



# **ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**

---

## **ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

### **ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

#### **ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗΣ ΓΑΛΛΙΚΟΥ ΟΞΕΟΣ ΣΕ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥΣ ΛΙΓΝΙΤΕΣ**

**ΕΥΓΕΝΙΑ ΚΑΡΑΟΥΛΑΝΗ**

**ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ**

**Γ.ΚΑΡΑΤΖΑΣ**

**Ν.ΚΑΛΟΓΕΡΑΚΗΣ**

**Ν.ΝΙΚΟΛΑΪΔΗΣ**

**ΧΑΝΙΑ ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2014**

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1 Εισαγωγή.....	4
2 Λιγνίτες – Γαιάνθρακες.....	5
2.1 Εισαγωγή.....	5
2.1.2 Εμφάνιση και κατανομή.....	6
2.1.3 Τυρφοποίηση και ενανθράκωση.....	7
2.1.4 Συστήματα ταξινόμησης γαιανθράκων.....	10
2.1.5 Κατηγορίες γαιανθράκων.....	10
2.1.6 Ανθρακοπετρογραφική ανάλυση.....	14
2.1.7 Χημική σύσταση γαιάνθρακα.....	15
2.1.8 Χρήσεις λιγνιτών.....	15
2.1.9 Δυναμικό Ελλάδος.....	17
3 Καρβοξυλικά οξέα.....	19
3.1 Ταξινόμηση.....	20
3.2 Ονοματολογία.....	21
3.3 Βιομηχανική παραγωγή.....	22
3.4 Γαλλικό οξύ.....	22
4 Προσρόφηση (Adsorption).....	25
4.1 Προσδιορισμός της απόδοσης προσρόφησης.....	27
4.2 Τύποι προσροφητών.....	29

4.3 Ενεργοποιημένος άνθρακας.....	30
4.3.1 Ιστορική αναδρομή των ανθράκων ως προσροφητικών Μέσων.....	30
4.3.2 Κατηγοριοποίηση ενεργοποιημένων ανθράκων.....	31
4.3.3 Ειδική επιφάνεια και μέγεθος πόρων.....	31
4.3.4 Μέτρηση πορώδους.....	32
4.3.5 Η δομή του ενεργοποιημένου άνθρακα.....	33
4.3.6 Χημεία επιφανειών.....	34
4.3.7 Παραγωγή ενεργοποιημένου άνθρακα.....	35
4.3.8 Ανθρακοποίηση.....	35
4.3.9 Ενεργοποίηση.....	36
4.3.10 Χημική ενεργοποίηση.....	36
4.3.11 Φυσική ενεργοποίηση.....	37
5 Πειραματική διαδικασία.....	38
5.1 Εισαγωγή.....	38
5.2 Διαδικασία ενεργοποίησης.....	39
5.3 Παρασκευή υδατικών διαλυμάτων.....	39
5.4 Όργανα.....	41
5.4.1 Φασματοφωτόμετρο.....	41
5.4.2 Αντιδραστήρες ασυνεχούς λειτουργίας και πλήρους ανάμιξης (BATCH).....	44
5.4.3 Φυγόκεντρος.....	46
6 Αποτελέσματα.....	47

7 Σύγκριση αποτελεσμάτων.....	119
7.1 Εισαγωγή.....	119
8 Συμπεράσματα.....	130
9 Βιβλιογραφία.....	132

# 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην παρούσα εργασία ερευνήθηκε η προσρόφηση διαλύματος γαλλικού οξέος σε σύστημα πλήρους ανάμιξης BATCH . Ως προσροφητικά μέσα εξετάστηκαν έντεκα τύποι μη ενεργοποιημένου ελληνικού λιγνίτη και επτά τύποι ενεργού λιγνίτη . Παράλληλα μετρήθηκε η τιμή του pH του διαλύματος και καταγράφηκε βελτίωση των τιμών μετά από τέσσερις ώρες απόδοσης των γαιανθράκων . Προσδιορίστηκε η ικανότητα προσρόφησης των δειγμάτων και κατασκευάστηκαν καμπύλες που περιγράφουν την κινητική του φαινομένου . Ένα δυναμικό μοντέλο διαπιστώθηκε ότι ικανοποιεί την μεταβολή των τιμών συγκέντρωσης και του pH . Αν και η ειδική επιφάνεια των αρχικών δειγμάτων λιγνίτη είναι χαμηλή, η προσροφητική τους ικανότητα κρίνεται ικανοποιητική και προτείνεται η ενεργοποίησή τους .

## 2 ΛΙΓΝΙΤΕΣ - ΓΑΙΑΝΘΡΑΚΕΣ

### 2.1 Εισαγωγή

Ο όρος γαιάνθρακες αναφέρεται σε έναν μεγάλο αριθμό στερεών οργανικών ορυκτών με πολύ διαφορετική σύσταση και ιδιότητες. Αποτελούν μια από τις σημαντικότερες πηγές άνθρακα στον κόσμο και βασική πηγή ενέργειας . Απαντούν σε στρωματοειδείς αποθέσεις, συχνά σε μεγάλα βάθη και έχουν χρώμα μαύρο ή γενικά σκούρο . Οι γαιάνθρακες είναι προϊόντα μερικής αποσύνθεσης ενταφιασμένης βλάστησης κάτω από αναερόβιες συνθήκες . Η αρχική φυτική ύλη συσσωρεύεται και αποτίθεται σε ιζηματογενείς λεκάνες, όπου με την επίδραση βραδέων βιοχημικών και γεωχημικών διεργασιών μετατρέπεται σταδιακά σε γαιάνθρακα . Η μετατροπή της και ο εμπλουτισμός της σε άνθρακα ονομάζεται ενανθράκωση . Στο μικροσκόπιο έχουν παρατηρηθεί τα **Οργανικά Δομικά Πετρογραφικά Συστατικά** (Ο.Δ.Π.Σ) , γνωστά και ως ‘macerals’ , που συνθέτουν τους γαιάνθρακες και είναι τμήματα φυτών (ρίζες, ιστοί, σπόροι κ.α.) .

Οι γαιάνθρακες διακρίνονται με βάση το περιβάλλον που σχηματίζονται σε χουμικούς και σαπροπηλικούς . Οι χουμικοί άνθρακες σχηματίζονται σε ηπειρωτικό περιβάλλον και είναι στρωματοποιημένοι . Διέρχονται από το στάδιο της τυρφοποίησης των φυτών στους χώρους που αναπτύχθηκαν και το κύριο οργανικό συστατικό τους είναι ένα στιλπνό υλικό, ορατό με γυμνό μάτι , που έχει χρώμα καφέ έως μαύρο και προέρχεται από τη χουμοποίηση των ξυλωδών ιστών . Στους γαιάνθρακες χαμηλού βαθμού ενανθράκωσης το υλικό αυτό ονομάζεται χουμινίτης, ενώ στους υψηλότερου βαθμού βιτουμενούχους λιθάνθρακες και τον ανθρακίτη ονομάζεται βιτρινίτης . Οι σαπροπηλικοί άνθρακες είναι σπανιότεροι, δεν είναι στρωματοποιημένοι και σχηματίζονται από λεπτόκοκκη οργανική ύλη σε ήρεμο περιβάλλον ρηχών υδάτων ελλείψει οξυγόνου (θαλάσσιο

περιβάλλον κοντά σε ακτές, κλειστές λίμνες, λιμνοθάλασσες, μικρά έλη ) . Συνήθως δεν περνούν από το στάδιο της τυρφοποίησης, ακολουθούν ωστόσο τις ίδιες διαγενετικές μεταβολές . Περιέχουν αλλόχθονο οργανικό και ανόργανο υλικό που μεταφέρεται μέχρι την ιζηματογενή λεκάνη . Διακρίνονται μακροσκοπικά σε δύο κατηγορίες, τους ‘boghead coals’ (υψηλά ποσοστά υπολειμμάτων φυκιών) και τους ‘cannel coals’ (συμπαγείς με υψηλή περιεκτικότητα σε σπόρους) .

### **2.1.2 Εμφάνιση και Κατανομή**

Στη γεωλογική ιστορία είναι γνωστές **δύο μεγάλες περιόδους σχηματισμού** γαιανθράκων . Η **αρχαιότερη** διήρκεσε από το Κατώτερο λιθανθρακοφόρο μέχρι το Πέρμιο (πριν από 345 μέχρι 225 εκ. χρόνια) . Κατά την περίοδο αυτή σχηματίστηκαν οι μεγάλες αποθέσεις γαιανθράκων στη Βόρεια Αμερική και την Ευρώπη . Τα πετρώματα του λιθανθρακοφόρου σχηματίστηκαν σε μία ευρεία ζώνη, κύρια στο Βόρειο Ημισφαίριο . Το συνολικό πάχος αυτών των σχηματισμών είναι τεράστιο και πρέπει να υπερβαίνει τα 4.300 μέτρα στη διάρκεια του Ανώτερου Λιθανθρακοφόρου . Είναι πολύ πιθανό ότι στη διάρκεια αυτής της περιόδου υπήρχαν μεγάλες ελώδεις εκτάσεις που βυθίστηκαν σιγά-σιγά κάτω από την επιφάνεια της Γης . Ένα παράδειγμα μιας τέτοιας μεγάλης βυθισμένης περιοχής είναι το ανατολικό τμήμα των ΗΠΑ, όπου γίνεται εκμετάλλευση γαιανθράκων στην περιοχή του Πίτσμπουργκ . Εξαιτίας γεωλογικών μετατοπίσεων , σε πολλά μέρη έχουν εξαφανιστεί τα πολύ πλούσια στρώματα γαιανθράκων του Ανώτερου Λιθανθρακοφόρου . Ο συνολικός όγκος των αποθέσεων των γαιανθράκων δεν ξεπερνά το 2 % όλων των ιζημάτων του Λιθανθρακοφόρου, δηλαδή οι γαιάνθρακες είναι σπάνιοι ακόμα και μέσα στα στάδια του Λιθανθρακοφόρου . Η **δεύτερη** περίοδος σχηματισμού γαιανθράκων, ποιοτικά λιγότερη σημαντική από το Λιθανθρακοφόρο, άρχισε στο Ανώτερο Κρητιδικό (πριν από 70 εκ. χρόνια) και έφτασε στο μέγιστό της στη διάρκεια του Τριτογενούς (πριν από 2,5 έως 65 εκ. χρόνια) . Οι λιγνίτες και οι γαιάνθρακες ανήκουν όλοι σε αυτή την περίοδο . Στο δυτικό τμήμα της Βόρειας Αμερικής υπάρχουν τεράστια γαιανθρακοφόρα πεδία που σχηματίστηκαν κατά το Κρητιδικό και εκτείνονται από την Γιούτα

μέχρι την Αλάσκα . Στην Ευρώπη λιγνιτοφόρα πεδία αναπτύχθηκαν στη Νότια Γαλλία και την Κεντρική Ευρώπη στη διάρκεια του Ανώτερου Κρητιδικού και του Κατώτερου Τριτογενούς . Η πλειονότητα των λιγνιτικών σχηματισμών , καθώς και οι Τριτογενούς γαιάνθρακες τις Ιαπωνίας, Ινδονησίας και Παταγονίας, σχηματίστηκαν κατά το Μειόκαινο (πριν από 7-26 εκ. χρόνια) .

### **2.1.3 Τυρφοποίηση και Ενανθράκωση**

Η εξέλιξη των κοιτασμάτων των ορυκτών καυσίμων μέσα στις λεκάνες ιζηματογένεσης διακρίνει τους γαιάνθρακες ανάλογα με το βαθμό ενανθράκωσης (**rank**) ως εξής :

Τύρφη → Λιγνίτες → Λιθάνθρακες → Ανθρακίτης → Γραφίτης

Η διαδικασία της **τυρφοποίησης** είναι καθαρά **βιοχημική** και αποτελείται από τα εξής δύο στάδια :

- 1) Το πρώτο στάδιο χαρακτηρίζεται από έντονη οξείδωση στην επιφάνεια ή αμέσως κάτω από αυτήν .
- 2) Το δεύτερο στάδιο χαρακτηρίζεται από βραδύτερες μεταβολές κάτω από αναγωγικές συνθήκες .

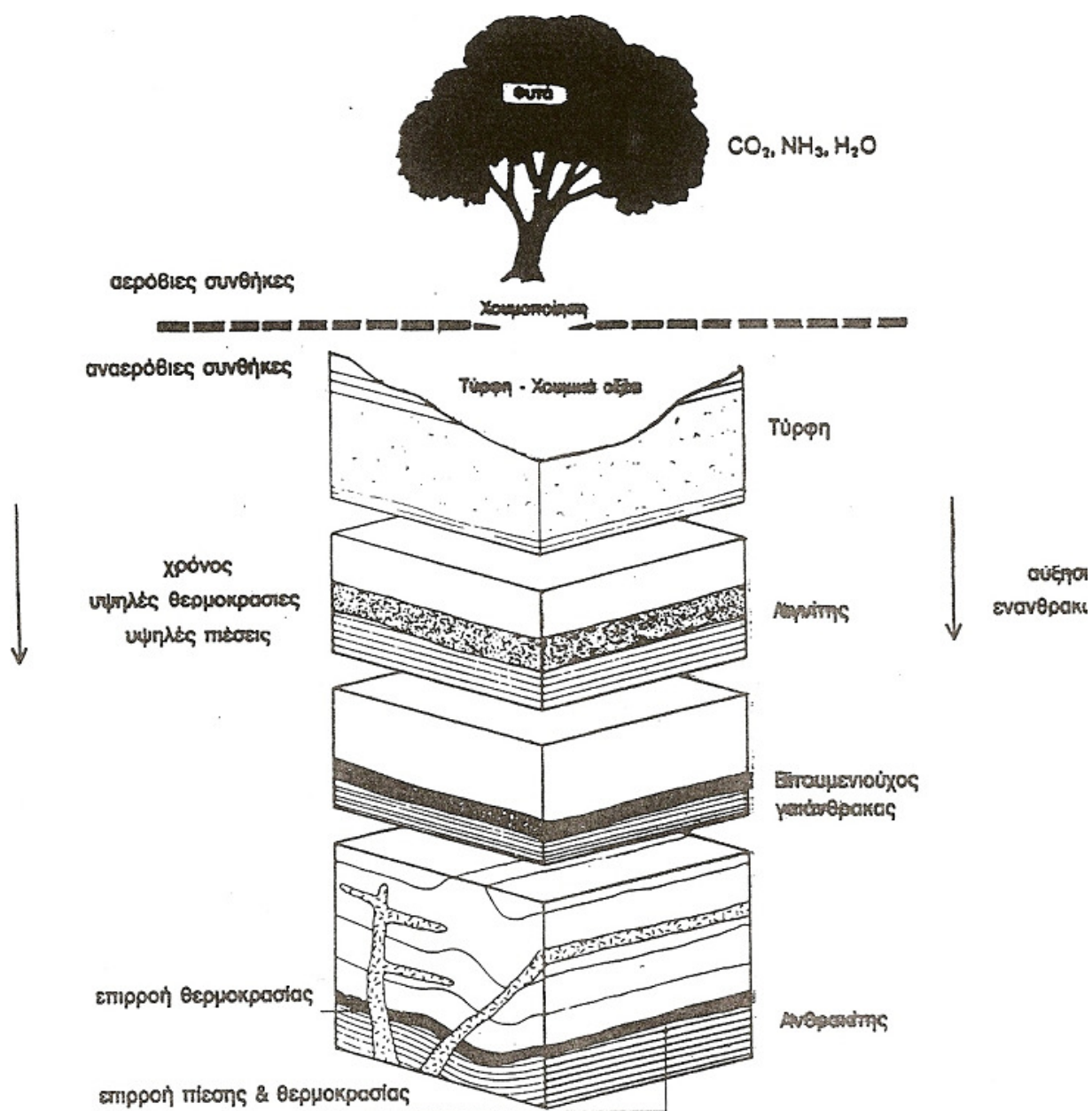
Ο βαθμός της αποσύνθεσης και χουμοποίησης του νεκρού φυτικού υλικού είναι συνάρτηση του ρυθμού της οξείδωσης . Το συσσωρευμένο φυτικό υλικό αποτελείται από ιστούς των οποίων τα κυριότερα δομικά συστατικά είναι η κυτταρίνη και η λιγνίνη . Σε αυτά συναντάμε και πρωτεΐνες , αζωτούχες ενώσεις, έλαια, κηρούς, ρητίνες και τανίνη . Η ταχύτητα της καταβύθισης, το ύψος του στρώματος του νερού και το κλίμα ελέγχουν την διάρκεια και τις συνθήκες της πρώτης φάσης, καθώς επίσης και τη σύσταση της οργανικής ύλης που είναι διαθέσιμη για τις επακόλουθες διεργασίες ενανθράκωσης .



Η **ενανθράκωση** (coalification ή carbonification) είναι μια συνεχής διαδικασία η οποία ακολουθεί την τυρφοποίηση και είναι κατά βάθος γεωχημική. Περιλαμβάνει δε ένα σύνολο φυσικοχημικών αλλαγών που οδηγούν στο σχηματισμό γαιανθράκων διαφόρων βαθμών (rank) . Οι παράγοντες που ελέγχουν την μετατροπή της τύρφης σε ανθρακίτη εξακολουθούν να είναι οι ίδιοι , ωστόσο τον πρώτο λόγο έχουν η θερμοκρασία, η πίεση και ο χρόνος .

Οι πιο σημαντικές αλλαγές που παρατηρούνται κατά την διάρκεια της ενανθράκωσης είναι η μείωση της περιεκτικότητας των γαιανθράκων σε νερό και πτητικά συστατικά, η αύξηση της πυκνότητάς τους, η ελάττωση του πορώδους τους, η αύξηση της θερμαντικής τους ικανότητας ή θερμογόνου δύναμης και η αύξηση της ανακλαστικότητας του βιτρινίτη που περιέχουν . Κατά την ωρίμανση οι γαιάνθρακες συμπυκνώνονται, πολυμερίζονται, αρωματοποιούνται και χάνουν δραστικές ομάδες που περιέχουν( O) ,( S) και ( N) και συνδέονται με τη μοριακή δομή τους . Το καθαρό αποτέλεσμα όλων των παραπάνω μεταβολών είναι ένας συνεχής εμπλουτισμός των γαιανθράκων σε άνθρακα .

Ακολουθεί σχηματική αναπαράσταση της διαδικασίας χουμοποίησης-τυρφοποίησης και ενανθράκωσης του νεκρού φυτικού υλικού. (Εικόνα 1)



Εικόνα 1

#### **2.1.4 Συστήματα Ταξινόμησης Γαιανθράκων**

Οι γαιάνθρακες είναι ιζήματα με ιδιόμορφη σύσταση (οργανικά συστατικά 'maceral' και ανόργανη ύλη) που διαφοροποιούνται ανάλογα με το περιβάλλον εναπόθεσης και τις φυσικοχημικές διεργασίες που υφίστανται στο πέρασμα του χρόνου . Ο καθορισμός του σταδίου ενανθράκωσής τους απαιτεί ακριβή γνώση των διεργασιών αυτών και των μεταβολών που αυτές προκαλούν . Για παράδειγμα, η ταξινόμησή τους μόνο με βάση τον λόγο πτητικών συστατικών προς τον μόνιμο άνθρακα δε μπορεί να εφαρμοστεί για ολόκληρη τη σειρά των γαιανθράκων επειδή η διαδικασία της ενανθράκωσης δεν είναι σταθερή και ομοιόμορφη . Γι' αυτόν τον λόγο πρέπει να λαμβάνονται υπόψη περισσότερες από μία παραμέτρους όπως η ανακλαστικότητα, η θερμαντική ικανότητα και άλλες . Ο συνδυασμός τους μπορεί να δώσει την πλέον αξιόπιστη σειρά ταξινόμησης .

#### **2.1.5 Κατηγορίες Γαιανθράκων**

Όπως αναφέρθηκε η ωρίμανση των γαιανθράκων τους διακρίνει σε τέσσερις κύριες κατηγορίες : **τύρφη, λιγνίτης, λιθάνθρακας και ανθρακίτης** .

##### **α) Τύρφη**

Η τύρφη είναι ο νεότερος σε ηλικία γαιάνθρακας και κατά συνέπεια εκείνος με τον χαμηλότερο βαθμό ενανθράκωσης που απαντάται στη φύση . Είναι προϊόν αποσύνθεσης των φυτών και ο σχηματισμός της τοποθετείται στο Τεταρτογενές . Συναντάται σε ευνοϊκά για την ανάπτυξη βλάστησης κλίματα και όπου υπάρχουν λιμνάζοντα νερά . Λόγω του υψηλού πορώδους έχει υψηλό ποσοστό υγρασίας που υπερβαίνει το 90 % . Ανάλογα με τη γεωγραφική θέση σχηματισμού της, οι τυρφώνες διακρίνονται σε :

- ❖ Τυρφώνες παραλίμνιους, έλους ή βάλτου .
- ❖ Τυρφώνες παράκτιους .
- ❖ Τυρφώνες δέλτα ποταμών .
- ❖ Τυρφώνες λιμνοθάλασσας ή κλειστών θαλάσσιων κόλπων κ.ά.

Στην Ελλάδα απαντούν κατά κανόνα τύρφεις λιμνοτελματικού τύπου . Το Ι.Γ.Μ.Ε. έχει εντοπίσει σημαντικά κοιτάσματα τύρφης στους Φιλίππους Καβάλας, στην Έδεσσα, στην Πρέβεζα, στην λίμνη Χειμαδίτιδας Πτολεμαΐδας και τον Πύργο .

## β) Λιγνίτης

Οι λιγνίτες ανήκουν στους γαιάνθρακες με μικρό σχετικά βαθμό ενανθράκωσης. Στον όρο αυτό δεν αποδίδονται πάντα από όλους τους επιστήμονες οι ίδιες φυσικοχημικές ιδιότητες . Οι ίδιοι οι λιγνίτες εξάλλου ποικίλουν από κοίτασμα σε κοίτασμα και οι ποιοτικές αποκλίσεις θεωρούνται φυσιολογικές ακόμα και μέσα στο ίδιο το κοίτασμα. Οι λιγνίτες διακρίνονται στους **μαλακούς** (γαιώδεις) και στους **σκληρούς** (συμπαγείς ,αλαμπείς ή στιλπνούς) .

### • Μαλακοί, γαιώδεις λιγνίτες :

Οι μαλακοί ή γαιώδεις λιγνίτες, στη φυσική τους κατάσταση είναι χρώματος σκούρου καστανού έως καστανόμαυρου . Είναι μαλακοί και αποσαθρώνονται εύκολα στον αέρα . Είναι επίσης συχνά λεπτοστρωματώδεις, φυλλώδεις και σπάνια συμπαγείς . Στις επιφάνειες των στρωματιδίων των λεπτοστρωματωδών λιγνιτών παρατηρούνται συνήθως φυτικά λείψανα (υπολείμματα φύλλων, σπόροι κ.λ.π.), καθώς επίσης πολύ συχνά ανόργανη ύλη όπως λεπτόκοκκοι άμμοι, φυλλάρια μαρμαρυγία και όχι σπάνια κελύφη απολιθωμάτων .

- **Σκληροί λιγνίτες, συμπαγείς, αλαμπείς ή στιλπνοί :**

Αυτοί είναι χρώματος καφέ μέχρι μαύρο . Σπάνια διακρίνονται φυτικά υπολείμματα και σε μερικές περιπτώσεις παρατηρείται κάποια ασθενής στρώση . Ένας άλλος τύπος λιγνίτη, για την Ελλάδα πολύ σημαντικός και λόγω ποιότητας, αλλά και της ποσότητας των αποθεμάτων είναι ο **‘ξυλώδης τύπος’** ή **‘ξυλίτης’** . Ο τύπος αυτός (ξυλίτης) συνίσταται σχεδόν αποκλειστικά είτε από συστατικά δέντρων (τμήματα φυτών ανώτερης βλάστησης), είτε από πρωτογενή σκληρά (ξυλιτικά) συστατικά όπως κορμοί, κλάδοι και ρίζες, είτε από πρωτογενή μαλακά (φυλλώδη συστατικά) όπως φύλλα, μίσχοι κ.λ.π. Το ποσοστό της συμμετοχής των ξυλιτικών συστατικών ποικίλει στην κύρια μάζα του λιγνίτη μεταξύ διαφορετικών κοιτασμάτων ‘ξυλίτη’, αλλά και από θέση σε θέση στο ίδιο κοίτασμα (περίπτωση ‘ξυλιτικών’ κοιτασμάτων Ανατολικών Περιθωρίων λεκάνης Φλώρινας-κοίτασμα Βεύης, Αχλάδας, Βεγόρας-και κοιτάσματος περιοχής Κομνηνών Πτολεμαΐδας) . Πάντως ανεξάρτητα από το ποσοστό των περιεχομένων ξυλιτικών συστατικών, ο λιγνίτης ‘ξυλώδους τύπου’ (ξυλίτης) είναι σκληρός, συχνά ινώδης και για την κοπή του απαιτείται η χρήση πριονιού . Τα απανθρακωμένα ξυλιτικά συστατικά διατηρούν τον ιστό και την υφή του ξύλου και παρουσιάζουν χροιά καστανή . Ο ιστός και η υφή των φυλλωδών συστατικών είναι συχνά λιγότερο διατηρημένα ενώ το χρώμα τους είναι από καστανό έως μαύρο . Περισσότερη ανόργανη ύλη (άμμοι, άργιλοι κ.λ.π.) συνυπάρχει όπως είναι προφανές, με το εύθρυπτο τμήμα των φυλλωδών συστατικών . Πολλές φορές παρατηρούνται και συγκεντρώσεις ανόργανης ύλης και μέσα στα ξυλιτικά συστατικά . Στην περίπτωση αυτή η ανόργανη ύλη πληρεί τα διάφορα κοιλώματα του ξύλου . **Ποιοτικά οι λιγνίτες διαφέρουν πολύ από κοίτασμα σε κοίτασμα και αυτό είναι επόμενο, αφού οι ποιοτικές αποκλίσεις είναι πολύ συνηθισμένες μέσα σε ένα και το αυτό κοίτασμα .**

### γ) Λιθάνθρακας

Οι λιθάνθρακες ανήκουν στους γαιάνθρακες με υψηλό βαθμό ενανθράκωσης . Είναι σημαντικοί λόγω της υψηλής τους περιεκτικότητας σε άνθρακα, της μεγάλης θερμαντικής ικανότητας και των αποθεμάτων τους σε παγκόσμιο επίπεδο . Απαντώνται στα στρώματα του Λιθανθρακοφόρου και του Περμίου . Στην Ελλάδα υπάρχουν μικρές εμφανίσεις φακοειδών στρωμάτων λιθάνθρακα που δεν αξιολογούνται ως κοιτάσματα (Χίος, Μονεμβασία Λακωνίας και Κεντρική Εύβοια) . Ανάλογα με την περιεκτικότητά τους σε πτητικά συστατικά διακρίνονται σε φλογάνθρακες, αεριοφλογάνθρακες, αεριάνθρακες (γερμανική ορολογία) ή βιτουμενιούχους γαιάνθρακες υψηλής, μέσης και χαμηλής περιεκτικότητας σε αυτά και ημιανθρακίτης (αμερικάνικη ορολογία) .

### δ) Ανθρακίτης

Οι ανθρακίτες σχηματίζονται κατά το τελευταίο στάδιο της ενανθράκωσης και έχουν το μεγαλύτερο ποσοστό σε άνθρακα (περίπου 90-95 %) μετά τον γραφίτη και το διαμάντι . Μοιάζουν με τους λιθάνθρακες και δύσκολα διαχωρίζονται μακροσκοπικά από αυτούς . Στον πίνακα που ακολουθεί σημειώνονται διάφορες παράμετροι των τεσσάρων κατηγοριών γαιανθράκων .

Κατηγορία	Πυκνότητα (g/cm <sup>3</sup> )	Ολικός C % (επί ξηρού)	Υγρασία %	Θερμαντική ικανότητα (Kcal/Kg) επί ξηρού
Τύρφη	1	55-65	65-90	3000-5000
Λιγνίτης	1,1-1,3	65-75	10-50	4000-6000
Λιθάνθρακας	1,2-1,5	75-90	2-7	6000-8000
Ανθρακίτης	1,4-1,7	90-95	1-2	>8000

### **2.1.6 Ανθρακοπετρογραφική Ανάλυση**

Οι αναλυτικές διαδικασίες της ανθρακοπετρογραφικής μελέτης ενός γαιάνθρακα διακρίνονται σε δύο είδη : τις μακροσκοπικές και τις μικροσκοπικές .

**α)** Παρατηρώντας **μακροσκοπικά** ένα δείγμα γαιάνθρακα, εντοπίζονται ταινίες πάχους 5 mm ή περισσότερο, οι οποίες καλούνται λιθοτύποι . Κάθε λιθοτυπική ομάδα διαχωρίζεται ανάλογα με **i)** τα μακροσκοπικά χαρακτηριστικά της (χρώμα, στιλπνότητα, φωτεινότητα, θραυσμός, εγκλείσματα), **ii)** την προέλευση – γένεση (χουμική-σαπροπηλική) και **iii)** τα τεχνολογικά χαρακτηριστικά του γαιάνθρακα (μεταποιητικές διεργασίες, βιομηχανικές εφαρμογές) . Οι τέσσερις **λιθοτυπικές ομάδες** είναι :

- ο θεμελιώδης λιγνίτης, matrix coal
- ο ξυλιτικός λιγνίτης, xylitic coal
- ο φουζιτικός λιγνίτης, fusitic coal
- και ο πλούσιος σε ανόργανα συστατικά λιγνίτης, mineral coal .

**β)** Με τη **μικροσκοπική** παρατήρηση ταυτοποιήθηκαν τα **Οργανικά Δομικά Πετρογραφικά Συστατικά** (Ο.Δ.Π.Σ) των γαιανθράκων που ορίζονται διεθνώς και ως ‘macerals’ . Ανάλογα με το ποσοστό συμμετοχής τους και τις μεταξύ τους σχέσεις, τα ‘macerals’ επηρεάζουν τις οπτικές, χημικές, φυσικές και τεχνολογικές ιδιότητες (εξανθράκωση, καύση, εξαέρωση, υδρογόνωση – υγροποίηση, πυρόλυση) των γαιανθράκων . Τα ‘macerals’ κατανέμονται στις τρεις κύριες ομάδες :

- ομάδα βιτρινίτη/χουμινίτη
- ομάδα λειπτινίτη
- ομάδα ινερτινίτη .

### **2.1.7 Χημική Σύσταση Γαιανθράκων**

Οι διάφοροι αναλυτικοί προσδιορισμοί έχουν ως στόχο αφενός την προσεγγιστική ή άμεση ανάλυση και αφετέρου την στοιχειακή . Στην προσεγγιστική ή άμεση ανάλυση γαιανθράκων περιλαμβάνονται οι προσδιορισμοί του ποσοστού υγρασίας, πτητικών, τέφρας και μόνιμου άνθρακα ενός δείγματος . Στην στοιχειακή ανάλυση προσδιορίζονται τα κατεξοχήν χημικά συστατικά των γαιανθράκων, δηλαδή η περιεκτικότητα τους σε άνθρακα, υδρογόνο, οξυγόνο, άζωτο και θείο .

### **2.1.8 Χρήσεις Λιγνιτών**

Οι γαιάνθρακες περιέχουν οργανικές ενώσεις, εμφανίζουν υψηλή θερμαντική ικανότητα, είναι εύκολα απολήψιμοι και για τους λόγους αυτούς έχουν μεγάλο πεδίο εφαρμογών.

Οι κατεργασίες που υφίστανται οι γαιάνθρακες για την παραγωγή πρώτων υλών και ενέργειας είναι οι ακόλουθες :

- **Αεριοποίηση**
- **Υγροποίηση**
- **Απανθράκωση**

Μετά από αυτές τις κατεργασίες προκύπτουν διάφορα προϊόντα όπως είναι:

- Αρωματικό αργό πετρέλαιο
- Κωκ
- Μίγμα βαρέων υγρών υδρογονανθράκων ή πίσσα
- Μίγμα αέριων υδρογονανθράκων
- Μπρικήττες στερεού καυσίμου



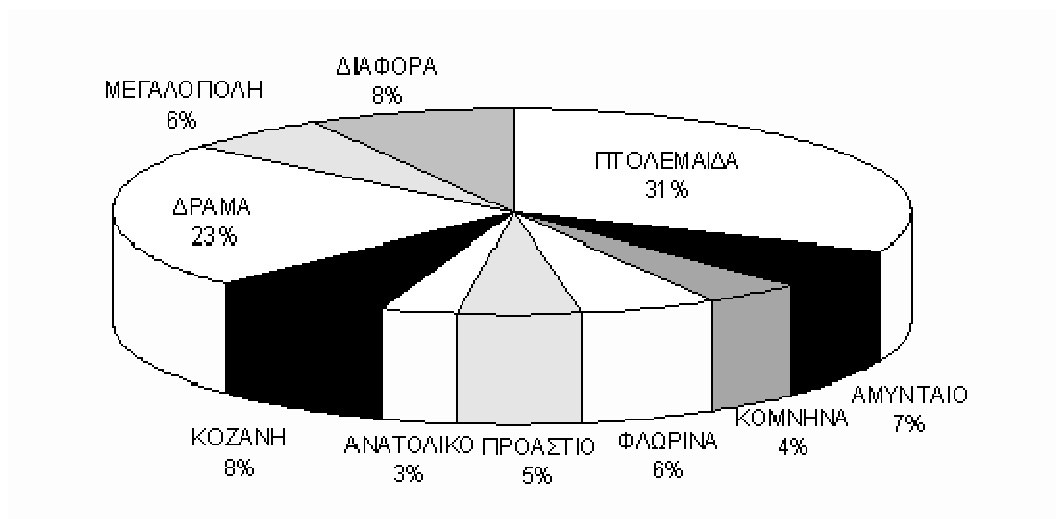
Το μεγαλύτερο ποσοστό των γαιανθράκων χρησιμοποιείται για την παραγωγή ενέργειας και ηλεκτρικού ρεύματος . Στους ατμοηλεκτρικούς σταθμούς της χώρας καταλήγουν οι 'υψηλής αξίας' λιγνίτες που πληρούν τις ελάχιστες απαιτούμενες προδιαγραφές, δηλαδή μια ικανοποιητική θερμαντική ικανότητα (θερμογόνο δύναμη) και μια μικρή περιεκτικότητα σε ανόργανα ορυκτά (τέφρα) . Τι γίνεται όμως με τους 'χαμηλής περιεκτικότητας' λιγνίτες που κρίνονται ακατάλληλοι για παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος ; Την απάντηση σε αυτό το ερώτημα έρχεται να δώσει ο όρος εξωηλεκτρικές χρήσεις . Μάλιστα, όπως εύκολα αντιλαμβάνεται κανείς, οι εξωηλεκτρικές εφαρμογές των γαιανθράκων διαδραματίζουν τελικά έναν σπουδαίο ρόλο στην σύγχρονη πραγματικότητα και οι βασικότερες είναι οι εξής :

- Μεταλλουργία (καύσιμη ύλη στις υψικαμίνους και τους θερμοκλιβάνους, αναγωγικό μέσο, συλλίπασμα)
- Καύσιμα
- Χημική βιομηχανία (λιπάσματα, πλαστικά, πολυμερή, χρώματα, διαλύτες)
- Βιομηχανία υλικών υψηλής τεχνολογίας (ανθρακονήματα, καρβίδια του πυριτίου)
- Εμπλουτισμός μεταλλευμάτων
- Φαρμακοβιομηχανία
- Βιολογικοί καθαρισμοί
- Πολφοί γεωτρήσεων
- Εδαφοβελτιωτικά
- Προσρόφηση αερίων ρύπων

### **2.1.9 Δυναμικό Ελλάδος**

Τα συνολικά βεβαιωμένα γεωλογικά αποθέματα λιγνίτη στη χώρα ανέρχονται σε περίπου 5 δις. τόνους. Τα κοιτάσματα αυτά παρουσιάζουν αξιοσημείωτη γεωγραφική εξάπλωση στον ελληνικό χώρο. Με τα σημερινά τεχνικο-οικονομικά δεδομένα τα κοιτάσματα που είναι κατάλληλα για ενεργειακή εκμετάλλευση, ανέρχονται σε περίπου 3,2 δις τόνους και ισοδυναμούν με 450 εκ. τόνους πετρελαίου. Τα κυριότερα εκμεταλλεύσιμα κοιτάσματα λιγνίτη βρίσκονται στις περιοχές Πτολεμαΐδας, Αμυνταίου και Φλώρινας με υπολογισμένο απόθεμα 1,8 δις τόνους, στην περιοχή της Δράμας με απόθεμα 900 εκ. τόνους και στην περιοχή Ελασσόνας με 169 εκ. τόνους. Επίσης στην Πελοπόννησο, περιοχή Μεγαλόπολης, υπάρχει λιγνιτικό κοιτάσμα με απόθεμα περίπου 223 εκ. τόνους. Με βάση τα συνολικά εκμεταλλεύσιμα αποθέματα λιγνίτη της χώρας και τον προγραμματιζόμενο ρυθμό κατανάλωσης στο μέλλον, υπολογίζεται ότι τα αποθέματα αυτά επαρκούν για περισσότερο από 45 χρόνια. Μέχρι σήμερα οι εξορυχθείσες ποσότητες λιγνίτη φτάνουν περίπου στο 29% των συνολικών αποθεμάτων. Εκτός από λιγνίτη η Ελλάδα διαθέτει και ένα μεγάλο κοιτάσμα Τύρφης στην περιοχή των Φιλιππων (Ανατολική Μακεδονία). Τα εκμεταλλεύσιμα αποθέματα στο κοιτάσμα αυτό εκτιμώνται σε 4 δις κυβικά μέτρα και ισοδυναμούν περίπου με 125 εκατ. τόνους πετρελαίου. Γενικά η ποιότητα των ελληνικών λιγνιτών είναι χαμηλή. Η θερμογόνο δύναμη κυμαίνεται από 975 - 1380 kcal/kg στις περιοχές Μεγαλόπολης, Αμυνταίου και Δράμας, από 1261 - 1615 kcal/kg στην περιοχή Πτολεμαΐδας και 1927 - 2257 στις περιοχές Φλώρινας και Ελασσόνας. Σημαντικό συγκριτικό πλεονέκτημα των λιγνιτών της χώρας μας είναι η χαμηλή περιεκτικότητα σε καύσιμο θείο.

Παρακάτω βλέπουμε την ποσοστιαία κατανομή των Ελληνικών αποθεμάτων λιγνίτη



**Σχήμα 1**

### 3 ΚΑΡΒΟΞΥΛΙΚΑ ΟΞΕΑ

Τα καρβοξυλικά οξέα ή καρβονικά οξέα είναι οργανικά οξέα που χαρακτηρίζονται από την παρουσία μιας τουλάχιστον χαρακτηριστικής ομάδας καρβοξυλίου ή καρβοξυλομάδας, που συμβολίζεται:  $-\text{CO}_2\text{H}$ ,  $-\text{COOH}$  ή  $-\text{C}(=\text{O})\text{OH}$ . Ο γενικός τύπος τους είναι  $\text{RCOOH}$ , όπου R υδρογόνο ή κάποια άλλη μονοσθενής ρίζα. Η χαρακτηριστική καρβοξυλομάδα είναι μια σύνθετη ομάδα που αποτελείται από την παρουσία ενός καρβονυλίου ( $>\text{C}=\text{O}$ ) και μιας υδροξυλομάδας ( $-\text{OH}$ ) ενωμένης στο άτομο άνθρακα του καρβονυλίου. Τα καρβοξυλικά οξέα είναι οξέα κατά Brønsted-Lowry, δηλαδή δότες πρωτονίων. Είναι ο πιο συνηθισμένος τύπος οργανικών οξέων. Τα απλούστερα από αυτά είναι το μεθανικό οξύ ( $\text{HCOOH}$ ) και το αιθανικό οξύ ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ). Υπάρχουν καρβοξυλικά οξέα με δύο (2) καρβοξυλομάδες (δικαρβοξυλικά οξέα, από τα οποία το απλούστερο είναι το οξαλικό οξύ ( $\text{HOOC-COOH}$ ), με τρεις καρβοξυλομάδες (τρικαρβοξυλικά οξέα, από τα οποία το απλούστερο είναι το καρβοξυπροπανοδιικό οξύ ( $\text{CH}(\text{COOH})_3$ ), κ.τ.λ.. Το μηλιτικό οξύ ( $\text{C}_6(\text{COOH})_6$ ) είναι ένα παράδειγμα εξακαρβοξυλικού οξέος. Άλλα σημαντικά παραδείγματα φυσικών καρβοξυλικών οξέων είναι το κιτρικό οξύ ( $\text{HOOCCH}_2\text{C}(\text{OH})(\text{COOH})\text{CH}_2\text{COOH}$ ) (το χαρακτηριστικό οξύ των λεμονιών) και το τρυγικό οξύ ( $\text{HOOCCH}(\text{OH})\text{CH}(\text{OH})\text{COOH}$ ) (που βρίσκεται στους ταμάρινδους). Τα άλατα και οι εστέρες των καρβοξυλικών οξέων ονομάζονται καρβοξυλικά άλατα και καρβοξυλικοί εστέρες, αντίστοιχα. Όταν ένα καρβοξυλικό οξύ αποπρωτονιώνεται σχηματίζεται μια «συζυγής βάση», το καρβοξυλικό ανιόν. Τα ανιόντα αυτά σταθεροποιούνται σημαντικά, και ακριβώς αυτή η αυξημένη σταθερότητα, κάνει τα καρβοξυλικά οξέα πιο ισχυρά οξέα από τις αντίστοιχες αλκοόλες. Τα καρβοξυλικά οξέα μπορούν να θεωρηθούν αναγμένες ή αλκυλιωμένες μορφές του ανθρακικού οξέος, που είναι η ένυδρη μορφή του διοξειδίου του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) και πράγματι, κάτω από ορισμένες συνθήκες, δίνουν αντιδράσεις αποκαρβοξυλίωσης, από τις οποίες εκλύεται διοξείδιο του άνθρακα.

### **3.1 Ταξινόμηση**

Μερικές από τις ταξινομήσεις τους είναι οι ακόλουθες:

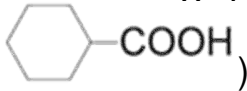
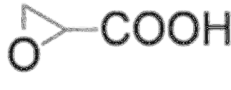
1. Ως προς τον αριθμό των ομάδων COOH που διαθέτουν:

1. Μονοκαρβοξυλικά οξέα: Διαθέτουν μία (1) ομάδα -COOH. Π.χ. οξικό οξύ ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ).
2. Δικαρβοξυλικά οξέα: Διαθέτουν δύο (2) ομάδες -COOH. Π.χ. οξαλικό οξύ ( $\text{HCOOCOOH}$ ).
3. Τρικαρβοξυλικά οξέα: Διαθέτουν τρεις (3) ομάδες -COOH. Π.χ. καρβοξυπροπανοϊκό οξύ ( $\text{HOOCCH}(\text{COOH})\text{COOH}$ ).
4. Πολυκαρβοξυλικά οξέα: Διαθέτουν τρεις (3) ή περισσότερες ομάδες -COOH. Π.χ. κιτρικό οξύ [ $\text{HOOCCH}_2\text{C}(\text{OH})(\text{COOH})\text{CH}_2\text{COOH}$ ].

