



ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

Εργαστήριο Ανάλυσης Ρευστών και Πυρήνων Υπόγειων Ταμιευτήρων

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ : ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ ΜΕ

ΧΡΗΣΗ ΧΗΜΕΙΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ

(MOTOR OIL HELLAS)

ΓΙΩΝΑΣ ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ :

N. ΠΑΣΑΔΑΚΗΣ,

ΛΕΚΤΟΡΑΣ (ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ)

N. ΒΑΡΟΤΣΗΣ,

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

X. ΦΩΤΕΙΝΟΠΟΥΛΟΣ,

Project Manager, Motor Oil Hellas

ΧΑΝΙΑ

ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2002

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Ανάλυσης Ρευστών και Πυρήνων Υπόγειων Ταμιευτήρων του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Ευχαριστίες εκφράζονται στα μέλη της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής, λέκτορα κ.κ. Νίκο Πασαδάκη, επιβλέποντα της παρούσας εργασίας, τον καθηγητή του τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων κ.κ. Ν. Βαρότση και τον κ.κ. Χ. Φωτεινόπουλο project manager της Motor Oil Ελλάς, που είχαν την καλοσύνη να την αξιολογήσουν.

Ευχαριστίες εκφράζονται και στον κ.κ. Π. Κοτσόκολο για την παραχώρηση των δεδομένων αλλά και χρήσιμων πληροφοριών, που κατέστησαν δυνατή τη διεξαγωγή της παρούσας μελέτης.

Ιδιαίτερως επιθυμώ να ευχαριστήσω τον κ.κ. Ν. Πασαδάκη για την πολύτιμη καθοδήγησή του, την άψογη συνεργασία και την αμέριστη συμπαράστασή του καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας έρευνας.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την κα. Ε. Χαμηλάκη και τον κ.κ. Β. Γαγάνη για τη βοήθεια που προσέφεραν ώστε να ολοκληρωθεί αυτή η εργασία.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	5
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	6
1. ΓΕΝΙΚΑ.....	6
2. ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΛΙΠΑΝΤΙΚΩΝ	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	10
ΛΙΠΑΝΣΗ ΚΑΙ ΛΙΠΑΝΤΙΚΑ	10
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	10
1.2 ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΛΙΠΑΝΤΙΚΩΝ	11
1.3 ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΛΙΠΑΝΤΕΛΑΙΩΝ	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	19
Η ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΛΙΠΑΝΤΙΚΩΝ	19
2.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΟΡΥΚΤΕΛΑΙΩΝ.....	19
2.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΑΠΟΣΤΑΞΗΣ.....	20
2.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΟΝΑΔΑΣ ΑΠΟΣΤΑΞΗΣ ΥΠΟ ΚΕΝΟ	21
2.4 ΜΟΝΑΔΑ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΜΕ ΜΕΘΥΛΟΠΥΡΟΛΙΔΟΝΗ- NMP.....	24
2.5 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΟΝΑΔΑΣ ΑΠΟΚΗΡΩΣΗΣ.....	27
2.6 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΟΝΑΔΑΣ ΥΔΡΟΓΟΝΩΣΗΣ.....	30
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	34
ΝΕΥΡΩΝΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ	34
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	34
3.2 ΤΟ ΝΕΥΡΩΝΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	34
3.3 Η ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΕΝΟΣ ΝΕΥΡΩΝΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ	38
3.4 Η ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΣΕ ΕΝΑ ΝΕΥΡΩΝΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ.....	39
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	41
ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΔΕΙΚΤΗ ΙΞΩΔΟΥΣ (VI) ΒΑΣΙΚΩΝ ΛΙΠΑΝΤΙΚΩΝ	41
4.1 ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΔΕΙΚΤΗ ΙΞΩΔΟΥΣ	41
4.2 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ.....	42
4.3 ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	49
4.4. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΕΛΙΚΩΝ ΝΕΥΡΩΝΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΓΙΑ ΤΑ ΚΛΑΣΜΑΤΑ ΛΙΠΑΝΤΕΛΑΙΩΝ Bg-5, Bg-10, Bg-(20-30) Bg-40.....	51
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	68
PRINCIPAL COMPONENT REGRESSION P.C.R.....	68
5.1. ΓΕΝΙΚΑ.....	68
5.2 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	69

5.3	ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΔΕΙΚΤΗ ΙΞΩΔΟΥΣ (VI) ΤΕΛΙΚΟΥ ΛΙΠΑΝΤΙΚΟΥ ΜΕ ΧΗΜΕΙΟΜΕΤΡΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ (PRINCIPAL COMPONENT REGRESSION)	74
5.3.1	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΔΕΙΚΤΗ ΙΞΩΔΟΥΣ ΓΙΑ ΤΑ ΚΛΑΣΜΑΤΑ Bg-5, Bg-10, Bg-(20-30), Bg-40 ΜΕ PCR	75
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6	78
6.1	ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΔΕΙΚΤΗ ΙΞΩΔΟΥΣ ΒΑΣΙΚΩΝ ΛΙΠΑΝΤΙΚΩΝ ΑΠΟΚΛΕΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟ ΤΙΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ	78
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	92
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	94
	ΕΛΛΗΝΙΚΗ	94
	ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ	95
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α	96

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ιδιότητες, όπως το ιξώδες και ο δείκτης ιξώδους, είναι σημαντικές για την εκτίμηση της εμπορικής αξίας τελικών προϊόντων της επεξεργασίας πετρελαίου, όπως είναι τα λιπαντικά. Δεδομένης της ιδιαίτερα πολύπλοκης σχέσης των ιδιοτήτων αυτών με την ποιότητα της πρώτης ύλης (αργό πετρέλαιο), αλλά και τις παραμέτρους επεξεργασίας, η ανάπτυξη αξιόπιστων μαθηματικών αλγορίθμων πρόβλεψης, είναι σημαντική για την βέλτιστη διαχείριση και τον προγραμματισμό της παραγωγής.

Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται μια σειρά αλγορίθμων, οι οποίοι προβλέπουν αξιόπιστα τον δείκτη ιξώδους των τελικών προϊόντων της μονάδας λιπαντικών ενός διυλιστηρίου, χρησιμοποιώντας ως δεδομένα εισαγωγής ιδιότητες της τροφοδοσίας, ενδιάμεσων προϊόντων καθώς και ιδιότητες των παραμέτρων λειτουργίας. Η ανάπτυξη των αλγορίθμων αυτών στηρίχθηκε σε χημειομετρικές τεχνικές όπως τα νευρωνικά δίκτυα και η ανάλυση κυρίων συνιστωσών. Ως δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία από την παραγωγή λιπαντικών του διυλιστηρίου της Motor Oil Hellas για τα έτη 1996 έως και 2001.

Η ακρίβεια της πρόβλεψης βρίσκεται εντός των ορίων της αποδεκτής ακρίβειας των πρότυπων μεθόδων μέτρησης ιδιοτήτων λιπαντικών (IP-226). Οι αλγόριθμοι αυτοί μπορούν να χρησιμοποιηθούν αξιόπιστα στην πρόβλεψη ιδιοτήτων κλασμάτων λιπαντικών ενός διυλιστηρίου αλλά και στην ανάπτυξη μοντέλων αριστοποίησης των παραμέτρων παραγωγής, ώστε να εξασφαλίζονται οι επιθυμητές ιδιότητες των τελικών προϊόντων.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1. ΓΕΝΙΚΑ

Το πετρέλαιο είναι γνωστό από τα αρχαία χρόνια. Υπάρχουν αρκετές ιστορικές μαρτυρίες στις οποίες αναφέρεται ότι από την 3^η χιλιετία π.χ. ο άνθρωπος γνώριζε το φυσικό πετρέλαιο. Για αιώνες στις πλούσιες πετρελαιοφόρες χώρες χρησιμοποιείτο σαν δομικό υλικό, για την μόνωση και διατήρηση του ξύλου και σαν φαρμακευτική πρώτη ύλη. Στην Αρχαία Ελλάδα χρησίμευε ως πολύτιμο ίαμα. Ακόμα και το υγρό πυρ που χρησιμοποιούσαν οι Βυζαντινοί σαν αμυντικό όπλο, είναι βέβαιο ότι είχε σαν βασικό συστατικό το πετρέλαιο. Η πρώτη γεώτρηση για την παραγωγή πετρελαίου έγινε στην Πενσυλβανία το 1859 από τον Edwin Drake και το παραγόμενο πετρέλαιο χρησιμοποιείτο αποκλειστικά για την παραγωγή κηροζίνης (φωτιστικό πετρέλαιο). Το εμπορικό ενδιαφέρον για το πετρέλαιο ως καύσιμο ξεκίνησε, στα τέλη του 19^{ου} αιώνα, με την δημιουργία των πρώτων μηχανών εσωτερικής καύσης.

Το πετρέλαιο είναι ένα εξαιρετικά σύνθετο μίγμα υδρογονανθράκων αλλά και ενώσεων άνθρακα και υδρογόνου με άλλα στοιχεία όπως οξυγόνο, θείο και άζωτο (ετεροσυστατικά), καθώς και όργανο-μεταλλικών ενώσεων. Το μοριακό βάρος των υδρογονανθράκων που περιέχονται στο πετρέλαιο κυμαίνεται από αυτό του μεθανίου (16) μέχρι εκείνο των βαρέων στερεών μορίων με 80-100 άτομα άνθρακα. Η περιεκτικότητα του πετρελαίου σε άνθρακα και υδρογόνο κυμαίνεται γύρω στο 84% και 14% αντίστοιχα. Η τυπική στοιχειακή ανάλυση του πετρελαίου παρουσιάζεται στον Πίνακα 1.

Οι κυριότερες ομάδες υδρογονανθράκων του πετρελαίου είναι τα αλκάνια (κεκορεσμένοι υδρογονάνθρακες C_nH_{2n+2}), τα ναφθένια (κυκλικοί κεκορεσμένοι υδρογονάνθρακες C_nH_{2n}), και οι αρωματικές ενώσεις (C_nH_{2n+6}).

Ανάλογα με την περιεκτικότητα του πετρελαίου σε παραφίνες και ασφαλικά συστατικά, διακρίνονται τα ακόλουθα είδη:

- ✓ Πετρέλαια παραφινικής βάσεως
- ✓ Πετρέλαια ασφαλτούχου ή ναφθενικής βάσεως
- ✓ Πετρέλαια μικτής βάσεως

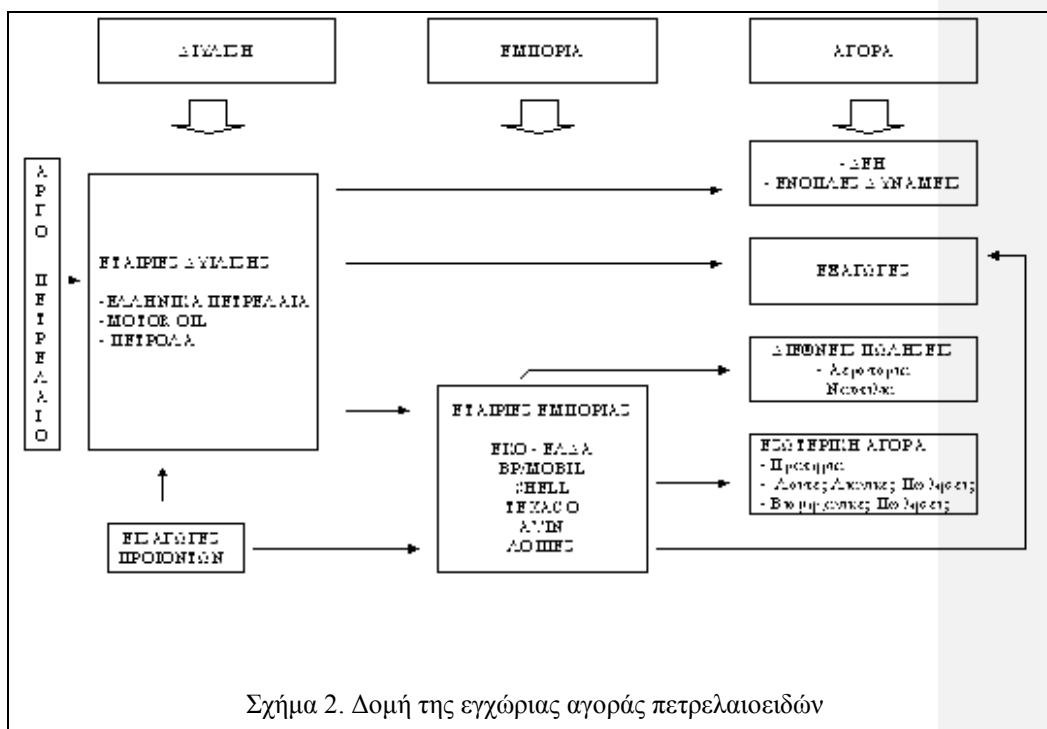
Το 90% των πετρελαίων ανήκουν στην τελευταία κατηγορία.

ΣΤΟΙΧΕΙΑ	ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ (% κ.β.)
Άνθρακας	83,9-86,8
Υδρογόνο	11,4-14,0
Θείο	0,05-6
Άζωτο	0,1-2
Οξυγόνο	0,05-1,5
Μέταλλα (Fe, V, Ni, κ.τ.λ.)	0,03-

Πίνακας 1. Στοιχειακή ανάλυση του πετρελαίου

Η ιστορία της σύγχρονης βιομηχανικής κοινωνίας είναι άρρηκτα συνυφασμένη με το πετρέλαιο. Η χρήση του πετρελαίου είναι απαραίτητη προϋπόθεση για τη λειτουργία και ανάπτυξη της οικονομίας, διότι έχει καθιερωθεί ως ο κύριος ενεργειακός πόρος, λόγω του υψηλού ενεργειακού περιεχομένου του και του γεγονότος ότι είναι υγρό, πράγμα που διευκολύνει την μεταφορά και αποθήκευση του. Το 90% του παραγόμενου σήμερα πετρελαίου χρησιμοποιείται ως καύσιμο, ενώ μόνο το 10% σαν πρώτη ύλη για την παραγωγή λιπαντικών και υλικών από την πετροχημική βιομηχανία, όπως συνθετικές ίνες, πλαστικά κλπ.

Η παραγωγή αργού πετρελαίου στην Ελλάδα είναι περιορισμένη. Το μοναδικό ελληνικό κοιτάσμα, του Πρίνου, καλύπτει λιγότερο από το 1% της εγχώριας ζήτησης, με αποτέλεσμα το σύνολο σχεδόν των αναγκών της χώρας να καλύπτεται από εισαγωγές. Το αργό πετρέλαιο, αφού διυλιστεί στις εγχώριες μονάδες διύλισης, εξάγεται ή διατίθεται στην Ελληνική αγορά. Η εγχώρια ζήτηση για προϊόντα διύλισης έφτασε το 2000 σε 18,7 εκ. μετρικούς τόνους, παρουσιάζοντας μια μέση αύξηση, τα τελευταία 5 χρόνια, της τάξεως του 2,1%. Η δομή της εγχώριας αγοράς πετρελαιοειδών παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.



Σχήμα 2. Δομή της εγχώριας αγοράς πετρελαιοειδών

Οι ανάγκες της ελληνικής αγοράς πετρελαιοειδών καλύπτονται από τέσσερα διυλιστήρια (ΕΛ.ΠΕ (Διυλιστήρια Ασπροπύργου και Θεσσαλονίκης), MOTOR OIL και ΠΕΤΡΟΛΑ). Από αυτά μόνο το διυλιστήριο της Motor Oil Hellas έχει μονάδα παραγωγής λιπαντικών ενώ τα υπόλοιπα παράγουν μόνο καύσιμα.

2. ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΛΙΠΑΝΤΙΚΩΝ

Η παραγωγή λιπαντικών αποτελεί ένα σημαντικό κομμάτι της βιομηχανίας πετρελαίου. Παρά την μικρή κατανάλωση των, σε σχέση με τα καύσιμα, η σπουδαιότητα τους είναι πολύ μεγάλη, διότι χρησιμοποιούνται σε όλες τις μηχανές εσωτερικής καύσης. Το κύκλωμα παραγωγής λιπαντικών προϊόντων αποτελεί ένα μεγάλο και δυναμικό κλάδο με σημαντική συμβολή στην οικονομία της κάθε χώρας. Πέραν τούτου αποτελεί και έναν τομέα υψηλής τεχνολογίας που συμβάλει θετικά στη μεταφορά τεχνογνωσίας και στην απασχόληση επιστημονικού δυναμικού. Το Ελληνικό παραγωγικό δυναμικό είναι σε θέση να παράγει προϊόντα και να παρέχει υπηρεσίες λίπανσης υψηλής ποιότητας στους καταναλωτές.

Τα κύρια προβλήματα της βιομηχανίας λιπαντικών που σχετίζονται με την ποιότητα του τελικού προϊόντος και την βελτίωση της παραγωγικότητας είναι:

1. Η εξασφάλιση προϊόντων σταθερής ποιότητας ανεξάρτητα από την προέλευση και την σύσταση της εκάστοτε διαθέσιμης πρώτης ύλης (αργό πετρέλαιο).
2. Η αριστοποίηση των συνθηκών παραγωγής των ορυκτελαίων, ανάλογα με την τροφοδοσία και τις προδιαγραφές του τελικού προϊόντος.
3. Η βελτίωση ποιότητας των παραγομένων ορυκτελαίων, ώστε να ελαττωθεί το κόστος παραγωγής των με μείωση της ποσότητας και του αριθμού των βελτιωτικών που απαιτούνται για την επίτευξη των προδιαγραφών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΛΙΠΑΝΣΗ ΚΑΙ ΛΙΠΑΝΤΙΚΑ

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Με τον όρο λίπανση εννοείται η παρεμβολή ενός ενδιάμεσου μέσου (λιπαντικό) με διάφορους τρόπους και μορφές ανάμεσα στα κινούμενα μέρη ενός μηχανήματος, με στόχο τον περιορισμό των τριβών και της επακόλουθης φθοράς.

Η παραγωγή λιπαντικών αποτελεί ένα σημαντικό κομμάτι της βιομηχανίας του πετρελαίου. Η σωστή λίπανση έχει μεγάλη οικονομική σημασία, και μελέτες που έγιναν έδειξαν ότι η μη σωστή λίπανση των μηχανημάτων κοστίζει στην βιομηχανία υψηλά χρηματικά ποσά το χρόνο. Υπολογίζεται ότι περίπου το 4.5% της ενέργειας που καταναλώνεται θα μπορούσε να εξοικονομηθεί αν εφαρμοζόταν σε όλες τις περιπτώσεις σωστή λίπανση. Για την Ελλάδα αυτό σημαίνει περίπου οικονομία 720.000 τόνων ισοδύναμου πετρελαίου.

Ως λιπαντικά έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορα υλικά, στερεά, υγρά, ημιστερεά, ακόμα και αέρια. Συνήθως όμως με τον όρο λιπαντικά εννοούνται υγρά (λάδια) ή ημιστερεά (γράσα) που προέρχονται από το πετρέλαιο ή είναι συνθετικά. Οι λιπαντικές ουσίες χρησιμοποιούνται κυρίως για την μετατροπή της ξηρής τριβής μεταξύ μεταλλικών επιφανειών, η οποία είναι τεράστια, σε υγρή τριβή, η οποία είναι μικρή.

Τα σύγχρονα λιπαντικά, εκτός από λίπανση αυτή καθ' εαυτή, επιτελούν και μια σειρά άλλες λειτουργίες προστατευτικού χαρακτήρα για τα μηχανήματα.

Η σωστή λίπανση εξασφαλίζει:

- ✓ Ομαλή και απρόσκοπτη λειτουργία του μηχανήματος
- ✓ Μειωμένο κόστος συντήρησης, επισκευών και ανταλλακτικών
- ✓ Μεγαλύτερη διάρκεια ζωής του μηχανήματος
- ✓ Εξοικονόμηση ενέργειας

Η σημασία της λίπανσης έχει ενισχυθεί τα τελευταία χρόνια λόγω της χρήσης σύγχρονων τεχνολογιών στην κατασκευή μηχανημάτων (μεγαλύτερες ταχύτητες,

υψηλότερες πιέσεις κ.λ.π.). Η εξέλιξη αυτή απαιτεί για την λίπανση των μηχανημάτων λιπαντικά ανάλογης υψηλής τεχνολογίας.

1.2 ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΛΙΠΑΝΤΙΚΩΝ

Τα λιπαντικά κατατάσσονται ως προς την φυσική τους κατάσταση σε τέσσερις μεγάλες κατηγορίες.

1) Αέρια λιπαντικά.

Πρακτικά χρησιμοποιείται μόνο ο αέρας σε εφαρμογές υψηλής ταχύτητας-χαμηλού φορτίου, όπως στις φυγόκεντρους υπερυψηλής ταχύτητας, στους κυκλοφορητές αερίων, σε ατομικούς αντιδραστήρες και στις περιπτώσεις υψηλών θερμοκρασιών όπου τα συνηθισμένα λιπαντικά διασπώνται.

2) Υγρά λιπαντικά.

Τα υγρά λιπαντικά αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος των χρησιμοποιούμενων λιπαντικών. Το λιπαντικό υγρό μεσολαβεί μεταξύ δύο στερεών επιφανειών που βρίσκονται σε επαφή. Τα συνηθέστερα υγρά λιπαντικά είναι τα εξής

- I. Νερό. Παρουσιάζει μικρή λιπαντική ικανότητα αλλά μεγάλη ψυκτική ικανότητα και είναι σταθερό στις χαμηλές θερμοκρασίες. Δημιουργεί προβλήματα στην χρήση του λόγω της διαβρωτικότητας του.
- II. Ορυκτέλαια. Είναι κλάσματα πετρελαίου και συνήθως αναφέρονται και ως **βασικά λιπαντικά** (base oils). Στην εμπορική τους μορφή περιέχουν συνήθως σε διάλυση μικρές ποσότητες στερεών ή υγρών συστατικών, που λέγονται **βελτιωτικά πρόσθετα**, τα οποία βελτιώνουν επιμέρους ιδιότητες του λιπαντικού. Τα βασικά λιπαντικά προέρχονται από επεξεργασία των κλασμάτων απόσταξης υπό κενό του αργού πετρελαίου. Οι ιδιότητες τους ρυθμίζονται κατά την παρασκευή τους με κατάλληλες επεξεργασίες στην μονάδα παραγωγής λιπαντικών. Χρησιμοποιούνται σε μεγάλο εύρος θερμοκρασιών.
- III. Συνθετικά λιπαντικά. Πρόκειται για προϊόντα που παρασκευάζονται με χημική σύνθεση, η οποία μπορεί να είναι πολυμερισμός,

ολιγομερισμός, ή αντίδραση συμπύκνωσης δύο ενώσεων, όπως οξέως και αλκοόλης προς παρασκευή εστέρα. Λόγω της απλής χημικής σύστασης των εξασφαλίζεται σταθερή ποιότητα λιπαντικού με συγκεκριμένες ιδιότητες. Τα σπουδαιότερα συνθετικά λιπαντικά είναι: δι-αλκυλοβενζόλια, δι-εστέρες, πολυεστέρες, και πολύ-(α) ολεφίνες.

3) Ημιστερεά λιπαντικά

Πρόκειται για τα λιπαντικά λίπη τα οποία σύμφωνα με την A.S.T.M. ορίζονται ως ημιστερεά προϊόντα τα οποία αποτελούνται από ένα λιπαντικό έλαιο στην μάζα του οποίου έχει διασπαρθεί ένα μέσο πυκνώσεως. Για την παρασκευή τους χρησιμοποιούνται συνήθως σάπωνες ανώτερων λιπαρών οξέων, ανόργανα συστατικά και πολυμερή. Στο σύστημα ‘λιπαντικό έλαιο – μέσο πυκνώσεως’ μπορούν να προστεθούν και άλλα συστατικά τα οποία προσδίδουν τις επιθυμητές τελικές ιδιότητες. Κατά την χρήση τους παίρνουν υγρή μορφή και συμπεριφέρονται σαν υγρά. Διακρίνονται για την άριστη λιπαντική τους ικανότητα, λόγω του μικρού συντελεστή τριβής. Παρουσιάζουν το μειονέκτημα της αστάθειας και της διαβρωτικότητας, λόγω της εύκολης οξείδωσή τους. Σε αυτή την κατηγορία υπάγονται και τα λιπαντικά γράσα από ορυκτέλαια. Πρόκειται για κολλοειδή πηγματα ορυκτελαίων, που υπό την επίδραση στερεοποιητικών ουσιών μετατρέπονται σε μάζα στερεής ή ημιστερεής μορφής. Τα περισσότερα λιπαντικά γράσα παράγονται με χρήση αλάτων ασβεστίου, νατρίου, αργιλίου καλίου και μολύβδου.

4) Στερεά λιπαντικά

Χαρακτηριστικό τους είναι ότι ‘δεν τήκονται’ κατά τη χρήση τους και δρουν σαν στερεό σώμα, που παρεμβάλλεται μεταξύ των κινούμενων μεταλλικών επιφανειών. Η λίπανση επιτυγχάνεται χάρη στο εσωτερικό πλέγμα τους, όπου τα επάλληλα στρώματα αποσχίζονται και ολισθαίνουν μεταξύ τους με μικρό συντελεστή τριβής. Συνήθη στερεά λιπαντικά είναι ο γραφίτης, ο τάλκης, η άσβεστος κ.λπ.

Τα εμπορικά ορυκτέλαια ταξινομούνται συνήθως σύμφωνα με το σχήμα της S.A.E. (Society of Automotive Engineers). Η ταξινόμηση αυτή παρουσιάζεται στον Πίνακα 1.1 και βασίζεται στην τιμή του ιξώδους των. Για τα λιπαντικά που χαρακτηρίζονται με αριθμό και γράμμα, προσδιορίζονται οι μέγιστες και οι ελάχιστες τιμές του ιξώδους στους 0°F, ενώ για εκείνα που ορίζονται μόνο με αριθμό στους 210°F.

Κατηγορία λιπαντικού κατά SAE	Ιξώδες (SUS)			
	at 0°F		at 210°F	
	min	max	min	max
SW		4,0		
10W	6,0	<12,0		
20W	12,0	48,0		
20			45	<58
30			58	<70
40			70	<85
50			85	110

Πίνακας 1.1. Τιμές ιξώδους (Saybolt Universal Seconds) για τα λιπαντικά

1.3 ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΛΙΠΑΝΤΕΛΑΙΩΝ

Οι κύριες ιδιότητες των βασικών λιπαντικών που καθορίζουν κατά κύριο λόγο και την εμπορική τους αξία είναι οι παρακάτω.

✓ Ο δείκτης ιξώδους (VI)

Το ιξώδες αποτελεί μια από τις σπουδαιότερες ιδιότητες των λιπαντικών διότι χαρακτηρίζει την ικανότητα τους να ρέουν. Στην ουσία το ιξώδες αποτελεί μέτρο της εσωτερικής αντίστασης του ρευστού στην κίνηση, λόγω των δυνάμεων τριβής που αναπτύσσονται μεταξύ των μορίων του. Ποσοτικά το ιξώδες ορίζεται ως δυναμικό (n) και κινηματικό (v) ιξώδες. Το δυναμικό ιξώδες δίδεται από την εξίσωση

$$df = \eta \frac{du}{dl} ds$$

όπου dF η δύναμη που ασκείται λόγω εσωτερικής τριβής, η οποία ενεργεί επί επιφάνειας ds

du η μεταβολή της ταχύτητας στην διαδρομή dl

Το δυναμικό ιξώδες μετριέται σε cP και το κινηματικό σε cSt . Η σχέση που συνδέει τα δύο ιξώδη μεταξύ τους είναι:

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \text{ όπου } \rho: \text{ η πυκνότητα του λιπαντικού.}$$

Επειδή είναι ευχερέστερη η μέτρηση του ιξώδους έτσι ώστε να μην επηρεάζεται από την πυκνότητα του λαδιού, για τον χαρακτηρισμό των ορυκτελαίων χρησιμοποιείται συνήθως το κινηματικό ιξώδες. Η μέτρηση του κινηματικού ιξώδους στα λιπαντικά γίνεται με την μέθοδο ASTM D-445.

Οι τιμές του ιξώδους αλλά και οι μεταβολές που υφίσταται αυτό με την θερμοκρασία, την πίεση και τις διαμητικές τάσεις έχουν μελετηθεί ευρέως τόσο για το πετρέλαιο όσο και για τα λιπαντικά. Η εξίσωση με την ευρύτερη εφαρμογή στην βιομηχανία που δίνει την μεταβολή του ιξώδους με την θερμοκρασία είναι η σχέση του Walther:

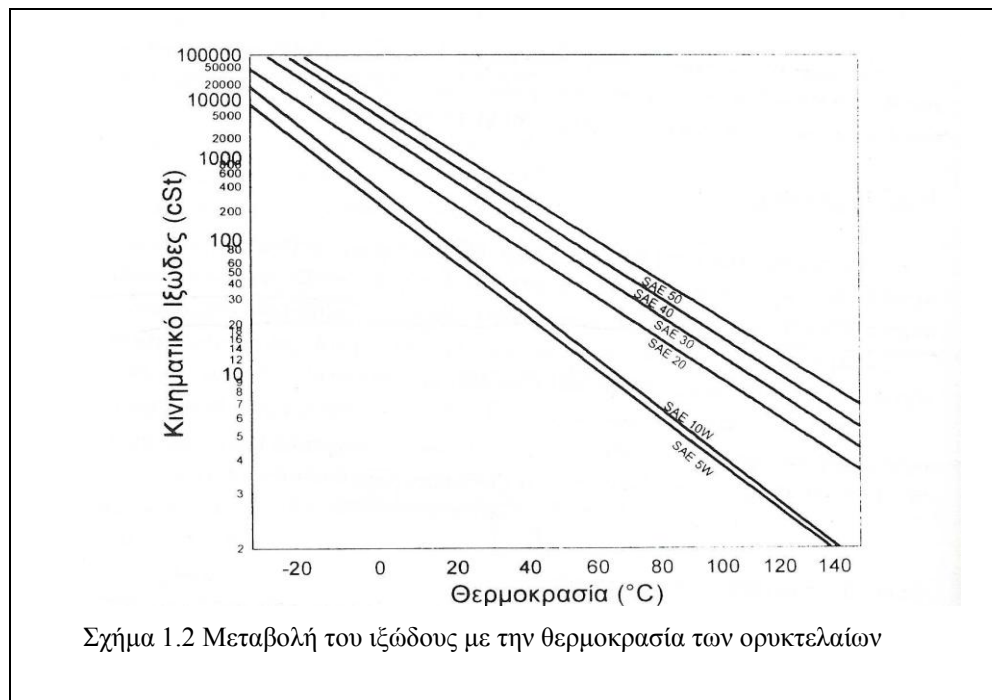
$$\log \log(\nu + 0,7) = A + B \log T$$

όπου ν = κινηματικό ιξώδες (cst)

T = θερμοκρασία °K

A, B = Σταθερές

Στο σχήμα 1.2 φαίνεται η μεταβολή του ιξώδους με την θερμοκρασία για μερικούς τύπους ορυκτελαίων.



Ο τρόπος μεταβολής του ιξώδους των ορυκτελαίων, όταν μεταβάλλεται η θερμοκρασία, εκφράζεται από τον δείκτη ιξώδους (viscosity index, VI). Ο δείκτης ιξώδους είναι το μέτρο της τάσης μεταβολής του ιξώδους με την θερμοκρασία και εκφράζεται ως καθαρός αριθμός. Όσο μεγαλύτερος είναι ο δείκτης ιξώδους, τόσο μικρότερη είναι η μεταβολή του ιξώδους με την θερμοκρασία.

Ο δείκτης ιξώδους αποτελεί το βασικό εμπορικό χαρακτηριστικό των λιπαντικών. Η κλίμακα του δείκτη αυτού αναπτύχθηκε από τους Dean και Davis με βάση την παραδοχή ότι ένα λιπαντικό από τυπικό πετρέλαιο του κόλπου του Μεξικού έχει τιμή VI = 0, ενώ ένα αντίστοιχο λιπαντικό από πετρέλαιο της Πενσυλβανίας έχει τιμή VI = 100. Τα πετρέλαια του κόλπου του Μεξικού είναι βαριά με μεγάλη περιεκτικότητα σε ρητίνες, ενώ τα αντίστοιχα της Πενσυλβανίας είναι παραφινικά.

Στη βάση αυτή ο δείκτης ιξώδους ενός λιπαντικού ορίζεται ως:

$$VI = \frac{L - U}{L - H} * 100$$

όπου L και H το ιξώδες κλασμάτων πετρελαίων αναφοράς στους 38°C που έχουν ιξώδες στους 100°C ίσο με εκείνο του άγνωστου δείγματος, και U το ιξώδες του άγνωστου δείγματος στους 38°C.

Οι συνηθισμένοι δείκτες ιξώδους των εμπορικών ορυκτελαίων κυμαίνονται από 85 έως 150, ενώ τα βασικά λάδια έχουν δείκτες ιξώδους από 75 έως 95. Σε εφαρμογές λίπανσης όπου η θερμοκρασία παραμένει εν πολλοίς σταθερή, ο δείκτης ιξώδους έχει μικρή σημασία. Όταν όμως η θερμοκρασία λειτουργίας μεταβάλλεται σε μια μεγάλη περιοχή, όπως στους κινητήρες των αυτοκινήτων, ο δείκτης ιξώδους του ορυκτελαίου που θα χρησιμοποιηθεί θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερος. Για να έχουμε σωστή λίπανση θα πρέπει το λιπαντικό να συμπεριφέρεται με τον ίδιο τρόπο όταν η θερμοκρασία είναι χαμηλή, αλλά και όταν είναι υψηλή.

