

Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΕΞΑΣΘΕΝΟΥΣ ΣΙΔΗΡΟΥ ΣΤΗΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ**Ε.Κουζιάκη¹, Η. Ριστάνης¹, Γ. Τριανταφύλλου¹, Λ. Κέμμου¹, Χ. Μαυροματίδου¹, Ε. Αμανατίδου*¹**¹Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, Κοζάνη, Ελλάδα(*eamanatidou@uowm.gr)**ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Η ανάπτυξη νέων τεχνικών επεξεργασίας νερού για την απομάκρυνση ανθεκτικών οργανικών ρύπων, κυρίως φαρμακευτικών προϊόντων, χρωστικών ουσιών και φαινολικών ενώσεων, είναι αναγκαία. Η χρήση προηγμένων διεργασιών οξειδωσης έχει προσελκύσει το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας για την απομάκρυνση τέτοιων οργανικών μικρορύπων.

Τα τελευταία έτη αρκετές έρευνες έχουν στραφεί στην εφαρμογή μιας νέας προηγμένης μεθόδου οξειδωσης με χρήση εξασθενούς σιδήρου, Fe(VI), λόγω των ιδιοτήτων του, όπως η εκλεκτική δραστηριότητα, η οξειδωτική ισχύς και τα μη τοξικά παραπροϊόντα αναγωγής του. Ειδικότερα, έχει σημειωθεί πρόοδος στις εφαρμογές του στην επεξεργασία υδάτων και υγρών αποβλήτων ως ένα αποτελεσματικό οξειδωτικό, κροκιδωτικό και απολυμαντικό, παρόλα αυτά δεν βρίσκει ευρεία εφαρμογή σε πλήρη κλίμακα.

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η παρασκευή και η χρήση του Fe(VI) στην οξειδωση οργανικών και φαινολικών ενώσεων σε απόβλητα βιομηχανίας επεξεργασίας ελιάς καθώς και η κροκιδωτική ικανότητα αυτού. Μελετήθηκε επίσης η απολυμαντική δράση του Fe(VI) σε επεξεργασμένα υγρά απόβλητα βιομηχανίας παραγωγής τυποποιημένων πρόχειρων γευμάτων (snacks).

Το διάλυμα του Fe(VI) παρασκευάστηκε στο εργαστήριο ηλεκτροχημικά και μελετήθηκε η σταθερότητά του. Παρατηρήθηκε μείωση της αρχικής συγκέντρωσης του Fe(VI) το πρώτο 24ωρο κατά 90% και στη συνέχεια η συγκέντρωσή του παρέμεινε σχετικά σταθερή. Η αρχική συγκέντρωση ήταν 4.312,4 mg/L και η τελική 434,025 mg/L με ικανοποιητική οξειδωτική και απολυμαντική απόδοση.

Τα αποτελέσματα της οξειδωσης φαινολών και οργανικών ενώσεων είχαν απόδοση έως 99,7% και 49,22% αντίστοιχα. Η απολυμαντική ικανότητα συγκρίθηκε με κοινά απολυμαντικά όπως υποχλωριώδες νάτριο και υπεροξείδιο του υδρογόνου και είχε απόδοση 100% εντός ολίγων δευτερολέπτων.

Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι ο εξασθενής σίδηρος είναι ένα εκλεκτικό οξειδωτικό οργανικών ενώσεων, μπορεί να θεωρηθεί ως ένα εναλλακτικό πράσινο οξειδωτικό έναντι άλλων και μπορεί να συνεισφέρει στην ανάπτυξη πράσινων τεχνολογιών στην επεξεργασία υδάτων.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: επεξεργασία υδάτων, εξασθενής σίδηρος, οξειδωτικό, κροκιδωτικό, απολυμαντικό**ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Η παγκόσμια αύξηση του πληθυσμού και η επέκταση των βιομηχανικών δραστηριοτήτων έχουν αυξήσει σημαντικά τον όγκο των παραγόμενων υγρών αποβλήτων. Μία πρόκληση στην αποτελεσματική επεξεργασία υγρών αποβλήτων αποτελούν οι αναδυόμενοι ρύποι^[1-3]. Είναι τοξικοί ρύποι που παρουσιάζουν ανθεκτικότητα στις συμβατικές μεθόδους επεξεργασίας υγρών αποβλήτων^[2]. Σε αυτούς ανήκουν τα βαρέα μέταλλα, τα φαρμακευτικά προϊόντα και τα ζιζανιοκτόνα^[1-3]. Επομένως καθίσταται αναγκαία η υιοθέτηση προηγμένων τεχνικών, όπως οι προηγμένες διεργασίες οξειδωσης (Advanced Oxidation Processes AOPs), για την αποτελεσματική απομάκρυνσή τους^[3].

Οι AOPs είναι χημικές μέθοδοι ικανές να αποδομήσουν τους αναδυόμενους ρύπους σε αβλαβή υποπροϊόντα^[4]. Ωστόσο, η εφαρμογή τους έχει σημαντικά μειονεκτήματα, όπως το υψηλό κόστος

εγκατάστασης και λειτουργίας, την πολύπλοκη χημεία η οποία απαιτεί εξειδικευμένο προσωπικό και την πιθανή δημιουργία τοξικών παραπροϊόντων^[5-7].

Οι ερευνητές για την αποφυγή δημιουργίας ανεπιθύμητων παραπροϊόντων έχουν στρέψει την προσοχή τους σε φιλικά προς το περιβάλλον οξειδωτικά ως πιθανές εναλλακτικές λύσεις. Μεταξύ αυτών, ο εξασθενής σίδηρος (Fe(VI)) που ξεχωρίζει λόγω των ποικίλων ιδιοτήτων του, όπως το υψηλό δυναμικό οξείδωσης, την εκλεκτική δραστηριότητα, την απολυμαντική ικανότητα και την απουσία σχηματισμού τοξικών παραπροϊόντων^[8-10]. Κατά την αντίδραση του Fe(VI) με τους ρύπους παράγεται ως προϊόν αναγωγής ο τρισθενής σίδηρος (Fe(III)), ο οποίος δρα και ως κροκιδωτικό, προσφέροντας μια πολύπλευρη προσέγγιση στην επεξεργασία νερού^[8-10].

Σε όξινες συνθήκες, το δυναμικό οξειδοαναγωγής των ιόντων του Fe(VI) (2,2 V) είναι μεγαλύτερο από το δυναμικό οξειδοαναγωγής άλλων οξειδωτικών και απολυμαντικών, όπως του όζοντος, του υπεροξειδίου του υδρογόνου (H₂O₂), του χλωρίου (Cl₂), του διοξειδίου του χλωρίου (ClO₂) και του υπερμαγγανικού καλίου (KMnO₄)^[11,12]. Επομένως, ο Fe(VI) είναι ένα αποτελεσματικό οξειδωτικό για την επεξεργασία νερού και υγρών αποβλήτων^[11]. Σε υδατικά διαλύματα, έχει ένα χαρακτηριστικό ερυθρό-βιολετί χρώμα^[13].

Η σταθερότητα του Fe(VI) είναι ένα πρόβλημα που περιορίζει την παρασκευή και την εφαρμογή του σε μεγάλη κλίμακα^[8,11]. Οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν τη σταθερότητά του είναι η θερμοκρασία του διαλύματος, το pH και η συνύπαρξη ιόντων στο διάλυμα^[8,11,13]. Η παρασκευή του Fe(VI) μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε μέσω ξηρής ή υγρής οξείδωσης είτε ηλεκτροχημικά^[8,11-13]. Ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης του Fe(VI) γίνεται ογκομετρικά ή φωτομετρικά^[13-15].

