2008-2009 οφείλεται σε έναν βαθμό στην ραγδαία μείωση της παραγωγής, γεγονός που οφείλεται στις υφέσεις αυτές [25].

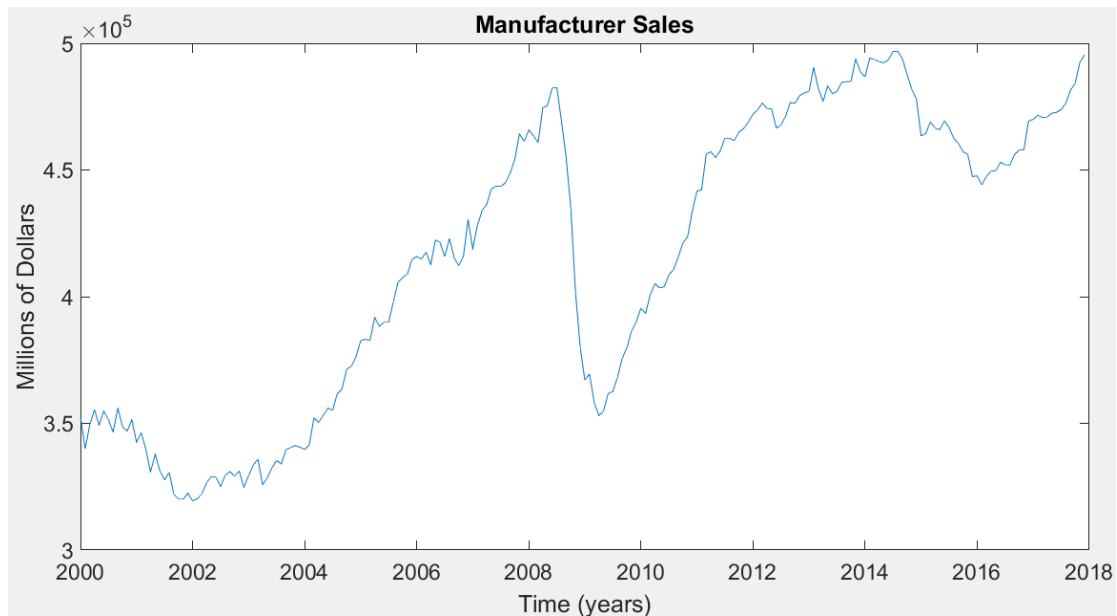


Σχήμα 28: Χρονοσειρά βαθμού ανεργίας στην κατασκευαστική βιομηχανία

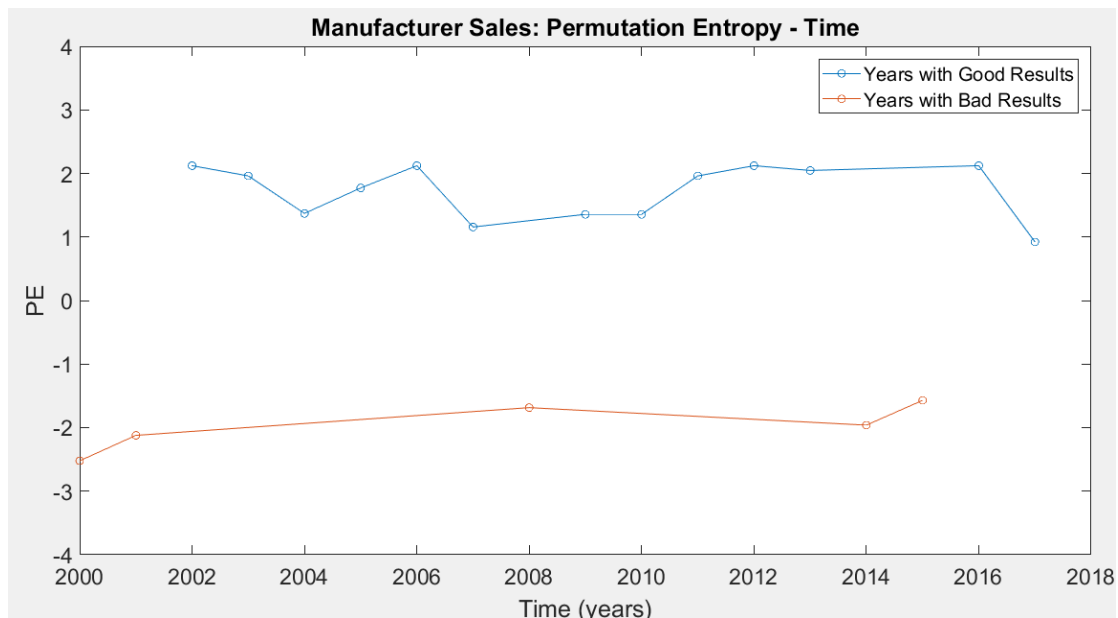
Οι πωλήσεις των κατασκευαστών και τα διαγράμματα PE συναρτήσεως του χρόνου φαίνονται στα παρακάτω σχήματα 29 και 30 αντίστοιχα. Παρατηρείται και εδώ η επίδραση των δύο υφέσεων στις πωλήσεις με τιμές PE ίσες με -2.122 και -1.685 για τα έτη 2001 και 2008 αντίστοιχα. Όμως, η επικρατέστερη δυσμενής περίοδος είναι το 2015 (-1.571), λόγω της μεγιστοποίησης του λόγου φθινόντων προς άναρχων μοτίβων. Τέλος, φαίνεται ότι η περίοδος με το μεγαλύτερο μερίδιο προόδου ήταν το 2017.

Φαίνεται πως οι πωλήσεις είναι και αυτές άρρηκτα συνδεδεμένες με την παραγωγή (συνεπώς και με τον βαθμό ανεργίας), τόσο από τις χρονοσειρές τους, όσο και από τις χρονοσειρές των PE. Συγκεκριμένα, από τις πρώτες παρατηρείται ότι η παραγωγή στην ύφεση του 2008 ξεκίνησε να φθίνει από τον Δεκέμβριο του 2007, ενώ οι πωλήσεις άρχισαν να φθίνουν από τον Ιούλιο του 2008, δηλαδή 8 μήνες αργότερα. Αυτό το γεγονός αποτελεί ένα τυπικό παράδειγμα περιόδου κρίσεως, καθώς οι πωλήσεις συνέχιζαν να αυξάνονται λόγω του ότι οι κατασκευαστές πωλούσαν το απόθεμα από την στιγμή που κατανόησαν ότι έπρεπε να μειώσουν την παραγωγή καινούργιων προϊόντων (Δεκέμβριος 2007). Έτσι, επειδή από τον Απρίλιο του 2008 άρχισε να ανεβαίνει δραματικά ο βαθμός ανεργίας, τότε οι πωλήσεις άρχισαν να έχουν φθίνουσα θετική κλίση, δηλαδή αρνητική δεύτερη

παράγωγο, με κορυφή τον Ιούλιο του 2008. Από τις δεύτερες, παρατηρείται η σύνδεση των τριών δεικτών επειδή οι εντοπισμένες περιόδους στην παραγωγή και στις πωλήσεις όπου η δυσμενής εξέλιξη ήταν η επικρατέστερη είναι οι ίδιες: 2001, 2008, 2015. Επίσης, η εντοπισμένη περίοδος στην ανεργία και στις πωλήσεις όπου η πρόοδος είναι η επικρατέστερη είναι η ίδια: το 2017.



