

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΟΡΓΑΝΩΣΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

**ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ
ΤΟΥ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ
MINITAB RELEASE 13.**

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Δρ. Ι.Λ. ΜΠΑΚΟΥΡΟΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΣΤΑΥΡΟΥΛΑ ΤΣΙΤΣΙΦΛΗ

ΒΟΛΟΣ
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2001



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗΣ & ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»

Αριθ. Εισ.: 1930/1
Ημερ. Εισ.: 22-06-2004
Δωρεά: Συγγραφέα
Ταξιθετικός Κωδικός: Δ
519.502 854
ΤΣΙ

Στον Χρήστο

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000072591

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Κίνητρο για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτέλεσε η διδακτορική διατριβή του Ι. Λ. Μπακούρου. Στην διατριβή αυτή εφαρμόζονται πολυμεταβλητές στατιστικές τεχνικές για την μελέτη και πρόβλεψη της αξιοπιστίας υποθαλάσσιων αγωγών.

Η παρούσα μελέτη, με σκοπό την πρόβλεψη αξιοπιστίας, εφαρμόζει δύο συγκεκριμένες πολυμεταβλητές στατιστικές τεχνικές κάνοντας χρήση ομαδοποιημένων μεταβλητών, χρησιμοποιώντας το στατιστικό πακέτο Minitab Release 13.

Στα πρώτα πέντε κεφάλαια, γίνεται μια αναφορά σε προηγούμενες μελέτες που σχετίζονται με την επίλυση προβλημάτων αξιοπιστίας βάσει πολυμεταβλητών στατιστικών τεχνικών. Επίσης, περιγράφονται και αναλύονται οι θεωρίες των δύο στατιστικών τεχνικών που χρησιμοποιούνται στην παρούσα μελέτη, της διαχωριστικής ανάλυσης και της ταξινόμησης. Επίσης παρουσιάζονται αναλυτικά οι εφαρμογές του στατιστικού πακέτου, διαχωριστική ανάλυση, ανάλυση διασποράς και δυαδική λογιστική παλινδρόμηση.

Στα επόμενα τρία κεφάλαια, ακολουθεί η αναλυτική παρουσίαση της πρακτικής εφαρμογής των τεχνικών της διαχωριστικής ανάλυσης και της ταξινόμησης με την χρήση ομαδοποιημένων μεταβλητών, σε πραγματικά δεδομένα υποθαλάσσιων αγωγών και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα αυτής της πρακτικής εφαρμογής.

Στα παραρτήματα παρουσιάζονται οι αναλυτικοί πίνακες των αποτελεσμάτων της εφαρμογής και ενδεικτικά συμπεριλαμβάνονται κάποια από τα αποτελέσματα του στατιστικού υπολογιστικού πακέτου.

Στο σημείο αυτό, για την πραγματοποίηση και ολοκλήρωση της διπλωματικής αυτής εργασίας, θα ήθελα να απευθύνω τις ευχαριστίες μου σε όσους συνέβαλαν στον σκοπό αυτό, και συγκεκριμένα, στον Δρ. Χημικό Μηχανικό και Επίκουρο Καθηγητή κ. Ιωάννη Λ. Μπακούρο, η διδακτορική διατριβή του οποίου αποτέλεσε το

θεωρητικό υπόβαθρο της διπλωματικής αυτής εργασίας, για την καθοδήγηση που μου παρείχε κατά την συγγραφή του παρόντος τεύχους.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΣΕΛΙΔΑ

Αφιέρωση	i
Πρόλογος... ..	ii
Περιεχόμενα	iv

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
-----------------------	----------

Κεφάλαιο 1° : ΧΡΗΣΗ ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΓΙΑ ΕΠΙΛΥΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ

1.1 Γενικά	4
1.2 Γενικότερες εφαρμογές των τεχνικών της διαχωριστικής ανάλυσης και ταξινόμησης	5
1.3 Γενικές αρχές διαχωριστικής ανάλυσης και ταξινόμησης	5
1.4 Η μελέτη αξιοπιστίας υποθαλάσσιων αγωγών με χρήση διαχωριστικής ανάλυσης και ταξινόμησης	6
1.4.1 Η σπουδαιότητα της χρήσης υποθαλάσσιων αγωγών για την μεταφορά προϊόντων του πετρελαίου	7
1.4.2 Η ανάγκη για υψηλή αξιοπιστία των αγωγών πετρελαίου και οι ενδεχόμενες οικονομίες από την χρήση τους	9
1.4.3 Προηγούμενες προσεγγίσεις	10
Προσέγγιση de la Mare	10
Προσέγγιση Det Norske Veritas	12
Προσέγγιση Veritec	13
Προσέγγιση Andrews	14
Προσέγγιση Cannon	14
Άλλες προσεγγίσεις και συμπεράσματα	15

Κεφάλαιο 2° : ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

2.1	Γενικά	16
2.2	Προϋποθέσεις	19
2.3	Υπολογισμός της διαχωριστικής συνάρτησης	19
2.4	Ερμηνεία των διαχωριστικών συντελεστών	23
2.5	Έλεγχος της διαχωριστικής συνάρτησης	24
2.6	Επιλογή χαρακτηριστικών της επόμενης διαχωριστικής συνάρτησης	29

Κεφάλαιο 3° : ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ

3.1	Γενικά	31
3.2	Κανόνες ταξινόμησης	32
3.3	Ποσοστά και πίνακας ταξινόμησης	35

Κεφάλαιο 4° : ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ – ΧΡΗΣΗ ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΜΕΝΩΝ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ

4.1	Γενικά	37
4.2	Συσχέτιση διαχωριστικής μεταβλητής και πιθανότητας ταξινόμησης	38
4.3	Έλεγχος εφαρμογής του διαγράμματος ταξινόμησης	41
4.4	Η σημασία της χρήσης ομαδοποιημένων μεταβλητών στην αξιοπιστία	47

Κεφάλαιο 5° : ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΥ ΠΑΚΕΤΟΥ MINITAB RELEASE 13

5.1	Διαχωριστική Ανάλυση (Discriminant Analysis)	44
5.2	Ανάλυση Διασποράς (Analysis of Variance – ANOVA)	49
5.3	Διαδική Λογιστική Παλινδρόμηση (Binary Logistic Regression)	53

Κεφάλαιο 6° : ΜΕΛΕΤΗ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΑΓΩΓΩΝ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ ΤΗΣ ΒΟΡΕΙΟΥ ΘΑΛΑΣΣΑΣ

6.1	Γενικά	57
6.2	Γενική παρουσίαση σεναρίων.....	58
6.3	Σενάρια μελέτης αξιοπιστίας των αγωγών της βόρειου θάλασσας	59
6.4	Λεπτομερειακή ανάλυση σεναρίων	62

Κεφάλαιο 7° : ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

7.1	Σενάριο 1°	65
-----	------------------	----

7.2	Σενάριο 2°	66
7.3	Σενάριο 3°	67
7.4	Σενάριο 4°	68
7.5	Σενάριο 5°	70
7.6	Σενάριο 6°	71
7.7	Σενάριο 7°	72
7.8	Σενάριο 8°	73
7.9	Σενάριο 9°	74
7.10	Σενάριο 10°	75
7.11	Σενάριο 11°	76
7.12	Σενάριο 12°	77
7.13	Σενάριο 13°	79
7.14	Σενάριο 14°	80
7.15	Σενάριο 15°	81
7.16	Σενάριο 16°	82
7.17	Σενάριο 17°	83
7.18	Σενάριο 18°	84
7.19	Σενάριο 19°	85
7.20	Σενάριο 20°	86
7.21	Σενάριο 21°	88
7.22	Σενάριο 22°	89
Κεφάλαιο 8° :	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	91
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ		96
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ :	ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	
	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΜΙΝΙΤΑΒ	98

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σ' αυτή την εργασία μελετήθηκαν οι πολυμεταβλητές στατιστικές τεχνικές της διαχωριστικής ανάλυσης και της ταξινόμησης, με σκοπό την πρόβλεψη της αξιοπιστίας. Σκοπός της εργασίας είναι να προβλεφθεί η αξιοπιστία των υποθαλάσσιων αγωγών πετρελαίου της Βορείου Θάλασσας με την χρήση του προγράμματος Minitab Release 13 και χρησιμοποιώντας τις τεχνικές της διαχωριστικής ανάλυσης και της ταξινόμησης. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται οι εφαρμογές του στατιστικού πακέτου: διαχωριστική ανάλυση, ανάλυση διασποράς και δυαδική λογιστική παλινδρόμηση. Επίσης γίνεται χρήση ομαδοποιημένων μεταβλητών εκτός από τα χαρακτηριστικά των αγωγών.

Η εργασία αυτή βασίστηκε στην διδακτορική διατριβή του Δρ. Ι.Λ. Μπακούρου, η οποία όμως χρησιμοποίησε έναν αλγόριθμο για τον υπολογισμό των παραμέτρων που χρησιμοποιούνται στην διαχωριστική ανάλυση και την ταξινόμηση. Η παρούσα εργασία επέκτεινε την προηγούμενη διατριβή χρησιμοποιώντας το στατιστικό πακέτο, το ποίο παρέχει αποτελέσματα πιο γρήγορα και με μεγαλύτερη ακρίβεια και επίσης μελέτησε την επίδραση δύο συγκεκριμένων μεταβλητών, της μεταβλητής όριο διαρροής (grade) και προϊόν που μεταφέρεται από τους αγωγούς (product). Μελετήθηκε δε η επίδραση αυτών των μεταβλητών και των δύο μαζί αλλά και του καθενός ξεχωριστά και προέκυψαν συμπεράσματα όσον αφορά τον ρόλο που

παιζει η μεταβλητή όριο διαρροής. Η μεταβλητή προϊόν δεν βοηθά αθόλου στην πρόβλεψη της αξιοπιστίας.

In this study, the techniques of discriminant analysis and classification are being studied, having as purpose the prediction of reliability. The purpose of this study is to predict the reliability of the oil pipes situated below sea at the area of North Sea, using the statistical program Minitab Release 13 and also using the techniques of discriminant analysis and classification. For this purpose the following applications of the program are being used: discriminant analysis, analysis of variance and binary logistic regression. Also some grouping variables are used together with the characteristics of the pipes.

This study was based on the doctoral thesis of Dr. I.L. Bakouros, where an algorithm was used in order to calculate the parameters of the discriminant analysis and classification. The present study expanded the above mentioned thesis using the statistical program, which gives faster and more precise results and also studied the effect of two variables, grade and product (that is being transferred in the pipes). Also the effect of both variables and each of them separately has been studied and conclusions came up regarding the role of the variable grade. The variable product does not help at all at the prediction of reliability.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

«Αξιοπιστία είναι η πιθανότητα ένα εξάρτημα, μια συσκευή ή ένα σύστημα να πραγματοποιήσει την προκαθορισμένη αποστολή του, χωρίς αποτυχίες, για ένα ορισμένο χρονικό διάστημα, όταν λειτουργεί σωστά σ' ένα καθορισμένο περιβάλλον».

Στον σχεδιασμό ενός μηχανικού συστήματος, συχνά ο σχεδιαστής αναγκάζεται να αλλάξει κάποια σχεδιαστικά χαρακτηριστικά έναντι κάποιων άλλων, στην ανάγκη αναζήτησης ενός συνόλου το οποίο θα αντεπεξέρχεται στις ανάγκες του πελάτη, κατά τον κοστολογικά αποτελεσματικότερο τρόπο. Στο παρελθόν, η αναζήτηση αυτή συχνά περιλάμβανε σχεδιαστικά κριτήρια σχετικά με χαρακτηριστικά όπως το βάρος, το μέγεθος, την ταχύτητα, την οικονομία καυσίμων καθώς και με αισθητικούς παράγοντες. Εντούτοις σήμερα, στην μελέτη και αναζήτηση σχεδίων και προτύπων που να ικανοποιούν τις απαιτήσεις ενός βέλτιστου κύκλου ζωής και να αντεπεξέρχονται στα θεσπισμένα πρότυπα ασφάλειας και υγιεινής, άλλα μεγέθη όπως η ποιότητα, η συντήρηση και η αξιοπιστία λαμβάνουν πλέον ιδιαίτερη σημασία.

Η αξιοπιστία αποτελεί ένα μέτρο εκτίμησης του βαθμού επιτυχίας ενός συστήματος. Έτσι, στην σύγχρονη διοικητική πρακτική πρέπει να είμαστε σε θέση να προβλέπουμε την κατάσταση στην οποία θα βρίσκεται ένα μεμονωμένο μηχάνημα ή ένα ολόκληρο σύστημα, στο τέλος ενός καθορισμένου χρονικού ορίζοντα. Η θεωρία της αξιοπιστίας μας επιτρέπει κατά βάση τον προσδιορισμό του χρόνου λειτουργίας χωρίς το σύστημα να υποστεί βλάβη. Τα αποτελέσματα της εφαρμογής της θεωρίας

αξιοπιστίας, σε συνδυασμό με τον σωστό προγραμματισμό συντήρησης και ένα δομημένο σύστημα λήψεως αποφάσεων, αναμφίβολα αποτελούν βασικά χαρακτηριστικά ενός σχεδίου με σκοπό την ελαχιστοποίηση των βλαβών του συστήματος και την κοστολογικά ορθολογικότερη προσέγγισή του.

Η κατάσταση στην οποία θα βρεθεί ένα σύστημα στο τέλος μια καθορισμένης περιόδου, εξαρτάται σε υψηλό βαθμό από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του. Η προσέγγιση του προβλήματος απαιτεί, επομένως, την μελέτη των χαρακτηριστικών αυτών. Η επίλυση στην περίπτωση αυτή γίνεται βάσει της στατιστικής θεωρίας πολυμεταβλητών διαδικασιών. Τέτοιες διαδικασίες είναι η διαχωριστική ανάλυση, η ταξινόμηση και η παλινδρόμηση. Οι τεχνικές αυτές βρίσκουν εφαρμογή ευρέως σε διάφορους επιστημονικούς τομείς, όπως στις πολιτικές επιστήμες, στην ιατρική, στην έρευνα αγοράς, ακόμη και στον κλάδο των χρηματοοικονομικών, σαν μέσο διάγνωσης και πρόγνωσης.

Οι τεχνικές της διαχωριστικής ανάλυσης, της ταξινόμησης και της παλινδρόμησης χρησιμοποιούνται και σε προβλήματα που απασχολούν τους μηχανικούς, όπως για παράδειγμα σε θέματα αξιοπιστίας. Ο Sayles (1980) χρησιμοποίησε τεχνικές διαχωριστικών συναρτήσεων ως μέσο ταξινόμησης πληροφοριών αξιοπιστίας. Ο Betts (1984) χρησιμοποιώντας γραμμική διαχωριστική ανάλυση (Linear Discriminant Analysis) ήταν σε θέση να υπολογίσει την πιθανότητα αποτυχίας μιας εταιρίας, με υψηλό βαθμό ακρίβειας. Ο Ιωάννης Λ. Μπακούρος (1988) στην διδακτορική του διατριβή με τίτλο «Offshore Pipeline Reliability Prediction» μελέτησε την επίδραση ορισμένων χαρακτηριστικών (διάμετρος, πίεση, πάχος κ.ά.) στην αξιοπιστία υποθαλάσσιων πετρελαιοαγωγών, κάνοντας χρήση πολυμεταβλητών στατιστικών τεχνικών.

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελεί μια προσπάθεια συνέχισης της μελέτης αξιοπιστίας, στα πλαίσια του γενικότερου ερευνητικού έργου που έχει προηγηθεί. Σκοπός αυτής της εργασίας είναι η μελέτη των ήδη υπάρχουσών μεταβλητών προσθέτοντας και νέες μεταβλητές με την χρήση του στατιστικού προγράμματος Minitab, το οποίο έχει την δυνατότητα να δίνει ακριβή αποτελέσματα, χωρίς υπολογιστικά λάθη.

Οι τεχνικές της διαχωριστικής ανάλυσης, της ταξινόμησης και της παλινδρόμησης, με την χρήση ομαδοποιημένων μεταβλητών βρίσκουν πρακτική εφαρμογή σε πραγματικά δεδομένα υποθαλάσσιων πετρελαιοαγωγών που είναι εγκατεστημένοι στην Βόρειο Θάλασσα. Τα χαρακτηριστικά αυτών των αγωγών θεωρούνται ως δεδομένα με βάση τα οποία γίνεται η χρήση του υπολογιστικού

προγράμματος. Κρίνεται σκόπιμο στο σημείο αυτό, η συνοπτική παρουσίαση των βασικών αρχών των θεωριών της διαχωριστικής ανάλυσης και της ταξινόμησης, ώστε ο αναγνώστης να εξοικειωθεί με τις πιο σύνθετες έννοιες που ακολουθούν.

Η διαχωριστική ανάλυση και η ταξινόμηση είναι τεχνικές που επεξεργάζονται τις τιμές των χαρακτηριστικών που προέρχονται από έναν πληθυσμό ατόμων των οποίων η τελική κατάσταση είναι ήδη γνωστή. Έτσι, ο πληθυσμός μπορεί να χωριστεί σε ομάδες των οποίων τα άτομα έχουν την ίδια τελική κατάσταση. Στην συνέχεια μετρώντας τα χαρακτηριστικά ενός νέου ατόμου, προβλέπουν την τελική του κατάσταση, δηλαδή την ομάδα στην οποία θα ανήκει.

Η διαχωριστική ανάλυση ερευνά τις παρατηρημένες διαφορές των χαρακτηριστικών των ατόμων όταν οι αιτίες της ομοιότητας δεν είναι απόλυτα κατανοητές. Συγκεκριμένα, γνωρίζουμε τις τιμές των χαρακτηριστικών του κάθε ατόμου και την ομάδα στην οποία ανήκει, και χρησιμοποιούμε μια μαθηματική διαδικασία η οποία αναλύει τις διαφορές που παρουσιάζονται στις τιμές των χαρακτηριστικών των ατόμων, που ανήκουν σε διαφορετικές ομάδες.

Με την διαδικασία αυτή, είμαστε σε θέση να γνωρίζουμε την ομάδα στην οποία ανήκει ένα άτομο λαμβάνοντας υπόψη μόνο τις μετρούμενες τιμές των χαρακτηριστικών του. Κάτι τέτοιο δεν μπορεί να γίνει με μια πρόχειρη ματιά επειδή οι διαφορές σχεδόν ποτέ δεν είναι τόσο εμφανής ώστε να εντοπισθούν αμέσως. Ο σκοπός της διαχωριστικής ανάλυσης είναι να περιγράψει είτε γραφικά είτε αλγεβρικά αυτές τις διαφορές των ατόμων των ομάδων που εξετάζονται. Προσπαθεί να βρει «διαχωριστές» που να εκφράζουν τις διαφορές αυτές, και των οποίων οι αριθμητικές τιμές είναι τέτοιες ώστε οι ομάδες να διαχωρίζονται όσο το δυνατόν καλύτερα.

Η ταξινόμηση είναι μια διαδικασία η οποία στηρίζεται σε καλά θεμελιωμένες στατιστικές τεχνικές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατάταξη ενός ατόμου σε κάποια από τις υπάρχουσες ομάδες, και του οποίου δεν είναι γνωστή η τελική κατάσταση. Η κατάταξη αυτή επιτυγχάνεται σύμφωνα με ορισμένες συνθήκες βελτιστοποίησης, όπως π.χ. ελαχιστοποιώντας το συνολικό κόστος λαθεμένης ταξινόμησης.

Η παλινδρόμηση χρησιμοποιείται για να ερευνήσει και να μοντελοποιήσει την σχέση μεταξύ μιας μεταβλητής απόκρισης και άλλων μεταβλητών.

Γίνεται αντιληπτό λοιπόν, ότι οι παραπάνω τεχνικές μπορούν να εφαρμοστούν όταν ο αριθμός των ομάδων είναι τουλάχιστον ίσος με δύο. Στην συγκεκριμένη μελέτη, δημιουργούνται δύο ομάδες που ονομάζονται «επιτυχίες» και «αποτυχίες».

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΧΡΗΣΗ ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΙΚΗΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΓΙΑ ΕΠΙΛΥΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ

1.1 Γενικά

Η αξιοπιστία είναι ένα μέτρο εκτίμησης του βαθμού επιτυχίας ενός συστήματος που έχει προκαθορισμένη διάρκεια αποστολής και προκαθορισμένες συνθήκες λειτουργίας. Η αξιοπιστία ενός συστήματος είναι έννοια σχετική. Κατ' αυτόν τον τρόπο η συμπεριφορά ενός συστήματος μπορεί να κρίνεται ικανοποιητική για μια εφαρμογή ενώ μη ικανοποιητική για μια άλλη με αυστηρότερες απαιτήσεις.

Η γνώση της αξιοπιστίας ενός συστήματος επιτρέπει τον σωστό προγραμματισμό της συντήρησής του, με αποτέλεσμα την μείωση βλαβών και κατά συνέπεια την ελαχιστοποίηση του αντίστοιχου κόστους. Η κατάσταση στην οποία θα βρεθεί ένα σύστημα όμως, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του και επομένως μια προσπάθεια ανάλυσής τους θα αποτελούσε σημαντικό βοήθημα για την πρόβλεψη της συμπεριφοράς του συστήματος.

Η θεωρία της στατιστικής για πολυμεταβλητές διαδικασίες, παρέχει σημαντικά εργαλεία για την πραγματοποίηση της παραπάνω προσπάθειας. Τέτοιου είδους εργαλεία αποτελούν και οι τεχνικές της διαχωριστικής ανάλυσης και της ταξινόμησης.

1.2 Γενικότερες εφαρμογές των τεχνικών της διαχωριστικής ανάλυσης και ταξινόμησης

Οι τεχνικές του διαχωρισμού έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως από την επιστήμη της στατιστικής τα τελευταία πενήντα χρόνια. Ορισμένες από τις πρώτες εφαρμογές εμφανίστηκαν στις κοινωνικές επιστήμες και αφορούσαν βασικά ψυχολογικούς και επιμορφωτικούς τομείς (Tatsuoka, Tieteman). Εξάλλου οι Cox και Brandwood χρησιμοποίησαν την διαχωριστική ανάλυση για να τοποθετήσουν σε χρονολογική σειρά τα έργα του Πλάτωνα.

Οι πολιτικοί επιστήμονες ανακάλυψαν την χρησιμότητα των στατιστικών πολυμεταβλητών τεχνικών μελετώντας την συμπεριφορά των ψηφοφόρων (Klecka). Στην ιατρική οι τεχνικές αυτές προσφέρονται και χρησιμοποιούνται σαν ένα διαγνωστικό και προγνωστικό εργαλείο (Bulbrook, Armitage). Έχουν γίνει επίσης μελέτες στις οποίες η διαχωριστική ανάλυση χρησιμοποιείται στην έρευνα αγοράς καθώς και στην ταξινόμηση των οικονομικών κινδύνων (Dourmos, Zorounidis).

Οι μηχανικοί που μελετούν προβλήματα αξιοπιστίας χρησιμοποίησαν επίσης τεχνικές διαχωρισμού. Ο Sayles (1980) χρησιμοποιούσε τεχνικές διαχωριστικών συναρτήσεων σαν μέσο ταξινόμησης πληροφοριών αξιοπιστίας. Κατέληξε ότι αυτές οι τεχνικές προσφέρουν μια μέθοδο ποσοτικοποίησης της σπουδαιότητας των παραμέτρων του περιβάλλοντος, σαν μέτρο της επιρροής τους επάνω σε μια συνάρτηση, οι οποίες στα περισσότερα προβλήματα αξιοπιστίας θα ασχολούνται με μία ή περισσότερες κατηγορίες αποτυχιών ή επιτυχιών. Επισημαίνεται επίσης ότι η διαδικασία είναι ιδανικά εφαρμόσιμη σε προβλήματα πολλών μεταβλητών και έχει, σαν αποτέλεσμα, μια σειρά παραμέτρων με κάποια βαρύτητα, οι οποίες ποσοτικοποιούν την σημασία κάθε μεταβλητής στο συνολικό αποτέλεσμα.

Επίσης ο Betts χρησιμοποιώντας γραμμική διαχωριστική ανάλυση ήταν ικανός να υπολογίσει την πιθανότητα αποτυχίας μιας εταιρίας με μεγάλο βαθμό ακρίβειας.

1.3 Γενικές αρχές διαχωριστικής ανάλυσης και ταξινόμησης

Η διαχωριστική ανάλυση και η ταξινόμηση είναι τεχνικές που επεξεργάζονται τις τιμές των χαρακτηριστικών, που προέρχονται από έναν πληθυσμό ατόμων των οποίων η τελική κατάσταση είναι ήδη γνωστή. Κατ' αυτόν τον τρόπο ο πληθυσμός χωρίζεται σε ομάδες των οποίων τα άτομα έχουν την ίδια τελική κατάσταση. Στην συνέχεια μετρώντας τα χαρακτηριστικά ενός ατόμου προβλέπουν την τελική του κατάσταση, δηλαδή την ομάδα στην οποία θα ανήκει.

Η διαχωριστική ανάλυση ερευνά τις διαφορές των χαρακτηριστικών των ατόμων όταν οι αιτίες της ομοιότητας δεν είναι απόλυτα κατανοητές. Έτσι, γνωρίζοντας τις τιμές των χαρακτηριστικών κάθε ατόμου και την ομάδα στην οποία ανήκει, καταλήγει σε μια μαθηματική διαδικασία, η οποία αναλύει τις διαφορές που παρουσιάζονται στις τιμές των χαρακτηριστικών των ατόμων, που ανήκουν σε διαφορετικές ομάδες.

Με την διαδικασία αυτή, εύκολα αναγνωρίζεται η ομάδα στην οποία ανήκει ένα άτομο λαμβάνοντας υπόψη μόνο τις μετρούμενες τιμές των χαρακτηριστικών του, κάτι που δεν μπορεί να γίνει με μια πρόχειρη ματιά, επειδή οι διαφορές σχεδόν πάντοτε δεν είναι τόσο εμφανείς ώστε να εντοπιστούν αμέσως. Η διαχωριστική ανάλυση είναι μια τεχνική που έχει ως σκοπό να περιγράψει είτε γραφικά είτε αλγεβρικά αυτές τις διαφορές των ατόμων των ομάδων που εξετάζονται. Επιδιώκει να βρει «διαχωριστές» που να εκφράζουν τις διαφορές αυτές, και των οποίων οι αριθμητικές τιμές είναι τέτοιες ώστε οι ομάδες να διαχωρίζονται όσο το δυνατόν καλύτερα.

Η ταξινόμηση είναι μια διαδικασία η οποία στηρίζεται σε καλά θεμελιωμένους κανόνες, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατάταξη ενός ατόμου, του οποίου δεν είναι γνωστή η τελική κατάσταση, σε κάποια από τις προϋπάρχουσες ομάδες. Η κατάταξη ενός ατόμου επιτυγχάνεται σύμφωνα με ορισμένες συνθήκες βελτιστοποίησης, όπως ελαχιστοποιώντας το ποσοστό της λαθεμένης ταξινόμησης, ή πιο ρεαλιστικά, ελαχιστοποιώντας το συνολικό κόστος μιας όχι τόσο επιτυχημένης ταξινόμησης. Στην εφαρμογή που παρουσιάζεται στην συνέχεια της εργασίας ο πληθυσμός χωρίζεται σε δύο ομάδες, που ονομάζονται «επιτυχίες» και «αποτυχίες».

Τελικά αξιοποιούνται τα αποτελέσματα της διαχωριστικής ανάλυσης και της ταξινόμησης. Συγκεκριμένα, αναλύεται η σχέση που συνδέει τις δύο τεχνικές και παριστάνεται σε ένα διάγραμμα. Το διάγραμμα αυτό, είναι αρκετά χρήσιμο και πρακτικό αφού καθιστά δυνατή την πρόβλεψη, με εύκολο και γρήγορο τρόπο, της πιθανότητας ενός ατόμου να ανήκει στις επιτυχίες ή στις αποτυχίες βάσει των τιμών των χαρακτηριστικών του.

1.4 Η μελέτη αξιοπιστίας υποθαλάσσιων αγωγών με χρήση διαχωριστικής ανάλυσης και ταξινόμησης

Πέρα από τις μελέτες των Sayles και Betts, ένα σημαντικό επιστημονικό πεδίο, στο οποίο έχουν εφαρμοστεί οι πολυμεταβλητές στατιστικές τεχνικές της διαχωριστικής ανάλυσης και ταξινόμησης είναι αυτό της μελέτης της αξιοπιστίας των υποθαλάσσιων αγωγών μεταφοράς πετρελαίου και φυσικού αερίου. Στις επόμενες

παραγράφους, περιγράφονται εν συντομία, οι λόγοι που ευνοούν τη χρήση αγωγών για την μεταφορά τους, καθώς και οι σημαντικότερες επιστημονικές προσεγγίσεις που έχουν έως τώρα δημοσιευτεί γύρω από το θέμα.

1.4.1 Η σπουδαιότητα της χρήσης υποθαλάσσιων αγωγών για την μεταφορά προϊόντων του πετρελαίου

Αγωγοί για την μεταφορά ρευστών έχουν χρησιμοποιηθεί εδώ και πολλούς αιώνες. Αγωγοί από bamboo χρησιμοποιήθηκαν για πρώτη φορά από τους Κινέζους πριν από χιλιάδες χρόνια. Σε επόμενους αιώνες, ξύλινοι αγωγοί χρησιμοποιούνταν στην Μεγάλη Βρετανία. Εντούτοις, μόνο με την έλευση του χυτοσιδήρου κατέστη δυνατή η κατασκευή αγωγών οι οποίοι θα μπορούσαν να λειτουργήσουν υπό συνθήκες υψηλής πίεσης. Χρησιμοποιήθηκαν εκτεταμένα κατά την διάρκεια του 19^{ου} αιώνα και χρησιμοποιούνται ακόμη και σήμερα. Αγωγοί από χάλυβα κάνουν την εμφάνισή τους κατά τα τέλη του τελευταίου αιώνα, διευκολύνοντας έτσι την κατασκευή αγωγών μικρών και μεγάλων διαμέτρων. Η συνεχώς αυξανόμενη χρήση υψηλής ποιότητας χάλυβα και μεγάλων εργοστασίων έλασης μετάλλου, επέτρεψαν την κατασκευή πολύ μεγάλων και ανθεκτικών αγωγών, με διαμέτρους που ξεπερνούν τα 3 μέτρα υπό πίεση που υπερβαίνει τα 10 Newton ανά τετραγωνικό χιλιοστόμετρο. Επίσης, η εξέλιξη των τεχνικών συγκόλλησης επέτρεψε την κατασκευή διαμήκως και περιφερειακά ή ελικοειδώς συγκολλημένων αγωγών. Αγωγοί επίσης κατασκευάζονται από ενισχυμένο σκυρόδεμα, προενταμένο σκυρόδεμα, κονία αμιάντου, πλαστικά κλπ., ανάλογα την ιδιάζουσα περίπτωση. Επιπλέον, εξελίξεις στην τεχνολογία ακριβούς μελέτης και πρόβλεψης της ροής εντός των αγωγών, ώθησαν εξίσου την χρήση τους.

Κατά τον προηγούμενο αιώνα, νερό και λύματα ήταν πρακτικά τα μόνο ρευστά που μεταφέρονταν μέσω αγωγών, ενώ σήμερα αποτελούν τα πιο κοινά μέσα μεταφοράς αερίων και πετρελαίου κατά μήκος μεγάλων αποστάσεων. Χημικά ρευστά και στερεά υπό την μορφή υδαρούς κονίας ή σε containers μεταφέρονται επίσης με διαρκώς αυξανόμενους ρυθμούς, με αποτέλεσμα σήμερα οι εν λειτουργία αγωγοί παγκοσμίως να υπερβαίνουν τα δύο εκατομμύρια χιλιόμετρα.

Αναμφισβήτητα, η ενεργειακή κρίση, επηρεάζοντας την εξέλιξη στους χώρους άντλησης πετρελαίου ανοικτής θαλάσσης, είχε σημαντικές επιπτώσεις στην χρήση των αγωγών φυσικού αερίου και πετρελαίου. Αρχικά, το φόρτωμα πετρελαιοφόρων μέσω αγκυροβολίων τόξων δια βραχέων αγωγών από τις πλατφόρμες παραγωγής, ήταν ο προτιμώμενος τρόπος αξιοποίησης των χώρων άντλησης πετρελαίου, αλλά

σύντομα αντικαταστάθηκαν από μεγάλο μήκους αγωγούς από τις πλατφόρμες παραγωγής ως την στεριά.

Τα ιδιαίτερα πλεονεκτήματα των αγωγών πετρελαίου είναι:

- ✓ Είναι συνήθως ο πιο οικονομικός τρόπος μεταφοράς αφού εξασφαλίζουν μικρότερη σε έκταση διαδρομή από την συνήθη διαδρομή των τάνκερ και πλεονεκτούν για λιμάνια τα οποία είναι υποχρεωμένα να δέχονται μόνο μικρά σε μέγεθος και άρα αντισοικονομικότερα τάνκερς.
- ✓ Το κόστος τους δεν είναι τόσο ευάλωτο σε «εξάρσεις» στις τιμές του πετρελαίου, αφού το κύριο μέρος του αποτελείται από τη δαπάνη κεφαλαίου, ενώ το κόστος λειτουργίας τους είναι σχετικά χαμηλό. Επιπλέον περίπου το 50% των δαπανών λειτουργίας αποτελείται από σταθερά στοιχεία, όπως συντήρηση, φορολογία κλπ.
- ✓ Σε σύγκριση με άλλες μορφές μεταφοράς, οι αγωγοί έχουν το πλεονέκτημα ότι δεν υπόκεινται σε αύξηση του κόστους λειτουργίας τους κατά τις περιόδους εισόδου και εξόδου του εμπορεύματος. Αντίθετα τα τάνκερ υπόκεινται σε φορολογία κατά τον ελλιμενισμό τους.
- ✓ Οι λειτουργίες των αγωγών δεν είναι ευπαθείς σε ανθρώπινα λάθη. Αυτό γιατί τα περισσότερα μοντέρνα συστήματα λειτουργούν αυτόματα και δεν απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή.
- ✓ Οι θαμμένοι αγωγοί στον βυθό της θάλασσας δεν αποτελούν εμπόδιο για την ναυσιπλοΐα.
- ✓ Λόγω του ότι είναι τοποθετημένοι κάτω από το έδαφος, δεν καταστρέφουν το φυσικό περιβάλλον.
- ✓ Είναι πολύ ασφαλείς απέναντι σε ενδεχόμενη δολιοφθορά, καθώς είναι θαμμένοι στον βυθό.
- ✓ Η αξιοπιστία των αγωγών είναι συνήθως πολύ μεγαλύτερη απ' όλα τα άλλα μέσα μεταφοράς.

Υπάρχουν φυσικά και μειονεκτήματα σχετιζόμενα με τα συστήματα των αγωγών πετρελαίου όπως:

- ✗ Το αρχικό κόστος κεφαλαίου είναι συνήθως υψηλό, οπότε αν δεν είμαστε βέβαιοι για την έκταση της ζήτησης θα πρέπει αυτή να υποτεθεί σε κάποιο βαθμό, ώστε να μπορέσει να καθοριστεί το μέγεθος των αγωγών.

- x Αλλαγή της διαδρομής εγκατεστημένων ήδη αγωγών, δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί χωρίς να προκαλέσει υπερβολικό κόστος. Αντίθετα, μπορεί να εξασφαλιστεί αύξηση της χωρητικότητας με σχετικά χαμηλό κόστος.
- x Ενδέχεται να παρουσιαστούν ορισμένα προβλήματα σχετικά με την άντληση στερεών, υγρών και αερίων τα οποία είναι δυνατόν να οδηγήσουν σε δυσλειτουργία των αγωγών.
- x Είναι συχνά δύσκολο να εντοπιστεί η πηγή μικρών διαρροών ή μπλοκαρισμάτων σε μεγάλου μήκους αγωγούς.
- x Η συντήρηση και επισκευή αγωγών τοποθετημένων κάτω από το έδαφος είναι πάντα πολύ δύσκολη.
- x Οι αγωγοί συνήθως δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την μεταφορά περισσοτέρων του ενός υλικών, παρότι υπάρχουν αγωγοί μεταφοράς πολλών προϊόντων που λειτουργούν σε ομαδική βάση.

1.4.2 Η ανάγκη για υψηλή αξιοπιστία των αγωγών πετρελαίου και οι ενδεχόμενες οικονομίες από την χρήση τους

Η αυξανόμενη ένταση των παράκτιων δραστηριοτήτων, παρακινούμενη από την πετρελαϊκή κρίση, είχε ως αποτέλεσμα την εγκατάσταση ενός σημαντικού αριθμού πετρελαιοαγωγών μεγάλου μήκους που μεταφέρουν αργό πετρέλαιο και φυσικό αέριο, στοιχεία ζωτικής σημασίας για την οικονομία αρκετών χωρών. Το εξαιρετικά υψηλό κόστος κεφαλαίου τέτοιων αγωγών σε συνδυασμό με το τεράστιο κόστος ανάπτυξης των περιοχών ύπαρξης πετρελαίου, οδήγησε στην ανάγκη εστίασης της προσοχής στην αξιοπιστία των αγωγών αυτών, ειδικά καθώς σχετίζεται αυτή με τα χαμένα έσοδα ή το ευκαιριακό κόστος που προκύπτουν σε περιπτώσεις μειζόνων αστοχιών των αγωγών και το πολύ υψηλό κόστος συντήρησης που απαιτείται για την επίλυση τέτοιων προβλημάτων.

Η λειτουργία τέτοιων μεγάλων συστημάτων πετρελαιοαγωγών καθίσταται επίσης ιδιαίτερα περίπλοκη καθώς πολλές περιοχές είναι συνδεδεμένες σε ένα κοινό δίκτυο, το οποίο απαιτεί την αξιόπιστη λειτουργία καθενός τμήματος του δικτύου. Συνεπώς, ένας παράγοντας αύξουσας σημασίας περιλαμβάνει τις οικονομικές εμπλοκές της αξιοπιστίας των αγωγών, δηλαδή η μηχανολογική πολυπλοκότητα ενός συστήματος αγωγών πετρελαίου πρέπει να μεταφρασθεί σε όρους οικονομικούς. Επιτακτική δηλαδή καθίσταται η ανάγκη προσαρμογής της παρούσας επιστημονικής γνώσης στα δεδομένα και τις συνθήκες ανοικτής θαλάσσης, καθώς και της αναγνώρισης των ιδιαίτερων διαφορών μεταξύ των λειτουργιών στην στεριά και στην θάλασσα, ειδικά

όσον αφορά τις δυσκολίες και το υψηλό κόστος σχετιζόμενο με υποθαλάσσιες επιθεωρήσεις, συντήρηση και επισκευή.

Λόγω της εύλογης ανησυχίας των σχεδιαστών μηχανικών όσον αφορά το υψηλό κόστος ενδεχόμενων επισκευών ή οικολογικών καταστροφών ως αποτέλεσμα αστοχιών, ο σχεδιασμός των υποβρύχιων πετρελαιοαγωγών γίνεται βάσει αυστηρών μηχανολογικών κριτηρίων ώστε να μπορούν να αντεπεξέλθουν στις πιο δυσμενείς συνθήκες που είναι δυνατόν να επιβληθούν λόγω της δριμύτητας του περιβάλλοντος στο οποίο εγκαθίστανται. Η περιβαλλοντική μόλυνση και τα πολιτικά προβλήματα που ακολουθούν την αστοχία ενός υποθαλάσσιου πετρελαιοαγωγού αποτελούν αρκετά σημαντικούς λόγους για την εξασφάλιση του υψηλότερου βαθμού αξιοπιστίας.

Μια μείζονα απαίτηση για την εκτίμηση της αξιοπιστίας ενός πετρελαιοαγωγού αποτελούν τα ιστορικά δεδομένα που σχετίζονται με τις αποτυχίες κατά την λειτουργία παρομοίων αγωγών. Δυστυχώς, υφίσταται έλλειψη τέτοιων στοιχείων, παρόλο που πλήθος δεδομένων υπάρχουν για τους αγωγούς στην στεριά. Εντούτοις, η άμεση εφαρμογή τους στους αγωγούς ανοικτής θαλάσσης, πέρα ορισμένων ειδικών περιπτώσεων, είναι συχνά εσφαλμένη. Είναι προφανές επομένως, ότι η συλλογή σχετικών στοιχείων και η κατάλληλη ανάλυσή τους αποτελεί έναν παράγοντα κλειδί στον καθορισμό της αξιοπιστίας υποθαλάσσιων αγωγών. Παρόλη την διεύρυνση των δραστηριοτήτων ανοικτής θαλάσσης κατά την διάρκεια των τελευταίων τριών δεκαετιών, μόνο λίγοι ερευνητές και οργανισμοί έχουν δημοσιεύσει μελέτες που να σχετίζονται με την αξιοπιστία των αγωγών, με σκοπό την γνωστική εμβάθυνση στους ενυπάρχοντες ρυθμούς αποτυχιών, την κοστολογικά αποτελεσματική αξιοπιστία και την βελτίωση της ασφάλειας. Στα πλαίσια αυτά, οι μελέτες των Cannon (1985), Battelle (1983) και de la Mare (1980), είναι οι πιο σημαντικές.

1.4.3 Προηγούμενες Προσεγγίσεις

⇒ *Προσέγγιση De la Mare.*

Η αναφορά των De la Mare και Anderson (1980) είχε σαν σκοπό να εκτιμήσει τα χαρακτηριστικά της αξιοπιστίας, στην συγκεκριμένη περίπτωση, για τους πετρελαιοαγωγούς της Βορείου Θάλασσας. Παρόλη την έλλειψη διαθέσιμων δεδομένων αποτυχιών, το πεδίο της μελέτης αυτής επεκτάθηκε ώστε να συμπεριλάβει και άλλα μεγάλα συστήματα πετρελαιοαγωγών ανοικτής θαλάσσης καθ' όλο τον κόσμο, όπως την περίπτωση του κόλπου του Μεξικού, με σκοπό να ερευνηθεί αν οι ρυθμοί αποτυχιών παρουσιάζονταν επαρκώς παρεμφερείς με αυτούς των αγωγών της Βορείου Θάλασσας. Ο σκοπός της μελέτης αυτής περιορίστηκε στις

γραμμές μεταφοράς αργού πετρελαίου, φυσικού αερίου και άλλων προϊόντων πετρελαίου. Η αποτυχία μιας γραμμής μεταφοράς καθοριζόταν ως κάθε γεγονός που είχε ως αποτέλεσμα την διαρροή του προϊόντος στην γραμμή αυτή. Διαρροές από αγωγούς συγκέντρωσης, σταθμούς άντλησης, βαλβίδες, συστήματα οργάνων καθώς και κάθε ζημιά σε κάποια γραμμή μεταφοράς που δεν είχε ως συνέπεια διαρροή αποκλείστηκαν από την μελέτη αυτή, γιατί δεν αποτελούσαν αστοχίες αγωγών όπως αυτές καθορίζονται εδώ. Στην μελέτη, οι ταξινόμηση των αποτυχιών γίνεται βάσει τεσσάρων θεμελιωδών κατηγοριών αστοχιών:

1. **Κατηγορία A**
(Μηχανική) Λόγω κατασκευαστικών ατελειών-στρέβλωση, κόπωση, ελαττωμάτων υλικού και σφάλματα συγκολλήσεων.
2. **Κατηγορία C**
(Διάβρωση) Λόγω εσωτερικής και εξωτερικής διάβρωσης.
3. **Κατηγορία D**
(Φυσικοί κίνδυνοι) Λόγω ασταθούς και ολισθηρού εδάφους, καταιγίδων, αέρα και πλημμύρων.
4. **Κατηγορία E**
(Τρίτοι παράγοντες) Λόγω σύγκρουσης εκσκαφών, αγκύρων κλπ.
5. **Λοιπά** Αταξινόμητα αίτια.

Στην μελέτη αυτή λήφθηκε υπόψη ότι η συμπεριφορά των αποτυχιών των αγωγών, δεδομένου ότι οι αγωγοί θεωρούνται ως ισοδύναμες οντότητες, μπορεί να μην είναι η κατάλληλη, αφού όσο μεγαλύτερο είναι το μήκος του αγωγού τόσο μεγαλύτερη είναι και η πιθανότητα αποτυχίας, σε ένα καθορισμένο χρονικό διάστημα.