✓ Το σημείο ροής

Όταν τα ορυκτέλαια ψυχθούν κάτω από συγκεκριμένη θερμοκρασία οι παραφίνες που περιέχονται σ' αυτά αρχίζουν να διαχωρίζονται με τη μορφή κρυστάλλων, οι οποίοι συνδέονται μεταξύ τους και τελικά παγιδεύουν το λάδι δυσκολεύοντας ή σταματώντας την ροή του. Το σημείο ροής (Pour Point) είναι η θερμοκρασία στην οποία ο διαχωρισμός της παραφίνης είναι τόσο έντονος που δεν επιτρέπει στο ορυκτέλαιο να είναι ρευστό, όταν ψυχθεί κάτω από ειδικές συνθήκες (ASTM D-97). Τα κλάσματα του πετρελαίου που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή λιπαντικών παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές στα σημεία ροής λόγω της διαφορετικής χημικής τους σύστασης. Τα αποστάγματα από αργά πετρέλαια παραφινικής ή μικτής βάσης έχουν σημεία ροής από 27 έως 49 °C, ενώ τα αποστάγματα από αργά πετρέλαια ασφαλούχου βάσεως έχουν σημείο ροής χαμηλότερα από 18 °C. Το σημείο ροής μειώνεται με την επεξεργασία του ορυκτελαίου στην μονάδα αποπαραφίνωσης (M-400) και για τα τελικά προϊόντα, συνήθως, κυμαίνεται από -12 έως -2 °C.

✓ Η σταθερότητα σε οξείδωση

Αποτελεί έναν από τους βασικότερους δείκτες ποιότητας ενός ορυκτελαίου, γιατί οι υδρογονάνθρακες αντιδρούν με το οξυγόνο και δίνουν μια σειρά προϊόντων

οξειδωσης τα οποία διακρίνονται σε ουδέτερα και όξινα. Ουδέτερα είναι οι αλκοόλες, οι κετόνες, οι σύνθετοι αιθέρες, οι ρητίνες και τα ασφαλτένια. Οι κετόνες δημιουργούν προϊόντα συμπύκνωσης με αποτέλεσμα την αύξηση του ιξώδους. Η ύπαρξη ασφαλτενίων και ρητινών αυξάνει το ιξώδες και την τάση δημιουργίας κωκ. Τα όξινα προϊόντα που εμφανίζονται με την οξειδωση είναι οργανικά οξέα και φαινόλες.

✓ Flash point

Το σημείο ανάφλεξης (Flash point) είναι η χαμηλότερη θερμοκρασία στην οποία αναφλέγονται οι ατμοί του λιπαντικού με την παρουσία φλόγας σε ανοικτό ή κλειστό δοχείο. Το σημείο ανάφλεξης σχετίζεται με την πτητικότητα του ορυκτελαίου και αποτελεί μια προδιαγραφή ασφαλείας για τις συνθήκες μεταφοράς και αποθήκευσης. Επίσης αποτελεί ένδειξη μόλυνσης με ελαφρύτερα συστατικά (πχ καύσιμα) και μπορεί να συμβάλλει στην έγκαιρη διάγνωση μιας πιθανής διαρροής καυσίμου στο λιπαντικό. Το σημείο ανάφλεξης των ορυκτελαίων είναι συνήθως μεγαλύτερο από 200⁰C. Γενικά όσο μεγαλύτερο είναι το ιξώδες του λαδιού τόσο μεγαλύτερο είναι και το σημείο ανάφλεξης του. Επίσης σε γενικές γραμμές τα ναφθενικά λάδια έχουν μικρότερο σημείο ανάφλεξης από τα παραφινικά λάδια με περίπου ίδιο ιξώδες.

✓ Το χρώμα

Το χρώμα των ορυκτελαίων ποικίλει από διαφανές ή διαυγές έως αδιαφανές ή μαύρο. Εξαρτάται από τον τύπο αργού πετρελαίου από το οποίο προήλθε, το ιξώδες, την διαδικασία και το βαθμό εξευγενισμού, καθώς και από την ποσότητα και το είδος των προσθέτων που περιέχει. Το χρώμα προσδιορίζεται με την μέθοδο ASTM-1500. Προδιαγράφεται κυρίως για λόγους εμφάνισης του ορυκτελαίου αλλά και για να μην γίνονται αναμιξείς με ανεπιθύμητα συστατικά

Οι παρακάτω Πίνακες 1.3, 1.4 δείχνουν συνοπτικά την επιρροή του τύπου του αργού πετρελαίου σε μερικές βασικές ιδιότητες των λιπαντικών.

	ΠΑΡΑΦΙΝΙΚΟ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ	ΝΑΦΘΕΝΙΚΟ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ	ΑΡΩΜΑΤΙΚΟ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ
Πυκνότητα (για δεδομένο εύρος απόσταξης)	Χαμηλή	ενδιάμεση	υψηλή
Ιξώδες (για δεδομένο εύρος απόσταξης)	Χαμηλό	ενδιάμεσο	υψηλό
Πτητικότητα (για δεδομένο ιξώδες)	Χαμηλή	ενδιάμεση	υψηλή
Σημείο ροής	(n-) υψηλό (iso-) λιγότερο υψηλό	χαμηλό	χαμηλό
Δείκτης ιξώδους	(n-) πολύ υψηλός (iso-) υψηλός	μέσος	ειδικό ^A

Πίνακας 1.3: Επίδραση χημικής σύστασης πετρελαίου στις ιδιότητες των λιπαντικών

Τύπος αργού Ιδιότητα	Βενεζουέλα (ναφθενικό)	Μέση Ανατολή (παραφινικό)
Πυκνότητα σε 20 ⁰ C	0,901	0,882
Ιξώδες σε 100 ⁰ C	11,7	9,5
Δείκτης ιξώδους	57	97
Θείο % κ.β.	0,92	0,83

Πίνακας 1.4: Τυπικές ιδιότητες λιπαντικών με βάση την προέλευση του αργού πετρελαίου

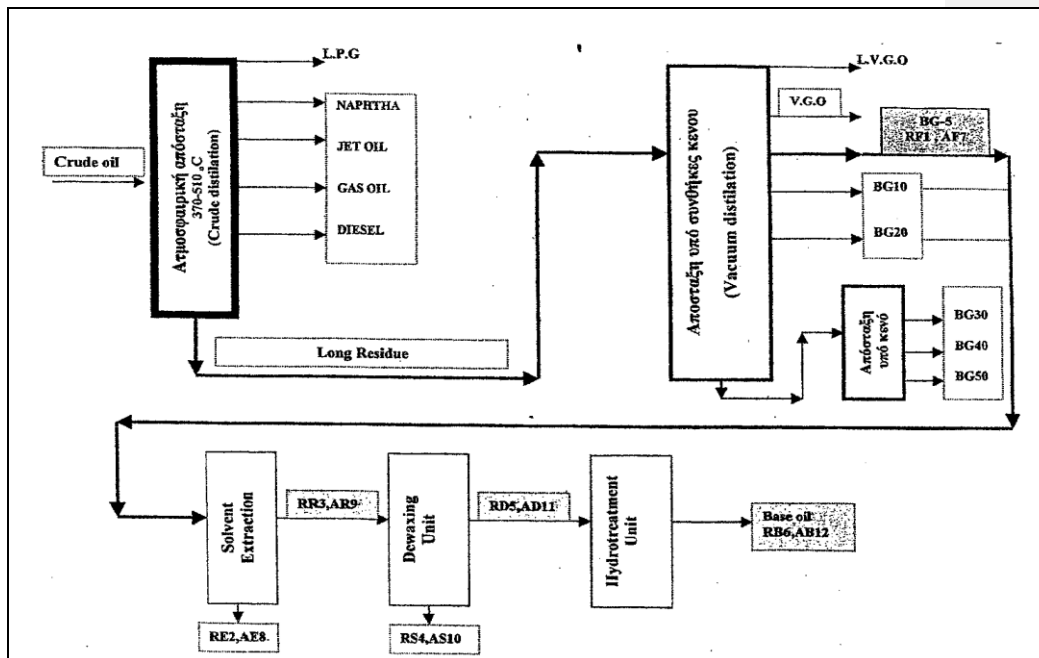
^A Τα μονοαρωματικά με μακρές αρωματικές αλυσίδες έχουν καλό V.I. Τα πολυκυκλικά αρωματικά έχουν πολύ χαμηλό V.I

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Η ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΛΙΠΑΝΤΙΚΩΝ

2.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΟΡΥΚΤΕΛΑΙΩΝ

Τα εμπορικά λιπαντικά πετρελαϊκής προέλευσης παρασκευάζονται από τα βασικά ορυκτέλαια με ανάμιξη κατάλληλων προσθέτων που βελτιώνουν τα αρχικά χαρακτηριστικά και δίδουν στο τελικό προϊόν τις απαιτούμενες ιδιότητες. Όπως προαναφέρθηκε ως *βασικά ορυκτέλαια* ορίζονται τα κλάσματα του αργού πετρελαίου, τα οποία προκύπτουν από την μονάδα απόσταξης υπό κενό, και έχουν υποστεί επεξεργασίες εξευγενισμού (εκχύλιση, αποπαραφίνωση, υδρογόνωση). Τα βασικά αυτά ορυκτέλαια αποκτούν τις επιθυμητές ιδιότητες, με κατάλληλη ρύθμιση των παραμέτρων λειτουργίας κάθε μονάδας και με επιλογή κατάλληλης τροφοδοσίας. Στο σχήμα 2.1 παρουσιάζεται η σχηματική απεικόνιση του τμήματος παραγωγής λιπαντικών του διυλιστηρίου της Motor Oil Hellas.



Σχήμα 2.1. Σχηματική απεικόνιση τμήματος παραγωγής λιπαντικών του διυλιστηρίου της Motor Oil Hellas.

Παρακάτω θα περιγραφούν εν συντομία οι μονάδες του διωλιστηρίου που εμπλέκονται στην διαδικασία παραγωγής των ορυκτελαίων.

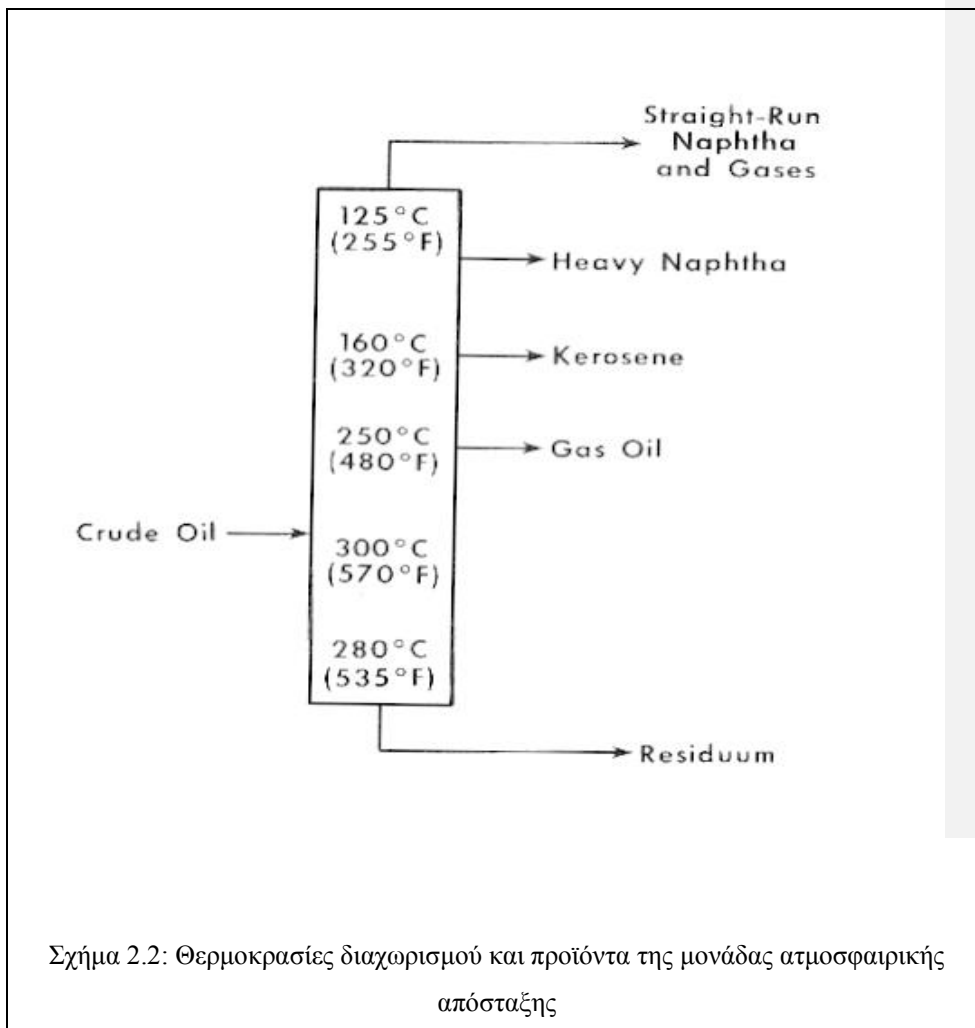
2.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΑΠΟΣΤΑΞΗΣ

Οι σύγχρονες μονάδες αποστάξεως σε ατμοσφαιρική πίεση είναι συνεχούς λειτουργίας και αποτελούνται από την κύρια αποστακτική στήλη, και από τις δευτερεύουσες στήλες, συμπυκνωτές, εναλλάκτες θερμότητας κ.α., με τις οποίες εξασφαλίζεται ο επιθυμητός βαθμός διαχωρισμού των κλασμάτων. Τα προϊόντα της κλασματικής αποστάξεως του αργού πετρελαίου σε ατμοσφαιρική πίεση παρουσιάζονται στο σχήμα 2.2. Τα κλάσματα που λαμβάνονται δεν είναι προϊόντα έτοιμα προς χρήση. Βασικά αποτελούν πρώτες ύλες από τις οποίες θα ληφθούν τελικά προϊόντα (με ανάμιξη με άλλα κλάσματα ή ύστερα από επεξεργασία) ώστε να πληρούν τις υφιστάμενες τεχνικές προδιαγραφές.

Το προϊόν κορυφής της αποστακτικής στήλης αποτελείται από νάφθα και αέρια (Μεθάνιο, αιθάνιο κτλ), ενώ πλευρικά προϊόντα είναι τα : /heavy naphtha,/ kerosene, /και gas oil.

Το υπόλειμμα που λαμβάνεται από τον πυθμένα της στήλης ψύχεται και χρησιμοποιείται σαν καύσιμο σε βιομηχανικούς λέβητες (fuel oil), είτε αυτούσιο είτε με ανάμιξη ή επεξεργασία.

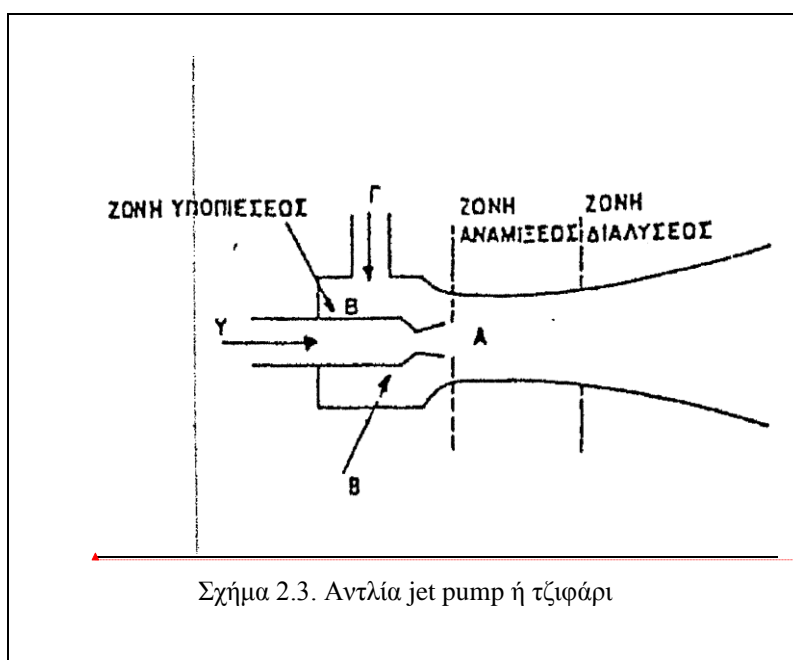
Επίσης χρησιμοποιείται σαν πρώτη ύλη για την παραγωγή λιπαντικών μετά από τον διαχωρισμό σε επιμέρους κλάσματα με απόσταξη υπό κενό.



2.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΟΝΑΔΑΣ ΑΠΟΣΤΑΞΗΣ ΥΠΟ ΚΕΝΟ

Για την παραγωγή των κλασμάτων που θα χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή λιπαντικών το υπόλειμμα της στήλης ατμοσφαιρικής απόσταξης οδηγείται στην στήλη της απόσταξης υπό κενό. Και τούτο διότι σε θερμοκρασίες πάνω από 350 °C τα διάφορα συστατικά του πετρελαίου αρχίζουν να υφίστανται πυρόλυση θερμική διάσπαση (cracking). Επομένως, για να διαχωριστούν με απόσταξη πρέπει να ελαττωθεί το σημείο ζέσεως τους, πράγμα που επιτυγχάνεται με την

μείωση της πίεσης της διεργασίας. Για την παραγωγή «κενού» χρησιμοποιούνται αντλίες χωρίς κινούμενα μέρη (τζιφάρι ή jet pump) όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.3. Το αναρροφητικό ρευστό (π.χ. υδρατμός) διέρχεται διαμέσου του σωλήνα Y και εξέρχεται από το στόμιο A. Ο σωλήνας Y περιβάλλεται από εξωτερικό σωλήνα B, που φέρει στένωση στην περιοχή ανάμειξης A. Η όλη διάταξη δημιουργεί υποπίεση η οποία έχει σαν αποτέλεσμα την αναρρόφηση του δεύτερου ρευστού από το στόμιο Γ.



Formatted

Μαζί με την τροφοδοσία του κλάσματος πετρελαίου που εισέρχεται εντός του πύργου απόσταξης, διαβιβάζεται και ατμός που αφ' ενός υποβοηθά στην απογύμνωση του προϊόντος πυθμένα από τα ελαφρύτερα συστατικά και αφ' ετέρου συμβάλλει στην ευκολότερη εξάτμιση αυτών των συστατικών με την ελάττωση της μερικής τους πίεσης.

Οι κυριότεροι παράγοντες λειτουργίας της μονάδας οι οποίοι και καθορίζουν την ποιότητα των προϊόντων είναι οι εξής :

- ✓ Απολήψεις προϊόντων
- ✓ Θερμοκρασία
- ✓ Πίεση λειτουργίας
- ✓ Παροχή ατμού πυθμένος
- ✓ Παροχή τροφοδοσίας
- ✓ Ποιότητα τροφοδοσίας

Τα παραγόμενα κλάσματα από την μονάδα αποστάξεως κενού είναι τα Bg-5, Bg-10, Bg-20, Bg-30, και BG-50. Ο διαχωρισμός τους γίνεται με βάση την τιμή του ιξώδους. Στη συνέχεια τα κλάσματα αυτά οδηγούνται στο τμήμα λιπαντικών όπου υφίστανται μια σειρά κατεργασιών, (εκχύλιση, αποκρήρωση, και υδρογονοεπεξεργασία) για την παραγωγή των βασικών λιπαντικών.

Οι τρεις βασικές ιδιότητες των ορυκτελαίων που ρυθμίζονται στην μονάδα απόσταξης υπό κενό είναι οι ακόλουθες:

Σημείο αναφλέξεως (flash point)

Το σημείο αναφλέξεως (flash point) εκάστου προϊόντος ρυθμίζεται από τον ατμό στον αντίστοιχο απογυμνωτή (stripper). Αύξηση της παροχής του ατμού επιφέρει αύξηση του σημείου ανάφλεξης και αντίστροφα. Επίσης μπορούμε να ρυθμίσουμε το σημείο ανάφλεξης από τις απολήψεις των κλασμάτων. Αύξηση του σημείου ανάφλεξης επιτυγχάνεται με αύξηση της απολήψεως του αμέσως ελαφρότερου προϊόντος.

Ιξώδες (Viscosity)

Ρυθμίζεται κυρίως με τις απολήψεις. Αύξηση της απολήψεως ενός προϊόντος επιφέρει αύξηση ιξώδους σε αυτό το προϊόν και σε όλα τα προϊόντα που έχουν υψηλότερα σημεία ζέσεως από αυτό. Ελάττωση της απολήψεως μας δίνει ακριβώς τα αντίθετα αποτελέσματα.

Χρώμα

Το χρώμα των προϊόντων ρυθμίζεται με καλύτερη κλασμάτωση (π.χ με αύξηση εσωτερικών αναρροών).

2.4 ΜΟΝΑΔΑ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΜΕ ΜΕΘΥΛΟΠΥΡΟΛΙΔΟΝΗ- NMP

Ο διαχωρισμός δια της κλασματικής απόσταξης, όπως περιγράφηκε παραπάνω, βασίζεται στις διαφορές των σημείων ζέσεως των διαφόρων ενώσεων. Τα λαμβανόμενα κλάσματα από την κλασματική απόσταξη περιέχουν συστατικά διαφορετικών ομάδων (αλκάνια, ναφθένια, αρωματικοί υδρογονάνθρακες κ.λ.π.), τα οποία έχουν γειτονικά σημεία ζέσεως. Όμως, η ποιότητα ενός κλάσματος που χρησιμοποιείται για την παραγωγή λιπαντικών δεν προσδιορίζεται μόνο από τις φυσικές ιδιότητες αλλά και από την χημική του σύσταση. Στα λιπαντικά η παρουσία των αρωματικών υδρογονανθράκων είναι ανεπιθύμητη διότι παρουσιάζουν μικρό δείκτη ιξώδους, σκούρο χρώμα και οξειδώνονται εύκολα. Είναι απαραίτητο λοιπόν να απομακρυνθούν ώστε να παραχθεί βασικό λιπαντικό με τον επιθυμητό δείκτη ιξώδους, ανοιχτόχρωμο και με θερμική και οξειδωτική σταθερότητα. Για την απομάκρυνση των αρωματικών συστατικών χρησιμοποιείται η μέθοδος της εκχύλισης, η αρχή της οποίας βασίζεται στην εκλεκτική διάλυση συστατικών των οποίων είναι επιθυμητή η απομάκρυνση από το λιπαντικό με διάλυση σε κατάλληλο διαλύτη (Σχήμα 2.5).

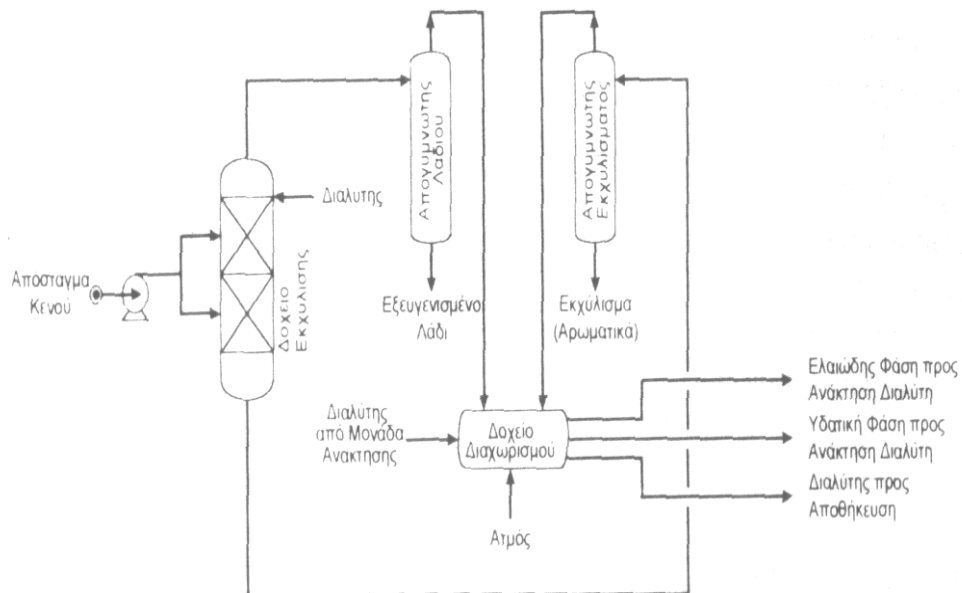
Οι διαλύτες που χρησιμοποιούνται είναι η μεθυλοπυρολιδόνη (NMP), η φαινόλη, η φουρφουράλη και ο διθειάνθρακας. Παλαιότερα, χρησιμοποιούνταν και άλλοι διαλύτες όπως ανιλίνη και νιτροβενζόλιο. Οι πιο ευρέως χρησιμοποιούμενοι διαλύτες σήμερα είναι η NMP και η φουρφουράλη. Η NMP σε σχέση με την φουρφουράλη έχει το πλεονέκτημα, ότι απαιτείται μικρότερη αναλογία διαλυτού προς ορυκτέλαιο, επιτρέποντας στην μονάδα την αύξηση της δυναμικότητας της, ενώ μειονέκτημα της είναι ότι απαιτούνται υψηλότερες θερμοκρασίες για την ανάκτηση της. Στον Πίνακα 2.4 παρουσιάζονται οι ιδιότητες και η συμπεριφορά των δύο αυτών διαλυτών κατά την διεργασία της εκχύλισης.

	Φουρφουράλη	NMP
Πυκνότητα	1.0	1.5
Σημείο βρασμού	162	201
Εκλεκτικότητα	Άριστη	Πολύ καλή
Ισχύς διαλυτού	Καλή	Άριστη
Σταθερότητα	Καλή	Άριστη
Τοξικότητα	Μέση	Χαμηλή
Διαλύτης/λάδι	Μέση	Πολύ χαμηλή
θερμοκρασία εκχύλισης	Μέση	Χαμηλή
Απόδοση σε raffinate	Άριστη	Πολύ καλή
Χρώμα προϊόντος	Πολύ καλό	Άριστο
Διαβρωτικότητα	Μέση	Χαμηλή

Πίνακας 2.4. Ιδιότητες φουρφουράλης και NMP

Στο διωλιστήριο της Motor Oil Hellas ο διαλύτης που χρησιμοποιείται είναι η μεθυλοπυρολιδόνη (NMP) η οποία διαλύει εκλεκτικά κυρίως τους αρωματικούς υδρογονάνθρακες δίνοντας σύστημα δυο φάσεων. Η μια φάση αναφέρεται ως εξευγενισμένο λάδι (raffinate), το οποίο περιέχει περιορισμένη ποσότητα διαλύτη, και η άλλη ως εκχύλισμα (extract), που περιέχει κυρίως τον διαλύτη και τους αρωματικούς υδρογονάνθρακες.

Για την καλύτερη επαφή των, χρησιμοποιείται διάταξη η οποία αποτελείται από κυλινδρικό πύργο εφοδιασμένο με κατακόρυφο άξονα, πάνω στον οποίο έχει προσαρτηθεί αριθμός δίσκων οι οποίοι περιστρέφονται. Ο διαλύτης και το ορυκτέλαιο εισάγονται στο άνω και κάτω μέρος αντίστοιχα του κυλινδρικού πύργου (αντιροή). Κατά την περιστροφή του άξονα το διαλυτικό διασπείρεται από τους δίσκους, υπό μορφή λεπτότατων σταγονιδίων, εντός του ορυκτελαίου και έτσι επιτυγχάνεται καλύτερη επαφή.



Σχήμα 2.5 . Μονάδα εξευγενισμού ορυκτελαίων με διαλύτες

Οι σημαντικότεροι παράμετροι της εκχύλισης είναι το είδος του διαλύτη, οι συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας (p, T) και ο τρόπος επαφής του ορυκτελαίου με τον διαλύτη (διεπιφάνεια των φάσεων). Γενικά η πίεση και η θερμοκρασία εκχύλισης πρέπει να είναι χαμηλές, διότι με την αύξηση της θερμοκρασίας ελαττώνεται η εκλεκτικότητα του διαλύτη με συνέπεια να διαλύονται και επιθυμητά συστατικά του ορυκτελαίου. Σημαντική επίσης παράμετρος λειτουργίας είναι η αναλογία διαλύτη/ορυκτέλαιου. Η μέγιστη απόδοση σε προϊόν (raffinate) συγκεκριμένης ποιότητας, επιτυγχάνεται με υψηλή αναλογία διαλύτη/ορυκτέλαιου και χαμηλή θερμοκρασία εκχύλισης.

2.5 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΟΝΑΔΑΣ ΑΠΟΚΗΡΩΣΗΣ

Η μονάδα αποκήρωσης έχει σαν στόχο την απομάκρυνση των κανονικών υδρογονανθράκων και δευτερευόντως των ισοπαραφινών και κυκλικών υδρογονανθράκων μεγάλου μοριακού βάρους (με 30-40 άτομα άνθρακα). Η παρουσία των παραπάνω ενώσεων στα ορυκτέλαια έχει σαν συνέπεια την ανύψωση του σημείου ροής (έως και 40⁰C) και την ταπείνωση της τιμής του ιξώδους με αποτέλεσμα να μειώνεται η ποιότητα και κατά συνέπεια η εμπορική αξία του ορυκτελαίου. Τα συστατικά αυτά του ορυκτελαίου απομακρύνονται στην μονάδα αποκηρώσεως με την χρησιμοποίηση ενός μίγματος διαλυτών μεθυλ-αιθυλ-κετόνης (MEK) και τολουολίου (ΤΟΛ). Η MEK ευνοεί την κρυστάλλωση του κηρού, ενώ το τολουόλιο ευνοεί την διάλυση όλων των άλλων ομάδων συστατικών του ορυκτελαίου. Η ποσότητα του διαλυτού, που απαιτείται, για δεδομένη ποσότητα ορυκτελαίου (λαδιού), αυξάνεται ανάλογα με το ιξώδες του λαδιού, που τροφοδοτεί την μονάδα.

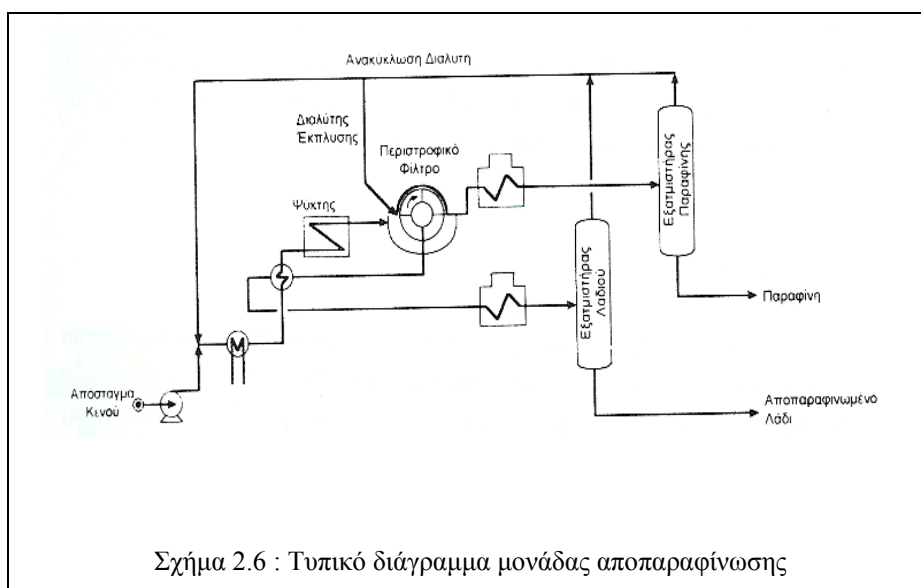
Η διεργασία της αποκήρωσης πραγματοποιείται σε τρία στάδια:

- Ανάμιξη του ορυκτελαίου με το μίγμα διαλυτών και ψύξη του διαλύματος.
- Διήθηση του ψυχθέντος διαλύματος για την απομάκρυνση του κήρου που σχηματίζεται.
- Αναγέννηση των διαλυτών και επαναχρησιμοποίηση των.

Το προϊόν (raffinate) της μονάδας κατεργασίας με μεθυλοπυροδινόλη το οποίο περιέχει τους κήρους, αναμιγνύεται με μια ποσότητα διαλύτη και θερμαίνεται σε μια θερμοκρασία στην οποία τα κηρώδη συστατικά διαλύονται πλήρως. Στην συνέχεια το μίγμα ψύχεται σε εναλλάκτες αποξεόμενης επιφάνειας στην θερμοκρασία που απαιτείται για την κρυστάλλωση των συστατικών του κεριού που έχουν το απαιτούμενο σημείο πήξεως(Σχήμα 2.6).

Κατά την διάρκεια της ψύξεως οι κρύσταλλοι του κεριού διαχωρίζονται από το μίγμα τροφοδοσίας - διαλύτη σε περιστρεφόμενα φίλτρα κενού. Το ορυκτέλαιο

που περιέχεται στο στρώμα του κεριού στην επιφάνεια των φίλτρων αφαιρείται σε μεγάλο ποσοστό με ψεκασμό με διαλύτη, πριν το κερί εγκαταλείψει τα φίλτρα. Η υγρή φάση από το πρώτο φιλτράρισμα, που είναι μίγμα αποκηρωμένου ορυκτέλαιου και διαλύτη περνάει από το τμήμα ανακτήσεως όπου ο διαλύτης διαχωρίζεται από το ορυκτέλαιο και επαναχρησιμοποιείται, ενώ το λάδι προωθείται στην μονάδα υδρογόνωσης (M-500).