2. Ως προς την παρουσία κατώτερων χαρακτηριστικών ομάδων. Π.χ.:

1. Σουλφοξυοξέα: Διαθέτουν μία (1) τουλάχιστον σουλφοξυομάδα. Π.χ. σουλφοξυαιθανικό οξύ ( $\text{HSO}_3\text{CH}_2\text{COOH}$ ).
2. Κυανοοξέα: Διαθέτουν μία (1) τουλάχιστον κυανομάδα. Π.χ. κυανοαιθανικό οξύ ( $\text{NCCH}_2\text{COOH}$ ).
3. Φορμυλοξέα: Διαθέτουν μία (1) τουλάχιστον φορμυλομάδα. Π.χ. φορμυλαιθανικό οξύ ( $\text{HCOCH}_2\text{COOH}$ ).
4. Οξοοξέα: Διαθέτουν μία (1) τουλάχιστον οξομάδα. Π.χ. πυροσταφυλικό οξύ ( $\text{CH}_3\text{COCOOH}$ ).
5. Υδροξυοξέα: Διαθέτουν μία (1) τουλάχιστον υδροξυομάδα. Π.χ. γαλακτικό οξύ [ $\text{CH}_3\text{CH}(\text{CO})\text{OH}$ ].
6. Σουλφυδρυλοξέα: Διαθέτουν μία (1) τουλάχιστον υδροθειομάδα. Π.χ. θειογαλακτικό οξύ [ $\text{CH}_3\text{CH}(\text{SH})\text{OH}$ ].
7. Αμινοξέα: Διαθέτουν μία (1) τουλάχιστον αμινομάδα. Π.χ. αλανίνη [ $\text{CH}_3\text{CH}(\text{NH}_2)\text{COOH}$ ].
8. Ιμινοξέα: Διαθέτουν μία (1) τουλάχιστον ιμινομάδα. ιμινοαιθανικό οξύ [ $\text{HN}=\text{CHCOOH}$ ]. Σουλφοξυοξέα: Διαθέτουν μία (1) τουλάχιστον σουλφοξυομάδα. Π.χ. σουλφοξυαιθανικό οξύ
9. Αλκοξυοξέα: Διαθέτουν μία (1) τουλάχιστον αλκοξυομάδα. μεθοξυαιθανικό οξύ [ $\text{CH}_3\text{OCH}_2\text{COOH}$ ].
10. Αλκοθειόξέα: Διαθέτουν μία (1) τουλάχιστον αλκοθειομάδα. μεθοθειοαιθανικό οξύ [ $\text{CH}_3\text{SCH}_2\text{COOH}$ ].

3. Ως προς το είδος των δακτυλίων που περιέχονται:

1. **Αλειφατικά καρβοξυλικά οξέα:** Η ένωση δεν περιέχει κανένα δακτύλιο. Π.χ. οξικό οξύ ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ).
2. **Ισοκυκλικά καρβοξυλικά οξέα:** Η ένωση περιέχει έναν τουλάχιστον δακτύλιο χωρίς ετεροάτομα. Π.χ. κυκλοεξυλκαρβονικό οξύ ().
3. **Αρωματικά καρβοξυλικά οξέα:** Η ένωση περιέχει έναν τουλάχιστον δακτύλιο με αρωματικό χαρακτήρα. Π.χ. βενζοϊκό οξύ ( $\text{PhCOOH}$ ).
4. **Αντιαρωματικά καρβοξυλικά οξέα:** Η ένωση περιέχει έναν τουλάχιστον δακτύλιο με αντιαρωματικό χαρακτήρα. Π.χ. κυκλοβουταδιενυλομεθανικό οξύ.
5. **Ετεροκυκλικά καρβοξυλικά οξέα:** Η ένωση περιέχει έναν τουλάχιστον δακτύλιο με ετεροάτομα. Π.χ. καρβοξυλιράνιο ().

### 3.2 Ονοματολογία

Η κατά IUPAC ονοματολογία των μονοκαρβονικών οξέων γίνεται όπως στους υδρογονάνθρακες με την προσθήκη της ατάληξης «**-ικό οξύ**» ή «**-οϊκό οξύ**» αντί του «-ιο» [π.χ. προπανικό οξύ ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$ ) αντί προπάνιο ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3$ )]. Στα δικαρβονικά οξέα η κατάληξη γίνεται «**-διικό οξύ**» [π.χ. προπανοδιικό οξύ] ( $\text{HOOCCH}_2\text{COOH}$ ). Στα πολυκαρβονικά οξέα τα επιπλέον καρβοξύλια μπαίνουν ως υποκαταστάτες {π.χ. καρβοξυπροπανοδιικό οξύ] [ $\text{HOOCCH}(\text{COOH})\text{COOH}$ ]}.

- Τα μέχρι δύο (2) ακραία καρβοξύλια μετράνε στην αρίθμηση των ατόμων άνθρακα της κύριας ανθρακικής αλυσίδας.
- Οι υποκαταστάτες, όταν είναι μόνο ένας μετριοούνται συχνά με το σύστημα α-, β-, γ-,... αντί 2-, 3-, 4-,...
- Σε πολύπλοκες ενώσεις είναι δυνατό και όλα τα καρβοξύλια να προτάσσονται ως υποκαταστάτες.

### **3.3 Βιομηχανική Παραγωγή**

Οι βιομηχανικές μέθοδοι παραγωγής καρβονικών οξέων γενικά διαφέρουν από τις εργαστηριακές, που προορίζονται για παραγωγή πολύ μικρότερης κλίμακας, επειδή οι πρώτες απαιτούν εξειδικευμένο εξοπλισμό, που είναι ασύμφορος οικονομικά για τις δεύτερες. Μερικές μέθοδοι πάντως έχουν διπλό ρόλο, με παραλλαγές. Οι κυριότερες βιομηχανικές μέθοδοι παραγωγής καρβονικών οξέων είναι οι ακόλουθες:

1. Η οξειδωση αλδεϋδών με αέρα [περιέχει οξυγόνο (O)], χρησιμοποιώντας ως καταλύτες κοβάλτιο (Co) ή και μαγγάνιο (Mn). Οι απαιτούμενες αλδεϋδες προέρχονται συνήθως από αντίστοιχα αλκένια με προσθήκη μεθανάλης (HCHO). Τα αλκένια είναι παράγωγα συστατικών του πετρελαίου ή και του φυσικού αερίου.

2. Η οξειδωση υδρογονανθράκων με αέρα. Από απλά αλκάνια, η μέθοδος δεν είναι καθόλου εκλεκτική (δηλαδή συμπαράγονται πολλά παραπροϊόντα), αλλά οικονομική και χρήσιμη. Αλλυλικά και βενζυλικά παράγωγα δίνουν πιο εκλεκτικές οξειδώσεις. Τα αλκύλια σε βενζολικούς δακτυλίους οξειδώνονται προς αντίστοιχα καρβονικά οξέα, ανεξάρτητα από το μήκος τους. Με αυτόν τον τρόπο παράγεται βενζοϊκό οξύ από τολουόλιο, τερεφθαλικό οξύ από π-ξυλένιο και φθαλικό οξύ από ο-ξυλένιο. Το ακρυλικό οξύ παράγεται ομοίως από το προπένιο.

3. Μερικά καρβονυλικά οξέα παράγονται και με υδρόλυση τριγλυκεριδίων που προέρχονται από φυτικά και ζωικά λίπη και έλαια. Αυτή η μέθοδος σχετίζεται και με τη σαπωνοποίηση.

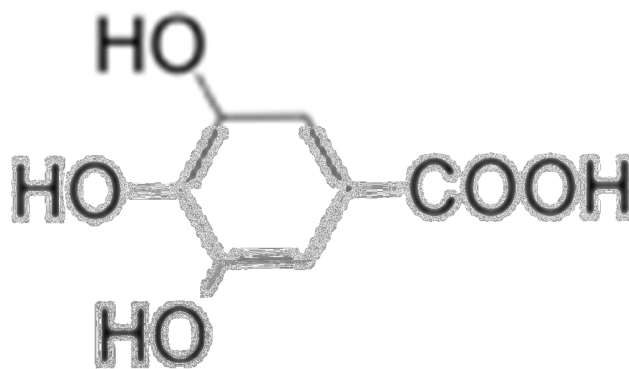
### **3.4 Γαλλικό Οξύ**

Το γαλλικό οξύ είναι ένα τριυδροξυβενζοϊκό οξύ, ένα είδος φαινολικού - οργανικού οξέος, επίσης γνωστό ως **3,4,5-τριυδροξυβενζοϊκό οξύ** που μπορεί κανείς να το βρει στις καρυδιές, στις φουντουκιές, στα φύλλα τσαγιού, στο φλοιό της βελανιδιάς και σε άλλα φυτά. Ο χημικός του τύπος είναι **C<sub>6</sub>H<sub>2</sub>(OH)<sub>3</sub>COOH**. Είναι ευρύτατα διαδεδομένο στη φύση είτε σε ελεύθερη κατάσταση είτε ενωμένο (τανίνες, δεψικές ύλες) και παράγεται από τις τανίνες με υδρόλυση παρουσία ενζύμων. Είναι σώμα στερεό,

κρυσταλλικό, άχρωμο ευδιάλυτο στο ζεστό νερό και στους οργανικούς διαλύτες . Είναι ισχυρό αναγωγικό μέσο και θερμαινόμενο διασπάται σε διοξείδιο του άνθρακα και πυρογαλόλη . Παρά το όνομα του δεν περιέχει γάλλιο . Το γαλλικό οξύ χρησιμοποιείται κυρίως στη φαρμακευτική βιομηχανία . Χρησιμοποιείται επίσης ως πρότυπο για τον προσδιορισμό της περιεκτικότητας σε φαινόλη των διαφόρων αναλυτών κατά τη μέθοδο Folin-Ciocalteu αλλά και ως υλικό έναρξης στην σύνθεση του ψυχεδελικού αλκαλοειδούς **μεσκαλίνη** . Το γαλλικό οξύ είναι ένα σημαντικό συστατικό του μελανιού από γαλλικό σίδηρο, που χρησιμοποιούταν ως μέσο γραφής και σχεδίασης από το 12<sup>ο</sup> ως το 19<sup>ο</sup> αιώνα, με μια ιστορία που εκτείνεται ως τη Ρωμαϊκή Αυτοκρατορία και τη Νεκρά Θάλασσα . Ο Πλίνιος ο Πρεσβύτερος (23-79 μ.Χ.) περιγράφει τα πειράματα του με αυτό και γράφει ότι χρησιμοποιήθηκε για την παρασκευή βαφών . Το γαλλικό οξύ ήταν μια ουσία που χρησιμοποιήθηκε από τον Angelo Mai (1782-1854) για τον καθαρισμό κειμένων και την αποκάλυψη κρυμμένων χειρόγραφων από κάτω τους, συχνά όμως τα χειρόγραφα έβγαιναν κατεστραμμένα και η μετέπειτα μελέτη τους θεωρούνταν αδύνατη . Το γαλλικό οξύ μελετήθηκε πρώτη φορά από το Σουηδό χημικό Carl Wilhelm Scheele το 1786 . Το 1818 ο Γάλλος χημικός και φαρμακοποιός Henri Braconnot (1780-1855) επινόησε μια απλούστερη μέθοδο καθαρισμού γαλλικού οξέος από όζους . Το γαλλικό οξύ επίσης μελετήθηκε από τον Γάλλο χημικό Theophile-Jules Pelouze (1807-1867) μεταξύ άλλων . Το γαλλικό οξύ εύκολα απελευθερώνεται από γαλλοτανίνες με οξειδωση. Η πιο πρόσφορη μέθοδος για να ληφθεί το οξύ είναι να καθιζάνει από ένα υδατικό διάλυμα χρησιμοποιώντας συμπυκνωμένο θειικό οξύ. Ένας βραδύτερος αλλά αποτελεσματικός τρόπος για την απόκτηση του οξέος είναι να επιτρέψει στο ατμοσφαιρικό οξυγόνο την οξειδωση του παθητικά σε νερό, όπως περιγράφεται από το νόμο του Henry. Μετά από δύο ή τρεις μήνες ένα διάλυμα ζεστού γαλλικού οξέος μπορεί να διηθηθεί για να ληφθούν σχετικώς καθαροί κρύσταλλοι.



Γαλλικό οξύ (3,4,5 - τριυδροξυβενζοϊκό οξύ)



Σχήμα 2

## 4 ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ (Adsorption)

Η προσρόφηση είναι η διαδικασία συσσώρευσης και διαχωρισμού ουσιών που είναι σε διάλυση πάνω σε κατάλληλη επιφάνεια . Πρόκειται για ένα φαινόμενο, μια διαδικασία μεταφοράς μάζας κατά την οποία μια ουσία που είναι στην υγρή μεταφέρεται στην αέρια φάση . Το προσρόφημα είναι η ουσία που αφαιρείται από την υγρή φάση και πηγαίνει στη διεπιφάνεια . Ο προσροφητής που μπορεί να είναι σε στερεή, υγρή ή αέρια φάση αποτελεί την επιφάνεια πάνω στην οποία συσσωρεύεται το προσρόφημα .

Η προσρόφηση είναι ένα εκλεκτικό φαινόμενο. Οι στερεές επιφάνειες, δηλαδή, προσροφούν ευκολότερα κάποιες ουσίες σε σχέση με κάποιες άλλες. Με άλλα λόγια, η ένταση με την οποία ροφούν τις διάφορες ουσίες είναι διαφορετική. Το γεγονός αυτό δίνει μια ιδιαίτερη δυναμική στο εν λόγω φαινόμενο, για διάφορες εφαρμογές στον τομέα της μηχανικής των διεργασιών διαχωρισμού. Για παράδειγμα, αν έχουμε ένα μίγμα αερίων ή υγρών, μία στερεή επιφάνεια μπορεί να ροφήσει εκλεκτικά κάποια από τα συστατικά του μίγματος και έτσι να επέλθει ο διαχωρισμός . Είναι φανερό ότι όσο μεγαλύτερη είναι η επιφάνεια του στερεού υλικού τόσο μεγαλύτερη είναι και η ποσότητα της ουσίας που μπορεί να προσροφηθεί μέχρι να επέλθει κορεσμός της επιφάνειας. Τα στερεά που χρησιμοποιούνται στην προσρόφηση ονομάζονται προσροφητικά υλικά ή προσροφητές και είναι συνήθως πορώδη υλικά με ανεπτυγμένη επιφάνεια, τα οποία δημιουργούνται με επεξεργασία υφιστάμενων πρώτων υλών ή με σύνθεση. Η μορφή των πόρων διαφέρει σημαντικά σε μέγεθος και σχήμα μεταξύ των προσροφητικών υλικών. Σύμφωνα με την IUPAC οι πόροι διακρίνονται ανάλογα με το πλάτος τους σε μικροπόρους (με πλάτος μικρότερο από 20

Å), μεσοπόρους (με πλάτος από 20 Å έως 500 Å) και μακροπόρους (με πλάτος μεγαλύτερο από 500 Å) . Η ρόφηση οφείλεται στις ελκτικές δυνάμεις που αναπτύσσονται μεταξύ των μορίων του ρευστού και των δομικών μονάδων της στερεής επιφάνειας . Διακρίνεται στη φυσική ρόφηση και τη χημική ρόφηση, ανάλογα με το είδος των δεσμών που αναπτύσσονται μεταξύ της ροφημένης ουσίας και της στερεής επιφάνειας. Στη φυσική ρόφηση τα μόρια της ροφημένης ουσίας αναπτύσσουν με την επιφάνεια ασθενείς ελκτικές δυνάμεις τύπου Van der Waals . Αντίθετα, η χημική ρόφηση προϋποθέτει την ύπαρξη χημικού δεσμού, γίνεται δηλαδή ανταλλαγή ηλεκτρονίων ή ανάπτυξη ιοντικών δεσμών μεταξύ της ροφημένης ουσίας και της στερεής επιφάνειας . Η ρόφηση (φυσική ή χημική) είναι μία εξώθερμη διεργασία, συνοδεύεται δηλαδή από έκλυση θερμότητας που ονομάζεται θερμότητα ρόφησης. Στη φυσική ρόφηση, η θερμότητα ρόφησης είναι μικρή και περίπου ίση με τη θερμότητα υγροποίησης της ροφημένης ουσίας. Έτσι, η φυσική ρόφηση είναι άμεσα συνδεδεμένη με το φαινόμενο της υγροποίησης μιας αέριας ουσίας και σχετίζεται με το σχηματισμό πολλαπλών στοιβάδων της ροφημένης ουσίας πάνω στη στερεή επιφάνεια και για τον λόγο αυτό χαρακτηρίζεται σαν πολυστοιβαδική ρόφηση. Επίσης, είναι αξιοσημείωτο το γεγονός ότι οποιοδήποτε αέριο μπορεί να ροφηθεί φυσικώς πάνω σε οποιαδήποτε στερεή επιφάνεια, δηλαδή η φυσική ρόφηση είναι μία μη ειδική διεργασία . Αντίθετα, στη χημική ρόφηση η θερμότητα ρόφησης είναι μεγάλη (από 10 έως 100 kcal/mol). Επίσης, η χημική ρόφηση είναι αυστηρά μονοστοιβαδική και ειδική. Το τελευταίο σημαίνει ότι κάποιο ρευστό μπορεί να ροφηθεί χημικά μόνο από συγκεκριμένες στερεές επιφάνειες. Εξαιτίας αυτής της εκλεκτικότητας, η χημική ρόφηση αποτελεί ένα ιδιαίτερα χρήσιμο εργαλείο στις εφαρμογές των τεχνικών διαχωρισμού. Ένα άλλο στοιχείο

που κάνει τη χημική ρόφηση να διαφέρει από τη φυσική είναι το γεγονός ότι η χημική ρόφηση εξελίσσεται αργά και είναι μία μη αντιστρεπτή διαδικασία, σε αντίθεση με τη φυσική ρόφηση, η οποία εξελίσσεται γρήγορα και είναι αντιστρεπτή . Η φυσική ρόφηση εξελίσσεται με έναν πολύπλοκο μηχανισμό. Στο εσωτερικό κάθε φάσης τα μόρια υφίστανται αλληλεπιδράσεις από τα γειτονικά μόρια. Αντίθετα, στη διεπιφάνεια των δύο φάσεων όταν η συνισταμένη δύναμη έχει κατεύθυνση προς το εσωτερικό της μίας φάσης, η επιφάνεια της φάσης αυτής έλκει τα μόρια της άλλης επιφάνειας. Έτσι, η επιφάνεια του προσροφητικού υλικού καλύπτεται από τα μόρια του ρευστού.

Κατά τη χημική ρόφηση, τα μόρια των δύο φάσεων αντιδρούν με δημιουργία ουσιαστικά μίας νέας ένωσης στην επιφάνεια του προσροφητικού υλικού . Το γεγονός ότι η ρόφηση είναι μία εξώθερμη διεργασία, οδηγεί στην αύξηση της ποσότητας της ροφημένης ουσίας στην επιφάνεια του στερεού καθώς μειώνεται η θερμοκρασία, ή, αντίθετα, ο πληθυσμός των μορίων της ροφημένης ουσίας στη στερεή επιφάνεια ελαττώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας .

#### **4.1 Προσδιορισμός της Απόδοσης Προσρόφησης**

Για να αποτιμήσουμε την απόδοση αυτή είναι ανάγκη να προσδιορίσουμε την ποσότητα του προσροφήματος που μπορεί να κατακρατήσει ένας προσροφητής . Αυτό είναι συνάρτηση των χαρακτηριστικών τόσο του προσροφητή όσο και του προσροφήματος . Τα κυριότερα χαρακτηριστικά του προσροφήματος με μεγάλη σημασία είναι η διαλυτότητα, η μοριακή δομή της ένωσης και το μοριακό της βάρος, η πολικότητα και η

περιεκτικότητα σε άνθρακα . Γενικά, η ποσότητα της μάζας που μπορεί να προσροφηθεί καθορίζεται από μια συνάρτηση της συγκέντρωσης του προσροφητή σε σταθερή θερμοκρασία η οποία συνάρτηση λέγεται ισόθερμη . Οι ισόθερμες προκύπτουν όταν εφαρμόζουμε μια ποσότητα προσροφήματος με σταθερό όγκο σε μεταβαλλόμενες ποσότητες ενεργού άνθρακα . Έτσι εξισώσεις έχουν αναπτυχθεί από τους Freundlich, Langmuir, Brauner, Emmet and Teller (BET Isotherm) πάνω στα πειραματικά δεδομένα για να περιγράψουν την προσρόφηση . Η συχνότερα χρησιμοποιούμενη ισόθερμη, και αυτή που χρησιμοποιήσαμε κι εμείς στην παρούσα διπλωματική εργασία είναι η Freundlich . Στην περίπτωση μας δε μεταβάλλουμε την ποσότητα του προσροφητή . Έτσι για να μελετήσουμε ιδιότητες κάθε ενεργοποιημένου και μη λιγνίτη (προσροφητής) υπολογίζουμε την συγκέντρωση του προσροφήματος που έχει προσροφηθεί από τη σχέση :

$$q_e = (C_o - C_e) * m / V$$

όπου  $q_e$ = η συγκέντρωση του προσροφήματος μετά την ισορροπία, mg προσροφήματος/g προσροφητή

$C_o$ = η αρχική συγκέντρωση του προσροφήματος, mg/l

$C_e$ = η τελική συγκέντρωση του προσροφήματος αφού έχει προηγηθεί προσρόφηση

$V$ = ο όγκος του υγρού της διάταξης ή του αντιδραστήρα, l

$m$ = η μάζα του προσροφήματος, gr

## **4.2 Τύποι Προσροφητών**

Βασικοί τύποι προσροφητών περιλαμβάνουν τους ενεργοποιημένους άνθρακες αλλά και προσροφητές με βάση το ορυκτό πυρίτιο (silica) καθώς και άλλα συνθετικά πολυμερή . Τα στερεά που χρησιμοποιούνται σε διεργασίες διαχωρισμού έχουν πολύ υψηλό πορώδες με αποτέλεσμα να παρουσιάζουν τεράστια ειδική επιφάνεια (πάνω στην οποία θα γίνει η προσρόφηση) ανά μονάδα μάζας . Έτσι τιμές της τάξης των  $1000 \text{ m}^2/\text{g}$  δεν είναι υπερβολικές . Στον πίνακα που ακολουθεί δίνονται οι τιμές ειδικής επιφάνειας μερικών πορώδων υλικών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως προσροφητικά υλικά .

Στερεό	Επιφάνεια ( $\text{m}^2/\text{g}$ )	Όγκος πόρων ( $\text{cm}^3/\text{g}$ )	Μέση διάμετρος πόρων ( $\text{\AA}$ )
Ενεργοί άνθρακες $\text{SiO}_2$ (silica gel)	500-600	0.6-0.8	10-20
$\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$	200-500	0.2-0.7	30-150
$\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$	150-200	0.4-0.5	--100

Εμείς θα εστιάσουμε στον ενεργοποιημένο άνθρακα και στα χαρακτηριστικά του .

### **4.3 Ενεργοποιημένος Άνθρακας**

Οι ενεργοποιημένοι άνθρακες, όπως είδαμε και προηγουμένως, είναι το προσροφητικό μέσο με τη μεγαλύτερη χρήση σε περιβαλλοντικές, χημικές, πετρελαϊκές, εξορυκτικές, πυρηνικές, φαρμακευτικές βιομηχανίες καθώς και στις βιομηχανίες αυτοκινήτων και επεξεργασίας τροφίμων . Το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό των ενεργοποιημένων ανθράκων είναι η υψηλή προσροφητική ικανότητα, η μικροπορώδης δομή τους, η μεγάλη επιφανειακή περιοχή και η επιφανειακή δραστηριότητα . Τυπικές τιμές ειδικής επιφάνειας των περισσότερων χρησιμοποιούμενων ενεργοποιημένων ανθράκων είναι μεταξύ 600 και 1600 m<sup>2</sup>/g . Έτσι σε μια τιμή ειδικής επιφάνειας 1500 m<sup>2</sup>/g αντιστοιχεί περιοχή με το μέγεθος της έκτασης ενός ποδοσφαιρικού γηπέδου εάν έχουμε τρεις κόκκους αυτού του άνθρακα ενός γραμμαρίου ο καθένας ! (το γήπεδο ποδοσφαίρου έχει έκταση περίπου 4500 m<sup>2</sup>) [Lee Wonhee, 1996] . Η ανώτατη τιμή ειδικής επιφάνειας που μπορεί να αποκτηθεί είναι τα 3000 m<sup>2</sup>/g . Την μεγαλύτερη συνεισφορά στην ειδική επιφάνεια ενός ενεργοποιημένου άνθρακα την έχουν οι μικροπόροι . Τόσο η διαδικασία ενανθράκωσης όσο και η διαδικασία ενεργοποίησης είναι σημαντικοί παράγοντες στην ανάπτυξη της ειδικής επιφάνειας . Η διαδικασία ενεργοποίησης περιλαμβάνει τη φυσική και τη χημική ενεργοποίηση για τις οποίες θα μιλήσουμε παρακάτω .

#### **4.3.1 Ιστορική Αναδρομή των Ανθράκων ως Προσροφητικών Μέσων**

Η ιστορία των προσροφητών από άνθρακα ξεκινά από το 1600 π.χ. Οι Αιγύπτιοι τους χρησιμοποιούσαν σαν καθαριστικό μέσο και οι αρχαίοι Ινδοί καθάριζαν το νερό με φίλτρα ξυλάνθρακα. Η μεγάλη όμως βιομηχανική παραγωγή των ενεργοποιημένων ανθράκων σαν προσροφητικά μέσα εγκαινιάζεται το 1901 όπου και χρησιμοποιούνται στην διαδικασία ραφινάρισματος της ζάχαρης. Παραπάνω εντατική βιομηχανική παραγωγή

ενεργοποιημένων ανθράκων γίνεται κατά τον πρώτο παγκόσμιο πόλεμο όπου και εφαρμόζεται στην παρασκευή αναπνευστικών συσκευών ενάντια σε χημικά αέρια. Από τότε μέχρι σήμερα έχουν γίνει εκτενείς έρευνες για τη βελτίωση της ποιότητας των ενεργοποιημένων ανθράκων και για τη δυνατότητα ανάπτυξης νέων εφαρμογών.

#### **4.3.2 Κατηγοριοποίηση Ενεργοποιημένων Ανθράκων**

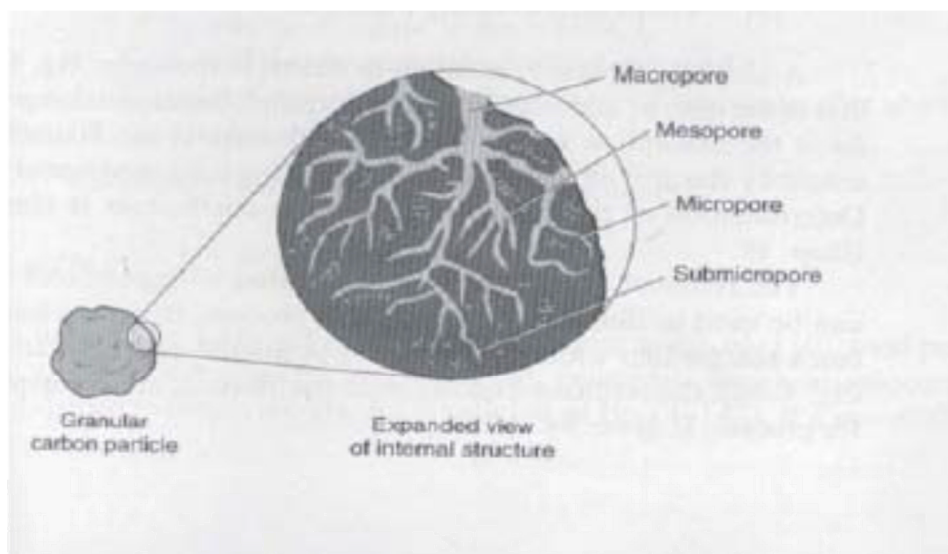
Οι ενεργοποιημένοι άνθρακες χωρίζονται γενικά σε δύο κατηγορίες. Στους ενεργοποιημένους άνθρακες σε σκόνη και στους ενεργοποιημένους άνθρακες σε κοκκώδη μορφή. Οι ενεργοποιημένοι άνθρακες σε μορφή σκόνης έχουν μέση διάμετρο σωματιδίων 15-25  $\mu\text{m}$ . Αυτά τα μικρά σωματίδια παρέχουν μεγάλη ειδική επιφάνεια και μικρές αποστάσεις διάχυσης, γεγονός που καταλήγει σε πολύ υψηλούς ρυθμούς προσρόφησης αλλά χαμηλούς ρυθμούς διάχυσης. Οι κύριες εφαρμογές αυτής της κατηγορίας περιλαμβάνουν προσρόφηση σε διαλύματα, προσρόφηση σε διαδικασίες αποχρωματισμού και στην ιατρική. Οι ενεργοποιημένοι άνθρακες σε κοκκώδη μορφή έχουν μέση διάμετρο σωματιδίων 4-10 mm. Οι κοκκώδεις άνθρακες παρέχουν μικρότερη ειδική επιφάνεια από εκείνη της πρώτης κατηγορίας, αλλά υψηλότερους ρυθμούς διάχυσης. Για το λόγο αυτό οι κύριες εφαρμογές τους είναι οι διαδικασίες προσρόφησης σε υγρά ή αέρια.

#### **4.3.3 Ειδική Επιφάνεια και Μέγεθος Πόρων**

Η ειδική επιφάνεια είναι μια από τις πιο σημαντικές παραμέτρους που επηρεάζουν την προσροφητική ικανότητα ενός προσροφητή. Γενικά ένας προσροφητής με μεγάλη ειδική επιφάνεια αντιπροσωπεύει και μεγαλύτερη προσροφητική ικανότητα σε σχέση με ένα δεύτερο με μικρότερη ειδική επιφάνεια. Παρόλα αυτά η ερμηνεία της προσροφητικής ικανότητας με όρο αποκλειστικά την ειδική επιφάνεια, όπως θα φανεί παρακάτω, δεν είναι επαρκής. Μια άλλη παράμετρος που επηρεάζει την προσροφητική ικανότητα είναι η κατανομή των πόρων (pore size distribution). Οι πόροι ταξινομούνται σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με το μέγεθος της διαμέτρου των πόρων: Στους μακροπόρους, τους μεσοπόρους και τους μικροπόρους. Το Μεσοπορώδες, αναφέρεται σε διάμετρο πόρων, μεγαλύτερη από 2 nm και μικρότερη από 50 nm. Το Μικροπορώδες, αναφέρεται σε διάμετρο πόρων, μικρότερη από 2 nm. Η προσρόφηση που γίνεται σε πολλαπλά



στρώματα λαμβάνει χώρα στους μεσόπορους μέσω μια διαδικασίας τριχοειδούς συμπύκνωσης μορίων προσροφήματος σε αυτούς. Το μέγεθος των μικροπόρων είναι κάτω από τα 2nm και αυτοί έχουν την κύρια συνεισφορά στην ειδική επιφάνεια. Η συμβολή των μικροπόρων στην προσροφητική ικανότητα εξακριβώνεται με την κατασκευή των ισόθερμων προσρόφησης όπου μετράμε στην ουσία την ποσότητα των μικροπόρων που γεμίζουν από την ουσία που προσροφάτε.



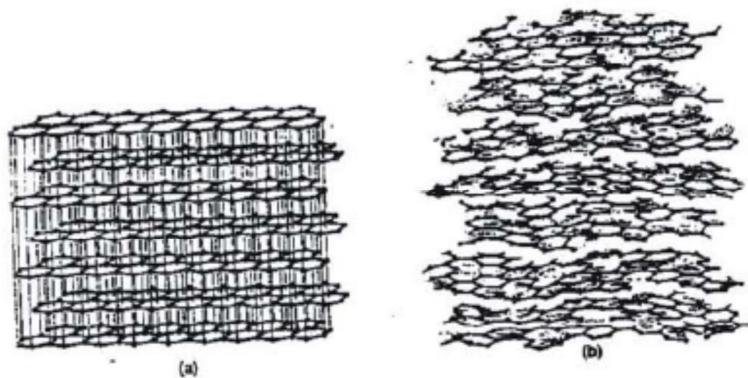
Εικόνα 2 Οι θέσεις προσρόφησης που δημιουργούνται από τους μακρόπορους, μεσόπορους, μικρόπορους και υπομικρόπορους σε ένα ενεργοποιημένο άνθρακα, [Metculf & Eddy, Ch. 4, 20]

#### **4.3.4 Μέτρηση Πορώδους**

Διάφοροι τρόποι υπάρχουν για την μέτρηση του πορώδους, όπως η μέθοδος κορεσμού με νερό (**Water Saturation Method**), η μέθοδος εξάτμισης του νερού (**Water Evaporation Method**), η μέθοδος εισαγωγής ηλίου- υδραργύρου (**Mercury Intrusion Porosimetry**), καθώς και η μέθοδος απορρόφησης αερίου αζώτου (**Nitrogen Gas Adsorption**) .

#### 4.3.5 Η Δομή του Ενεργοποιημένου Άνθρακα

Η δομή του ενεργοποιημένου άνθρακα αποτελείται από στοιχειώδεις μικροκρυστάλλους που μοιάζουν με αυτούς του γραφίτη και που περιέχουν εξαγωνικούς δακτυλίους ατόμων άνθρακα. Παρόλα αυτά, σε αντίθεση με τον γραφίτη αυτοί οι μικροκρύσταλλοι είναι δεμένοι μεταξύ τους με τυχαίους προσανατολισμούς. Η δομή του γραφίτη φαίνεται στην **εικόνα 3**, το οποίο δείχνει ότι ο γραφίτης αποτελείται από άπειρα τέτοια στρώματα. Τα άτομα του άνθρακα σε αυτόν είναι τοποθετημένα σε πλέγμα εξαγώνου.



Εικόνα 3 Σχηματικό διάγραμμα για(α) τρισδιάστατη δομή γραφίτη.(β) δομή ενεργοποιημένου άνθρακα με τυχαίο προσανατολισμό. Πηγή :[Lee Wonhee, 1996]

Ο προσανατολισμός των δακτυλίων είναι το πρώτο σημείο διαφοράς μεταξύ του γραφίτη και του ενεργοποιημένου άνθρακα. Το δεύτερο έχει να κάνει με τα άτομα του εξαγωνικού δακτυλίου. Έτσι ενώ στο γραφίτη έχουμε μόνο άτομα άνθρακα στο ενεργοποιημένο άνθρακα έχουμε και κάποια «ξένα άτομα». Αυτά μπορεί να είναι άτομα οξυγόνου (O), θείου (S), υδρογόνου (H) και άλλα τα οποία «δένονται» στο δακτύλιο και δημιουργούν ένα σύστημα ετεροκυκλικών δακτυλίων ή αλλιώς **Οργανικών Δομικών Πετρογραφικών Συστατικών** (functional groups ή macerals). Επίσης περιέχονται εσωτερικά κενά ή ακαθαρσίες. Η δομή και το μέγεθος των μικροκρυστάλλων εξαρτάται από την θερμοκρασία ανθρακοποίησης αλλά και από την πρώτη ύλη. Γενικά οι μικρότεροι στους ενεργοποιημένους άνθρακες δημιουργούνται από τη διαδικασία ενεργοποίησης και την καύση των μικροκρυστάλλων. Οι επιφάνειες αυτές των μικροκρυστάλλων

συνεισφέρουν σε μεγάλο βαθμό στην ειδική επιφάνεια και επομένως επηρεάζουν αποφασιστικά τις προσροφητικές ικανότητες του ενεργοποιημένου άνθρακα.

#### **4.3.6 Χημεία Επιφανειών**

Το φαινόμενο της προσρόφησης σχετίζεται αφενός με τις φυσικές αφετέρου με τις χημικές ιδιότητες του προσροφητικού υλικού. Στις φυσικές ιδιότητες περιλαμβάνονται η ειδική επιφάνεια και η κατανομή των πόρων. Οι χημικές ιδιότητες ή η χημική δομή σχετίζονται με τα Οργανικά Δομικά Πετρογραφικά Συστατικά (functional groups ή macerals) και επηρεάζουν εξίσου την προσροφητική ικανότητα. Αυτό γίνεται διότι οι άκρες των ανθρακικών μικροκρυστάλλων περιέχουν μια ποικιλία οργανικών συστατικών. Τα οργανικά συστατικά συνδέονται με περιοχές στην επιφάνεια του άνθρακα οι οποίες σημαίνουν και συγκεκριμένες περιοχές προσρόφησης και έτσι επηρεάζονται τα χαρακτηριστικά του άνθρακα. Τα πιο σημαντικά οργανικά δομικά πετρογραφικά συστατικά στους ενεργοποιημένους άνθρακες είναι αυτά που περιέχουν οξυγόνο. Το ποσοστό του οξυγόνου καθορίζεται από τη διαδικασία ενεργοποίησης. Πιο συγκεκριμένα το οξυγόνο που χρησιμοποιείται ως παράγοντας ενεργοποίησης του αρχικού άνθρακα, αποτελεί την κύρια πηγή για το σχηματισμό οργανικού συστατικού με οξυγόνο. Γενικά όξινα επιφανειακά οξείδια παράγονται όταν ο άνθρακας ενεργοποιείται σε χαμηλές θερμοκρασίες (200-400 °C). Από την άλλη μεριά άνθρακες που ενεργοποιούνται σε υψηλές θερμοκρασίες (800-1000 °C) παράγουν βασικά επιφανειακά οξείδια. Τα οργανικά δομικά πετρογραφικά συστατικά που περιέχουν οξυγόνο χωρίζονται σε αυτά που περιέχουν καρβοξυλικές ρίζες και σε αυτά με ρίζες φαινόλης. Τα καρβοξύλια δίνουν ένα πολικό χαρακτήρα στην επιφάνεια του άνθρακα, γεγονός που οδηγεί σε καλύτερη προσρόφηση μορίων νερού. Τα οργανικά δομικά πετρογραφικά συστατικά ανιχνεύονται με διάφορες μεθόδους όπως η φασματοσκοπία με υπέρυθρες, η φασματοσκοπία με ακτίνες Χ φωτοηλεκτρονίων. Αυτές οι μέθοδοι έχουν δείξει ότι ο τύπος των ανθρακικών-οξυγονούχων Δομικών Συστατικών της επιφάνειας του άνθρακα είναι σημαντικός παράγοντας του χαρακτήρα της επιφάνειας του ανθρακικού υλικού και της προσροφητικής του ικανότητας.

#### **4.3.7 Παραγωγή Ενεργοποιημένου Άνθρακα**

Οι ενεργοποιημένοι άνθρακες γενικά παράγονται από μια διαδικασία τεσσάρων βημάτων: την προετοιμασία της πρώτης ύλης, την κονιορτοποίηση της, την ανθρακοποίηση και την ενεργοποίηση. Η πρώτη ύλη μπορεί να είναι πλήθος ανθρακογενών υλικών, όπως κελύφη καρύδας, πετρελαϊκό κοκ, πριονίδι, ξύλο, κάρβουνο, λιγνίτης και τέφρα. Συνθετικά πολυμερή όπως τα πολυβινυλιδενοχλωρίδια μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν σαν πρώτες ύλες. Το μικρό κόστος των λιγνιτών και του κάρβουνου τους δίνει σχετικό πλεονέκτημα στην επιλογή τους σαν πρώτη ύλη, παρόλα αυτά σύγχρονες τάσεις προκρίνουν και τη χρήση προϊόντων που έχουν χρησιμοποιηθεί και θεωρούνται απόβλητα. Η προετοιμασία της πρώτης ύλης και η κονιορτοποίηση περιλαμβάνουν την ξήρανση και το σπάσιμο του υλικού στο επιθυμητό μέγεθος και σχήμα. Η ανθρακοποίηση περιλαμβάνει την επεξεργασία του υλικού σε υψηλές θερμοκρασίες κατά την οποία γίνεται καύση ή αποδόμηση των μη-ανθρακικών προσμείξεων. Η ενεργοποίηση περιλαμβάνει τη διαδικασία δια της οποίας ο ενεργοποιημένος άνθρακας παράγεται σαν τελικό προϊόν και είναι έτοιμος να προσροφήσει φυσικά ή χημικά τις επιθυμητές ουσίες από την υγρή ή την αέρια φάση. Επομένως η διαδικασία ενεργοποίησης επηρεάζει τόσο τις χημικές όσο και τις φυσικές ιδιότητες του τελικού προϊόντος.

#### **4.3.8 Ανθρακοποίηση**

Ανθρακοποίηση είναι η θερμική αποσύνθεση του ανθρακογενούς υλικού, η οποία συνήθως λαμβάνει χώρα σε θερμοκρασίες όχι κάτω των 800 °C, απουσία αέρα και χωρίς την προσθήκη κάποιου χημικού παράγοντα. Το προϊόν της διαδικασίας είναι ένα υλικό με ειδική επιφάνεια μικρότερη από 10 m<sup>2</sup>/g. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας ανθρακοποίησης οι περισσότερες μη-ανθρακούχες προσμείξεις όπως (H), (O), ίχνη (S), (N), αποβάλλονται σε μορφή αερίων λόγω της πυρολυτικής αποσύνθεσης του ανθρακογενούς υλικού. Τα άτομα άνθρακα που ελευθερώνονται ομαδοποιούνται σε εξαγωνικούς μικροκρυστάλλους. Η διάταξη αυτών των κρυστάλλων γίνεται με ακανόνιστους σχηματισμούς και τα κενά μεταξύ αυτών των κρυστάλλων γεμίζουν μερικώς από άμορφους άνθρακες. Το τελικό προϊόν έχει ατελή αναπτυχθείσα δομή πόρων, η οποία του

προσδίδει μικρή προσροφητική ικανότητα. Η περαιτέρω ανάπτυξη των μικροπόρων επιτυγχάνεται με τη διαδικασία ενεργοποίησης.

