

ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΡΥΠΩΝ ΑΠΟ ΣΤΡΑΓΓΙΣΜΑΤΑ ΧΥΤΑ ΜΕ ΤΗ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ ΤΗΣ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗΣ

**Χ. Γενεθλιού¹, Δ. Γιαννάκης, Μ. Παπαγιάννη, Ε. Ε. Τριανταφυλλίδου¹, Α. Γ. Τεκερλεκοπούλου²,
Δ. Βαγενάς^{1*}**

¹Σχολή Χημικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα, Ελλάδα

²Τμήμα Διαχείρισης και Φυσικών Πόρων, Πανεπιστήμιο Πατρών, Αγρίνιο, Ελλάδα

(*dvagenas@chemeng.upatras.gr)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι εξαιρετικά μεγάλες ποσότητες στραγγισμάτων που παράγονται στους χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων (ΧΥΤΑ), αποτελούν μείζον περιβαλλοντικό πρόβλημα παγκοσμίως. Στη παρούσα εργασία μελετήθηκε η επεξεργασία ακατέργαστων στραγγισμάτων ΧΥΤΑ με τη διεργασία της προσρόφησης σε φυσικό ζεόλιθο, με χρήση αντιδραστήρων διαλείποντος έργου. Συγκεκριμένα, εξετάστηκε η επίδραση διαφόρων λειτουργικών παραμέτρων στην απομάκρυνση αμμωνιακού αζώτου (NH₄⁺-N), οργανικού φορτίου (Chemical Oxygen Demand – COD) και χρώματος του εν λόγω αποβλήτου, όπως η κοκκομετρία ζεόλιθου (0.930 μm, 0.710-1.0 mm, 2.0-2.8 mm, 4.0-5.0 mm), η ταχύτητα ανάδευσης (150-300 rpm), η δόση ζεόλιθου (3-333 g/L), καθώς και το pH (6-10). Οι βέλτιστες αποδόσεις, παρατηρήθηκαν με τη χρήση της κοκκομετρίας των 0.930 μm, ταχύτητα ανάδευσης 250 rpm, δόση ζεόλιθου 133 g/L και pH=8, επιτυγχάνοντας ποσοστό απομάκρυνσης NH₄⁺-N από 36.70±3.72 % έως και 53.67±0.29 %, στα 5 λεπτά της διεργασίας. Όσον αφορά στα ποσοστά απομάκρυνσης του COD και του χρώματος για τις ίδιες λειτουργικές συνθήκες, έφτασαν τις τιμές των 22.85±1.15 % και 27.53±1.72 %, αντίστοιχα.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η μέθοδος υγειονομικής ταφής είναι η κύρια εφαρμοζόμενη μέθοδος για την τελική διάθεση των αστικών στερεών αποβλήτων στην Ελλάδα, υπερβαίνοντας το 80%^[1-3]. Αποτελεί μία σχετικά απλή και οικονομική διεργασία που στοχεύει στην σταθεροποίηση του αποβλήτου, χρησιμοποιώντας φυσικά μεταβολικά μονοπάτια^[4]. Ωστόσο οι μεγάλες ποσότητες στραγγισμάτων που παράγονται στους χώρους υγειονομικής ταφής (ΧΥΤΑ)^[5], ενδέχεται να προκαλέσουν σημαντικά μακροχρόνια προβλήματα σε ολόκληρο το οικοσύστημα, σε περίπτωση μη κατάλληλης λειτουργίας του ΧΥΤΑ ή/και μη επεξεργασίας τους, συμπεριλαμβανομένης της ρύπανσης του περιβάλλοντος εδάφους, των υπόγειων και των πλησιέστερων επιφανειακών υδάτων και τη διασπορά μικρο-ρύπων στην ατμόσφαιρα, θέτοντας σε κίνδυνο την ανθρώπινη υγεία^[1, 3].

