

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ**

**ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΑΛΙΕΙΑΣ-ΥΔΑΤΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ**

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΧΗΜΕΙΑΣ ΚΑΙ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΥΔΑΤΙΝΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ**



**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**«ΜΕΛΕΤΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΟΡΓΑΝΙΚΩΝ  
ΥΔΡΟΠΗΚΤΩΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΥΜΕΝΙΩΝ  
ΔΙΟΞΕΙΔΟΥ ΤΟΥ ΤΙΤΑΝΙΟΥ ΓΙΑ  
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΕ  
ΥΔΑΤΙΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»**

**ΜΟΥΣΤΑΚΑΡΙΑ ΑΔΑΜΑΝΤΙΑ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ**

**ΜΠΕΚΙΑΡΗ ΒΛΑΣΟΥΛΑ**

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ -ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η πτυχιακή εργασία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του προπτυχιακού προγράμματος του Τμήματος Τεχνολογίας Αλιείας και Υδατοκαλλιεργειών της Σχολής Τεχνολογίας, Γεωπονίας και Τεχνολογίας Τροφίμων και Διατροφής. Σε αυτή τη σελίδα έχω τη δυνατότητα να ευχαριστήσω ξεχωριστά τα άτομα τα οποία ήταν δίπλα μου και με στήριζαν με τον καλύτερο δυνατό τρόπο, κατά τη διάρκεια όλης της διαδικασίας.

Πρώτα απ' όλα θα ήθελα να εκφράσω την μεγαλύτερη από όλες ευχαριστία μου, σε μία εξαιρετική καθηγήτρια και πάνω απ' όλα έναν υπέροχο άνθρωπο, ο οποίος είχε το κέφι, τη διάθεση και την ικανότητα να μου μεταδώσει απλόχερα και με ταλέντο, όλες της γνώσεις πάνω στο θέμα της πτυχιακής μου εργασίας και όχι μόνο. Η καθηγήτρια δεν είναι άλλη από την κ. Βλασούλα Μπεκιάρη, Επίκουρη Καθηγήτρια του Τμήματος Τεχνολογίας Αλιείας και Υδατοκαλλιεργειών. Ακολούθως θέλω να πω ένα μεγάλο ευχαριστώ στους κ. Ράμφο Αλέξη και κ. Κριμπένη Αικατερίνη, καθηγητές του Τμήματός Τεχνολογίας Αλιείας και Υδατοκαλλιεργειών για την καθοδήγησή τους και τη συμμετοχή τους στην τριμελή εξεταστική επιτροπή αυτής της πτυχιακής, καθώς και στον καθηγητή κ. Γεώργιο Χώτο για τις όμορφες και εποικοδομητικές συζητήσεις που είχαμε κατά καιρούς και φυσικά για τις σοφές συμβουλές του πάνω στα θέματα του επαγγελματικού προσανατολισμού.

Στη συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω τον θείο μου Παναγιώτη Βασιλάτο Επίκουρο Καθηγητή Σχολής Αρχιτεκτόνων Μηχανικών ΕΜΠ, για την πολύτιμη βοήθεια του, όσο αναφορά το στήσιμο της πτυχιακής. Ακολούθως δεν θα μπορούσα να ξεχάσω να ευχαριστήσω τους γονείς μου Παναγιώτη και Στέλλα, την μικρή μου Μάρθα, την Ιωάννα και την αγαπημένη μου Χριστίνα που ήταν όλο αυτό τον καιρό στο πλευρό μου και με συμβούλευαν με τον καλύτερο δυνατό τρόπο. Τέλος θέλω να αφιερώσω όλη την πτυχιακή μου εργασία στον φυσικό Γιώργο Κοκκινίδη, όπου χωρίς αυτόν δεν θα είχα καταφέρει να φτάσω μέχρι εδώ και έπαιξε καθοριστικό ρόλο στις σπουδές μου αλλά και στη ζωή μου.

## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Είναι γνωστό σε όλου μας, ότι το νερό είναι πηγή ζωής και χωρίς αυτό δεν θα μπορούσε να υπάρξει ζωή στον πλανήτη Γη. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να παραμένει όσο το δυνατόν πιο καθαρό. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να απασχολεί σε μεγάλο βαθμό τους ερευνητές, από όλους τους κλάδους των επιστημών, σε ότι αφορά στην ανάπτυξη νέων τεχνικών απορρύπανσης και σε ότι αφορά στην ανάπτυξη νέων περιβαλλοντικά φιλικών υλικών. Στην επεξεργασία του νερού δοκιμάζονται συνεχώς νέες τεχνικές, έτσι ώστε να αντικαταστήσουν τις παλαιότερες, με σκοπό τη μικρότερη περιβαλλοντική και οικονομική επιβάρυνση καθώς και την ασφάλεια.

Στα πλαίσια της παρούσας πτυχιακής εργασίας αρχικά μελετήθηκε η χρήση οργανικών χημικών υδροπηκτωμάτων (organic hydrogels) τα οποία έχουν την ικανότητα να προσροφούν οργανικό ή ανόργανο φορτίο, με απώτερο στόχο την εφαρμογή τους στην απορρύπανση υδάτινων συστημάτων από το φορτίο αυτό.

Στη συνέχεια μελετήθηκε η φωτοκαταλυτική δράση νανοδομημένων υμενίων τιτάνιας έναντι διαφόρων οργανικών ρύπων όπως οργανικές χρωστικές και αντιβιοτικά.

Για τις παραπάνω μελέτες χρησιμοποιήθηκαν οι τεχνικές ενόργανης χημικής ανάλυσης: ιοντική χρωματογραφία, φασματοφωτομέτρία απορρόφησης υπεριώδους-ορατού καθώς και μετρήσεις Ολικού Οργανικού Άνθρακα (TOC) και Ολικού Αζώτου (TN).

## **ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ**

Οργανικά υδροπηκτώματα, προσρόφηση, οργανικές χρωστικές, οργανικό ανόργανο φορτίο, υπερκάθαρο νερό (UPW), pH, αντιβιοτικό, πρότυπα διαλύματα, ακινητοποιημένος καταλύτης

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>1<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>	<b>12</b>
1.1 «Χημικά υδροπηκτώματα-προσρόφηση».....	12
1.1.1 Συμπεριφορά υδροπηκτωμάτων στο pH και στο νερό (H <sub>2</sub> O).....	15
1.1.2 Προσδιορισμός βαθμού διόγκωσης .....	17
1.1.3 Χρωστικές.....	17
1.1.4 Μελέτη προσρόφησης οργανικών και ανόργανων ρύπων σε P(DMAM-co-ANax) (gel) και P(DMAM-co-APTACx) (gel) .....	19
1.2 ΤΟ ΝΕΡΟ .....	21
1.2.1 Δομή του μορίου του νερού .....	21
1.2.2 Το νερό ως διαλύτης.....	23
1.2.3 Η σκληρότητα του νερού .....	24
1.2.4 Υπερκάθαρο Νερό .....	24
<b>1.3 pH.....</b>	<b>23</b>
<b>1.4 ΑΝΤΙΒΙΟΤΙΚΑ .....</b>	<b>24</b>
1.4.1 Τετρακυκλίνες ( tetracyclines).....	26
1.4.2 Αντιβιοτικό Οξυτετρακύκλινη (Oxytetracycline) .....	27
1.5 ΤΕΧΝΙΚΕΣ.....	28
1.5.1 Φασμοτοφωτομετρία Απορρόφησης Υπεριώδους-Ορατού .....	28
1.5.2 Φωτοκατάλυση .....	30
1.5.2.1 Τύποι Φωτοκατάλυσης.....	31
1.5.2.2 Εφαρμογές της φωτοκατάλυσης .....	32
1.5.3 Ιοντική Χρωματογραφία.....	33
1.5.3.2 Τα είδη της χρωματογραφίας .....	33
1.5.3.3 Χρωματογραφία ιονανταλλαγής.....	35
1.5.4 Ολικός Οργανικός Άνθρακας (Total Organic Carbon-TOC).....	36
1.5.4.1 Εισαγωγή .....	36

1.5.4.2 Μέθοδος υψηλής θερμοκρασίας με καύση .....	36
1.5.4.3 Αρχή της μεθόδου .....	37
1.5.5 Ολικό Άζωτο (Total Nitrogen-TN).....	38
1.5.5.1 Εισαγωγή .....	38
1.5.5.2 Μέθοδος υψηλής θερμοκρασίας με καύση .....	38
1.5.6 Παρασκευή πρότυπων διαλυμάτων, για την κατασκευή των καμπύλων βαθμονόμησης .....	39
1.5.6.1 Εισαγωγή .....	39
1.5.6.2 Stock διάλυμα TC .....	39
1.5.6.3 Stock διάλυμα IC .....	39
2 <sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ: «ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΠΡΟΣΡΟΦΗΤΙΚΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΧΗΜΙΚΩΝ ΥΔΡΟΠΗΚΤΩΜΑΤΩΝ-ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΒΑΘΜΟΥ ΔΙΟΓΚΩΣΗΣ» .....	41
2.1 Υπερκάθαρο νερό.....	41
2.2 Μελέτη του βαθμού διόγκωσης των χημικών υδροπηκτωμάτων σε τρεις διαφορετικές τιμές pH.....	41
2.3 Υλικά πειράματος .....	41
2.4 Μεθοδολογία πειράματος .....	42
3 <sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ «ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ ΑΜΜΩΝΙΑΚΩΝ ΚΑΙ ΝΙΤΡΙΚΩΝ ΙΟΝΤΩΝ ΑΠΟ ΠΡΟΤΥΠΑ ΔΙΑΛΥΜΑΤΑ» .....	44
3.1 Εισαγωγή .....	44
3.2 Μεθοδολογία πειράματος .....	44
4 <sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ «ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ ΟΡΓΑΝΙΚΩΝ ΧΡΩΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟ ΠΡΟΤΥΠΑ ΔΙΑΛΥΜΑΤΑ» .....	45
4.1 Εισαγωγή .....	45
4.2 Υλικά πειράματος .....	45
4.3 Μεθοδολογία πειράματος .....	45
5 <sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ «ΦΩΤΟΚΑΤΑΛΥΣΗ» .....	47

5.1 Εισαγωγή .....	47
5.2 Υλικά πειράματος .....	47
5.3 Μεθοδολογία πειράματος .....	47
6 <sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΖΥΓΙΣΜΑΤΟΣ ΠΡΙΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑ ΑΠΟ 24 ΩΡΕΣ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΣ ΔΙΟΓΚΩΣΗΣ (SWELING RATIO).....	50
7 <sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗΣ ΑΜΜΩΝΙΑΚΩΝ ΚΑΙ ΝΙΤΡΙΚΩΝ ΙΟΝΤΩΝ ΑΠΟ ΠΡΟΤΥΠΑ ΔΙΑΛΥΜΑΤΑ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	60
8 <sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΦΑΣΦΑΤΟΦΩΤΟΜΕΤΡΕΙΑΣ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ .....	62
9 <sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΦΩΤΟΚΑΤΑΛΥΣΗΣ.....	71
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ .....	80
1 Υδροξυλομομάδες .....	81
2 Αμινομάδες .....	81
3 Καρβοξυλομάδες.....	82
4 Δυνάμεις Van Der Waals .....	83
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	84

## ΠΙΝΑΚΕΣ

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: Οι συγκεντρώσεις (M) των χρωστικών που χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα που προαναφέρθηκαν.....	46
ΠΙΝΑΚΑΣ 2: Αποτελέσματα μετρήσεων gel σε (UPW).....	50
ΠΙΝΑΚΑΣ 3: Αποτελέσματα μετρήσεων gel σε pH 7. ....	51
ΠΙΝΑΚΑΣ 4: Αποτελέσματα μετρήσεων gel σε pH 4. ....	51
ΠΙΝΑΚΑΣ 5: Αποτελέσματα μετρήσεων gel σε pH 10. ....	52
ΠΙΝΑΚΑΣ 6: Αποτελέσματα πειράματος για πρότυπο διάλυμα KNO <sub>3</sub> .....	53
ΠΙΝΑΚΑΣ 7: Αποτελέσματα πειράματος για πρότυπο διάλυμα NH <sub>4</sub> CL.....	54
ΠΙΝΑΚΑΣ 8: Αποτελέσματα μετρήσεων gel για χρωστική Crystal Violet. ....	54
ΠΙΝΑΚΑΣ 9: Αποτελέσματα μετρήσεων gel για χρωστική Orange Base. ....	55
ΠΙΝΑΚΑΣ 10: Αποτελέσματα μετρήσεων gel για χρωστική Methylene Blue hydrate. ....	57
ΠΙΝΑΚΑΣ 11: Αποτελέσματα μετρήσεων gel για χρωστική Basic Blue 41. ....	59
ΠΙΝΑΚΑΣ 12: Μετρήσεις πρότυπων διαλυμάτων στη συσκευή TOC-TN. ....	60
ΠΙΝΑΚΑΣ 13: Αποτελέσματα απορρόφησης της χρωστικής Basic Blue 41 ( με τα gel και χωρίς ). ....	62
ΠΙΝΑΚΑΣ 14: Αποτελέσματα από την ελάττωση της απορρόφησης της Basic Blue 41, ανάμεσα στις χρωστικές που είχαν προστεθεί gel και στην αρχική απορρόφηση του διαλύματος.....	64
ΠΙΝΑΚΑΣ 15: Αποτελέσματα απορρόφησης της χρωστικής Crystal Violet ( με τα gel και χωρίς).....	64
ΠΙΝΑΚΑΣ 16: Αποτελέσματα από την ελάττωση της απορρόφησης της Crystal Violet, ανάμεσα στις χρωστικές που είχαν προστεθεί gel και στην αρχική απορρόφηση του διαλύματος.....	65
ΠΙΝΑΚΑΣ 17: Αποτελέσματα απορρόφησης της Arcridine Orange Base (με τα gel και χωρίς).....	66
ΠΙΝΑΚΑΣ 18: Αποτελέσματα από την ελάττωση της απορρόφησης τη Acridine Orange Base, ανάμεσα στις χρωστικές που είχαν προστεθεί τα gel και στην αρχική απορρόφηση του διαλύματος.....	67
ΠΙΝΑΚΑΣ 19: Αποτελέσματα απορρόφησης τη Methylene Blue hydrate ( με τα Gel και χωρίς). ....	68
ΠΙΝΑΚΑΣ 20: Αποτελέσματα από την ελάττωση της απορρόφησης της Methylene	

Blue hydrate, ανάμεσα στις χρωστικές που είχαν προστεθεί gel και στην αρχική απορρόφηση του διαλύματος.....	69
ΠΙΝΑΚΑΣ 21: Πρώτο πείραμα με αναλογία 100ml Crystal Violet και 100ml υπερκάθαρου νερού (UPW).....	71
ΠΙΝΑΚΑΣ 22: Δεύτερο επαναληπτικό πείραμα με αναλογία 25ml Crystal Violet και 175ml (UPW).....	71
ΠΙΝΑΚΑΣ 23: Τρίτο πείραμα με χρωστική Methylene Blue hydrate $10^{-3} \text{ M}$ 2ml και 198ml (UPW).....	72
ΠΙΝΑΚΑΣ 24: Τέταρτο επαναληπτικό πείραμα με τη Crystal Violet σε αναλογία 2ml χρωστικής και 198ml (UPW).....	75
ΠΙΝΑΚΑΣ 25: Πέμπτο πείραμα με χρωστική Basic Blue 41, σε αναλογία 2ml και 198ml (UPW).....	77
ΠΙΝΑΚΑΣ 26: Τελευταίο πείραμα φωτοκατάλυσης με αντιβιοτικό οξυτετρακυκλίνη, σε αναλογία 0,02gr και 200ml (UPW).....	79

## ΣΧΗΜΑΤΑ

ΣΧΗΜΑ 1: Σχηματική αναπαράσταση του χημικού υδροπηκτώματος και πως αυτό συμπεριφέρεται στην διόγκωση του. ....	13
ΣΧΗΜΑ 2: Σχηματική αναπαράσταση φυσικού υδροπηκτώματος. ....	13
ΣΧΗΜΑ 3: Περιπτώσεις αλληλοδιαπλεκόμενων υδροπηκτωμάτων.....	15
ΣΧΗΜΑ 4: Συμπεριφορά υδροπηκτώματος όταν προσροφάει το νερό.....	15
ΣΧΗΜΑ 5: Προσρόφηση φορτισμένων ομάδων από χημικά υδροπηκτώματα μέσω ηλεκτροστατικών αλληλεπιδράσεων.....	16
ΣΧΗΜΑ 6: Η συμπεριφορά ενός υδροπηκτώματος σε όξινο περιβάλλον.....	16
ΣΧΗΜΑ 7: Crystal Violet.....	18
ΣΧΗΜΑ 8: Acridine Orange Base.....	18
ΣΧΗΜΑ 9: Methylene Blue hydrate. ....	19
ΣΧΗΜΑ 10: Basic Blue 41.....	19
ΕΙΚΟΝΑ 11: Χρωστικές ουσίες σε P(DMAM-co-ANax) (gel) και P(DMAM-co-APTACx) (gel).....	20
ΣΧΗΜΑ12: Απεικόνιση του μορίου του νερού.....	22
ΣΧΗΜΑ 13: Η τετράεδρη γεωμετρία του νερού, με τους δεσμούς και τις διαστάσεις	



του.....	22
ΣΧΗΜΑ 14: Τρισδιάστατα μοντέλα μορίων νερού. ....	23
ΣΧΗΜΑ 15: Σχεδιάγραμμα με όλες τις τιμές του pH. ....	25
ΣΧΗΜΑ16 Γενικός χημικός τύπος τετρακυκλινών.....	27
ΣΧΗΜΑ17: Χημική δομή του αντιβιοτικού οξυτετρακυκλίνη.....	28
<p>Για τα πειράματα της φασφατοφωτομετρίας, χρησιμοποιήθηκε φασματοφωτόμετρο μοντέλο «Shimadzu UV-1800». Το μηχάνημα ήταν συνδεδεμένο με ηλεκτρονικό υπολογιστή, όπου στην προκειμένη περίπτωση μας βοήθησε στο να βγάλουμε τα αποτελέσματα της φασφαροφωτομετρίας των χρωστικών που χρησιμοποιήθηκαν.</p>	
ΣΧΗΜΑ18: Φασματοφωτόμετρο μοντέλο Shimadzu UV-1800.....	30
ΣΧΗΜΑ 19: Σχηματική αναπαράσταση φωτοκατάλυσης.....	31
ΣΧΗΜΑ 20: Φωτοκαταλυτική Διάταξη. ....	32
ΣΧΗΜΑ 21:Ιοντικός χρωματογράφος DIONEX ICS-1100.....	35
ΣΧΗΜΑ 22: Συσκευή TOC-VCH Shimadzu coupled with TN unit.....	40
ΣΧΗΜΑ 23: Χημικά Υδροπηκτώματα κωδικοποιημένα σε ποτήρια ζέσεως στον φούρνο συντήρησης, για να μην υπάρχει υγρασία. ....	43
ΣΧΗΜΑ 24: Φούρνος Thermo SCIENTIFIC με τις πλάκες (φιλμ) στο εσωτερικό του για απομάκρυνση των οργανικών.....	49
ΣΧΗΜΑ 25: Το αντιδραστήριο του πειράματος της φωτοκατάλυσης. Τα τρία πρώτα αντιδραστήρια είναι οι χρωστικές Methylene Blue, Crystal Violet, Basic Blue. Το τελευταίο αντιδραστήριο είναι το αντιβιοτικό οξυτετρακυκλίνη.....	49
ΣΧΗΜΑ 26: Δείγματα από την χρωστική Crystal Violete πριν την προσρόφηση των gel.....	55
ΣΧΗΜΑ 27: Δείγματα χρωστικής Crystal Violete μετά από 24 ώρες με τα gel. ....	55
ΣΧΗΜΑ 28: Χρωστική Orange Base η οποία έχει προσροφηθεί με τα gel μετά από 24 ώρες.....	56
ΣΧΗΜΑ 29: Στα αριστερά είναι ένα ξυρό υδροπήκτωμα και στα δεξιά είναι το ίδιο gel το οποίο έχει διογκωθεί στην χρωστική Orange Base. ....	57
ΣΧΗΜΑ 30: Διαφορά προσρόφησης διαφορετικών gel στην χρωστική Methylene Blue.....	58
ΣΧΗΜΑ 31: Αποτέλεσμα διόγκωσης του gel A16 για την χρωστική Methylene Blue. ....	58
ΣΧΗΜΑ 32: Δείγματα προσρόφησης από την Basic Blue.....	59
ΣΧΗΜΑ 33: Δείγματα Basic Blue σε κυψελίδες για φασματοφωτομετρία, όπου τα gel	

έχουν προσροφήσει την χρωστική. ....	63	
ΣΧΗΜΑ 34: Από την χρωστική Basic Blue 4 διαφορετικά δείγματα στα οποία τα gel δεν έχουν προσροφήσει την χρωστική.....	63	
ΣΧΗΜΑ 35: Δείγματα χρωστικής Methylene Blue σε ποτήρια ζέσεως και σε κυψελίδες. ....	69	
ΣΧΗΜΑ 36: Πλάκες με τον καταλήτη, οι οποίες έχουν προσροφήσει την χρωστική Crystal Violet. ....	72	
ΣΧΗΜΑ 37: Κινητική της φωτοαποικοδόμησης της χρωστικής Methylene Blue.....	72	
ΣΧΗΜΑ 38: Δείγμα σε χρόνο μηδέν και δείγμα στα 120 λεπτά, στα οποία διακρίνεται η απομάκρυνση της χρωστικής.....	74	
ΣΧΗΜΑ 39: Κινητική της φωτοαποικοδόμησης της χρωστικής Crystal Violet.....	72	
ΣΧΗΜΑ 40: Στην πάνω στήλη των φιλμ είναι η χρωστική της Methylene Blue και στην δεύτερη στήλη είναι τα φιλμ με την Crystal Violet στο τρίτο επαναληπτικό πείραμα. ....	76	
ΣΧΗΜΑ 41 : Δείγμα Crystal Violet στα μηδέν λεπτά και στα 150 λεπτά, στα οποία διακρίνεται ελάχιστα με γυμνό μάτι η απομάκρυνση της χρωστικής. ....	77	
ΣΧΗΜΑ 42: Πλάκες (φιλμ) οι οποίες έχουν προσροφήσει την χρωστική Basic Blue 41.....	78	
ΣΧΗΜΑ 43: Δείγματα χρωστικής Basic Blue 41 από το πείραμα της φωτοκατάλυσης, σε κυψελίδες για φασματοφωτομετρεία. ....	78	
ΣΧΗΜΑ 44: Οι τέσσερις πλάκες (φιλμ) που βρίσκονταν στο αντιδραστήριο της οξυτετρακυκλίνης. ....	79	
ΣΧΗΜΑ 45: Δείγματα από την φωτοκατάλυση του αντιβιοτικού, προετοιμάζονται για φασματοφωτομετρεία.....	80	
ΣΧΗΜΑ 46: Κινητική της φωτοαποικοδόμησης του αντιβιοτικού οξυτετρακυκλίνη.....	79	
ΣΧΗΜΑ 47: Πρωτοταγής Αμίνη	ΣΧΗΜΑ 48: Δευτεροταγής Αμίνη.....	82
ΣΧΗΜΑ 49: Τριτοταγής Αμίνη.....	82	
ΣΧΗΜΑ 50: Χημική σύσταση των καρβοξυλομάδων.....	83	
ΣΧΗΜΑ 51: Αναπαράσταση των δυνάμεων Van der Waals.....	83	

## **ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ**

ΕΞΙΣΩΣΗ 1: Υπολογισμός βαθμού διόγκωσης S.....	17
--	----

ΕΞΙΣΩΣΗ 2: Η εξίσωση του pH.....	25
ΕΞΙΣΩΣΗ 3:Νόμος Lambert-Beer.....	28
ΕΞΙΣΩΣΗ 4: Η ολική απορρόφηση συστήματος όπου δεν υπάρχει αλληλεπίδραση μεταξύ των διαφόρων συστατικών του μίγματος όπου οι δείκτες 1,2,3, ... ,n αναφέρονται στα επιμέρους συστατικά του μίγματος. ....	29
ΕΞΙΣΩΣΗ 5: Συντελεστής κατανομής K.....	33
ΕΞΙΣΩΣΗ 6: Εξίσωση προσδιορισμού ολικού οργανικού άνθρακα. ....	38
Εξίσωση 7: Ο τύπος του R για την ελάττωση της απορρόφησης.....	43

# 1<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1 «Χημικά υδροπηκτώματα-Προσρόφηση»

Τα χημικά υδροπηκτώματα ορίζονται ως τρισδιάστατα δίκτυα υδρόφιλων πολυμερών και η βασική τους ιδιότητα ως σύστημα είναι η ελαστικότητα που τους επιτρέπει να απορροφούν μεγάλες ποσότητες νερού [1]. Γενικά η φύση τους συνίσταται μεταξύ στερεής και υγρής κατάστασης. Συνήθως το υδροπήκτωμα προσροφά σε νερό τουλάχιστον το 20% του συνολικού του βάρους, στην περίπτωση που προσροφά ποσότητα νερού μεγαλύτερη από 95% του συνολικού του βάρους, τότε αποκαλείται <<υπερπροσροφητικό>> [2]. Τα υπερπροσροφητικά υδροπηκτώματα είναι συνήθως ιοντικής φύσεως και αποτελούν τον μοναδικό τύπο πολυμορφικών πηκτωμάτων που παρασκευάζονται βιομηχανικώς σε μεγάλες ποσότητες. Βρίσκουν εφαρμογές κυρίως στην γεωργία και σαν προϊόντα προσωπικής φροντίδας. Με την παρουσία του νερού τα χημικά υδροπηκτώματα έχουν την ικανότητα να διογκώνονται και με την απουσία του να συρρικνώνονται στην προγενέστερη μορφή τους [3]. Το εύρος της διόγκωσης εξαρτάται κυρίως από τη φύση, δηλαδή την υδροφιλικότητα των πολυμερικών αλυσίδων και η πυκνότητα των σταυροδεσμών καθορίζει την ελαστικότητα του δικτύου [4]. Η υδροφιλικότητα αυτών των υλικών να αλληλεπιδρούν με το νερό οφείλεται στην παρουσία ικανών ομάδων όπως οι υδροξυλομάδες<sup>1</sup>, καρβοξυλομάδες<sup>2</sup> και αμινομάδες<sup>3</sup>. Τα υδροπηκτώματα ταξινομούνται σε δύο κατηγορίες:

1. Τα χημικώς διασυνδεδεμένα υδροπηκτώματα
2. Τα φυσικώς διασυνδεδεμένα υδροπηκτώματα

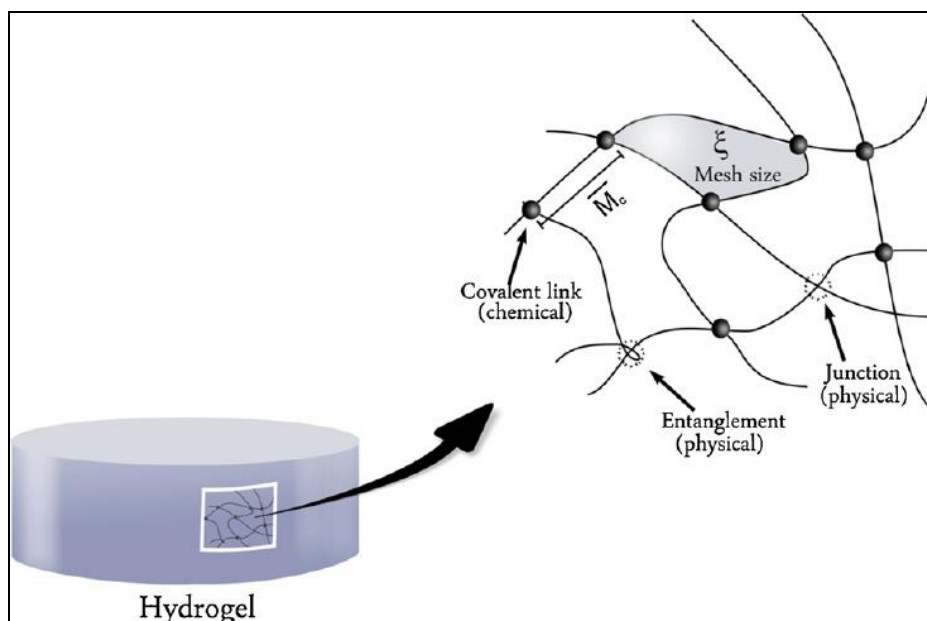
Στα **χημικά υδροπηκτώματα** οι ομοιοπολικοί δεσμοί συνδέουν τις μακρομοριακές τους αλυσίδες και η δομή τους είναι μη αναστρέψιμη. Αυτό σημαίνει ότι δεν διασπώνται μέχρι την πλήρη καταστροφή των ομοιοπολικών δεσμών και την αποσύνθεση του πολυμερούς. Για την παρασκευή αυτών των μακρομοριακών αλυσίδων χρησιμοποιούνται οι ίδιες μέθοδοι με αυτές των γραμμικών πολυμερών. Η διαφορά τους είναι ότι στο αντιδρών μίγμα προστίθεται ο παράγοντας διασύνδεσης, ο οποίος παίζει τον ρόλο σύνδεσης των πολυμερικών αλυσίδων.

