



**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ – ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΚΑΙ**  
**ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ**

**ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΑΛΙΕΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΑΤΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ**

## **ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΘΕΜΑ**

**ΦΩΤΟΚΑΤΑΛΥΤΙΚΗ ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΦΑΡΜΑΚΕΥΤΙΚΩΝ**  
**ΟΥΣΙΩΝ ΜΕ ΟΡΜΟΝΙΚΗ ΔΡΑΣΗ ΑΠΟ ΥΔΑΤΙΚΑ ΔΙΑΛΥΜΑΤΑ**

**ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ: ΚΑΤΟΥΦΟΠΟΥΛΟΣ ΘΕΟΦΑΝΗΣ**  
**Α.Μ.:11989**

**ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: ΜΠΕΚΙΑΡΗ ΒΛΑΣΟΥΛΑ**

**ΜΕΣΟΛΟΓΓΙ 2019**

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η εργασία αυτή πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο Χημείας του τμήματος Τεχνολογίας Αλιείας και Υδατοκαλλιεργειών το χρονικό διάστημα 2017 – 2018. Σκοπός της εργασία αυτής ήταν η μελέτη της φωτοκαταλυτικής αποικοδόμησης πρότυπων ρύπων σε υδατικά συστήματα με τη βοήθεια του **TiO<sub>2</sub>**.

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε όσους συνέβαλαν στην πραγματοποίηση αυτής της πτυχιακής εργασίας:

Στην επιβλέπουσα της πτυχιακής αυτής εργασίας κ. Βλασούλα Μπεκιάρη για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε καθώς και για την συνολική βοήθεια της και τον χρόνο που αφιέρωσε σε όλη την διάρκεια των πειραμάτων.

Στα μέλη της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής κ. Ράμφο Αλέξιο και κ. Κριμπένη Αικατερίνη για τη συμμετοχή τους στην επιτροπή και τις υποδείξεις τους.

Στον Λέκτορα του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών ΤΕ του ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας κ. Αλέξανδρο Καλαράκη για τις εικόνες Ηλεκτρονικής Μικροσκοπίας Σάρωσης.

Στην συνάδελφό μου Λυδία Γρηγοράκου που με υπομονή με βοήθησε στο να καταλάβω την χρήση των μηχανημάτων του εργαστηρίου.

Τελειώνοντας θεωρώ υποχρέωση μου να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στην οικογένεια μου για την αμέριστη βοήθεια , την κατανόηση και την ενθάρρυνση που μου πρόσφερε όλη την διάρκεια των σπουδών μου .

## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Στη συγκεκριμένη εργασία μελετάται η ανάπτυξη λεπτών υμενίων διοξειδίου του τιτανίου με τη μέθοδο μετατροπής κolloειδούς διαλύματος σε πήκτωμα και η φωτοκαταλυτική δράση τους στην αποικοδόμηση οργανικών χρωστικών (Crystal Violet) και φαρμακευτικών ουσιών με ορμονική δράση (progesterone).

## **ABSTRACT**

In this work we study the development of thin films of titanium dioxide with the sol-gel method and their photocatalytic effect on the degradation of organic pigments (Crystal Violet) and progesterone pharmaceuticals.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ
  - 1.1 Χρωστικές Ουσίες
  - 1.2 Προγεστερόνη
  - 1.3 Φωτοκατάλυση
  - 1.4 Ομογενείς φωτοκαταλυτικές αντιδράσεις
  - 1.5 Ετερογενείς φωτοκαταλυτικές αντιδράσεις
  - 1.6 Πλεονεκτήματα και περιορισμοί της ετερογενούς φωτοκατάλυσης
  - 1.7 TiO<sub>2</sub>
2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ
  - 2.1 Παρασκευή λεπτών υμενίων TiO<sub>2</sub>
  - 2.2 Μελέτη της φωτοκαταλυτικής αποικοδόμησης της χρωστικής Crystal Violet και της ορμόνης προγεστερόνη
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ
  - 3.1 Αποτελέσματα φωτοκαταλυτικής αποικιδόμησης της χρωστικής Crystal Violet
  - 3.2 Αποτελέσματα φωτοκαταλυτικής αποικιδόμησης της προγεστερόνης
4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ
5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το νερό αποτελεί το πιο διαδεδομένο υγρό στη φύση αφού περίπου το 70% της επιφάνειας της γης καλύπτεται από νερό. Ένα από τα βασικότερα προβλήματα είναι η ρύπανση των υδάτινων συστημάτων με κυριότερους ρύπους στο νερό να καταγράφονται τα φυτοφάρμακα [1], τα βαρέα μέταλλα [2], τα πετρελαιοειδή [3], οι βαφές και οι χρωστικές [4] καθώς και τα ανθρωποφάρμακα [5] κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών.

Αναμφισβήτητα μία από τις σημαντικότερες ομάδες ρύπων είναι οι χρωστικές, καθώς ο άνθρωπος τις χρησιμοποιεί τη βαφή υλικών καθώς και σε φάρμακα, τρόφιμα και καλλυντικά. Οι χρωστικές είναι φυσικές ή συνθετικές χημικές ουσίες. Πολλές χρωστικές εμφανίζουν υψηλή τοξικότητα και για αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται ορισμένες μόνο από αυτές. Όσο πιο πολύπλοκη είναι η δομή μια χρωστικής ένωσης τόσο πιο δύσκολη είναι η διάσπασή της με φυσικές μεθόδους. Οι συμβατικές μέθοδοι επεξεργασίας που συνήθως χρησιμοποιούνται διακρίνονται ανάλογα με το μηχανισμό διάσπασης σε : φυσικές, χημικές, βιολογικές και θερμικές. Η απομάκρυνση των τοξικών χημικών ενώσεων από τα νερά και τα απόβλητα αποτελούν στις μέρες μας βασικούς στόχους της περιβαλλοντικής πολιτικής και σε αυτό το πλαίσιο η εφαρμογή φωτοκαταλυτικών μεθόδων θα μπορούσε να συμβάλει στην επίλυση αυτών των προβλημάτων.