Η εκτιμήτρια του ρυθμού αποτυχιών R , η οποία χρησιμοποιείται συνήθως στην τεχνολογία των αγωγών, έχει καθοριστεί από την ακόλουθη μαθηματική έκφραση:

$$R = \frac{N}{T \cdot L_i} ,$$

- όπου N : ο αριθμός των αποτυχιών των αγωγών που λαμβάνουν χώρα σε κάποιο καθορισμένο χρονικό διάστημα,
 L_i : το μήκος του αγωγού που λειτουργεί σ' αυτό το χρονικό διάστημα,
 T : ο συνολικός αριθμός αγωγών που λειτουργούν σ' αυτό το χρονικό διάστημα.

⇒ Προσέγγιση *Det Norske Veritas*.

Η αναφορά από την *Det Norske Veritas* (1980) έδωσε μια γενική εικόνα των αστοχιών των αγωγών στις περιοχές της Βορείου Θάλασσας και του Κόλπου του Μεξικού. Ως αποτυχία ενός αγωγού θεωρείτο κάθε συμβάν το οποίο οδηγούσε σε σημαντικές διαρροές ή διαφορετικά απαιτούσε άμεση επισκευή.

Παρά το γεγονός ότι πολλοί από τους αγωγούς της Βορείου Θάλασσας βρισκόνταν σε λειτουργία για λιγότερο από δύο χρόνια, και επομένως η λειτουργική εμπειρία ήταν μάλλον περιορισμένη, παρουσιάστηκε μια λίστα ζημιών τις οποίες είχαν υποστεί οι αγωγοί μετά την τοποθέτησή τους αλλά και πριν τεθούν σε λειτουργία, καθώς επίσης και μια λίστα ζημιών που υπέστησαν οι αγωγοί κατά την διάρκεια της λειτουργίας τους.

Τα βασικά συμπεράσματα που προέκυψαν από την ανάλυση αυτή ήταν:

- α) Κανένας ρυθμός αποτυχιών δεν δόθηκε λόγω της περιορισμένης λειτουργικής εμπειρίας,
- β) Οι περισσότερες αποτυχίες παρουσιάστηκαν κατά το στάδιο της εκσκαφής και τοποθέτησης των αγωγών,
- γ) Οι πλειοψηφία των «λειτουργικών» αποτυχιών συνέβησαν σε ρηχά νερά ή κοντά σε πλατφόρμες.

Για την περίπτωση του Κόλπου του Μεξικού, ο φάκελος κάλυπτε αποτυχίες που είχαν ως συνέπεια ρήγματα ή διαρροή αργού πετρελαίου και φυσικού αερίου. Ένα σύνολο 136 αποτυχιών αναφέρθηκαν κατά την περίοδο 1967-1977, εκ των οποίων 94 έλαβαν χώρα σε αγωγούς διαμέτρου μικρότερης των 10 ιντσών, και 42 σε αγωγούς διαμέτρου μεγαλύτερης ή ίσης των 10 ιντσών. Εκτιμήθηκε ότι η πλειονότητα των αγωγών μικρής διαμέτρου ήταν ενδοδικτυακές γραμμές μεταφοράς, διφασικής ροής. Έτσι, ο ερευνητής θεώρησε ότι οι αγωγοί αυτοί δεν ήταν αντιπροσωπευτικοί αγωγών μεταφοράς και επομένως δεν συμπεριλήφθησαν στην περαιτέρω μελέτη.

Τα κύρια συμπεράσματα από την έρευνα αυτή ήταν:

- a) Οι αγωγοί πετρελαίου παρουσίαζαν πολύ περισσότερες αποτυχίες από τους αγωγούς αερίου,
- b) Δραστηριότητες σε περιοχές ανοικτής θαλάσσης (αγκυροβόληση κλπ.) και φαινόμενα εσωτερικής διάβρωσης ήταν οι κύριες ομάδες αιτιών των αποτυχιών,
- c) Ο ρυθμός αποτυχιών μειωνόταν με την αύξηση της διαμέτρου των αγωγών,

d) Για αγωγούς διαμέτρου μεγαλύτερης των 20 ιντσών (εκ των οποίων το 95% περίπου ήταν αγωγοί αερίου), το πλήθος των αποτυχιών και ο αντίστοιχος ρυθμός βλαβών ήταν αισθητά μικρότερος σε σχέση με αυτόν των αγωγών διαμέτρου κάτω των 20 ιντσών.

⇒ *Προσέγγιση Veritec*

Η μελέτη του Veritec (1984) ασχολήθηκε με ορισμένους σημαντικούς παράγοντες οι οποίοι είχαν ως σκοπό να εξασφαλίσουν την χρήση αγωγών υψηλής χωρητικότητας αλλά και την διαθεσιμότητα μεγάλου μήκους αγωγών με υψηλή λειτουργικότητα. Το έργο επικεντρώθηκε στα παρακάτω σημεία:

- a) οικονομικοί παράγοντες
- β) έννοια της διαθεσιμότητας
- γ) κατηγορίες αποτυχιών των αγωγών και ρυθμοί των αποτυχιών
- δ) σχεδιαστικές μελέτες.

Μια γενική εικόνα των αιτιών και των συχνότητων των αποτυχιών υποβρυχίων και μη αγωγών, οι οποίοι μεταφέρουν αργό πετρέλαιο και φυσικό αέριο, αποτέλεσε μέρος της μελέτης αυτής. Επίσης, διεξήχθη μια ανάλυση των αιτιών των αποτυχιών και ερευνήθηκε εν συντομία η επίδραση διαφόρων παραγόντων όπως η ηλικία του αγωγού, η τοποθεσία, η διάμετρος και το μεταφερόμενο προϊόν, σε σχέση με τον ρυθμό αποτυχιών.

Στην έρευνα αυτή, δόθηκαν οι ακόλουθοι ορισμοί:

Αποτυχία αγωγού: Κάθε τυχαίο γεγονός ή κακή λειτουργία η οποία απαιτεί επισκευή και προκαλεί διακοπή λειτουργίας του αγωγού.

Ρυθμός αποτυχιών: Η συχνότητα των αποτυχιών των αγωγών ανά χρόνο και μονάδα μήκους.

Λειτουργική εμπειρία: Μήκος του αγωγού και χρόνια λειτουργίας.

Οι αποτυχίες των αγωγών ταξινομήθηκαν στις παρακάτω κατηγορίες:

- Μηχανικές αποτυχίες (δευτερευών εξοπλισμός όπως βαλβίδες, σύνδεσμοι, φλάντζες, ως αποτέλεσμα κακής λειτουργίας που απαιτούν επισκευή).

- Αποτυχία γραμμής (ελαττωματικά υλικά, διάβρωση, απουσία προστατευτικού περιβλήματος, σφάλματα συγκολλήσεων).
- Καταστροφές από άγκυρες ή από δραστηριότητες ψαρέματος (συμβάντα τα οποία είτε προκαλούν άμεση καταστροφή είτε οδηγούν σε μηχανική αποτυχία ή αποτυχία γραμμής).

⇒ *Προσέγγιση Andrews.*

Η έρευνα που πραγματοποιήθηκε από τον Andrews (1984) απέδειξε ότι η εκτίμηση της αξιοπιστίας ενός υποθαλάσσιου αγωγού χαρακτηρίζεται από την αβεβαιότητα των κινδύνων τους οποίους ενδέχεται να συναντήσει ο αγωγός. Μετά από μια σύντομη ανάλυση των αποτυχιών των παράκτιων αγωγών και των αγωγών του Κόλπου του Μεξικού, ανέκυψαν δύο παράγοντες ως οι σημαντικότερες αιτίες των αποτυχιών. Οι παράγοντες αυτοί ήταν τρίτου βαθμού καταστροφή καθώς και η διάβρωση.

Η μελέτη επικεντρώθηκε στους αγωγούς της Βόρειας Θάλασσας και έδειξε ότι οι βλάβες εμφανίζονταν πιο συχνά κατά την φάση της κατασκευής και ήταν περισσότερο μηχανικής φύσης.

Ο Andrews, υπέδειξε επίσης ότι παρόλο που οι φυσικοί κίνδυνοι αποτελούν ένα σημαντικό πρόβλημα για τους υποθαλάσσιους αγωγούς, είναι εξαιρετικά δύσκολο να αναλυθούν και να ποσοτικοποιηθούν. Τέτοιου είδους κινδύνους αποτελούν οι αστάθεια τους εδάφους, η διάβρωση, οι σεισμοί και οι καταιγίδες.

Τελικά ο Andrews κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η ευστάθεια ενός αγωγού θα έπρεπε να είναι μέρος κάθε εξίσωσης αξιοπιστίας, γεγονός όμως το οποίο αποτελεί έργο πολύ δύσκολο, και παραμένει ένα σημαντικό κενό στην εξίσωση αξιοπιστίας.

⇒ *Προσέγγιση Cannon.*

Η μελέτη που δημοσιεύτηκε από τον Cannon (1985) περιέγραφε μια έρευνα αξιοπιστίας για συστήματα αγωγών πετρελαίου και φυσικού αερίου που λειτουργούν στον Βρετανικό τομέα της Βορείου Θάλασσας. Η ανάλυση των δεδομένων αφορούσε μόνο τις αποτυχίες των αγωγών οι οποίες και χωρίζονταν σε τρεις κύριες κατηγορίες:

1. Όλα τα αναφερόμενα γεγονότα. Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται όλα τα συμβάντα που απαιτούν λεπτομερή ανάλυση.
2. Γεγονότα που προκαλούν διακοπή λειτουργίας. Η κατηγορία αυτή περικλείει:

- συμβάντα όπου η διακοπή λειτουργίας εμφανίστηκε είτε πριν την εμφάνιση της βλάβης είτε στο στάδιο επισκευής της βλάβης και
- συμβάντα στα οποία συνέβη σοβαρή βλάβη.

Τέλος, μερικά σημαντικά συμπεράσματα της μελέτης του Cannon είναι:

- i. Το κύριο μέρος του ρυθμού αποτυχιών προερχόταν από βλάβες που οφείλονταν σε άγκυρες και δίκτυα,
- ii. Τα δίκτυα αγωγών μήκους έως δύο μίλια είχαν μεγαλύτερο ρυθμό αποτυχιών και
- iii. Οι αγωγοί με μικρότερες διαμέτρους παρουσίασαν μεγαλύτερο ρυθμό αποτυχιών.

⇒ *Άλλες προσεγγίσεις και συμπεράσματα.*

Το Battelle Memorial Institute την περίοδο 1982-1983 δημοσίευσε μια μελέτη με τίτλο «Οι οικονομικές συνέπειες της αξιοπιστίας αγωγών». Αντικείμενο της μελέτης αυτής ήταν να προσδιορίσει τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα των αγωγών τα οποία επηρεάζουν τις συχνότητες αποτυχιών τους και να δημιουργήσει, με βάση τα αρχεία των αγωγών και των αποτυχιών τους, μια σειρά συναρτήσεων οι οποίες εξασφαλίζουν εκτιμήσεις των συχνοτήτων αποτυχιών. Η ανάλυση αυτή περιορίστηκε σε συμβάντα που εμφανίστηκαν μετά την εγκατάσταση των αγωγών, αφού και σκοπός της μελέτης ήταν η βελτιστοποίηση του ελέγχου και της συντήρησης των εν λειτουργία αγωγών. Το πιο σημαντικό τμήμα του έργου αυτού υπήρξε η συλλογή κατάλληλων δεδομένων. Η συλλογή αυτή αποτέλεσε την πιο περιεκτική συγκέντρωση τέτοιου είδους πληροφοριών που είχε επιχειρηθεί μέχρι τότε.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

2.1 Γενικά

Με βάση τις βασικές ιδέες του διαχωρισμού, η διαχωριστική ανάλυση είναι μια στατιστική τεχνική η οποία επιτρέπει σε κάποιον που ενδιαφέρεται να μελετήσει τις διαφορές μεταξύ δύο ή περισσότερων ομάδων ατόμων, λαμβάνοντας υπόψη πολλά χαρακτηριστικά τους ταυτόχρονα. Επί παραδείγματι, δοθέντος μόνο του ύψους των ανθρώπων μιας περιοχής, κάποιος θα ήθελε να τους διαχωρίσει σε άνδρες και γυναίκες. Εντούτοις, μόνο το ύψος μπορεί να είναι ανεπαρκής τρόπος για τον διαχωρισμό του πληθυσμού μεταξύ των δύο φύλων. Όμως ένας συνδυασμός μετρήσεων του ύψους και της διαμέτρου της μέσης, θα μπορούσε να είναι επαρκής.

Η διαχωριστική συνάρτηση είναι αυτή που διευκολύνει την διαχωριστική μέθοδο. Συνήθως η διαχωριστική συνάρτηση είναι ένας γραμμικός συνδυασμός των βασικών χαρακτηριστικών όλων των ατόμων του πληθυσμού, αλλά υπάρχουν και άλλα συναρτησιακά σχήματα (π.χ. δευτεροβάθμιες, εκθετικές και λογαριθμικές συναρτήσεις).

Όταν το μέγεθος του πληθυσμού είναι μεγάλο, η μέτρηση των χαρακτηριστικών όλων των ατόμων του πληθυσμού καταλήγει σε μία χρονοβόρα και οικονομικά

ασύμφορη διαδικασία. Για τον λόγο αυτό, χρησιμοποιείται η μέθοδος της δειγματοληψίας.

Στην συγκεκριμένη εργασία γίνεται χρήση της γραμμικής διαχωριστικής συνάρτησης. Δύο είναι κυρίως οι λόγοι που συνιστούν την επιλογή αυτή. Αφενός, η γραμμική διαχωριστική συνάρτηση βρίσκει απόλυτη εφαρμογή σε περιπτώσεις που εξετάζονται χαρακτηριστικά συνεχή ή ασυνεχή, γιατί είναι ανεξάρτητη από τις κατανομές των χαρακτηριστικών. Αφετέρου, η χρήση της γραμμικής διαχωριστικής συνάρτησης επιτρέπει την ευκολότερη ερμηνεία της συμμετοχής του κάθε χαρακτηριστικού στον διαχωρισμό, σε σχέση με κάθε άλλο συναρτησιακό σχήμα.

Η γραμμική διαχωριστική συνάρτηση, έχει την παρακάτω μορφή, όπως αυτή θα χρησιμοποιηθεί:

$$Z_m = U_0 + U_1X_{1m} + U_2X_{2m} + \dots + U_iX_{im} \quad (2.1)$$

όπου,

Z_m : Η τιμή της διαχωριστικής μεταβλητής για το άτομο m ,

X_{im} : Η μέτρηση του i χαρακτηριστικού του ατόμου m ,

U_i : Ο καλύτερος διαχωριστικός συντελεστής που επιδέχεται το χαρακτηριστικό i έτσι ώστε να προκύψει ο καλύτερος δυνατός διαχωρισμός.

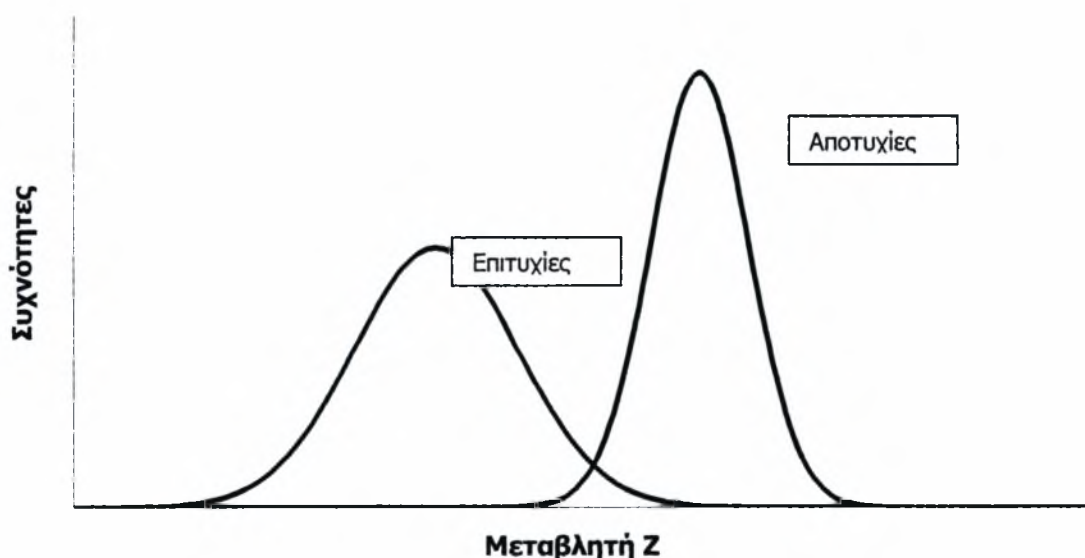
Το αντικείμενο της διαχωριστικής ανάλυσης είναι να «ανακαλύψει» αυτά τα χαρακτηριστικά « X_i » και τους συντελεστές τους « U_i » οι οποίοι κάνουν τον τέλειο διαχωρισμό του πληθυσμού σε δύο διακεκριμένες ομάδες. Η μεθοδολογία που ακολουθείται αποτελείται από τα εξής στάδια:

1. Παίρνονται αντιπροσωπευτικά δείγματα ατόμων από τις δύο διαχωριζόμενες ομάδες.
2. Παίρνονται οι τιμές X_i των χαρακτηριστικών i όλων των ατόμων.
3. Επιλέγονται εκείνα τα χαρακτηριστικά από τα οποία αναμένεται να προκύψει ο καλύτερος διαχωρισμός.
4. Υπολογίζονται οι τιμές των συντελεστών U_i που δίνουν τον καλύτερο διαχωρισμό με βάση την επιλογή που έγινε στο προηγούμενο στάδιο, και οι τιμές της μεταβλητής Z .

5. Επαναλαμβάνονται τα στάδια 3 και 4, χρησιμοποιώντας άλλους συνδυασμούς χαρακτηριστικών, ώσπου να επιτευχθεί ο καλύτερος, κατά το δυνατόν, διαχωρισμός των δειγμάτων.

Επειδή κάθε άτομο έχει διαφορετικές τιμές X_i , για τα ίδια χαρακτηριστικά i , επακόλουθο είναι η τιμή της διαχωριστικής μεταβλητής να διαφέρει από άτομο σε άτομο, ακόμη και αν τα άτομα αυτά ανήκουν στο ίδιο δείγμα. Αποτέλεσμα αυτού είναι οι τιμές της Z να ακολουθούν διάφορα συναρτησιακά σχήματα τα οποία έχουν σχέση με τον τρόπο που είναι διασκορπισμένες οι τιμές των χαρακτηριστικών. Στις περισσότερες περιπτώσεις οι τιμές αυτές ακολουθούν την κανονική κατανομή.

Το αποτέλεσμα μιας τέτοιας ανάλυσης μπορεί να παρασταθεί γραφικά, στο σχήμα (2.1), όπου παρουσιάζονται οι τιμές της μεταβλητής Z και οι συχνότητές τους για δύο ομάδες. Προφανώς, ο σκοπός αυτής της ανάλυσης είναι να διαχωρίσει τις δύο κατανομές πυκνότητας πιθανότητας όσο το δυνατόν καλύτερα. Ο καλύτερος διαχωρισμός επιτυγχάνεται στην περίπτωση που οι κατανομές αυτές δεν επικαλύπτονται. Στην περίπτωση της επικάλυψης, όπως φαίνεται στο σχήμα, ο διαχωρισμός δεν είναι τέλειος γιατί τα άτομα που έχουν τιμή Z που βρίσκεται στην περιοχή επικάλυψης δεν διαχωρίζονται σωστά. Αυτό σημαίνει ότι αν γνωρίζαμε μόνο τις τιμές των χαρακτηριστικών δεν θα μπορούσαμε να καθορίσουμε από ποια ομάδα προέρχεται.



Σχήμα 2.1

Κατανομή πυκνότητας πιθανότητας της μεταβλητής Z

2.2 Προϋποθέσεις

Προκειμένου να εφαρμοστεί η μαθηματική διαδικασία, όπως αυτή αναλύεται παρακάτω, πρέπει να ισχύουν ορισμένες βασικές προϋποθέσεις. Οι προϋποθέσεις αυτές είναι:

- α. Απαιτούνται τουλάχιστον δύο ομάδες.
- β. Κάθε ομάδα πρέπει να αποτελείται τουλάχιστον από δύο άτομα.
- γ. Ένα χαρακτηριστικό που είναι γραμμικός συνδυασμός άλλων, πρέπει να παραλείπεται, γιατί δεν περιέχει καμία επιπρόσθετη πληροφορία.
- δ. Δεν υπάρχει όριο στον αριθμό των χαρακτηριστικών, εκτός από το ότι ο αριθμός των ατόμων πρέπει να υπερβαίνει τον αριθμό των χαρακτηριστικών, τουλάχιστον κατά δύο.
- ε. Οι τιμές των χαρακτηριστικών των ατόμων της κάθε ομάδας πρέπει να ακολουθούν την κανονική κατανομή ή διαφορετικά, κάθε ομάδα να ακολουθεί μια πολυμεταβλητή κανονική κατανομή, παρά το γεγονός ότι η γραμμική διαχωριστική συνάρτηση είναι ανεξάρτητη από την πολυκανονικότητα των ομάδων.
- στ. Μια γραμμική διαχωριστική διαδικασία είναι ιδανική όταν οι μεταβλητότητες και οι συσχετίσεις των ανεξάρτητων χαρακτηριστικών σε μια ομάδα είναι ίδιες με τις αντίστοιχες των άλλων ομάδων.
- ζ. Δεν πρέπει να υπάρχει αμφιβολία ως προς την ομάδα προέλευσης του κάθε ατόμου. Διαφορετικά η διαχωριστική συνάρτηση που θα προκύψει θα δώσει εσφαλμένα αποτελέσματα.

Όλες οι προϋποθέσεις που αναφέρονται ισχύουν φυσικά και στην περίπτωση της δειγματοληψίας, με την μόνη διαφορά ότι έχουμε δείγματα και όχι ομάδες. Ειδικότερα, για την προϋπόθεση (ε) θα πρέπει η κανονικότητα των χαρακτηριστικών να μπορεί να επεκταθεί και στις ομάδες.

2.3 Υπολογισμός της διαχωριστικής συνάρτησης

Μια εκτεταμένη περιγραφή της περιπλοκής και προχωρημένης μαθηματικής διαδικασίας του υπολογισμού της διαχωριστικής συνάρτησης και η θεωρητική της θεμελίωση, ξεφεύγει από τον σκοπό της παρούσας μελέτης. Η χρήση της ως υπολογιστικό εργαλείο, απαιτεί μόνο την κατανόηση των βασικών της αρχών και του τρόπου εφαρμογής της.

Στην συνέχεια, δίδονται όλοι οι απαραίτητες έννοιες και μαθηματικοί τύποι, καθώς και παρουσιάζεται μια εφαρμογή της μεθόδου.

Ορισμένοι συμβολισμοί οι οποίοι χρησιμοποιούνται παρακάτω, είναι:

- g : ο αριθμός των ομάδων,
- n_g : ο αριθμός των ατόμων της ομάδας g ,
- n : ο συνολικός αριθμός των ατόμων,
- v : ο αριθμός των χαρακτηριστικών,
- X_{igm} : η τιμή του χαρακτηριστικού i , του ατόμου m της ομάδας g ,
- M_{ig} : η μέση τιμή του χαρακτηριστικού i , των ατόμων της ομάδας g ,
- M_i : η μέση τιμή του χαρακτηριστικού i , σε ολόκληρο τον πληθυσμό.

Στην περίπτωση της δειγματοληψίας οι παραπάνω ορισμοί ισχύουν αν οι ομάδες αντικατασταθούν από τα δείγματα των ομάδων.

Μερικές στατιστικές τεχνικές είναι απαραίτητες προκειμένου να μετρηθεί ο βαθμός διασποράς των χαρακτηριστικών των ατόμων και οι συσχετίσεις μεταξύ τους. Ένας απλός πίνακας, με τις μέσες τιμές και τις τυπικές αποκλίσεις των χαρακτηριστικών των ατόμων των ομάδων, δεν είναι αρκετός, επειδή δεν θα έδειχνε τις συσχετίσεις των χαρακτηριστικών. Αντίθετα, ο πίνακας T^1 , όπως παρουσιάζεται παρακάτω, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν μια μέτρηση της διασποράς των χαρακτηριστικών από άτομο σε άτομο σε όλες τις ομάδες. Έτσι, κάθε στοιχείο T_{ij} του πίνακα T δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$T_{ij} = \sum_{g=1}^g \sum_{m=1}^{n_g} (X_{igm} - M_i)(X_{jgm} - M_j) \quad (2.2)$$

Οι όροι $(X_{igm} - M_i)$ και $(X_{jgm} - M_j)$ δείχνουν πόσο ένα χαρακτηριστικό αποκλίνει από την μέση τιμή. Αν $i = j$, τότε υπολογίζεται η διασπορά του χαρακτηριστικού και αν $i \neq j$, τότε υπολογίζεται η συσχέτιση ανάμεσα σ' αυτά τα δύο χαρακτηριστικά.

Αν κάθε στοιχείο του πίνακα T διαιρεθεί με $(n - g)$, τότε προκύπτει ο πίνακας μεταβλητότητας - συμμεταβλητότητας για ολόκληρο τον πληθυσμό², που χρησιμοποιείται ευρέως στους στατιστικούς ελέγχους.

¹ Ο πίνακας T συναντάται στην αγγλική βιβλιογραφία σαν Total Sums of Squares and Cross Products matrix (SSCP).

² Ο πίνακας αυτός συναντάται στην αγγλική βιβλιογραφία σαν Total Variance - Covariance Matrix ή σαν Dispersion Matrix.

Τα στοιχεία ενός άλλου πίνακα, των συνολικών συντελεστών συσχέτισης, υπολογίζονται διαιρώντας κάθε στοιχείο του πίνακα T με την τετραγωνική ρίζα του γινομένου των δύο διαγωνίων στοιχείων, που βρίσκονται στην ίδια γραμμή και στήλη³. Μια υψηλή συσχέτιση ανάμεσα σε δύο χαρακτηριστικά σημαίνει ότι οι πληροφορίες που δίνονται χρησιμοποιώντας και τα δύο στην διαχωριστική συνάρτηση, δεν αλλάζουν αν χρησιμοποιήσουμε μόνο το ένα από αυτά.

Όταν οι μέσες τιμές των χαρακτηριστικών, των ατόμων των ομάδων, δεν ταυτίζονται, τότε οι διασπορές των χαρακτηριστικών σε κάθε ομάδα ξεχωριστά θα είναι μικρότερες από τις συνολικές διασπορές.

Αυτές μπορούν να υπολογισθούν από τον πίνακα W^4 . Κάθε στοιχείο W_{ij} του πίνακα W δίνεται από την εξίσωση:

$$W_{ij} = \sum_{g=1}^g \sum_{m=1}^{n_g} (X_{igm} - M_{ig})(X_{jgm} - M_{jg}) \quad (2.3)$$

Τώρα, είναι εύκολο να μετατραπεί ο πίνακας W σε έναν πίνακα μεταβλητότητας - συμμεταβλητότητας ή σε έναν πίνακα συντελεστών συσχέτισης με την ίδια διαδικασία που περιγράφηκε για τον πίνακα T .

Όταν οι μέσες τιμές των ομάδων είναι ίσες, τότε οι πίνακες T και W είναι ίδιοι. Αν οι μέσες τιμές είναι διαφορετικές, υπάρχει μια διαφορά ανάμεσα στον T και τον W και εκφράζεται από τον πίνακα B^5 , όπου $B = T - W$. Τώρα οι πίνακες W και B περιέχουν όλες τις βασικές πληροφορίες για τις ομάδες ξεχωριστά και για τις σχέσεις μεταξύ τους. Ο Fisher πρότεινε ένα κριτήριο για την μέτρηση της διαφοράς των ομάδων. Η μαθηματική διατύπωση αυτού του κριτηρίου επεκτάθηκε από άλλους ερευνητές και προέκυψε η εξίσωση:

$$(W^{-1}B - \lambda I)V = 0 \quad (2.4)$$

όπου:

λ : μιας από τις ιδιοτιμές του πίνακα $W^{-1}B$,

I : ο μοναδιαίος πίνακας,

³ Συναντάται στην διεθνή βιβλιογραφία σαν Total Correlation - Coefficient Matrix.

⁴ Συναντάται στην διεθνή βιβλιογραφία σαν Within - Groups Sums of Squares and Cross Products Matrix (WSSCP).

⁵ Συναντάται στην διεθνή βιβλιογραφία σαν Between - Groups Sums of Squares and Cross Products Matrix (BSSCP).

- V: το ιδιοδιάνυσμα που προκύπτει από την ιδιοτιμή λ,
- 0: ο μηδενικός πίνακας.

Η λύση της εξίσωσης (2.4), περιλαμβάνει τις ιδιοτιμές λ του πίνακα $W^{-1}B$ και τα ιδιοδιανύσματα που αντιστοιχούν σ' αυτές τις ιδιοτιμές, και επιλύει το πρόβλημα της μεγιστοποίησης της διαφοράς των ομάδων. Οι ιδιοτιμές αυτές είναι οι λύσεις της επόμενης εξίσωσης:

$$\det(W^{-1}B - \lambda I) = 0 \tag{2.5}$$

Από τις ρίζες της εξίσωσης απορρίπτονται οι μιγαδικές και οι αρνητικές, επειδή σ' αυτές δεν μπορεί να δοθεί καμία στατιστική σημασία. Για κάθε θετική ιδιοτιμή προκύπτει ένα σύστημα της παρακάτω μορφής, από το οποίο υπολογίζεται το ιδιοδιάνυσμα $(V_1, V_2, V_3, \dots, V_v)$.

$$\begin{aligned} (B_{11} - \lambda W_{11})V_1 + (B_{12} - \lambda W_{12})V_2 + \dots + (B_{1v} - \lambda W_{1v})V_v &= 0 \\ (B_{21} - \lambda W_{21})V_1 + (B_{22} - \lambda W_{22})V_2 + \dots + (B_{2v} - \lambda W_{2v})V_v &= 0 \\ \dots & \dots \tag{2.6} \\ \dots & \dots \\ (B_{v1} - \lambda W_{v1})V_1 + (B_{v2} - \lambda W_{v2})V_2 + \dots + (B_{vv} - \lambda W_{vv})V_v &= 0 \end{aligned}$$

Το παραπάνω σύστημα όπως εύκολα αποδεικνύεται είναι αόριστο. Μία συνήθης πρακτική που ακολουθείται για την επίλυση ενός τέτοιου συστήματος είναι να δίνουμε σε κάποιο άγνωστο την τιμή της μονάδας.

Επειδή οι συντελεστές $(V_1, V_2, V_3, \dots, V_v)$ είναι τελείως ανερχόμενοι και οι τιμές της μεταβλητής Z που θα προέκυπταν δεν θα είχαν καμία σημασία, χρησιμοποιούνται στην εξίσωση (2.1) οι συντελεστές $(U_0, U_1, U_2, \dots, U_v)$, που υπολογίζονται σύμφωνα με τις ακόλουθες σχέσεις:

$$\begin{aligned} U_i &= \frac{V_i \sqrt{n-g}}{\sqrt{VTV'}} \\ U_0 &= -\sum_{i=1}^v U_i M_i \end{aligned} \tag{2.7}$$

Οι συντελεστές U_i δείχνουν την απόλυτη συνεισφορά κάθε χαρακτηριστικού στον υπολογισμό της διαχωριστικής μεταβλητής Z σύμφωνα με την εξίσωση (2.1). Με την

χρησιμοποίηση των U_i , οι τιμές της διαχωριστικής μεταβλητής που υπολογίζονται για όλα τα άτομα έχουν μέση τιμή μηδέν και τυπική απόκλιση μονάδα.

Όπως γίνεται αντιληπτό, προκύπτουν πολλές διαχωριστικές συναρτήσεις και επομένως τίθεται το ζήτημα της επιλογής εκείνης της συνάρτησης που έχει την μεγαλύτερη διαχωριστική ισχύ. Αυτό σημαίνει ότι η περιοχή επικάλυψης των κατανομών της μεταβλητής Z είναι η μικρότερη δυνατή, άρα οι κατανομές είναι κατά το μέγιστο δυνατό απομακρυσμένες (Σχ. 2.1).

2.4 Ερμηνεία των διαχωριστικών συντελεστών

Οι διαχωριστικοί συντελεστές U_i , που υπολογίστηκαν προηγουμένως μπορούν να οδηγήσουν σε ορισμένα συμπεράσματα σχετικά με την διαχωριστική ισχύ που φέρει κάθε χαρακτηριστικό. Έτσι, είναι δυνατόν να προκύψουν χαρακτηριστικά χωρίς διαχωριστική ισχύ τα οποία εξαιρούνται από τα επόμενα στάδια της ανάλυσης. Επίσης, από αυτούς τους συντελεστές μπορεί να προσδιοριστεί η βαρύτητα κάθε χαρακτηριστικού στον διαχωρισμό των ομάδων.

Υπάρχουν διάφορα κριτήρια με τα οποία αναγνωρίζουμε αν κάποια χαρακτηριστικό έχει διαχωριστική ισχύ. Στην περίπτωση του διαχωρισμού δύο ομάδων, ένα κριτήριο που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε είναι:

$$U_i (M_{i1} - M_{i2})(Z_{m1} - Z_{m2}) > 0 \quad (2.8)$$

όπου:

Z_{m1} : η μέση τιμή της μεταβλητής Z της ομάδας 1

Z_{m2} : η μέση τιμή της μεταβλητής Z της ομάδας 2

Για να προκύψει το κριτήριο (2.8) γίνονται οι ακόλουθες παραδοχές:

- Ένα χαρακτηριστικό έχει διαχωριστική ισχύ όταν συμβάλλει στην απομάκρυνση των κατανομών της μεταβλητής Z των δύο ομάδων. Αυτό εκφράζεται με την αύξηση της διαφοράς των μέσων τιμών Z_{m1} και Z_{m2} των κατανομών.
- Οι μέσες τιμές υπολογίζονται από τις επόμενες εξισώσεις:

$$Z_{mg} = U_0 + U_1 M_{1g} + \dots + U_v M_{vg} \quad g = 1, 2$$

άρα η διαφορά των μέσων τιμών των κατανομών ισούται με

$$(Z_{m1} - Z_{m2}) = U_1(M_{11} - M_{12}) + \dots + U_v(M_{v1} - M_{v2})$$

- Ένα χαρακτηριστικό i έχει διαχωριστική ισχύ όταν το πρόσημο του όρου $U_i(M_{i1} - M_{i2})$ είναι το ίδιο με το πρόσημο της διαφοράς $(Z_{m1} - Z_{m2})$. Κάθε τέτοιο χαρακτηριστικό ονομάζεται ευσταθές. Στην αντίθετη περίπτωση το χαρακτηριστικό δεν έχει καθόλου διαχωριστική ισχύ και ονομάζεται ασταθές.

Ανεξάρτητα από το αν ένα χαρακτηριστικό είναι ευσταθές ή ασταθές, επιδρά στον διαχωρισμό με κάποια βαρύτητα. Η βαρύτητα αυτή δεν μπορεί να προκύψει απ' ευθείας από τους συντελεστές U_i επειδή είναι εξαρτημένοι από την κλίμακα των μετρήσεων των παραπάνω χαρακτηριστικών. Ο μόνος τρόπος για να ανεξαρτητοποιηθούν οι συντελεστές αυτοί από τις μονάδες μέτρησης είναι η κανονικοποίησή τους. Οι κανονικοποιημένοι συντελεστές μπορούν να υπολογιστούν κάνοντας χρήση της ακόλουθης σχέσης:

$$S_i = U_i \sqrt{\frac{W_{ii}}{n-g}} \quad (2.9)$$

όπου W_{ii} είναι το διαγώνιο στοιχείο του πίνακα W που αντιστοιχεί στο χαρακτηριστικό i και $W_{ii} / (n-g)$ είναι η μεταβλητότητα του σε ολόκληρο τον πληθυσμό. Όσο μεγαλύτερος, κατ' απόλυτη τιμή, είναι ένας κανονικοποιημένος συντελεστής τόσο μεγαλύτερη είναι και η βαρύτητά του.

2.5 Έλεγχος της διαχωριστικής συνάρτησης

Η επιτυχία κάθε διαχωριστικής διαδικασίας μπορεί να ελεγχθεί χρησιμοποιώντας μία στατιστική τεχνική, με την οποία ελέγχεται η ποιότητα των δεδομένων που διατίθενται από τις ομάδες ή από τα δείγματα, στην περίπτωση της δειγματοληψίας. Αυτή η τεχνική μετράει τον διαχωρισμό των ομάδων, που επιτυγχάνεται από τα χαρακτηριστικά που έχουν επιλεχθεί, σαν ένα λόγο οριζουσών. Ο λόγος αυτός ονομάζεται λόγος οριζουσών του Wilk, συμβολίζεται με « A » και ορίζεται ως:

$$A = \frac{|W|}{|T|}$$

όπου ο αριθμητής είναι η ορίζουσα του πίνακα W και ο παρανομαστής η ορίζουσα του πίνακα T . Αν η τιμή του Λ προσεγγίζει το μηδέν, τότε οι τιμές των ομάδων είναι χωρισμένες κατά το μέγιστο και ο διαχωρισμός είναι πολύ καλός.

Στην περίπτωση που ο υπολογισμός της διαχωριστικής συνάρτησης έχει γίνει με την χρήση δειγμάτων που αντιπροσωπεύουν τις ομάδες, τότε η χρήση του Wilk's Λ είναι περισσότερο ένα βήμα για τον έλεγχο της στατιστικής σημαντικότητας της απόστασης ανάμεσα στις μέσες τιμές των ομάδων, παρά ένα τελικό αποτέλεσμα που θα μπορούσε να δώσει μια μέτρηση του διαχωρισμού. Αυτό σημαίνει ότι δεν είμαστε σε θέση να γνωρίζουμε αν η τιμή του Wilk's Λ που βρέθηκε από τα συγκεκριμένα δείγματα μπορεί να επεκταθεί σε ολόκληρο τον πληθυσμό πριν κάνουμε τον έλεγχο υποθέσεων που περιγράφεται παρακάτω.

Αρχικά, διατυπώνουμε τις ακόλουθες υποθέσεις:

- Μηδενική υπόθεση (H_0): οι μέσες τιμές της μεταβλητής Z των δύο ομάδων είναι ίσες, δηλαδή Wilk's $\Lambda = 1$.
- Εναλλακτική υπόθεση (H_1): οι μέσες τιμές της μεταβλητής Z των δύο ομάδων δεν είναι ίσες.

Για να κάνουμε τον έλεγχο υποθέσεων είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε την κατανομή που ακολουθεί το Wilk's Λ . Έχει βρεθεί ότι το Wilk's Λ ανήκει σε μια οικογένεια καμπυλών με τρεις παραμέτρους που είναι συναρτήσεις του αριθμού των ομάδων, του αριθμού των ατόμων και του αριθμού των χαρακτηριστικών.

Πρόσφατα, δημιουργήθηκαν πίνακες που περιέχουν το Wilk's Λ για ορισμένες ειδικές τιμές των παραμέτρων του. Στην γενική της χρήση όμως, η κατανομή Wilk's Λ μετασχηματίζεται προσεγγιστικά σε κατανομή χ^2 ή σε κατανομή F . Οι μελετητές που ασχολήθηκαν μ' αυτούς τους μετασχηματισμούς κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η προσέγγιση που γίνεται με την κατανομή F είναι καλύτερη από αυτήν της κατανομής χ^2 , επειδή δίνει αποτελέσματα που είναι συμβατά με την κατανομή του Wilk's Λ ακόμη και για πολύ μικρό αριθμό βαθμών ελευθερίας. Στην συγκεκριμένη εργασία, γίνεται χρήση της κατανομής F , με βάση την ανάπτυξη αυτής από τον Rao. Στην προσέγγιση αυτή είναι απαραίτητο να υπολογιστούν οι τιμές των παρακάτω εξισώσεων:

$$F = \frac{1 - \Lambda^{\frac{1}{s}}}{\Lambda^{\frac{1}{s}}} \cdot \frac{ms - \frac{\nu(g-1)}{2} + 1}{\nu(g-1)} \quad (2.10)$$

όπου:

$$m = n - 1 - (\nu + g)/2$$

$$s = \sqrt{\frac{\nu^2(g-1)^2 - 4}{\nu^2 + (g-1)^2 - 5}}$$

με βαθμούς ελευθερίας:

$$\nu_1 = \nu(g-1)$$

$$\nu_2 = ms - \nu(g-1)/2 + 1$$

και όπου Λ συμβολίζεται το Wilk's Λ .

Με τους βαθμούς ελευθερίας ν_1 και ν_2 μπορούμε, με την βοήθεια των πινάκων της κατανομής F , για ένα ορισμένο επίπεδο σημαντικότητας $\alpha\%$, να διαβάσουμε μια τιμή της μεταβλητής F .

Εάν η τιμή είναι μικρότερη από αυτήν που υπολογίσαμε από την σχέση 2.10, τότε απορρίπτουμε την μηδενική υπόθεση H_0 και δεχόμαστε ότι η τιμή του Wilk's Λ που βρήκαμε ισχύει για όλο τον πληθυσμό. Η πιθανότητα λαθεμένης απόφασης είναι $\alpha\%$, γνωστό στην θεωρία των πιθανοτήτων και ως σφάλμα α' είδους. Όπως γίνεται σαφές, όσο μικρότερο είναι το επίπεδο σημαντικότητας τόσο μικρότερη είναι η πιθανότητα να λάβουμε λανθασμένη απόφαση.

Στην περίπτωση που η τιμή που διαβάζουμε από τον πίνακα είναι μεγαλύτερη από αυτήν που υπολογίσαμε τότε δεχόμαστε την μηδενική υπόθεση H_0 . Όμως, αυτό που ενδιαφέρει είναι να ισχύει η τιμή του Wilk's Λ για όλο τον πληθυσμό. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να ερευνηθεί να η αποδοχή της H_0 εξαρτάται από τυχαίους παράγοντες που οφείλονται σε διακυμάνσεις της δειγματοληψίας. Εάν μπορούμε να αποδώσουμε το γεγονός αυτό στις διακυμάνσεις της δειγματοληψίας, τότε η τιμή του Wilk's $\Lambda = 1$ είναι πραγματική και οποιοσδήποτε χωρισμός ανάμεσα στις ομάδες είναι αδύνατος, με βάση τα χαρακτηριστικά που έχουν εξετασθεί. Ο μόνος τρόπος για να συνεχίσουμε την ανάλυση είναι να επαναλάβουμε την διαδικασία με διαφορετικό συνδυασμό χαρακτηριστικών.

Ο παραπάνω έλεγχος της μηδενικής υπόθεσης της ισότητας των μέσων τιμών, προϋποθέτει ότι οι πίνακες μεταβλητότητας - συμμεταβλητότητας των g ομάδων, υπολογίζονται από δείγματα που προέρχονται από g πολυμεταβλητές κανονικές ομάδες με την ίδια διασπορά. Ουσιαστικά, αυτή είναι μια βασική προϋπόθεση για την εφαρμογή της γραμμικής διαχωριστικής συνάρτησης. Ο Box ανέπτυξε ένα κριτήριο (Box's B) για τον έλεγχο της παραπάνω προϋπόθεσης. Άρα, πρέπει να εφαρμόσουμε και πάλι την θεωρία του ελέγχου υποθέσεων, με βάση τις παρακάτω υποθέσεις:

- Μηδενική υπόθεση (H_0): οι πίνακες μεταβλητότητας - συμμεταβλητότητας των ομάδων είναι ίσοι.
- Εναλλακτική υπόθεση (H_1): οι πίνακες μεταβλητότητας - συμμεταβλητότητας των ομάδων δεν είναι ίσοι.

Σύμφωνα με το κριτήριο αυτό, αρχικά υπολογίζεται η μεταβλητή:

$$B = (n - g) \ln |W| - \sum_{g=1}^g (n_g - 1) \ln |W_g| \quad (2.11)$$

όπου:

$|W|$: η οριζουσα του πίνακα μεταβλητότητας - συμμεταβλητότητας του συνολικού δείγματος.

$|W_g|$: η οριζουσα του πίνακα μεταβλητότητας - συμμεταβλητότητας του δείγματος που προέρχεται από την ομάδα g .

Κάθε στοιχείο του πίνακα W_g υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$(W_g)_{ij} = \frac{1}{n_g - 1} \sum_{m=1}^{n_g} (X_{igm} - M_{ig})(X_{jgm} - M_{jg}) \quad (2.12)$$

Αν $i = j$ τότε τα στοιχεία του πίνακα είναι οι μεταβλητότητες των χαρακτηριστικών i και αν $i \neq j$ τότε τα στοιχεία του πίνακα είναι οι συμμεταβλητότητες των χαρακτηριστικών i, j .

