

ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΜΙΓΜΑΤΩΝ ΝΤΙΖΕΛ – ΒΙΟΝΤΙΖΕΛ**Β. Βασιλειάδης¹, Ι. Θ. Παπαγεωργίου¹, Χ. Κυρικλίδης¹, Κ. Τσανακτσίδης^{1*}, Ι. Α. Βασιλειάδου^{1*}**¹Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, Κοζάνη, Ελλάδα(*ivasiliadou@uowm.gr, ktsanaktisidis@uowm.gr)**ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Το Βιοντίζελ είναι μια ανανεώσιμη και φιλική προς το περιβάλλον εναλλακτική πηγή ενέργειας έναντι του συμβατικού Ντίζελ. Οποιοδήποτε φυτικό έλαιο ή ζωικό λίπος μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πρώτη ύλη για την παραγωγή Βιοντίζελ. Η χρήση μιγμάτων Βιοντίζελ με Ντίζελ για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών μπορεί να μειώσει σημαντικά τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, καθώς κατά την καύση του το Βιοντίζελ παράγει μικρότερες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα (CO₂). Επιπλέον, τα μίγματα Ντίζελ-Βιοντίζελ μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως καύσιμο σε υπάρχοντες κινητήρες Ντίζελ χωρίς να απαιτείται η τροποποίηση τους, ενώ η εκμετάλλευσή τους μειώνει την εξάρτηση από τις εισαγωγές πετρελαίου και τον αντίκτυπο των τιμών του πετρελαίου στην οικονομία. Μίγμα 93.3% Ντίζελ-6.7% Βιοντίζελ είναι εμπορικά διαθέσιμο σε πρατήρια καυσίμων στην Ελλάδα. Δεδομένου ότι η αύξηση του ποσοστού Βιοντίζελ σε μίγματα Ντίζελ-Βιοντίζελ στοχεύει στην αύξηση του περιβαλλοντικού και οικονομικού οφέλους, είναι απαραίτητη η γνώση των φυσικοχημικών ιδιοτήτων των μιγμάτων αυτών, όπως η πυκνότητα, το ειδικό βάρος, κτλ. Στόχος της παρούσας εργασίας ήταν η χρήση κατάλληλων μαθηματικών εξισώσεων, οι οποίες θα μπορούσαν να προβλέπουν τις φυσικοχημικές ιδιότητες μιγμάτων υπό διαφορετικές συνθήκες θερμοκρασίας και ποσοστών ανάμιξης. Η μαθηματική έκφραση ανάμιξης του Kay και η εξίσωση Tammann-Tait, χρησιμοποιήθηκαν για να περιγράψουν την εξάρτηση της πυκνότητας (ρ , kg/m³) των μιγμάτων από το ποσοστό ανάμιξης Βιοντίζελ (% κ.ο.) στο αρχικό Ντίζελ και τη μεταβολή της θερμοκρασίας (T, K). Επιπρόσθετα, μαθηματική εξίσωση χρησιμοποιήθηκε για την πρόβλεψη του ειδικού βάρους ή της σχετικής πυκνότητας (specific gravity, Sg) των μιγμάτων. Τα πειραματικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για τη βαθμονόμηση των μαθηματικών μοντέλων προήλθαν από την ανάμιξη Ντίζελ και Βιοντίζελ φυτικής προέλευσης. Η ακρίβεια στην πρόβλεψη των μαθηματικών μοντέλων πραγματοποιήθηκε με τη χρήση πειραματικών δεδομένων προερχόμενα από τη μελέτη επίδρασης των διαφορετικών ποσοστών ανάμιξης Βιοντίζελ-Ντίζελ (από 0% έως 100% Βιοντίζελ) στις φυσικοχημικές των μιγμάτων υπό διαφορετικές θερμοκρασίες (278 έως 298 K). Η ακρίβεια των προβλέψεων των μαθηματικών μοντέλων αξιολογήθηκε με τη χρήση δεικτών όπως Nash και Sutcliffe (E) και Relative root mean squared error (MSE%). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι μαθηματικές εξισώσεις που επιλέχθηκαν στην παρούσα εργασία ήταν ικανές να προβλέπουν με ακρίβεια (E έως 0.9988 και MSE 0.4%) την πυκνότητα και το ειδικό βάρος των μιγμάτων.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Ντίζελ, Βιοντίζελ, Ανάμιξη, Μαθηματική μοντελοποίηση, Φυσικοχημικές Ιδιότητες.**ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Τα τελευταία χρόνια έχει αναπτυχθεί σημαντικά η ερευνητική δραστηριότητα στην κατεύθυνση της μοντελοποίησης των ιδιοτήτων μιγμάτων Ντίζελ-Βιοντίζελ. Οι Ivaniš et al.^[1] προκειμένου να εκτιμήσουν την απόδοση του κινητήρα καύσης προσδιόρισαν ορισμένες βασικές ιδιότητες των καυσίμων κάτω από διάφορες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας με ιδιαίτερη έμφαση στην πυκνότητα και το ιξώδες των μιγμάτων. Τα πειραματικά τους δεδομένα για την πυκνότητα, προέκυψαν από τις αναμειξεις του Ντίζελ με 10% και 20% Βιοντίζελ (ηλίανθου), με εύρος θερμοκρασίας 293 - 413 K και πίεση 0.1-60 MPa. Χρησιμοποιώντας το νόμο του Kay παρατήρησαν ότι οι μετρούμενες πυκνότητες μειώνονται γραμμικά καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία. Επίσης, τα δεδομένα πυκνότητας προσαρμόστηκαν στην εξίσωση Tammann-Tait και τα αποτελέσματα

χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των παραγόμενων ιδιοτήτων, όπως είναι η πυκνότητα. Επιπρόσθετα, οι Tesfa et al.^[2] μελέτησαν το κατά πόσο οι φυσικοχημικές ιδιότητες, όπως η πυκνότητα και η θερμοκρασία, της ανάμιξης του Ντίζελ με φυτικό Βιοντίζελ (αραβοσίτου) επηρεάζουν τις ιδιότητες του καυσίμου. Τα μίγματα παρασκευάστηκαν σε βάση όγκου και οι πυκνότητες μετρήθηκαν στο εύρος των θερμοκρασιών 10-40°C. Οι ιδιότητες του φυτικού Βιοντίζελ και των μιγμάτων του αξιολογήθηκαν με τον προσδιορισμό άλλων σημαντικών ιδιοτήτων, όπως η θερμοκρασία του σημείου ανάφλεξης και η υψηλότερη τιμή θερμοκρασίας. Τα αποτελέσματα της μοντελοποίησης ήταν πολύ ικανοποιητικά. Τέλος, οι Gerpen et al.^[3] μελέτησαν πειραματικά και θεωρητικά με τη χρήση μοντέλων την εξάρτηση του Sg από τη θερμοκρασία. Στα πειράματα τους ανέμιξαν το Βιοντίζελ σε ποσοστά 75%, 50% και 10% με δύο τύπους Ντίζελ και τα μίγματα θερμάνθηκαν μέχρι τους 100°C. Τα αποτελέσματα για το ειδικό βάρος έδειξαν ότι το Βιοντίζελ και τα μίγματά του εξαρτώνται από τη θερμοκρασία.