### 1.1 Χρωστικές Ουσίες

Όπως ήδη έχει αναφερθεί με τον όρο χρωστικές ουσίες αναφερόμαστε σε χημικές ενώσεις οι οποίες χρωματίζουν τις πρώτες ύλες. Οι χρωστικές κατηγοριοποιούνται τόσο ανάλογα με τη χημική τους δομή όσο και ανάλογα με τον τρόπο εφαρμογής τους στην πρώτη ύλη. Οι πιο συνηθισμένες κατηγορίες είναι:

- 1)direct χρώματα απευθείας βάφοντα
- 2)reactive χρώματα αντιδράσεως
- 3)basic βασικές χρωστικές
- 4)acid όξινα χρώματα
- 5)vat χρώματα κάδου
- 6)sulfur χρώματα θείου

Τα περιβαλλοντολογικά προβλήματα που απορρέουν μετά την χρήση των χρωστικών είναι πολλά διότι στα εργοστάσια βαφής καταναλώνονται τεράστιες ποσότητες νερού στις διάφορες διαδικασίες επεξεργασίας των πρώτων υλών. Για να επιτευχθεί λοιπόν η αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών προβλημάτων που απορρέουν από τη χρήση τους

υπάρχουν οδηγίες για τη συμμόρφωση λόγω της ευρωπαϊκής πολιτικής που δίνει έμφαση στην προστασία του περιβάλλοντος .

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει υιοθετήσει την εφαρμογή ενός συστήματος ολοκληρωμένου έλεγχου και πρόληψης της ρύπανσης, όπου για την επίτευξη του παραπάνω στόχου κρίνεται απαραίτητη η εφαρμογή των βέλτιστων διαθέσιμων τεχνικών .

Επιπρόσθετα τον Μάιο του 2003 εκδόθηκε εγκύκλιος από το ΥΠΕΧΩΔΕ η οποία υποχρεώνει όλες τις βιομηχανικές μονάδες να συμπληρώνουν έντυπο στο οποίο πρέπει να καταγράφονται τα παραγόμενα απόβλητα.

## **1.2 Προγεστερόνη**

### **1.3**

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων χρόνων η ανίχνευση των ανθρωποφαρμάκων στο περιβάλλον αποτελεί σημαντικό πρόβλημα. Συνήθη ανθρωποφάρμακα που ανιχνεύονται είναι οι ορμόνες, όπως η προγεστερόνη. Η προγεστερόνη είναι γυναικεία ορμόνη που παράγεται φυσιολογικά στο σώμα της γυναίκας και με τη βοήθειά της διευκολύνεται την εμφύτευση του εμβρύου στα τοιχώματα της μήτρας κατά τις πρώτες μέρες της εγκυμοσύνης.

## **1.3 Φωτοκατάλυση**

Με τον όρο **κατάλυση** εννοούμε την διεργασία κατά την οποία ο ρυθμός μια χημικής αντίδρασης επιταχύνεται με την παρουσία μίας ουσίας που ενεργοποιεί την χημική αντίδραση και ονομάζεται καταλύτης. Στην περίπτωση που η διεργασία ενεργοποιείται με κατάλληλης ενέργειας φωτόνια τότε η συγκεκριμένη καταλυτική διαδικασία φωτοκατάλυση.

Οι φωτοκαταλυτικές αντιδράσεις διακρίνονται σε δυο βασικές κατηγορίες ανάλογα με τη φύση του καταλύτη και του καταλυόμενου συστήματος:

## **1.4 Ομογενείς φωτοκαταλυτικές αντιδράσεις**

Ομογενής φωτοκατάλυση ή ομογενείς φωτοκαταλυτικές αντιδράσεις, ονομάζονται εκείνες οι αντιδράσεις όπου τα αντιδρώντα και οι φωτοκαταλύτες βρίσκονται στην ίδια φάση. Οι συχνότεροι ομογενείς φωτοκαταλύτες που χρησιμοποιούνται περιλαμβάνουν κύρια τα συστήματα Fenton και photoFenton.

### *Αντιδραστήριο Fenton*

Η ονομασία αναφέρεται σε ένα μίγμα υπεροξειδίου του υδρογόνου και αλάτων του δισθενούς σιδήρου το οποίο είναι ένα αποδοτικό οξειδωτικό μέσο για ένα μεγάλο φάσμα οργανικών ενώσεων. Το αντιδραστήριο Fenton είναι γνωστό για την ικανότητα του να οξειδώνει μια σειρά οργανικών ρύπων στα υγρά απόβλητα.

### *Αντιδραστήριο Photo-Fenton*

Η αποτελεσματικότητα και η απόδοση της προηγούμενης μεθόδου μπορεί να αυξηθεί σημαντικά κατά τον φωτισμό του συστήματος με τεχνητό ηλιακό φως (Photo-Fenton). Η αντίδραση αυτή κλείνει έναν καταλυτικό κύκλο που παράγει ρίζες υδροξυλίου για κάθε μόριο υπεροξειδίου του υδρογόνου που διασπάται. Η απόδοση μιας διαδικασίας οξείδωσης μέσω του αντιδραστηρίου **Photo-Fenton** εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως το pH, οι συγκεντρώσεις των αντιδραστηρίων που χρησιμοποιούνται, το μήκος κύματος και η θερμοκρασία. Πιο συγκεκριμένα:

A) Το pH του διαλύματος θα πρέπει να διατηρείται σε χαμηλές τιμές αφού σε υψηλές υπάρχει κίνδυνος να μην λειτουργήσει .

B) Η αύξηση της συγκέντρωσης του σιδήρου οδηγεί σε αύξηση της απόδοσης της αντίδρασης

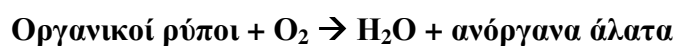
Γ) Είναι απαραίτητη η παρουσία υπεροξειδίου του υδρογόνου ως οξειδωτικού μέσου

Δ) Είναι απαραίτητη η ακτινοβολία του αντιδρώντος συστήματος με μήκη κύματος μικρότερα από 450nm.