Παρατηρώντας την προηγούμενη εξίσωση, συμπεραίνουμε ότι για να ισχύει η υπόθεση H_0 θα πρέπει η μεταβλητή B να είναι όσο γίνεται μικρότερη. Επειδή δεν είμαστε σε θέση να γνωρίζουμε την κατανομή που ακολουθεί η μεταβλητή B , την μετασχηματίζουμε σε μια μεταβλητή (Box's F) που ακολουθεί την κατανομή F . Ο μετασχηματισμός γίνεται σύμφωνα με την παρακάτω διαδικασία:

- Υπολογίζονται οι παράμετροι:

$$A_1 = \left(\sum_{g=1}^g \frac{1}{n_g - 1} - \frac{1}{(n-g)} \right) \cdot \frac{2\nu^2 + 3\nu - 1}{6(g-1)(\nu+1)}$$

$$A_2 = \left(\sum_{g=1}^g \frac{1}{(n_g - 1)^2} - \frac{1}{(n-g)^2} \right) \cdot \frac{(\nu-1)(\nu+2)}{6(g-1)}$$

- Υπολογίζονται οι βαθμοί ελευθερίας και η τιμή της μεταβλητής F κατά περίπτωση.

i) Αν $A_2 - A_1^2 > 0$ τότε

$$\begin{aligned} \nu_1 &= \frac{(g-1)\nu(\nu+1)}{2} \\ \nu_2 &= \frac{\nu_1 + 2}{A_2 - A_1^2} \\ b &= \frac{\nu_1}{1 - A_1 - \frac{\nu_1}{\nu_2}} \\ F &= \frac{B}{b} \end{aligned} \tag{2.13}$$

ii) Αν $A_2 - A_1^2 < 0$ τότε

$$\begin{aligned} \nu_1 &= \frac{(g-1)\nu(\nu+1)}{2} \\ \nu_2 &= \frac{\nu_1 + 2}{-A_2 + A_1^2} \\ b &= \frac{\nu_2}{1 - A_1 - \frac{2}{\nu_2}} \\ F &= \frac{\nu_2 B}{\nu_1(b - B)} \end{aligned} \tag{2.14}$$

Με παρόμοιο τρόπο, όπως αναφέρθηκε στον προηγούμενο έλεγχο υποθέσεων, μπορούμε να απορρίψουμε ή να αποδεχτούμε την μηδενική υπόθεση H_0 . Αντίθετα, όμως, με τον προηγούμενο έλεγχο, εδώ επιδιώκουμε την αποδοχή της μηδενικής υπόθεσης H_0 . Βέβαια και στην περίπτωση αυτή η πιθανότητα λανθασμένης απόφασης είναι $\alpha\%$ (σφάλμα α' είδους).

Αν απορρίψουμε την μηδενική υπόθεση H_0 , τότε πρέπει να διαπιστώσουμε κατά πόσο η απόρριψη αυτή οφείλεται σε τυχαίους παράγοντες ή πρόκειται για ένα πραγματικό γεγονός. Αν όντως οι πίνακες μεταβλητότητας - συμμεταβλητότητας δεν είναι ίσοι, τότε η γραμμική διαχωριστική συνάρτηση δεν κάνει τον καλύτερο δυνατό διαχωρισμό, αφού μια προϋπόθεση για την εφαρμογή της δεν ισχύει. Μια λογική σκέψη είναι να εγκαταλειφθεί αυτό το συναρτησιακό σχήμα και να υιοθετηθεί κάποιο άλλο, όπως για παράδειγμα η τετραγωνική διαχωριστική συνάρτηση. Παρά το γεγονός ότι η χρήση της συνάρτησης αυτής δεν απαιτεί την ισότητα των πινάκων που έχουν αναφερθεί, εντούτοις μικρές αποκλίσεις από την πολυκανονικότητα των ομάδων επηρεάζουν ιδιαίτερα την εφαρμοσιμότητά της. Έτσι, υπάρχουν περιπτώσεις που γίνεται χρήση της γραμμικής διαχωριστικής συνάρτησης, χωρίς να ισχύει η προϋπόθεση που αναφέρθηκε.

2.6 Επιλογή των χαρακτηριστικών της επόμενης διαχωριστικής συνάρτησης

Η επιλογή του καλύτερου συνδυασμού των ανεξάρτητων χαρακτηριστικών, από τον οποίο θα προκύψει η τελική διαχωριστική συνάρτηση, μπορεί να γίνει με δύο μεθόδους, την «ευθεία» και την «βηματική» (stepwise method) μέθοδο.

Η «ευθεία» μέθοδος είναι εκείνη κατά την οποία όλα τα ανεξάρτητα χαρακτηριστικά εισάγονται στην ανάλυση. Έτσι, η διαχωριστική συνάρτηση προκύπτει από όλα τα ανεξάρτητα χαρακτηριστικά, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η διαχωριστική ισχύς του καθενός. Η «ευθεία» μέθοδος ενδείκνυται όταν είναι επιθυμητό να υπάρχουν όλα τα χαρακτηριστικά στην ανάλυση και δεν ενδιαφέρει η χρησιμοποίηση των αποτελεσμάτων που βασίζονται σε υποσυνδυασμούς των χαρακτηριστικών.

Η «βηματική» μέθοδος είναι εκείνη όπου τα ανεξάρτητα χαρακτηριστικά που χρησιμοποιούνται στην ανάλυση επιλέγονται με βάση την διαχωριστική τους ισχύ. Μερικές φορές ολόκληρος ο συνδυασμός μπορεί να δυσχεραίνει τον διαχωρισμό των ομάδων ή μερικά από τα χαρακτηριστικά να μην είναι χρήσιμα για τον διαχωρισμό των ομάδων. Επιλέγοντας τους επόμενους καλύτερους διαχωριστές (χαρακτηριστικά),

προκύπτει ένας συνδυασμός χαρακτηριστικών ο οποίος είναι σχεδόν τόσο καλός ή και καλύτερος από ολόκληρο τον συνδυασμό, εξαιτίας της πιθανής ύπαρξης ασταθών χαρακτηριστικών. Κατά την εισαγωγή καινούργιων χαρακτηριστικών μέσα στον συνδυασμό, μερικά χαρακτηριστικά που υπάρχουν στο προηγούμενο βήμα μπορεί να χάσουν την διαχωριστική τους ισχύ. Αυτό συμβαίνει επειδή οι πληροφορίες που δίνουν για τις διαφορές των ομάδων είναι τώρα διαθέσιμες από κάποια άλλα χαρακτηριστικά. Η χρήση τέτοιων χαρακτηριστικών στην ανάλυση θεωρείται πλεονασμός και για τον λόγο αυτόν πρέπει να αποφεύγεται.

Υπάρχουν διάφορα κριτήρια επιλογής των χαρακτηριστικών, που βοηθούν στην εφαρμογή της «βηματικής» μεθόδου. Το κριτήριο που χρησιμοποιείται κυρίως, είναι το Wilk's Lambda (Λ). Όπως έχει προαναφερθεί, με το Wilk's Λ γίνεται ο ολικός πολυμεταβλητός έλεγχος F , για την διαφορά των μέσων τιμών της μεταβλητής Z των δύο ομάδων. Τα χαρακτηριστικά που μεγιστοποιούν τον λόγο F , ελαχιστοποιούν επίσης το Wilk's Λ , το οποίο αποτελεί μια μέτρηση του διαχωρισμού των ομάδων. Αυτό σημαίνει ότι όσο μικρότερη είναι η τιμή του Wilk's Λ , τόσο καλύτερος είναι ο διαχωρισμός που επιτυγχάνεται.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ

3.1 Γενικά

Στο προηγούμενο κεφάλαιο εξετάστηκε πως τα υπάρχοντα δεδομένα μπορούν να χωριστούν καλύτερα χρησιμοποιώντας μια γραμμική διαχωριστική συνάρτηση. Αν και η ανάλυση αυτή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για την κατανόηση των αιτίων που οδηγούν τα άτομα στο να ανήκουν σε κάποιες συγκεκριμένες ομάδες, και των χαρακτηριστικών που επιδρούν περισσότερο στον διαχωρισμό, ακόμη μεγαλύτερης πρακτικής σημασίας είναι η μελέτη των κανόνων ταξινόμησης, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την τοποθέτηση ενός νέου ατόμου στην σωστή ομάδα. Τότε, θα είναι δυνατόν να προβλεφθεί αν ένα συγκεκριμένο άτομο έχει, ή όχι, υψηλή πιθανότητα να ανήκει σε μία από τις ομάδες, στο τέλος ενός προκαθορισμένου χρονικού ορίζοντα.

Το θέμα αυτό είναι στενά συνδεδεμένο με την προηγούμενη διαχωριστική ανάλυση, αφού η ικανότητα τοποθέτησης εξαρτάται από τα επιλεγμένα διαχωριστικά χαρακτηριστικά. Επιπλέον, εφαρμόζοντας τους κανόνες ταξινόμησης για τα άτομα των δειγμάτων από τα οποία προέκυψε η διαχωριστική συνάρτηση, γίνεται ένας έλεγχος του διαχωρισμού των ομάδων και των δυνατοτήτων της ταξινόμησης για την κατάταξη νέων ατόμων.

Οι κανόνες ταξινόμησης που θα αναπτυχθούν, στοχεύουν στην κατάταξη των νέων ατόμων σε δύο ομάδες, αλλά μπορούν να επεκταθούν και για περισσότερες. Πρέπει να σημειωθεί ότι σπάνια παράγεται μια μέθοδος ταξινόμησης αλάνθαστη, επειδή δεν μπορεί να υπάρξει απόλυτη διαφορά ανάμεσα στα μετρούμενα χαρακτηριστικά των ατόμων. Αυτό συμβαίνει επειδή οι ομάδες συχνά επικαλύπτονται. Έτσι, είναι πιθανό να προβλεφθεί ότι ένα άτομο θα ανήκει σε μια ομάδα A, ενώ στο τέλος του χρονικού ορίζοντα το άτομο βρέθηκε στην άλλη ομάδα B.

3.2 Κανόνες ταξινόμησης

Η διαδικασία κατάταξης των ατόμων στις ομάδες βασίζεται σε κανόνες που σκοπό έχουν να ελαχιστοποιήσουν το συνολικό κόστος λανθασμένης ταξινόμησης ή κάτω από ορισμένες προϋποθέσεις, την ίδια την πιθανότητα λανθασμένης ταξινόμησης. Παρακάτω δίνονται ορισμένοι βασικοί συμβολισμοί:

- X : Το διάνυσμα (x_1) των μετρούμενων διαχωριστικών χαρακτηριστικών (X_1, X_2, \dots, X_n) .
- $f_1(X)$: Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της (x_1) τυχαίας μεταβλητής X για την ομάδα 1.
- $f_2(X)$: Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της (x_1) τυχαίας μεταβλητής X για την ομάδα 2.
- $c(1/2)$: Το κόστος λαθεμένης ταξινόμησης ενός ατόμου στην ομάδα 1, ενώ ανήκει στην ομάδα 2.
- $c(2/1)$: Το κόστος λαθεμένης ταξινόμησης ενός ατόμου στην ομάδα 2, ενώ ανήκει στην ομάδα 1.
- $P(1/2)$: Η πιθανότητα της λαθεμένης ταξινόμησης ενός ατόμου στην ομάδα 1, ενώ ανήκει στην ομάδα 2.
- $P(2/1)$: Η πιθανότητα της λαθεμένης ταξινόμησης ενός ατόμου στην ομάδα 2, ενώ ανήκει στην ομάδα 1.
- P_1 : Η εκ των προτέρων πιθανότητα ενός ατόμου να ανήκει στην ομάδα 1.
- P_2 : Η εκ των προτέρων πιθανότητα ενός ατόμου να ανήκει στην ομάδα 2.

Το αναμενόμενο κόστος λαθεμένης ταξινόμησης ECM (Expected Cost of Misclassification) μπορεί να υπολογιστεί από την παρακάτω έκφραση:

$$ECM = c(1/2) \cdot P(1/2) \cdot P_2 + c(2/1) \cdot P(2/1) \cdot P_1 \quad (3.1)$$

Ένας λογικός κανόνας ταξινόμησης είναι εκείνος που ελαχιστοποιεί το ECM. Μπορεί να αποδειχθεί¹ ότι ο κανόνας που ελαχιστοποιεί το ECM περιγράφεται ως εξής:

- ✦ Ένα άτομο με διάνυσμα διαχωριστικών χαρακτηριστικών X , ταξινομείται στην ομάδα 1 αν και μόνο αν:

$$\begin{bmatrix} f_1(x) \\ f_2(x) \end{bmatrix} \geq \begin{bmatrix} c(1/2) \\ c(2/1) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_2 \\ P_1 \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

διαφορετικά ταξινομείται στην ομάδα 2. Αν οι πυκνότητες πιθανότητας της μεταβλητής X ακολουθούν μια πολυκανονική κατανομή και στις δύο ομάδες, τότε η εξίσωση (3.2) απλοποιείται σημαντικά.²

Ένας άλλος κανόνας ταξινόμησης καταχωρεί ένα νέο άτομο στην ομάδα με την μεγαλύτερη εκ των υστέρων πιθανότητα $P(1/Z)$ ή $P(2/Z)$. Η εκ των υστέρων πιθανότητα με την οποία ένα άτομο με τυχαία μεταβλητή X είναι μέλος της ομάδας g , μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας το θεώρημα του Bayes:

$$P(1/X) = \frac{P_1 f_1(x)}{P_1 f_1(x) + P_2 f_2(x)} \quad (3.3)$$

$$P(2/X) = 1 - P(1/X)$$

Εντούτοις, ταξινομώντας ένα άτομο στην ομάδα 1 όταν $P(1/X) > P(2/X)$ είναι ισοδύναμο με το να ελαχιστοποιήσουμε το ECM με ίσα κόστη λαθεμένης ταξινόμησης $c(1/2) = c(2/1)$ και είναι επίσης ισοδύναμο με το να ελαχιστοποιήσουμε την συνολική

¹ Βλέπε Johnson and Wichern «Applied Multivariate Statistical Analysis», Prentice-Hall International Editions, 1988, σελ. 485-490.

² Βλέπε Johnson and Wichern «Applied Multivariate Statistical Analysis», Prentice-Hall International Editions, 1988, σελ. 485-490.

πιθανότητα λαθεμένης ταξινόμησης TPM (Total Probability of Misclassification), που δίδεται από την σχέση:

$$TPM = P(1/2) \cdot P_2 + P(2/1) \cdot P_1 \quad (3.4)$$

Οι κανόνες ταξινόμησης που βασίζονται στην εξίσωση (3.2) δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατευθείαν όταν οι κατανομές πυκνότητας πιθανότητας των ομάδων $f_1(x)$ και $f_2(x)$ δεν είναι γνωστές. Επιπλέον, επειδή η μεταβλητή X μπορεί να περιέχει και ασυνεχή χαρακτηριστικά δεν μπορεί να υποθεθεί ότι οι πυκνότητες των ομάδων κατανέμονται κανονικά. Γι' αυτό τον λόγο, μια προσεγγιστική μέθοδος είναι αναγκαία για την εκτίμηση των $f_1(x)$, $f_2(x)$ και των εκ των υστέρων πιθανοτήτων $P(1/X)$ και $P(2/X)$. Μια απλή μέθοδος υπολογισμού αυτών των πιθανοτήτων προτείνεται από τον Tatsuoka:

$$P(g/x) = \frac{P_g \exp(-x_g^2/2)}{P_1 \exp(-x_1^2/2) + P_2 \exp(-x_2^2/2)} \quad (3.5)$$

με x_1^2 και x_2^2 να υπολογίζονται από την σχέση:

$$X_g^2 = (X - X_{mg})^t W^{-1} (X - X_{mg}) \quad g=1,2 \quad (3.6)$$

όπου X_{mg} είναι το διάνυσμα των μέσων τιμών των χαρακτηριστικών του δείγματος από την ομάδα g και W ο πίνακας μεταβλητότητας - συμμεταβλητότητας που υπολογίζεται σύμφωνα με την σχέση:

$$W_{ij} = \frac{1}{n-g} \sum_{g=1}^g \sum_{m=1}^{n_g} (X_{igm} - M_{ig})(X_{jgm} - M_{jg}) \quad (3.7)$$

όπου g είναι ο αριθμός των ομάδων, n_g το μέγεθος του δείγματος που προέρχεται από την ομάδα g , n είναι το μέγεθος του συνολικού δείγματος, X_{igk} είναι η τιμή του χαρακτηριστικού X_i του ατόμου k της ομάδας g , και M_{ig} είναι η μέση τιμή του χαρακτηριστικού i του δείγματος της ομάδας g .

Στην περίπτωση που οι αρχικές πιθανότητες P_1, P_2 είναι ίσες τότε η εξίσωση (3.6) μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν κανόνας ταξινόμησης μετρώντας ουσιαστικά τις αποστάσεις κάθε ατόμου από τις μέσες τιμές των ομάδων και ταξινομώντας το στην ομάδα με την μικρότερη απόσταση. Αυτή είναι και η πιο απλή περίπτωση ταξινόμησης γιατί δεν λαμβάνει υπόψη το κόστος και τις αρχικές πιθανότητες.

3.3 Ποσοστά και πίνακας ταξινόμησης

Ένας κοινός τρόπος για να ερευνηθούν τα αποτελέσματα της διαχωριστικής ανάλυσης, αφού έχει προσδιορισθεί η καλύτερη διαχωριστική συνάρτηση, είναι η εφαρμογή των κανόνων ταξινόμησης στα άτομα των δύο δειγμάτων και η δημιουργία του πίνακα ταξινόμησης. Ο πίνακας αυτός περιέχει τον αριθμό των σωστών και λαθεμένων ταξινομήσεων που παράγονται από τους κανόνες ταξινόμησης.

Αν ο όρος N_{ij} συμβολίζει τον αριθμό των ατόμων που ανήκουν πραγματικά στην ομάδα i και ταξινομούνται στην ομάδα j , τότε στην περίπτωση των δύο ομάδων, ο πίνακας ταξινόμησης είναι διαστάσεων 2×2 . Ο πίνακας (3.1) είναι ένας πίνακας ταξινόμησης στην γενική του μορφή.

		Προβλεπόμενα		
		<i>Ομάδα 1</i>	<i>Ομάδα 2</i>	
Πραγματικά	<i>Ομάδα 1</i>	N_{11}	N_{12}	$N_{.1}$
	<i>Ομάδα 2</i>	N_{21}	N_{22}	$N_{.2}$
		$N_{.1}$	$N_{.2}$	N

Πίνακας 3.1

όπου τα στοιχεία της κύριας διαγωνίου συμβολίζουν τον αριθμό σωστών ταξινομήσεων και τα στοιχεία της δευτερεύουσας διαγωνίου τον αριθμό των λανθασμένων ταξινομήσεων. Επίσης, N_i , όπου $i = 1, 2$, είναι ο πραγματικός αριθμός των ατόμων του δείγματος, ενώ $N_{.i}$ είναι ο προβλεπόμενος.

Από τον πίνακα (3.1) μπορούν να υπολογιστούν τα εξής ποσοστά σωστής ταξινόμησης:

$$\begin{aligned}(EF_1) &= (N_{11}/N_1) \cdot 100\% \\(EF_2) &= (N_{22}/N_2) \cdot 100\% \\(EF_t) &= \{(N_{11} + N_{22})/N\} \cdot 100\%\end{aligned}\tag{3.8}$$

Τα δύο πρώτα ποσοστά δίνουν την διαχωριστική ικανότητα που μπορεί να επιτευχθεί για κάθε ομάδα. Το τρίτο ποσοστό δείχνει την διαχωριστική ικανότητα για όλο τον πληθυσμό.

Αν ο μοναδικός τρόπος της διαχωριστικής ανάλυσης είναι να μεγιστοποιεί το συνολικό ποσοστό της σωστής ταξινόμησης, τότε Σαφώς το ποσοστό Ef_t είναι το καταλληλότερο κριτήριο. Αλλά μερικές φορές είναι πιο σημαντικό να μεγιστοποιείται είτε το EF_1 είτε το EF_2 , όταν το αντίστοιχο κόστος λαθεμένης ταξινόμησης είναι πολύ υψηλό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ – ΧΡΗΣΗ ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΜΕΝΩΝ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ

4.1 Γενικά

Στο γενικό πλαίσιο, το βασικό πρόβλημα που πρέπει να επιλυθεί είναι η πρόβλεψη της κατάστασης ενός ατόμου σε μια δεδομένη χρονική περίοδο. Οι δύο στατιστικές τεχνικές που έχουν παρουσιαστεί μέχρι το σημείο αυτό, έχουν την δυνατότητα να επιλύσουν το πρόβλημα αυτό, χωριστά η κάθε μια.

Στα προηγούμενα κεφάλαια φάνηκε ότι η διαχωριστική ανάλυση είναι καθαρά μια τεχνική διαχωρισμού και η ταξινόμηση μια μέθοδος μέτρησης αυτού του διαχωρισμού και κατάταξης νέων ατόμων. Στην πραγματικότητα, η διαχωριστική ανάλυση προσφέρεται και για την κατάταξη των νέων ατόμων. Η κατάταξη αυτή γίνεται σύμφωνα με τον κανόνα ταξινόμησης (3.6), όπου μετρούνται μόνο οι αποστάσεις από τα κέντρα των ομάδων. Το πλεονέκτημα της κατάταξης με την διαχωριστική ανάλυση είναι ότι ελαχιστοποιείται η περιοχή επικάλυψης των δύο ομάδων, αλλά δεν λαμβάνονται υπόψη οι αρχικές πιθανότητες και τα κόστη λαθεμένης ταξινόμησης. Αυτό αποτελεί ένα σοβαρό μειονέκτημα για την κατάταξη νέων ατόμων μέσω της διαχωριστικής ανάλυσης.

Απεναντίας, ένα είδος διαχωρισμού μπορεί να γίνει και με την τεχνική της ταξινόμησης, αν οι κανόνες της χρησιμοποιηθούν σε δείγματα των οποίων είναι γνωστή η προέλευσή τους. Σίγουρα, η ταξινόμηση είναι μια αδύνατη τεχνική στον διαχωρισμό δειγμάτων ή ομάδων, αφού αγνοείται εντελώς η βαρύτητα και η σταθερότητα του κάθε χαρακτηριστικού. Επομένως, η επιλογή του συνδυασμού των χαρακτηριστικών που επιτυγχάνει τον καλύτερο διαχωρισμό καταντά μια χρονοβόρα διαδικασία, αφού βασίζεται σε τυχαίους παράγοντες. Αναμφισβήτητα, όμως, η ταξινόμηση είναι ένα ισχυρό μεθοδολογικό εργαλείο προκειμένου να καταχωρηθούν νέα άτομα σε υπάρχουσες ομάδες, κάνοντας χρήση ρεαλιστικών κριτηρίων.

4.2 Συσχέτιση διαχωριστικής μεταβλητής και πιθανότητας ταξινόμησης

Έστω ότι ένας πληθυσμός αποτελείται από δύο ομάδες που ονομάζονται επιτυχίες και αποτυχίες και συμβολίζονται με τα γράμματα S και F αντίστοιχα. Παίρνονται δείγματα από τις δύο ομάδες και εφαρμόζονται οι στατιστικές τεχνικές που έχουν προαναφερθεί. Έστω ακόμη ότι τα άτομα που ανήκουν στην ομάδα S χαρακτηρίζονται από αρνητικές τιμές της μεταβλητής Z και τα άτομα της F από θετικές.

Έχει αποδειχθεί ότι υπό την προϋπόθεση της πολυκανονικότητας του πληθυσμού, οι προκύπτουσες τιμές της διαχωριστικής μεταβλητής Z θα ακολουθούν, θεωρητικά, την κανονική κατανομή στις δύο ομάδες. Οι κατανομές για τις δύο ομάδες είναι:

$$N(1/2\sigma^2, \sigma^2) \quad \text{για τις αποτυχίες} \quad (4.1)$$

$$N(-1/2\sigma^2, \sigma^2) \quad \text{για τις επιτυχίες.} \quad (4.2)$$

όπου ο πρώτος όρος της παρένθεσης παριστάνει την μέση τιμή και ο δεύτερος την μεταβλητότητα των δύο κανονικών κατανομών.

Με βάση το θεώρημα του Bayes που εκφράζεται από την εξίσωση (3.3), προκύπτει η παρακάτω σχέση:

$$P(S/Z) = \frac{P_S f(Z/S)}{P_S f(Z/S) + P_F f(Z/F)} \quad (4.3)$$

όπου $f(Z/i)$ είναι η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της μεταβλητής Z και P_i είναι η εκ των προτέρων πιθανότητα της ομάδας i ($i = S, F$).

Η εξίσωση (4.3) αναπτύχθηκε από τον Ι.Λ. Μπακούρο στην διδακτορική του διατριβή, όπως φαίνεται από τις εξισώσεις (4.6) και (4.7) με τις οποίες μπορεί να εκτιμηθεί η πιθανότητα ταξινόμησης ενός ατόμου όταν δίνεται η διαχωριστική του μεταβλητή σαν γραμμική συνάρτηση των χαρακτηριστικών του. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε προκειμένου να προκύψουν οι προαναφερθείσες εξισώσεις αναλύεται ως εξής:

► Η εξίσωση (4.3) μετασχηματίζεται στην μορφή:

$$P(S/Z) = \frac{1}{1 + e^{\left[\ln\left(\frac{P_F}{P_S}\right) + \ln\left(\frac{f(Z/F)}{f(Z/S)}\right) \right]}} \quad (4.4)$$

► Γνωρίζοντας ότι η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας μιας κανονικής κατανομής είναι:

$$f_i(Z) = (2\pi)^{-1/2} \sigma^{-1} \exp\left[-(2\sigma^2)^{-1}(Z - \mu)^2\right]$$

όπου μ είναι η μέση τιμή και σ η τυπική απόκλιση, και αφού η μεταβλητή Z των δύο ομάδων ακολουθεί την κανονική κατανομή σύμφωνα με τις σχέσεις (4.1) και (4.2), ο λόγος των πυκνοτήτων $f(Z/F)$ και $f(Z/S)$ γίνεται:

$$\frac{f(Z/F)}{f(Z/S)} = \frac{(2\pi)^{-1/2} a^{-1} \exp\left[-(2a^2)^{-1}(Z - \frac{1}{2}a^2)^2\right]}{(2\pi)^{-1/2} a^{-1} \exp\left[-(2a^2)^{-1}(Z + \frac{1}{2}a^2)^2\right]}$$

$$\frac{f(Z/F)}{f(Z/S)} = \exp\left[-(2a^2)^{-1}\left((Z - \frac{1}{2}a^2)^2 - (Z + \frac{1}{2}a^2)^2\right)\right]$$

$$\frac{f(Z/F)}{f(Z/S)} = \exp\left[-(2a^2)^{-1} 2Z(-a^2)\right]$$

$$\frac{f(Z/F)}{f(Z/S)} = e^Z$$

$$P(S/Z) = \frac{1}{1 + e^{\left[\ln\left(\frac{P_f/P_s}\right) + Z\right]}} \quad (4.5)$$

- Αλλά ο όρος $\ln(P_f/P_s)$ είναι σταθερός και η μεταβλητή Z προκύπτει από την γραμμική διαχωριστική συνάρτηση:

$$Z = U_0 + U_i X_i$$

επομένως η εξίσωση (4.5) μετασχηματίζεται στην παρακάτω μορφή:

$$P(S/Z) = [1 + \exp(a + bZ)]^{-1} \quad (4.6)$$

από την οποία προκύπτει η πιθανότητα ενός ατόμου να ανήκει στις επιτυχίες όταν είναι γνωστή η τιμή της διαχωριστικής του μεταβλητής Z . Επειδή ισχύει $P(F/Z) = 1 - P(S/Z)$, η παρακάτω εξίσωση δίνει την πιθανότητα του ίδιου ατόμου να ανήκει στις αποτυχίες.

$$P(S/Z) = [1 + \exp(-a - bZ)]^{-1} \quad (4.7)$$

- Οι παράμετροι a και b είναι άγνωστοι, μπορούν όμως να εκτιμηθούν από τα ζεύγη τιμών $[Z, P(i/X)]$ των δύο δειγμάτων, χρησιμοποιώντας την τεχνική της γραμμικής παλινδρόμησης. Οι τιμές των πιθανοτήτων $P(i/X)$ μπορούν να υπολογιστούν από την σχέση (3.5). Αφού τα a και b είναι κοινά για τις εξισώσεις (4.6) και (4.7) μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο η πρώτη για την εκτίμησή τους.

Επειδή η εκτίμησή που συνδέει την $P(S/Z)$ και την Z είναι εκθετικής μορφής, θα μετατραπεί σε γραμμική με την εξής διαδικασία:

i) Αρχικά μετασχηματίζεται στην μορφή:

$$a + bZ = \ln \left\{ \frac{1}{P(S/Z)} - 1 \right\}$$

ii) και αν τεθεί $\ln \left\{ \frac{1}{P(S/Z)} - 1 \right\} = PR$, τότε $a + bZ = PR$.

Στην συνέχεια, με την μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων, για τα ζεύγη τιμών $[Z, PR]$, αν στον όρο PR εισαχθούν οι $P(S/X)$ αντί των $P(S/Z)$, υπολογίζονται οι αμερόληπτες εκτιμήτριες a_0 και b_0 .

4.3 Έλεγχος εφαρμογής του διαγράμματος ταξινόμησης

Όταν μέσα στην διαχωριστική μεταβλητή υπάρχουν χαρακτηριστικά που δεν κατανέμονται κανονικά ή τα οποία είναι ασυνεχή, η υπόθεση της πολυκανονικότητας είναι αμφισβητήσιμη και η παραπάνω θεωρία δεν μπορεί να εφαρμοστεί άμεσα. Στην περίπτωση αυτή πρέπει να γίνει ένας έλεγχος προσαρμογής κανονικής κατανομής της μεταβλητής Z και των παραμέτρων της.

Αν ο έλεγχος δείξει ότι η κατανομή της μεταβλητής Z αποκλίνει από την ιδεατή, για κάποια από τις δύο ομάδες, τότε για την ικανοποιητική εφαρμογή του διαγράμματος σε όλο τον πληθυσμό, πρέπει ο βαθμός προσαρμογής της γραμμής παλινδρόμησης $a_0 + b_0Z = PR$ στα ζεύγη τιμών $[Z, PR]$ του δείγματος να είναι υψηλός και στην συνέχεια να ελεγχθεί αν η σχέση των Z και PR είναι προσεγγιστικά γραμμική σε όλο τον πληθυσμό.

4.4 Η σημασία της χρήσης ομαδοποιημένων μεταβλητών στην αξιοπιστία

Οι πολυμεταβλητές στατιστικές τεχνικές της διαχωριστικής ανάλυσης και της ταξινόμησης επεξεργάζονται τις τιμές διαφόρων χαρακτηριστικών με σκοπό την αλγεβρική διατύπωση και περιγραφή των διαφορών των ατόμων των εξεταζομένων ομάδων. Η συμπεριφορά των ατόμων έχει άμεση σχέση σε κάθε περίπτωση με τις τιμές των χαρακτηριστικών που επιλέγονται και τα οποία φέρουν τον «χαρακτήρα» και τις ιδιότητες του κάθε ατόμου. Έτσι, γίνεται σαφής η σπουδαιότητα της επιλογής των χαρακτηριστικών στα στατιστικά αποτελέσματα και την εγκυρότητα αυτών.

Στην παρούσα μελέτη, εκτός από την χρησιμοποίηση των απλών χαρακτηριστικών, επιχειρείται η εισαγωγή και ομαδοποιημένων μεταβλητών. Η τιμές αυτών προκύπτουν από συνδυασμούς άλλων απλών χαρακτηριστικών.

Η σημασία της χρήσης τέτοιου είδους μεταβλητών αποδεικνύεται ιδιαίτερα μεγάλη και ταυτόχρονα πολύπλευρη. Βασικό χαρακτηριστικό των ομαδοποιημένων μεταβλητών είναι το ότι «φέρουν» μεγαλύτερο πλήθος πληροφοριών για τα άτομα των ομάδων, καθώς αποτελούν συνδυασμούς άλλων μεταβλητών.

Παράλληλα όμως, μελετάται και η αλληλεπίδραση ανάμεσα σε χαρακτηριστικά, τα οποία ως μεμονωμένα, ενδεχομένως, δεν αποτελούν ικανό διαχωριστικό μέσο. Έτσι, για παράδειγμα, η πρακτική αποδεικνύει ότι ένας αγωγός μεγάλου μήκους με μικρό χρόνο ζωής συμπεριφέρεται διαφορετικά απ' ό τι έναν αγωγό μικρού μήκους και μεγάλης διάρκειας ζωής. Συνδυάζοντας, λοιπόν, τα χαρακτηριστικά «Μήκος» και «Χρόνο ζωής» ενός αγωγού, δημιουργείται ένα νέο χαρακτηριστικό που περιγράφει την ιδιότητα αυτή.

Συν τοις άλλοις, η ταυτόχρονη παρουσία ενός χαρακτηριστικού μεμονωμένα καθώς και μέσα σε ομαδοποιημένες μεταβλητές, ενδέχεται να αναβαθμίσει ή να υποβαθμίσει την διαχωριστική ισχύ της συνάρτησης, ανάλογα με τον αν «τονίζεται» η ισχύς του ή αν οι πληροφορίες που «φέρει» καθίστανται πλεονάζουσες, αντίστοιχα.

Μια άλλη σημαντική ιδιαιτερότητα των ομαδοποιημένων χαρακτηριστικών, αποτελεί το γεγονός ότι μπορούν να αποτελούν, εκτός από απλούς συνδυασμούς, και παραστάσεις οι οποίες εκφράζουν την φυσική σημασία ενός φαινομένου π.χ. ή μιας ιδιότητας. Η ικανότητα αυτή των ομαδοποιημένων μεταβλητών είναι ιδιαίτερα σημαντική δεδομένου ότι πλέον λαμβάνουμε υπόψη και την βαρύτητα φυσικών μεγεθών και παραγόντων που μπορούν να επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό, ενδεχομένως, την συμπεριφορά και την αξιοπιστία ενός αγωγού.

Η παραπάνω διαπίστωση, λαμβάνει μεγαλύτερη σημασία στην περίπτωση της χρησιμοποίησης **αδιάστατων** ομαδοποιημένων χαρακτηριστικών. Η χρήση αδιάστατων μεγεθών πλεονεκτεί κυρίως στο ότι επιτυγχάνεται η απαλοιφή των μονάδων του κάθε χαρακτηριστικού, ανεξαρτητοποιώντας ουσιαστικά την ανάλυση από τις διαστατικές διαφορές μεταξύ των μεγεθών. Επιπρόσθετα, οι αδιάστατες μεταβλητές έχουν άμεση σχέση με την ερμηνεία διαφόρων φαινομένων που μπορεί να λαμβάνουν χώρα στο πεδίο της μελέτης. Έτσι, π.χ. η επιλογή ως χαρακτηριστικού της αδιάστατης ομαδοποιημένης μεταβλητής Re (αριθμός Reynolds), συμπεριλαμβάνει στην ανάλυση την επίδραση των ροϊκών φαινομένων που λαμβάνουν χώρα στο εσωτερικό ενός αγωγού.

Συμπερασματικά, με την εισαγωγή ομαδοποιημένων μεταβλητών στο σύστημα επιτυγχάνεται η αποτελεσματικότερη και ακριβέστερη πρόβλεψη αξιοπιστίας, συνδυάζοντας παράλληλα την ανάλυση αυτή με άλλες παραμέτρους (Μηχανική των Ρευστών, Μετάδοση Θερμότητας, Δυναμική Κυμάτων κ.ά.) που ενδεχομένως έχουν άμεση επίδραση στην συμπεριφορά του συστήματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΥ ΠΑΚΕΤΟΥ MINITAB RELEASE 13

5.1 Διαχωριστική Ανάλυση (Discriminant Analysis)

Χρησιμοποιείται το στατιστικό πακέτο Minitab Release 13. Η διαχωριστική ανάλυση χρησιμοποιείται για να ταξινομή τις παρατηρήσεις σε δύο ή περισσότερες ομάδες όταν έχουμε ένα δείγμα που χωρίζεται σε γνωστές ομάδες. Η διαχωριστική ανάλυση επίσης χρησιμοποιείται για να ερευνήσει το πώς οι μεταβλητές συνεισφέρουν στον διαχωρισμό των ομάδων. Το minitab κάνει και γραμμική και τετραγωνική διαχωριστική ανάλυση. Στην γραμμική διαχωριστική ανάλυση, υποθέτουμε ότι όλες οι ομάδες έχουν τον ίδιο πίνακα συμμεταβλητότητας. Η τετραγωνική διαχωριστική ανάλυση δεν κάνει αυτή την υπόθεση αλλά οι ιδιότητες της δεν είναι καλά κατανοητές. Εμείς χρησιμοποιούμε την γραμμική διαχωριστική ανάλυση. Μία παρατήρηση ταξινομείται σε μια ομάδα εάν το τετράγωνο της απόστασης της παρατήρησης από το μέσο της ομάδας (που ονομάζεται επίσης απόσταση του Mahalanobi) είναι η ελάχιστη. Γίνεται η υπόθεση ότι οι πίνακες συμμεταβλητότητας είναι ίσοι για όλες τις ομάδες. Για κάθε παρατήρηση, η ομάδα με την μικρότερη τετραγωνική απόσταση έχει την μεγαλύτερη διαχωριστική συνάρτηση και κατόπιν η παρατήρηση ταξινομείται σε αυτή την ομάδα.

Τα αποτελέσματα που παίρνουμε από το minitab αποτελούνται από:

1. Την περίληψη του πίνακα ταξινόμησης, όπου φαίνεται η ταξινόμηση στις δύο ομάδες, στις επιτυχίες και στις αποτυχίες και επίσης τα ποσοστά της ταξινόμησης και τα διορθωμένα ποσοστά.
2. Την τετραγωνική απόσταση μεταξύ των ομάδων.
3. Τους διαχωριστές για κάθε μεταβλητή και για κάθε ομάδα.
4. Πίνακα με τις μέσες τιμές των μεταβλητών των αγωγών που απέτυχαν και επέζησαν καθώς και τις συνολικές μέσες τιμές των μεταβλητών.
5. Πίνακα με τις τυπικές αποκλίσεις των μεταβλητών των αγωγών που απέτυχαν και επέζησαν και τις συνολικές τυπικές αποκλίσεις των μεταβλητών.
6. Τους πίνακες συμμεταβλητότητας για το σύνολο των μεταβλητών καθώς και για κάθε ομάδα χωριστά.
7. Τον πίνακα των παρατηρήσεων που ταξινομήθηκαν λανθασμένα. Σ' αυτόν τον πίνακα φαίνονται οι τετραγωνικές αποστάσεις από κάθε σημείο λανθασμένα ταξινομημένο σε σχέση με το μέσον της ομάδας και φαίνονται επίσης οι πιθανότητες.

Τα αποτελέσματα του Minitab – Discriminant Analysis είναι τα παρακάτω.

Discriminant Analysis: C8 versus Length (km); Diameter (in); ...

Linear Method for Response: C8

Predictors: Length (Diameter Thicknes Op. Pres LIFE TIM DIM1 DIM2 DIM3 DIM4 DIM5 Grade
(N Product

Group	F	S
Count	59	109

Summary of Classification

Put into	....True Group....	
Group	F	S
F	58	13
S	1	96
Total N	59	109
N Correct	58	96
Proportion	0,983	0,881

N = 168 N Correct = 154 Proportion Correct = 0,917

Squared Distance Between Groups

	F	S
F	0,00000	7,10796
S	7,10796	0,00000

Linear Discriminant Function for Group

	F	S
Constant	-132,86	-140,13
Length (	-0,18	-0,20
Diameter	-0,44	-0,18
Thicknes	52,86	44,80
Op. Pres	-0,40	-0,42
LIFE TIM	0,14	0,21
DIM1	0,25	0,19
DIM2	0,12	0,14
DIM3	1,25	1,36
DIM4	3,05	2,83
DIM5	-0,75	-0,77
Grade (N	0,46	0,47
Product	1,94	2,21

Variable	Pooled Mean	Means for Group	
		F	S
Length (	50,429	71,724	38,903
Diameter	22,365	23,881	21,544
Thicknes	0,61044	0,62253	0,60390
Op. Pres	112,56	124,83	105,91
LIFE TIM	64,720	15,102	91,578
DIM1	41,830	35,610	45,197
DIM2	78,993	96,738	69,388
DIM3	30,589	27,216	32,415
DIM4	13,574	17,314	11,550
DIM5	6,2782	2,7761	8,1738
Grade (N	411,41	418,31	407,68
Product	4,5220	4,3475	4,6165

Variable	Pooled StDev	StDev for Group	
		F	S
Length (	63,87	84,94	48,93
Diameter	8,762	8,654	8,819
Thicknes	0,1658	0,1865	0,1535
Op. Pres	31,46	23,85	34,87
LIFE TIM	37,54	22,23	43,60

DIM1	24,52	12,28	29,04
DIM2	80,13	95,46	70,53
DIM3	12,92	6,83	15,22
DIM4	7,812	6,743	8,329
DIM5	11,65	5,15	13,94
Grade (N	41,33	36,54	43,69
Product	1,700	1,452	1,820

Pooled Covariance Matrix

	Length (	Diameter	Thicknes	Op. Pres	LIFE TIM	DIM1	DIM2
Length (	4078,91						
Diameter	301,86	76,77					
Thicknes	4,53	1,06	0,03				
Op. Pres	388,39	2,43	1,10	989,55			
LIFE TIM	153,44	77,48	0,22	-186,53	1409,48		
DIM1	-169,90	12,16	-0,42	-559,44	231,37	601,43	
DIM2	4735,27	206,63	3,08	447,11	50,98	-224,15	6420,57
DIM3	-201,16	-71,77	-0,09	96,35	-141,05	-54,81	-107,66
DIM4	207,43	37,07	0,24	123,70	63,52	-83,02	173,76
DIM5	436,05	49,43	0,62	69,29	198,34	-12,80	461,39
Grade (N	508,45	53,57	0,62	402,82	-320,59	-45,95	604,07
Product	-0,81	3,00	0,07	9,99	3,31	-8,14	-10,33

	DIM3	DIM4	DIM5	Grade (N	Product
DIM3	166,95				
DIM4	-52,10	61,03			
DIM5	-45,49	42,10	135,74		
Grade (N	-61,41	3,92	85,66	1708,34	
Product	-2,70	3,56	3,94	-2,67	2,89

Covariance Matrix for Group F

	Length (	Diameter	Thicknes	Op. Pres	LIFE TIM	DIM1	DIM2
Length (	7215,61						
Diameter	543,23	74,90					
Thicknes	9,00	1,36	0,03				
Op. Pres	310,45	53,45	1,25	568,59			
LIFE TIM	105,23	1,27	0,15	-79,67	494,23		
DIM1	-171,41	-29,88	-0,61	-266,70	7,52	150,87	
DIM2	7871,13	522,38	8,44	169,19	274,34	-134,78	9112,94
DIM3	-215,26	-27,90	0,03	-39,39	11,53	21,97	-210,04
DIM4	273,06	31,34	0,27	96,29	-9,51	-53,02	257,90
DIM5	209,39	19,89	0,34	7,58	69,60	-7,29	247,94
Grade (N	176,95	32,39	-0,43	311,89	-265,71	-42,12	6,55

Product -31,78 0,05 0,05 2,89 6,43 -3,82 -37,09

	DIM3	DIM4	DIM5	Grade (N	Product
DIM3	46,59				
DIM4	-30,89	45,47			
DIM5	-7,91	7,80	26,55		
Grade (N	-94,22	11,09	2,02	1334,86	
Product	2,34	-0,87	0,36	-13,97	2,11

Covariance Matrix for Group S

	Length (	Diameter	Thicknes	Op. Pres	LIFE TIM	DIM1	DIM2
Length (	2394,39						
Diameter	172,23	77,77					
Thicknes	2,12	0,91	0,02				
Op. Pres	430,25	-24,96	1,02	1215,62			
LIFE TIM	179,33	118,41	0,27	-243,92	1901,01		
DIM1	-169,09	34,73	-0,31	-716,66	351,59	843,40	
DIM2	3051,19	37,06	0,19	596,36	-68,97	-272,14	4974,66
DIM3	-193,59	-95,33	-0,15	169,24	-222,99	-96,04	-52,67
DIM4	172,19	40,15	0,23	138,43	102,74	-99,14	128,57
DIM5	557,77	65,30	0,77	102,44	267,48	-15,76	576,01
Grade (N	686,48	64,95	1,19	451,65	-350,07	-48,01	924,97
Product	15,83	4,58	0,08	13,80	1,63	-10,46	4,04

	DIM3	DIM4	DIM5	Grade (N	Product
DIM3	231,59				
DIM4	-63,48	69,38			
DIM5	-65,68	60,52	194,37		
Grade (N	-43,78	0,07	130,58	1908,91	
Product	-5,40	5,94	5,86	3,40	3,31

Summary of Misclassified Observations

Observation	True Group	Pred Group	Group	Squared Distance	Probability
47 **	F	S	F	23,63	0,001
		S	S	10,37	0,999
113 **	S	F	F	6,506	0,969
		S	S	13,419	0,031
119 **	S	F	F	18,78	0,631
		S	S	19,85	0,369
120 **	S	F	F	3,199	0,703
		S	S	4,926	0,297

122 **	S	F	F	19,14	0,798
			S	21,89	0,202
129 **	S	F	F	3,753	0,553
			S	4,181	0,447
134 **	S	F	F	14,67	0,775
			S	17,14	0,225
137 **	S	F	F	8,239	0,791
			S	10,904	0,209
139 **	S	F	F	6,336	0,538
			S	6,643	0,462
141 **	S	F	F	3,819	0,586
			S	4,515	0,414
148 **	S	F	F	2,278	0,735
			S	4,313	0,265
150 **	S	F	F	10,77	0,892
			S	15,00	0,108
158 **	S	F	F	39,94	0,641
			S	41,10	0,359
163 **	S	F	F	6,450	0,765
			S	8,811	0,235

5.2 Ανάλυση Διασποράς (Analysis of Variance – ANOVA)

Η ανάλυση διασποράς είναι ανάλογη της παλινδρόμησης και εξετάζει την σχέση της μεταβλητής απόκρισης (response variable) με άλλες ανεξάρτητες μεταβλητές. Η διαφορά της με την παλινδρόμηση έγκειται στο γεγονός ότι οι ανεξάρτητες μεταβλητές είναι όλες ποιοτικές. Στην πραγματικότητα, η ανάλυση διασποράς εξετάζει τις μέσες τιμές δύο ή περισσότερων πληθυσμών έχοντας σαν μηδενική υπόθεση την ισότητα όλων των μέσων τιμών και ως εναλλακτική ότι όλες οι μέσες τιμές δεν είναι ίσες.