---

<sup>1</sup> Σελ. 81

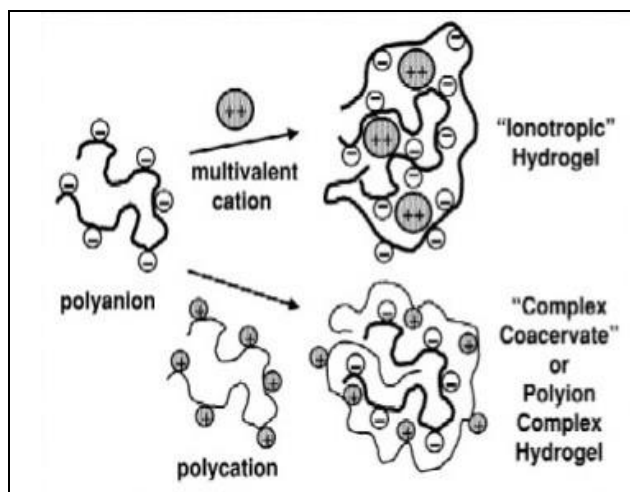
<sup>2</sup> Σελ. 81

<sup>3</sup> Σελ. 82



ΣΧΗΜΑ 1: Σχηματική αναπαράσταση του χημικού υδροπηκτώματος και πως αυτό συμπεριφέρεται στην διόγκωση του.

Στα **φυσικά υδροπηκτώματα** οι αλυσίδες συνδέονται μέσω μη ομοιοπολικών δεσμών, όπως οι αλληλεπιδράσεις των δυνάμεων διασποράς Van der Waals<sup>4</sup>, ιοντικές αλληλεπιδράσεις, δεσμοί υδρογόνου και υδρόφοβες αλληλεπιδράσεις. Οι φυσικές διασυνδέσεις είναι προσωρινές και σχηματίζονται ή διασπώνται με μεταβολές εξωτερικών παραγόντων όπως η θερμοκρασία, η πίεση και η τάση των ατμών.



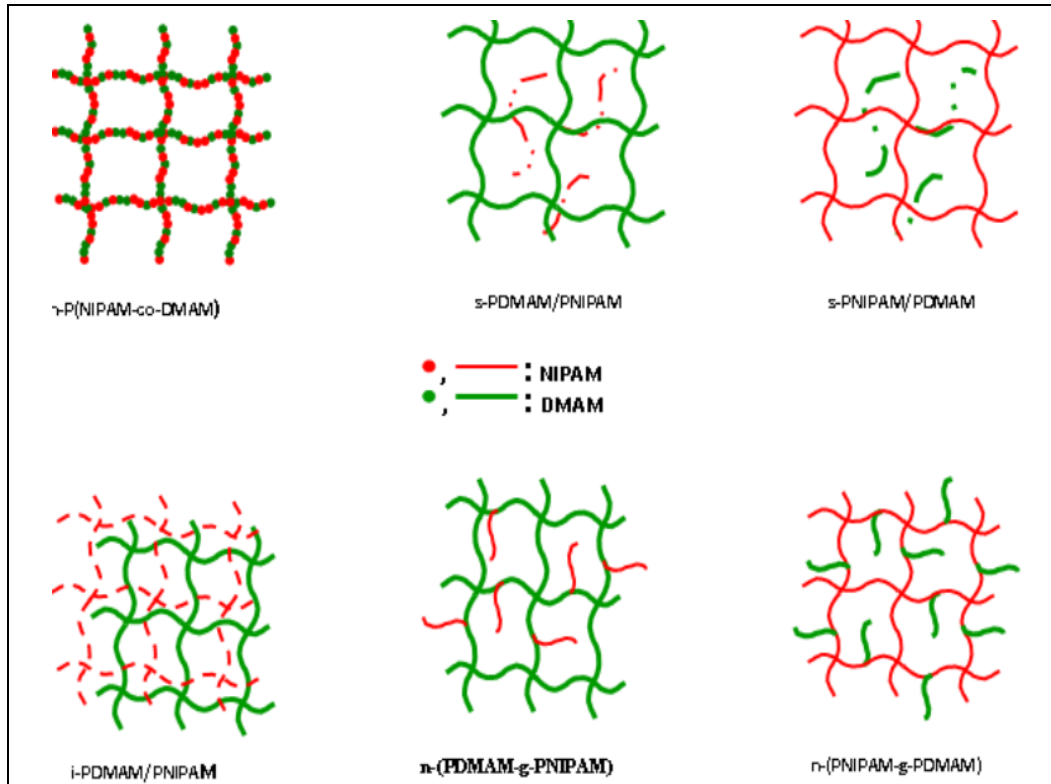
ΣΧΗΜΑ 2: Σχηματική αναπαράσταση φυσικού υδροπηκτώματος.

Τα υδροπηκτώματα εκτός από τις βασικές τους ιδιότητες που αναφέρθηκαν παραπάνω ( διογκώνονται με την παρουσία του νερού και συρρικνώνονται με την

<sup>4</sup> Σελ. 82

απουσία του), μπορούν να εμφανίζουν και άλλες ιδιότητες διόγκωσης ή συρρίκνωσης με την επίδραση εξωτερικών παραγόντων. Αυτό συμβαίνει όταν μεταβάλλονται περιβαλλοντικοί παράγοντες όπως για παράδειγμα η θερμοκρασία, το pH, η σύσταση του διαλύτη, η συγκέντρωση του άλατος και του ηλεκτρολύτη, το ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο και τέλος το φως. Η μεταβολή του όγκου του υδροπηκτώματος μεταξύ της διογκωμένη και καταρρέουσας φάσης μπορεί να είναι συνεχής (υδροπήκτωμα PEO) ή ασυνεχής ( υδροπήκτωμα PNIPAM ή πολυηλεκτρολυτών). Σε ότι αφορά τη φύση της η μεταβολή εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον βαθμό ιοντισμού, τη δυσκαμψία των πολυμερών αλυσίδων και τέλος τη χημική αναλογία του μονομερούς από την οποία συντίθεται το υδροπήκτωμα.

Για την σύνθεση χημικών υδροπηκτωμάτων τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιούνται συμπολυμερή που συνδυάζουν τις ιδιότητες των κατάλληλα επιλεγμένων μονομερών. Σημαντικό ρόλο στις τελικές ιδιότητες σε αυτές τις περιπτώσεις, παίζει και η δομή των υδροπηκτωμάτων. Γι' αυτό γίνονται μελέτες σε ημιδιαπλεκόμενα ή αλληλοδιαπλεκόμενα δίκτυα. Στην ΕΙΚΟΝΑ του ΣΧΗΜΑΤΟΣ 3, παρουσιάζονται διάφορες πιθανές δυνατότητες συνδυασμού των μονομερών για την παρασκευή χημικών υδροπηκτωμάτων διαφόρων αρχιτεκτονικών χρησιμοποιώντας ως παράδειγμα τα συμπολυμερή του DMAM με το NIPAM. Εκτός, λοιπόν, από το υδροπήκτωμα του στατιστικού συμπολυμερούς, υπάρχουν και οι δύο πιθανές αρχιτεκτονικές ημιδιαπλεκόμενων υδροπηκτωμάτων, το αλληλοδιαπλεκόμενο δίκτυο, αλλά και πιο εξεζητημένες, που παρουσιάζουν αρχιτεκτονικές τύπου κτένας με χημική διασύνδεση [5-7].

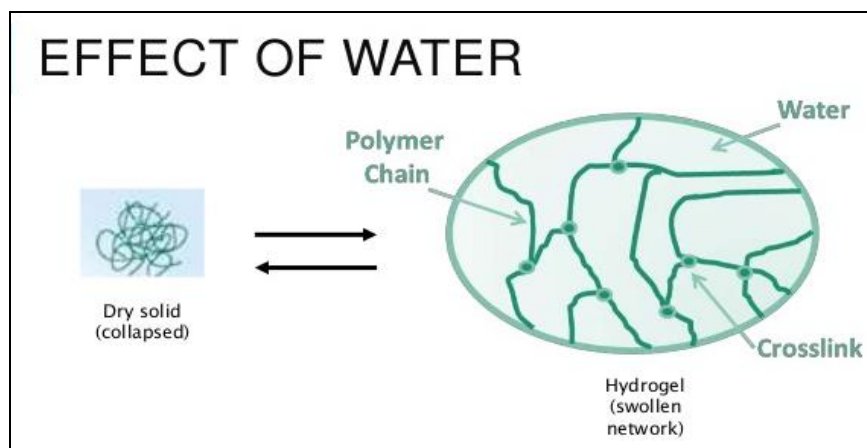


ΣΧΗΜΑ 3: Περιπτώσεις αλληλοδιαπλεκόμενων υδροπηκτωμάτων.

Πηγή: (Θηβαίος, 2008)

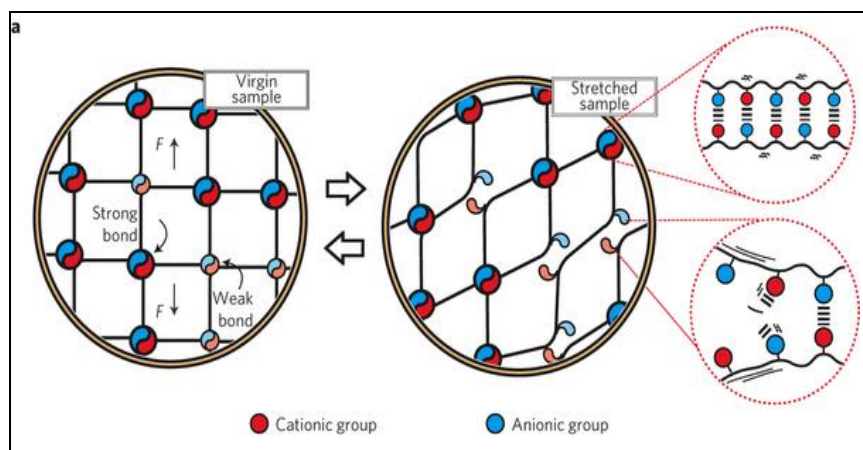
### 1.1.1 Συμπεριφορά υδροπηκτωμάτων στο pH και στο νερό (H<sub>2</sub>O)

Για να μπορέσει το υδροπήκτωμα να προσροφήσει τις οργανικές και ανόργανες ουσίες από το νερό, όπως τα αμμωνιακά και τα νιτρικά ιόντα από πρότυπα διαλύματα στις διαφορετικές τιμές pH που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία, θα πρέπει πρώτα να γνωρίζουμε τι φορτίο υπάρχει στο υδροπήκτωμα και στο υπό μελέτη υδάτινο σύστημα.



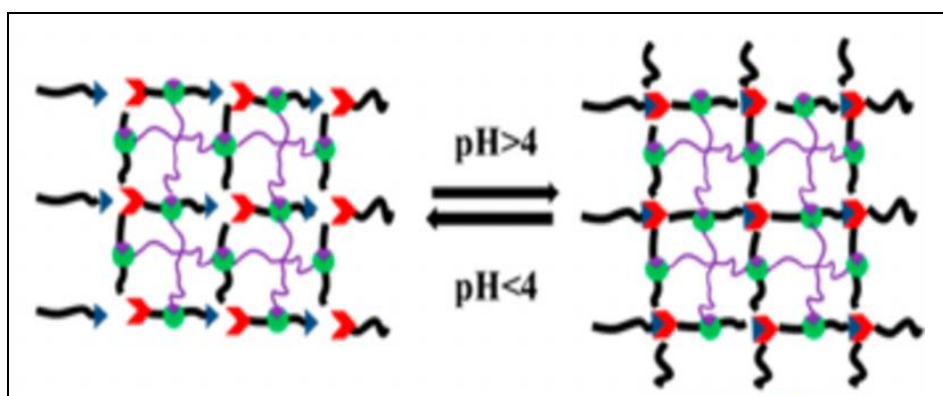
ΣΧΗΜΑ 4: Συμπεριφορά υδροπηκτώματος όταν προσροφάει το νερό.

Τα υδροπηκτώματα μπορεί να είναι θετικά (+), αρνητικά (-) φορτισμένα ή και ουδέτερα το ίδιο και ο υπό μελέτη ρύπος στα πρότυπα διαλύματα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν προκειμένου να μελετηθεί η προσροφητική ικανότητα διαφόρων τύπων υδροπηκτωμάτων. Στις περισσότερες δημοσιευμένες μελέτες οι ηλεκτροστατικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ υδροπηκτώματος και ρύπου είναι ο κυρίαρχος μηχανισμός προσρόφησης [8-10].



ΣΧΗΜΑ 5: Προσρόφηση φορτισμένων ομάδων από χημικά υδροπηκτώματα μέσω ηλεκτροστατικών αλληλεπιδράσεων

Σε ότι αφορά την επίδραση του pH έχει παρατηρηθεί ότι σε πολύ όξινα περιβάλλοντα με τιμές pH 1-4 τα υδροπηκτώματα δυσκολεύονται να προσροφήσουν το διάλυμα και να διογκωθούν σε αντίθεση με ένα ουδέτερο ή βασικό περιβάλλον, όπου τα gel διογκώνονται περισσότερο και προσροφάνε καλύτερα.



ΣΧΗΜΑ 6: Η συμπεριφορά ενός υδροπηκτώματος σε όξινο περιβάλλον.



### 1.1.2 Προσδιορισμός βαθμού διόγκωσης

Ο βαθμός διόγκωσης  $S$  ενός χημικού υδροπηκτώματος υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο [11]:

$$S_d = (W_s - W_d) / W_d$$

*ΕΞΙΣΩΣΗ 1: Υπολογισμός βαθμού διόγκωσης  $S$ .*

Όπου:  $W_s$  = Μάζα του διογκωμένου υδροπηκτώματος

$W_d$  = Μάζα του ξηρού υδροπηκτώματος στην ίδια θερμοκρασία.

Ο χρόνος που απαιτείται να παραμείνουν τα χημικά υδροπηκτώματα εντός του διαλύτη ή του μίγματος διαλυτών, είναι από 24 ώρες έως και μία βδομάδα. Το υδροπήκτωμα θεωρείται ότι έχει ισορροπήσει, όταν το βάρος του υδροπηκτώματος δε μεταβάλλεται σημαντικά μεταξύ δύο διαδοχικών μετρήσεων.

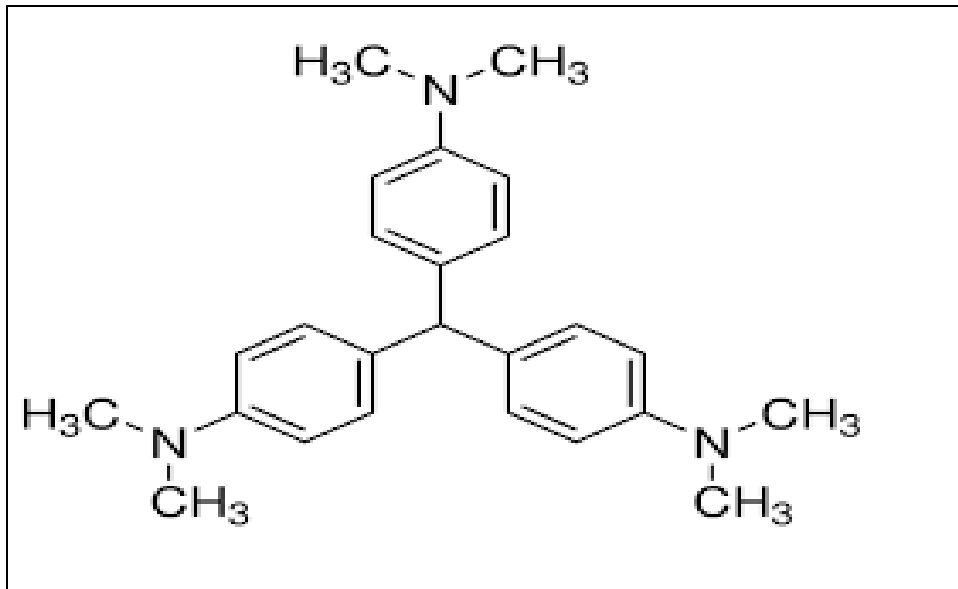
### 1.1.3 Χρωστικές

Μια πολλά υποσχόμενη μέθοδος με σημαντικό ερευνητικό ενδιαφέρον κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών για την απομάκρυνση οργανικών ρύπων από το νερό είναι η δέσμευση χρωστικών ουσιών από χημικά υδροπηκτώματα,. Οι χρωστικές ουσίες είναι συνήθως αρωματικές ενώσεις που απορροφούν στη περιοχή του ορατού.

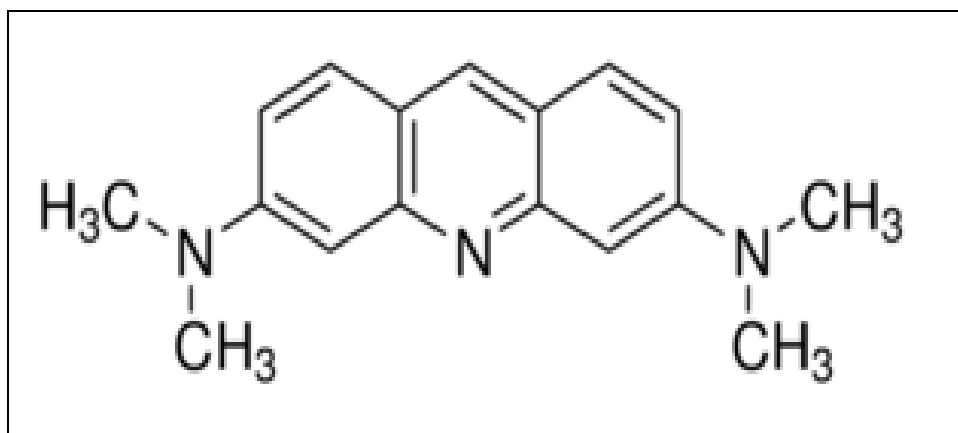
Η διάθεση των χρωστικών στα υγρά απόβλητα αποτελεί σημαντικό πρόβλημα για τους λόγους ότι αυξάνει το οργανικό φορτίο των αποβλήτων και υποβαθμίζει αισθητικά τον αποδέκτη καθώς τα χρώματα, από τη φύση τους, είναι ορατά σε υψηλό βαθμό. Αυτό σημαίνει ότι ακόμα και απορρίψεις χρωστικών σε μικρές ποσότητες (κάτω από 1 ppm) μπορούν να προκαλέσουν ασυνήθιστο χρωματισμό των επιφανειακών νερών, επηρεάζοντας τη διερχόμενη ακτινοβολία με αποτέλεσμα να εμποδίζει τη φωτοσύνθεση σε ένα φυσικό αποδέκτη διαταράσσοντας την τροφική αλυσίδα. Τέλος σε υψηλές συγκεντρώσεις οι χρωστικές μπορούν να προκαλέσουν έντονες ή μακροχρόνιες επιδράσεις στους εκτιθέμενους υδρόβιους οργανισμούς, ακόμη και τοξικότητα στα ψάρια και στους μικροοργανισμούς.

Οι παραπάνω λόγοι επιβάλλουν την μείωση των συγκεντρώσεων των χρωστικών ουσιών στα υγρά απόβλητα, πριν αυτά διατεθούν στους υδάτινους αποδέκτες. Κατά την πειραματική μελέτη της συγκεκριμένης εργασίας

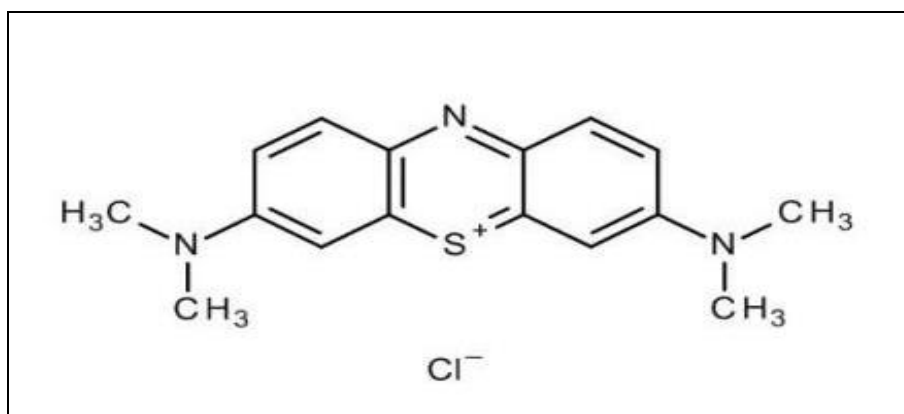
χρησιμοποιήθηκαν τέσσερις πρότυπες χρωστικές: Crystal Violet, Arcidine Orange Base, Methylene Blue Hydrate και Basic Blue 41. Στ Σχήματα που ακολουθούν παρουσιάζονται οι χημικοί τύποι των χρωστικών που μελετήθηκαν.



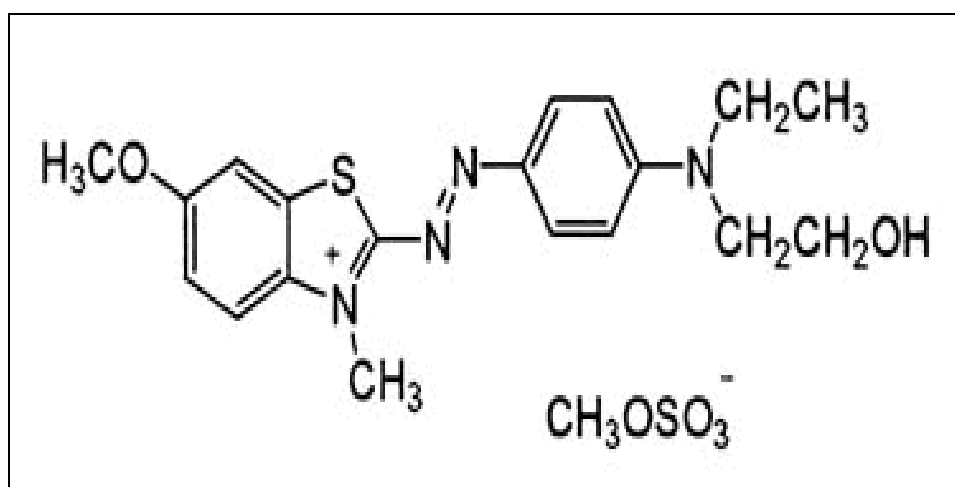
*ΣΧΗΜΑ 7: Crystal Violet.*



*ΣΧΗΜΑ 8: Acridine Orange Base.*



ΣΧΗΜΑ 9: Methylene Blue hydrate.