Τα στραγγίσματα ΧΥΤΑ παράγονται ως αποτέλεσμα της διήθησης των όμβριων υδάτων διαμέσου των στερεών αποβλήτων, των βιοχημικών, χημικών και φυσικών αντιδράσεων τους, καθώς και της εγγενούς περιεχόμενης υγρασίας τους^[1]. Πρόκειται για εξαιρετικά ρυπογόνα απόβλητα, καθώς χαρακτηρίζονται από υψηλές συγκεντρώσεις σε αμμωνιακό άζωτο (NH₄⁺-N), οργανικές ενώσεις (αποικοδομήσιμες και μη,) που ποσοτικοποιούνται ως χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (Chemical Oxygen Demand -COD)^[3], βαρέα μέταλλα (όπως, χαλκός, σίδηρος, ψευδάργυρος, μόλυβδος, μαγγάνιο κτλ.), χλωριωμένα οργανικά και ανόργανα άλατα^[1]. Η φύση και η ηλικία των εναποτεθέντων αποβλήτων, τα χαρακτηριστικά του εδάφους, οι βροχοπτώσεις, ο τρόπος λειτουργίας και η ηλικία του ΧΥΤΑ, επηρεάζουν σε σημαντικό βαθμό το ποιοτικό και ποσοτικό περιεχόμενο του υγρού αποβλήτου^[1, 3]. Ακόμη και μετά το πέρας της λειτουργίας του ΧΥΤΑ, θα συνεχίζεται η παραγωγή στραγγίσματος και η συγκεκριμένη διαδικασία δύναται να κρατήσει για 30-50 χρόνια, προκαλώντας μακροχρόνιες αρνητικές επιπτώσεις στο οικοσύστημα και χρήζει άμεσης και αποτελεσματικής επεξεργασίας, πριν την διάθεσή του σε φυσικούς αποδέκτες^[1].

Διάφορες βιολογικές και φυσικοχημικές διεργασίες έχουν προταθεί για την επεξεργασία των

στραγγισμάτων ΧΥΤΑ. Συγκεκριμένα, οι βιολογικές διεργασίες, αφορούν αερόβιες μεθόδους επεξεργασίας (αεριζόμενες λίμνες, τεχνητούς υγροβιότοπους, αερόβιους αντιδραστήρες), καθώς και αναερόβιες-ανοξικές μεθόδους (αναερόβιους αντιδραστήρες, διεργασία ANAMMOX). Στις φυσικοχημικές μεθόδους επεξεργασίας, συμπεριλαμβάνονται οι κροκκίδωση/καθίζηση, διήθηση με μεμβράνες (υπερδιήθηση-UF, μικροδιήθηση-MF, νανοδιήθηση-NF), απαερίωση (airstripping), προσρόφηση σε ενεργό άνθρακα και ζεόλιθο, χημική καθίζηση, διεργασίες προηγμένης οξειδωσης-AOPs, διεργασία ιοντοανταλλαγής, κατεργασία Fenton, φωτοκατάλυση καθώς και ηλεκτροχημικές μεθόδους (ηλεκτροκροκκίδωση-EC, ηλεκτροχημική οξείδωση-EO) [3].

Η διεργασία της προσρόφησης σε ζεόλιθο θεωρείται μία από τις πλέον υποσχόμενες μεθόδους επεξεργασίας των στραγγισμάτων ΧΥΤΑ, λόγω του χαμηλού κόστους και της απλής εφαρμογής της. Συγκεκριμένα, ο ρύπος μεταφέρεται από το στράγγισμα στην επιφάνεια του προσροφητικού μέσου, σχηματίζοντας φυσικές ή/και χημικές αλληλεπιδράσεις. Σύμφωνα με τα μέχρι τώρα βιβλιογραφικά δεδομένα, ο ζεόλιθος (φυσικός ή/και τροποποιημένος) θεωρείται ένα ιδιαίτερα αποδοτικό προσροφητικό μέσο για την απομάκρυνση ρύπων, ειδικότερα για το $\text{NH}_4^+\text{-N}$, καθώς συμπεριφέρεται ως ιοντοανταλλάκτης [6].

Το αντικείμενο της παρούσας μελέτης αφορά στον προσδιορισμό της απόδοσης της διεργασίας της προσρόφησης σε φυσικό ζεόλιθο, για την επεξεργασία των στραγγισμάτων ΧΥΤΑ. Για τη επίτευξη του στόχου έλαβαν χώρα πειράματα διαλείποντος έργου, με χρήση ακατέργαστου στραγγίσματος ΧΥΤΑ, εξετάζοντας την επίδραση διαφόρων λειτουργικών παραμέτρων (όπως, κοκκομετρία ζεόλιθου, ταχύτητα ανάδευσης, δόση ζεόλιθου, pH) στην απομάκρυνση του COD και $\text{NH}_4^+\text{-N}$ από το στράγγισμα, καθώς και τον αποχρωματισμό του.

