



الجمهورية الديمقراطية الشعبية الجزائرية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



جامعة الشهيد حمه لخضر الوادي

رقم الترتيب:.....
رقم التسلسل:.....

كلية العلوم الدقيقة

قسم الكيمياء

مذكرة تخرج لنيل شهادة الماستر مهني في الكيمياء

تخصص: كيمياء تحليلية

من اعداد الطلبة:

حنافي إكرام ومسعودي مريم

تحت عنوان:

تثمين مخلفات الجبس في معالجة مياه الصرف الصحي

نوقشت في: 2025/05/29

أمام لجنة المناقشة المكونة من الأساتذة:

• عطية جمال	أستاذ تعليم عالي	رئيسا	جامعة الشهيد حمه لخضر - الوادي
• زبيدي عمار	أستاذ تعليم عالي	مناقشا	جامعة الشهيد حمه لخضر - الوادي
• محبوب محمد الصادق	أستاذ تعليم عالي	مشرفا	جامعة الشهيد حمه لخضر - الوادي

الموسم الجامعي: 2025/2024

أنجز هذا العمل بمخبر إستغلال وتثمين المصادر الطاقوية الصحراوية (LEVRES)

المخلص:

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم إمكانية استخدام ألواح الجبس المستعملة كمخلفات صناعية كمادة مازة صديقة للبيئة لإزالة صبغتين عضويتين ملونتين، هما أحمر الكونغو (CR) وأزرق الميثيلين (MB)، من المحاليل المائية. وتندرج هذه الدراسة ضمن إطار تحقيق مبادئ الاستدامة من خلال تعزيز إعادة التدوير الفعال للنفايات الصناعية. خضعت مادة الجبس المعالجة للتحليل الكيميائي والفيزيائي باستخدام تقنية مطيافية الأشعة تحت الحمراء بتحويل فورييه (FTIR) لتحديد المجموعات الوظيفية السطحية، وتقنية حيود الأشعة السينية (XRD) لدراسة البنية البلورية. تمت دراسة كفاءة امتزاز الصبغتين على سطح الجبس باستخدام 0.7 g من المادة المازة، حيث أجريت التجارب في درجة حرارة ثابتة (25°C) ودرجة حموضة معتدلة (pH = 7)، وبأزمنة تماس تراوحت بين 20 و140 دقيقة. وقد شملت الدراسة مجموعة من التراكيز المختلفة، تمثلت في (5-15-20-25-50 ppm) لأحمر الكونغو، و (1-2.5-5-7.5 ppm) لأزرق الميثيلين. أظهرت النتائج أن أعلى كفاءة إزالة لصبغة أحمر الكونغو بلغت 76.03% عند تركيز 5 ppm، في حين سجلت صبغة أزرق الميثيلين كفاءة إزالة بلغت 82.30% عند تركيز منخفض جداً بلغ 1 ppm. تعكس هذه النتائج فعالية الجبس المعاد تدويره من مخلفات البناء في إزالة الأصباغ العضوية من المياه، خاصةً عند التراكيز المنخفضة، مما يبرز إمكانية استخدامه كمادة مازة فعالة، اقتصادية ومستدامة لمعالجة مياه الصرف الصناعي الملوثة بالصبغات.

الكلمات المفتاحية: إزالة الصبغات العضوية، الاستدامة وإعادة التدوير، كفاءة الامتصاص (أحمر الكونغو وأزرق الميثيلين)، مخلفات الجبس، معالجة مياه الصرف الصناعي.

Abstract:

This study aims to evaluate the potential use of waste gypsum boards as an eco-friendly adsorbent material for the removal of two colored organic dyes - Congo Red (CR) and Methylene Blue (MB)- from aqueous solutions. The research aligns with sustainability principles by promoting the efficient recycling of industrial waste. The treated gypsum material was subjected to chemical and physical characterization using Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) to identify surface functional groups, and X-ray Diffraction (XRD) to analyze its crystal structure. The adsorption efficiency of Congo red and methylene blue dyes on gypsum was studied using 0.7 g of the adsorbent material. Experiments were conducted at a constant temperature (25°C) and neutral pH (pH = 7), with contact times ranging from 20 to 140 minutes. The study included specific dye concentrations: 5, 15, 20, 25, and 50 ppm for Congo red, and 1, 2.5, 5, and 7.5 ppm for methylene blue. The results showed that the highest removal efficiency for Congo Red was 76.03% at a concentration of 5 ppm, while the highest removal efficiency for Methylene Blue reached 82.30% at a very low concentration of 1 ppm. These results reflect the high effectiveness of recycled construction gypsum in removing organic dyes from water, particularly at low concentrations, highlighting its potential use as an efficient, economical, and sustainable adsorbent material for treating dye-contaminated industrial wastewater.

Keywords: Adsorption efficiency (CR & MB dyes), Gypsum board waste, Industrial wastewater treatment, Organic dye removal, Sustainability and recycling

شكر وتقدير

بسم الله الرحمن الرحيم

والصلاة والسلام على أشرف الأنبياء والمرسلين سيدنا محمد وعلى آله وصحبه أجمعين، أما بعد: في
مستهل هذا العمل المتواضع، نرفع أكف الضراعة والشكر والحمد لله عز وجل
الذي أنار بصيرتنا ووفقنا لإتمام هذا البحث.

وإننا إذ نصل إلى هذه المحطة، لا يسعنا إلا أن نتقدم بخالص الشكر وعظيم الامتنان إلى قامة علمية
شاحخة، وأستاذ فاضل ومشرف قدير الأستاذ الدكتور "محبوب محمد الصادق" الذي لم يخل علينا
بتوجيهاته السديدة، ونصائحه القيمة،

وسعة صدره ورحابة خلقه طوال فترة إعداد هذه المذكرة فجزاه الله عنا خير الجزاء، إضافة توفيره لنا
كل التسهيلات والإمكانيات اللازمة لإنجاز هذا المشروع في أحسن الظروف بصفته مديرا لمخبر
استغلال وتأمين المصادر الطاقوية الصحراوية (LEVRES)، بجامعة الوادي.

كما نود أن نعرب عن شكرنا وتقديرنا الجزيلين للأستاذين الكرامين:

❖ الأستاذ الدكتور "زيددي عمار" على تفضله بقبول مناقشة هذا العمل وإثرائه بملاحظاته
القيمة.

❖ الأستاذ الدكتور "عطية جمال" رئيس لجنة المناقشة الموقرة، على تفضله برئاسة هذه اللجنة
وعلى الوقت والجهد الذي سيخصه لتقييم هذا العمل.

ولا يفوتنا أن نتقدم بالشكر الجزيل إلى مهندس المخبر السيد

"قده عثمان" لتوفيره الإمكانيات والتسهيلات اللازمة لإنجاز هذا العمل.

كما نخص بالشكر والتقدير إلى كل من الدكتور "نغموش نصر صالح" و المهندس السيد "علي

طليبة" و السيد "عمر خنوفة" و السيدة "كنزة غانم"

على كل مساعدات التي قدموها لنا.

وأخيراً، نتوجه بالشكر لكل من قدم لنا يد العون، ولو بكلمة طيبة أو تشجيع صادق، خلال مسيرتنا

في إعداد هذه المذكرة. جعل الله ذلك في ميزان حسناتهم.

الإهداء

الحمد لله الذي وفقني لإتمام هذا العمل وسدد خطاي في مسيرتي العلمية

إلى من غرسا في قلبي معنى العطاء، من كان دعاؤهما سلاحاً في كل المراحل، أمي وأبي، تاج رأسي ونبع قوتي، كل الشكر لا يوفيكما حقكما.

إلى إخوتي وأخواتي، سندي الدائم ومصدر دعمي وابتسامتي، الذين أحاطوني بحبهم ودعمهم المعنوي في كل خطوة.

إلى رفيقة دربي في هذا العمل إكرام شريكة الجهد، والسهر، والطموح المشترك. لقد كانت مسيرتنا في إعداد هذه المذكرة تجربة مليئة بالعطاء والتحديات، فشكراً لكِ على روحك الطيبة، وتعاونك الصادق، وإخلاصك في العمل.

إلى صديقتي الصالحات (أسماء - انتصار - ماري - سعيدة - شيماء - سامية - فرح)، صداقتكن كنز أعزبه، وقلوبكن الطيبة هي السند الذي أتكى عليه. شكراً لكنّ على كل لحظة جميلة ودعم صادق.

اللهم اجعل هذا العمل خالصاً لوجهك الكريم، وانفع به، وبارك لي في علمي وعملي.

مريم

الإهداء

الحمد لله الذي يسر البدايات وبلغنا النهايات .

إلى روح والدي الغاليين إلى من رحل عن الدنيا،

لكن حضورهما باقٍ في قلبي، ودعاؤهما لا يفارقني ...

إلى من تعلمت منهما معنى القوة، والإصرار، والرضا .

أهدي هذا العمل المتواضع لروحيكما الطاهرتين، وأسأل الله أن يجعله في ميزان حسناتكما .

إلى إخوتي وأخواتي أتم السند والظهر، والدعم الحقيقي في كل خطوة .

شكراً لوجودكم في حياتي، بحبكم، بصبركم، بضحكتكم، وبكلما تكلمت اللي كانت الدافع لي دائماً .

إلى خطيبي العزيز شكراً لك على دعمك واهتمامك، على صبرك وتشجيعك في كل الأوقات .

وجودك بجانبي كان نعمة، وهذا الإنجاز لا يكتمل إلا بذكرك .

إلى رفيقة مشواري العلمي في إعداد هذه المذكرة وزميلة الدرب الجميل مريم شكراً لمساندتك،

وللضحكات واللحظات اللي جمعتنا وسط التعب، هذا الإنجاز لنا سوياً .

إلى صديقاتي الغاليات (أسماء- سامية- ماري- شيماء- فرح- سعيدة) كنن نبع السعادة،

وكلمة الأمل وقت التعب . أشكر كل واحدة منكن على وجودها وكلماتها

التي صنعت فرقاً في يومي .

وإلى كل من ساهم ولو بكلمة، ممن تركوا أثراً طيباً في رحلتي

لكم كل الامتنان من القلب، فهذا الإنجاز يحمل جزءاً منكم جميعاً .

إكرام

فهرس الأشكال

الصفحة	عنوان الشكل
08	الشكل (1-I) : تستخدم محطة الطاقة "Drax" التي تعمل بالفحم في المملكة المتحدة أنظمة إزالة الكبريت, التي تم تركيبها بين عامي 1993 و1996.
10	الشكل (2-I) : مراحل تحضير مسحوق الجبس.
12	الشكل (3-I) : محطة إنتاج الجبس.
20	الشكل (4-I) : الصيغة الكيميائية لأزرق الميثيلين (MB).
21	الشكل (5-I) : الصيغة الكيميائية لأحمر الكونغو (CR).
32	الشكل (1-II) : صورة للامتزاز الفيزيائي.
32	الشكل (2-II) : صورة للامتزاز الكيميائي.
49	الشكل (1-III) : مخلفات الجبس.
51	الشكل (2-III) : جهاز الانعراج الآلي من نوع PROTO AXRD Benchtop.
52	الشكل (3-III) : جهاز مطيافية الأشعة تحت الحمراء (FTIR).
52	الشكل (4-III) : جهاز المجهر الضوئي.
53	الشكل (5-III) : محلول قياسي لأحمر الكونغو بتركيز 1000. ppm.
53	الشكل (6-III) : محلول قياسي لأزرق الميثيلين بتركيز 1000. ppm.
54	الشكل (7-III) : محاليل (MB) مخففة.
54	الشكل (8-III) : محاليل (CR) مخففة.
55	الشكل (9-III) : جهاز الأشعة فوق البنفسجية و المرئية (UV-Vis).
56	الشكل (10-III) : مخطط انعراج للعينه المرجعية A.
57	الشكل (11-III) : عملية التحسين لمخطط انعراج الأشعة x على مسحوق مادة الجبس.
58	الشكل (12-III) : أطيف الأشعة تحت الحمراء لكل من الجبس قبل و بعد امتزاز صبغتي (CR) و (MB).
59	الشكل (13-III) : صورة مكبرة (40 ×) لجبس ممتز بصبغة أزرق الميثيلين عند تركيز 2.5 ppm.
59	الشكل (14-III) : صورة مكبرة (40 ×) لجبس ممتز بصبغة أزرق الميثيلين عند تركيز 5 ppm.
60	الشكل (15-III) : صورة مكبرة (40 ×) للجبس قبل عملية الامتزاز.
60	الشكل (16-III) : صورة مكبرة (40 ×) لجبس ممتز بصبغة أحمر الكونغو عند التركيز 5 ppm.
60	الشكل (17-III) : صورة مكبرة (40 ×) لجبس ممتز بصبغة أحمر الكونغو عند التركيز 25 ppm.
61	الشكل (18-III) : امتزاز صبغة أحمر الكونغو على الجبس (a) قبل التقسيم و (b) بعد التقسيم.
61	الشكل (19-III) : امتزاز صبغة أزرق الميثيلين على الجبس (a) قبل التقسيم و (b) بعد التقسيم.