Εμείς χρησιμοποιούμε την πολυμεταβλητή ανάλυση διασποράς (Multivariate Analysis of Variance - MANOVA). Το minitab αυτόματα κάνει τέσσερις ελέγχους πολυμεταβλητών (multivariate) – Wilk's, Lawley-Hotelling, Pillai, Roy. Και οι τέσσερις έλεγχοι βασίζονται σε δύο SSCP (sums of squares and cross products) πίνακες: H, ο πίνακας υπόθεσης και E, ο πίνακας σφάλματος.

Το minitab δείχνει έναν πίνακα τεσσάρων ελέγχων πολυμεταβλητών για κάθε όρο του μοντέλου. Οι τιμές s, m και n χρησιμοποιούνται στους υπολογισμούς των F – στατιστικών για τους ελέγχους Wilk, Lawley-Hotelling και Pillai. Η στατιστική F είναι ακριβής αν s=1 ή 2, διαφορετικά μας δίνει αποτελέσματα όχι απόλυτης ακρίβειας.

Επίσης παρουσιάζονται και πίνακες SSCP και SSCP για το σφάλμα, καθώς και μια ανάλυση Eigen. Αν εξετάσει κανείς τις τιμές p για τις στατιστικές Wilk, Lawley-Hotelling, Pillai μπορεί να κρίνει εάν οι τιμές των στατιστικών ισχύουν για το μοντέλο. Χαμηλές τιμές του p υποδεικνύουν ότι η διαφορά στις μέσες τιμές είναι στατιστικά σημαντική.

Μπορεί κανείς να χρησιμοποιήσει την ανάλυση eigen για να εξακριβώσει αν οι μέσες τιμές της μεταβλητής απόκρισης παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές σε σχέση με τις μέσες τιμές των άλλων μεταβλητών. Μπορεί κανείς να διακρίνει τις πιο υψηλές τιμές eigenvalues που δηλώνουν μεγάλες διαφορές στις μέσες τιμές. Για το σενάριο 1 η τιμή του thickness είναι απόλυτα μεγαλύτερη και αυτό σημαίνει ότι η μέση τιμή του thickness έχει τις μεγαλύτερες διαφορές μεταξύ των μέσων τιμών των υπόλοιπων μεταβλητών.

Τα αποτελέσματα του minitab είναι τα εξής.

ANOVA: Length (km); Diameter (in); ... versus C8

MANOVA for C8 s = 1 m = 5,0 n = 76,5

Criterion	Test Statistic	F	DF	P
Wilk's	0,37892	21,172	(12; 155)	0,000
Lawley-Hotelling	1,63910	21,172	(12; 155)	0,000
Pillai's	0,62108	21,172	(12; 155)	0,000
Roy's	1,63910			

SSCP Matrix for C8

	Length (	Diameter	Thicknes	Grade (N	Op. Pres	Product
Length (	41236	2937	23,40	13356	23769	-338,0
Diameter	2937	209	1,67	951	1693	-24,1
Thicknes	23	2	0,01	8	13	-0,2
Grade (N	13356	951	7,58	4326	7699	-109,5
Op. Pres	23769	1693	13,49	7699	13701	-194,9
Product	-338	-24	-0,19	-109	-195	2,8
LIFE TIM	-96083	-6842	-54,53	-31121	-55384	787,7
DIM1	-12044	-858	-6,84	-3901	-6942	98,7
DIM2	34363	2447	19,50	11130	19807	-281,7
DIM3	-6533	-465	-3,71	-2116	-3766	53,6
DIM4	7241	516	4,11	2345	4174	-59,4
DIM5	-6782	-483	-3,85	-2197	-3909	55,6

	LIFE TIM	DIM1	DIM2	DIM3	DIM4	DIM5
Length (	-96083	-12044	34363	-6533	7241	-6782
Diameter	-6842	-858	2447	-465	516	-483
Thicknes	-55	-7	20	-4	4	-4
Grade (N	-31121	-3901	11130	-2116	2345	-2197
Op. Pres	-55384	-6942	19807	-3766	4174	-3909
Product	788	99	-282	54	-59	56
LIFE TIM	223884	28064	-80069	15222	-16872	15802
DIM1	28064	3518	-10037	1908	-2115	1981
DIM2	-80069	-10037	28636	-5444	6034	-5651
DIM3	15222	1908	-5444	1035	-1147	1074
DIM4	-16872	-2115	6034	-1147	1271	-1191
DIM5	15802	1981	-5651	1074	-1191	1115

SSCP Matrix for Error

	Length (	Diameter	Thicknes	Grade (N	Op. Pres	Product
Length (	677100	50108	751,40	84402	64473	-134
Diameter	50108	12744	176,76	8893	404	498
Thicknes	751	177	4,56	103	183	11
Grade (N	84402	8893	103,23	283584	66868	-443
Op. Pres	64473	404	182,79	66868	164266	1658
Product	-134	498	10,95	-443	1658	480
LIFE TIM	25471	12862	37,19	-53219	-30964	549
DIM1	-28203	2018	-69,51	-7628	-92868	-1352
DIM2	786054	34300	510,56	100276	74220	-1715
DIM3	-33393	-11914	-14,93	-10193	15993	-448
DIM4	34434	6154	40,61	651	20535	591
DIM5	72384	8206	102,54	14220	11503	653

	LIFE TIM	DIM1	DIM2	DIM3	DIM4	DIM5
Length (	25471	-28203	786054	-33393	34434	72384
Diameter	12862	2018	34300	-11914	6154	8206
Thicknes	37	-70	511	-15	41	103
Grade (N	-53219	-7628	100276	-10193	651	14220
Op. Pres	-30964	-92868	74220	15993	20535	11503
Product	549	-1352	-1715	-448	591	653
LIFE TIM	233974	38408	8463	-23414	10545	32924
DIM1	38408	99837	-37209	-9098	-13782	-2125
DIM2	8463	-37209	1065814	-17871	28844	76590
DIM3	-23414	-9098	-17871	27714	-8648	-7552
DIM4	10545	-13782	28844	-8648	10130	6989
DIM5	32924	-2125	76590	-7552	6989	22532

Partial Correlations for the Error SSCP Matrix

Length (	Diameter	Thicknes	Grade (N	Op. Pres	Product	
Length (	1,00000	0,53943	0,42749	0,19261	0,19332	-0,00742
Diameter	0,53943	1,00000	0,73302	0,14794	0,00883	0,20136
Thicknes	0,42749	0,73302	1,00000	0,09075	0,21113	0,23403
Grade (N	0,19261	0,14794	0,09075	1,00000	0,30982	-0,03798
Op. Pres	0,19332	0,00883	0,21113	0,30982	1,00000	0,18675
Product	-0,00742	0,20136	0,23403	-0,03798	0,18675	1,00000
LIFE TIM	0,06399	0,23554	0,03599	-0,20660	-0,15794	0,05178
DIM1	-0,10847	0,05657	-0,10298	-0,04533	-0,72518	-0,19528
DIM2	0,92531	0,29431	0,23152	0,18240	0,17738	-0,07582
DIM3	-0,24377	-0,63395	-0,04198	-0,11498	0,23704	-0,12288
DIM4	0,41577	0,54166	0,18888	0,01214	0,50340	0,26818
DIM5	0,58602	0,48425	0,31980	0,17790	0,18907	0,19869

LIFE TIM	DIM1	DIM2	DIM3	DIM4	DIM5	
Length (	0,06399	-0,10847	0,92531	-0,24377	0,41577	0,58602
Diameter	0,23554	0,05657	0,29431	-0,63395	0,54166	0,48425
Thicknes	0,03599	-0,10298	0,23152	-0,04198	0,18888	0,31980
Grade (N	-0,20660	-0,04533	0,18240	-0,11498	0,01214	0,17790
Op. Pres	-0,15794	-0,72518	0,17738	0,23704	0,50340	0,18907
Product	0,05178	-0,19528	-0,07582	-0,12288	0,26818	0,19869
LIFE TIM	1,00000	0,25130	0,01695	-0,29077	0,21659	0,45345
DIM1	0,25130	1,00000	-0,11407	-0,17296	-0,43337	-0,04481
DIM2	0,01695	-0,11407	1,00000	-0,10398	0,27759	0,49423
DIM3	-0,29077	-0,17296	-0,10398	1,00000	-0,51613	-0,30221
DIM4	0,21659	-0,43337	0,27759	-0,51613	1,00000	0,46260
DIM5	0,45345	-0,04481	0,49423	-0,30221	0,46260	1,00000

EIGEN Analysis for C8

Eigenvalue	1,639	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
Proportion	1,000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
Cumulative	1,000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000

Eigenvector	1	2	3	4	5	6
Length (	-0,0006	0,0013	-0,0037	-0,0004	0,0002	-0,0010
Diameter	0,0076	0,0016	0,0168	0,0050	0,0028	0,0047
Thicknes	-0,2347	-0,1467	-0,3369	-0,0007	-0,4239	-0,1072
Grade (N	0,0004	0,0001	-0,0007	0,0018	0,0004	-0,0001
Op. Pres	-0,0005	0,0012	0,0029	-0,0009	-0,0005	0,0006
Product	0,0077	0,0014	0,0004	0,0031	-0,0228	-0,0025
LIFE TIM	0,0022	0,0012	0,0000	-0,0001	0,0001	-0,0001
DIM1	-0,0016	-0,0026	0,0018	-0,0000	0,0001	-0,0006

DIM2	0,0004	-0,0004	0,0027	0,0002	-0,0000	-0,0003
DIM3	0,0034	-0,0044	0,0016	0,0016	0,0003	-0,0020
DIM4	-0,0064	-0,0077	-0,0036	-0,0006	0,0010	-0,0014
DIM5	-0,0004	-0,0050	-0,0025	0,0000	0,0000	0,0000
Eigenvalue	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
Proportion	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
Cumulative	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
Eigenvector	7	8	9	10	11	12
Length (	-0,00008	0,00120	-0,00044	0,0006	0,0022	0,0011
Diameter	-0,01485	-0,01278	0,00447	0,0217	0,0030	0,0176
Thicknes	0,64726	0,36078	0,22417	-0,8138	-0,1913	-0,7948
Grade (N	0,00032	0,00022	-0,00067	0,0000	0,0002	-0,0018
Op. Pres	0,00052	0,00167	-0,00050	0,0004	0,0004	0,0050
Product	-0,03029	-0,00691	-0,02894	-0,0097	0,0124	0,0042
LIFE TIM	0,00016	0,00067	0,00003	-0,0001	0,0008	-0,0006
DIM1	-0,00014	0,00301	-0,00030	-0,0011	0,0016	0,0008
DIM2	-0,00010	-0,00096	0,00018	-0,0008	-0,0012	-0,0008
DIM3	-0,00327	-0,00325	-0,00120	0,0105	0,0033	-0,0028
DIM4	0,00005	0,00699	-0,00047	-0,0004	-0,0002	-0,0257
DIM5	-0,00000	0,00052	0,00003	0,0010	-0,0081	0,0035

5.3 Διαδική Λογιστική Παλινδρόμηση (Binary Logistic Regression)

Τα αποτελέσματα αυτής της εφαρμογής αποτελούνται από τα παρακάτω μέρη:

A. Γενικές πληροφορίες. Αποτελούνται από τον αριθμό των παρατηρήσεων που αντιστοιχούν σε κάθε μια από τις κατηγορίες των δεδομένων. Στην περίπτωση μας οι επιτυχίες είναι 109 ενώ οι αποτυχίες είναι 59.

B. Πίνακας λογιστικής παλινδρόμησης. Στον πίνακα αυτό μπορεί κανείς να δει τους εκτιμώμενους συντελεστές (εκτιμώμενες παραμέτρους), τα τυπικά σφάλματα, τις τιμές του Z και τις τιμές του p. Επίσης μπορούμε να δούμε τον λόγο των συμπληρωματικών πιθανοτήτων (odds ratio) και το 95% διάστημα εμπιστοσύνης για τον λόγο των συμπληρωματικών πιθανοτήτων. Από τα αποτελέσματα μπορεί να δει κανείς ότι η διάμετρος, ο χρόνος ζωής και η μεταβλητή DIM4 έχουν τιμές του p μικρότερες από 0,05, δείχνοντας ότι υπάρχει σημαντική απόδειξη ότι οι παράμετροι αυτοί δεν είναι μηδέν χρησιμοποιώντας ένα επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=0,05$. Ο συντελεστής (coefficient) της κάθε μεταβλητής αντιπροσωπεύει την εκτιμώμενη

αλλαγή στον λόγο $\log[P(\text{success})/P(\text{failure})]$ όταν η μεταβλητή αυξάνει κατά μία μονάδα και οι υπόλοιπες μεταβλητές μένουν σταθερές.

Γ. Στην συνέχεια υπολογίζονται η log πιθανοφάνεια (log-likelihood) μαζί με την στατιστική τιμή G. Αυτή η στατιστική ελέγχει την μηδενική υπόθεση ότι όλοι οι συντελεστές που σχετίζονται με τους προβλεπτές είναι ίσοι με μηδέν εναντίον αυτών των συντελεστών που δεν είναι όλοι ίσοι με μηδέν.

Δ. Έλεγχοι καλής προσαρμογής. Υπολογίζονται οι έλεγχοι καλής εφαρμογής Pearson, Deviance, Hosmer – Lemeshow. Τιμές του p μικρότερες από το επίπεδο σημαντικότητας α δείχνουν ότι απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση μιας καλής προσαρμογής.

Ε. Πίνακας παρατηρηθέντων και αναμενόμενων συχνοτήτων. Αυτός ο πίνακας μας δίνει τη δυνατότητα να δούμε πόσο καλά ταιριάζει το μοντέλο στα δεδομένα παρατηρώντας τις συχνότητες που παρατηρήθηκαν και αυτές που ήταν αναμενόμενες.

ΣΤ. Μετρήσεις συσχέτισης (measures of association). Αυτές παρουσιάζονται σε έναν πίνακα που δείχνει τον αριθμό και το ποσοστό των σύμφωνων, ασύμφωνων και συνδεδεμένων ζευγαριών, όπως και κοινές στατιστικές συσχέτισης. Αυτές οι τιμές μετρούν την σχέση μεταξύ των παρατηρηθέντων απαντήσεων και των προβλεπόμενων πιθανοτήτων. Οι τιμές των Somer's D, Goodman-Kruskal gamma, Kendall's Tau-a είναι περιλήψεις του πίνακα των σύμφωνων και ασύμφωνων ζευγαριών. Αυτές οι τιμές συνήθως κυμαίνονται μεταξύ του 0 και του 1 και οι μεγαλύτερες τιμές δείχνουν ότι το μοντέλο έχει καλύτερη προβλεπτική ικανότητα.

Τα αποτελέσματα που δίνει το minitab είναι τα παρακάτω.

Binary Logistic Regression: C8 versus Length (km); Diameter (in); ...

Link Function: Logit

Response Information

Variable	Value	Count
C8	S	109 (Event)
	F	59
	Total	168

Logistic Regression Table

Predictor	Coef	SE Coef	Z	P	Odds 95% CI		
					Ratio	Lower	Upper
Constant	-4,394	7,293	-0,60	0,547			
Length (	-0,05502	0,02834	-1,94	0,052	0,95	0,90	1,00
Diameter	0,5795	0,2772	2,09	0,037	1,79	1,04	3,07
Thicknes	-14,507	9,282	-1,56	0,118	0,00	0,00	39,89
Op. Pres	0,00954	0,03598	0,27	0,791	1,01	0,94	1,08
LIFE TIM	0,09201	0,01733	5,31	0,000	1,10	1,06	1,13
DIM1	-0,07358	0,05696	-1,29	0,196	0,93	0,83	1,04
DIM2	0,03181	0,01789	1,78	0,075	1,03	1,00	1,07
DIM3	0,1412	0,1004	1,41	0,160	1,15	0,95	1,40
DIM4	-0,3739	0,1552	-2,41	0,016	0,69	0,51	0,93

Log-Likelihood = -29,923

Test that all slopes are zero: G = 157,943; DF = 9; P-Value = 0,000

Goodness-of-Fit Tests

Method	Chi-Square	DF	P
Pearson	18148,623	144	0,000
Deviance	59,846	144	1,000
Hosmer-Lemeshow	264,951	8	0,000

Table of Observed and Expected Frequencies:

(See Hosmer-Lemeshow Test for the Pearson Chi-Square Statistic)

Value	Group										Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
S											
Obs	0	1	0	9	16	16	17	17	16	17	109
Exp	0,1	0,6	2,3	8,2	14,5	15,5	16,9	17,0	17,0	17,0	17,0
F											
Obs	16	16	18	7	1	0	0	0	1	0	59
Exp	15,9	16,4	15,7	7,8	2,5	0,5	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Total	16	17	18	16	17	16	17	17	17	17	168

Measures of Association:

(Between the Response Variable and Predicted Probabilities)

Pairs	Number	Percent	Summary	Measures
Concordant	6262	97,4%	Somers' D	0,95
Discordant	152	2,4%	Goodman-Kruskal Gamma	0,95

Ties	17	0,3%	Kendall's Tau-a	0,44
Total	6431	100,0%		

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΜΕΛΕΤΗ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΑΓΩΓΩΝ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ ΤΗΣ ΒΟΡΕΙΟΥ ΘΑΛΑΣΣΑΣ

6.1 Γενικά

Σκοπός των κεφαλαίων που ακολουθούν είναι η μελέτη της αξιοπιστίας των υποθαλάσσιων αγωγών πετρελαίου που είναι εγκατεστημένοι στην Βόρεια Θάλασσα. Για τον σκοπό αυτό, γίνεται χρήση των πολυμεταβλητών στατιστικών τεχνικών της διαχωριστικής ανάλυσης και της ταξινόμησης. Οι βασικές αρχές των δύο αυτών τεχνικών αναπτύχθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια.

Η ανάλυση ξεκινά με την μελέτη των δεδομένων των αγωγών και τον διαχωρισμό τους σε δύο ομάδες: των επιτυχιών και των αποτυχιών. Στην ομάδα των επιτυχιών περιλαμβάνονται εκείνοι οι αγωγοί οι οποίοι καθ' όλη την διάρκεια της συλλογής των δεδομένων δεν παρουσίασαν καμία βλάβη. Αντίστοιχα στην ομάδα των αποτυχιών περιλαμβάνονται όλοι εκείνοι οι αγωγοί οι οποίοι παρουσίασαν τουλάχιστον μία φορά βλάβη, είτε πριν είτε μετά την τοποθέτηση και λειτουργία τους.

Εν συνεχεία, γίνεται η επιλογή εκείνων των χαρακτηριστικών των αγωγών (ή ενδεχομένως και άλλων παραμέτρων που μπορεί να απαιτούνται), που θα χρησιμοποιηθούν στην ανάλυση. Αντικειμενικός σκοπός η επιλογή πλέον εκείνων των χαρακτηριστικών τα οποία θα παρουσιάζουν την μεγαλύτερη διαχωριστική ισχύ και θα παρέχουν

εκείνη την διαχωριστική συνάρτηση που θα περιγράψει με τον βέλτιστο μαθηματικό τρόπο την συμπεριφορά των αγωγών.

Η οργάνωση για την επιλογή των χαρακτηριστικών αυτών γίνεται με την δημιουργία διαφόρων σεναρίων, τα οποία περιλαμβάνουν διαφορετικούς συνδυασμούς χαρακτηριστικών. Κάθε ένα από τα σενάρια αυτά αναλύεται χωριστά έτσι ώστε τελικά να παρουσιάζεται μια γενική συγκριτική εικόνα αυτών.

Τέλος, με τον συνδυασμό των δύο τεχνικών της διαχωριστικής ανάλυσης και της ταξινόμησης, γίνεται η εκτίμηση της πιθανότητας ενός αγωγού, εκ των προτέρων, να ανήκει στην ομάδα των επιτυχιών ή των αποτυχιών, απλώς έχοντας μετρήσει τα χαρακτηριστικά του αγωγού τα οποία έχουν προεπιλεγεί.

Βασική ιδιαιτερότητα στην ανάλυση που ακολουθεί αποτελεί η εισαγωγή ομαδοποιημένων χαρακτηριστικών, πέρα των απλών μεταβλητών. Οι τιμές των χαρακτηριστικών αυτών δεν παρέχονται αυτούσιες από τα δεδομένα, αλλά αποτελούν συνδυασμούς άλλων χαρακτηριστικών.

Σημειώνεται ότι τα στοιχεία των αγωγών πετρελαίου για την περιοχή της Βορείου Θάλασσας, παραχωρήθηκαν από την εταιρία Battelle της Ελβετίας για εκπαιδευτικούς σκοπούς και για τον λόγο αυτό δεν δημοσιεύονται.

6.2 Γενική παρουσίαση σεναρίων

Στο σημείο αυτό, γίνεται μια σύντομη περιγραφή της δομής των διαφόρων σεναρίων, όπως αυτά παρουσιάζονται στις επόμενες ενότητες μαζί με τους πίνακες.

Αρχικά, αφού επιλεγούν τα χαρακτηριστικά - μεταβλητές τα οποία θα επεξεργαστούν σε κάθε περίπτωση, δημιουργούνται οι βάσεις δεδομένων των επιτυχιών και των αποτυχιών.

Καταρχήν παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέρχονται από την διαχωριστική ανάλυση των δεδομένων με την χρήση του προγράμματος Minitab Release 13. Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέρχονται από την ανάλυση διασποράς και την δυαδική λογιστική παλινδρόμηση, πάντα με την χρήση του Minitab.

Κατόπιν κατασκευάζονται πίνακες για κάθε σενάριο με τα αποτελέσματα των παραπάνω αναλύσεων και χρησιμοποιώντας την σχέση (2.8) εξάγουμε συμπεράσματα όσον αφορά την ευστάθεια, την αστάθεια και την βαρύτητα και διαχωριστική ισχύ των χαρακτηριστικών του σεναρίου. Επίσης για κάθε χαρακτηριστικό εμφανίζονται οι συντελεστές της διαχωριστικής συνάρτησης U_i (συμπεριλαμβανομένων και εκείνων των συντελεστών για τις επιτυχίες και τις αποτυχίες), και οι κανονικοποιημένοι συντελε-

στές S_i . Με βάση τα στοιχεία αυτά, υπολογίζεται η τιμή της διαχωριστικής μεταβλητής Z_m , η οποία προκύπτει από την ακόλουθη γραμμική διαχωριστική συνάρτηση:

$$Z_m = U_0 + U_1 X_{1m} + U_2 X_{2m} + \dots + U_i X_{im}$$

Στην συνέχεια κατασκευάζεται ένας συγκεντρωτικός πίνακας για το σύνολο των σεναρίων, στον οποίο φαίνονται τα χαρακτηριστικά με την μεγαλύτερη διαχωριστική ισχύ και βαρύτητα, με την μικρότερη διαχωριστική ισχύ, και τα ασταθή χαρακτηριστικά. Επίσης, παρουσιάζονται τα ποσοστά σωστής ταξινόμησης για τις επιτυχίες EF_s , για τις αποτυχίες EF_f και για το σύνολο EF_t . Παρουσιάζονται ακόμη το Λ του Wilk, το F του Rao, καθώς και οι πραγματικές επιτυχίες και αποτυχίες. Όταν η τιμή του Wilk's Λ προσεγγίζει το μηδέν, ο διαχωρισμός ανάμεσα στις δύο ομάδες είναι αρκετά καλός. Επίσης από την δυαδική λογιστική παλινδρόμηση (τιμές των Somer's D , Goodman-Kruskal γ) μπορούμε να πούμε αν το μοντέλο έχει καλή προβλεπτική ικανότητα.

6.3 Σενάρια μελέτης αξιοπιστίας των αγωγών της βορείου θάλασσας

Όλες οι πληροφορίες που διατίθενται για την περαιτέρω μελέτη, δομούνται σε δύο κύριες βάσεις δεδομένων, τα inventory files (αρχεία απογραφής) και τα incident files (αρχεία γεγονότων). Τα δεδομένα χρονολογούνται από τις αρχές του έτους 1967 μέχρι περίπου τα τέλη του 1986. Στην πρώτη κατηγορία συμπεριλαμβάνονται τα ακόλουθα στοιχεία για όλους τους αγωγούς:

1. Ένας κωδικός αριθμός μητρώου για κάθε αγωγό,
2. Την χώρα στην οποία καταλήγει ο αγωγός,
3. Η περιοχή από την οποία ξεκινά ο αγωγός,
4. Η διαδρομή που ακολουθεί ο αγωγός,
5. Η ιδιοκτήτρια εταιρία του αγωγού,
6. Το προϊόν που μεταφέρει ο αγωγός (πετρέλαιο, φυσικό αέριο κλπ.),
7. Η ημερομηνία εγκατάστασης του αγωγού,
8. Το μήκος του αγωγού (χιλιόμετρα),
9. Η διάμετρος του αγωγού (inches),
10. Το πάχος του τοιχώματος του αγωγού (inches),
11. Το υλικό κατασκευής του αγωγού,
12. Το χρησιμοποιούμενο αντιδιαβρωτικό και αντιοξειδωτικό υλικό,
13. Την χρησιμοποιούμενη καθοδική προστασία,

14. Το είδος επικάλυψης του αγωγού,
15. Το πάχος της επικάλυψης του αγωγού,
16. Η πίεση λειτουργίας του αγωγού (bar),
17. Πόσες φορές έχει αποτύχει ο αγωγός,
18. Οι ημερομηνίες τις οποίες παρουσιάστηκαν οι αποτυχίες.

Στην δεύτερη κατηγορία, περιλαμβάνονται οι ακόλουθες πληροφορίες για τους αγωγούς που αστόχησαν:

1. Ο κωδικός αριθμός του καταλόγου συμβάντων,
2. Ο κωδικός αριθμός του αγωγού, του μητρώου απογραφών,
3. Η διαδρομή του αγωγού,
4. Η ημερομηνία εγκατάστασης του αγωγού,
5. Η ημερομηνία όπου έλαβε χώρα η αποτυχία,
6. Η κατάσταση λειτουργίας όταν συνέβη η αποτυχία (hydrotest, εγκατάσταση, λειτουργία κλπ.),
7. Η τοποθεσία όπου συνέβη η αστοχία,
8. Το βάθος του σημείου όπου παρουσιάστηκε η βλάβη (μέτρα),
9. Το γεγονός της αποτυχίας του αγωγού,
10. Το αίτιο της αποτυχίας του αγωγού,
11. Η μέθοδος επισκευής του αγωγού.

Για την συγκεκριμένη ανάλυση, λήφθηκαν υπόψη τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

Χαρακτηριστικό	Μονάδες
Μήκος αγωγού	(Km)
Διάμετρος του αγωγού	(inches)
Πάχος του τοιχώματος	(inches)
Πίεση λειτουργίας	(bar)
Υλικό κατασκευής-όριο διαρροής	(N/mm ²)

Χρόνος Ζωής	(months)
-------------	----------

Επίσης, δημιουργήθηκαν οι ακόλουθες ομαδοποιημένες μεταβλητές, από τις οποίες οι τέσσερις (4) είναι αδιάστατες:

Μεταβλητή	Τύπος	Μονάδες
DIM1	$(Grade) / 0,1 \cdot (Pressure)$	[-]
DIM2	$(Length) / 2,54 \cdot (Diameter) \times 100$	[-]
DIM3	$(Thickness) / (Diameter) \times 1000$	[-]
DIM4	$\frac{\sigma_L \cdot \sigma_E \cdot 0,1^2}{(Grade)^2} \times 100$	[-]
DIM5	$\frac{2,54 \cdot 10^{-2} \pi}{10^3} (Diameter)(Length)(Life-time)$	[m ² months]

- ➔ Η μεταβλητή DIM1 αποτελεί ουσιαστικά έναν συντελεστή ασφαλείας λειτουργίας του αγωγού, όσον αφορά την πίεση λειτουργίας του σε σχέση με την τάση διαρροής του υλικού.
- ➔ Η μεταβλητή DIM2 εκφράζει τον αδιάστατο λόγο του μήκους του αγωγού ως προς την διάμετρό του. Η μεταβλητή αυτή παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, δεδομένου ότι συνδυάζει δύο χαρακτηριστικά τα οποία συνδυαστικά επηρεάζουν σαφώς την αξιοπιστία του αγωγού. Έτσι, π.χ. ένας αγωγός μεγάλου μήκους θα πρέπει να έχει μεγαλύτερη διάμετρο από έναν αγωγό μικρότερου μήκους, βάσει της απλής πρακτικής. Λόγω των μεγάλων μεγεθών που προκύπτουν, οι τελικές τιμές έχουν διαιρεθεί με το 1000.
- ➔ Η μεταβλητή DIM3 εισάγει τον αδιάστατο λόγο του πάχους των τοιχωμάτων του αγωγού και της διαμέτρου του. Λόγω των μικρών μεγεθών που προκύπτουν, οι τελικές τιμές έχουν πολλαπλασιασθεί με το 1000.

➔ Η μεταβλητή DIM4 αποτελεί ουσιαστικά έναν συνδυασμό τριών παραμέτρων:

➔ της τάσης διαρροής του υλικού του αγωγού (Grade),

➔ της εφελκυστικής τάσης κατά μήκος του σωλήνα $\sigma_L = \frac{P \cdot D}{4T}$,

➔ και της εφραπτομενικής τάσης $\sigma_E = \frac{P \cdot D}{2T}$.

Λόγω των μικρών μεγεθών που προκύπτουν, οι τελικές τιμές έχουν πολλαπλασιασθεί με το 100.

➔ Η μεταβλητή DIM5 εκφράζει τον λόγο της επιφάνειας του αγωγού επί τον χρόνο ζωής του.

Σε προηγούμενη μελέτη (Στουρμ 1997) δεν συμπεριλήφθηκαν τα χαρακτηριστικά Grade και Product λόγω του περιορισμού του προγράμματος του H/Y στον αριθμό των χρησιμοποιούμενων χαρακτηριστικών σε δέκα (10). Τα αρχικά σενάρια δεν συμπεριλαμβάνουν αυτά τα χαρακτηριστικά, συμπεριλαμβάνονται όμως στην συνέχεια και τα δύο μαζί και μετά το καθένα χωριστά, για να δούμε ακριβώς την επίδρασή τους στο κάθε σενάριο.

Σημειώνεται ότι υπήρξαν περιπτώσεις αγωγών οι οποίοι αστόχησαν περισσότερες από μία φορές. Κάθε επιπρόσθετη αποτυχία προσμετρήθηκε στην ομάδα των αποτυχιών κανονικά. Επίσης, αγωγοί οι οποίοι αστόχησαν πριν ή κατά την διάρκεια της εγκατάστασης, θεωρούνται ως αποτυχόντες και συγκαταλέγονται στην ομάδα των αποτυχιών, με μηδενικό όμως χρόνο ζωής.

Τέλος, αναφέρεται ότι το αρχείο απογραφής (inventory file) περιλαμβάνει συνολικά 138 αγωγούς από τους οποίους οι 29 αστόχησαν, σημειώνοντας 59 αποτυχίες, και οι υπόλοιποι 109 δεν παρουσίασαν καμία βλάβη.

6.4 Λεπτομερειακή ανάλυση σεναρίων

Στις ακόλουθες παραγράφους, παρουσιάζεται λεπτομερειακά η ανάλυση της αξιοπιστίας των αγωγών πετρελαίου στην Βόρεια Θάλασσα, βάσει των τεχνικών της διαχωριστικής ανάλυσης και της ταξινόμησης. Η πρακτική μελέτη της αξιοπιστίας, περιλαμβάνει την παρουσίαση και ανάλυση 22 σεναρίων τα οποία αποτελούνται από συνδυασμούς 10, 11, και 12 διαφορετικών μεταβλητών, ομαδοποιημένων και μη.

Τα βήματα που ακολουθούνται σε κάθε περίπτωση είναι αυτά που ακριβώς περιγράφηκαν στην παράγραφο 6.2. Απώτερος σκοπός της διερεύνησης αυτής, η αναζή-

τηση εκείνου του σεναρίου που στο σύνολό του εμφανίζει τις βέλτιστες στατιστικές παραμέτρους που μελετούμε και την μεγαλύτερη ικανότητα διαχωρισμού των δύο ομάδων, ώστε η πρόβλεψη ταξινόμησης ενός νέου αγωγού να γίνεται με την μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια. Στον ακόλουθο πίνακα, παρουσιάζονται όλα τα αρχικά σενάρια συνολικά, και τα χαρακτηριστικά που περιλαμβάνονται σε κάθε περίπτωση.

Σενάριο	Χαρακτηριστικά					
1	Length	Diameter	Thickness	Pressure	Life-time	
	DIM1	DIM2	DIM3	DIM4	DIM5	
2	Length	Diameter	Thickness	Pressure	Life-time	
3	Length	Diameter	Thickness	Pressure	Life-time	DIM1
4	Length	Diameter	Thickness	Pressure	Life-time	DIM2
5	Length	Diameter	Thickness	Pressure	Life-time	DIM3
6	Length	Diameter	Thickness	Pressure	Life-time	DIM4
7	Length	Diameter	Thickness	Pressure	Life-time	DIM5
8	Length	Diameter	Thickness	Pressure	Life-time	
	DIM2	DIM3	DIM4	DIM5		
9	Length	Diameter	Thickness	Pressure	Life-time	
	DIM1	DIM3	DIM4	DIM5		
10	Length	Diameter	Thickness	Pressure	Life-time	
	DIM1	DIM2	DIM4	DIM5		
11	Length	Diameter	Thickness	Pressure	Life-time	
	DIM1	DIM2	DIM3	DIM5		
12	Length	Diameter	Thickness	Pressure	Life-time	
	DIM1	DIM2	DIM3	DIM4		
13	DIM1	DIM2	DIM3	DIM4	DIM5	



14	Length	Thickness	Life-time	DIM2	DIM5	
15	Diameter	Pressure	DIM1	DIM3	DIM4	
16	Length	DIM1	DIM2	DIM3	DIM4	DIM5
17	Diameter	DIM1	DIM2	DIM3	DIM4	DIM5
18	Thickness	DIM1	DIM2	DIM3	DIM4	DIM5
19	Pressure	DIM1	DIM2	DIM3	DIM4	DIM5
20	Life-time	DIM1	DIM2	DIM3	DIM4	DIM5
21	Thickness	Life-time	DIM1	DIM2		
22	Length	Pressure	Life-time	DIM3		

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

7.1 Σενάριο 1°

Στο πρώτο σενάριο, περιλαμβάνονται όλα τα χαρακτηριστικά, συμπεριλαμβανομένων και των ομαδοποιημένων:

Length	DIM1
Diameter	DIM2
Thickness	DIM3
Pressure	DIM4
Life-time	DIM5

- Στον πίνακα 1.1 παρατίθενται όλα τα δεδομένα που μας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα και διαχωριστική ισχύ είναι η διάμετρος (diameter) ενώ με την μικρότερη βαρύτητα και διαχωριστική ισχύ είναι η πίεση (pressure). Επίσης όλα τα χαρακτηριστικά παρουσίασαν ευστάθεια, εκτός των length, thickness, lifetime, DIM3, DIM4 τα οποία είναι ασταθή.
- Τα επιμέρους όσο και το συνολικό ποσοστό ταξινόμησης είναι αρκετά υψηλά: $EF_f=98,3\%$, $EF_s=88,1\%$, $EF_t=91,7\%$. Η τιμή του Rao's $F=24,759$ και η τιμή

του Wilk's $\Lambda=0,38805$, η οποία είναι αρκετά χαμηλή και υποδηλώνει τον καλό διαχωρισμό που επιτυγχάνεται. Η προβλεπτική ικανότητα του μοντέλου είναι καλή.

- Όταν κάνουμε διαχωριστική συνάρτηση και συμπεριλάβουμε τις μεταβλητές grade και product, τότε το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα γίνεται το lifetime, ενώ με την μικρότερη το product. Επίσης αστάθεια παρουσιάζουν τώρα εκτός από αυτά που παρουσίαζαν και πριν τα pressure, product. Τα ποσοστά ταξινόμησης παραμένουν τα ίδια, ενώ η τιμή του Rao's $F=21,172$ και η τιμή του Wilk's $\Lambda=0,37892$, η οποία είναι μικρότερη από πριν και δείχνει ότι γίνεται καλύτερος διαχωρισμός.
- Όταν κάνουμε διαχωριστική ανάλυση και συμπεριλάβουμε μόνο την μεταβλητή grade, τότε το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα γίνεται ο χρόνος ζωής (lifetime) και με την μικρότερη διαχωριστική ισχύ το DIM5. Αστάθεια παρουσιάζουν τα diameter, DIM1, DIM2, DIM5, grade. Τα ποσοστά ταξινόμησης παραμένουν τα ίδια.
- Όταν κάνουμε διαχωριστική ανάλυση και συμπεριλάβουμε μόνο την μεταβλητή product, τότε το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα παραμένει η διάμετρος (diameter), ενώ με την μικρότερη γίνεται το product. Αστάθεια παρουσιάζουν τα diameter, pressure, DIM1, DIM2, DIM5. Τα ποσοστά ταξινόμησης ελαττώνονται, $EF_f=96,6\%$, $EF_s=86,2\%$, $EF_t=89,9\%$.

7.2 Σενάριο 2°

Στο σενάριο αυτό, περιλαμβάνονται μόνο απλά χαρακτηριστικά, χωρίς να περιλαμβάνονται τα ομαδοποιημένα:

Length
Diameter
Thickness
Pressure
Life-time

- Στον πίνακα 1.2 παρατίθενται όλα τα δεδομένα που μας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα και διαχωριστική ισχύ είναι ο χρόνος ζωής (lifetime) ενώ με την μικρότερη βαρύτητα και διαχω-

ριστική ισχύ είναι το μήκος (length). Επίσης όλα τα χαρακτηριστικά παρουσίασαν ευστάθεια, εκτός του thickness το οποίο είναι ασταθές.

- Τα επιμέρους όσο και το συνολικό ποσοστό ταξινόμησης είναι αρκετά υψηλά: $EF_f=93,2\%$, $EF_s=88,1\%$, $EF_t=89,9\%$. Η τιμή του Rao's $F=39,62$ και η τιμή του Wilk's $\Lambda=0,44988$, η οποία δεν είναι αρκετά χαμηλή και υποδηλώνει ότι ο διαχωρισμός που επιτυγχάνεται δεν είναι πολύ καλός. Η προβλεπτική ικανότητα του μοντέλου είναι καλή.
- Όταν κάνουμε διαχωριστική συνάρτηση και συμπεριλάβουμε τις μεταβλητές grade και product, τότε το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα παραμένει το lifetime, ενώ με την μικρότερη γίνεται το product. Επίσης αστάθεια παρουσιάζουν τώρα εκτός από αυτά που παρουσίαζαν και πριν τα grade, product. Τα ποσοστά ταξινόμησης αυξάνουν $EF_f=94,9\%$, $EF_s=88,1\%$, $EF_t=90,5\%$, ενώ η τιμή του Rao's $F=29,885$ και η τιμή του Wilk's $\Lambda=0,43338$, η οποία είναι μικρότερη από πριν και δείχνει ότι γίνεται καλύτερος διαχωρισμός.
- Όταν κάνουμε διαχωριστική ανάλυση και συμπεριλάβουμε μόνο την μεταβλητή grade, τότε το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα παραμένει ο χρόνος ζωής (lifetime), και με την μικρότερη το μήκος (length). Αστάθεια παρουσιάζουν τα thickness, grade. Τα ποσοστά ταξινόμησης αυξάνονται, $EF_f=96,6\%$, $EF_s=88,1\%$, $EF_t=91,1\%$.
- Όταν κάνουμε διαχωριστική ανάλυση και συμπεριλάβουμε μόνο την μεταβλητή product, τότε το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα παραμένει ο χρόνος ζωής (lifetime), ενώ με την μικρότερη γίνεται το product. Αστάθεια παρουσιάζουν τα thickness, product. Τα ποσοστά ταξινόμησης μεταβάλλονται ελάχιστα, $EF_f=93,2\%$, $EF_s=87,2\%$, $EF_t=89,3\%$.

7.3 Σενάριο 3°

Στο σενάριο αυτό, περιλαμβάνονται όλα τα απλά χαρακτηριστικά, και έχει προστεθεί η ομαδοποιημένη μεταβλητή DIM1:

Length	Pressure
Diameter	Life-time
Thickness	DIM1

- Στον πίνακα 1.3 παρατίθενται όλα τα δεδομένα που μας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα και διαχωριστική ισχύ είναι ο χρόνος ζωής (lifetime) ενώ με την μικρότερη βαρύτητα και διαχωριστική ισχύ είναι το μήκος (length). Επίσης όλα τα χαρακτηριστικά παρουσίασαν ευστάθεια, εκτός των length, diameter, pressure, lifetime τα οποία είναι ασταθή.
- Τα επιμέρους όσο και το συνολικό ποσοστό ταξινόμησης είναι αρκετά υψηλά: $EF_f=93,2\%$, $EF_s=87,2\%$, $EF_t=89,3\%$. Η τιμή του Rao's $F=34,148$ και η τιμή του Wilk's $\Lambda=0,44003$, η οποία δεν είναι αρκετά χαμηλή και υποδηλώνει ότι ο διαχωρισμός που επιτυγχάνεται δεν είναι πολύ καλός. Η προβλεπτική ικανότητα του μοντέλου είναι καλή.
- Όταν κάνουμε διαχωριστική συνάρτηση και συμπεριλάβουμε τις μεταβλητές grade και product, τότε το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα παραμένει το lifetime, ενώ με την μικρότερη γίνεται το product. Επίσης αστάθεια παρουσιάζουν τώρα τα thickness, DIM1, grade, product. Τα ποσοστά ταξινόμησης αυξάνουν $EF_f=94,9\%$, $EF_s=88,1\%$, $EF_t=90,5\%$, ενώ η τιμή του Rao's $F=28,037$ και η τιμή του Wilk's $\Lambda=0,41482$, η οποία είναι μικρότερη από πριν και δείχνει ότι γίνεται καλύτερος διαχωρισμός.
- Όταν κάνουμε διαχωριστική ανάλυση και συμπεριλάβουμε μόνο την μεταβλητή grade, τότε το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα παραμένει ο χρόνος ζωής (lifetime), και με την μικρότερη το μήκος (length). Αστάθεια παρουσιάζουν τα thickness, DIM1, grade. Τα ποσοστά ταξινόμησης αυξάνονται, $EF_f=96,6\%$, $EF_s=88,1\%$, $EF_t=91,1\%$.
- Όταν κάνουμε διαχωριστική ανάλυση και συμπεριλάβουμε μόνο την μεταβλητή product, τότε το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα παραμένει ο χρόνος ζωής (lifetime), και με την μικρότερη το μήκος (length). Αστάθεια παρουσιάζουν τα length, diameter, pressure, lifetime. Τα ποσοστά ταξινόμησης παραμένουν τα ίδια, $EF_f=93\%$, $EF_s=87,2\%$, $EF_t=89,3\%$.