Σχήμα 29: Χρονοσειρά πωλήσεων των κατασκευαστών

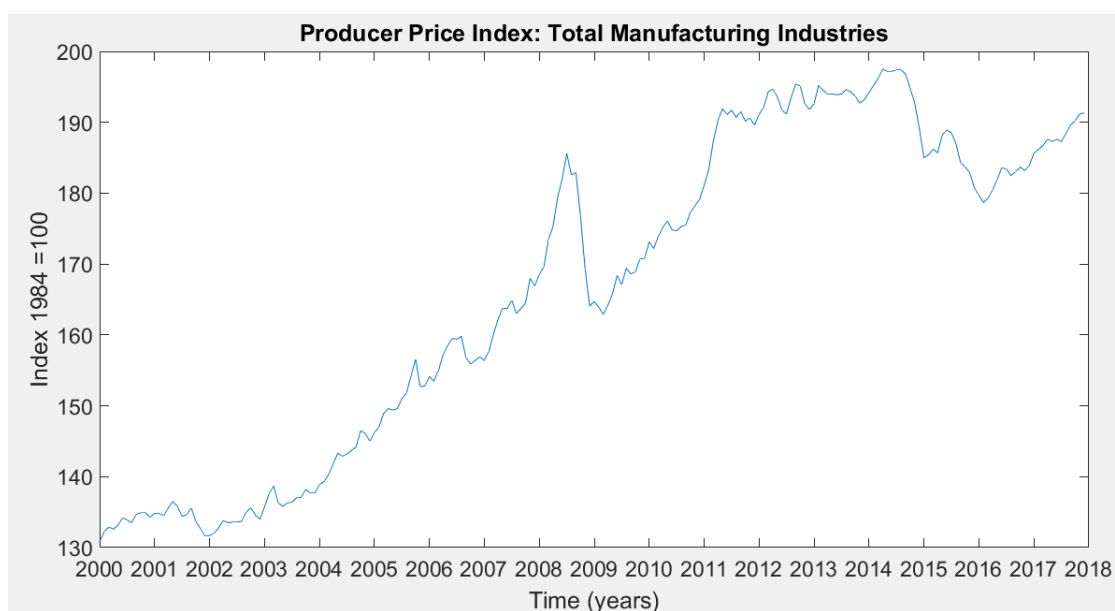


Σχήμα 30: Αποτελέσματα μεθόδου PE με χρονικά παράθυρα για τις πωλήσεις των κατασκευαστών

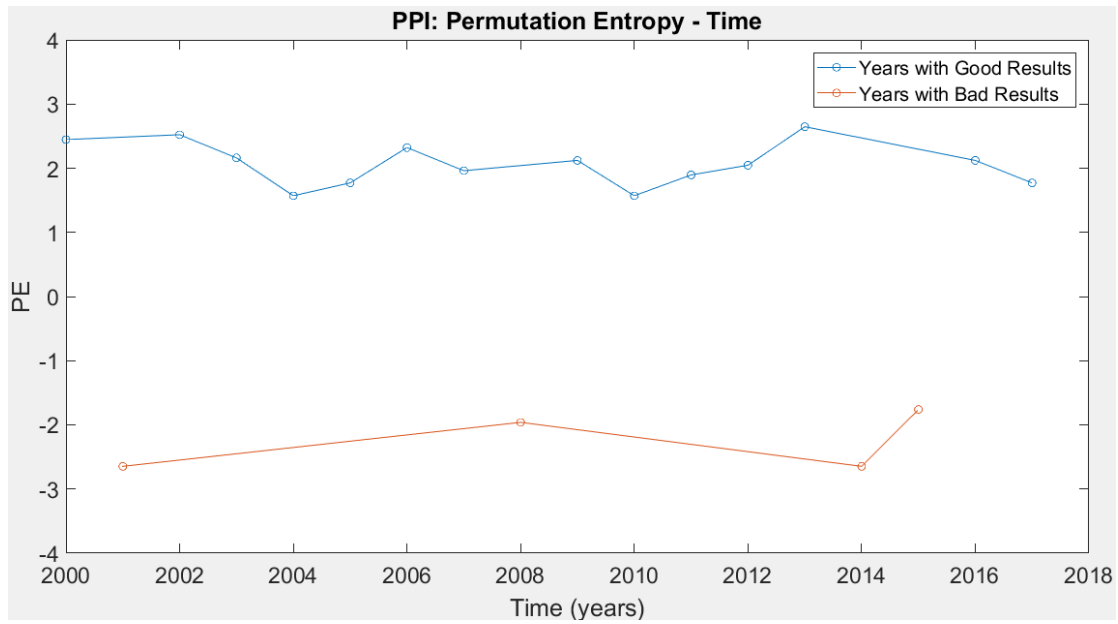
Οι τιμές των κατασκευαστών παραγωγών μαζί με το ΡΕ τους συναρτήσει του χρόνου φαίνονται στα παρακάτω σχήματα 31 και 32 αντίστοιχα. Παρατηρείται και εδώ η επίδραση των 2 υφέσεων στις τιμές με ΡΕ ίσα με -2.646 και -1.961 για τα 2001 και 2008 αντίστοιχα. Όμως, η επικρατέστερη δυσμενής περίοδος είναι ξανά στο 2015 (-1.761), λόγω της μεγιστοποίησης του λόγου φθινόντων προς άναρχων μοτίβων. Τέλος, φαίνεται ότι η περίοδος με το μεγαλύτερο μερίδιο προόδου ήταν το 2004.

Όσον αφορά τις χρονοσειρές των δεικτών, είναι φανερό πως οι τιμές των κατασκευαστών παραγωγών σχετίζονται άμεσα με την παραγωγή και τις πωλήσεις. Συγκεκριμένα, όσο μειώνεται η παραγωγή, οι κατασκευαστές χρειάζονται να αυξήσουν την τιμή για να καλύψουν τα έξοδα παραγωγής (ανά τεμάχιο), τα οποία αυξάνονται επίσης. Αυτό συμβαίνει μέχρι και τον Ιούλιο του 2008. Έπειτα, οι πωλήσεις μειώνονται, άρα σε μία προσπάθεια να αυξήσουν την ζήτηση μειώνουν την τιμή. Αυτό το φαινόμενο είναι εμφανέστερο στην ύφεση του 2008 από ό,τι στην ύφεση του 2001.

Όσον αφορά τα αποτελέσματα ΡΕ, επιβεβαιώνουν τη συσχέτιση των χρονοσειρών των οικονομικών δεικτών. Αυτό γιατί και εδώ οι εντοπισμένες περιόδους όπου η δυσμενής εξέλιξη ήταν η επικρατέστερη είναι οι ίδιες με αυτές της παραγωγής και των πωλήσεων: 2001, 2008, 2015. Επίσης, η εντοπισμένη περίοδος στην ανεργία όπου η πρόοδος είναι η επικρατέστερη είναι το 2017, το οποίο αποτελεί και μία από τις περιόδους με την μεγαλύτερη πρόοδο στις τιμές των κατασκευαστών παραγωγών.



Σχήμα 31: Χρονοσειρά τιμών κατασκευαστών



Σχήμα 32: Αποτελέσματα μεθόδου PE με χρονικά παράθυρα για τις τιμές των κατασκευαστών

Συμπερασματικά η μέθοδος εντοπίζει επιτυχώς τις περιόδους υφέσεων (2001 και 2008) και για τους τέσσερις παραπάνω δείκτες, καθώς και γενικότερα τις περιόδους όπου η δυσμενής εξέλιξη είναι επικρατέστερη για καθέναν από αυτούς. Επίσης, εντοπίζει και τις περιόδους όπου η πρόοδος σε καθέναν από αυτούς τους δείκτες είναι η επικρατέστερη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

6.1 Συμπεράσματα εφαρμογής σε χημική βιομηχανία

Τα συμπεράσματα που διεξάγονται από την ενότητα 3.2 είναι τα παρακάτω. Από την σύγκριση των πινάκων 9 και 14 διεξάγεται το συμπέρασμα ότι δημιουργείται καθαρότερη και χρησιμότερη πληροφορία για την συσχέτιση των διαταραχών με την κανονική κατάσταση όταν υπολογίζονται τα PE ακολουθιών δεδομένου μεγέθους (στην προκειμένη περίπτωση 100) που έχουν προκύψει από την μείωση μέσω SAX της διάστασης μιας αρχικής χρονοσειράς μεγάλης συχνότητας δειγματοληψίας από ότι όταν υπολογίζονται τα PE δειγμάτων του ίδιου μεγέθους που έχουν προκύψει απευθείας από την αρχική χρονοσειρά με μικρότερη συχνότητα δειγματοληψίας. Δηλαδή, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι για δεδομένο μέγεθος αλληλουχίας που θέλουμε να επεξεργαστούμε για τον υπολογισμό του PE (εδώ 100), είναι προτιμότερο το μέγεθος αυτό να είναι ενός σήματος που έχει προκύψει από τη μείωση διάστασης (SAX) ενός αρχικού σήματος με υψηλή δειγματοληψία, παρά να είναι με μια τα δείγματα από ένα χαμηλόσυχνης δειγματοληψίας αρχικό σήμα. Επιπροσθέτως, από την σύγκριση των πινάκων 10 και 14 διεξάγεται το συμπέρασμα ότι δημιουργείται καθαρότερη και χρησιμότερη πληροφορία για την συσχέτιση των διαταραχών με την κανονική κατάσταση όταν υπολογίζονται τα PE ακολουθιών που έχουν προκύψει από την μείωση μέσω SAX της διάστασης μιας αρχικής χρονοσειράς από ότι όταν υπολογίζονται τα PE απευθείας από την αρχική αυτή χρονοσειρά.