- 61 الشكل (III-20): منحنى طيف الامتصاص لصبغة (a) أزرق الميثيلين (MB) و (b) أحمر الكونغو (CR).
- 63 الشكل (III-21): منحنى طيف الامتصاص لصبغة (CR) ذات التراكيز (a) 5 ppm (b) -15 ppm (c) -20 ppm (d) -25ppm (e) 50 ppm الممتزة على مادة الجبس.
- 63 الشكل (III-22): منحنى طيف الامتصاص لصبغة (MB) ذات التراكيز (a) 1ppm (b) - 2.5ppm (c) - 5ppm (d) - 7.5 ppm الممتزة على مادة الجبس.
- 65 الشكل (III-23): تأثير التركيز الابتدائي للصبغة (CR) على كفاءة الامتزاز على الجبس.
- 66 الشكل (III-24): تأثير التركيز الابتدائي للصبغة (MB) على كفاءة الامتزاز على الجبس.
- 68 الشكل (III-25): منحنى الشاهد لصبغة (CR).
- 68 الشكل (III-26): منحنى الشاهد لصبغة (MB).
- 69 الشكل (III-27): منحنى نموذج لانجمير لصبغة (CR).
- 70 الشكل (III-28): منحنى نموذج فروندليش لصبغة (CR).
- 70 الشكل (III-29): منحنى نموذج لانجمير لصبغة (MB).
- 71 الشكل (III-30): منحنى نموذج فروندليش لصبغة (MB).

فهرس الجداول

الصفحة	عنوان الجدول
14	الجدول (1-I): الخواص الفيزيائية للجبس.
17	الجدول (2-I): تصنيف الأصبغة الصناعية حسب شدة اللون.
20	الجدول (3-I): بعض الخصائص الكيميائية والفيزيائية لأزرق الميثيلين.
22	الجدول (4-I): الخصائص الكيميائية والفيزيائية لأحمر الكونغو.
32	الجدول (1-II): مقارنة بين الامتزاز الفيزيائي والكيميائي.
57	الجدول (1-III): جدول يوضح نسبة الأطوار وعوامل الثقة للعينة.
64	الجدول (2-III): كفاءة الامتزاز صبغة (CR) عند تراكيز مختلفة.
66	الجدول (3-III): كفاءة الامتزاز صبغة (MB) عند تراكيز مختلفة.
71	الجدول (4-III): ايزوتارم امتزاز صبغة CR على سطح الجبس.
71	الجدول (5-III): ايزوتارم امتزاز صبغة MB على سطح الجبس.

قائمة الرموز والمختصرات

الترجمة باللغة العربية	مدلوله	الرمز
الامتصاصية	Adsorbance	Abs
العينة المرجعية	Reference Sample	A
أمينات عطرية	Aromatic Amines	AA
ثابت تيمكن	Temkin constant	B
تركيز محلول	Solution Concentration	C
التركيز الابتدائي للمذاب	Initial Solvent Concentration	C_0
التركيز عند التوازن للمذاب	Solute Concentration at Equilibrium	C_e
صبغة أحمر الكونغو	Congo Red	CR
كفاءة الامتزاز	Adsorption efficiency	%DR
إدارة الغذاء والدواء الأمريكية	Food and Drug Administration	FDA
عملية نزع الكبريت من الغاز المنبعث	Desulfurization process of emitted gas	FGD
جبس مطحون فائق النعومة	Ultra-fine ground gypsum	FG200
الأشعة تحت الحمراء	Infra Red rays	FTIR
ثابت لانجمير	Langmuir Constant	K_L
ثابت فروندليتش	Freundlich constant	K_F
ثابت السرعة لحركية شبه الرتبة الأولى	Pseudo-first-order kinetic rate constant	K_1
ثابت السرعة لحركية شبه الرتبة الثانية	Pseudo-second-order kinetic rate constant	K_2
ثابت التوزيع	Distribution constant	K_C

ثابت ربط التوازن	Fixed Equilibrium Binding	K _b
سمك الخلية المرجعية	Reference cell thickness	L
صبغة أزرق الميثيلين	Methylene Blue	MB
كتلة المادة المازة	Mass of adsorbent material	m
الرقم الهيدروجيني	Hydrogen Potentiel	pH
الكمية الممتزة عند التوازن	Equilibrium adsorbate quantity	q _e
السعة العظمى للامتزاز	Maximum adsorbate quantity	q _m
سعة الامتزاز عند اللحظة	Adsorbation capacity at	q _t
معامل التوازن	Equilibrium constant	R _L
ثابت الغازات المثالية	Perfect gaz constant	R
عامل الموثوقية المتوقع	Expected reliability factor	R _{exp}
عامل موثوقية الشكل الجانبي الموزون	Weighted profile reliability factor	R _{WP}
عامل شكل الانعراج	Diffraction shape factor	R _P
زمن الاتصال	Time of contact	t
درجة الحرارة المطلقة	Temperature	T
الأشعة فوق البنفسجية - المرئية	UV and visible rays	UV-Vis
حجم المحلول	Solution Volume	V
كمية المادة المازة عند التوازن	Amount of adsorbent material at equilibrium	X
انعراج الأشعة السينية	X-ray diffraction	XRD
معامل التوافق أو معامل وجود التطابق	Goodness-of-fit parameter or matching factor	X ²
شدة الامتزاز	Adsorption intensity	1/n

الطول الموجي الأعظمي	Maximum wavelength	λ_{\max}
زاوية الانعراج لبراغ	Bragg diffraction angle	θ
التغير في الطاقة الحرة	Change in free energy	ΔG°
التغير في الإنتروبي	Change in entropy	ΔS°
التغير في الأنتالبي	Change in enthalpie	ΔH°
معامل الامتصاصية الجزيئي	Polani factor	ε

فهرس المحتويات

IV	المخلص
V	Abstract
VI	شكر وتقدير
VII	الإهداء
IX	فهرس الأشكال
XI	فهرس الجداول
XII	قائمة الرموز والمختصرات
XV	فهرس المحتويات
2	المقدمة العامة

الفصل الأول: عموميات حول الجبس والأصباغ

6	I-1-الجبس
6	I-1-1- نبذة تاريخية
7	I-1-2- تعريف الجبس
7	I-1-3- مكونات الجبس
7	I-1-4- أصناف الجبس
7	I-1-4-1- الجبس الطبيعي
8	I-1-4-2- الجبس الصناعي
9	I-1-5- تحضير الجبس
9	I-1-5-1- الطريقة التقليدية
11	I-1-5-2- الطريقة الحديثة
12	I-1-6- الخواص الكيميائية للجبس
13	I-1-7- الخواص الفيزيائية للجبس
14	I-1-8- مخاطر الجبس
15	I-1-9- استخدامات الجبس
15	I-1-9-1- صناعة مواد البناء
15	I-1-9-2- صناعة المواد الغذائية
16	I-1-9-3- في مجال الزراعة
16	I-1-9-4- في مجال الطب
17	I-2-الأصباغ

17	1-2-I-تعريف الأصباغ.....
18	3-2-I- تصنيف الأصباغ.....
18	1-3-2-I- الأصباغ غير الأنيونية.....
18	2-3-2-I- الأصباغ الكاتيونية.....
18	3-3-2-I- الأصباغ الأنيونية.....
19	4-2-I- صبغة أزرق الميثيلين.....
20	1-4-2-I- تحضيرها.....
20	2-4-2-I- خصائصها الكيميائية و الفيزيائية.....
20	3-4-2-I- سميتها.....
21	5-2-I- صبغة أحمر الكونغو.....
21	1-5-2-I- تحضيرها.....
22	2-5-2-I- خصائصها الكيميائية و الفيزيائية.....
22	3-5-2-I- سميتها.....
23	6-2-I- تقنيات المعالجة.....
23	1-6-2-I- الطرق الكيميائية.....
23	2-6-2-I- الطرق الفيزيائية.....
24	3-6-2-I- الطرق البيولوجية.....
25	الخاتمة.....
26	مراجع الفصل الأول.....

الفصل الثاني: دراسة نظرية حول الإمتزاز

31	1-II- تعريف الإمتزاز.....
31	2-II- أهمية الامتزاز.....
31	3-II- أنواع الإمتزاز.....
31	1-3-II- الامتزاز الفيزيائي.....
32	2-3-II- الامتزاز الكيميائي.....
33	4-II- آلية الامتزاز.....
33	5-II- العوامل المؤثرة على ظاهرة الامتزاز.....
33	1-5-II- تأثير الرقم الهيدروجيني (pH).....
33	2-5-II- تأثير درجة الحرارة.....
34	3-5-II- طبيعة المادة الممتزة (Nature of Adsorbate).....
34	4-5-II- طبيعة المادة المازة (Nature of Adsorbent).....

34	6-II- أنواع المواد المازة.....
34	1-6-II- الأطيان.....
35	2-6-II- الكربون المنشط.....
35	3-6-II- الزيوليتات.....
35	4-6-II- هلام السيليكا.....
36	5-6-II- الألومينات المنشطة.....
36	6-6-II- الممتزات البوليمرية.....
36	7-II- ايزوتارم الامتزاز.....
37	8-II- نماذج ايزوتارم الامتزاز.....
37	1-8-II- ايزوتارم لانجمير (LANGMUIR).....
38	2-8-II- ايزوتارم فروندليش (FREUNDLICH).....
39	3-8-II- ايزوتارم تيمكن (TEMKIN).....
39	9-II- حركية الامتزاز.....
39	1-9-II- نموذج الحركية من الرتبة الزائفة الأولى (Pseudo-first order kinetics model).....
39	2-9-II- نموذج الحركية من الرتبة الزائفة الثانية (Pseudo-second order kinetics model).....
40	3-9-II- نموذج الانتشار داخل الجزيئات (Intraparticle Diffusion Model).....
40	10-II- الدراسة الترموديناميكية للامتزاز.....
42	الخاتمة.....
43	مراجع الفصل الثاني.....