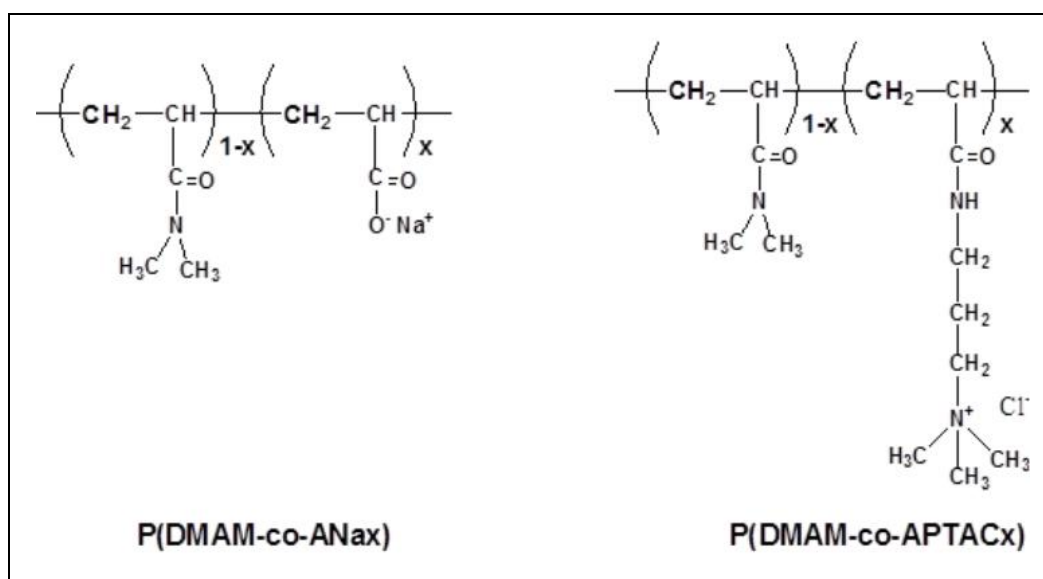


ΣΧΗΜΑ 10: Basic Blue 41

#### 1.1.4 Μελέτη προσρόφησης οργανικών και ανόργανων ρύπων σε P(DMAM-co-AN<sub>x</sub>) (gel) και P(DMAM-co-APTAC<sub>x</sub>) (gel)

Στη συγκεκριμένη εργασία για τη μελέτη της προσρόφησης των χρωστικών ουσιών (Crystal Violete, Acridine Orange Base, Basic Blue, Methylene Blue Hydrate) χρησιμοποιήθηκαν τα χημικά υδροπηκτώματα P(DMAM-co-AN<sub>x</sub>) (αρνητικά φορτισμένα) και P(DMAM-co-APTAC<sub>x</sub>) (θετικά φορτισμένα) και παρασκευάστηκαν διαλύματα χρωστικών με διαφορετικές συγκεντρώσεις. Στα παραπάνω υδροπηκτώματα το x παίρνει τιμές από 0 έως 1 όπου το 0 αντιστοιχεί στο μη ιοντικό υδροπήκτωμα και το 1 στο πλήρως φορτισμένο υδροπήκτωμα είτε θετικά είτε αρνητικά. Αφού οι ποσότητες των ξηρών δειγμάτων ζυγίστηκαν, στην συνέχεια προστέθηκαν στο κάθε διάλυμα και έμειναν εκεί ώστε να ισορροπήσουν σε σταθερή

θερμοκρασία. Για την αποκατάσταση της ισορροπίας χρειάζονται περίπου δύο μέρες και στην συνέχεια τα gel σκουπίζονται καλά ώστε να μειωθεί η πιθανότητα σφάλματος κατά τη διαδικασία της ζύγισης τους. Καθώς τα gel απομακρύνονται, τα διαλύματα που προκύπτουν τοποθετούνται σε φασματοφωτόμετρο απορρόφησης υπεριώδους ορατού UV-Vis, προκειμένου να προσδιοριστεί η ακριβής εναπομείνασα συγκέντρωση της υπό μελέτη χρωστικής. Για να γίνει αυτό, παρασκευάστηκαν πρότυπα διαλύματα από όλες τις χρωστικές και στη συνέχεια κατασκευάστηκαν πρότυπες καμπύλες βαθμονόμησης της απορρόφησης σε συνάρτηση με τη συγκέντρωση. Με βάση την εξίσωση της κάθε καμπύλης, μετρώντας την απορρόφηση των διαλυμάτων των χρωστικών μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας προσρόφησης, μπορεί να υπολογιστεί η εναπομείνασα συγκέντρωση της χρωστικής στο κάθε διάλυμα. Επιπλέον μελετήθηκε κατά τον ίδιο τρόπο και προσροφητική ικανότητα των συγκεκριμένων υδροπηκτωμάτων σε αζωτούχους ανόργανους ρύπους ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ), μέσω μετρήσεων Ολικού Αζώτου (Total Nitrogen, TN).



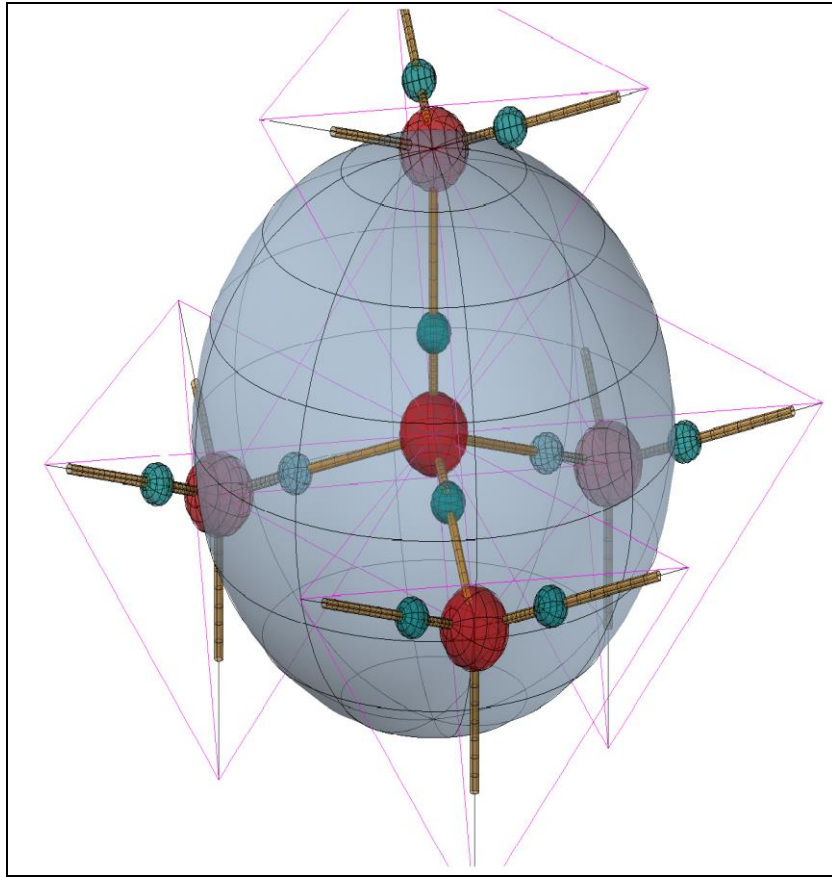
ΣΧΗΜΑ 11: Σχηματική αναπαράσταση της χημικής δομής των υδροπηκτωμάτων που μελετήθηκαν στην παρούσα εργασία

Με δεδομένο ότι η συμπεριφορά των χημικών υδροπηκτωμάτων κατά τον εμβαπτισμό τους σε υδατικά συστήματα εξαρτάται πλήρως από τη δομή και τις βασικές φυσικοχημικές ιδιότητες του νερού όπως το pH και η σκληρότητα ακολουθεί ένα σύντομο κεφάλαιο με συνοπτική περιγραφή τους.

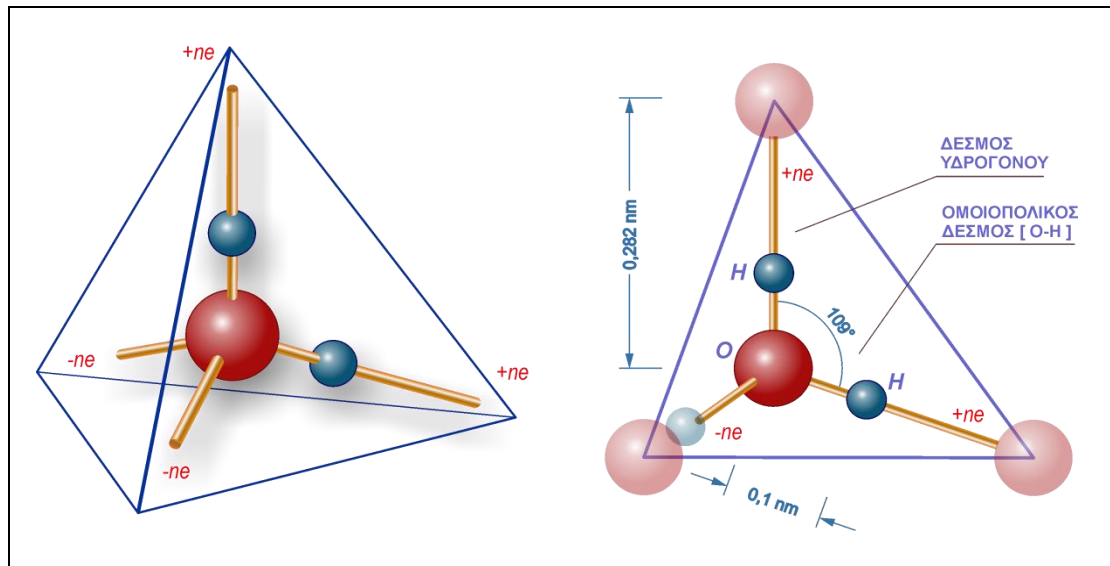
## 1.2 ΤΟ ΝΕΡΟ

### 1.2.1 Δομή του μορίου του νερού

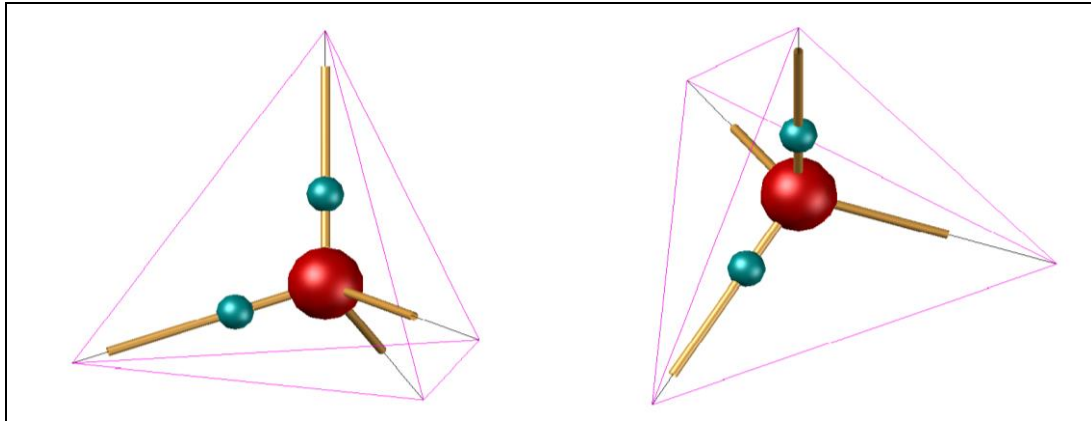
Το νερό είναι ένα υγρό στοιχείο, με υψηλό βαθμό διασύνδεσης και δεσμούς υδρογόνου (H). Τα κοινά αυτά χαρακτηριστικά τα διατηρεί και στη μορφή του πάγου. Σύμφωνα με τη γεωμετρία του μορίου του νερού (H<sub>2</sub>O), το μήκος O-H είναι 0,0958nm και η γωνία H-O-H 104<sup>0</sup> 27'. Η συμπεριφορά των υδατικών διαλυμάτων των πολυπολικών ενώσεων κυριαρχείται από τον δεσμό υδρογόνου μεταξύ του νερού και των μορίων της διαλυμένης ουσίας. Η ισχυρή τάση των μορίων του νερού να σχηματίζουν δεσμούς υδρογόνου μεταξύ τους, επηρεάζει σε σημαντικό βαθμό τις αλληλεπιδράσεις τους με μη πολικά μόρια, τα οποία δεν είναι ικανά να σχηματίσουν δεσμούς υδρογόνου. Όταν φέρουμε μαζί σε επαφή μόρια νερού και μη πολικά μόρια, η κυριότερη συνέπεια είναι ο αναπροσανατολισμός των μορίων του νερού έτσι ώστε να μπορούν να συμμετάσχουν σε σχηματισμό δεσμών υδρογόνου.



ΣΧΗΜΑ 12: Απεικόνιση του μορίου του νερού.



ΣΧΗΜΑ 13: Η τετράεδρη γεωμετρία του νερού, με τους δεσμούς και τις διαστάσεις του.



ΣΧΗΜΑ 14: Τρισδιάστατα μοντέλα μορίων νερού.

Σύμφωνα με το πρότυπο του Bjerrum, που αναπαριστάται στα Σχήματα 2,3,4, το μόριο του νερού είναι ένα κανονικό τετράεδρο, με το άτομο του οξυγόνου να βρίσκεται στο κέντρο και στις τέσσερις από τις κορυφές οι οποίες απέχουν 0,1nm από το κέντρο να είναι τοποθετημένα τα κλάσματα του φορτίου  $\pm ne$ .

Οι δύο από τις κορυφές συνδέονται με δύο άτομα υδρογόνου με ομοιοπολικούς δεσμούς (O-H) μήκους 0,1nm. Επομένως στο σχήμα του κανονικού τετραέδρου υπάρχουν ελαφρώς θετικά και αρνητικά φορτία στις κορυφές του που του επιτρέπουν να συνδέεται με άλλα μόρια νερού με δεσμούς υδρογόνου (H) και σε απόσταση 0,282nm.

### 1.2.2 Το νερό ως διαλύτης

Το νερό στον ρόλο του διαλύτη μπορεί να διαλύσει πολικές ομοιοπολικές ενώσεις. Η διαδικασία της διάλυσης γίνεται εφ' όσον τα μόρια της ομοιοπολικής ένωσης αντιδρούν με τα μόρια του νερού ή συνδέονται με δεσμούς υδρογόνου είτε εφυδατώνονται. Αντίθετα οι μη πολικές ομοιοπολικές ενώσεις γενικά δεν μπορούν να διαλυθούν στο νερό.

Όσο αφορά τη διάλυση των ετεροπολικών ενώσεων στο νερό, αυτό οφείλεται πρώτων στην εφυδάτωση των ιόντων που οφείλεται στη μεγάλη διηλεκτρική σταθερά του νερού ( $\epsilon=80$ ). Όταν ο κρύσταλλος έρθει σε επαφή με το νερό, τα πολικά μόρια του νερού πλησιάζουν τα ιόντα που βρίσκονται στην επιφάνεια του κρυστάλλου μέσω ηλεκτροστατικών αλληλεπιδράσεων [11].

### 1.2.3 Η σκληρότητα του νερού

Ο όρος σκληρότητα του νερού, παραπέμπει στο νερό που περιέχει άλατα ασβεστίου και μαγνησίου, καθώς είναι ακατάλληλο για ανθρώπινη κατανάλωση (δεν είναι πόσιμο), άλλα προκαλεί και σημαντικά προβλήματα κατά τη χρήση του στη βιομηχανία.

Η ολική σκληρότητα του νερού προσδιορίζεται, συμπλοκομετρικά και εκφράζεται σε Γαλλικούς ή Γερμανικούς βαθμούς. Δηλαδή 1 (d<sup>0</sup>) βαθμός αντιστοιχεί σε 1mg CaO ανά 100mL νερού στους Γερμανικούς βαθμούς και 1 (f<sup>0</sup>) βαθμός αντιστοιχεί σε 1 mg CaCO<sub>3</sub> ανά 100mL νερού στους Γαλλικούς βαθμούς. Σε γενικές γραμμές τη ν σκληρότητα την διακρίνουμε σε δύο κατηγορίες, την παροδική και την μόνιμη σκληρότητα, όπου το σύνολο αυτών των δύο αποτελεί την ολική σκληρότητα του νερού [11].

Η **παροδική σκληρότητα** οφείλεται στα ευδιάλυτα όξινα ανθρακικά άλατα ασβεστίου και μαγνησίου Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, Mg(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>. Η παροδική σκληρότητα απομακρύνεται κατά το βρασμό του νερού



Η **μόνιμη σκληρότητα** οφείλεται στα χλωριούχα, θειικά, νιτρικά και πυριτικά άλατα ασβεστίου και μαγνησίου [11].

### 1.2.4 Υπερκάθαρο Νερό

Με τον όρο υπερκάθαρο νερό ονομάζεται το νερό όπου έχει καθαριστεί σε αυστηρές προδιαγραφές, και είναι απαλλαγμένο από αέρια, οργανικές ουσίες και βακτήρια. Αυτό πραγματοποιείται με τη χρήση ρητινών υψηλής απόδοσης και φίλτρων για μικροοργανισμούς. Το υπερκάθαρο νερό συμβολίζεται με τα αρχικά UPW (ultra pure water) και αποδίδεται στα ελληνικά με τον όρο νερό υψηλής καθαρότητας. Οι κυρίαρχες τεχνολογίες απιονισμού οι οποίες συνδέονται με την παραγωγή υπερκάθαρου νερού είναι η ιοντοανταλλαγή και ο ηλεκτροαπιονισμός. Αυτό συμβαίνει συνήθως μετά την αντίστροφη όσμωση.

Αναφορικά με τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας του υπερκάθαρου νερού ανάλογα με την απαιτούμενη ποιότητα των υδάτων, συχνά διαθέτουν εξαέρωση, μικροδιήθηση, υπερδιήθηση, υπεριώδη ακτινοβολία, καθώς και τη μέτρηση του ολικού οργανικού άνθρακα [TOC], μέτρηση αιωρούμενων σωματιδίων, pH αλλά και



άλλες μετρήσεις που αφορούν συγκεκριμένα ιόντα.

Η χρήση του ποικίλλει ανάλογα με τις ανάγκες και το εργαστήριο, δηλαδή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την έκπλυση των πλακιδίων μετά την εφαρμογή των χημικών ουσιών, για την αραίωση χημικών ουσιών, σε συστήματα οπτικών μετρήσεων, ή και ακόμα μερικές φορές χρησιμοποιείται και ως πηγή ύγρανσης για το περιβάλλον [12].

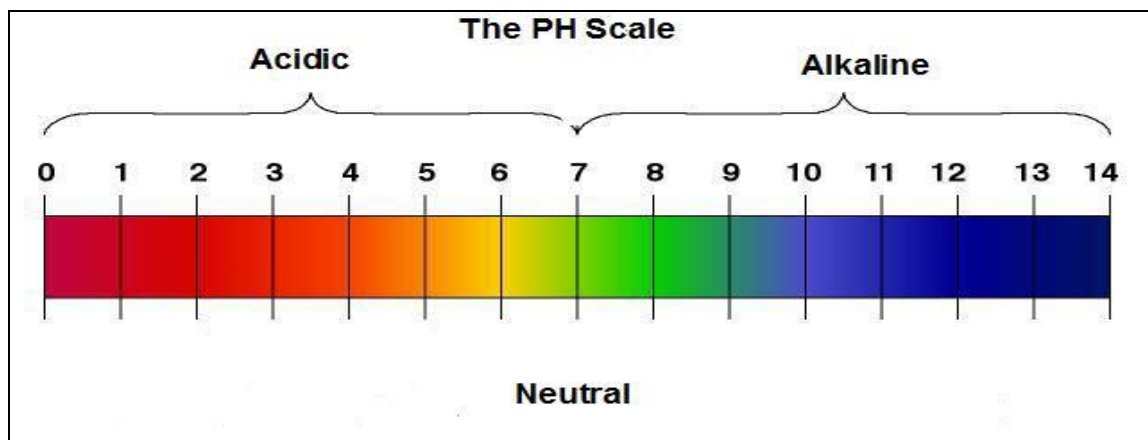
### 1.3 pH

Το pH ως ορισμός είναι η ενεργός οξύτητα η οποία εκφράζει τη συγκέντρωση των κατιόντων υδρογόνου σε ένα δείγμα και ισούται με την αρνητική λογαριθμική συγκέντρωση των ιόντων υδρογόνου σε αυτό [12]. Το pH δίνεται από τον τύπο:

$$\text{pH} = (-\log[\text{H}^+])$$

*ΕΞΙΣΩΣΗ 2: Η εξίσωση του pH.*

Η κλίμακα μέτρησης του pH καθορίζεται από 0 ως 14, όπου η τιμή 7 αντιστοιχεί σε ουδέτερα δείγματα. Τιμές μικρότερες του 7 υποδεικνύουν υπεροχή υδρογονιόντων, όξινα δείγματα, ενώ τιμές μεγαλύτερες από 7 αντιστοιχούν σε αλκαλικά δείγματα. Τα φυσικά νερά έχουν τιμές pH που κυμαίνονται μεταξύ των 4 έως 9 μονάδων, ενώ τιμές 6,5 έως 8,5 είναι στις περισσότερες περιπτώσεις οι καταλληλότερες για τους υδρόβιους οργανισμούς. Στην παρακάτω εικόνα αναγράφονται οι τιμές του pH μαζί με τους δείκτες σε όξινο, ουδέτερο και βασικό περιβάλλον.



*ΣΧΗΜΑ 15: Η κλίμακα του pH.*

Η ενεργός οξύτητα του νερού εξαρτάται από τη θερμοκρασία, την αλατότητα ,

τις συγκεντρώσεις του διοξειδίου του άνθρακα ( CO<sub>2</sub> ) και του οξυγόνου ( O<sub>2</sub> ), από τη μεταβολική δραστηριότητα των υδρόβιων οργανισμών (φωτοσύνθεση, αναπνοή) καθώς και τη χημική αποσύνθεση των οργανικών ουσιών.

Σημαντικές και σχετικά μόνιμες μεταβολές στο pH παρατηρούνται συνήθως κάτω από την επίδραση εξωγενών παραγόντων. Χαμηλές τιμές του pH οφείλονται συχνά στην εισαγωγή οξέων στη λίμνη (όξινη βροχή, αστικά και βιομηχανικά απόβλητα κ.ά.). Αλκαλικές τιμές pH συναντάμε σε περιπτώσεις έντονης φωτοσυνθετικής δραστηριότητας - ευτροφισμός (κατά τη φωτοσύνθεση το φυτοπλαγκτόν μειώνει τη συγκέντρωση του CO<sub>2</sub> του νερού), σε περιπτώσεις ρύπανσης της λίμνης με αλκαλικές ουσίες (απορρυπαντικά , αστικά και βιομηχανικά απόβλητα) και σε αυξημένες συγκεντρώσεις ασβεστίου (Ca), νατρίου (Na) και μαγνησίου (Mg) [12].

#### **1.4 ANTIBIOTIKA**

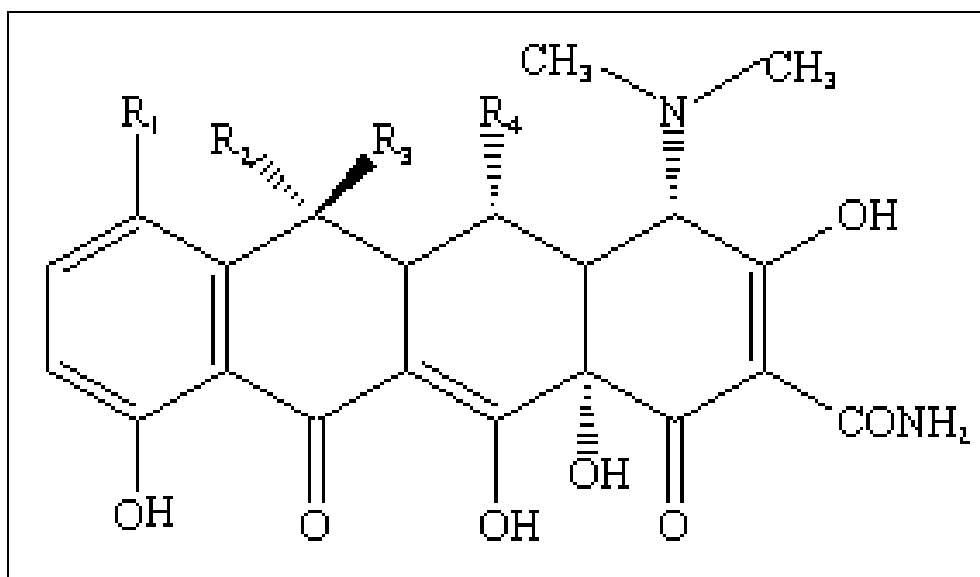
Κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών μία μεγάλη κατηγορία περιβαλλοντικών ρύπων αποτελούν οι ουσίες με αντιμικροβιακή δράση, καθώς η χρήση τους είναι ευρεία σε ανθρώπους αλλά και κτηνιατρική χρήση [13,14]. Οι συγκεντρώσεις που ανιχνεύονται στο υδάτινο περιβάλλον είναι σε πολλές περιπτώσεις της τάξης των μg/L και διάφορες τεχνικές έχουν αρχίσει να εμφανίζονται στη βιβλιογραφία για την απομάκρυνσή τους από τους υδάτινους αποδέκτες [15,16]. Στην παρούσα εργασία έγινε επιπλέον μία πρώτη μελέτη της απομάκρυνσης του αντιβιοτικού οξυτετρακυκλίνη μέσω της τεχνικής της φωτοκατάλυσης. Η απομάκρυνση μελετήθηκε με μετρήσεις απορρόφησης φασματοφωτομετρίας υπεριώδους-ορατού καθώς και μετρήσεις Ολικού Οργανικού Άνθρακα (Total Organic Carbon, TOC). Για λόγους καλύτερης εκτίμησης της απόδοσης του φωτοκαταλυτικού συστήματος που χρησιμοποιήθηκε μελετήθηκαν και τα διαλύματα οργανικών χρωστικών που χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα προσρόφησης.

##### **1.4.1 Τετρακυκλίνες ( tetracyclines)**

Με την ονομασία τετρακυκλίνη περιγράφεται μια ολόκληρη ομάδα αντιμικροβιακών παραγόντων με ευρύ φάσμα δράσης [16]. Παρόλο που γενικά έχουν τα ίδια αντιμικροβιακά χαρακτηριστικά, διαφέρουν ως προς τις φαρμακευτικές τους ιδιότητες. Οι φυσικοχημικές του ιδιότητες επιτρέπουν την παρασκευή πολλών φαρμακευτικών ειδών, όπως ενέσιμων διαλυμάτων, κάψουλων, υδατοδιαλυτής

σκόνης, προμειγμάτων ζωοτροφών, αλοιφών κλπ.