2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

2.1. Προέλευση και χαρακτηρισμός στραγγίσματος ΧΥΤΑ και ζεόλιθου

Φυσικός ζεόλιθος προμηθεύτηκε από την βιομηχανία S&B Industrial Minerals AD, η οποία βρίσκεται στην Καρδάλια της Βουλγαρίας. Η χημική ορυκτολογική του σύσταση αποτελείται κυρίως από κλινοπτιλόλιθο σε ποσοστό 85%, καθώς και από άστριο, μαρμαρυγίες και αργίλους σε ποσοστό 15%. Διάφορα χαρακτηριστικά του ζεόλιθου αναγράφονται στον **Πίνακα 1**. Το δείγμα ζεόλιθου κοσκινίστηκε σε 4 διαφορετικές κοκκομετρίες (0.930 μm, 0.710-1.0 mm, 2.0-2.8mm, 4.0-5.0 mm). Ακολούθως, πλύθηκε με απιονισμένο νερό για την απομάκρυνση ακαθαρσιών και ξηράθηκε στους 100 °C πριν από τη χρήση στα πειράματα διαλείποντος έργου.

Τα δείγματα στραγγισμάτων ΧΥΤΑ συλλέχθηκαν από τον δημοτικό ΧΥΤΑ στον Φλόκα Αχαΐας, και αποθηκεύτηκαν στην κατάψυξη, στους -18 °C. Τα χαρακτηριστικά του στραγγίσματος παρουσιάζονται στον **Πίνακα 1**.

Πίνακας 1. Χαρακτηριστικά ζεόλιθου και στραγγισμάτων ΧΥΤΑ.

Χαρακτηριστικά	Παράμετρος	Τιμή
Ζεόλιθου	$\text{C}_{\text{NH}_4^+\text{-N in}}$ (mg/L)	600-1000
	$\text{C}_{\text{COD in}}$ (mg/L)	1500-2600
	pH _{in}	8-8.5
Στραγγισμάτων ΧΥΤΑ	Μέγεθος πόρων (nm)	11.44
	Ειδική επιφάνεια (BET) (m^2/g)	29.95
	Ικανότητα κατιοντοανταλλαγής(CEC) (meq/g)	1.5
	Απώλεια ανάφλεξης (1050 °C) (%)	8.23

2.2. Πειράματα προσρόφησης διαλείποντος έργου

Τα πειράματα προσρόφησης διαλείποντος έργου διεξήχθησαν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος (25 ± 2 °C), τοποθετώντας 300 mL ακατέργαστου στραγγίσματος ΧΥΤΑ σε ποτήρια ζέσεως όγκου 600

mL. Εξετάστηκε η επίδραση διαφόρων λειτουργικών παραμέτρων στη διεργασία της προσρόφησης (απομάκρυνση $\text{NH}_4^+\text{-N}$, COD και χρώματος) όπως η κοκκομετρία (0.930 μm , 0.710-1.0 mm, 2.0-2.8 mm, 4.0-5.0 mm), η ταχύτητα ανάδευσης (150, 200, 250, 300rpm), η δόση ζεόλιθου (3, 33, 67, 100, 133, 217, 333 g/L) και το pH (6, 8, 10). Τα πειράματα για την επίδραση της κοκκομετρίας διεξήχθησαν σε υδατόλουτρο με ταχύτητα ανάδευσης 100 rpm, ενώ τα πειράματα για τις υπόλοιπες παραμέτρους (ταχύτητα ανάδευσης, δόση ζεόλιθου, pH) πραγματοποιήθηκαν σε συσκευή jar tester για την καλύτερη ανάμειξη του προσροφητικού υλικού με το απόβλητο.