7.4 Σενάριο 4°

Στο σενάριο αυτό, περιλαμβάνονται όλα τα απλά χαρακτηριστικά, και έχει προστεθεί η ομαδοποιημένη μεταβλητή DIM2:

Length

Pressure

Diameter	Life-time
Thickness	DIM2

- Στον πίνακα 1.4 παρατίθενται όλα τα δεδομένα που μας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα και διαχωριστική ισχύ είναι ο χρόνος ζωής (lifetime) με δεύτερο το μήκος, ενώ με την μικρότερη βαρύτητα και διαχωριστική ισχύ είναι η πίεση (pressure). Επίσης όλα τα χαρακτηριστικά παρουσίασαν ευστάθεια, εκτός των thickness και DIM2 τα οποία είναι ασταθή.
- Τα επιμέρους όσο και το συνολικό ποσοστό ταξινόμησης είναι αρκετά υψηλά: $EF_f=93,2\%$, $EF_s=86,2\%$, $EF_t=88,7\%$. Η τιμή του Rao's $F=33,7$ και η τιμή του Wilk's $\Lambda=0,44328$, η οποία δεν είναι αρκετά χαμηλή και υποδηλώνει ότι ο διαχωρισμός που επιτυγχάνεται δεν είναι πολύ καλός. Η προβλεπτική ικανότητα του μοντέλου είναι καλή.
- Όταν κάνουμε διαχωριστική συνάρτηση και συμπεριλάβουμε τις μεταβλητές grade και product, τότε το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα παραμένει το lifetime, ενώ με την μικρότερη γίνεται το product. Επίσης αστάθεια παρουσιάζουν τώρα εκτός από αυτά που παρουσίαζαν και πριν τα grade, product. Τα ποσοστά ταξινόμησης αυξάνουν $EF_f=94,9\%$, $EF_s=88,1\%$, $EF_t=90,5\%$ τα ίδια, ενώ η τιμή του Rao's $F=26,472$ και η τιμή του Wilk's $\Lambda=0,42883$, η οποία είναι μικρότερη από πριν και δείχνει ότι γίνεται καλύτερος διαχωρισμός.
- Όταν κάνουμε διαχωριστική ανάλυση και συμπεριλάβουμε μόνο την μεταβλητή grade, τότε το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα παραμένει ο χρόνος ζωής (lifetime), και με την μικρότερη γίνεται η πίεση (pressure). Αστάθεια παρουσιάζουν τα thickness, DIM2, grade. Τα ποσοστά ταξινόμησης αυξάνονται, $EF_f=94,9\%$, $EF_s=88,1\%$, $EF_t=90,5\%$.
- Όταν κάνουμε διαχωριστική ανάλυση και συμπεριλάβουμε μόνο την μεταβλητή product, τότε το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα παραμένει ο χρόνος ζωής (lifetime), ενώ με την μικρότερη γίνεται το product. Αστάθεια παρουσιάζουν τα thickness, DIM2, product. Τα ποσοστά ταξινόμησης μεταβάλλονται ελάχιστα, $EF_f=94,9\%$, $EF_s=88,1\%$, $EF_t=90,5\%$.

7.5 Σενάριο 5°

Στο σενάριο αυτό, περιλαμβάνονται όλα τα απλά χαρακτηριστικά, και έχει προστεθεί η ομαδοποιημένη μεταβλητή DIM3:

	Pressure
Length	
Diameter	Life-time
Thickness	DIM3

- Στον πίνακα 1.5 παρατίθενται όλα τα δεδομένα που μας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα και διαχωριστική ισχύ είναι ο χρόνος ζωής (lifetime) ενώ με την μικρότερη βαρύτητα και διαχωριστική ισχύ είναι το πάχος (thickness). Επίσης όλα τα χαρακτηριστικά παρουσίασαν ευστάθεια, εκτός των diameter και thickness τα οποία είναι ασταθή.
- Τα επιμέρους όσο και το συνολικό ποσοστό ταξινόμησης είναι αρκετά υψηλά: $EF_f=94,9\%$, $EF_s=86,2\%$, $EF_t=89,3\%$. Η τιμή του Rao's $F=34,498$ και η τιμή του Wilk's $\Lambda=0,43751$, η οποία δεν είναι αρκετά χαμηλή και υποδηλώνει ότι ο διαχωρισμός που επιτυγχάνεται δεν είναι πολύ καλός. Η προβλεπτική ικανότητα του μοντέλου είναι καλή.
- Όταν κάνουμε διαχωριστική συνάρτηση και συμπεριλάβουμε τις μεταβλητές grade και product, τότε το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα παραμένει το lifetime, και με την μικρότερη το thickness. Επίσης αστάθεια παρουσιάζουν τώρα εκτός από αυτά που παρουσίαζαν και πριν το grade. Τα ποσοστά ταξινόμησης αλλάζουν $EF_f=93,2\%$, $EF_s=89\%$, $EF_t=90,5\%$, ενώ η τιμή του Rao's $F=27,721$ και η τιμή του Wilk's $\Lambda=0,41758$, η οποία είναι μικρότερη από πριν και δείχνει ότι γίνεται καλύτερος διαχωρισμός.
- Όταν κάνουμε διαχωριστική ανάλυση και συμπεριλάβουμε μόνο την μεταβλητή grade, τότε το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα παραμένει ο χρόνος ζωής (lifetime), ενώ με την μικρότερη γίνεται η διάμετρος (diameter). Αστάθεια παρουσιάζουν τα diameter, thickness, grade. Τα ποσοστά ταξινόμησης μεταβάλλονται ελάχιστα, $EF_f=95\%$, $EF_s=87,2\%$, $EF_t=89,9\%$.
- Όταν κάνουμε διαχωριστική ανάλυση και συμπεριλάβουμε μόνο την μεταβλητή product, τότε το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα παραμένει ο χρόνος ζωής (lifetime), ενώ με την μικρότερη γίνεται η διάμετρος (diameter).

Αστάθεια παρουσιάζουν τα diameter, thickness, product. Τα ποσοστά ταξινόμησης ελαττώνονται, $EF_f=93,2\%$, $EF_s=86,2\%$, $EF_t=88,7\%$.

7.6 Σενάριο 6°

Στο σενάριο αυτό, περιλαμβάνονται όλα τα απλά χαρακτηριστικά, και έχει προστεθεί η ομαδοποιημένη μεταβλητή DIM4:

Length	Pressure
Diameter	Life-time
Thickness	DIM4

- Στον πίνακα 1.6 παρατίθενται όλα τα δεδομένα που μας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα και διαχωριστική ισχύ είναι ο χρόνος ζωής (lifetime) ενώ με την μικρότερη βαρύτητα και διαχωριστική ισχύ είναι το μήκος (length). Επίσης όλα τα χαρακτηριστικά παρουσίασαν ευστάθεια, εκτός των diameter, pressure τα οποία είναι ασταθή.
- Τα επιμέρους όσο και το συνολικό ποσοστό ταξινόμησης είναι αρκετά υψηλά: $EF_f=98\%$, $EF_s=89\%$, $EF_t=92,3\%$. Η τιμή του Rao's $F=36,232$ και η τιμή του Wilk's $\Lambda=0,42548$, η οποία δεν είναι αρκετά χαμηλή και υποδηλώνει ότι ο διαχωρισμός που επιτυγχάνεται δεν είναι πολύ καλός. Η προβλεπτική ικανότητα του μοντέλου είναι καλή.
- Όταν κάνουμε διαχωριστική συνάρτηση και συμπεριλάβουμε τις μεταβλητές grade και product, τότε το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα παραμένει το lifetime, ενώ με την μικρότερη το diameter. Επίσης αστάθεια παρουσιάζουν τώρα τα thickness, grade, product. Τα ποσοστά ταξινόμησης μειώνονται $EF_f=97\%$, $EF_s=89\%$, $EF_t=91,7\%$, ενώ η τιμή του Rao's $F=27,458$ και η τιμή του Wilk's $\Lambda=0,4199$, η οποία είναι μικρότερη από πριν και δείχνει ότι γίνεται καλύτερος διαχωρισμός.
- Όταν κάνουμε διαχωριστική ανάλυση και συμπεριλάβουμε μόνο την μεταβλητή grade, τότε το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα παραμένει ο χρόνος ζωής (lifetime), ενώ με την μικρότερη γίνεται η διάμετρος (diameter). Αστάθεια παρουσιάζουν τα thickness, grade. Τα ποσοστά ταξινόμησης παραμένουν τα ίδια, $EF_f=98,3\%$, $EF_s=89\%$, $EF_t=92,3\%$.

- Όταν κάνουμε διαχωριστική ανάλυση και συμπεριλάβουμε μόνο την μεταβλητή product, τότε το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα παραμένει ο χρόνος ζωής (lifetime), ενώ με την μικρότερη γίνεται το product. Αστάθεια παρουσιάζουν τα diameter, pressure, product. Τα ποσοστά ταξινόμησης ελαττώνονται, $EF_f=94,9\%$, $EF_s=88,1\%$, $EF_t=90,5\%$.

7.7 Σενάριο 7°

Στο σενάριο αυτό, περιλαμβάνονται όλα τα απλά χαρακτηριστικά, και έχει προστεθεί η ομαδοποιημένη μεταβλητή DIM5:

Length	Pressure
Diameter	Life-time
Thickness	DIM5

- Στον πίνακα 1.7 παρατίθενται όλα τα δεδομένα που μας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα και διαχωριστική ισχύ είναι ο χρόνος ζωής (lifetime) ενώ με την μικρότερη βαρύτητα και διαχωριστική ισχύ είναι το μήκος (length). Επίσης όλα τα χαρακτηριστικά παρουσίασαν ευστάθεια, εκτός των length, thickness, DIM5 τα οποία είναι ασταθή.
- Τα επιμέρους όσο και το συνολικό ποσοστό ταξινόμησης είναι αρκετά υψηλά: $EF_f=93,2\%$, $EF_s=88,1\%$, $EF_t=89,9\%$. Η τιμή του Rao's $F=32,814$ και η τιμή του Wilk's $\Lambda=0,44986$, η οποία δεν είναι αρκετά χαμηλή και υποδηλώνει ότι ο διαχωρισμός που επιτυγχάνεται δεν είναι καλός. Η προβλεπτική ικανότητα του μοντέλου είναι καλή.
- Όταν κάνουμε διαχωριστική συνάρτηση και συμπεριλάβουμε τις μεταβλητές grade και product, τότε το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα παραμένει το lifetime, ενώ με την μικρότερη γίνεται το product. Επίσης αστάθεια παρουσιάζουν τώρα εκτός από αυτά που παρουσίαζαν και πριν τα grade, product. Τα ποσοστά ταξινόμησης αυξάνονται $EF_f=96,6\%$, $EF_s=88,1\%$, $EF_t=91,1\%$, ενώ η τιμή του Rao's $F=26,064$ και η τιμή του Wilk's $\Lambda=0,43264$, η οποία είναι μικρότερη από πριν και δείχνει ότι γίνεται καλύτερος διαχωρισμός.
- Όταν κάνουμε διαχωριστική ανάλυση και συμπεριλάβουμε μόνο την μεταβλητή grade, τότε το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα παραμένει ο χρόνος ζωής (lifetime), και με την μικρότερη το μήκος (length). Αστάθεια παρου-

σιάζουν τα thickness, DIM5, grade. Τα ποσοστά ταξινόμησης μεταβάλλονται ελάχιστα, $EF_r=96,6\%$, $EF_s=88,1\%$, $EF_t=91,1\%$.

- Όταν κάνουμε διαχωριστική ανάλυση και συμπεριλάβουμε μόνο την μεταβλητή product, τότε το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα παραμένει ο χρόνος ζωής (lifetime), και με την μικρότερη το μήκος (length). Αστάθεια παρουσιάζουν τα length, thickness, DIM5, product. Τα ποσοστά ταξινόμησης μεταβάλλονται ελάχιστα, $EF_r=93,2\%$, $EF_s=87,2\%$, $EF_t=89,3\%$.

7.8 Σενάριο 8°

Στο σενάριο αυτό, περιλαμβάνονται όλα τα χαρακτηριστικά, και έχει παραλειφθεί η ομαδοποιημένη μεταβλητή DIM1:

Length	DIM2
Diameter	DIM3
Thickness	DIM4
Pressure	DIM5
Life-time	

- Στον πίνακα 1.8 παρατίθενται όλα τα δεδομένα που μας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα και διαχωριστική ισχύ είναι η διάμετρος (diameter) ενώ με την μικρότερη βαρύτητα και διαχωριστική ισχύ είναι το DIM5. Επίσης όλα τα χαρακτηριστικά παρουσίασαν ευστάθεια, εκτός των diameter, pressure, DIM2, DIM5 τα οποία είναι ασταθή.
- Τα επιμέρους όσο και το συνολικό ποσοστό ταξινόμησης είναι αρκετά υψηλά: $EF_r=96,6\%$, $EF_s=88,1\%$, $EF_t=91,1\%$. Η τιμή του Rao's $F=25,006$ και η τιμή του Wilk's $\Lambda=0,41248$, η οποία δεν είναι αρκετά χαμηλή και υποδηλώνει ότι ο διαχωρισμός που επιτυγχάνεται δεν είναι πολύ καλός. Η προβλεπτική ικανότητα του μοντέλου είναι καλή.
- Όταν κάνουμε διαχωριστική συνάρτηση και συμπεριλάβουμε τις μεταβλητές grade και product, τότε το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα παραμένει το diameter, ενώ με την μικρότερη γίνεται το product. Επίσης αστάθεια παρουσιάζουν τώρα εκτός από αυτά που παρουσίαζαν και πριν το grade. Τα ποσοστά ταξινόμησης αυξάνονται $EF_r=96,6\%$, $EF_s=89\%$, $EF_t=91,7\%$, ενώ η

τιμή του Rao's $F=20,922$ και η τιμή του Wilk's $\Lambda=0,404$, η οποία είναι μικρότερη από πριν και δείχνει ότι γίνεται καλύτερος διαχωρισμός.

- Όταν κάνουμε διαχωριστική ανάλυση και συμπεριλάβουμε μόνο την μεταβλητή grade, τότε το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα παραμένει η διάμετρος (diameter), ενώ με την μικρότερη γίνεται το grade. Αστάθεια παρουσιάζουν τα diameter, pressure, DIM2, DIM5, grade. Τα ποσοστά ταξινόμησης παραμένουν τα ίδια, $EF_f=96,6\%$, $EF_s=88,1\%$, $EF_t=91\%$.
- Όταν κάνουμε διαχωριστική ανάλυση και συμπεριλάβουμε μόνο την μεταβλητή product, τότε το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα παραμένει η διάμετρος (diameter), ενώ με την μικρότερη γίνεται το product. Αστάθεια παρουσιάζουν τα diameter, pressure, DIM2, DIM5. Τα ποσοστά ταξινόμησης παραμένουν τα ίδια, $EF_f=96,6\%$, $EF_s=88,1\%$, $EF_t=91,1\%$.

7.9 Σενάριο 9°

Στο σενάριο αυτό, περιλαμβάνονται όλα τα χαρακτηριστικά, και έχει παραλειφθεί η ομαδοποιημένη μεταβλητή DIM2:

Length	DIM1
Diameter	DIM3
Thickness	DIM4
Pressure	DIM5
Life-time	

- Στον πίνακα 1.9 παρατίθενται όλα τα δεδομένα που μας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα και διαχωριστική ισχύ είναι η διάμετρος (diameter) ενώ με την μικρότερη βαρύτητα και διαχωριστική ισχύ είναι το μήκος (length). Επίσης όλα τα χαρακτηριστικά παρουσίασαν ευστάθεια, εκτός των length, diameter, DIM1, DIM5 τα οποία είναι ασταθή.
- Τα επιμέρους όσο και το συνολικό ποσοστό ταξινόμησης είναι αρκετά υψηλά: $EF_f=98\%$, $EF_s=87,2\%$, $EF_t=91,1\%$. Η τιμή του Rao's $F=27,308$ και η τιμή του Wilk's $\Lambda=0,39131$, η οποία είναι αρκετά χαμηλή και υποδηλώνει τον καλό διαχωρισμό που επιτυγχάνεται. Η προβλεπτική ικανότητα του μοντέλου είναι καλή.

- Όταν κάνουμε διαχωριστική συνάρτηση και συμπεριλάβουμε τις μεταβλητές grade και product, τότε το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα γίνεται το lifetime, ενώ με την μικρότερη το product. Επίσης αστάθεια παρουσιάζουν τώρα εκτός από αυτά που παρουσίαζαν και πριν το grade. Τα ποσοστά ταξινόμησης αυξάνονται $EF_r=98\%$, $EF_s=88,1\%$, $EF_t=91,7\%$, ενώ η τιμή του Rao's $F=22,984$ και η τιμή του Wilk's $\Lambda=0,38158$, η οποία είναι μικρότερη από πριν και δείχνει ότι γίνεται καλύτερος διαχωρισμός.
- Όταν κάνουμε διαχωριστική ανάλυση και συμπεριλάβουμε μόνο την μεταβλητή grade, τότε το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα γίνεται ο χρόνος ζωής (lifetime), ενώ με την μικρότερη παραμένει το μήκος (length). Αστάθεια παρουσιάζουν τα length, diameter, pressure, DIM1, DIM5, grade. Τα ποσοστά ταξινόμησης αυξάνονται, $EF_r=98,3\%$, $EF_s=88,1\%$, $EF_t=91,7\%$.
- Όταν κάνουμε διαχωριστική ανάλυση και συμπεριλάβουμε μόνο την μεταβλητή product, τότε το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα παραμένει η διάμετρος (diameter), ενώ με την μικρότερη γίνεται το product. Αστάθεια παρουσιάζουν τα length, diameter, DIM1, DIM5. Τα ποσοστά ταξινόμησης ελαττώνονται, $EF_r=96,6\%$, $EF_s=86,2\%$, $EF_t=89,9\%$.

7.10 Σενάριο 10°

Στο σενάριο αυτό, περιλαμβάνονται όλα τα χαρακτηριστικά, και έχει παραλειφθεί η ομαδοποιημένη μεταβλητή DIM3:

Length	DIM1
Diameter	DIM2
Thickness	DIM4
Pressure	DIM5
Life-time	

- Στον πίνακα 1.10 παρατίθενται όλα τα δεδομένα που μας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα και διαχωριστική ισχύ είναι ο χρόνος ζωής (lifetime) ενώ με την μικρότερη βαρύτητα και διαχωριστική ισχύ είναι η πίεση (pressure). Επίσης όλα τα χαρακτηριστικά παρουσίασαν ευστάθεια, εκτός των length, thickness, pressure, lifetime, DIM4 τα οποία είναι ασταθή.

- Τα επιμέρους όσο και το συνολικό ποσοστό ταξινόμησης είναι αρκετά υψηλά: $EF_f=96,6\%$, $EF_s=89,9\%$, $EF_t=92,3\%$. Η τιμή του Rao's $F=26,499$ και η τιμή του Wilk's $\Lambda=0,3985$, η οποία είναι αρκετά χαμηλή και υποδηλώνει τον καλό διαχωρισμό που επιτυγχάνεται. Η προβλεπτική ικανότητα του μοντέλου είναι καλή.
- Όταν κάνουμε διαχωριστική συνάρτηση και συμπεριλάβουμε τις μεταβλητές grade και product, τότε το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα παραμένει το lifetime, ενώ με την μικρότερη γίνεται το thickness. Επίσης αστάθεια παρουσιάζουν τώρα αυτά που παρουσίαζαν και πριν εκτός από το thickness. Τα ποσοστά ταξινόμησης αυξάνονται $EF_f=96,6\%$, $EF_s=90,8\%$, $EF_t=92,9\%$, ενώ η τιμή του Rao's $F=21,873$ και η τιμή του Wilk's $\Lambda=0,39334$, η οποία είναι μικρότερη από πριν και δείχνει ότι γίνεται καλύτερος διαχωρισμός.
- Όταν κάνουμε διαχωριστική ανάλυση και συμπεριλάβουμε μόνο την μεταβλητή grade, τότε το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα παραμένει ο χρόνος ζωής (lifetime), ενώ με την μικρότερη γίνεται το πάχος (thickness). Αστάθεια παρουσιάζουν τα length, pressure, lifetime, DIM4. Τα ποσοστά ταξινόμησης αυξάνονται, $EF_f=98,3\%$, $EF_s=89,9\%$, $EF_t=92,9\%$.
- Όταν κάνουμε διαχωριστική ανάλυση και συμπεριλάβουμε μόνο την μεταβλητή product, τότε το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα παραμένει ο χρόνος ζωής (lifetime), ενώ με την μικρότερη γίνεται το product. Αστάθεια παρουσιάζουν τα length, thickness, pressure, lifetime, DIM4. Τα ποσοστά ταξινόμησης παραμένουν τα ίδια, $EF_f=96,6\%$, $EF_s=89,9\%$, $EF_t=92,3\%$.

7.11 Σενάριο 11°

Στο σενάριο αυτό, περιλαμβάνονται όλα τα χαρακτηριστικά, και έχει παραλειφθεί η ομαδοποιημένη μεταβλητή DIM4:

Length	DIM1
Diameter	DIM2
Thickness	DIM3
Pressure	DIM5
Life-time	

- Στον πίνακα 1.11 παρατίθενται όλα τα δεδομένα που μας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα και διαχωριστική ισχύ είναι ο χρόνος ζωής (lifetime) ενώ με την μικρότερη βαρύτητα και διαχωριστική ισχύ είναι το πάχος (thickness). Επίσης όλα τα χαρακτηριστικά παρουσίασαν ευστάθεια, εκτός των diameter, thickness, DIM1, DIM2, DIM5 τα οποία είναι ασταθή.
- Τα επιμέρους όσο και το συνολικό ποσοστό ταξινόμησης είναι αρκετά υψηλά: $EF_f=93,2\%$, $EF_s=86,2\%$, $EF_t=88,7\%$. Η τιμή του Rao's $F=24,352$ και η τιμή του Wilk's $\Lambda=0,41891$, η οποία δεν είναι αρκετά χαμηλή και υποδηλώνει ότι ο διαχωρισμός που επιτυγχάνεται δεν είναι πολύ καλός. Η προβλεπτική ικανότητα του μοντέλου είναι καλή.
- Όταν κάνουμε διαχωριστική συνάρτηση και συμπεριλάβουμε τις μεταβλητές grade και product, τότε το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα παραμένει το lifetime, ενώ με την μικρότερη το thickness. Επίσης αστάθεια παρουσιάζουν τώρα εκτός από αυτά που παρουσίαζαν και πριν τα grade, product. Τα ποσοστά ταξινόμησης αυξάνονται $EF_f=94,9\%$, $EF_s=88,1\%$, $EF_t=90,5\%$, ενώ η τιμή του Rao's $F=22,108$ και η τιμή του Wilk's $\Lambda=0,39079$, η οποία είναι μικρότερη από πριν και δείχνει ότι γίνεται καλύτερος διαχωρισμός.
- Όταν κάνουμε διαχωριστική ανάλυση και συμπεριλάβουμε μόνο την μεταβλητή grade, τότε το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα παραμένει ο χρόνος ζωής (lifetime), και με την μικρότερη το πάχος (thickness). Αστάθεια παρουσιάζουν τα diameter, DIM1, DIM2, DIM5, grade. Τα ποσοστά ταξινόμησης αυξάνονται, $EF_f=94,9\%$, $EF_s=88,1\%$, $EF_t=90,5\%$.
- Όταν κάνουμε διαχωριστική ανάλυση και συμπεριλάβουμε μόνο την μεταβλητή product, τότε το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα παραμένει ο χρόνος ζωής (lifetime), και με την μικρότερη το πάχος (thickness). Αστάθεια παρουσιάζουν τα diameter, thickness, DIM1, DIM2, DIM5, product. Τα ποσοστά ταξινόμησης αυξάνονται, $EF_f=93,2\%$, $EF_s=87,2\%$, $EF_t=89,3\%$.

7.12 Σενάριο 12°

Στο σενάριο αυτό, περιλαμβάνονται όλα τα χαρακτηριστικά, και έχει παραλειφθεί η ομαδοποιημένη μεταβλητή DIM5:

Length

DIM1

Diameter	DIM2
Thickness	DIM3
Pressure	DIM4
Life-time	

- Στον πίνακα 1.12 παρατίθενται όλα τα δεδομένα που μας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα και διαχωριστική ισχύ είναι η διάμετρος (diameter) ενώ με την μικρότερη βαρύτητα και διαχωριστική ισχύ είναι η πίεση (pressure). Επίσης όλα τα χαρακτηριστικά παρουσίασαν ευστάθεια, εκτός των diameter, pressure, DIM1, DIM2 τα οποία είναι ασταθή.
- Τα επιμέρους όσο και το συνολικό ποσοστό ταξινόμησης είναι αρκετά υψηλά: $EF_f=98,3\%$, $EF_s=88,1\%$, $EF_t=91,7\%$. Η τιμή του Rao's $F=27,672$ και η τιμή του Wilk's $\Lambda=0,38816$, η οποία είναι αρκετά χαμηλή και υποδηλώνει τον καλό διαχωρισμό που επιτυγχάνεται. Η προβλεπτική ικανότητα του μοντέλου είναι καλή.
- Όταν κάνουμε διαχωριστική συνάρτηση και συμπεριλάβουμε τις μεταβλητές grade και product, τότε το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα γίνεται το lifetime, ενώ με την μικρότερη το product. Επίσης αστάθεια παρουσιάζουν τώρα τα diameter, DIM1, DIM2, grade. Τα ποσοστά ταξινόμησης παραμένουν τα ίδια, ενώ η τιμή του Rao's $F=23,212$ και η τιμή του Wilk's $\Lambda=0,37926$, η οποία είναι μικρότερη από πριν και δείχνει ότι γίνεται καλύτερος διαχωρισμός.
- Όταν κάνουμε διαχωριστική ανάλυση και συμπεριλάβουμε μόνο την μεταβλητή grade, τότε το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα γίνεται ο χρόνος ζωής (lifetime), ενώ με την μικρότερη γίνεται το grade. Αστάθεια παρουσιάζουν τα diameter, DIM1, DIM2, grade. Τα ποσοστά ταξινόμησης παραμένουν τα ίδια, $EF_f=98,3\%$, $EF_s=88,1\%$, $EF_t=91,7\%$.
- Όταν κάνουμε διαχωριστική ανάλυση και συμπεριλάβουμε μόνο την μεταβλητή product, τότε το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα παραμένει η διάμετρος (diameter), ενώ με την μικρότερη γίνεται το product. Αστάθεια παρουσιάζουν τα diameter, pressure, DIM1, DIM2. Τα ποσοστά ταξινόμησης ελαττώνονται, $EF_f=96,6\%$, $EF_s=86,2\%$, $EF_t=89,9\%$.

7.13 Σενάριο 13°

Στο σενάριο αυτό, περιλαμβάνονται όλα τα ομαδοποιημένα χαρακτηριστικά:

DIM1

DIM2

DIM3

DIM4

DIM5

- Στον πίνακα 1.13 παρατίθενται όλα τα δεδομένα που μας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα και διαχωριστική ισχύ είναι το DIM5 ενώ με την μικρότερη βαρύτητα και διαχωριστική ισχύ είναι το DIM1. Επίσης όλα τα χαρακτηριστικά παρουσίασαν αστάθεια.
- Τα επιμέρους όσο και το συνολικό ποσοστό ταξινόμησης δεν είναι αρκετά υψηλά: $EF_f=69,5\%$, $EF_s=78,9\%$, $EF_t=75,6\%$. Η τιμή του Rao's $F=13,048$ και η τιμή του Wilk's $\Lambda=0,71291$, η οποία είναι μεγάλη και υποδηλώνει ότι ο διαχωρισμός που επιτυγχάνεται δεν είναι καθόλου καλός. Η προβλεπτική ικανότητα του μοντέλου δεν είναι καλή.
- Όταν κάνουμε διαχωριστική συνάρτηση και συμπεριλάβουμε τις μεταβλητές grade και product, τότε το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα παραμένει το DIM5, ενώ με την μικρότερη γίνεται το product. Επίσης αστάθεια παρουσιάζουν τώρα όλα τα χαρακτηριστικά. Τα ποσοστά ταξινόμησης αυξάνονται $EF_f=72,9\%$, $EF_s=78,9\%$, $EF_t=76,8\%$, ενώ η τιμή του Rao's $F=10,008$ και η τιμή του Wilk's $\Lambda=0,69548$, η οποία είναι μικρότερη από πριν και δείχνει ότι γίνεται καλύτερος διαχωρισμός.
- Όταν κάνουμε διαχωριστική ανάλυση και συμπεριλάβουμε μόνο την μεταβλητή grade, τότε το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα παραμένει το DIM5, και με την μικρότερη το DIM1. Αστάθεια παρουσιάζουν όλα τα χαρακτηριστικά. Τα ποσοστά ταξινόμησης αυξάνονται, $EF_f=72,9\%$, $EF_s=79,8\%$, $EF_t=77,4\%$.
- Όταν κάνουμε διαχωριστική ανάλυση και συμπεριλάβουμε μόνο την μεταβλητή product, τότε το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα παραμένει το DIM5, ενώ με την μικρότερη γίνεται το product. Αστάθεια παρουσιάζουν όλα τα χαρακτηριστικά. Τα ποσοστά ταξινόμησης αυξάνονται, $EF_f=76,3\%$, $EF_s=79,8\%$, $EF_t=78,6\%$.

7.14 Σενάριο 14°

Στο σενάριο αυτό, περιλαμβάνονται εκείνα τα χαρακτηριστικά που κατατάσσονται τα 5 πρώτα στο 1° σενάριο, όπως φαίνεται στον πίνακα 1.2:

Length
Thickness
Life-time
DIM2
DIM5

- Στον πίνακα 1.14 παρατίθενται όλα τα δεδομένα που μας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα και διαχωριστική ισχύ είναι ο χρόνος ζωής (lifetime) ενώ με την μικρότερη βαρύτητα και διαχωριστική ισχύ είναι το DIM5. Επίσης όλα τα χαρακτηριστικά παρουσίασαν ευστάθεια, εκτός των thickness, DIM2, DIM5 τα οποία είναι ασταθή.
- Τα επιμέρους όσο και το συνολικό ποσοστό ταξινόμησης είναι αρκετά υψηλά: $EF_f=94,9\%$, $EF_s=85,3\%$, $EF_t=88,7\%$. Η τιμή του Rao's $F=38,203$ και η τιμή του Wilk's $\Lambda=0,4589$, η οποία είναι δεν αρκετά χαμηλή και υποδηλώνει ότι ο διαχωρισμός που επιτυγχάνεται δεν είναι καλός. Η προβλεπτική ικανότητα του μοντέλου είναι καλή.
- Όταν κάνουμε διαχωριστική συνάρτηση και συμπεριλάβουμε τις μεταβλητές grade και product, τότε το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα παραμένει το lifetime, ενώ με την μικρότερη γίνεται το product. Επίσης αστάθεια παρουσιάζουν τώρα εκτός από αυτά που παρουσίαζαν και πριν τα grade, product. Τα επιμέρους ποσοστά ταξινόμησης αλλάζουν $EF_f=96,6\%$, $EF_s=84,4\%$, ενώ το συνολικό παραμένει το ίδιο, ενώ η τιμή του Rao's $F=27,678$ και η τιμή του Wilk's $\Lambda=0,4523$, η οποία είναι περίπου ίση με την προηγούμενη.
- Όταν κάνουμε διαχωριστική ανάλυση και συμπεριλάβουμε μόνο την μεταβλητή grade, τότε το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα παραμένει ο χρόνος ζωής (lifetime), ενώ με την μικρότερη γίνεται το πάχος (thickness). Αστάθεια παρουσιάζουν τα thickness, DIM2, DIM5, grade. Τα ποσοστά ταξινόμησης μεταβάλλονται ελάχιστα, $EF_f=96,6\%$, $EF_s=84,4\%$, $EF_t=88,7\%$.

- Όταν κάνουμε διαχωριστική ανάλυση και συμπεριλάβουμε μόνο την μεταβλητή product, τότε το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα παραμένει ο χρόνος ζωής (lifetime), ενώ με την μικρότερη γίνεται το product. Αστάθεια παρουσιάζουν τα thickness, DIM2, DIM5, product. Τα ποσοστά ταξινόμησης μεταβάλλονται ελάχιστα, $EF_f=94,9\%$, $EF_s=86,2\%$, $EF_t=89,3\%$.

7.15 Σενάριο 15°

Στο σενάριο αυτό, περιλαμβάνονται εκείνα τα χαρακτηριστικά που κατατάσσονται τα 5 τελευταία στο 1° σενάριο, όπως φαίνεται στον πίνακα 1.2:

Diameter
Pressure
DIM1
DIM3
DIM4

- Στον πίνακα 1.15 παρατίθενται όλα τα δεδομένα που μας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα και διαχωριστική ισχύ είναι το DIM3 ενώ με την μικρότερη βαρύτητα και διαχωριστική ισχύ είναι το DIM4. Επίσης όλα τα χαρακτηριστικά παρουσίασαν ευστάθεια, εκτός των pressure, DIM3, DIM4 τα οποία είναι ασταθή.
- Τα επιμέρους όσο και το συνολικό ποσοστό ταξινόμησης δεν είναι πολύ υψηλά: $EF_f=84,7\%$, $EF_s=65,1\%$, $EF_t=72\%$. Η τιμή του Rao's $F=5,503$ και η τιμή του Wilk's $\Lambda=0,85482$, η οποία είναι αρκετά μεγάλη και υποδηλώνει ότι ο διαχωρισμός που επιτυγχάνεται δεν είναι καθόλου καλός. Η προβλεπτική ικανότητα του μοντέλου δεν είναι καλή.
- Όταν κάνουμε διαχωριστική συνάρτηση και συμπεριλάβουμε τις μεταβλητές grade και product, τότε το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα παραμένει το DIM3, ενώ με την μικρότερη το DIM4. Επίσης αστάθεια παρουσιάζουν τώρα τα diameter, DIM1, grade. Τα ποσοστά ταξινόμησης μειώνονται $EF_f=74,6\%$, $EF_s=63,3\%$, $EF_t=67\%$, ενώ η τιμή του Rao's $F=4,609$ και η τιμή του Wilk's $\Lambda=0,83218$, η οποία είναι μικρότερη από πριν αλλά εξακολουθεί να είναι μεγάλη.

- Όταν κάνουμε διαχωριστική ανάλυση και συμπεριλάβουμε μόνο την μεταβλητή grade, τότε το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα παραμένει το DIM3, και με την μικρότερη το DIM4. Αστάθεια παρουσιάζουν τα pressure, DIM3. Τα ποσοστά ταξινόμησης ελαττώνονται, $EF_f=81,4\%$, $EF_s=65,1\%$, $EF_t=70,8\%$.
- Όταν κάνουμε διαχωριστική ανάλυση και συμπεριλάβουμε μόνο την μεταβλητή product, τότε το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα παραμένει το DIM3, ενώ με την μικρότερη γίνεται το DIM1. Αστάθεια παρουσιάζουν τα pressure, DIM1, DIM3, DIM4, product. Τα ποσοστά ταξινόμησης ελαττώνονται, $EF_f=74,6\%$, $EF_s=63,3\%$, $EF_t=67,3\%$.

7.16 Σενάριο 16°

Στο σενάριο αυτό, περιλαμβάνονται όλα τα ομαδοποιημένα χαρακτηριστικά, έχοντας προσθέσει την μεταβλητή Length:

Length
DIM1
DIM2
DIM3
DIM4
DIM5

- Στον πίνακα 1.16 παρατίθενται όλα τα δεδομένα που μας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα και διαχωριστική ισχύ είναι το DIM5 ενώ με την μικρότερη βαρύτητα και διαχωριστική ισχύ είναι το DIM3. Επίσης όλα τα χαρακτηριστικά παρουσίασαν ευστάθεια, εκτός των length, DIM1, DIM4, DIM5 τα οποία είναι ασταθή.
- Τα επιμέρους όσο και το συνολικό ποσοστό ταξινόμησης δεν είναι αρκετά υψηλά: $EF_f=66,1\%$, $EF_s=84,4\%$, $EF_t=78\%$. Η τιμή του Rao's $F=12,585$ και η τιμή του Wilk's $\Lambda=0,68073$, η οποία είναι αρκετά μεγάλη και υποδηλώνει ότι ο διαχωρισμός που επιτυγχάνεται δεν είναι καλός. Η προβλεπτική ικανότητα του μοντέλου είναι μέτρια.
- Όταν κάνουμε διαχωριστική συνάρτηση και συμπεριλάβουμε τις μεταβλητές grade και product, τότε το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα πα-

ραμένει το DIM5, ενώ με την μικρότερη γίνεται το product. Επίσης αστάθεια παρουσιάζουν τώρα τα length, DIM4, DIM5, grade. Τα ποσοστά ταξινόμησης αυξάνονται $EF_r=71,2\%$, $EF_s=83,5\%$, $EF_t=79,2\%$, ενώ η τιμή του Rao's $F=9,944$ και η τιμή του Wilk's $\Lambda=0,66652$, η οποία είναι μικρότερη από πριν και δείχνει ότι γίνεται καλύτερος διαχωρισμός.

- Όταν κάνουμε διαχωριστική ανάλυση και συμπεριλάβουμε μόνο την μεταβλητή grade, τότε το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα παραμένει το DIM5, ενώ με την μικρότερη γίνεται το DIM1. Αστάθεια παρουσιάζουν τα length, DIM4, DIM5, grade. Τα ποσοστά ταξινόμησης αυξάνονται, $EF_r=74,6\%$, $EF_s=84,4\%$, $EF_t=81\%$.
- Όταν κάνουμε διαχωριστική ανάλυση και συμπεριλάβουμε μόνο την μεταβλητή product, τότε το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα παραμένει το DIM5, ενώ με την μικρότερη γίνεται το product. Αστάθεια παρουσιάζουν τα length, DIM1, DIM4, DIM5, product. Τα ποσοστά ταξινόμησης ελαττώνονται, $EF_r=61\%$, $EF_s=82,6\%$, $EF_t=75\%$.

7.17 Σενάριο 17°

Στο σενάριο αυτό, περιλαμβάνονται όλα τα ομαδοποιημένα χαρακτηριστικά, έχοντας προσθέσει την μεταβλητή Diameter:

Diameter

DIM1

DIM2

DIM3

DIM4

DIM5

- Στον πίνακα 1.17 παρατίθενται όλα τα δεδομένα που μας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα και διαχωριστική ισχύ είναι το DIM5 ενώ με την μικρότερη βαρύτητα και διαχωριστική ισχύ είναι η διάμετρος (diameter). Επίσης όλα τα χαρακτηριστικά παρουσίασαν αστάθεια.
- Τα επιμέρους όσο και το συνολικό ποσοστό ταξινόμησης δεν είναι αρκετά υψηλά: $EF_r=69,5\%$, $EF_s=78,9\%$, $EF_t=75,6\%$. Η τιμή του Rao's $F=10,808$ και η

τιμή του Wilk's $\Lambda=0,71287$, η οποία είναι αρκετά μεγάλη και υποδηλώνει ότι ο διαχωρισμός που επιτυγχάνεται δεν είναι καλός. Η προβλεπτική ικανότητα του μοντέλου δεν είναι καλή.

- Όταν κάνουμε διαχωριστική συνάρτηση και συμπεριλάβουμε τις μεταβλητές grade και product, τότε το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα παραμένει το DIM5, ενώ με την μικρότερη γίνεται το product. Επίσης αστάθεια παρουσιάζουν και τώρα όλα τα χαρακτηριστικά. Τα ποσοστά ταξινόμησης αυξάνονται $EF_f=72,9\%$, $EF_s=78,9\%$, $EF_t=76,8\%$, ενώ η τιμή του Rao's $F=8,702$ και η τιμή του Wilk's $\Lambda=0,69548$, η οποία είναι μικρότερη από πριν και δείχνει ότι γίνεται καλύτερος διαχωρισμός.
- Όταν κάνουμε διαχωριστική ανάλυση και συμπεριλάβουμε μόνο την μεταβλητή grade, τότε το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα παραμένει το DIM5, και με την μικρότερη η διάμετρος (diameter). Αστάθεια παρουσιάζουν όλα τα χαρακτηριστικά. Τα ποσοστά ταξινόμησης αυξάνονται, $EF_f=72,9\%$, $EF_s=79,8\%$, $EF_t=77,4\%$.
- Όταν κάνουμε διαχωριστική ανάλυση και συμπεριλάβουμε μόνο την μεταβλητή product, τότε το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα παραμένει το DIM5, ενώ με την μικρότερη γίνεται το product. Αστάθεια παρουσιάζουν όλα τα χαρακτηριστικά. Τα ποσοστά ταξινόμησης αυξάνονται, $EF_f=72,9\%$, $EF_s=79,8\%$, $EF_t=77,4\%$.

7.18 Σενάριο 18°

Στο σενάριο αυτό, περιλαμβάνονται όλα τα ομαδοποιημένα χαρακτηριστικά, έχοντας προσθέσει την μεταβλητή Thickness:

Thickness

DIM1

DIM2

DIM3

DIM4

DIM5

- Στον πίνακα 1.18 παρατίθενται όλα τα δεδομένα που μας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα και διαχωριστική

ισχύ είναι το DIM5 ενώ με την μικρότερη βαρύτητα και διαχωριστική ισχύ είναι το DIM1. Επίσης όλα τα χαρακτηριστικά παρουσίασαν αστάθεια.

- Τα επιμέρους όσο και το συνολικό ποσοστό ταξινόμησης δεν είναι αρκετά υψηλά: $EF_f=72,9\%$, $EF_s=78,9\%$, $EF_t=76,8\%$. Η τιμή του Rao's $F=11,029$ και η τιμή του Wilk's $\Lambda=0,70871$, η οποία είναι αρκετά μεγάλη και υποδηλώνει ότι ο διαχωρισμός που επιτυγχάνεται δεν είναι καλός. Η προβλεπτική ικανότητα του μοντέλου δεν είναι καλή.
- Όταν κάνουμε διαχωριστική συνάρτηση και συμπεριλάβουμε τις μεταβλητές grade και product, τότε το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα παραμένει το DIM5, ενώ με την μικρότερη γίνεται το product. Επίσης αστάθεια παρουσιάζουν και τώρα όλα τα χαρακτηριστικά. Τα ποσοστά ταξινόμησης αυξάνονται $EF_f=76,3\%$, $EF_s=80,7\%$, $EF_t=79,2\%$, ενώ η τιμή του Rao's $F=8,897$ και η τιμή του Wilk's $\Lambda=0,69078$, η οποία είναι μικρότερη από πριν και δείχνει ότι γίνεται καλύτερος διαχωρισμός.
- Όταν κάνουμε διαχωριστική ανάλυση και συμπεριλάβουμε μόνο την μεταβλητή grade, τότε το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα παραμένει το DIM5, και με την μικρότερη το DIM1. Αστάθεια παρουσιάζουν όλα τα χαρακτηριστικά. Τα ποσοστά ταξινόμησης αυξάνονται, $EF_f=74,6\%$, $EF_s=78,9\%$, $EF_t=77,4\%$.
- Όταν κάνουμε διαχωριστική ανάλυση και συμπεριλάβουμε μόνο την μεταβλητή product, τότε το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα παραμένει το DIM5, ενώ με την μικρότερη γίνεται το product. Αστάθεια παρουσιάζουν όλα τα χαρακτηριστικά. Τα ποσοστά ταξινόμησης ελαττώνονται, $EF_f=69,5\%$, $EF_s=78,9\%$, $EF_t=75,6\%$.