Ο σχεδιασμός λειτουργίας της μονάδας βασίζεται στην τεχνική της TEXACO που χρησιμοποιεί πολλές διαλύσεις (*multidilution proces*) και κάνει επαναδιάλυση και νέα διήθηση στο κερί (*repulping*). Αυτή η διαδικασία επιτρέπει, την αύξηση της παραγωγής της μονάδας, και χαμηλότερο λόγο διαλύτη προς ορυκτέλαιο διότι επιτυγχάνονται μεγαλύτερες ταχύτητες φιλτραρίσματος λόγω της ελεγχόμενης ανάπτυξης των κρυστάλλων, οι οποίοι διευκολύνουν την διαδικασία του φιλτραρίσματος. Η διαδικασία του *repulping* στο κερί αυξάνει τις αποδόσεις σε ορυκτέλαιο και επαναχρησιμοποιεί την υγρή φάση των φίλτρων (*filtrate*) για τις διαλύσεις της τροφοδοσίας.

Η τεχνική της κρυσταλλώσεως που ακολουθείται επηρεάζει τόσο την δυναμικότητα του τμήματος διηθήσεως που ακολουθεί, όσο και την ποιότητα της διήθησης. Καλός διαχωρισμός είναι αυτός που δίνει το επιθυμητό σημείο ροής

στο παραγόμενο ορυκτέλαιο και όσο το δυνατόν χαμηλότερη περιεκτικότητα σε ορυκτέλαιο (oil content) στο κερί (sluck wax). Και αυτό διότι αύξηση του oil content προκαλεί μείωση της απόδοσης σε dewaxed oil και μείωση της αξίας του sluck wax εάν αυτό πρόκειται να διοχετευτεί στην αγορά ως έτοιμο προϊόν.

Το σημείο ροής του παραγόμενου αποκηρωμένου κλάσματος (Dewaxed oil) εξαρτάται από τους εξής παράγοντες:

- Από την θερμοκρασία διηθήσεως. Όσο χαμηλότερη είναι αυτή, τόσο χαμηλότερο είναι το σημείο ροής.
- Από τις αναλογίες των χρησιμοποιούμενων διαλυτών στο τμήμα κρυσταλλώσεως. Πάντοτε υπάρχει μια διαφορά μεταξύ της θερμοκρασίας διηθήσεως και σημείου ροής του παραγόμενου λαδιού. Η διαφορά αυτή αυξάνει όταν αυξάνεται η αναλογία διαλυτών / τροφοδοσίας στο τμήμα κρυσταλλώσεως.
- Από την αναλογία MEK / ΤΟΛ στο μίγμα των διαλυτών. Αύξηση της αναλογίας MEK μειώνει την διαφορά θερμοκρασίας διηθήσεως και σημείου ροής.

Η περιεκτικότητα σε ορυκτέλαιο του παραγόμενου κεριού καθώς και η δυναμικότητα του τμήματος διηθήσεως επηρεάζονται από την τεχνική της κρυσταλλώσεως.

Εκτός των παραπάνω άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την κρυστάλλωση είναι:

- Η ταχύτητα κρυσταλλώσεως Αυτή εξαρτάται από τις χρησιμοποιούμενες διαλύσεις για συγκεκριμένη θερμοκρασία διηθήσεως, δεδομένου ότι ο χρόνος παραμονής είναι χαρακτηριστικό κάθε μονάδας. Η απότομη κρυστάλλωση οδηγεί σε μικρούς κρυστάλλους με αποτέλεσμα τις συνέπειες που προαναφέρθηκαν.
- Η αναλογία MEK στο μίγμα. Αύξηση της αναλογίας MEK βελτιώνει την διήθηση αλλά σε υψηλές περιεκτικότητες προκαλεί διαχωρισμό φάσεων και αύξηση του περιεχόμενου ορυκτελαίου στο κερί. Η ελάχιστη αναλογία που προκαλεί αυτόν τον διαχωρισμό είναι χαμηλότερη για τα βαριά κλάσματα.

2.6 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΟΝΑΔΑΣ ΥΔΡΟΓΟΝΩΣΗΣ

Η διαδικασία της υδρογονοεπεξεργασίας είναι μια τεχνική καταλυτικής υδρογόνωσης η οποία περιλαμβάνει αντιδράσεις, αποθείωσης, υδρογόνωσης, και απονίτρωσης, παρουσία καταλύτη νικελίου-μολυβδενίου (Ni-Mo) με αποτέλεσμα την παραγωγή τελικού προϊόντος (*base oil*), ανοιχτού χρώματος και καλύτερης χρωματικής σταθερότητας (*color stability*). Συγκεκριμένα κατά την διαδικασία αυτή το θείο και το άζωτο που βρίσκεται στα μόρια των ετεροσυστατικών του κλάσματος μετατρέπεται σε υδρόθειο (H₂S) και αμμωνία (NH₃) αντίστοιχα, με ταυτόχρονη υδρογόνωση των μορίων των υδρογονανθράκων.

Ο σχεδιασμός λειτουργίας της μονάδας βασίζεται στην τεχνολογία της TEXACO και οι συνθήκες λειτουργίας της είναι 300-320°C και 50 Kg/cm² για την θερμοκρασία και την πίεση αντίστοιχα.

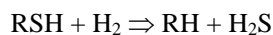
Χημικές αντιδράσεις

Οι κυριότερες χημικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα στην παραπάνω μονάδα είναι:

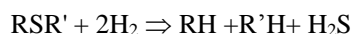
α) Αποθείωση

Το θείο που υπάρχει σε ενώσεις τύπου βενζοθειοφαινείων μετατρέπεται σε H₂S και το μη κορεσμένο υπόλειμμα μετατρέπεται σε αλκυλοβενζόλια. Τα σημεία βρασμού των νέων συστατικών είναι σημαντικά χαμηλότερα από εκείνα των αρχικών συστατικών. Άλλα συστατικά όπως οι θειόλες, τα αλειφατικά και αλεικυκλικά σουλφίδια, καθώς και αλκυλοθειοφαινεία υδρογονώνονται με βάση τις παρακάτω χημικές εξισώσεις:

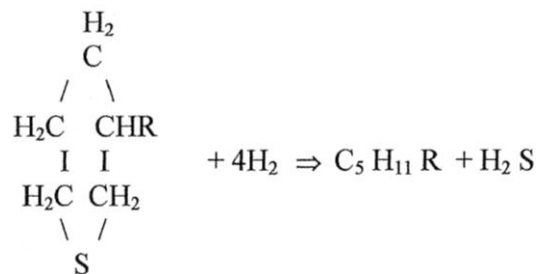
Θειόλες.



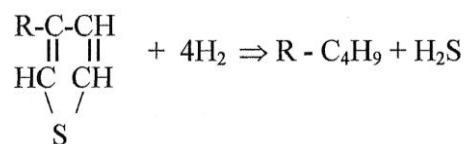
Σουλφίδια.



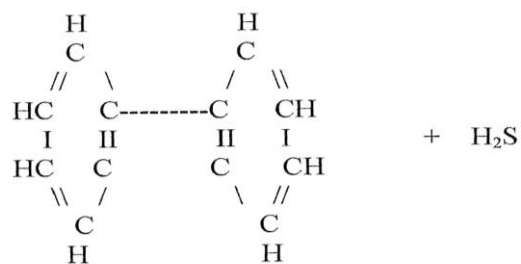
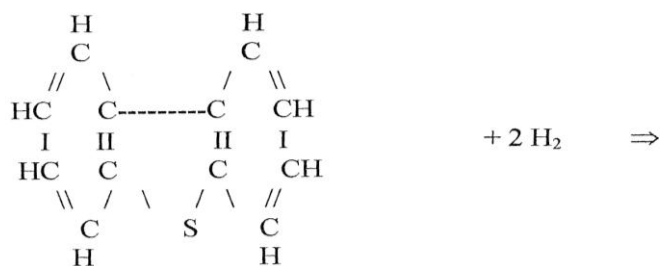
Κυκλικά σουλφίδια.



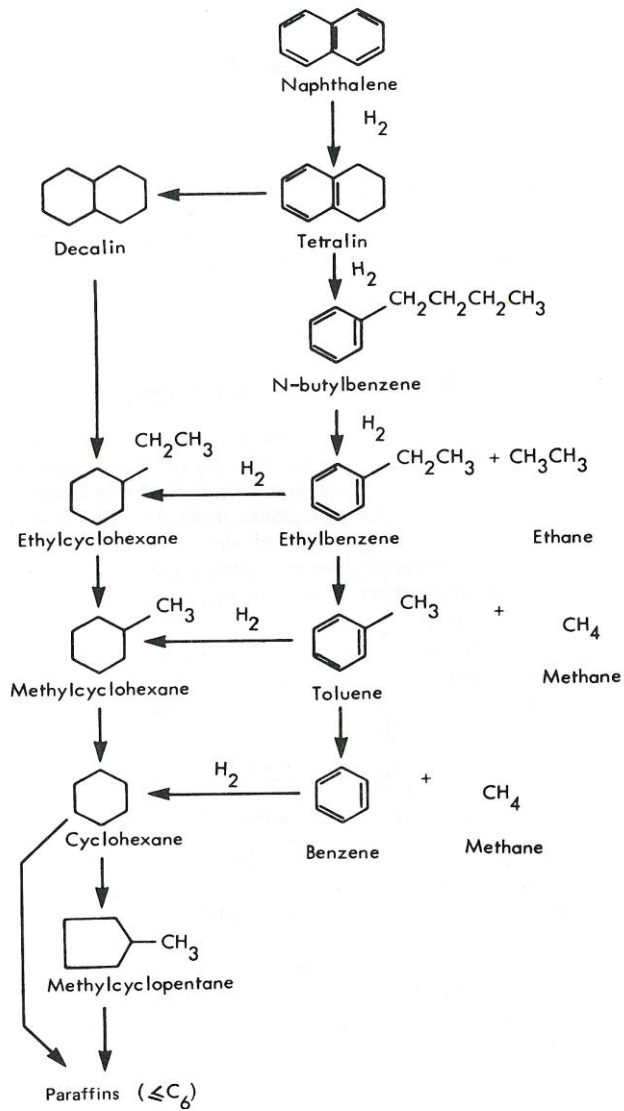
Αλκυλοθειοφαίνεια.



Τελικά τα συστατικά τύπου διβενζοθειοφαινείων μετατρέπονται σε διφαινύλια και υδρόθειο (H₂S).



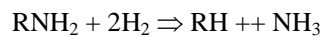
β) Υδρογόνωση των αρωματικών



γ) Απονίτρωση

Οι ενώσεις αζώτου που επηρεάζουν σημαντικά το χρώμα του προϊόντος υδρογονώνονται και χάνουν το άζωτο (N_2), το οποίο μετατρέπεται σε αμμωνία (NH_3).

Η χημική εξίσωση που περιγράφει την παραπάνω αντίδραση είναι:



δ) Κορεσμός ολεφινών

Τα ολεφινικά συστατικά (εφόσον υπάρχουν) στην τροφοδοσία της μονάδας, υδρογονώνονται με βάση τις παρακάτω αντιδράσεις:

1) Ολεφίνες + H_2 \Rightarrow παραφίνες

2) κυκλοολεφίνες + H_2 \Rightarrow ναφθένια

3) διολεφίνες + 2 H_2 \Rightarrow παραφίνες

Οι σημαντικότεροι παράμετροι λειτουργίας της μονάδας παρουσιάζονται παρακάτω:

- ✓ Ροή τροφοδοσίας
- ✓ Ποιότητα τροφοδοσίας
- ✓ Θερμοκρασία αντιδραστήρα
- ✓ Πίεση του αντιδραστήρα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΝΕΥΡΩΝΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (ΤΝΔ) είναι μια σχετικά νέα τεχνική στο χώρο των υπολογιστών, η οποία βασίστηκε σε έρευνες μοντελοποίησης της δομής του ανθρώπινου εγκεφάλου. Η γρήγορη ανάπτυξη των νευρωνικών δικτύων τα τελευταία χρόνια, βοηθήθηκε κατά πολύ από τις εξελίξεις στο χώρο των ηλεκτρονικών υπολογιστών (νέα λογισμικά , μεγαλύτερες ταχύτητες συστημάτων κ.λ.π.).

Είναι γνωστό ότι οι συμβατικοί Η/Υ υπερτερούν του ανθρώπινου εγκεφάλου στην ταχύτητα και ικανότητα εκτέλεσης αριθμητικών πράξεων, εμφανίζονται όμως ακατάλληλοι για την επεξεργασία δεδομένων τα οποία δεν είναι ακριβή, ή περιέχουν “θόρυβο”. Αυτό την αδυναμία προσπάθησε να καλύψει η έρευνα στο χώρο των νευρωνικών δικτύων.

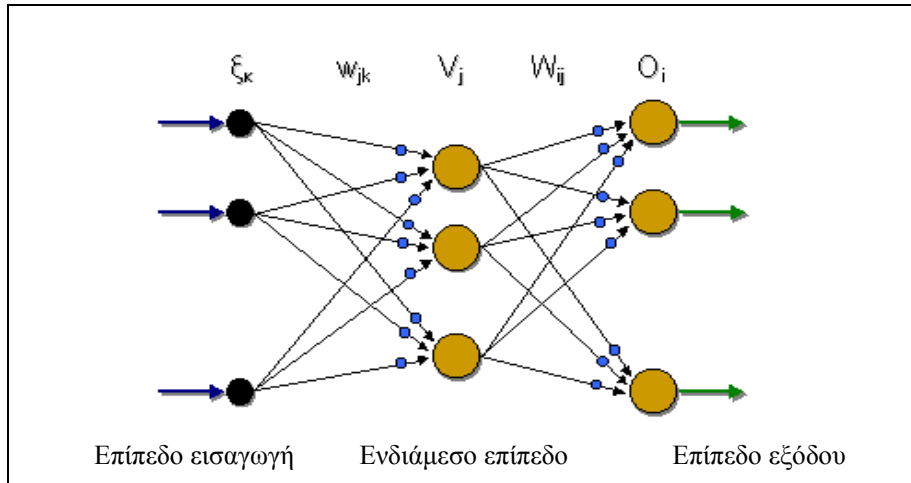
Τα νευρωνικά δίκτυα, μαθηματικά, ορίζονται ως μια μη γραμμική συνάρτηση με πολλές παραμέτρους. Το γεγονός αυτό, την κάνει πολύ ευέλικτη στο χώρο με αποτέλεσμα να μπορεί να περιγράψει σημεία μεταξύ των οποίων υφίσταται μία έντονα μη γραμμική σχέση.

3.2 ΤΟ ΝΕΥΡΩΝΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ

Το τεχνητό νευρωνικό δίκτυο είναι ένα σύστημα επεξεργασίας που αποτελείται από επίπεδα (Layers), τα οποία απαρτίζονται από έναν αριθμό επεξεργαστών που ονομάζονται νευρώνες (Neurons). Τα επίπεδα αυτά χωρίζονται σε επίπεδο εισαγωγής, ενδιάμεσα επίπεδα, και επίπεδο εξόδου. Στο σχήμα 3.1 παρουσιάζεται ένα τυπικό νευρωνικό δίκτυο.

Οι νευρώνες συνδέονται μεταξύ τους με ένα μεγάλο αριθμό σταθμισμένων δεσμών (weighted links), δια μέσου των οποίων μπορεί να διέλθει το σήμα. Κάθε νευρώνας λαμβάνει ένα μεγάλο αριθμό σημάτων το οποίο παρέρχεται είτε από τις

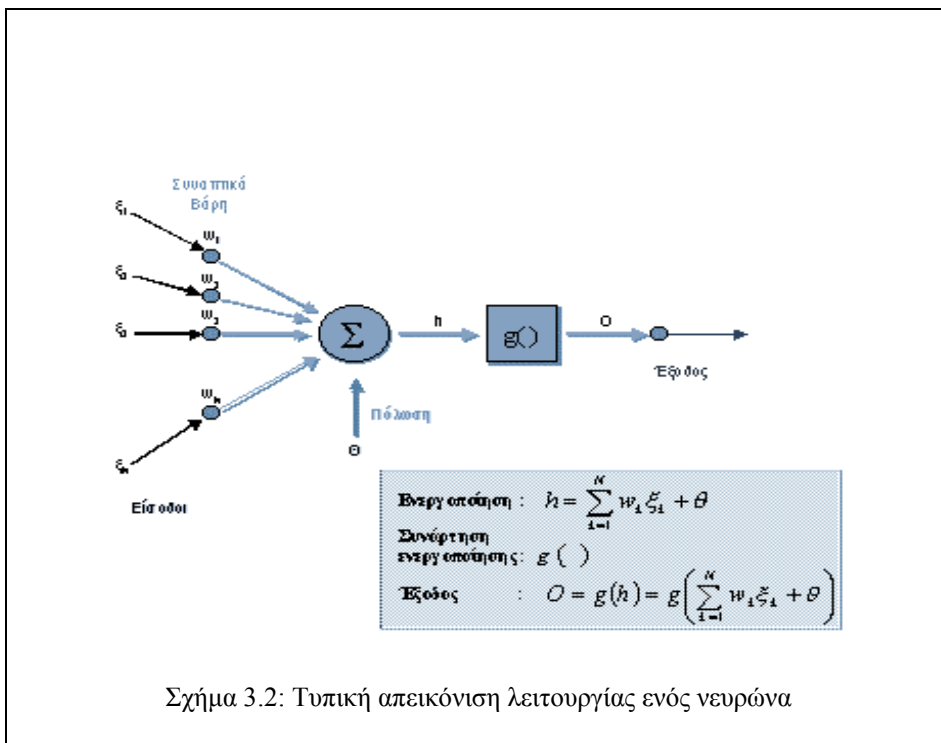
συνδέσεις εισόδου, είτε από τους νευρώνες του προηγούμενου επιπέδου ανάλογα με την θέση του.



Σχήμα 3.1. Τυπικό Νευρωνικό Δίκτυο

Οι νευρώνες, αν και έχουν περισσότερες από μία συνδέσεις εισόδου, παράγουν πάντα ένα σήμα εξόδου. Το σήμα αυτό μεταφέρεται από τη σύνδεση εξόδου του νευρώνα στο επόμενο επίπεδο.

Στο σχέδιο 3.2 παρουσιάζεται ένα σχηματικό διάγραμμα ενός νευρώνα (στοιχείο επεξεργασίας) σε ένα τεχνητό νευρωνικό δίκτυο. Η έξοδος από άλλους νευρώνες πολλαπλασιάζεται με το βάρος της σύνδεσης (w_i) και εισάγεται στο νευρώνα ως είσοδος. Οι εισοδοί αθροίζονται και το αποτέλεσμα οδηγείται στην λειτουργία (συνάρτηση) ενεργοποίησης. Το αποτέλεσμα είναι η έξοδος του νευρώνα.



Αναλυτικότερα η λειτουργία ενός νευρώνα περιγράφεται παρακάτω.

Το σημείο όπου η σύνδεση εισόδου συναντά τον νευρώνα συνήθως καλείται νευρική σύναψη (synapse) ή απλώς σύναψη. Η μαθηματική έκφραση που περιγράφει τη μετάφραση του εισερχόμενου ερεθίσματος σε ανταπόκριση εξόδου καλείται συνάρτηση μεταφοράς (transfer function) του νευρώνα και αποτελείται από μία επεξεργασία τριών βημάτων.

1. Αρχικά, ο νευρώνας υπολογίζει το σταθμισμένο βάρος (net weighted) των δεδομένων εισαγωγής που λαμβάνει από τις συνδέσεις εισόδου. Αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί με διάφορους τρόπους, αλλά συνήθως γίνεται με τον προσδιορισμό της τιμής $h(j)$ όπως φαίνεται ακολούθως:

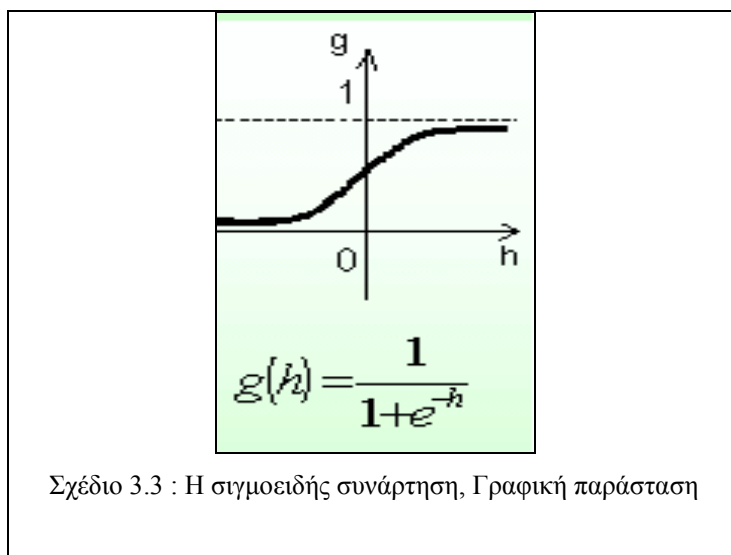
$$h(j) = \sum_{j=1}^n W_{ij} X_j$$

όπου $h(j)$ είναι το σταθμισμένο βάρος που λαμβάνεται στον νευρώνα i από ένα σύνολο n νευρώνων που περιέχονται στο δίκτυο. Το εισερχόμενο σήμα από τον j -οστό νευρώνα προσδιορίζεται ως X_j και το βάρος της

σύνδεσης μεταξύ του i και του j νευρώνα ως W_{ij} . Από τη στιγμή που υπολογίζεται η τιμή του h , όλη η πληροφορία σχετικά με το πια σήματα εισόδου είναι ισχυρά και πια όχι έχει χαθεί. Ένα ισχυρό σήμα που προέρχεται από μια σύνδεση με μικρό βάρος μπορεί να έχει μικρότερη επίδραση από ένα αδύναμο σήμα που προέρχεται από μία σύνδεση με μεγάλο βάρος. Δηλαδή είναι το βάρος του ερεθίσματος που μετράει και όχι η τιμή του αυτή καθ' αυτή. Υπάρχει δυνατότητα ένα βάρος να είναι αρνητικό. Σε αυτή την περίπτωση η σύνδεση καλείται ανασταλτική και τείνει να μειώσει την ολική διέγερση του νευρώνα που τη λαμβάνει.

2. Το δεύτερο βήμα της διαδικασίας μετασχηματισμού αντιπροσωπεύεται από τη συνάρτηση μεταφοράς του νευρώνα που συμβάλει στη μετατροπή του σταθμισμένου βάρους σε ένα επίπεδο ενεργοποίησης για τον νευρώνα. Στα περισσότερα δίκτυα η συνάρτηση ενεργοποίησης (Σχέδιο 3.3) είναι η σιγμοειδής συνάρτηση:

$$g(h) = \frac{1}{1 + e^{-h}}$$



Η σιγμοειδής συνάρτηση έχει το πλεονέκτημα ότι η παράγωγος της είναι εύκολο να προσδιοριστεί :

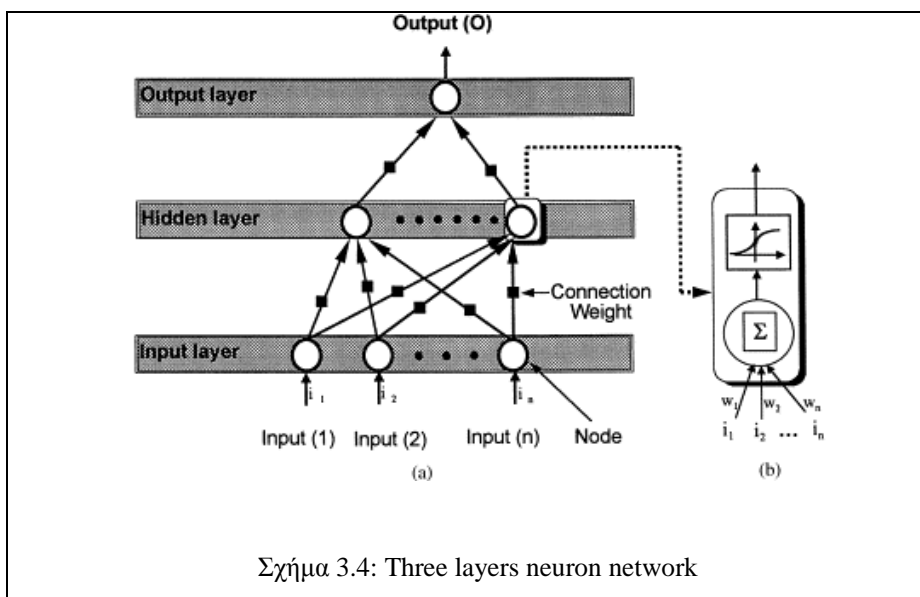
$$\frac{\partial g(h)}{\partial h} = g(h)[1 - g(h)]$$

Η ελάχιστη τιμή της $g(h)$ καθώς προσεγγίζει το αρνητικό άπειρο είναι μηδέν (0.0) και καθώς προσεγγίζει το θετικό άπειρο είναι ένα (1.0).

3. Το τελευταίο βήμα που ολοκληρώνεται με την συνάρτηση μεταφοράς είναι η μετατροπή του επιπέδου ενεργοποίησης σε σήμα εξόδου, αυτό πραγματοποιείται ως εξής

$$y_i = g(h)$$

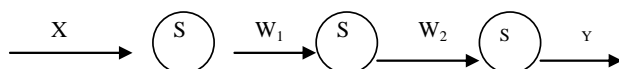
3.3 Η ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΕΝΟΣ ΝΕΥΡΩΝΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ



Όταν ένα νευρωνικό δίκτυο, (Σχήμα 3.4 three layers neuron network), τροφοδοτείται με κάποια δεδομένα, κάθε νευρώνας του επιπέδου εισαγωγής (Input Layer) λαμβάνει τα δεδομένα εισαγωγής. Αυτοί οι νευρώνες διανέμουν τα δεδομένα τους, στους νευρώνες του ενδιάμεσου επιπέδου (Middle Layer). Με αυτόν τον τρόπο κάθε νευρώνας του ενδιάμεσου επιπέδου λαμβάνει όλα τα

αρχικά δεδομένα, όμως τα δεδομένα αυτά είναι μετασχηματισμένα αφού έχουν πολλαπλασιαστεί με τα σταθμισμένα βάρη που οδηγούν στο επίπεδο αυτό. Οι νευρώνες του ενδιάμεσου επιπέδου εκπέμπουν τα σήματα εξόδου τους στους νευρώνες του επιπέδου εξόδου (output layer). Έτσι κάθε νευρώνας του επιπέδου εξόδου λαμβάνει ένα πλήρες αντίγραφο της απόκρισης των νευρώνων του ενδιάμεσου επιπέδου. Ωστόσο, όπως συμβαίνει και με τους νευρώνες του ενδιάμεσου επιπέδου, το αντίγραφο της απόκρισης τροποποιείται από το πέρασμα του μέσα από τις σταθμισμένες συνδέσεις ανάμεσα στους νευρώνες των δύο στρωμάτων. Η έξοδος των νευρώνων του επιπέδου εξόδου είναι η ολική απόκριση του δικτύου στα αρχικά δεδομένα εισαγωγής.

Έστω ένα νευρωνικό δίκτυο αποτελούμενο από τρία επίπεδα. Η τελική απόκριση του δικτύου Y για δεδομένα X υπολογίζεται ως



$$Y = S[W_2 * S(W_1 * X)]$$

Όπου Y = Έξοδος του δικτύου

S = Η σιγμοειδής συνάρτηση

W_1 = Σταθμισμένο βάρος μεταξύ του επιπέδου εισαγωγής και του δευτέρου επιπέδου

W_2 = Σταθμισμένο βάρος μεταξύ του δευτέρου επιπέδου και του επιπέδου εξόδου

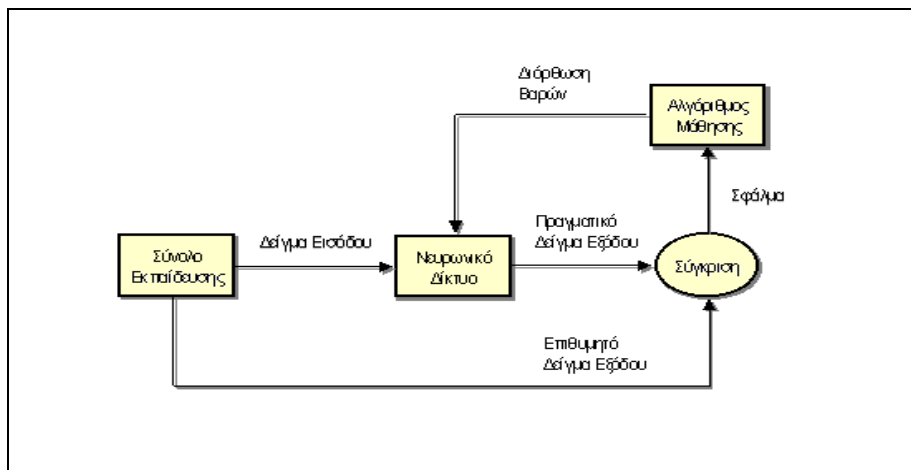
3.4 Η ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΣΕ ΕΝΑ ΝΕΥΡΩΝΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ

Εκπαίδευση ενός τεχνητού νευρωνικού δικτύου είναι η διαδικασία κατά την οποία το ΤΝΔ διαμορφώνεται έτσι ώστε η εφαρμογή ενός συνόλου δεδομένων εισόδου να παράγει το επιθυμητό αποτέλεσμα στην έξοδο. Διακρίνεται στην εποπτευόμενη εκπαίδευση (Supervised learning) και την μη εποπτευόμενη εκπαίδευση ή αυτοοργάνωση (unsupervised learning ή self-organization).

Εποπτευόμενη εκπαίδευση (Supervised learning)

Η εκπαίδευση επιτυγχάνεται με την τροποποίηση των βαρών των συνδέσεων των επιπέδων του δικτύου. Λόγο του ότι η συνάρτηση μεταφοράς είναι σταθερή η έξοδος του νευρώνα εξαρτάται μόνο από δύο παραμέτρους, το εισερχόμενο σήμα και τα βάρη των συνδέσεων εισόδου του. Η βελτίωση της απόδοσης, σε συγκεκριμένο σήμα εισόδου, μπορεί να γίνει μόνο με την τροποποίηση των βαρών των συνδέσεων

Αναλυτικότερα, το ζητούμενο κατά την εκπαίδευση του νευρωνικού δικτύου είναι το αποτέλεσμα του δικτύου (Y) να είναι ίσο με την τιμή της εξωτερικής μέτρησης (Y_{lab}). Δηλαδή η διαφορά τους να τείνει στο μηδέν ($Y - Y_{lab} \sim 0$). Η διαδικασία ελέγχου και ελαχιστοποίησης της διαφοράς αυτής πραγματοποιείται από το νευρωνικό δίκτυο με την μέθοδο Newton – Raphson και συνεχίζεται έως ότου επιτύχουμε τον επιθυμητό βαθμό ακρίβειας πρόβλεψης.



Σχήμα 3.5: Τυπική σχηματική διάταξη επιβλεπόμενης εκπαίδευσης ενός νευρωνικού

Μη εποπτευόμενη εκπαίδευση ή αυτοοργάνωση (unsupervised learning ή self-organization)

Σε αυτή παρέχεται στο δίκτυο μόνο η σειρά των δεδομένων χωρίς καμία πληροφορία για το τελικό αποτέλεσμα. Σε αυτή την περίπτωση το τεχνικό νευρωνικό δίκτυο ανακαλύπτει κοινά χαρακτηριστικά στα δεδομένα εισαγωγής και με βάση αυτά ομαδοποιεί τα δεδομένα σε τάξεις.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΔΕΙΚΤΗ ΙΞΩΔΟΥΣ (VI) ΒΑΣΙΚΩΝ ΛΙΠΑΝΤΙΚΩΝ

4.1 ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΔΕΙΚΤΗ ΙΞΩΔΟΥΣ

Όπως προαναφέρθηκε έχουν αναπτυχθεί σχέσεις (correlation) που προβλέπουν την τιμή του ιξώδους του τελικού λιπαντικού με βάση διάφορες ιδιότητες από τα ενδιάμεσα στάδια παραγωγής του λιπαντικού.^{B C D}

Οι περισσότερες από αυτές ακολουθούν τον παρακάτω γενικό τύπο :

$$VI = a_1 L_1 - a_2 v + a_3$$

Όπου ν είναι ο δείκτης διάθλασης του εξευγενισμένου ορυκτελαίου.

L είναι η τιμή μιας φυσικής παραμέτρου (π.χ. θερμοκρασία , παροχή).

Και a_i ($i=1,2,3$) είναι σταθερές.

Στον παρακάτω Πίνακα 4.1. παρουσιάζονται οι σχέσεις που χρησιμοποιούνται από το διωλιστήριο της Motor Oil.