#### **4.3.9 Ενεργοποίηση**

Η ενεργοποίηση του προϊόντος, ως συνέχεια της ανθρακοποίησης, συμβάλει στην αύξηση του όγκου και της διαμέτρου των πόρων και προκαλεί ανάπτυξη της μικροπορώδους δομής με την εξάλειψη του ατελούς άνθρακα με την δράση στα διάκενα του παράγοντα ενεργοποίησης. Στα πρώτα στάδια της ενεργοποίησης και όταν έχει ολοκληρωθεί το 10% της διαδικασίας ο ατελής άνθρακας είναι ο πρώτος που καίγεται. Τότε είναι που οι κλειστοί, φραγμένοι πόροι ανάμεσα στους μικροκρυστάλλους είναι ελεύθεροι. Στα τελικά στάδια της ενεργοποίησης, καίγονται οι στοιχειώδεις άνθρακες του δακτυλίου του κρυστάλλου με αποτέλεσμα να αναπτύσσεται η μικροπορώδης δομή του άνθρακα. Η διαδικασία ενεργοποίησης χωρίζεται γενικά σε δύο κατηγορίες: στη χημική και στη φυσική ενεργοποίηση. Η χημική ενεργοποίηση περιλαμβάνει τη θερμική αποσύνθεση του αρχικού υλικού με την προσθήκη ενός χημικού παράγοντα, ο οποίος επηρεάζει την πυρόλυση. Γενικά στην περίπτωση της χημικής ενεργοποίησης, η ανθρακοποίηση και η ενεργοποίηση μπορούν να γίνουν σε ένα μόνο βήμα. Η φυσική ενεργοποίηση περιλαμβάνει την αντίδραση του υλικού με αέριο οξειδωτικό παράγοντα. Για το λόγο αυτό, επειδή όπως είπαμε η ανθρακοποίηση γίνεται απουσία αέρα, η φυσική ενεργοποίηση γίνεται σε δύο βήματα.

#### **4.3.10 Χημική Ενεργοποίηση**

Η πρώτη ύλη εμποτίζεται με τον παράγοντα ενεργοποίησης με την ανάμιξη του με διάλυμα από αυτόν ή με ρεύμα αερίου του. Το εμποτισμένο υλικό θερμαίνεται σε θερμοκρασία που ανεβαίνει μεταξύ των 400-800 °C, απουσία αέρα και ακολουθεί διαδικασία πυρολυτικής αποσύνθεσης. Ο ρόλος του παράγοντα ενεργοποίησης συνίσταται στην αφυδάτωση του υλικού, η οποία βοηθά στην καύση της δομής των ανθράκων και επομένως στην ανάπτυξη της μικροπορώδους δομής, που είναι και η επιθυμητή. Η θερμοκρασία κατά τη διαδικασία της καύσης και ο βαθμός εμποτισμού με

τον παράγοντα ενεργοποίησης είναι οι δύο παράγοντες που καθορίζουν τις τελικές προσροφητικές ικανότητες του ενεργοποιημένου άνθρακα. Η βέλτιστη θερμοκρασία της διαδικασίας πρέπει να καθοριστεί πειραματικά για να αποκτήσουμε τις ιδιότητες που έχουν αξία χρήσης. Επίσης θεωρείται ότι ο συνολικός όγκος πόρων του προϊόντος αυξάνει με την αύξηση του βαθμού εμποτισμού. Πέρα όμως από ένα σημείο και μετά η αύξηση της συγκέντρωσης του διαλύματος εμποτισμού αυξάνει τόσο τη διάμετρο των πόρων που μειώνεται το μικροπορώδες. Επομένως είναι απαραίτητο να καθοριστεί το βέλτιστο της θερμοκρασίας της καύσης και του βαθμού εμποτισμού .

#### **4.3.11 Φυσική Ενεργοποίηση**

Η φυσική ενεργοποίηση λαμβάνει χώρα στους 800 - 1100<sup>0</sup> C ,παρουσία ασθενούς οξειδωτικού παράγοντα, ο οποίος εφαρμόζεται στο προϊόν της ανθρακοποίησης. Οι παράγοντες ενεργοποίησης που χρησιμοποιούνται συχνότερα είναι ο ατμός, το CO<sub>2</sub>, το οξυγόνο και συνδυασμοί αυτών. Κατά τη διάρκεια της ενεργοποίησης καίγεται ο άνθρακας και ανοίγουν οι φραγμένοι πόροι. Τότε η επιφάνεια των μικροκρυσταλλινών εκτίθεται στον παράγοντα ενεργοποίησης, γεγονός που έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία «θέσεων προσρόφησης» καθώς και αύξηση της διαμέτρου των πόρων. Ακόμα είναι δυνατόν να καεί ο χώρος μεταξύ γειτονικών πόρων και να έχουμε παραπάνω αύξηση της διαμέτρου πόρων. Ο βαθμός της ενεργοποίησης μετράται με όρους διάρκειας καύσης. Ενεργοποιημένοι άνθρακες με αυξημένο μικροπορώδες αποκτούνται με καύση λιγότερη από 50% της διάρκειας της. Οι αντίστοιχοι με αυξημένο μακροπορώδες αποκτούνται όταν η καύση ολοκληρωθεί κατά 75%. Τα οξείδια και τα καρβοξύλια τα οποία χημειοροφούνται στην άκρη των μικροκρυστάλλων κατά τη διάρκεια της ενεργοποίησης, συμβάλουν στη δημιουργία μιας χημικής ετερογένειας η οποία επηρεάζει στην προσρόφηση ορισμένων προσροφημάτων. Συνοψίζοντας τα χαρακτηριστικά των ενεργοποιημένων ανθράκων ποικίλουν και εξαρτώνται από το πρωτογενές υλικό, τη θερμοκρασία ανθρακοποίησης και ενεργοποίησης, τον τύπο του παράγοντα ενεργοποίησης που επιλέγουμε και καθώς και από το χρόνο ενεργοποίησης.

## 5 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

### 5.1 Εισαγωγή

Στην παρούσα εργασία γίνεται μελέτη αριστοποίησης της παραμέτρου  $q$ , που υποδηλώνει την προσροφητική ικανότητα του δείγματος λιγνίτη . Γίνεται προσρόφηση διαλύματος γαλλικού οξέος σε απομονωμένο σύστημα πλήρους ανάμιξης (BATCHE) . Ως προσροφητικά μέσα εξετάστηκαν έντεκα τύποι μη ενεργοποιημένου Ελληνικού λιγνίτη και επτά τύποι ενεργού λιγνίτη . Η ενεργοποίηση των δειγμάτων έγινε με πυρόλυση και τα δείγματα που επιλέχθηκαν ήταν αυτά που είχαν την καλύτερη προσροφητική ικανότητα ως μη ενεργοποιημένα . Η κοκκομετρία των δειγμάτων είναι  $-500+150$  .

#### **Μη ενεργοποιημένα δείγματα**

- $TH_2$ - $TH_4$ - $TH_5$ - $TH_7$
- $MT_3$ - $MT_7$ - $MT_8$
- $KΠ_1$
- $I_1$
- $ΠΜ_1$ - $ΠΠ_1$

#### **Ενεργοποιημένα δείγματα**

- $TH_4$ - $TH_7$
- $MT_3$ - $MT_7$
- $I_1$
- $ΠΜ_1$ - $ΠΠ_1$

Τα πειράματα γίνονται σε ένα εύρος διαφορετικών συγκεντρώσεων (από 400 έως 1600 ppm), σε διαφορετικούς χρόνους (εώς 8 ώρες) .

## **5.2 Διαδικασία Ενεργοποίησης**

Αρχικά ξηράθηκε μια ποσότητα του δείγματος σε θερμοκρασία 110<sup>0</sup>C για 12 ώρες . Στη συνέχεια 10g περίπου από το ξηραμένο δείγμα τοποθετήθηκαν στον αντιδραστήρα όπου και αφέθηκαν για μισή ώρα περίπου υπό ροή αζώτου 150 ml/min έτσι ώστε να απομακρυνθεί ο αέρας . Στη συνέχεια το δείγμα θερμάνθηκε υπό ροή αζώτου στους 400<sup>0</sup>C όπου και διατηρήθηκε για δύο ώρες . Με την ολοκλήρωση της πυρόλυσης το δείγμα κρύωσε και ζυγίστηκε . Για τη διαδικασία της ενεργοποίησης το δείγμα θερμάνθηκε στους 750<sup>0</sup>C υπό ροή αζώτου και μόλις έφτασε στην επιθυμητή θερμοκρασία αντικαταστάθηκε με ροή CO<sub>2</sub> (διοξειδίου του άνθρακα) όπου και διατηρήθηκε επίσης για ώρες . Στη συνέχεια το δείγμα ψύχθηκε υπό ροή αζώτου έως τη θερμοκρασία δωματίου όπου και ζυγίστηκε .

## **5.3 Παρασκευή Υδατικών Διαλυμάτων**

Η ποσότητα γαλλικού οξέος που προστέθηκε ανάλογα με την συγκέντρωση είναι η εξής :

400 ppm	→ 0.2 gr GA/0.5lt
600 ppm	→ 0.3 gr GA/0.5lt
800 ppm	→ 0.4 gr GA/0.5lt
1000 ppm	→ 0.5 gr GA/0.5lt
1600 ppm	→ 0.8 gr GA/0.5lt

Σε ζυγαριά ακριβείας μετράμε την ποσότητα του γαλλικού οξέος που χρειαζόμαστε και την ρίχνουμε σε μια ογκομετρική φιάλη όπου υπάρχουν ήδη 0.25lt απιονισμένου νερού και στη συνέχεια συμπληρώνουμε με τα υπόλοιπα 0.25lt . Αυτό γίνεται ώστε να αποφύγουμε να κολλήσει το γαλλικό οξύ στα τοιχώματα . Μετά τοποθετούμε τη φιάλη σε έναν θερμαινόμενο μαγνητικό αναδευτήρα όπου αναδεύεται μέχρι να διαλυθεί τελείως το γαλλικό οξύ . Στη συνέχεια τοποθετούμε τη φιάλη στον αναδευτήρα τύπου BATCH όπου αναδεύεται με σταθερή ταχύτητα 300 U/min . Καθ 'όλη τη διάρκεια ανάδευσης γινόταν έλεγχος ώστε να έχουμε πλήρη ανάδευση, να μην προσκολλάται ποσότητα δείγματος στα τοιχώματα των ποτηριών ζέσεως . Εκεί παίρνουμε με μια πιπέττα 15 ml δείγματος και το τοποθετούμε σε ένα πλαστικό φιαλίδιο των 50 ml (FALCON-BLUE MAX<sup>TM</sup>



50 ml Polypropylene Conical Tube) . Με αυτόν τον τρόπο θα μετρήσουμε την απορρόφηση  $C_0$  στο μηδέν χρόνο, πριν δηλαδή προσθέσουμε το λιγνίτη . Η ποσότητα του λιγνίτη που προστίθεται είναι 4 gr για μη ενεργοποιημένο λιγνίτη και 1 gr για ενεργοποιημένο . Παίρνουμε μετρήσεις στα 10 min, 30 min, 60 min, 90 min, 4 hours (240 min) και 8 hours (480 min) . Η τήρηση του χρόνου ήταν πολύ αυστηρή, προκειμένου να διακρίνονται οι τιμές της προσρόφησης κάθε χρονικού διαστήματος . Η ποσότητα δείγματος που παίρνουμε είναι κι εδώ 15 ml . Τα δείγματα τοποθετούνται σε πλαστικά μπουκαλάκια και στη φυγόκεντρο για 15 λεπτά στις 3500 στροφές . Στη συνέχεια με μια πιπέτα παίρνουμε 1 ml από το υπερκρίμενο στρώμα κάθε δείγματος και το αραιώνουμε ανάλογα με την αρχική συγκέντρωση :

### **Αραιώσεις**

200 ppm	→ 1 ml στα 25 ml
400 ppm	→ 1 ml στα 50 ml
600 ppm	→ 1 ml στα 100 ml
800 ppm	→ 1 ml στα 200 ml
1000 ppm	→ 1 ml στα 200 ml
1200 ppm	→ 1 ml στα 200 ml
1400 ppm	→ 1 ml στα 200 ml

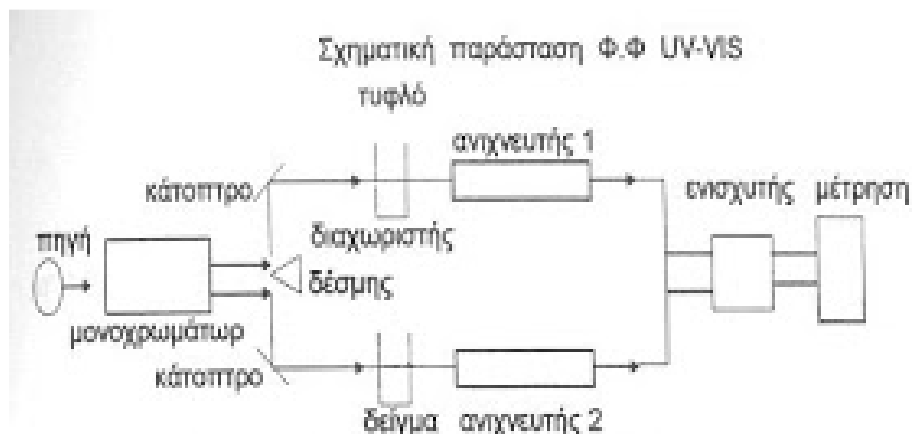
Στόχος ήταν να έχουμε όσο πιο διαυγές διάλυμα, το οποίο ήταν βασική προϋπόθεση κατά τις μετρήσεις που ακολουθούσαν (ευαισθησία οργάνου) . Τώρα μπορούμε να μετρήσουμε την απορρόφηση  $C_f$  στο φασματοφωτόμετρο . Η κάθε μέτρηση γίνεται δύο φορές για καλύτερα αποτελέσματα και μεγαλύτερη ακρίβεια . Μετρήθηκαν επίσης και οι τιμές του pH στο μηδέν χρόνο, στα 30 min, 60 min, 240 min και 480 min για όλα τα δείγματα ενεργοποιημένα και μη .

## **5.4 Όργανα**

Για την παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω όργανα : ένα φασματοφωτόμετρο, μια φυγόκεντρος και ένα σύστημα πλήρους ανάμιξης (BATCH) .

### **5.4.1 Φασματοφωτόμετρο**

Τα όργανα που χρησιμοποιούνται στη μελέτη απορρόφησης ή εκπομπή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε συνάρτηση με το μήκος κύματος, καλούνται “φασματόμετρα” ή “φασματοφωτόμετρα” . Οι οπτικές και ηλεκτρονικές αρχές που χρησιμοποιούνται σε αυτά τα όργανα είναι βασικά οι ίδιες για όλες τις περιοχές του φάσματος, από το υπεριώδες υπό κενό μέχρι το άπω υπέρυθρο . Υπάρχουν πάντως μερικές σημαντικές διαφορές στα εξαρτήματα που χρησιμοποιούνται ειδικά στις διάφορες περιοχές . Τα ουσιώδη εξαρτήματα ενός φασματοφωτόμετρου είναι : (1) μια σταθερή πηγή ακτινοβολίας, (2) ένα σύστημα φακών, καθρεφτών και σχισμών που ορίζουν, ευθυγραμμίζουν και εστιάζουν τη δέσμη, (3) ένας μονοχρωμάτορας για την ανάλυση της ακτινοβολίας σε επιμέρους μήκη κύματος ή ζώνες μηκών κύματος, (4) μια διαφανής κυψελίδα για το δείγμα και (5) ένας ανιχνευτής ακτινοβολίας με ένα σύστημα μέτρησης (ανάγνωση ή καταγραφή) . Πολλά όργανα είναι πιο πολύπλοκα, αλλά όλα είναι παραλλαγές του διαγράμματος του Σχήματος 3



Η πηγή φωτός είναι λυχνία Hg, H<sub>2</sub>, δευτερίου (D), για την υπεριώδη περιοχή και βολφραμίου (W), για την ορατή.

**Σχήμα 3**

Ο μονοχρωμάτορας (πρίσμα, ή παραθλαστικό φράγμα), αναλύει τα λευκό φως στις διάφορες μονοχρωματικές περιοχές του και επιλέγει τα επιθυμητό μήκος κύματος, με μεγάλη ακρίβεια. Ο διαχωριστής δέσμης, χωρίζει την εξερχόμενη δέσμη σε δύο ίσα μέρη. Οι κυψελίδες που περιέχουν το τυφλό και το δείγμα μέτρησης, κατασκευάζονται από χαλαζία για την περιοχή UV, ή και από ύαλο για την περιοχή VIS. Οι ανιχνευτές 1 και 2 συνδυαζόμενοι βρίσκουν το σήμα που οφείλεται στην ουσία που θέλουμε να προσδιορίσουμε. Ο ενισχυτής, ενισχύει το εξερχόμενο σήμα. Η μέτρηση, ή και καταγραφή του σήματος γίνεται από ευπαθές φωτοκύτταρο και εκφράζεται σαν απορρόφηση, ή διαπερατότητα. Σήμερα τα χρησιμοποιούμενα όργανα είναι συνήθως αυτογραφικά διπλής δέσμης, (ο μηδενισμός του οργάνου γίνεται αυτόματα) και δίνουν τις μεταβολές της απορρόφησης, ή της διαπερατότητας σε συνάρτηση με το μήκος κύματος.

α) Το μήκος κύματος όπου παρατηρείται το μεγαλύτερο ποσοστό απορρόφησης, καλείται μ.κ μέγιστης απορρόφησης και συμβολίζεται με λ. Σ' αυτό το μ.κ πραγματοποιούνται υποχρεωτικά όλες οι μετρήσεις .

β) Λευκό διάλυμα, ή τυφλό δείγμα (blank), είναι το διάλυμα που έχει υποστεί όλες ακριβώς τις επεξεργασίες όπως και το άγνωστο, αλλά δεν περιέχει την ουσία που εξετάζουμε. Η κυψελίδα που περιέχει το λευκό διάλυμα ονομάζεται και κυψελίδα αναφοράς. Είναι κατασκευασμένη από χαλαζία, ή γυαλί ανάλογα με την περιοχή μέτρησης.

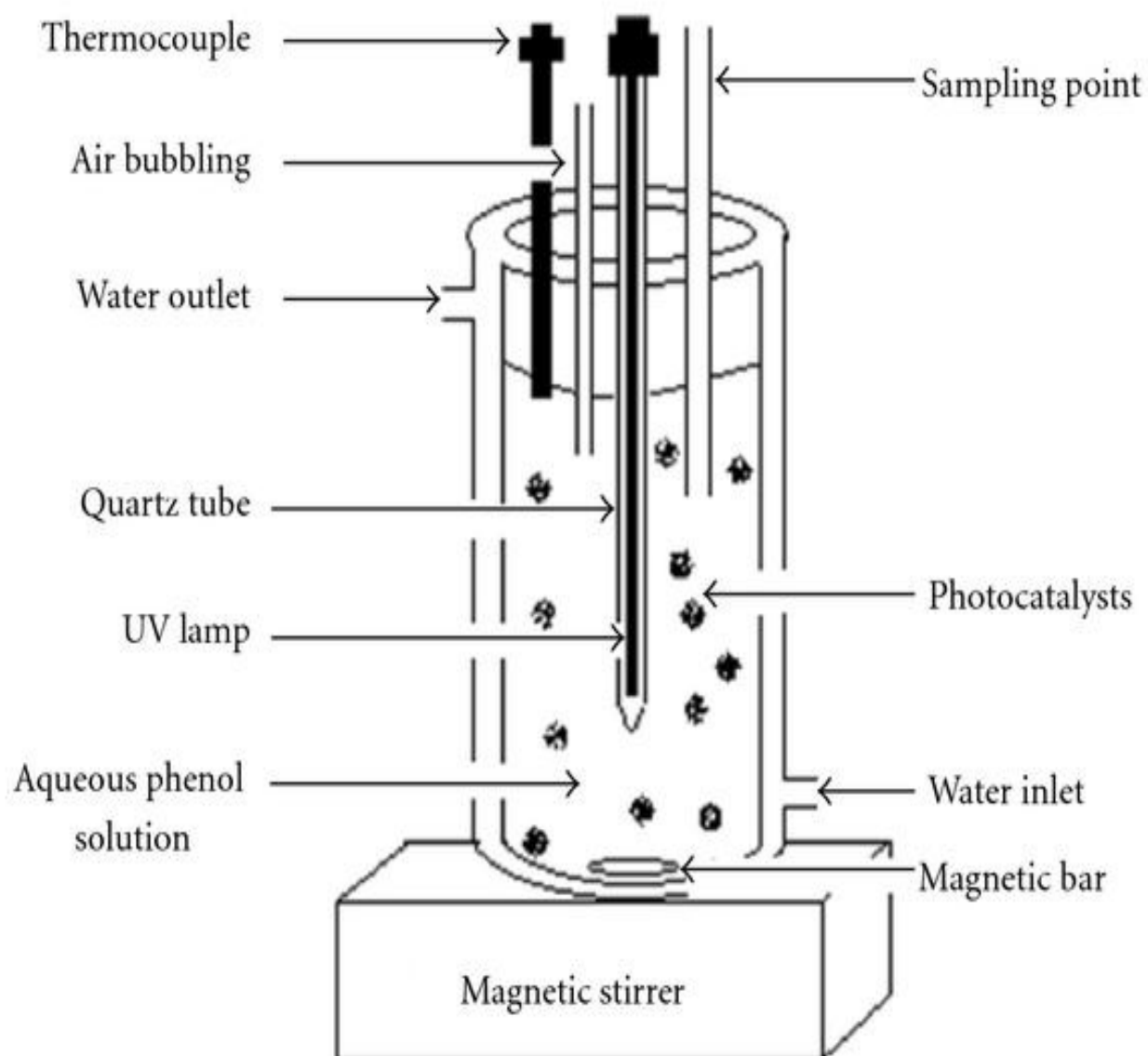
γ) Καμπύλη αναφοράς, ή βαθμονόμησης (calibration curve), ονομάζεται η καμπύλη που προκύπτει από τη γραφική απεικόνιση των αριθμητικών τιμών μιας φυσικοχημικής ιδιότητας του δείγματος (  $A$  ή  $T\%$  ), σε συνάρτηση με τη συγκέντρωση της ουσίας σε πρότυπα διαλύματα. Από την καμπύλη αναφοράς υπολογίζουμε αμέσως τη συγκέντρωση ενός άγνωστου διαλύματος. Σωστές μετρήσεις λαμβάνονται όταν η μικρότερη τιμή της  $\% T$  είναι 10% και η μέγιστη οριακή τιμή της απορρόφησης μονάδα, (  $A = 1$  ) .

Στην παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκε φασματοφωτόμετρο SHIMADZU mini-1240 και η μέτρηση έγινε στα 264 nm με κυψελίδες χαλαζία . Στη μία κυψελίδα τοποθετήσαμε απιονισμένο νερό (τυφλό) και μηδενίσαμε το φασματοφωτόμετρο πατώντας “ Autozero” , στην άλλη τοποθετήσαμε μικρή ποσότητα δείγματος αφού πρώτα ανακενήσαμε την ογκομετρική φιάλη δύο με τρεις φορές για να ανακατευτεί το δείγμα . Σκουπίσαμε προσεκτικά την κυψελίδα και την τοποθετήσαμε μέσα στο μηχάνημα, αυτόματα εμφανίζεται στην οθόνη η ένδειξη . Την κάθε μέτρηση την πραγματοποιούμε δύο φορές για καλύτερα αποτελέσματα και μεγαλύτερη ακρίβεια .

#### **5.4.2 Αντιδραστήρες Ασυνεχούς Λειτουργίας και Πλήρους Ανάμιξης (BATCH)**

Ο αντιδραστήρας ασυνεχούς λειτουργίας (Batch Reactor, εικόνα 4) είναι ένας από τους πιο κοινούς τύπους βιομηχανικών αντιδραστήρων . Γενικά οι αντιδραστήρες ασυνεχούς λειτουργίας χρησιμοποιούνται για αντιδράσεις που τελούνται σε υγρή φάση . Επειδή το κόστος λειτουργίας των ασυνεχών αντιδραστήρων είναι συνήθως υψηλότερο του κόστους των αντιδραστήρων συνεχούς λειτουργίας, οι αντιδραστήρες αυτοί χρησιμοποιούνται κυρίως στην παραγωγή μικρών ποσοτήτων ειδικών προϊόντων, για παράδειγμα φάρμακα, πολυμερή, προϊόντα ζύμωσης, κλπ . Οι αντιδραστήρες ασυνεχούς λειτουργίας είναι κυλινδρικά δοχεία τα οποία φέρουν σύστημα ανάδευσης και εξωτερικό μανδύα ή /και εσωτερική σπείρα σωλήνος θέρμανσης – ψύξης . Το αντιδρών μίγμα αναδεύεται συνεχώς, έτσι ώστε η συγκέντρωση των αντιδρώντων και η θερμοκρασία να είναι ανεξάρτητες της θέσης στον αντιδραστήρα . Ο πλήρης κύκλος λειτουργίας ενός ασυνεχούς αντιδραστήρα περιλαμβάνει τα ακόλουθα επιμέρους στάδια :

1. Φόρτωση του αντιδραστήρα με τα αντιδρώντα υλικά
2. Τέλεση της χημικής αντίδρασης(-σεων)
3. Απομάκρυνση των προϊόντων της αντίδρασης
4. Καθαρισμός και προετοιμασία του αντιδραστήρα



**Εικόνα 4**

### **5.4.3 Φυγόκεντρος**

Η **φυγόκεντρωση** είναι μία διαδικασία διαχωρισμού μιγμάτων κατά την οποία γίνεται χρήση της φυγόκεντρου δύναμews . Κατά την φυγόκεντρωση τα βαρέα στοιχεία του μίγματος πηγαίνουν στο πυθμένα του σωληναρίου όπου αυτό βρίσκεται ενώ τα ελαφρύτερα παραμένουν πάνω από τον πυθμένα . Τα στοιχεία που πηγαίνουν στο πυθμένα αποτελούν το ίζημα και τα στοιχεία που βρίσκονται στην επιφάνεια αποτελούν το υπερκείμενο . Συνήθως το υπερκείμενο μεταγγίζεται σε χωριστό σωληνάριο οπότε ίζημα και υπερκείμενο διαχωρίζονται πλήρως . Η φυγόκεντρωση χρησιμοποιείται τόσο στα χημικά όσο και βιομηχανικά εργαστήρια . Η φυγόκεντρωση αποτελεί μια από τις πιο χρήσιμες πρακτικά εφαρμογές της κυκλικής κινήσεως . Από την φυσική είναι γνωστό ότι τα στερεά σωματίδια αιωρούμενα μέσα σε υγρό με μικρή πυκνότητα έχουν πτωτική τάση κάτω από την επίδραση της βαρύτητας . Η ταχύτητα με την οποία πέφτουν τελικά εξαρτάται από μια σειρά παραγόντων, όπως είναι το σχήμα και το μέγεθος των αιωρούμενων σωματιδίων και η διαφορά πυκνότητας της στερεάς φάσεως

Σύμφωνα με τον νόμο του Stokes, όσο μεγαλώνει η δύναμη της τεχνητά δημιουργούμενης βαρύτητας τόσο και πιο γρήγορα διαχωρίζεται η στερεά φάση από την υγρή . Η δύναμη που απαιτείται για να μπορέσει να διατηρηθεί ένα σωματίδιο σε κυκλική κίνηση σταθερής ακτίνας και ταχύτητας είναι ανάλογη με τη μάζα του .

## 6 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στο κεφάλαιο 6 αναφέρονται αναλυτικά τα αποτελέσματα των μετρήσεων με την μορφή πινάκων και διαγραμμάτων . Σχολιασμός των αποτελεσμάτων γίνεται στο κεφάλαιο επτά . Η προσέγγιση στην παρούσα φάση της ανάλυσης βρίσκεται σε περιγραφικό στάδιο . Τα αποτελέσματα των πειραμάτων αν και αποτελούν την «ουσία» της εργασίας παραμένουν «ανεκμετάλλευτα» χωρίς την ορθή ερμηνεία τους .

- **Μη Ενεργοποιημένα Δείγματα – Non Activated Samples**

**Πίνακας 6.1 :** Αποτελέσματα μελέτης συγκεντρώσεων στο μη ενεργοποιημένο δείγμα TH<sub>2</sub> .

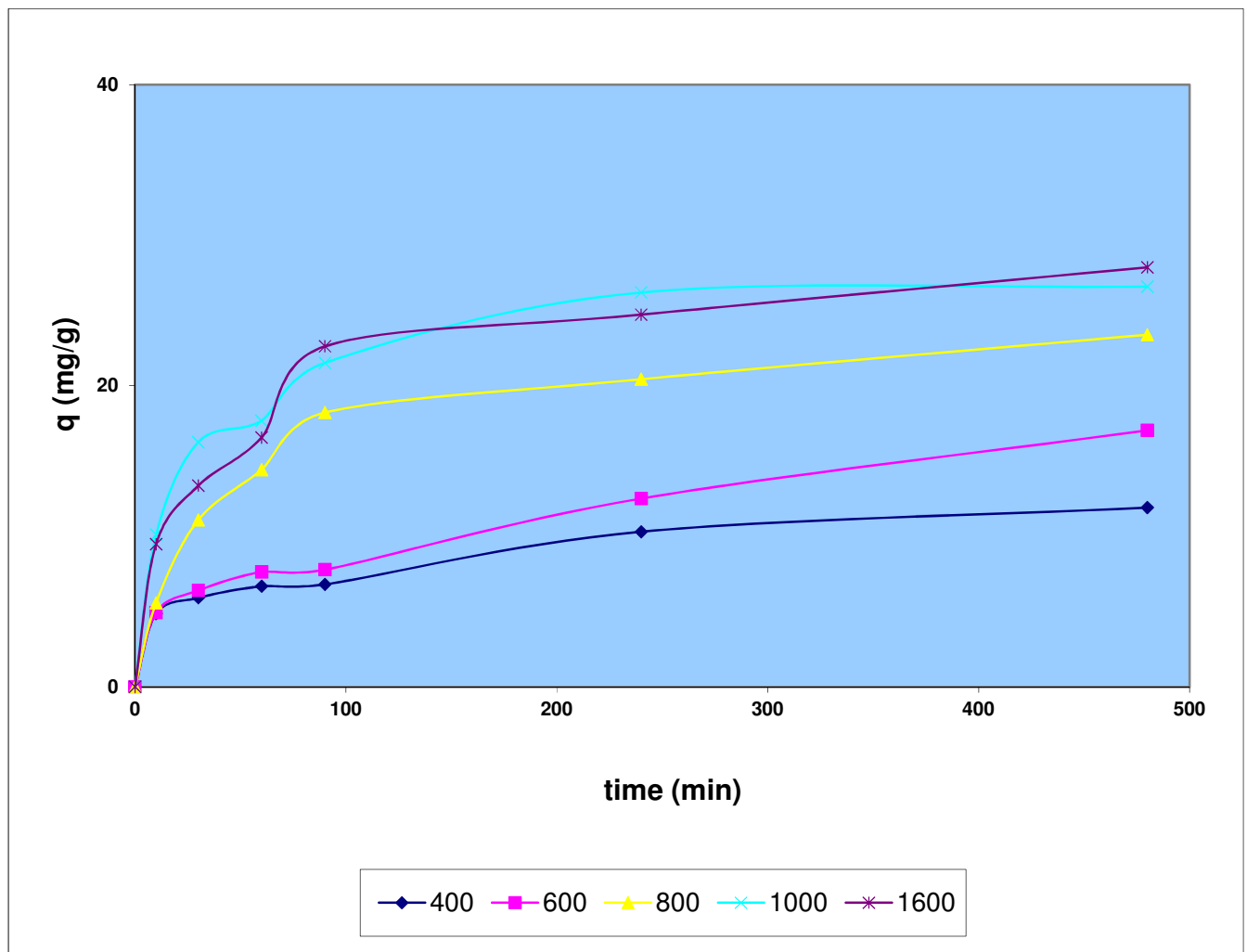
Δείγμα TH <sub>2</sub>			SSA = m <sup>2</sup> /gr		
t (min)	C <sub>400</sub>	C <sub>600</sub>	C <sub>800</sub>	C <sub>1000</sub>	C <sub>1600</sub>
0	439,73	573,18	833,18	1010,45	1586,58
10	400,83	533,79	788,67	929,70	1510,82
30	392,46	521,97	744,55	880,45	1479,65
60	386,27	512,12	717,76	869,03	1454,11
90	385,30	510,94	687,42	838,30	1405,63
240	357,31	473,12	669,70	800,88	1388,74
480	344,50	436,88	646,06	797,73	1363,64



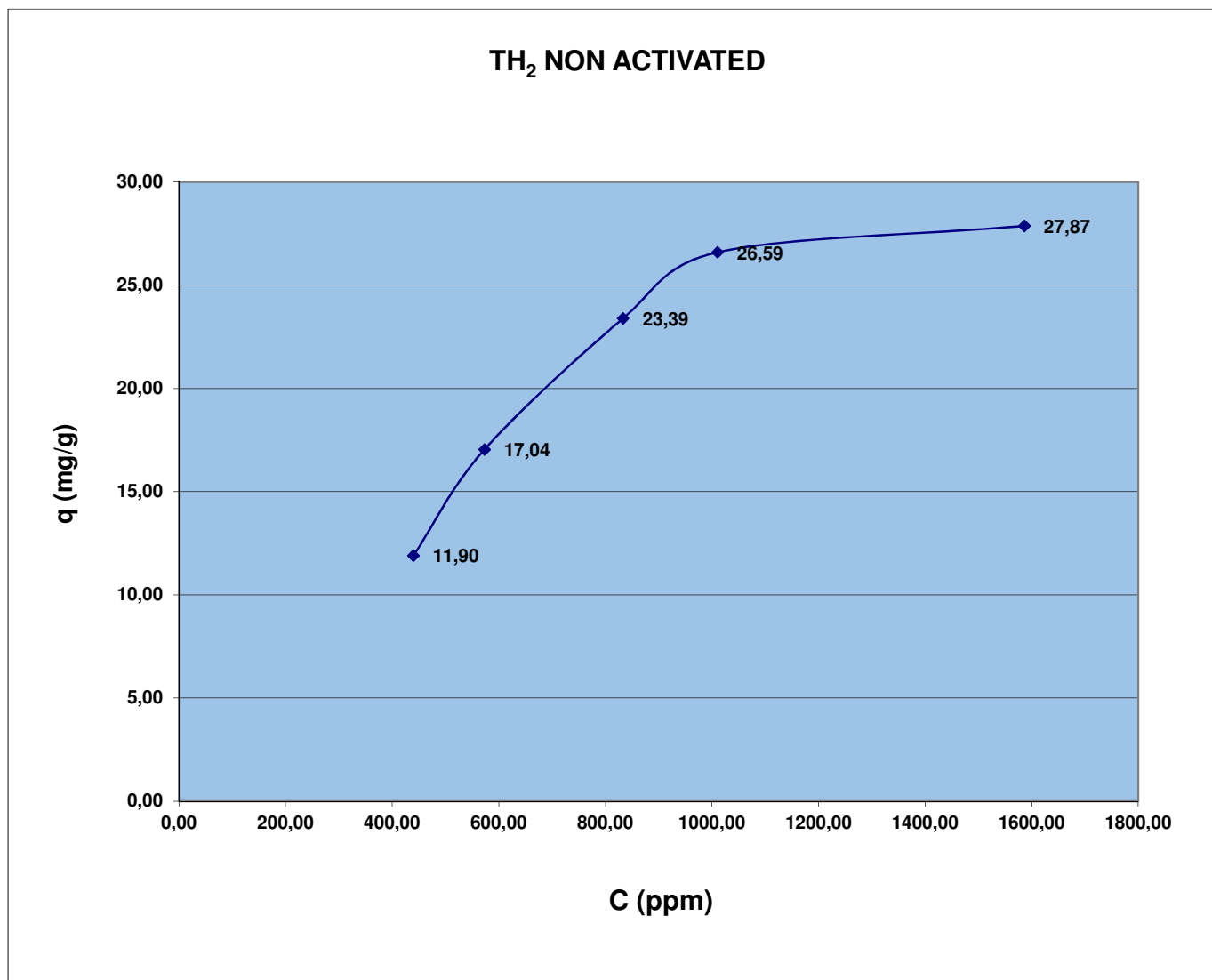
**Πίνακας 6.2 :** Οι αποδόσεις προσρόφησης του TH<sub>2</sub> .

<b>Δείγμα TH<sub>2</sub></b>										
	<b>C<sub>400</sub></b>		<b>C<sub>600</sub></b>		<b>C<sub>800</sub></b>		<b>C<sub>1000</sub></b>		<b>C<sub>1600</sub></b>	
<b>t (min)</b>	<b>q (mg/g)</b>	<b>pH</b>	<b>q (mg/g)</b>	<b>pH</b>	<b>q (mg/g)</b>	<b>pH</b>	<b>q (mg/g)</b>	<b>pH</b>	<b>q (mg/g)</b>	<b>pH</b>
<b>0</b>	0,00	3,65	0,00	3,60	0,00	3,58	0,00	3,57	0,00	3,33
<b>10</b>	4,86	-	4,92	-	5,56	-	10,09	-	9,47	-
<b>30</b>	5,91	5,10	6,40	5,06	11,08	4,86	16,25	4,84	13,37	4,45
<b>60</b>	6,68	5,27	7,63	5,26	14,43	4,90	17,68	4,99	16,56	4,50
<b>90</b>	6,80	-	7,78	-	18,22	-	21,52	-	22,62	-
<b>240</b>	10,30	5,53	12,51	5,47	20,44	5,06	26,20	5,05	24,73	4,58
<b>480</b>	11,90	5,62	17,04	5,49	23,39	5,10	26,59	5,17	27,87	4,67

**Διάγραμμα 6.1 :** Κινητικές Καμπύλες Μη Ενεργοποιημένου Δείγματος TH<sub>2</sub>



**Διάγραμμα 6.2 :** Ισόθερμη Καμπύλη Προσρόφησης του  $\text{TH}_2$



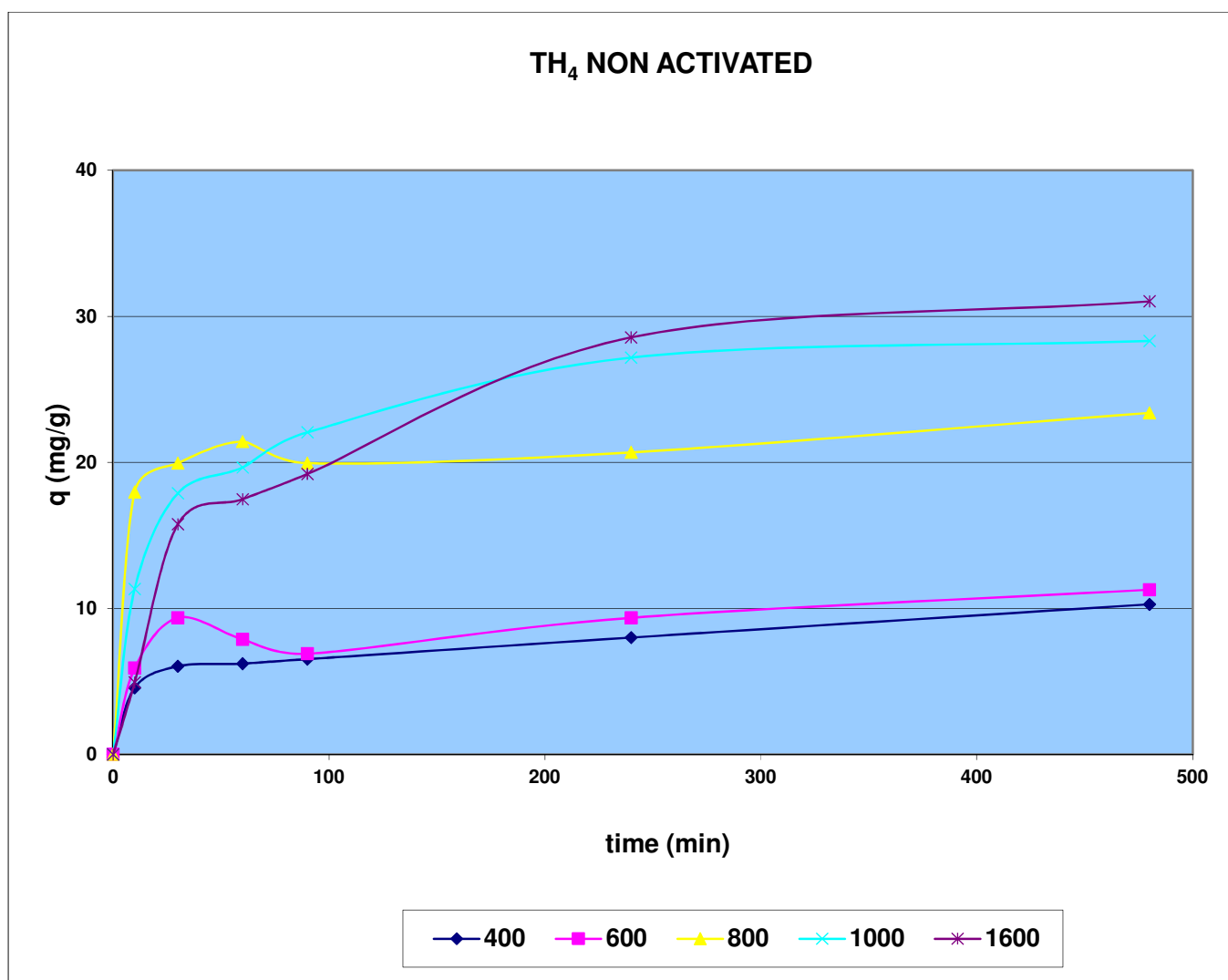
**Πίνακας 6.3 :** Αποτελέσματα μελέτης συγκεντρώσεων στο μη ενεργοποιημένο δείγμα TH<sub>4</sub> .