7.19 Σενάριο 19°

Στο σενάριο αυτό, περιλαμβάνονται όλα τα ομαδοποιημένα χαρακτηριστικά, έχοντας προσθέσει την μεταβλητή Pressure:

Pressure

DIM1

DIM2

DIM3

DIM4

DIM5

- Στον πίνακα 1.19 παρατίθενται όλα τα δεδομένα που μας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα και διαχωριστική ισχύ είναι το DIM5 ενώ με την μικρότερη βαρύτητα και διαχωριστική ισχύ είναι το DIM4. Επίσης όλα τα χαρακτηριστικά παρουσίασαν ευστάθεια, εκτός των pressure, DIM2, DIM3, DIM4, DIM5 τα οποία είναι ασταθή.
- Τα επιμέρους όσο και το συνολικό ποσοστό ταξινόμησης είναι αρκετά υψηλά: $EF_f=81,4\%$, $EF_s=75,2\%$, $EF_t=77,4\%$. Η τιμή του Rao's $F=12,167$ και η τιμή του Wilk's $\Lambda=0,68803$, η οποία είναι αρκετά μεγάλη και υποδηλώνει ότι ο διαχωρισμός που επιτυγχάνεται δεν είναι πολύ καλός. Η προβλεπτική ικανότητα του μοντέλου είναι μέτρια.
- Όταν κάνουμε διαχωριστική συνάρτηση και συμπεριλάβουμε τις μεταβλητές grade και product, τότε το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα παραμένει το DIM5, ενώ με την μικρότερη γίνεται το product. Επίσης αστάθεια παρουσιάζουν τώρα εκτός από αυτά που παρουσίαζαν και πριν το product. Τα ποσοστά ταξινόμησης μειώνονται $EF_f=79,7\%$, $EF_s=73,4\%$, $EF_t=75,6\%$, ενώ η τιμή του Rao's $F=9,159$ και η τιμή του Wilk's $\Lambda=0,68454$, η οποία είναι περίπου ίση με πριν.
- Όταν κάνουμε διαχωριστική ανάλυση και συμπεριλάβουμε μόνο την μεταβλητή grade, τότε το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα παραμένει το DIM5, ενώ με την μικρότερη γίνεται το grade. Αστάθεια παρουσιάζουν τα pressure, DIM2, DIM3, DIM4, DIM5. Τα ποσοστά ταξινόμησης ελαττώνονται, $EF_f=79,7\%$, $EF_s=75,2\%$, $EF_t=76,8\%$.
- Όταν κάνουμε διαχωριστική ανάλυση και συμπεριλάβουμε μόνο την μεταβλητή product, τότε το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα παραμένει το DIM5, ενώ με την μικρότερη γίνεται το product. Αστάθεια παρουσιάζουν τα pressure, DIM2, DIM3, DIM4, DIM5, product. Τα ποσοστά ταξινόμησης ελαττώνονται, $EF_f=81,4\%$, $EF_s=73,4\%$, $EF_t=76,2\%$.

7.20 Σενάριο 20°

Στο σενάριο αυτό, περιλαμβάνονται όλα τα ομαδοποιημένα χαρακτηριστικά, έχοντας προσθέσει την μεταβλητή Life-time :

Life-time

DIM1

DIM2

DIM3

DIM4

DIM5

- Στον πίνακα 1.20 παρατίθενται όλα τα δεδομένα που μας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα και διαχωριστική ισχύ είναι ο χρόνος ζωής (lifetime) ενώ με την μικρότερη βαρύτητα και διαχωριστική ισχύ είναι το DIM3. Επίσης όλα τα χαρακτηριστικά παρουσίασαν ευστάθεια, εκτός των lifetime, DIM3, DIM4 τα οποία είναι ασταθή.
- Τα επιμέρους όσο και το συνολικό ποσοστό ταξινόμησης είναι αρκετά υψηλά: $EF_r=96,6\%$, $EF_s=89\%$, $EF_t=91,7\%$. Η τιμή του Rao's $F=39,517$ και η τιμή του Wilk's $\Lambda=0,40442$, η οποία είναι δεν αρκετά χαμηλή και υποδηλώνει ότι ο διαχωρισμός που επιτυγχάνεται δεν είναι πολύ καλός. Η προβλεπτική ικανότητα του μοντέλου είναι καλή.
- Όταν κάνουμε διαχωριστική συνάρτηση και συμπεριλάβουμε τις μεταβλητές grade και product, τότε το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα παραμένει το lifetime, ενώ με την μικρότερη γίνεται το product. Επίσης αστάθεια παρουσιάζουν τώρα τα DIM1, DIM2, DIM5, grade. Τα ποσοστά ταξινόμησης αυξάνονται $EF_r=98,3\%$, $EF_s=89\%$, $EF_t=92,3\%$, ενώ η τιμή του Rao's $F=30,234$ και η τιμή του Wilk's $\Lambda=0,39664$, η οποία είναι μικρότερη από πριν και δείχνει ότι γίνεται καλύτερος διαχωρισμός.
- Όταν κάνουμε διαχωριστική ανάλυση και συμπεριλάβουμε μόνο την μεταβλητή grade, τότε το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα παραμένει ο χρόνος ζωής (lifetime), ενώ με την μικρότερη γίνεται το DIM1. Αστάθεια παρουσιάζουν τα DIM1, DIM2, DIM5, grade. Τα ποσοστά ταξινόμησης αυξάνονται, $EF_r=98,3\%$, $EF_s=89\%$, $EF_t=92,3\%$.
- Όταν κάνουμε διαχωριστική ανάλυση και συμπεριλάβουμε μόνο την μεταβλητή product, τότε το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα παραμένει ο χρόνος ζωής (lifetime), ενώ με την μικρότερη γίνεται το product. Αστάθεια παρουσιάζουν τα DIM1, DIM2, DIM5, product. Τα ποσοστά ταξινόμησης παραμένουν τα ίδια, $EF_r=96,6\%$, $EF_s=89\%$, $EF_t=91,7\%$.

7.21 Σενάριο 21°

Το σενάριο αυτό, περιλαμβάνει μεταβλητές, στις οποίες εμφανίζονται χαρακτηριστικά μόνο μια φορά, μεμονωμένα ή ομαδοποιημένα:

Thickness

Life-time

DIM1

DIM2

- Στον πίνακα 1.1 παρατίθενται όλα τα δεδομένα που μας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα και διαχωριστική ισχύ είναι ο χρόνος ζωής (lifetime) ενώ με την μικρότερη βαρύτητα και διαχωριστική ισχύ είναι το πάχος (thickness). Επίσης όλα τα χαρακτηριστικά παρουσίασαν ευστάθεια.
- Τα επιμέρους όσο και το συνολικό ποσοστό ταξινόμησης είναι αρκετά υψηλά: $EF_f=96,6\%$, $EF_s=79,8\%$, $EF_t=85,7\%$. Η τιμή του Rao's $F=40,73$ και η τιμή του Wilk's $\Lambda=0,50012$, η οποία δεν είναι αρκετά χαμηλή και υποδηλώνει ότι ο διαχωρισμός που επιτυγχάνεται δεν είναι πολύ καλός. Η προβλεπτική ικανότητα του μοντέλου είναι καλή.
- Όταν κάνουμε διαχωριστική συνάρτηση και συμπεριλάβουμε τις μεταβλητές grade και product, τότε το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα παραμένει το lifetime, ενώ με την μικρότερη το thickness. Επίσης αστάθεια παρουσιάζουν τώρα τα grade, product. Τα ποσοστά ταξινόμησης παραμένουν τα ίδια, ενώ η τιμή του Rao's $F=27,229$ και η τιμή του Wilk's $\Lambda=0,49634$, η οποία είναι μικρότερη από πριν και δείχνει ότι γίνεται καλύτερος διαχωρισμός.
- Όταν κάνουμε διαχωριστική ανάλυση και συμπεριλάβουμε μόνο την μεταβλητή grade, τότε το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα παραμένει ο χρόνος ζωής (lifetime), και με την μικρότερη το πάχος (thickness). Αστάθεια παρουσιάζει το grade. Τα ποσοστά ταξινόμησης παραμένουν τα ίδια, $EF_f=96,6\%$, $EF_s=79,8\%$, $EF_t=85,7\%$.
- Όταν κάνουμε διαχωριστική ανάλυση και συμπεριλάβουμε μόνο την μεταβλητή product, τότε το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα παραμένει ο χρόνος ζωής (lifetime), και με την μικρότερη το πάχος (thickness). Αστάθεια

παρουσιάζει το product. Τα ποσοστά ταξινόμησης παραμένουν τα ίδια, $EF_f=96,6\%$, $EF_s=79,8\%$, $EF_t=85,7\%$.

7.22 Σενάριο 22°

Το σενάριο αυτό, περιλαμβάνει μεταβλητές, στις οποίες εμφανίζονται χαρακτηριστικά μόνο μια φορά, μεμονωμένα ή ομαδοποιημένα:

Length

Pressure

Life-time

DIM3

- Στον πίνακα 1.1 παρατίθενται όλα τα δεδομένα που μας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα και διαχωριστική ισχύ είναι ο χρόνος ζωής (lifetime) ενώ με την μικρότερη βαρύτητα και διαχωριστική ισχύ είναι το μήκος (length). Επίσης όλα τα χαρακτηριστικά παρουσίασαν ευστάθεια.
- Τα επιμέρους όσο και το συνολικό ποσοστό ταξινόμησης είναι αρκετά υψηλά: $EF_f=94,9\%$, $EF_s=86,2\%$, $EF_t=89,3\%$. Η τιμή του Rao's $F=52,315$ και η τιμή του Wilk's $\Lambda=0,43787$, η οποία δεν είναι αρκετά χαμηλή και υποδηλώνει ότι ο διαχωρισμός που επιτυγχάνεται δεν είναι πολύ καλός. Η προβλεπτική ικανότητα του μοντέλου είναι καλή.
- Όταν κάνουμε διαχωριστική συνάρτηση και συμπεριλάβουμε τις μεταβλητές grade και product, τότε το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα παραμένει το lifetime, ενώ με την μικρότερη γίνεται το product. Επίσης αστάθεια παρουσιάζει τώρα εκτός το grade. Τα ποσοστά ταξινόμησης αλλάζουν $EF_f=93,2\%$, $EF_s=89\%$, $EF_t=90,5\%$, ενώ η τιμή του Rao's $F=37,422$ και η τιμή του Wilk's $\Lambda=0,41761$, η οποία είναι μικρότερη από πριν και δείχνει ότι γίνεται καλύτερος διαχωρισμός.
- Όταν κάνουμε διαχωριστική ανάλυση και συμπεριλάβουμε μόνο την μεταβλητή grade, τότε το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα παραμένει ο χρόνος ζωής (lifetime), και με την μικρότερη το μήκος (length). Αστάθεια παρουσιάζει το grade. Τα ποσοστά ταξινόμησης μεταβάλλονται ελάχιστα, $EF_f=46,9\%$, $EF_s=87,2\%$, $EF_t=89,9\%$.

- Όταν κάνουμε διαχωριστική ανάλυση και συμπεριλάβουμε μόνο την μεταβλητή product, τότε το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη βαρύτητα παραμένει ο χρόνος ζωής (lifetime), ενώ με την μικρότερη γίνεται το product. Αστάθεια παρουσιάζει το product. Τα ποσοστά ταξινόμησης ελαττώνονται, $EF_r=93,2\%$, $EF_s=86,2\%$, $EF_t=88,7\%$.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Στα γενικά πλαίσια, ο σκοπός της εργασίας αυτής ήταν να μελετήσει την εφαρμογή των πολυμεταβλητών στατιστικών τεχνικών της διαχωριστικής ανάλυσης, της ταξινόμησης και της παλινδρόμησης, με την χρήση ομαδοποιημένων μεταβλητών, και χρησιμοποιώντας το στατιστικό υπολογιστικό πακέτο Minitab Release 13. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε ως πρακτική εφαρμογή ένα σύστημα υποθαλάσσιων αγωγών μεταφοράς πετρελαίου στην Βόρεια Θάλασσα και υπολογίστηκαν όλα τα απαραίτητα μεγέθη για την πρόβλεψη της αξιοπιστίας αυτού του συστήματος.

Ιδιαίτερη σημασία δόθηκε στα εξής:

- ☛ στην χρησιμότητα των δύο στατιστικών τεχνικών, κυρίως με την συνδυαστική εφαρμογή τους,
- ☛ στην ανάλυση της συμπεριφοράς και επίδρασης του κάθε χαρακτηριστικού στην αξιοπιστία των αγωγών,

- ☞ στην λογική της δημιουργίας συνδυασμών χαρακτηριστικών με σκοπό την βελτίωση της στατιστικής ακρίβειας των αποτελεσμάτων,
- ☞ στην αλληλεξάρτηση και αλληλεπίδραση μεταξύ των απλών και των ομαδοποιημένων χαρακτηριστικών,
- ☞ ενδεχομένως, στον προσδιορισμό στοιχειωδών κανόνων ομαδοποίησης και επιλογής χαρακτηριστικών.

Από την μελέτη που προηγήθηκε, προκύπτουν μεταξύ άλλων και τα εξής συμπεράσματα:

- ☞ Οι πολυμεταβλητές στατιστικές τεχνικές της διαχωριστικής ανάλυσης και της ταξινόμησης, αποτελούν ένα πολύτιμο εργαλείο, χρήσιμο για την επίλυση προβλημάτων αξιοπιστίας και όχι μόνο.
- ☞ Το διάγραμμα ταξινόμησης, το οποίο αποτελεί το τελικό προϊόν του συνδυασμού των δύο τεχνικών, αποδεικνύεται απλό στην χρήση του ενώ παράλληλα αποτελεί κατάληξη θεμελιωμένων στατιστικών κανόνων και μαθηματικών σχέσεων.
- ☞ Κατά την μελέτη των διαφόρων σεναρίων, παρατηρήθηκε το φαινόμενο της υποβάθμισης ή της αναβάθμισης της ισχύος ενός μοντέλου με την εισαγωγή ή απάλειψη μιας ή περισσότερων ομαδοποιημένων και μη μεταβλητών. Το γεγονός αυτό μπορεί να ερμηνευτεί ως εξής: Η εισαγωγή π.χ. μιας ομαδοποιημένης μεταβλητής μπορεί να έχει δύο αποτελέσματα:
 - i. την εισαγωγή πληροφοριών που «φέρει» το ομαδοποιημένο χαρακτηριστικό στην διαχωριστική συνάρτηση, τα οποία αναδεικνύουν την διαχωριστική ισχύ ορισμένων άλλων χαρακτηριστικών και τονίζουν την βαρύτητα της αλληλεπίδρασης μεταξύ διαφόρων μεταβλητών στην αξιοπιστία των αγωγών,
 - ii. την εισαγωγή πληροφοριών στην διαχωριστική συνάρτηση οι οποίες όμως ήδη προϋπάρχουν με αποτέλεσμα την υποβάθμιση της διαχωριστικής ισχύος του πλεονάζοντος χαρακτηριστικού.

Αντίστοιχα η εισαγωγή των μεταβλητών Grade και Product ή καθεμιάς ξεχωριστά επηρεάζει την διαχωριστική ισχύ κάποιων άλλων χαρακτηριστικών και κατά συνέπεια την αξιοπιστία των αγωγών.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτού, φαίνεται στο αποτέλεσμα της διαχωριστικής ανάλυσης που παρουσιάζεται στο σενάριο 1. Παρατηρείται δηλαδή το γεγονός, ότι ενώ η μεταβλητή διάμετρος (diameter) εμφανίζει την μεγαλύτερη διαχω-

διαχωριστική ισχύ, η εισαγωγή των χαρακτηριστικών grade και product υποβαθμίζει την ισχύ της, θέτοντας πρώτη στην κατάταξη την μεταβλητή χρόνο ζωής (lifetime). Το ίδιο συμβαίνει και όταν εισαχθεί μόνο η μεταβλητή Grade και επιπρόσθετα παρουσιάζει την μεταβλητή διάμετρο σαν ασταθή. Όταν εισαχθεί μόνο η μεταβλητή product, η διάμετρος παραμένει να έχει την μεγαλύτερη διαχωριστική ισχύ, αλλά παρουσιάζεται και σαν ασταθής.

- ☞ Η μεταβλητή χρόνος ζωής παρουσιάζει την υψηλότερη διαχωριστική ικανότητα ακολουθούμενη από την διάμετρο και το μήκος.
- ☞ Η αύξηση του αριθμού των χαρακτηριστικών, οι τιμές των οποίων λαμβάνονται υπόψη, έχει σαν αποτέλεσμα τον καλύτερο διαχωρισμό και την αύξηση των ποσοστών σωστής ταξινόμησης. Οδηγεί, δηλαδή, σχεδόν πάντα στην δημιουργία ενός βελτιωμένου μοντέλου πρόβλεψης τής συμπεριφοράς των αγωγών.
- ☞ Η σημασία του προσήμου στους συντελεστές της διαχωριστικής συνάρτησης (πίνακας 1.2, 2.2, κ.ο.κ.) σχετίζεται κάθε φορά με τον τρόπο που επηρεάζει το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό την τιμή της διαχωριστικής μεταβλητής. Έτσι, π.χ. αρνητικός συντελεστής ενός χαρακτηριστικού X δηλώνει ότι αύξηση της τιμής του χαρακτηριστικού αυτού έχει ως συνέπεια την μείωση της τιμής της μεταβλητής Z και επομένως αυξάνεται η πιθανότητα ταξινόμησης του αγωγού στην ομάδα των επιτυχιών, και αντίστροφα. Εντούτοις, η ερμηνεία του προσήμου πρέπει να γίνεται κατά περίπτωση σε συνάρτηση με τα άλλα χαρακτηριστικά που περιλαμβάνονται στην ανάλυση.
- ☞ Λαμβάνοντας υπόψη το σύνολο των στατιστικών παραμέτρων, το καλύτερο σενάριο πρόβλεψης προκύπτει το 1^ο, με πολύ μικρή διαφορά από το 6^ο και το 12^ο. Στο σενάριο αυτό περιλαμβάνονται όλα τα χαρακτηριστικά. Τα ποσοστά σωστής ταξινόμησης έχουν ως εξής: Για τις επιτυχίες $EF_s = 88,1\%$, για τις αποτυχίες $EF_f = 98,3\%$ και συνολικά $EF_t = 91,7\%$. Η τιμή του Wilk's Λ είναι ίση με 0,3881.
- ☞ Τα χειρότερα μοντέλα χαρακτηρίζονται το 13^ο, το 16^ο, το 17^ο και το 18^ο. Τα μοντέλα 21^ο και 22^ο δεν παρουσίασαν ασταθή χαρακτηριστικά. Στις περιπτώσεις των καλών μοντέλων (εξαιρουμένων δηλαδή των χειρότερων) τα ποσοστά σωστής ταξινόμησης κυμαίνονται σε επίπεδα άνω του 90%. Οι τιμές του Wilk's Λ κυμαίνονται από $0,38 \div 0,85$.
- ☞ Όταν εισάγονται οι μεταβλητές grade και product μαζί, τότε παρατηρείται σε κάποια σενάρια αλλαγή της μεταβλητής ποι· παρουσιάζει την μεγαλύτερη διαχωριστική ισχύ και σχεδόν σε όλα τα σενάρια αλλαγή της μεταβλητής που παρουσιάζει

παρουσιάζει την μικρότερη διαχωριστική ισχύ. Στα περισσότερα σενάρια την μικρότερη διαχωριστική ισχύ την παρουσιάζει η μεταβλητή product. Επίσης τα σενάρια 21° και 22° παρουσιάζουν τώρα ασταθείς μεταβλητές τα Grade, product. Τα σενάρια 13°, 17° και 18° παραμένουν ασταθή. Επομένως η εισαγωγή και των δύο μεταβλητών μαζί δεν βοηθά στην καλύτερη πρόβλεψη της αξιοπιστίας του συστήματος.

- Όταν εισάγεται μόνο η μεταβλητή grade, τότε σε κάποια σενάρια αλλάζει τις ασταθείς μεταβλητές και την μεταβλητή που παρουσιάζει την μεγαλύτερη βαρύτητα. Στα περισσότερα σενάρια η εισαγωγή του grade αυξάνει τα ποσοστά ταξινόμησης (π.χ. σενάρια 2, 3, 4, 7, 11, 20 – ακόμη και στα χειρότερα σενάρια 17, 18).
- Όταν εισάγεται μόνο η μεταβλητή product, τότε αυτή παρουσιάζεται να έχει την μικρότερη διαχωριστική ισχύ. Στα σενάρια εκείνα που η μεταβλητή grade αλλάζει τις ασταθείς μεταβλητές, η είσοδος της μεταβλητής product δεν τις επηρεάζει από την αρχική κατάσταση. Τα ποσοστά ταξινόμησης εμφανίζονται μικρότερα στα περισσότερα σενάρια. Επομένως η χρήση της μεταβλητής product δεν παρέχει καμία βελτίωση στην πρόβλεψη της αξιοπιστίας.

Όλα τα παραπάνω μας οδηγούν στο τελικό, πλέον, συμπέρασμα της μεγάλης χρησιμότητας και σημασίας της εφαρμογής των πολυμεταβλητών στατιστικών τεχνικών στην πρόβλεψη της αξιοπιστίας. Η χρησιμοποίηση της μεταβλητής grade θα μπορούσε σε κάποια σενάρια να προσδώσει αξία. Αντίθετα η μεταβλητή product δεν παρουσιάζει καθόλου καλή διαχωριστική ισχύ. Σε ένα μελλοντικό στάδιο διεύρυνσης της παρούσας μελέτης, θα ήταν δυνατή η εφαρμογή των τεχνικών αυτών για την πρόβλεψη της αξιοπιστίας και άλλων μηχανικών συστημάτων ή εξαρτημάτων. Ενδιαφέροντα συμπεράσματα αναμένεται να προκύψουν από την σύγκριση των αποτελεσμάτων της πρακτικής εφαρμογής των διαδικασιών αυτών. Επιπλέον η χρήση του στατιστικού πακέτου Minitab μπορεί να δώσει αξιόπιστα αποτελέσματα μεγάλης ακρίβειας και μπορεί να γίνει εμβάθυνση χρησιμοποιώντας και άλλα εργαλεία που παρέχει το πρόγραμμα.

Τέλος, η συγγραφέας ελπίζει η μελέτη που περιλαμβάνεται στο παρόν σύγγραμμα να αποτελέσει αφορμή οποιασδήποτε περαιτέρω έρευνας, με απώτερο στόχο την εμβάθυνση στην γνώση και την κατανόηση της περιπλοκότητας των αλληλεπιδράσεων

μεταξύ των μεταβλητών, οι οποίες επηρεάζουν τον τρόπο με τον οποίο επέρχεται η αστοχία των αγωγών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Andrews, G. 1984. Offshore Pipeline availability. Offshore Oil & Gas Pipeline Technology. 1984 European Seminar N.E.C.
2. Armitage, P., McPherson, C.K. and Copas, J.C. 1969. Statistical studies of prognosis in advanced breast cancer. Journal of Chronic Diseases. Vol.22. pp. 343-360.
3. Bakouros, Y. L., Offshore Pipeline Reliability Prediction, διδακτορική διατριβή, University of Bradford, 1988.
4. Betts, J. 1984. The identification of companies at risk of financial failure. University of Bradford, Postgraduate school of studies in Industrial Technology. PhD thesis. Unpublished.
5. Box, G.E.P. 1949. A general distribution theory for a class of likelihood criteria. Biometrika. Vol. 36. pp. 317-346.
6. Bulbrook, R.D., Hayward, J.L. and Thomas, B.S. 1964. The relation between the urinary 17-hydroxycorticosteroids and U-deoxy-17oxosteroids and the fate of patients after mestectomy. Lancet. i. pp. 945-947.
7. Cannon, A.J. and Lewis, R.C. 1985. The reliability of pipe systems operating in the British sector of the North Sea. 1985. Paper 4A/R. Reliability Conference Proceedings N.E.C.
8. Christmann, A. and Rousseeuw, P.J. (2001). Measuring overlap in binary regression. Computational Statistics & Data Analysis. Vol. 37. pp.65-75.
9. Cox, D.R. and Brandwood, L. 1959. On a discriminatory problem connected with the works of Plato. Journal of the Royal Statistical Society. Series B. 21. pp. 195-200.
10. de la Mare, R.F. and Anderson, O. 1980. Pipeline reliability. Det Norske Veritas. Report No. 80-0572.

11. de la Mare, R.F. and Bakouros, Y.L. 1987. Pipeline Reliability Prediction using Discriminant Analysis. 1987 PPP Conference Proceedings. Utrecht.
12. Det Norske Veritas. 1980. Report No. 80-0082. Failures and Failure Rates in Various Pipeline «Networks». T. Andersen.
13. Doumpos, M. And Zopounidis C. 2001. Assessing financial risks using a multicriteria sorting procedure: the case of country risk assessment. Omega. Vol.29. pp.97-109.
14. Fisher, R.A. 1936. The use of multiple measurements in taxonomic problems. *Annals of Eugenics* 7 : 179-198.
15. Johnson R. And Wichern D., «Applied multivariate statistical analysis», second edition, Prentice-Hall International Editions, London, 1988.
16. Klecka, W.R. 1973. The clientele of Australian Parties. New perspectives through discriminant analysis. *Politics* 7. pp. 301-308.
17. Rao, C.R. 1965. Linear statistical inference and its applications. New York. John Wiley.
18. Sayles, R.S. 1980. The use of discriminant functions and factors analysis techniques in reliability assessment and data classification. 6th Advances in Reliability Technology Symposium. University of Bradford.
19. Veritec 1984. Paper No. 1984-002. Reliability and economics of pipeline operations. O. Furnes, T. Andersen.
20. Tatsuoka, M.M. and Tieteman, D.V. 1954. Discriminant Analysis. *Review of Educational Research*. Vol. 24. pp. 402-420.
21. Tatsuoka, M.M. 1971. *Multivariate analysis*. New York. John Wiley.
22. Μπακούρος, Ι.Α. 1992. Θεωρία Αξιοπιστίας. Θεσσαλονίκη.
23. Στουρμ, Α.Ε. 1997. Βελτιστοποίηση πρόβλεψης Αξιοπιστίας με την χρήση ομαδοποιημένων μεταβλητών. Διπλωματική Εργασία. Βόλος.
24. Ψωϊνός, Δ. Εφαρμοσμένη Στατιστική. Τρίτη έκδοση. Εκδόσεις Ζήτη. Θεσσαλονίκη.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΜΙΝΙΤΑΒ

Οι πίνακες 1.1 έως 1.21 παρουσιάζουν τα αποτελέσματα από τις εφαρμογές του προγράμματος και υπολογίζουν τις μεταβλητές με την μεγαλύτερη βαρύτητα, με την μικρότερη βαρύτητα και τις ασταθείς μεταβλητές για κάθε σενάριο. Ο πίνακας 2 παρουσιάζει συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα, ο πίνακας 3 παρουσιάζει συγκεντρωτικά αποτελέσματα μετά την εισαγωγή των μεταβλητών grade, product και ο πίνακας 4 παρουσιάζει ομοίως τα αποτελέσματα μετά την εισαγωγή των μεταβλητών grade, product, καθεμιάς ξεχωριστά.

Επίσης ενδεικτικά παρατίθενται αποτελέσματα του προγράμματος. Παρουσιάζονται αποτελέσματα της εφαρμογής διαχωριστική ανάλυση (Discriminant analysis) για την περίπτωση όπου καθεμιά από τις μεταβλητές grade, product έχει εισαχθεί στα σενάρια. Επίσης παρουσιάζονται αποτελέσματα της εφαρμογής ανάλυση διασποράς (ANOVA) για την περίπτωση των αρχικών σεναρίων. Τέλος παρουσιάζονται αποτελέσματα για την εφαρμογή δυαδική λογιστική παλινδρόμηση (Binary logistic regression) για την περίπτωση όπου οι μεταβλητές grade και product έχουν εισαχθεί ταυτόχρονα σε καθένα σενάριο.

Πίνακας 1.1

	Uif	Uis	Mean	St. deviation	Mean F	Mean S	Zmf	Zms	Zmf-Zms	Uj(Mif-Mis)	Uif*oif	Uis*ois	Ui	Si
Στοθερά	-13,608	-15,347					70,14723	69,24565	0,901582		0	0	-5,216	0
Length	-0,025	-0,029	50,429	63,87	71,724	38,903				-1,53635101	-1,59675	-1,85223	-0,04681	-2,98975
Diameter	0,186	0,023	22,365	8,762	23,881	21,544				1,4183253	1,629732	0,201526	0,6069	5,317658
Thickness	14,419	20,756	0,61044	0,1658	0,62253	0,6039				-0,28502037	2,39067	3,441345	-15,299	-2,53657
Pressure	0,122	0,11	112,56	31,46	124,83	105,91				0,2493656	3,83812	3,4606	0,01318	0,414643
Lifetime	0,017	0,078	64,72	37,54	15,102	91,578				-7,53976884	0,63818	2,92812	0,09859	3,701069
DIM1	0,381	0,328	41,83	24,52	35,61	45,197				0,68700442	9,34212	8,04256	-0,07166	-1,7571
DIM2	0,156	0,169	78,993	80,13	96,738	69,388				0,802449	12,50028	13,54197	0,02934	2,351014
DIM3	0,741	0,835	30,589	12,92	27,216	32,415				-0,7777704	9,57372	10,7882	0,1496	1,932832
DIM4	0,5	0,233	13,574	7,812	17,314	11,55				-2,2675576	3,906	1,820196	-0,3934	-3,07324
DIM5	-0,302	-0,295	6,2782	11,65	2,7761	8,1738				0,29703543	-3,5183	-3,43675	-0,05503	-0,6411

Σενάριο 1.1

	Uif	Uis	Mean	St. deviation	Mean F	Mean S	Zmf	Zms	Zmf-Zms	Ui(Mif-Mis)	Uif*oif	Uis*ois	Ui	Si
Στοθερά	-132,86	-140,13					234,7887	140,6063	94,18242			0	-10,873	0
Length	-0,18	-0,2	50,429	63,87	71,724	38,903				-1,3916104	-11,4966	-12,774	-0,0424	-2,70809
Diameter	-0,44	-0,18	22,365	8,762	23,881	21,544				0,8258958	-3,85528	-1,57716	0,3534	3,096491
Thickness	52,86	44,8	0,61044	0,1658	0,62253	0,6039				-0,11982816	8,764188	7,42784	-6,432	-1,06643
Pressure	0,4	-0,42	112,56	31,46	124,83	105,91				-0,8054244	12,584	-13,2132	-0,04257	-1,33925
Lifetime	0,14	0,21	64,72	37,54	15,102	91,578				-8,19516816	5,2556	7,8834	0,10716	4,022786
DIM1	0,25	0,19	41,83	24,52	35,61	45,197				0,95352302	6,13	4,6588	-0,09946	-2,43876
DIM2	0,12	0,14	78,993	80,13	96,738	69,388				0,7666205	9,6156	11,2182	0,02803	2,246044
DIM3	1,25	1,36	30,589	12,92	27,216	32,415				-0,72151722	16,15	17,5712	0,13878	1,793038
DIM4	3,05	2,83	13,574	7,812	17,314	11,55				-1,1118756	23,8266	22,10796	-0,1929	-1,50693
DIM5	-0,75	-0,77	6,2782	11,65	2,7761	8,1738				0,46690105	-8,7375	-8,9705	-0,0865	-1,00773
Grade	0,46	0,47	411,41	41,33	418,31	407,68				0,2693642	19,0118	19,4251	0,02534	1,047302
Product	1,94	2,21	4,522	1,7	4,3475	4,6165				-0,0069133	3,298	3,757	0,0257	0,04369

	Uif	Uis	Mean	St. deviation	Mean F	Mean S	Zmf	Zms	Zmf-Zms	Uj(Mif-Mis)	Uif*σif	Uis*σis	Ui	Si
Σταθερά	-128,59	-134,62					125,9094	136,7689	-10,8595		0	0	-10,746	0
Length	-0,2	-0,22	50,429	63,87	71,724	38,903				-1,39423608	-12,774	-14,0514	-0,04248	-2,7132
Diameter	-0,67	-0,44	22,365	8,762	23,881	21,544				0,8123412	-5,87054	-3,85528	0,3476	3,045671
Thickness	66,43	60,22	0,61044	0,1658	0,62253	0,6039				-0,11567367	11,01409	9,984476	-6,209	-1,02945
Pressure	-0,42	-0,43	112,56	31,46	124,83	105,91				-0,8160196	-13,2132	-13,5278	-0,04313	-1,35687
Lifetime	0,13	0,2	64,72	37,54	15,102	91,578				-8,2173462	4,8802	7,508	0,10745	4,033673
DIM1	0,24	0,19	41,83	24,52	35,61	45,197				0,95754956	5,8848	4,6588	-0,09988	-2,44906
DIM2	0,12	0,14	78,993	80,13	96,738	69,388				0,7649795	9,6156	11,2182	0,02797	2,241236
DIM3	1,17	1,27	30,589	12,92	27,216	32,415				-0,71637021	15,1164	16,4084	0,13779	1,780247
DIM4	3,21	3,01	13,574	7,812	17,314	11,55				-1,089396	25,07652	23,51412	-0,189	-1,47647
DIM5	-0,67	-0,68	6,2782	11,65	2,7761	8,1738				0,4635005	-7,8055	-7,922	-0,08587	-1,00039
Grade	0,45	0,47	411,41	41,33	418,31	407,68				0,2703209	18,5985	19,4251	0,02543	1,051022
	Uif	Uis	Mean	St. deviation	Mean F	Mean S	Zmf	Zms	Zmf-Zms	Uj(Mif-Mis)	Uif*σif	Uis*σis	Ui	Si
Σταθερά	-53,62	-56,556					53,64877	64,69661	-11,0478		0	0	-5,334	0
Length	-0,212	-0,0233	50,429	63,87	71,724	38,903				-1,53372533	-13,5404	-1,48817	-0,04673	-2,98465
Diameter	1,881	2,206	22,365	8,762	23,881	21,544				1,423233	16,48132	19,32897	0,609	5,336058
Thickness	-34,461	-44,882	0,61044	0,1658	0,62253	0,6039				-0,28638036	-5,71363	-7,44144	-15,372	-2,54868
Pressure	0,283	0,284	112,56	31,46	124,83	105,91				0,2550416	8,90318	8,93464	0,01348	0,424081
Lifetime	0,018	0,09	64,72	37,54	15,102	91,578				-7,53365076	0,67572	3,3786	0,09851	3,698065
DIM1	0,388	0,336	41,83	24,52	35,61	45,197				0,680677	9,51376	8,23872	-0,071	-1,74092
DIM2	0,155	0,169	78,993	80,13	96,738	69,388				0,803543	12,42015	13,54197	0,02938	2,354219
DIM3	0,81	0,914	30,589	12,92	27,216	32,415				-0,7772505	10,4652	11,80888	0,1495	1,93154
DIM4	0,339	0,048	13,574	7,812	17,314	11,55				-2,2785092	2,648268	0,374976	-0,3953	-3,08808
DIM5	-0,374	-0,377	6,2782	11,65	2,7761	8,1738				0,30108371	-4,3571	-4,39205	-0,05578	-0,64984
Product	1,776	2,037	4,522	1,7	4,3475	4,6165				-0,0047613	3,0192	3,4629	0,0177	0,03009

Πίνακας 1.2

	Uif	Uis	Mean	St. deviation	Mean F	Mean S	Zmf	Zms	Zmf-Zms	Ui(Mif-Mis)	Uif*oif	Uis*ois	Ui	Si
Στρατιά	-13,608	-15,347					13,50302	15,34806	-1,84504		0	0	-2,104	0
Length	-0,025	-0,029	50,429	63,87	71,724	38,903				-0,09547629	-1,59675	-1,85223	-0,00291	-0,1858
Diameter	0,186	0,023	22,365	8,762	23,881	21,544				-0,2528634	1,629732	0,201526	-0,1082	-0,94805
Thickness	14,419	20,756	0,61044	0,1658	0,62253	0,6039				0,07289919	2,39067	3,441345	3,913	0,648775
Pressure	0,122	0,11	112,56	31,46	124,83	105,91				-0,1717936	3,83812	3,4606	-0,00908	-0,28566
Lifetime	0,017	0,078	64,72	37,54	15,102	91,578				-7,09850232	0,63818	2,92812	0,09282	3,484463

	Uif	Uis	Mean	St. deviation	Mean F	Mean S	Zmf	Zms	Zmf-Zms	Ui(Mif-Mis)	Uif*oif	Uis*ois	Ui	Si
Σραθέρπ	-64,438	-72,37					64,52255	72,50428	-7,98173		0	0	0	0
Length	-0,029	-0,033	50,429	63,87	71,724	38,903				-0,13814359	-1,85223	-2,10771	-0,00421	-0,26883
Diameter	-0,312	-0,507	22,365	8,762	23,881	21,544				-0,30843726	-2,73374	-4,44233	-0,13198	-1,15641
Thickness	29,592	36,725	0,61044	0,1658	0,62253	0,6039				0,10136583	4,906354	6,089005	5,441	0,902118
Pressure	-0,002	-0,023	112,56	31,46	124,83	105,91				-0,3176668	-0,06292	-0,72358	-0,01679	-0,52821
Lifetime	0,085	0,149	64,72	37,54	15,102	91,578				-7,63536384	3,1909	5,59346	0,09984	3,747994
Grade	0,271	0,287	411,41	41,33	418,31	407,68				0,1997377	11,20043	11,86171	0,01879	0,776591
Product	1,305	1,449	4,522	1,7	4,3475	4,6165				0,0180499	2,2185	2,4633	-0,0671	-0,11407

Πίνακας 1.3

	Uif	Uis	Mean	St. deviation	Mean F	Mean S	Zmf	Zms	Zmf-Zms	Uj(Mif-Mis)	Uif*σif	Uis*σis	Ui	Si
Σταθερά	-31,876	-30,916					31,85598	30,96329	0,892698		0	0	0	0,601
Length	-0,025	-0,029	50,429	63,87	71,724	38,903				-0,10584773	-1,59675	-1,85223	-0,00323	-0,20598
Diameter	0,19	0,026	22,365	8,762	23,881	21,544				-0,2626788	1,66478	0,227812	-0,1124	-0,98485
Thickness	12,05	18,569	0,61044	0,1658	0,62253	0,6039				0,07528383	1,99789	3,07874	4,041	0,669998
Pressure	0,326	0,298	112,56	31,46	124,83	105,91				-0,3994012	10,25596	9,37508	-0,02111	-0,66412
Lifetime	-0,016	0,048	64,72	37,54	15,102	91,578				-7,16503644	-0,60064	1,80192	0,09369	3,517123
DIM1	0,366	0,338	41,83	24,52	35,61	45,197				0,32432821	8,97432	8,28776	-0,03383	-0,82951

	Uif	Uis	Mean	St. deviation	Mean F	Mean S	Zmf	Zms	Zmf-Zms	Ui(Mif-Mis)	Uif*oif	Uis*ois	Ui	Si
Σταθερά	-69,458	-75,493					69,43428	75,57401	-6,13973		0	0	-4,629	0
Length	-0,027	-0,031	50,429	63,87	71,724	38,903				-0,17976062	-1,72449	-1,97997	-0,00548	-0,34982
Diameter	-0,271	-0,475	22,365	8,762	23,881	21,544				-0,33970632	-2,3745	-4,16195	-0,14536	-1,27364
Thickness	26,245	34,084	0,61044	0,1658	0,62253	0,6039				0,11528244	4,351421	5,651127	6,188	1,02597
Pressure	0,121	0,074	112,56	31,46	124,83	105,91				-0,7810176	3,80666	2,32804	-0,04128	-1,29867
Lifetime	0,058	0,129	64,72	37,54	15,102	91,578				-7,78296252	2,17732	4,84266	0,10177	3,820446
DIM1	0,204	0,161	41,83	24,52	35,61	45,197				0,6183615	5,00208	3,94772	-0,0645	-1,58154
Grade	0,242	0,264	411,41	41,33	418,31	407,68				0,22276946	10,00186	10,91112	0,02142	0,885289
Product	1,492	1,596	4,522	1,7	4,3475	4,6165				0,049496	2,5364	2,7132	-0,184	-0,3128

Πίνακας 1.4

	Uif	Uis	Mean	St. deviation	Mean F	Mean S	Zmf	Zms	Zmf-Zms	Uj(Mif-Mis)	Uif*oif	Uis*ois	Ui	Si
Σταθέρη	-18,775	-21,802					18,75359	21,76768	-3,01409		0	0	-3,804	0
Length	-0,215	-0,241	50,429	63,87	71,724	38,903				-1,26131103	-13,7321	-15,3927	-0,03843	-2,45452
Diameter	0,535	0,413	22,365	8,762	23,881	21,544				-0,11701359	4,68767	3,618706	-0,05007	-0,43871
Thickness	16,324	22,886	0,61044	0,1658	0,62253	0,6039				0,08020215	2,706519	3,794499	4,305	0,713769
Pressure	0,131	0,119	112,56	31,46	124,83	105,91				-0,1432244	4,12126	3,74374	-0,00757	-0,23815
Lifetime	0,014	0,075	64,72	37,54	15,102	91,578				-6,88742856	0,52556	2,8155	0,09006	3,380852
DIM2	0,139	0,155	78,993	80,13	96,738	69,388				0,644913	11,13807	12,42015	0,02358	1,889465

Σενάριο 4.1

	Ujif	Uis	Mean	St. deviation	Mean F	Mean S	Zmf	Zms	Zmf-Zms	Uj(Mif-Mis)	Ujif*oif	Uis*ois	Ui	Si
Σταθερά	-67,024	-75,75					67,08994	75,80657	-8,71662		0	0	-12,465	0
Length	-0,163	-0,187	50,429	63,87	71,724	38,903				-1,58328504	-10,4108	-11,9437	-0,04824	-3,08109
Diameter	-0,054	-0,213	22,365	8,762	23,881	21,544				-0,15632193	-0,47315	-1,86631	-0,06689	-0,58609
Thickness	30,587	37,863	0,61044	0,1658	0,62253	0,6039				0,11647476	5,071325	6,277685	6,252	1,036582
Pressure	0,006	-0,013	112,56	31,46	124,83	105,91				-0,313126	0,18876	-0,40898	-0,01655	-0,52066
Lifetime	0,081	0,145	64,72	37,54	15,102	91,578				-7,6514238	3,04074	5,4433	0,10005	3,755877
DIM2	0,099	0,113	78,993	80,13	96,738	69,388				0,791509	7,93287	9,05469	0,02894	2,318962
Grade	0,265	0,28	411,41	41,33	418,31	407,68				0,2302458	10,95245	11,5724	0,02166	0,895208
Product	1,3	1,443	4,522	1,7	4,3475	4,6165				0,0214124	2,21	2,4531	-0,0796	-0,13532

Πίνακας 1.5

	Uif	Uis	Mean	St. deviation	Mean F	Mean S	Zmf	Zms	Zmf-Zms	Uj(Mif-Mis)	Uif*oif	Uis*ois	Ui	Si
Σταθέρη	-24,794	-29,138				38,903	24,78343	29,21252	-4,42909		0	0	0	0
Length	-0,039	-0,044	50,429	63,87	71,724					-0,1162848	-2,49093	-2,81028	-0,00354	-0,22629
Diameter	1,776	1,788	22,365	8,762	23,881	21,544				0,0137883	15,56131	15,66646	0,0059	0,051696
Thickness	-41,614	-41,46	0,61044	0,1658	0,62253	0,6039				0,004154449	-6,8996	-6,87407	0,223	0,036973
Pressure	0,108	0,094	112,56	31,46	124,83	105,91				-0,1969572	3,39768	2,95724	-0,01041	-0,3275
Lifetime	0,019	0,081	64,72	37,54	15,102	91,578				-6,78571548	0,71326	3,04074	0,0873	3,330924
DIM3	0,812	0,901	30,589	12,92	27,216	32,415				-0,31235592	10,49104	11,64092	0,06008	0,776234

	Uif	Uis	Mean	St. deviation	Mean F	Mean S	Zmf	Zms	Zmf-Zms	Uj(Mif-Mis)	Uif*oif	Uis*ois	Ui	Si
Σταθερά	-82,115	-93,895					81,98289	94,06828	-12,0854		0	0	-13,157	0
Length	-0,043	-0,049	50,429	63,87	71,724	38,903				-0,14697244	-2,74641	-3,12963	-0,00448	-0,28601
Diameter	1,67	1,68	22,365	8,762	23,881	21,544				0,032718	14,63254	14,72016	0,014	0,122668
Thickness	-42,028	-42,308	0,61044	0,1658	0,62253	0,6039				0,00778734	-6,96824	-7,01467	0,418	0,069304
Pressure	-0,035	-0,059	112,56	31,46	124,83	105,91				-0,3961848	-1,1011	-1,85614	-0,02094	-0,65877
Lifetime	0,09	0,156	64,72	37,54	15,102	91,578				-7,2155106	3,3786	5,85624	0,09435	3,541899
DIM3	1,039	1,147	30,589	12,92	27,216	32,415				-0,42725382	13,42388	14,81924	0,08218	1,061766
Grade	0,286	0,304	411,41	41,33	418,31	407,68				0,2343915	11,82038	12,56432	0,02205	0,911327
Product	1,969	2,182	4,522	1,7	4,3475	4,6165				-0,0126968	3,3473	3,7094	0,0472	0,08024