Ο Fe(VI) ως ισχυρό οξειδωτικό μπορεί να απομακρύνει αποτελεσματικά ένα εύρος αναδυόμενων ρύπων όπως οργανικούς και ανόργανους ρύπους, βαρέα μέταλλα, ζιζανιοκτόνα και φάρμακα. Επίσης η οξείδωση με την χρήση Fe(VI) αποδείχθηκε ως μία αποτελεσματική μέθοδος απομάκρυνσης αμινοξέων, καρβοξυλικών και φαινολικών ενώσεων^[10,11,15].

Σκοπός αυτής της εργασίας είναι η μελέτη της εφαρμογής του Fe(VI) στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων και ειδικότερα στην απομάκρυνση οργανικών και φαινολικών ενώσεων, καθώς και η απολυμαντική δράση αυτού σε σύγκριση με συμβατικά απολυμαντικά. Μελετήθηκε επίσης η σταθερότητα της συγκέντρωσης του διαλύματος Fe(VI) που παρασκευάστηκε ηλεκτροχημικά καθώς και η κροκιδωτική του ικανότητα.

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Για την μελέτη της εφαρμογής του διαλύματος Fe(VI) στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων χρησιμοποιήθηκαν υγρά απόβλητα από εγκαταστάσεις βιολογικής επεξεργασίας βιομηχανίας επεξεργασίας ελιάς (απόβλητο 1, ΑΠ-1), βιομηχανίας παραγωγής τυποποιημένων πρόχειρων γευμάτων (απόβλητο 2, ΑΠ-2) και συνθετικό υγρό απόβλητο διαλύματος γλυκόζης (απόβλητο 3, ΑΠ-3) που παρασκευάστηκε στο εργαστήριο.

Τα απόβλητα ΑΠ-1 και ΑΠ-3 χρησιμοποιήθηκαν για τη μελέτη οξειδωτικής και κροκιδωτικής ικανότητας του διαλύματος Fe(VI) ενώ το ΑΠ-2 χρησιμοποιήθηκε για τη μελέτη της απολυμαντικής ικανότητας αυτού. Για το σκοπό αυτό οι παράμετροι που μετρήθηκαν ήταν το χημικώς απαιτούμενο οξυγόνο (COD) (μέθοδος APHA, 5220 A, B, C, 23rd Ed.2017), το ολικό φαινολικό φορτίο (TFC) (μέθοδος ISO 14502), τα ολικά αιωρούμενα στερεά (TSS) (μέθοδος APHA, 2540 A,B,C,D 22nd Ed.2012) και η ολική μεσόφιλη χλωρίδα (OMX) στους 22°C και στους 37°C (μέθοδοι ISO 6222:1999 OMX 22°C και ISO 6222:1999 OMX 37°C).

Το διάλυμα Fe(VI) παρασκευάστηκε *in situ* με τη χρήση ηλεκτροχημικής κυψέλης Fe⁰/Fe⁰ σε διάλυμα 20M NaOH και σε 138 mA/cm². Μια γεννήτρια συνεχούς ρεύματος, ρυθμισμένη στα 5V και 5A, συνδέθηκε με δύο ηλεκτρόδια σιδερένιων πλακών (16 cm × 9 cm × 0,1 cm) που είχαν απόσταση περίπου 3 cm μεταξύ τους. Τα ηλεκτρόδια των δύο πλακών βυθίστηκαν σε βάθος 4 cm σε δοχείο 250 ml που περιείχε 190 ml διαλύματος NaOH 20 M και αναδεύτηκαν στις 50 rpm με μαγνητικό αναδευτήρα για 5 min. Η επιτυχής σύνθεση του Fe(VI) έγινε εμφανής οπτικά από την