Τα συμπεράσματα που παρατηρήθηκαν από την ενότητα 3.3 αναλύονται παρακάτω. Παρατηρήθηκε ότι οι μεταβλητές 4, 9, 12 και 17, δηλαδή η τροφοδοσία A και C στον σωλήνα 4, η θερμοκρασία του αντιδραστήρα, η στάθμη του διαχωριστή και η παροχή εξόδου του stripper (σωλήνας 11) αντίστοιχα, είναι ταυτόχρονα οι πιο έντονα και συχνά επηρεαζόμενες. Συγκεκριμένα, η μεταβλητή 4 επηρεάζεται σε όλες τις διαταραχές με εξαίρεση τις 3, 7, 11, 25 και 27, η μεταβλητή 9 σε όλες με εξαίρεση τις 3, 22, 25, η μεταβλητή 12 επηρεάζεται σε όλες με εξαίρεση τις 9, 15, 22, 23, 27 και 28 και η μεταβλητή 17 επηρεάζεται σε όλες με εξαίρεση τις 17, 20, 24, 26, 27, 28. Ο μέσος όρος απόλυτων ποσοστιαίων διαφορών για την μεταβλητή 4 είναι 97%, για την 9 είναι 159%, για την 12 189% και για την 17 100%. Από τα παραπάνω, διεξάγεται το συμπέρασμα ότι οι μηχανικοί και οι επιβλέποντες της συγκεκριμένης μονάδας πρέπει πρωτίστως να δίνουν έμφαση σε αυτές τις 4 μεταβλητές για να κρίνουν αρχικά αν υπάρχει διαταραχή ή όχι. Επιπροσθέτως, εξαιρετικά ενδιαφέρουσα θα ήταν η εγκατάσταση ενός αυτόματου συστήματος διάγνωσης των διαταραχών βασισμένο στον συνδυασμό των SAX και PE. Η υλοποίηση αυτού μπορεί να γίνει με τον παρακάτω τρόπο. Όταν το PE του απλοποιημένου κατά SAX σήματος κάθε μεταβλητής υπολογίζεται σε πραγματικό χρόνο, μπορεί να γίνει σύγκριση της καμπύλης PE-χρόνου με τις αντίστοιχες καμπύλες όλων των διαταραχών και της κανονικής κατάστασης που προκύπτουν από την προσομοίωση για κάθε μεταβλητή. Με αυτόν τον τρόπο, αν υπάρχει, η διαταραχή της οποίας η καμπύλη θα ταυτίζεται ή θα έχει τα περισσότερα κοινά χαρακτηριστικά με την τρέχουσα θα εντοπιστεί.

6.2 Συμπεράσματα εφαρμογής σε εγκεφαλογραφήματα

Η συγκεκριμένη μελέτη απέδειξε ότι όταν ελέγχονται τα EEG σήματα υγιών ανθρώπων με μάτια ανοιχτά και κλειστά και ασθενών με επιληψία με ή χωρίς διαταραχή με διαφορετικές τοποθετήσεις των ηλεκτροδίων, τα σήματα από τους ασθενείς που έχουν διαταραχή έχουν PE μικρότερα των υπολοίπων. Αυτό επιβεβαιώνει επιτυχώς την βασική αρχή ότι κατά μέσο όρο τα σήματα επιληπτικής διαταραχής έχουν PE μικρότερο από αυτό των φυσιολογικών σημάτων. Παρά το γεγονός ότι η τυπική απόκλιση των σημάτων με επιληπτικές διαταραχές είναι μεγαλύτερη των υπολοίπων, μόνο ένα μικρό μέρος αυτών υπερκαλύπτεται από σήματα άλλων σετ. Έτσι, αυτό δε σημαίνει απαραίτητα ότι επηρεάζει την ικανότητα του εργαλείου να βοηθήσει επιτυχώς μία διάγνωση επιληπτικής διαταραχής.

Σε αυτή την εφαρμογή, δηλαδή, αποδεικνύεται ότι ο συνδυασμός SAX και PE προσφέρει στους νευρολόγους γρήγορες και έμπιστες συμβουλές. Η παρούσα μελέτη προσθέτει στην βιβλιογραφία μία πρόταση ενός νέου εργαλείου για τον εντοπισμό επιληπτικών διαταραχών. Η αξία αυτού του εργαλείου οφείλεται στην ικανότητα του στιγμιαίου εντοπισμού από ένα νευρολόγο της επιληπτικής διαταραχής βλέποντας απλώς έναν αριθμό. Προχωρώντας αυτό το εργαλείο ένα βήμα παραπάνω και εφαρμόζοντάς το σε ένα νοσοκομείο χάρη στην ταχύτητα και την απλότητά του, οι γιατροί μπορούν να έχουν μία σφαιρική εικόνα της κατάστασης όλων των ασθενών σε πραγματικό χρόνο 24 ώρες την ημέρα για όλη την εβδομάδα.

Κάποιες προτάσεις για επιπλέον έρευνα στο συγκεκριμένο θέμα είναι οι ακόλουθες. Επιπλέον εφαρμογή αυτού του συνδυασμού των μεθόδων σε μεγαλύτερων διαστάσεων βάσεις δεδομένων μπορούν να οδηγήσουν σε ακόμη πιο ακριβή αποτελέσματα από αυτά της συγκεκριμένης μελέτης. Πιο εκλεπτυσμένες τεχνικές machine learning μπορούν να επιτρέψουν μία ακριβέστερη κατηγοριοποίηση ενός καινούργιου EEG ως υγιές ή όχι, σύμφωνα με την βάση δεδομένων των στατιστικών αποτελεσμάτων που αυτός ο συνδυασμός των μεθόδων παρέχει. Συμπερασματικά, αυτή η μέθοδος θα είναι χρήσιμη σε αυτόματα εργαλεία αποφάσεων που θα μειώσουν τα κόστη και θα επιταχύνουν την διαδικασία διάγνωσης.

6.3 Συμπεράσματα εφαρμογής σε οικονομικούς δείκτες

Η συγκεκριμένη εφαρμογή του PE, πέραν των τεσσάρων οικονομικών δεικτών στους οποίους εφαρμόστηκε στην παρούσα μελέτη, μπορεί να εφαρμοσθεί σε οποιουδήποτε συσχετιζόμενους οικονομικούς δείκτες και να διεξάγονται συμπεράσματα για καθέναν από αυτούς, καθώς και για το πώς επηρεάζεται ο ένας με βάση τον άλλο. Αυτά τα συμπεράσματα μπορούν να προκύψουν από την παρατήρηση των αποτελεσμάτων αυτής της μεθόδου είτε από οικονομικούς αναλυτές είτε αυτομάτως, όπως για παράδειγμα από τεχνικές machine learning. Επιπροσθέτως, άλλες εφαρμογές οι οποίες θα μπορούσαν να έχουν εξαιρετικό ενδιαφέρον σχετικά με την χρησιμότητα της συγκεκριμένης μεθόδου

PE που εφαρμόστηκε σε αυτή τη μελέτη, είναι σε δείκτες χρηματιστηρίου, σε δείκτες κατανάλωσης ενέργειας μετρημένης σε αξία (πχ ευρώ), κτλ. Προφανώς, για κάθε εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθόδου που εφαρμόστηκε, αλλάζουν οι δέουσες χρονικές μονάδες μέτρησης. Για παράδειγμα, στους χρηματιστηριακούς δείκτες, οι χρονικές μονάδες μέτρησης θα είναι τα λεπτά ή ακόμη μικρότερες, ενώ στην κατανάλωση ενέργειας θα είναι για παράδειγμα η μέρα ή οκτώωρα. Με αυτόν τον τρόπο, καθίσταται δυνατή η αποφυγή παρακολούθησης των δεικτών αυτών, καθώς υπάρχει η δυνατότητα αυτόματου εντοπισμού αύξησης ή μείωσης μιας οικονομικής χρονοσειράς και συνεπώς η δυνατότητα αυτόματης ενημέρωσης των εργαζομένων για αυτήν όταν συμβεί.