Στην Ελλάδα, μέχρι στιγμής, πωλείται στα πρατήρια υγρών καυσίμων ένα μίγμα 93.3% Ντίζελ-6.7% Βιοντίζελ. Προκειμένου να αυξηθεί το ποσοστό του Βιοντίζελ που αναμειγνύεται με στόχο την προστασία του περιβάλλοντος αλλά και το οικονομικό όφελος, είναι απαραίτητο να έχουμε γνώση των ιδιοτήτων του μίγματος υπό διαφορετικές συνθήκες, για παράδειγμα θερμοκρασίας. Επιπρόσθετα, η έκχυση και η καύση του μίγματος καυσίμου Ντίζελ-Βιοντίζελ σε κινητήρες, πραγματοποιούνται σε υψηλές πιέσεις και μέτριες θερμοκρασίες. Η απόδοση του κινητήρα επηρεάζεται από παράγοντες όπως, η πυκνότητα του καυσίμου μίγματος, το ιξώδες, το ειδικό βάρος, κ.α. Οι φυσικοχημικές ιδιότητες αυτές εξαρτώνται από το ποσοστό (% κ.ο.) σε Βιοντίζελ του καυσίμου μίγματος^[1].

Με βάση τα παραπάνω, αντικείμενο της εργασίας, ήταν η εφαρμογή μαθηματικών μοντέλων ικανά να προβλέπουν τις ιδιότητες καυσίμου μίγματος, όπως είναι η πυκνότητα και το ειδικό βάρος, υπό διαφορετικές συνθήκες θερμοκρασίας και ποσοστών ανάμιξης Ντίζελ με φυτικό Βιοντίζελ. Η μαθηματική μοντελοποίηση είναι μια διαδικασία που χρησιμοποιεί τα μαθηματικά για να αναπαριστά, να αναλύει και να κάνει προβλέψεις ή να παρέχει με άλλο τρόπο πληροφορίες για τα πραγματικά φαινόμενα^[4].

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την εφαρμογή των μαθηματικών μοντέλων ήταν η εξής:

1. Πειραματική μελέτη των διεργασιών στο εργαστήριο:

Στην παρούσα εργασία η μελέτη μαθηματικής μοντελοποίησης βασίστηκε σε μια ειδικά σχεδιασμένη πειραματική μελέτη, η οποία διεξήχθη για τη διερεύνηση της επίδρασης διαφορετικών ποσοστών ανάμιξης Ντίζελ με φυτικό Βιοντίζελ (ξεκινώντας από 100% κ.ο. Ντίζελ (D100) και καταλήγοντας σε 100% κ.ο. Βιοντίζελ (B100)) στις φυσικοχημικές ιδιότητες του μίγματος, μεταβάλλοντας τις συνθήκες θερμοκρασίας από 278 έως 298 K. Η πειραματική μελέτη πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο Περιβαλλοντικής Τεχνολογίας του Τμήματος Χημικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας.

2. Επιλογή κατάλληλων μαθηματικών εκφράσεων.

Οι μαθηματικές εκφράσεις για την παρούσα εργασία επιλέχθηκαν από τη βιβλιογραφία καθώς κατά το παρελθόν έχουν πραγματοποιηθεί θεωρητικές προβλέψεις για τις φυσικοχημικές ιδιότητες της ανάμιξης Ντίζελ με Βιοντίζελ. Συγκεκριμένα, η μαθηματική έκφραση ανάμιξης του Kay, η εξίσωση Tammann-Tait καθώς και εμπειρικές εξισώσεις χρησιμοποιήθηκαν για να περιγράψουν την εξάρτηση της πυκνότητας (ρ , kg/m³) των μιγμάτων σε σχέση με το ποσοστό ανάμιξης (v %) Βιοντίζελ στο αρχικό Ντίζελ και τη μεταβολή της θερμοκρασίας (T , K)^[1]. Τέλος, μαθηματική εξίσωση χρησιμοποιήθηκε για την πρόβλεψη του ειδικού βάρους (specific gravity, Sg) των μιγμάτων^[3].

3. Βαθμονόμηση του μοντέλου συγκρίνοντας τις θεωρητικές προβλέψεις με τα πειραματικά δεδομένα.