الفصل الثالث: نتائج والمناقشة

48	1-III- تمهيد.....
48	2-III- الطرق والمواد المستخدمة.....
48	1-2-III- المواد والمحاليل الكيميائية المستعملة.....
48	2-2-III- الأدوات والأجهزة المستخدمة.....
49	3-III- تحضير الجبس.....
50	4-III- تشخيص مادة الجبس قبل المعالجة.....
50	1-4-III- انعراج الأشعة السينية (XRD).....
51	2-4-III- التحليل الطيفي بالأشعة تحت الحمراء (FTIR) للجبس.....
52	3-4-III- المجهر المكبر (40×).....
53	5-III- تحضير المحاليل الملوثة.....
53	1-5-III- تحضير المحاليل القياسية.....

53	.....III-5-2- تحضير المحاليل ذات التراكيز المختلفة
54	.....III-6- تجارب الامتزاز
54	.....III-6-1- مبدأ عمل جهاز الأشعة فوق البنفسجية المرئية
55	.....III-6-2- تأثير تركيز الابتدائي
55	.....III-6-3- تأثير زمن التلامس
56	.....III-7- تحليل النتائج والتشخيص بعد المعالجة
56	.....III-7-1- تحليل مخطط انعراج الأشعة السينية (XRD)
58	.....III-7-2- التحليل الطيفي بالأشعة تحت الحمراء (FTIR) قبل وبعد الامتزاز
59	.....III-7-3- الصور المجهرية للعينة قبل وبعد المعالجة
60	.....III-7-4- مقارنة بين العينات (CR-MB)
61	.....IV-7-5- تحديد الطول الموجي الأعظمي
62	.....IV-7-6- قياس الامتصاصية
64	.....IV-7-7- تأثير تركيز الصبغة على كفاءة الامتزاز
67	.....III-7-8- تأثير زمن التلامس
67	.....III-8- دراسة ايزوتارم الامتزاز
68	.....III-8-1 المنحنى الشاهد لصبغتي أحمر الكونغو (CR) و أزرق الميثيلين (MB)
69	.....III-9- دراسة ايزوتارم الامتزاز
73	.....الخاتمة
74	.....مراجع الفصل الثالث
76	.....الخلاصة العامة

المقدمة العامة

المقدمة العامة:

يشكل التلوث المائي تحديًا بيئيًا عالميًا متزايد الخطورة، حيث تؤدي الأنشطة الإنتاجية والصناعية، والاستخدامات المنزلية، ومياه الصرف الصحي لا سيما تلك الناتجة عن المستشفيات إلى تدهور نوعية المياه في الأنهار والمسطحات المائية، مما يهدد الحياة المائية وصحة الإنسان. يضاف إلى ذلك التأثير السلبي لاستخدام الأسمدة والمبيدات في الزراعة. وفي هذا السياق، يبرز نهر دجلة كمثال حي للأنهار الرئيسية التي رزحت تحت وطأة الأنشطة البشرية المتنوعة. وتثير الملوثات العضوية قلًا خاصًا نظرًا لبُطئ تحللها وقدرتها على التراكم في الأنسجة الحية، مُنقلة عبر السلسلة الغذائية لتشكل مخاطر صحية جسيمة على الكائنات الحية.

إن ضرورة إزالة هذه الملوثات من المياه تُمثل أولوية قصوى للتخفيف من التداعيات البيئية والاقتصادية والصحية الناجمة عنها. وقد تطورت عبر الزمن طرق تقليدية لمعالجة المياه، كالترسيب والتبادل الأيوني والأكسدة والاختزال والترشيح والتحليل الكهربائي [1].

وفي العقود الأخيرة، شهد مجال معالجة النفايات والمياه العادمة المحملة بالملوثات الكيميائية تطورًا ملحوظًا في التقنيات الفيزيائية والكيميائية، مثل التحفيز الضوئي و الامتزاز. ومع أن لكل من هذه الطرق حدودًا تتعلق بالتكلفة والتصميم وكفاءة الفصل، إلا أن تقنية الامتزاز تظل خيارًا واعدًا نظرًا لكفاءتها العالية، وبساطة تطبيقها، وتكلفتها الاقتصادية المنخفضة نسبيًا.

يُعد الامتزاز تقنية محورية وواسعة الانتشار في إزالة الملوثات من المحاليل المائية، خاصة عندما يعتمد على مواد مازة طبيعية، رخيصة، متوفرة، وصديقة للبيئة، ولا تتطلب خطوات معالجة إضافية مُعقدة [2]. ولتحقيق امتزاز فعال، لا بد من توفر سطوح مازة ذات انتقائية وقدرة امتزاز عاليتين، ومساحة سطحية كبيرة، بالإضافة إلى كونها قليلة التكلفة ومتاحة تقليديًا، يُستخدم الكربون النشط على نطاق واسع كمادة مازة لإزالة الملوثات العضوية وغير العضوية [3]، إلا أن ارتفاع تكلفته وصعوبة إعادة استخدامه وفصله من المياه العادمة حفز الباحثين نحو استكشاف مواد بديلة مستدامة. وقد اتجهت الدراسات الحديثة إلى تطوير مواد مازة جديدة من مصادر طبيعية متنوعة [4, 5]. وفي هذا السياق، تبرز أهمية البحث عن حلول مبتكرة لمعالجة المخلفات الصناعية قبل طرحها في البيئة [6].

ومن هذا المنطلق، يكتسب تثمين مخلفات الجبس أهمية خاصة كنهج مستدام ومبتكر في معالجة هذه الملوثات. فبالنظر إلى خصائصه الامتصاصية الفريدة، يُمكن للجبس أن يلعب دورًا فعالًا في إزالة المركبات العضوية والملونات الصناعية من مياه الصرف الصحي. وتهدف هذه الدراسة إلى تقييم كفاءة استخدام مخلفات الجبس في إزالة صبغتي أحمر الكونغو وأزرق الميثيلين من المياه الملوثة، وذلك من خلال دراسة العوامل المؤثرة على عملية الامتزاز وتحليل مدى فاعلية هذه المادة في تحسين جودة المياه. ومن المتوقع أن تُساهم نتائج هذه الدراسة في تعزيز استراتيجيات المعالجة البيئية المستدامة، وتوفير

المقدمة العامة

حلول فعالة واقتصادية لمعالجة مياه الصرف الصناعي، وتشجيع استخدام المواد المستدامة كبدائل صديقة للبيئة في أنظمة معالجة المياه الحديثة.

ولتحقيق الأهداف المذكورة سابقا، اعتمدنا خطة عمل قسمت إلى ثلاث فصول تسبقهما مقدمة عامة وتليهما خلاصة عامة تتضمن بعض التوصيات.

الفصل الأول: بحث توثيقي ، حيث تناولنا فيه عموميات حول كل من الجبس والملوثات العضوية (الأصبغ).

الفصل الثاني: دراسة نظرية حول الامتزاز.

الفصل الثالث: الجانب التجريبي و مناقشة النتائج.

المراجع العربية:

- [3] ع. م. و. سهام، "دراسة إدمصاص صبغة أزرق الميثيلين باستعمال مخلفات نخيل التمر،" ماستر أكاديمي، جامعة الشهيد حمه لخضر – الوادي، 2018.
- [5] ب. عشورة، اشراق، حميتي، كريمة، "محاولة ازالة صبغة الميثيلين الأزرق من محلولها المائي باستخدام الفحم المنشط المنتج من مخلفات عظام الدجاج،" جامعة قاصدي مرباح ورقلة، 2019.
- [6] ز. إ. حسن، " التخلص من ملوثات المياه بواسطة ظاهرة الإمتزاز " بكالوريوس في علوم الكيمياء بحث تخرج (جزء من متطلبات نيل درجة البكالوريوس) جامعة القادسية ، 2017.

المراجع الأجنبية:

- [1] D. H. Jassim and R. H. H. Al-Shammari, "Utilization of Palm Waste and Secondary Metabolites of Trichoderma as a Biofilter for Wastewater Treatment," Samarra Journal of Pure and Applied Science, vol. 5, pp. 143-152, 2023.
- [2] A. Dąbrowski, "Adsorption—from theory to practice," *Advances in colloid and interface science*, vol. 93, pp. 135-224, 2001.
- [4] T. Albanis, D. Hela, T. Sakellarides, and T. Danis, "Removal of dyes from aqueous solutions by adsorption on mixtures of fly ash and soil in batch and column techniques," *Global Nest: Int. J.*, vol. 2, pp. 237-244, 2000.

الفصل الأول

عموميات حول الجبس والأصباغ

الفصل الأول: عموميات حول الجبس والأصباغ

I-1-2- تعريف الجبس:

يعود أصل مصطلح "Gypse" إلى التسمية اليونانية القديمة للمعدن المحروق، والذي يتكون كيميائياً من كبريتات الكالسيوم المائية ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). يعد الجبس من المعادن المتوفرة بكثرة في الطبيعة، حيث يتواجد بأشكال متعددة، ويتميز عادةً بلونه الأبيض وليونته، ويتشكل في طبقات سميكة نتيجة عمليات تبخر المياه المالحة. تتشكل معظم الترسبات الجبسية في قيعان البحار الضحلة، حيث يترسب مصاحباً لمعدن الأنهيدريت (CaSO_4)، لينتج عنه معدن الباسينيت ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) كما يتشكل الجبس أيضاً من ترسيب الأنهيدريت بفعل تأثير المياه السطحية. ومن الخصائص المميزة للجبس قدرته على الانتفاخ عند امتصاص الماء، مما يؤدي إلى تكوين طبقات غالباً ما تكون مطوية. يتميز الجبس بكونه كثلياً ودقيق الحبيبات، ويصبح مسحوقاً عند تعرضه للتسخين والتجفيف، وهو الأساس في إنتاج العديد من أنواع الجبس الصناعي مثل جبس باريس (Plaster of Paris) والعديد من أنواع الإسمنت [5]. من الناحية الفيزيائية، يعد الجبس صخرة ناعمة متبلورة بالكامل، تتراوح كثافتها النوعية بين 2.2 و 4.2 حسب درجة نقاوتها وكمية الشوائب فيها. عند توفر درجة نقاوة عالية، يظهر الجبس تبلوراً كاملاً، وتظهر بلوراته تحت المجهر بأشكال وألوان مختلفة، وتكون شفافة للإشعاع. أما بالعين المجردة، فتظهر صخور الجبس عادةً بألوان بيضاء أو صفراء أو رمادية أو وردية، وذلك بسبب وجود الشوائب المعدنية المختلفة [1].

I-1-3- مكونات الجبس:

يُعتبر الجبس مادة طبيعية تتكون أساساً من كبريتات الكالسيوم (CaSO_4)، إلى جانب نسب متفاوتة من الماء وكربونات الكالسيوم (CaCO_3) والسيليكا أو الرمل (SiO_2) وذلك تبعاً للموقع الجيولوجي الذي تستخرج منه الرواسب [6].

I-1-4- أصناف الجبس:

تنقسم أصناف الجبس إلى نوعين رئيسيين:

I-1-4-1- الجبس الطبيعي:

يتواجد الجبس في الطبيعة بعدة أشكال تختلف في خصائصها الفيزيائية وتركيبها، ومن بين أبرز أنواعه:

- **الجبسيت (Gypsite):** راسب أرضي دقيق الحبيبات، غير نقي، يحتوي عادةً على طين أو رمل أو طبقات طينية حمراء.
- **السيلينيت (Selenite):** من أجود أنواع الجبس، يتميز ببلوراته الأحادية الشفافة والكاملة وغالباً ما تكون متشققة.