Και σε αυτή την εφαρμογή μπορεί να εισαχθούν επιπλέον τεχνικές machine learning, όπου όχι μόνο θα ομαδοποιούν και θα ειδοποιούν αυτόβουλα τους εργαζομένους, αλλά και θα προτείνουν τρόπους αντιμετώπισης αν τα αποτελέσματα είναι δυσμενή ή τρόπους συντήρησης ή και βελτίωσης των αποτελεσμάτων σε περίπτωση που αυτά είναι θετικά.

6.4 Γενικά συμπεράσματα

Το κύριο γενικό συμπέρασμα της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι ότι η μέθοδος PE αποτελεί εργαλείο-κλειδί για τον εντοπισμό αποκλινοσών συμπεριφορών σε οποιαδήποτε χρονοσειρά. Έτσι, μπορεί να βοηθήσει σε μεγάλο βαθμό χιλιάδες εργαζόμενους που παρακολουθούν τις χρονοσειρές αυτές για πολλές συνεχόμενες ώρες και εξαντλούνται πνευματικά υπό το συνεχές άγχος να μην τους διαφύγει πολύτιμη πληροφορία κατά την παρατήρηση. Με αυτόν τον τρόπο, οι εργαζόμενοι (στην διπλωματική αυτή: οι μηχανικοί ελέγχου χημικών διεργασιών, οι νευρολόγοι και οι οικονομικοί αναλυτές αντίστοιχα) δεν θα είναι πλέον υποχρεωμένοι να παρακολουθούν τα σήματα αυτά, καθώς η πληροφορία που χρειάζονται θα είναι άμεσα διαθέσιμη κάθε χρονική στιγμή. Στην διπλωματική αυτή, η μορφή της πληροφορίας είναι είτε ένα διάγραμμα για κάθε χρονική στιγμή κάθε όρος του οποίου αποτελεί το PE κάθε μεταβλητής και συγκρίνεται με τα διανύσματα της κανονικής κατάστασης και των διαταραχών με στόχο την ταυτοποίησή του με κάποια από αυτές (εφαρμογή σε χημική βιομηχανία), είτε ένα απλό νούμερο (εφαρμογή σε εγκεφαλογραφήματα), είτε ένα διάγραμμα με τιμές PE ανά την κατάλληλη χρονική μονάδα μέτρησης (εδώ έτος). Όμως, όπως αποδείχθηκε στις δύο από τις τρεις εφαρμογές της διπλωματικής, το PE πολλές φορές δεν αρκούσε για να καλύψει τις ανάγκες τους και για αυτό έπρεπε πρώτα το σήμα να προεπεξεργασθεί κατά SAX. Όμως, ούτε αυτό αρκούσε. Έπρεπε να επιλεγθεί ο κατάλληλος συνδυασμός των παραμέτρων τόσο του SAX όσο και του PE έτσι ώστε να εξαχθούν αποτελέσματα τα οποία ταξινομούν το κάθε σήμα στις δέουσες ομάδες.

Συνεπώς, παρατηρείται ότι κάθε εφαρμογή απαιτεί και διαφορετική υλοποίηση της μεθόδου PE (ή και SAX) ανάλογα με την φύση της. Επομένως, σε κάθε εφαρμογή διαδραματίζει ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο η εφευρετικότητα χάρη στην οποία θα επιτευχθεί

η διακριτοποίηση και η ταξινόμηση του κάθε σήματος (ή τμήματος αυτού του σήματος, όπως στην εφαρμογή στους οικονομικούς δείκτες). Αυτή η εφευρετικότητα εξαρτάται από την ικανότητα προσαρμογής της μεθόδου PE ή και SAX στο περιβάλλον της εκάστοτε εφαρμογής.

Ανεβάζοντας το επίπεδο ακόμη περισσότερο, η μέθοδος PE ή και SAX μπορεί να αλλάξει ριζικά τον τρόπο με τον οποίο γίνεται η παρακολούθηση (monitoring) των σημάτων σε οποιαδήποτε εφαρμογή. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την ανάπτυξη κωδίκων machine learning αποτέλεσμα των οποίων θα είναι το ίδιο το μηχάνημα να κατηγοριοποιεί το κάθε σήμα και όχι οι εργαζόμενοι βλέποντας τα αποτελέσματα της μεθόδου. Επιπροσθέτως, κάποιος από αυτούς τους κώδικες θα μπορούσαν να εξυπηρετούν στον προγραμματισμό του μηχανήματος να συμβουλεύει τους εργαζόμενους για το πώς να πράξουν σε κάθε περίπτωση μετά τη διάγνωσή του.

Συμπερασματικά, οι μέθοδοι SAX και PE είναι πολλά υποσχόμενες για την μελλοντική επιτήρηση των σημάτων και μπορούν να εφαρμοστούν σε πολλά διαφορετικά πεδία. Κρίνεται, επομένως, απαραίτητο να πραγματοποιηθεί περαιτέρω έρευνα για την ανάπτυξη τεχνικών machine learning που θα καταστήσουν τα επαγγέλματα πολλών ανθρώπων ακόμη ευκολότερα και ασφαλέστερα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Lin J, Keogh E, Wei L, Lonardi S. Experiencing SAX: a novel symbolic representation of time series. *Data Mining and Knowledge Discovery*. 2007; 15: 2 107-144.
- [2] Zanin M, Zunino L, Rosso OA, Papo D. Permutation Entropy and its main biomedical and econophysics applications: a review. *Entropy*. 2012; 14: 1553-1577.
- [3] Riedl M, Muller A, Wessel N. Practical considerations of Permutation Entropy: a tutorial review. *The European Physical Journal: Special Topics*. 2013; 222: 249–262.
- [4] J. J. Downs, E. F. Vogel. A plant-wide industrial process control problem. *Computers Chem.Eng.* 1993; 17(3): 245-255.
- [5] Andreas Bathelt, N. Lawrence Ricker, Mohieddine Jelali. Revision of the Tennessee Eastman Process Model. 9th International Symposium on Advanced Control of Chemical Processes.2014.
- [6] Fisher R.S., Van Emde Boas W., Blume W., Elger C., Genton P., Lee P., Engel J.Jr. Epileptic Seizures and Epilepsy: Definitions Proposed by the International League Against Epilepsy (ILAE) and the International Bureau for Epilepsy (IBE). *Epilepsia*. 2005; 46(4), 470-472.
- [7] World Health Organization Fact Sheet. Epilepsy. Web. Retrieved 4 March 2016 from: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs999/en/>.
- [8] Trinka E, Höfler J, Zerbs A. Causes of status epilepticus. *Epilepsia*. 2012; 53:4 127- 38.
- [9] Klenerman P., Sander J.W.A.S., Shorvon S.D. Mortality in patients with epilepsy: a study of patients in long term residential care. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*. 1993; 56, 149-152.
- [10] Xiaoli Li, J Polygiannakis, P Kapiris, A Peratzakis, K Eftaxias, X Yao. Fractal spectral analysis of pre-epileptic seizures in terms of criticality. *Journal of Neural Engineering*. 2005; 11-16.

- [11] Theodore W.H., Hunter K., Chen R., Vega-Bermudez F., Boroojerdi B., Reeves-Tyer P., Werhahn K., Kelley K.R., Cohen L. Transcranial magnetic stimulation for the treatment of seizures. *American Academy of Neurology*. 2009; 59, 560-562.
- [12] Vaughn B.V., D’Cruz O’N.F., Beach R., Messenheimer J.A. Improvement of epileptic seizure control with treatment of obstructive sleep apnoea. *Seizure*. 1996; 5(1), 73-78.
- [13] Lehnertz K. Epilepsy and Nonlinear Dynamics. *Journal of Biological Physics*. 2008; 34(3-4), 253-266.
- [14] Sperling MR. The consequences of uncontrolled epilepsy. *CNS Spectrums*. 2004; 9:2 98-101, 106-109.
- [15] Tatum O.W., Siegel J. EEG in epilepsy. *Neurology MedLink*. 2008.
- [16] Noachtar S., Remi J. The role of EEG epilepsy: A critical review. *Epilepsy & Behavior*. 2009; 15(1), 22-33.
- [17] Hoppe M., Wennberg R., Tai P., Pohlmann-Eden B. EEG in epilepsy. *Textbook of Stereotactic and Functional Neurosurgery*. 2009; 2575-2585.
- [18] Tawfik NS, Sherin MY, MohamedK. A hybrid automated detection of epileptic seizures in EEG records. *Computers and Electrical Engineering*. 2015; 53: 177-190.
- [19] Wilson K, Scheuer ML, Plummer C, Young B, S Pacia. Seizure detection: correlation of human experts. *Clinical Neurophysiology*, 2003; 114:11 2156-2164.
- [20] Ferlazzo E, Mammone N, Cianci V, Gasparini S, Gambardella A, Labate A, et al. Permutation entropy of scalp EEG: A tool to investigate epilepsies. *Clinical Neurophysiology*. 2014; 125:1 13-20.
- [21] Morabito FC, Labate D, La Foresta F, Bramanti A, Morabito G, Palamara I. Multivariate multi-scale permutation entropy for complexity analysis of Alzheimer’s Disease EEG. *Entropy*. 2012; 14: 1186-1202.