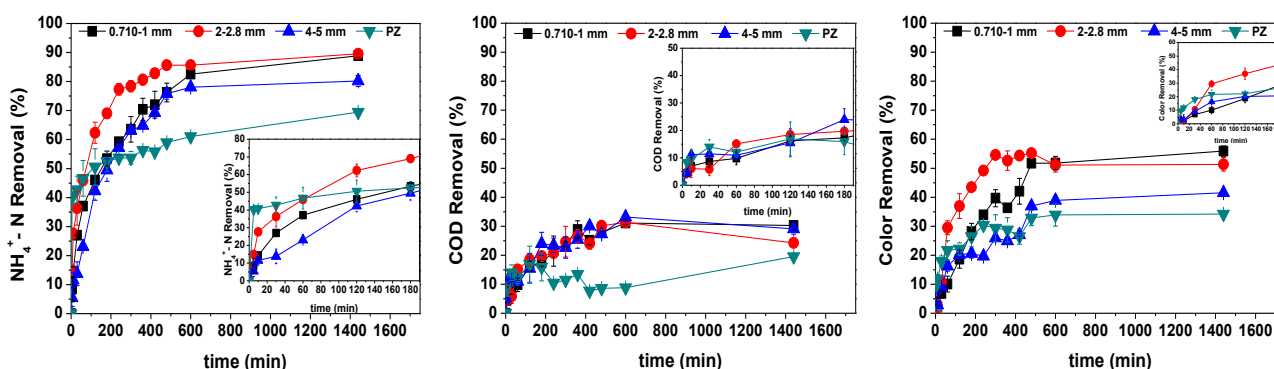
2.3. Αναλυτικές τεχνικές

Η συγκέντρωση του αμμωνιακού αζώτου μετρήθηκε σύμφωνα με τη μέθοδο Salicylate [7], ενώ το COD και το χρώμα προσδιορίστηκαν σύμφωνα με το Standard Methods [8].

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1. Επίδραση της κοκκομετρίας

Διαφορετικές κοκκομετρίες (0.930 μm , 0.710-1.0 mm, 2.0-2.8 mm, 4.0-5.0 mm) ζεόλιθου εξετάστηκαν σε πειράματα χρονικής διάρκειας 24 ωρών (1440 λεπτά), σε αναλογία 250 g ζεόλιθου ανά λίτρο στραγγίσματος. Στο **Σχήμα 1** δίνονται τα ποσοστά απομάκρυνσης των ρύπων ($\text{NH}_4^+\text{-N}$, COD) και του χρώματος για τα προαναφερόμενα πειράματα με αρχική συγκέντρωση $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 1000 mg/L. Από το **Σχήμα 1** γίνεται αντιληπτό ότι η απομάκρυνση $\text{NH}_4^+\text{-N}$ από το ζεόλιθο πραγματοποιείται πολύ γρήγορα, εντός των πρώτων 180 λεπτών του χρόνου επαφής, ανεξάρτητα από το μέγεθος των κόκκων. Αξιοσημείωτο είναι ότι η κοκκομετρία 0.930 μm παρουσιάζει σημαντικά ποσοστά απομάκρυνσης $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ($40.23 \pm 2.50\%$) ήδη στα πρώτα 5 λεπτά της διεργασίας της προσρόφησης. Όσο αφορά την κοκκομετρία 2.0-2.8mm εμφανίζει τα υψηλότερα ποσοστά απομάκρυνσης $\text{NH}_4^+\text{-N}$, COD και χρώματος συνολικά, μετά από 180 λεπτά πειραματικής διαδικασίας ($89.57 \pm 0.30\%$, $24.23 \pm 1.25\%$ και $51.34 \pm 2.34\%$, αντίστοιχα). Η κοκκομετρία 0.710-1.0 mm, οδηγεί σε τελικές απομακρύνσεις $\text{NH}_4^+\text{-N}$, COD και χρώματος ίσες με $88.89 \pm 0.50\%$, $30.27 \pm 1.44\%$ και $55.90 \pm 1.76\%$, αντίστοιχα. Όσον αφορά την κοκκομετρία 4.0-5.0 mm αφαιρεί το $\text{NH}_4^+\text{-N}$, το COD και το χρώμα σε ποσοστά $80.20 \pm 1.86\%$, $29.08 \pm 1.78\%$ και $41.58 \pm 0.79\%$, αντίστοιχα. Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω αποτελέσματα σε όλα τα πειράματα προσρόφησης διαλείποντος έργου που επακολούθησαν, χρησιμοποιήθηκε η κοκκομετρία των 0.930 μm , εξαιτίας του υψηλού ρυθμού απομάκρυνσης $\text{NH}_4^+\text{-N}$ από το στραγγισμα.

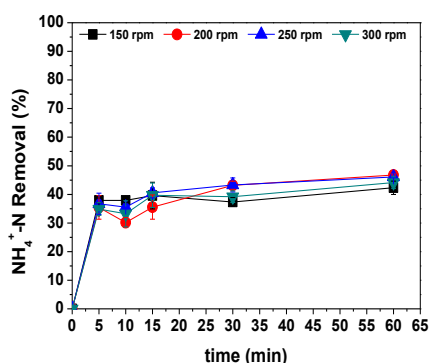


Σχήμα 1. Επίδραση της κοκκομετρίας στην απομάκρυνση $\text{NH}_4^+\text{-N}$, COD και χρώματος ($T=25 \pm 2$ °C, $\text{pH}=8.51$, 100 rpm, 250 g_{zeol}/L, $C_{\text{inNH}_4^+\text{-N}}=1000$ mg/L).