الفصل الأول: عموميات حول الجبس والأصباغ

- **المرمر (Alabaster):** عبارة عن كتل دقيقة الحبيبات تُستخدم بكثرة في النحت والزخرفة نظرًا لسهولة تشكيلها، حيث يُستخدم في نحت الأواني الزخرفية والتحف الفنية.
- **ألياف متوازية (Satinspar):** وهو نوع من الجبس كثير التشقق، يوجد على هيئة ألياف متنوعة، ويتميز بلمعته الحريريّة [7].
- **وردة الرمال:** هي نوع من الصخور المتبخرة التي تتشكل نتيجة لتبلور المعادن القابلة للذوبان حيث تأخذ هذه البلورات شكلًا يشبه الورود. يتكون الرمل من تبخر المياه المترسبة، وغالبًا ما تُوجد هذه البلورات في التربة الرخوة، سواء كانت رملية أو طينية، وخاصة في المناطق الصحراوية [1].

I-1-4-2- الجبس الصناعي:

يُعدّ الجبس الاصطناعي منتجًا ثانويًا ناتجًا عن عمليات إزالة الكبريت من غاز المداخن، كما هو موضح في الشكل (I-1) ويكتسب هذا النوع من الجبس أهمية متزايدة في الإنتاج العالمي نظرًا لتكلفته المنخفضة مقارنةً بتعدين الجبس الطبيعي. فعلى سبيل المثال، بلغت نسبة الجبس الاصطناعي المستهلك في الولايات المتحدة خلال عام 2008 حوالي 31% من إجمالي الاستهلاك.



الشكل (I-1): تستخدم محطة الطاقة "Drax"، التي تعمل بالفحم في المملكة المتحدة

أنظمة إزالة الكبريت، التي تم تركيبها بين عامي 1993 و1996 [8].

الفصل الأول: عموميات حول الجبس والأصباغ

I-1-5- تحضير الجبس:

I-1-5-1- الطريقة التقليدية:

يُحضّر الجبس قديمًا باستخدام طرق تقليدية بسيطة تعتمد على أربع مراحل أساسية، وهي: التكسير، الطهي، الطحن، ثم الغربلة.

• التكسير:

تُكسر كتل الجبس الكبيرة إلى أجزاء أصغر بواسطة أدوات يدوية مثل المطرقة، لتسهيل المعالجة اللاحقة.

• الطهي:

تُوضع قطع الجبس المكسرة داخل فرن بدائي مصنوع من الجبس الصلب، ويُستخدم الخشب كوقود لإشعال النار وطهي الحجر، ما يساهم في تجفيفه جزئيًا.

• الطحن:

تُطحن الأحجار المطهية بالأدوات ذاتها حتى تتحول إلى مسحوق ناعم، مع مراعاة تقليل حجم الحبيبات قدر الإمكان.

• الغربلة:

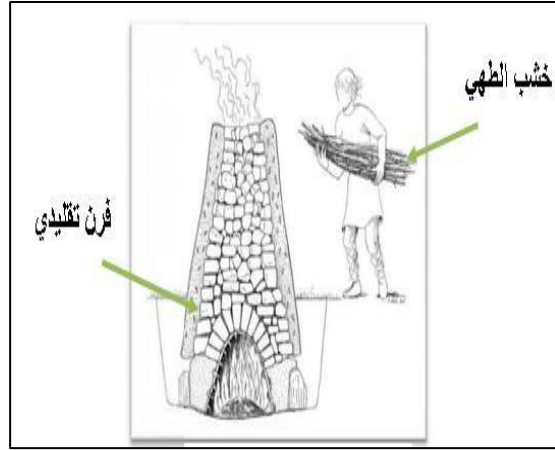
تُستخدم الغربلة لعزل الجزيئات الكبيرة أو غير المرغوب فيها، مما ينتج مسحوق جبس ناعم جاهز للاستعمال.

تُعد هذه الطريقة من أقدم الطرق المستخدمة لتحضير الجبس، لما تتسم به من بساطة وكفاءة في إنتاج مسحوق يلبي المتطلبات الأساسية في الاستخدامات المختلفة.

الفصل الأول: عموميات حول الجبس والأصباغ



b- تكسير حجارة الجبس باستخدام أدوات تقليدية



a- طهي حجارة الجبس باستخدام أدوات تقليدية



d- طحن حجارة الجبس



c- خشب الطهي



e- غريلة الجبس المطحون

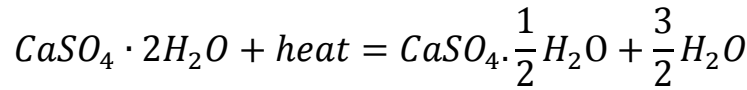
الشكل (2-I): مراحل تحضير مسحوق الجبس [9].

الفصل الأول: عموميات حول الجبس والأصباغ

I-1-5-2- الطريقة الحديثة:

تمر عملية تصنيع الجبس الطبيعي بمراحل متسلسلة تهدف إلى إنتاج مادة ذات جودة عالية. وتشمل هذه المراحل ما يلي:

- **التكسير:** تبدأ العملية بتكسير الخامات المستخرجة بواسطة كسارات صناعية، وذلك على مرحلتين. في المرحلة الأولى تُكسر الأحجار الكبيرة إلى قطع بحجم كف اليد تقريباً، وفي المرحلة الثانية تُفتت هذه القطع إلى أجزاء أدق. تُخزن المواد الناتجة مؤقتاً في مستودعات خاصة تمهيداً لنقلها إلى المرحلة التالية.
- **الاستخلاص:** يُغسل الجبس جيداً لإزالة الأتربة والشوائب، ثم يُغربل لفصل الجزيئات غير المرغوب فيها، وأخيراً يُجفف لضمان أقصى درجة من النقاء.
- **التحميص:** تُنقل الخامات النظيفة إلى أفران حرارية متخصصة، حيث تُسخن عند درجة حرارة تقارب 130°C ، لمدة كافية لطرد نصف كمية الماء الموجودة في الجبس الخام، مما يؤدي إلى تحويله إلى جبس نصف مائي ذو الصيغة $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ وفق المعادلة الكيميائية التالية:



من خلال هذه العملية، يتم إنتاج نوعين من الجبس نصف المائي و هما:

1. **الجبس ألفا (α):** يتم تحضيره تحت ضغط مرتفع (حوالي 9 Pa) وحرارة مستمرة لمدة ست ساعات، ما يمنحه بلورات أكثر تماسكاً وأقل ذوباناً، ويستلزم كمية أكبر من الماء عند الاستخدام ويحتاج وقتاً أطول للتصلب.
2. **الجبس بيتا (β):** يُنتج في ظروف أقل صرامة، ويتميز بسرعة ذوبانه وسهولة تصلبه، لذا يُستخدم بشكل أوسع في التطبيقات الصناعية.

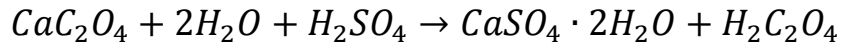
- **الطحن:** بعد التحميص، يُطحن الجبس في مطاحن متخصصة لضبط درجة نعومته وفق المواصفات المطلوبة.

- **التعبئة والفحص:** يُنقل المسحوق إلى مستودعات التعبئة بعد إجراء اختبارات فنية دقيقة على عينات منه. تشمل هذه الاختبارات: مدة التصلب، النقاوة، مقاومة الانحناء، ونسبة الشوائب مما يسمح بتصنيفه وفقاً لمعايير الجودة المعتمدة.

إلى جانب الجبس الطبيعي، يمكن إنتاج الجبس الصناعي بطرق مختلفة، من بينها تنقية الأحماض العضوية مثل حمض الستريك ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$) وحمض الأوكساليك ($\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$)، حيث تتشكل كميات قليلة

الفصل الأول: عموميات حول الجبس والأصباغ

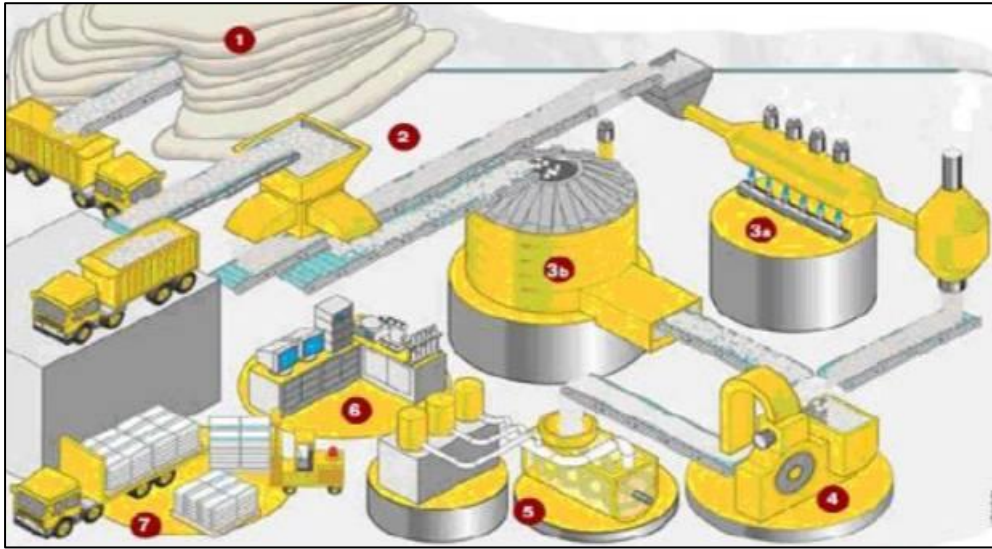
من كبريتات الكالسيوم اللامائية كمنتج ثانوي. فعلى سبيل المثال، يمكن تحضير الجبس الصناعي من تفاعل أملاح حمض الأوكساليك مع حمض الكبريتيك و الماء وفق المعادلة التالية:



التي تؤدي إلى تكوين كبريتات الكالسيوم .

طريقة أخرى شائعة تعتمد على إزالة ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) من غازات المداخن، وهي عملية تُعرف بنزع الكبريت من الغاز المنبعث أو العادم (FGD) .

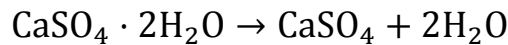
في هذه الحالة، يُستخدم هيدروكسيد الكالسيوم ($Ca(OH)_2$) لامتصاص الغاز، ثم يُؤكسد المركب الناتج للحصول على كبريتات الكالسيوم ($CaSO_4$)، والتي تُعد المادة الأساسية في صناعة الجبس الصناعي [6].



الشكل (3-I): محطة إنتاج الجبس [5].

I-1-6- الخواص الكيميائية للجبس:

يبقى التركيب الكيميائي للجبس مستقرًا في الظروف العادية، إلا أنه يتغير عند فقدانه للماء. فعند تعرّضه لدرجة حرارة تبلغ حوالي $70\text{ }^\circ\text{C}$ ، يفقد الجبس جزيئات الماء تدريجيًا ويتحول إلى مركب يُعرف بالهيمي هيدريت ($CaSO_4 \cdot \frac{1}{2}H_2O$). وعند تسخين الجبس بسرعة إلى $90\text{ }^\circ\text{C}$ ، شكله اللامائي المعروف بالأنهيدريت ($CaSO_4$). وفقًا للنظام (كبريتات الكالسيوم - ماء)، يمكن أن تتبلور أربعة أطوار، حيث يمثل الجبس والأنهيدريت الأطوار الثابتة، بينما الهيمي هيدريت والأطوار الأخرى ($CaSO_4 \cdot nH_2O$) تعتبر مؤقتة. تحت ظروف التوازن، يتم التفاعل على النحو التالي:



تشير الدراسات الحرارية إلى أن الجبس يُظهر امتصاصًا حراريًا ملحوظًا عند درجات حرارة تتراوح بين $190\text{ }^\circ\text{C}$ و $200\text{ }^\circ\text{C}$ ، نتيجة لفقدانه التدريجي والكامل للماء. يمكن ملاحظة هذه العملية

الفصل الأول: عموميات حول الجبس والأصباغ

بوضوح في الغلايات و الأفران الصناعية. الناتج الأكثر شهرة لهذه العملية هو "جبس باريس"، هو هيمي هيدريت تم إنتاجه عن طريق تسخين الجبس إلى 170°C لمدة تتراوح بين ساعة إلى ثلاث ساعات. عند إضافة الماء لجبس باريس، يعيد تكوين كبريتات الكالسيوم المائية، مما يؤدي إلى تشكيل كتلة صلبة متماسكة جراء تكوّن بلورات الجبس المتشابكة.