Πίνακας 1.6

	Uif	Uis	Mean	St. deviation	Mean F	Mean S	Zmf	Zms	Zmf-Zms	Uj(Mif-Mis)	Uif*oif	Uis*ois	Ui	Si
Σταθέρη	-14,293	-17,178					14,24035	17,14307	-2,90273		0	0	-2,823	0
Length	-0,023	-0,026	50,429	63,87	71,724	38,903				-0,13614151	-1,46901	-1,66062	-0,00415	-0,26493
Diameter	0,475	0,494	22,365	8,762	23,881	21,544				0,215004	4,16195	4,328428	0,092	0,806104
Thickness	3,69	3,211	0,61044	0,1658	0,62253	0,6039				-0,03440961	0,611802	0,532384	-1,847	-0,36623
Pressure	0,174	0,195	112,56	31,46	124,83	105,91				0,2618528	5,47404	6,1347	0,01384	0,435406
Lifetime	0,024	0,089	64,72	37,54	15,102	91,578				-7,18186116	0,90096	3,34106	0,09391	3,525381
DIM4	-0,32	-0,524	13,574	7,812	17,314	11,55				-1,1608696	-2,49984	-4,09349	-0,2014	-1,57334

Σενάριο 6.1

	Uif	Uis	Mean	St. deviation	Mean F	Mean S	Zmf	Zms	Zmf-Zms	Uj(Mif-Mis)	Uif*oif	Uis*ois	Ui	Si
Στοθερό	-82,42	-87,11					83,84235	86,56939	-2,72704		0	0	-7,099	0
Length	-0,05	-0,05	50,429	63,87	71,724	38,903				-0,14776014	-3,1935	-3,1935	-0,0045	-0,28754
Diameter	-2,41	-2,41	22,365	8,762	23,881	21,544				-0,0035055	-21,1164	-21,1164	-0,0015	-0,01314
Thickness	110,21	109,72	0,61044	0,1658	0,62253	0,6039				0,02749788	18,27282	18,19158	1,476	0,244721
Pressure	-0,39	-0,38	112,56	31,46	124,83	105,91				-0,0298936	-12,2694	-11,9548	-0,00158	-0,04971
Lifetime	0,07	0,14	64,72	37,54	15,102	91,578				-7,47017568	2,6278	5,2556	0,09768	3,666907
DIM4	2,14	1,94	13,574	7,812	17,314	11,55				-0,6957148	16,71768	15,15528	-0,1207	-0,94291
Grade	0,4	0,4	411,41	41,33	418,31	407,68				0,1283041	16,532	16,532	0,01207	0,498853
Product	0,47	0,7	4,522	1,7	4,3475	4,6165				0,0088232	0,799	1,19	-0,0328	-0,05576

Πίνακας 1.7

	Uif	Uis	Mean	St. deviation	Mean F	Mean S	Zmf	Zms	Zmf-Zms	Uj(Mif-Mis)	Uif*oif	Uis*ois	Ui	Si
Σταθερά	15,87	17,576					47,662	52,78884	-5,12684		0	0	-2,609	0
Length	-0,002	-0,006	50,429	63,87	71,724	38,903				0,08937158	-0,12774	-0,38322	0,002723	0,173918
Diameter	0,256	0,092	22,365	8,762	23,881	21,544				-0,24248712	2,243072	0,806104	-0,10376	-0,90915
Thickness	13,166	19,511	0,61044	0,1658	0,62253	0,6039				0,07386795	2,182923	3,234924	3,965	0,657397
Pressure	0,141	0,128	112,56	31,46	124,83	105,91				-0,157982	4,43586	4,02688	-0,00835	-0,26269
Lifetime	0,052	0,113	64,72	37,54	15,102	91,578				-7,80208152	1,95208	4,24202	0,10202	3,829831
DIM5	-0,274	-0,272	6,2782	11,65	2,7761	8,1738				0,42042685	-3,1921	-3,1688	-0,07789	-0,90742

Σενάριο 7.1

	Uif	Uis	Mean	St. deviation	Mean F	Mean S	Zmf	Zms	Zmf-Zms	Uj(Mif-Mis)	Uj*σis	Ui	Si
Σταθέρη	-73,908	-82,419					74,07225	82,36004	-8,28778		0	-11,44	0
Length	0,022	0,019	50,429	63,87	71,724	38,903				0,13824205	1,40514	0,004212	0,26902
Diameter	-0,228	-0,42	22,365	8,762	23,881	21,544				-0,3017067	-1,99774	-0,1291	-1,13117
Thickness	27,56	34,632	0,61044	0,1658	0,62253	0,6039				0,10738332	4,569448	5,764	0,955671
Pressure	0,02	0	112,56	31,46	124,83	105,91				-0,3356408	0,6292	-0,01774	-0,5581
Lifetime	0,163	0,23	64,72	37,54	15,102	91,578				-8,7641496	6,11902	0,1146	4,302084
DIM5	-0,582	-0,6	6,2782	11,65	2,7761	8,1738				0,66186597	-6,7803	-0,12262	-1,42852
Grade	0,294	0,31	411,41	41,33	418,31	407,68				0,2390687	12,15102	0,02249	0,929512
Product	1,924	2,087	4,522	1,7	4,3475	4,6165				0,0155751	3,2708	-0,0579	-0,09843

	Uif	Uis	Mean	St. deviation	Mean F	Mean S	Zmf	Zms	Zmf-Zms	Ui(Mif-Mis)	Uif*oif	Uis*ois	Ui	Si
Σταθερά	-32,98	-39,215					93,61674	107,5084	-13,8917		0	0	-12,618	0
Length	-0,215	-0,24	50,429	63,87	71,724	38,903				-1,65811692	-13,7321	-15,3288	-0,05052	-3,22671
Diameter	2,347	2,543	22,365	8,762	23,881	21,544				1,4650653	20,56441	22,28177	0,6269	5,492898
Thickness	45,859	51,039	0,61044	0,1658	0,62253	0,6039				-0,29742795	7,603422	8,462266	-15,965	-2,647
Pressure	0,151	0,168	112,56	31,46	124,83	105,91				0,8689956	4,75046	5,28528	0,04593	1,444958
Lifetime	0,054	0,118	64,72	37,54	15,102	91,578				-7,73784168	2,02716	4,42972	0,10118	3,798297
DIM2	0,145	0,16	78,993	80,13	96,738	69,388				0,8918835	11,61885	12,8208	0,03261	2,613039
DIM3	0,833	0,914	30,589	12,92	27,216	32,415				-0,8661534	10,76236	11,80888	0,1666	2,152472
DIM4	0,105	0,289	13,574	7,812	17,314	11,55				-2,1718752	0,82026	2,257668	-0,3768	-2,94356
DIM5	-0,274	-0,271	6,2782	11,65	2,7761	8,1738				0,38345261	-3,1921	-3,15715	-0,07104	-0,82762

	Uif	Uis	Mean	St. deviation	Mean F	Mean S	Zmf	Zms	Zmf-Zms	Uj(Mif-Mis)	Uj*oif	Uis*ois	Uj	Si
Σταθικά	-125,71	-135,81					127,1412	137,3428	-10,2016		0	0	-16,058	0
Length	-0,17	-0,19	50,429	63,87	71,724	38,903				-1,55801287	-10,8579	-12,1353	-0,04747	-3,03191
Diameter	-0,13	0,07	22,365	8,762	23,881	21,544				1,0810962	-1,13906	0,61334	0,4626	4,053301
Thickness	42,47	36,73	0,61044	0,1658	0,62253	0,6039				-0,1941246	7,041526	6,089834	-10,42	-1,72764
Pressure	-0,51	-0,51	112,56	31,46	124,83	105,91				0,3994012	-16,0446	-16,0446	0,02111	0,664121
Lifetime	0,17	0,24	64,72	37,54	15,102	91,578				-7,90685364	6,3818	9,0096	0,10339	3,881261
DIM2	0,12	0,13	78,993	80,13	96,738	69,388				0,8738325	9,6156	10,4169	0,03195	2,560154
DIM3	1,32	1,42	30,589	12,92	27,216	32,415				-0,7465764	17,0544	18,3464	0,1436	1,855312
DIM4	2,8	2,64	13,574	7,812	17,314	11,55				-1,4963344	21,8736	20,62368	-0,2596	-2,028
DIM5	-0,75	-0,77	6,2782	11,65	2,7761	8,1738				0,47418795	-8,7375	-8,9705	-0,08785	-1,02345
Grade	0,48	0,49	411,41	41,33	418,31	407,68				0,1293671	19,8384	20,2517	0,01217	0,502986
Product	1,86	2,14	4,522	1,7	4,3475	4,6165				-0,0261199	3,162	3,638	0,0971	0,16507

	Uif	Uis	Mean	St. deviation	Mean F	Mean S	Zmf	Zms	Zmf-Zms	Ui(Mif-Mis)	Uif*oif	Uis*ois	Ui	Si
Σταθερά	-121,81	-130,63					124,1033	129,2252	-5,12184		0	0	-15,557	0
Length	-0,19	-0,21	50,429	63,87	71,724	38,903				-1,57770547	-12,1353	-13,4127	-0,04807	-3,07023
Diameter	-0,36	-0,2	22,365	8,762	23,881	21,544				1,0775907	-3,15432	-1,7524	0,4611	4,040158
Thickness	55,71	51,99	0,61044	0,1658	0,62253	0,6039				-0,191889	9,236718	8,619942	-10,3	-1,70774
Pressure	-0,52	-0,52	112,56	31,46	124,83	105,91				0,4255108	-16,3592	-16,3592	0,02249	0,707535
Lifetime	0,16	0,23	64,72	37,54	15,102	91,578				-7,95885732	6,0064	8,6342	0,10407	3,906788
DIM2	0,12	0,13	78,993	80,13	96,738	69,388				0,870277	9,6156	10,4169	0,03182	2,549737
DIM3	1,25	1,33	30,599	12,92	27,216	32,415				-0,7502157	16,15	17,1836	0,1443	1,864356
DIM4	2,97	2,83	13,574	7,812	17,314	11,55				-1,4807716	23,20164	22,10796	-0,2569	-2,0069
DIM5	-0,68	-0,68	6,2782	11,65	2,7761	8,1738				0,45761701	-7,922	-7,922	-0,08478	-0,98769
Grade	0,48	0,48	411,41	41,33	418,31	407,68				0,1216072	19,8384	19,8384	0,01144	0,472815
	Uif	Uis	Mean	St. deviation	Mean F	Mean S	Zmf	Zms	Zmf-Zms	Ui(Mif-Mis)	Uif*oif	Uis*ois	Ui	Si
Σταθερά	-35,961	-43,319					36,03662	43,41134	-7,37472		0	0	-12,812	0
Length	-0,199	-0,221	50,429	63,87	71,724	38,903				-1,64827062	-12,7101	-14,1153	-0,05022	-3,20755
Diameter	2,56	2,794	22,365	8,762	23,881	21,544				1,481658	22,43072	24,48103	0,634	5,555108
Thickness	-57,92	-65,191	0,61044	0,1658	0,62253	0,6039				-0,30232764	-9,60314	-10,8087	-16,228	-2,6906
Pressure	0,162	0,18	112,56	31,46	124,83	105,91				0,867482	5,09652	5,6628	0,04585	1,442441
Lifetime	0,063	0,129	64,72	37,54	15,102	91,578				-7,6973094	2,36502	4,84266	0,10065	3,778401
DIM2	0,145	0,159	78,993	80,13	96,738	69,388				0,8962595	11,61885	12,74067	0,03277	2,62586
DIM3	0,897	0,99	30,599	12,92	27,216	32,415				-0,8614743	11,58924	12,7908	0,1657	2,140844
DIM4	-0,262	-0,472	13,574	7,812	17,314	11,55				-2,2139524	-2,04674	-3,68726	-0,3841	-3,00059
DIM5	-0,339	-0,347	6,2782	11,65	2,7761	8,1738				0,39316847	-3,94935	-4,04255	-0,07284	-0,84859
Product	1,623	1,904	4,522	1,7	4,3475	4,6165				-0,0188838	2,7591	3,2368	0,0702	0,11934

Πίνακας 1.9

	Ujf	Ujs	Mean	St. deviation	Mean F	Mean S	Zmf	Zms	Zmf-Zms	Ui(Mif-Mis)	Uif*oif	Ujs*ois	Ui	Si
Σταθερά	-43,617	-44,287					47,36859	50,60627	-3,23768		0	0	0	0
Length	0,014	0,019	50,429	63,87	71,724	38,903				0,0268804	0,89418	1,21353	0,000819	0,05231
Diameter	1,307	1,569	22,365	8,762	23,881	21,544				1,0754874	11,45193	13,74758	0,4602	4,032272
Thickness	-25,298	-34,149	0,61044	0,1658	0,62253	0,6039				-0,25170993	-4,19441	-5,6619	-13,511	-2,24012
Pressure	0,272	0,272	112,56	31,46	124,83	105,91				-0,034056	8,55712	8,55712	-0,0018	-0,05663
Lifetime	0,018	0,087	64,72	37,54	15,102	91,578				-7,98103536	0,67572	3,26598	0,10436	3,917674
DIM1	0,371	0,317	41,83	24,52	35,61	45,197				0,83378139	9,09692	7,77284	-0,08697	-2,1325
DIM3	0,712	0,804	30,589	12,92	27,216	32,415				-0,64322028	9,19904	10,38768	0,12372	1,598462
DIM4	0,396	0,119	13,574	7,812	17,314	11,55				-2,0669704	3,093552	0,929628	-0,3586	-2,80138
DIM5	0,305	0,298	6,2782	11,65	2,7761	8,1738				0,4876822	3,55325	3,4717	-0,09035	-1,05258

	Uif	Uis	Mean	St. deviation	Mean F	Mean S	Zmf	Zms	Zmf-Zms	Ui(Mif-Mis)	Uif*oif	Uis*ois	Ui	Si
Στραβισμό	-128,83	-135,26					128,2113	132,8761	-4,66478		0	0	-8,165	0
Length	-0,01	-0,01	50,429	63,87	71,724	38,903				0,09573886	-0,6387	-0,6387	0,002917	0,186309
Diameter	-0,75	-0,51	22,365	8,762	23,881	21,544				0,6494523	-6,5715	-4,46862	0,2779	2,43496
Thickness	51,06	42,82	0,51044	0,1658	0,62253	0,6039				-0,13041	8,465748	7,099556		-1,1606
Pressure	-0,41	-0,43	112,56	31,46	124,83	105,91				-0,8619952	-12,8986	-13,5278	-0,04556	-1,43332
Lifetime	0,15	0,22	64,72	37,54	15,102	91,578				-8,6953212	5,631	8,2588	0,1137	4,268298
DIM1	0,24	0,18	41,83	24,52	35,61	45,197				0,99244624	5,8848	4,4136	-0,10352	-2,53831
DIM3	1,23	1,34	30,589	12,92	27,216	32,415				-0,68819163	15,8916	17,3128	0,13237	1,71022
DIM4	3	2,77	13,574	7,812	17,314	11,55				-1,1320496	23,436	21,63924	-0,1964	-1,53428
DIM5	-0,76	-0,78	6,2782	11,65	2,7761	8,1738				0,66731765	-8,854	-9,087	-0,12363	-1,44029
Grade	0,46	0,47	411,41	41,33	418,31	407,68				0,2681949	19,0118	19,4251	0,02523	1,042756
Product	1,96	2,22	4,522	1,7	4,3475	4,6165				-0,0054338	3,332	3,774	0,0202	0,03434

Πίνακας 1.10

	Uif	Ujis	Mean	St. deviation	Mean F	Mean S	Zmf	Zms	Zmf-Zms	Ui(Mif-Mis)	Uif*oif	Ujis*ois	Ui	Si
Στραθέρπá	-40,918	-40,27					40,96943	40,31385	0,655577		0	0	1,475	0
Length	-0,204	-0,224	50,429	63,87	71,724	38,903				-1,14381185	-13,0295	-14,3069	-0,03485	-2,22587
Diameter	0,256	0,37	22,365	8,762	23,881	21,544				0,5566734	2,243072	3,24194	0,2382	2,087108
Thickness	26,631	24,205	0,61044	0,1658	0,62253	0,6039				-0,06671403	4,41542	4,013189	-3,581	-0,59373
Pressure	0,308	0,313	112,56	31,46	124,83	105,91				-0,119196	9,68968	9,84698	-0,0063	-0,1982
Lifetime	0,006	0,077	64,72	37,54	15,102	91,578				-7,51606128	0,22524	2,89058	0,09828	3,689431
DIM1	0,406	0,356	41,83	24,52	35,61	45,197				0,74740252	9,95512	8,72912	-0,07796	-1,91158
DIM2	0,148	0,16	78,993	80,13	96,738	69,388				0,599512	11,85924	12,8208	0,02192	1,75645
DIM4	0,424	0,146	13,574	7,812	17,314	11,55				-1,7124844	3,312288	1,140552	-0,2971	-2,32095
DIM5	-0,298	-0,29	6,2782	11,65	2,7761	8,1738				0,2374988	-3,4717	-3,3785	-0,044	-0,5126

Σενάριο10.1

	Uif	Uis	Mean	St. deviation	Mean F	Mean S	Zmf	Zms	Zmf-Zms	Uj(Mif-Mis)	Uif*oif	Uis*ois	Ui	Si
Σταθερά	-108,54	-111,09					109,9369	109,1549	0,782003		0	0	-4,728	0
Length	-0,15	-0,17	50,429	63,87	71,724	38,903				-1,21700268	-9,5805	-10,8579	-0,03708	-2,3683
Diameter	-2,5	-2,42	22,365	8,762	23,881	21,544				0,2580048	-21,906	-21,204	0,1104	0,967325
Thickness	124,82	123,44	0,61044	0,1658	0,62253	0,6039				0,02243052	20,69516	20,46635	1,204	0,199623
Pressure	-0,27	-0,28	112,56	31,46	124,83	105,91				-0,522192	-8,4942	-8,8088	-0,0276	-0,8683
Lifetime	0,12	0,19	64,72	37,54	15,102	91,578				-8,26934988	4,5048	7,1326	0,10813	4,0592
DIM1	0,3	0,25	41,83	24,52	35,61	45,197				0,81997611	7,356	6,13	-0,08553	-2,0972
DIM2	0,11	0,13	78,993	80,13	96,738	69,388				0,6594085	8,8143	10,4169	0,02411	1,931934
DIM4	2,7	2,44	13,574	7,812	17,314	11,55				-1,0715276	21,0924	19,06128	-0,1859	-1,45225
DIM5	-0,68	-0,69	6,2782	11,65	2,7761	8,1738				0,39673095	-7,922	-8,0385	-0,0735	-0,85628
Grade	0,41	0,41	411,41	41,33	418,31	407,68				0,1948479	16,9453	16,9453	0,01833	0,757579
Product	1,25	1,45	4,522	1,7	4,3475	4,6165				0,0324145	2,125	2,465	-0,1205	-0,20485

Πίνακας 1.11

	U1f	U1s	Mean	St. deviation	Mean F	Mean S	Zmf	Zms	Zmf-Zms	U1(Mif-Mis)	U1f*o1f	U1s*o1s	Uj	Si
Σταθέρη	-48,617	-51,556					48,58756	51,57683	-2,98927		0	0	-3,028	0
Length	-0,217	-0,246	50,429	63,87	71,724	38,903				-1,280019	-13,8598	-15,712	0	-2,49093
Diameter	2,055	2,136	22,365	8,762	23,881	21,544				0,2178084	18,00591	18,71563	0,0932	0,816618
Thickness	-37,025	-37,363	0,61044	0,1658	0,62253	0,6039				0,00424764	-6,13875	-6,19479	0,228	0,037802
Pressure	0,328	0,297	112,56	31,46	124,83	105,91				-0,4726216	10,31888	9,34362	-0,02498	-0,78587
Lifetime	0,023	0,086	64,72	37,54	15,102	91,578				-6,82318872	0,86342	3,22844	0,08922	3,349319
DIM1	0,342	0,31	41,83	24,52	35,61	45,197				0,40035312	8,38584	7,6012	-0,04176	-1,02396
DIM2	0,149	0,166	78,993	80,13	96,738	69,388				0,677186	11,93937	13,30158	0,02476	1,984019
DIM3	0,723	0,826	30,589	12,92	27,216	32,415				-0,37937103	9,34116	10,67192	0,07297	0,942772
DIM5	-0,295	-0,292	6,2782	11,65	2,7761	8,1738				0,15102765	-3,43675	-3,4018	-0,02798	-0,32597

	Uif	Uis	Mean	St. deviation	Mean F	Mean S	Zmf	Zms	Zmf-Zms	Ui(Mif-Mis)	Uif*oif	Uis*ois	Ui	Si
Σταθερὰ	-98,96	-110,92					98,54727	112,9224	-14,3751		0	0	-14,827	0
Length	-0,13	-0,16	50,429	63,87	71,724	38,903				-1,4178672	-8,3031	-10,2192	-0,0432	-2,75918
Diameter	2,08	2,17	22,365	8,762	23,881	21,544				0,3409683	18,22496	19,01354	0,1459	1,278376
Thickness	-46,11	-47,09	0,61044	0,1658	0,62253	0,6039				0,00247779	-7,64504	-7,80752	0,133	0,022051
Pressure	0,09	0,04	112,56	31,46	124,83	105,91				-1,1974468	2,8314	1,2584	-0,06329	-1,9911
Lifetime	0,15	0,23	64,72	37,54	15,102	91,578				-8,26399656	5,631	8,6342	0,10806	4,056572
DIM1	0,16	0,11	41,83	24,52	35,61	45,197				0,86273413	3,9232	2,6972	-0,08999	-2,20655
DIM2	0,11	0,12	78,993	80,13	96,738	69,388				0,795338	8,8143	9,6156	0,02908	2,33018
DIM3	1,05	1,18	30,589	12,92	27,216	32,415				-0,71818986	13,566	15,2456	0,13814	1,784769
DIM5	-0,62	-0,64	6,2782	11,65	2,7761	8,1738				0,49432137	-7,223	-7,456	-0,09158	-1,06691
Grade	0,28	0,31	411,41	41,33	418,31	407,68				0,3799162	11,5724	12,8123	0,03574	1,477134
Product	2,77	2,98	4,522	1,7	4,3475	4,6165				0,0171353	4,709	5,066	-0,0637	-0,10829

	Uif	Uis	Mean	St. deviation	Mean F	Mean S	Zmf	Zms	Zmf-Zms	Uj(Mif-Mis)	Uj*oif	Uis*ois	Uj	Si
Σραθερά	-90,09	-100,67					91,65422	100,7642	-9,10997		0	0	-15,423	0
Length	-0,16	-0,18	50,429	63,87	71,724	38,903				-1,41819541	-10,2192	-11,4966	-0,04321	-2,75982
Diameter	1,94	2,01	22,365	8,762	23,881	21,544				0,3547566	16,99828	17,61162	0,1518	1,330072
Thickness	-34,06	-34,14	0,61044	0,1658	0,62253	0,6039				-0,00348381	-5,64715	-5,66041	-0,187	-0,031
Pressure	0,11	0,06	112,56	31,46	124,83	105,91				-1,1828784	3,4606	1,8876	-0,06252	-1,96688
Lifetime	0,14	0,21	64,72	37,54	15,102	91,578				-8,18522628	5,2556	7,8834	0,10703	4,017906
DIM1	0,14	0,09	41,83	24,52	35,61	45,197				0,84279317	3,4328	2,2068	-0,08791	-2,15555
DIM2	0,11	0,12	78,993	80,13	96,738	69,388				0,80409	8,8143	9,6156	0,0294	2,355822
DIM3	0,92	1,04	30,589	12,92	27,216	32,415				-0,73753014	11,8864	13,4368	0,14186	1,832831
DIM5	-0,49	-0,51	6,2782	11,65	2,7761	8,1738				0,50101451	-5,7085	-5,9415	-0,09282	-1,08135
Grade	0,27	0,29	411,41	41,33	418,31	407,68				0,3825737	11,1591	11,9857	0,03599	1,487467
Σραθερά	-52,985	-56,543					52,98443	56,59891	-3,61448		0	0	-1,751	0
Length	-0,203	-0,231	50,429	63,87	71,724	38,903				-1,32104525	-12,9656	-14,754	-0,04025	-2,57077
Diameter	2,157	2,245	22,365	8,762	23,881	21,544				0,1991124	18,89963	19,67069	0,0852	0,746522
Thickness	-45,532	-46,454	0,61044	0,1658	0,62253	0,6039				0,01423332	-7,54921	-7,70207	0,764	0,126671
Pressure	0,322	0,29	112,56	31,46	124,83	105,91				-0,5329764	10,13012	9,1234	-0,02817	-0,88623
Lifetime	0,028	0,092	64,72	37,54	15,102	91,578				-6,94172652	1,05112	3,45368	0,09077	3,407506
DIM1	0,363	0,332	41,83	24,52	35,61	45,197				0,4860609	8,90076	8,14064	-0,0507	-1,24316
DIM2	0,151	0,168	78,993	80,13	96,738	69,388				0,680468	12,09963	13,46184	0,02488	1,993634
DIM3	0,804	0,913	30,589	12,92	27,216	32,415				-0,35602752	10,38768	11,79596	0,06848	0,884762
DIM5	-0,376	-0,377	6,2782	11,65	2,7761	8,1738				0,12959878	-4,3804	-4,39205	-0,02401	-0,27972
Product	1,926	2,058	4,522	1,7	4,3475	4,6165				0,0345127	3,2742	3,4986	-0,1283	-0,21811

Πίνακας 1.12

	Uif	Uis	Mean	St. deviation	Mean F	Mean S	Zmf	Zms	Zmf-Zms	Uir(Mif-Mis)	Uif*oif	Uis*ois	Ui	Si
Σταθιρά	-47,31	-49,251					47,24788	49,20765	-1,95977		0	0	-4,394	0
Length	-0,255	-0,277	50,429	63,87	71,724	38,903				-1,80581142	-16,2869	-17,692	-0,05502	-3,51413
Diameter	1,598	1,891	22,365	8,762	23,881	21,544				1,3542915	14,00168	16,56894	0,5795	5,077579
Thickness	-20,741	-29,308	0,61044	0,1658	0,62253	0,6039				-0,27026541	-3,43886	-4,85927	-14,507	-2,40526
Pressure	0,249	0,25	112,56	31,46	124,83	105,91				0,1804968	7,83354	7,865	0,00954	0,300128
Lifetime	-0,028	0,043	64,72	37,54	15,102	91,578				-7,03655676	-1,05112	1,61422	0,09201	3,454056
DIM1	0,375	0,322	41,83	24,52	35,61	45,197				0,70541146	9,195	7,89544	-0,07358	-1,80418
DIM2	0,157	0,17	78,993	80,13	96,738	69,388				0,8700035	12,58041	13,6221	0,03181	2,548935
DIM3	0,738	0,832	30,589	12,92	27,216	32,415				-0,7340988	9,53496	10,74944	0,1412	1,824304
DIM4	0,48	0,213	13,574	7,812	17,314	11,55				-2,1551596	3,74976	1,663956	-0,3739	-2,92091

	Uif	Uis	Mean	St. deviation	Mean F	Mean S	Zmf	Zms	Zmf-Zms	Uj(Mif-Mis)	Uif*oif	Uis*ois	Ui	Si
Σταθερά	-117,24	-123,95					116,8889	123,1672	-6,27831		0	0	-9,256	0
Length	-0,25	-0,27	50,429	63,87	71,724	38,903				-1,81861161	-15,9675	-17,2449	-0,05541	-3,53904
Diameter	-0,44	-0,18	22,365	8,762	23,881	21,544				0,8114064	-3,85528	-1,57716	0,3472	3,042166
Thickness	51,67	43,59	0,61044	0,1688	0,62253	0,6039				-0,11947419	8,566886	7,227222	-6,413	-1,06328
Pressure	-0,39	-0,4	112,56	31,46	124,83	105,91				-0,7516916	-12,2694	-12,584	-0,03973	-1,24991
Lifetime	0,04	0,11	64,72	37,54	15,102	91,578				-7,42123104	1,5016	4,1294	0,09704	3,642882
DIM1	0,25	0,19	41,83	24,52	35,61	45,197				0,92591246	6,13	4,6588	-0,09658	-2,36814
DIM2	0,13	0,14	78,993	80,13	96,738	69,388				0,876294	10,4169	11,2182	0,03204	2,567365
DIM3	1,17	1,28	30,589	12,92	27,216	32,415				-0,67826154	15,1164	16,5376	0,13046	1,685543
DIM4	2,8	2,58	13,574	7,812	17,314	11,55				-1,0876668	21,8736	20,15496	-0,1887	-1,47412
Grade	0,41	0,42	411,41	41,33	418,31	407,68				0,2355608	16,9453	17,3586	0,02216	0,915873
Product	1,19	1,44	4,522	1,7	4,3475	4,6165				-0,0022058	2,023	2,448	0,0082	0,01394

	Uif	Uis	Mean	St. deviation	Mean F	Mean S	Zmf	Zms	Zmf-Zms	Ui(Mif-Mis)	Uif*oif	Uis*ois	Ui	Si
Στραθρόπ	-115,59	-121,51					115,5662	120,0068	-4,44059		0	0	-9,216	0
Length	-0,25	-0,28	50,429	63,87	71,724	38,903				-1,81893982	-15,9675	-17,8836	-0,05542	-3,53968
Diameter	-0,59	-0,36	22,365	8,762	23,881	21,544				0,8076672	-5,16958	-3,15432	0,3456	3,028147
Thickness	60,38	54,15	0,61044	0,1658	0,62253	0,6039				-0,11820735	10,011	8,97807	-6,345	-1,052
Pressure	-0,39	-0,41	112,56	31,46	124,83	105,91				-0,754908	-12,2694	-12,8986	-0,0399	-1,25525
Lifetime	0,04	0,11	64,72	37,54	15,102	91,578				-7,4296434	1,5016	4,1294	0,09715	3,647011
DIM1	0,24	0,19	41,83	24,52	35,61	45,197				0,92715877	5,8848	4,6588	-0,09671	-2,37133
DIM2	0,13	0,14	78,993	80,13	96,738	69,388				0,875747	10,4169	11,2182	0,03202	2,565763
DIM3	1,12	1,23	30,589	12,92	27,216	32,415				-0,67670184	14,4704	15,8916	0,13016	1,681667
DIM4	2,92	2,72	13,574	7,812	17,314	11,55				-1,0813264	22,81104	21,24864	-0,1876	-1,46553
Grade	0,41	0,42	411,41	41,33	418,31	407,68				0,2358797	16,9453	17,3586	0,02219	0,917113
Στραθρόπ	-49,587	-52,449					49,58169	52,35972	-2,77803		0	0	-4,4	0
Length	-0,246	-0,267	50,429	63,87	71,724	38,903				-1,80581142	-15,712	-17,0533	-0,05502	-3,51413
Diameter	1,759	2,082	22,365	8,762	23,881	21,544				1,3545252	15,41236	18,24248	0,5796	5,078455
Thickness	-30,555	-40,94	0,61044	0,1658	0,62253	0,6039				-0,27033993	-5,06602	-6,78785	-14,511	-2,40592
Pressure	0,256	0,258	112,56	31,46	124,83	105,91				0,180686	8,05376	8,11668	0,00955	0,300443
Lifetime	-0,028	0,043	64,72	37,54	15,102	91,578				-7,035792	-1,05112	1,61422	0,092	3,45368
DIM1	0,38	0,327	41,83	24,52	35,61	45,197				0,70512385	9,3176	8,01804	-0,07355	-1,80345
DIM2	0,156	0,169	78,993	80,13	96,738	69,388				0,870277	12,50028	13,54197	0,03182	2,549737
DIM3	0,792	0,895	30,589	12,92	27,216	32,415				-0,7340988	10,23264	11,5634	0,1412	1,824304
DIM4	0,351	0,059	13,574	7,812	17,314	11,55				-2,155736	2,742012	0,460908	-0,374	-2,92169
Product	1,389	1,647	4,522	1,7	4,3475	4,6165				-0,000269	2,3613	2,7999	0,001	0,0017

Πίνακας 1.13

	Uif	Uis	Mean	St. deviation	Mean F	Mean S	Zmf	Zms	Zmf-Zms	Uj(Mif-Mis)	Uif*oif	Uis*ois	Uj	Si
Στρατηγιά	-25,927	-23,812					25,96296	23,80377	2,159196		0	0	0,345	0
DIM1	0,302	0,297	41,83	24,52	35,61	45,197				-0,1639377	7,40504	7,28244	0,0171	0,419292
DIM2	0,015	0,006	78,993	80,13	96,738	69,388				-0,36214135	1,20195	0,48078	-0,01324	-1,061
DIM3	0,632	0,642	30,589	12,92	27,216	32,415				-0,18186102	8,16544	8,29464	0,03498	0,451942
DIM4	1,331	1,182	13,574	7,812	17,314	11,55				-0,58181816	10,39777	9,233784	-0,10094	-0,78854
DIM5	-0,202	-0,084	6,2782	11,65	2,7761	8,1738				-1,2442778	-2,3533	-0,9786	0,23052	2,685558

	Uif	Uis	Mean	St. deviation	Mean F	Mean S	Zmf	Zms	Zmf-Zms	Ui(Mif-Mis)	Uif*oif	Uis*ois	Ui	Si
Σταθερά	-104,89	-98,88					105,476	98,62543	6,850615		0	0	3,631	0
DIM1	0,44	0,43	41,83	24,52	35,61	45,197				-0,11159268	10,7888	10,5436	0,01164	0,285413
DIM2	0,01	0	78,993	80,13	96,738	69,388				-0,33249395	0,8013	0	-0,01216	-0,97414
DIM3	0,89	0,89	30,589	12,92	27,216	32,415				-0,11973297	11,4988	11,4988	0,02303	0,297548
DIM4	1,8	1,63	13,574	7,812	17,314	11,55				-0,68972024	14,0616	12,73356	-0,11966	-0,93478
DIM5	-0,48	-0,36	6,2782	11,65	2,7761	8,1738				-1,20751947	-5,592	-4,194	0,22371	2,606222
Grade	0,31	0,3	411,41	41,33	418,31	407,68				-0,07121037	12,8123	12,399	-0,0067	-0,27687
Product	2,3	2,39	4,522	1,7	4,3475	4,6165				-0,0151985	3,91	4,063	0,0565	0,09605

	Uif	Uis	Mean	St. deviation	Mean F	Mean S	Zmf	Zms	Zmf-Zms	Uj(Mif-Mis)	Uif*oif	Uis*ois	Ui	Si
Σταθέρη	-98,305	-91,824					98,13994	91,86857	6,271375		0	0	4,295	0
DIM1	0,408	0,401	41,83	24,52	35,61	45,197				-0,07717535	10,00416	9,83252	0,00805	0,197386
DIM2	-0,007	-0,015	78,993	80,13	96,738	69,388				-0,346251	-0,56091	-1,20195	-0,01266	-1,01445
DIM3	0,878	0,881	30,589	12,92	27,216	32,415				-0,10834716	11,34376	11,38252	0,02084	0,269253
DIM4	1,86	1,695	13,574	7,812	17,314	11,55				-0,70856852	14,53032	13,24134	-0,12293	-0,96033
DIM5	-0,393	-0,269	6,2782	11,65	2,7761	8,1738				-1,24389997	-4,57845	-3,13385	0,23045	2,684743
Grade	0,305	0,296	411,41	41,33	418,31	407,68				-0,07501591	12,60565	12,23368	-0,007057	-0,29167
Σταθέρη	-30,401	-28,739					30,383	28,75291	1,630086		0	0	-0,388	0
DIM1	0,322	0,319	41,83	24,52	35,61	45,197				-0,21350249	7,89544	7,82188	0,02227	0,54606
DIM2	0,025	0,017	78,993	80,13	96,738	69,388				-0,3402887	2,00325	1,36221	-0,012442	-0,99698
DIM3	0,639	0,649	30,589	12,92	27,216	32,415				-0,19387071	8,25588	8,38508	0,03729	0,481787
DIM4	1,271	1,119	13,574	7,812	17,314	11,55				-0,56245112	9,929052	8,741628	-0,09758	-0,76229
DIM5	-0,27	-0,154	6,2782	11,65	2,7761	8,1738				-1,19062467	-3,1455	-1,7941	0,22058	2,569757
Product	1,898	1,991	4,522	1,7	4,3475	4,6165				-0,0237258	3,2266	3,3847	0,0882	0,14994

Πίνακας 1.14

	Uif	Uis	Mean	St. deviation	Mean F	Mean S	Zmf	Zms	Zmf-Zms	Uj(Mif-Mis)	Uif*oif	Uis*ois	Uj	Si
Στρατηγία	-10,946	-15,91					10,93332	15,86853	-4,93522			0	-5,075	0
Length	-0,116	-0,16	50,429	63,87	71,724	38,903				-1,4802271	-7,40892	-10,2192	-0,0451	-2,88054
Thickness	33,84	37,196	0,61044	0,1658	0,62253	0,6039				0,05860998	5,610672	6,167097	3,146	0,521607
Lifetime	0,032	0,091	64,72	37,54	15,102	91,578				-7,1581536	1,20128	3,41614	0,0936	3,513744
DIM2	0,093	0,12	78,993	80,13	96,738	69,388				0,786039	7,45209	9,6156	0,02874	2,302936
DIM5	-0,125	-0,137	6,2782	11,65	2,7761	8,1738				0,21115802	-1,45625	-1,59605	-0,03912	-0,45575

Σενάριο 14.1

	Uif	Uis	Mean	St. deviation	Mean F	Mean S	Zmf	Zms	Zmf-Zms	Ui(Mif-Mis)	Uif*oif	Uis*ois	Ui	Si
Σταθερά	-75,939	-85,198					76,0344	85,13532	-9,10092		0	0	0	-12,251
Length	-0,107	-0,151	50,429	63,87	71,724	38,903				-1,67485563	-6,83409	-9,64437	-0,05103	-3,25929
Thickness	29,629	32,814	0,61044	0,1658	0,62253	0,6039				0,07800381	4,912488	5,440561	4,187	0,694205
Lifetime	0,155	0,219	64,72	37,54	15,102	91,578				-8,02156764	5,8187	8,22126	0,10489	3,937571
DIM2	0,095	0,122	78,993	80,13	96,738	69,388				0,9093875	7,61235	9,77586	0,03325	2,664323
DIM5	-0,561	-0,589	6,2782	11,65	2,7761	8,1738				0,41535302	-6,53565	-6,86185	-0,07695	-0,89647
Grade	0,293	0,302	411,41	41,33	418,31	407,68				0,1744383	12,10969	12,48166	0,01641	0,678225
Product	1,993	2,072	4,522	1,7	4,3475	4,6165				0,0324145	3,3881	3,5224	-0,1205	-0,20485

	Uif	Uis	Mean	St. deviation	Mean F	Mean S	Zmf	Zms	Zmf-Zms	Ui(Mif-Mis)	Uif*oif	Uis*ois	Ui	Si
Σραθερά	-70,977	-79,835					70,83261	79,71633	-8,88373		0	0	-12,813	0
Length	-0,117	-0,161	50,429	63,87	71,724	38,903				-1,66861964	-7,47279	-10,2831	-0,05084	-3,24715
Thickness	34,475	37,851	0,61044	0,1658	0,62253	0,6039				0,07125975	5,715955	6,275696	3,825	0,634185
Lifetime	0,144	0,207	64,72	37,54	15,102	91,578				-7,89844128	5,40576	7,77078	0,10328	3,877131
DIM2	0,089	0,116	78,993	80,13	96,738	69,388				0,920054	7,13157	9,29508	0,03364	2,695573
DIM5	-0,455	-0,478	6,2782	11,65	2,7761	8,1738				0,42550069	-5,30075	-5,5687	-0,07883	-0,91837
Grade	0,285	0,294	411,41	41,33	418,31	407,68				0,1812415	11,77905	12,15102	0,01705	0,704677
	Uif	Uis	Mean	St. deviation	Mean F	Mean S	Zmf	Zms	Zmf-Zms	Ui(Mif-Mis)	Uif*oif	Uis*ois	Ui	Si
Σραθερά	-13,191	-18,354					13,1671	18,34217	-5,17507		0	0	-4,712	0
Length	-0,109	-0,153	50,429	63,87	71,724	38,903				-1,50418643	-6,96183	-9,77211	-0,04583	-2,92716
Thickness	30,583	33,798	0,61044	0,1658	0,62253	0,6039				0,06714252	5,070661	5,603708	3,604	0,597543
Lifetime	0,038	0,097	64,72	37,54	15,102	91,578				-7,32716556	1,42652	3,64138	0,09581	3,596707
DIM2	0,096	0,124	78,993	80,13	96,738	69,388				0,7824835	7,69248	9,93612	0,02861	2,292519
DIM5	-0,19	-0,205	6,2782	11,65	2,7761	8,1738				0,20430295	-2,2135	-2,38825	-0,03785	-0,44095
Product	1,335	1,392	4,522	1,7	4,3475	4,6165				0,0404307	2,2695	2,3664	-0,1503	-0,25551

Πίνακας 1.15

	Uif	Uis	Mean	St. deviation	Mean F	Mean S	Zmf	Zms	Zmf-Zms	Ui(Mif-Mis)	Uif*oif	Uis*ois	Ui	Si
Σταθέρη	-37,731	-36,201					37,65652	36,23978	1,416733			0	1,519	0
Diameter	0,503	0,534	22,365	8,762	23,881	21,544				0,07375572	4,407286	4,678908	0,03156	0,276529
Pressure	0,226	0,205	112,56	31,46	124,83	105,91				-0,5377064	7,10996	6,4493	-0,02842	-0,89409
DIM1	0,37	0,363	41,83	24,52	35,61	45,197				0,04419607	9,0724	8,90076	-0,00461	-0,11304
DIM3	0,514	0,555	30,589	12,92	27,216	32,415				-0,36616557	6,64088	7,1706	0,07043	0,909956
DIM4	0,462	0,418	13,574	7,812	17,314	11,55				-0,07683412	3,609144	3,265416	-0,01333	-0,10413

	Ujf	Uis	Mean	St. deviation	Mean F	Mean S	Zmf	Zms	Zmf-Zms	Uj(Mif-Mis)	Uif*oif	Uis*ois	Ui	Si
Σταθέρá	-102,67	-102					105,218	132,0401	-26,8221		0	0	-0,978	0
Diameter	0,16	0,19	22,365	8,762	23,881	21,544				0,05634507	1,40192	1,66478	0,02411	0,211252
Pressure	-0,27	-0,03	112,56	31,46	124,83	105,91				-0,627198	-8,4942	-0,9438	-0,03315	-1,0429
DIM1	0,25	0,24	41,83	24,52	35,61	45,197				0,01390115	6,13	5,8848	-0,00145	-0,03555
DIM3	1,27	1,31	30,589	12,92	27,216	32,415				-0,44456649	16,4084	16,9252	0,08551	1,104789
DIM4	2,02	1,97	13,574	7,812	17,314	11,55				-0,0046112	15,78024	15,38964	-0,0008	-0,00625
Grade	0,36	0,36	411,41	41,33	418,31	407,68				0,03532349	14,8788	14,8788	0,003323	0,13734
Product	2,01	2,23	4,522	1,7	4,3475	4,6165				-0,0657436	3,417	3,791	0,2444	0,41548

	Uif	Uis	Mean	St. deviation	Mean F	Mean S	Zmf	Zms	Zmf-Zms	Ui(Mif-Mis)	Uif*oif	Uis*ois	Ui	Si
Στραβερά	-97,449	-95,519					97,32769	95,49938	1,828308		0	0	0,629	0
Diameter	0,226	0,258	22,365	8,762	23,881	21,544				0,07120839	1,980212	2,260596	0,03047	0,266978
Pressure	-0,255	-0,275	112,56	31,46	124,83	105,91				-0,6173596	-8,0223	-8,6515	-0,03263	-1,02654
DIM1	0,237	0,23	41,83	24,52	35,61	45,197				0,05598808	5,81124	5,6396	-0,00584	-0,1432
DIM3	1,243	1,282	30,589	12,92	27,216	32,415				-0,42195084	16,05956	16,56344	0,08116	1,048587
DIM4	2,024	1,974	13,574	7,812	17,314	11,55				0,00495704	15,81149	15,42089	0,00086	0,006718
Grade	0,344	0,343	411,41	41,33	418,31	407,68				0,02408758	14,21752	14,17619	0,002266	0,093654
	Uif	Uis	Mean	St. deviation	Mean F	Mean S	Zmf	Zms	Zmf-Zms	Ui(Mif-Mis)	Uif*oif	Uis*ois	Ui	Si
Στραβερά	-39,848	-39,152					39,85195	39,135	0,716953		0	0	0,298	0
Diameter	0,467	0,492	22,365	8,762	23,881	21,544				0,0595935	4,091854	4,310904	0,0255	0,223431
Pressure	0,224	0,202	112,56	31,46	124,83	105,91				-0,508002	7,04704	6,35492	-0,02685	-0,8447
DIM1	0,382	0,376	41,83	24,52	35,61	45,197				-0,00872417	9,36664	9,21952	0,00091	0,022313
DIM3	0,515	0,555	30,589	12,92	27,216	32,415				-0,36398199	6,6538	7,1706	0,07001	0,904529
DIM4	0,43	0,38	13,574	7,812	17,314	11,55				-0,11908424	3,35916	2,96856	-0,02066	-0,1614
Product	1,27	1,499	4,522	1,7	4,3475	4,6165				-0,0643986	2,159	2,5483	0,2394	0,40698