[22] Andrzejak RG, Lehnertz K, Mormann F, Rieke DP, Elger CE. Indications of nonlinear deterministic and finite-dimensional structures in time series of brain electrical activity: dependence on recording region and brain state. *Physical Review E*. 2001; 64: 6 64-72.

[23] Federal Reserve Bank of St. Louis. Web. Retrieved 25 February 2018 from:

<https://www.stlouisfed.org/>

[24] S. Claessens, M.A. Kose, M.E. Terrones. What happens during recessions, crunches and busts?. Washington, D.C.: IMF. 2008; 08/274.

[25] Manufacturing employment hard hit during 2007-09 recession. Web. Retrieved 25 February 2018 from:

<https://stats.bls.gov/opub/mlr/2011/04/art5full.pdf>


```

% H = petropy([6,9,11,12,8,13,5],3,1,'order');
% H =
%     1.5219
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

if nargin < 5, accu = 4; end
if nargin < 4, method = 'order'; end

x = x(:);
M = length(x);
equal = false;

if n*log10(n)>15, error('permutation dimension too high'); end
if (length(tau) > 1 && (length(tau) ~= n-1), error('time lag vector has to
have n-1 entries'); end
if ((n-1)*min(tau) >=M) || max(tau) >= M, error('too few data points for
desired dimension and lags'); end

switch lower(method)
    case {'noise'}
        %disp('Method: add small noise')
        x = x + rand(M,1)*10^(-accu-1);
    case 'equal'
        %disp('Method: allow equal ranks')
        equal = true;
    case 'order'
        %disp('Method: consider order of occurrence')
    otherwise
        error('unknown method')
end

if length(tau) > 1
    tau = reshape(tau,length(tau),1);
    tau = sort([0;tau]);
    % build n x (M-tau(n))-matrix from shifted values in x
    shift_mat = zeros(n,M-tau(n));
    for ii=1:n
        shift_mat(ii,:) = x(tau(ii)+1:M-tau(n)+tau(ii));
    end
else
    % vectorized
    shift_mat_ind = reshape(0:tau:(n-1)*tau,[],1) * ones(1,M-(n-1)*tau) +...
        ones(n, 1) * reshape(1:(M-(n-1)*tau),1,[]);
    shift_mat = x(shift_mat_ind);
end

if equal
    % allow equal values the same index
    ind_mat = zeros(size(shift_mat));
    for ii=1:size(ind_mat,2)
        [~,~,ind_mat(:,ii)]=unique(shift_mat(:,ii),'first');
    end
else

```

```

% sort matrix along rows to build rank orders, equal values retain
% order of appearance
[~, sort_ind_mat] = sort(shift_mat,1);
ind_mat = zeros(size(sort_ind_mat));
for ii=1:size(ind_mat,2)
    ind_mat(sort_ind_mat(:,ii),ii) = 1:n;
end
end
% assign unique number to each pattern (base-n number system)
ind_vec = n.^(0:n-1) * (ind_mat-1);

% find first occurrence of unique values in 'ind_vec' and use
% difference to determine length of sequence of the same numbers; e.g.
% sort_ind_vec = [21 21 11 19 11], unique_values = [11 19 21],
% ia = [1 3 4]: 11 occurs on places #1 and #2, 19 on #3 and 21 on #4 and #5
[~,ia,~] = unique(sort(ind_vec), 'first');

% use the following line, if you are using MATLAB in a lower version than
% 8.3:
permpat_num = diff([ia; (length(ind_vec)+1)]);

permpat_num = permpat_num/sum(permpat_num);

% compute permutation entropy
H = -sum(permpat_num .* log2(permpat_num));

```

Κώδικας 2: Κώδικας εφαρμογής μεθόδου Permutation Entropy (εφαρμογή σε χημική βιομηχανία)

Ο κώδικας αυτός υπολογίζει:

α) τη μέση τιμή και τυπική απόκλιση των απόλυτων ποσοστιαίων διαφορών PE για κάθε διαταραχή IDV 1-28 και για κάθε $D = 3 - 7$ για την εύρεση του βέλτιστου D

β) τον πίνακα των απόλυτων ποσοστιαίων διαφορών PE των μεταβλητών για κάθε διαταραχή IDV 1-28 για το βέλτιστο αυτό D

```

function [ mean_abs_var_petropy_percentage_diff,
std_abs_var_petropy_percentage_diff, abs_var_petropy_percentage_diff ] =
variablespeforallidvs( myarray ) % η είσοδος myarray αποτελεί μία λίστα, η
οποία εμπεριέχει τις εξόδους της προσομοίωσης στο Simulink για κάθε μία
διαταραχή, καθώς και για την κανονική κατάσταση. Με άλλα λόγια, είναι ένας
πίνακας 3 διαστάσεων του οποίου η μία διάσταση αφορά την αρίθμηση της κανονικής
κατάστασης (1) και των διαταραχών (2-29), ενώ οι άλλες δύο διαστάσεις του είναι
τα δείγματα και οι μεταβλητές. Οι δύο έξοδοι
(mean_abs_var_petropy_percentage_diff και std_abs_var_petropy_percentage_diff)
χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό της βέλτιστης διάστασης μοτίβου για την
μέθοδο PE. Έτσι, αφού προσδιορισθεί η βέλτιστη διάσταση μοτίβου, η τρίτη έξοδος
(abs_var_petropy_percentage_diff ) χρησιμοποιείται για την κατασκευή του
δυσδικού πίνακα.

```

```

m=length(myarray(1,:,1)); % αριθμός μεταβλητών = 41
n=length(myarray(:,1,1)); % αριθμός δειγμάτων
k=length(myarray(1,1,:)); % αριθμός διαταραχών και κανονικής κατάστασης (δηλαδή
= 28 + 1 = 29)
var_in_line=zeros(m,n,k); % αρχικοποίηση των τιμών του ανάστροφου του πίνακα
myarray
var_petrophy = zeros(m,k); % αρχικοποίηση του πίνακα που εμπεριέχει το PE κάθε
μεταβλητής για κάθε διαταραχή και για την κανονική κατάσταση.
var_petrophy_percentage_diff = zeros(m,k-1); % αρχικοποίηση της ποσοστιαίας
διαφοράς PE μεταξύ κάθε διαταραχής και της κανονικής κατάστασης
abs_var_petrophy_percentage_diff = zeros(m,k-1); % αρχικοποίηση της απόλυτης
ποσοστιαίας διαφοράς PE μεταξύ κάθε διαταραχής και της κανονικής κατάστασης
mean_abs_var_petrophy_percentage_diff = zeros(1,k-1); % αρχικοποίηση της μέσης
τιμής των απόλυτων ποσοστιαίων διαφορών PE
std_abs_var_petrophy_percentage_diff=zeros(1,k-1); % αρχικοποίηση της τυπικής
απόκλισης των απόλυτων ποσοστιαίων διαφορών PE
for a = 1:k
    for j=1:m
        for i=1:n
            var_in_line(j,i,a)=myarray(i,j,a); % υπολογισμός του
            ανάστροφου πίνακα myarray
        end
        if a~=7
            var_petrophy(j,a) = petrophy(var_in_line(j,:,a),5,1,'equal');
            % υπολογισμός PE των μεταβλητών για την κανονική κατάσταση και
            για IDV από 1-5 και 7-28
        else
            var_petrophy(j,a) = petrophy(var_in_line(j,1:20,a),5,1,'equal');
            % υπολογισμός PE των μεταβλητών για την IDV 6. Το 20 γράφεται
            επειδή στην διαταραχή αυτή έχουμε 20 δείγματα λόγω απότομης
            διακοπής λόγω υπέρβασης του ορίου της πίεσης.
        end
        if a>1
            var_petrophy_percentage_diff(j,a-1) = (var_petrophy(j,a)-
            var_petrophy(j,1))/var_petrophy(j,1); % υπολογισμός της
            ποσοστιαίας διαφοράς PE μεταξύ κάθε διαταραχής και της
            κανονικής κατάστασης
            abs_var_petrophy_percentage_diff(j,a-1)=
            abs(var_petrophy_percentage_diff(j,a-1)); % υπολογισμός της
            απόλυτης ποσοστιαίας διαφοράς PE μεταξύ κάθε διαταραχής και
            της κανονικής κατάστασης
        end
    end
end
end
for b = 1 : k-1
    mean_abs_var_petrophy_percentage_diff(1,b) =
    mean(abs_var_petrophy_percentage_diff(:,b)); % υπολογισμός της μέσης τιμής
    των απόλυτων ποσοστιαίων διαφορών PE
    std_abs_var_petrophy_percentage_diff(1,b) =
    std(abs_var_petrophy_percentage_diff(:,b)); % υπολογισμός της μέσης τιμής
    των απόλυτων ποσοστιαίων διαφορών PE
end
end