يتكون الجبس عادة من مياه البحر أو المياه المالحة المركزة في البحيرات، عند درجات حرارة تقل عن 42°C ، كما يُترسب من المحاليل المائية داخل الكهوف الجيرية، مثل كهوف الماموث في كنتاكي، الولايات المتحدة. غالبًا ما تكون الترسبات الحبيبية الكبيرة مرتبطة بطبقات الحجر الجيري والدولوميت والحجر الرملي، تحتوي مياه البحر على حوالي 3.5% من الأملاح الذائبة، وتشكل كبريتات الكالسيوم حوالي 4% من هذه الأملاح، يتم ترسيب الأملاح الذائبة بالترتيب التالي:

كربونات كالسيوم → كبريتات كالسيوم → كلوريد الصوديوم → كبريتات المغنسيوم → بروميد الصوديوم → كلوريد البوتاسيوم.

فإذا افترضنا أن مياه بحرية على عمق 300 m قد تبخرت تمامًا، فسيتراكم حوالي 5 m من الأملاح، حيث سيكون سمك طبقة كبريتات الكالسيوم 0.12 m وسمك كلوريد الصوديوم حوالي 3.5 m. ومن المعادن المرتبطة بالجبس نجد الهاليت (NaCl) والسيليسيتين (SrSO_4) والكلسيت (CaCO_3) والأراجونيت (أحد اطوار CaCO_3 لكنه يختلف عن الكلسيت في شكل الشبكة البلورية) والدولوميت ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) والبيريت (FeS_2) والكبريت (S) والكوارتز (SiO_2). توجد رواسب كبيرة من الجبس في عدة مناطق حول العالم، مثل ستاسفورت في ألمانيا رونوفاسكوتيا، نيو مكسيكو، نيفادا، يوتا، كاليفورنيا وتكساس في الولايات المتحدة، يُعتبر المسحوق الأبيض المعروف في الأسواق ذو قدرة عالية على امتصاص الماء، ويعتبر الجبس مادة قابلة للذوبان حيث تساوي قيمتها 2 g/l عند درجة حرارة تتراوح بين 18°C و 20°C [10].

I-1-7- الخواص الفيزيائية للجبس:

يُعدُّ الجبس من أكثر المعادن الكبريتية انتشارًا في الطبيعة، حيث يتوفر بكثرة إما على شكل معدن أو كصخر رسوبي. غالبًا ما يوجد الجبس متداخلًا مع معدن الأنهدريت (كبريتات الكالسيوم اللامائية) ويرتبط بتكوينات جيولوجية أخرى مثل الدولوميت والطين والحجر الجيري. يتدرج لون الجبس من الأبيض إلى الرمادي، وقد يميل أحيانًا إلى اللون الأحمر حسب نوع الشوائب المصاحبة ويوجد إما على سطح الأرض أو في أعماق قد تصل إلى 350 m. أما خصائصه الفيزيائية الأساسية فيمكن تلخيصها في الجدول التالي:

الفصل الأول: عموميات حول الجبس والأصباغ

الجدول (1-I): الخواص الفيزيائية للجبس [10].

التصنيف	معادن الكبريتات
صيغته الكيميائية	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
المظهر البلوري	ضخمة, بلورات ممدودة و المنشورية عموماً.
نظام البلورة	C2/c - أحادية الميل (monoclinic)
قرائن ميلر	شائعة جدا في (110)
البريق	$2 - 1.5 \text{Kg}_f/\text{mm}^2$
خدش	زجاجي إلى حريري, لؤلؤي أو شمعي
الشفافية	أبيض
الكثافة النوعية	2.33-2.31
خصائص البصرية	ذو محورين
قرينة الانكسار	$n_\alpha = 1.519 - 1.521$ $n_\beta = 1.522 - 1.523$ $n_\gamma = 1.529 - 1.530$
انكسار مزدوج	$\delta = 0.010$
تغير اللون	لا شيء

8-1-I- مخاطر الجبس:

على الرغم من فوائده الواسعة، فإن للجبس بعض المخاطر التقنية، خاصة في مجالي البناء والصناعة. ففي قطاع البناء، تؤدي تفاعلات كبريتات الكالسيوم الموجودة في الجبس مع الأسمنت إلى تدهور تدريجي في متانة الهياكل الخرسانية، ما يجعلها أكثر عرضة للتشقق والهشاشة مع مرور الزمن. وعند وجود الجبس في تربة البناء، يُوصى باستخدام الأسمنت المقاوم للكبريتات إذا لم تتجاوز نسبته % 6. أما في الحالات التي تتعدى فيها هذه النسبة، فيُفضل استبدال التربة بالتزامن مع استخدام الأسمنت المقاوم وذلك للحفاظ على استقرار المنشآت وتفاذي الأضرار المستقبلية.

صناعياً، قد يتسبب الجبس في مشكلات أثناء تصنيع الأسمنت، حيث يؤدي إلى تراكم المواد داخل الفرن، مما قد ينتج عنه تعطل في العملية الإنتاجية وهدر كبير في الطاقة، مما يستدعي تطبيق حلول تقنية فعالة للحد من تأثيراته السلبية على كفاءة التصنيع [6].

الفصل الأول: عموميات حول الجبس والأصباغ

I-1-9- استخدمات الجبس:

I-1-9-1- صناعة مواد البناء:

يُعد الجبس من أهم المواد الخام المستخدمة في قطاع البناء، حيث يدخل في تصنيع مجموعة متنوعة من المنتجات مثل:

- الأسمنت.
- ألواح الجبس.
- جبس باريس.

كما تُوجد أنواع خاصة من الجبس، مثل "صارية الساتان" و"المرمر (Alabaster)"، والتي تُستخدم في التطبيقات الزخرفية، رغم محدودية صلابتها التي تؤثر على المنتجات المصنوعة منها. يلعب الجبس دورًا حيويًا في التصاميم تحسين التصميمات الداخلية للمباني بمختلف أنواعها سواء كانت المنازل، المكاتب، المدارس، المتاجر، المصانع، أو المطارات. حيث يساهم في:

• تعزيز العزل الحراري والصوتي.

• تحسين مقاومة الحريق.

• دعم المتانة البنوية للتصاميم المعمارية الحديثة.

علاوة على ذلك، تمتاز ألواح الجبس خصائص متميزة في امتصاص الصوت، حيث تُستخدم بشكل خاص للحد من الضوضاء البيئية، مثل أصوات المحادثات والموسيقى. كما يُسهّم استخدام الجبس كمادة حشو في الصناعات البلاستيك والمطاط حيث يعمل على:

• تعزيز القوة الميكانيكية للمنتج.

• تحسين المقاومة الحرارية لهذه المادة.

مما يجعل الجبس مادة متعددة الاستخدامات في مختلف الصناعات.

I-1-9-2- صناعة المواد الغذائية:

تم اعتماد استخدام الجبس كمادة آمنة للاستهلاك البشري من قبل إدارة الغذاء والدواء الأمريكية (FDA)، حيث يُعتبر مصدرًا غذائيًا للكالسيوم ويُستخدم في معالجة المياه المخصصة لإنتاج المشروبات المختلفة. ويُستعمل الجبس المطحون فائق النعومة، المعروف تجارياً بالرمز FG200، كمادة مضافة في تصنيع العديد من المنتجات الغذائية.

- تحسين خواص الدقيق:

يُستخدم الجبس عالي النقاء في صناعة محسنات الدقيق، حيث يُساهم في إنتاج الخبز والبسكويت والمنتجات الأخرى المعتمدة على الدقيق، مما يساعد على تقليل الالتصاق أثناء عملية التصنيع.

الفصل الأول: عموميات حول الجبس والأصباغ

- حامل للمكملات الغذائية:

يُعتبر الجبس ناقلاً اقتصادياً للمعادن، الفيتامينات، الإنزيمات، والحديد، حيث يتم دمج هذه العناصر في مزيج مُسبق الإعداد يُضاف لاحقاً إلى الدقيق لتعزيز قيمته الغذائية.

- موسع منخفض التكلفة:

يُستخدم الجبس كموسع منخفض التكلفة للدقيق وكمكمل غذائي للكالسيوم، مما يجعله عنصراً مهماً في تعزيز القيمة الغذائية للمنتجات المخبوزة. في بعض الثقافات الآسيوية، التي تعتمد تقليدياً على استهلاك كميات محدودة من منتجات الألبان، يُوظف الجبس كمُخثّر في إنتاج التوفو (وهو جبن نباتي مصنوع من حليب الصويا)، مما يجعله مصدراً أساسياً للكالسيوم الغذائي في تلك الأنظمة الغذائية [11].

I-1-9-3- في مجال الزراعة:

يعمل الجبس الزراعي على تحسين بنية التربة الطينية، مما يسهم في زيادة جودتها وتعزيز إنتاجية المحاصيل فيها. كما يُستخدم لإصلاح الأراضي الزراعية التي تعرضت للضغط بسبب الآليات الثقيلة، إضافةً إلى دوره الفعّال في مكافحة ملوحة التربة عبر تقليل تراكم الأملاح الضارة. علاوةً على ذلك، يُساعد الجبس الزراعي في تقطيت الطبقات الصلبة في التربة، مما يسهل اختراق الجذور وامتصاص العناصر الغذائية. ومن بين فوائده المهمة أيضاً، تقليل سمية الألمنيوم في التربة الحمضية، مما يخلق بيئة أكثر ملائمة للنمو النباتي. ورغم هذه الفوائد، فإن تأثير الجبس الزراعي لا يظهر فوراً، بل قد يستغرق حتى ثلاث سنوات ليصبح ملموساً، مما يجعله حلاً طويل الأمد لتحسين خصائص التربة وضمان استدامتها [12].

I-1-9-4- في مجال الطب:

يُعدُّ الجبس من أقدم المواد المستخدمة في المجال الطبي، حيث استُخدم في الطب الصيني القديم لعلاج الارتفاح الحاد في درجة الحرارة، وخاصةً في حالات ارتفاع حرارة المعدة والرئتين. ويُعزى ذلك إلى خصائصه الفريدة التي تجمع بين التأثيرات الحارة والباردة، مما يُساعد على تنظيم حرارة الجسم والتخفيف من الحمى.

ففي مجال طب الأسنان، يُستخدم الجبس على نطاق واسع في تصنيع القوالب السنية التي تُستخدم لقياس الأسنان وإعداد التعويضات السنية. كما يُمكن أن يسهم في تخفيف آلام الأسنان واللثة والمساعدة في علاج التهابات اللثة نظراً لخواصه الطبية.

أما في جراحة العظام، فيُعدُّ الجبس من المواد الأساسية في تجبير العظام المكسورة وتصحيح التشوهات العظمية. ويُطبق مباشرةً باستخدام القطن دون الحاجة إلى إضافات أو محسنات، ويتم تثبيته

الفصل الأول: عموميات حول الجبس والأصباغ

بالشريط الناعم ثم الشريط اللاصق، بعد تثبيت العضو المصاب لضمان استقرار الكسر وتقليل احتمالية حدوث مضاعفات.