Συνθήκες , περιορισμοί	Υπολογισμός δείκτη ιξώδους
$2,7 < V100 \text{ feed} < 3,5$	$VI = (1,452 - (RI70 \text{ Raff})) * 1000 + 100$
$3,5 < V100 \text{ feed} < 4,5$	$VI = (1,455 - (RI70 \text{ Raff})) * 1000 + 100$
$4,5 < V100 \text{ feed} < 5,5$	$VI = (1,462 - (RI70 \text{ Raff})) * 1000 + 99$
$5,5 < V100 \text{ feed} < 7,5$	$VI = (1,462 - (RI70 \text{ Raff})) * 1000 + 100$
$7,5 < V100 \text{ feed} < 9,5$	$VI = (1,464 - (RI70 \text{ Raff})) * 1000 + 100$
$9,5 < V100 \text{ feed}$	$VI = (1,47 - (RI70 \text{ Raff})) * 1000 + 96$

Πίνακας 4.1: Εμπειρικοί τύποι προσδιορισμού δείκτη ιξώδους

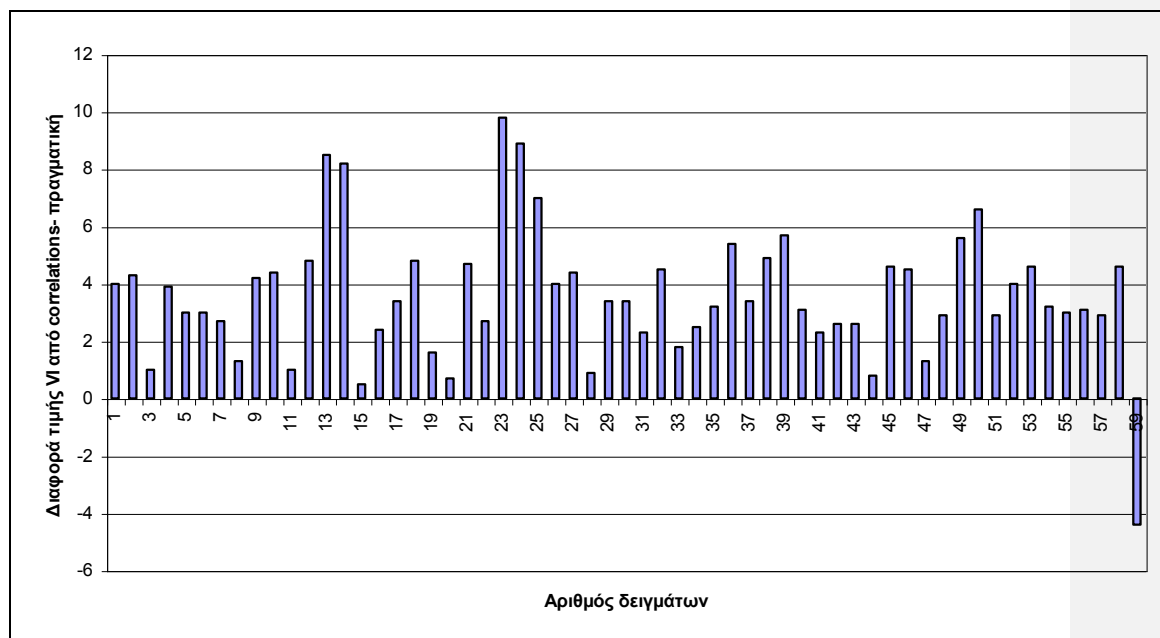
Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η αριθμητική διαφορά μεταξύ της τιμής του δείκτη ιξώδους που υπολογίζεται από τις σχέσεις αυτές και της εργαστηριακά μετρημένης τιμής δείκτη ιξώδους του τελικού λιπαντικού. Οι τιμές προέρχονται

^B Sigh H., Swarup S., Chaudhary G.S., Lubrication Engineering, **49**:276(1992)

^C A. Mitchell, M.J. Willis, M.T. Tham, S.S Bitar, « Inferential estimation of viscosity index on a lubricant production plan» (1996)

^D M.R Riazi and T.E Daubert : «Prediction of the composition of petroleum fraction» Department of chemical engineering, Pennsylvania University 1980

από την βάση δεδομένων και αφορούν την παραγωγή λιπαντικών για το έτος 2001.



Σχήμα 4.2 : Διαφορά δείκτη ιξώδους από εμπειρικές σχέσεις με την εργαστηριακή τιμή

4.2 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ

Λόγω της μη γραμμικής σχέσης του ιξώδους με τις ιδιότητες της τροφοδοσίας της μονάδας παραγωγής βασικών ορυκτελαίων και των παραμέτρων λειτουργίας της, επελέγη για την ανάπτυξη των μοντέλων η τεχνική των νευρωνικών δικτύων. Το κύριο χαρακτηριστικό αυτής της μεθόδου είναι η ικανότητα των νευρωνικών δικτύων να μοντελοποιούν πολυσύνθετες μη γραμμικές σχέσεις χωρίς να είναι απαραίτητος ο εκ των προτέρων καθορισμός της σχέσης αυτής. Η ανάπτυξη των μοντέλων πρόβλεψης με νευρωνικά δίκτυα έγινε με χρήση πηγαίου κώδικα σε C++. Ο κώδικας αυτός αναπτύχθηκε από τον Β. Γαγάνη στην μεταπτυχιακή εργασία ειδίκευσης του με τίτλο «Development of A.A.N models to predict PVT and physical properties of reservoir fluids» (1997).

Η ανάπτυξη των νευρωνικών δικτύων στηρίχτηκε σε δεδομένα που συγκεντρώθηκαν στο τμήμα παραγωγής λιπαντικών του διυλιστηρίου της Motor Oil Hellas. Δημιουργήθηκε μια βάση δεδομένων που καλύπτει την παραγωγική δραστηριότητα του διυλιστηρίου για τα έτη 1996-2001. Η βάση αυτή περιλαμβάνει της ιδιότητες τροφοδοσίας, των ενδιάμεσων προϊόντων, των βασικών λιπαντελαίων καθώς και τις παραμέτρους λειτουργίας της μονάδας τα προαναφερθέντα έτη. Δεδομένου ότι η μονάδα παραγωγής λιπαντικών είναι διαλείπωντος έργου, κάθε εγγραφή στην βάση των δεδομένων, αντιστοιχεί σε μια διαφορετική παρτίδα παραγωγής.

Αναλυτικά για κάθε επιμέρους μονάδα καταγράφηκαν οι παρακάτω ιδιότητες:

ΜΟΝΑΔΑ ΕΚΧΥΛΙΣΗΣ M-300

Ποσότητα τροφοδοσίας	Feed quant	(t/h)
Ποσότητα Raffinate	Raffin quant	(t/h)
Ποσότητα Extract	Extr quant	(t/h)
Θερμοκρασία κορυφής extractor	Top C-302	(⁰ C)
Θερμοκρασία πυθμένα extractor	Bottom C-302	(⁰ C)
Θερμοκρασία πυθμένα	Bottom C-307	(⁰ C)
Ιξώδες @ 100 ⁰ C	V100 FEED	(cSt)
Θείο	S% FEED	(% w)
Πυκνότητα τροφοδοσίας	SG FEED	(g/ml)
Πυκνότητα Raffinate	SG RAFF	(g/ml)
Πυκνότητα Extract	SG EXTRACT	(g/ml)
Δείκτης διάθλασης τροφοδοσίας	RI70 FEED	
Δείκτης διάθλασης Raffinate	RI70 RAFF	
Δείκτης διάθλασης extract	RI70 EXTRACT	
Απόδοση μονάδας	W	(% w)

Στον Πίνακα 4.1 παρουσιάζονται οι περιοχές διακύμανσης των τιμών των παραπάνω παραμέτρων για τα κλάσματα Bg-5, Bg-10, Bg-(20-30), και Bg-40.

Grade Ιδιότητα	Bg-5		Bg-10		Bg-(20-30)		Bg-40	
	Min	max	Min	max	Min	max	Min	max
Feed quant (t/h)	40,0	60,3	40,0	62,9	40,0	71,2	40,4	65,8
Raff quant (t/h)	25,6	55,0	21,5	39,0	18,2	34,1	18,8	26,0
Extr quant (t/h)	13,2	32,0	17,6	29,0	16,0	81,3	27,5	37,4
Top C-302 (°C)	50	86	64	86	65	94	65	99
Bottom C-302 (°C)	44	81	57	76	57	87	72	92
Bottom C-307 (°C)	168	197	175	196	150	200	182	199
V100 FEED (cSt)	2,9	4,2	5,0	6,5	10,0	15,0	12,0	25,0
S% FEED	2,03	2,41	2,18	2,36	2,03	5,24	1,96	2,78
SG FEED (g/ml)	0,8943	0,9130	0,9085	0,9188	0,9210	0,9430	0,9315	0,9541
SG RAFF (g/ml)	0,8437	0,8651	0,8581	0,8785	0,8484	0,9008	0,8522	0,8999
SG Extract (g/ml)	0,9163	1,0079	0,9669	1,0210	0,9594	1,0294	0,9724	1,0142
RI70 FEED	1,4775	1,4906	1,4887	1,5300	1,4841	1,5232	1,4863	1,5156
RI70 RAFF	1,4487	1,4679	1,4550	1,4663	1,4502	1,4799	1,4553	1,4757
RI70 EXTRACT	1,4931	1,5739	1,5291	1,5655	1,5208	1,5697	1,5290	1,5601
W %	47	76	49,6	75,9	35,2	66,6	30	57

Πίνακας 4.1 Περιοχές διακύμανσης τιμών για τα κλάσματα
Bg-5, Bg-10, Bg-(20-30), και Bg-40 της μονάδας εκχύλισης.

Όμοια για την μονάδα αποκήρωσης συγκεντρώθηκαν τα παρακάτω δεδομένα.

ΜΟΝΑΔΑ ΑΠΟΚΗΡΩΣΗΣ M-400

Ποσότητα διαλύτη	Solvent A	
Ποσότητα διαλύτη	Solvent B	
Ποσότητα τροφοδοσίας	Feed	(t/h)
Θερμοκρασία αποκήρωσης	Temperature	(°C)
Ποσότητα κήρου	Slack wax	(t/h)
Περιεκτικότητα λαδιού	Oil content	(% w)
Ιξώδες @ 100 °C	V100 Dewaxed	(cSt)
Δείκτης ιξώδους	VI Dewaxed	
Σημείο ροής	PP Dewaxed	(°C)
Θείο	S % Dewaxed	(% w)

Στον Πίνακα 4.2 παρουσιάζονται οι περιοχές διακύμανσης των παραμέτρων για τα κλάσματα Bg-5, Bg-10, Bg-(20-30), και Bg-40.

Grade Ιδιότητα	Bg-5		Bg-10		Bg-(20-30)		Bg-40	
	Min	max	Min	max	Min	max	Min	max
Solvent A	20	90	20	90	20	90	20	90
Solvent B	20	30	20	30	20	30	20	30
Feed (t/h)	20,0	37,7	17,3	36,6	18,0	37,0	18,1	36,2
Temperature (°C)	-20	-13	-21	-12	-18	-12	-18	-12
Slack wax (t/h)	3,8	10,1	3,2	20,0	5,0	11,0	5,0	15,0
Oil content (% w)	0	41,2	5,8	38,3	4,8	14,0	8,0	13,2
V100 Dewaxed (cSt)	2,79	5,02	4,95	6,50	8,31	11,50	10,16	18,24
VI Dewaxed	85	99	84	99	87	99	86	102
PP Dewaxed (°C)	-15	-6	-15	-6	-21	-6	-15	-6
S % Dewaxed	0,91	1,54	0,10	1,49	0,73	1,40	0,67	1,47

Πίνακας 4.2 Περιοχές διακύμανσης παραμέτρων για τα κλάσματα Bg-5, Bg-10, Bg-(20-30), και Bg-40 της μονάδας αποκήρωσης.

ΜΟΝΑΔΑ ΚΑΤΑΛΥΤΙΚΗΣ ΥΔΡΟΓΟΝΩΣΗΣ M-500

Ποσότητα τροφοδοσίας	Feed	(t/h)
Ποσότητα υδρογόνου	H ₂	(Kg/h)
Θερμοκρασία αντιδραστήρα	R-501 Temp.	(°C)
Πίεση αντιδραστήρα	-501 Press	(°C)
Ιξώδες @ 100 ⁰ C	V 100 BASE	(cSt)
Δείκτης ιξώδους	VI BASE	
Αναμενόμενος δείκτης ιξώδους	TARGET VI	
Σημείο ανιλίνης	ANILINE P.	
Σημείο ροής	PP	(°C)
Θείο	S%	(% w)

Grade Ιδιότητα	Bg-5		Bg-10		Bg-(20-30)		Bg-40	
	Min	max	Min	max	Min	max	Min	max
Feed (t/h) BASE	12,7	25,7	14,8	25	13	25	16,5	28,2
H ₂ (Kg/h)	45	109	73	101	27	127	32	124
R-501 Temp. (°C)	307	340	293	340	292	340	295	342
R-501 Pres.	50	50	50	50	50	50	50	50
V 100 BASE (cSt)	2,8	3,96	4,73	5,83	7,78	14,2	10,88	17,57
VI BASE	89	101	88	102	88	101	86	97
PP (°C)	-12	-3	-12	-3	-12	-3	-12	-3
S%	0,4362	1,04	0,38	1,052	0,33	0,99	0,42	1,05

Πίνακας 4.3 Περιοχές διακύμανσης παραμέτρων για τα κλάσματα

Bg-5, Bg-10, Bg-(20-30), και Bg-40 της μονάδας υδρογόνωσης.

Όλες οι τιμές των ιδιοτήτων που κατεγράφησαν μετρήθηκαν στο εργαστήριο της Motor Oil Hellas.

Αρχικά χρησιμοποιώντας την βάση δεδομένων με τις προαναφερθείσες ιδιότητες έγιναν δοκιμές, αναζητώντας τις ιδιότητες εκείνες για τις οποίες οι αλγόριθμοι πρόβλεψης του δείκτη ιξώδους του τελικού λιπαντικού έχουν την μεγαλύτερη ακρίβεια πρόβλεψης. Τα πρώτα μοντέλα που αναπτύχθηκαν είχαν σαν δεδομένα εισαγωγής ιδιότητες προερχόμενες αποκλειστικά από την τροφοδοσία της μονάδας παραγωγής λιπαντικών. Η επιλογή των ιδιοτήτων αυτών έγινε σύμφωνα με τις ανάγκες προγραμματισμού της παραγωγής στην συγκεκριμένη μονάδα λιπαντικών του διυλιστηρίου της Motor Oil Hellas. Οι αλγόριθμοι που προέκυψαν είχαν χαμηλή ακρίβεια πρόβλεψης του δείκτη ιξώδους του τελικού λιπαντικού. Έτσι στην συνέχεια τα μοντέλα TNA που αναπτύχθηκαν, χρησιμοποίησαν ως ιδιότητες εισαγωγής και ιδιότητες των ενδιαμέσων προϊόντων Raffinate και Dewaxed oil. Με την προσέγγιση αυτή η πρόβλεψη του δείκτη ιξώδους του τελικού λιπαντικού έχει ικανοποιητική ακρίβεια και αξιοπιστία. Η αδυναμία της προσέγγισης αυτής συνίσταται στο γεγονός ότι αλγόριθμοι με αυτά τα δεδομένα εισαγωγής μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο κατά το τελευταίο στάδιο της

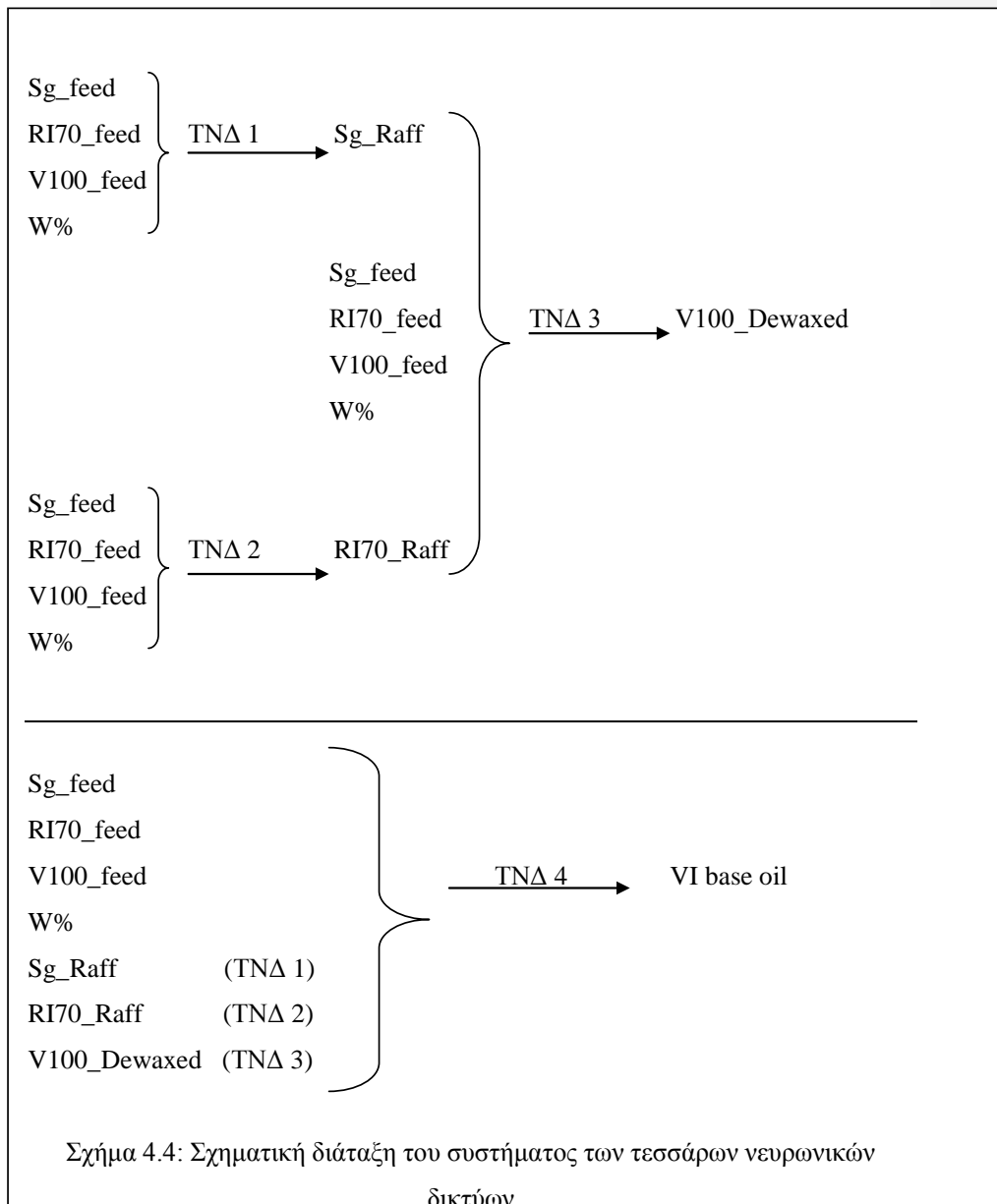
παραγωγικής διαδικασίας του λιπαντικού και αφού έχουν παραχθεί όλα τα ενδιάμεσα προϊόντα.

Με βάση την παραπάνω προσέγγιση αναπτύχθηκαν τέσσερα μοντέλα πρόβλεψης για καθένα από τα παρακάτω κλάσματα λιπαντικών: **BG-5**, **BG-10**, **BG-(20-30)**, **BG-40**. Η επιλογή των τεσσάρων αυτών κλασμάτων έγινε λόγω αδυναμίας δημιουργίας ενός νευρωνικού δικτύου το οποίο θα περιελάμβανε όλα τα κλάσματα. Η αδυναμία έγκειται στο γεγονός ότι τα τέσσερα αυτά κλάσματα έχουν μεγάλες διαφορές στις ιδιότητες τους, χωρίς να υπάρχουν περιοχές επικάλυψης των τιμών των ιδιοτήτων των (Πίνακες 4.1, 4.2, 4.3).

Στην συνέχεια υιοθετήθηκε μία νέα προσέγγιση η οποία συνίσταται στην σταδιακή πρόβλεψη με την βοήθεια νευρωνικών δικτύων των ιδιοτήτων των ενδιάμεσων προϊόντων (Raffinate, Dewaxed). Οι τιμές των ιδιοτήτων των κλασμάτων αυτών, όπως προβλέπονται από ανεξάρτητα νευρωνικά δίκτυα στην συνέχεια χρησιμοποιούνται σαν δεδομένα εισαγωγής σε ένα τελικό νευρωνικό δίκτυο, το οποίο προβλέπει με ακρίβεια τον δείκτη ιξώδους του τελικού λιπαντικού. Δηλαδή αναπτύχθηκε ένα σύστημα αποτελούμενο από τέσσερα νευρωνικά δίκτυα, τα οποία συνεργάζονται μεταξύ τους για την τελική πρόβλεψη του δείκτη ιξώδους.

Αναλυτικά το πρώτο και το δεύτερο νευρωνικό δίκτυο έχουν σαν δεδομένα εισαγωγής αποκλειστικά ιδιότητες της τροφοδοσίας, πυκνότητα τροφοδοσίας, δείκτης διάθλασης, ιξώδες στους 100°C, και απόδοση κατά βάρος της μονάδας εκχύλισης (basic input set). Το πρώτο νευρωνικό δίκτυο προβλέπει την τιμή της πυκνότητας του Raffinate και το δεύτερο την τιμή του δείκτη διάθλασης του Raffinate. Το τρίτο νευρωνικό δίκτυο χρησιμοποιεί ως δεδομένα εισαγωγής το basic input set καθώς και τις ιδιότητες που προβλέπουν τα δύο προηγούμενα νευρωνικά (Sg_Raff, RI70_Raff) και προβλέπει την τιμή του ιξώδους σε 100°C του αποκηρωμένου κλάσματος. Το τέταρτο, και τελευταίο, νευρωνικό δίκτυο χρησιμοποιεί και αυτό ως δεδομένα το input set και τις τιμές των ιδιοτήτων που έχουν υπολογιστεί από τα νευρωνικά No1, No2, No3 (Sg_Raff, RI70_Raff, V100_Dewaxed). Από το σύνολο αυτών των ιδιοτήτων, υπολογίζει τον δείκτη

ιξώδους του τελικού ορυκτελαίου. Στο σχήμα 4.4.1 δίδεται μια σχηματική διάταξη του συστήματος των τεσσάρων νευρωνικών που χρησιμοποιήθηκαν.



Για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του δείκτη ιξώδους όπως αυτός προβλέπεται από τα νευρωνικά δίκτυα χρησιμοποιήθηκε η πρότυπη μέθοδος μέτρησης δείκτη ιξώδους σύμφωνα με το Institute of Petroleum (Methods IP-226) Οι τιμές πρόβλεψης των νευρωνικών δικτύων κρίνονται ικανοποιητικές όταν το σφάλμα της πρόβλεψης, σε σχέση με την πειραματικά μετρημένη τιμή, είναι μικρότερο από το σφάλμα μέτρηση του δείκτη ιξώδους σύμφωνα με την μέθοδο IP-226 (Πίνακας 4.5)

Πίνακας 4.5: I.P - 226

Kinematic Viscosity at 100 ⁰ C Mm ² /s	PRECISION	
	VI = 0	VI = 100
	Repeatability	Repeatability
4	2,4	1,7
6	2,1	1,3
8	1,9	1,1
15	1,5	0,7
30	1,2	0,4
50	1,1	0,3

4.3 ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Παρακάτω παραθέτουμε όλες τις απαραίτητες διαδικασίες προετοιμασίας των τιμών των ιδιοτήτων που χρησιμοποιήθηκαν στον πίνακα εισαγωγής κάθε νευρωνικού δικτύου. Η διαδικασίες αυτές είναι ίδιες για όλα τα νευρωνικά δίκτυα.

Βήμα 1: Για τις επιλεχθείσες ιδιότητες με την βοήθεια της ιστογραμμάτων κατανομής προσδιορίζουμε τα δείγματα τα οποία έχουν μη τυπική συμπεριφορά. Δηλαδή τα δείγματα της βάσης δεδομένων, για κάθε ένα από τέσσερα grades , αρχικά ελέχθησαν ως προς την κανονικότητα της κατανομής των τιμών των ιδιοτήτων των μεταβλητών με σκοπό τον εντοπισμό των μη τυπικών δειγμάτων

(outliers). Η κατανομή των τιμών των ιδιοτήτων είναι πολύ σημαντικό στοιχείο διότι τα μοντέλα πρόβλεψης καλύπτουν αποκλειστικά τις περιοχές αυτές, εντός των οποίων εκπαιδεύονται. Αν λοιπόν έχουμε τιμές οι οποίες απέχουν κατά πολύ από το σύνολο των τιμών των ιδιοτήτων σε ένα κλάσμα θα έχουμε μείωση της αξιοπιστίας της πρόβλεψης μας.

Βήμα 2: Κανονικοποιούμε τις τιμές των ιδιοτήτων στο πεδίο 0-1 με την βοήθεια της σχέσης:

$$\frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}$$

Βήμα 3: Χωρίζουμε τις τιμές σε δύο τμήματα, στα δεδομένα που θα χρησιμεύσουν για την εκπαίδευση του νευρωνικού και στα δεδομένα τα οποία αποτελούν το τμήμα πρόβλεψης τιμής του δείκτη ιξώδους. Η επιλογή αυτή γίνεται τυχαία προσέχοντας όμως οι κανονικοποιημένες τιμές πλέον των ιδιοτήτων με τιμή 0 και 1 να βρίσκονται στο τμήμα της εκπαίδευσης. Από το σύνολο των δειγμάτων που έχουμε, σύμφωνα με εμπειρικό κανόνα, κάνουμε τον παραπάνω διαχωρισμό έτσι ώστε ο αριθμός των δειγμάτων για πρόβλεψη να είναι περίπου το 5-10% του συνολικού όγκου των δειγμάτων μας.

Βήμα 4: Δημιουργούμε τον τελικό πίνακα εισαγωγής στο νευρωνικό δίκτυο στον οποίο οι πρώτες γραμμές είναι το τμήμα εκπαίδευσης και οι τελευταίες το τμήμα πρόβλεψης.

4.4. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΕΛΙΚΩΝ ΝΕΥΡΩΝΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΓΙΑ ΤΑ ΚΛΑΣΜΑΤΑ ΛΙΠΑΝΤΕΛΑΙΩΝ Bg-5, Bg-10, Bg-(20-30) και Bg-40

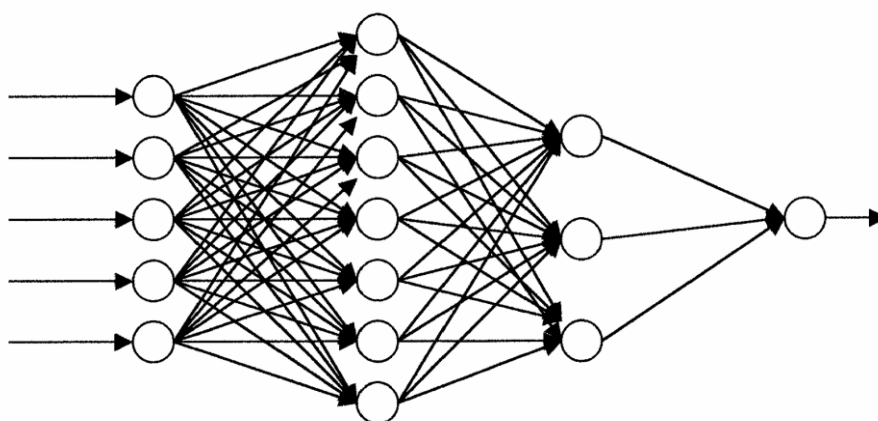
ΚΛΑΣΜΑ Bg-5

Τα διαθέσιμα δείγματα για το κλάσμα Bg-5 προέρχονται από Arabian light, Arabian Med και μίγματα αυτών σε διαφορετικές ποσότητες.

Για την ανάπτυξη του αλγόριθμου πρόβλεψης του δείκτη ιξώδους (VI) επιλέχθηκαν αρχικά οι παρακάτω ιδιότητες

- ❖ Η πυκνότητα τροφοδοσία (SG FEED),
- ❖ Ο δείκτης διάθλασης τροφοδοσίας (RI70 FEED)
- ❖ Η πυκνότητα του Raffinate (SG RAFF)
- ❖ Ο δείκτης διάθλασης του Raffinate (RI70 RAFF)
- ❖ Η απόδοση κατά βάρος της εκχύλισης (W%).

Συνολικά χρησιμοποιήθηκαν 279 δείγματα. Η αρχιτεκτονική του νευρωνικού δικτύου που αναπτύχθηκε αποτελείται από τέσσερα επίπεδα (Layer) με δομή 5x7x3x1.

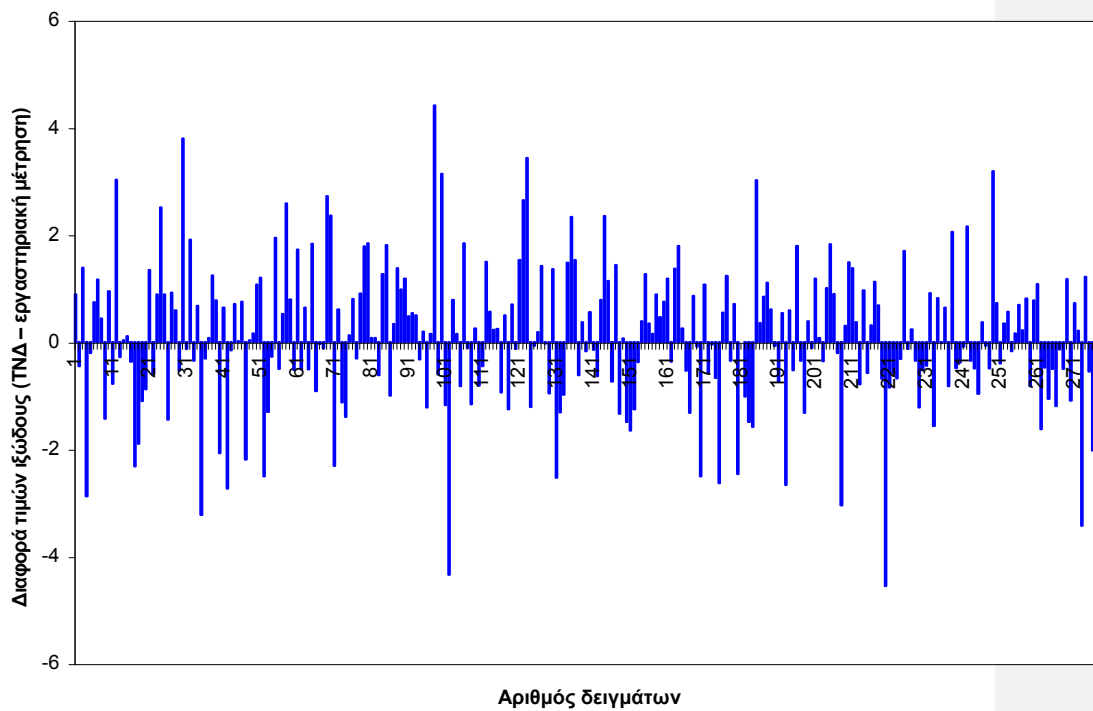


Σχήμα 4.4.1 .Αρχιτεκτονική ΤΝΔ για το grade Bg-5

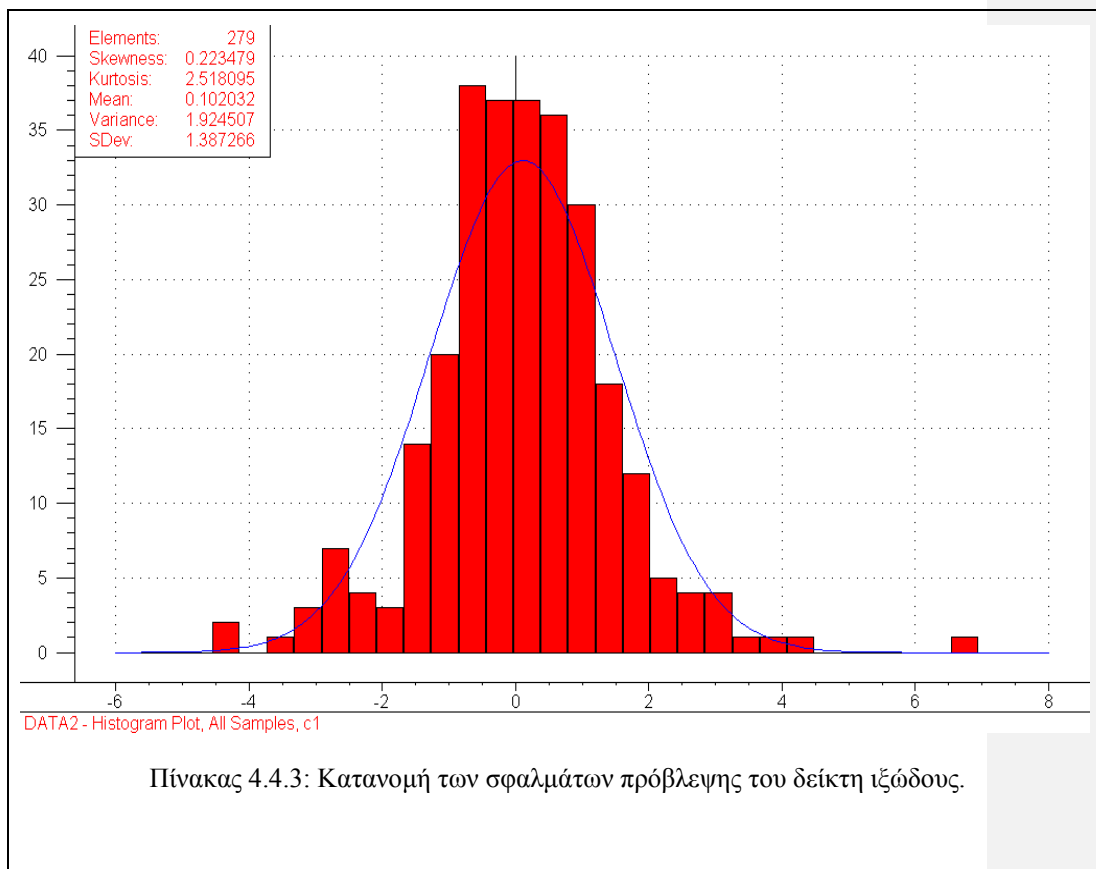
Από τα 279 δείγματα τα 260 χρησιμοποιήθηκαν για την εκπαίδευση (training set) και τα υπόλοιπα 19 για τον έλεγχο της πρόβλεψης (validation set). Ο τελικός πίνακας εισαγωγής στο νευρωνικό δίκτυο είναι 279x6.