Οι τετρακυκλίνες είναι αμφοτερικές ουσίες και σχηματίζουν εύκολα άλατα σε οξέα και βάσεις. Σε γενικές γραμμές διαλύονται εύκολα στο νερό και είναι ασταθείς σε υδατικά διαλύματα, τα οποία έχουν υψηλή τιμή pH (7.0-8.5). Σχηματίζουν σταθερά δυσδιάλυτα σύμπλοκα με μεταλλικά ιόντα ασβεστίου (Ca), μαγνησίου (Mg) και σιδήρου (Fe).



ΣΧΗΜΑ 16 Γενικός χημικός τύπος τετρακυκλινών.

#### 1.4.2 Αντιβιοτικό Οξυτετρακύκλίνη (Oxytetracycline)

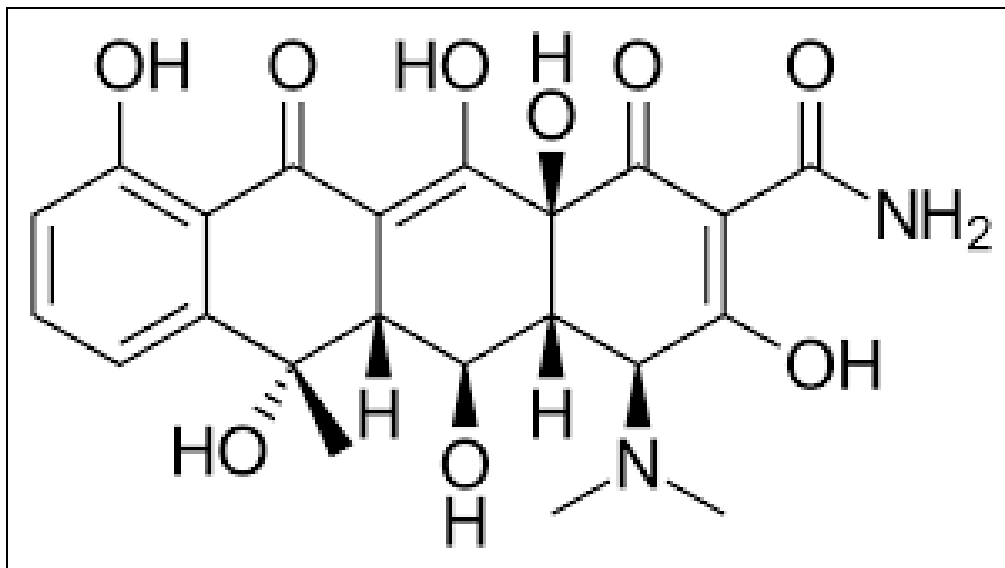
Η οξυτετρακυκλίνη είναι βακτηριοστατικό αντιβιοτικό ευρέως φάσματος που περιλαμβάνει τα περισσότερα Gram+ και Gram- βακτηρίδια που απαντώνται στην Κτηνιατρική, όπως επίσης τα μυκοπλάσματα, τα χλαμύδια και τις ρικέτσιες.

Αυτό το αντιβιοτικό είναι δραστικό κατά:

1. Των κυριότερων παθογόνων βακτηριδίων του αναπνευστικού συστήματος των μηρυκαστικών και των χοίρων (παστερέλλες, μπορντετέλλες, ακτινοβάκιλλοι και μυκοπλάσματα.).
2. Των αναερόβιων βακτηριδίων που εμπλέκονται στην παθολογία των άκρων των μηρυκαστικών καθώς και των Gram+ βακτηριδίων, οι οποίοι παράγοντες είναι υπεύθυνοι για μολύνσεις και επιμολύνσεις (σταφυλόκοκκοι, στρεπτόκοκκοι, κορυνοβακτηρίδια).
3. Των χλαμυδίων που απαντώνται στην παθολογία του γεννητικού συστήματος των μηρυκαστικών.

4. Της *Moraxella bovis*, υπεύθυνου παράγοντα της λοιμώδους κερατοεπιπεφυκίτιδας των βοοειδών.

5.



ΣΧΗΜΑ 17: Χημική σύσταση του αντιβιοτικού οξυτετρακυκλίνη.

## 1.5 ΤΕΧΝΙΚΕΣ

### 1.5.1 Φασματοφωτομετρία Απορρόφησης Υπεριώδους-Ορατού

Η φασματοσκοπία βρίσκει ευρεία εφαρμογή στον ποσοτικό προσδιορισμό μεγάλης ποικιλίας ανόργανων και οργανικών ουσιών, η οποία στηρίζεται στη μέτρηση της διαπερατότητας  $T$  ή της απορρόφησης  $A$ , διαλυμάτων που τοποθετούνται σε διαφανείς κυελίδες (χαλαζία) οπτικής διαδρομής μήκους  $b$  cm [17].

Ειδικότερα η φασματοφωτομετρία απορρόφησης βασίζεται στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία γύρω από την περιοχή μηκών κύματος 160 έως 780 nm (περιοχή υπεριώδους – ορατού).

Η συγκέντρωση  $C$ , ενός διαλύματος που απορροφά συνδέεται γραμμικά με την απορρόφηση σύμφωνα με το νόμο των Lambert- Beer [16].

$$A = -\log T = \log \frac{P_0}{P} = \epsilon b C$$

ΕΞΙΣΩΣΗ 3: Νόμος Lambert-Beer

- $A$ : η απορρόφηση  $\log P_0/P$

- T: η διαπερατότητα  $P_0/P$
- $P_0$ : η ακτινοβολούμενη ισχύς
- P: η ισχύς της ακτινοβολίας μετά την απορρόφηση
- ε: ο συντελεστής μοριακής απορρόφησης του υπό μελέτη δείγματος
- b: το μήκος της οπτικής διαδρομής (πάχος κυψελίδας)
- C: η συγκέντρωση της ουσίας που απορροφά.

Ο νόμος του Beer αναφέρει ότι μια δέσμη παράλληλης μονοχρωματικής ακτινοβολίας με ισχύ  $P_0$  πέφτει κάθετα σε μία επιφάνεια. Η ισχύς μειώνεται στην τιμή P με αποτέλεσμα την απορρόφησης μετά από διαδρομή μήκους b μέσα στο υλικό που περιέχει τα απορροφούνται άτομα ή μόρια.

Ο νόμος των Lambert- Beer εφαρμόζεται σε υλικά που περιέχουν περισσότερα από ένα απορροφούνται συστατικά. Σε περίπτωση που δεν υπάρχει αλληλεπίδραση μεταξύ των διαφόρων συστατικών του μίγματος, η ολική απορρόφηση ενός τέτοιου συστήματος παρέχεται από την σχέση:

$$A_{ολικΨ} = A_1 + A_2 + \dots + A_n = \epsilon b C_1 + \epsilon b C_2 + \dots + \epsilon b C_n$$

*ΕΞΙΣΩΣΗ 4: Η ολική απορρόφηση συστήματος όπου δεν υπάρχει αλληλεπίδραση μεταξύ των διαφόρων συστατικών του μίγματος όπου οι δείκτες 1,2,3, ... ,n αναφέρονται στα επιμέρους συστατικά του μίγματος.*

Ο νόμος των Lambert-Beer είναι ένας οριακός νόμος για τον λόγο ότι, σε μεγάλες συγκεντρώσεις (συνήθως  $> 0,01M$ ) η μέση απόσταση μειώνεται μεταξύ των μορίων που απορροφούν, με αποτέλεσμα κάθε μόριο να επηρεάζει την κατανομή φορτίου των γειτονικών του μορίων. Συνεπώς, με επιτυχία ο συγκεκριμένος νόμος περιγράφει την απορρόφηση υλικών που περιέχουν σχετικά μικρές συγκεντρώσεις αναλύτη.

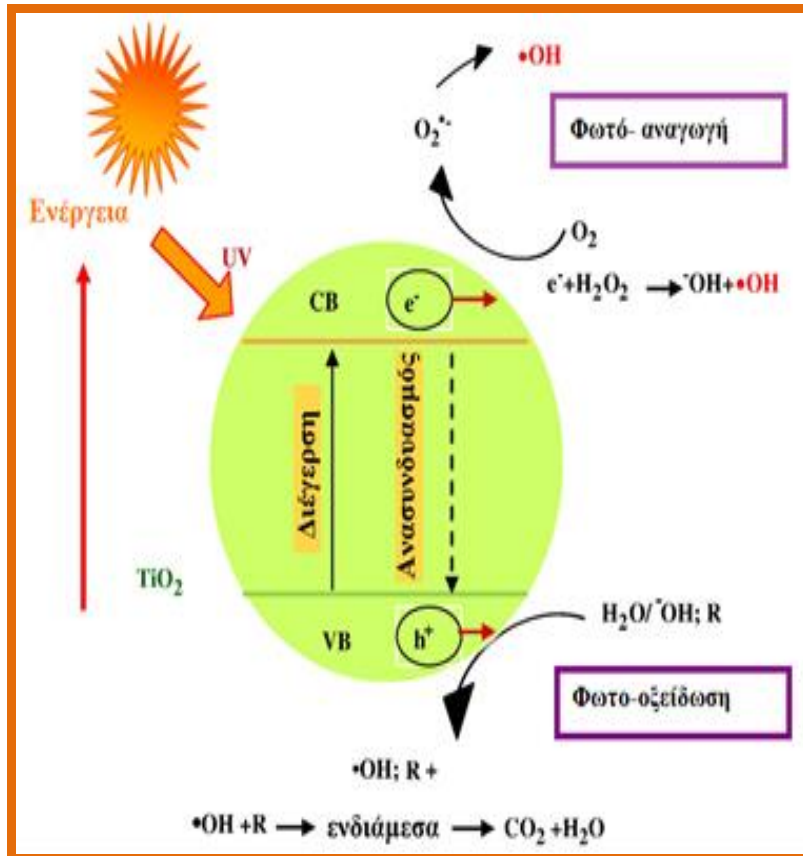
*Για τα πειράματα της φασματοφωτομετρίας απορρόφησης UV-Vis, χρησιμοποιήθηκε φασματοφωτόμετρο μοντέλο «Shimadzu UV-1800». Το μηχάνημα ήταν συνδεδεμένο με ηλεκτρονικό υπολογιστή.*



*ΣΧΗΜΑ 18: Φασματοφωτόμετρο απορρόφησης UV-Vis Shimadzu UV-1800.*

### **1.5.2 Φωτοκατάλυση**

Με τον όρο φωτοκατάλυση στη χημεία ορίζουμε την επιτάχυνση μιας φωτοαντίδρασης υπό την παρουσία ενός καταλύτη. Με τον όρο κατάλυση εννοούμε την διεργασία κατά την οποία ο ρυθμός μια χημικής αντίδρασης επιταχύνεται με την ενεργοποίηση μιας κατάλληλης ουσίας (καταλύτης). Οι φωτοαντιδράσεις αρχίζουν όταν το φως δημιουργεί μια ελεύθερη ρίζα στο σύστημα αντίδρασης η οποία έχει τη δυνατότητα εάν διαθέτει υψηλή ενέργεια να σπάσει τους χημικούς δεσμούς. Όταν αυτοί οι χημικοί δεσμοί διασπαστούν, παράγονται ελεύθερες ρίζες οι οποίες μπορεί είναι ένα μόριο, άτομο, ή ιόν, τα οποία καθώς χρειάζονται να λάβουν ένα ηλεκτρόνιο, επάγουν μία διαδικασία διαδοχικών χημικών αντιδράσεων [18].



ΣΧΗΜΑ19: Σχηματική αναπαράσταση φωτοκαταλυτικής διαδικασίας.

Συνοπτικά η διαδικασία της φωτοκατάλυσης πραγματοποιείται με την ακτινοβολία ενός ημιαγωγού, ο οποίος στη δική μας περίπτωση είναι το οξείδιο του τιτανίου ( $\text{TiO}_2$ ), με ακτινοβολία που διαθέτει ενέργεια μεγαλύτερη ή ίση από το ενεργειακό του χάσμα ( $E_g$ ).

### 1.5.2.1 Τύποι Φωτοκατάλυσης

Οι φωτοκαταλυτικές αντιδράσεις διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες, ανάλογα με τη φύση του καταλύτη και του καταλυόμενου συστήματος.

- A. ΟΜΟΓΕΝΗΣ ΦΩΤΟΚΑΤΑΛΥΣΗ ή ΟΜΟΓΕΝΕΙΣ ΦΩΤΟΚΑΤΑΛΥΤΙΚΕΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ** όπου τα αντιδρώντα και οι φωτοκαταλύτες βρίσκονται στην ίδια φάση. Οι συχνότεροι ομογενείς φωτοκαταλύτες που χρησιμοποιούνται, περιλαμβάνουν το όζον και τα συστήματα Fenton [19].
- B. ΕΤΕΡΟΓΕΝΕΙΣ ΦΩΤΟΚΑΤΑΛΥΤΙΚΕΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ ή ΕΤΕΡΟΓΕΝΗΣ ΦΩΤΟΚΑΤΑΛΥΣΗ** είναι η δημοφιλέστερη από τις δύο

διεργασίες αφού τα τελευταία χρόνια κερδίζει το ενδιαφέρον σε σχέση με την ομογενή φωτοκατάλυση εξαιτίας της δυνατότητας της να χρησιμοποιηθεί σε μεγάλο αριθμό ενεργειακών και περιβαλλοντικών εφαρμογών. Οι πιο συνήθεις ετερογενείς φωτοκαταλύτες είναι τα οξειδία μετάλλων μετάπτωσης. Η ανάπτυξη της ετερογενούς φωτοκατάλυσης κατά την τελευταία δεκαετία υπήρξε εκρηκτική λόγω ορισμένων σημαντικών πλεονεκτημάτων που παρουσιάζει σε σχέση με τις υπόλοιπες στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων. Η ανάμειξη του προς καθαρισμό αποβλήτου με έναν κατάλληλο ημιαγώγιμο καταλύτη (π.χ.  $\text{TiO}_2$ ), ο οποίος είναι χημικά και βιολογικά αδρανής και ο φωτισμός του συστήματος με τεχνητό ή ηλιακό φως, επιφέρουν την πλήρη καταστροφή των οργανικών ενώσεων που υπάρχουν σ' αυτό [20, 21]. Πρόκειται για μία μέθοδο, η οποία μιμείται πρακτικά την φύση, η παρεμβολή δε του καταλύτη επιταχύνει τη διαδικασία καθαρισμού κατά πολλές τάξεις μεγέθους. Είναι γνωστή η ικανότητα αυτοκαθαρισμού που παρουσιάζει η φύση με τη βοήθεια του οξυγόνου της ατμόσφαιρας και του ηλιακού φωτός.

#### **1.5.2.2 Εφαρμογές της φωτοκατάλυσης-Φωτοκαταλυτική διάταξη**

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω η φωτοκατάλυση βρίσκει ευρεία γκάμα εφαρμογών στην καταστροφή και την οξείδωση των οργανικών ρύπων. Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η φωτοκαταλυτική δράση λεπτών υμενίων  $\text{TiO}_2$  σε πρότυπα υδατικά διαλύματα οργανικών χρωστικών καθώς και του αντιβιοτικού οξυτετρακυκλίνη.



*ΣΧΗΜΑ 20: Φωτοκαταλυτική διάταξη*



### 1.5.3 Ιοντική Χρωματογραφία

#### 1.5.3.1 Χρωματογραφική ανάλυση

Για πρώτη φορά η χρωματογραφία εφαρμόστηκε από το Ρώσο βοτανολόγο Mikhail Tsvet (1906) με σκοπό να απομονώσει από τα φύλλα τη χλωροφύλλη και άλλες χρωστικές. Σήμερα με τις διαφορετικές μορφές που έχει πάρει αποτελεί μια από τις καλύτερες μεθόδους ανάλυσης μιγμάτων και απομόνωσης ευπαθών ουσιών.

Η Χρωματογραφία ή χρωματογραφική ανάλυση αποτελεί μια σειρά μεθόδων που διαχωρίζονται μίγματα ουσιών στα συστατικά τους με βάση τη διαχωριστική κατανομή των συστατικών ανάμεσα σε δυο φάσεις, μια στατική ακίνητη (stationary) και μια κινητή (mobile) [12, 17].

Ο διαχωρισμός των δύο φάσεων γίνεται με την μετακίνηση συστατικών ενός μίγματος με διαφορετική ταχύτητα στην κινητική φάση, επί της ακίνητης φάσης. Μια ουσία που συγκρατείται ισχυρότερα από την ακίνητη φάση, μετακινείται με μικρότερη ταχύτητα από κάποια άλλη, η οποία συγκρατείται λιγότερο ισχυρά. Συνεπώς τα συστατικά του μίγματος μετατοπίζονται σε διαφορετικές θέσεις πάνω στην ακίνητη φάση και συγχρόνως, και στις δυο φάσεις κατανέμονται τα μόρια του μίγματος με αποτέλεσμα την αποκατάσταση μιας δυναμικής ισορροπίας για κάθε κατηγορία μορίων. Τέλος υπάρχει και ένας **συντελεστής κατανομής K** για τη δυναμική ισορροπία ο οποίος συνδέει τη συγκέντρωση κάθε ουσίας στην ακίνητη και στην κινητή φάση.

$$K = C_A / C_K$$

*ΕΞΙΣΩΣΗ 5: Συντελεστής κατανομής K.*

- $C_A$  η συγκέντρωση της ουσίας στην ακίνητη φάση.
- $C_K$  η συγκέντρωση της ουσίας στην κινητή φάση.

#### 1.5.3.2 Τα είδη της χρωματογραφίας

Οι χρωματογραφικές τεχνικές ταξινομούνται σε διάφορες κατηγορίες, ανάλογα με τη φυσική κατάσταση της κινητής και της ακίνητης φάσης.

Οι κατηγορίες αυτές είναι:

**Η αέρια χρωματογραφία:** (κινητή φάση αέριο), η οποία διακρίνεται σε δυο κατηγορίες, την χρωματογραφία αερίου-στερεού (GSC) όπου η κινητή φάση είναι αέριο και η ακίνητη φάση στερεό και η δεύτερη κατηγορία είναι η χρωματογραφία αερίου-υγρού (GLC) όπου και εδώ η κινητή φάση είναι αέριο και η ακίνητη φάση υγρό, το οποίο έχει προσροφηθεί επάνω σε κατάλληλο αδρανές στερεό υλικό.

1. **Η υγρή χρωματογραφία:** (κινητή φάση υγρό), η οποία διακρίνεται σε δυο κατηγορίες την χρωματογραφία υγρού-στερεού (LSC) στην οποία η κινητή φάση είναι υγρό και η ακίνητη φάση στερεό. Η δεύτερη κατηγορία είναι η χρωματογραφία υγρού-υγρού (LLC) όπου και εδώ η κινητή φάση είναι υγρό και η ακίνητη φάση κάποιο υγρό το οποίο έχει προσροφηθεί σε στερεό υλικό.

Η χρωματογραφία ανάλογα με το μηχανισμό κατανομής, δηλαδή το φυσικοχημικό φαινόμενο που προκαλεί το διαχωρισμό των ουσιών του μίγματος μεταξύ των φάσεων, διαιρείται στις ακόλουθες κατηγορίες:

#### **1. Χρωματογραφία προσρόφησης**

#### **2. Χρωματογραφία κατανομής**

#### **3. Χρωματογραφία ιονανταλλαγής**

#### **4. Χρωματογραφία Gel**

Επίσης ανάλογα με τον τρόπο που εφαρμόζεται στην πράξη διακρίνεται στις κατηγορίες:

#### **1. Χρωματογραφία στήλης (C.C.)**

#### **2. Χρωματογραφία χαρτιού (P.C.)**

#### **3. Αέριο-χρωματογραφία (G.C.)**

#### **4. Υγρή χρωματογραφία (L.C.)**

#### **5. Χρωματογραφία λεπτής στιβάδας (T.L.C.)**

### 1.5.3.3 Χρωματογραφία ιονανταλλαγής

Η μέθοδος αυτή ανήκει στη χρωματογραφία υγρού-στερεού και εφαρμόζεται κυρίως στο διαχωρισμό ιονισμένων ουσιών, είτε μεταξύ τους, είτε από άλλες ουσίες οι οποίες δεν μπορούν να ιονιστούν. Η αρχή της μεθόδου στηρίζεται στην εκλεκτική επιβράδυνση των ιονισμένων σωματιδίων του μείγματος λόγω ανταλλαγής τους με ιόντα από τη στατική φάση. Ως στατική φάση χρησιμοποιούνται οι συνθετικές ρητίνες οι οποίες έχουν ιονανταλλακτικές ιδιότητες και γι' αυτό χρησιμοποιούνται σε δύσκολους διαχωρισμούς των μετάλλων, των σπανίων γαιών και των αμινοξέων. Οι ισορροπίες που δημιουργούνται είναι:

- ρητίνη  $-SO_3H^+ + M^+ \leftrightarrow$  ρητίνη  $-SO_3M^+ + H^+$  για κατιόντα
- ρητίνη  $-N+R_3Cl^- + A^- \leftrightarrow$  ρητίνη  $-N+R_3A^- + Cl^-$  για ανιόντα

Η κινητή φάση που χρησιμοποιείται είναι το νερό ή τα υδατικά διαλύματα οξέος, βάσης, άλατος ή ενός ρυθμιστικού διαλύματος και η ακίνητη φάση είναι, είτε ένα πολυμερές (πολυστυρόλιο) με βασικούς ή όξινους υποκατάστατες σε διακεκριμένες θέσεις, είτε μια ρητίνη η οποία έχει σουλφοομάδες ( $-SO_3H$ ), καρβοξυλομάδες ( $-COOH$ ) για την απαλλαγή των κατιόντων ή ακόμη αμινομάδες ( $-NH_2$ ,  $-N+R_3$ ) για την ανταλλαγή των ανιόντων. Στη συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιήθηκε η ιοντική χρωματογραφία κατά τις μελέτες προσρόφησης αζωτούχων ανόργανων ρύπων από τα χημικά υδροπηκτώματα.



ΣΧΗΜΑ 181: Ιοντικός χρωματογράφος DIONEX ICS-1100.

## 1.5.4 Ολικός Οργανικός Άνθρακας (Total Organic Carbon-TOC)

### 1.5.4.1 Εισαγωγή

Ο οργανικός άνθρακας συναντάται στο νερό και στα απόβλητα σε διάφορες οξειδωτικές καταστάσεις μέσα από τον σχηματισμό μίας ποικιλίας οργανικών συμπλόκων. Μερικά από αυτά τα οργανικά σύμπλοκα μπορούν να οξειδωθούν περαιτέρω με βιολογικές ή χημικές διαδικασίες. Παρόλο που δεν παρέχει το ίδιο είδος πληροφοριών, ο Ολικός Οργανικός άνθρακας (TOC) είναι μια πιο εύχρηστη και άμεση έκφραση του περιεχομένου του ολικού οργανικού άνθρακα από το BOD, AOC ή το COD (το BOD ή το COD, σε αντίθεση με το TOC έχει να κάνει με την οξειδωτική κατάσταση του οργανικού φορτίου και μετρά άλλα οργανικώς δεσμευμένα στοιχεία, όπως άζωτο, υδρογόνο και ανόργανα συστατικά τα οποία μπορούν να συνεισφέρουν στο απαιτούμενο οξυγόνο).

Η μέτρηση του TOC είναι ζωτικής σημασίας κατά το χειρισμό, την επεξεργασία νερού και αποβλήτων. Όσον αφορά το πόσιμο νερό οι τιμές του TOC ποικίλλουν λιγότερο από 100 µg/L σε περισσότερο από 25.000 µg/L. Τα απόβλητα μπορεί να περιέχουν πολύ υψηλά επίπεδα οργανικών συστατικών (TOC>100 mg/L).

Για τον προσδιορισμό της ποσότητας του οργανικώς δεσμευμένου άνθρακα, τα οργανικά μόρια πρέπει να σπάσουν και να μετατραπούν σε ένα απλό μοριακό είδος το οποίο να μπορεί να προσδιορίζεται ποσοτικά.

Οι μέθοδοι με το TOC χρησιμοποιούν υψηλή θερμοκρασία, καταλύτες και οξυγόνο ή χαμηλότερες θερμοκρασίες (<100°C) με υπεριώδη ακτινοβολία, χημικά οξειδωτικά μέσα ή προσμίξεις τους για τη μετατροπή του οργανικού άνθρακα σε διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>).

Το CO<sub>2</sub> μπορεί να διαχωριστεί από το δείγμα, να αποξηραθεί και να μεταφερθεί μέσω ενός αερίου μεταφοράς σε έναν αναλυτή υπερύθρου ή σε κουλομετρική τιτλοδότηση. Εναλλακτικά, μπορεί να διαχωριστεί από το δείγμα υγρής φάσης με μια μεμβράνη η οποία είναι εκλεκτική για το CO<sub>2</sub> με νερό υψηλής καθαρότητας στο οποίο η αντίστοιχη αύξηση της αγωγιμότητας θα σχετίζεται με τη δίοδο του CO<sub>2</sub> δια μέσου της μεμβράνης [22,23].