Η βαθμονόμηση των επιλεγμένων μαθηματικών μοντέλων και η πρόβλεψη των φυσικοχημικών

ιδιοτήτων πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του λογισμικού Aquasim. Το λογισμικό Aquasim αναπτύχθηκε από το Ελβετικό Ομοσπονδιακό Ινστιτούτο Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας (EAWAG). Οι Reichert et al.^[5] δημιούργησαν αυτό το πρόγραμμα με σκοπό τη μοντελοποίηση συστημάτων χημικής μηχανικής, όπως η λειτουργία αντιδραστήρων, οι διεργασίες ανάμιξης και προσρόφησης, καθώς και την εκτίμηση παραμέτρων με βάση πειραματικά δεδομένα. Η εισαγωγή και η προσομοίωση των διαφόρων διεργασιών ή/και συστημάτων γίνεται με τη χρήση ενός συστήματος συνήθων και μερικών διαφορικών εξισώσεων ως προς το χρόνο και το χώρο σε συνδυασμό με αλγεβρικές εξισώσεις. Για τη βαθμονόμηση των μοντέλων, οι παράμετροι αυτών υπολογίστηκαν με τη χρήση του Aquasim, μέσω της ελαχιστοποίησης του αθροίσματος των τετραγώνων των αποκλίσεων ανάμεσα στα πειραματικά και τα υπολογιζόμενα από το μοντέλο δεδομένα (Μέθοδος ελαχίστων τετραγώνων). Η επίλυση των μαθηματικών εξισώσεων γίνεται με τη χρήση του αλγορίθμου DASSL^[6].

Το καθαρό Ντίζελ και το φυτικό Βιοντίζελ παραδόθηκαν στο Εργαστήριο Περιβαλλοντικής Τεχνολογίας από τα Ελληνικά Πετρέλαια με πιστοποιητικά ποιότητας. Οι φυσικοχημικές ιδιότητες του Ντίζελ και του Βιοντίζελ συνοψίζονται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1. Φυσικοχημικές ιδιότητες καυσίμων Ντίζελ/Βιοντίζελ με βάση τα πιστοποιητικά ποιότητας.

Παράμετρος	Μέθοδος ASTM	Τιμή	Μέθοδος ASTM	Τιμή
	Ντίζελ		Φυτικό Βιοντίζελ	
Πυκνότητα 15°C (gr/cm ³)	ENISO12185	0.821	ENISO12185	0.884
Σημείο ανάφλεξης (°C)	ENISO2719	56	ENISO3679	167
Κινηματικό ιξώδες (cSt)	ENISO3104	2.393		
Δείκτης κετανίου	ENISO4264	55.1	ENISO5165	52.3
Νερό Κ-F σε προϊόντα (ppm-w για Ντίζελ, mg/Kg για βιοντίζελ)	ENISO12937	105	ENISO14214	287
Αγωγιμότητα (Ps/cm)	-	2	-	-
Υγρασία (ppm)	-	-	ENISO12937	296.4
Οξύτητα (mgKOH/gr)	-	-	EN14104	0.24

Σύμφωνα με τον κανόνα ανάμιξης του Kay^[1] η πυκνότητα ενός μίγματος αυξάνεται γραμμικά όταν αυξάνεται το κλάσμα Βιοντίζελ (Εξίσωση 1). Το Ντίζελ και το Βιοντίζελ μοιράζονται συγκρίσιμα χημικά χαρακτηριστικά, αναμειγνύονται εζ' ολοκλήρου και είναι αμφότερα μη πολικά υγρά, υποδεικνύοντας ότι δεν αλληλοεπιδρούν και ότι οι όγκοι τους είναι ουσιαστικά προσθετικοί. Αυτό υποδηλώνει ότι το κλάσμα όγκου μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη θέση του μοριακού κλάσματος, μετασχηματίζοντας την Εξίσωση 1 στην Εξίσωση 2.

$$\rho_{blend} = \sum_{i=1}^n \rho_i X_i \quad (1)$$

$$\rho_{blend} = \sum_{i=1}^n v_i \rho_i \quad (2)$$

Όπου, ρ_{blend} είναι η πυκνότητα (gr/cm³) της ανάμιξης, x_i και v_i είναι το μοριακό και το κλάσμα όγκου, αντίστοιχα, του μεμονωμένου συστατικού του μίγματος, ρ_i είναι η πυκνότητά (gr/cm³) του συστατικού και n είναι ο αριθμός των μεμονωμένων συστατικών του μίγματος.