Στον Πίνακα 4.4.2 παρουσιάζονται οι διαφορές μεταξύ της τιμής του δείκτη ιξώδους (VI) όπως αυτός προβλέφθηκε μετά από την εκπαίδευση του ΤΝΔ και των εργαστηριακά μετρημένων τιμών του.

Πίνακας 4.4.2: Διαφορά τιμών ιξώδους (ΤΝΔ – εργαστηριακή μέτρηση)



Η κατανομή των διαφορών αυτών παρουσιάζεται στον πίνακα 4.4.3 όπου στον άξονα των Y παρίσταται το πλήθος των δειγμάτων και στον X το μέγεθος του σφάλματος



<u>Μέσο σφάλμα</u>	<u>1,0</u>
<u>Τυπική απόκλιση</u>	<u>0,94</u>
<u>R.M.S.E.P.</u>	<u>1,39</u>

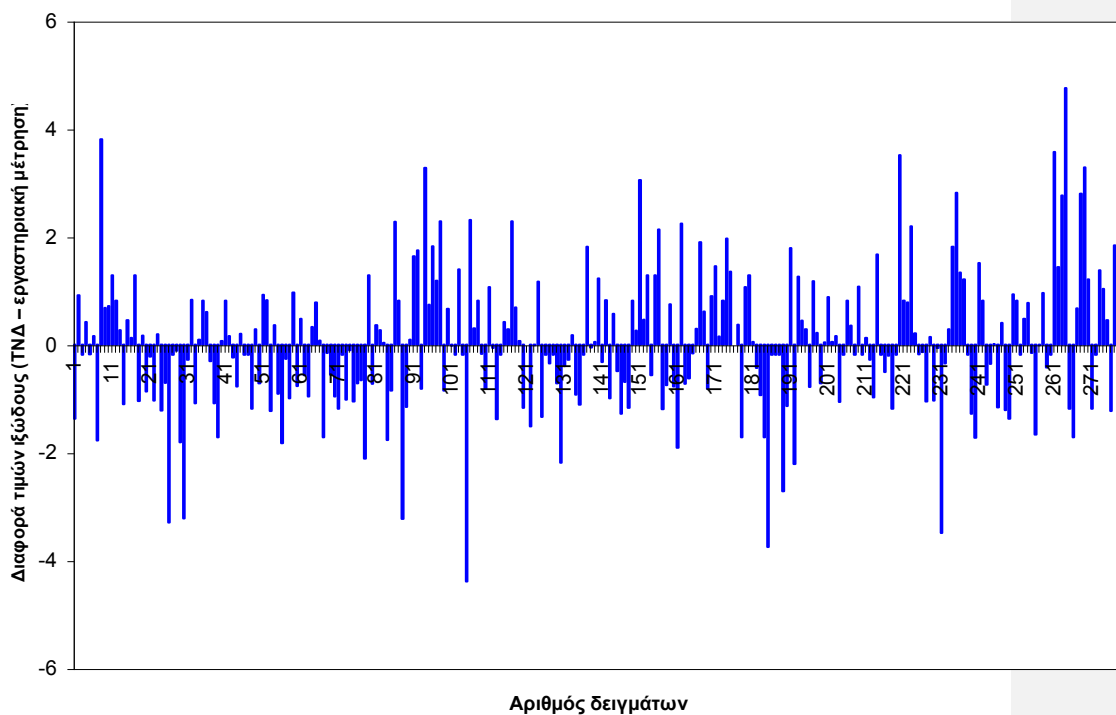
Παρατηρούμε ότι έχουμε μεγάλες αποκλίσεις. Λόγω της μη ικανοποιητικής ακρίβειας του παραπάνω αλγόριθμου, επιλέξαμε να αντικαταστήσουμε στα δεδομένα εισαγωγής το δείκτη διάθλασης του Raffinate (RI70 RAFF) με την διαφορά του δείκτη διάθλασης της τροφοδοσίας και του δείκτη διάθλασης του Raffinate. Έτσι το δεύτερο σετ δεδομένων εισαγωγής που χρησιμοποιήθηκε αποτελούνταν από τις εξής ιδιότητες

- ❖ την πυκνότητα τροφοδοσίας (SG FEED)
- ❖ το δείκτη διάθλασης τροφοδοσίας (RI70 FEED)
- ❖ την πυκνότητα του Raffinate (SG RAFF)
- ❖ τη διαφορά μεταξύ του δείκτη διάθλασης τροφοδοσίας και του δείκτη διάθλασης του Raffinate (D_RI70 FEED-RAFF)
- ❖ την απόδοση κατά βάρος της εκχύλισης (W%)

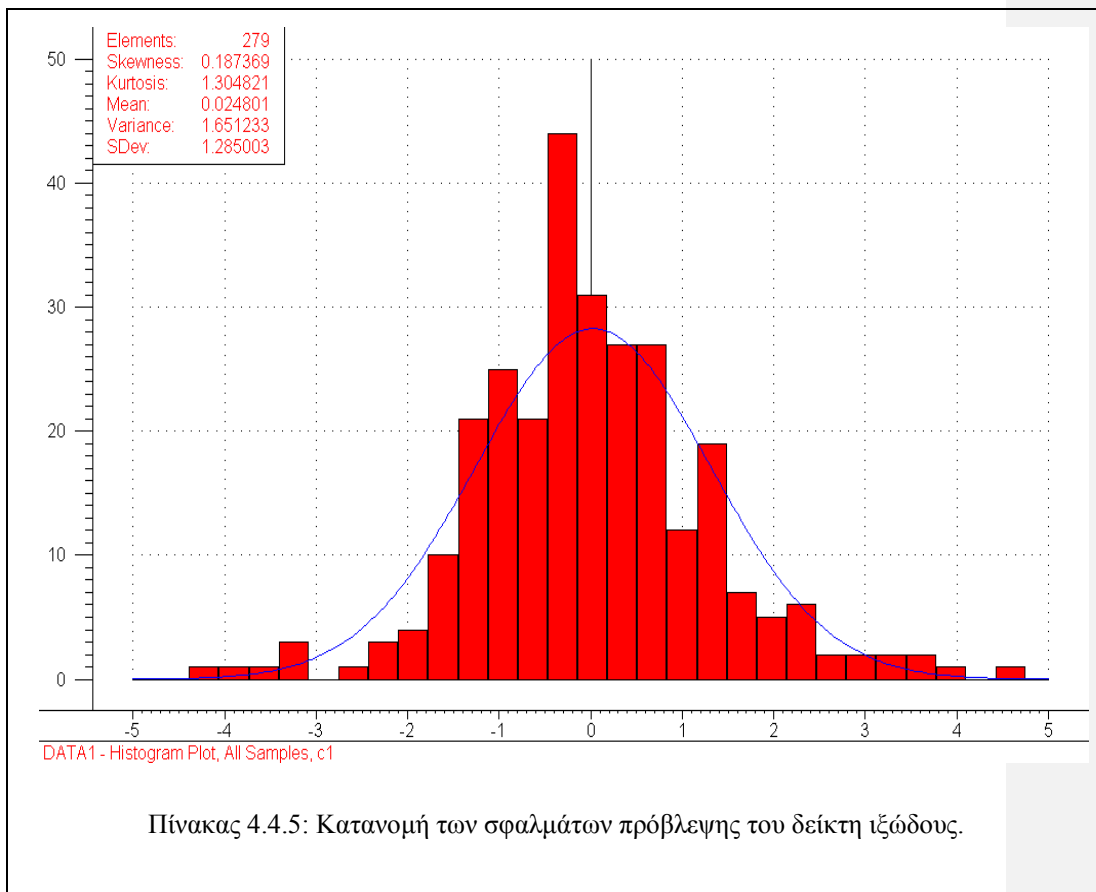
Χρησιμοποιήθηκαν ακριβώς τα ίδια δείγματα της πρώτης δοκιμής και η αρχιτεκτονική του νευρωνικού δικτύου που αναπτύχθηκε αποτελείται από τέσσερα επίπεδα με δομή 5x7x3x1. Από τα 279 δείγματα τα 260 χρησιμοποιήθηκαν για την εκπαίδευση (training set) και τα υπόλοιπα 19 για τον έλεγχο της πρόβλεψης (validation set). Ο τελικός πίνακας εισαγωγής στο νευρωνικό δίκτυο είναι 279x6.

Στον παρακάτω πίνακα 4.4.4 παρουσιάζονται οι διαφορές μεταξύ των τιμών του δείκτη ιξώδους τις οποίες προέβλεψε το νευρωνικό δίκτυο με τις πειραματικές τιμές.

Πίνακας 4.4.4: Διαφορά τιμών ιξώδους (TND – εργαστηριακή μέτρηση)



Η κατανομή των διαφορών αυτών παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα όπου στον άξονα των Y παρίσταται το πλήθος των δειγμάτων και στον X το μέγεθος του σφάλματος.



Μέσο σφάλμα πρόβλεψης 0,96

Τυπική απόκλιση 0,85

R.M.S.E.P. 1,28

Παρατηρούμε ότι έχουν μειωθεί οι αποκλίσεις σε σχέση με τα αποτελέσματα του προηγούμενου νευρωνικού δικτύου, παρόλα αυτά όμως το σφάλμα της πρόβλεψης μας είναι μη ικανοποιητικό.

Με στόχο την αποδεκτή ακρίβεια της μεθόδου και μετά από διαδοχικές δοκιμές οι οποίες περιελάμβαναν αρκετούς συνδυασμούς ιδιοτήτων από την βάση δεδομένων καταλήξαμε στις παρακάτω ιδιότητες. Οι ιδιότητες αυτές θα

αποτελέσουν δεδομένα εισαγωγής για όλα τα νευρωνικά δίκτυα που θα παρουσιαστούν παρακάτω.

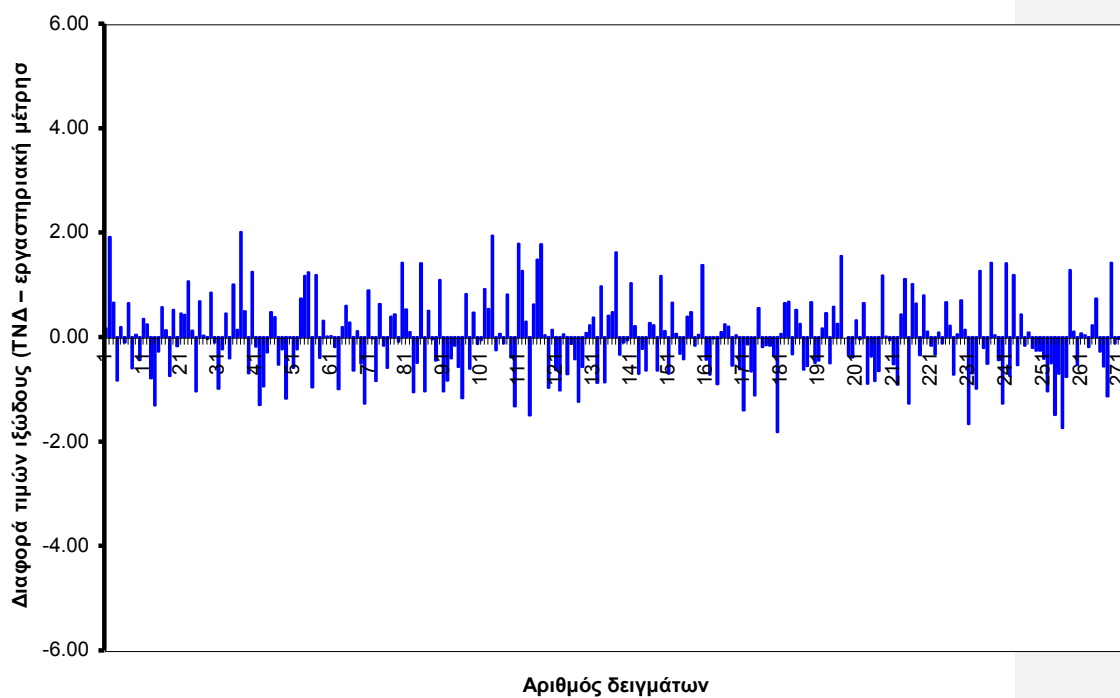
- ❖ την πυκνότητα τροφοδοσίας (SG FEED)
- ❖ την πυκνότητα του Raffinate (SG RAFF)
- ❖ την απόδοση κατά βάρος της εκχύλισης (W%)
- ❖ το ιξώδες σε 100⁰ C του αποκηρωμένου κλάσματος (V100 DEWAXED).

Σε αυτό το μοντέλο πρόβλεψης πρέπει να τονίσουμε ότι δόθηκε η εργαστηριακά μετρημένη τιμή του δείκτη ιξώδους υψωμένη στο τετράγωνο. Στη συνέχεια ρυθμίσαμε και τον κώδικα του νευρωνικού δικτύου να δίνει στην έξοδο τιμή δείκτη ιξώδους στο τετράγωνο, για να υφίσταται η σύγκριση για τον έλεγχο της ακρίβειας. Η αλλαγή αυτή έγινε για να έχουμε ένα μεγαλύτερο εύρος τιμών δείκτη ιξώδους.

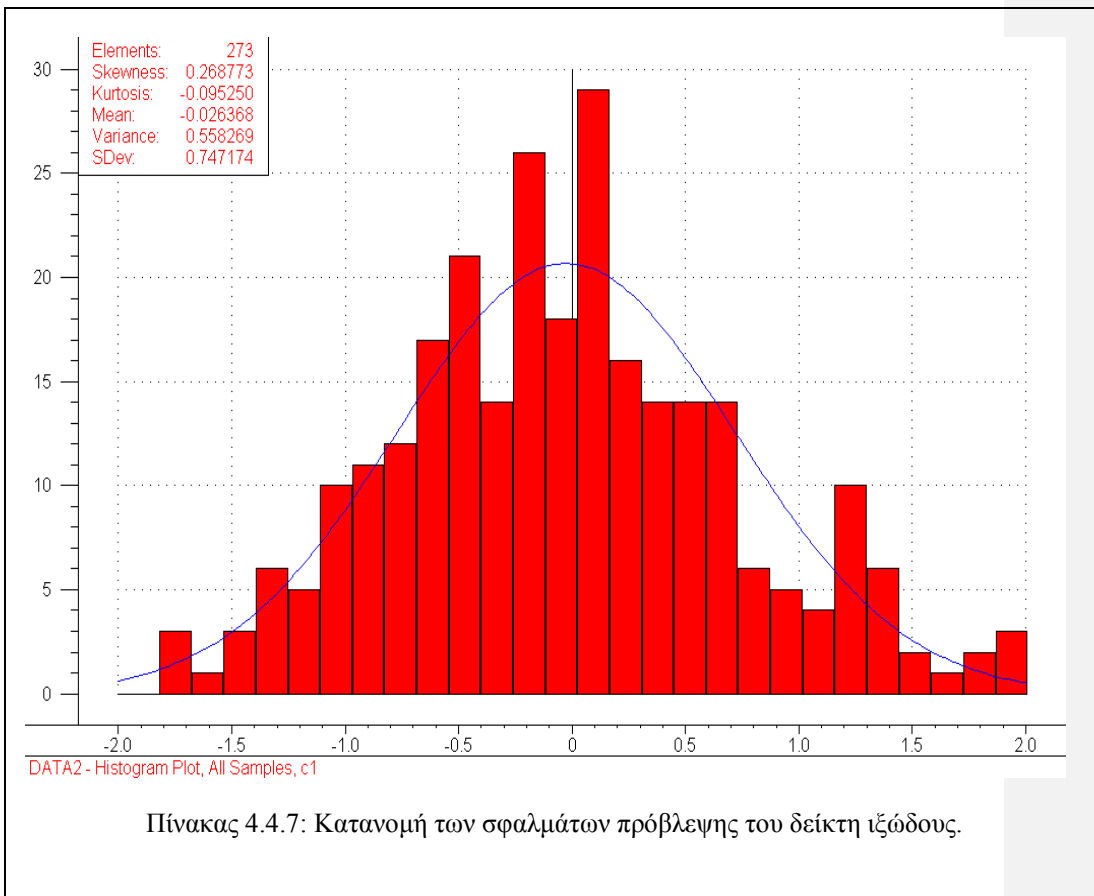
Η αρχιτεκτονική του νευρωνικού δικτύου που αναπτύχθηκε αποτελείται από τέσσερα επίπεδα με δομή 5x7x3x1. Από τα 273 δείγματα, χρησιμοποιήθηκαν για την εκπαίδευση τα 250 (training set) και τα υπόλοιπα 23 για τον έλεγχο της πρόβλεψης (validation set), ο τελικός πίνακας εισαγωγής στο νευρωνικό δίκτυο είναι 273x6

Στα αποτελέσματα τα οποία μας δίνει το νευρωνικό δίκτυο εφαρμόζουμε τετραγωνική ρίζα και τα συγκρίνουμε με τις πειραματικά μετρημένες τιμές του ιξώδους. Οι διαφορές αυτές παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.4.4.6

Πίνακας 4.4.6: Διαφορά τιμών ιξώδους (ΤΝΔ – εργαστηριακή μέτρηση)



Η κατανομή των διαφορών πρόβλεψης παρουσιάζεται στον επόμενο πίνακα όπου στον άξονα των Y είναι το πλήθος των δειγμάτων και στον X το μέγεθος του σφάλματος.



<u>Μέσο σφάλμα πρόβλεψης</u>	<u>0,59</u>
<u>Τυπική απόκλιση</u>	<u>0,46</u>
<u>R.M.S.E.P.</u>	<u>0,74</u>

Τα αποτελέσματα του προηγούμενου νευρωνικού δικτύου είναι πολύ καλά σε σχέση με τις προηγούμενες δοκιμές. Επίσης έχουμε μεγάλη ακρίβεια στην πρόβλεψή μας, γεγονός που κάνει το νευρωνικό δίκτυο αποδεκτό και εμάς να ‘υιοθετήσουμε’ τις ίδιες ιδιότητες εισαγωγής για τα υπόλοιπα κλάσματα τα οποία θα μελετήσουμε.

Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι λόγω του τρόπου λειτουργίας της συγκεκριμένης μονάδας παραγωγής λιπαντικών (Διαλείποντος έργου) οι καταγραφές στην βάση δεδομένων και κατά συνέπεια οι ιδιότητες εισαγωγής στο

νευρωνικό δίκτυο προέρχονται από διαφορετικές τροφοδοσίες. Οι περισσότεροι αλγόριθμοι που υπάρχουν για πρόβλεψη ιδιοτήτων βασικών ορυκτελαίων, δουλεύουν με αποδεκτή ακρίβεια πρόβλεψης σε δείγματα από συγκεκριμένη τροφοδοσία.

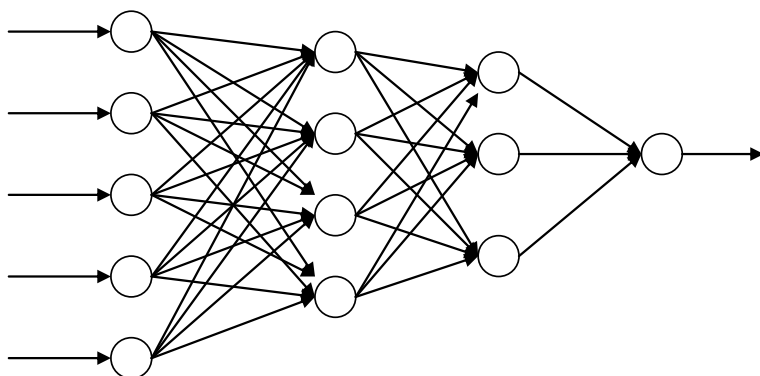
Η σωστή συμπεριφορά του νευρωνικού δικτύου στην πρόβλεψη δείκτη ιξώδους βασικών ορυκτελαίων τα οποία προέρχονται από διαφορετικές παρτίδες αργού πετρελαίου αναδεικνύει την αξιοπιστία του μοντέλου αυτού και το κάνει ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για την βιομηχανία λιπαντικών.

ΚΛΑΣΜΑ Bg-10

Για το κλάσμα Bg-10 ακολουθούμε την διαδικασία που εφαρμόσαμε για την τελευταία δοκιμή στο κλάσμα Bg-5. Από τα διαθέσιμα στοιχεία της βάσης δεδομένων συγκεντρώθηκαν τα δείγματα παραγωγής λιπαντικού grade 10 από τροφοδοσία, Arabian Light, Arabian Med καθώς και μίγματα αυτών των δύο σε διαφορετικές αναλογίες (Blend), για τα οποία υπάρχουν οι τιμές των παρακάτω ιδιοτήτων.

- Πυκνότητα τροφοδοσίας
- Δείκτης διάθλασης τροφοδοσίας
- Απόδοση κατά βάρος της μονάδας εκχύλισης
- Το ιξώδες σε 100⁰ C του αποκηρωμένου κλάσματος.

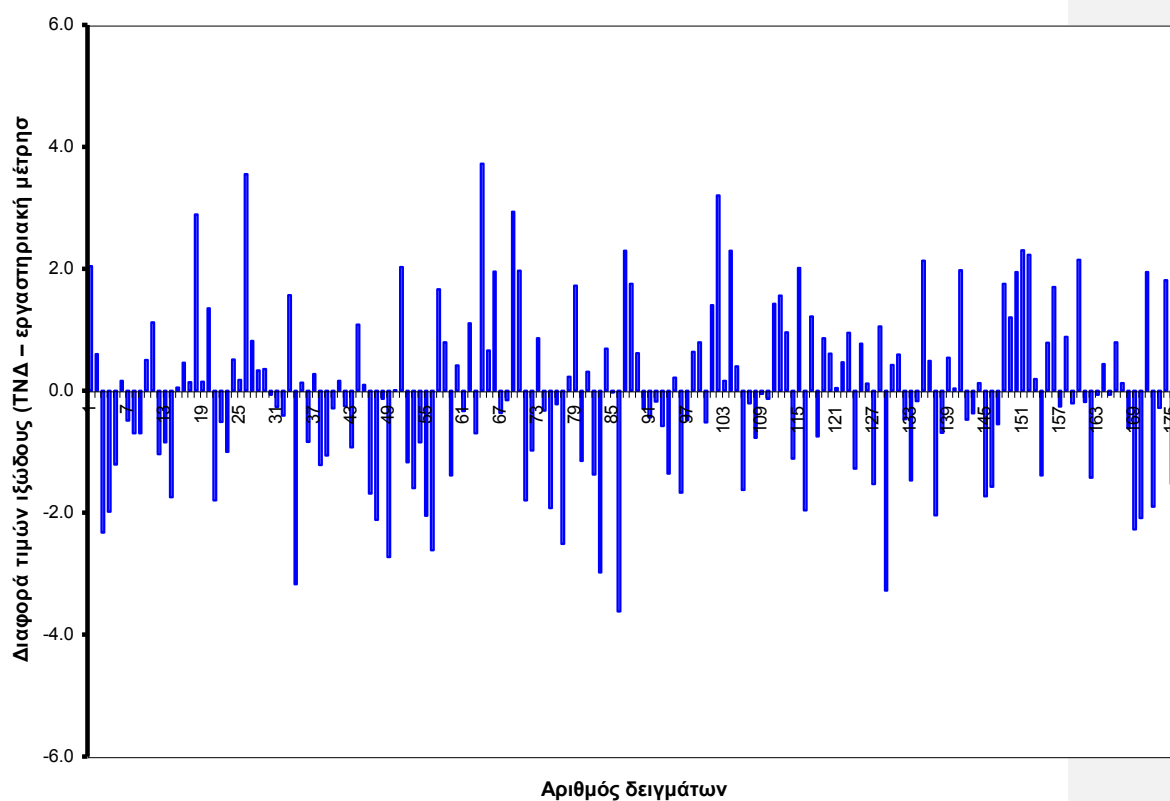
Χρησιμοποιήθηκαν τελικά 176 δείγματα. Η αρχιτεκτονική του νευρωνικού δικτύου που αναπτύχθηκε αποτελείται από τέσσερα επίπεδα με δομή 5x4x3x1.



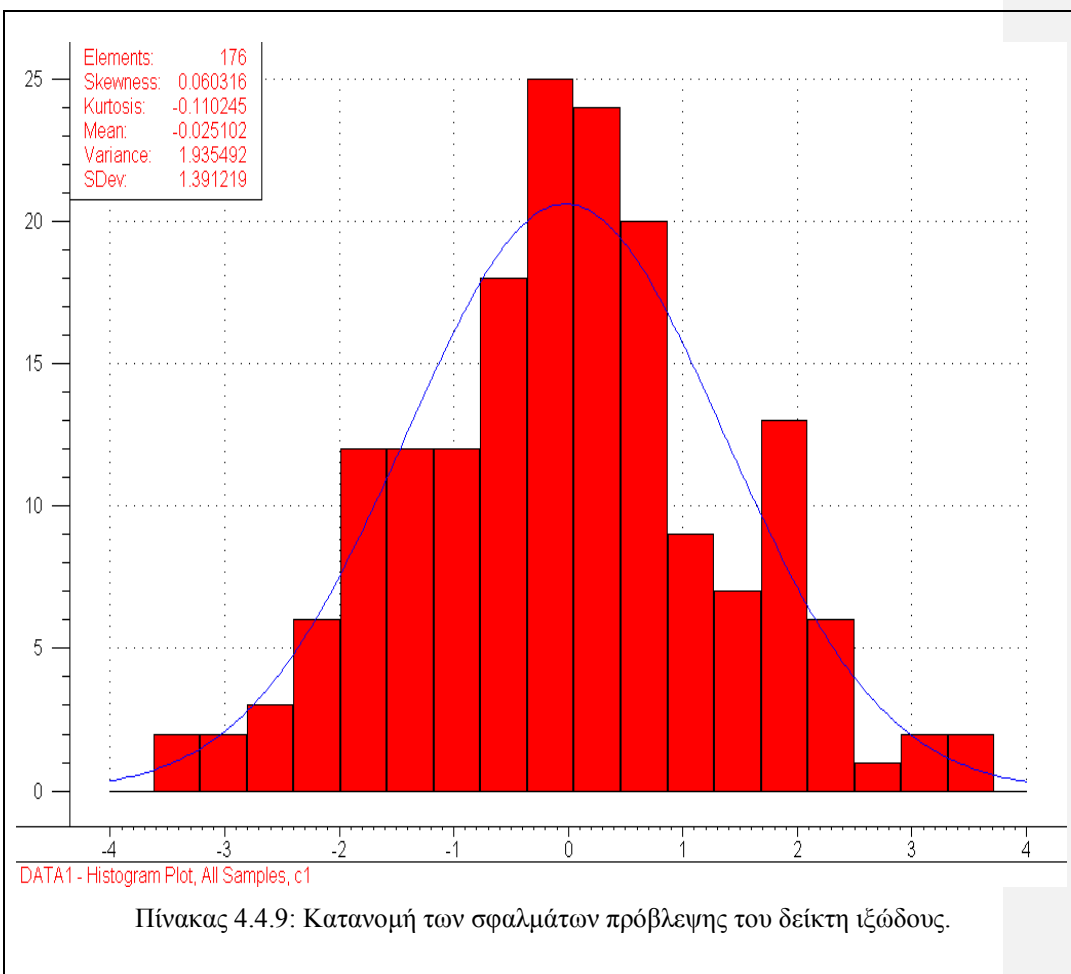
Από τα 176 δείγματα τα 167 χρησιμοποιήθηκαν για την εκπαίδευση (training set) και τα υπόλοιπα 9 για τον έλεγχο της πρόβλεψης (validation set). Ο τελικός πίνακας εισαγωγής στο νευρωνικό δίκτυο είναι 176x6.

Μετά το πέρας της εκπαίδευσης του νευρωνικού δικτύου πήραμε τα παρακάτω αποτελέσματα, όσον αναφορά την πρόβλεψη του δείκτη ιξώδους και παραθέτουμε στον επόμενο πίνακα 4.4.8. την διαφορά τους σε σύγκριση με τις πειραματικά μετρούμενες τιμές

Πίνακας 4.4.8: Διαφορά τιμών ιξώδους (TND – εργαστηριακή μέτρηση)



Η κατανομή του σφάλματος πρόβλεψης παρουσιάζεται στον επόμενο πίνακα 4.4.9 όπου στον άξονα των Y είναι το πλήθος των δειγμάτων και στον X το μέγεθος του σφάλματος.



<u>Μέσο σφάλμα πρόβλεψης</u>	<u>1,1</u>
<u>Τυπική απόκλιση</u>	<u>0,86</u>
<u>R.M.S.E.P.</u>	<u>1,45</u>

Παρατηρούμε ότι το σφάλμα της πρόβλεψης μας, παρότι είναι μεγαλύτερο σε σχέση με τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν για το κλάσμα Bg-5, είναι εντός των αποδεκτών ορίων ακρίβειας.

Προσπαθώντας να εξηγήσουμε το γιατί δεν έχουμε τόσο μεγάλη ακρίβεια καταλήγουμε στο ότι κατά κύριο λόγο ευθύνεται ο μικρός αριθμός δεδομένων που έχουμε για το συγκεκριμένο κλάσμα (set εκπαίδευσης δείγματα 1-167). Επίσης θα πρέπει να επισημάνουμε ότι παρατηρώντας τον Πίνακα 4.4.8: η διαφορά τιμής

(VI) από ΤΝΔ - πειραματική τιμή του δείκτη ιξώδους, για τα δείγματα που αποτελούν το σετ πρόβλεψης (από δείγμα 167 έως 176) έχουν μικρότερη σε σχέση με το σετ εκπαίδευσης απόκλιση από την πειραματικά μετρήσιμη τιμή.

ΚΛΑΣΜΑ Bg-(20-30)

Από τα στοιχεία της βάσης δεδομένων που μας παραχωρήθηκαν από την Motor Oil Hellas συγκεντρώθηκαν τα δείγματα για το κλάσμα λιπαντικού grade-(20-30) από τροφοδοσία Arabian Light, Arabian Med, Kirkuk, και μίγματα τους σε διάφορες αναλογίες για τα οποία υπάρχουν οι τιμές των παρακάτω ιδιοτήτων.

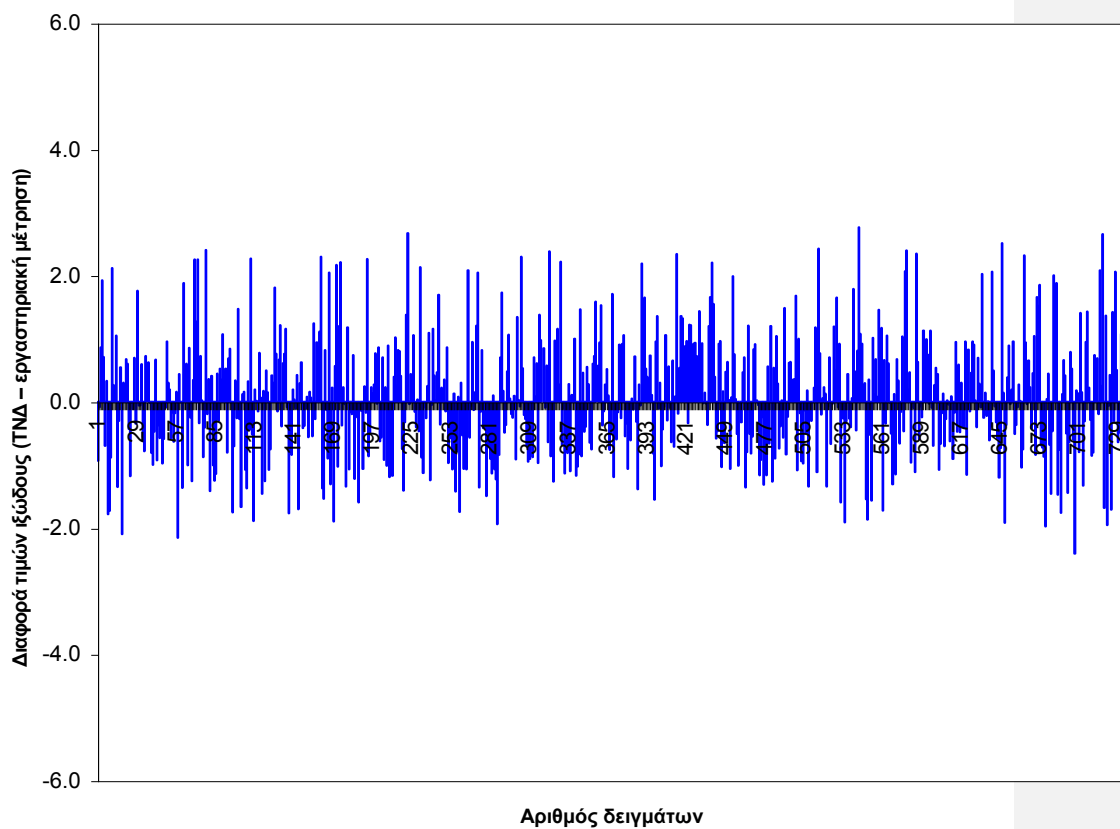
- ✓ Πυκνότητα τροφοδοσίας
- ✓ Δείκτης διάθλασης τροφοδοσίας
- ✓ Απόδοση κατά βάρος της μονάδας εκχύλισης
- ✓ Το ιξώδες σε 100⁰ C του αποκηρωμένου κλάσματος.