<b>Δείγμα TH<sub>4</sub></b>			<b>SSA = m<sup>2</sup>/gr</b>		
<b>t (min)</b>	<b>C<sub>400</sub></b>	<b>C<sub>600</sub></b>	<b>C<sub>800</sub></b>	<b>C<sub>1000</sub></b>	<b>C<sub>1600</sub></b>
<b>0</b>	441,70	575,15	754,39	1016,36	1485,15
<b>10</b>	405,27	527,88	610,61	925,76	1445,76
<b>30</b>	393,45	500,30	594,85	873,36	1359,09
<b>60</b>	391,97	512,12	583,03	859,18	1345,30
<b>90</b>	389,51	520,00	594,85	839,88	1331,52
<b>240</b>	377,69	500,30	588,94	798,91	1256,67
<b>480</b>	359,47	484,94	567,27	789,85	1236,97

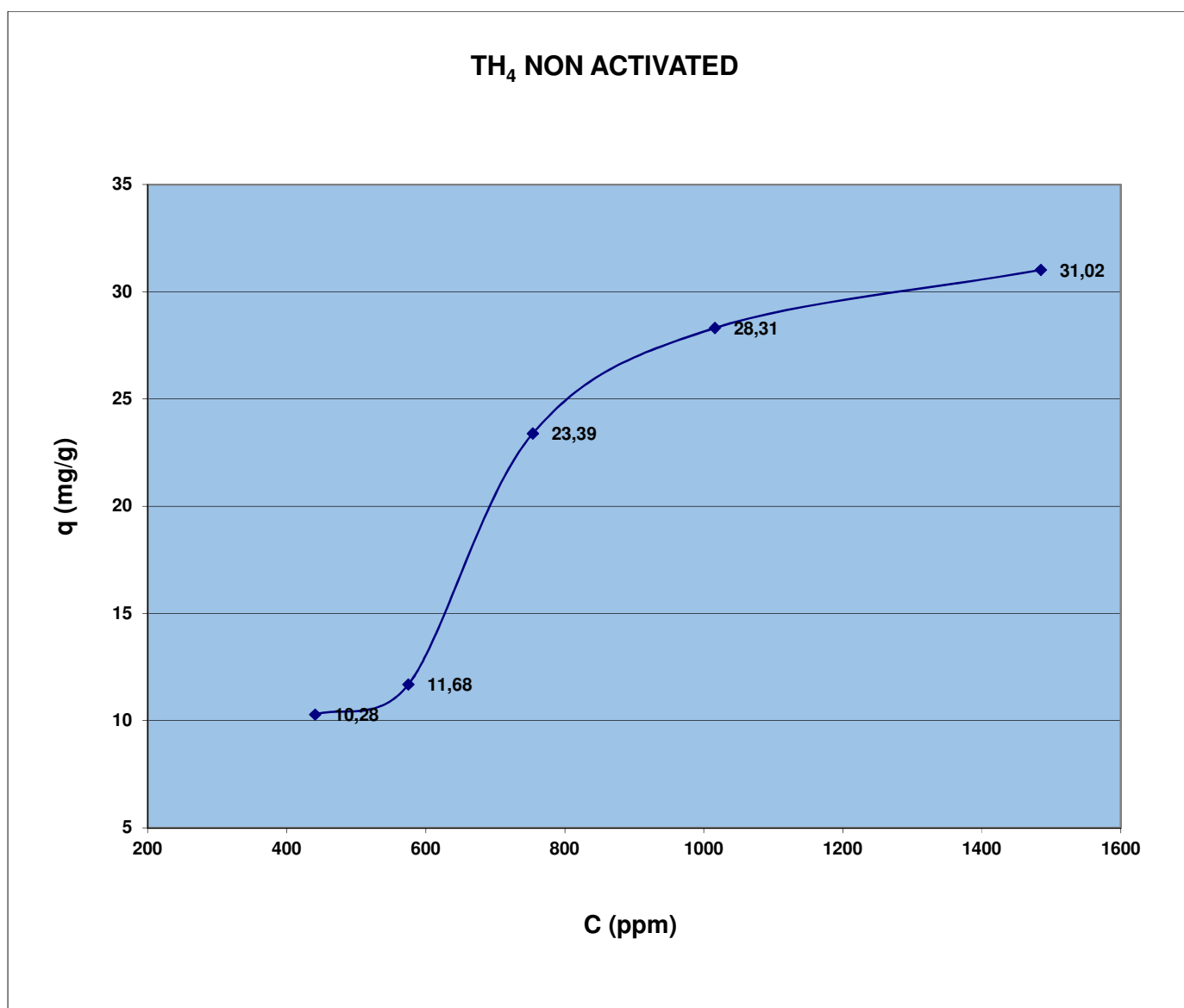
**Πίνακας 6.4 :** Οι αποδόσεις προσρόφησης του TH<sub>4</sub> .

<b>Δείγμα TH4</b>										
	<b>C<sub>400</sub></b>		<b>C<sub>600</sub></b>		<b>C<sub>800</sub></b>		<b>C<sub>1000</sub></b>		<b>C<sub>1600</sub></b>	
<b>t (min)</b>	<b>q (mg/g)</b>	<b>pH</b>	<b>q (mg/g)</b>	<b>pH</b>	<b>q (mg/g)</b>	<b>pH</b>	<b>q (mg/g)</b>	<b>pH</b>	<b>q (mg/g)</b>	<b>pH</b>
<b>0</b>	0,00	3,71	0,00	3,58	0,00	3,55	0,00	3,47	0,00	3,43
<b>10</b>	4,55	-	5,91	-	17,97	-	11,33	-	4,92	-
<b>30</b>	6,03	5,73	9,36	5,47	19,94	5,01	17,88	4,72	15,76	4,81
<b>60</b>	6,22	6,07	7,88	5,75	21,42	5,62	19,65	5,12	17,48	5,05
<b>90</b>	6,52	-	6,89	-	19,94	-	22,06	-	19,20	-
<b>240</b>	8,00	6,45	9,36	6,02	20,68	6,25	27,18	5,74	28,56	5,44
<b>480</b>	10,28	6,70	11,28	6,23	23,39	6,38	28,31	5,98	31,02	5,54

**Διάγραμμα 6.3 :** Κινητικές Καμπύλες Μη Ενεργοποιημένου Δείγματος  $\text{TiH}_4$



**Διάγραμμα 6.4 :** Ισόθερμη Καμπύλη Προσρόφησης του TH<sub>4</sub>



**Πίνακας 6.5 :** Αποτελέσματα μελέτης συγκεντρώσεων στο μη ενεργοποιημένο δείγμα TH<sub>5</sub> .

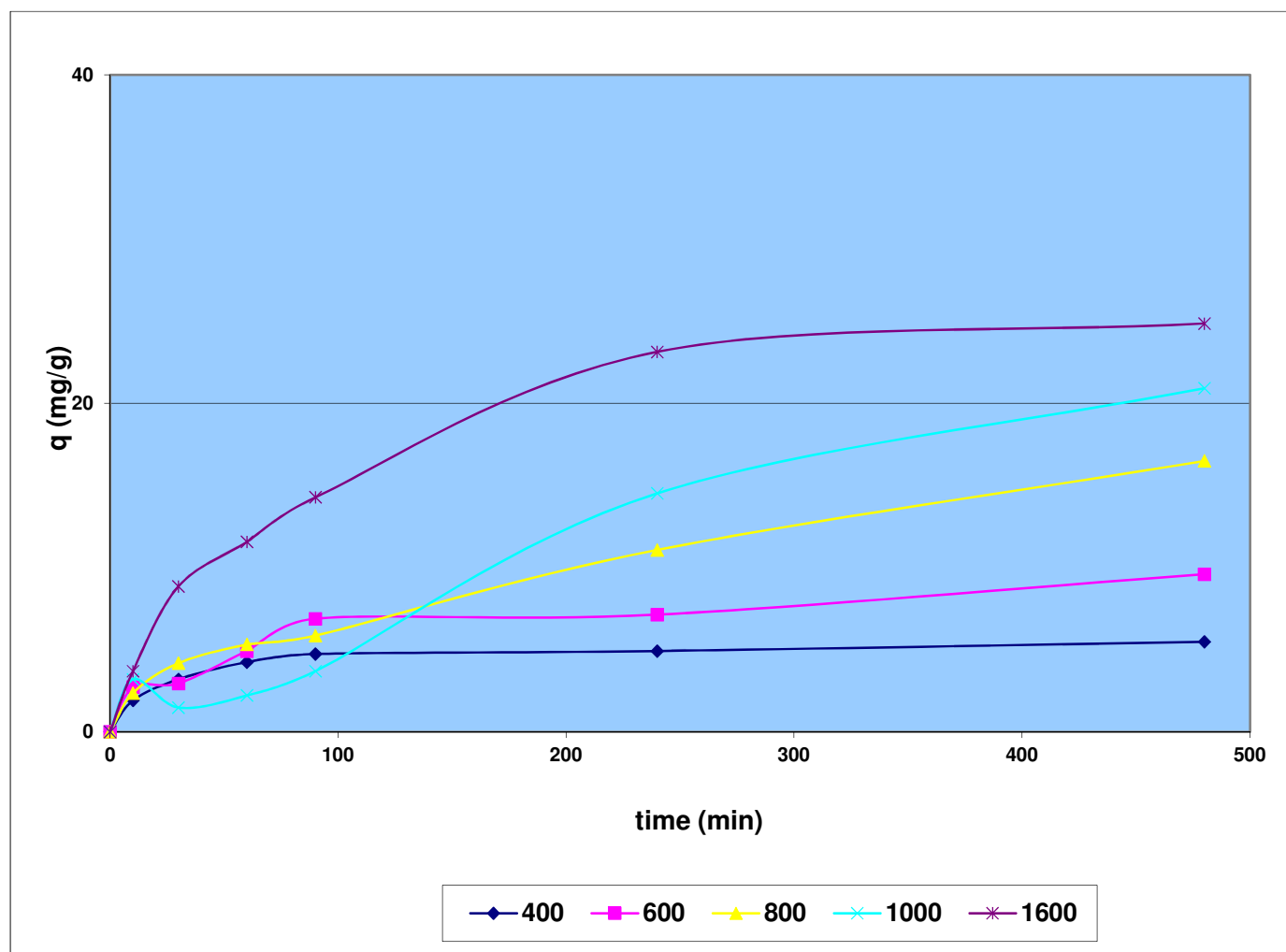
Δείγμα TH <sub>5</sub>			SSA = m <sup>2</sup> /gr		
t (min)	C <sub>400</sub>	C <sub>600</sub>	C <sub>800</sub>	C <sub>1000</sub>	C <sub>1600</sub>
0	380,15	559,39	736,67	1103,03	1473,33
10	364,89	537,73	717,76	1077,42	1443,79
30	354,55	535,76	703,18	1091,21	1402,42
60	346,17	520,00	694,12	1085,30	1380,76
90	342,23	504,24	689,79	1073,48	1359,09
240	340,76	502,27	648,03	986,82	1288,18
480	336,33	482,58	604,70	935,61	1274,39



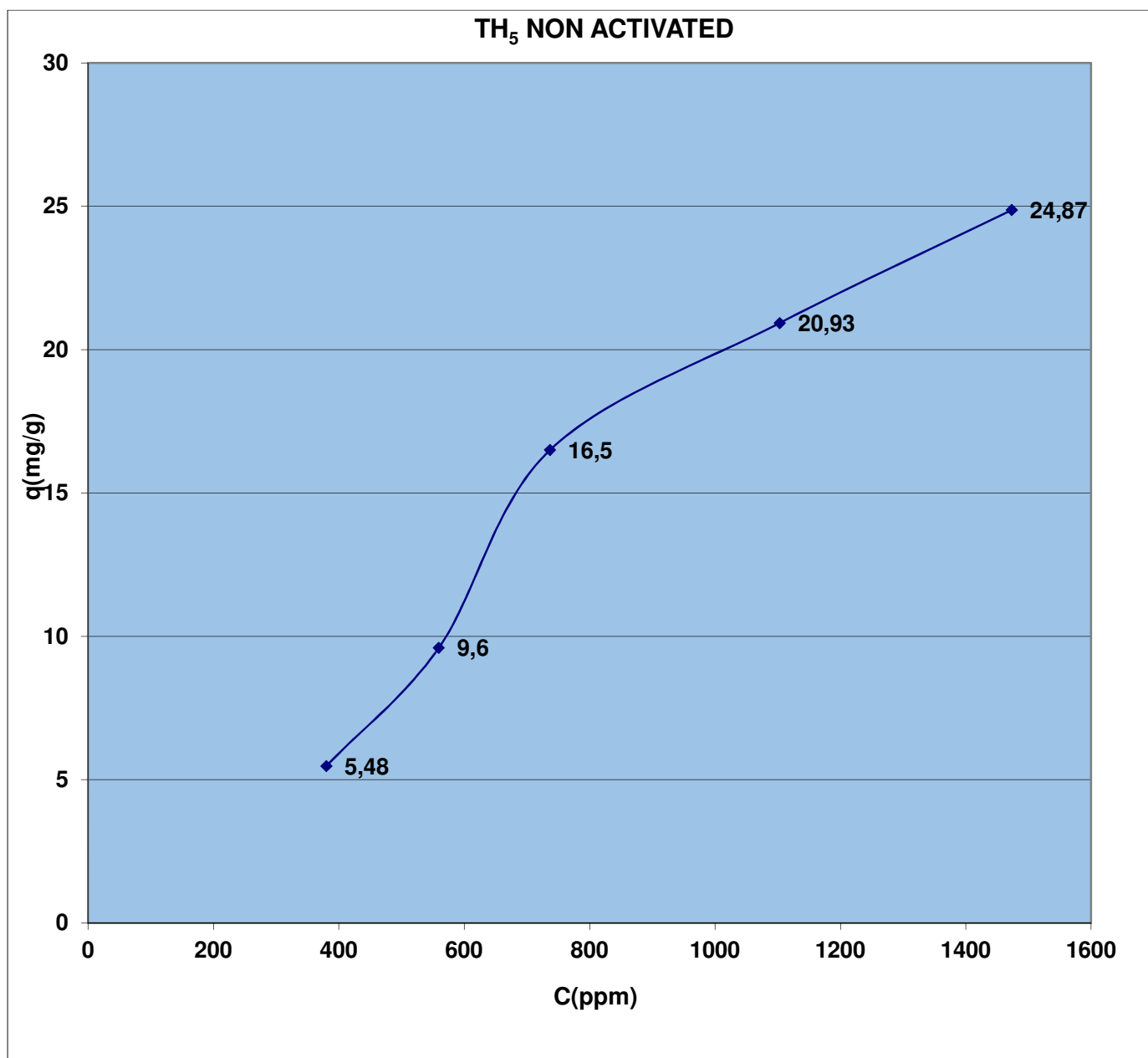
**Πίνακας 6.6 :** Οι αποδόσεις προσρόφησης του TH<sub>5</sub> .

Δείγμα TH <sub>5</sub>										
	C <sub>400</sub>		C <sub>600</sub>		C <sub>800</sub>		C <sub>1000</sub>		C <sub>1600</sub>	
t (min)	q (mg/g)	pH	q (mg/g)	pH	q (mg/g)	pH	q (mg/g)	pH	q (mg/g)	pH
0	0,00	3,68	0,00	3,57	0,00	3,54	0,00	3,48	0,00	3,41
10	1,91	-	2,71	-	2,36	-	3,20	-	3,69	-
30	3,20	4,56	2,95	4,77	4,19	4,40	1,48	4,19	8,86	4,08
60	4,25	4,78	4,92	4,85	5,32	4,53	2,22	4,40	11,57	4,26
90	4,74	-	6,89	-	5,86	-	3,69	-	14,28	-
240	4,92	4,92	7,14	5,02	11,08	4,64	14,53	4,58	23,14	4,40
480	5,48	4,86	9,60	5,07	16,50	4,70	20,93	4,70	24,87	4,44

**Διάγραμμα 6.5 :** Κινητικές Καμπύλες Μη Ενεργοποιημένου Δείγματος TH<sub>5</sub>



**Διάγραμμα 6.6 :** Ισόθερμη Καμπύλη Προσρόφησης του  $\text{TH}_5$



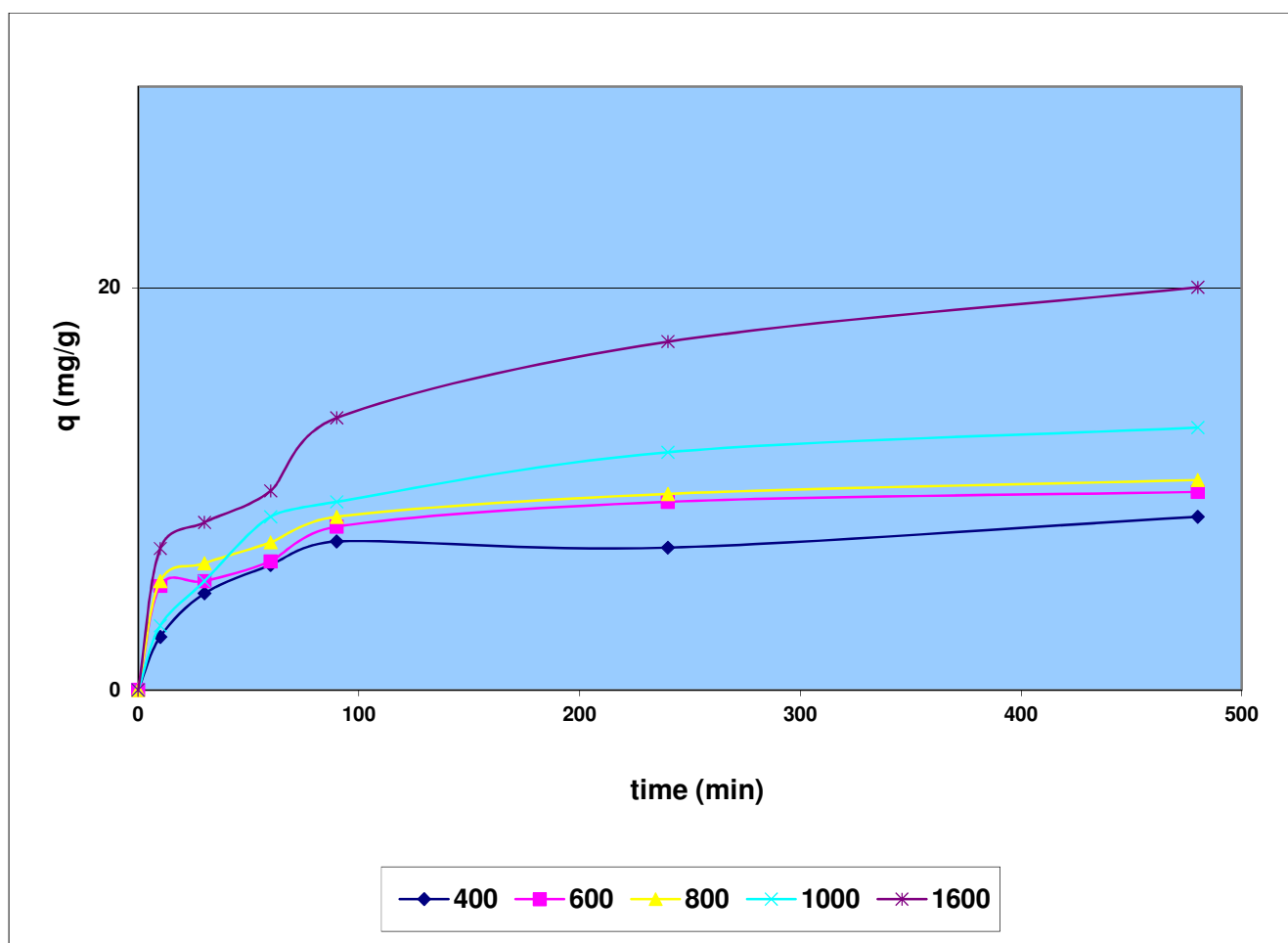
**Πίνακας 6.7 :** Αποτελέσματα μελέτης συγκεντρώσεων στο μη ενεργοποιημένο δείγμα TH<sub>7</sub> .

<b>Δείγμα TH<sub>7</sub></b>			<b>SSA = m<sup>2</sup>/gr</b>		
<b>t (min)</b>	<b>C<sub>400</sub></b>	<b>C<sub>600</sub></b>	<b>C<sub>800</sub></b>	<b>C<sub>1000</sub></b>	<b>C<sub>1600</sub></b>
<b>0</b>	441,70	559,39	728,79	1018,33	1612,55
<b>10</b>	420,53	518,03	685,45	992,73	1556,28
<b>30</b>	403,30	516,06	678,36	975,00	1545,89
<b>60</b>	391,97	508,18	670,09	949,39	1533,33
<b>90</b>	382,61	494,39	659,85	943,48	1504,33
<b>240</b>	385,08	484,55	650,79	923,79	1474,03
<b>480</b>	372,77	480,61	645,27	913,94	1452,38

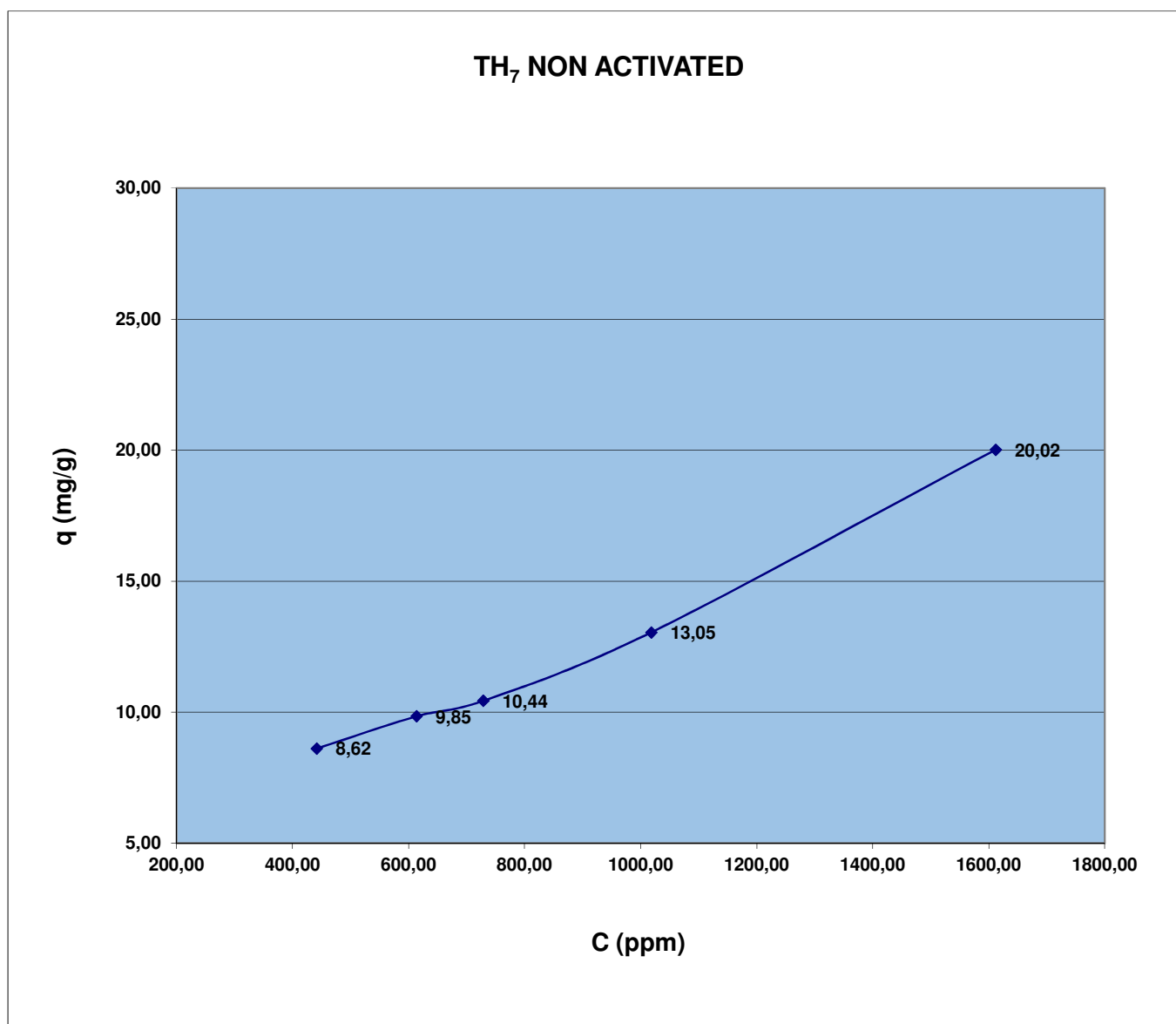
**Πίνακας 6.8 :** Οι αποδόσεις προσρόφησης του TH<sub>7</sub>.

<b>Δείγμα TH<sub>7</sub></b>										
	<b>C<sub>400</sub></b>		<b>C<sub>600</sub></b>		<b>C<sub>800</sub></b>		<b>C<sub>1000</sub></b>		<b>C<sub>1600</sub></b>	
<b>t (min)</b>	<b>q (mg/g)</b>	<b>pH</b>	<b>q (mg/g)</b>	<b>pH</b>	<b>q (mg/g)</b>	<b>pH</b>	<b>q (mg/g)</b>	<b>pH</b>	<b>q (mg/g)</b>	<b>pH</b>
<b>0</b>	0,00	3,71	0,00	3,55	0,00	3,52	0,00	3,46	0,00	3,39
<b>10</b>	2,65	-	5,17	-	5,42	-	3,20	-	7,03	-
<b>30</b>	4,80	4,60	5,42	4,39	6,30	4,32	5,42	3,98	8,33	3,87
<b>60</b>	6,22	4,75	6,40	4,48	7,34	4,45	8,62	4,17	9,90	4,11
<b>90</b>	7,39	-	8,13	-	8,62	-	9,36	-	13,53	-
<b>240</b>	7,08	4,88	9,36	4,65	9,75	4,56	11,82	4,43	17,32	4,26
<b>480</b>	8,62	4,22	9,85	4,71	10,44	4,60	13,05	4,46	20,02	4,28

**Διάγραμμα 6.7 :** Κινητικές Καμπύλες Μη Ενεργοποιημένου Δείγματος  $\text{TH}_7$



**Διάγραμμα 6.8 : Ισόθερμη Καμπύλη Προσρόφησης του TH<sub>7</sub>**



**Πίνακας 6.9 :** Αποτελέσματα μελέτης συγκεντρώσεων στο μη ενεργοποιημένο δείγμα  $MT_3$  .

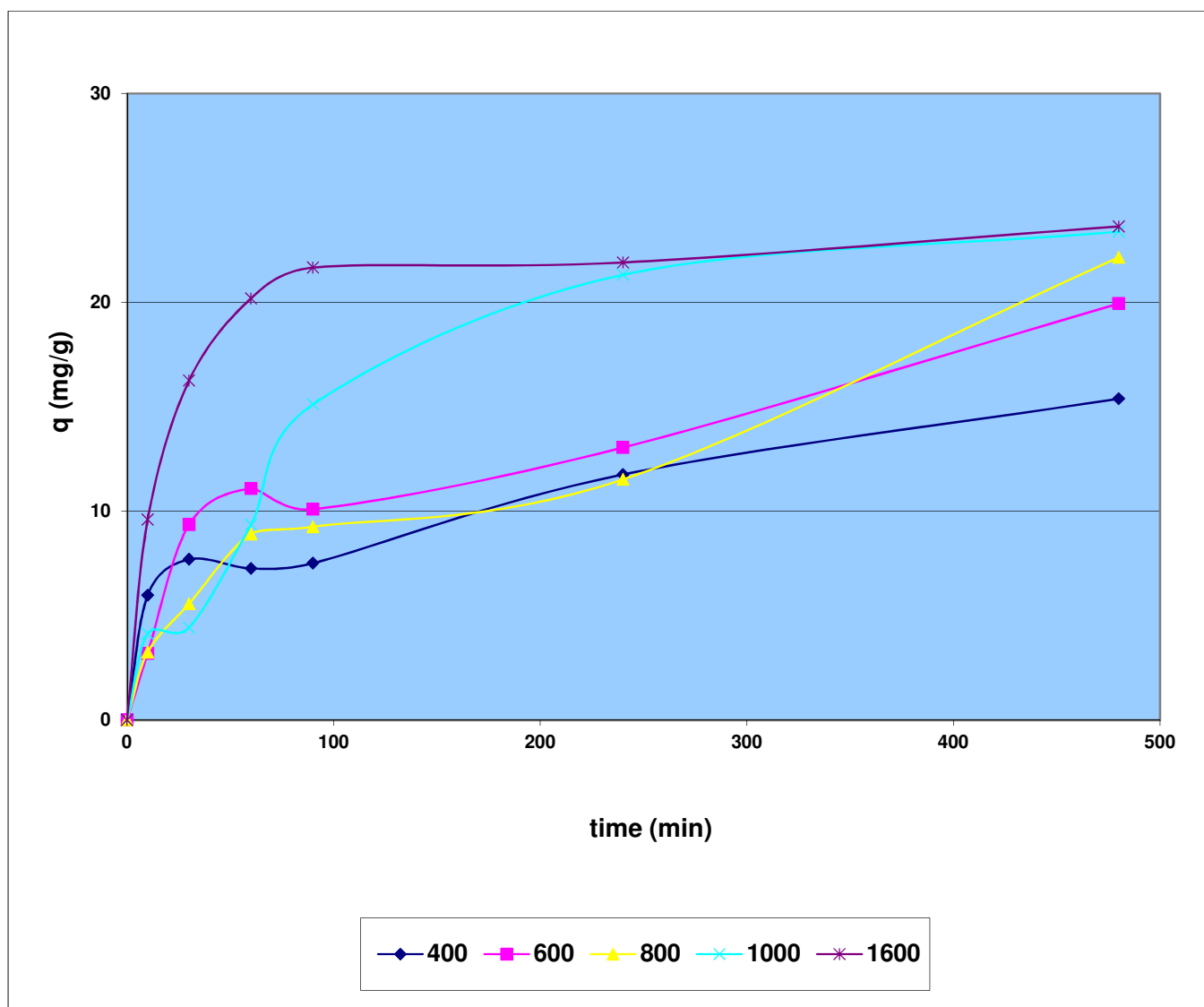
<b>Δείγμα <math>MT_3</math></b>			<b>SSA = <math>m^2/gr</math></b>		
<b>t (min)</b>	<b><math>C_{400}</math></b>	<b><math>C_{600}</math></b>	<b><math>C_{800}</math></b>	<b><math>C_{1000}</math></b>	<b><math>C_{1600}</math></b>
<b>0</b>	441,70	594,85	734,70	951,36	1493,03
<b>10</b>	393,94	569,24	708,70	918,27	1416,21
<b>30</b>	380,15	520,00	690,18	915,91	1363,03
<b>60</b>	383,60	506,21	663,39	876,52	1331,52
<b>90</b>	381,63	514,09	660,64	830,42	1319,70
<b>240</b>	347,65	490,45	642,52	780,79	1317,73
<b>480</b>	318,60	435,30	557,42	764,28	1303,94



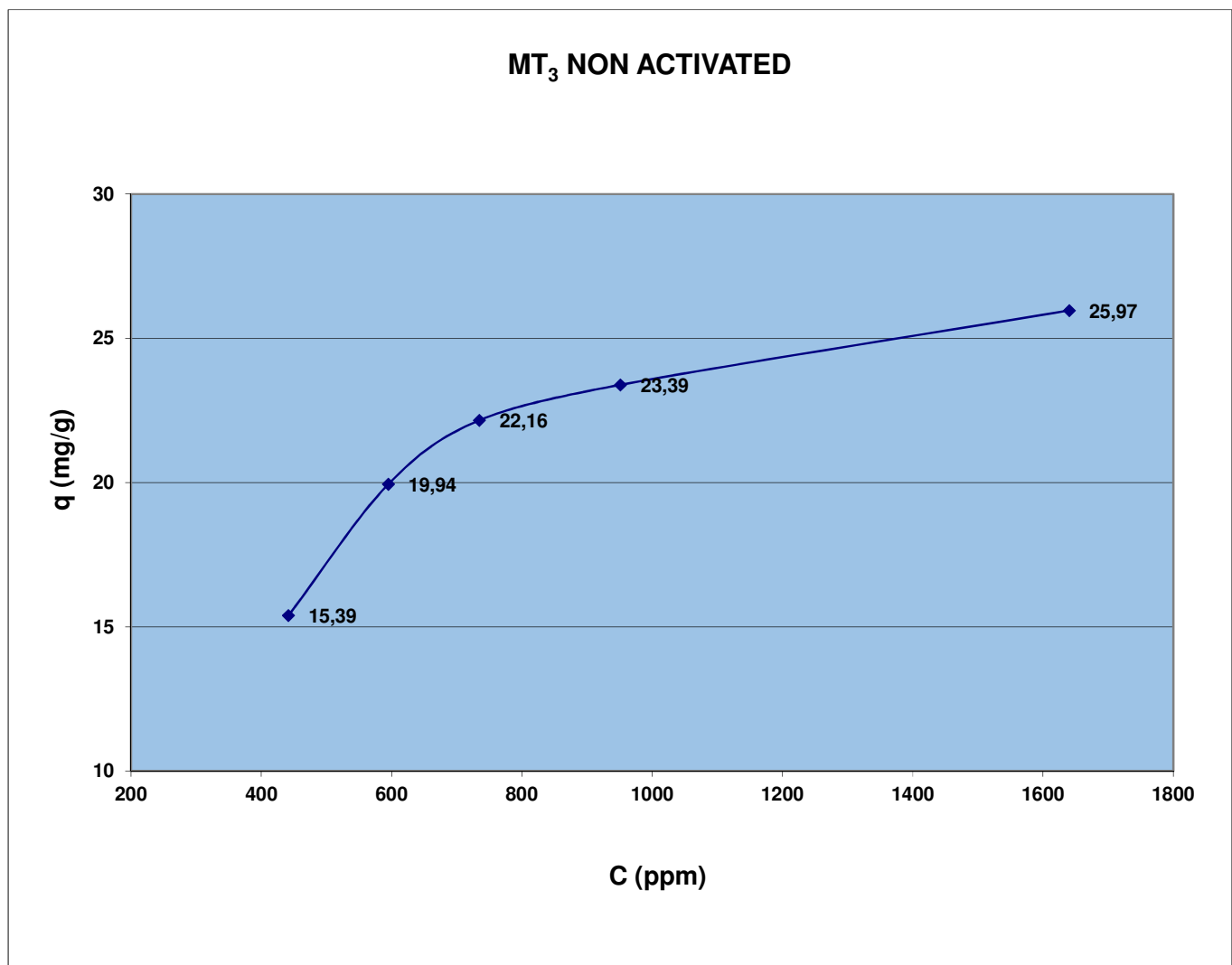
**Πίνακας 6.10 :** Οι αποδόσεις προσρόφησης του  $\text{MT}_3$ .

<b>Δείγμα <math>\text{MT}_3</math></b>										
	<b>C<sub>400</sub></b>		<b>C<sub>600</sub></b>		<b>C<sub>800</sub></b>		<b>C<sub>1000</sub></b>		<b>C<sub>1600</sub></b>	
<b>t (min)</b>	<b>q (mg/g)</b>	<b>pH</b>	<b>q (mg/g)</b>	<b>pH</b>	<b>q (mg/g)</b>	<b>pH</b>	<b>q (mg/g)</b>	<b>pH</b>	<b>q (mg/g)</b>	<b>pH</b>
<b>0</b>	0,00	3,71	0,00	3,57	0,00	3,52	0,00	3,45	0,00	3,44
<b>10</b>	5,97	-	3,20	-	3,25	-	4,14	-	9,60	-
<b>30</b>	7,69	6,13	9,36	6,39	5,56	5,54	4,43	5,55	16,25	5,06
<b>60</b>	7,26	6,50	11,08	6,57	8,91	6,23	9,36	6,02	20,19	5,51
<b>90</b>	7,51	-	10,09	-	9,26	-	15,12	-	21,67	-
<b>240</b>	11,76	7,03	13,05	7,01	11,52	6,89	21,32	6,60	21,91	6,30
<b>480</b>	15,39	5,46	19,94	7,05	22,16	7,06	23,39	7,02	23,64	6,45

**Διάγραμμα 6.9 :** Κινητικές Καμπύλες Μη Ενεργοποιημένου Δείγματος  $MT_3$



**Διάγραμμα 6.10** : Ισόθερμη Καμπύλη Προσρόφησης του  $\text{MT}_3$



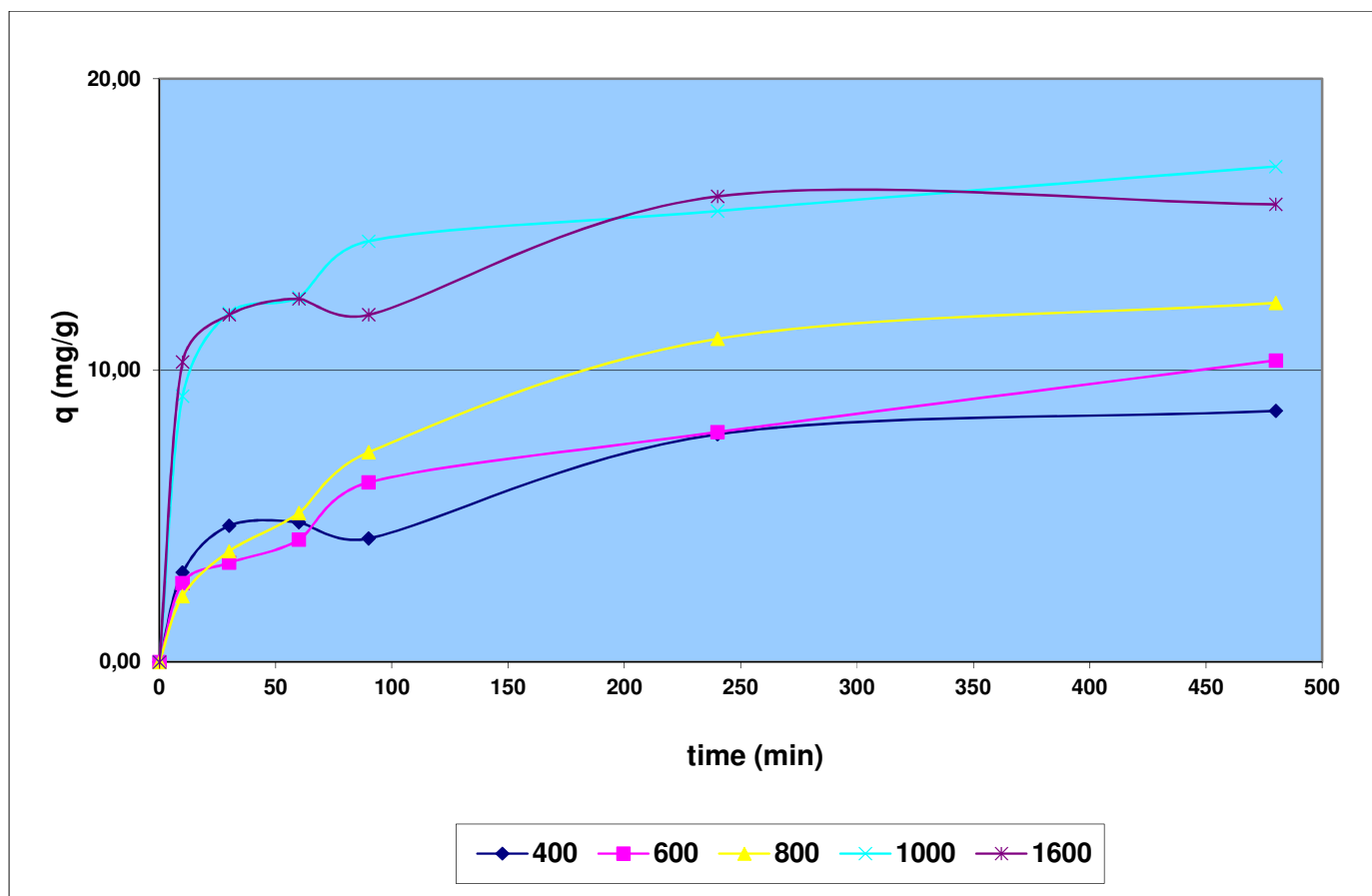
**Πίνακας 6.11** : Αποτελέσματα μελέτης συγκεντρώσεων στο μη ενεργοποιημένο δείγμα MT<sub>7</sub> .

<b>Δείγμα MT<sub>7</sub></b>			<b>SSA = m<sup>2</sup>/gr</b>		
<b>t (min)</b>	<b>C<sub>400</sub></b>	<b>C<sub>600</sub></b>	<b>C<sub>800</sub></b>	<b>C<sub>1000</sub></b>	<b>C<sub>1600</sub></b>
<b>0</b>	368,73	590,91	734,70	939,55	1649,35
<b>10</b>	344,20	569,24	716,62	866,67	1567,10
<b>30</b>	331,40	563,73	704,36	843,82	1554,11
<b>60</b>	330,42	557,42	693,81	839,48	1549,78
<b>90</b>	334,85	541,67	677,18	824,12	1554,11
<b>240</b>	306,29	527,88	646,06	815,85	1521,65
<b>480</b>	299,89	508,18	636,21	803,64	1523,81

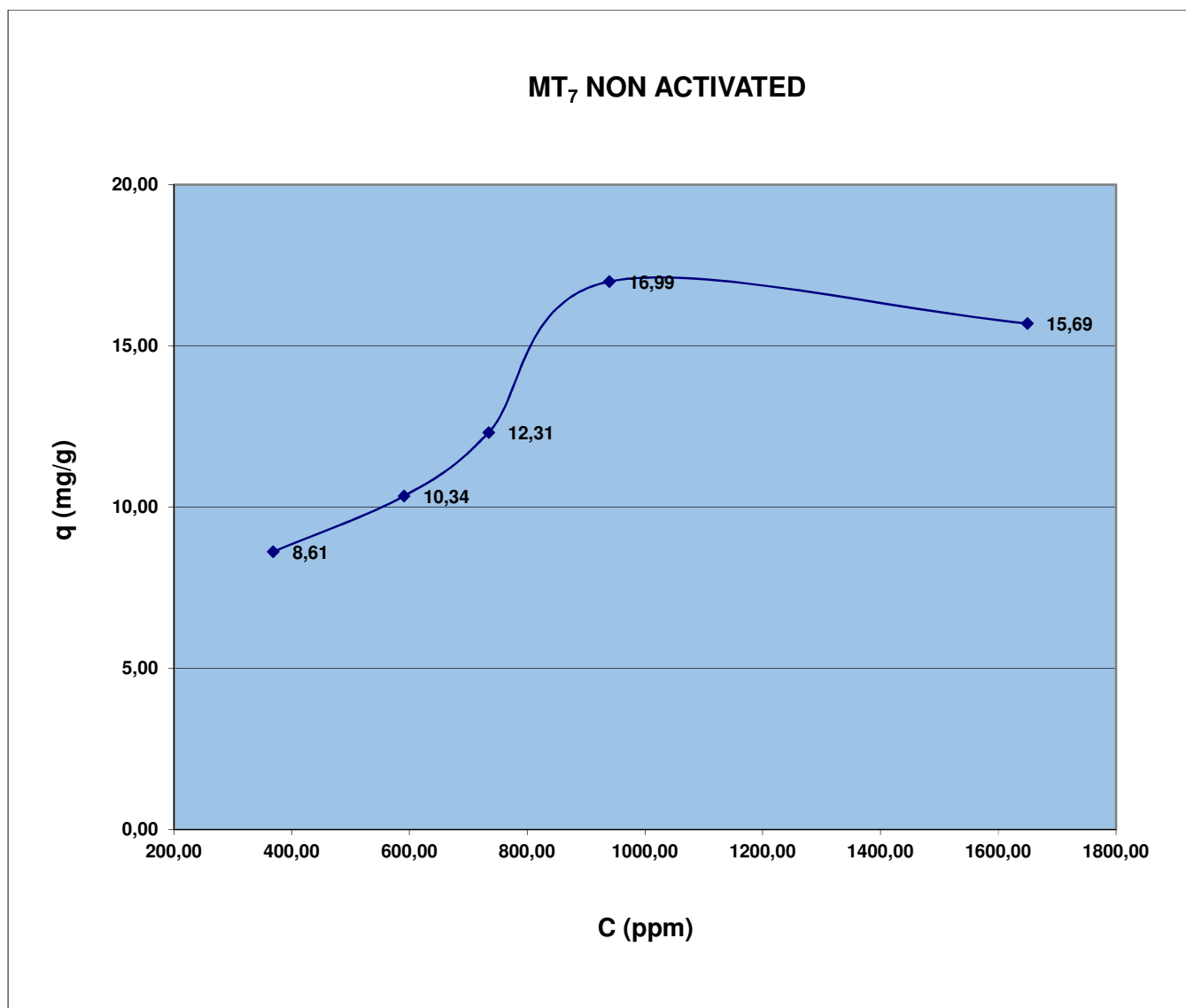
**Πίνακας 6.12 :** Οι αποδόσεις προσρόφησης του MT<sub>7</sub>.