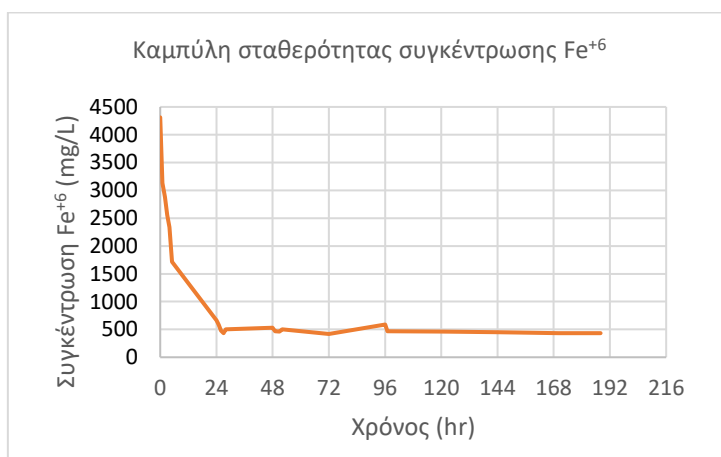
δημιουργία ενός διαλύματος χρώματος ερυθρό-βιολετί. Η συγκέντρωση του Fe(VI) στο παρασκευασμένο διάλυμα προσδιορίστηκε με βάση μια τροποποιημένη μέθοδο των Schreyer et al., (1950). Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην οξείδωση του Cr(III) σε Cr(VI) από Fe(VI). Τα χρωμικά άλατα που προέκυψαν μετρήθηκαν με την χρήση φασματοφωτόμετρου UV-VIS (shimadzu 1900i). Το Cr(VI) προσδιορίστηκε σύμφωνα με την τυποποιημένη χρωματομετρική μέθοδο APHA 3500-Cr B. Η συγκέντρωση του Fe(VI) υπολογίστηκε στοιχειομετρικά.

Όλες οι αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν στο διαπιστευμένο κατά ISO 17025 εργαστήριο Περιβαλλοντικής Χημείας και Επεξεργασίας Υδάτων και Υγρών Αποβλήτων του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας, χρησιμοποιώντας πρότυπες μεθόδους και διακριβωμένο εξοπλισμό.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Σταθερότητα διαλύματος Fe(VI)

Για τις δοκιμές της σταθερότητας της συγκέντρωσης διαλύματος Fe(VI) ως προς το χρόνο χρησιμοποιήθηκε διάλυμα Fe(VI) 4312,4 mg/L. Τα αποτελέσματα των πειραματικών δοκιμών παρουσιάζονται στο σχήμα 1.



Σχήμα 1. Καμπύλη σταθερότητας συγκέντρωσης Fe(VI).

Από την καμπύλη σταθερότητας του διαλύματος Fe(VI) προκύπτει ότι τις πρώτες ώρες της παραγωγής του η συγκέντρωση μειώνεται κατά 60,23%. Ακολουθεί μείωση της τάξης 84,66% έως τις 24 ώρες και στη συνέχεια η συγκέντρωση μένει σχετικά σταθερή με μικρές αυξομειώσεις κυμαινόμενη από 583,3 mg/L έως 434,1 mg/L.