Επελέγησαν 735 δείγματα Η αρχιτεκτονική του νευρωνικού δικτύου που αναπτύχθηκε αποτελείται από τέσσερις επίπεδα με δομή 5x12x6x1.

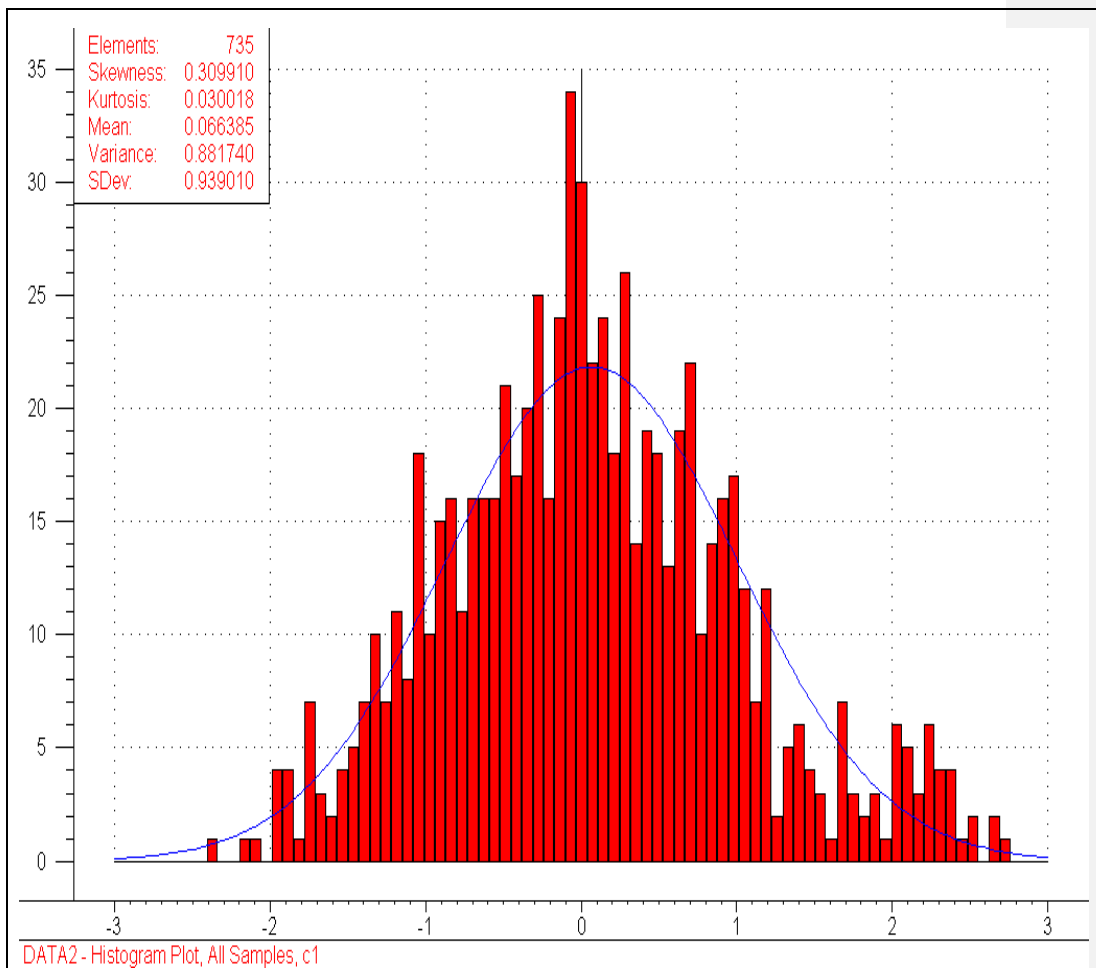
Από τα 735 δείγματα τα 670 χρησιμοποιήθηκαν για την εκπαίδευση (training set) και τα υπόλοιπα 65 για τον έλεγχο της πρόβλεψης (validation set). Ο τελικός πίνακας εισαγωγής στο νευρωνικό δίκτυο είναι 735x6.

Μετά από την διαδικασία εκπαίδευσης του νευρωνικού δικτύου λαμβάνουμε τα αποτελέσματα, για την τιμή του δείκτη ιξώδους των βασικών λιπαντικών που παράγονται από το συγκεκριμένο κλάσμα, και τα παραθέτουμε στον επόμενο πίνακα 4.4.10, σε σύγκριση πάντα με τις πειραματικά μετρούμενες τιμές.

Πίνακας 4.4.10: Διαφορά τιμών ιξώδους (ΤΝΔ – εργαστηριακή μέτρηση)



Η κατανομή του σφάλματος πρόβλεψης παρουσιάζεται στον επόμενο πίνακα 4.4.11 όπου στον άξονα των Y είναι το πλήθος των δειγμάτων και στον X το μέγεθος του σφάλματος.



Πίνακας 4:4.11 Κατανομή των σφαλμάτων πρόβλεψης του δείκτη ιξώδους.

<u>Μέσο σφάλμα πρόβλεψης</u>	<u>0,7</u>
<u>Τυπική απόκλιση</u>	<u>0,56</u>
<u>R.M.S.E.P.</u>	<u>0,90</u>

Τα παραπάνω αποτελέσματα θεωρούνται ικανοποιητικά ως προς την αξιοπιστία και την ακρίβεια πρόβλεψης του μοντέλου.

ΚΛΑΣΜΑ Bg-40

Από τα διαθέσιμα στοιχεία της βάσης δεδομένων συγκεντρώθηκαν τα δείγματα παραγωγής για το κλάσμα λιπαντικού Bg-10 από τροφοδοσία, Arabian Light, Arabian Med, Petrola, Essider και μίγματα αυτών (Blend) για τα οποία υπάρχουν καταγεγραμμένες στην βάση δεδομένων μας οι τιμές των παρακάτω ιδιοτήτων.

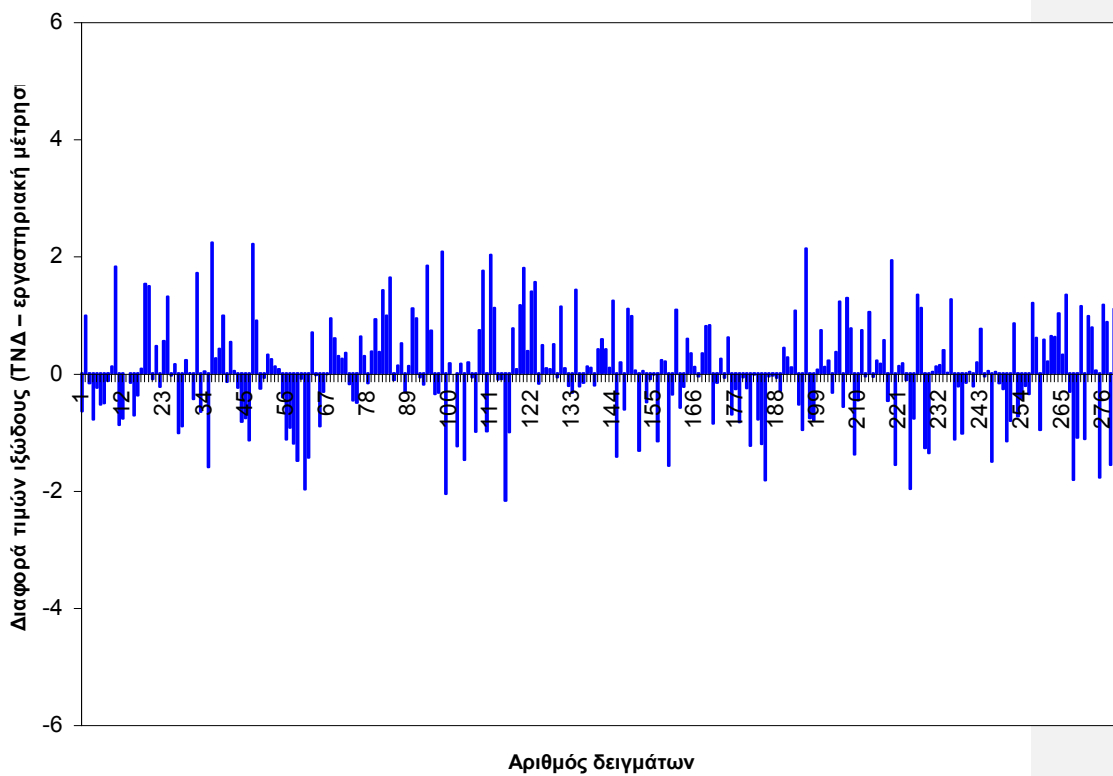
- Πυκνότητα τροφοδοσίας
- Δείκτης διάθλασης τροφοδοσίας
- Απόδοση κατά βάρος της μονάδας εκχύλισης
- Το ιξώδες σε 100⁰ C του αποκηρωμένου κλάσματος.

Επελέγησαν τελικά 281 δείγματα. Η αρχιτεκτονική του νευρωνικού δικτύου που αναπτύχθηκε αποτελείται από τέσσερα επίπεδα με δομή 5x12x6x1.

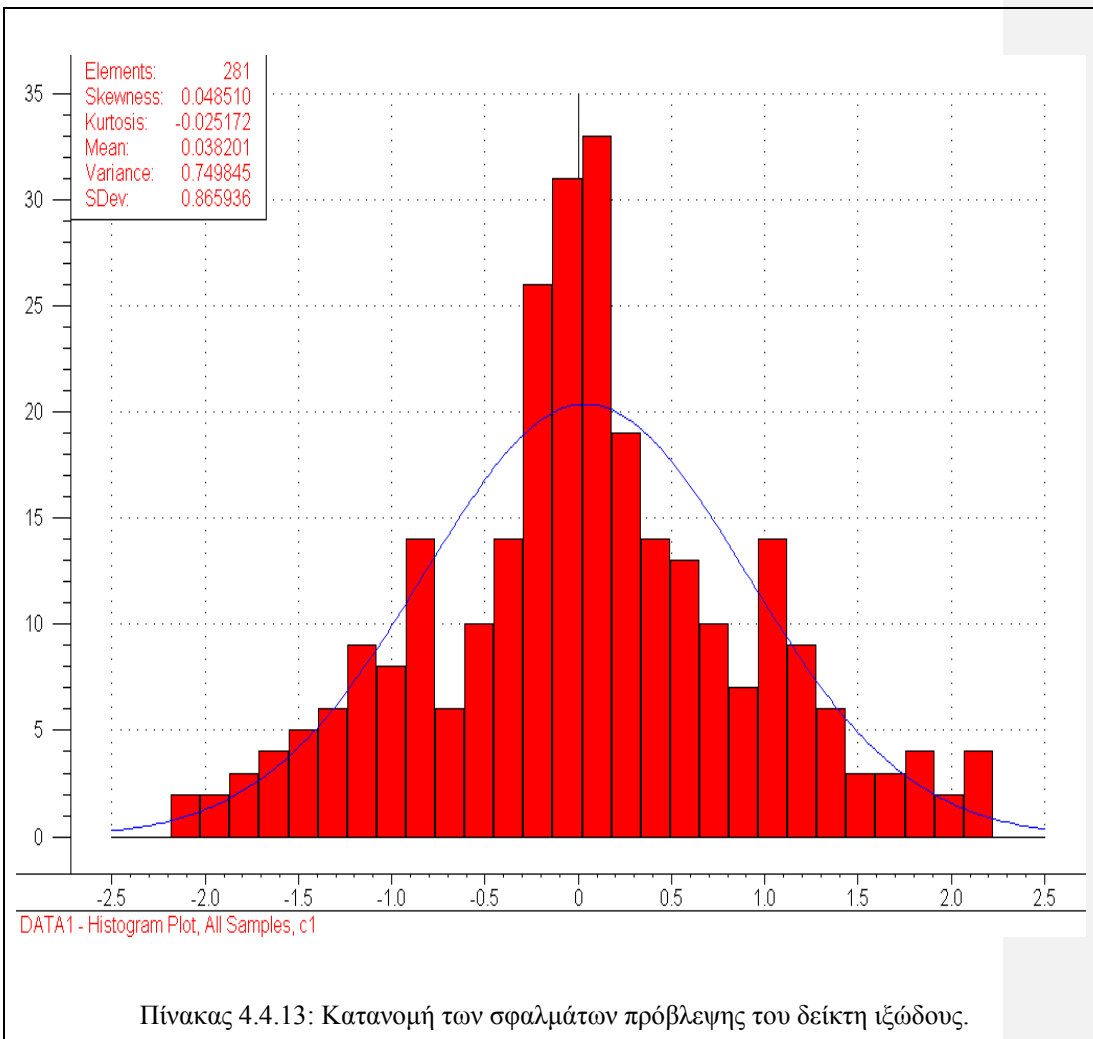
Από τα 281 δείγματα τα 265 χρησιμοποιήθηκαν για την εκπαίδευση (training set) και τα υπόλοιπα 16 για τον έλεγχο της πρόβλεψης (validation set). Ο τελικός πίνακας εισαγωγής στο νευρωνικό δίκτυο είναι 281x6.

Στον παρακάτω πίνακα 4.4.12 παρουσιάζεται η διαφορά των τιμών ιξώδους των αποτελεσμάτων τα οποία έδωσε το νευρωνικό δίκτυο, μετά από την εκπαίδευση του, με τα αποτελέσματα των πειραματικά μετρούμενων τιμών.

Πίνακας 4.4.12.: Διαφορά τιμών ιξώδους (ΤΝΔ – εργαστηριακή μέτρηση)



Η κατανομή του σφάλματος πρόβλεψης παρουσιάζεται στον επόμενο πίνακα 4.4.13 όπου στον άξονα των Y είναι το πλήθος των δειγμάτων και στον X το μέγεθος του σφάλματος.



Μέσο σφάλμα πρόβλεψης 0,69

Τυπική απόκλιση 0,56

R.M.S.E.P. 0,86

Τα παραπάνω αποτελέσματα θεωρούνται ικανοποιητικά ως προς την αξιοπιστία του μοντέλου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

PRINCIPAL COMPONENT REGRESSION P.C.R.

5.1. ΓΕΝΙΚΑ

Για την πρόβλεψη ιδιοτήτων από ένα σύνολο δεδομένων πολλαπλών μεταβλητών, εκτός των νευρωνικών δικτύων μπορούν να χρησιμοποιηθούν και άλλες χημειομετρικές μέθοδοι όπως η ανάλυση πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης (multiple linear regression analysis), η παλινδρόμηση κύριων συνιστωσών (principal component regression) και η ανάλυση παλινδρόμησης μερικών ελαχίστων τετραγώνων (partial least squares regression analysis)

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης (PCR) για την πρόβλεψη του δείκτη ιξώδους των βασικών ορυκτελαίων. Για να γίνει εφικτή η εφαρμογή της μεθόδου PCR σε ένα σύνολο δεδομένων θα πρέπει αρχικά να προσδιορίσουμε σε αυτά τις κύριες συνιστώσες (Principal Components). Αυτό επιτυγχάνεται με την ανάλυση κυρίων συνιστωσών (PCA)

Παρακάτω παραθέτουμε τις απαιτούμενες διεργασίες για την εύρεση των κυρίων συνιστωσών σύμφωνα με την PCA

Με τη μέθοδο ανάλυσης κύριων συνιστωσών (principal component analysis) επιδιώκουμε την παράλληλη μεταφορά των αξόνων ώστε να συμπέσουν με το κέντρο βάρους του 'νέφους' των σημείων, σε έναν n-διάστατο χώρο ιδιοτήτων, ενώ ακολουθεί κατάλληλη περιστροφή των αξόνων ώστε να μεγιστοποιείται η διακύμανση σε κάθε άξονα.

Στόχος της P.C.A. είναι η δημιουργία μηχανισμών επαναπροσδιορισμού των πληροφοριών του πίνακα δεδομένων με την βοήθεια νέων πινάκων. Οι πίνακες αυτοί όμως θα πληρούν κάποιες συνθήκες από τις οποίες θα είμαστε ικανοί να αποφανθούμε ποιοι παράγοντες είναι σημαντικότεροι ώστε να αντιπροσωπεύσουν τα αρχικά δεδομένα χωρίς να αλλοιώσουν τις αρχικές πληροφορίες. Ερευνώντας την αλληλεξάρτηση σε μια ομάδα μεταβλητών προσδοκούμε στην υποκατάσταση μερικών από αυτών (αλληλοεξαρτώμενων)

από άλλες λιγότερες. Με αυτό τον τρόπο μειώνουμε τον αριθμό των χαρακτηριστικών ιδιοτήτων αντικαθιστώντας αυτές από νέες οι οποίες αποτελούν γραμμικό συνδυασμό τους και τα αρχικά δεδομένα που μπορεί να αποτελούνται από ένα μεγάλο αριθμό αλληλοεξαρτώμενων μεταβλητών μετασχηματίζεται σε μια νέα ομάδα μεταβλητών τους βασικούς παράγοντες οι οποίοι δεν συσχετίζονται μεταξύ τους και επιλέγονται ώστε να έχουν την μέγιστη δυνατή διασπορά .

Έστω ένα σετ δεδομένων αποτελούμενο από n -χαρακτηριστικές ιδιότητες για κάποιο αριθμό δειγμάτων . Οι πληροφορίες αυτές μπορούν να παρασταθούν με έναν πίνακα δεδομένων

$$A_{p \times n} = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{p1} & \cdots & x_{pn} \end{bmatrix}$$

Επειδή γενικά $n < p$, έχουμε δηλαδή πολλές μετρήσεις μερικών ιδιοτήτων συνηθίζεται να παριστάνουμε τις πληροφορίες σαν p -διανύσματα του χώρου R^n .

5.2 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Εκείνο που έχει ουσιαστική σημασία στα δεδομένα είναι η αλληλεξάρτηση μεταξύ των μεταβλητών, άρα η σχετική θέση μεταξύ τους (ως διανύσματα) και όχι η απόλυτη θέση και το μέγεθος τους. Κάνουμε τους εξής μετασχηματισμούς που δεν θίγουν τη συσχέτιση τους .

1. Αφαιρούμε τον πίνακα κέντρου βάρους

Ο πίνακας που δημιουργείται βρίσκοντας τις μέσες τιμές κάθε διανύματος στήλης λέγεται πίνακας κέντρου βάρους.

Αν θεωρήσουμε ότι ο πίνακας A εκφράζεται από n -διανύσματα p -διαστάσεων

$$A_{p \times n} = \begin{bmatrix} \bar{x}_{11} & \cdots & \bar{x}_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{p1} & \cdots & x_{pn} \end{bmatrix}$$

τότε για κάθε διάνυσμα στήλη του A εργαζόμαστε ως εξής :

Για $\bar{x} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_p \end{bmatrix}$ βρίσκουμε τη μέση τιμή του $\bar{x} = \sum_{i=1}^p x_i / p$ και αντικαθιστούμε

τη στήλη αυτή με $x - \bar{x} = \begin{bmatrix} x_1 - \bar{x} \\ x_2 - \bar{x} \\ \vdots \\ x_p - \bar{x} \end{bmatrix}$

Ο πίνακας που δημιουργείται βρίσκοντας τις μέσες τιμές κάθε στήλης ονομάζεται πίνακας κέντρου βάρους.

Ο πίνακας που δημιουργείται αφαιρώντας τις μέσες τιμές από τον αρχικό πίνακα A ονομάζεται κεντροποιημένος πίνακας (Centered Matrix) και έχει την ιδιότητα το άθροισμα των στηλών του να ισούται με το μηδέν.

Με αυτόν τον τρόπο πετυχαίνουμε την τη μεταφορά του σημείου αναφοράς των δεδομένων στο κέντρο βάρους τους G. (Παράλληλη μεταφορά των αξόνων)

2. Τα διανύσματα στήλες του κεντροποιημένου πίνακα έχουν, γενικά, διαφορετικό μέτρο κάτι που κάνει δυσχερείς τις εκτιμήσεις και την συναγωγή συμπερασμάτων για τους διάφορους παράγοντες που αυτά εκφράζουν.

Επιδιώκουμε λοιπόν το μετασχηματισμό του κεντροποιημένου πίνακα ώστε όλα τα διανύσματα στήλες να έχουν μέτρο ίσο με την μονάδα. Αυτό επιτυγχάνεται με την διαίρεση των στοιχείων κάθε στήλης του κεντροποιημένου πίνακα με την τετραγωνική ρίζα του αθροίσματος των τετραγώνων της στήλης αυτής.

Διαιρούμε με το $\chi = \sqrt{\sum_{i=1}^p (x_i - \bar{x})^2}$

και έχουμε τελικά την εξής στήλη

$$\begin{bmatrix} \frac{(x_1 - \bar{x})}{\sqrt{\sum_{i=1}^p (x_i - \bar{x})^2}} \\ \vdots \\ \frac{(x_p - \bar{x})}{\sqrt{\sum_{i=1}^p (x_i - \bar{x})^2}} \end{bmatrix}$$

Ο νέος πίνακας B που προκύπτει είναι κεντροποιημένος και κανονικοποιημένος δηλαδή το άθροισμα των στοιχείων κάθε στήλης είναι μηδέν και όλα τα διανύσματα στήλης έχουν μέτρο την μονάδα. Συνεπώς αντί του αρχικού πίνακα A χρησιμοποιούμε τον πίνακα B.

Αν πολλαπλασιάσουμε τον ανάστροφο πίνακα του B με τον B: $B^t * B$ προκύπτει ο πίνακας συσχετίσεων C, $C = B^t * B$ (Correlation Matrix). Ο πίνακας αυτός είναι τετραγωνικός, διαστάσεων $n \times n$, συμμετρικός και τα στοιχεία της κύριας διαγωνίου είναι ίσα με την μονάδα

$$C = B^t * B = \begin{vmatrix} 1 & r_{2,1} & \dots \\ r_{2,1} & 1 & \dots \\ r_{3,1} & r_{3,2} & 1 & \dots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \ddots \\ r_{n,1} & r_{n,2} & \dots & 1 \end{vmatrix}$$

Τα στοιχεία του πίνακα συσχετίσεων εκφράζουν το συνημίτονο της γωνία των διανυσμάτων που αντιστοιχούν στον πίνακα B. Δηλαδή το στοιχείο $r_{2,1}$ = συνημίτονο της γωνίας των δύο πρώτων διανυσμάτων του πίνακα B. Αφού όμως τα συνημίτονα των αντίθετων γωνιών είναι ίσα ισχύει $r_{i,j} = r_{j,i}$. Η μονάδα στα στοιχεία της κύριας διαγωνίου αντιστοιχεί στο συνημίτονο της μηδενικής γωνίας που σχηματίζει κάθε διάνυσμα με τον εαυτό του.

Αν $B = (\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n)$ και $B^t = \begin{pmatrix} \bar{x}_1 \\ \bar{x}_2 \\ \vdots \\ \bar{x}_n \end{pmatrix}$ τότε έχουμε

$$B^t B = \begin{bmatrix} \bar{x}_1^2 & \bar{x}_1 \bar{x}_2 & \cdots & \bar{x}_1 \bar{x}_n \\ \bar{x}_2 \bar{x}_1 & \bar{x}_2^2 & \cdots & \bar{x}_2 \bar{x}_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \bar{x}_n \bar{x}_1 & \bar{x}_n \bar{x}_2 & \cdots & \bar{x}_n^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \cos(x_1, x_2) & \cdots \\ \cos(x_2, x_1) & 1 & \cdots \\ \vdots & \vdots & \ddots \\ \cos(x_n, x_1) & \cdots & 1 \end{bmatrix}$$

Άρα για κάθε r_{ij} είναι $-1 \leq r_{i,j} \leq 1$

Όταν $r = 1 \Leftrightarrow \cos \varphi = 1 \Leftrightarrow \varphi = 0^\circ$ Συσχέτιση θετική και πλήρης

Όταν $r = -1 \Leftrightarrow \cos \varphi = -1 \Leftrightarrow \varphi = 180^\circ$ Συσχέτιση αρνητική

Όταν $r = 0 \Leftrightarrow \cos \varphi = 0 \Leftrightarrow \varphi = 90^\circ$ Δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των χαρακτηριστικών που εκφράζουν τα διανύσματα στήλες.

Στόχος μας είναι τώρα να διαγωνοποιήσουμε τον επεξεργασμένο πίνακα

$$C = B^t * B \quad (1) \quad (\text{Correlation Matrix})$$

Αυτό επιτυγχάνεται με την εύρεση των ιδιοτιμών ιδιοδιανυσμάτων του πίνακα C .

Επειδή ο πίνακας C είναι συμμετρικός θα είναι και ορθογώνια διαγωνοποιήσιμος από τον πίνακα των ιδιοδιανυσμάτων του. Άρα ψάχνω τον πίνακα ιδιοτιμών και ιδιοδιανυσμάτων (Λ, Q) ώστε να ισχύει $Q^{-1} C Q = \Lambda$ (2)

Τα διανύσματα του πίνακα Q είναι ορθοκανονικά άρα ισχύει η σχέση $Q^{-1} = Q^t$ (3)

$$\text{Αντικαθιστώντας στην (2) έχουμε} \quad Q^t C Q = \Lambda$$

$$\text{Δοθέντος του πίνακα B βρίσκω τους πίνακες R,C ώστε} \quad B = R C \quad (4)$$

Ο προσδιορισμός των πινάκων αυτών γίνεται ως εξής

$$Q^{-1} C Q = Q^{-1} (B^t * B) Q = Q^t (B^t * B) Q = (B Q)^t B Q = P^t P$$

$$P = B Q$$

$$B = P Q^{-1} \Leftrightarrow B = P Q^t$$

$$\text{Άρα} \quad R = P = B Q$$

$$C = Q^t$$

Δηλαδή ο πίνακας B αναλύεται σε γινόμενο δύο πινάκων

$$B = R C, \quad R = B Q, \quad C = Q^t$$

Έτσι ο πίνακας B αναπαράγεται από τον πίνακα των ιδιοδιανυσμάτων Q και τον ισοσταθμισμένο πίνακα C.

Τα ιδιοδιανύσματα είναι αυτά που θα δώσουν και την τελική διεύθυνση των τελικών αξόνων. Ο πίνακας συντεταγμένων των αρχικών δεδομένων στο νέο σύστημα αξόνων προκύπτει με πολλαπλασιασμό του αρχικού πίνακα με τον

πίνακα ιδιοδιανυσμάτων Q δημιουργώντας τα Factor scores (Προβολές των σημείων σε κάθε νέο άξονα).

Σε αυτό το σημείο μπορεί να δημιουργηθεί και ο πίνακας συσχέτισης της κάθε αρχικής μεταβλητής (Factor loadings) . Ο πίνακας των Factor loadings δίδεται από τον τύπο $F = Q * \Lambda^{1/2}$. Ενδιαφέρουσα ιδιότητα του πίνακα των Factor loadings είναι ότι το άθροισμα των τετραγώνων των loadings του κάθε παράγοντα στήλη ισούται με την αντίστοιχη ιδιοτιμή.

Αποδεικνύεται πως η διακύμανση των σημείων σε ένα επιλεγμένο ιδιοδιάνυσμα άξονα είναι ίση με την ιδιοτιμή που αντιστοιχεί στο συγκεκριμένο ιδιοδιάνυσμα.

Η σημασία λοιπόν των ιδιοτιμών είναι σημαντική αφού πέρα από το ότι αποτελεί το ενδιάμεσο στάδιο υπολογισμού των ιδιοδιανυσμάτων εκφράζει και την διασπορά των σημείων πάνω σε κάθε ιδιοδιάνυσμα (άξονα). Από τους νέους άξονες που ορίζονται με την μέθοδο ιδιοτιμών ιδιοδιανυσμάτων, σημαντικότεροι είναι αυτοί που σύμφωνα με τα παραπάνω προσφέρουν τη μέγιστη δυνατή διασπορά των σημείων πάνω στους. Η παρουσίαση των πληροφοριών θεωρείται ικανοποιητική όταν το συνολικό άθροισμα των διακυμάνσεων στους κύριους άξονες υπερβαίνει το 75% της συνολικής διακύμανσης. Συνήθως οι δύο πρώτοι άξονες έχουν τέτοια διασπορά που να ικανοποιούν την παραπάνω συνθήκη. Άρα η ανάλυση κύριων συνιστωσών δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα με την χρήση ενός και μόνο καρτεσιανού διαγράμματος. Σε διαφορετική περίπτωση απαιτούνται τόσα διαγράμματα όσοι και οι συνδυασμοί των απαιτούμενων κύριων αξόνων που θα πληρούν την παραπάνω προϋπόθεση αν ληφθούν ανά δύο. Τα ιδιοδιανύσματα με τις μεγαλύτερες τιμές είναι και τα πιο σημαντικά , ενώ τα ιδιοδιανύσματα με πολύ μικρές τιμές μπορούν να θεωρηθούν αμελητέα και δεν χρησιμοποιούνται στην ανάλυση, επιτυγχάνοντας έτσι συμπίεση των παραγόντων. Ο έλεγχος ικανοποίησης των επιλεγμένων κύριων αξόνων γίνεται με τον επαναπροσδιορισμό του πίνακα δεδομένων χρησιμοποιώντας μόνο τα πιο σημαντικά ιδιοδιανύσματα. Αν τα αποτελέσματα που προκύπτουν με τις μειωμένες μεταβλητές προσεγγίζουν τις αρχικές μεταβλητές τότε μόνο οι επιλεγμένοι παράγοντες είναι σημαντικοί. Σε αντίθετη περίπτωση προστίθενται διαδοχικά ιδιοδιανύσματα που αντιστοιχούν στις μεγαλύτερες ιδιοτιμές μέχρι τα αρχικά δεδομένα να αναπαραχθούν επαρκώς.

5.3 ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΔΕΙΚΤΗ ΙΞΩΔΟΥΣ (VI) ΤΕΛΙΚΟΥ ΛΙΠΑΝΤΙΚΟΥ ΜΕ ΧΗΜΕΙΟΜΕΤΡΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ (Principal Component Regression)

Με βάση τη μέθοδο ανάλυσης κυρίων συνιστωσών, όπως περιγράφηκαν παραπάνω, και συγκεκριμένα με την μέθοδο ανάλυσης κυρίων συνιστωσών με παλινδρόμηση κάνουμε πρόβλεψη του δείκτη ιξώδους του τελικού ορυκτελαίου.