Η εξίσωση Tammann-Tait χρησιμοποιήθηκε για να συσχετίσει τις πυκνότητες του καθαρού Ντίζελ, του καθαρού Βιοντίζελ και των μιγμάτων τους σε πίεση 0.1 MPa και στην περιοχή θερμοκρασίας 278-298 K^[1].

$$\rho(T, p) = \frac{\rho^{ref}(T)}{1 - C \cdot \ln\left(\frac{B(T)+p}{B(T)+p^{ref}}\right)} \quad (3)$$

όπου το C είναι παράμετρος ανεξάρτητη από τη θερμοκρασία και $B(T)$ είναι μια παράμετρος που εξαρτάται από τη θερμοκρασία, η οποία μπορεί να υπολογιστεί από το ακόλουθο πολυώνυμο δεύτερης τάξης:

$$B(T) = \sum_{i=0}^2 b_i T^i \quad (4)$$

ρ^{ref} είναι η πυκνότητα του εξεταζόμενου δείγματος σε πίεση αναφοράς (p_{ref}) 1 MPa που μπορεί να υπολογιστεί το πολυώνυμο δεύτερης τάξης:

$$\rho^{ref}(T) = \sum_{i=0}^2 a_i T^i \quad (5)$$

Όπου, a_i , b_i και C είναι ρυθμιζόμενες παράμετροι.

Το Ειδικό βάρος (ή σχετική πυκνότητα) του πετρελαίου Ντίζελ και των μιγμάτων του με Βιοντίζελ επηρεάζονται από τη θερμοκρασία. Για την ανάπτυξη ενός μοντέλου πρόβλεψης του ειδικού βάρους, πραγματοποιήθηκαν πειράματα ανάμιξης Ντίζελ με Βιοντίζελ στα οποία μετρήθηκε το API (American Petroleum Institute) για τις προσμίξεις του Ντίζελ με φυτικό Βιοντίζελ. Το API είναι μια εμπειρική συνάρτηση του Ειδικού βάρους, που δίνεται από τη σχέση:

$$API_{gravity} = \frac{141.5}{Sg} - 131.5 \quad (6)$$

Οι Tat και Gerpen^[3], παρουσιάζουν μια συσχέτιση μεταξύ του ειδικού βάρους και της θερμοκρασίας χρησιμοποιώντας την ακόλουθη εξίσωση για το ειδικό βάρος.

$$Sg = a + bT \quad (7)$$

Όπου, Sg είναι το ειδικό βάρος του μίγματος, T είναι η θερμοκρασία μετρημένη σε Κ και a , b παράμετροι.

Η ακρίβεια της διαδικασίας μαθηματικής πρόβλεψης αξιολογήθηκε με τη χρήση του δείκτη αποτελεσματικότητας E των Nash και Sutcliffe (Εξίσωση 8) και του σχετικού μέσου σφάλματος (MSE%) (Εξίσωση 9), ο οποίος συγκρίνει τα θεωρητικά αποτελέσματα του συστήματος μαθηματικής μοντελοποίησης με τα πειραματικά δεδομένα.