```

Κώδικας 3: Κώδικας Symbolic Aggregate Approximation

Ο κώδικας αυτός ελήφθη διαδικτυακώς από τον παρακάτω σύνδεσμο:

<https://cs.gmu.edu/~jessica/sax.htm>.

```
% Copyright and terms of use (DO NOT REMOVE):
% The code is made freely available for non-commercial uses only, provided that
the copyright
% header in each file not be removed, and suitable citation(s) (see below) be
made for papers
% published based on the code.
%
% The code is not optimized for speed, and we are not responsible for any
errors that might
% occur in the code.
%
% The copyright of the code is retained by the authors. By downloading/using
this code you
% agree to all the terms stated above.
%
% Lin, J., Keogh, E., Lonardi, S. & Chiu, B.
% "A Symbolic Representation of Time Series, with Implications for Streaming
Algorithms."
% In proceedings of the 8th ACM SIGMOD Workshop on Research Issues in Data
Mining and
% Knowledge Discovery. San Diego, CA. June 13, 2003.
%
%
% Lin, J., Keogh, E., Patel, P. & Lonardi, S.
% "Finding Motifs in Time Series". In proceedings of the 2nd Workshop on
Temporal Data Mining,
% at the 8th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and
Data Mining.
% Edmonton, Alberta, Canada. July 23-26, 2002
%
% This function takes in a time series and convert it to string(s).
% There are two options:
% 1. Convert the entire time series to ONE string
% 2. Use sliding windows, extract the subsequences and convert these
subsequences to strings
%
% For the first option, simply enter the length of the time series as "N"
% ex. We have a time series of length 32 and we want to convert it to a 8-
symbol string,
% with alphabet size 3:
% timeseries2symbol(data, 32, 8, 3)
% For the second option, enter the desired sliding window length as "N"
% ex. We have a time series of length 32 and we want extract subsequences of
length 32 using
```



```
%      sliding windows, and convert the subsequences to 8-symbol strings, with
alphabet size 3:
%      timeseries2symbol(data, 16, 8, 3)
%
%
% Input:
% data          is the raw time series.
% N             is the length of sliding window (use the length of the
raw time series
%              instead if you don't want to have sliding windows)
% n            is the number of symbols in the low dimensional
approximation of the sub sequence.
% alphabet_size is the number of discrete symbols. 2 <= alphabet_size <=
10, although alphabet_size = 2 is a special "useless" case.
% NR_opt       1: no numerosity reduction (record everything)
%              2: numerosity reduction (record only if the string is
different from the last recorded string)
%              (default)
%              3: advanced numerosity reduction (record only if the
mindist between current string and
%              last recorded string > 0)
%              4: more reduction (record only if the subsequence is NOT
monotonic)
%
% Output:
% symbolic_data: matrix of symbolic data (no-repetition). If consecutive
subsequences
%              have the same string, then only the first occurrence is
recorded, with
%              a pointer to its location stored in "pointers"
% pointers:     location of the first occurrences of the strings
%
% N/n must be an integer, otherwise the program will give a warning, and abort.
%
% The variable "win_size" is assigned to N/n, this is the number of data points
on the raw
% time series that will be mapped to a single symbol, and can be imagined as
the
% "compression rate".
%
% The symbolic data is returned in "symbolic_data", with pointers to the
subsequences
%
%
% Copyright (c) 2003, Eamonn Keogh, Jessica Lin, Stefano Lonardi, Pranav Patel.
All rights reserved.
%
function [symbolic_data, pointers] = sax_modified(data, N, n, alphabet_size,
NR_opt)

if nargin < 4
```

```

    disp('usage: sax_modified(data, window_len, num_segment, alphabet_size,
[numerosity_reduction_option]');
    return;
end

%if (N/n - floor(N/n)) % N/n must be an integer.
%    disp('N/n must be an integer. Aborting '); , return;
%end;

if alphabet_size > 20
    disp('Currently alphabet_size cannot be larger than 20. Please update the
breakpoint table if you wish to do so');
    return;
end

if nargin < 5
    NR_opt = 2;
end

win_size = floor(N/n); % win_size is the number of
data points on the raw time series that will be mapped to a single symbol

pointers = []; %
Initialize pointers,
symbolic_data = zeros(1,n); %
Initialize symbolic_data with a void string, it will be removed later.
all_string = zeros(length(data)-N+1,n);

% Scan accross the time series extract sub sequences, and converting them to
strings.
for i = 1 : length(data) - (N -1)

    if mod(i, 1000) == 0
        disp(num2str(i));
    end

    % Remove the current subsection.
    sub_section = data(i:i + N -1);

    % Z normalize it.
    sub_section = (sub_section - mean(sub_section))/std(sub_section);

    % take care of the special case where there is no dimensionality reduction
    if N == n
        PAA = sub_section;

    % N is not dividable by n
    else
        if (N/n - floor(N/n))
            temp = zeros(n, N);
            for j = 1 : n
                temp(j, :) = sub_section;
            end
        end
    end
end

```

```

        expanded_sub_section = reshape(temp, 1, N*n);
        PAA = [mean(reshape(expanded_sub_section, N, n))];
    % N is dividable by n
    else
        PAA = [mean(reshape(sub_section,win_size,n))];
    end
    % Convert to PAA.
    %else
    % PAA = [mean(reshape(sub_section,win_size,n))];
    end

    current_string = map_to_string(PAA,alphabet_size);           % Convert the
PAA to a string.

    % no numerosity reduction: record everything
    if NR_opt == 1
        symbolic_data      = [symbolic_data; current_string];   % ... add it to
the set...
        pointers           = [pointers ; i];                     % ... and add a
new pointer.

        % with numerosity reduction: record a string only if it differs from its
leftmost neighbor
        elseif NR_opt == 2

            if ~all(current_string == symbolic_data(end,:))     % If the
string differs from its leftmost neighbor...
                symbolic_data      = [symbolic_data; current_string]; % ... add
it to the set...
                pointers           = [pointers ; i];             % ... and
add a new pointer.
            end;

            % advanced numerosity reduction: record a string only if its mindist to the
last recorded
            % string > 0
            elseif NR_opt == 3

                % always record the first string
                if i == 1
                    symbolic_data      = [symbolic_data; current_string]; % ... add
it to the set...
                    pointers           = [pointers ; i];         % ... and
add a new pointer.

                    % subsequent strings
                else

                    % we only need to check if two sliding windows have different
strings (if they are
                    % the same then their mindist is 0)
                    if ~all(current_string == symbolic_data(end,:)) % If the
string differs from its leftmost neighbor...