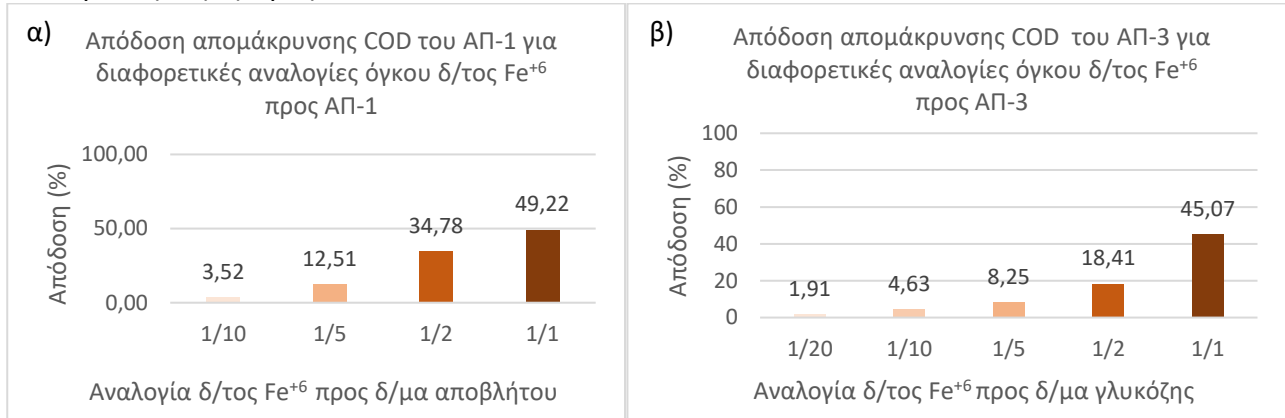
Οξειδωτική ικανότητα διαλύματος Fe(VI)

Ο Fe(VI) έχοντας εκλεκτική ικανότητα οξειδώνει ικανοποιητικά ανιλίνες, υδροξυλαμίνες, θειόλες, υδραζίνες, κινόνες και φαινόλες ενώ δεν οξειδώνει την τριτοταγή αλκυλαμίνη, την αμμωνία, το καρβοξυλικό οξύ, την αλδεΐδη και τις αλκοόλες. Στην παρούσα εργασία διερευνήθηκε η οξειδωτική ικανότητα του διαλύματος του Fe(VI) σε μίγμα οργανικών ενώσεων που περιέχονται στο ΑΠ-1, σε φαινολικές ενώσεις και σε γλυκόζη.

Για την μελέτη της απόδοσης οξείδωσης οργανικών ενώσεων εξετάστηκε η επίδραση του διαλύματος Fe(VI) διαφόρων συγκεντρώσεων στο ΑΠ-1 και ΑΠ-3 μεταβάλλοντας τις αναλογίες όγκου του διαλύματος Fe(VI) προς όγκο των αποβλήτων και μεταβάλλοντας τον χρόνο επαφής τους.

Για το ΑΠ-1 χρησιμοποιήθηκαν διαλύματα Fe(VI) συγκεντρώσεων 6242,07 mg/L και 2402,45 mg/L. Για το ΑΠ-3 χρησιμοποιήθηκαν διαλύματα Fe(VI) συγκεντρώσεων 4475,05 mg/L, 3810 mg/L, 2954,8 mg/L. Στο σχήμα 2α) παρουσιάζονται τα ποσοστά απόδοσης απομάκρυνσης οργανικού φορτίου του διαλύματος Fe(VI) με συγκέντρωση 6242,07 mg/L με διαφορετικές αναλογίες διαλύματος Fe(VI) προς ΑΠ-1. Στο σχήμα 2β) παρουσιάζονται τα ποσοστά απόδοσης απομάκρυνσης οργανικού

φορτίου του ΑΠ-3 με διάλυμα Fe(VI) συγκέντρωσης 4475,05 mg/L σε διαφορετικές αναλογίες διαλύματος Fe(VI) προς ΑΠ-3.



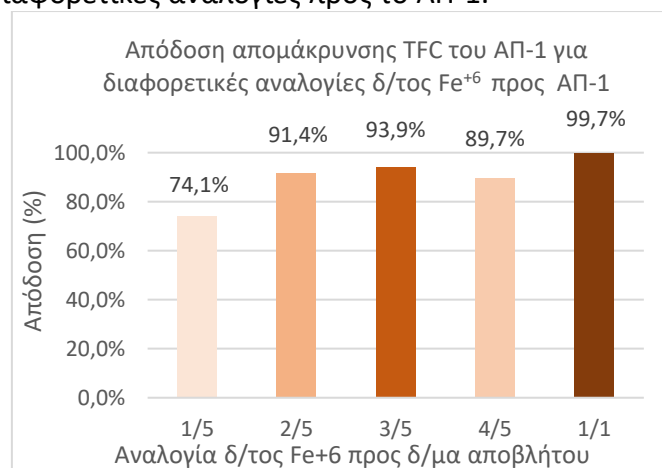
Σχήμα 2. Απόδοση απομάκρυνσης οργανικών ενώσεων με διαφορετικές αναλογίες διαλύματος Fe⁺⁶ προς ΑΠ-1 και ΑΠ-3.