يُستخدم الجبس كذلك في المجال الطبي لعلاج الأمراض الجلدية، حيث يمكن تطبيقه موضعياً للمساعدة في تخفيف الالتهابات الجلدية ومعالجة حالات مثل الأكزيما، الحروق، والتقرحات الجلدية. كما يمكن خلطه مع مستخلصات نباتية لتعزيز فعاليته وتحقيق نتائج علاجية أكثر فعالية.

من الناحية الغذائية، يُعد الجبس مصدراً غنياً بالكالسيوم، إذ تتراوح نسبة محتواه من الكالسيوم بين 23 % و 29 %، مما يجعله خياراً مناسباً كمكمل غذائي لتلبية احتياجات الجسم من هذا العنصر الأساسي. ويساهم استهلاكه المنتظم في تعزيز صحة العظام والأسنان، كما أن دمجها مع فيتامين D يُساعد في تقليل خطر الإصابة بهشاشة العظام، مما يجعله عنصراً داعماً لصحة الجهاز الهيكلي [13].

I-2- الأصبغ:

I-2-1- تعريف الأصبغ:

الأصبغ هي مواد ملونة تمتلك القدرة على الارتباط بالمواد المختلفة، مما يمنحها ألواناً زاهية ويساعد في حماية الأسطح المصبوغة من العوامل البيئية مثل التعرض لأشعة الضوء، الأكسجين الأحماض، القواعد، وعمليات الغسل المتكررة [14].

تتكون جزيئات الأصبغ من مجموعتين أساسيتين تحدد خصائصها الفيزيائية والكيميائية، حيث تُعرف الكروموفورات (Chromophores) بأنها المسؤولة عن إضفاء اللون عبر امتصاص الضوء في حين تعمل الأوكسوكرومات (Auxochromes) على تحسين ثبات الأصبغ وزيادة قدرتها على الالتصاق بالمواد المصبوغة.

يتم تصنيف الأصبغ وفقاً لشدة اللون الجدول (I-2) وتتميز بقدرتها على امتصاص الإشعاع الضوئي ضمن الطيف المرئي الذي يتراوح بين 380 nm و 750 nm، مما يؤثر بشكل مباشر على اللون الظاهر للعين البشرية [15].

الجدول (I-2): تصنيف الأصبغة الصناعية حسب شدة اللون [16].

مجموعات الأصبغ (ملونة)	مجموعات الأصبغ (ملونة)
(-NH ₂) أمينو	(-N=N-) أزو
(-NHCH ₃) ميثيل أمينو	(-NO ou -N-OH) نتروزو
(-N(CH ₃) ₂) ثنائي ميثيل أمينو	(O=C=) كربونيل
(-OH) هيدروكسيل	(-C=C-) فنيل
(-OR) الكوكسيل	(-NO ₂ ou =NO-OH) نترو
مجموعات مانحة للإلكترونات	(>C=S) كبريتيد

I-2-3- تصنيف الأصبغ:

يعتمد لون وخصائص جزيئات الصبغة بشكل أساسي على تركيبها الكيميائي، حيث يمكن تصنيف الأصبغ بناءً على تركيبها الكيميائي (المجموعات الوظيفية)، لونها، أو طبيعة استخدامها [17]. ونظرًا لتعقيد التسميات الكيميائية لهذه الأصبغ، تم اعتماد تصنيف حديث يعتمد على الشحنة الجزيئية عند الذوبان في البيئات المائية. وفقًا لهذا التصنيف، تُقسم الأصبغ إلى: أصبغ غير أيونية مثل الأصبغ المشتتة، أصبغ كاتيونية (الأصبغ الأساسية)، وأصبغ أنيونية والتي تشمل الأصبغ المباشرة التفاعلية، والحمضية [18].

I-2-3-1- الأصبغ غير الأيونية:

تُعد الأصبغ غير الأيونية نوعًا مهمًا من الأصبغ المستخدمة في تطبيقات صبغ الألياف كارهة الماء، حيث تتميز بصعوبة ذوبانها في الماء بشكل كبير. تُستخدم هذه الأصبغ بشكل أساسي على الألياف الصناعية مثل البوليستر، إضافة إلى استخدامها بدرجة أقل على النايلون والسيليلوز، وأسيئات السليلوز وألياف الأكريليك [19].

تحتوي الأصبغ غير الأيونية عمومًا على تركيبات كيميائية متنوعة، بما في ذلك أصبغ الأزو (azo) أو النترو (nitro) ، التي توفر نطاقًا واسعًا من الألوان من الأصفر إلى الأحمر، بالإضافة إلى الأصبغ الأنثراكينونية (anthraquinone) التي تُستخدم لإنتاج الألوان الزرقاء والخضراء، فضلًا عن الأصبغ المعدنية التي يمكن أن تقدم طيفًا واسعًا من الألوان [20].

I-2-3-2- الأصبغ الكاتيونية:

تُعرف الأصبغ الكاتيونية، المعروفة أيضًا بالأصبغ الأساسية، بأنها مواد صبغية تحتوي على مجموعات وظيفية كاتيونية، مما يجعلها قادرة على التفكك إلى أيونات موجبة الشحنة [17]. تتمثل خصائصها الرئيسية في كونها أملاح أمينات عضوية، مما يمنحها قابلية جيدة للذوبان في الماء وإمكانية إنتاج كاتيونات ملونة في المحلول.

تتفاعل هذه الكاتيونات بشكل خاص مع الركائز سالبة الشحنة، حيث تُشكل الروابط بين المواقع الموجبة للأصبغ ومواقع الألياف الأنيونية. يُلاحظ أن هذه الأصبغ تميل إلى التلاشي عند استخدامها على الألياف الطبيعية مثل الصوف والجلد. ومع ذلك، فقد أدت زيادة الاهتمام بالألياف الأكريليك إلى تحسين استخدام الأصبغ الكاتيونية، إذ توفر ألوانًا مكثفة وطويلة الأمد [21, 22].

I-2-3-3- الأصبغ الأنيونية:

تتميز الأصبغ الأنيونية باحتوائها على أيونات سالبة، مما يمنحها قابلية جيدة للذوبان في الماء. تشمل هذه الأصبغ عدة أنواع، منها الأصبغ الحمضية، الأصبغ المباشرة، الأصبغ التفاعلية.

الفصل الأول: عموميات حول الجبس والأصباغ

تتميز الأصباغ التفاعلية بقدرتها على الالتصاق بالركائز من خلال تفاعل كيميائي، مما يؤدي إلى تشكيل رابطة تساهمية بين جزيء الصبغة والألياف. ورغم أن الأصباغ الأيونية تنتج ألواناً زاهية جداً، إلا أن إزالتها تعتبر عملية صعبة، نظراً لخصائصها الحمضية وتأثيرها القوي في الماء [23].

- الأصباغ التفاعلية:

تُستخدم الأصباغ التفاعلية بشكل واسع في صبغ القطن والمواد السليلوزية الأخرى، على الرغم من إمكانية استخدامها بنسب أقل على ألياف النايلون والصوف. تعتمد فعالية هذه الأصباغ على وجود مجموعة الكروموفور والوظيفة الكيميائية التفاعلية، مما يضمن تشكيل رابطة تساهمية قوية مع الألياف. تتنوع الأصباغ التفاعلية، حيث تشمل معظمها الأصباغ الأزوية أو الميتالوسينية، بالإضافة إلى أصباغ الأنثراكينون والفتالوسيانين، والتي تُستخدم غالباً للألوان الزرقاء والخضراء [24].

- الأصباغ الحمضية:

تُستخدم الأصباغ الحمضية في نطاق واسع يشمل الورق، والجلود، وطباعة نفث الحبر بالإضافة إلى تطبيقاتها في المواد الغذائية ومستحضرات التجميل. كما تُستخدم في صناعة الألياف مثل النايلون والصوف، والحرير، والأكريليك المعدل. تتميز هذه الأصباغ بقابليتها العالية للذوبان في الماء [79]. تنتمي الأصباغ الحمضية عادةً إلى فئات كيميائية متنوعة، تشمل الأصباغ الأزوية والأنثراكينونية، وثلاثي فينيل ميثان، والأزين، والزانتين، بالإضافة إلى الأصباغ النيترو والنيتروسو [25].

- الأصباغ المباشرة:

تُستخدم الأصباغ المباشرة في تلوين الورق والجلود، بالإضافة إلى الألياف مثل القطن والحرير الصناعي، وأحياناً النايلون. تعتبر هذه الأصباغ أيونية وقابلة للذوبان في الماء، وتتميز بارتباطها القوي بالألياف السليلوزية عند إضافتها إلى محلول مائي يحتوي على إلكترونات. تشتمل عائلة الأصباغ المباشرة غالباً على مركبات بولي آزو، بالإضافة إلى بعض أنواع الستيلبين والفتالوسيانين والأوكسازين [26].

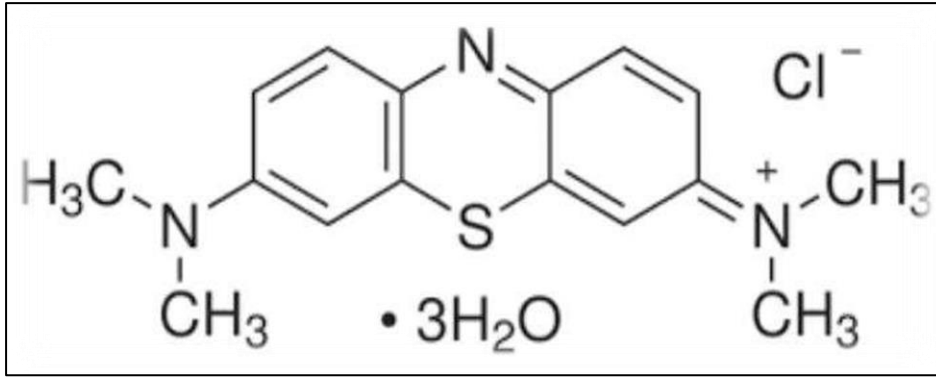
I-2-4-صبغة أزرق الميثيلين:

تُعرف صبغة أزرق الميثيلين Methylene Blue أو اختصاراً (MB) أيضاً باسم تتراميثيل ثايونينكلورايد (Tetramethylthionine chloride) وهي مركب كيميائي عطري يُصنف ضمن الأصباغ الكاتيونية. تحمل هذه الصبغة الصيغة الكيميائية $C_{16}H_{18}N_3S$ ، وتظهر بشكل مادة صلبة بالغة النعومة، ذات لون أخضر داكن وعديمة الرائحة. عند إذابتها في الماء، تُنتج محلولاً أزرق والصبغة المميّهة لها تتكون من ثلاث جزيئات من الماء وجزيء واحد من أزرق الميثيلين. تُستخدم هذه الصبغة في درجة حرارة الغرفة ولها تطبيقات عديدة في المجالات الكيميائية [27, 28].

الفصل الأول: عموميات حول الجبس والأصبغ

I-2-4-1-تحضيرها:

تم تحضير صبغة أزرق الميثيلين لأول مرة في عام 1876 من قبل الكيميائي هانريش كارو [29]Heinrich Caro. يمكن تحضير المركب من خلال تفاعل Dimethyl-4-phenylenediamine مع كبريتيد الهيدروجين، وذلك في وسط حمض الهيدروكلوريك. يتبع هذا التفاعل عملية أكسدة بواسطة كلوريد الحديد الثلاثي.



الشكل (4-I): الصيغة الكيميائية لأزرق الميثيلين (MB) [29].

I-2-4-2- خصائصها الكيميائية و الفيزيائية:

يتميز أزرق الميثيلين بخصائص فيزيائية و كيميائية موضحة في الجدول (3-I).