<b>Δείγμα MT<sub>7</sub></b>										
	<b>C<sub>400</sub></b>		<b>C<sub>600</sub></b>		<b>C<sub>800</sub></b>		<b>C<sub>1000</sub></b>		<b>C<sub>1600</sub></b>	
<b>t (min)</b>	<b>q (mg/g)</b>	<b>pH</b>	<b>q (mg/g)</b>	<b>pH</b>	<b>q (mg/g)</b>	<b>pH</b>	<b>q (mg/g)</b>	<b>pH</b>	<b>q (mg/g)</b>	<b>pH</b>
<b>0</b>	0,00	3,78	0,00	3,53	0,00	3,58	0,00	3,51	0,00	3,41
<b>10</b>	3,07	-	2,71	-	2,26	-	9,11	-	10,28	-
<b>30</b>	4,67	4,56	3,40	4,37	3,79	4,23	11,97	4,04	11,90	3,97
<b>60</b>	4,79	4,68	4,19	4,37	5,11	4,32	12,51	4,16	12,45	4,01
<b>90</b>	4,23	-	6,16	-	7,19	-	14,43	-	11,90	-
<b>240</b>	7,80	4,87	7,88	4,58	11,08	4,44	15,46	4,19	15,96	4,15
<b>480</b>	8,61	4,88	10,34	4,58	12,31	4,47	16,99	4,22	15,69	4,17

**Διάγραμμα 6.11 :** Κινητικές Καμπύλες Μη Ενεργοποιημένου Δείγματος  $MT_7$



**Διάγραμμα 6.12 : Ισόθερμη Καμπύλη Προσρόφησης του MT<sub>7</sub>**



**Πίνακας 6.13 :** Αποτελέσματα μελέτης συγκεντρώσεων στο μη ενεργοποιημένο δείγμα MT<sub>8</sub> .

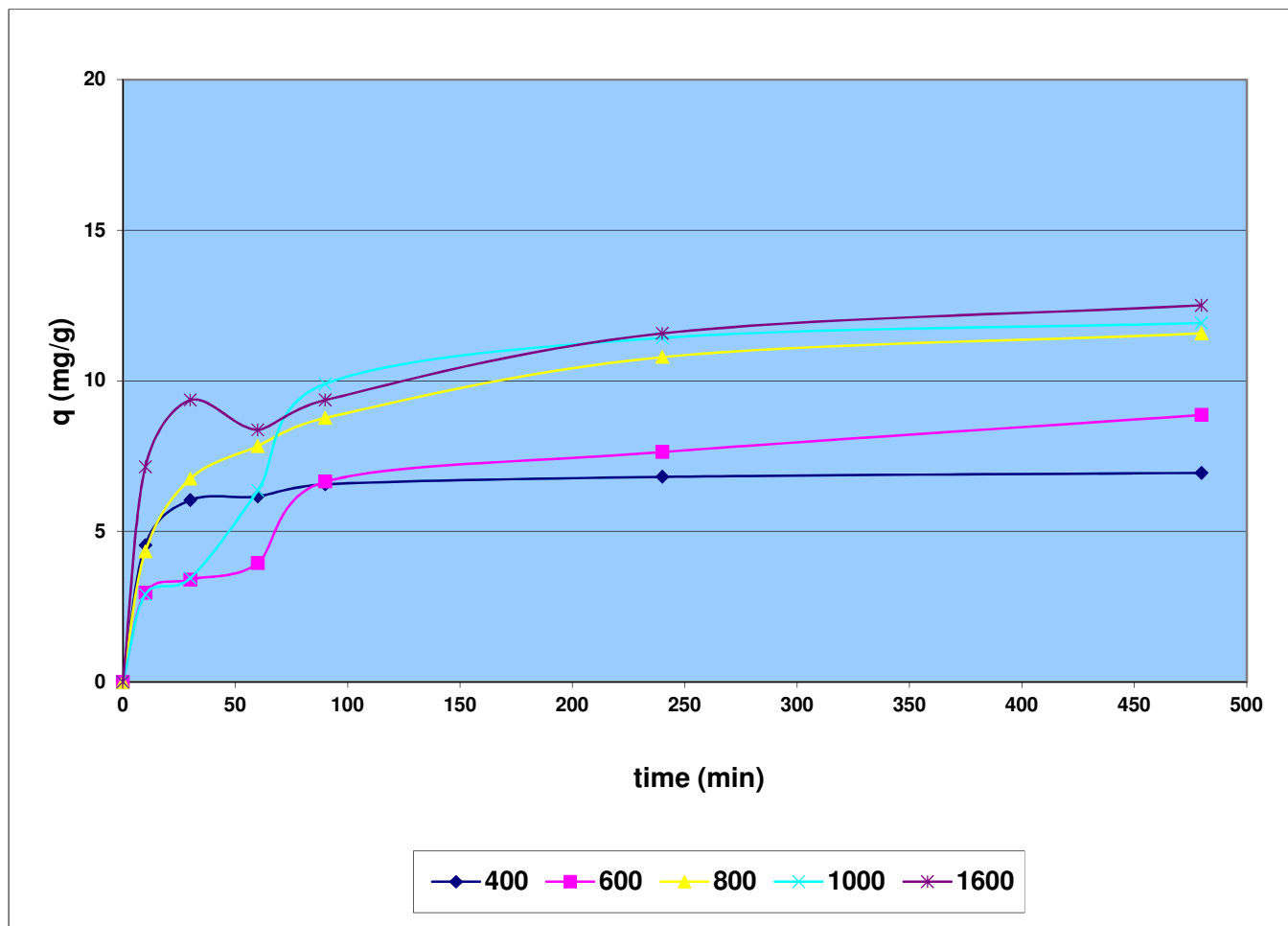
<b>Δείγμα MT<sub>8</sub></b>			<b>SSA = m<sup>2</sup>/gr</b>		
<b>t (min)</b>	<b>C<sub>400</sub></b>	<b>C<sub>600</sub></b>	<b>C<sub>800</sub></b>	<b>C<sub>1000</sub></b>	<b>C<sub>1600</sub></b>
<b>0</b>	363,90	583,03	823,33	937,58	1471,36
<b>10</b>	327,56	559,39	788,67	914,33	1414,24
<b>30</b>	315,64	555,85	769,36	910,00	1396,52
<b>60</b>	314,67	551,52	760,70	886,76	1404,39
<b>90</b>	311,42	529,85	753,21	858,39	1396,52
<b>240</b>	309,44	521,97	737,06	846,18	1378,79
<b>480</b>	308,38	512,12	730,76	842,24	1371,30



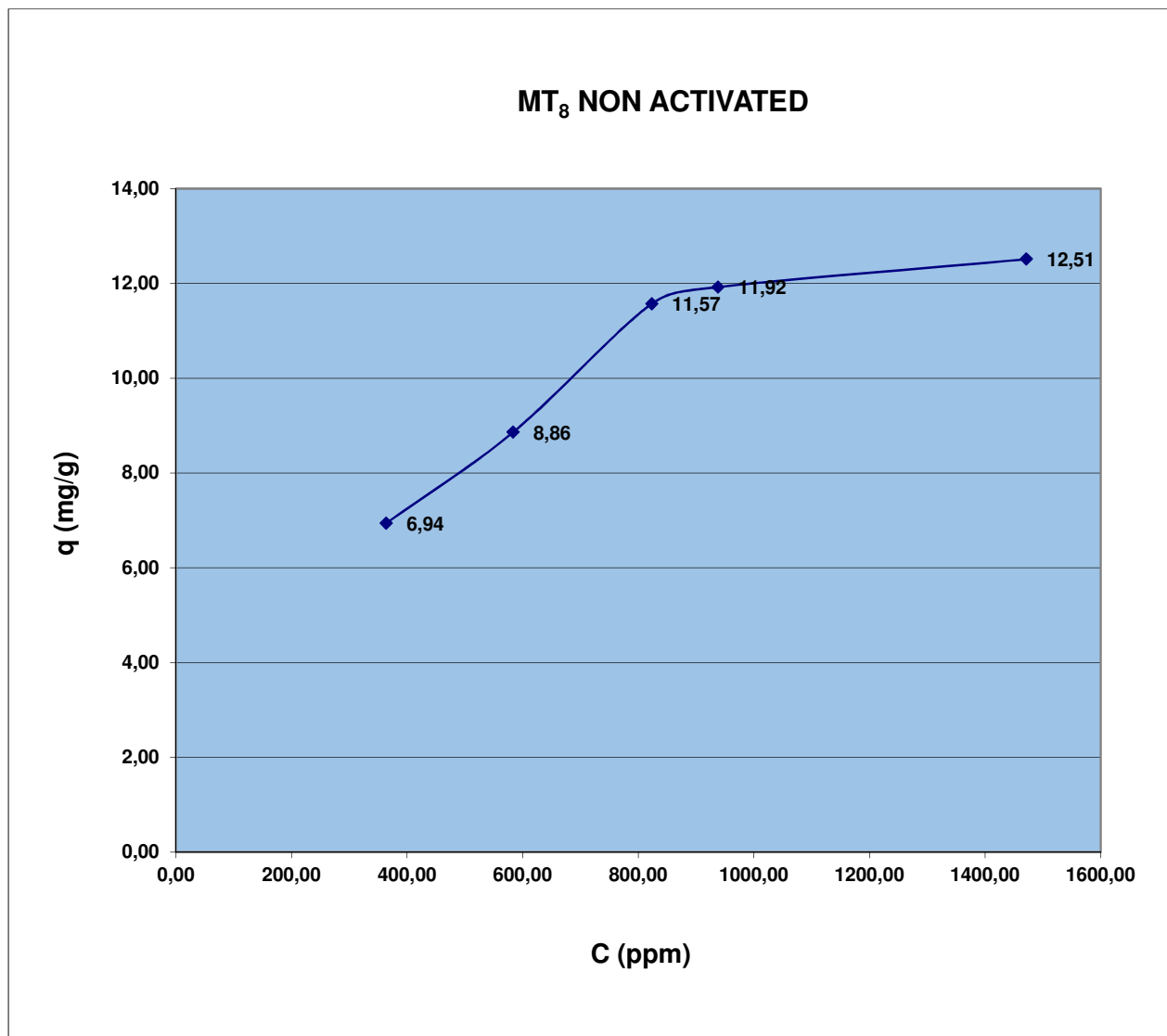
**Πίνακας 6.14 :** Οι αποδόσεις προσρόφησης του MT<sub>8</sub>.

<b>Δείγμα MT<sub>8</sub></b>										
	<b>C<sub>400</sub></b>		<b>C<sub>600</sub></b>		<b>C<sub>800</sub></b>		<b>C<sub>1000</sub></b>		<b>C<sub>1600</sub></b>	
<b>t (min)</b>	<b>q (mg/g)</b>	<b>pH</b>	<b>q (mg/g)</b>	<b>pH</b>	<b>q (mg/g)</b>	<b>pH</b>	<b>q (mg/g)</b>	<b>pH</b>	<b>q (mg/g)</b>	<b>pH</b>
<b>0</b>	0,00	3,71	0,00	3,54	0,00	3,58	0,00	3,46	0,00	3,39
<b>10</b>	4,54	-	2,95	-	4,33	-	2,91	-	7,14	-
<b>30</b>	6,03	4,69	3,40	4,37	6,75	4,29	3,45	4,21	9,36	4,08
<b>60</b>	6,15	4,89	3,94	4,49	7,83	4,42	6,35	4,34	8,37	4,20
<b>90</b>	6,56	-	6,65	-	8,77	-	9,90	-	9,36	-
<b>240</b>	6,81	5,34	7,63	4,89	10,78	4,77	11,42	4,55	11,57	4,40
<b>480</b>	6,94	5,48	8,86	5,04	11,57	4,90	11,92	4,62	12,51	4,41

**Διάγραμμα 6.13 :** Κινητικές Καμπύλες Μη Ενεργοποιημένου Δείγματος  $MT_8$



**Διάγραμμα 6.14 :** Ισόθερμη Καμπύλη Προσρόφησης του  $MT_8$



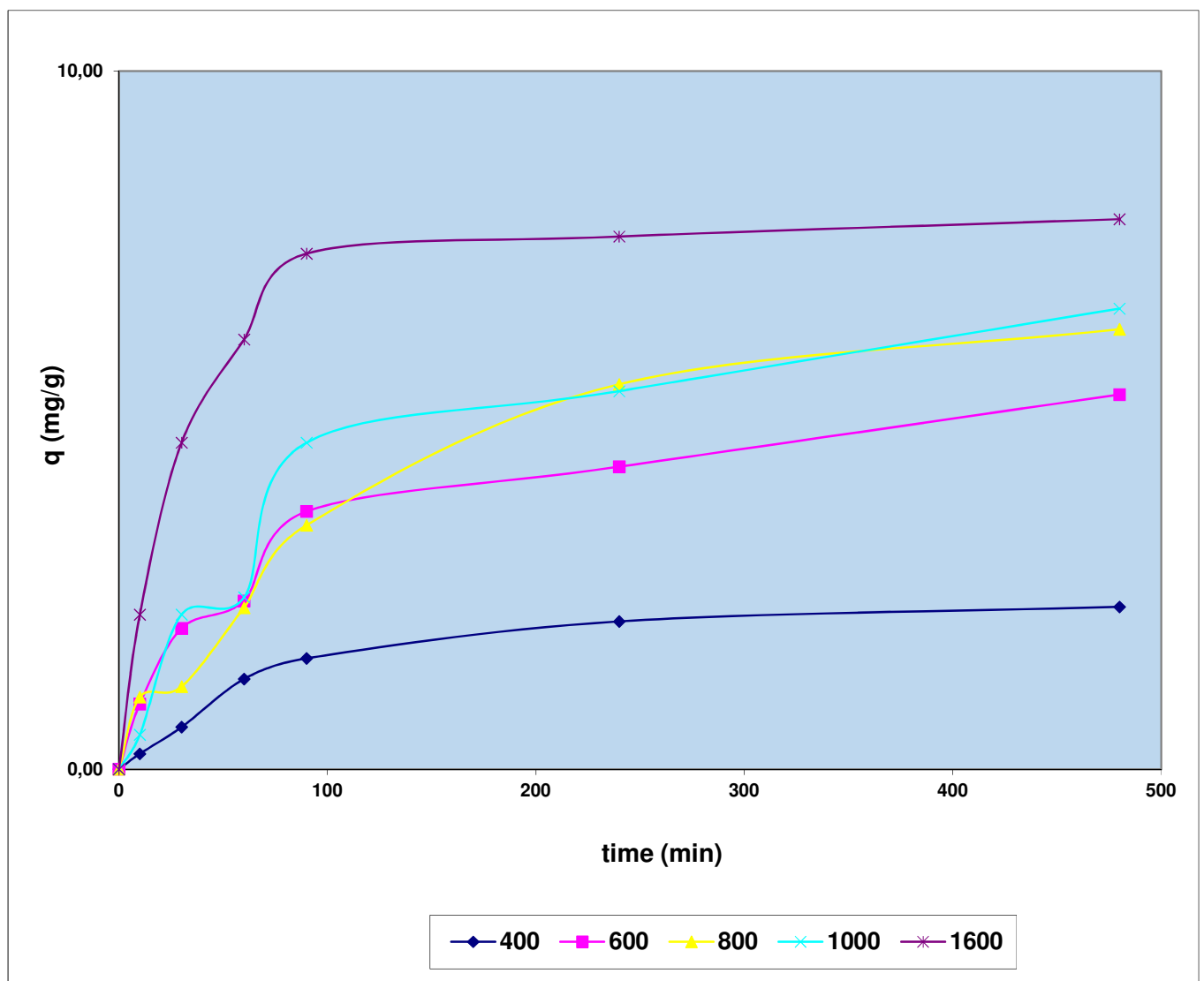
**Πίνακας 6.15 :** Αποτελέσματα μελέτης συγκεντρώσεων στο μη ενεργοποιημένο δείγμα ΚΠ<sub>1</sub> .

<b>Δείγμα ΚΠ<sub>1</sub></b>			<b>SSA = m<sup>2</sup>/gr</b>		
<b>t (min)</b>	<b>C<sub>400</sub></b>	<b>C<sub>600</sub></b>	<b>C<sub>800</sub></b>	<b>C<sub>1000</sub></b>	<b>C<sub>1600</sub></b>
<b>0</b>	372,27	575,15	823,33	947,42	1530,45
<b>10</b>	370,50	567,67	815,06	943,48	1512,73
<b>30</b>	367,45	559,00	813,88	929,70	1493,03
<b>60</b>	361,93	555,85	804,82	927,73	1481,21
<b>90</b>	359,57	545,61	795,36	910,00	1471,36
<b>240</b>	355,33	540,48	779,21	904,09	1469,39
<b>480</b>	353,66	532,21	772,91	894,64	1467,42

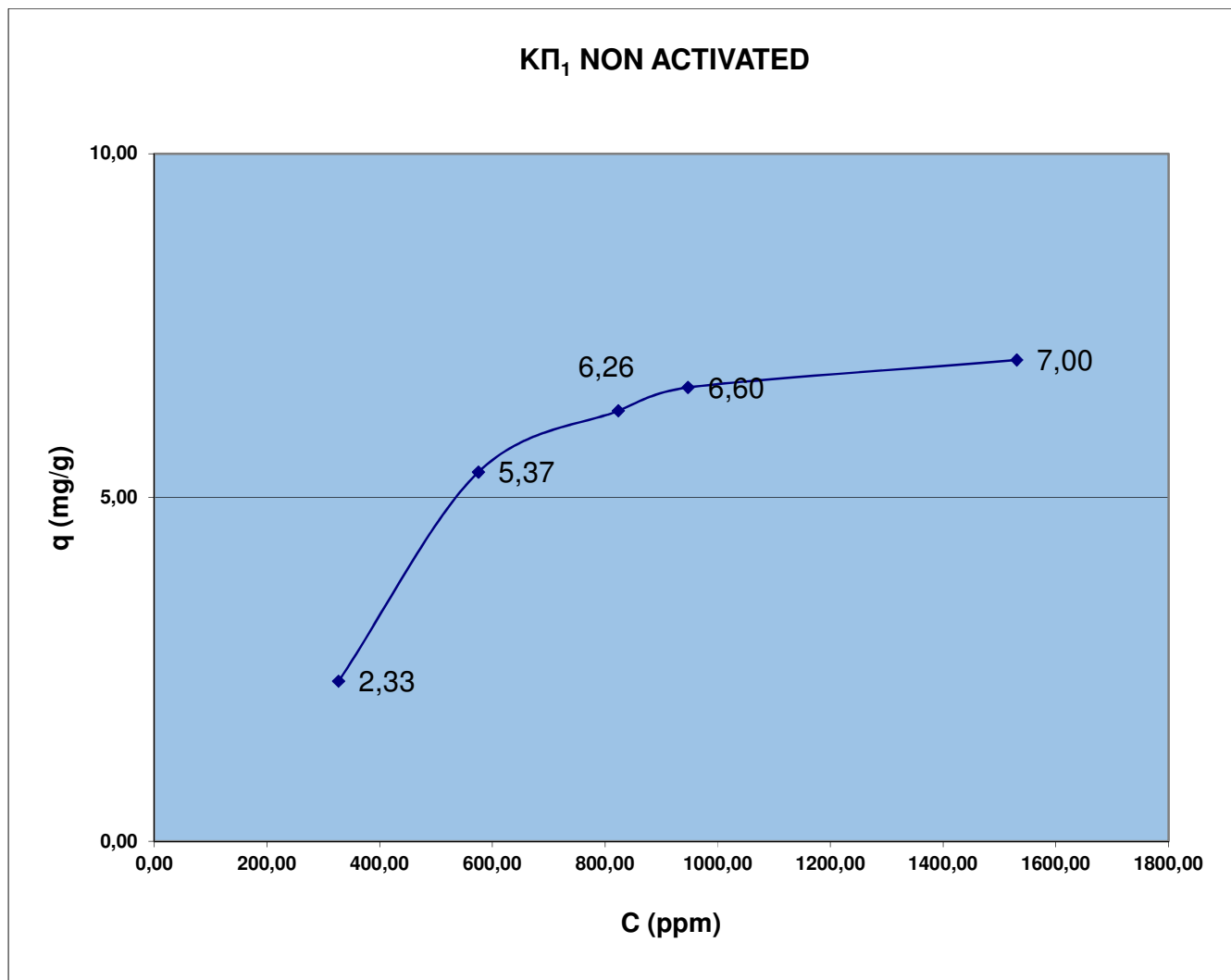
**Πίνακας 6.16 :** Οι αποδόσεις προσρόφησης του ΚΠ<sub>1</sub>.

<b>Δείγμα ΚΠ<sub>1</sub></b>										
	<b>C<sub>400</sub></b>		<b>C<sub>600</sub></b>		<b>C<sub>800</sub></b>		<b>C<sub>1000</sub></b>		<b>C<sub>1600</sub></b>	
<b>t (min)</b>	<b>q (mg/g)</b>	<b>pH</b>	<b>q (mg/g)</b>	<b>pH</b>	<b>q (mg/g)</b>	<b>pH</b>	<b>q (mg/g)</b>	<b>pH</b>	<b>q (mg/g)</b>	<b>pH</b>
<b>0</b>	0,00	3,74	0,00	3,53	0,00	3,58	0,00	3,44	0,00	3,29
<b>10</b>	0,22	-	0,94	-	1,03	-	0,49	-	2,22	-
<b>30</b>	0,60	3,90	2,02	3,68	1,18	3,60	2,22	3,64	4,68	3,54
<b>60</b>	1,29	3,95	2,41	3,68	2,31	3,67	2,46	3,68	6,16	3,57
<b>90</b>	1,59	-	3,69	-	3,50	-	4,68	-	7,39	-
<b>240</b>	2,12	4,02	4,33	3,75	5,52	3,71	5,42	3,66	7,63	3,49
<b>480</b>	2,33	3,90	5,37	3,73	6,30	3,74	6,60	3,65	7,88	3,49

**Διάγραμμα 6.15 :** Κινητικές Καμπύλες Μη Ενεργοποιημένου Δείγματος ΚΠ<sub>1</sub>



**Διάγραμμα 6.16 :** Ισόθερμη Καμπύλη Προσρόφησης του ΚΠ<sub>1</sub>



**Πίνακας 6.17 :** Αποτελέσματα μελέτης συγκεντρώσεων στο μη ενεργοποιημένο δείγμα I<sub>1</sub> .

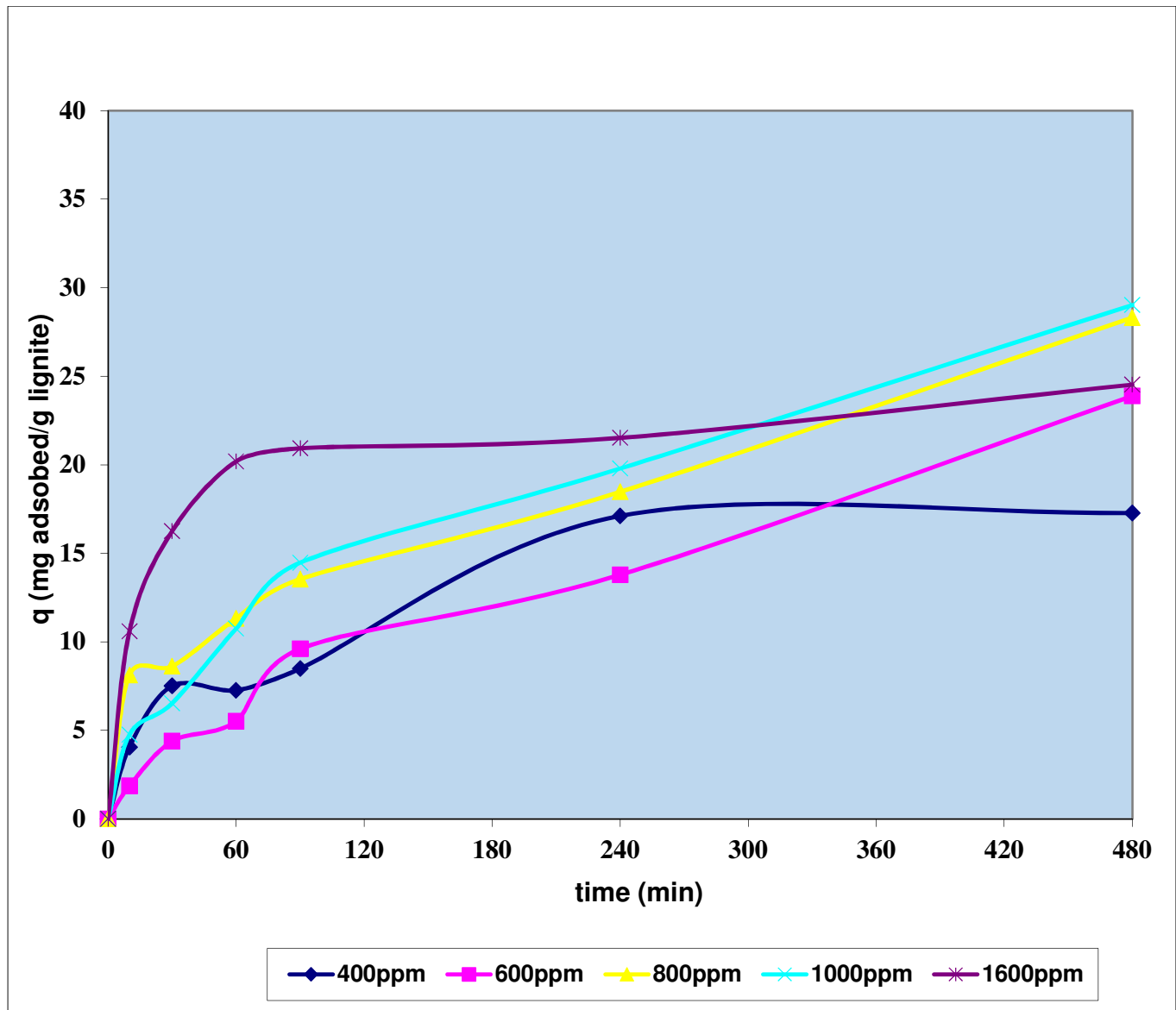
<b>Δείγμα I<sub>1</sub></b>			<b>SSA = m<sup>2</sup>/gr</b>		
<b>t (min)</b>	<b>C<sub>400</sub></b>	<b>C<sub>600</sub></b>	<b>C<sub>800</sub></b>	<b>C<sub>1000</sub></b>	<b>C<sub>1600</sub></b>
<b>0</b>	432,35	567,27	872,58	967,12	1528,48
<b>10</b>	399,85	552,30	807,58	929,07	1443,79
<b>30</b>	372,27	532,21	803,64	914,85	1398,48
<b>60</b>	374,24	523,15	781,97	881,12	1366,97
<b>90</b>	364,24	490,45	764,24	851,38	1361,06
<b>240</b>	295,45	456,97	724,85	808,80	1356,33
<b>480</b>	294,21	376,21	646,06	734,97	1332,30



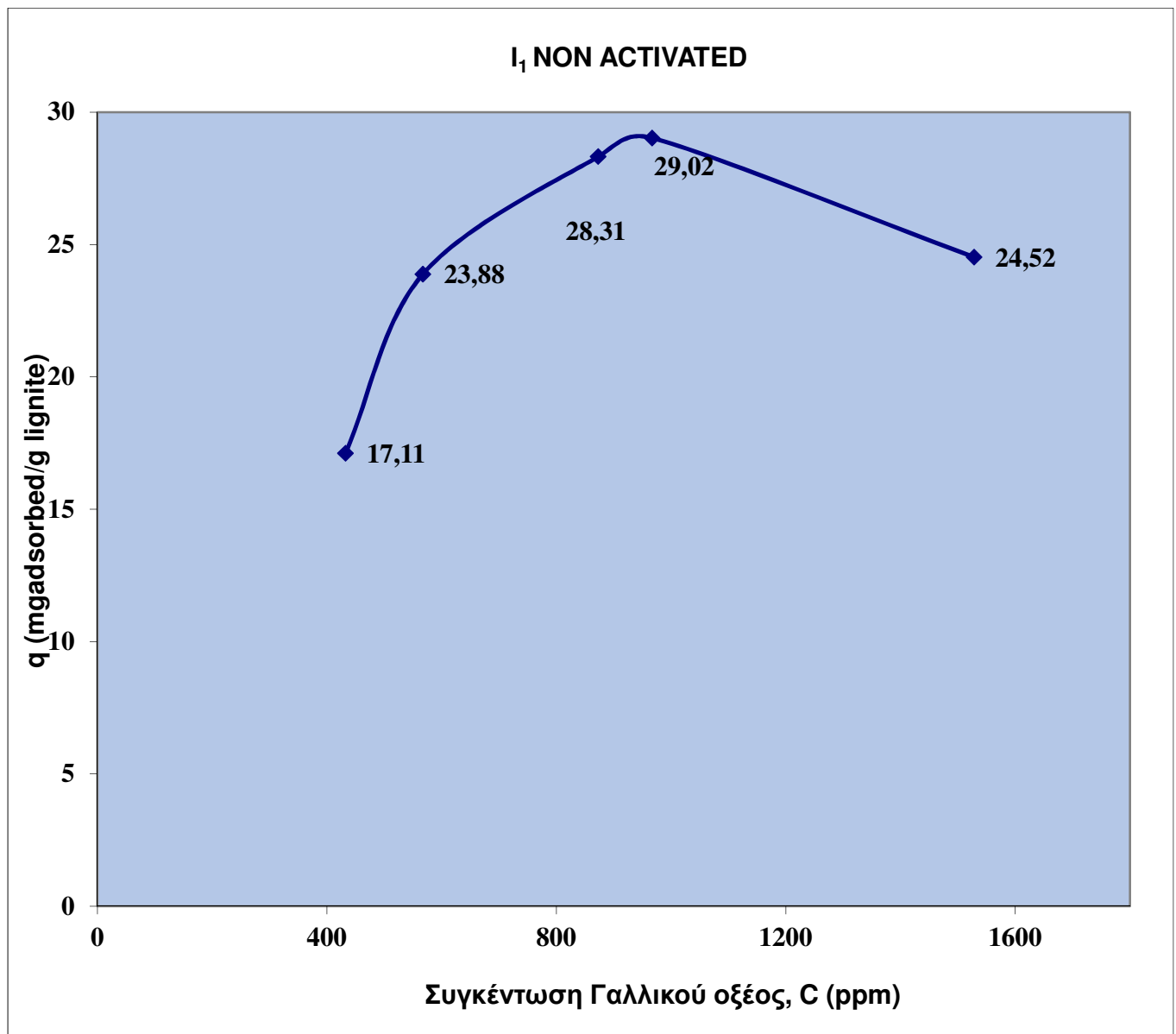
**Πίνακας 6.18 :** Οι αποδόσεις προσρόφησης του I<sub>1</sub> .

Δείγμα I <sub>1</sub>										
	C <sub>400</sub>		C <sub>600</sub>		C <sub>800</sub>		C <sub>1000</sub>		C <sub>1600</sub>	
t (min)	q (mg/g)	pH	q (mg/g)	pH	q (mg/g)	pH	q (mg/g)	pH	q (mg/g)	pH
0	0,00	3,61	0,00	3,27	0,00	3,53	0,00	3,16	0,00	3,27
10	4,06	-	1,87	-	8,12	-	4,76	-	10,59	-
30	7,51	5,35	4,38	5,96	8,62	5,08	6,53	4,76	16,25	4,61
60	7,26	5,74	5,52	6,57	11,33	5,40	10,75	5,05	20,19	4,87
90	8,49	-	9,60	-	13,54	-	14,47	-	20,93	-
240	17,11	6,46	13,79	6,71	18,47	6,09	19,79	5,40	21,52	5,18
480	17,27	6,78	23,88	6,86	28,31	6,36	29,02	5,70	24,52	5,29

**Διάγραμμα 6.17 :** Κινητικές Καμπύλες Μη Ενεργοποιημένου Δείγματος I<sub>1</sub>



**Διάγραμμα 6.18 :** Ισόθερμη Καμπύλη Προσρόφησης του  $I_1$



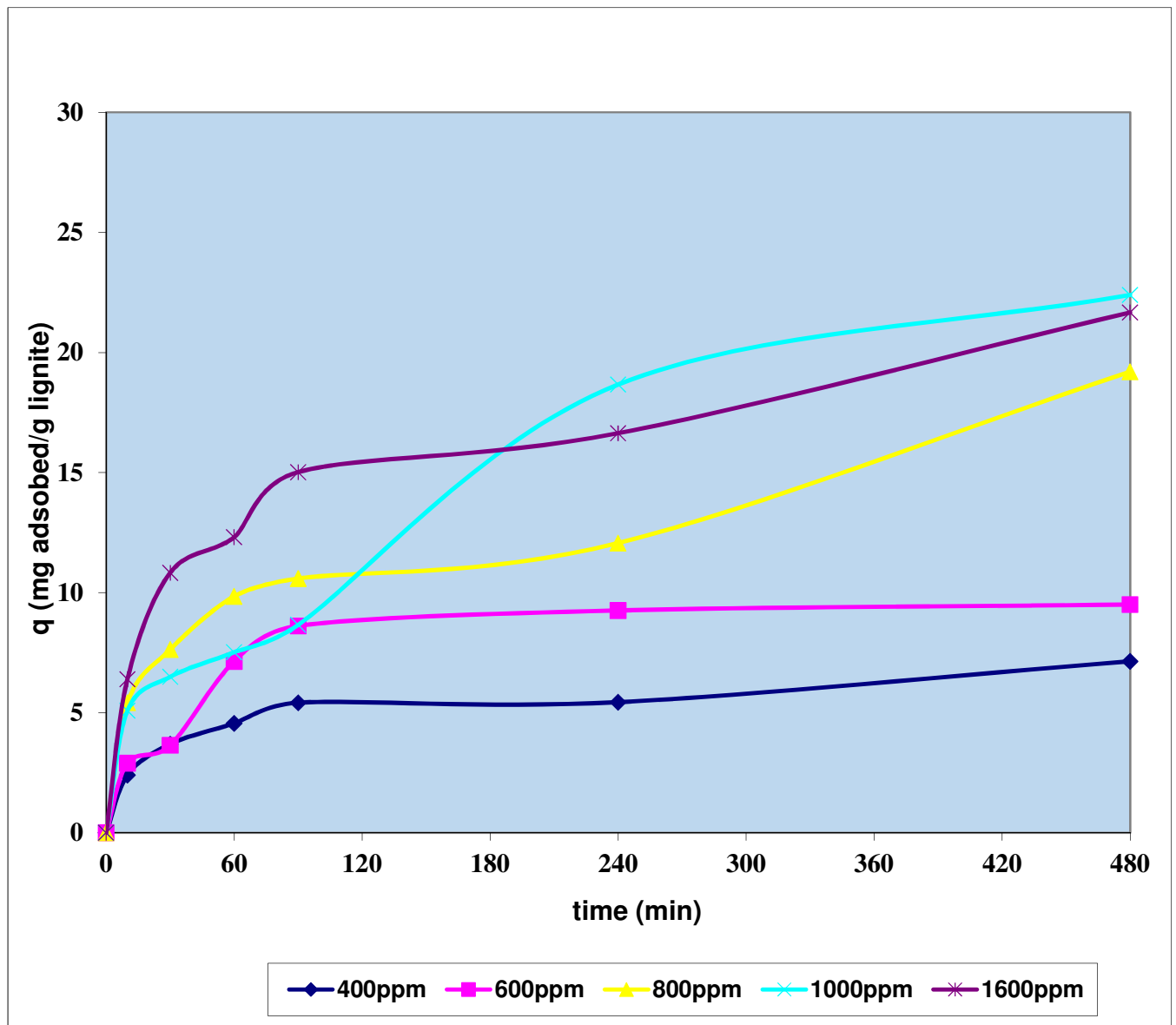
**Πίνακας 6.19 :** Αποτελέσματα μελέτης συγκεντρώσεων στο μη ενεργοποιημένο δείγμα ΠΜ<sub>1</sub> .

<b>Δείγμα ΠΜ<sub>1</sub></b>			<b>SSA = m<sup>2</sup>/gr</b>		
<b>t (min)</b>	<b>C<sub>400</sub></b>	<b>C<sub>600</sub></b>	<b>C<sub>800</sub></b>	<b>C<sub>1000</sub></b>	<b>C<sub>1600</sub></b>
<b>0</b>	435,80	476,67	890,30	1038,96	1536,36
<b>10</b>	416,59	453,42	846,97	998,27	1485,15
<b>30</b>	406,25	447,52	829,24	987,01	1449,70
<b>60</b>	399,36	419,55	811,52	978,79	1437,88
<b>90</b>	392,46	407,73	805,61	969,70	1416,21
<b>240</b>	392,25	402,61	793,79	889,61	1403,21
<b>480</b>	378,67	400,64	736,67	859,74	1363,03

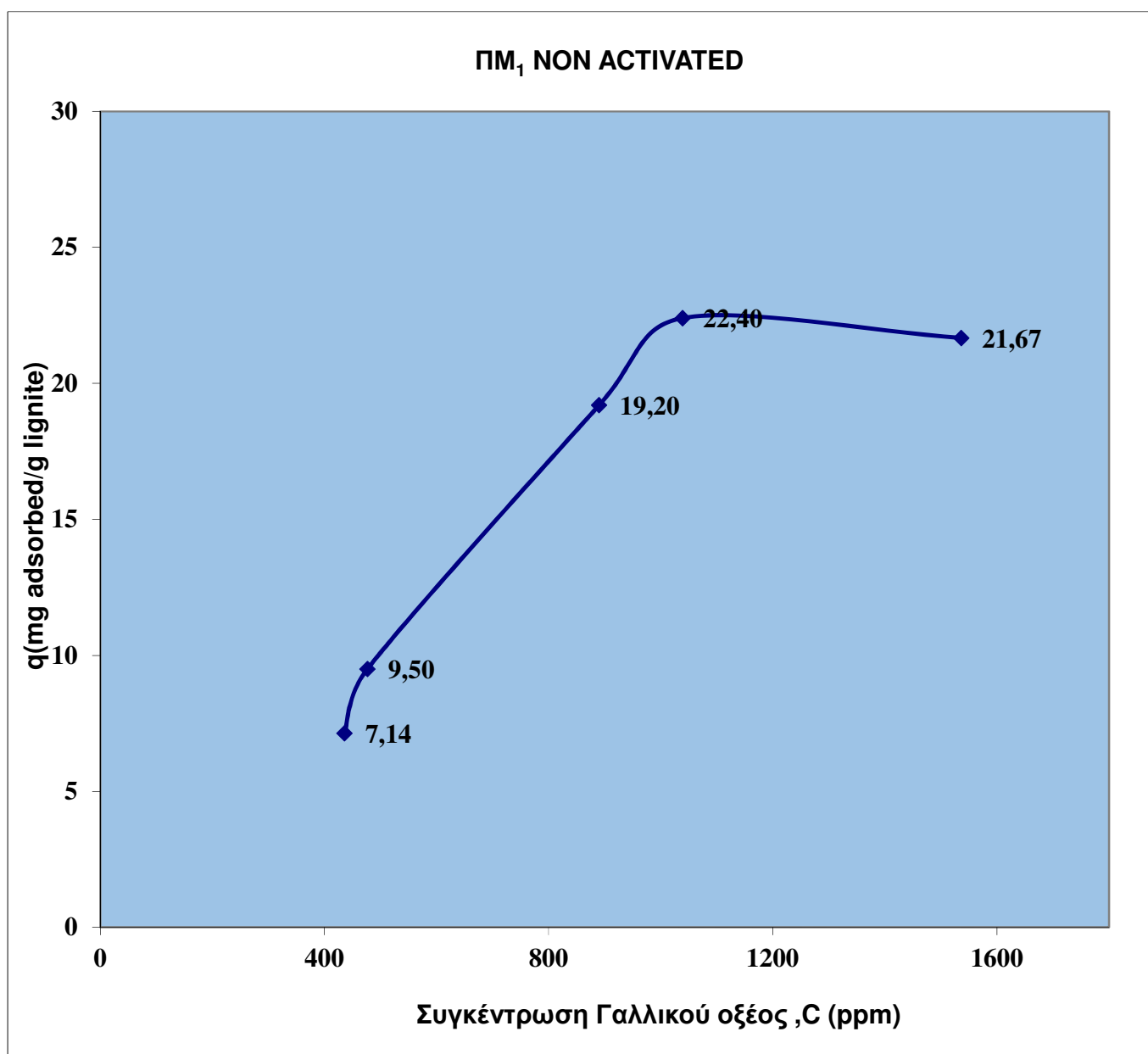
**Πίνακας 6.20 :** Οι αποδόσεις προσρόφησης του ΠΜ<sub>1</sub> .