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - S_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (8)$$

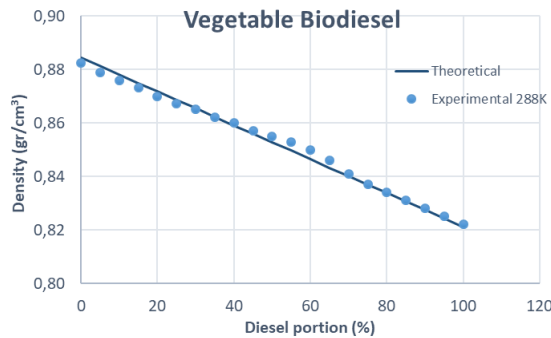
$$MSE(\%) = \frac{100}{\bar{Y}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - S_i)^2}{n}} \quad (9)$$

όπου n είναι ο αριθμός των πειραματικών δεδομένων, \bar{Y} είναι ο μέσος όρος των πειραματικά μετρούμενων τιμών και S_i είναι οι θεωρητικές τιμές που παράγονται από το μοντέλο και Y_i είναι πειραματικά μετρημένες τιμές.

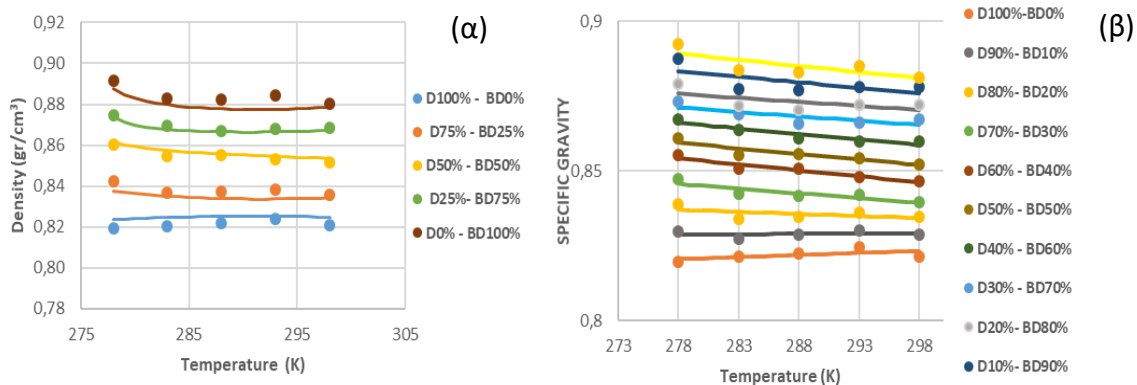
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η συσχέτιση μεταξύ των θεωρητικών προβλέψεων του κανόνα ανάμιξης του Kay (Εξίσωση 2) και των πειραματικών δεδομένων πυκνότητας που λήφθηκαν σε θερμοκρασία 288 Κ, παρουσιάζονται