### 1.5.4.2 Μέθοδος υψηλής θερμοκρασίας με καύση

Παρακάτω δίνονται τα αρκτικόλεξα/ορισμοί:

- TC= Total Carbon: Ολικός Άνθρακας

- TOC= Total Organic Carbon: Ολικός Οργανικός Άνθρακας
- IC= Inorganic Carbon: Ανόργανος Άνθρακας

#### *1.5.4.3 Αρχή της μεθόδου*

### **1. Αρχή Προσδιορισμού του Ολικού Άνθρακα**

Κατάλληλη μικροποσότητα του δείγματος διοχετεύεται σε ένα θάλαμο αντίδρασης υπό θέρμανση παρουσία ενός οξειδωτικού καταλύτη όπως το οξείδιο του κοβαλτίου, τα μέταλλα της ομάδας του λευκόχρυσου ή το χρωμικό άλας του βαρίου. Στην προκειμένη περίπτωση ο οξειδωτικός καταλύτης που χρησιμοποιείται είναι λευκόχρυσος σε υπόστρωμα αλουμίνας. Το νερό εξατμίζεται και ο οργανικός άνθρακας οξειδώνεται σε CO<sub>2</sub> και H<sub>2</sub>O. Το CO<sub>2</sub> από την οξείδωση του οργανικού και του ανόργανου άνθρακα μεταφέρεται μέσω ρεύματος αερίου (υπερκάθαρος αέρας) σε έναν αφυγραντή όπου απομακρύνεται η υγρασία ενώ ταυτόχρονα ψύχονται τα αέρια της καύσης. Ακολούθως, το φέρον αέριο διέρχεται μέσα από μία παγίδα αλογόνων (όπου κατακρατούνται τα αλογόνα που ίσως περιέχει) για να καταλήξει στην κυψελίδα του ανιχνευτή NDIR (Non Dispersive Infra Red gas analyzer), όπου ανιχνεύεται το διοξείδιο του άνθρακα και αυτό που τελικά μετράται μέσω της παραπάνω διαδικασίας είναι ο ολικός άνθρακας. Ο ανόργανος άνθρακας θα πρέπει να έχει απομακρυνθεί προηγουμένως με οξίνιση και θέρμανση με ατμό ή να μετράται ξεχωριστά ώστε ο ολικός οργανικός άνθρακας να λαμβάνεται από τη διαφορά, κάτι που συμβαίνει στη δική μας περίπτωση και αναλύεται παρακάτω.

### **2. Αρχή Προσδιορισμού του Ανόργανου Άνθρακα**

Ο «ανόργανος άνθρακας» αναφέρεται στο διοξείδιο του άνθρακα και στα όποια ανθρακικά άλατα περιέχονται στο δείγμα. Οξινίζοντας το δείγμα με υδροχλωρικό οξύ (HCl) σε pH χαμηλότερο από 3, όλα τα ανθρακικά άλατα που περιέχονται στο δείγμα μετατρέπονται σε διοξείδιο του άνθρακα. Κατόπιν διαβιβάζεται από το δείγμα το «φέρον αέριο» (υπερκάθαρος αέρας), οπότε το διοξείδιο του άνθρακα που παράχθηκε και το διοξείδιο του άνθρακα που υπήρχε διαλυμένο, με τη διαδικασία που περιγράφηκε παραπάνω, οδηγούνται στην κυψελίδα του ανιχνευτή NDIR, όπου και ανιχνεύεται η συνολική ποσότητα του διοξειδίου του άνθρακα.

### 3. Αρχή Προσδιορισμού του Ολικού Οργανικού Άνθρακα (TOC)

Ο ολικός οργανικός άνθρακας προσδιορίζεται με τον παρακάτω τρόπο:

$$\text{TOC} = \text{TC} - \text{IC}$$

*ΕΞΙΣΩΣΗ 6: Εξίσωση προσδιορισμού ολικού οργανικού άνθρακα.*

Στη μέθοδο αυτή ο TOC υπολογίζεται ως η διαφορά του IC από το TC οι οποίοι προσδιορίζονται ξεχωριστά με τον τρόπο που παραπάνω αναφέρθηκε.

#### 1.5.5 Ολικό Άζωτο (Total Nitrogen-TN)

##### 1.5.5.1 Εισαγωγή

Η παρακάτω περιγραφόμενη μέθοδος καλύπτει τον προσδιορισμό του ολικού αζώτου σε υδατικά δείγματα στην περιοχή συγκεντρώσεων 0,5 έως 1000 mg/L. Υψηλότερες συγκεντρώσεις μπορούν να προσδιοριστούν με κατάλληλες αραιώσεις. Η μέθοδος αυτή δεν προσδιορίζει το μοριακό άζωτο (N<sub>2</sub>) [22,23].

##### 1.5.5.2 Μέθοδος υψηλής θερμοκρασίας με καύση

Παρακάτω δίνονται οι ορισμοί:

TN= Total Nitrogen (=Ολικό Άζωτο).

Το πεδίο εφαρμογής της δοκιμής είναι φυσικά υδάτινα δείγματα και η περιοχή εργασίας είναι 1-100 mg N/L.

##### 1.5.5.3 Αρχή της μεθόδου

#### 1. Αρχή Προσδιορισμού του Ολικού Αζώτου

Κατάλληλη μικροποσότητα του δείγματος διοχετεύεται σε ένα θάλαμο αντίδρασης υπό θέρμανση, παρουσία ενός οξειδωτικού καταλύτη όπως το οξείδιο του κοβαλτίου, τα μέταλλα της ομάδας του λευκόχρυσου ή το χρωμικό άλας του βαρίου. Στην προκειμένη περίπτωση ο οξειδωτικός καταλύτης που χρησιμοποιείται είναι λευκόχρυσος σε υπόστρωμα αλουμίνας. Το νερό εξατμίζεται και το χημικά διασυνδεδεμένο άζωτο οξειδώνεται σε NO. Το NO από την οξείδωση του οργανικού και του ανόργανου αζώτου μεταφέρεται μέσω ρεύματος αερίου (υπερκάθαρος αέρας) σε ένα αφυγραντή όπου απομακρύνεται η υγρασία ενώ ταυτόχρονα ψύχονται τα αέρια της καύσης. Ακολούθως, το φέρον αέριο φέρει σε επαφή το παραγόμενο NO με

όζον ( $O_3$ ) με αποτέλεσμα την παραγωγή μετασταθούς διοξειδίου του αζώτου ( $NO_2^*$ ). Καθώς το  $NO_2^*$  αποδιεγείρεται εκπέμπει φως το οποίο καταγράφεται από έναν φωτοπολλαπλασιαστή. Το παραγόμενο σήμα εκπομπής φωτός αποτελεί μέτρο του ολικά χημικά διασυνδεδεμένου αζώτου στο δείγμα.

### **1.5.6 Παρασκευή πρότυπων διαλυμάτων, για την κατασκευή των καμπύλων βαθμονόμησης**

#### **1.5.6.1 Εισαγωγή**

Κάθε φορά που στην συσκευή TOC/TN αλλάζουμε αέριο, αυτόματα το μηχάνημα χρειάζεται καλυμπράρησμα, δηλαδή ένα stock διάλυμα οργανικού άνθρακα (TC), ένα stock διάλυμα ανόργανου άνθρακα (IC) και ένα stock διάλυμα ολικού αζώτου (TN) για την κατασκευή των καμπύλων βαθμονόμησης.

#### **1.5.6.2 Stock διάλυμα TC**

Η πειραματική διαδικασία έχει ως εξής: Διαλυτοποιούνται 2,2154g πρότυπου άνυδρου διφθαλικού καλίου  $C_8H_5KO_4$  (καθαρότητας 99.99%) σε 1000ml υπερκάθαρου νερού (1,00ml = 1.00 mg άνθρακας).

Από το διάλυμα αυτό προετοιμάζονται τα εργαστηριακά πρότυπα διαλύματα ελέγχου που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή των καμπύλων βαθμονόμησης. Μετρήσεις ελέγχου σταθερότητας των παραπάνω διαλυμάτων έδειξαν ότι τα διαλύματα αυτά μπορούν να διατηρηθούν για τέσσερις μήνες στους  $4^\circ C$ .

**Stock πρότυπο διάλυμα TC (50mg/L C):** Το συγκεκριμένο διάλυμα παρασκευάστηκε για χρήση στον εσωτερικό έλεγχο ποιότητας της δοκιμής.

Διαλυτοποιούνται 201254g πρότυπου άνυδρου διφθαλικού καλίου  $C_8H_5KO_4$  (καθαρότητας 99.99%) σε 1000ml υπερκάθαρου νερού (1,00ml = 1.00 mg άνθρακας). Από το διάλυμα αυτό προετοιμάζεται με κατάλληλη αραίωση το εργαστηριακό πρότυπο διάλυμα που χρησιμοποιείται στον εσωτερικό έλεγχο. Οι μετρήσεις ελέγχου σταθερότητας του παραπάνω διαλύματος έδειξαν ότι το διάλυμα αυτό μπορεί να διατηρηθεί για τέσσερις μήνες στους  $4^\circ C$ .

#### **1.5.6.3 Stock διάλυμα IC**

Διαλυτοποιούνται 404122g άνυδρου ανθρακικού νατρίου  $Na_2CO_3$ , σε υπερκάθαρο νερό και στη συνέχεια προστίθενται 3,497g άνυδρου όξινου ανθρακικού νατρίου  $NaHCO_3$ , σε 1000ml (1.00ml = 1.00 mg). Το διάλυμα αυτό διατηρείται ερμητικά κλειστό και δεν οξινίζεται.

**Stock διάλυμα IC για την κατασκευή των καμπύλων βαθμονόμησης:** Διαλυτοποιούνται 7,219g πρότυπο άνυδρου νιτρικού καλίου  $\text{KNO}_3$  (καθαρότητας 99.99%) σε 1000ml υπερκάθαρου νερού (1,00ml = 1.00 mg άζωτο). Από το διάλυμα αυτό προετοιμάζονται τα εργαστηριακά πρότυπα διαλύματα ελέγχου που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή των καμπύλων βαθμονόμησης. Μετρήσεις ελέγχου σταθερότητας των παραπάνω διαλύματος έδειξαν ότι το διάλυμα αυτό μπορεί να διατηρηθεί για τέσσερις μήνες στους 4°C.

**Stock διάλυμα IC ( 50mg/L N) για τη χρήση στον εσωτερικό έλεγχο ποιότητας της δοκιμής:** Διαλυτοποιούνται 7,219 πρότυπο άνυδρου νιτρικού καλίου  $\text{KNO}_3$  (καθαρότητας 99.99%) σε 1000ml υπερκάθαρου νερού (1,00ml = 1.00 mg άζωτο). Από το διάλυμα αυτό προετοιμάζεται με κατάλληλη αραίωση το εργαστηριακό πρότυπο διάλυμα που χρησιμοποιείται στον εσωτερικό έλεγχο. Οι μετρήσεις ελέγχου σταθερότητας του παραπάνω διαλύματος έδειξαν ότι το διάλυμα αυτό μπορεί να διατηρηθεί για τέσσερις μήνες στους 4°C.



*ΣΧΗΜΑ 22: Συσκευή TOC-VCH Shimadzu coupled with TN-unit.*



## **2<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ: «ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΠΡΟΣΡΟΦΗΤΙΚΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΧΗΜΙΚΩΝ ΥΔΡΟΠΗΚΤΩΜΑΤΩΝ-ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΒΑΘΜΟΥ ΔΙΟΓΚΩΣΗΣ »**

### **2.1 Υπερκάθαρο νερό**

Στο εργαστήριο υπήρχε συσκευή παραγωγής υπερκαθαρού νερού: ΤΚΑ smart2Pure. Το υπερκαθαρό νερό χρησιμοποιήθηκε τόσο στα πειράματα προσδιορισμού του βαθμού διόγκωσης των χημικών υδροπηκτωμάτων όσο και στην παρασκευή όλων των προτύπων διαλυμάτων που χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα προσρόφησης .

### **2.2 Μελέτη του βαθμού διόγκωσης των χημικών υδροπηκτωμάτων σε τρεις διαφορετικές τιμές pH**

Ο βαθμός διόγκωσης των χημικών υδροπηκτωμάτων εκτός από το υπερκάθαρο νερό προσδιορίστηκε και για τρεις διαφορετικές τιμές pH (4, 7, 10), χρησιμοποιώντας πρότυπα διαλύματα. Ο λόγος ήταν να εκτιμήσουμε την επίδραση της οξύτητας του περιβάλλοντος στον βαθμό διόγκωσης των υδροπηκτωμάτων.

### **2.3 Υλικά πειράματος**

Τα υλικά και σκεύη που χρησιμοποιήθηκαν για την πειραματική διαδικασία ήταν τα εξής:

1. χημικά υδροπηκτώματα
2. Ζυγός ακριβείας
3. Ποτήρια ζέσεως ( 20-50-75-100mL)
4. Ογκομετρικοί σωλήνες ( 100mL)
5. Πουάρ
6. Πιπέτα ( 20mL)

Τα πρότυπα διαλύματα που χρησιμοποιήθηκαν για να μελετηθεί η προσροφητική ικανότητα των υδροπηκτωμάτων ήταν:

1. Χρωστικές Crystal Violet, Acridine Orange Base, Methylene Blue Hydrate, Basic Blue-41

## 2. NH<sub>4</sub>Cl, KNO<sub>3</sub>

### 2.4 Μέθοδος πειράματος

Τα χημικά υδροπηκτώματα που χρησιμοποιήθηκαν συμβολίζονται με τους ακόλουθους κωδικούς (A1 έως A24). Στον πίνακα που ακολουθεί περιγράφεται αναλυτικά η δομή και η χημική σύσταση για κάθε ένα από τα υδροπηκτώματα αυτά.

Συμβολισμός	Φορτίο	x
A1	-	0.80
A2	-	0.50
A4	-	0.10
A6	-	0.20
A7	-	0.30
A8	+	0.50
A9	+	0.25
A10	+	0.75
A11	+	1
A12	-	0.40
A13	-	0.80
A14	-	1
A15	-	0.70
A16	-	0.90
A17	-	0.65
A20	-	0.70
A21	-	0.60
A22	0	0
A23	0	0
A24	0	0

Για όλες τις μελέτες που πραγματοποιήθηκαν, τόσο για τον προσδιορισμό του βαθμού διόγκωσης όσο και για τον βαθμό της προσροφητικής ικανότητας των χημικών υδροπηκτωμάτων, χρησιμοποιήθηκαν 0,05g χημικού υδροπηκτώματος, τα οποία εμβαπτίστηκαν σε 20ml υπό μελέτη δείγματος. Τα δείγματα αφέθηκαν να

ισορροπήσουν σε θερμοκρασία δωματίου για 24 ώρες και στη συνέχεια τα διογκωμένα χημικά υδροπηκτώματα, ξανά ζυγίστηκαν προκειμένου να προσδιοριστεί ο βαθμός διόγκωσης τους.

Τα υπό μελέτη δείγματα ήταν: υπερκάθαρο νερό, ρυθμιστικά διαλύματα pH 4,7,10, χρωστικές (Crystal Violet, Acridine Orange Base, Methylene Blue Hydrate, Basic Blue-41) και πρότυπα διαλύματα  $\text{NH}_4\text{Cl}$  και  $\text{KNO}_3$ .



*ΣΧΗΜΑ 23: Χημικά Υδροπηκτώματα κωδικοποιημένα σε ποτήρια ζέσεως στον φούρνο συντήρησης ώστε να διατηρούνται ξηρά*

## **3<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ «ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ ΑΜΜΩΝΙΑΚΩΝ ΚΑΙ ΝΙΤΡΙΚΩΝ ΙΟΝΤΩΝ ΑΠΟ ΠΡΟΤΥΠΑ ΔΙΑΛΥΜΑΤΑ»**

### **3.1 Εισαγωγή**

Δυο διαλύματα παρασκευάστηκαν εργαστηριακά, το  $\text{NH}_4\text{Cl}$  (27,43 mg/L) όπου τα περιεχόμενα κατιόντα  $\text{NH}_4^+$  έχουν την ικανότητα να συγκρατούνται από αρνητικά φορτισμένα υδροπηκτώματα και το  $\text{KNO}_3$  (20,21 mg/L) όπου τα περιεχόμενα ανιόντα  $\text{NO}_3^-$  έχουν την ικανότητα να συγκρατούνται από θετικά φορτισμένα υδροπηκτώματα.

Προκειμένου να προσδιοριστεί η προσροφητική ικανότητα των διαφόρων υδροπηκτωμάτων ως προς τα αμμωνιακά και τα νιτρικά ιόντα πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις προσδιορισμού της συγκέντρωσης των δειγμάτων σε ολικό άζωτο TN, καθώς και μετρήσεις ιοντικής χρωματογραφίας.

### **3.2 Μέθοδος πειράματος**

Ακολουθήθηκε η μεθοδολογία όπως περιγράφηκε στην παράγραφο 2.4.

## **4<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ «ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ ΟΡΓΑΝΙΚΩΝ ΧΡΩΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟ ΠΡΟΤΥΠΑ ΔΙΑΛΥΜΑΤΑ»**

### **4.1 Εισαγωγή**

Στο εργαστήριο παρασκευάστηκαν πρότυπα διαλύματα των χρωστικών Crystal Violet, Acridine Orange Base, Basic Blue-41 και Methylene Blue Hydrate. Ακολουθήθηκε η πειραματική διαδικασία που έχει αναφερθεί στο κεφάλαιο 2, ώστε να προσδιοριστεί η προσροφητική ικανότητα των χημικών υδροπηκτωμάτων ως προς τις χρωστικές. Εκτός από την διαδικασία της ζύγισης των χημικών υδροπηκτωμάτων που είχαν προστεθεί στις χρωστικές, ακολούθησαν και μετρήσεις με φασματοφωτομετρία απορρόφησης των διαλυμάτων μετά το πέρας της προσρόφησης.

### **4.2 Υλικά πειράματος**

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για το πείραμα της φασματοφωτομετρίας απορρόφησης ήταν τα εξής:

1. ποτήρια ζέσεως (20-50-75-100ml) με τις χρωστικές Crystal Violet, Acridine Orange Base, Basic Blue και Methylen Blue Hydrate.
2. Φασματοφωτόμετρο
3. Ηλεκτρονικός υπολογιστής
4. Κυψελίδες
5. Μικροπιπέτες
6. Πουάρ
7. Υπερκάθαρο νερό (χρησιμοποιήθηκε ως τυφλό διάλυμα)

### **4.3 Μεθοδολογία πειράματος**

Έχουμε αφαιρέσει από τα ποτήρια ζέσεως τα χημικά υδροπηκτώματα και έχουμε κρατήσει τις χρωστικές (Crystal Violet, Acridine Orange Base, Basic Blue και Methylen Blue Hydrate). Ετοιμάζουμε το μηχάνημα της φασματοφωτομετρίας απορρόφησης, το οποίο είναι η συσκευή Shimadzu UV-1800 και παράλληλα

γερμίζουμε τις κυψελίδες με τις χρωστικές με τη βοήθεια μικροπιπέτας. Στη συνέχεια τοποθετούνται μία μία ξεχωριστά στο φασματοφωτόμετρο, ώστε να μετρηθεί η ένταση της απορρόφησης της χρωστικής. Στη συνέχεια από τις καμπύλες βαθμονόμησης της απορρόφησης σε συνάρτηση με τη συγκέντρωση υπολογίζεται η εναπομείνασα συγκέντρωση για κάθε διάλυμα χρωστικής. Εκτός από την μέτρηση της απορρόφησης των χρωστικών που είχαν προστεθεί σε αυτές τα χημικά υδροπηκτώματα, με την ίδια πειραματική διαδικασία μετρήθηκε φασματοφωτομετρικά η απορρόφηση του αρχικού διαλύματος της χρωστικής και με τον τύπο του R% (Removal), υπολογίστηκε η ελάττωση της απορρόφησης, η οποία αντιστοιχεί με την αντίστοιχη ελάττωση της τιμής της αρχικής συγκέντρωσης.

Το R% δίνεται από τον τύπο:

$$R\% = \frac{\text{Απορρόφηση Διαλύματος} - \text{Απορρόφηση gel}}{\text{Απορρόφηση διαλύματος}} * 100$$

*Εξίσωση 7: Ο τύπος του R για την ελάττωση της απορρόφησης.*

*ΠΙΝΑΚΑΣ 1: Οι συγκεντρώσεις (M) των χρωστικών που χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα που προαναφέρθηκαν.*

<b>ΧΡΩΣΤΙΚΕΣ</b>	<b>ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ (M)</b>
<b>Crystal Violet</b>	$10^{-3}$
<b>Acridine Orange Base</b>	$5*10^{-3}$
<b>Basic Blue</b>	$10^{-3}$
<b>Methylen Blue Hydrate</b>	$10^{-3}$

## **5<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ «ΦΩΤΟΚΑΤΑΛΥΣΗ»**

### **5.1 Εισαγωγή**

Με τη μέθοδο μετατροπής κολλοειδούς διαλύματος σε πήκτωμα (sol-gel method) παρασκευάστηκαν λεπτά υμένα διοξειδίου του τιτανίου ( $\text{TiO}_2$ ) χρησιμοποιώντας ως υπόστρωμα γυαλιά μικροσκοπίου [26]. Αρχικά μελετήθηκε η φωτοκαταλυτική αποικοδόμηση για τις χρωστικές Crystal Violet, Methylene Blue hydrate και Basic Blue-41.

Εκτός από το πείραμα των χημικών υδροπηκτωμάτων που έχει αναφερθεί παραπάνω, εκτελέστηκε και το πείραμα της φωτοκατάλυσης, ώστε να δούμε αν και αυτή μέθοδος απομακρύνει τις συγκεκριμένες χρωστικές το ίδιο ή και περισσότερο αποτελεσματικά. Για τον προσδιορισμό της ελάττωσης της συγκέντρωσης της χρωστικής χρησιμοποιήθηκε η φασματοφωτομετρία απορρόφησης UV-Vis. Επίσης για το ίδιο σύστημα φωτοκαταλυτικής διάταξης και καταλύτη μελετήθηκε η δυνατότητα φωτοκαταλυτικής αποικοδόμησης για το αντιβιοτικό Oxytetracycline.

### **5.2 Υλικά πειράματος**

Τα υλικά σκεύη που χρησιμοποιήθηκαν για το πείραμα της φωτοκατάλυσης ήταν τα εξής:

1. Γυάλινες πλάκες (φίλμ) με αποξηραμένο και ακινητοποιημένο καταλύτη, διοξείδιο του τιτανίου ( $\text{TiO}_2$ ).
2. Χρωστικές Crystal Violet, Methylene Blue hydrate και Basic Blue-41
3. Oxytetracycline.
4. Υπερκάθαρο νερό (UPW)
5. Ποτήρια ζέσεως
6. Ογκομετρικό σωλήνα
7. Πιπέτα των 3mL
8. Λάμπα υπεριώδους

### **5.3 Μεθοδολογία πειράματος**

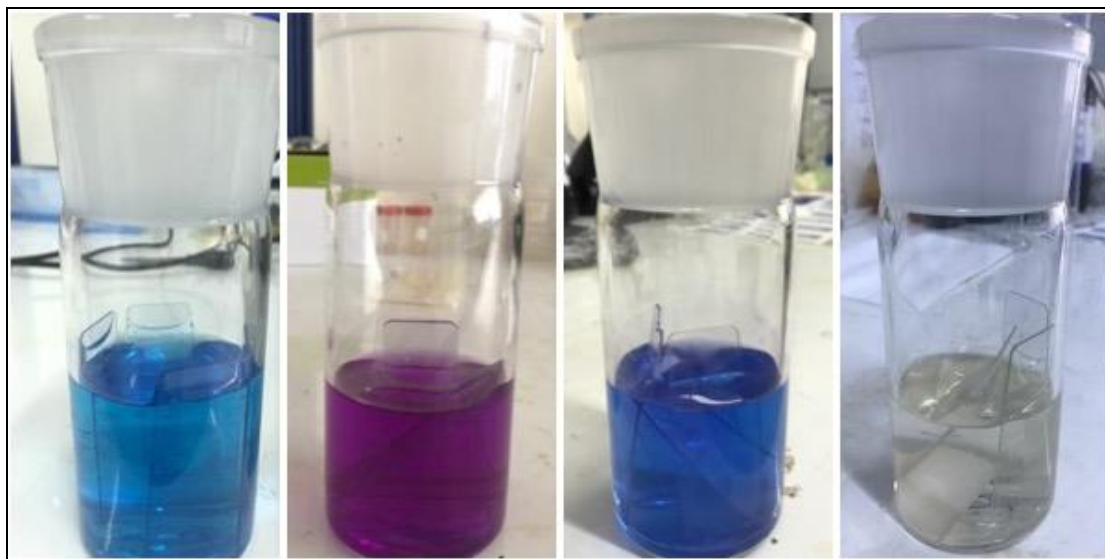
Τα λεπτά υμένα  $\text{TiO}_2$  πριν τη χρήση τους θερμαίνονται σε υψηλή θερμοκρασία

στον φούρνο «Thermo SCIENTIFIC» σε θερμοκρασία 550°C, ώστε να απομακρυνθούν τα οργανικά τα οποία υπάρχουν εγκλωβισμένα στους πόρους του ημιαγωγού κατά τη διαδικασία παρασκευής του. Στη συνέχεια τοποθετούνται στο πυριαντήριο στους 46°C για 24 ώρες, ώστε να φύγει τελείως η οποιαδήποτε υγρασία που μπορεί να είχαν προσροφήσει. Μετά τις 24 ώρες αποσύρονται από το φούρνο και αφήνονται στον εργαστηριακό πάγκο για να πάρουν την απαιτούμενη θερμοκρασία δωματίου. Στην συνέχεια τοποθετείται στον αντιδραστήρα 200mL αρ;ο το διάλυμα της υπό μελέτη χρωστικής ή του αντιβιοτικού με τέσσερα λεπτά υμένα του φωτοκαταλύτη.. Επόμενο βήμα, είναι να ανάψουν οι λάμπες υπεριώδους ώστε να ρχίσει η διαδικασία της φωτοκατάλυσης. Τέλος κάθε δεκαπέντε, τριάντα, και εξήντα λεπτά παίρνουμε δείγμα των 3ml με μια μικροπιπέτα και το μεταφέρουμε στο φασματοφωτόμετρο ώστε να προσδιορίσουμε το ποσοστό της ουσίας που έχει φωτοαποικοδομηθεί.





*ΣΧΗΜΑ 24: Φούρνος Thermo SCIENTIFIC με τις πλάκες (φιλμ) στο εσωτερικό του για απομάκρυνση των οργανικών.*



*ΣΧΗΜΑ 25: Το αντιδραστήριο του πειράματος της φωτοκατάλυσης. Τα τρία πρώτα αντιδραστήρια είναι οι χρωστικές Methylene Blue, Crystal Violet, Basic Blue. Το τελευταίο αντιδραστήριο είναι το αντιβιοτικό οξυτετρακυκλίνη.*

## **6<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΖΥΓΙΣΜΑΤΟΣ ΠΡΙΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑ ΑΠΟ 24 ΩΡΕΣ - ΒΑΘΜΟΣ ΔΙΟΓΚΩΣΗΣ (SWELING RATIO)-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

Αρχικά μελετήθηκε ο βαθμός διόγκωσης των υδροπηκτωμάτων σε υπερκάθαρο νερό. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα που ακολουθεί.