3.2. Επίδραση ταχύτητας ανάδευσης

Στη συνέχεια, μελετήθηκε η επίδραση της ταχύτητας ανάδευσης στην απόδοση της διεργασίας. Πειράματα πραγματοποιήθηκαν με ανάδευση, από 150 έως 300 rpm, χρησιμοποιώντας 30g δείγματος ζεόλιθου (100 g/L), σε πειράματα διάρκειας 60 λεπτών με αρχική συγκέντρωση $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 900 mg/L. Από το **Σχήμα 2** παρατηρείται ότι η απομάκρυνση του $\text{NH}_4^+\text{-N}$ δεν επηρεάζεται ιδιαίτερα

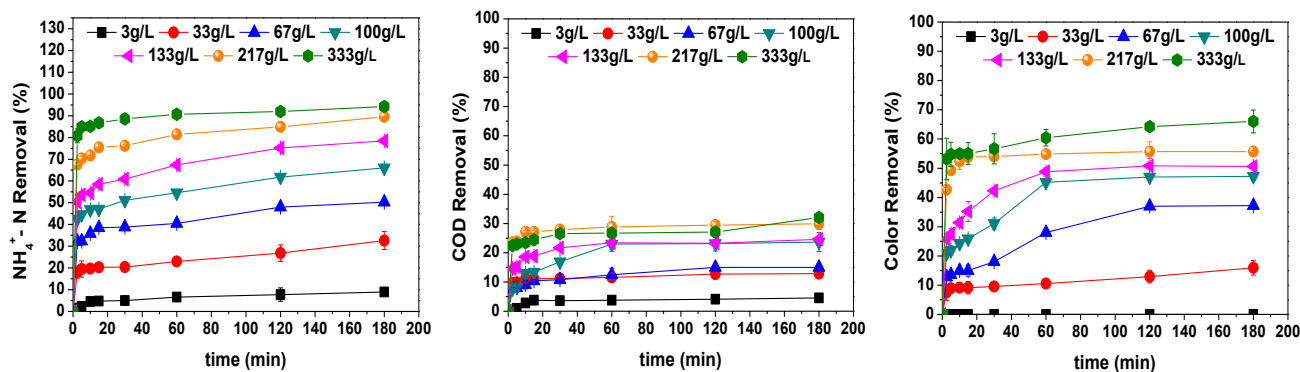
από τον ρυθμό ανάδευσης (42.31 ± 2.33 %-150rpm, 46.75 ± 0.34 %-200 rpm, 46.11 ± 0.06 %-250 rpm, 44.13 ± 2.01 %-300 rpm). Να επισημανθεί ότι η ταχύτητα ανάδευσης των 250 rpm παρουσίασε συνολικά τις μεγαλύτερες απομακρύνσεις, και ως εκ τούτου επιλέχθηκε ως η βέλτιστη ταχύτητα ανάδευσης.



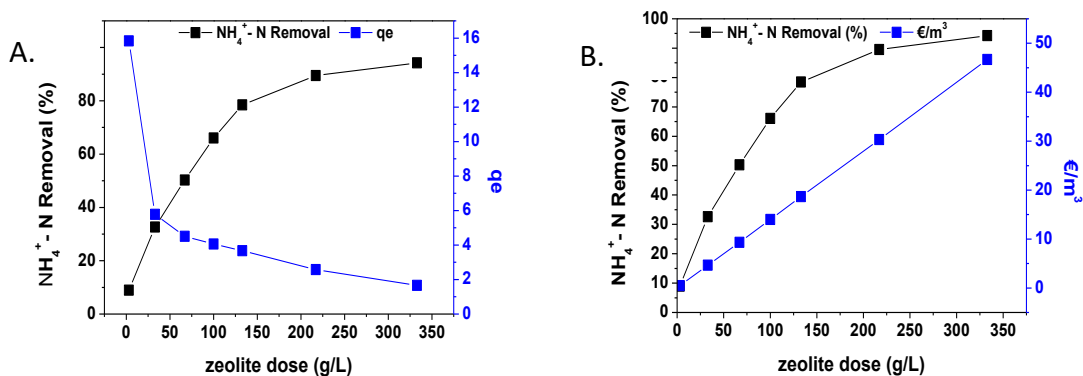
Σχήμα 2. Επίδραση της ταχύτητας ανάδευσης στην απομάκρυνση $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ($T=25 \pm 2$ °C, $\text{pH}=8.313$, $100 \text{ g}_{\text{zeol}}/\text{L}$, $C_{\text{inNH}_4^+\text{-N}}=900 \text{ mg/L}$).