στο Σχήμα 1. Παρατηρήθηκε ότι η μείωση των τιμών της πυκνότητας με την αύξηση της περιεκτικότητας του Ντίζελ στα μίγματα Ντίζελ-Βιοντίζελ, περιγράφεται επαρκώς από την Εξίσωση 2. Αυτό επαληθεύτηκε από την υψηλή τιμή του δείκτη $E=0.9902$ με $MSE=0.4\%$ για την ανάμιξη του Ντίζελ με φυτικό Βιοντίζελ. Η προσομοίωση της εξάρτησης της πυκνότητας από τη θερμοκρασία για διαφορετικά μίγματα Ντίζελ-Βιοντίζελ, σύμφωνα με την Εξίσωση Tamman-Tait, φαίνεται στο Σχήμα 2(α). Οι τιμές των παραμέτρων της εξίσωσης Tamman-Tait (b_0 (MPa), b_1 (MPa/K), b_2 (MPa/K²) και C), προέρχονται από τη βιβλιογραφία^[1]. Η πυκνότητα του μίγματος μειώνεται, καθώς αυξάνεται το ποσοστό της ανάμιξης Ντίζελ στο μίγμα. Επιπλέον, η πυκνότητα του μίγματος μειώνεται καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία στο μίγμα. Με βάση την αξιολόγηση της ακρίβειας του μαθηματικού μοντέλου, ο δείκτης απόδοσης για τα μίγματα του Ντίζελ με το φυτικό Βιοντίζελ είναι $E=0.2615-0.8346$ και το $MSE=0.1-0.4\%$. Οι παράμετροι a_0 (gr/cm³), a_1 (gr/cm³K) και a_2 (gr/cm³K²) υπολογίστηκαν από το Aquasim και οι τιμές τους φαίνονται στον Πίνακα 2. Οι προβλεπόμενες θεωρητικές και πειραματικές τιμές του ειδικού βάρους Sg , παρουσιάζονται στο Σχήμα 2(β). Οι θεωρητικές τιμές είναι κοντά στις πειραματικές τιμές, γεγονός που επιβεβαιώνεται από τα αποτελέσματα της αξιολόγησης των μιγμάτων του Ντίζελ με φυτικό Βιοντίζελ ($E=0.3049-0.9120$, $MSE=0.1\%$). Παρατηρείται ότι το Sg αυξάνεται καθώς αυξάνεται το ποσοστό της πρόσμιξης του Ντίζελ στο μίγμα. Τα αποτελέσματα των παραμέτρων a και b για το κάθε κλάσμα μίγματος Ντίζελ - Βιοντίζελ παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.



Σχήμα 1. Πειραματική και θεωρητική πρόβλεψη της ανάμιξης του ποσοστού (%) (diesel portion) Ντίζελ με Βιοντίζελ φυτικής προέλευσης σε σχέση με την πυκνότητα (density) (gr/cm³) σε σταθερή θερμοκρασία 288K.



Σχήμα 2. Πειραματική και θεωρητική πρόβλεψη της ανάμιξης του ποσοστού (%) (diesel portion) Ντίζελ με Βιοντίζελ φυτικής προέλευσης (α) σε σχέση με την πυκνότητα (gr/cm³) και την θερμοκρασία (K) και (β) σε σχέση με το ειδικό βάρος Sg και την θερμοκρασία (K).

Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στην παρούσα εργασία υποδεικνύουν ότι η μαθηματική μοντελοποίηση είναι ένα αποτελεσματικό εργαλείο για την πρόβλεψη των φυσικοχημικών ιδιοτήτων διαφορετικών μιγμάτων καυσίμων υπό ποικίλες συνθήκες ανάμιξης (0-100% Βιοντίζελ σε μίγματα) ή θερμοκρασίας (278-298 K).

Πίνακας 2. Αποτελέσματα των παραμέτρων της εξίσωσης Tammann-Tait από την ανάμιξη το φυτικού Βιοντίζελ με Ντίζελ.

Παράμετρος	D100–B0,	D75-B25	D50-B50,	D25-B75	D0-B100
a_0 (gr/cm ³)	-0.1543	2.4919	2.3069	4.5449	5.2909
a_1 (gr/cm ³ K)	0.0067	-0.0114	-0.0098	-0.0253	-0.0303
a_2 (gr/cm ³ K ²)	-1.14x10 ⁻⁵	1.95x10 ⁻⁵	1.64x10 ⁻⁵	4.34x10 ⁻⁵	5.19x10 ⁻⁵
b_0 (MPa)	400	400	400	400	400
b_1 (MPa/K)	-1.3	-1.31	-1.31	-1.31	-1.31
b_2 (MPa/K ²)	-0.001	0.001	0.001	0.001	0.001

Πίνακας 3. Αποτελέσματα των παραμέτρων της εξίσωσης 7 από την ανάμιξη φυτικού Βιοντίζελ με Ντίζελ.