<b>Δείγμα ΠΜ<sub>1</sub></b>										
	<b>C<sub>400</sub></b>		<b>C<sub>600</sub></b>		<b>C<sub>800</sub></b>		<b>C<sub>1000</sub></b>		<b>C<sub>1600</sub></b>	
<b>t (min)</b>	<b>q (mg/g)</b>	<b>pH</b>	<b>q (mg/g)</b>	<b>pH</b>	<b>q (mg/g)</b>	<b>pH</b>	<b>q (mg/g)</b>	<b>pH</b>	<b>q (mg/g)</b>	<b>pH</b>
<b>0</b>	0,00	3,60	0,00	3,52	0,00	3,51	0,00	3,45	0,00	3,27
<b>10</b>	2,40	-	2,91	-	5,42	-	5,09	-	6,40	-
<b>30</b>	3,69	4,53	3,64	4,36	7,63	4,33	6,49	4,13	10,83	4,04
<b>60</b>	4,55	4,62	7,14	4,48	9,85	4,37	7,52	4,23	12,31	4,09
<b>90</b>	5,42	-	8,62	-	10,59	-	8,66	-	15,02	-
<b>240</b>	5,44	4,86	9,26	4,55	12,06	4,51	18,67	4,31	16,64	4,08
<b>480</b>	7,14	4,88	9,50	4,63	19,20	4,55	22,40	4,28	21,67	4,03

**Διάγραμμα 6.19 :** Κινητικές Καμπύλες Μη Ενεργοποιημένου Δείγματος ΠΜ<sub>1</sub>



**Διάγραμμα 6.20 :** Ισόθερμη Καμπύλη Προσρόφησης του ΠΜ<sub>1</sub>



**Πίνακας 6.21 :** Αποτελέσματα μελέτης συγκεντρώσεων στο μη ενεργοποιημένο δείγμα ΠΠ<sub>1</sub> .

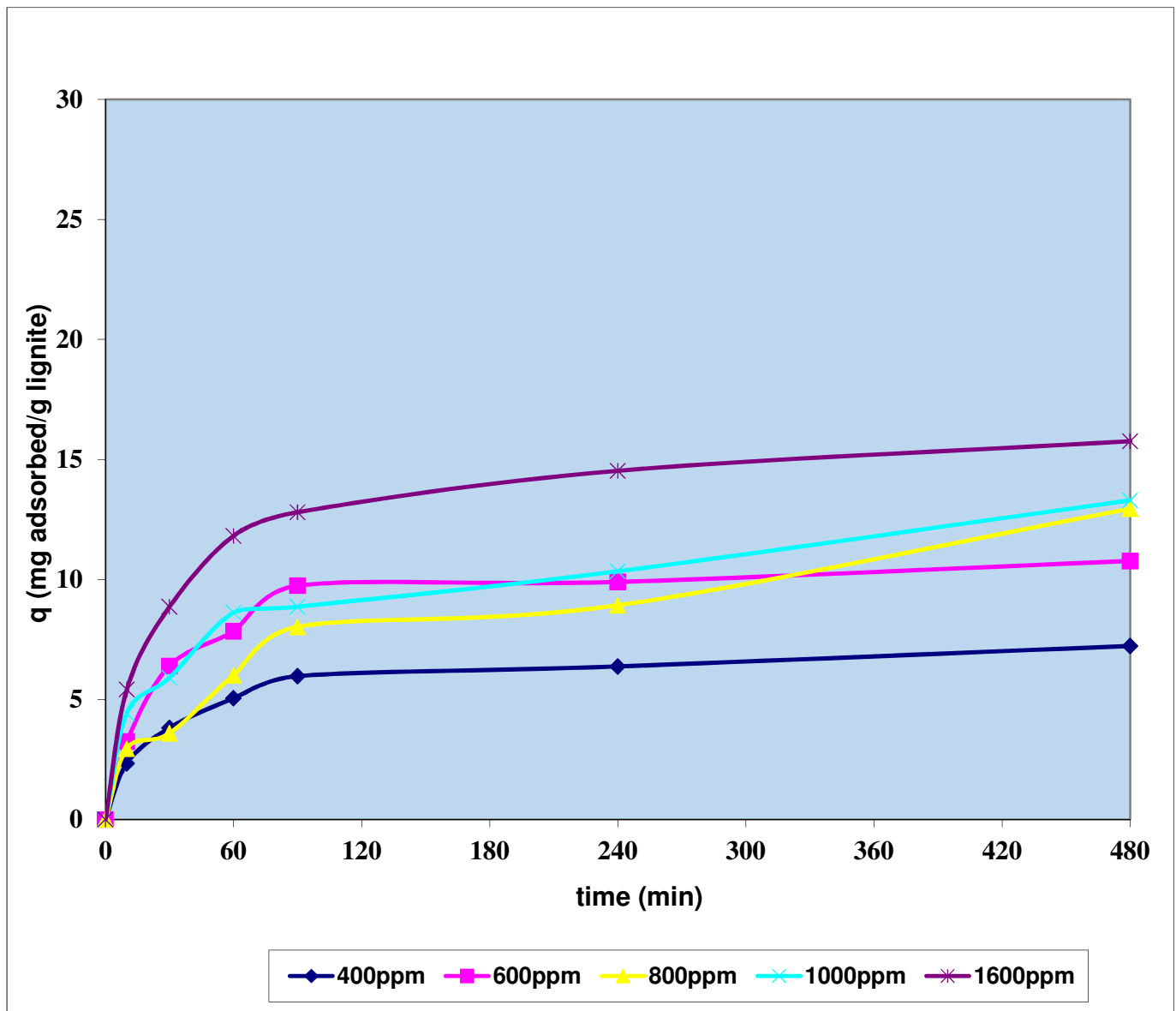
<b>Δείγμα ΠΠ<sub>1</sub></b>			<b>SSA = m<sup>2</sup>/gr</b>		
<b>t (min)</b>	<b>C<sub>400</sub></b>	<b>C<sub>600</sub></b>	<b>C<sub>800</sub></b>	<b>C<sub>1000</sub></b>	<b>C<sub>1600</sub></b>
<b>0</b>	457,95	521,65	880,45	949,39	1524,55
<b>10</b>	439,24	495,67	856,82	913,94	1481,21
<b>30</b>	427,42	470,43	851,70	902,12	1453,64
<b>60</b>	417,58	458,87	832,39	880,45	1430,00
<b>90</b>	410,19	443,72	816,24	878,48	1422,12
<b>240</b>	406,94	442,47	809,07	866,67	1408,33
<b>480</b>	400,14	435,50	776,89	843,03	1398,48



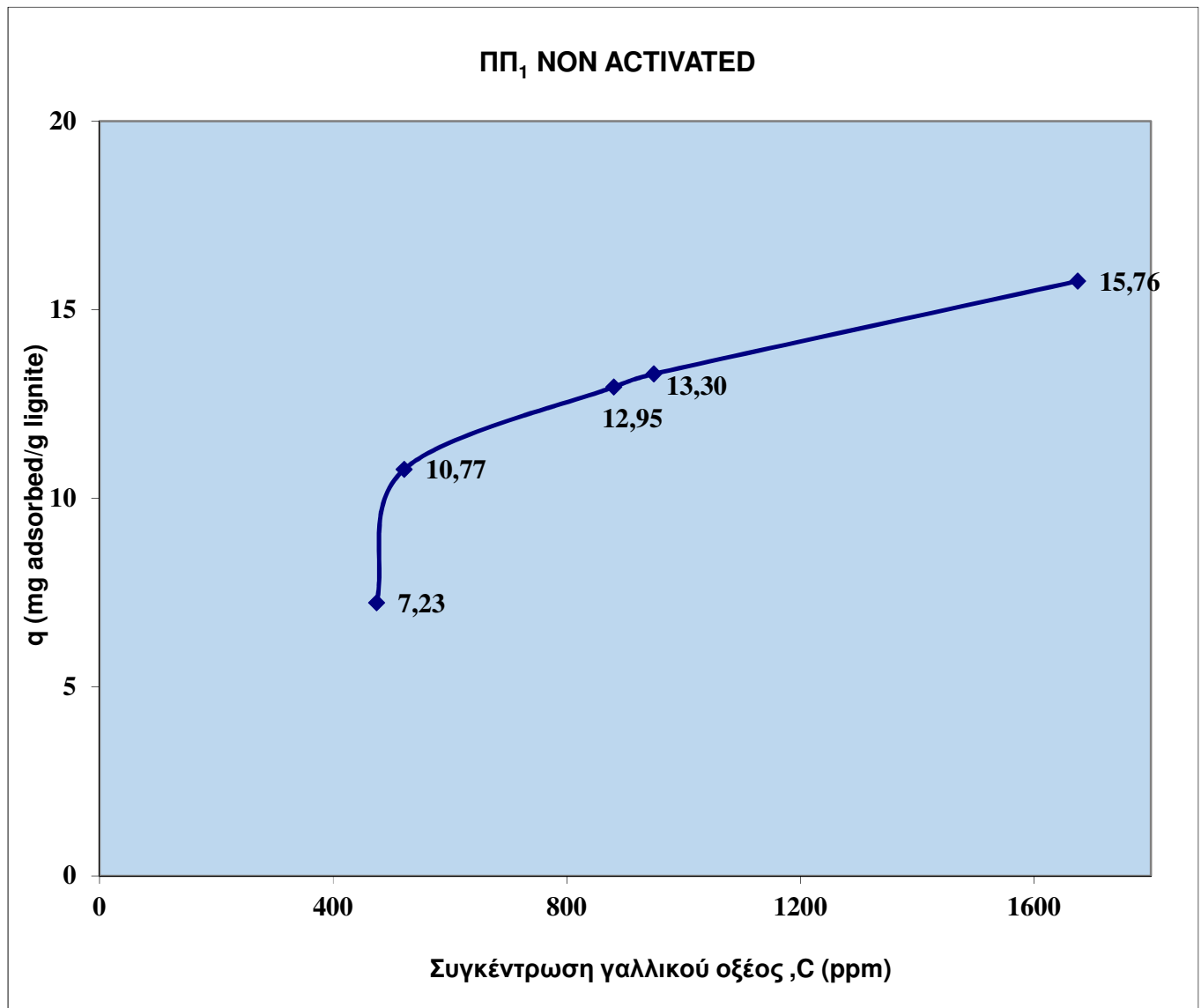
**Πίνακας 6.22 :** Οι αποδόσεις προσρόφησης του ΠΠ<sub>1</sub> .

<b>Δείγμα ΠΠ<sub>1</sub></b>										
	<b>C<sub>400</sub></b>		<b>C<sub>600</sub></b>		<b>C<sub>800</sub></b>		<b>C<sub>1000</sub></b>		<b>C<sub>1600</sub></b>	
<b>t (min)</b>	<b>q (mg/g)</b>	<b>pH</b>	<b>q (mg/g)</b>	<b>pH</b>	<b>q (mg/g)</b>	<b>pH</b>	<b>q (mg/g)</b>	<b>pH</b>	<b>q (mg/g)</b>	<b>pH</b>
<b>0</b>	0,00	3,59	0,00	3,52	0,00	3,50	0,00	3,41	0,00	3,26
<b>10</b>	2,34	-	3,25	-	2,95	-	4,43	-	5,42	-
<b>30</b>	3,82	4,16	6,40	4,10	3,59	4,03	5,91	3,88	8,86	3,79
<b>60</b>	5,05	4,24	7,85	4,15	6,01	4,08	8,62	3,95	11,82	3,83
<b>90</b>	5,97	-	9,74	-	8,03	-	8,86	-	12,80	-
<b>240</b>	6,38	4,36	9,90	4,18	8,92	4,13	10,34	4,00	14,53	3,85
<b>480</b>	7,23	4,30	10,77	4,22	12,95	3,79	13,30	4,00	15,76	3,84

**Διάγραμμα 6.21 :** Κινητικές Καμπύλες Μη Ενεργοποιημένου Δείγματος ΠΠ<sub>1</sub>



**Διάγραμμα 6.22 :** Ισόθερμη Καμπύλη Προσρόφησης του ΠΠ<sub>1</sub>



- **Ενεργοποιημένα Δείγματα – Activated Samples**

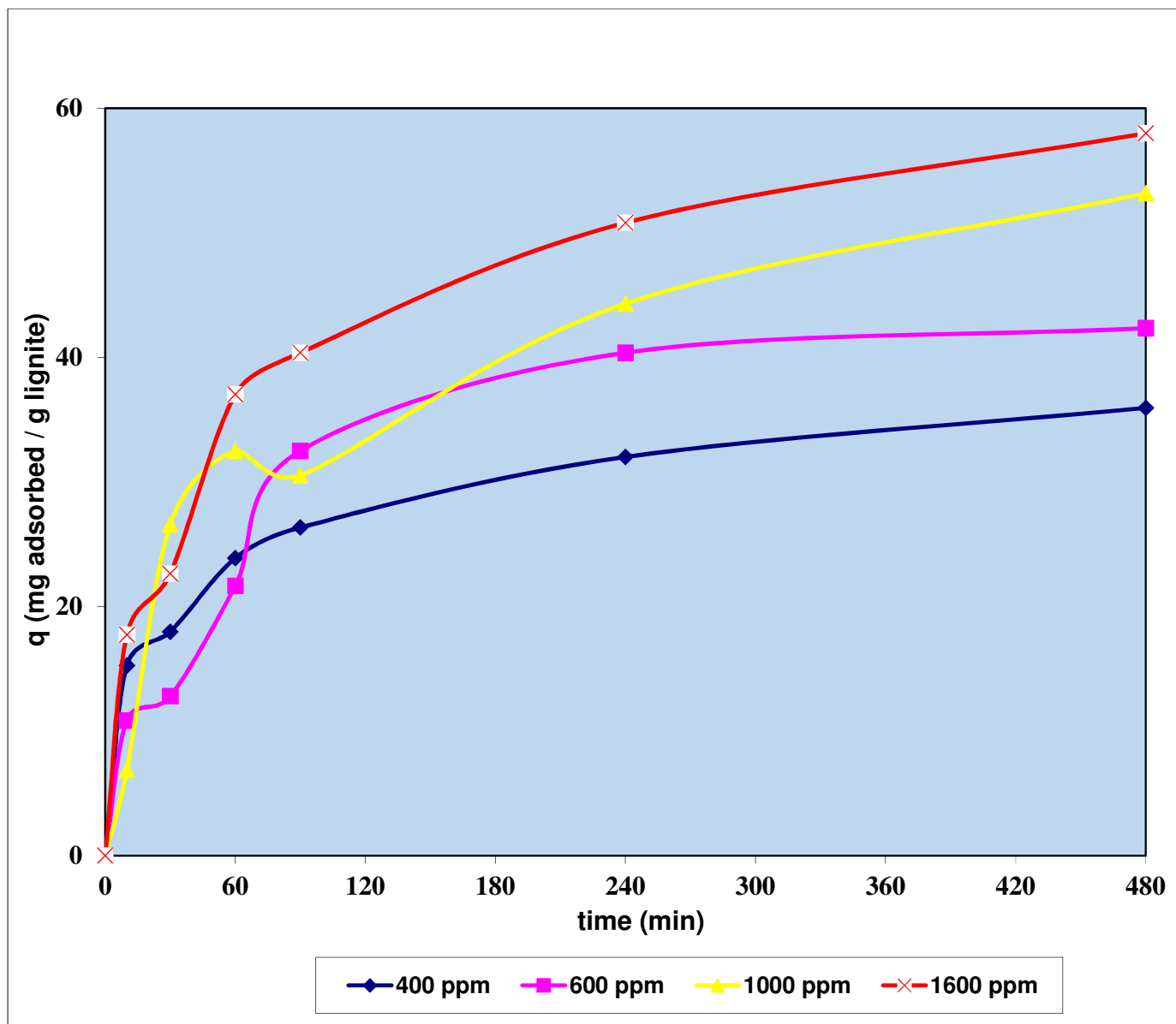
**Πίνακας 6.23 :** Αποτελέσματα μελέτης συγκεντρώσεων στο ενεργοποιημένο δείγμα TH<sub>4</sub> .

<b>Δείγμα TH<sub>4</sub> ACT</b>			<b>SSA = m<sup>2</sup>/gr</b>	
<b>t (min)</b>	<b>C<sub>400</sub></b>	<b>C<sub>600</sub></b>	<b>C<sub>1000</sub></b>	<b>C<sub>1600</sub></b>
<b>0</b>	383,60	577,12	955,30	1532,42
<b>10</b>	353,07	555,45	941,52	1496,97
<b>30</b>	347,65	551,52	902,12	1487,12
<b>60</b>	335,83	533,79	890,30	1458,36
<b>90</b>	330,91	512,12	894,24	1451,67
<b>240</b>	319,58	496,36	866,67	1430,79
<b>480</b>	311,70	492,42	848,94	1416,21

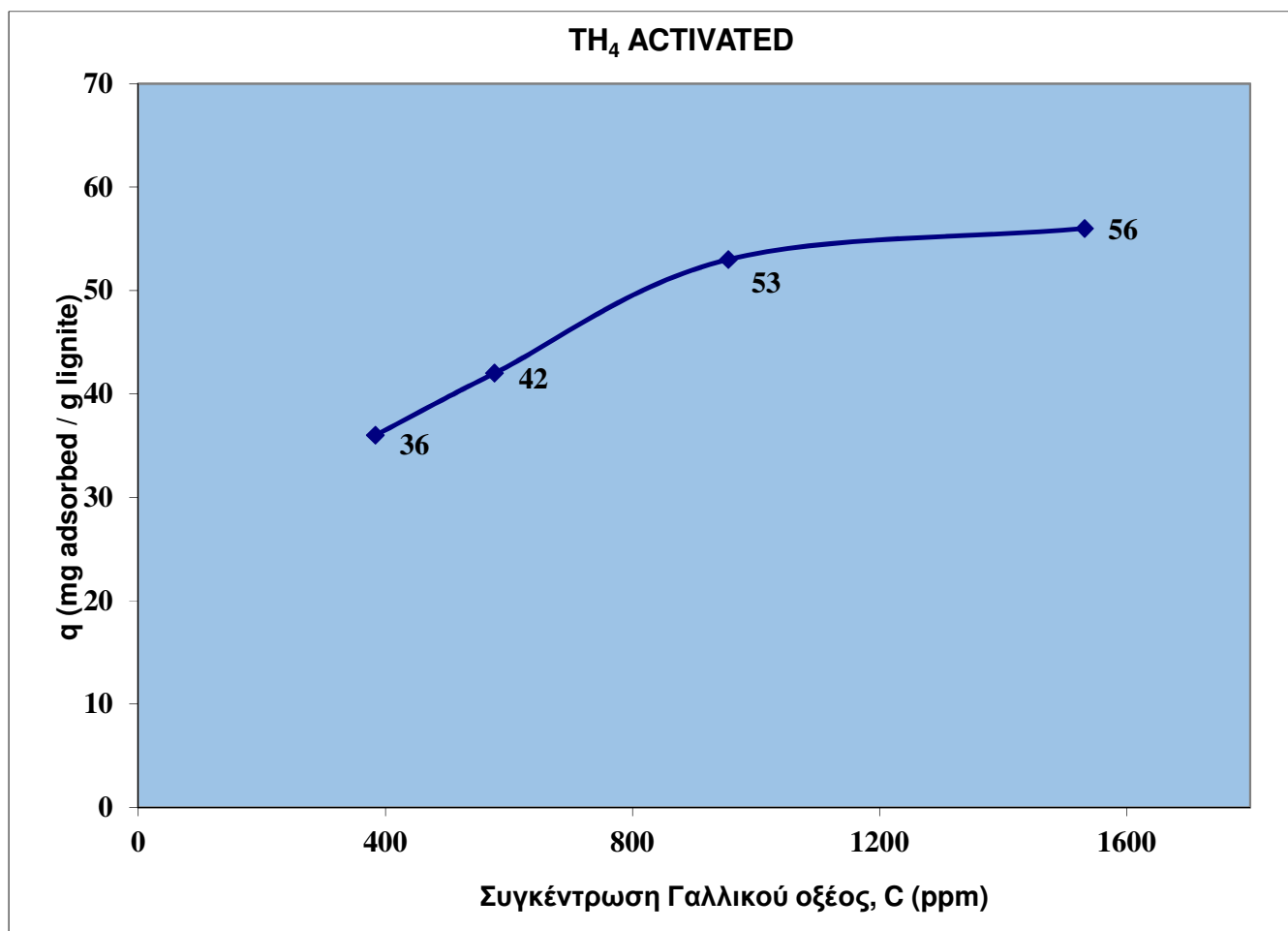
**Πίνακας 6.24 :** Οι αποδόσεις προσρόφησης του TH<sub>4</sub> .

<b>Δείγμα TH<sub>4</sub> ACT</b>								
	<b>C<sub>400</sub></b>		<b>C<sub>600</sub></b>		<b>C<sub>1000</sub></b>		<b>C<sub>1600</sub></b>	
<b>t (min)</b>	<b>q (mg/g)</b>	<b>pH</b>	<b>q (mg/g)</b>	<b>pH</b>	<b>q (mg/g)</b>	<b>pH</b>	<b>q (mg/g)</b>	<b>pH</b>
<b>0</b>	0,00	3,68	0,00	3,55	0,00	3,46	0,00	3,35
<b>10</b>	15,27	-	10,38	-	6,89	-	17,73	-
<b>30</b>	17,97	4,69	12,80	4,69	26,59	4,25	22,65	3,95
<b>60</b>	23,88	5,28	21,67	4,91	32,50	4,34	37,03	4,03
<b>90</b>	26,34	-	32,50	-	30,53	-	40,38	-
<b>240</b>	32,01	6,25	40,38	5,52	44,32	4,63	50,82	4,24
<b>480</b>	35,95	6,44	42,35	6,01	53,18	4,74	58,11	4,32

**Διάγραμμα 6.23 :** Κινητικές Καμπύλες Ενεργοποιημένου Δείγματος  $\text{TiH}_4$



**Διάγραμμα 6.24 :** Ισόθερμη Καμπύλη Προσρόφησης του  $\text{TH}_4$



**Πίνακας 6.25 :** Αποτελέσματα μελέτης συγκεντρώσεων στο ενεργοποιημένο δείγμα TH<sub>7</sub> .

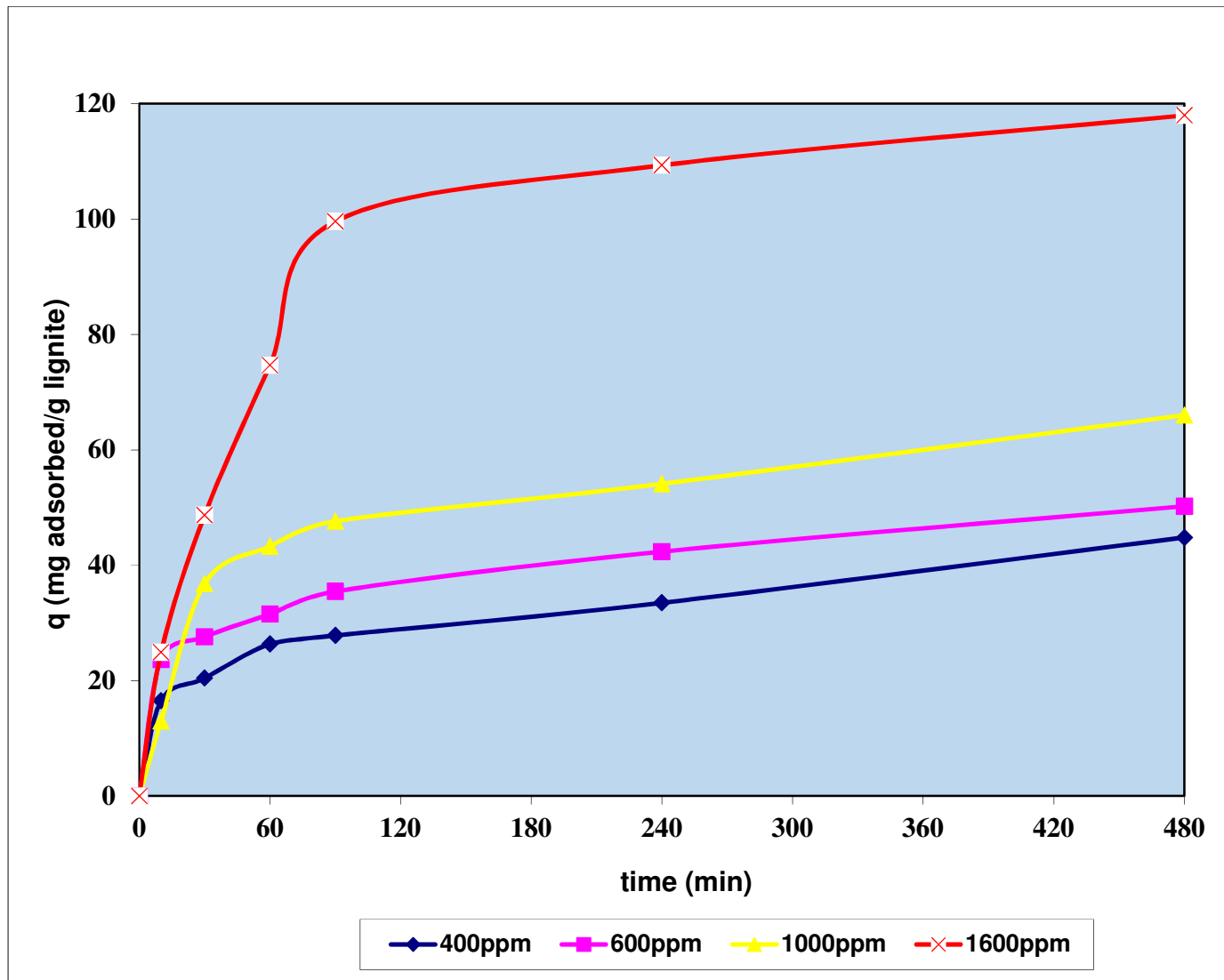
<b>Δείγμα TH<sub>7</sub> ACT</b>			<b>SSA = m<sup>2</sup>/gr</b>	
<b>t (min)</b>	<b>C<sub>400</sub></b>	<b>C<sub>600</sub></b>	<b>C<sub>1000</sub></b>	<b>C<sub>1600</sub></b>
<b>0</b>	392,95	596,82	984,85	1619,05
<b>10</b>	359,96	549,55	958,87	1569,26
<b>30</b>	352,08	541,67	911,26	1521,65
<b>60</b>	340,27	533,79	898,27	1469,70
<b>90</b>	337,31	525,91	889,61	1419,91
<b>240</b>	325,98	512,12	876,62	1400,43
<b>480</b>	303,33	496,36	852,81	1383,12



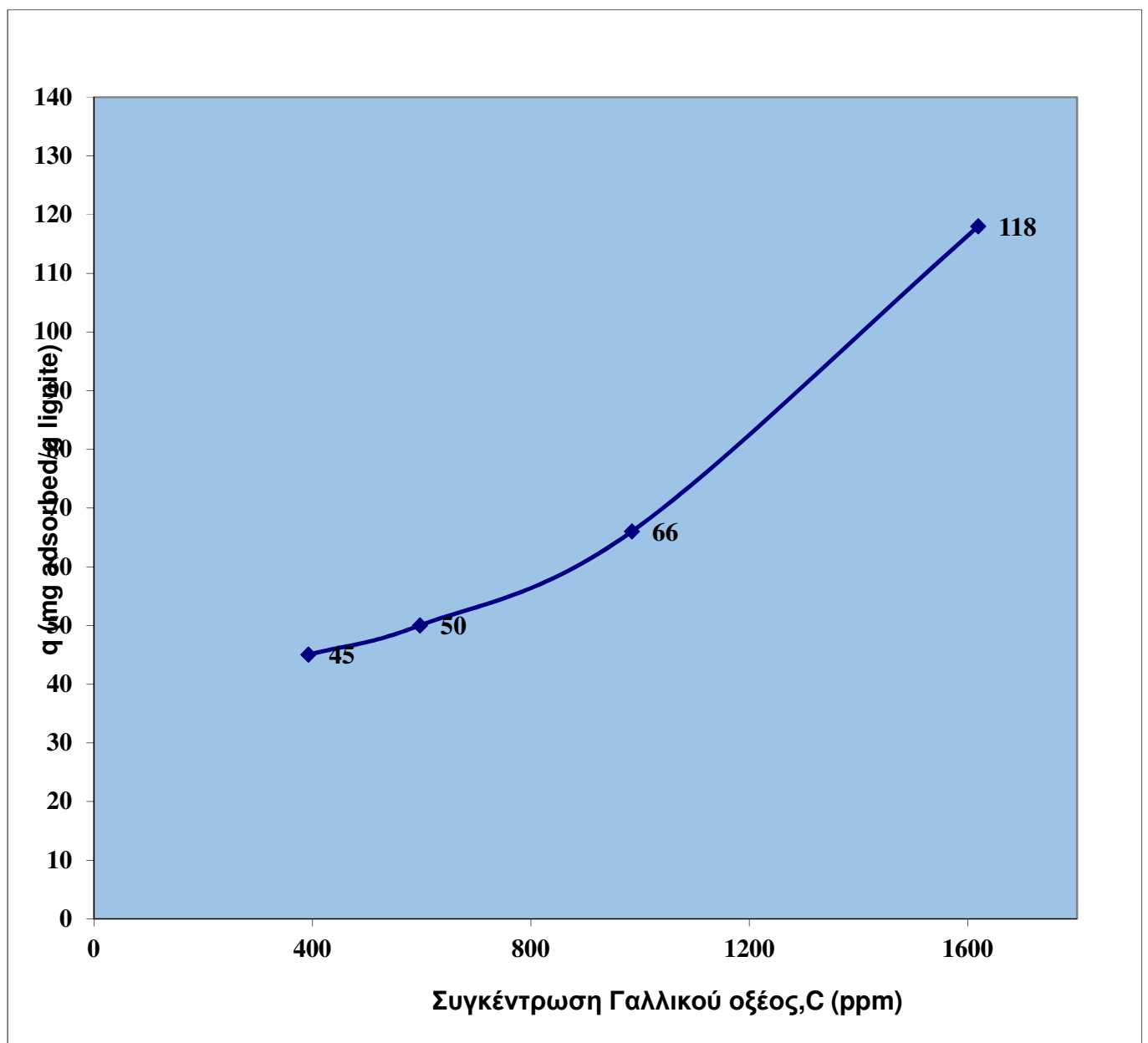
**Πίνακας 6.26 :** Οι αποδόσεις προσρόφησης του TH<sub>7</sub>.

<b>Δείγμα TH<sub>7</sub> ACT</b>								
	<b>C<sub>400</sub></b>		<b>C<sub>600</sub></b>		<b>C<sub>1000</sub></b>		<b>C<sub>1600</sub></b>	
<b>t (min)</b>	<b>q (mg/g)</b>	<b>pH</b>	<b>q (mg/g)</b>	<b>pH</b>	<b>q (mg/g)</b>	<b>pH</b>	<b>q (mg/g)</b>	<b>pH</b>
<b>0</b>	0,00	3,63	0,00	3,53	0,00	3,5	0,00	3,42
<b>10</b>	16,50	-	23,64	-	12,99	-	24,89	-
<b>30</b>	20,44	4,38	27,58	4,15	36,80	3,94	48,70	3,75
<b>60</b>	26,34	4,49	31,52	4,24	43,29	4,2	74,68	3,9
<b>90</b>	27,82	-	35,45	-	47,62	-	99,57	-
<b>240</b>	33,48	4,69	42,35	4,31	54,11	4,2	109,31	3,91
<b>480</b>	44,81	5,02	50,23	4,53	66,02	4,14	117,97	3,85

**Διάγραμμα 6.25 :** Κινητικές Καμπύλες Ενεργοποιημένου Δείγματος ΤΗ<sub>7</sub>



**Διάγραμμα 6.26 :** Ισόθερμη Καμπύλη Προσρόφησης του  $\text{TiH}_7$



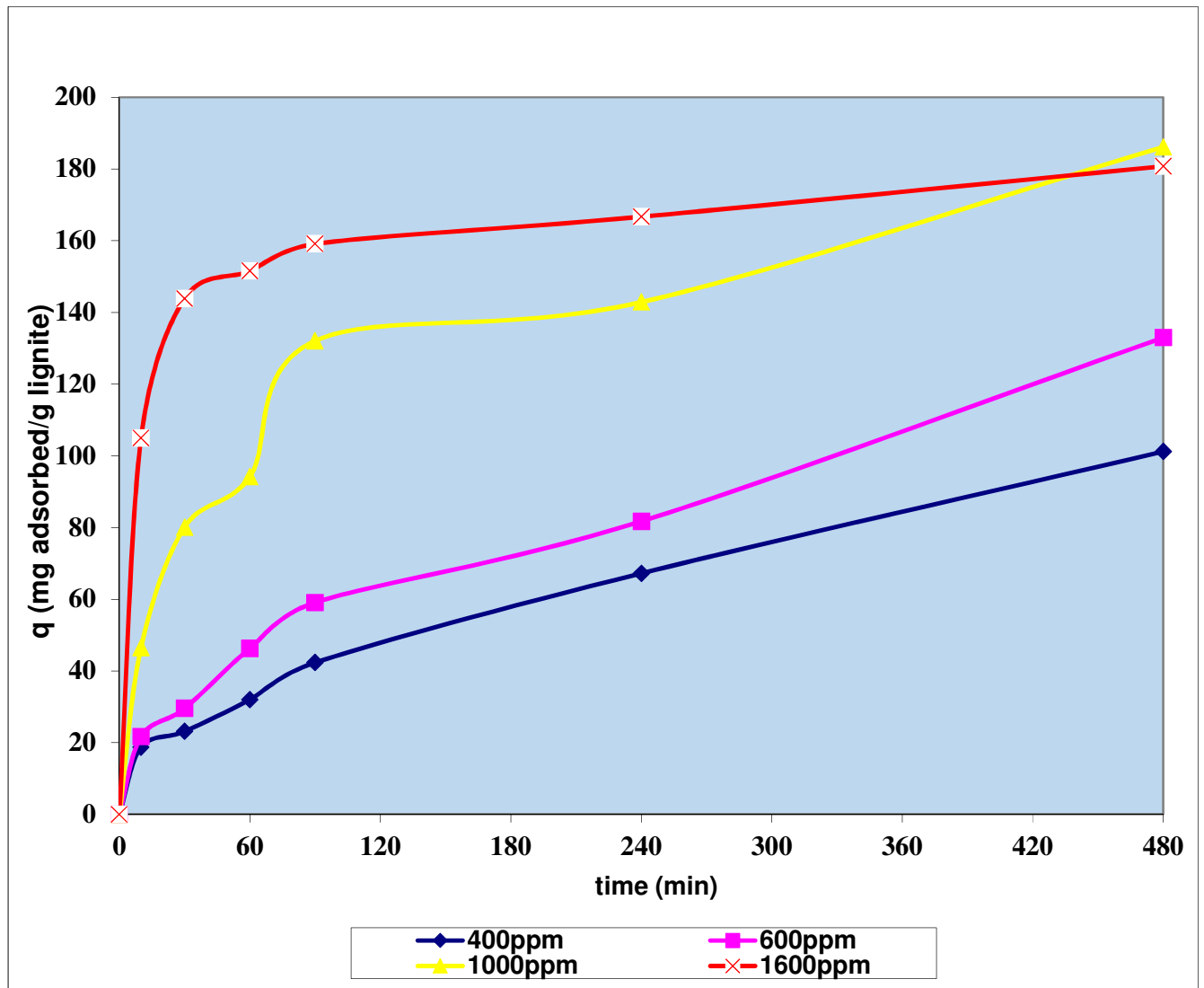
**Πίνακας 6.27 :** Αποτελέσματα μελέτης συγκεντρώσεων στο ενεργοποιημένο δείγμα  $MT_3$  .

<b>Δείγμα <math>MT_3</math> ACT</b>			<b>SSA = <math>m^2/gr</math></b>	
<b>t (min)</b>	<b><math>C_{400}</math></b>	<b><math>C_{600}</math></b>	<b><math>C_{1000}</math></b>	<b><math>C_{1600}</math></b>
<b>0</b>	382,61	588,94	1045,45	1636,36
<b>10</b>	345,19	545,61	952,38	1426,41
<b>30</b>	336,33	529,85	885,28	1348,67
<b>60</b>	318,60	496,36	857,14	1333,33
<b>90</b>	297,92	470,76	781,39	1318,18
<b>240</b>	248,18	425,45	759,74	1303,03
<b>480</b>	180,23	323,03	673,16	1274,89

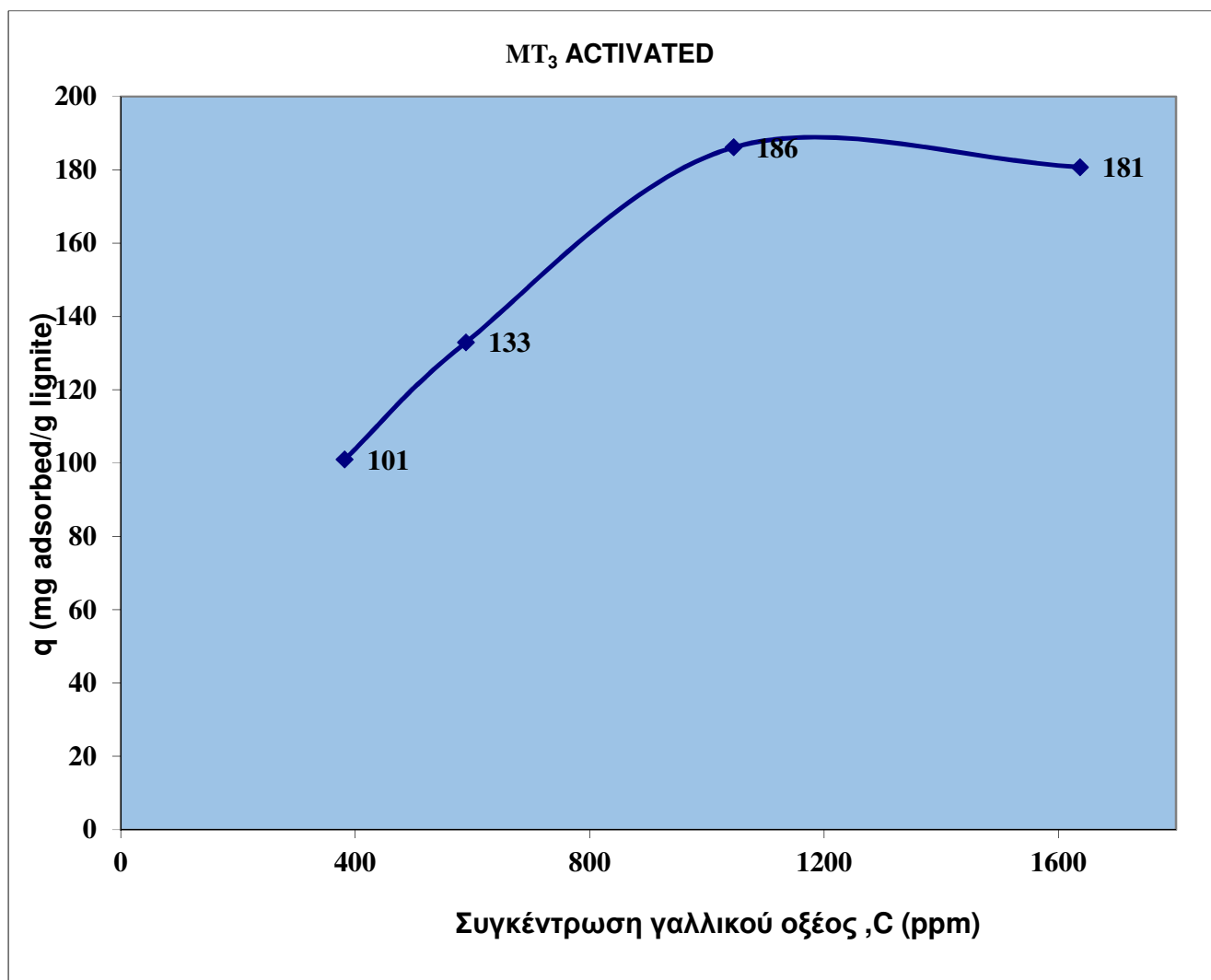
**Πίνακας 6.28 :** Οι αποδόσεις προσρόφησης του  $\text{MT}_3$  .