3.3. Επίδραση της δόσης ζεόλιθου

Τα επόμενα πειράματα που έλαβαν χώρα είχαν στόχο τη μελέτη της επίδρασης της δόσης του προσροφητικού μέσου στη απόδοση της διεργασίας. Συγκεκριμένα, εξετάστηκαν ποσότητες ζεόλιθου μεταξύ 3 και 333 g/L με αρχική συγκέντρωση $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 600 mg/L (**Σχήμα 3**, **Σχήμα 4A**). Από τα **Σχήματα 3** και **4A**, παρατηρείται ότι αύξηση της δόσης ζεόλιθου οδήγησε σε αύξηση των ποσοστών απομάκρυνσης $\text{NH}_4^+\text{-N}$ από $1.54 \pm 0,00$ σε 80.76 ± 3.24 % στα 2.5 λεπτά, και από 8.93 ± 0.23 σε 94.26 ± 0.27 % στα 180 λεπτά, όταν η δόση αυξήθηκε από 3 g/L σε 333 g/L (**Σχήμα 3**). Ήδη από τα πρώτα 2.5 λεπτά παρουσιάζονται υψηλά ποσοστά απομάκρυνσης $\text{NH}_4^+\text{-N}$ σε όλες τις δόσεις ζεόλιθου ($1.54 \pm 0,00\%$ - 3g/L, $18.08 \pm 2.75\%$ - 33g/L, $32.21 \pm 0.16\%$ - 67 g/L, $42.42 \pm 1.22\%$ - 100g/L, $50.37 \pm 1.55\%$ - 133g/L, $67.50 \pm 0.80\%$ - 217g/L, $80.76 \pm 3.24\%$ - 333 g/L). Αυτό παρατηρείται καθώς σε μεγαλύτερες δόσεις προσροφητικού μέσου είναι διαθέσιμες περισσότερες ενεργές θέσεις προσρόφησης για το $\text{NH}_4^+\text{-N}$, γεγονός που επιταχύνει την διαδικασία της προσρόφησης. Ωστόσο, μετά την δόση των 133 g/L, δεν παρατηρείται ιδιαίτερη αύξηση στην απομάκρυνση $\text{NH}_4^+\text{-N}$, γεγονός που υποδηλώνει την ισορροπία μεταξύ των ιόντων που δεσμεύονται στον ζεόλιθο και των ελεύθερων ιόντων. Επιπλέον, η αύξηση της δόσης οδηγεί σε μείωση της ικανότητας προσρόφησης, το οποίο επαληθεύεται από την σχέση υπολογισμού της ικανότητας προσρόφησης, $q_e = (C_{\text{in}} - C_e) * V / g_{\text{zeol}}$ ^[9] (**Σχήμα 4A**). Τα ποσοστά απομάκρυνσης του COD που επιτεύχθηκαν με αύξηση της δόσης από 3 g/L σε 333 g/L κυμαίνονταν από $0.48 \pm 0.13\%$ έως 22.25 ± 0.63 % στα 2.5 λεπτά και από 4.56 ± 1.46 % έως 32.06 ± 0.19 % στα 180 λεπτά, ενώ του χρώματος από 0 σε 53.20 ± 7.08 % στα 2.5 λεπτά και από 0 σε 66.02 ± 3.91 % για τα 180 λεπτά (**Σχήμα 3**). Η δόση των 133 g/L επιλέχθηκε ως η βέλτιστη δόση ζεόλιθου για τα επακόλουθα πειράματα προσρόφησης, καθώς είναι η χαμηλότερη δυνατή δόση προσροφητικού μέσου που παρέχει μία αρκετά υψηλή απομάκρυνση $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ($50.37 \pm 1.55\%$ - 2.5 λεπτά, $78.49 \pm 0.50\%$ - 180 λεπτά), ενώ ταυτόχρονα το κόστος της είναι αρκετά χαμηλότερο συγκριτικά με το κόστος των 217 g/L και 333 g/L (18.67 €/m^3 έναντι 30.33 €/m^3 και 46.67 €/m^3 , αντίστοιχα) (**Σχήμα 4B**).



Σχήμα 3. Επίδραση της δόσης ζεόλιθου στην απομάκρυνση NH_4^+-N , COD και χρώματος ($T=25\pm 2$ °C, $\text{pH}=8.313$, 250 rpm, $C_{\text{inNH}_4^+-\text{N}}=600$ mg/L).