Παρατηρήθηκε ότι με την αύξηση της αναλογίας όγκου διαλύματος Fe(VI) προς τον όγκο των αποβλήτων, δηλαδή με την αύξηση της ποσότητας του διαλύματος Fe(VI), αυξάνεται η απόδοσή του στην απομάκρυνση οργανικών ενώσεων. Οι μέγιστες αποδόσεις απομάκρυνσης οργανικών ενώσεων προέκυψαν για αναλογία 1:1 και ήταν 49,22% και 45,07% για το ΑΠ-1 και το ΑΠ-3 αντίστοιχα.

Μελετήθηκε η επίδραση του χρόνου επαφής και η μεταβολή της συγκέντρωσης του διαλύματος Fe(VI). Οι χρόνοι επαφής του διαλύματος Fe(VI) συγκέντρωσης 2402,45 mg/L προς το ΑΠ-1 ήταν 1 min, 2 min, 5 min, 10 min και 30 min. Ενώ οι συγκεντρώσεις του διαλύματος Fe(VI) που χρησιμοποιήθηκαν για την οξείδωση του ΑΠ-3 ήταν 4475,05 mg/L, 3810 mg/L, 2954,8 mg/L. Παρατηρήθηκε ότι ο χρόνος επαφής και η μείωση της συγκέντρωσης του διαλύματος Fe(VI) δεν επηρεάζουν σημαντικά την απόδοση οξείδωσης του διαλύματος του Fe(VI) στην απομάκρυνση του οργανικού φορτίου.

Για την μελέτη της απόδοσης οξείδωσης φαινολικών ενώσεων εξετάστηκε η επίδραση του διαλύματος Fe(VI) διαφόρων συγκεντρώσεων στο ΑΠ-1 μεταβάλλοντας τις αναλογίες του όγκου του διαλύματος προς το απόβλητο και τον χρόνο επαφής. Οι συγκεντρώσεις Fe(VI) που χρησιμοποιήθηκαν είναι 2402,45 mg/L, 2305,7 mg/L, 2036,5 mg/L, 1641,6 mg/L και 1283,15 mg/L. Οι αποδόσεις όλων των συγκεντρώσεων υπολογίστηκαν για χρόνους επαφής 0,5 min, 1 min, 2 min, 3 min, 5 min, 15 min.

Στο σχήμα 3 παρουσιάζονται τα ποσοστά απόδοσης απομάκρυνσης φαινολικών ενώσεων του διαλύματος Fe(VI) σε διαφορετικές αναλογίες προς το ΑΠ-1.



Σχήμα 3. Απόδοση απομάκρυνσης ολικού φαινολικού φορτίου για διαφορετικές συγκεντρώσεις του διαλύματος του Fe(VI).

Παρατηρήθηκε ότι ακόμη και στη μικρότερη αναλογία 1/5, η απόδοση απομάκρυνσης φαινολικών ενώσεων είναι ικανοποιητική (74%). Η μεταβολή του χρόνου επαφής του διαλύματος Fe(VI) με το ΑΠ-1 δεν επηρεάζει την απόδοση απομάκρυνσης φαινολικών ενώσεων.