### **1.5 Ετερογενείς φωτοκαταλυτικές αντιδράσεις**

Ετερογενής φωτοκατάλυση ή ετερογενείς φωτοκαταλυτικές αντιδράσεις, ονομάζονται εκείνες οι αντιδράσεις όπου τα αντιδρώντα και οι φωτοκαταλύτες βρίσκονται σε διαφορετική φάση. Το πλέον χαρακτηριστικό παράδειγμα ετερογενούς φωτοκατάλυσης είναι η φωτοκατάλυση με χρήση  $\text{TiO}_2$ .

Η συνολική αντίδραση της πλήρους φωτοκαταλυτικής οξείδωσης μιας οργανικής ουσίας είναι:



Η ετερογενής φωτοκατάλυση γνώρισε μία εκρηκτική ανάπτυξη την τελευταία δεκαετία λόγω ορισμένων σημαντικών πλεονεκτημάτων που παρουσιάζει σε σχέση με τις υπόλοιπες διαδικασίες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων.

Η ανάμειξη λοιπόν του προς καθαρισμό αποβλήτου με έναν ημιαγώγιμο καταλύτη (π.χ.  $TiO_2$ ), 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 σε αυτό. Πρόκειται για μια μέθοδο λοιπόν η οποία μιμείται πρακτικά την φύση και η παρεμβολή δε του καταλύτη επιταχύνει την διαδικασία καθαρισμού κατά πολλές τάξεις μεγέθους. Καταλαβαίνουμε λοιπόν ότι είναι γνωστή η ικανότητα αυτόκαθαρισμού που παρουσιάζει η φύση με τη βοήθεια του οξυγόνου της ατμόσφαιρας και του ηλιακού φωτός. Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό όλων των ετερογενών καταλυτικών αντιδράσεων ανεξάρτητα από το είδος του αντιδραστήρα που χρησιμοποιείται είναι ότι η αρχική ταχύτητα της φωτοκαταλυτικής οξειδωσης είναι ανάλογη με την συγκέντρωση του καταλύτη. Παρά ταύτα πάνω από κάποια τιμή ο ρυθμός διάσπασης δεν αυξάνεται αλλά γίνεται ανεξάρτητος από τη συγκέντρωση του καταλύτη. Το όριο αυτό εξαρτάται από τη γεωμετρία του αντιδραστήρα και τις συνθήκες λειτουργίας του και για την περίπτωση του διοξειδίου του τιτανίου αντιστοιχεί στη συγκέντρωση εκείνη του διοξειδίου του τιτανίου στην οποία όλη η εκτεθειμένη επιφάνεια του καταλύτη φωτίζεται πλήρως. Όμως εάν η συγκέντρωση του καταλύτη γίνει πολύ μεγάλη αυξάνεται η θολερότητα του αντιδρώντος συστήματος με αποτέλεσμα να εμποδίζεται η διείσδυση της και η φωτοκαταλυτική απόδοση.

Υπάρχουν αρκετές παράμετροι που επιδρούν στην απόδοση και στην ταχύτητα των φωτοκαταλυτικών διεργασιών όπως:

- A) η φύση και η συγκέντρωση του καταλύτη
- B) το είδος του καταλυόμενου ρύπου και η αρχική συγκέντρωσή του
- Γ) το pH
- Δ) η φύση και η ένταση της ακτινοβολίας
- E) η συγκέντρωση των διαλυμένων αλάτων
- ΣΤ) το διαλυμένο οξυγόνο
- Z) η παρουσία και η συγκέντρωση των οξειδωτικών ουσιών

Η παρουσία του οξυγόνου είναι αναγκαία προκειμένου να γίνει πλήρης οξείδωση και δεν φαίνεται να δρα ανταγωνιστικά με τα υπόλοιπα αντιδρώντα κατά την προσρόφηση τους στην επιφάνεια του καταλύτη αφού οι θέσεις όπου γίνεται η οξείδωση διαφέρουν από αυτές στις οποίες γίνεται αναγωγή.



## 1.6 Πλεονεκτήματα και περιορισμοί της ετερογενούς φωτοκατάλυσης

Τα πλεονεκτήματα της ετερογενούς φωτοκαταλυτικής οξειδωσης μπορούν να συνοψιστούν στα εξής :

- 1) Προκαλεί μη επιλεκτική, πλήρη αποικοδόμηση των οργανικών ενώσεων και η αποτελεσματικότητα της στηρίζεται στη δημιουργία ριζών υδροξυλίου οι οποίες αποτελούν ισχυρότατο οξειδωτικό μέσο.
- 2) Επιτυγχάνεται οξειδωση των οργανικών ρύπων ακόμα και σε χαμηλά επίπεδα συγκέντρωσης
- 3) Τα ημιαγώγιμα υλικά που χρησιμοποιούμε ως φωτοκαταλύτες είναι πολύ χαμηλού κόστους και γενικά χημικά και βιολογικά αδρανή. Το διοξείδιο του τιτανίου που αποτελεί τον πιο αποτελεσματικό καταλύτη εμφανίζει εξαιρετική σταθερότητα και είναι αδιάλυτος σε όλο το φάσμα των τιμών pH.
- 4) Η δυνατότητα ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης του καταλύτη συνεισφέρει στη μείωση του λειτουργικού κόστους και στην αποφυγή επιβάρυνσης του περιβάλλοντος με επιπλέον ρύπους.
- 5) Μπορεί να αξιοποιηθεί η ηλιακή ακτινοβολία στις μεσογειακές χώρες με μεγάλη ηλιοφάνεια αποκομίζοντας οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη.
- 6) Η αποικοδόμηση των οργανικών ρύπων μπορεί να επιτευχθεί από το οξυγόνο του αέρα χωρίς την προσθήκη κάποιου άλλου οξειδωτικού μέσου.
- 7) Απουσία παρεμπόδισης ή πολύ μικρή παρεμπόδιση από διαλυμένα ιόντα που γενικά υπάρχουν στα φυσικά νερά ή σε ορισμένα υγρά απόβλητα.
- 8) Χρησιμοποιούνται ήπιες συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης ενώ μικρές μεταβολές στο pH δεν επιδρούν σημαντικά στην πορεία της διάσπασης .
- 9) Απαιτούνται μικροί χρόνοι αντίδρασης.
- 10) Μπορεί να εφαρμοστοί στην υδατική αλλά και στην αέρια φάση.
- 11) Δυνατότητα πιθανού συνδυασμού της μεθόδου της ετερογενούς φωτοκατάλυσης με άλλες μεθόδους αντιρρύπανσης.