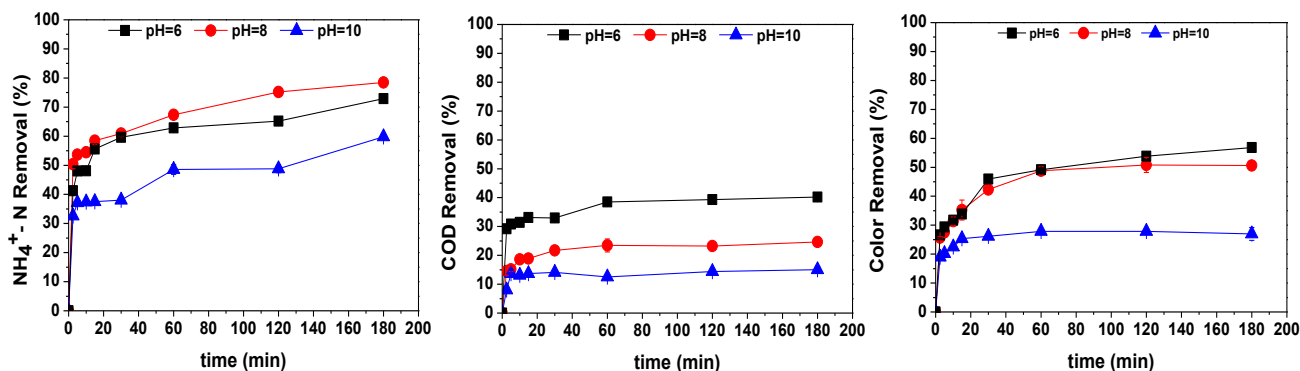


Σχήμα 4.A. Επίδραση της δόσης ζεόλιθου στην απομάκρυνση NH_4^+-N και στην ικανότητα προσρόφησης του (q_e), **B.** Επίδραση της δόσης ζεόλιθου στην απομάκρυνση NH_4^+-N και στο κόστος του ($T=25\pm 2$ °C, $\text{pH}=8.313$, 250 rpm, $C_{\text{inNH}_4^+-\text{N}}=600$ mg/L).

3.4. Επίδραση pH

Η επίδραση του pH ως προς την απομάκρυνση NH_4^+-N , COD και χρώματος αξιολογήθηκε ρυθμίζοντας το pH είτε με την προσθήκη θεικού οξέος (H_2SO_4), είτε με διάλυμα υδροξειδίου του νατρίου (NaOH), ώστε να μένει σταθερό καθ' όλη την διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας και με δόση ζεόλιθου 133 g/L. Οι τιμές pH που μελετήθηκαν (6, 8 και 10) επιλέχθηκαν με βάση το ισοηλεκτρικό σημείο του ζεόλιθου που μελετάται, το οποίο βρέθηκε ίσο με 4.08, ενώ προηγούμενες μελέτες έχουν αναφέρει απώλειες μάζας από διάλυση, καθώς και απαλουμίνωση του ζεόλιθου σε χαμηλές τιμές pH^[10]. Σε pH=8 (το οποίο είναι και το pH του στραγγίσματος) εμφανίζεται το υψηλότερο ποσοστό απομάκρυνσης NH_4^+-N (78.49 ± 0.50 %) (**Σχήμα 5**). Σε pH=10, το ποσοστό απομάκρυνσης NH_4^+-N είναι χαμηλότερο συγκριτικά με το ποσοστό απομάκρυνσης NH_4^+-N στις περιοχές pH=6 και 8 (κατά 17.97% και 23.82%, αντίστοιχα), καθώς η χημική ισορροπία οδηγεί σε σχηματισμό NH_3 . Το ποσοστό απομάκρυνσης NH_4^+-N μειώθηκε κατά 7.13% με μείωση του pH από 8 σε 6, γεγονός που οφείλεται σε πιθανόν ανταγωνισμό μεταξύ των κατιόντων υδρογόνου, H^+ και των αμμωνιακών κατιόντων, NH_4^+ , στην επιφάνεια του ζεόλιθου^[10].