```

```

        % Here we're doing a simplified version of mindist. Since we're
only interested
        % in knowing if the distance of two strings is 0, we can do so
without any extra
        % computation. Since only adjacent symbols have distance 0,
all we have to
        % do is check if any two symbols are non-adjacent.
        if any(abs(symbolic_data(end,:) - current_string) > 1)
            symbolic_data = [symbolic_data; current_string]; %
... add it to the set...
            pointers = [pointers ; i]; %
... and add a new pointer.
        end
    end
end

else

    % we only need to check if two sliding windows have different strings
(if they are
    % the same then their mindist is 0)
    if ~all(current_string == symbolic_data(end,:)) % If the
string differs from its leftmost neighbor...
        if any(abs(symbolic_data(end,:) - current_string) > 1)
            if ~all(sign(diff(current_string)) >= 0) &
~all(sign(diff(current_string)) <= 0)
                symbolic_data = [symbolic_data; current_string]; %
... add it to the set...
                pointers = [pointers ; i]; %
... and add a new pointer.
            end
        end
    end
end
end

end;

% Delete the first element, it was just used to initialize the data structure
symbolic_data(1,:) = [];

%-----
%-----Local Functions-----Local Functions-----
%-----Local Functions-----Local Functions-----
%-----
%-----

function string = map_to_string(PAA,alphabet_size)

string = zeros(1,length(PAA));

switch alphabet_size
    case 2, cut_points = [-inf 0];

```

```

    case 3, cut_points = [-inf -0.43 0.43];
    case 4, cut_points = [-inf -0.67 0 0.67];
    case 5, cut_points = [-inf -0.84 -0.25 0.25 0.84];
    case 6, cut_points = [-inf -0.97 -0.43 0 0.43 0.97];
    case 7, cut_points = [-inf -1.07 -0.57 -0.18 0.18 0.57 1.07];
    case 8, cut_points = [-inf -1.15 -0.67 -0.32 0 0.32 0.67 1.15];
    case 9, cut_points = [-inf -1.22 -0.76 -0.43 -0.14 0.14 0.43 0.76
1.22];
    case 10, cut_points = [-inf -1.28 -0.84 -0.52 -0.25 0 0.25 0.52 0.84
1.28];
    case 11, cut_points = [-inf -1.34 -0.91 -0.6 -0.35 -0.11 0.11 0.35 0.6
0.91 1.34];
    case 12, cut_points = [-inf -1.38 -0.97 -0.67 -0.43 -0.21 0 0.21 0.43
0.67 0.97 1.38];
    case 13, cut_points = [-inf -1.43 -1.02 -0.74 -0.5 -0.29 -0.1 0.1 0.29
0.5 0.74 1.02 1.43];
    case 14, cut_points = [-inf -1.47 -1.07 -0.79 -0.57 -0.37 -0.18 0 0.18
0.37 0.57 0.79 1.07 1.47];
    case 15, cut_points = [-inf -1.5 -1.11 -0.84 -0.62 -0.43 -0.25 -0.08
0.08 0.25 0.43 0.62 0.84 1.11 1.5];
    case 16, cut_points = [-inf -1.53 -1.15 -0.89 -0.67 -0.49 -0.32 -0.16 0
0.16 0.32 0.49 0.67 0.89 1.15 1.53];
    case 17, cut_points = [-inf -1.56 -1.19 -0.93 -0.72 -0.54 -0.38 -0.22 -
0.07 0.07 0.22 0.38 0.54 0.72 0.93 1.19 1.56];
    case 18, cut_points = [-inf -1.59 -1.22 -0.97 -0.76 -0.59 -0.43 -0.28 -
0.14 0 0.14 0.28 0.43 0.59 0.76 0.97 1.22 1.59];
    case 19, cut_points = [-inf -1.62 -1.25 -1 -0.8 -0.63 -0.48 -0.34 -0.2
-0.07 0.07 0.2 0.34 0.48 0.63 0.8 1 1.25 1.62];
    case 20, cut_points = [-inf -1.64 -1.28 -1.04 -0.84 -0.67 -0.52 -0.39 -
0.25 -0.13 0 0.13 0.25 0.39 0.52 0.67 0.84 1.04 1.28 1.64];
    otherwise disp('Error! alphabet_size is too big');
end;

for i = 1 : length(PAA)
    string(i) = sum( (cut_points <= PAA(i)), 2 );           % order is now: a =
1, b = 2, c = 3..
end;

```

Κώδικας 4: Κώδικας εφαρμογής της επαλληλίας μεθόδων SAX και PE (εφαρμογή σε χημική βιομηχανία)

Ο κώδικας αυτός:

α) υπολογίζει τον πίνακα που περιέχει για κάθε διαταραχή την μέση τιμή και τυπική απόκλιση των απόλυτων ποσοστιαίων διαφορών PE για όλους τους πιθανούς συνδυασμούς παραμέτρων ($\alpha=3-11$, $D=3-7$ και $n=36-50$)

β) υπολογίζει και προσδιορίζει τις παραμέτρους των μέγιστων μέσων τιμών και τυπικών αποκλίσεων των απόλυτων ποσοστιαίων διαφορών PE για την επιλογή βέλτιστων παραμέτρων χάρη στον πίνακα του α)

γ) υπολογίζει τον πίνακα των απόλυτων και τον πίνακα των κανονικών ποσοστιαίων διαφορών PE των μεταβλητών για κάθε διαταραχή IDV 1-28 για τις βέλτιστες αυτές παραμέτρους.

```

function [MATRIX, MAXMEAN, MAXSTD, MAXPOSMEAN, MAXPOSSTD,
abs_var_petropy_percentage_diff, var_petropy_percentage_diff] =
variablespesaxforallidvsforalland( myarray ) % Και εδώ, η είσοδος myarray
αποτελεί μία λίστα, η οποία εμπεριέχει τις εξόδους της προσομοίωσης στο
Simulink για κάθε μία διαταραχή, καθώς και για την κανονική κατάσταση. Με άλλα
λόγια, είναι ένας πίνακας 3 διαστάσεων του οποίου η μία διάσταση αφορά την
αρίθμηση της κανονικής κατάστασης (1) και των διαταραχών (2-29), ενώ οι άλλες
δύο διαστάσεις του είναι τα δείγματα και οι μεταβλητές. Οι πέντε πρώτες έξοδοι
(MATRIX, MAXMEAN, MAXSTD, MAXPOSMEAN, MAXPOSSTD) χρησιμοποιούνται για τον
καθορισμό των βέλτιστων παραμέτρων που θα χρησιμοποιηθούν για την επαλληλία
μεθόδων SAX και PE. Έτσι, αφού καθοριστούν αυτές οι βέλτιστες παράμετροι, το
μέρος της έκτης μεταβλητής (abs_var_petropy_percentage_diff) που αντιστοιχεί σε
αυτές χρησιμοποιείται για την κατασκευή του δυαδικού πίνακα, ενώ το μέρος της
έβδομης (var_petropy_percentage_diff) που αντιστοιχεί σε αυτές αποτελεί τον
πίνακα αποτελεσμάτων.

m=length(myarray(1,:,1));
n=length(myarray(:,1,1));
k=length(myarray(1,1,:));
dim_reduced=zeros(m,50); % Είναι το μειωμένης διάστασης σήμα. Εδώ
αρχικοποιείται. Τοποθετείται ως διάσταση στηλών ο αριθμός 50 επειδή αυτή είναι
η μέγιστη δυνατή τιμή που μπορεί να λάβει, καθώς τα τμήματα που εξετάζονται,
όπως ειπώθηκε, κυμαίνονται από 36 έως 50.
var_petropy = zeros(m,k,9,15,5); % 9 είναι το εύρος του μεγέθους αλφαβήτου που
εξετάζεται (11-3+1), 15 είναι το εύρος των τμημάτων που εξετάζεται (50-36+1)
και 5 είναι το εύρος της διάστασης μοτίβου που εξετάζεται (7-3+1)
var_petropy_percentage_diff = zeros(m,k-1,9,15,5);
abs_var_petropy_percentage_diff = zeros(m,k-1,9,15,5);
MATRIX = zeros(9,15,5,2,k-1); % ο 5-διάστατος πίνακας αυτός, που αποτελεί και
έξοδο του κώδικα, περιέχει για κάθε διαταραχή την μέση τιμή και τυπική απόκλιση
των απόλυτων ποσοστιαίων διαφορών PE για όλους τους πιθανούς συνδυασμούς
(alphasize=3-11, d=3-7 και segments=36-50). Εδώ γίνεται η αρχικοποίησή του.
MAXMEAN = zeros(1,k-1); % μέγιστη μέση τιμή
MAXSTD = zeros(1,k-1); % μέγιστη τυπική απόκλιση
MAXPOSMEAN = zeros(3,k-1); % παράμετροι μέγιστης μέσης τιμής
MAXPOSSTD = zeros(3,k-1); % παράμετροι μέγιστης τυπικής απόκλισης

for alphasize=3:11
    for segments=36:50
        for d=3:7
            for a = 1:k
                for j=1:m
                    if a~=7
                        dim_reduced(j,1:segments) =
                            timeseries2symbol(myarray(:,j,a),n,segments,alphasize);
                        var_petropy(j,a, alphasize-2,segments-35,d-2) =
                            petropy(dim_reduced(j,1:segments),d,1,'equal'); %
                            υπολογισμός PE των μεταβλητών για την κανονική κατάσταση
                            και για IDV από 1-5 και 7-28
                    else