Εκτός από τα πλεονεκτήματα που εμφανίζει η μέθοδος της ετερογενούς φωτοκατάλυσης η συγκεκριμένη μέθοδος παρουσιάζει ορισμένους περιορισμούς που σχετίζονται με :

- 1) τη χρησιμοποίηση κυρίως της υπεριώδους ακτινοβολίας και την αναγκαιότητα να είναι το υδατικό μέσο που υπόκειται στην επεξεργασία διαυγές σε αυτή τη φασματική περιοχή.
- 2) Τις χαμηλές ταχύτητες αδρανοποίησης ιδιαίτερα σε περιπτώσεις οργανικών ενώσεων όπου τα ετεροάτομα βρίσκονται σε χαμηλές οξειδωτικές βαθμίδες.
- 3) Την ανάγκη ύπαρξης επιπλέον σταδίου κατεργασίας για την απομάκρυνση του καταλύτη όταν αυτός χρησιμοποιείται υπό μορφή αιωρημάτων.
- 4) Την ανάπτυξη τεχνικών στοιχείων που αφορούν στην κατασκευή των αντιδραστήρων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην ετερογενή φωτοκατάλυση σε πραγματικές συνθήκες και απόβλητα.

### 1.7 Διοξείδιο του τιτανίου (TiO<sub>2</sub>)

Είναι γενικά αποδεκτό ότι στην ετερογενή φωτοκατάλυση ο πιο πολυχρησιμοποιημένος και αποτελεσματικός καταλύτης τα τελευταία είκοσι χρόνια είναι το διοξείδιο του τιτανίου. Το διοξείδιο του τιτανίου παρουσιάζει κάποια πλεονεκτήματα έναντι των άλλων καταλυτών τα οποία συνοψίζονται ως εξής :

- A) υψηλή χημική και φωτοχημική σταθερότητα
- B) καλή απόδοση
- Γ) δυνατότητα χρήσης φυσικής ηλιακής ακτινοβολίας
- Δ) χαμηλό κόστος
- E) βιολογικά αδρανής
- ΣΤ) δεν αφήνει κατάλοιπα
- Z) είναι μη τοξικός

Στο εμπόριο κυκλοφορούν διάφορες μορφές διοξειδίου του τιτανίου. Οι μορφές αυτές διαφέρουν ως προς :

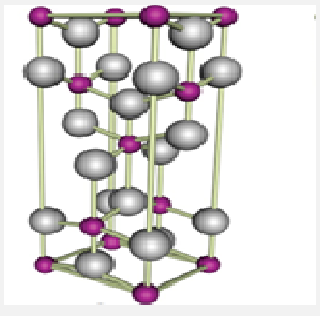
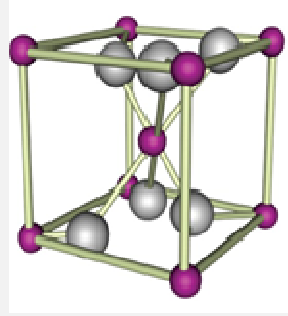
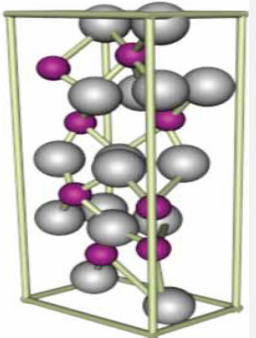
- A) τον τρόπο παρασκευής τους
- B) την κρυσταλλογραφική δομή τους
- Γ) το μέγεθος των σωματιδίων
- Δ) την ειδική επιφάνεια
- E) την δραστηρότητα τους

Το διοξείδιο του τιτανίου το συναντάμε σε τρεις φυσικές αλλοτροπικές κρυσταλλικές δομές :

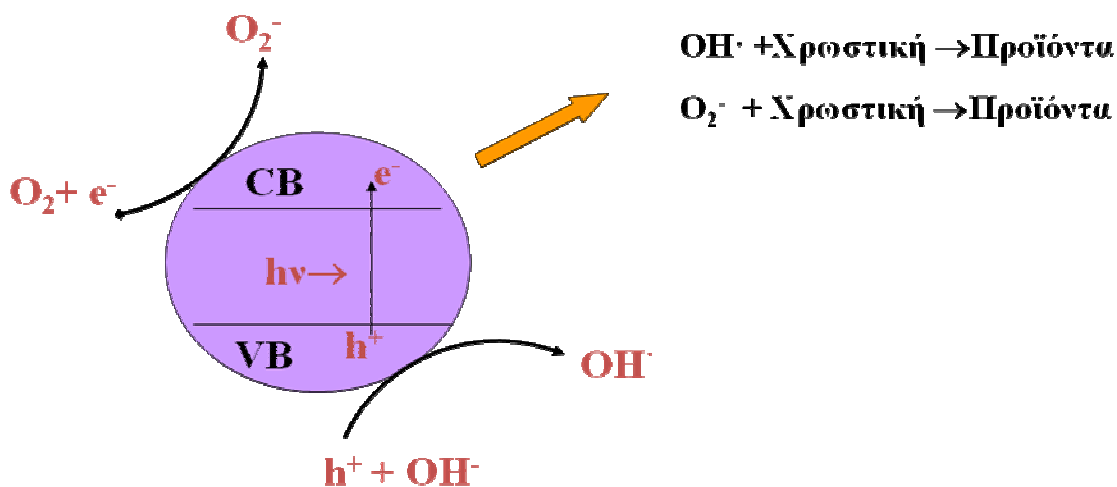
- A) ρουτίλιο
- B) ανατάσης

Γ) μπρουκίτης

Στον Πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι διαφορές κρυσταλλικές μορφές που απαντάται το TiO<sub>2</sub>.