<b>Δείγμα <math>\text{MT}_3</math> ACT</b>								
	<b>C<sub>400</sub></b>		<b>C<sub>600</sub></b>		<b>C<sub>1000</sub></b>		<b>C<sub>1600</sub></b>	
<b>t (min)</b>	<b>q (mg/g)</b>	<b>pH</b>	<b>q (mg/g)</b>	<b>pH</b>	<b>q (mg/g)</b>	<b>pH</b>	<b>q (mg/g)</b>	<b>pH</b>
<b>0</b>	0,00	3,69	0,00	3,55	0,00	3,55	0,00	3,41
<b>10</b>	18,71	-	21,67	-	46,54	-	104,98	-
<b>30</b>	23,14	7,22	29,55	6,76	80,09	6,42	143,85	5,05
<b>60</b>	32,01	7,51	46,29	7,08	94,16	6,42	151,52	5,71
<b>90</b>	42,35	-	59,09	-	132,03	-	159,09	-
<b>240</b>	67,22	7,4	81,74	7,31	142,86	6,65	166,67	6,88
<b>480</b>	101,19	7,24	132,95	7,26	186,15	6,50	180,74	6,87

**Διάγραμμα 6.27 :** Κινητικές Καμπύλες Ενεργοποιημένου Δείγματος  $MT_3$



**Διάγραμμα 6.28 :** Ισόθερμη Καμπύλη Προσρόφησης του  $\text{MT}_3$



**Πίνακας 6.29 :** Αποτελέσματα μελέτης συγκεντρώσεων στο ενεργοποιημένο δείγμα MT<sub>7</sub> .

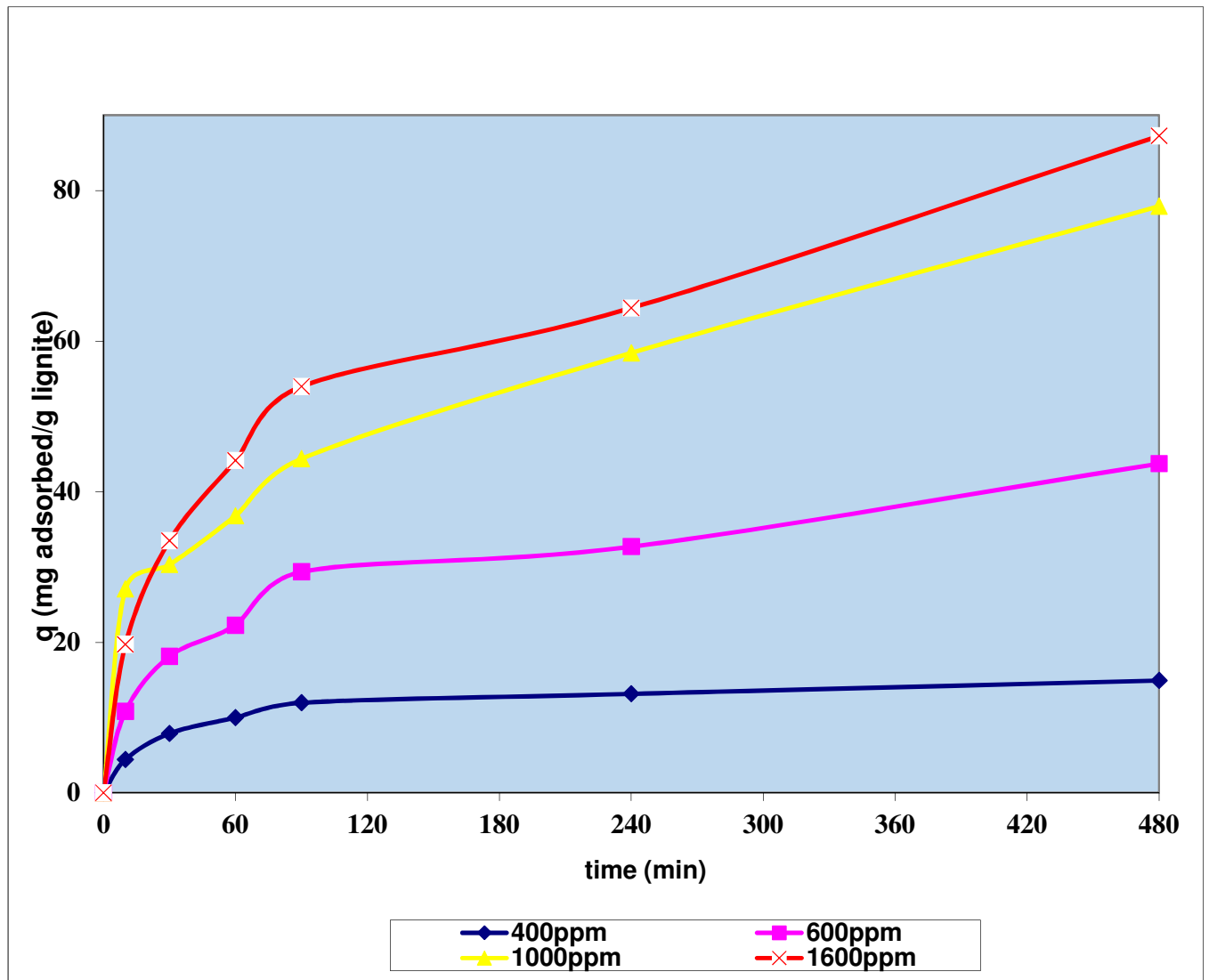
<b>Δείγμα MT<sub>7</sub> ACT</b>			<b>SSA = m<sup>2</sup>/gr</b>	
<b>t (min)</b>	<b>C<sub>400</sub></b>	<b>C<sub>600</sub></b>	<b>C<sub>1000</sub></b>	<b>C<sub>1600</sub></b>
<b>0</b>	381,63	563,33	1041,13	1518,64
<b>10</b>	372,77	541,67	987,01	1479,24
<b>30</b>	365,87	527,09	980,52	1451,67
<b>60</b>	361,64	518,82	967,53	1430,39
<b>90</b>	357,70	504,64	952,38	1410,70
<b>240</b>	355,33	497,94	924,24	1389,82
<b>480</b>	351,79	475,88	885,28	1344,12



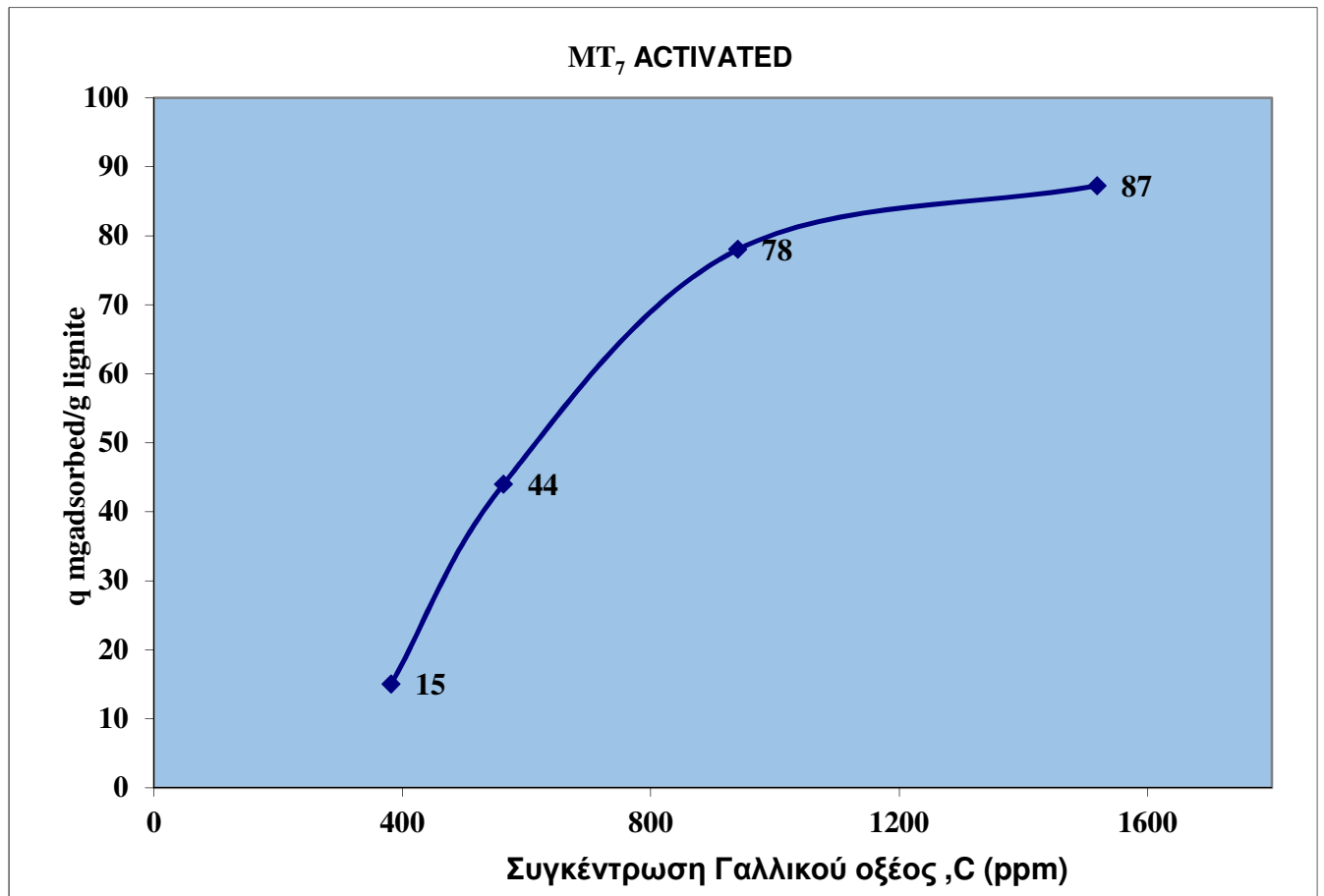
**Πίνακας 6.30 :** Οι αποδόσεις προσρόφησης του MT<sub>7</sub> .

<b>Δείγμα MT<sub>7</sub> ACT</b>								
	<b>C<sub>400</sub></b>		<b>C<sub>600</sub></b>		<b>C<sub>1000</sub></b>		<b>C<sub>1600</sub></b>	
<b>t (min)</b>	<b>q (mg/g)</b>	<b>pH</b>	<b>q (mg/g)</b>	<b>pH</b>	<b>q (mg/g)</b>	<b>pH</b>	<b>q (mg/g)</b>	<b>pH</b>
<b>0</b>	0,00	3,61	0,00	3,52	0,00	3,42	0,00	3,38
<b>10</b>	4,43	-	10,83	-	27,06	-	19,70	-
<b>30</b>	7,88	3,93	18,12	3,83	30,30	3,62	33,48	3,49
<b>60</b>	10,00	3,91	22,26	3,84	36,80	4,62	44,12	3,50
<b>90</b>	11,97	-	29,35	-	44,37	-	53,97	-
<b>240</b>	13,15	4,1	32,70	3,95	58,44	3,82	64,41	3,58
<b>480</b>	14,92	3,93	43,73	4,00	77,92	3,82	87,26	3,63

**Διάγραμμα 6.29 :** Κινητικές Καμπύλες Ενεργοποιημένου Δείγματος ΜΤ<sub>7</sub>



**Διάγραμμα 6.30 :** Ισόθερμη Καμπύλη Προσρόφησης του MT<sub>7</sub>



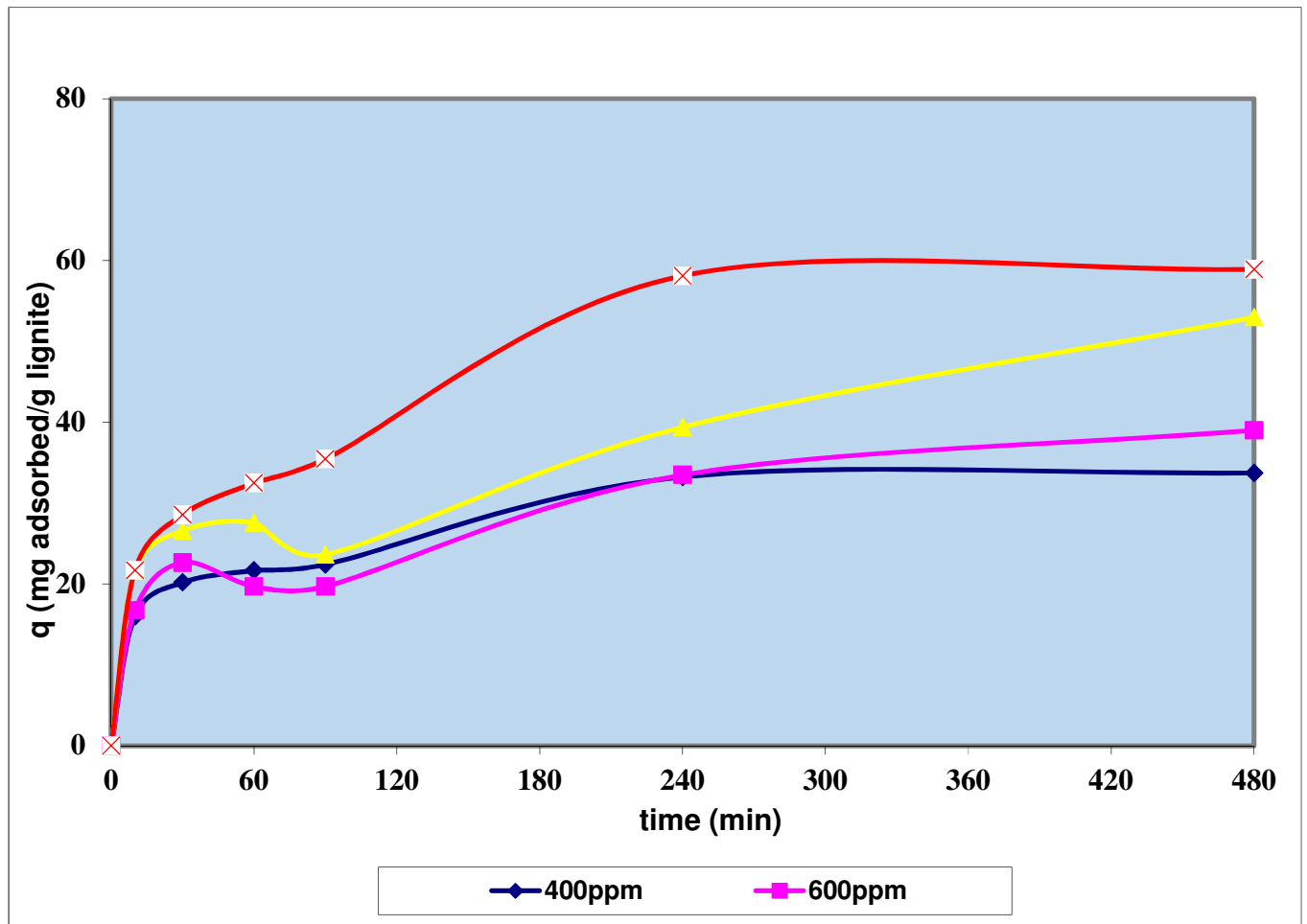
**Πίνακας 6.31 :** Αποτελέσματα μελέτης συγκεντρώσεων στο ενεργοποιημένο δείγμα ΠΠ<sub>1</sub> .

<b>Δείγμα ΠΠ<sub>1</sub> ACT</b>			<b>SSA = m<sup>2</sup>/gr</b>	
<b>t (min)</b>	<b>C<sub>400</sub></b>	<b>C<sub>600</sub></b>	<b>C<sub>1000</sub></b>	<b>C<sub>1600</sub></b>
<b>0</b>	380,15	567,27	949,39	1524,55
<b>10</b>	348,14	533,79	906,06	1481,21
<b>30</b>	339,77	521,97	896,21	1467,42
<b>60</b>	336,82	527,88	894,24	1459,55
<b>90</b>	335,34	527,88	902,12	1453,64
<b>240</b>	313,67	500,30	870,61	1408,33
<b>480</b>	312,69	489,27	843,42	1406,76

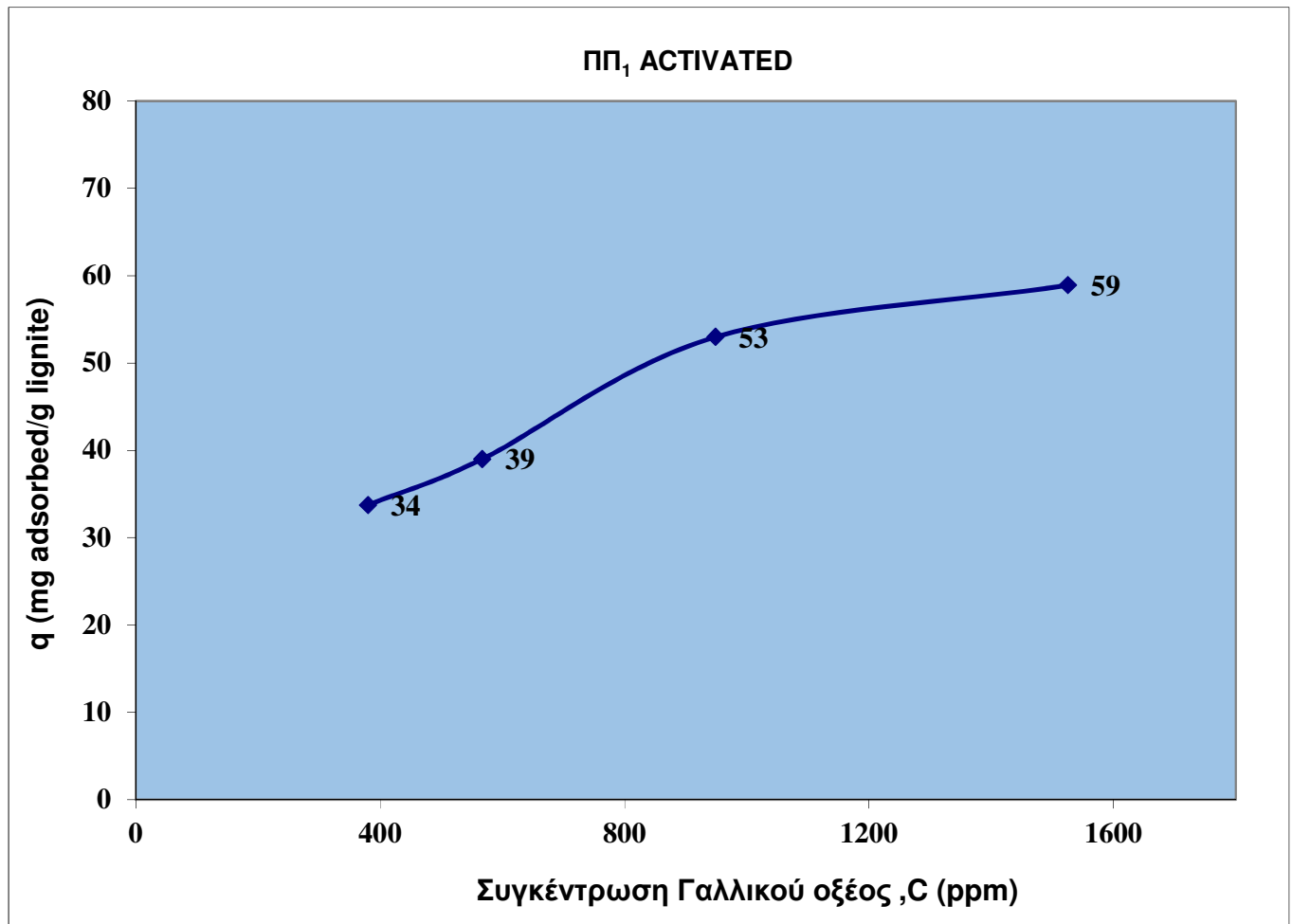
**Πίνακας 6.32 :** Οι αποδόσεις προσρόφησης του ΠΠ<sub>1</sub> .

<b>Δείγμα ΠΠ<sub>1</sub> ΑΣΤ</b>								
	<b>C<sub>400</sub></b>		<b>C<sub>600</sub></b>		<b>C<sub>1000</sub></b>		<b>C<sub>1600</sub></b>	
<b>t (min)</b>	<b>q (mg/g)</b>	<b>pH</b>	<b>q (mg/g)</b>	<b>pH</b>	<b>q (mg/g)</b>	<b>pH</b>	<b>q (mg/g)</b>	<b>pH</b>
<b>0</b>	0,00	3,71	0,00	3,62	0,00	3,51	0,00	3,42
<b>10</b>	16,00	-	16,74	-	21,67	-	21,67	-
<b>30</b>	20,19	4,48	22,65	4,29	26,59	4,02	28,56	3,8
<b>60</b>	21,67	4,61	19,70	4,37	27,58	4,08	32,50	3,85
<b>90</b>	22,41	-	19,70	-	23,64	-	35,45	-
<b>240</b>	33,24	4,77	33,48	4,47	39,39	4,13	58,11	3,90
<b>480</b>	33,73	4,84	39,00	4,48	52,98	4,14	58,89	3,90

**Διάγραμμα 6.31 :** Κινητικές Καμπύλες Ενεργοποιημένου Δείγματος ΠΠ<sub>1</sub>



**Διάγραμμα 6.32 :** Ισόθερμη Καμπύλη Προσρόφησης του ΠΠ<sub>1</sub>



**Πίνακας 6.33 :** Αποτελέσματα μελέτης συγκεντρώσεων στο ενεργοποιημένο δείγμα ΠΜ<sub>1</sub> .

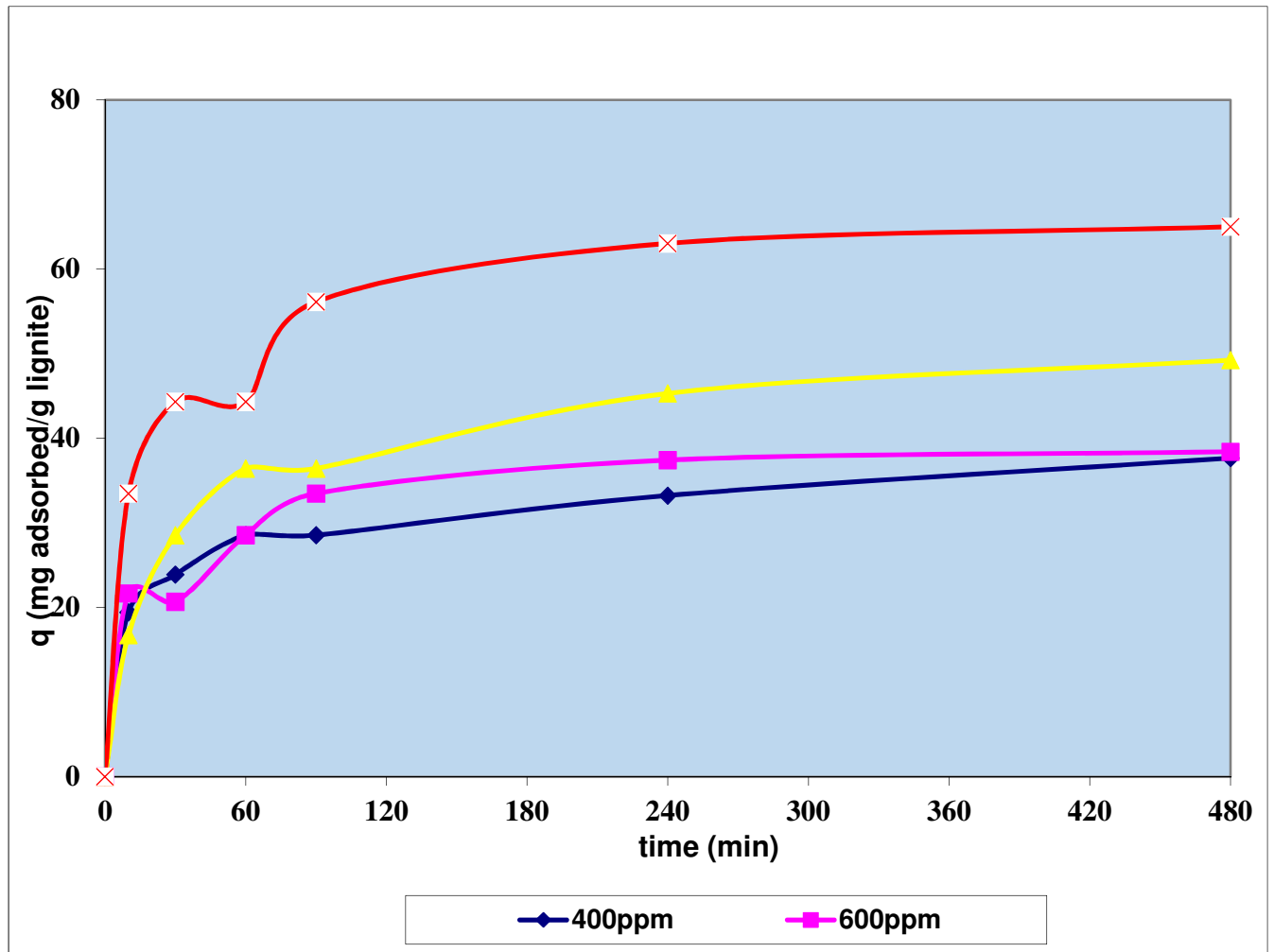
Δείγμα ΠΜ <sub>1</sub> ΑΣΤ			SSA = m <sup>2</sup> /gr	
t (min)	C <sub>400</sub>	C <sub>600</sub>	C <sub>1000</sub>	C <sub>1600</sub>
0	385,08	565,30	951,36	1552,12
10	346,17	521,97	917,88	1481,21
30	337,31	523,94	894,24	1463,48
60	327,95	508,18	878,48	1463,48
90	327,95	498,33	878,48	1439,85
240	318,60	490,45	860,76	1426,06
480	309,73	488,48	852,88	1422,12



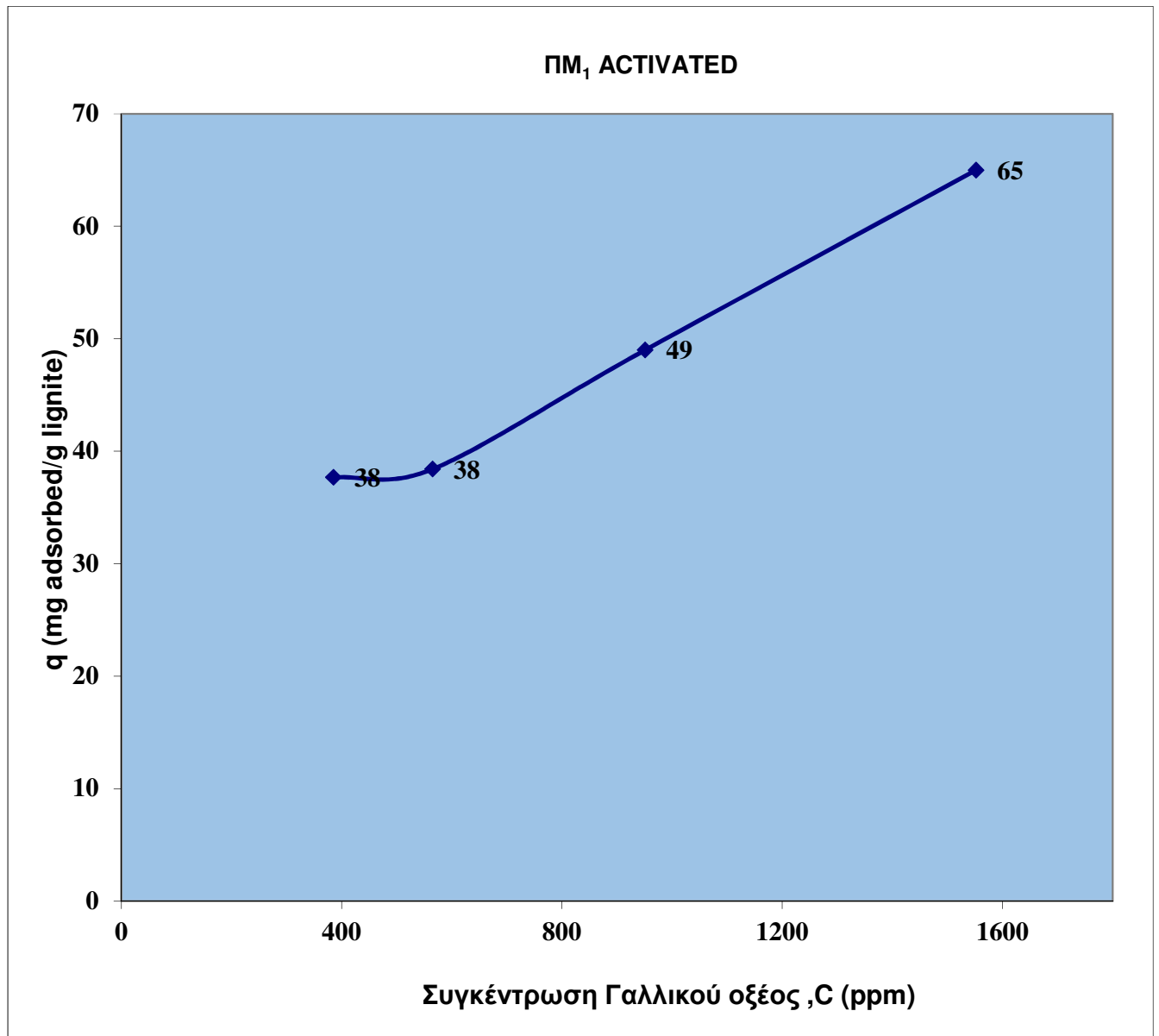
**Πίνακας 6.34 :** Οι αποδόσεις προσρόφησης του ΠΜ<sub>1</sub> .

<b>Δείγμα ΠΜ<sub>1</sub> ΑΣΤ</b>								
	<b>C<sub>400</sub></b>		<b>C<sub>600</sub></b>		<b>C<sub>1000</sub></b>		<b>C<sub>1600</sub></b>	
<b>t (min)</b>	<b>q (mg/g)</b>	<b>pH</b>	<b>q (mg/g)</b>	<b>pH</b>	<b>q (mg/g)</b>	<b>pH</b>	<b>q (mg/g)</b>	<b>pH</b>
<b>0</b>	0,00	3,67	0,00	3,56	0,00	3,43	0,00	3,42
<b>10</b>	19,45	-	21,67	-	16,74	-	33,45	-
<b>30</b>	23,88	4,68	20,68	4,35	28,56	4,14	44,32	3,89
<b>60</b>	28,56	4,78	28,56	4,45	36,44	4,17	44,32	3,94
<b>90</b>	28,56	-	33,48	-	36,44	-	56,14	-
<b>240</b>	33,24	5,02	37,42	4,56	45,30	4,25	63,03	4,00
<b>480</b>	37,67	5,21	38,41	4,65	49,24	4,32	65,00	4,03

**Διάγραμμα 6.33 :** Κινητικές Καμπύλες Ενεργοποιημένου Δείγματος ΠΜ<sub>1</sub>



**Διάγραμμα 6.34 :** Ισόθερμη Καμπύλη Προσρόφησης του ΠΜ<sub>1</sub>



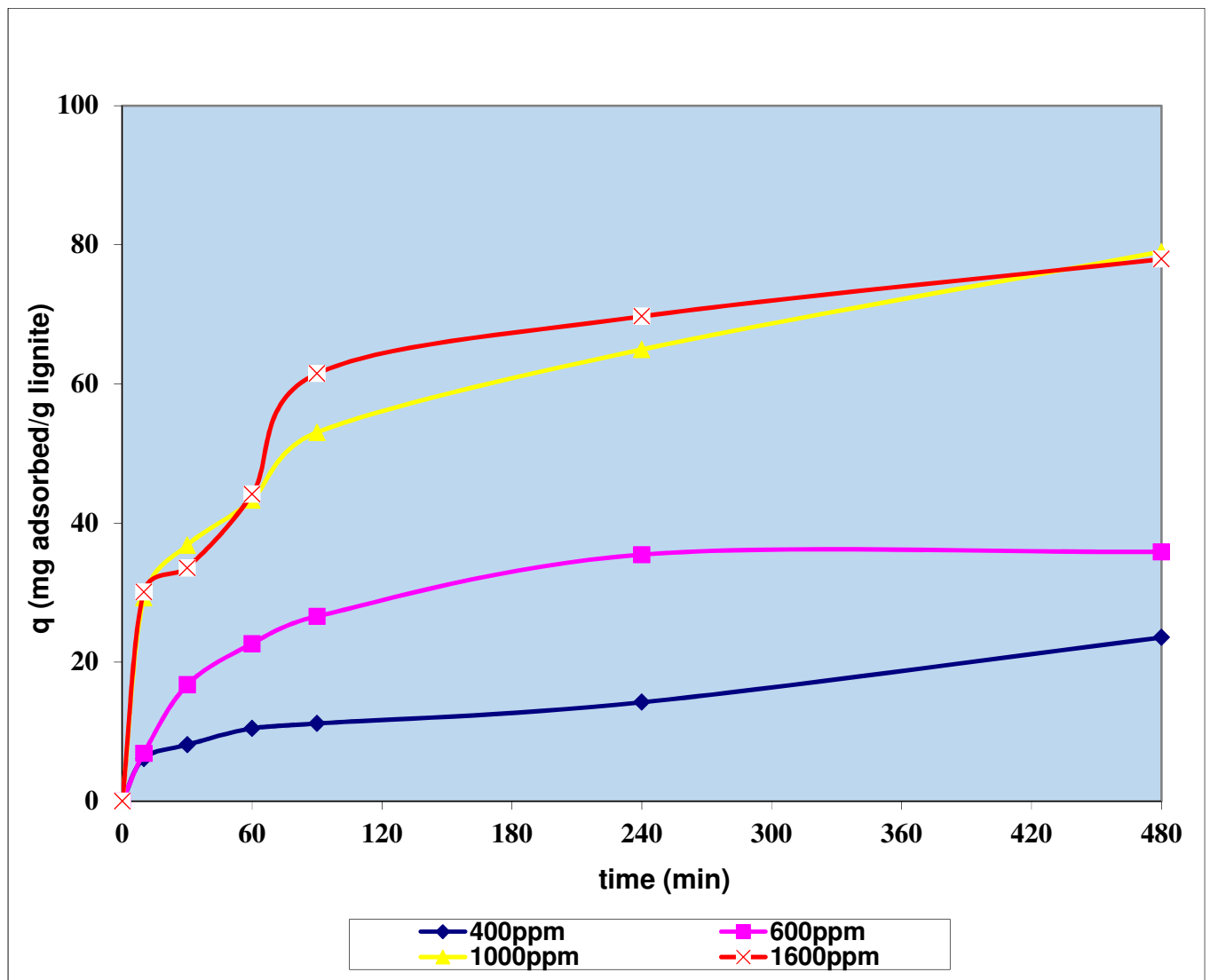
**Πίνακας 6.35 :** Αποτελέσματα μελέτης συγκεντρώσεων στο ενεργοποιημένο δείγμα I<sub>1</sub> .

<b>Δείγμα I<sub>1</sub> ACT</b>			<b>SSA = m<sup>2</sup>/gr</b>	
<b>t (min)</b>	<b>C<sub>400</sub></b>	<b>C<sub>600</sub></b>	<b>C<sub>1000</sub></b>	<b>C<sub>1600</sub></b>
<b>0</b>	386,06	567,27	1012,99	1528,14
<b>10</b>	373,75	553,48	954,55	1467,97
<b>30</b>	369,81	533,79	939,39	1461,04
<b>60</b>	365,08	521,97	926,41	1439,83
<b>90</b>	363,70	514,09	906,93	1405,19
<b>240</b>	357,60	496,36	883,12	1388,74
<b>480</b>	338,98	495,58	854,98	1372,29

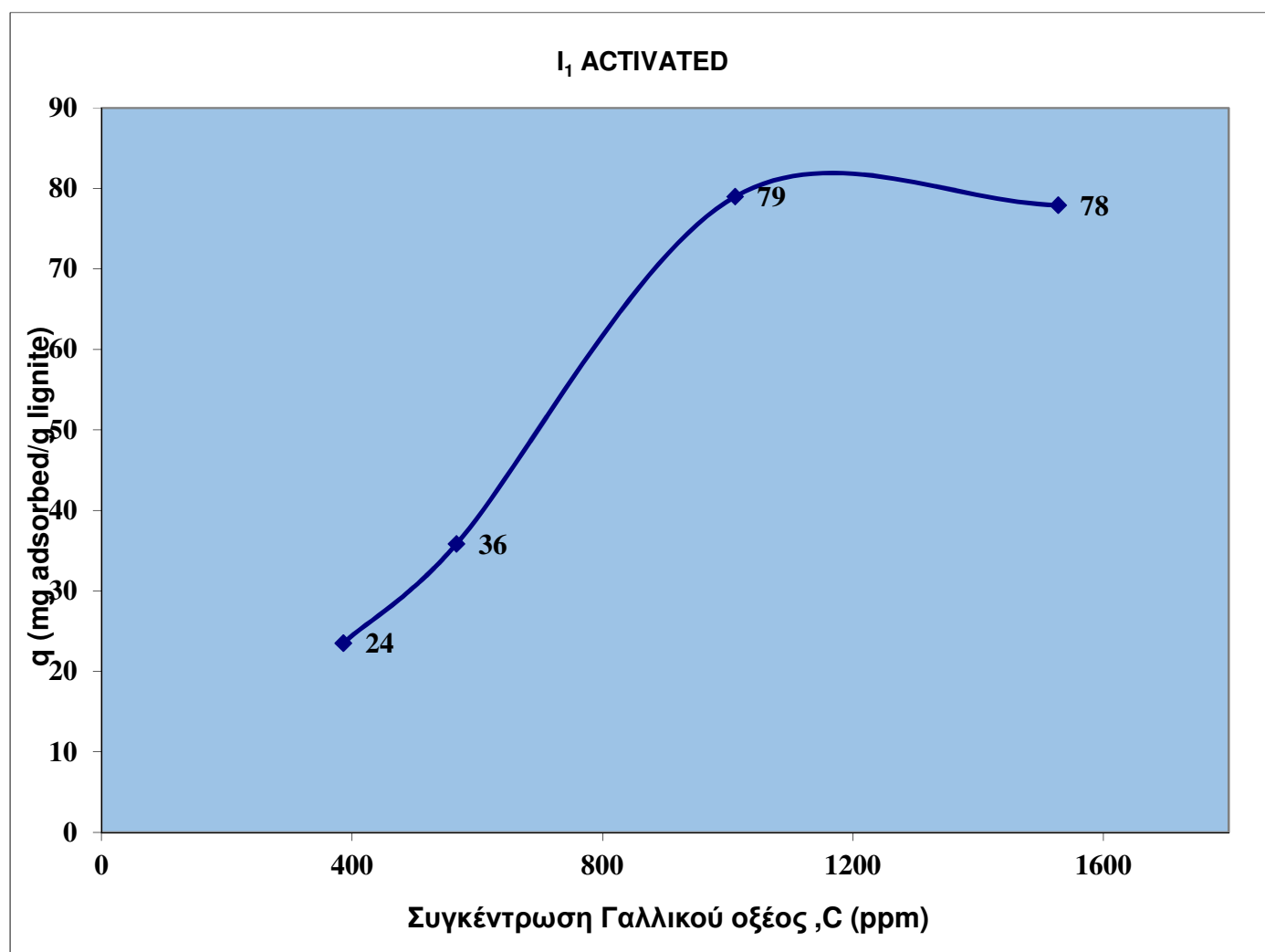
**Πίνακας 6.36 :** Οι αποδόσεις προσρόφησης του  $I_1$  .

<b>Δείγμα <math>I_1</math> ACT</b>								
	<b>C<sub>400</sub></b>		<b>C<sub>600</sub></b>		<b>C<sub>1000</sub></b>		<b>C<sub>1600</sub></b>	
<b>t (min)</b>	<b>q (mg/g)</b>	<b>pH</b>	<b>q (mg/g)</b>	<b>pH</b>	<b>q (mg/g)</b>	<b>pH</b>	<b>q (mg/g)</b>	<b>pH</b>
<b>0</b>	0,00	3,33	0,00	3,27	0,00	3,55	0,00	3,42
<b>10</b>	6,16	-	6,89	-	29,22	-	30,09	-
<b>30</b>	8,13	6,55	16,74	5,96	36,80	5,22	33,55	4,60
<b>60</b>	10,49	6,87	22,65	6,57	43,29	5,67	44,16	4,78
<b>90</b>	11,18	-	26,59	-	53,03	-	61,47	-
<b>240</b>	14,23	6,74	35,45	6,71	64,94	6,30	69,70	4,90
<b>480</b>	23,54	6,25	35,85	6,86	79,00	6,47	77,92	4,88

**Διάγραμμα 6.35 :** Κινητικές Καμπύλες Ενεργοποιημένου Δείγματος I<sub>1</sub>



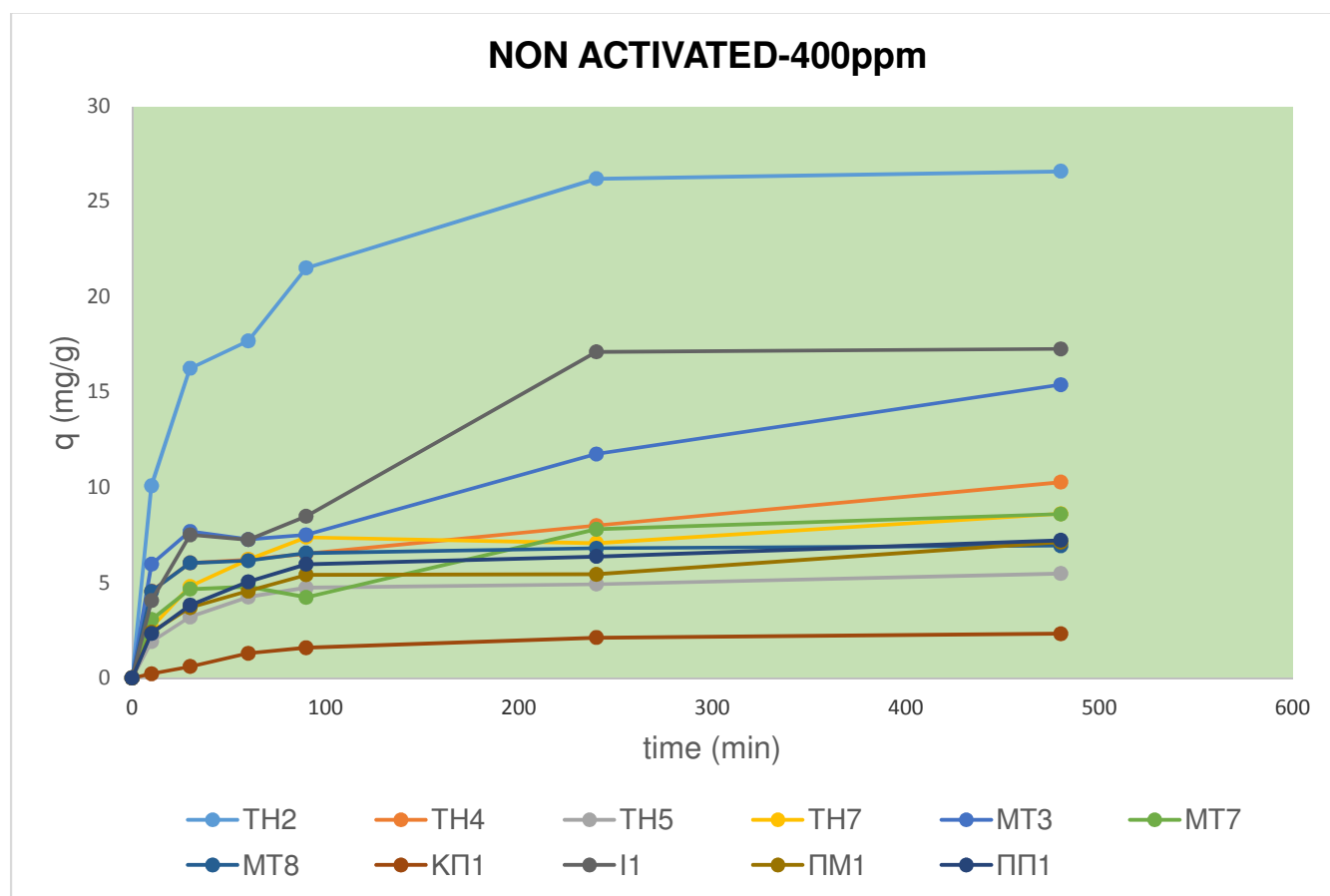
**Διάγραμμα 6.36 :** Ισόθερμη Καμπύλη Προσρόφησης του  $I_1$