Η βάση των δεδομένων είναι η ίδια με αυτή που χρησιμοποιήθηκε στα νευρωνικά δίκτυα για να μπορέσουμε να συγκρίνουμε τα τελικά αποτελέσματα των δύο μεθόδων. Για τον ίδιο λόγο είναι όμοιες και οι ιδιότητες εισαγωγής οι οποίες είναι

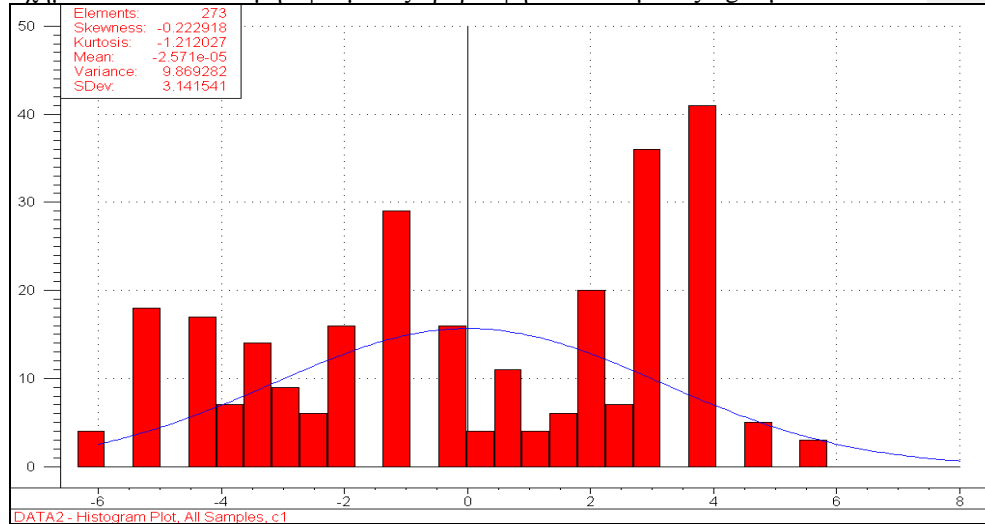
- Πυκνότητα τροφοδοσίας (SG FEED)
- Δείκτης διάθλασης τροφοδοσίας (RI70 FEED)
- Απόδοση κατά βάρος της μονάδας εκχύλισης (W%)
- Το ιξώδες σε 100⁰ C της μονάδας αποκήρωσης (V100 FEED)

Η εφαρμογή της παραπάνω μεθόδου στα δεδομένα, έγινε με την βοήθεια του λογισμικού συστήματος “The Unscrambler, for multivariate analysis and experimental design” της εταιρίας Camo asa (1997)

5.3.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΔΕΙΚΤΗ ΞΕΩΔΟΥΣ ΓΙΑ ΤΑ ΚΛΑΣΜΑΤΑ Bg-5, Bg-10, Bg-(20-30), Bg-40 ΜΕ PCR

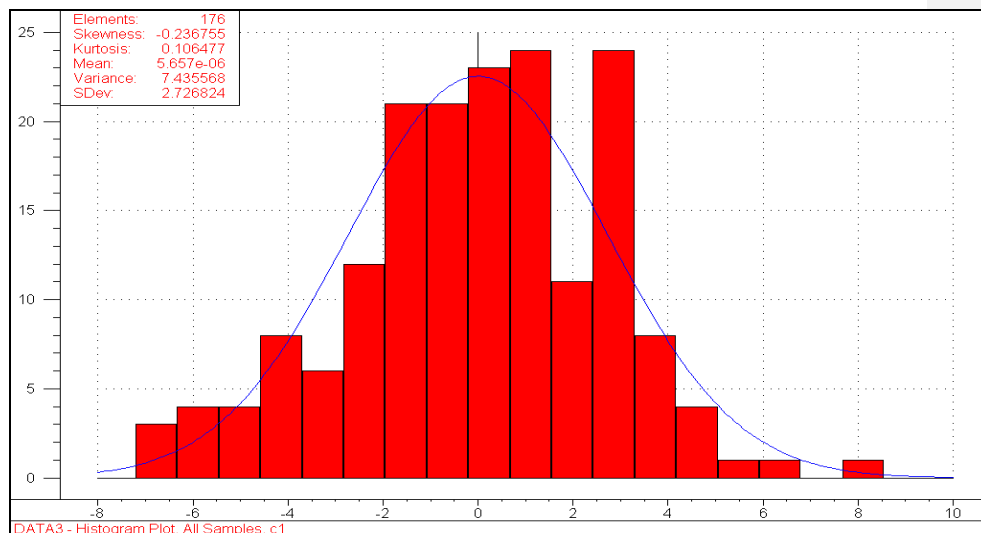
Κλάσμα Bg-5

Σχήμα 5.3.1.1 Κατανομή σφάλματος πρόβλεψη του κλάσματος Bg-5 με PCR



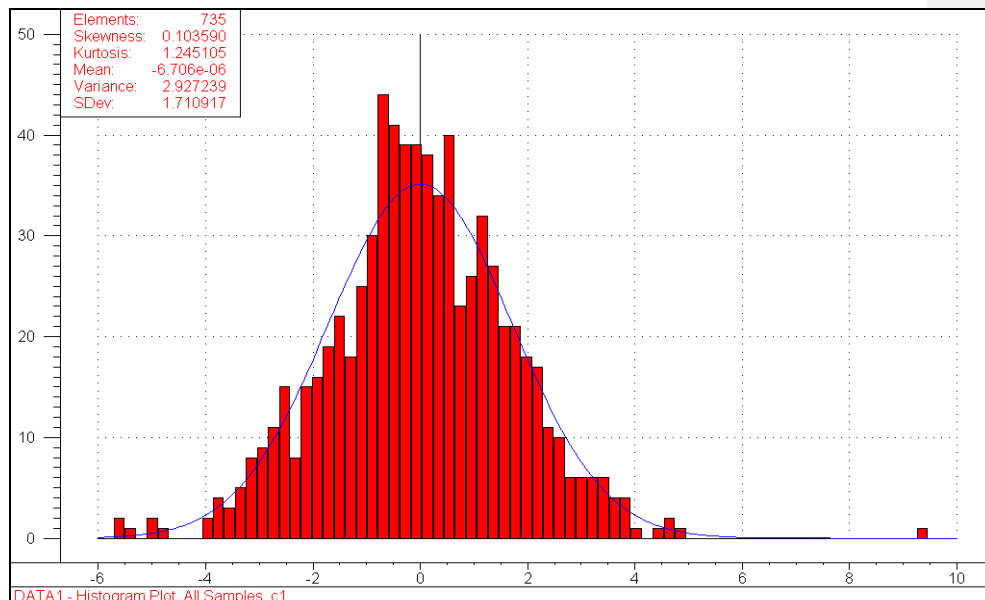
Κλάσμα Bg-10

Σχήμα 5.3.1.2 Κατανομή σφάλματος πρόβλεψη του κλάσματος Bg-10 με PCR



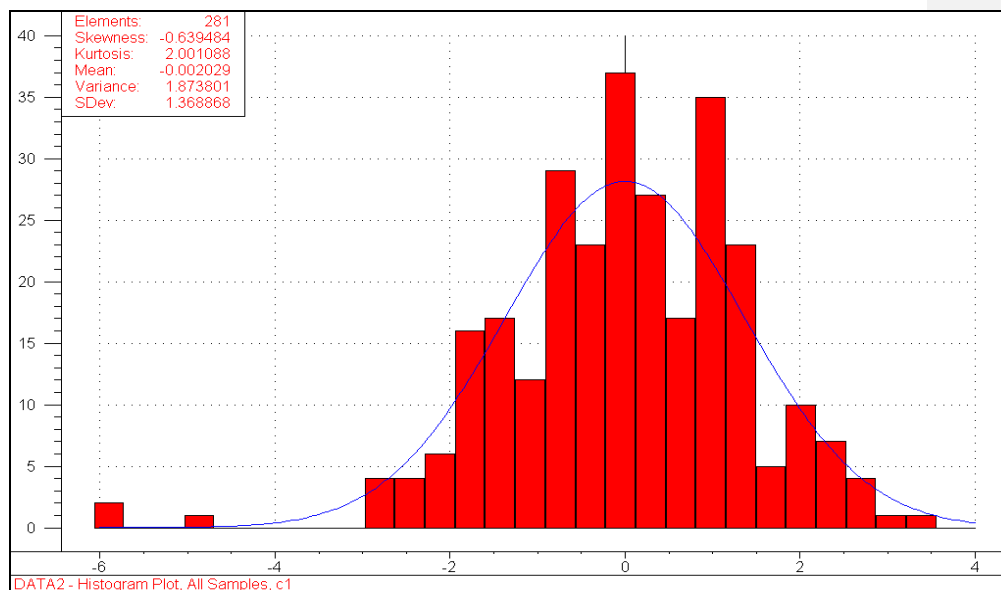
Κλάσμα Bg-(20-30)

Σχήμα 5.3.1.3 Κατανομή σφάλματος πρόβλεψη του κλάσματος Bg-(20-30) με PCR



Κλάσμα Bg-40

Σχήμα 5.3.1.3 Κατανομή σφάλματος πρόβλεψη του κλάσματος Bg-40 με PCR



Στον Πίνακα 5.1 παρουσιάζονται οι τιμές του μέσου σφάλματος πρόβλεψης και η τυπική απόκλιση πρόβλεψης των τιμών δείκτη ιξώδους με την μέθοδο PCR. Στον ίδιο πίνακα παρουσιάζονται, επίσης, και τα στοιχεία της πρόβλεψη του δείκτη ιξώδους από νευρωνικά δίκτυα για να είναι εφικτή η σύγκριση των δύο αυτών μεθόδων.

Πίνακας 5.1. Μέσο σφάλμα και τυπική απόκλιση πρόβλεψης (VI) με PCR και ΤΝΔ

		Bg-5	Bg-10	Bg-(20-30)	Bg-40
ΤΝΔ	Μέσο Σφάλμα	0,59	1,1	0,70	0,69
	Τυπική Απόκλιση	0,46	0,86	0,56	0,56
	R.M.S.E.P.	0,74	1,45	0,90	0,86
PCR	Μέσο Σφάλμα	2,75	2,15	1,32	1,05
	Τυπική Απόκλιση	1,49	1,68	1,08	0,87
	R.M.S.E.P.	3,14	2,73	1,71	1,37

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

6.1 ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΔΕΙΚΤΗ ΙΞΩΔΟΥΣ ΒΑΣΙΚΩΝ ΛΙΠΑΝΤΙΚΩΝ ΑΠΟΚΛΕΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟ ΤΙΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ

Όπως παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 4 της παρούσας εργασίας οι ιδιότητες τις οποίες χρησιμοποιήθηκαν για την πρόβλεψη του δείκτη ιξώδους των βασικών λιπαντικών είναι οι παρακάτω

- ✓ Πυκνότητα τροφοδοσίας
- ✓ Δείκτης διάθλασης τροφοδοσίας
- ✓ Απόδοση κατά βάρος της μονάδας εκχύλισης των βασικών λιπαντικών
- ✓ Το ιξώδες σε 100⁰ C του αποκηρωμένου κλάσματος.

Το γεγονός ότι στα δεδομένα εισαγωγής περιλαμβάνεται το ιξώδες του αποκηρωμένου κλάσματος καθιστά πολύ δύσκολή την χρήση των αντιστοίχων αλγορίθμων στον προγραμματισμό της παραγωγής στην μονάδα λιπαντικών. Αυτό συμβαίνει διότι η ιδιότητα αυτή είναι διαθέσιμη μόνο όταν το λιπαντικό έχει ήδη υποστεί την διαδικασία επεξεργασίας στην μονάδα εκχύλισης και αποκήρωσης.

Για τις ανάγκες του προγραμματισμού στην μονάδα παραγωγής βασικών λιπαντικών ιδανικός αλγόριθμος θα ήταν εκείνος ο οποίος θα λάμβανε υπ' όψιν την ποιότητα της τροφοδοσίας της μονάδας λιπαντικών και τις συνθήκες παραγωγής και θα προέβλεπε με ακρίβεια την ποιότητα των τελικών προϊόντων. Όμως οι μικρές διαφορές στα δεδομένα μας που αφορούν τις παραμέτρους παραγωγής δεν επιτρέπουν την ανάπτυξη ενός τέτοιου αλγόριθμου. Έτσι αποφασίστηκε η βαθμιαία προσέγγιση του δείκτη ιξώδους (VI) του τελικού λιπαντικού μέσω της πρόβλεψης ιδιοτήτων ενδιάμεσων προϊόντων. Για την επίτευξη αυτού του στόχου χρησιμοποιήθηκε ένα σύστημα από τέσσερα νευρωνικά δίκτυα τα οποία προβλέπουν τις ιδιότητες των ενδιάμεσων προϊόντων που χρειάζονται.

Αναλυτικά έχουμε :

Νευρωνικό δίκτυο Νο 1

Από τα διαθέσιμα στοιχεία της βάσης δεδομένων συγκεντρώθηκαν τα δείγματα για τα κλάσματα λιπαντικού grade-5 και grade-10 τα οποία προέρχονται από τροφοδοσία Arabian Light, Arabian Med, καθώς και μίγματα αυτών των δύο (Blend) σε διάφορες αναλογίες, για τα οποία υπάρχουν οι τιμές των παρακάτω ιδιοτήτων.

- Πυκνότητα τροφοδοσίας (SG FEED)
- Δείκτης διάθλασης τροφοδοσίας (RI70 FEED)
- Απόδοση κατά βάρος της μονάδας εκχύλισης (W%)
- Το ιξώδες σε 100⁰ C της τροφοδοσίας (V100 FEED)

Με αυτές τις ιδιότητες εισαγωγής το νευρωνικό δίκτυο προβλέπει την πυκνότητα του Raffinate (SG RAFF) η τιμή της οποίας υπάρχει ήδη στη βάση δεδομένων από μετρήσεις που έγιναν στην μονάδα παραγωγής λιπαντικών της Motor Oil Hellas

Για το κλάσμα BG-5 χρησιμοποιήθηκαν 292 δείγματα. Η αρχιτεκτονική του νευρωνικού δικτύου που αναπτύχθηκε αποτελείται από τέσσερα επίπεδα με δομή 4x5x2x1. Από τα 292 δείγματα τα 270 χρησιμοποιήθηκαν για την εκπαίδευση (training set) και τα υπόλοιπα 22 για τον έλεγχο της πρόβλεψης (validation set)

Για το κλάσμα BG-10 επελέγησαν 204 δείγματα. Η αρχιτεκτονική του νευρωνικού δικτύου που αναπτύχθηκε αποτελείται από τέσσερα επίπεδα με δομή 4x3x2x1.

Από τα 204 δείγματα τα 190 χρησιμοποιήθηκαν για την εκπαίδευση (training set) και τα υπόλοιπα 14 για τον έλεγχο της πρόβλεψης (validation set).

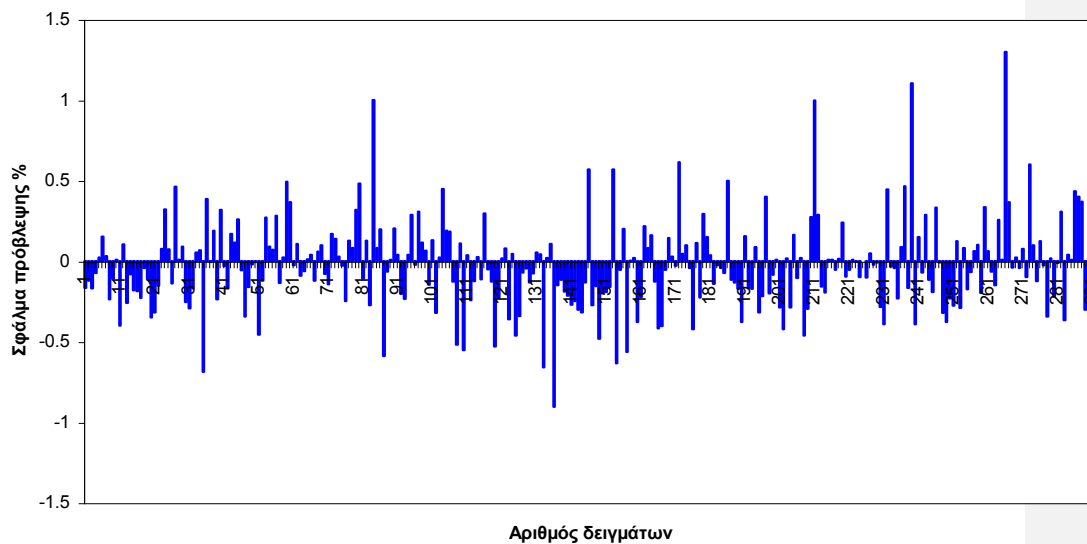
Ο τελικός πίνακας εισαγωγής στο νευρωνικό δίκτυο είναι 292x5 για το BG-5 και για το BG-10 204x5.

Μετά το πέρας της εκπαίδευση των νευρωνικών δικτύων πήραμε τα παρακάτω αποτελέσματα, όσον αφορά την πρόβλεψη της πυκνότητα του Raffinate (SG RAFF). Τα νευρωνικά δίκτυα προβλέπουν την τιμή της πυκνότητα του Raffinate υψωμένη στο τετράγωνο (SG RAFF)² με μοναδικό σκοπό να μεγαλώσει το εύρος τιμών και να έχουμε ακριβέστερες προβλέψεις.

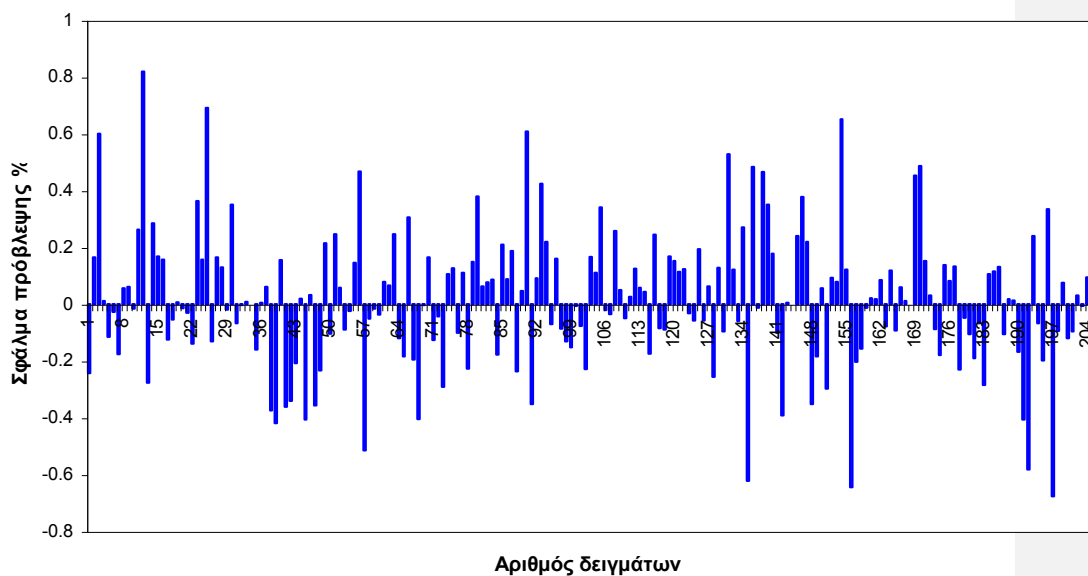
Οι παρακάτω πίνακες 5.1 και 5.2 παρουσιάζουν την διαφορά των τιμών που έδωσαν τα νευρωνικά δίκτυα για τα κλάσματα Bg-5 και Bg-10 με τις πειραματικά

μετρούμενες τιμές που ήδη υπάρχουν. Η διαφορές αυτές παρουσιάζονται σαν ποσοστό %.

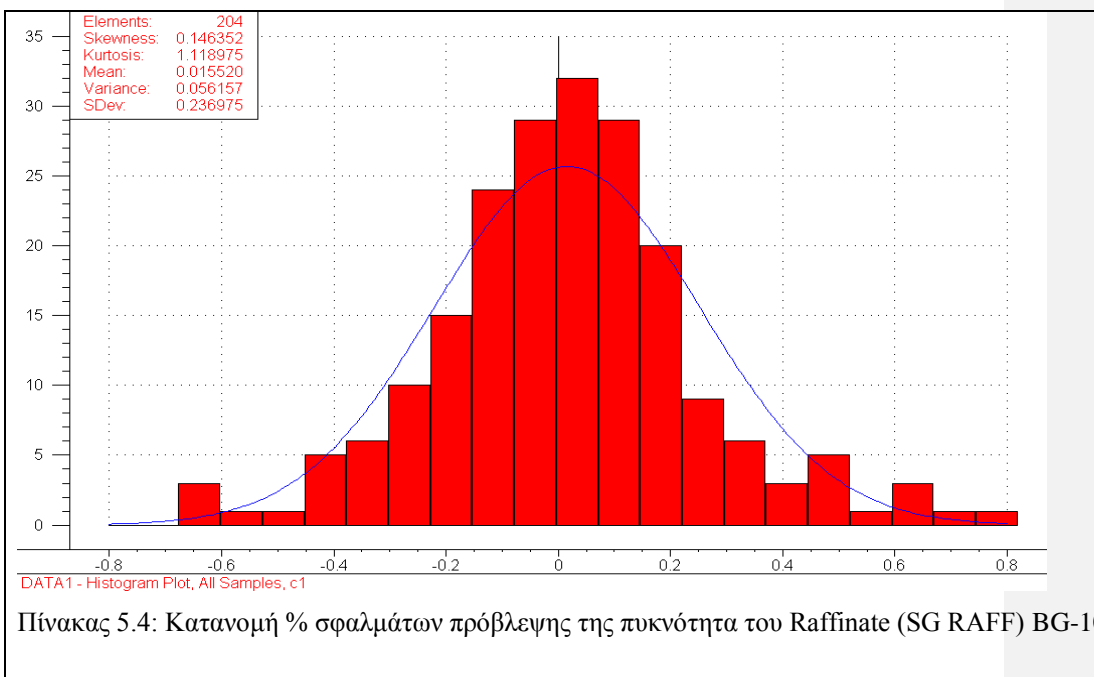
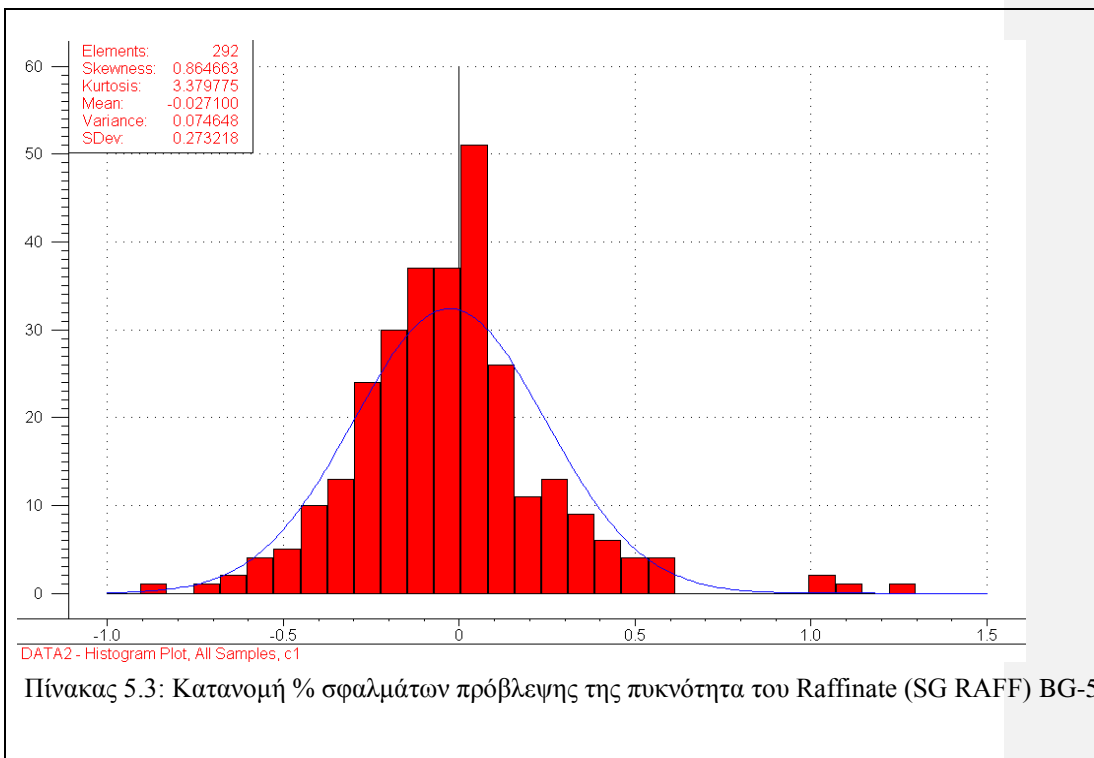
Πίνακας 5.1: Σφάλμα πρόβλεψης της πυκνότητα του Raffinate (SG RAFF) % BG-5



Πίνακας 5.2: Σφάλμα πρόβλεψης της πυκνότητα του Raffinate (SG RAFF) % BG-10



Παρατηρούμε ότι το σφάλμα της πρόβλεψης μας είναι πολύ μικρό. Η κατανομή του % σφάλματος πρόβλεψης παρουσιάζεται στους επόμενους πίνακες .



Νευρωνικό δίκτυο N₀2

Το δεύτερο νευρωνικό δίκτυο προβλέπει το δείκτης διάθλασης του Raffinate (RI70 RAFF). Χρησιμοποιήθηκαν οι ίδιες ιδιότητες εισαγωγής στο νευρωνικό δίκτυο με το νευρωνικό N₀1 και οι οποίες είναι :

- Πυκνότητα τροφοδοσίας (SG FEED)
- Δείκτης διάθλασης τροφοδοσίας (RI70 FEED)
- Απόδοση κατά βάρος της μονάδας εκχύλισης (W%)
- Το ιξώδες σε 100⁰ C της τροφοδοσίας (V100 FEED)

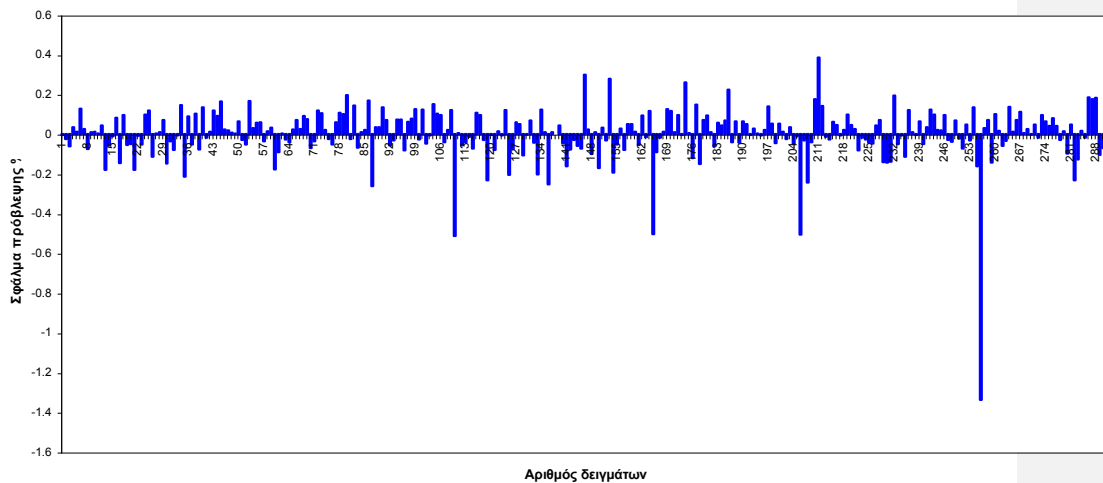
Χρησιμοποιήθηκαν τα ίδια δείγματα με το νευρωνικό N₀1.

Για το BG-5 292 από τα οποία τα 270 αποτελούν το σετ εκπαίδευσης (training set) και τα υπόλοιπα 22 για τον έλεγχο της πρόβλεψης (validation set) και η δομή του νευρωνικού δικτύου είναι 4x6x2x1 με τελικό πίνακα εισαγωγής 292x6

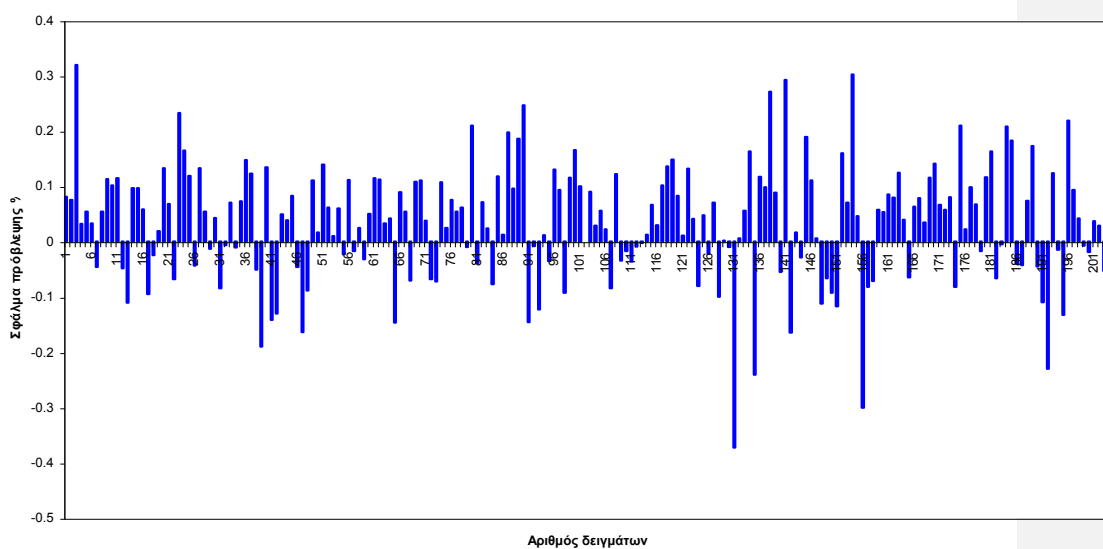
Για BG-10 204 συνολικά από τα οποία τα 190 αποτελούν το σετ εκπαίδευσης (training set) και τα υπόλοιπα το validation set. Η δομή του δικτύου είναι 4x3x2x1 με τελικό πίνακα εισαγωγής 5x204.

Οι παρακάτω πίνακες 5.5 και 5.6 παρουσιάζουν την διαφορά των τιμών που υπολόγισαν τα νευρωνικά δίκτυα για τα κλάσματα Bg-5 και Bg-10 με τις πειραματικά μετρούμενες τιμές που ήδη υπάρχουν. Η διαφορές αυτές παρουσιάζονται σαν ποσοστό % .

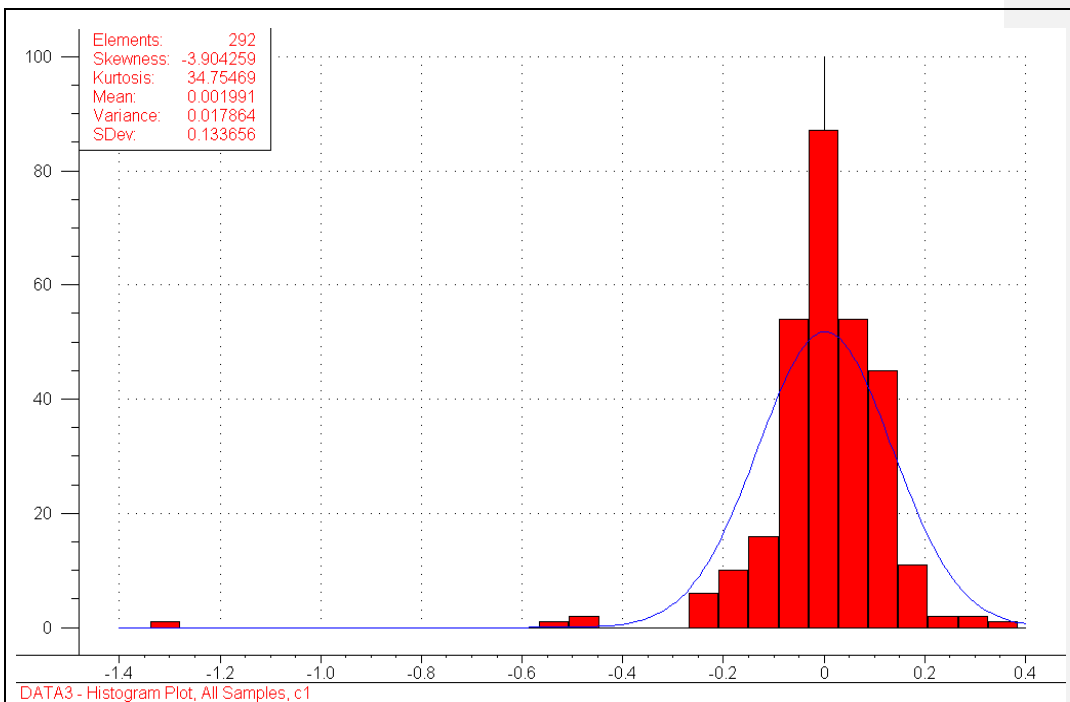
Πίνακας 5.5: Σφάλμα πρόβλεψης % του δείκτη διάθλασης του Raffinate (RI70 RAFF) BG-5



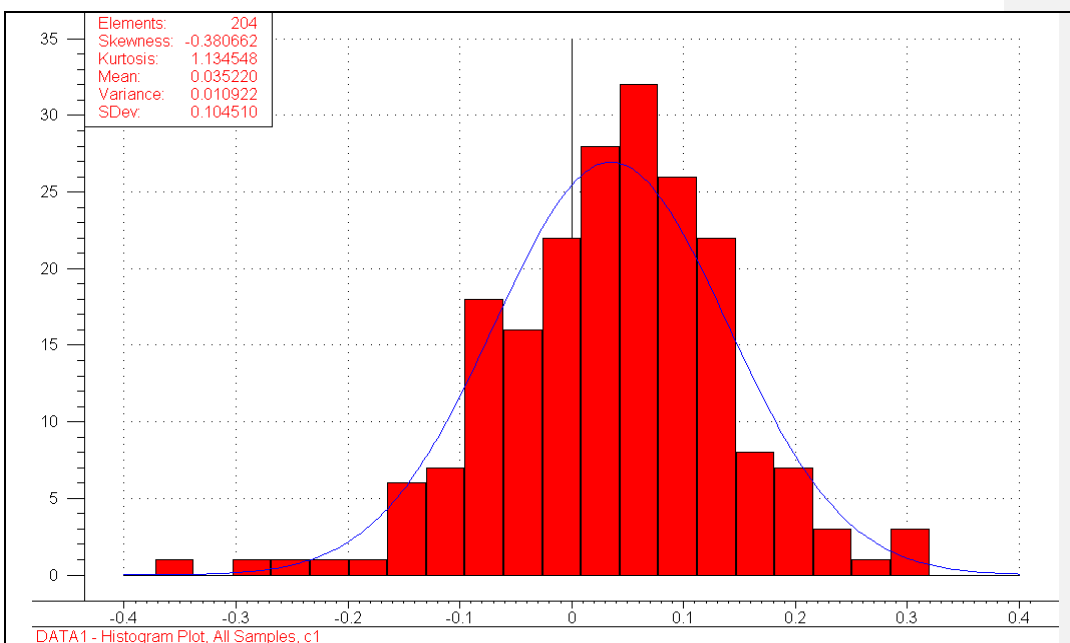
Πίνακας 5.6: Σφάλμα πρόβλεψης % του δείκτη διάθλασης του Raffinate (RI70 RAFF) BG-10



Η κατανομή του % σφάλματος πρόβλεψης παρουσιάζεται στους επόμενους πίνακες για κάθε κλάσμα.