	Ανατάσης	Ρουτίλιο	Μπρουκίτης
Απορρόφηση φωτός (nm)	<390	<415	<390
Ενεργειακό χάσμα (eV)	3,2	3	~3,2
			

Στο παρακάτω Σχήμα απεικονίζεται η διαδικασία φωτοκατάλυσης των ρύπων:



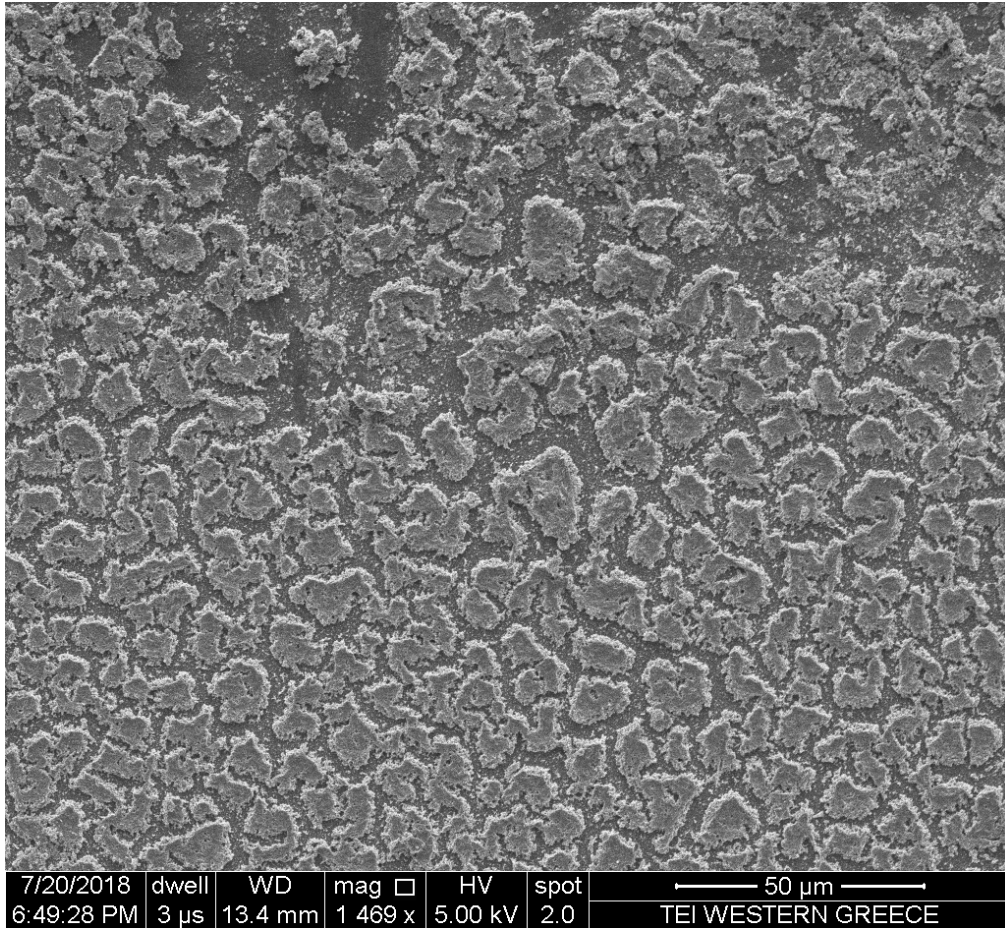
## 2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

### 2.1 Παρασκευή λεπτών υμενίων $\text{TiO}_2$

Ο φωτοκαταλύτης  $\text{TiO}_2$  παρασκευάστηκε με τη μέθοδο μετατροπής κolloειδούς διαλύματος σε πήκτωμα σύμφωνα με τη μεθοδολογία που χρησιμοποιείται στο εργαστήριο Χημείας. Ως πρόδρομο αντιδραστήριο χρησιμοποιήθηκε αλκοξείδιο του τιτανίου. Τα υμένια παρασκευάστηκαν σε γυαλιά μικροσκοπίου. Τα λεπτά υμένια  $\text{TiO}_2$  πριν τη χρήση τους θερμαίνονται σε υψηλή θερμοκρασία στον φούρνο «Thermo SCIENTIFIC» σε θερμοκρασία  $550^\circ\text{C}$ , ώστε να απομακρυνθούν τα οργανικά τα οποία υπάρχουν εγκλωβισμένα στους πόρους του ημιαγωγού κατά τη διαδικασία παρασκευής του. Στην Εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζεται η θέρμανση των λεπτών υμενίων  $\text{TiO}_2$ .



Στο επόμενο Σχήμα παρουσιάζεται μία φωτογραφία από Ηλεκτρονική Μικροσκοπία Σάρωσης (SEM) των αντίστοιχων υμενίων.



Φωτογραφία Ηλεκτρονικής Μικροσκοπίας Σάρωσης (SEM) υμενίων TiO<sub>2</sub> που χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα φωτοκατάλυσης.