Είναι γνωστό ότι οι φαινολικές ενώσεις ανήκουν στις οργανικές ενώσεις, δεδομένου ότι η απόδοση απομάκρυνσης όλων των οργανικών ενώσεων είναι <50% για αναλογία 1:1 και η απόδοση απομάκρυνσης των φαινολικών ενώσεων για αναλογία 1:1 είναι >98%. Ένα μεγάλο ποσοστό της απόδοσης απομάκρυνσης οργανικών ενώσεων του εξασθενούς σιδήρου από το ΑΠ-1 μπορεί να οφείλεται στην οξείδωση των φαινολικών ενώσεων, στις οποίες βιβλιογραφικά ο Fe(VI) είναι πιο εκλεκτικός από άλλες οργανικές ενώσεις.

Σε σύγκριση με συμβατικές μεθόδους επεξεργασίας υγρών αποβλήτων βιομηχανίας ελιάς, το διάλυμα Fe(VI) παρουσίασε μεγάλο ποσοστό απομάκρυνσης φαινολικών ενώσεων (99%) με μειονέκτημα την μεγάλη ποσότητα του διαλύματος Fe(VI) που χρειάστηκε. Το διάλυμα Fe(VI) θα μπορούσε να συνδυαστεί με συμβατικές μεθόδους επεξεργασίας και συγκεκριμένα να χρησιμοποιηθεί στο στάδιο της προεπεξεργασίας για την αποτελεσματική επεξεργασία υγρών αποβλήτων βιομηχανίας ελιάς.

Κροκιδωτική ικανότητα διαλύματος Fe(VI)

Η κροκίδωση του ΑΠ-1 με διάλυμα 3,43 mg/L FeCl₃ απομάκρυνε από 47,06% έως 71,76% αιωρούμενα στερεά και από 3,88% έως 13,27% οργανικές ενώσεις ανάλογα την ποσότητα κροκιδωτικού διαλύματος που προστέθηκε. Επομένως ο τρισθενής σίδηρος Fe(III) που παράγεται από την αναγωγή του Fe(VI) έχει ανάλογες κροκιδωτικές ικανότητες. Η συνολική απομάκρυνση οργανικών ενώσεων μπορεί να οφείλεται στον συνδυασμό οξείδωσης και κροκίδωσης.

Απολυμαντική ικανότητα διαλύματος Fe(VI)

Για την μελέτη της απολυμαντικής ικανότητας του διαλύματος Fe(VI) συγκέντρωσης 6621,95 mg/L έγινε σύγκριση των βέλτιστων αποδόσεων απολύμανσης του διαλύματος Fe(VI) και δύο κοινών απολυμαντικών, του υποχλωριώδους νατρίου (NaClO) και του υπεροξειδίου του υδρογόνου (H₂O₂). Αναλυτικότερα προστέθηκαν σε 100 ml ΑΠ-2 10 ml διαλύματος Fe(VI), 2,5 ml υποχλωριώδους νατρίου και 10 ml υπεροξειδίου του υδρογόνου και μετρήθηκαν τα ΟΜΧ στους 22°C και 37°C. Οι απαιτούμενες ποσότητες των απολυμαντικών υπολογίστηκαν κατόπιν βιβλιογραφικών ερευνών.

Παρατηρήθηκε ότι το διάλυμα του Fe(VI) είναι το πιο αποτελεσματικό για την απολύμανση του ΑΠ-2 καθώς με την εφαρμογή του επιτεύχθηκε 100% απολύμανση. Στους 22°C το υπεροξείδιο του υδρογόνου επιτυγχάνει υψηλή απολύμανση 99,3% και το υποχλωριώδες νάτριο 90,7%. Στους 37°C το υπεροξείδιο του υδρογόνου επιτυγχάνει υψηλή απολύμανση 96,7% και το υποχλωριώδες νάτριο 65,3%.