Πίνακας 5.7: Κατανομή των % σφαλμάτων πρόβλεψης του δείκτη διάθλασης του Raffinate (RI70 RAFF) BG-5



Πίνακας 5.8: Κατανομή των % σφαλμάτων πρόβλεψης του δείκτη διάθλασης του Raffinate (RI70 RAFF) BG-10

Νευρωνικό δίκτυο N₀ 3

Το επόμενο νευρωνικό δίκτυο προβλέπει την τελευταία ιδιότητα για να καταστεί δυνατή η πρόβλεψη του δείκτη ιξώδους του τελικού λιπαντικού και είναι ο δείκτης ιξώδους στους 100 °C του αποκηρωμένου κλάσματος (V100 Dewaxed). Χρησιμοποιήθηκαν οι ιδιότητες της τροφοδοσίας οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν και στα προηγούμενα νευρωνικά δίκτυα N₀ 1, N₀ 2 και οι οποίες είναι :

- Πυκνότητα τροφοδοσίας (SG FEED)
- Δείκτης διάθλασης τροφοδοσίας (RI70 FEED)
- Απόδοση κατά βάρος της μονάδας εκχύλισης (W%)
- Το ιξώδες σε 100⁰ C της τροφοδοσίας (V100 FEED)

Σε αυτές προστέθηκαν σαν ιδιότητες εισαγωγής και αυτές των οποίων οι τιμές έχουν προσδιοριστεί από τα δύο προηγούμενα νευρωνικά δίκτυα και είναι:

- Η πυκνότητα του Raffinate (SG RAFF)
- Ο δείκτης διάθλασης του Raffinate (RI70 RAFF)

Για το BG-5

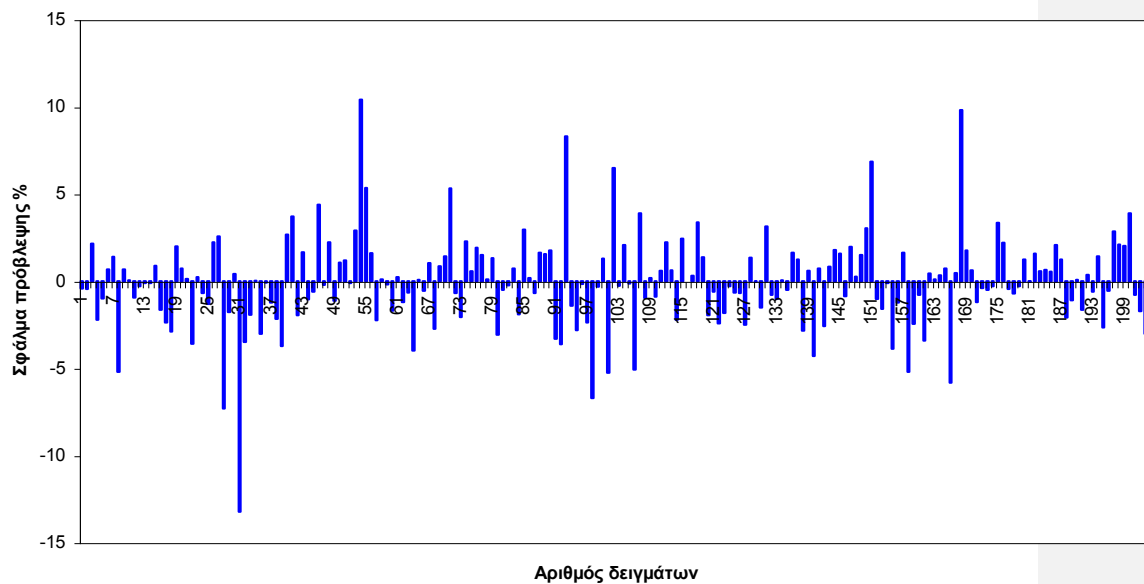
Χρησιμοποιήθηκαν 204 δείγματα από τα οποία τα 195 αποτέλεσαν το σετ εκπαίδευσης και τα υπόλοιπα 11 τα σετ πρόβλεψης. Η δομή του νευρωνικού δικτύου είναι 6x9x4x1 και ο τελικός πίνακας εισαγωγής 204x7

Για το BG-10

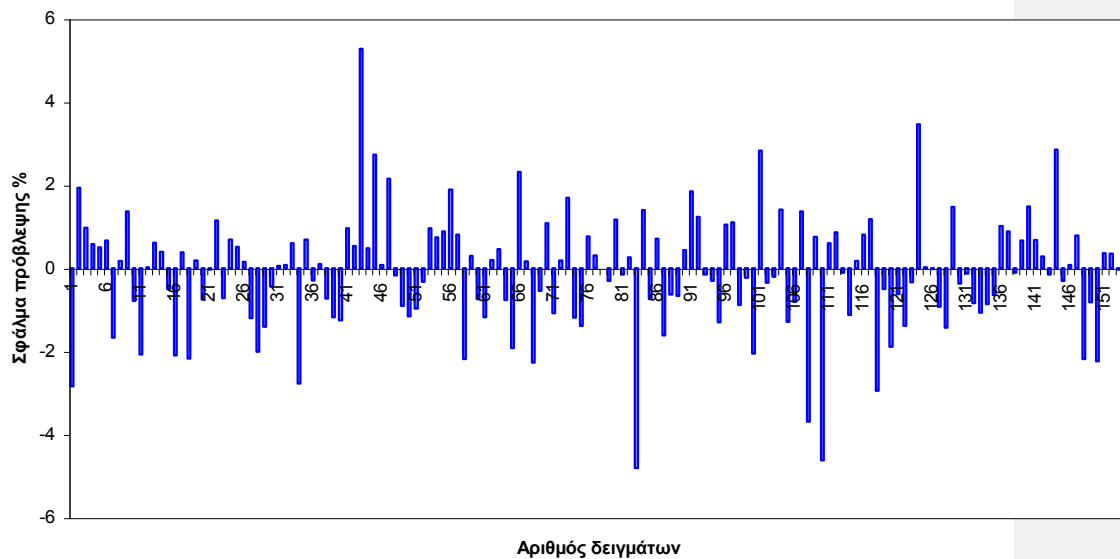
Χρησιμοποιήθηκαν συνολικά 154 δείγματα από τα οποία τα 144 αποτέλεσαν το τμήμα της εκπαίδευσης του νευρωνικού δικτύου και τα 10 το τμήμα πρόβλεψης. Η δομή του νευρωνικού είναι 6x9x4x1 και ο τελικός πίνακας εισαγωγής είναι 154x7

Μετά από την εκπαίδευση του νευρωνικού δικτύου λαμβάνουμε τα παρακάτω αποτελέσματα, της πρόβλεψη του δείκτη ιξώδους στους 100 °C του αποκηρωμένου κλάσματος (V100 DEWAXED). Οι πίνακες που ακολουθούν δίνουν την διαφορά (πειραματικής – προβλέψιμης τιμής V100 Dewaxed) %.

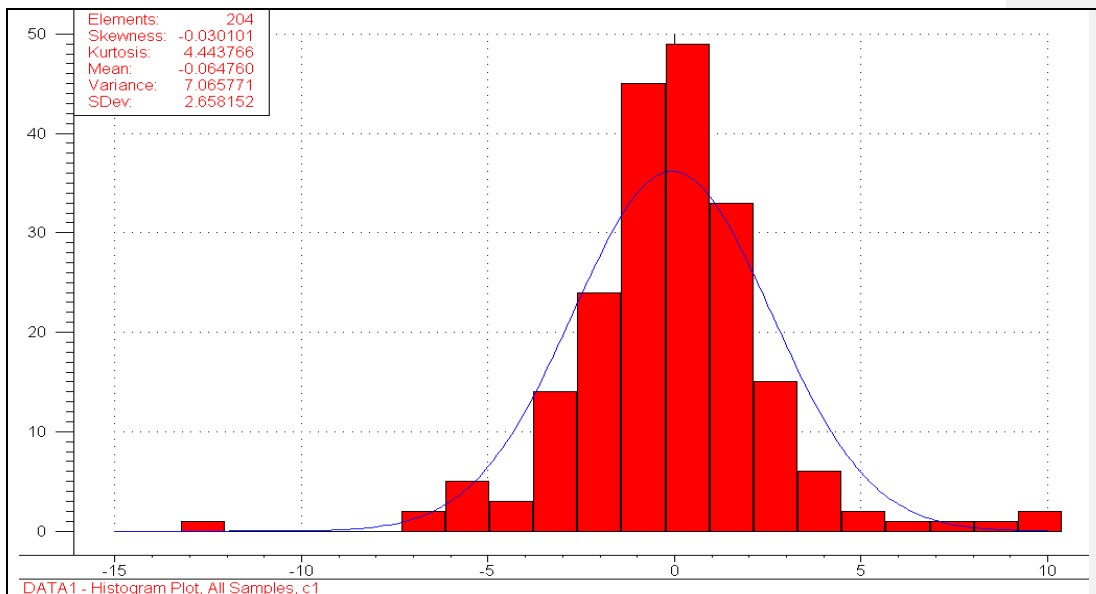
Πίνακας 5.9: Σφάλμα πρόβλεψης % του αποκηρωμένου κλάσματος (V100 Dewaxed) BG-5



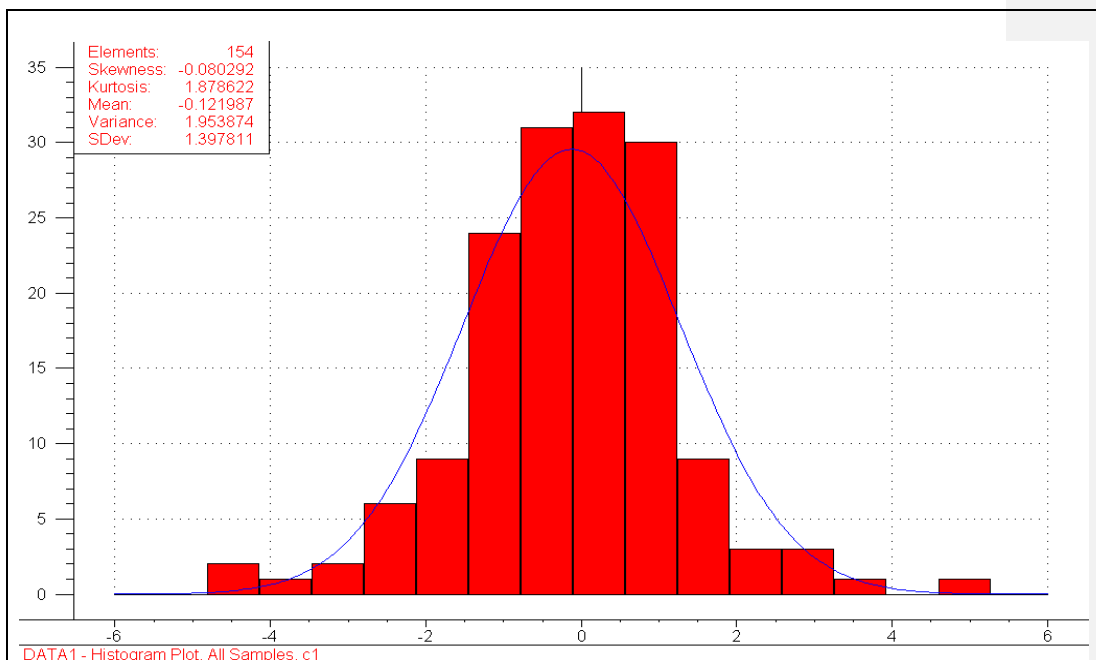
Πίνακας 5.10: Σφάλμα πρόβλεψης % του αποκηρωμένου κλάσματος (V100 Dewaxed) BG-10



Η κατανομή του % σφάλματος πρόβλεψης παρουσιάζεται στους επόμενους πίνακες.



Πίνακας 5.11: Κατανομή των % σφαλμάτων πρόβλεψης του αποκηρωμένου κλάσματος (V100 Dewaxed)BG-5



Πίνακας 5.12: Κατανομή των % σφαλμάτων πρόβλεψης του αποκηρωμένου κλάσματος (V100 Dewaxed) BG-10

Νευρωνικό δίκτυο Νο 4

Το τέταρτο νευρωνικό δίκτυο αναπτύχθηκε για την πρόβλεψη της ζητούμενης ιδιότητας, το δείκτη ιξώδους του βασικού λιπαντικού. Χρησιμοποιούμε τις αρχικές ιδιότητες εισαγωγής οι οποίες προέρχονται από την τροφοδοσία και οι οποίες είναι :

- Πυκνότητα τροφοδοσίας (SG FEED)
- Δείκτης διάθλασης τροφοδοσίας (RI70 FEED)
- Απόδοση κατά βάρος της μονάδας εκχύλισης (W%)
- Το ιξώδες σε 100⁰ C της τροφοδοσίας (V100 FEED)

Παράλληλα χρησιμοποιούμε σαν δεδομένα εισαγωγής σε αυτό το νευρωνικό και τις τρεις ιδιότητες που έχουμε προβλέψει στα προηγούμενα νευρωνικά δίκτυα και οι οποίες είναι:

- Ο δείκτης διάθλασης του Raffinate (RI70 RAFF)
- Η πυκνότητα του Raffinate (SG RAFF)
- Ο δείκτης ιξώδους στους 100⁰C του αποκηρωμένου κλάσματος (V100 Dewaxed).

Αναλυτικά

Για το BG-5

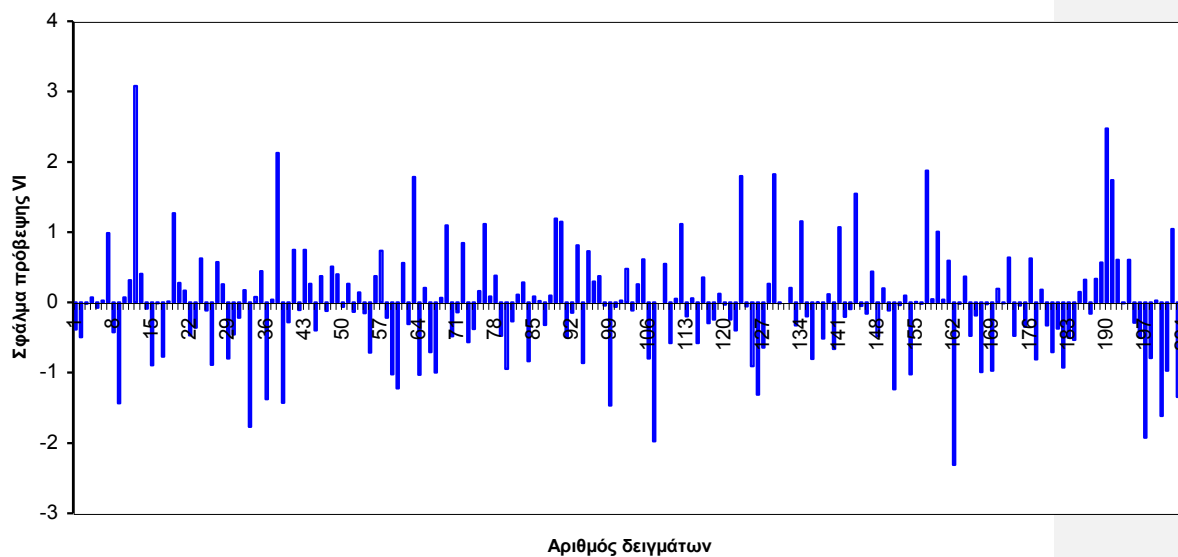
Χρησιμοποιήθηκαν 204 δείγματα από τα οποία τα 195 αποτέλεσαν το σετ εκπαίδευσης και τα υπόλοιπα 11 τα σετ πρόβλεψης. Η δομή του νευρωνικού δικτύου είναι 7x9x4x1 και ο τελικός πίνακας εισαγωγής 204x8

Για το BG-10

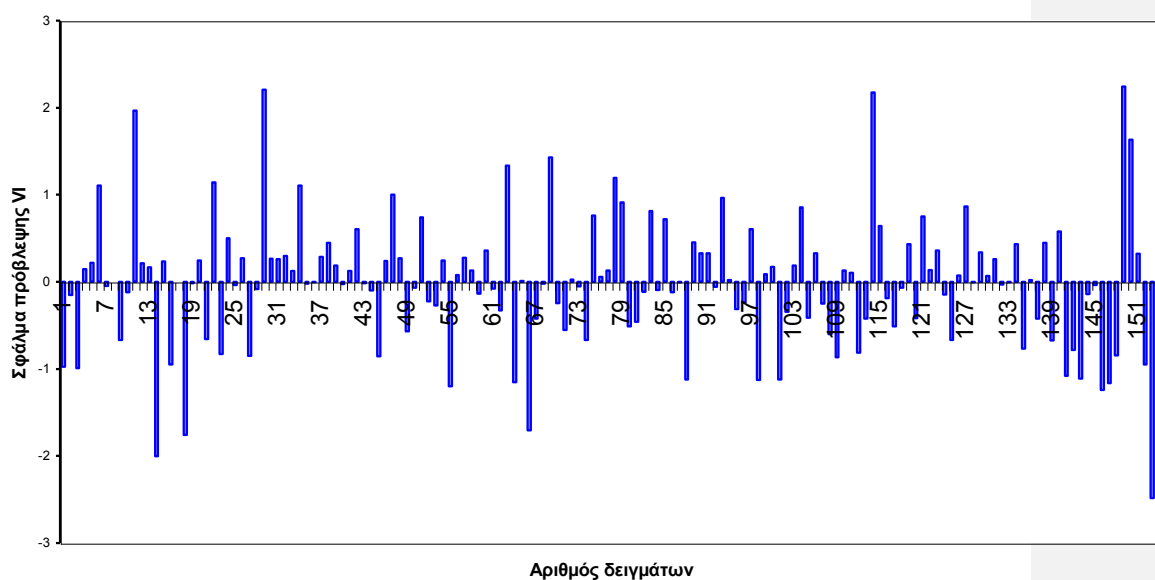
Χρησιμοποιήθηκαν συνολικά 154 δείγματα από τα οποία τα 144 αποτέλεσαν το τμήμα της εκπαίδευσης του νευρωνικού δικτύου και τα 10 το τμήμα πρόβλεψης. Η δομή του νευρωνικού είναι 7x9x4x1 και ο τελικός πίνακας εισαγωγής είναι 154x8

Μετά από την εκπαίδευση του νευρωνικού δικτύου λαμβάνουμε τα παρακάτω αποτελέσματα, της πρόβλεψη του δείκτη ιξώδους του τελικού λιπαντικού (VI) και παραθέτουμε στους παρακάτω πίνακες την διαφορά τους σε σύγκριση με τις πειραματικά μετρούμενες τιμές.

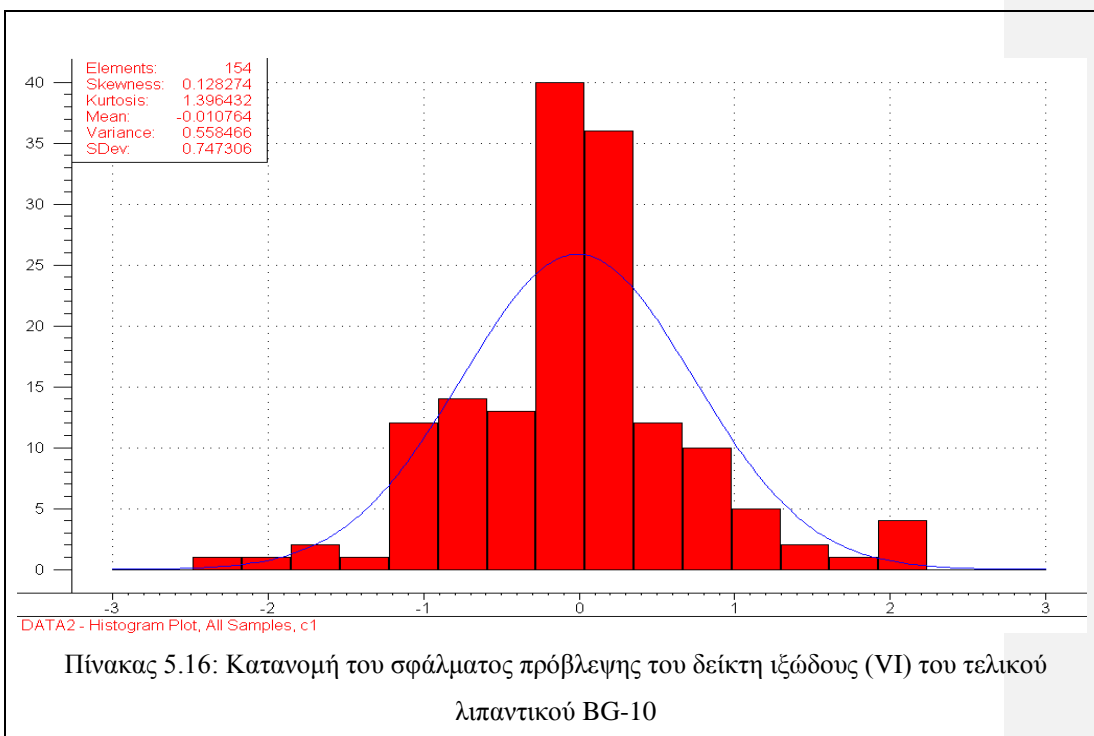
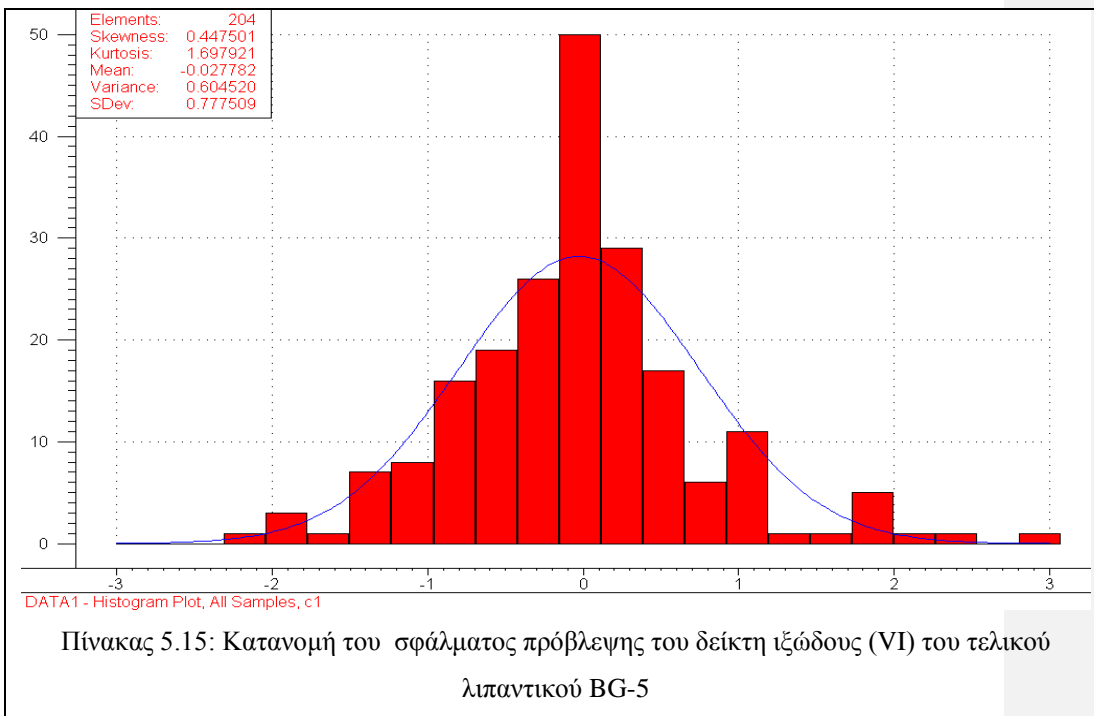
Πίνακας 5.13: Σφάλμα πρόβλεψης του δείκτη ιξώδους του τελικού λιπαντικού BG-5



Πίνακας 5.14: Σφάλμα πρόβλεψης του δείκτη ιξώδους του τελικού λιπαντικού BG-10



Η κατανομή του σφάλματος πρόβλεψης παρουσιάζεται στους επόμενους πίνακες.



Ο πίνακα 5.16 παρουσιάζει το μέσο σφάλμα, την τυπική απόκλιση και το R.M.S.E.P. της πρόβλεψης του δείκτη ιξώδους από το σύστημα των τεσσάρων νευρωνικών. Επίσης στον ίδιο πίνακα συμπεριλαμβάνονται τα ίδια στοιχεία για το αρχικό μοντέλο νευρωνικών δικτύων που παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 3 με σκοπό την σύγκριση των δυο μοντέλων ως προς την ακρίβεια τους.

Πίνακας 5.16

		Bg-5	Bg-10
ΤΝΔ	Μέσο Σφάλμα	0,59	1,1
	Τυπική Απόκλιση	0,46	0,86
	R.M.S.E.P.	0,74	1,45
Σύστημα 4 ^{ov} ΤΝΔ	Μέσο Σφάλμα	0,55	0,53
	Τυπική Απόκλιση	0,54	0,52
	R.M.S.E.P.	0,78	0,74

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία αναπτύχθηκαν αλγόριθμοι οι οποίοι προβλέπουν αξιόπιστα το δείκτη ιξώδους του τελικού προϊόντος της μονάδα παραγωγής λιπαντικών. Ο δείκτης αυτός αποτελεί την βασικότερη εμπορική ιδιότητα των έτοιμων τελικών προϊόντων. Οι αλγόριθμοι αναπτύχθηκαν χρησιμοποιώντας δεδομένα παραγωγής από το διυλιστήριο της Motor Oil Hellas και χωρίστηκαν σε τρεις διαφορετικές ενότητες με βάση τις τεχνικές των νευρωνικών δικτύων και της ανάλυσης κύριων συνιστωσών.

Η πρώτη ενότητα αποτελείται από τέσσερα νευρωνικά δίκτυα, ένα για κάθε κλάσμα βασικού λιπαντικού Bg-5, Bg-10, Bg-(20-30) και Bg-40. Τα δίκτυα αυτά προβλέπουν το δείκτη ιξώδους χρησιμοποιώντας ως ιδιότητες εισαγωγής την πυκνότητα τροφοδοσίας (SG FEED), την πυκνότητα του Raffinate (SG RAFF), την απόδοση κατά βάρος της εκχύλισης (W%) και το ιξώδες σε 100⁰ C του αποκηρωμένου κλάσματος(V100 DEWAXED). Η ακρίβεια της πρόβλεψης είναι εντός των αποδεκτών ορίων ακρίβειας σύμφωνα με την πρότυπη μέθοδο μέτρησης δείκτη ιξώδους I.P.

Η δεύτερη ενότητα περιλαμβάνει την πρόβλεψη του δείκτη ιξώδους με εφαρμογή της μεθόδου παλινδρόμησης κυρίων συνιστωσών (PCR). Τα δεδομένα εισαγωγής είναι τα ίδια με αυτά που χρησιμοποιήθηκαν στην πρώτη ενότητα. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα πρόβλεψης αυτών των δύο μεθόδων καταλήγουμε στο ότι :

- Τα νευρωνικά δίκτυα προβλέπουν τον τελικό δείκτη ιξώδους των λιπαντελαίων με πολύ μεγαλύτερη ακρίβεια σε σχέση με την PCR.

Στην τρίτη ενότητα αναπτύχθηκαν αλγόριθμοι πρόβλεψης δείκτη ιξώδους τελικού ορυκτελαίου με την βοήθεια νευρωνικών δικτύων χρησιμοποιώντας ως δεδομένα εισαγωγής αποκλειστικά ιδιότητες της τροφοδοσίας.. Αυτό επιτεύχθηκε με την ανάπτυξη ενός πολυεπίπεδου **συστήματος νευρωνικών δικτύων** στο οποίο η έξοδος των δικτύων του ενός επιπέδου χρησιμοποιείται σαν είσοδο (δεδομένα εισαγωγής) για το επόμενο επίπεδο.

Βασικό πλεονέκτημα των μοντέλων που αναπτύχθηκαν στην τρίτη ενότητα σε σχέση με αυτών τις δύο προηγούμενες είναι ότι :

- Προβλέπουν τον δείκτη VI με μεγαλύτερη ακρίβεια από την μέθοδο παλινδρόμησης κυρίων συνιστωσών (PCR).
- Έχουν μεγαλύτερη ακρίβεια σε με τα μοντέλα της πρώτης ενότητας.
- Μπορούν να χρησιμοποιηθούν αξιόπιστα στον προγραμματισμό μίας μονάδας παραγωγής λιπαντικών .

Οι αλγόριθμοι των παραπάνω ενοτήτων που παρουσιάστηκαν στην εργασία αυτή μπορούν να αποτελέσουν ένα ‘εργαλείο’ για την βελτίωση της ποιότητας των παραγομένων λιπαντικών και της μείωσης του κόστους παραγωγής.

Η περαιτέρω έρευνα στην κατεύθυνση αυτή μπορεί να εστιαστεί στην βελτίωση της συμπεριφοράς των αλγορίθμων πρόβλεψης, εισάγοντας σε αυτούς περισσότερα στοιχεία από τις παραμέτρους λειτουργίας της μονάδας παραγωγής λιπαντικών

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ

- I. Δρακάτος Γ. Κ.: «Στατιστική», 1984
- II. Λίπανση – Λιπαντικά: 1^ο Πανελλήνιο Συμπόσιο, Πρακτικά, 1992
- III. MOTOR OIL ΕΛΛΑΣ: «Γενικά περί Διυλιστηρίων και Σύντομη Περιγραφή Εγκαταστάσεων», 1986
- IV. Φ. Γιανούλης: Διπλωματική εργασία. «Ποιοτική συσχέτιση της χημικής σύστασης των τύπων αργού πετρελαίου Arabian light και Russian με την ποιότητα των ενδιάμεσων και παραγομένων εξ αυτών ορυκτελαίων.»
- V. Τριάντος Χρήστος : Διπλωματική εργασία « Πρόβλεψη αριθμού οκτανίων σε δείγματα βενζινών με νευρωνικά δίκτυα και φασματοσκοπία υπέρυθρου », 1999
- VI. Σταθερόπουλος Μ., Παππά Α.: «Χημειομετρία Θέματα Σύγχρονης Αναλυτικής Χημείας» Ε.Μ.Π. Τμήμα Χημικών Μηχανικών 1^η Έκδοση, Αθήνα, 1998
- VII. Στούρνας Σ., Λόης Ε., Ζαννίκος Φ.: «Τεχνολογία Καυσίμων και Λιπαντικών», Ε.Μ.Π. Τμήμα Χημικών Μηχανικών Εργαστήριο Τεχνολογίας και Λιπαντικών, 1997
- VIII. Καμπούρης Εμμ. : Σημειώσεις μαθήματος «Λιπαντικών Υλών». Καθηγητής Ε.Μ.Π., Αθήνα 1973
- IX. Επιχειρησιακό πρόγραμμα έρευνας και τεχνολογίας ΕΠΕΤ II : «Ανάπτυξη και πιλοτική εφαρμογή ολοκληρωμένου συστήματος αριστοποίησης της παραγωγής λιπαντελαίων στο διυλιστήριο της Motor Oil Ελλάς (optimoil)», Δεκέμβριος 2000
- X. Γαγάνης Βασίλειος : «Development of A.A.N models to predict PVT and physical properties of reservoir fluids» Μεταπτυχιακό δίπλωμα ειδίκευσης (Master) 1997
- XI. Murray R. Spiegel : «Πιθανότητες και στατιστική». Μετάφραση Σ. Περισίδης, καθηγητής πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, 1975

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ

- XII. Singh H., Gulati I.B., «Revue de l' Institut Français du Pétrole», **42**:493 (1987).
- XIII. Singh H., Swarup S., Chaudhary G.S., «Lubrication Engineering», **49**:276(1992).
- XIV. Shahab Mohaghegh, SPE, West Virginia U.: «Virtual-Intelligence Applications in Petroleum Engineering»: Part 1-Artificial Neural Networks, 2000.
- XV. Mohammad R. Riazi and Thomas E. Daubert : «Prediction of the composition of petroleum fractions». Department of chemical engineering, the Pennsylvania state university ,1980.
- XVI. Kevin Gurney : «An introduction to neural networks». University of Sheffield, British library, 1999.
- XVII. James G. Speight : «The chemistry and technology of petroleum». Second edition, 1991.
- XVIII. Kim H. Esbensen : «Multivariate data analysis». 4th edition, 2000.
- XIX. A. Mitchell, M.J Willis, M.T. Tham, S.S Bitar «Inferential estimation of viscosity index on a lubricant production plant» Department of chemical and process engineering, University of Newcastle (1996).
- XX. D. Godfrey, W.R.Herguth «Physical and chemical properties of mineral oils that affect lubrication» (1995).
- XXI. James A. Anderson, «An introductions to neural networks», Cambridge, (1995).
- XXII. Fausett Laurene «Fundamentals of neural networks: Architectures, Algorithms and application» (1994).
- XXIII. Paterson D.W. «Artificial neural networks. Theory and application» (1996).
- XXIV. Annema A. Johan «Feed-forward neural networks: Vector decomposition analysis ,modeling and analog implementation» (1996).