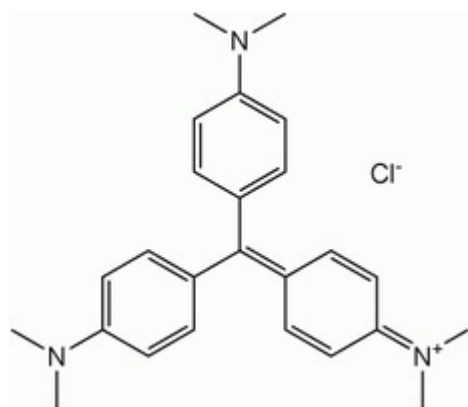
## 2.2 Μελέτη της φωτοκαταλυτικής αποκοδόμησης της χρωστικής Crystal Violet και της ορμόνης προγεστερόνη

Για τη μελέτη της φωτοκαταλυτικής αποκοδόμησης της χρωστικής Crystal Violet και της ορμόνης προγεστερόνη χρησιμοποιήθηκε ο φωτοκαταλυτικός αντιδραστήρας που παρουσιάζεται στην παρακάτω Εικόνα:

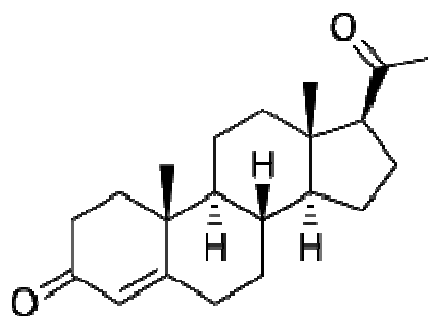


Φωτοκαταλυτική Διάταξη

Οι χημικοί τύποι των δύο μελετώμενων ρύπων παρουσιάζονται στο παρακάτω Σχήμα:



Crystal Violet



Progesterone

Για τα πειράματα φωτοκατάλυσης χρησιμοποιήθηκαν τέσσερα (4) λεπτά υμένα διοξειδίου του τιτανίου με συνολική ποσότητα φωτοκαταλύτη 5mg και 200mL διάλυμα χρωστικής συγκέντρωσης  $10^{-6}$ M. Στην περίπτωση της προγεστερόνης η αρχική συγκέντρωση ήταν 5ppm. Η διαδικασία της φωτοκατάλυσης καταγράφηκε με το χρόνο ως μείωση της συγκέντρωσης του υπό μελέτη ρύπου μέσω φασματοφωτομετρίας απορρόφησης Υπεριώδους-Ορατού (UV-Vis). Στην Εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζεται το φασματοφωτόμετρο απορρόφησης που χρησιμοποιήθηκε.



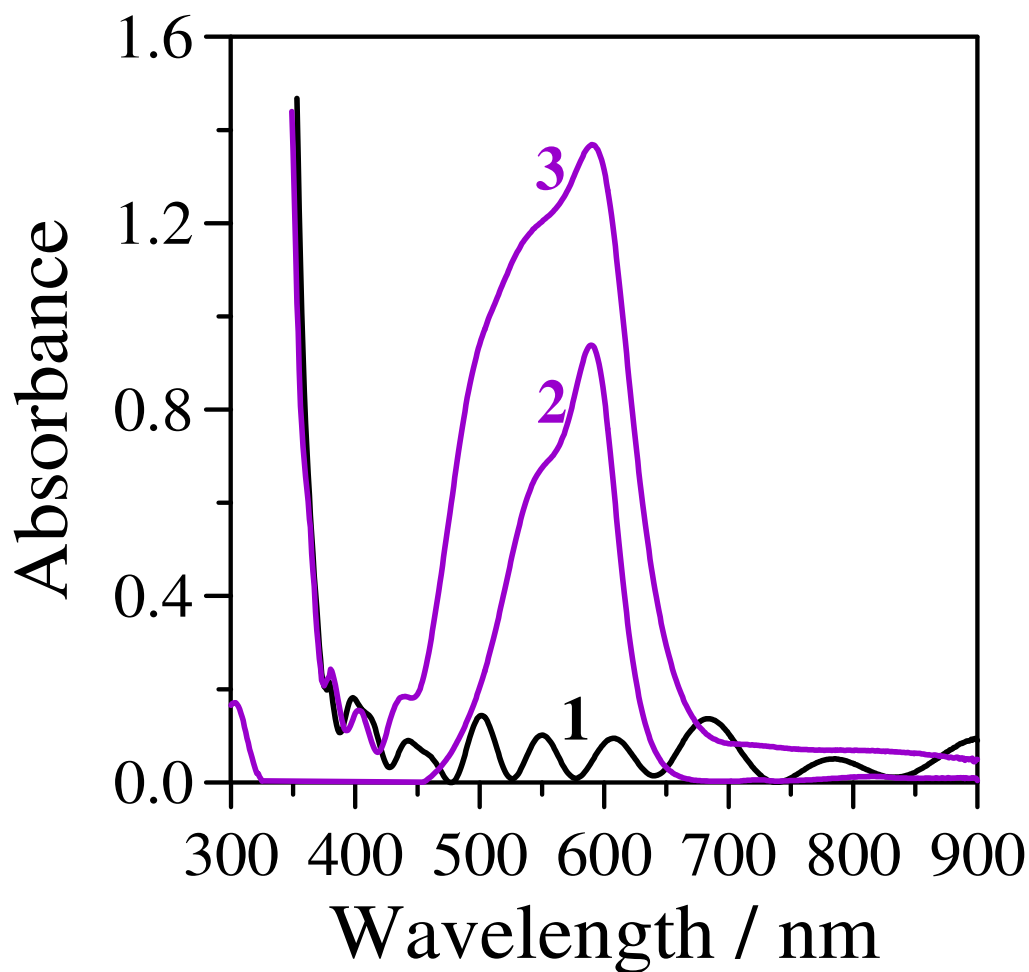
Φασματοφωτόμετρο Απορρόφησης υπεριώδους-ορατού (Schimadzu UV-1800)

Τα μήκη κύματος που χρησιμοποιήθηκαν για την καταγραφή της έντασης της απορρόφησης ήταν 590 nm για την Crystal Violet και 250nm για την προγεστερόνη.

### 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

#### 3.1 Αποτελέσματα της φωτοκαταλυτικής αποικοδόμησης των χρωστικών Crystal Violet και Methylene Blue

Στο Σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα φάσματα απορρόφησης του λεπτού υμενίου  $\text{TiO}_2$  (1), του υδατικού διαλύματος της χρωστικής Crystal Violet (2) και του μενίου  $\text{TiO}_2$  με την προσροφημένη χρωστική (3).