*ΠΙΝΑΚΑΣ 2: Αποτελέσματα μετρήσεων gel σε (UPW).*

<b>Υπερκάθαρο νερό H<sub>2</sub>O</b>	<b>Ζύγισμα Τζελ</b>	<b>Ζύγισμα μετά από 24 ώρες</b>	<b>Swelling Ratio</b>
<b>A1</b>	0,0532	4,2315	78,539
<b>A2</b>	0,0532	1,9744	36,113
<b>A4</b>	0,0532	0,7289	12,701
<b>A6</b>	0,0532	1,2581	22,648
<b>A7</b>	0,0532	1,6759	30,502
<b>A8</b>	0,0532	1,0412	18,571
<b>A9</b>	0,0532	0,9013	15,942
<b>A10</b>	0,0532	1,0884	19,459
<b>A11</b>	0,0532	1,6247	29,539
<b>A12</b>	0,0532	1,9689	36,010
<b>A13</b>	0,0532	1,7418	31,741
<b>A14</b>	0,0532	15,3648	287,81
<b>A15</b>	0,0532	3,0818	56,929
<b>A16</b>	0,0532	5,6189	104,62
<b>A17</b>	0,0532	1,4899	27,007
<b>A20</b>	0,0532	1,6361	29,754
<b>A21</b>	0,0532	2,3105	42,430
<b>A22</b>	0,0532	1,0803	19,306
<b>A23</b>	0,0532	1,9285	35,250
<b>A24</b>	0,0581	1,7954	29,902

Παρατηρούμε ότι εξαιτίας της ύπαρξης των εξαιρετικά υδρόφιλων κραιοζυλομάδων τα αρνητικά φορτισμένα υδροπηκτώματα παρουσιάζουν σημαντικά υψηλότερους

βαθμούς διόγκωσης.

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκαν τα ίδια πειράματα σε ρυθμιστικά διαλύματα τριών διαφορετικών τιμών pH και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους πίνακες που ακολουθούν.

*ΠΙΝΑΚΑΣ 3: Αποτελέσματα μετρήσεων gel σε pH 7.*

<b>pH 7</b>	<b>Ζύγισμα Τζελ</b>	<b>Ζύγισμα μετά από 24 ώρες</b>	<b>Swelling Ratio</b>
<b>A1</b>	0,049	1,9697	39,198
<b>A2</b>	0,0512	1,1924	22,289
<b>A4</b>	0,0517	0,6201	10,994
<b>A6</b>	0,0574	1,0263	16,880
<b>A7</b>	0,0578	1,2057	19,860
<b>A8</b>	0,0523	0,6477	11,384
<b>A9</b>	0,0568	0,5371	8,4559
<b>A10</b>	0,0532	0,568	9,627
<b>A11</b>	0,0539	0,8315	14,426
<b>A12</b>	0,0507	1,0876	20,452
<b>A13</b>	0,0532	1,3031	23,494
<b>A14</b>	0,057	1,0656	17,695
<b>A15</b>	0,0569	2,1841	37,385
<b>A16</b>	0,0531	2,4309	44,779
<b>A17</b>	0,0509	0,9497	17,658
<b>A20</b>	0,0474	1,1396	23,042
<b>A21</b>	0,0532	1,0639	18,998
<b>A22</b>	0,0515	0,8479	15,464
<b>A23</b>	0,0524	0,8968	16,114
<b>A24</b>	0,0542	1,4346	25,468

*ΠΙΝΑΚΑΣ 4: Αποτελέσματα μετρήσεων gel σε pH 4.*

<b>pH 4</b>	<b>Ζύγισμα Τζελ</b>	<b>Ζύγισμα μετά από 24h</b>	<b>Swelling Ratio</b>
-------------	---------------------	-----------------------------	-----------------------

<b>A1</b>	0,0518	1,9395	36,442
<b>A2</b>	0,0542	0,9187	15,950
<b>A4</b>	0,0514	0,759	13,766
<b>A6</b>	0,051	0,5055	8,9117
<b>A7</b>	0,0544	0,0831	0,5275
<b>A8</b>	0,0521	0,6593	11,654
<b>A9</b>	0,0502	0,7204	13,350
<b>A10</b>	0,0532	0,725	12,627
<b>A11</b>	0,0504	0,8957	16,771
<b>A12</b>	0,0564	1,5242	26,024
<b>A13</b>	0,052	1,4284	26,469
<b>A14</b>	0,0466	1,0454	21,433
<b>A15</b>	0,0563	1,3559	23,083
<b>A16</b>	0,0593	2,1736	35,654
<b>A17</b>	0,0493	0,4945	9,0304
<b>A20</b>	0,0668	1,7737	25,552
<b>A21</b>	0,0449	0,8727	18,436
<b>A22</b>	0,0465	0,7735	15,634
<b>A23</b>	0,0522	1,0927	19,932
<b>A24</b>	0,0538	0,9798	17,211

*ΠΙΝΑΚΑΣ 5: Αποτελέσματα μετρήσεων gel σε pH 10.*

<b>pH 10</b>	<b>Ζύγισμα Τζελ</b>	<b>Ζύγισμα μετά από 24 ώρες</b>	<b>Swelling Ratio</b>
<b>A1</b>	0,0557	2,0987	36,678
<b>A2</b>	0,0531	0,7983	14,033
<b>A4</b>	0,0587	0,61	9,3918
<b>A6</b>	0,0546	1,1325	19,741
<b>A7</b>	0,0518	1,1971	22,110
<b>A8</b>	0,0516	0,6994	12,554
<b>A9</b>	0,0574	0,5482	8,550
<b>A10</b>	0,0531	0,7802	13,693

<b>A11</b>	0,0506	0,6756	12,351
<b>A12</b>	0,051	1,275	24,000
<b>A13</b>	0,0592	1,21	19,439
<b>A14</b>	0,0509	0,9731	18,117
<b>A15</b>	0,0565	2,0709	35,653
<b>A16</b>	0,0503	2,1951	42,640
<b>A17</b>	0,054	0,8985	15,638
<b>A20</b>	0,0658	1,4559	21,126
<b>A21</b>	0,0525	1,1791	21,459
<b>A22</b>	0,0579	0,9859	16,027
<b>A23</b>	0,0527	1,2421	22,569
<b>A24</b>	0,0576	0,868	14,069

Από τα αποτελέσματα αυτά συμπεραίνουμε ότι σε ισχυρά ιοντικά περιβάλλοντα οι βαθμοί διόγκωσης ελαττώνονται σημαντικά. Στα ίδια συμπεράσματα καταλήγουμε και από τη μελέτη παρουσία των οργανικών και ανόργανων ρύπων όπως φαίνεται στους Πίνακες που ακολουθούν.

*ΠΙΝΑΚΑΣ 6: Αποτελέσματα πειράματος για πρότυπο διάλυμα KNO<sub>3</sub>.*

<b>KNO<sub>3</sub></b>	<b>Ζύγισμα Τζελ</b>	<b>Ζύγισμα μετά από 24 ώρες</b>	<b>Swelling Ratio</b>
<b>A1</b>	0,0497	3,3325	66,052
<b>A2</b>	0,0549	1,5153	26,601
<b>A4</b>	0,0539	0,5722	9,6159
<b>A10</b>	0,054	1,0164	17,822
<b>A15</b>	0,0597	3,0951	50,844
<b>A17</b>	0,0544	1,7669	31,479
<b>A20</b>	0,0547	2,699	48,341
<b>A21</b>	0,056	2,517	43,946
<b>A22</b>	0,05	1,271	24,420
<b>A23</b>	0,0512	2,4298	46,457
<b>A24</b>	0,0515	1,7272	32,537

ΠΙΝΑΚΑΣ 7: Αποτελέσματα πειράματος για πρότυπο διάλυμα  $NH_4Cl$ .

<b><math>NH_4Cl</math></b>	<b>Ζύγισμα Τζελ</b>	<b>Ζύγισμα μετά από 24 ώρες</b>	<b>Swelling Ratio</b>
<b>A1</b>	0,0592	3,6048	59,891
<b>A2</b>	0,0561	1,8231	31,497
<b>A4</b>	0,0588	0,9596	15,319
<b>A10</b>	0,0564	0,8035	13,246
<b>A15</b>	0,0577	3,2056	54,556
<b>A17</b>	0,0562	1,6904	29,078
<b>A20</b>	0,0506	2,5266	48,932
<b>A21</b>	0,0519	2,3378	44,044
<b>A22</b>	0,0531	1,7672	32,280
<b>A23</b>	0,053	2,7706	51,275
<b>A24</b>	0,0478	1,9886	40,602

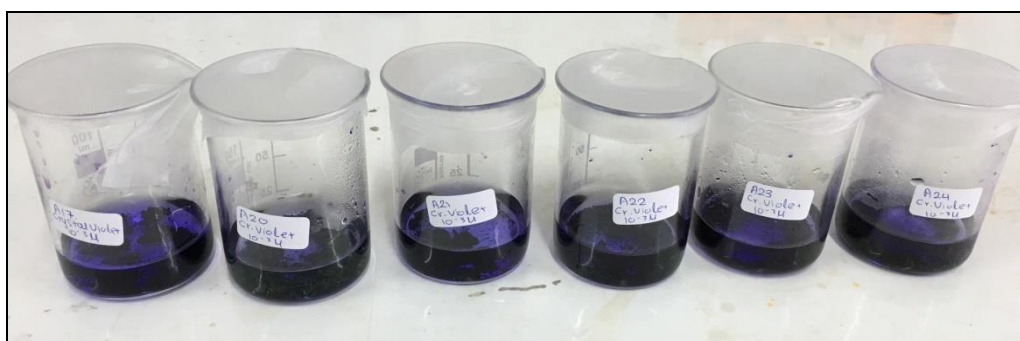
ΠΙΝΑΚΑΣ 8: Αποτελέσματα μετρήσεων gel για χρωστική *Crystal Violet*.

<b>Crystal Violet</b>	<b>Ζύγισμα Τζελ</b>	<b>Ζύγισμα μετά από 24 ώρες</b>	<b>Sweling Ratio</b>
<b>A1</b>	0,0525	4,0337	75,832
<b>A2</b>	0,0508	1,9594	37,570
<b>A4</b>	0,0582	0,8467	13,548
<b>A6</b>	0,0491	0,9	17,329
<b>A7</b>	0,0567	1,7615	30,067
<b>A8</b>	0,0524	0,824	14,725
<b>A9</b>	0,0542	0,7755	13,308
<b>A10</b>	0,0515	0,8382	15,275
<b>A11</b>	0,0499	1,0254	19,549
<b>A12</b>	0,0546	2,0841	37,170
<b>A13</b>	0,0515	1,672	31,466
<b>A14</b>	0,0572	1,5595	26,263

<b>A15</b>	0,053	3,6711	68,266
<b>A16</b>	0,0538	5,0856	93,527
<b>A17</b>	0,0539	1,6519	29,647
<b>A20</b>	0,0531	3,1984	59,233
<b>A21</b>	0,0538	2,3833	43,299
<b>A22</b>	0,0521	1,16386	21,338
<b>A23</b>	0,0522	2,1355	39,909
<b>A24</b>	0,0491	1,8941	37,576



ΣΧΗΜΑ 26: Δείγματα από την χρωστική Crystal Violet πριν την προσρόφιση των gel.

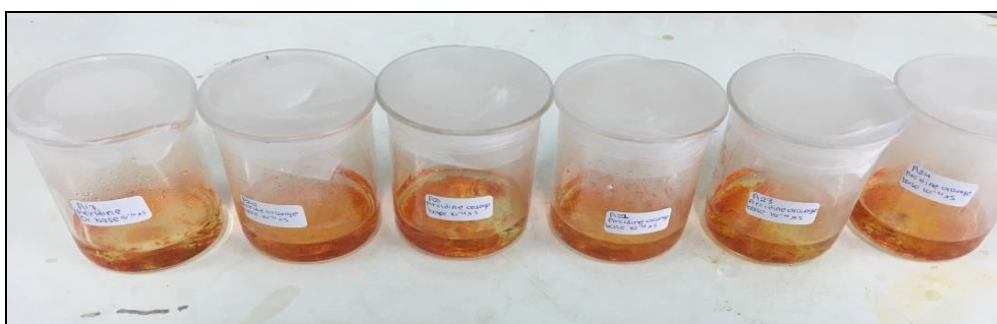


ΣΧΗΜΑ 27: Δείγματα χρωστικής Crystal Violet μετά από 24 ώρες με τα gel.

ΠΙΝΑΚΑΣ 9: Αποτελέσματα μετρήσεων gel για χρωστική Orange Base.

<b>Orange Base</b>	<b>Ζύγισμα Τζελ</b>	<b>Ζύγισμα μετά από 24 ώρες</b>	<b>Sweling Ratio</b>
--------------------	---------------------	---------------------------------	----------------------

<b>A1</b>	0,0456	3,3474	72,407
<b>A2</b>	0,0513	1,8217	34,510
<b>A4</b>	0,0571	0,6354	10,127
<b>A6</b>	0,0474	1,0426	20,995
<b>A7</b>	0,0524	1,8141	33,620
<b>A8</b>	0,0526	1,079	19,513
<b>A9</b>	0,0566	0,878	14,512
<b>A10</b>	0,0577	1,2334	20,376
<b>A11</b>	0,051	1,1852	22,239
<b>A12</b>	0,0523	1,7408	32,284
<b>A13</b>	0,0514	1,1431	21,239
<b>A14</b>	0,0532	1,9092	34,887
<b>A15</b>	0,0544	3,5479	64,218
<b>A16</b>	0,0527	4,4894	84,187
<b>A17</b>	0,0481	1,7097	34,544
<b>A20</b>	0,0509	2,1602	41,440
<b>A21</b>	0,0599	2,6795	43,732
<b>A22</b>	0,0546	1,5493	27,375
<b>A23</b>	0,0572	2,5619	43,788
<b>A24</b>	0,0545	2,1485	38,422



*ΣΧΗΜΑ 28: Χρωστική Acridine Orange Base η οποία έχει προσροφηθεί με τα gel μετά από 24 ώρες.*





ΣΧΗΜΑ 29: Στα αριστερά είναι ένα ξηρό υδροπρήκτωμα και στα δεξιά είναι το ίδιο gel το οποίο έχει διογκωθεί στην χρωστική Acridine Orange Base.

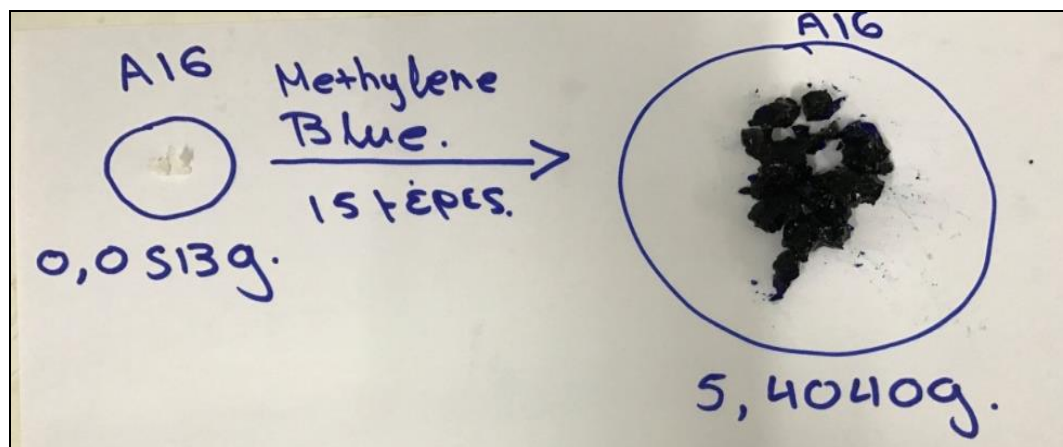
ΠΙΝΑΚΑΣ 10: Αποτελέσματα μετρήσεων gel για χρωστική Methylene Blue hydrate.

<b>Methylene Blue hydrate</b>	<b>Ζύγισμα τζελ</b>	<b>Ζύγισμα μετά από 24 ώρες</b>	<b>Sweling Ratio</b>
<b>A1</b>	0.0539g	3.6979g	67,606
<b>A2</b>	0.0545g	2.0194g	36,053
<b>A4</b>	0.0507g	0.6449g	11,708
<b>A6</b>	0.0502g	1.0478g	19,872
<b>A7</b>	0.0613g	0.9735g	32,365
<b>A8</b>	0.0564g	0.7902g	16,260
<b>A9</b>	0.521g	1.1327g	14,1669
<b>A10</b>	0.0544g	1.3464g	19,821
<b>A11</b>	0.0565g	2.1719g	22,830
<b>A12</b>	0.0609g	2.1719g	34,663
<b>A13</b>	0.0507g	2.3748g	45,840
<b>A14</b>	0.0598g	2.5186g	41,117
<b>A15</b>	0.0571g	3.8735g	66,837
<b>A16</b>	0.0564g	6.3207g	111,069
<b>A17</b>	0.0599g	1.9727g	31,933
<b>A20</b>	0.0525g	2.6729g	49,912
<b>A21</b>	0.0537g	2.4262g	44,180

A22	0.0583g	3.5050g	59,120
A23	0.0594g	3.0890g	51,003
A24	0.0534g	2.2802g	41,700



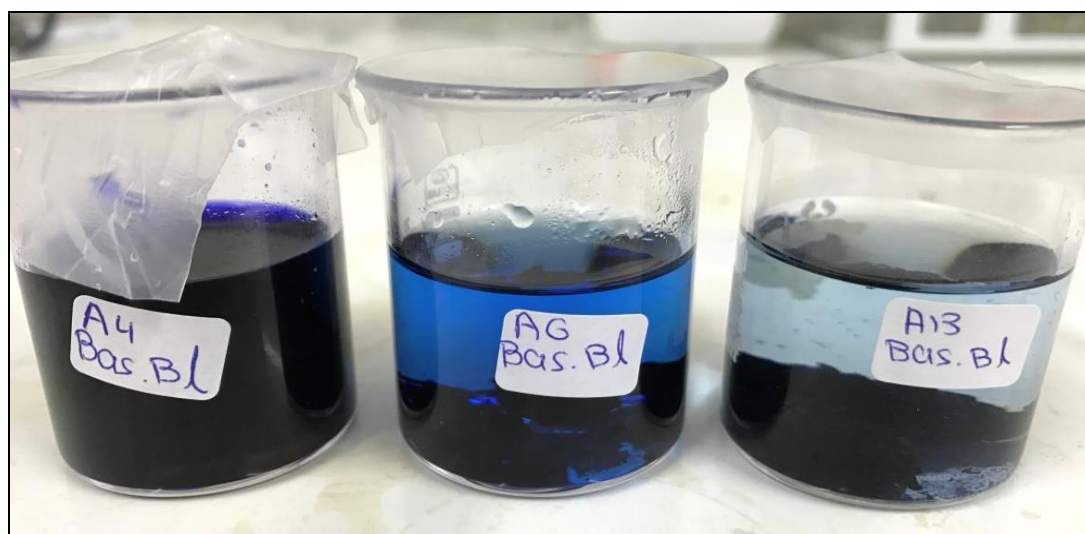
ΣΧΗΜΑ 30: Διαφορά προσρόφησης διαφορετικών gel στην χρωστική Methylene Blue.



ΣΧΗΜΑ 31: Αποτέλεσμα διόγκωσης του gel A16 για την χρωστική Methylene Blue.

ΠΙΝΑΚΑΣ 11: Αποτελέσματα μετρήσεων gel για χρωστική Basic Blue-41.

Basic Blue 41	Ζύγισμα τζελ	Ζύγισμα μετά από 24 ώρες	Sweling Ratio
A4	0,0491	0,3772	6,6822
A6	0,057	1,3054	21,901
A7	0,061	1,8482	29,298
A8	0,05	0,5961	10,922
A9	0,0591	0,5553	8,3955
A10	0,054	0,937	16,351
A11	0,0588	1,2354	20,010
A12	0,0539	1,6096	28,862
A13	0,0519	1,5152	28,194
A14	0,0549	2,0405	36,167
A15	0,0589	3,6035	60,179
A16	0,059	5,0677	84,893



ΣΧΗΜΑ 32: Δείγματα προσρόφησης από την Basic Blue-41.

## 7<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗΣ ΑΜΜΩΝΙΑΚΩΝ ΚΑΙ ΝΙΤΡΙΚΩΝ ΙΟΝΤΩΝ ΑΠΟ ΠΡΟΤΥΠΑ ΔΙΑΛΥΜΑΤΑ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

*ΠΙΝΑΚΑΣ 12: Μετρήσεις πρότυπων διαλυμάτων στη συσκευή TOC-TN.*

	NH <sub>4</sub> Cl	KNO <sub>3</sub>
<b>A1: Area</b>	100.3	289.3
<b>Conc</b>	<b>8.46mg/l</b>	<b>24.41mg/l</b>
<b>A2: Area</b>	67.94	278.3
<b>Conc</b>	<b>5.732mg/l</b>	<b>23.48mg/l</b>
<b>A4:Area</b>	114.1	263.7
<b>Conc</b>	<b>9.627mg/l</b>	<b>22.25mg/l</b>
<b>A10:Area</b>	391,7	10.2
<b>Conc</b>	<b>30,52mg/l</b>	<b>8.791mg/l</b>
<b>A15:Area</b>	83.07	293.1
<b>Conc</b>	<b>7.009mg/l</b>	<b>24.73mg/l</b>
<b>A17:Area</b>	171.7	347.0
<b>Conc</b>	<b>14.49mg/l</b>	<b>29.28mg/l</b>
<b>A20:Area</b>	95.90	367.0
<b>Conc</b>	<b>8.091mg/l</b>	<b>30.96mg/l</b>
<b>A21:Area</b>	182.4	350.8
<b>Conc</b>	<b>15.39mg/l</b>	<b>29.60mg/l</b>
<b>A22:Area</b>	361.6	471.5
<b>Conc</b>	<b>30.51mg/l</b>	<b>39.78mg/l</b>
<b>A23:Area</b>	480.2	710.1
<b>Conc</b>	<b>40.51mg/l</b>	<b>59.91mg/l</b>
<b>A24:Area</b>	217.0	379.5
<b>Conc</b>	<b>18.31mg/l</b>	<b>32.02mg/l</b>

Από τα αποτελέσματα του συγκεκριμένου Πίνακα γίνεται φανερό ότι οι ηλεκτροστατικές αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στις φορτισμένες αλυσίδες του

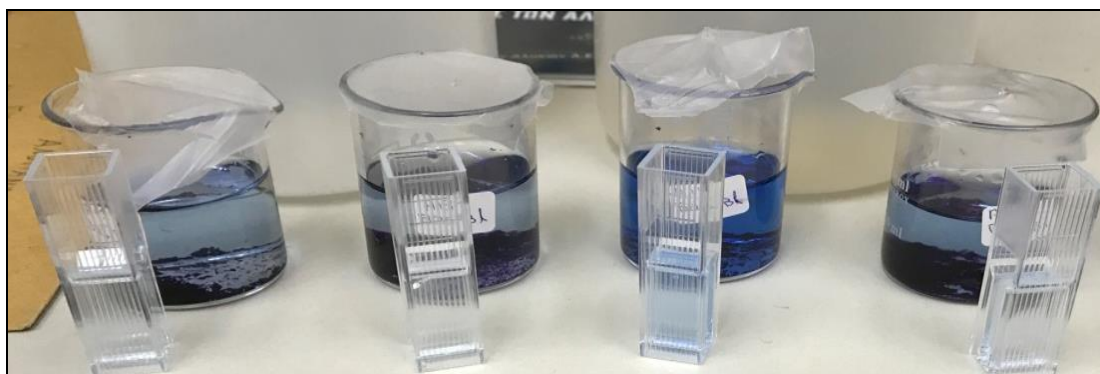
υδροπηκτώματος και των ανόργανων ιόντων είναι η καθοριστική παράμετρος που καθορίζει τη διαδικασία της προσρόφησης. Η προσρόφηση είναι τόσο περισσότερο ισχυρή όσο περισσότερο φορτισμένο είναι το οργανικό υδροπήκτωμα. Στις συγκεκριμένες πειραματικές συνθήκες επιτεύχθηκε μέγιστη προσρόφηση περίπου 80% για την περίπτωση των αμμωνιακών ιόντων και περίπου 55% για την περίπτωση των νιτρικών ιόντων. Οι τιμές αυτές της προσρόφησης αναφέρονται σε πλήρως φορτισμένα υδροπηκτώματα (ανιονικά ή κατιονικά αντίστοιχα,  $x=1$ ).

## 8<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗΣ ΧΡΩΣΤΙΚΩΝ ΟΥΣΙΩΝ ΑΠΟ ΠΡΟΤΥΠΑ ΔΙΑΛΥΜΑΤΑ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

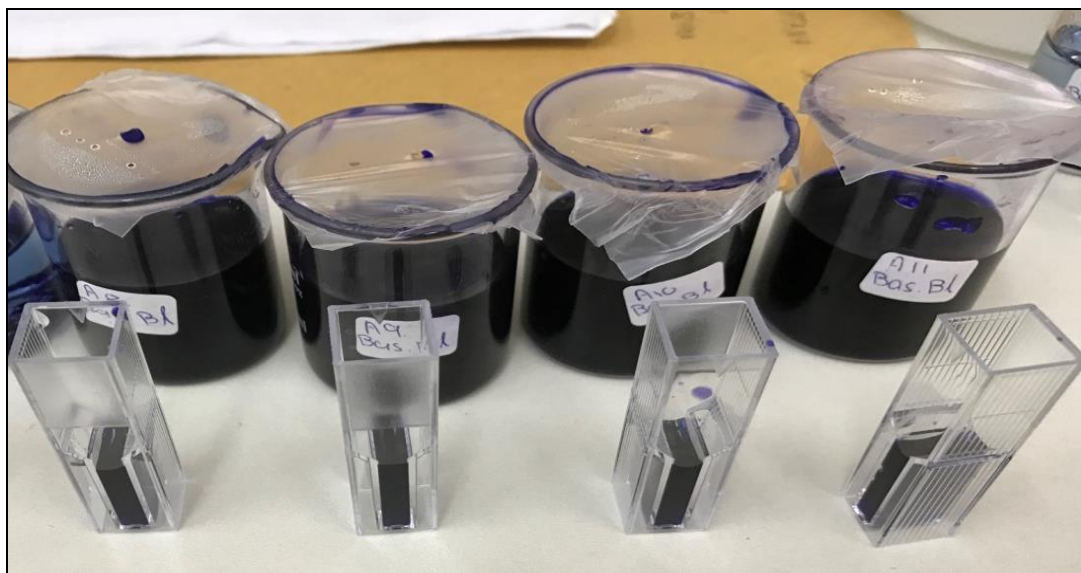
Αρχικά μελετήθηκε η προσρόφηση για τη χρωστική Basic Blue-41. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα που ακολουθεί.