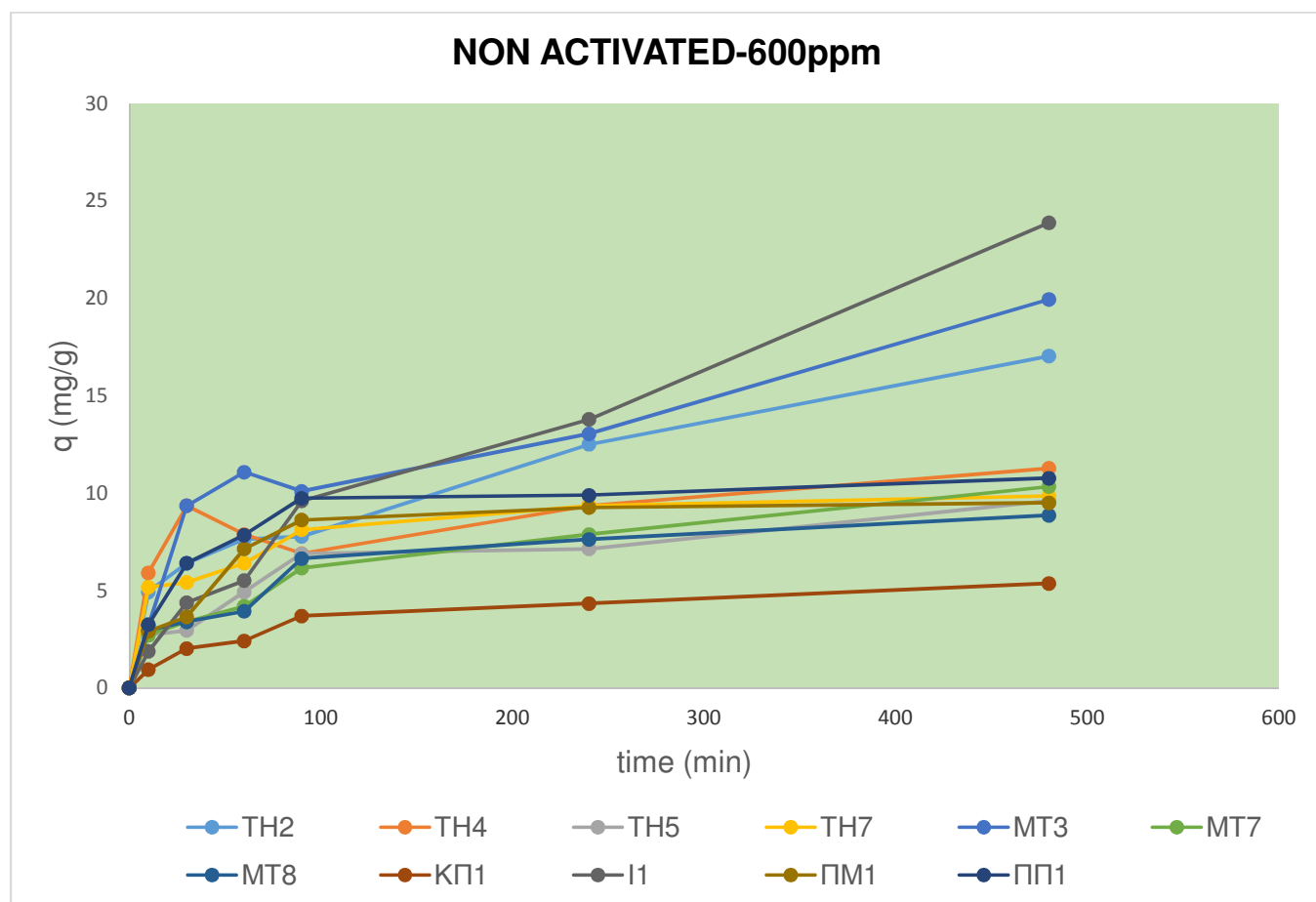
## 7 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

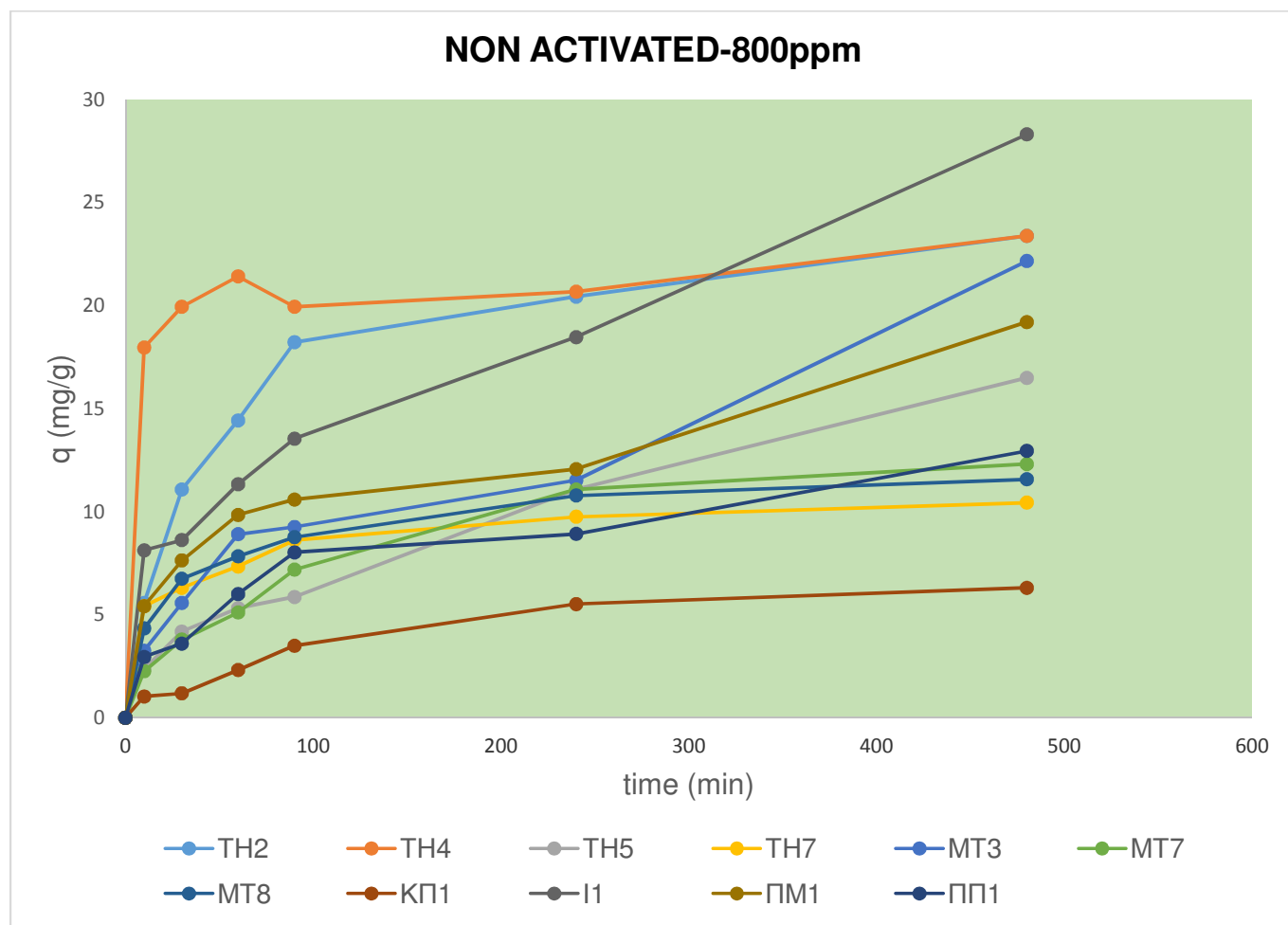
### 7.1 Εισαγωγή

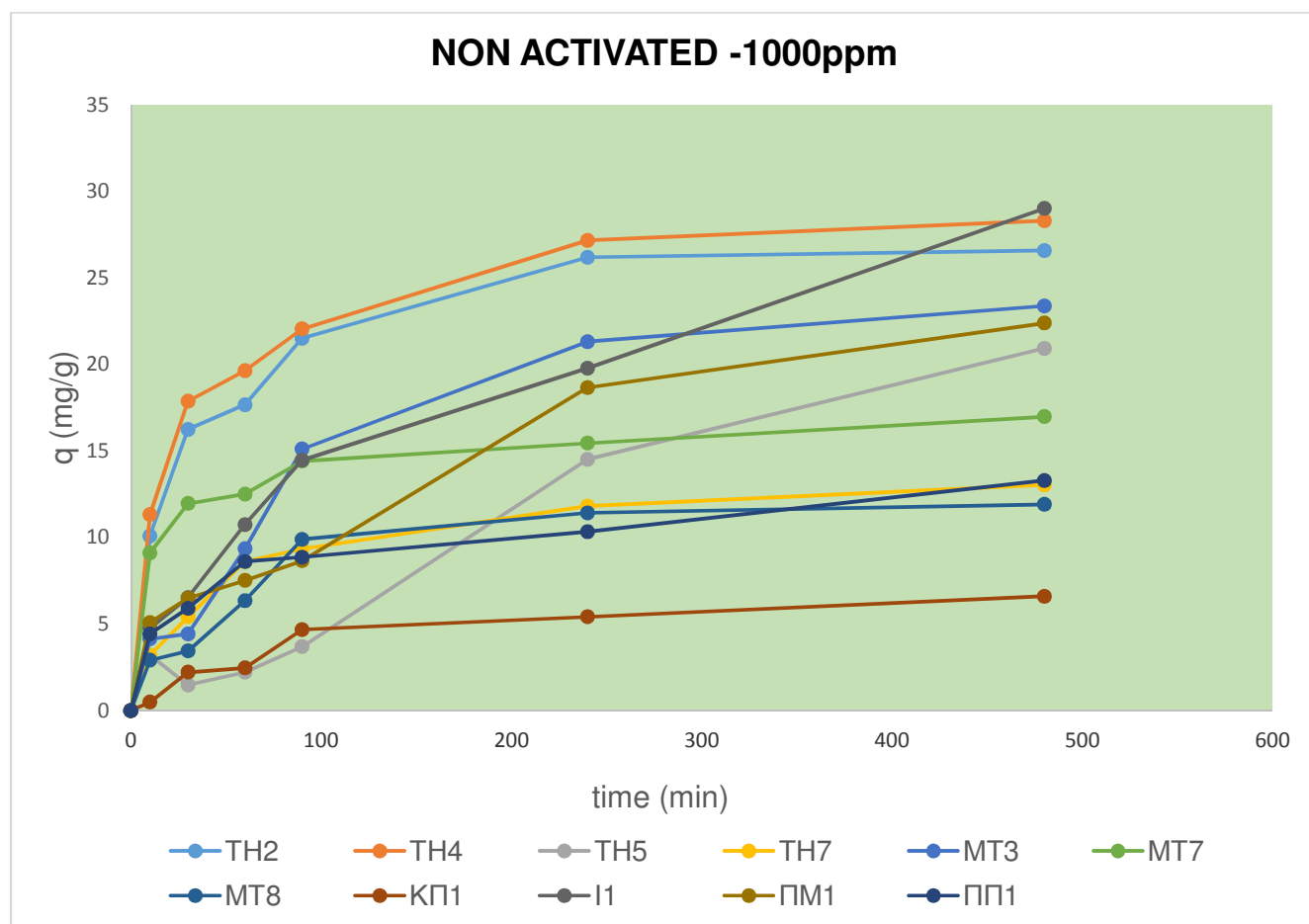
Σε αυτό το σημείο θα προσπαθήσουμε μια σύγκριση της απόδοσης στην προσρόφηση των δειγμάτων των λιγνιτών που δοκιμάσαμε εργαστηριακά . Η σύγκριση αφορά δύο επίπεδα : (1) Την σύγκριση στην απόδοση  $q$  συναρτήσει του χρόνου σε όλα τα δείγματα, ενεργοποιημένα και μη , (2) τη σύγκριση της απόδοσης του κάθε δείγματος ξεχωριστά στις διαφορετικές συγκεντρώσεις .

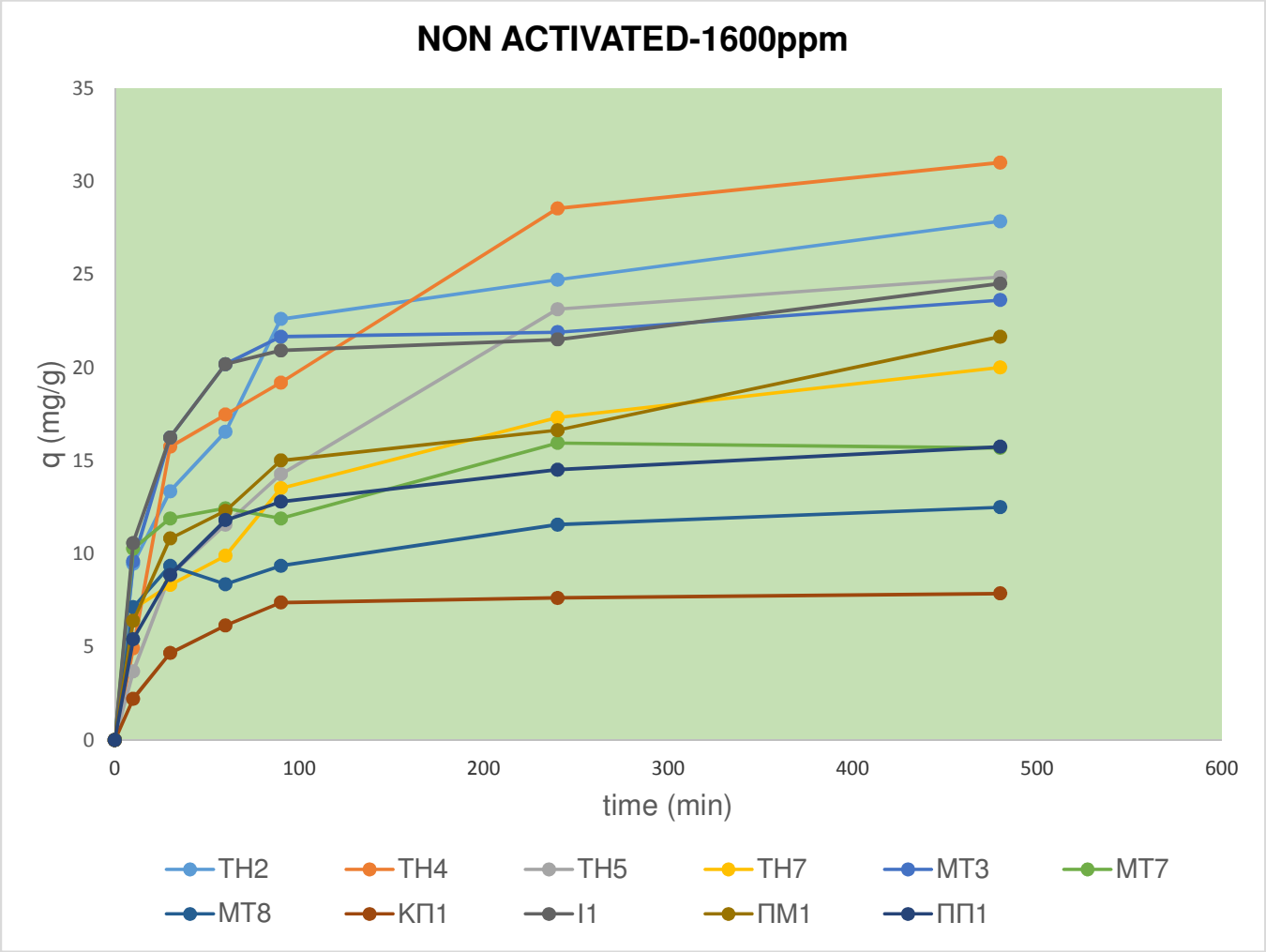


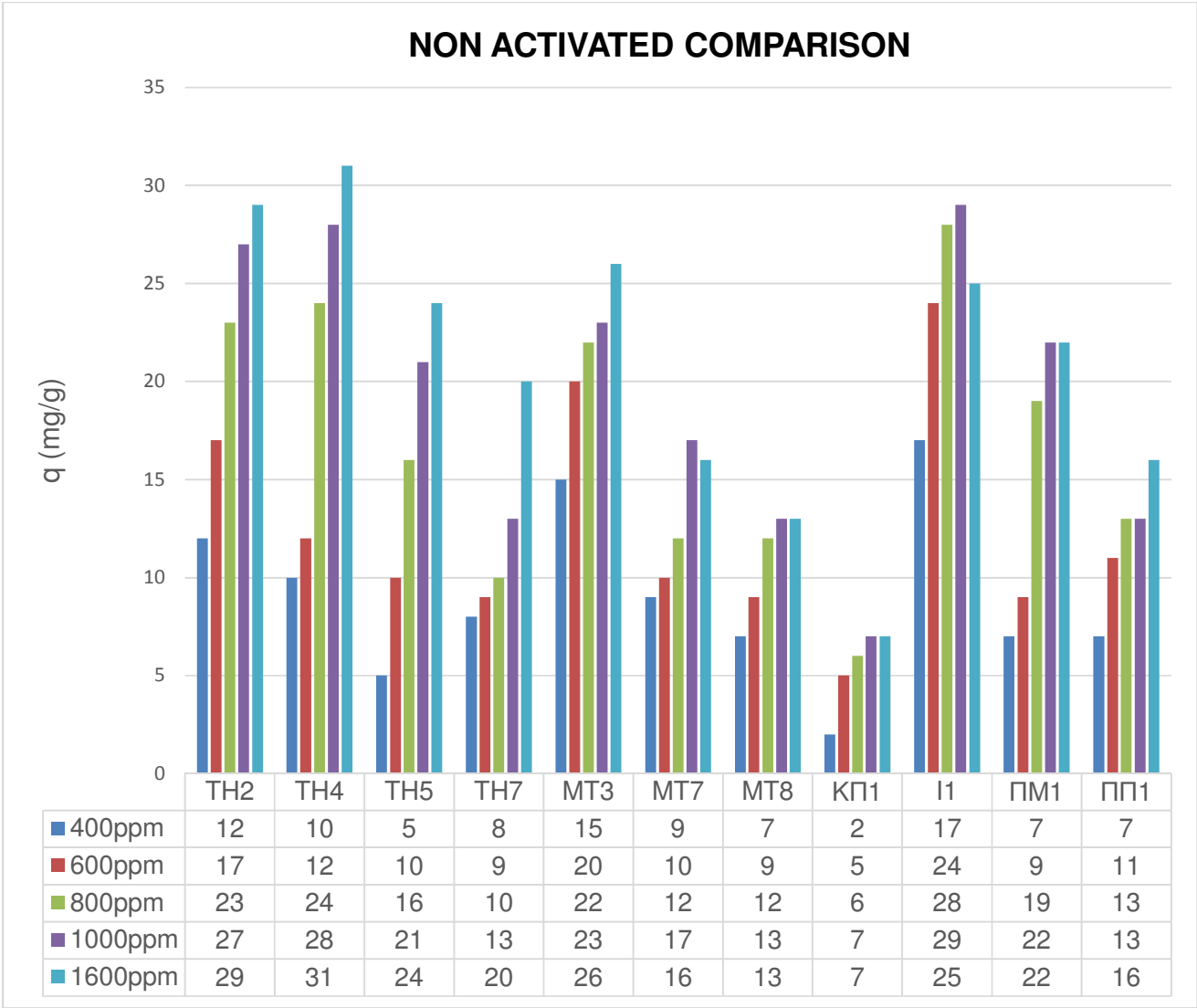


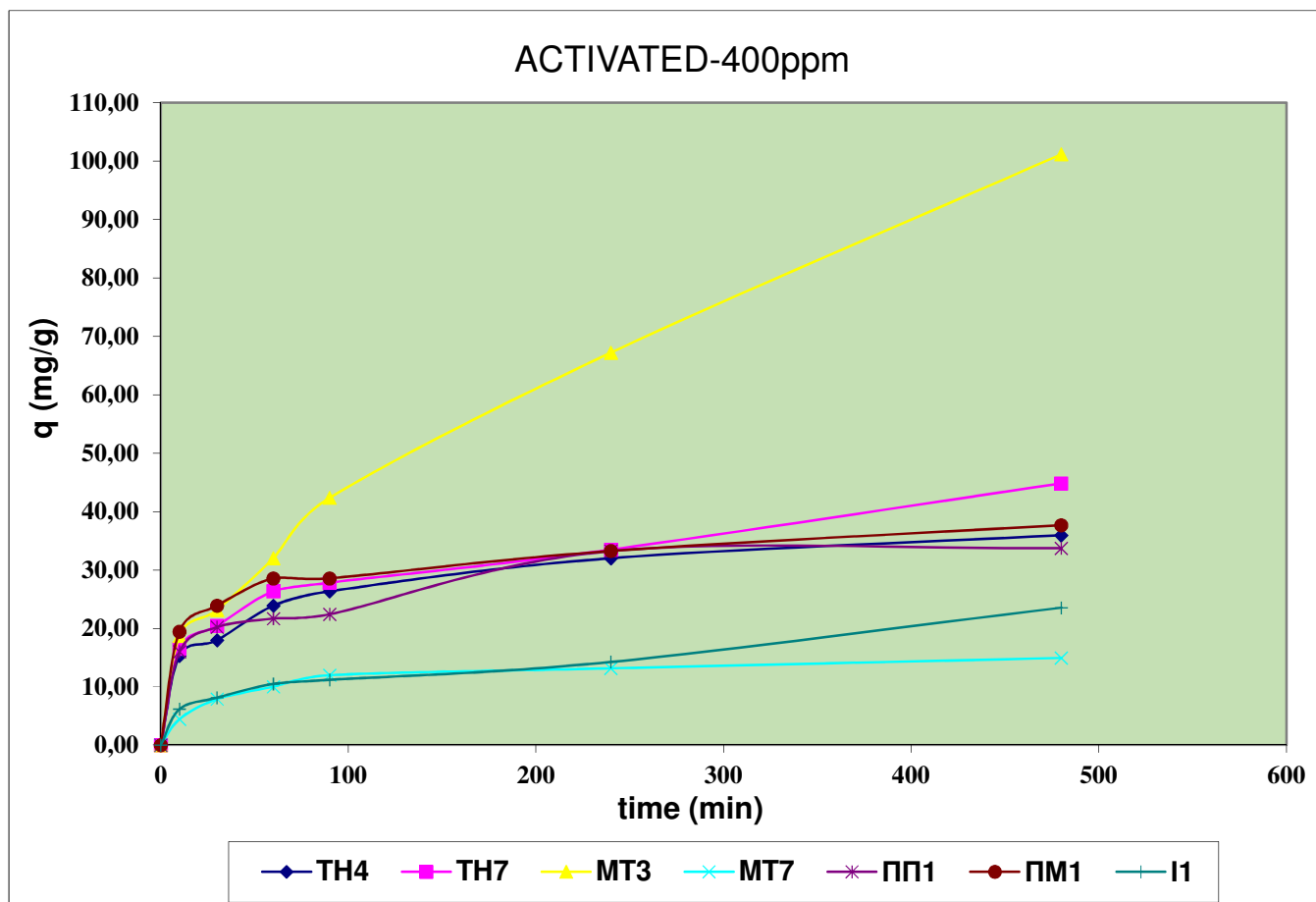


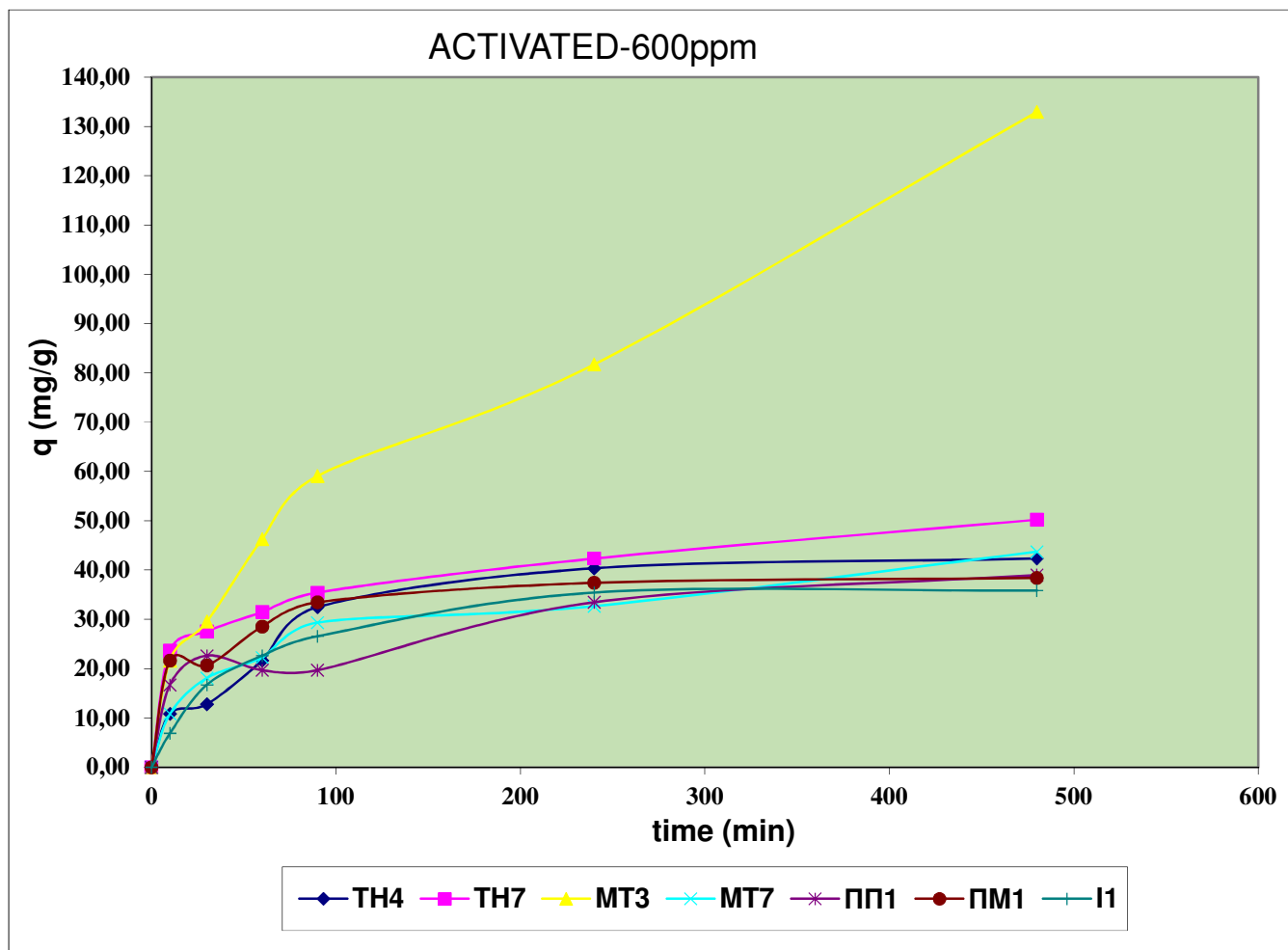


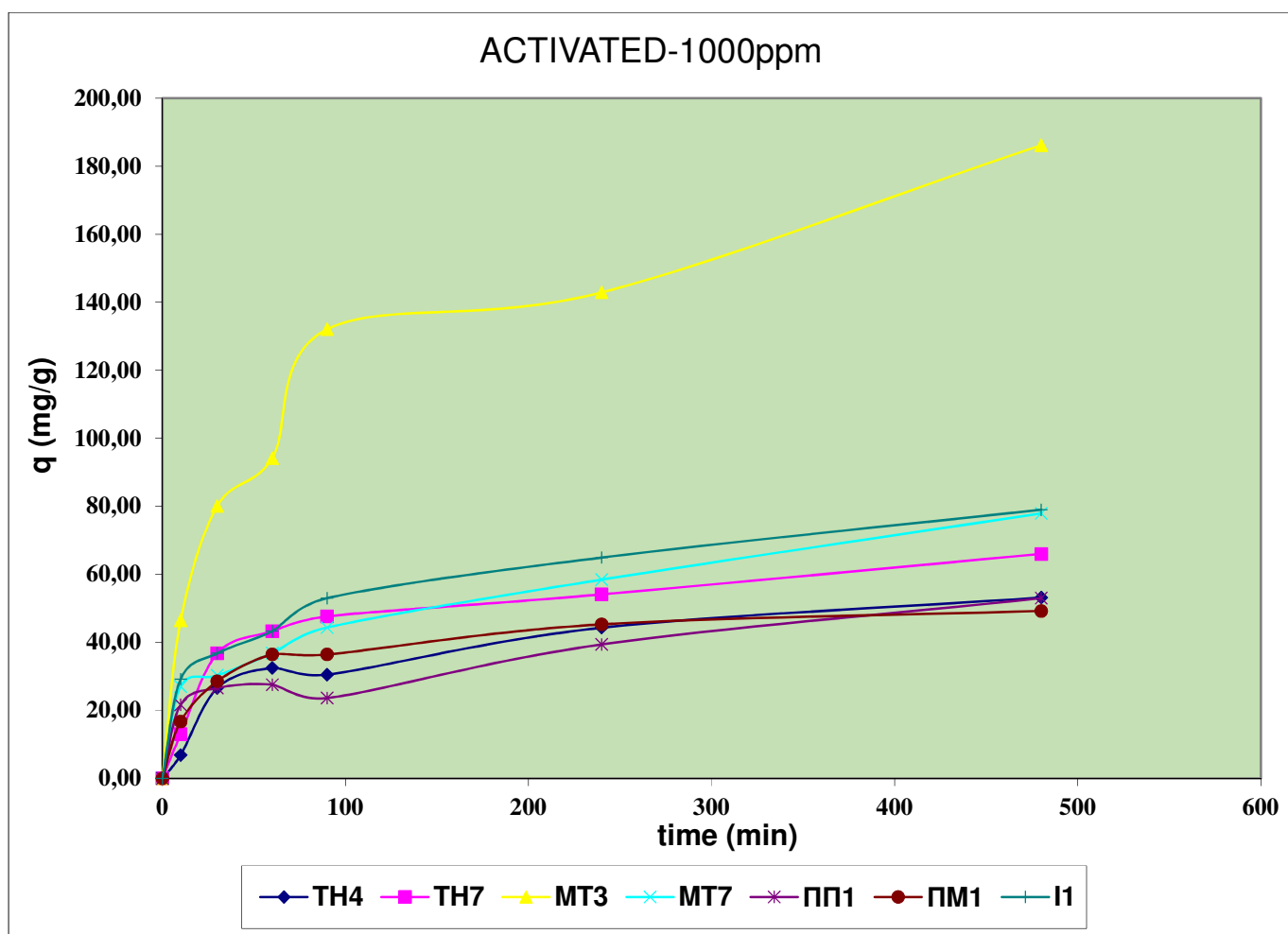




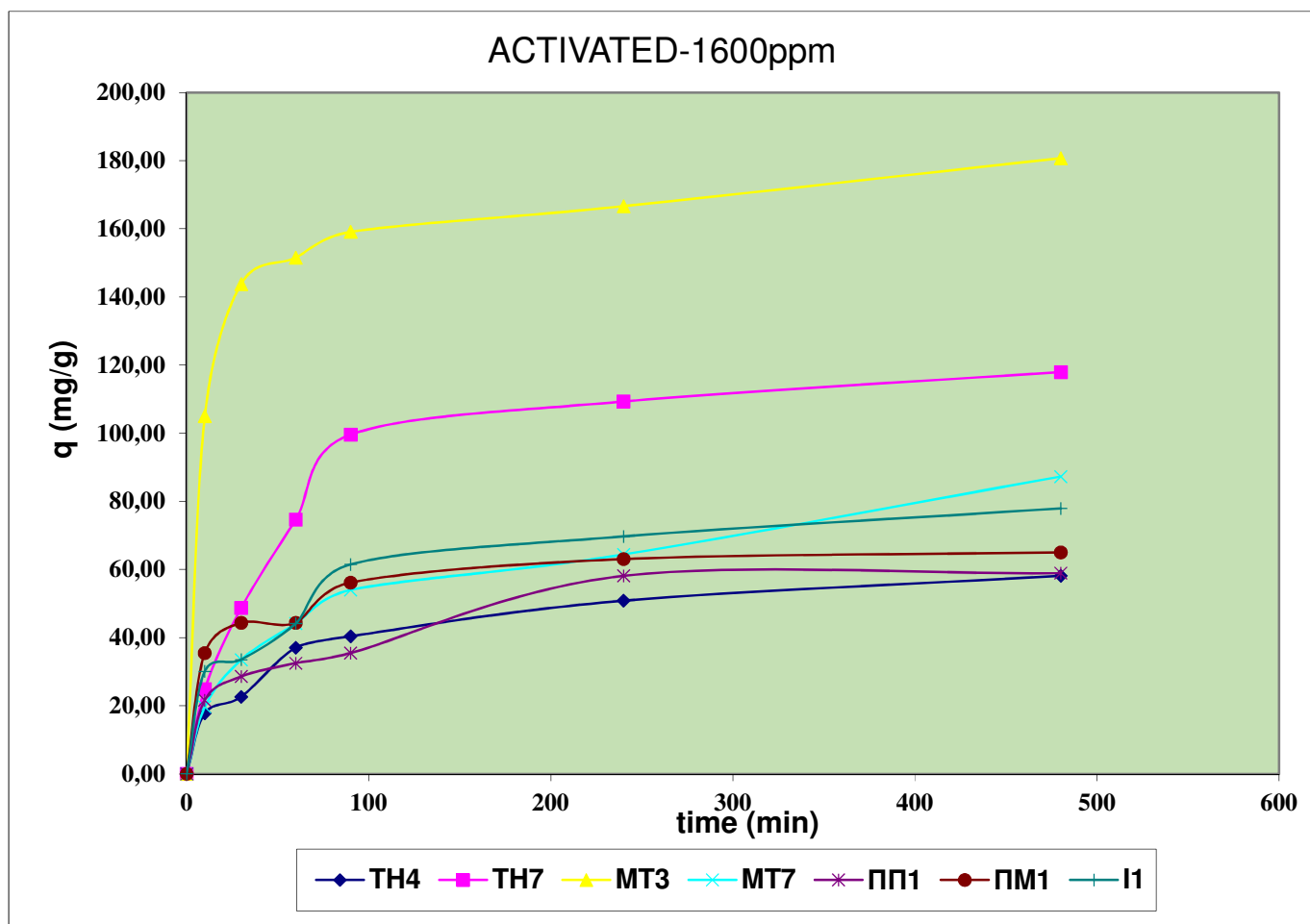


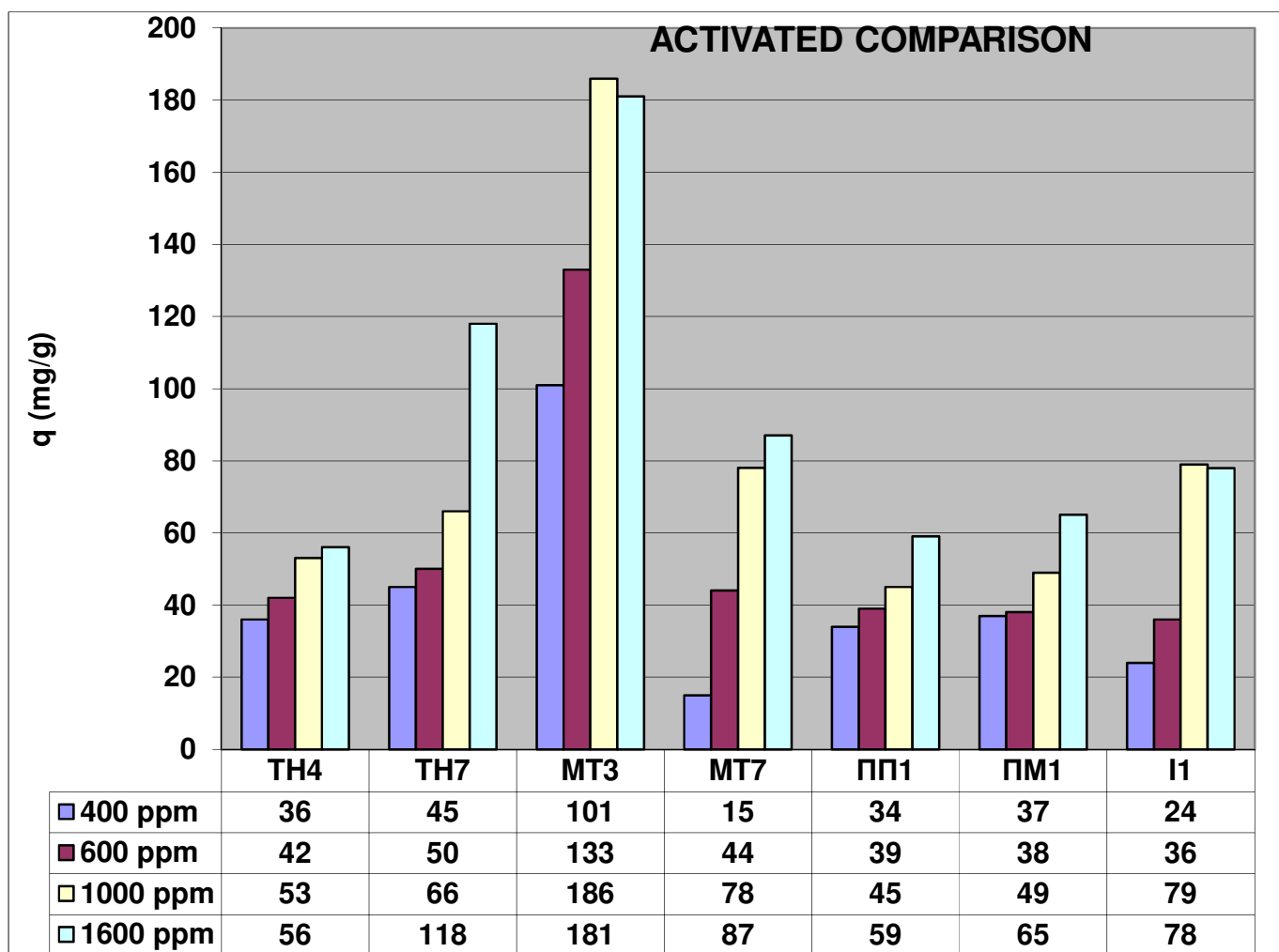












## 8 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συμπερασματικά η σειρά των πειραμάτων στα επιλεγμένα δείγματα των λιγνιτών μας οδηγούν στο να διατυπώσουμε τα εξής :

1. Τα ενεργοποιημένα δείγματα παρουσίασαν καλύτερη προσροφητική ικανότητα από τα μη ενεργοποιημένα δείγματα .
2. Από τα μη ενεργοποιημένα δείγματα φαίνεται ότι την καλύτερη προσροφητική ικανότητα την είχε το δείγμα  $\text{TH}_4$  (Αλμυρός Θεσσαλίας) με μικρή διαφορά από το  $\text{TH}_2$  (Ξυνιάδα Θεσσαλίας) . Σε γενικές γραμμές τα δείγματα από τη Θεσσαλία ( $\text{TH}_2$  ,  $\text{TH}_4$  ,  $\text{TH}_5$  και  $\text{TH}_7$ ) φαίνεται να προσροφούν καλύτερα από αυτά της Πελοποννήσου ( ΠΠ1 , ΠΜ1) και αυτά με τη σειρά τους καλύτερα από τα δείγματα Μακεδονίας-Θράκης ( $\text{MT}_3$  ,  $\text{MT}_7$  ,  $\text{MT}_8$ ) . Τελευταίο σε προσροφητική ικανότητα το δείγμα ΚΠ<sub>1</sub> από Πλακία-Κρήτης .
3. Η προσροφητική ικανότητα των λιγνιτών μεγαλώνει όσο μεγαλώνει η συγκέντρωση με μεγαλύτερη τιμή αυτή στα 1600 ppm για όλα τα δείγματα .
4. Μετά το πέρας των 8 ωρών παρατηρείται σταθεροποίηση στο  $q$  , δηλαδή φτάνουμε στη βέλτιστη προσρόφηση .
5. Από τα ενεργοποιημένα δείγματα καλύτερη προσροφητική ικανότητα με μεγάλη διαφορά από τα υπόλοιπα έχει το δείγμα  $\text{MT}_3$  (Μακεδονία) και μετά το  $\text{TH}_7$  ενώ τα υπόλοιπα κυμαίνονται περίπου στα ίδια .Και εδώ η προσροφητική ικανότητα των λιγνιτών αυξάνεται με τη συγκέντρωση και μετά τις 8 ώρες πειραμάτων παρατηρείται σταθεροποίηση του  $q$  .

6. Η προσροφητική ικανότητα των φυσικά ενεργοποιημένων λιγνιτών εξαρτάται από την ειδική επιφάνειά τους . Δηλαδή όσο μεγαλύτερη είναι η ειδική επιφάνεια ενός δείγματος τόσο καλύτερη είναι η προσροφητική του ικανότητα .
7. Το pH σε όλα τα δείγματα λιγνίτη, όπως φαίνεται στους πίνακες του κεφαλαίου 6 συνεχώς αυξάνεται .Ο μηχανισμός της προσρόφησης επηρεάζεται τόσο από φυσικές όσο και από χημικές παραμέτρους και από τη μεταξύ τους αλληλεπίδραση . Θεωρητικά μπορούμε να πούμε ότι η μεταβολή του pH επιδρά σε όλες τις δυνάμεις ηλεκτροστατικής φύσεως που συναποτελούν τις προσροφητικές δυνάμεις . Τέτοιες είναι οι δυνάμεις Coulomb, οι δυνάμεις μεταξύ σημειακού φορτίου και διπόλου, οι δεσμοί υδρογόνου, οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ διπόλων .Το pH εξαρτάται από την οξύτητα του δείγματος ενώ η θολότητα ή ο χρωματισμός του δεν το επηρεάζουν καθόλου .
8. Οι Ελληνικοί λιγνίτες μπορούν κάλλιστα στο σύνολό τους να χρησιμοποιηθούν ως προσροφητικά μέσα και να βρουν εφαρμογές στην ελληνική βιομηχανία .

## 9 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Φυσικοχημικές Διεργασίες Διαχωρισμού

Δρ. Βασίλειος Χρ.Γκέκας      Σπυριδούλα Γ.Πρωιμάκη

2. Φουντούλης Γ. “Ποιοτική μελέτη για τη δυνατότητα χρήσης Ελληνικών λιγνιτών ως προσροφητικών μέσων σε προσομειωμένο αστικό λύμα” Διπλωματική Εργασία Πολυτεχνείου Κρήτης , Χανιά 2006

3. Δήμου Δ. “Εργαστηριακή παρασκευή ενεργοποιημένου λιγνίτη και αξιολόγηση της προσροφητικής ικανότητάς του σε αέριους ρύπους “ Μεταπτυχιακή Διατριβή Πολυτεχνείου Κρήτης ,Τμήμα Μηχ.Ορυκτών Πόρων , Χανιά 2006

4. Γεντεκάκης Ι. Εργαστηριακές Ασκήσεις Φυσικοχημείας , Πολυτεχνείο Κρήτης , Γενικό Τμήμα , Χανια 2002

5. Φουντοραδάκης Σ. “Εργαστηριακή παρασκευή ενεργού άνθρακα από ελληνικό λιγνίτη και αξιολόγησή του ως προσροφητικού αερίων ρύπων “ Διπλωματική Εργασία Πολυτεχνείου Κρήτης , Χανιά 2008

6. Μέμτσας Δ. “Προσρόφηση τασενεργών ουσιών σε ενεργό άνθρακα” Διπλωματική Εργασία Πολυτεχνείου Κρήτης , Τμήμα Μηχ.Περιβάλλοντος , Χανιά 2009

7. Σύγχρονες Μέθοδοι στη Χημική Ανάλυση

PECSOK/SHIELDS/CAIRNS/McWILLIAM

Απόδοση στα Ελληνικά Σταύρος Βολιώτης

8. Σχεδιασμός των Χημικών Αντιδραστήρων

Καθηγητής Κυπαρισσίδης Κ.

Τμήμα Χημ.Μηχανικών Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσ/νικης

9. Κανάκη Α. – Κατσιμίχα Δ. “Προσρόφηση βαρέων τοξικών μετάλλων σε ελληνικούς λιγνίτες” Διπλωματική Εργασία Πολυτεχνείου Κρήτης , Τμήμα Μηχ.Ορυκτών Πόρων , Χανιά 2006

10. Site [www.dei.com.gr](http://www.dei.com.gr)