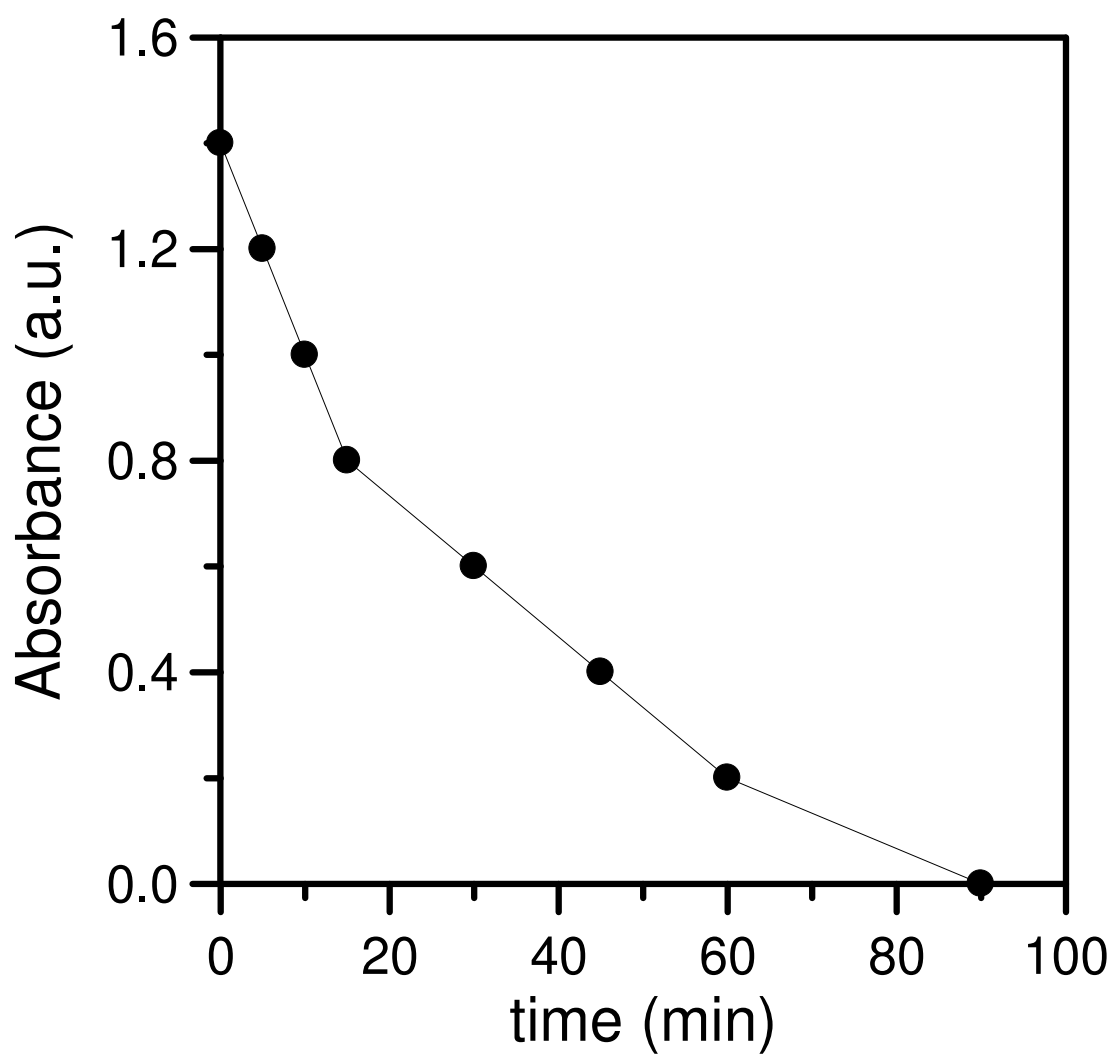


Τα αποτελέσματα της μείωσης της απορρόφησης κι επομένως και της συγκέντρωσης με το χρόνο παρουσιάζονται στον ακόλουθο Πίνακα.



time (min)	Absorbance (a.u.)
0	1.4
5	1.22
10	1.04
15	0.83
30	0.62
45	0.43
60	0.21
90	0

Η γραφική εξέλιξη της φωτοκατάλυσης για τη συγκεκριμένη χρωστική παρουσιάζεται στο ακόλουθο Σχήμα