الجدول (3-I): بعض الخصائص الكيميائية والفيزيائية لأزرق الميثيلين [28, 30].

methylen blue	الإسم الكيميائي
$C_{16}H_{18}N_3SCl$	الصيغة الكيميائية
$M=319.85 \text{ g/mol}$	الكتلة المولية
Tetramethylthionine chloride	التسمية على حسب IUPAC
$(110 - 100) ^\circ C$	نقطة الإنصهار
10g/1 في الإيثانول - 50g/1 في الماء	ذوبانيته ($20^\circ C$)
أزرق	اللون
6	pH

I-3-4-2- سميتها:

يؤدي التعرض المستمر لصبغة الميثيلين إلى العديد من المشاكل الصحية، مثل الغثيان، والقيء وحروق العين. في حالة الاستنشاق، يمكن أن يسبب ذلك زيادة في سرعة التنفس أو صعوبة في التنفس بالإضافة إلى زيادة معدل ضربات القلب. وعند الابتلاع، قد يحدث تهيج في الجهاز الهضمي، وتعرق غزير، وارتباك ذهني، وشعور بالحرقان، وارتفاع ضغط الدم، وفقر دم وغيرها من الأعراض. نظرًا لهذه المخاطر، فإن معالجة المياه الملوثة بهذه الصبغة تصبح ضرورة ملحة [27, 31].

الفصل الأول: عموميات حول الجبس والأصباغ

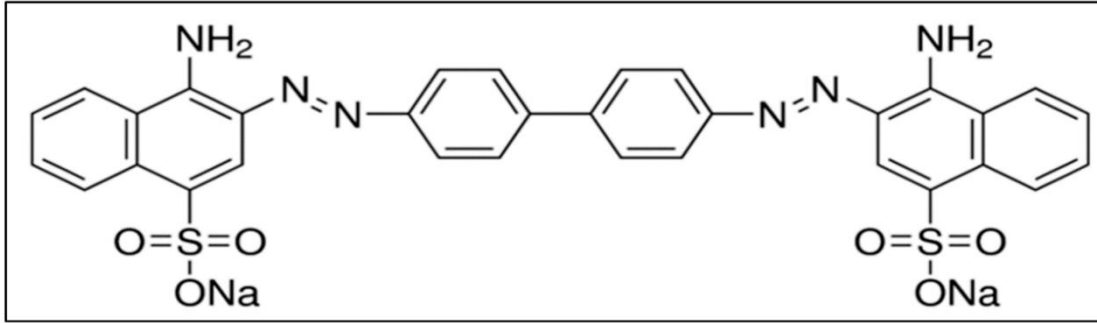
بالإضافة إلى ذلك، تعتبر الأصباغ الناتجة عن النترات والفوسفات خطراً على البيئة. يمكن لهذه الأيونات المعدنية، عند إصدارها بكميات كبيرة، أن تصبح سامة على حياة الأسماك وتؤدي إلى تسمم المياه. إن استهلاكها من قبل النباتات المائية يعزز انتشارها، مما يؤدي إلى استنزاف الأكسجين من خلال عملية التركيب الضوئي في أعماق الأنهار والمياه الراكدة. كما يساهم تراكم المادة العضوية في المجاري المائية في ظهور الروائح الكريهة، والأذواق السيئة، والألوان غير الطبيعية، وانتشار البكتيريا [32].

I-2-5- صبغة أحمر الكونغو:

يُصنّف الكونغو الأحمر (Congo Red)، والذي يُشار إليه اختصاراً بـ CR، ضمن فئة أصباغ الأزو الأنيونية. وقد تم تخليق هذا المركب في الأساس بواسطة بوتيجر (Paul Böttiger) بهدف استخدامه كصبغة في الصناعات النسيجية. ومع ذلك، سرعان ما برزت أهميته التطبيقية الأخرى كمؤشر كيميائي فعال للكشف عن التغيرات في الرقم الهيدروجيني للمحاليل [33].

I-2-5-1- تحضيرها:

يُصنّع أحمر الكونغولي (CR) ذو الصيغة $C_{32}H_{22}N_6Na_2O_6S_2$ من خلال تفاعل جزيئين من حمض النفثينيك مع رباعي أزو تيد البنزدين. في البداية، تتشكل صبغة زرقاء، ثم يتم تحويلها إلى ملح ثنائي الصوديوم الأحمر عبر عملية التملح باستخدام كلوريد الصوديوم.



الشكل (5-I): الصيغة الكيميائية لأحمر الكونغو (CR) [34].

الفصل الأول: عموميات حول الجبس والأصباغ

I-2-5-2- خصائصها الكيميائية والفيزيائية:

يمثل الجدول الخصائص الكيميائية والفيزيائية الرئيسية لأحمر الكونغو [35, 36].

جدول (I-4): الخصائص الكيميائية والفيزيائية لأحمر الكونغو.

الإسم	الأحمر الكونغو
الإسم الكيميائي	Congo Red
الصيغة الكيميائية	$C_{32}H_{22}N_6Na_2O_6S_2$
الكتلة المولية (g/mol)	696.66
التسمية على حسب IUPAC	1-Naphthalenesulfonic acid, 3,3'- ((1,1'-biphenyl)-4,4'-diylbis(azo))bis (4-amino)-, disodium salt
نقطة الانصهار	أكبر من 360°C
الذوبانية	عالية في الماء والإيثانول، قليلة في الأسيتون ولا تذوب في الزيولين والإيثر
اللون	أحمر
pH	5 – 3

I-3-5-2- سميتها [34] :

نظرًا للاستخدام المتزايد والواسع النطاق لصبغة أحمر الكونغو (CR) في مختلف التطبيقات الصناعية والبحثية، يصبح تقييم ومراقبة الآثار السلبية المحتملة لهذه المادة، التي قد تُظهر خصائص سمية على الكائنات الحية والبيئة، أمرًا بالغ الأهمية ولكنه يمثل تحديًا منهجيًا. ومع ذلك، فقد أشارت العديد من الدراسات إلى وجود مجموعة متنوعة من التأثيرات السمية المرتبطة بتعرض الكائنات الحية لصبغة CR. فأحمر الكونغو يؤثر سلبيًا على جسم الإنسان، مما يؤدي إلى أمراض متنوعة قد تكون قاتلة عند التعرض لتركيزات عالية منه، وذلك لكونه سامًا للخلايا (سمية جينية، سمية دموية، وسمية عصبية) ومسرطنًا، ومطفرًا. من بين الأعضاء المتأثرة، تشمل العينين، والجلد، والجهاز التنفسي، والجهاز التناسلي. يعتبر البنزيدين، وهو مستقلب سام لأحمر الكونغو، مسببًا لتفاعلات الحساسية ومنتجًا مسرطنًا. يُعرف البنزيدين بأنه مادة مسرطنة للمثانة، ويرتبط تساهميًا بالجزئيات الكبيرة الخلوية، مما يؤدي إلى تثبيط نشاطها. في التجارب على الحيوانات، تنتج الأصباغ القائمة على البنزيدين سرطان الخلايا الكبدية، وساركوما الطحال، وتشوهات نووية، وأخطاء كروموسومية في خلايا الثدييات. يمكن أن يسبب

الفصل الأول: عموميات حول الجبس والأصباغ

أحمر الكونغو تجمع الصفائح الدموية، وقلة الصفائح، والتخثر المنتشر في الأوعية الدقيقة عن طريق خفض محتوى بروتين الدم.

تتطلب النسب الكبيرة من أصباغ الأزو تنشيطاً كيميائياً لتصبح مطفرة، مثل اختزال وانقسام رابطة الأزو إلى أمينات عطرية (AA). وقد لوحظت السمية البيولوجية لهذه الأصباغ على أنواع مختلفة من الكائنات الممرضة مثل البكتيريا (*Vibrio fischeri*) ، والطحالب الدقيقة (*Selenastrum capricornutum*) ، والهدبيات (*Tetrahymena pyriformis*) ، والقشريات المتفرعة القرون (*Daphnia magna Ceriodaphnia rigaudi*) ، ويتفاوت مستوى السمية بين الأنواع المختلفة.

I-2-6- تقنيات المعالجة [37]:

بالنظر إلى الطبيعة الهتروجينية لتركيب النفايات الصناعية السائلة، يستلزم تصميم سلسلة متكاملة من وحدات المعالجة لضمان الإزالة الكفوة لمختلف الملوثات. تتضمن الخطوة الأولى التخلص من المواد الصلبة غير المنحلة عبر تطبيق عمليات المعالجة الأولية (كالغرلة، نزع الحصى، فصل الزيوت وغيرها) أو باستخدام تقنيات فيزيائية أو فيزيائية-كيميائية تهدف إلى فصل الطور السائل عن الطور الصلب. وفي المرحلة الثانية، وفي سياق الصناعات النسيجية تحديداً، تصنف التقنيات الأكثر استخداماً في مكافحة التلوث إلى ثلاث فئات رئيسية، وتحدد على النحو التالي:

I-2-6-1- الطرق الكيميائية:

تتضمن هذه الفئة استخدام مجموعة من العمليات الكيميائية، من أبرزها:

- الأكسدة الكيميائية المتقدمة باستخدام مؤكسدة قوية مثل بيروكسيد الهيدروجين (H_2O_2) والكلور (Cl_2) والأوزون (O_3).
- تقنيات التبادل الأيوني باستخدام راتنجات متخصصة.
- عمليات تشكيل المعقدات الكيميائية بهدف فصل الملوثات.

I-2-6-2- الطرق الفيزيائية:

تشتمل هذه الفئة على عدة أنواع من العمليات الفيزيائية، من بينها:

- الامتزاز (**Adsorption**): اكتسبت هذه العملية أهمية متزايدة نظراً لفعاليتها العالية في إزالة طيف واسع من الملوثات وتكلفتها الاقتصادية المنخفضة نسبياً. تتأثر كفاءة الامتزاز بعدة خواص فيزيائية وكيميائية للسطح الماز وللمادة الممتزة والوسط المحيط.
- الترسيب (**Sedimentation**): يُستخدم لفصل المواد الصلبة العالقة من المحاليل السائلة بالاعتماد على قوى الجاذبية. في سياق معالجة محاليل الأصباغ، غالباً ما يتم دمج هذه الطريقة مع العمليات الكيميائية والبيولوجية لإنتاج جسيمات حاملة للصبغة ذات كثافة أعلى تسهل ترسيبها. من المحددات الرئيسية لهذه التقنية إنتاج كميات كبيرة من الحمأة الثانوية.

الفصل الأول: عموميات حول الجبس والأصباغ

- **التعويم (Flotation):** يمثل تقنية فصل تعتمد على إدخال فقاعات غازية إلى المحلول، حيث تلتصق الجزيئات المراد فصلها بالفقاعات وتطفو إلى السطح لتكوين رغوة يمكن كشطها. لتحسين كفاءة التعويم، يُضاف غالبًا عامل سطحي أيوني ذو شحنة معاكسة لشحنة الأيونات أو الجزيئات المستهدفة.
- **التخثر (Coagulation):** هي عملية تهدف إلى زعزعة استقرار الجزيئات الغروية والعالقة الدقيقة في المحلول لتسهيل تجميعها وتكتلها. يمكن تحقيق ذلك من خلال تأثيرات كهربائية على سطح القطب (التخثر الكهربائي)، أو عن طريق تعديل قيمة الرقم الهيدروجيني للمحلول أو بإضافة مواد كيميائية مخثرة تعمل على معادلة الشحنات السطحية وتقليل قوى التنافر.
- **الفصل الغشائي (Membrane Filtration):** تُعد هذه التقنية وسيلة فعالة لإزالة مجموعة واسعة من الملوثات من المياه العادمة. عند تطبيقها في مراحل المعالجة المختلفة، يمكن أن تنتج سوائل ذات جودة عالية ومواصفات محددة بناءً على نوع الغشاء المستخدم وحجم مساماته.