*ΠΙΝΑΚΑΣ 13: Αποτελέσματα απορρόφησης της χρωστικής Basic Blue-41 ( με τα gel και χωρίς ).*

<b>Basic Blue 41</b>		
	<b>nm max Abs</b>	<b>Απορρόφηση Διαλύματος</b>
<b>Διάλυμα :</b>	648nm	2.980
<b>GEL</b>	<b>nm max Abs</b>	<b>Intensity max Abs</b>
<b>A4</b>	648nm	3.023
<b>A6</b>	648nm	0.297
<b>A7</b>	648nm	0.150
<b>A8</b>	648nm	2.945
<b>A9</b>	648nm	2.965
<b>A10</b>	648nm	2.955
<b>A11</b>	648nm	3.012
<b>A12</b>	648nm	0.131
<b>A13</b>	648nm	0.112
<b>A14</b>	648nm	0.251
<b>A15</b>	648nm	0.146
<b>A16</b>	648nm	0.213



*ΣΧΗΜΑ 33: Δείγματα Basic Blue σε κυψελίδες για φασματοφωτομετρία, όπου τα gel έχουν προσροφήσει την χρωστική.*



*ΣΧΗΜΑ 34: Από την χρωστική Basic Blue 4 διαφορετικά δείγματα στα οποία τα gel δεν έχουν προσροφήσει την χρωστική.*

Στη συνέχεια για καθένα υδροπήκτωμα που χρησιμοποιήθηκε για την προσρόφιση υπολογίστηκε η % απομάκρυνση της χρωστικής. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα που ακολουθεί.

Ακολουθούν τα αντίστοιχα αποτελέσματα και για τις χρωστικές Crystal Violet, Acridine Orange Base και Methylene Blue.

ΠΙΝΑΚΑΣ 14: Αποτελέσματα από την ελάττωση της απορρόφησης της Basic Blue 41, ανάμεσα στις χρωστικές που είχαν προστεθεί gel και στην αρχική απορρόφηση του διαλύματος.

<b>Basic Blue</b>	
<b>GEL</b>	<b>R(%) (Removal)</b>
<b>A4</b>	-1,44
<b>A6</b>	90,03
<b>A7</b>	94,96
<b>A8</b>	1,174
<b>A9</b>	0,503
<b>A10</b>	8,417
<b>A11</b>	-1,073
<b>A12</b>	95,604
<b>A13</b>	96,241
<b>A14</b>	91,577
<b>A15</b>	95,100
<b>A16</b>	92,852

ΠΙΝΑΚΑΣ 15: Αποτελέσματα απορρόφησης της χρωστικής Crystal Violet ( με τα gel και χωρίς)

<b>Crystal Violet</b>		
	<b>nm max Abs</b>	<b>Απορρόφηση Διαλύματος</b>
<b>Διάλυμα:</b>	600nm	2.977
<b>GEL</b>	<b>nm max Abs</b>	<b>Intensity max Abs</b>
<b>A1</b>	<b>600nm</b>	<b>0,469</b>
<b>A2</b>	<b>600nm</b>	<b>0,327</b>
<b>A4</b>	600nm	2,865
<b>A6</b>	600nm	1,436
<b>A7</b>	600nm	0,562
<b>A8</b>	600nm	2,907
<b>A9</b>	600nm	2,858



<b>A10</b>	600nm	2,921
<b>A11</b>	600nm	2,914
<b>A12</b>	600nm	0,264
<b>A13</b>	600nm	0,154
<b>A14</b>	600nm	0,677
<b>A15</b>	600nm	0,359
<b>A16</b>	600nm	0,886
<b>A17</b>	600nm	0,535
<b>A20</b>	600nm	0,229
<b>A21</b>	600nm	0,261
<b>A22</b>	600nm	0,433
<b>A23</b>	600nm	0,393
<b>A24</b>	600nm	0,484

*ΠΙΝΑΚΑΣ 16: Αποτελέσματα από την ελάττωση της απορρόφησης της Crystal Violet, ανάμεσα στις χρωστικές που είχαν προστεθεί gel και στην αρχική απορρόφηση του διαλύματος.*

<b>Crystal Violete</b>	
<b>GEL</b>	<b>R(%) Removal</b>
<b>A1</b>	84,245
<b>A2</b>	89,015
<b>A4</b>	3,762
<b>A6</b>	51,763
<b>A7</b>	80,383
<b>A8</b>	2,3513
<b>A9</b>	3,997
<b>A10</b>	1,881
<b>A11</b>	2,116
<b>A12</b>	91,132
<b>A13</b>	94,827
<b>A14</b>	77,258
<b>A15</b>	87,940

<b>A16</b>	70,238
<b>A17</b>	82,028
<b>A20</b>	92,307
<b>A21</b>	91,232
<b>A22</b>	85,455
<b>A23</b>	86,798
<b>A24</b>	83,742

*ΠΙΝΑΚΑΣ 17: Αποτελέσματα απορρόφησης της Acridine Orange Base (με τα gel και χωρίς)*

<b>Acridine Orange Base</b>		
	<b>nm max Abs</b>	<b>Απορρόφηση Διαλύματος</b>
<b>Διάλυμα:</b>	500nm	2.997
<b>GEL</b>	<b>nm max Abs</b>	<b>Intensity max Abs</b>
<b>A1</b>	500nm	0.148
<b>A2</b>	500nm	0.139
<b>A4</b>	500nm	2.944
<b>A6</b>	500nm	0.171
<b>A7</b>	500nm	0.364
<b>A8</b>	500nm	2.931
<b>A9</b>	500nm	2.931
<b>A10</b>	500nm	2.943
<b>A11</b>	500nm	2.917
<b>A12</b>	500nm	0.108
<b>A13</b>	500nm	0.089
<b>A14</b>	500nm	0.171
<b>A15</b>	500nm	0.084
<b>A16</b>	500nm	0.194
<b>A17</b>	500nm	0.139
<b>A20</b>	500nm	0.113
<b>A21</b>	500nm	0.121
<b>A22</b>	500nm	0.096

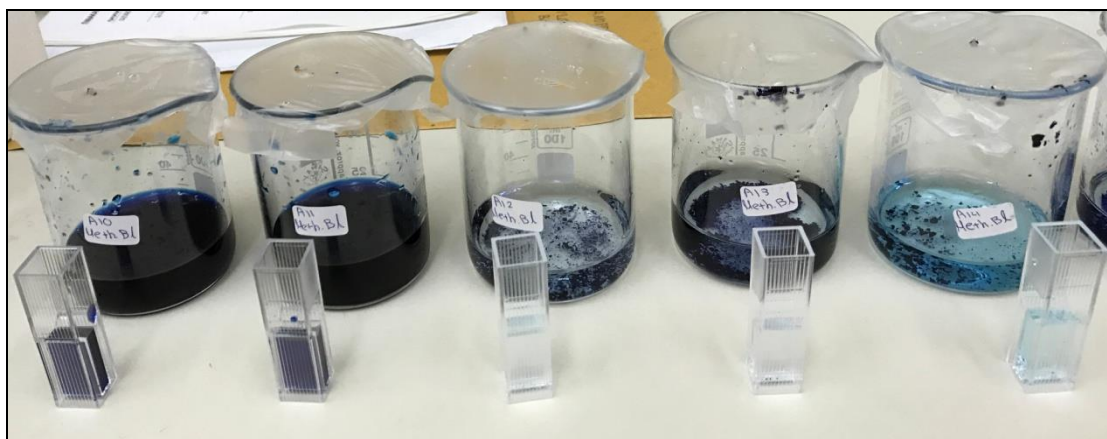
<b>A23</b>	500nm	0.108
<b>A24</b>	500nm	0.119

*ΠΙΝΑΚΑΣ 18: Αποτελέσματα από την ελάττωση της απορρόφησης τη Acridine Orange Base, ανάμεσα στις χρωστικές που είχαν προστεθεί τα gel και στην αρχική απορρόφηση του διαλύματος.*

<b>Orange Base</b>	
<b>GEL</b>	<b>R(%) Removal</b>
<b>A1</b>	95,061
<b>A2</b>	95,362
<b>A4</b>	1,7684
<b>A6</b>	94,294
<b>A7</b>	87,635
<b>A8</b>	2,202
<b>A9</b>	2,2002
<b>A10</b>	1,801
<b>A11</b>	2,669
<b>A12</b>	96,396
<b>A13</b>	97,030
<b>A14</b>	94,294
<b>A15</b>	97,197
<b>A16</b>	93,526
<b>A17</b>	95,362
<b>A20</b>	96,229
<b>A21</b>	95,9626293
<b>A22</b>	96,7967968
<b>A23</b>	96,3963964
<b>A24</b>	96,0293627

ΠΙΝΑΚΑΣ 19: Αποτελέσματα απορρόφησης τη Methylene Blue hydrate ( με τα Gel και χωρίς).

<b>Methylene Blue hydrate</b>		
	<b>nm max Abs</b>	<b>Απορρόφηση Διαλύματος</b>
<b>Διάλυμα:</b>	640nm	3.014
<b>GEL</b>	<b>nm max Abs</b>	<b>Intensity max Abs</b>
<b>A1</b>	640nm	0,494
<b>A2</b>	640nm	0,388
<b>A4</b>	640nm	2,931
<b>A6</b>	640nm	0,466
<b>A7</b>	640nm	0,142
<b>A8</b>	640nm	2,922
<b>A9</b>	640nm	2,948
<b>A10</b>	640nm	2,493
<b>A11</b>	640nm	2,948
<b>A12</b>	640nm	0,109
<b>A13</b>	640nm	0,115
<b>A14</b>	640nm	0,292
<b>A15</b>	640nm	0,125
<b>A16</b>	640nm	0,197
<b>A17</b>	640nm	0,281
<b>A20</b>	640nm	0,110
<b>A21</b>	640nm	0,149
<b>A22</b>	640nm	0,136
<b>A23</b>	640nm	0,207
<b>A24</b>	640nm	0,177



ΣΧΗΜΑ 35: Δείγματα χρωστικής Methylene Blue σε ποτήρια ζέσεως και σε κυβελίδες.

ΠΙΝΑΚΑΣ 20: Αποτελέσματα από την ελάττωση της απορρόφησης της Methylene Blue hydrate, ανάμεσα στις χρωστικές που είχαν προστεθεί gel και στην αρχική απορρόφηση του διαλύματος.

Methylene Blue	
GEL	R(%) Removal
A1	83,60982084
A2	87,12674187
A4	2,753815528
A6	84,53881885
A7	95,28865295
A8	3,052422031
A9	2,189781022
A10	2,355673524
A11	2,189781022
A12	96,38354346
A13	96,18447246
A14	90,3118779
A15	95,85268746
A16	964,7260274
A17	90,67684141
A20	96,35036496

<b>A21</b>	95,05640345
<b>A22</b>	95,48772395
<b>A23</b>	93,13205043
<b>A24</b>	94,12740544

Από τα παραπάνω αποτελέσματα συμπεραίνουμε ότι στην περίπτωση των χρωστικών εκτός από τις ηλεκτροστατικές αλληλεπιδράσεις που οδηγούν σε εξαιρετικά σημαντική προσρόφηση που υπερβαίνει το 95% για κάποια υδροπηκτώματα, σημαντικό ρόλο παίζουν και οι υδρόφοβες αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στα μόρια των χρωστικών και τις αλυσίδες των πολυμερών, καθώς και φαινόμενα συσσωμάτωσης που παρατηρούνται για τις χρωστικές σε υψηλές συγκεντρώσεις.

## 9<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΦΩΤΟΚΑΤΑΛΥΣΗΣ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Αρχικά μελετήθηκε η δυνατότητα φωτοαποικοδόμησης της χρωστικής Crystal Violet σε συγκέντρωση  $5 \cdot 10^{-4} \text{M}$ . Τα αποτελέσματα της μελέτης παρουσιάζονται στον Πίνακα που ακολουθεί.

*ΠΙΝΑΚΑΣ 21: Πρώτο πείραμα με αναλογία 100ml Crystal Violet  $10^{-3} \text{M}$  και 100ml υπερκάθαρου νερού (UPW).*

Χρόνος δείγματος (t)	Απορρόφηση
0 min	2.994
15min	2.908
30min	2.894
60min	2.911
90min	2.915
120min	2.911
180min	2.939
240min	2.921

Όπως παρατηρούμε από τα παραπάνω αποτελέσματα καμμία σημαντική μεταβολή στην απορρόφηση της χρωστικής δεν καταγράφηκε μετά από 4 h φωτοβόληση. Συνεπώς το συμπέρασμα είναι ότι η συγκεκριμένη αναλογία φωτοκαταλύτη/χρωστικής δε μπορεί να λειτουργήσει αποτελεσματικά.

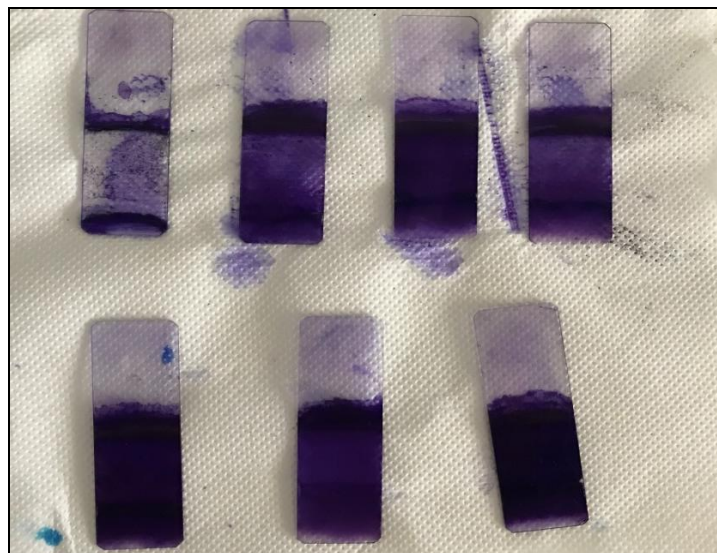
Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε η ίδια μελέτη για την ίδια ποσότητα φωτοκαταλύτη και αραιότερο διάλυμα χρωστικής ( $10^{-4} \text{M}$ ) και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα που ακολουθεί.

*ΠΙΝΑΚΑΣ 22: Δεύτερο επαναληπτικό πείραμα με αναλογία 25ml Crystal Violet και 175ml (UPW).*

Χρόνος δείγματος (t)	Απορρόφηση
0 min	2.849

30min	2.819
45min	2.821
60min	2.852
75min	2.880
105min	2.846
135min	2.807
210min	2.826

Παρατηρούμε ότι και στην περίπτωση αυτή δεν επετεύχθη η αναμενόμενη φωτοαποικοδόμηση της χρωστικής



*ΣΧΗΜΑ 36: Πλάκες με τον καταλύτη, οι οποίες έχουν προσροφήσει την χρωστική Crystal Violet.*

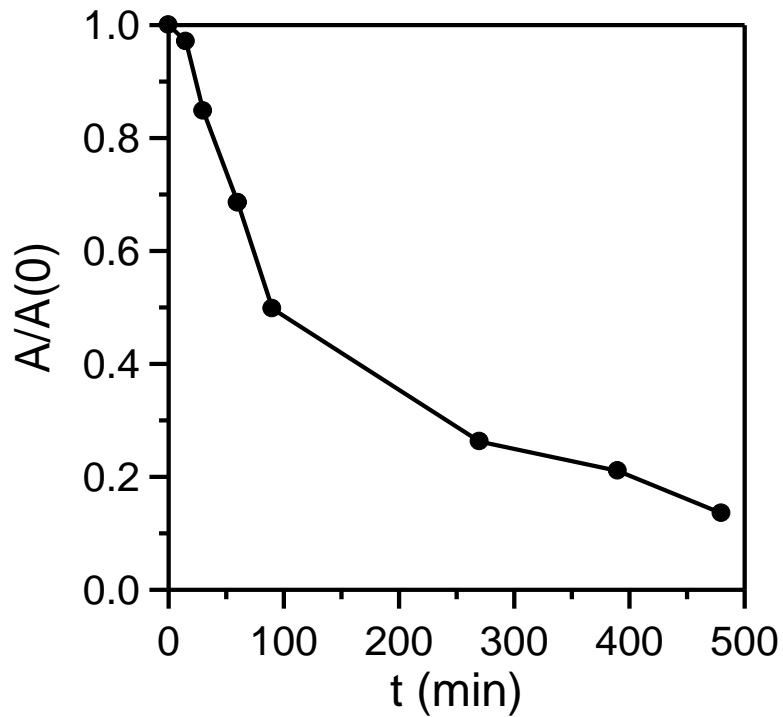
Μετά τις παραπάνω πειραματικές παρατηρήσεις μελετήσαμε τη χρωστική Methylene Blue σε αραιότερη συγκέντρωση ( $10^{-5}M$ ). Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα που ακολουθεί.

Παρατηρούμε ότι στη συγκεκριμένη περίπτωση έχουμε ικανοποιητική φωτοαποικοδόμηση της χρωστικής η οποία υπερβαίνει το 85% μετά πό 8h φωτοβόλησης. Η κινητική εξέλιξη του φαινομένου παρουσιάζεται στο Σχήμα 37 που ακολουθεί.

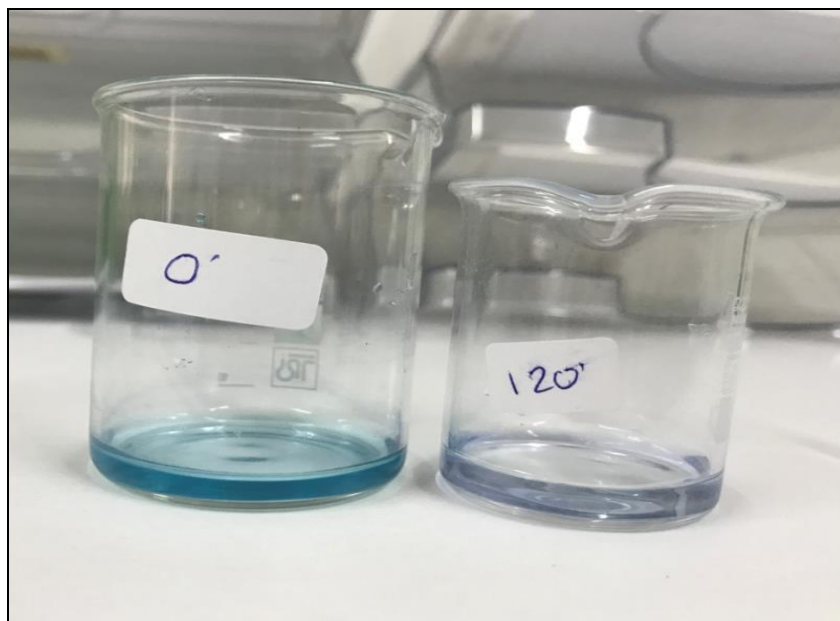


ΠΙΝΑΚΑΣ 23: Τρίτο πείραμα με χρωστική Methylene Blue hydrate  $10^{-3}$  M 2ml και 198ml (UPW).

Χρόνος δείγματος (t)	Απορρόφηση
0 min	0.466
15 min	0.480
30 min	0.407
45 min	0.389
60 min	0.329
90 min	0.239
120 min	0.326
180 min	0.296
240 min	0.233
<b>Οι μετρήσεις συνεχίστηκαν την επόμενη μέρα</b>	
30 min	0,126
60 min	0.209
90 min	0.129
120 min	0.101
180 min	0.127
240min	0.065



ΣΧΗΜΑ 37: Κινητική της φωτοαποικοδόμησης της χρωστικής Methylene Blue.



ΣΧΗΜΑ 38: Δείγμα σε χρόνο μηδέν και δείγμα στα 120 λεπτά, στα οποία διακρίνεται η απομάκρυνση της χρωστικής Methelene Blue.

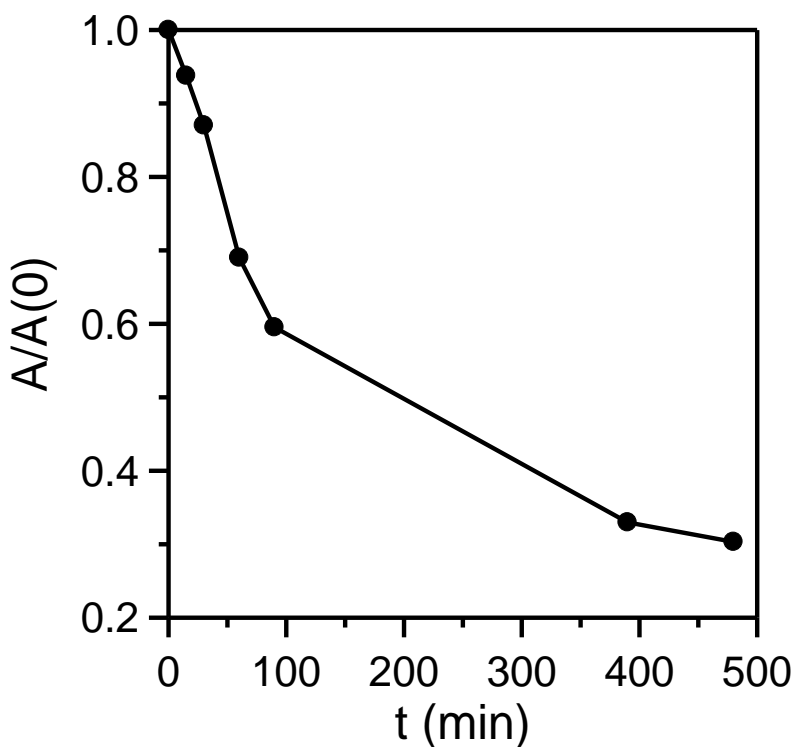
Μετά τις παραπάνω πειραματικές παρατηρήσεις επαναλήφθηκε το πείραμα για την χρωστική Crystal Violet και χαμηλότερη συγκέντρωση ( $10^{-5}M$ ). Τα αποτελέσματα

παρουσιάζονται στον Πίνακα που ακολουθεί.

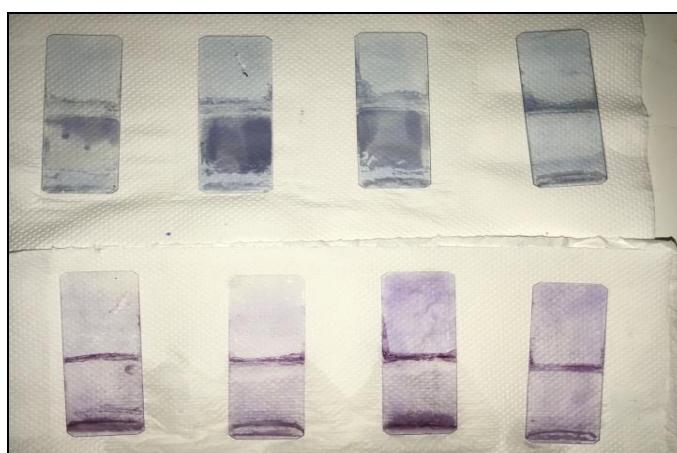
*ΠΙΝΑΚΑΣ 24: Τέταρτο επαναληπτικό πείραμα με τη Crystal Violet σε αναλογία 2ml χρωστικής και 198ml (UPW).*

<b>Χρόνος δείγματος (t)</b>	<b>Απορρόφηση</b>
0 min	1.013
15 min	0.950
30 min	0.963
45 min	0.922
60 min	0.862
90 min	0.750
150min	0.782
210 min	0.603
240 min	0.473
<b>Οι μετρήσεις συνεχίστηκαν την επόμενη μέρα</b>	
0 min	0,561
30 min	0.549
60 min	0.360
90 min	0.434
150 min	0.359
210min	0.334
240min	0.307

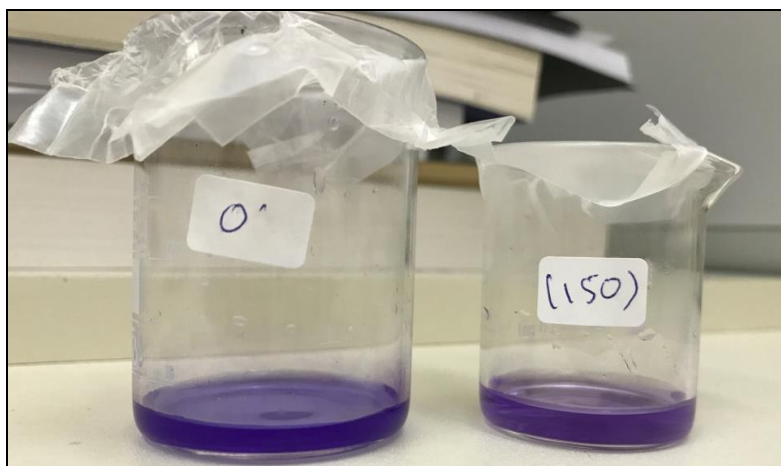
Παρατηρούμε ότι με τη συγκεκριμένη αναλογία φωτοκαταλύτη/χρωστικής επιτυγχάνεται εξαιρετικά σημαντική φωτοαποικοδόμηση που φτάνει το 70% απομάκρυνσης της χρωστικής από το υδάτινο σύστημα μετά από 8h φωτοβόλησης. Η κινητική εξέλιξη της συγκεκριμένης φωτοκατάλυσης παρουσιάζεται στο Σχήμα 39 που ακολουθεί.