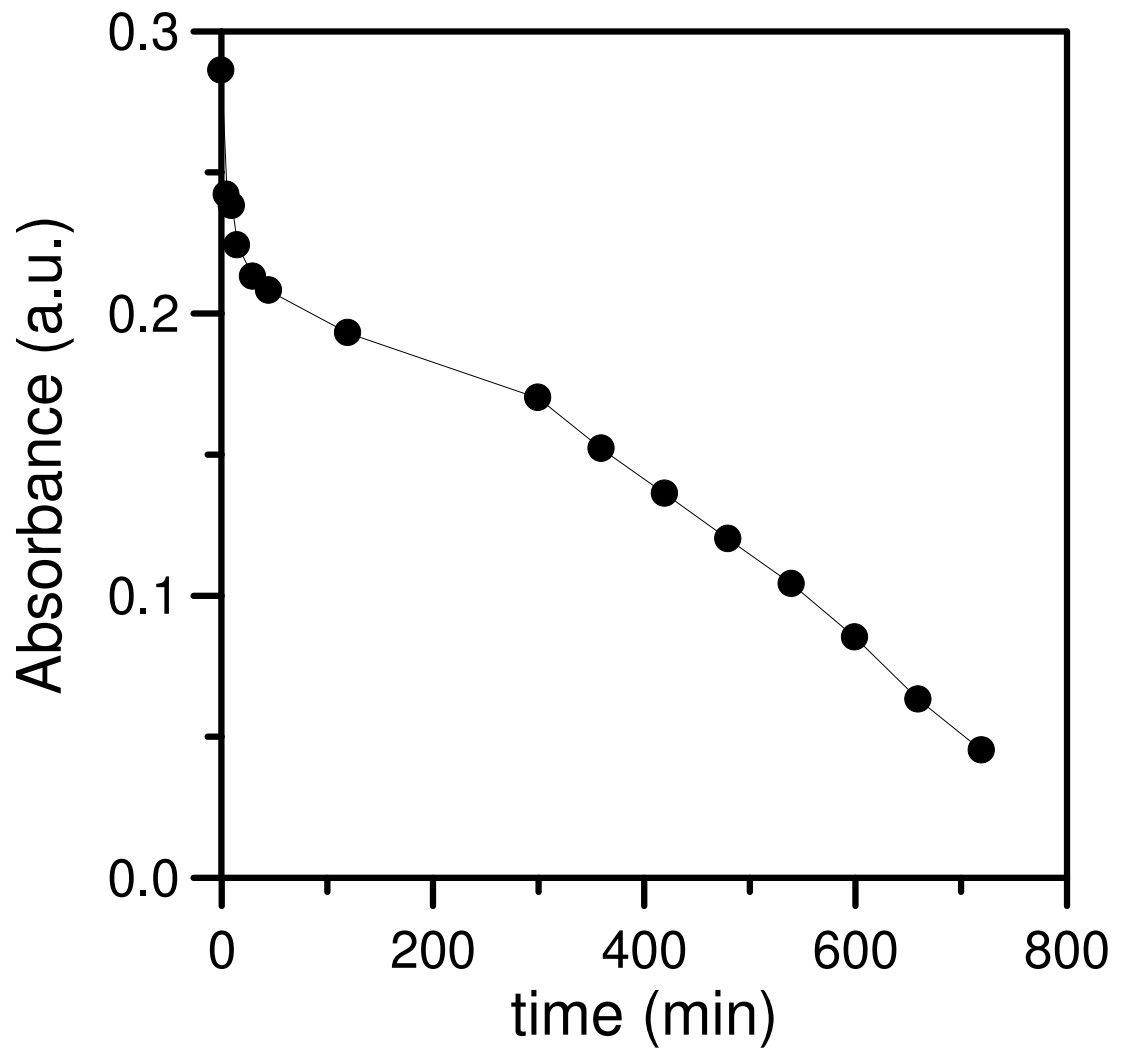


### 3.2 Αποτελέσματα της φωτοκαταλυτικής αποικοδόμησης της προγεστερόνης

Τα αποτελέσματα της μείωσης της απορρόφησης κι επομένως και της συγκέντρωσης με το χρόνο για την προγεστερόνη παρουσιάζονται στον ακόλουθο Πίνακα.

time (min)	Absornace (a.u.)
0	0.286
5	0.242
10	0.238
15	0.224
30	0.213
45	0.208
120	0.193
300	0.17
360	0.152
420	0.136
480	0.12
540	0.104
600	0.085
660	0.063
720	0.045

Η γραφική εξέλιξη της φωτοκατάλυσης για την προγεστερόνη παρουσιάζεται στο Σχήμα που ακολουθεί.



#### 4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η χρήση λεπτών υμενίων  $\text{TiO}_2$  που παρασκευάστηκαν με τη μέθοδο μετατροπής κolloειδούς διαλύματος σε πήκτωμα (sol-gel method) σε μελέτες φωτοκαταλυτικής αποικοδόμησης πρότυπων ρύπων από υδατικά συστήματα. Ως πρότυποι ρύποι χρησιμοποιήθηκαν και μελετήθηκαν η οργανική χρωστική Crystal Violet και η ορμόνη προγεστερόνη.

Τα αποτελέσματα έδειξαν περισσότερο αποτελεσματική φωτοκαταλυτική αποικοδόμηση στην περίπτωση της χρωστικής καθώς αυτή προσροφάται επιτυχώς στην επιφάνεια του φωτοκαταλύτη.

## 5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Γρηγοράκου Λυδία, 'Μελέτη πολυμερικών και σύνθετων οργανικών ανόργανων υλικών για περιβαλλοντικές εφαρμογές σε υδάτινα συστήματα', Πτυχιακή εργασία, Μεσολόγγι, 2016.
2. Μουστακαριά Αδαμαντία, 'Μελέτη χημικών υδροπηκτωμάτων και υμενίων διοξειδίου του τιτανίου για περιβαλλοντικές εφαρμογές σε υδάτινα συστήματα', Πτυχιακή εργασία, Μεσολόγγι, 2017
3. Erika Mendez, Miguel A. González-Fuentes, Georgette Rebollar-Perez, Alia Méndez-Albores & Eduardo Torres, 'Emerging pollutant treatments in wastewater: Cases of antibiotics and hormones', JOURNAL OF ENVIRONMENTAL SCIENCE AND HEALTH, PART A 2017, VOL. 52, NO. 3, 235–253.
4. D. Panagiotaras, V. Bekiari, E. Stathatos, D. Papoulis, G. Panagopoulos, A.N. Kalarakis, I. Pliopoulos, E. Kourkouta, P. Mavrokota, 'Use of halloysite–TiO<sub>2</sub> nanocomposites for the decomposition of tebuconazole fungicide in water', DESALINATION AND WATER TREATMENT, 2018, 127, 132-139.
5. ΕΤΕΡΟΓΕΝΗΣ ΦΩΤΟΚΑΤΑΛΥΣΗ  
<http://theory.materials.uoc.gr/courses/een/projects2016/lekkas.pdf>
6. Κεφάλαιο 1 - Εισαγωγή στην Πράσινη Χημεία
7. [https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/2327/1/08\\_chapter\\_7\\_b.pdf](https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/2327/1/08_chapter_7_b.pdf)
8. 3.4 φωτοκαταλυτες
9. <http://ikee.lib.auth.gr/record/100695/files/gri-2008-1011.pdf>
10. Αξιοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας στην απολύμανση παθογόνων μικροοργανισμών με ετερογενή φωτοκατάλυση  
<http://dias.library.tuc.gr/view/18831>
11. Φωτοκαταλυτική δράση του διοξειδίου του τιτανίου στο δομημένο περιβάλλον  
<http://dias.library.tuc.gr/view/68433>
12. Φωτοκαταλυτική διάσπαση αντιβιοτικών στην υδατική φάση  
<http://dias.library.tuc.gr/view/67731>