Όσον αφορά τα ποσοστά απομάκρυνσης COD, καλύτερη απόδοση παρατηρήθηκε στην τιμή του pH=6, με ποσοστό απομάκρυνσης 40.20 ± 0.80 %, μετά από 180 λεπτά διεργασίας. Τα πειράματα προσρόφησης σε pH=6 παρουσίασαν παρόμοια ποσοστά απομάκρυνσης χρώματος με εκείνα στο pH=8 (56.81 ± 0.64 % και 50.61 ± 1.14 %, αντίστοιχα). Ωστόσο, στοχεύοντας σε μια απλή και οικονομική διεργασία, χρησιμοποιώντας λιγότερα χημικά, αλλά αποδοτική από άποψης αφαίρεσης των ρύπων, κυρίως του NH_4^+-N , επιλέχθηκε το pH=8 χωρίς ρύθμιση, ως το βέλτιστο pH, προκειμένου να εφαρμοστεί σε επικείμενα πειράματα προσρόφησης.



Σχήμα 5. Επίδραση του pH στην απομάκρυνση $\text{NH}_4^+\text{-N}$, COD και χρώματος ($T=25\pm 2$ °C, $133\text{g}_{\text{zeol/L}}$, 250 rpm, $C_{\text{inNH}_4^+\text{-N}}=600$ mg/L).

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η επεξεργασία στραγγισμάτων ΧΥΤΑ με τη διεργασία της προσρόφησης πραγματοποιώντας πειράματα προσρόφησης διαλείποντος έργου με χρήση φυσικού ζεόλιθου. Εξετάστηκε η επίδραση διαφόρων λειτουργικών παραμέτρων, όπως η κοκκομετρία ζεόλιθου (0.930μm, 0.710-1.0 mm, 2.0-2.8 mm, 4.0-5.0 mm), η ταχύτητα ανάδευσης (150-300 rpm), η δόση ζεόλιθου (3-333 g/L) και το pH (6-10) στην απομάκρυνση των ρύπων $\text{NH}_4^+\text{-N}$ και COD από ακατέργαστο στραγγισμα ΧΥΤΑ, καθώς και στον αποχρωματισμό του. Οι βέλτιστες αποδόσεις, παρατηρήθηκαν με τη χρήση της κοκκομετρίας των 0.930 μm, ταχύτητα ανάδευσης 250 rpm, δόση ζεόλιθου 133 g/L και pH=8, επιτυγχάνοντας ποσοστό απομάκρυνσης $\text{NH}_4^+\text{-N}$ από 36.70 ± 3.72 % έως και 53.67 ± 0.29 %, στα πρώτα 5 λεπτά της διεργασίας. Όσον αφορά στα ποσοστά απομάκρυνσης του COD και του χρώματος για τις ίδιες λειτουργικές συνθήκες, έφτασαν τις τιμές των 22.85 ± 1.15 % και 27.53 ± 1.72 %, αντίστοιχα.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η διδακτορική διατριβή υλοποιήθηκε με υποτροφία του ΙΚΥ η οποία χρηματοδοτήθηκε από την πράξη «ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟΥ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΜΕΣΩ ΤΗΣ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ» από πόρους του ΕΠ «Ανάπτυξη Ανθρώπινου Δυναμικού, Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση», 2014-2020.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] C.K. Lim, T.W. Seow, C.H. Neoh, M.H.M. Nor, M.Z. Ibrahim, I. WareandS.H.M Sarip. 3 Biotech2(6)(2016) 195.
- [2] T.H.Martins, T.S. Souza and E. Foresti. Journal of Environmental Chemical Engineering5(1) (2017) 63-68.
- [3] V. Torretta, N. Ferronato, I.A. Katsoyiannis, A.K. Tolkou and M. Airoidi. Sustainability 9(1) (2016) 1-39.
- [4] A. Yalcuk and A. Ugurlu. Bioresource technology 100(9) (2009) 2521-2526.
- [5] T.V. Nooten, L. Diels and L. Bastiaens. Environmental science & technology42(23) (2008) 8890-8895.
- [6] M.J. Bashir, T.M. Xian, A. Shehzad, S. Sethupahi, N. Choon Aun, S. Abu Amr. Geosystem Engineering 20(1) (2017) 9-20.
- [7] H. Verdouw, C.J.A. Van Echteld and E.M.J. Dekkers. Water Research 12 (1977) 399-402.
- [8] L.S. Clesceri, A.E. Greenberg, R.R. Trussell, A. American Public Health, A. American Water Works, F. Water Pollution Control, American Public Health Association, Washington, DC, 1989.
- [9] C. Song, S. Wu, M. Cheng, P. Tao, M. Shao and G. Gao. Sustainability6(1) (2014) 86-98.
- [10] R. Sánchez-Hernández, I. Padilla, S. López-Andrés, and A. López-Delgado. International Journal of Chemical Engineering (2018).