Χρησιμοποιώντας H₂O₂ και NaClO για απολύμανση υγρών αποβλήτων παράγονται επιβλαβή και τοξικά παραπροϊόντα. Η χρήση H₂O₂ παρουσιάζει μη αποτελεσματική απομάκρυνση παθογόνων μικροοργανισμών. Επομένως παρά τις μεγάλες αποδόσεις των κοινών απολυμαντικών, η εφαρμογή τους παρουσιάζει μειονεκτήματα. Λαμβάνοντας υπόψιν τα μειονεκτήματα των απολυμαντικών συμπεραίνουμε ότι το διάλυμα Fe(VI) αποτελεί μια βιώσιμη λύση καθώς δεν είναι τοξικό και μπορεί να απομακρύνει αποτελεσματικά παθογόνους μικροοργανισμούς χωρίς να δημιουργεί ανεπιθύμητα παραπροϊόντα.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο εξασθενής σίδηρος διαθέτει ισχυρές οξειδωτικές, κροκιδωτικές και απολυμαντικές ιδιότητες, αποτελώντας μία καινοτόμα πράσινη λύση στην επεξεργασία νερών και υγρών αποβλήτων. Η συγκέντρωση του διαλύματος Fe(VI) μειώνεται τις πρώτες 24 ώρες από την παρασκευή του και στη συνέχεια σταθεροποιείται. Η απόδοσή του στην οξείδωση οργανικών και φαινολικών ενώσεων δεν

επηρεάζεται από τον χρόνο επαφής και εξαρτάται από την ποσότητα του διαλύματος Fe(VI). Η κροκιδωτική του ικανότητα απομακρύνει αιωρούμενα στερεά με απόδοση 71,76%, ενώ η απολυμαντική του ικανότητα έχει απόδοση 100% στους περισσότερους μικροοργανισμούς.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Gavrilesco, M., Demnerová, K., Aamand, J., Agathos, S., Fava, F. (2015). *New Biotechnology*, 32, 147-156.
- [2] Shahid, M. K., Kashif, A., Fuwad, A., Choi, Y. (2021). *In Coordination Chemistry Reviews Elsevier B.V.*, 442, 213993.
- [3] Mishra, R. K., Mentha, S. S., Misra, Y. Dwivedi, N. (2023). *Water-Energy Nexus*.
- [4] Saleh, I. A., Zouari, N., Al-Ghouti, M. A. (2020). *In Environmental Technology and Innovation Elsevier B.V.*, 19, 101026.
- [5] Anwer, M., Faizi, Y. (2022). *International Journal of Advances in Engineering and Management*,
- [6] Hodaifa, G., Zuurro, A., Dominguez, J. R., Rodríguez, J. G., Peres, J. A., Frontistis, Z., Albqmi, M. (2023). *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*, 15, 3449.
- [7] Kokkinos, P., Venieri, D., Mantzavinou, D. (2021). *In Food and Environmental Virology Springer*, 13, 283–302.
- [8] Lee, Yunho & Cho, M. & Kim, J.Y. & Yoon, J. (2004). *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 10, 161.
- [9] M. L. Hoppe, E. O. Schlemper and R. K. Murmann (1982). *Acta Cryst*,
- [10] Sharma, Virender & Chen, Long & Zboril, Radek. (2015). *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 4, 18-34.
- [11] Yu, J., Sumita, Zhang, K., Zhu, Q., Wu, C., Huang, S., Zhang, Y., Yao, S., Pang, W. (2023). *MDPI*, 15, 699.
- [12] Rai, P. K., Lee, J., Kailasa, S. K., Kwon, E. E., Tsang, Y. F., Ok, Y. S., Kim, K. H. (2018). *Academic Press Inc.*,
- [13] Jiang, J.-Q., Lloyd, B. (2002). *In Water Research*, 36, 1397-1408.
- [14] Schreyer JM, Thompson GW, Ockerman LT (1950). *Anal Chem.*, 22, 1426-1427.
- [15] Talaiekhosani, A., Talaei, M. R., Rezaei, S. (2017). *In Journal of Environmental Chemical Engineering. Elsevier Ltd.*, 5, 1828-1842.