```

```

dim_reduced(j,1:ceil(segments*197/1001)) =
timeseries2symbol(myarray(1:197,j,a),197,ceil(segments*19
7/1001),alphasize); % υπολογισμός PE των μεταβλητών για
την IDV 6. Το 197 γράφεται επειδή στην διαταραχή αυτή
έχουμε 197 δείγματα λόγω απότομης διακοπής λόγω υπέρβασης
του ορίου της πίεσης. Επομένως, ο αριθμός των τμημάτων
καθορίζεται με άνω στρογγυλοποίηση του αποτελέσματος της
απλής μεθόδου των τριών.
var_petropy(j,a, alphasize-2,segments-35,d-2) =
petropy(dim_reduced(j,1:ceil(segments*197/1001)),d,1,'equ
al');
end
if a>1
var_petropy_percentage_diff(j,a-1, alphasize-2,segments-
35,d-2) = (var_petropy(j,a, alphasize-2,segments-35,d-2)-
var_petropy(j,1, alphasize-2,segments-35,d-
2))/var_petropy(j,1, alphasize-2,segments-35,d-2); %
υπολογισμός της ποσοστιαίας διαφοράς PE μεταξύ κάθε
διαταραχής και της κανονικής κατάστασης
abs_var_petropy_percentage_diff(j,a-1, alphasize-
2,segments-35,d-2)= abs(var_petropy_percentage_diff(j,a-
1, alphasize-2,segments-35,d-2)); % υπολογισμός της
απόλυτης ποσοστιαίας διαφοράς PE μεταξύ κάθε διαταραχής
και της κανονικής κατάστασης
end
end
end
end
end
for alphasize=3:11
for segments=36:50
for d=3:7
for b = 1 : k-1
MATRIX(alphasize-2,segments-35,d-2,1,b) =
mean(abs_var_petropy_percentage_diff(:,b, alphasize-
2,segments-35,d-2)); % συμπληρώνονται οι μέσες τιμές στον
πίνακα MATRIX
MATRIX(alphasize-2,segments-35,d-2,2,b) =
std(abs_var_petropy_percentage_diff(:,b, alphasize-2,segments-
35,d-2)); % συμπληρώνονται οι τυπικές αποκλίσεις στον πίνακα
MATRIX
if b~=16 && not(isnan(MATRIX(alphasize-2,segments-35,d-
2,1,b))) && not(isnan(MATRIX(alphasize-2,segments-35,d-
2,2,b))) && not(isinf(MATRIX(alphasize-2,segments-35,d-
2,1,b))) && not(isinf(MATRIX(alphasize-2,segments-35,d-
2,2,b))) % οι παρακάτω συνθήκες είναι απαραίτητες για να μην
υπάρχουν μέσες τιμές ή τυπικές αποκλίσεις οι οποίες είναι
άπειρες (λόγω μηδενισμού του παρονομαστή) ή δεν ορίζονται
(μορφή 0/0)
if MATRIX(alphasize-2,segments-35,d-
2,1,b)>=MAXMEAN(1,b)
MAXMEAN(1,b)=MATRIX(alphasize-2,segments-35,d-
2,1,b);

```



```

end
sum = zeros(5,1); % αρχικοποίηση αθροίσματος που βοηθά στον υπολογισμό του
average
average=zeros(5,1);
for i=1:5
    for j=1:n
        k=j+(i-1)*n; % k: μετρητής (από 1-500) για να καλεστεί με επιτυχία
        το κατάλληλο μειωμένο σήμα a σε κάθε επανάληψη
        e=a(k,1:x);
        b(i,j)=petropy(e,z,1,'equal');
        sum(i,1)=sum(i,1)+b(i,j);
    end
    average(i,1) = sum(i,1)/n;
end
c=zeros(1,n);
s=zeros(1,5);
r=zeros(1,5);
for i=1:5
    for j=1:n
        c(1,j)=b(i,j); % c: είναι σε κάθε επανάληψη η κάθε γραμμή της b,
        δηλαδή σε κάθε επανάληψη περιέχει τα PE ενός σετ. Βοηθά στον
        προσδιορισμό των s και r
    end
    s(1,i)=std(c);
    r(1,i)=max(c)-min(c);
    sumofavs=0;
    for i=1:5
        if i~=4
            sumofavs = sumofavs + average(i,1);
        end
    end
    avofavs=sumofavs/4;
    final = abs(average(4,1)-avofavs);
end
end

```

Κώδικας 6: Κώδικας εφαρμογής της μεθόδου PE χωρίς χρονικά παράθυρα (εφαρμογή σε οικονομικούς δείκτες)

```

function [ var_petropy_per_sample ] = variablespepersample( x, D )
% ο κώδικας αυτός υπολογίζει το PE από το πρώτο δείγμα μέχρι και το κάθε
επόμενο δείγμα για έναν οικονομικό δείκτη κάθε φορά. Αναπαριστά δηλαδή το PE
συναρτήσεως του χρόνου για κάθε δείκτη χωρίς χρονικά παράθυρα. Είσοδοι: x =
χρονοσειρά κάθε οικονομικού δείκτη στο χρονικό διάστημα 2000-2017, D = διάσταση
μοτίβου.

no_of_samples=length(x); % συνολικός αριθμός των δειγμάτων
var_petropy_per_sample = zeros(no_of_samples); % αρχικοποίηση του διανύσματος
PE συναρτήσεως του χρόνου του οικονομικού δείκτη
for i=1:no_of_samples
    if i>=D
        var_petropy_per_sample(i) = petropy(x(1:i),D,1,'equal');
    end
end
end
end

```

Κώδικας 7: Κώδικας εφαρμογής της μεθόδου PE με χρονικά παράθυρα (εφαρμογή σε οικονομικούς δείκτες)

```
function [ neg,k1,pos,k2 ] = variablespeperwindow( x )
% Ο κώδικας αυτός υπολογίζει το PE για κάθε έτος από τα δεδομένα της
% χρονοσειράς για έναν οικονομικό δείκτη κάθε φορά. Είσοδοι: x = χρονοσειρά κάθε
% οικονομικού δείκτη στο χρονικό διάστημα 2000-2017. Έξοδοι: neg = διάνυσμα που
% περιέχει τα PE των δυσμενών ετών (αρνητικά PE) για τον οικονομικό δείκτη, k1 =
% διάνυσμα καταγραφής των δυσμενών αυτών ετών, pos = διάνυσμα που περιέχει τα PE
% των ετών προόδου (θετικά PE) για τον οικονομικό δείκτη, k2 = διάνυσμα
% καταγραφής των ετών προόδου.
no_of_samples=length(x); % συνολικός αριθμός των δειγμάτων
neg=zeros(1,18);
pos=zeros(1,18);
k=2000; % αρχικοποίηση του δείκτη μέτρησης των ετών
k1=zeros(1,18);
k2=zeros(1,18);
m=0; % δείκτης μέτρησης των δυσμενών ετών
n=0; % δείκτης μέτρησης των ετών προόδου
for i=1:no_of_samples
    if mod(i,12)==0
        if x(i)<x(i-11) % για τον βαθμό ανεργίας η συνθήκη αλλάζει και
            είναι «>» αντί για «<».
                m=m+1;
                neg(1,m)= -petropy(x(i-11:i),3,1,'equal');
                k1(1,m)=k;
            else
                n=n+1;
                pos(1,n)= petropy(x(i-11:i),3,1,'equal');
                k2(1,n)=k;
            end
            k=k+1;
        end
    end
end
end
```