Πίνακας 1.16

	Uif	Uis	Mean	St. deviation	Mean F	Mean S	Zmf	Zms	Zmf-Zms	Uj(Mif-Mis)	Uif*oif	Uis*ois	Uj	Si
Στρατηγιά	-25,993	-24,217					26,00295	24,16305	1,839903		0	0	1,347	0
Length	-0,018	-0,044	50,429	63,87	71,724	38,903				-1,68568656	-1,14966	-2,81028	-0,05136	-3,28036
DIM1	0,303	0,301	41,83	24,52	35,61	45,197				-0,03729343	7,42956	7,38052	0,00389	0,095383
DIM2	0,027	0,035	78,993	80,13	96,738	69,388				1,4476355	2,16351	2,80455	0,05293	4,241281
DIM3	0,627	0,629	30,589	12,92	27,216	32,415				0,03181788	8,10084	8,12668	-0,00612	-0,07907
DIM4	1,349	1,226	13,574	7,812	17,314	11,55				-0,49679916	10,53839	9,577512	-0,08619	-0,67332
DIM5	-0,193	-0,06	6,2782	11,65	2,7761	8,1738				-4,52651122	-2,24845	-0,699	0,8386	9,76969

	Uif	Uis	Mean	St. deviation	Mean F	Mean S	Zmf	Zms	Zmf-Zms	Ui(Mif-Mis)	Uif*oif	Uis*ois	Ui	Si
Στραθερό	-105,41	-100,07					104,9923	98,89337	6,098906			0	4,187	0
Length	-0,05	-0,08	50,429	63,87	71,724	38,903				-4,81352786	-3,1935	-5,1096	-0,14666	-9,36717
DIM1	0,44	0,44	41,83	24,52	35,61	45,197				0,02540555	10,7888	10,7888	-0,00265	-0,06498
DIM2	0,04	0,05	78,993	80,13	96,738	69,388				1,3918415	3,2052	4,0065	0,05089	4,077816
DIM3	0,88	0,87	30,589	12,92	27,216	32,415				0,07127829	11,3696	11,2404	-0,01371	-0,17713
DIM4	1,85	1,71	13,574	7,812	17,314	11,55				-0,5715006	14,4522	13,35852	-0,09915	-0,77456
DIM5	-0,45	-0,32	6,2782	11,65	2,7761	8,1738				-4,4423071	-5,2425	-3,728	0,823	9,58795
Grade	0,31	0,3	411,41	41,33	418,31	407,68				-0,05490395	12,8123	12,399	-0,005165	-0,21347
Product	2,31	2,4	4,522	1,7	4,3475	4,6165				0,0030397	3,927	4,08	-0,0113	-0,01921

	Uif	Uis	Mean	St. deviation	Mean F	Mean S	Zmf	Zms	Zmf-Zms	Ui(Mif-Mis)	Uif*oif	Uis*ois	Ui	Si
Στρατηγιά	-98,773	-92,927					98,59863	93,06882	5,529803		0	0	4,054	0
Length	-0,047	-0,072	50,429	63,87	71,724	38,903				-4,79646094	-3,00189	-4,59864	-0,14614	-9,33396
DIM1	0,413	0,408	41,83	24,52	35,61	45,197				0,01869465	10,12676	10,00416	-0,00195	-0,04781
DIM2	0,025	0,034	78,993	80,13	96,738	69,388				1,3874655	2,00325	2,72442	0,05073	4,064995
DIM3	0,866	0,862	30,589	12,92	27,216	32,415				0,06883476	11,18872	11,13704	-0,01324	-0,17106
DIM4	1,91	1,771	13,574	7,812	17,314	11,55				-0,56781164	14,92092	13,83505	-0,09851	-0,76956
DIM5	-0,369	-0,231	6,2782	11,65	2,7761	8,1738				-4,426114	-4,29885	-2,69115	0,82	9,553
Grade	0,306	0,298	411,41	41,33	418,31	407,68				-0,05408544	12,64698	12,31634	-0,005088	-0,21029
	Uif	Uis	Mean	St. deviation	Mean F	Mean S	Zmf	Zms	Zmf-Zms	Ui(Mif-Mis)	Uif*oif	Uis*ois	Ui	Si
Στρατηγιά	-30,482	-29,182					30,42289	29,1952	1,227697		0	0	1,234	0
Length	-0,02	-0,046	50,429	63,87	71,724	38,903				-4,9428426	-1,2774	-2,93802	-0,1506	-9,61882
DIM1	0,324	0,323	41,83	24,52	35,61	45,197				-0,04467542	7,94448	7,91996	0,00466	0,114263
DIM2	0,038	0,048	78,993	80,13	96,738	69,388				1,4410715	3,04494	3,84624	0,05269	4,22205
DIM3	0,633	0,636	30,589	12,92	27,216	32,415				0,02968629	8,17836	8,21712	-0,00571	-0,07377
DIM4	1,291	1,165	13,574	7,812	17,314	11,55				-0,49374424	10,08529	9,10098	-0,08566	-0,66918
DIM5	-0,259	-0,13	6,2782	11,65	2,7761	8,1738				-4,50438065	-3,01735	-1,5145	0,8345	9,721925
Product	1,901	1,999	4,522	1,7	4,3475	4,6165				-0,0037391	3,2317	3,3983	0,0139	0,02363

Πίνακας 1.17

	Uif	Uis	Mean	St. deviation	Mean F	Mean S	Zmf	Zms	Zmf-Zms	Ui(Mif-Mis)	Uif*oif	Uis*ois	Ui	Si
Σταθερά	-33,395	-31,212					33,41855	31,19134	2,227213			0	0,841	0
Diameter	0,645	0,642	22,365	8,762	23,881	21,544				-0,05125041	5,65149	5,625204	-0,02193	-0,19215
DIM1	0,274	0,269	41,83	24,52	35,61	45,197				-0,17362057	6,71848	6,59588	0,01811	0,444057
DIM2	0,008	-0,001	78,993	80,13	96,738	69,388				-0,3738198	0,64104	-0,08013	-0,01367	-1,09522
DIM3	0,809	0,818	30,589	12,92	27,216	32,415				-0,15227871	10,45228	10,56856	0,02929	0,378427
DIM4	1,137	0,989	13,574	7,812	17,314	11,55				-0,54809876	8,882244	7,726068	-0,09509	-0,74284
DIM5	-0,297	-0,178	6,2782	11,65	2,7761	8,1738				-1,33128873	-3,46005	-2,0737	0,24664	2,873356

	Uif	Uis	Mean	St. deviation	Mean F	Mean S	Zmf	Zms	Zmf-Zms	Ui(Mif-Mis)	Uif*oif	Uis*ois	Ui	Si
Σροθερά	-108,05	-102,03					105,7757	103,7044	2,071315		0	0	3,889	0
Diameter	0,42	0,42	22,365	8,762	23,881	21,544				-0,05286294	3,68004	3,68004	-0,02262	-0,1982
DIM1	0,41	0,41	41,83	24,52	35,61	45,197				-0,13297169	10,0532	10,0532	0,01387	0,340092
DIM2	0	-0,01	78,993	80,13	96,738	69,388				-0,34212115	0	-0,8013	-0,012509	-1,00235
DIM3	1	1	30,589	12,92	27,216	32,415				-0,09628548	12,92	12,92	0,01852	0,239278
DIM4	1,66	1,5	13,574	7,812	17,314	11,55				-0,64343532	12,96792	11,718	-0,11163	-0,87205
DIM5	-0,53	-0,41	6,2782	11,65	2,7761	8,1738				-1,29021223	-6,1745	-4,7765	0,23903	2,7847
Grade	0,3	0,3	411,41	41,33	418,31	407,68				-0,06907374	12,399	12,399	-0,006498	-0,268856
Product	2,12	2,2	4,522	1,7	4,3475	4,6165				-0,018561	3,604	3,74	0,069	0,1173

	Uif	Uis	Mean	St. deviation	Mean F	Mean S	Zmf	Zms	Zmf-Zms	Ui(Mif-Mis)	Uif*oif	Uis*ois	Ui	Si
Στραθρό	-102,58	-96,13					103,1802	96,18792	6,9922246		0	0	4,672	0
Diameter	0,49	0,49	22,365	8,762	23,881	21,544				-0,04734762	4,29338	4,29338	-0,02026	-0,17752
DIM1	0,39	0,38	41,83	24,52	35,61	45,197				-0,08839214	9,5628	9,3176	0,00922	0,226074
DIM2	-0,01	-0,02	78,993	80,13	96,738	69,388				-0,35782005	-0,8013	-1,6026	-0,013083	-1,04834
DIM3	1,01	1,01	30,589	12,92	27,216	32,415				-0,08443176	13,0492	13,0492	0,01624	0,209821
DIM4	1,7	1,54	13,574	7,812	17,314	11,55				-0,67254352	13,2804	12,03048	-0,11668	-0,91115
DIM5	-0,46	-0,34	6,2782	11,65	2,7761	8,1738				-1,32626887	-5,359	-3,961	0,24571	2,862522
Grade	0,3	0,29	411,41	41,33	418,31	407,68				-0,07392102	12,399	11,9857	-0,006954	-0,28741
	Uif	Uis	Mean	St. deviation	Mean F	Mean S	Zmf	Zms	Zmf-Zms	Ui(Mif-Mis)	Uif*oif	Uis*ois	Ui	Si
Στραθρό	-36,701	-34,917					36,6555	34,88139	1,774109		0	0	0,055	0
Diameter	0,596	0,59	22,365	8,762	23,881	21,544				-0,05924295	5,222152	5,16958	-0,02535	-0,22212
DIM1	0,293	0,29	41,83	24,52	35,61	45,197				-0,23382693	7,18436	7,1108	0,02439	0,598043
DIM2	0,017	0,009	78,993	80,13	96,738	69,388				-0,35016205	1,36221	0,72117	-0,012803	-1,0259
DIM3	0,802	0,81	30,589	12,92	27,216	32,415				-0,16288467	10,36184	10,4652	0,03133	0,404784
DIM4	1,1	0,95	13,574	7,812	17,314	11,55				-0,51778012	8,5932	7,4214	-0,08983	-0,70175
DIM5	-0,348	-0,232	6,2782	11,65	2,7761	8,1738				-1,28157591	-4,0542	-2,7028	0,23743	2,76606
Product	1,642	1,738	4,522	1,7	4,3475	4,6165				-0,0272766	2,7914	2,9546	0,1014	0,17238

Πίνακας 1.18

	Uif	Uis	Mean	St. deviation	Mean F	Mean S	Zmf	Zms	Zmf-Zms	Uj(Mif-Mis)	Uif*oif	Uis*ois	Ui	Si
Σταθερά	-32,392	-29,613					32,43857	29,62154	2,81703		0	0	1,714	0
Thickness	23,102	21,883	0,61044	0,1658	0,62253	0,6039				-0,03429783	3,830312	3,628201	-1,841	-0,30524
DIM1	0,309	0,304	41,83	24,52	35,61	45,197				-0,10660744	7,57668	7,45408	0,01112	0,272662
DIM2	0,011	0,002	78,993	80,13	96,738	69,388				-0,39561775	0,88143	0,16026	-0,01447	-1,15908
DIM3	0,611	0,622	30,589	12,92	27,216	32,415				-0,18295281	7,89412	8,03624	0,03519	0,454655
DIM4	1,303	1,156	13,574	7,812	17,314	11,55				-0,6204946	10,17904	9,030672	-0,10765	-0,84096
DIM5	-0,291	-0,168	6,2782	11,65	2,7761	8,1738				-1,4350865	-3,39015	-1,9572	0,26587	3,097386

Σενάριο18.1

	Uif	Uis	Mean	St. deviation	Mean F	Mean S	Zmf	Zms	Zmf-Zms	Ui(Mif-Mis)	Uif*off	Uis*ois	Ui	Si
Σταθέρη	-107,98	-101,48				0,6039	109,1515	102,0988	7,052682		0	0	4,764	0
Thickness	16,31	14,96	0,61044	0,1658	0,62253	45,197				-0,03791205	2,704198	2,480368	-2,035	-0,3374
DIM1	0,44	0,43	41,83	24,52	35,61	69,388				-0,07199837	10,7888	10,5436	0,00751	0,184145
DIM2	0	-0,01	78,993	80,13	96,738	32,415				-0,3600901	0	-0,8013	-0,01317	-1,05499
DIM3	0,87	0,88	30,589	12,92	27,216	11,55				-0,12768744	11,2404	11,3696	0,02456	0,317315
DIM4	1,78	1,61	13,574	7,812	17,314	8,1738				-0,71796384	13,90536	12,57732	-0,12456	-0,97306
DIM5	-0,53	-0,4	6,2782	11,65	2,7761	407,68				-1,39535943	-6,1745	-4,66	0,25851	3,011642
Grade	0,31	0,3	411,41	41,33	418,31	4,6165				-0,07078517	12,8123	12,399	-0,00666	-0,27522
Product	1,98	2,09	4,522	1,7	4,3475					-0,0264427	3,366	3,553	0,0983	0,16711

	Uif	Uis	Mean	St. deviation	Mean F	Mean S	Zmf	Zms	Zmf-Zms	Ui(Mif-Mis)	Uif*off	Uis*ois	Ui	Si
Σταθερά	-103,29	-96,27					102,2649	95,06328	7,201636		0	0	5,768	0
Thickness	20,31	19,17	0,61044	0,1658	0,62253	0,6039				-0,03480084	3,367398	3,176386	-1,868	-0,30971
DIM1	0,41	0,41	41,83	24,52	35,61	45,197				-0,01888639	10,0532	10,0532	0,00197	0,048304
DIM2	-0,01	-0,02	78,993	80,13	96,738	69,388				-0,38101285	-0,8013	-1,6026	-0,01393	-1,11629
DIM3	0,86	0,86	30,589	12,92	27,216	32,415				-0,10933497	11,1112	11,1112	0,02103	0,271708
DIM4	1,83	1,67	13,574	7,812	17,314	11,55				-0,7467262	14,29596	13,04604	-0,12955	-1,01204
DIM5	-0,47	-0,34	6,2782	11,65	2,7761	8,1738				-1,44221146	-5,4755	-3,961	0,26719	3,112764
Grade	0,3	0,29	411,41	41,33	418,31	407,68				-0,0771738	12,399	11,9857	-0,00726	-0,30006
Σταθερά	-35,106	-32,785					35,05479	32,79671	2,258078		0	0	0,824	0
Thickness	20,1	18,638	0,61044	0,1658	0,62253	0,6039				-0,03847095	3,33258	3,09018	-2,065	-0,34238
DIM1	0,324	0,32	41,83	24,52	35,61	45,197				-0,17103208	7,94448	7,8464	0,01784	0,437437
DIM2	0,019	0,012	78,993	80,13	96,738	69,388				-0,3676387	1,52247	0,96156	-0,01344	-1,07711
DIM3	0,619	0,631	30,589	12,92	27,216	32,415				-0,1986018	7,99748	8,15252	0,0382	0,493544
DIM4	1,259	1,108	13,574	7,812	17,314	11,55				-0,59726568	9,835308	8,655696	-0,10362	-0,80948
DIM5	-0,333	-0,213	6,2782	11,65	2,7761	8,1738				-1,37884247	-3,87945	-2,48145	0,25545	2,975993
Product	1,507	1,629	4,522	1,7	4,3475	4,6165				-0,0348624	2,5619	2,7693	0,1296	0,22032

Πίνακας 1.19

	Uif	Uis	Mean	St. deviation	Mean F	Mean S	Zmf	Zms	Zmf-Zms	Uj(Mif-Mis)	Uj*oif	Uj*ois	Ui	Si
Σταθёрά	-35,161	-31,14					35,24237	31,14471	4,097661		0	0	0	0
Pressure	0,245	0,218	112,56	31,46	124,83	105,91				-0,5963584	7,7077	6,85828	-0,03152	-0,99162
DIM1	0,431	0,412	41,83	24,52	35,61	45,197				0,21455706	10,56812	10,10224	-0,02238	-0,54876
DIM2	0,015	0,006	78,993	80,13	96,738	69,388				-0,3639738	1,20195	0,48078	-0,01331	-1,06637
DIM3	0,358	0,398	30,589	12,92	27,216	32,415				-0,35618349	4,62536	5,14216	0,06851	0,885149
DIM4	0,806	0,714	13,574	7,812	17,314	11,55				-0,3302772	6,296472	5,577768	-0,0573	-0,44763
DIM5	-0,244	-0,121	6,2782	11,65	2,7761	8,1738				-1,24228066	-2,8426	-1,40965	0,23015	2,681248

	Uif	Uis	Mean	St. deviation	Mean F	Mean S	Zmf	Zms	Zmf-Zms	Uj(Mif-Mis)	Uif*oif	Uis*ois	Ui	Si
Σταθιρά	-113,35	-108,69					112,3489	108,8576	3,491385			0	0	3,212
Pressure	-0,3	-0,32	112,56	31,46	124,83	105,91				-0,63334416	-9,438	-10,0672	-0,03348	-1,05328
DIM1	0,31	0,29	41,83	24,52	35,61	45,197				0,21216031	7,6012	7,1108	-0,02213	-0,54263
DIM2	0	-0,01	78,993	80,13	96,738	69,388				-0,3583944	0	-0,8013	-0,0131	-1,05002
DIM3	1,29	1,32	30,589	12,92	27,216	32,415				-0,38727351	16,6668	17,0544	0,07449	0,962411
DIM4	2,57	2,46	13,574	7,812	17,314	11,55				-0,28808472	20,07684	19,21752	-0,04998	-0,39044
DIM5	-0,48	-0,36	6,2782	11,65	2,7761	8,1738				-1,22074383	-5,592	-4,194	0,22616	2,634764
Grade	0,39	0,39	411,41	41,33	418,31	407,68				0,01404223	16,1187	16,1187	0,001321	0,054597
Product	2,46	2,55	4,522	1,7	4,3475	4,6165				-0,0078817	4,182	4,335	0,0293	0,04981

	Uif	Uis	Mean	St. deviation	Mean F	Mean S	Zmf	Zms	Zmf-Zms	Ui(Mif-Mis)	Uif*oif	Uis*ois	Ui	Si
Σταθερά	-105,89	-100,66					105,4286	101,6688	3,759887		0	0	3,474	0
Pressure	-0,28	-0,3	112,56	31,46	124,83	105,91				-0,6368472	-8,8088	-9,438	-0,03366	-1,05894
DIM1	0,29	0,27	41,83	24,52	35,61	45,197				0,22174731	7,1108	6,6204	-0,02313	-0,56715
DIM2	-0,01	-0,02	78,993	80,13	96,738	69,388				-0,36695495	-0,8013	-1,6026	-0,01342	-1,0751
DIM3	1,25	1,29	30,589	12,92	27,216	32,415				-0,38540187	16,15	16,6668	0,07413	0,95776
DIM4	2,6	2,49	13,574	7,812	17,314	11,55				-0,28785416	20,3112	19,45188	-0,04994	-0,39013
DIM5	-0,39	-0,27	6,2782	11,65	2,7761	8,1738				-1,24309031	-4,5435	-3,1455	0,2303	2,682995
Grade	0,38	0,38	411,41	41,33	418,31	407,68				0,01271348	15,7054	15,7054	0,001196	0,049431
	Uif	Uis	Mean	St. deviation	Mean F	Mean S	Zmf	Zms	Zmf-Zms	Ui(Mif-Mis)	Uif*oif	Uis*ois	Ui	Si
Σταθερά	-39,46	-35,905					39,42597	35,88166	3,544314		0	0	3,751	0
Pressure	0,242	0,215	112,56	31,46	124,83	105,91				-0,5891688	7,61332	6,7639	-0,03114	-0,97966
DIM1	0,45	0,432	41,83	24,52	35,61	45,197				0,20477832	11,034	10,59264	-0,02136	-0,52375
DIM2	0,025	0,017	78,993	80,13	96,738	69,388				-0,3557688	2,00325	1,36221	-0,01301	-1,04233
DIM3	0,367	0,408	30,589	12,92	27,216	32,415				-0,3550917	4,74164	5,27136	0,0683	0,882436
DIM4	0,752	0,658	13,574	7,812	17,314	11,55				-0,33448492	5,874624	5,140296	-0,05803	-0,45333
DIM5	-0,31	-0,19	6,2782	11,65	2,7761	8,1738				-1,22149951	-3,6115	-2,2135	0,2263	2,636395
Product	1,86	1,958	4,522	1,7	4,3475	4,6165				-0,0073168	3,162	3,3286	0,0272	0,04624

Πίνακας 1.20

	Uif	Uis	Mean	St. deviation	Mean F	Mean S	Zmf	Zms	Zmf-Zms	Uj(Mif-Mis)	Uif*oif	Uis*ois	Uj	Si
Στοθερό	-25,99	-25,428					25,95491	25,43049	0,524416		0	0	-1,326	0
Lifetime	-0,012	0,059	64,72	37,54	15,102	91,578				-7,95426876	-0,45048	2,21486	0,10401	3,904535
DIM1	0,308	0,268	41,83	24,52	35,61	45,197				0,26210858	7,55216	6,57136	-0,02734	-0,67038
DIM2	0,013	0,013	78,993	80,13	96,738	69,388				0,0985694	1,04169	1,04169	0,003604	0,288789
DIM3	0,631	0,644	30,589	12,92	27,216	32,415				-0,06124422	8,15252	8,32048	0,01178	0,152198
DIM4	1,342	1,128	13,574	7,812	17,314	11,55				-0,67548316	10,4837	8,811936	-0,11719	-0,91549
DIM5	-0,183	-0,179	6,2782	11,65	2,7761	8,1738				0,44995227	-2,13195	-2,08535	-0,08336	-0,97114

	Uif	Uis	Mean	St. deviation	Mean F	Mean S	Zmf	Zms	Zmf-Zms	Uj(Mif-Mis)	Uif*oif	Uis*ois	Ui	Si
Στρατηγιά	-112,56	-117,4					111,0811	115,8315	-4,75035			0	-10,568	0
Lifetime	0,14	0,21	64,72	37,54	15,102	91,578				-8,60202048	5,2556	7,8834	0,11248	4,222499
DIM1	0,38	0,34	41,83	24,52	35,61	45,197				0,10382721	9,3176	8,3368	-0,01083	-0,26555
DIM2	0,02	0,02	78,993	80,13	96,738	69,388				0,13984055	1,6026	1,6026	0,005113	0,409705
DIM3	0,92	0,94	30,589	12,92	27,216	32,415				-0,18206898	11,8864	12,1448	0,03502	0,452458
DIM4	1,72	1,51	13,574	7,812	17,314	11,55				-0,50169856	13,43664	11,79612	-0,08704	-0,67996
DIM5	-0,73	-0,74	6,2782	11,65	2,7761	8,1738				0,66364722	-8,5045	-8,621	-0,12295	-1,43237
Grade	0,34	0,35	411,41	41,33	418,31	407,68				0,1800722	14,0522	14,4655	0,01694	0,70013
Product	2,54	2,75	4,522	1,7	4,3475	4,6165				-0,0114325	4,318	4,675	0,0425	0,07225

	Uif	Uis	Mean	St. deviation	Mean F	Mean S	Zmf	Zms	Zmf-Zms	Ui(Mif-Mis)	Uif*oif	Uis*ois	Ui	Si
Στρατηγιά	-104,64	-108,1					103,2399	106,848	-3,60818		0	0	-10,045	0
Lifetime	0,12	0,2	64,72	37,54	15,102	91,578				-8,63184612	4,5048	7,508	0,11287	4,23714
DIM1	0,36	0,32	41,83	24,52	35,61	45,197				0,11897467	8,8272	7,8464	-0,01241	-0,30429
DIM2	0,01	0	78,993	80,13	96,738	69,388				0,1339603	0,8013	0	0,004898	0,392477
DIM3	0,91	0,93	30,589	12,92	27,216	32,415				-0,17489436	11,7572	12,0156	0,03364	0,434629
DIM4	1,8	1,6	13,574	7,812	17,314	11,55				-0,50936468	14,0616	12,4992	-0,08837	-0,69035
DIM5	-0,61	-0,62	6,2782	11,65	2,7761	8,1738				0,65663021	-7,1065	-7,223	-0,12165	-1,41722
Grade	0,33	0,34	411,41	41,33	418,31	407,68				0,1748635	13,6389	14,0522	0,01645	0,679879
	Uif	Uis	Mean	St. deviation	Mean F	Mean S	Zmf	Zms	Zmf-Zms	Ui(Mif-Mis)	Uif*oif	Uis*ois	Ui	Si
Στρατηγιά	-30,41	-30,804					30,35131	30,76839	-0,41707		0	0	-1,021	0
Lifetime	-0,005	0,067	64,72	37,54	15,102	91,578				-8,00627244	-0,1877	2,51518	0,10469	3,930063
DIM1	0,324	0,286	41,83	24,52	35,61	45,197				0,27476342	7,94448	7,01272	-0,02866	-0,70274
DIM2	0,024	0,025	78,993	80,13	96,738	69,388				0,09329085	1,92312	2,00325	0,003411	0,273323
DIM3	0,639	0,652	30,589	12,92	27,216	32,415				-0,05484945	8,25588	8,42384	0,01055	0,136306
DIM4	1,276	1,055	13,574	7,812	17,314	11,55				-0,6810166	9,968112	8,24166	-0,11815	-0,92299
DIM5	-0,262	-0,266	6,2782	11,65	2,7761	8,1738				0,44876478	-3,0523	-3,0989	-0,08314	-0,96858
Product	1,891	2,086	4,522	1,7	4,3475	4,6165				0,0122395	3,2147	3,5462	-0,0455	-0,07735

Πίνακας 1.21

	Ujf	Uis	Mean	St. deviation	Mean F	Mean S	Zmf	Zms	Zmf-Zms	Ui(Mif-Mis)	Uif*oif	Uis*ois	Ui	Si
Σταθερά	-8,921	-10,751					8,932149	10,71754	-1,78539		0	0	-2,923	0
Thickness	23,16	22,426	0,61044	0,1658	0,62253	0,6039				-0,0080109	3,839928	3,718231	-0,43	-0,07129
Lifetime	-0,006	0,049	64,72	37,54	15,102	91,578				-6,921078	-0,22524	1,83946	0,0905	3,39737
DIM1	0,08	0,073	41,83	24,52	35,61	45,197				-0,07822992	1,9616	1,78996	0,00816	0,200083
DIM2	0,007	0,002	78,993	80,13	96,738	69,388				-0,08300725	0,56091	0,16026	-0,00304	-0,24319

	Uif	Uis	Mean	St. deviation	Mean F	Mean S	Zmf	Zms	Zmf-Zms	Uj(Mif-Mis)	Uif*off	Uis*ois	Ui	Si
Στροφέρα	-63,309	-67,818					63,20729	67,89835	-4,69106			0	-5,311	0
Thickness	15,327	14,463	0,61044	0,1658	0,62253	0,6039				-0,00206793	2,541217	2,397965	-0,111	-0,0184
Lifetime	0,049	0,107	64,72	37,54	15,102	91,578				-7,11838608	1,83946	4,01678	0,09308	3,494223
DIM1	0,087	0,079	41,83	24,52	35,61	45,197				-1,025809	2,13324	1,93708	0,107	2,62364
DIM2	-0,011	-0,017	78,993	80,13	96,738	69,388				-0,09958135	-0,88143	-1,36221	-0,00364	-0,29175
Grade	0,257	0,264	411,41	41,33	418,31	407,68				0,06430087	10,62181	10,91112	0,006049	0,250005
Product	1,54	1,552	4,522	1,7	4,3475	4,6165				0,0273304	2,618	2,6384	-0,1016	-0,17272

	Uif	Uis	Mean	St. deviation	Mean F	Mean S	Zmf	Zms	Zmf-Zms	Ui(Mif-Mis)	Uif*oif	Uis*ois	Ui	Si
Σραθερά	-60,28	-67,741					60,38619	61,52909	-1,1429		0	0	0	-5,868
Thickness	19,222	18,389	0,61044	0,1658	0,62253	0,6039				-0,0076383	3,187008	3,048896		-0,41
Lifetime	0,056	0,113	64,72	37,54	15,102	91,578				-7,04649864	2,10224	4,24202	0,09214	3,458936
DIM1	0,065	0,056	41,83	24,52	35,61	45,197				-0,10996289	1,5938	1,37312	0,01147	0,281244
DIM2	-0,016	-0,022	78,993	80,13	96,738	69,388				-0,09137635	-1,28208	-1,76286	-0,003341	-0,26771
Grade	0,256	0,262	411,41	41,33	418,31	407,68				0,07127415	10,58048	10,92846	0,006705	0,277118
Σραθερά	-11,408	-13,268					11,45124	13,25175	-1,80051		0	0	0	-2,598
Thickness	19,651	18,896	0,61044	0,1658	0,62253	0,6039				-0,00191889	3,258136	3,132957		-0,103
Lifetime	-0,013	0,043	64,72	37,54	15,102	91,578				-7,01973204	-0,48802	1,61422	0,09179	3,445797
DIM1	0,101	0,093	41,83	24,52	35,61	45,197				-0,07142315	2,47652	2,28036	0,00745	0,182674
DIM2	0,012	0,007	78,993	80,13	96,738	69,388				-0,09329085	0,96156	0,56091	-0,003411	-0,27332
Product	1,395	1,404	4,522	1,7	4,3475	4,6165				0,0312309	2,3715	2,3868	-0,1161	-0,19737

Πίνακας 1.22

	Uif	Uis	Mean	St. deviation	Mean F	Mean S	Zmf	Zms	Zmf-Zms	Ui(Mif-Mis)	Uif*oif	Uis*ois	Ui	Si
Σταθερά	-9,858	-13,805					9,893436	13,81638	-3,92295		0	0	0	-3,67
Length	0,012	0,008	50,429	63,87	71,724	38,903				-0,10138407	0,76644	0,51096	-0,00309	-0,19729
Pressure	0,115	0,101	112,56	31,46	124,83	105,91				-0,1859836	3,6179	3,17746	-0,00983	-0,30925
Lifetime	0,039	0,1	64,72	37,54	15,102	91,578				-6,82012968	1,46406	3,754	0,08918	3,347817
DIM3	0,145	0,23	30,589	12,92	27,216	32,415				-0,30263379	1,8734	2,9716	0,05821	0,752073

	Uif	Ulis	Mean	St. deviation	Mean F	Mean S	Zmf	Zms	Zmf-Zms	Uf(Mif-Mis)	Uif*oif	Ulis*ois	Uj	Si
Σταθερά	-70,093	-81,744					70,3084	81,80062	-11,4922		0	0	-12,646	0
Length	0,002	-0,004	50,429	63,87	71,724	38,903				-0,11306835	0,12774	-0,25548	-0,00345	-0,22003
Pressure	-0,035	-0,059	112,56	31,46	124,83	105,91				-0,3759404	-1,1011	-1,85614	-0,01987	-0,62511
Lifetime	0,109	0,175	64,72	37,54	15,102	91,578				-7,27133808	4,09186	6,5695	0,09508	3,569303
DIM3	0,42	0,524	30,589	12,92	27,216	32,415				-0,40120683	5,4264	6,77008	0,07717	0,997036
Grade	0,292	0,309	411,41	41,33	418,31	407,68				0,2326907	12,06836	12,77097	0,02189	0,904714
Product	2,163	2,375	4,522	1,7	4,3475	4,6165				-0,0168663	3,6771	4,0375	0,0627	0,106659

	Uif	Uis	Mean	St. deviation	Mean F	Mean S	Zmf	Zms	Zmf-Zms	Uj(Mif-Mis)	Uj*off	Uis*ois	Ui	Si
Στραθέρძ	-63,953	-74,335					63,76428	74,56794	-10,8037		0	0	-12,091	0
Length	-0,004	-0,01	50,429	63,87	71,724	38,903				-0,12170027	-0,25548	-0,6387	-0,003708	-0,23683
Pressure	0	-0,02	112,56	31,46	124,83	105,91				-0,3685616	0	-0,6292	-0,01948	-0,61284
Lifetime	0,11	0,176	64,72	37,54	15,102	91,578				-7,30575228	4,1294	6,60704	0,09553	3,586196
DIM3	0,354	0,451	30,589	12,92	27,216	32,415				-0,39247251	4,57368	5,82692	0,07549	0,975331
Grade	0,279	0,296	411,41	41,33	418,31	407,68				0,2261001	11,53107	12,23368	0,02127	0,879089
Στραθέρძ	-12,118	-16,662					12,0998	16,69344	-4,59364		0	0	-3,514	0
Length	0,016	0,012	50,429	63,87	71,724	38,903				-0,10653697	1,02192	0,76644	-0,003246	-0,20732
Pressure	0,096	0,08	112,56	31,46	124,83	105,91				-0,1827672	3,02016	2,5168	-0,00966	-0,30339
Lifetime	0,037	0,098	64,72	37,54	15,102	91,578				-6,85072008	1,38898	3,67892	0,08958	3,362833
DIM3	0,179	0,268	30,589	12,92	27,216	32,415				-0,30029424	2,31268	3,46256	0,05776	0,746259
Product	1,301	1,463	4,522	1,7	4,3475	4,6165				0,0096571	2,2117	2,4871	-0,0359	-0,06103

Πίνακας 2. Αποτελέσματα

	Μεγ. Βαρύ	Μικρότερη	Αστάθεια	EF1	EF2	Eff	Rao's F	Wilks's Λ	επιτυχίες	αποτυχίες	Καλύτερη πρόβλεψη
SEN1	diameter	pressure	length, thickness, lifetime, DIM3, DIM4	98,30%	88,10%	91,70%	24,759	0,3881	97	71	44-96
SEN2	lifetime	length	thickness	93,20%	88,10%	89,90%	39,62	0,4499	100	68	43-95
SEN3	lifetime	length	diameter, pressure, lifetime	93,20%	87,20%	89,30%	34,148	0,44	99	69	43-95
SEN4	lifetime	pressure	thickness, DIM2	93,20%	86,20%	88,70%	33,7	0,4433	98	70	43-95
SEN5	lifetime	thickness	diameter, thickness	94,90%	86,20%	89,30%	34,498	0,4375	97	71	43-94
SEN6	lifetime	length	diameter, pressure	98%	89,00%	92,30%	36,232	0,4255	98	70	43-95
SEN7	lifetime	length	length, thickness, DIM5	93,20%	88,10%	89,90%	32,814	0,4499	100	68	43-95
SEN8	diameter	DIM5	diameter, pressure, DIM2, DIM5	96,60%	88,10%	91,10%	25,006	0,4125	98	70	44-96
SEN9	diameter	length	length, diameter, DIM1, DIM5	98%	87,20%	91,10%	27,308	0,3913	96	72	44-96
SEN10	lifetime	pressure	length, thickness, pressure, lifetime, DIM	96,60%	89,90%	92,30%	26,499	0,3985	100	68	43-95
SEN11	lifetime	thickness	diameter, thickness, DIM1, DIM2, DIM	93,20%	86,20%	88,70%	24,352	0,4189	98	70	43-95
SEN12	diameter	pressure	diameter, pressure, DIM1, DIM2	98,30%	88,10%	91,70%	27,672	0,3882	97	71	44-95
SEN13	DIM5	DIM1	all	69,5	78,9	75,6	13,048	0,7129	104	64	31-68
SEN14	lifetime	DIM5	thickness, DIM2, DIM5	94,90%	85,30%	88,70%	38,203	0,4589	96	72	43-95
SEN15	DIM3	DIM4	pressure, DIM3, DIM4	84,70%	65,10%	72%	5,503	0,8548	80	88	23-50
SEN16	DIM5	DIM3	length, DIM1, DIM4, DIM5	66,10%	84,40%	78,00%	12,585	0,6807	112	56	38-84
SEN17	DIM5	diameter	all	69,50%	78,90%	75,60%	10,808	0,7129	104	64	31-69
SEN18	DIM5	DIM1	all	72,90%	78,90%	76,80%	11,029	0,7087	102	66	32-69
SEN19	DIM5	DIM4	pressure, DIM2, DIM3, DIM4, DIM5	81,40%	75,20%	77,40%	12,167	0,688	93	75	33-72
SEN20	lifetime	DIM3	lifetime, DIM3, DIM4	96,60%	89,00%	91,70%	39,517	0,4044	99	69	44-96
SEN21	lifetime	thickness	none	96,60%	79,80%	85,70%	40,73	0,5001	89	79	43-93
SEN22	lifetime	length	none	94,90%	86,20%	89,30%	52,315	0,4379	97	71	43-94

Πίνακας 3. Αποτελέσματα με την χρήση και των Grade, Product

	Μεγαλ. Βαρύτ.	Μικρότερη	Αστάθεια	Eff	Efs	Eft	Καλύτερη πρόβλεψη
SEN1	lifetime	product	length,thickness,pressure,lifetime,DIM3,DIM4,product	98,30%	88,10%	91,70%	44-96
SEN2	lifetime	product	thickness,grade,product	94,90%	88,10%	90,50%	43-95
SEN3	lifetime	product	thickness,DIM1,grade,product	94,90%	88,10%	90,50%	43-96
SEN4	lifetime	product	thickness,DIM2,grade,product	94,90%	88,10%	90,50%	44-96
SEN5	lifetime	thickness	diameter,thickness,grade	93,20%	89,00%	90,50%	43-95
SEN6	lifetime	diameter	thickness,grade,product	97%	89,00%	91,70%	43-95
SEN7	lifetime	product	length,thickness,DIM5,grade,product	96,60%	88,10%	91,10%	43-95
SEN8	diameter	product	diameter,pressure,DIM2,DIM5,grade	96,60%	89,00%	91,70%	44-96
SEN9	lifetime	product	length,diameter,DIM1,DIM5,grade	98%	88,10%	91,70%	44-96
SEN10	lifetime	thickness	length,pressure,lifetime,DIM4	96,60%	90,80%	92,90%	44-95
SEN11	lifetime	thickness	diameter,thickness,DIM1,DIM2,DIM5,grade,product	94,90%	88,10%	90,50%	44-96
SEN12	lifetime	product	diameter,DIM1,DIM2,grade	98,30%	88,10%	91,70%	44-97
SEN13	DIM5	product	all	72,90%	78,90%	76,80%	32-69
SEN14	lifetime	product	thickness,DIM2,DIM5,grade,product	96,60%	84,40%	88,70%	44-96
SEN15	DIM3	DIM4	diameter,DIM1,grade	74,60%	63,30%	67%	25-55
SEN16	DIM5	product	length,DIM4,DIM5,grade	71,20%	83,50%	79,20%	39-84
SEN17	DIM5	product	all	72,90%	78,90%	76,80%	32-69
SEN18	Dim5	product	all	76,30%	80,70%	79,20%	32-70
SEN19	DIM5	product	pressure,DIM2,DIM3,DIM4,DIM5,product	79,70%	73,40%	75,60%	33-72
SEN20	lifetime	product	DIM1,DIM2,DIM5,grade	98,30%	89,00%	92,30%	44-96
SEN21	lifetime	thickness	grade,product	96,60%	79,80%	85,70%	43-94
SEN22	lifetime	product	grade	93,20%	89,00%	90,50%	44-95

Πίνακας 4. Αποτελέσματα με το καθένα χαρακτηριστικό χωριστά

	Μεγαλ. Βαρύτ.	Μικρότερη	Ασάθεια	Eff	Efs	Eft
SEN 1 grade	lifetime	DIM5	diameter, DIM1, DIM2, DIM5, grade	98,30%	88,10%	91,70%
SEN 1 product	diameter	product	diameter, pressure, DIM1, DIM2, DIM5	96,60%	86,20%	89,90%
SEN2 grade	lifetime	length	thickness, grade	96,60%	88,10%	91,10%
SEN2product	lifetime	product	thickness, product	93,20%	87,20%	89,30%
SEN3 grade	lifetime	length	thickness, DIM1, grade	96,60%	88,10%	91,10%
SEN3product	lifetime	length	length, diameter, pressure, lifetime	93%	87,20%	89,30%
SEN4 grade	lifetime	pressure	thickness, DIM2, grade	94,90%	88,10%	90,50%
SEN4product	lifetime	product	thickness, DIM2, product	93,20%	87,20%	89,30%
SEN5 grade	lifetime	diameter	diameter, thickness, grade	95%	87,20%	89,90%
SEN5product	lifetime	diameter	diameter, thickness, product	93,20%	86,20%	88,70%
SEN6 grade	lifetime	diameter	thickness, grade	98,30%	89,00%	92,30%
SEN6product	lifetime	product	diameter, pressure, product	94,90%	88,10%	90,50%
SEN7 grade	lifetime	length	thickness, DIM5, grade	96,60%	88,10%	91,10%
SEN7product	lifetime	length	length, thickness, DIM5, product	93,20%	87,20%	89,30%
SEN8 grade	diameter	grade	diameter, pressure, DIM2, DIM5, grade	96,60%	88,10%	91%
SEN8product	diameter	product	diameter, pressure, DIM2, DIM5	96,60%	88,10%	91,10%
SEN9 grade	lifetime	length	length, diameter, DIM1, DIM5, grade	98,30%	88,10%	91,70%
SEN9product	diameter	product	length, diameter, DIM1, DIM5	96,60%	86,20%	89,90%
SEN 10 grade	lifetime	thickness	length, pressure, lifetime, DIM4	98,30%	89,90%	92,90%
SEN 10product	lifetime	product	length, thickness, pressure, lifetime, DIM4	96,60%	89,90%	92,30%
SEN11 grade	lifetime	thickness	diameter, DIM1, DIM2, DIM5, grade	94,90%	88,10%	90,50%
SEN11product	lifetime	thickness	diameter, thickness, DIM1, DIM2, DIM5, product	93,20%	87,20%	89,30%
SEN12 grade	lifetime	grade	diameter, DIM1, DIM2, grade	98,30%	88,10%	91,70%
SEN12product	diameter	product	diameter, pressure, DIM1, DIM2	96,60%	86,20%	89,90%
SEN13 grade	DIM5	DIM1	all	72,90%	79,80%	77,40%
SEN13product	DIM5	product	all	76,30%	79,80%	78,60%
SEN14 grade	lifetime	thickness	thickness, DIM2, DIM5, grade	96,60%	84,40%	88,70%
SEN14product	lifetime	product	thickness, DIM2, DIM5, product	94,90%	86,20%	89,30%
SEN15 grade	DIM3	DIM4	pressure, DIM3	81,40%	65,10%	70,80%
SEN15product	DIM3	DIM1	pressure, DIM1, DIM3, DIM4, product	74,60%	63,30%	67,30%
SEN16 grade	DIM5	DIM1	length, DIM4, DIM5, grade	74,60%	84,40%	81,00%
SEN16product	DIM5	product	length, DIM1, DIM4, DIM5, product	61,00%	82,60%	75,00%
SEN17 grade	DIM5	diameter	all	72,90%	79,80%	77,40%
SEN17product	DIM5	product	all	72,90%	79,80%	77,40%
SEN18 grade	DIM5	DIM1	all	74,60%	78,90%	77,40%
SEN18product	DIM5	product	all	69,50%	78,90%	75,60%
SEN19 grade	DIM5	grade	pressure, DIM2, DIM3, DIM4, DIM5	79,70%	75,20%	76,80%
SEN19product	DIM5	product	pressure, DIM2, DIM3, DIM4, DIM5, product	81,40%	73,40%	76,20%
SEN20 grade	lifetime	DIM1	DIM1, DIM2, DIM5, grade	98,30%	89,00%	92,30%
SEN20product	lifetime	product	DIM1, DIM2, DIM5, product	96,60%	89,00%	91,70%
SEN21 grade	lifetime	thickness	grade	96,60%	79,80%	85,70%
SEN21product	lifetime	thickness	product	96,60%	79,80%	85,70%
SEN22 grade	lifetime	length	grade	94,90%	87,20%	89,90%
SEN22product	lifetime	product	product	93,20%	86,20%	88,70%