ΣΧΗΜΑ 39: Κινητική της φωτοαποικοδόμησης της χρωστικής Crystal Violet.



ΣΧΗΜΑ 40: Στην πάνω στήλη των φιλμ είναι η χρωστική της Methylene Blue και στην δεύτερη στήλη είναι τα φιλμ με την Crystal Violet στο τρίτο επαναληπτικό πείραμα.



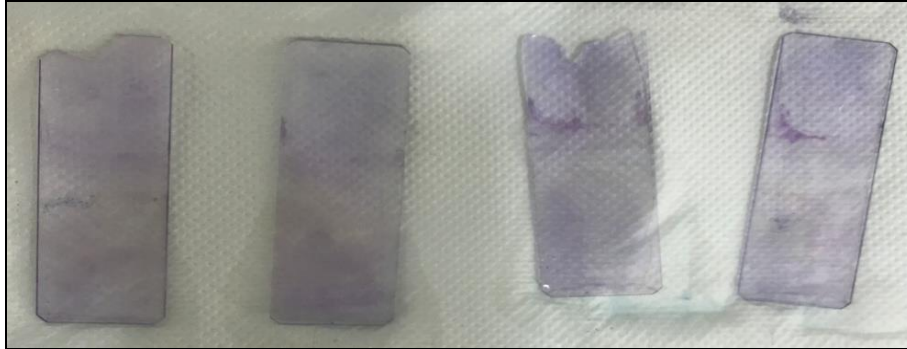
*ΣΧΗΜΑ 41: Δείγμα Crystal Violet στα μηδέν λεπτά και στα 150 λεπτά, στα οποία διακρίνεται ελάχιστα με γυμνό μάτι η απομάκρυνση της χρωστικής.*

Τέλος μελετήθηκε και η φωτοκαταλυτική δράση για τη χρωστική Basic Blue-41 και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα που ακολουθεί.

*ΠΙΝΑΚΑΣ 25: Πέμπτο πείραμα με χρωστική Basic Blue 41, σε αναλογία 2ml και 198ml (UPW).*

<b>Χρόνος δείγματος (t)</b>	<b>Απορρόφηση</b>
0 min	0,339
15 min	0.483
30 min	0.444
45 min	0.559
75 min	0.350
105 min	0.376
165min	0.222
240 min	0.080
<b>Οι μετρήσεις συνεχίστηκαν την επόμενη μέρα</b>	
0 min	0,233
30 min	0.305
60 min	0.242
240 min	0.152

Παρατηρούμε ότι και στην περίπτωση αυτή υπήρξε απομάκρυνση της χρωστικής σε ποσοστό περίπου 55%.



*ΣΧΗΜΑ 42: Πλάκες (φιλμ) οι οποίες έχουν προσροφήσει την χρωστική Basic Blue 41.*



*ΣΧΗΜΑ 43: Δείγματα χρωστικής Basic Blue 41 από το πείραμα της φωτοκατάλυσης, σε κυψελίδες για φασματοφωτομετρεία.*

Μετά την επιτυχημένη φωτοκατάλυση των τριών παραπάνω χρωστικών δοκιμάστηκε και το αντιβιοτικό οξυτετρακυκλίνη σε αναλογίες και με αποτελέσματα που παρουσιάζονται στον ακόλουθο Πίνακα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 26: Τελευταίο πείραμα φωτοκατάλυσης με αντιβιοτικό οξυτετρακυκλίνη, σε αναλογία 0,02gr και 200ml (UPW).

Χρόνος δείγματος (t)	Απορρόφηση
0 min	0.591
15 min	0.609
30 min	0.563
45 min	0.511
60 min	0.518
90 min	0.446
120min	0.450
150 min	0.371
210 min	0.306
270 min	0.189
<b>Οι μετρήσεις συνεχίστηκαν την επόμενη μέρα</b>	
30 min	0.219
60 min	0.187
90 min	0.157
150 min	0.136
210 min	0.095
270 min	0.090

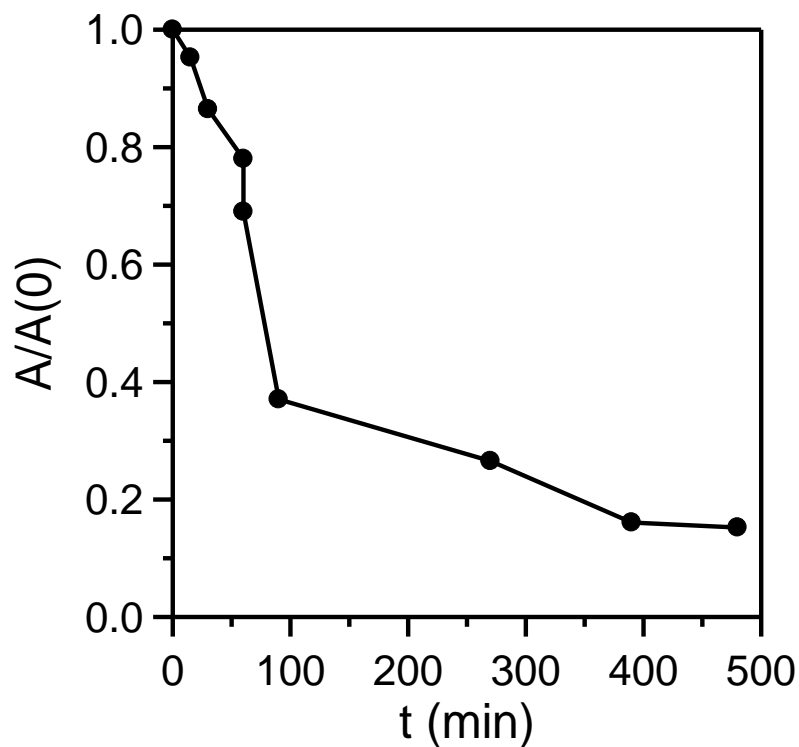


ΣΧΗΜΑ 44: Οι τέσσερις πλάκες (φιλμ) που βρίσκονταν στο αντιδραστήριο της οξυτετρακυκλίνης.



*ΣΧΗΜΑ 45: Δείγματα από την φωτοκατάλυση του αντιβιοτικού, προετοιμάζονται για φασματοφωτομετρία.*

Παρατηρούμε επιτυχή απομάκρυνση από το υδάτινο σύστημα σε ποσοστό που φτάνει το 85%. Η κινητική εξέλιξη της διαδικασίας παρουσιάζεται στο Σχήμα 46 που ακολουθεί.



*ΣΧΗΜΑ 46: Κινητική της φωτοαποικοδόμησης του αντιβιοτικού οξυτετρακυκλίνη.*



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

### 1 Υδροξυλομάδες

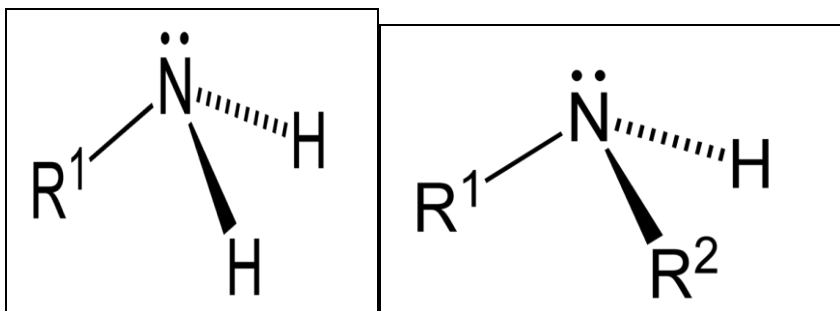
Το υδροξύλιο (hydroxyl) ή ρίζα υδροξυλίου ή υδροξυλομάδα, είναι η μονοσθενής χημική ρίζα οξυγόνου (O) και υδρογόνου (H), με χημικό σύμβολο το OH, η οποία και απαντάται σε μεγάλο πλήθος χημικών ενώσεων, όπως για παράδειγμα στις αλκοόλες, στο νερό, στα υδροξείδια μετάλλων, στα υδροξυοξέα καθώς επίσης και στα διαλύματα των βάσεων και των βασικών αλάτων ως ανιόντα OH<sup>-</sup>. Σε ελεύθερη κατάσταση η οποία δεν υφίσταται στη φύση το υδροξύλιο είναι εξαιρετικά δραστικό και έχει παρατηρηθεί η ύπαρξή του στις φλόγες κατά τη διάσπαση του υπεροξειδίου του υδρογόνου, καθώς και σε άλλες διεργασίες. Τέλος έχει ανιχνευθεί ως συστατικό της μεσοαστικής ύλης

### 2 Αμινομάδες

Οι αμίνες είναι αζωτούχες οργανικές ενώσεις με μία τουλάχιστον αμινομάδα, δηλαδή -NH<sub>2</sub> ή -NH- ή >N-, ως κύρια χαρακτηριστική ομάδα. Η αμινομάδα μπορεί να θεωρηθεί ότι προέρχεται από την αντικατάσταση ενός τουλάχιστον ατόμου υδρογόνου αμμωνίας από ένα τουλάχιστον αλκύλιο (ή υποκατεστημένο παράγωγο αυτών με χαρακτηριστικές ομάδες «κατώτερες» από την αμινομάδα). Ανάλογα με το αριθμό των υδρογόνων της αμμωνίας που έχουν αντικατασταθεί από αλκύλια οι αμίνες διακρίνονται σε πρωτοταγείς, δευτεροταγείς και τριτοταγείς. Αντίθετα όμως από άλλες οργανικές ενώσεις (π.χ. αλκοόλες) αναφέρεται στην συνδεσμολογία του ατόμου του αζώτου (N) και όχι του άνθρακα (C). Τα αμινοξέα που περιέχουν μία τουλάχιστον αμινομάδα και εμφανίζουν ορισμένες ιδιότητες των αμινών δεν ανήκουν επίσημα σ' αυτές, αλλά στα καρβοξυλικά οξέα, καθώς η καρβοξυλομάδα θεωρείται «ανώτερη» χαρακτηριστική ομάδα από την αμινομάδα.

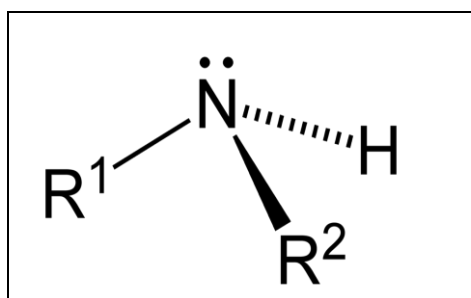
Υπάρχουν ακόμη ανόργανα παράγωγα τις αμμωνίας, ή ανόργανες αμίνες, που επίσης ονομάζονται «αμίνες», όπως π.χ. η χλωραμίνη NH<sub>2</sub>Cl. Οι ιμίνες διαφέρουν από τις αμίνες στο ότι σ' αυτές (τις ιμίνες) το άζωτο ενώνεται με ένα άτομο άνθρακα με διπλό δεσμό. Τα αμίδια πάλι, διαφέρουν στο ότι η αμινομάδα τους ενώνεται άμεσα με καρβονύλιο, γεγονός που μεταβάλλει τις ιδιότητες αρκετά ώστε να αποτελούν διαφορετική κατηγορία ενώσεων. Δυο ομάδες -NH<sub>2</sub> δεν μπορούν να είναι ενωμένες με το ίδιο άτομο άνθρακα (τουλάχιστον όχι σε σταθερή ένωση), αλλά δυο ομάδες

$R_2N$ - ή και  $RHN$ - (όπου τα  $R$  παριστάνουν εδώ αλκύλια, όχι απαραίτητα ίδια), δίνουν τις σχετικά σταθερές «gem-διαμίνες». Οι πρωτοταγείς και οι δευτεροταγείς αμίνες με  $\alpha$ - διπλό δεσμό ισομερειώνονται στις ταυτομερείς τους ιμίνες, αλλά οι τριτοταγείς αμίνες με  $\alpha$ - διπλό δεσμό, οι «εναμίνες», είναι σταθερές.



ΣΧΗΜΑ 47: Πρωτοταγής Αμίνη

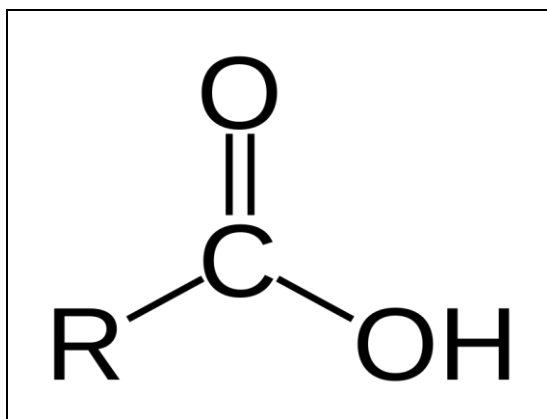
ΣΧΗΜΑ 48: Δευτεροταγής Αμίνη



ΣΧΗΜΑ 49: Τριτοταγής Αμίνη

### 3 Καρβοξυλομάδες

Ένα καρβοξυλικό οξύ είναι μια οργανική ένωση που περιέχει μία ομάδα καρβοξυλίου ( $C(=O)OH$ ). Ο γενικός τύπος ενός καρβοξυλικού οξέος είναι  $R-COOH$ , με  $R$  αναφερόμενο στο υπόλοιπο οργανικό τμήμα του μορίου. Τα καρβοξυλικά οξέα εμφανίζονται ευρέως με σημαντικότερα τα αμινοξέα (κύρια συστατικά των πρωτεϊνών). Όταν μια καρβοξυλομάδα αποπρωτονιώνεται η συζυγής της βάση σχηματίζει το καρβοξυλικό ανιόν.

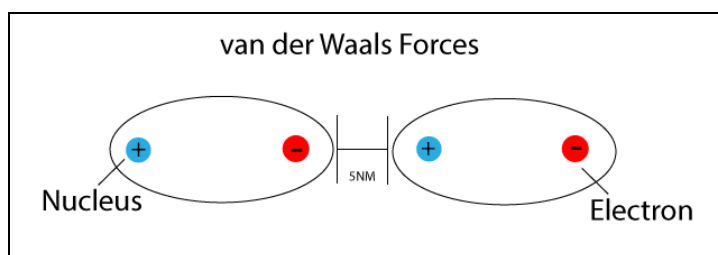


ΣΧΗΜΑ 50: Χημική Δομή των καρβοξυλομάδων.

#### 4 Δυνάμεις Van Der Waals

Στη Φυσικοχημεία, οι δυνάμεις van der Waals (ή van der Waals αλληλεπιδράσεις), πήραν το όνομά, από τον ολλανδό επιστήμονα Johannes Diderik van der Waals. Αυτές οι δυνάμεις είναι ασθενείς ελκτικές ή απωστικές δυνάμεις μεταξύ των μορίων ή ατομικών ομάδων που δεν προκύπτουν από ομοιοπολικούς και ιοντικούς δεσμούς.

Επίσης οι δυνάμεις van der Waals χρησιμοποιούνται και ως συνώνυμο για το σύνολο των διαμοριακών αλληλεπιδράσεων και είναι σχετικά ασθενείς σε σύγκριση με τους ομοιοπολικούς δεσμούς. Παρόλα αυτά παίζουν θεμελιώδη ρόλο σε διαφορετικούς τομείς όπως στη δομική βιολογία, στη νανοτεχνολογία, στην επιστήμη των πολυμερών κ.α. Οι δυνάμεις Van der Waals ορίζουν επίσης πολλές ιδιότητες των οργανικών ενώσεων και των μοριακών στερεών, συμπεριλαμβανομένων της διαλυτότητάς τους σε πολικά και μη-πολικά μέσα..



ΣΧΗΜΑ 51: Αναπαράσταση των δυνάμεων Van der Waals.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Chauhan G.S., Singh B., Sharma R.K., Verma M., Jaswal S.C. and Sharma R., (2006), Use of biopolymers and acrylamide-based hydrogels for sorption of  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$  and  $\text{Cr}^{6+}$  ions from their aqueous solutions, *Desalination*, 197, 75-81.
2. Kioussis D.R. and Kofinas P., (2005), Characterization of Network Morphology in Anion Binding Hydrogels Used for Wastewater Remediation, *Polymer*, 46, 10167-10172.
3. Rether A. and Schuster M., (2003), Selective separation and recovery of heavy metal ions using water-soluble *N*-benzoylthiourea modified PAMAM polymers, *Reactive and Functional Polymers*, 57, 13-21.
4. Shannon M.A., Bohn P.W., Elimelech M., Georgiadis J.G., Marinas B.J. and Mayes A.M., (2008) Science and technology for water purification in the coming decades, *Nature*, 452, 301-310.
5. Zamparas M., Linardatos G., Bokias G. and Bekiari V., (2014), Ionic Hydrogels as Potential Sorbent Materials for Organic and inorganic Pollutants, *Journal of Surfaces and Interfaces of Materials*, 2, 229-304.
6. Cong H.-P., Qiu J.-H. and Yu S.-H., (2015) Thermoresponsive poly(*N*-isopropylacrylamide)/Graphene/Au nanocomposite hydrogel for water treatment by a laser-assisted approach, *Small*, 11, 1165-1170
7. Thivaos I. and Bokias G., (2010), Adsorption of Nile Red by poly(*N*-isopropylacrylamide) gels in binary water/tetrahydrofuran mixtures, *J. Appl. Polym. Sci.*, 116, 1509-1514.
8. Chauhan G.S., Singh B., Sharma R.K., Verma M., Jaswal S.C. and Sharma R. (2006), Use of biopolymers and acrylamide-based hydrogels for sorption of  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$  and  $\text{Cr}^{6+}$  ions from their aqueous solutions, *Desalination*, 197, 75-81.
9. Bekiari V. and Lianos P., (2006), Ureasil Gels as Highly Efficient Adsorbent for Water Purification, *Chem. Mater.*, 18, 4142-4146.
10. Ray S., Das A.K. and Banerjee A., (2007), pH-responsive, bolaamphiphile-based smart metallo-hydrogels as potential dye-adsorbing agents, water purifier, and vitamin B<sub>12</sub> carrier, *Chem. Mater.*, 19, 1633-1639.
11. Ξένος Κ., Ξένου Ε. (2003). *Γενική και Ανόργανη Χημεία Αθήνα*, Μακεδονικές Εκδόσεις.
12. Ξένος Κ. (2002). *Αναλυτική Χημεία*, Αθήνα: Μακεδονικές Εκδόσεις.

13. Μούζουρας Σ.Γ. (1996). *Κτηνιατρική φαρμακολογία*, Αθήνα
14. Ιατρού Ε. (2012). *Διερεύνηση της απομάκρυνσης αντιβιοτικών μέσω δευτεροβάθμιας και τριτοβάθμιας επεξεργασίας υγρών αποβλήτων και μελέτη της τύχης τους κατά την εισαγωγή τους στο υδάτινο περιβάλλον*, Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Αιγαίου
15. Bound J. P. and Voulvoulis N. (2004), Pharmaceuticals in the aquatic environment-a comparison of risk assessment strategies, *Chemosphere*, 1143-1155.
16. Stamatis N., Antonopoulou M. and Konstantinou I (2015), Photocatalytic degradation kinetics and mechanisms of fungicide tebuconazole in aqueous TiO<sub>2</sub> suspensions, *Catalysis Today*, 93-99.
17. Skoog D., Holler J. & Crouch, S. (2014). *Αρχές Ενόργανης Ανάλυσης* (6th edition εκδ.). (Μ.Καραγιάννης, & Κ. Ευσταθίου, Μεταφρ.) Αθήνα: ΚΩΣΤΑΡΑΚΗ.
18. Vaiano V., Sacco O., Sannino D. And Ciambelli P., (2015), Nanostructured N-doped TiO<sub>2</sub> coated on glass spheres for the photocatalytic removal of organic dyes under UV or visible light irradiation, *Appl. Catal., B*, 170-171, 153-161.
19. Ματζαβίνος Δ. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ: ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΗΤΩΝ. ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ, ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ.
20. Πούλιος Ι. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΤΗΣ ΥΓΡΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΑΕΡΙΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΦΥΣΙΚΗΣ ΧΗΜΕΙΑΣ, ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΕΙΑΣ Α.Π.Θ.
21. Papoulis, D., Komarneni, S., Panagiotaras, D., Stathatos, E., Toli, D., Christoforidis, K. C. Fernández-García, M., Li, H., Yin, S., Sato, T., Katsuki H., (2013). Halloysite–TiO<sub>2</sub> nanocomposites: synthesis, characterization and photocatalytic activity. *Applied Catalysis B: Environmental*, vol. 132-133, 416-422.
22. Bekiari V. and Avramidis P. (2014), Data quality in water analysis: validation of combustion-infrared and combustion-chemiluminescence methods for the simultaneous determination of Total Organic Carbon (TOC) and Total Nitrogen (TN), *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 94, 65-76.
23. Eaton A. D. (2005), Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21st American Public Health Association, American Water Works

*Association, Water Environment Federation*, ed. (Washington DC, APHA-AWWA-WEF).

#### ΠΗΓΕΣ ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΙΟ

- 1) Wikipedia the free encyclopedia
- 2) Chemistry and physics, Britannica.cm
- 3) [http://www1.lsbu.ac.uk/water/water\\_hydrogen\\_bonding.html](http://www1.lsbu.ac.uk/water/water_hydrogen_bonding.html)
- 4) <http://www.pethealth.gr/pdfs/products/TENALINE%20LA.pdf>

## ΠΗΓΕΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΕΙΚΟΝΑ ΣΧΗΜΑ 1:

[https://www.researchgate.net/publication/233809760\\_Hydrogels\\_in\\_sensing\\_applications](https://www.researchgate.net/publication/233809760_Hydrogels_in_sensing_applications)

ΕΙΚΟΝΑ ΣΧΗΜΑ 2: <https://www.slideshare.net/BobyKumar3/hydrogels-60929707>

ΕΙΚΟΝΑ ΣΧΗΜΑ 3: Πηγή: ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ Διατριβή, Θηβαίος, 2008, ΜΕΛΕΤΗ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΧΗΜΙΚΩΝ ΥΔΡΟΠΗΚΤΩΜΑΤΩΝ ΒΑΣΙΣΜΕΝΩΝ ΣΕ Ν,N-ΔΙΜΕΘΥΛΑΚΡΥΛΑΜΙΔΙΟ ΚΑΙ Ν-ΣΟΠΡΟΠΥΛΑΚΡΥΛΑΜΙΔΙΟ ΣΕ ΜΙΓΜΑΤΑ ΝΕΡΟΥ -ΤΕΤΡΑΪΔΡΟΦΟΥΡΑΝΙΟΥ. ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ-ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΕΙΑΣ-ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ. ΠΑΤΡΑ: ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ

ΕΙΚΟΝΑ ΣΧΗΜΑ 4: <https://www.slideshare.net/kegranger1/hydrogel-53634746>

ΕΙΚΟΝΑ ΣΧΗΜΑ 5:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016836599190072L>

ΕΙΚΟΝΑ ΣΧΗΜΑ 6: [https://www.researchgate.net/figure/282873890\\_fig6\\_Figure-6-pH-sensitive-principle-diagram-of-hydrogels-A-SN-hydrogel-B-DN-hydrogel](https://www.researchgate.net/figure/282873890_fig6_Figure-6-pH-sensitive-principle-diagram-of-hydrogels-A-SN-hydrogel-B-DN-hydrogel)

ΕΙΚΟΝΑ ΣΧΗΜΑ 7: <http://www.sielc.com/Compound-Crystal-Violet.html>

ΕΙΚΟΝΑ ΣΧΗΜΑ 8:

<http://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/aldrich/235474?lang=en&region=GR>

ΕΙΚΟΝΑ ΣΧΗΜΑ 9:

<http://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/aldrich/m44907?lang=en&region=GR>

ΕΙΚΟΝΑ ΣΧΗΜΑ 10: <http://www.worlddyevariety.com/basic-dyes/basic-blue-41.html>

ΕΙΚΟΝΑ ΣΧΗΜΑ 12: Σχέδιο Παναγιώτης Βασιλάτος Επίκουρος καθηγητής σχολής αρχιτεκτόνων μηχανικών ΕΜΠ.

ΕΙΚΟΝΑ ΣΧΗΜΑ 13: Σχέδιο Παναγιώτης Βασιλάτος Επίκουρος καθηγητής σχολής αρχιτεκτόνων μηχανικών ΕΜΠ.

ΕΙΚΟΝΑ ΣΧΗΜΑ 14: Σχέδιο Παναγιώτης Βασιλάτος Επίκουρος καθηγητής σχολής αρχιτεκτόνων μηχανικών ΕΜΠ.

ΕΙΚΟΝΑ ΣΧΗΜΑ 15: <http://weed-ellas.blogspot.gr/2012/09/ec-ph.html>

ΕΙΚΟΝΑ ΣΧΗΜΑ 16: Μούζουρας, Σ.Γ. (1996). *Κτηνιατρική φαρμακολογία Αθήνα:*

ΕΙΚΟΝΑ 17: <https://en.wikipedia.org/wiki/Tetracycline>

ΕΙΚΟΝΑ ΣΧΗΜΑ 20: Ματζαβίνος, Δ. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ: ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΗΤΩΝ. ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ

*ΣΧΟΛΗ, ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ.*

EIKONA ΣΧΗΜΑ 47: Wikipedia The free encyclopedia

EIKONA ΣΧΗΜΑ 48: Wikipedia The free encyclopedia

EIKONA ΣΧΗΜΑ 49: Wikipedia The free encyclopedia

EIKONA ΣΧΗΜΑ 50: Wikipedia The free encyclopedia

EIKONA ΣΧΗΜΑ 51: <https://revisionscience.com/a2-level-level-revision/chemistry-level-revision/bonding-and-structure/van-der-waals-forces>



## **Πνευματικά δικαιώματα**

Copyright © ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας. Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.  
All rights reserved.

Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν. 1599/1988 και τα άρθρα 2,4,6 παρ. 3 του Ν. 1256/1982, η παρούσα εργασία αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής εργασίας και δεν προσβάλλει κάθε μορφής πνευματικά δικαιώματα τρίτων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον.  
Μουστακαριά Αδαμαντία, [2017]