Παράμετρος	D100– BD0	D90– BD10	D80– BD20	D70– BD30	D60– BD40	D50– BD50	D40– BD60	D30– BD70	D20– BD80	D10– BD90	D0– BD100
a	0.8199	0.8286	0.8377	0.8472	0.8562	0.8613	0.8679	0.8726	0.8772	0.8850	0.8913
b	0.0001	0.0001	-0.0001	-0.0003	-0.0004	-0.0004	-0.0004	-0.0003	-0.0003	-0.0004	-0.0004

Η μαθηματική μοντελοποίηση των χαρακτηριστικών μιγμάτων καυσίμων, αποτελεί ένα αποτελεσματικό εργαλείο για την πρόβλεψη και την αξιολόγηση των συνθηκών υπό τις οποίες μπορεί να αναμένεται καλή ποιότητα καυσίμου. Από τα διαγράμματα της πυκνότητας σε σχέση με τη θερμοκρασία και το ποσοστό ανάμιξης παρατηρείται ότι η πυκνότητα του μίγματος μειώνεται όσο αυξάνεται το ποσοστό της πρόσμιξης του Ντίζελ στο μίγμα Ντίζελ – Βιοντίζελ. Αυτό είναι αναμενόμενο καθώς το Ντίζελ έχει μικρότερη πυκνότητα από το Βιοντίζελ και η αύξηση του ποσοστού του στο μίγμα μειώνει την πυκνότητα του μίγματος. Επιπλέον, διαπιστώνεται ότι όσο αυξάνεται η θερμοκρασία του μίγματος, η τιμή της πυκνότητας μειώνεται. Από τα διαγράμματα του ειδικού βάρους σε σχέση με τη θερμοκρασία και τον λόγο ανάμιξης παρατηρείται ότι όσο αυξάνεται το ποσοστό της πρόσμιξης του Ντίζελ στο μίγμα Ντίζελ- Βιοντίζελ τόσο αυξάνεται και το ειδικό βάρος Sg . Επιπλέον, όσο η θερμοκρασία των μιγμάτων αυξάνεται τόσο μειώνεται το Sg . Για όλα τα εξεταζόμενα δείγματα, η τιμή του συντελεστή συσχέτισης και του σφάλματος των πυκνοτήτων που μετρήθηκαν και των πυκνοτήτων που υπολογίστηκαν με τις παραπάνω εξισώσεις επιβεβαιώνουν την ακρίβεια της μοντελοποίησης και την αξιοπιστία των υπολογισμένων παραγόμενων ιδιοτήτων.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα εργασία υλοποιήθηκε στα πλαίσια του μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών “Ενεργειακές Επενδύσεις και Περιβάλλον” του τμήματος Χημικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας. Ευχαριστούμε θερμά το Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, καθώς η δαπάνη της εργασίας «Μαθηματική μοντελοποίηση για την πρόβλεψη των φυσικοχημικών ιδιοτήτων μιγμάτων ντίζελ – βιοντίζελ» καλύφθηκε από τον τακτικό προϋπολογισμό του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Ivanis G, Ivona R, Radovic, Vlada B, Veljkovic, Kijevcanin Mirjana Lj. (2016). Biodiesel density and derived thermodynamic properties at high pressures and moderate temperatures, Fuel 165, 244-251.
- [2] Tesfa, Mishra, Powles. (2010). Prediction models for density and viscosity of biodiesel and their effects on fuel supply system in CI engines, Hyddersfiled.
- [3] Mustafa E. Tat and Jon H. Van Gerpen. (2000). The Specific Gravity of Biodiesel and Its Blends with Diesel Fuel, Iowa State University, Ames, Iowa 50011.
- [4] GAIMME. (2019). Guidelines for Assessment and Instruction in Mathematical Modeling Education.
- [5] Reichert P. (1998). Aquasim 2.0-User Manual, Computer Program for the identification and simulation of aquatic systems; EAWAG: Dübendorf, Switzerland (ISBN 3 906484 16 5).
- [6] Petzold LR. (1982) Description of DASSL: a differential/algebraic system solver. United States: N. p Web.