I-2-6-3- الطرق البيولوجية:

تعتمد المعالجة البيولوجية على النشاط الأيضي للكائنات الدقيقة في تحليل المواد العضوية القابلة للتحلل، وذلك في ظل ظروف هوائية أو لاهوائية أو بتطبيق نظام يجمع بينهما. وقد أظهرت الدراسات قدرة العديد من أنواع البكتيريا والخمائر على إزالة الألوان من المحاليل المحتوية على أصباغ النسيج. بالإضافة إلى ذلك، تم التعرف على عدد محدود من أنواع الطحالب القادرة على تحليل أصباغ الأزو واستخدامها كمصدر وحيد للكربون. أما بالنسبة للفطريات، وخاصةً فطر العفن الأبيض *Phanerochaete chrysosporium*، فقد ثبتت فعاليتها في إزالة أصباغ الأزو، مما يجعل المعالجة الفطرية للأصباغ بديلاً واعدًا واقتصاديًا مقارنةً بالتقنيات التقليدية.

ومع ذلك، تظل التحديات قائمة فيما يتعلق بتطبيق العديد من هذه التقنيات على نطاق واسع لمعالجة التدفقات العالية من النفايات السائلة نظرًا لتكاليفها التشغيلية والاستثمارية. بناءً على ذلك، يبدو أن تقنية الامتزاز تمثل خيارًا واعدًا لهذه الصناعة لما أثبتته من فعالية في إزالة الملوثات العضوية، بالإضافة إلى بساطة تطبيقها نسبيًا.

الخاتمة:

في الختام، قدم هذا الفصل إطاراً أساسياً معمقاً حول مادتي الجبس والأصباغ، مستعرضاً الخصائص الفيزيائية والكيميائية للجبس، بنيته، أصنافه، وآليات تحضيره، بالإضافة إلى نبذة تاريخية موجزة وتحديد المخاطر والاستخدامات الرئيسية. كما تم استكشاف عالم الأصباغ مع التركيز على تصنيفاتها وتقديم دراسة حالة لصبغتي أحمر الكونغو وأزرق الميثيلين. يمثل هذا الفصل قاعدة بيانات ضرورية لفهم التفاعلات والتطبيقات المتقدمة التي سيتم تناولها لاحقاً، بما في ذلك إمكانية تثمين مخلفات الجبس في سياقات مثل إزالة الأصباغ. يُعد هذا الفصل بمثابة اللبنة الأولى نحو استكشاف أكثر تفصيلاً لتطبيقات الجبس والأصباغ في المجالات ذات الصلة بموضوع هذه الدراسة.

المراجع العربية:

- [2] ع. ندى، "كنوز تاريخية من الشرق الأوسط في لندن"، مجلة ن بوست، 2022.
- [14] ح. ج. ج. ا. و. ش. ع. ا. ن. ا. و. ن. م. العامري، الكيمياء الصناعية: الهيئة القومية للبحث العلمي، 2003.
- [16] ع. جمال ، "إزالة التلوث العضوي من مياه الصرف الصحي بمنطقة الوادي باستخدام المعادن الطينية"، أطروحة دكتوراه، جامعة قاصدي مرباح، ورقلة، 2018.
- [28] بالخرفي، نجوى، بوليفة، بسمة، "نمذجة حركية إمتزاز صبغة أزرق الميثيلين على طين طبيعية"، جامعة قاصدي مرباح ورقلة.
- [29] ب. عشورة، اشراق، حميتي، كريمة، "محاولة ازالة صبغة الميثيلين الأزرق من محلولها المائي باستخدام الفحم المنشط المنتج من مخلفات عظام الدجاج"، جامعة قاصدي مرباح ورقلة.
- [32] ع. م. و. سهام، "دراسة إدمصاص صبغة أزرق الميثيلين باستعمال مخلفات نخيل التمر"، مذكرة ماستر، جامعة حمه الأخضر، الوادي، 2018.

المراجع الأجنبية:

- [1] K. Strobel, *Untersuchungen zur Geschichte und historischen Geographie des hellenistischen und römischen Kleinasien*: Walter de Gruyter GmbH & Co KG, 2018.
- [3] <http://elmassar-ar.com/ara/permalink/6273.html?print> Consulted on 14-02-2025.
- [4] <https://icona.almasryalyoum.com> Consulted on 12-02-2025.
- [5] <https://www.aspdkw.com> Consulted on 25-02-2025.
- [6] U. Orebom " ,IR spectroscopy for vibrational modes," Bachelor degree, linnaeus University, 2018.
- [7] <https://futurefriends1.tripod.com/id19.html> Consulted on 30-01-2025.
- [8] C. E. a. S. Housecroft, Alan G, 4th ed.: Pearson Education Limited, 2012.
- [9] M. Kebier, "Usage du plâtre dans l'ancien bâti (Cas de timchemt à Ghardaïa)," Mémoire de Master, Université M'HAMED BOUGARA Boumerdes, Algérie, 2017.
- [10] Available: <https://ar.wikipedia.org/wiki> Consulted on 08-03-2025.
- [11] k. mimi, "specter photo meter," 2018.
- [12] C. Housecroft, "AG Sharpe Inorganic Chemistry, England," *Pearson*, vol. 579, p. 27, 2005.
- [13] S. da Conceição, *Gypseries: gipiers des villes, gipiers des champs*: creaphis editions, 2005.
- [15] Y. M. H .SAHRAOUI Hamida, "Étude da la dégradation du colorant bleu de méthylène Par l'électrocoagulation," 2018.
- [17] Y.-H. Chiu, T.-F. M. Chang, C.-Y. Chen, M. Sone, and Y.-J. Hsu, "Mechanistic insights into photodegradation of organic dyes using heterostructure photocatalysts," *Catalysts*, vol. 9, p. 430, 2019.
- [18] D. Ayodhya and G. Veerabhadram, "A review on recent advances in photodegradation of dyes using doped and heterojunction based

- semiconductor metal sulfide nanostructures for environmental protection," *Materials today energy*, vol. 9, pp. 83-113, 2018.
- [19] S. Benkhaya, S. M'rabet, and A. El Harfi, "A review on classifications, recent synthesis and applications of textile dyes," *Inorganic Chemistry Communications*, vol. 115, p. 107891, 2020.
- [20] A. HAMDOUN and A. SALHI, "Etude bibliographique sur l'adsorption de quelques colorants par des bio-adsorbant," Université KASDI-MERBAH Ouargla, 2020.
- [21] S. El Harfi and A. El Harfi, "Classifications, properties and applications of textile dyes: A review," *Applied Journal of Environmental Engineering Science*, vol. 3, pp. 00000J. *Envir. Eng. Sci.* 3 N° 3 (2017) 311-320, 2017.
- [22] M. e. a. Med, "Adsorption d'un colorant basique (bleu de méthylène) sur différents adsorbants (charbon actif en poudre, charbon en grain et la bentonite)," Mémoire de Master Master's thesis Faculty of Science and Technology, Department of Chemistry, University of Mohamed Khider, 2014.
- [23] S. A. Dawood, "Development and characterization of biomass based novel adsorbent in the removal of Congo red dye by adsorption," Citeseer, 2013.
- [24] A. S. Ghadir Omar Soumia, Bribech Hayat, Achiri Aicha, "Synthesis, Characterization, and Application of Bio-sorbent-Based Schiff's Base for the Removal of Organic Pollutant," Master's Thesis, University of El Oued, Algeria, 2023.
- [25] H. S. a. P. Patel, Navin B, "Synthesis, Characterization and Dyeing Properties of Acid Dyes on Wool, Silk and Nylon Fibers," *IOSR Journal of Applied Chemistry (IOSR-JAC)*, vol. 16, pp. 1–5, 2023.
- [26] G. Z. K. Kyzas, Margaritis; Lazaridis, Nikolaos K.; Bikiaris, Dimitrios N., "Decolorization of Dyeing Wastewater Using Polymeric Absorbents – An Overview," pp. 178–195, 2.013

- [27] M. Rafatullah, O. Sulaiman, R. Hashim, and A. Ahmad, "Adsorption of methylene blue on low-cost adsorbents: a review," *Journal of hazardous materials*, vol. 177, pp. 70-80, 2010.
- [30] <https://planting.mawdoo3.com/p>, Consulted on 09-04-2025.
- [31] <https://health.mawdoo3.com/n>, Consulted on 26-02-2025.
- [33] H. Uslu and Ş. İ. Kırbaşlar, "Solvent effects on the extraction of malic acid from aqueous solution by secondary amine extractant," *Separation and purification technology*, vol. 71, pp. 22-29, 2010.
- [34] M. Mohadesi, A. Gouran, F. Darabi, and M. Samimi, "Sunflower seed pulp ash as an efficient and eco-friendly adsorbent for Congo red uptake: characteristics, kinetics, and optimization," *Water Practice & Technology*, vol. 19, pp. 228-240, 2024.
- [35] V. S. Mane and P. V. Babu, "Kinetic and equilibrium studies on the removal of Congo red from aqueous solution using Eucalyptus wood (Eucalyptus globulus) saw dust," *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, vol. 44, pp. 81-88, 2013.
- [36] Z. L. Yaneva and N. V. Georgieva, "Insights into Congo Red adsorption on agro-industrial materials- spectral, equilibrium, kinetic, thermodynamic, dynamic and desorption studies. A review," *International Review of Chemical Engineering*, vol. 4, pp. 127-146, 2012.
- [37] O. o. A. P. E. C. (OAPEC), "Industrial Wastewater Treatment Technologies for Petrochemical Projects," ed State of Kuwait: Organization of Arab Petroleum Exporting Countries (OAPEC), 2019

الفصل الثاني

دراسة نظرية حول الإمتزاز

II-1- تعريف الإمتزاز:

الامتزاز هو العملية التي يتم من خلالها تثبيت جزيئات الغاز أو السائل على الأسطح الصلبة. تحدث هذه العملية نتيجة لتفاعلات مختلفة بين الجزيئات والسطح، مما يؤدي إلى تكديس الجزيئات على السطح في شكل يسمى الجزيئات الممتزة (Adsorbate). وعندما تنفصل هذه الجزيئات عن السطح تعرف هذه العملية بالامتزاز العكسي (Desorption). يحدث الامتزاز بسبب قوى جذب متنوعة بين الجزيئات والسطح، مثل قوى فان دير فالس أو التفاعلات الكيميائية [1].

II-2- أهمية الامتزاز:

على الرغم من أن تقنية الامتزاز تعد من التقنيات القديمة، إلا أنها تظل حيوية ومهمة في العديد من الصناعات الحديثة، حيث لا يمكن الاستغناء عنها في تطبيقاتها المتنوعة. يتم استخدام الامتزاز في صناعات عديدة مثل البترول، والأصباغ، والصناعات الغذائية مثل الزيوت والألبان، فضلاً عن العديد من الصناعات الأخرى التي يصعب حصرها. وبالطبع، لا تكاد توجد صناعة في الوقت الحاضر تخلو من عمليات الامتزاز، حيث تستخدم هذه التقنية بشكل رئيسي في عمليات الفصل، لاسيما في الحالات التي تكون فيها الطرق التقليدية مثل التقطير أو الامتصاص أو الأنظمة الغشائية غير فعالة أو غير عملية. من أبرز تطبيقات الامتزاز الشائعة هي معالجة وتنقية المياه، خاصة تلك الناتجة عن العمليات الصناعية أو مياه الصرف الصحي، حيث يتم استخدامها لإزالة المواد السامة التي تشكل تهديداً بيئياً وصحياً، إضافة إلى تحسين جودة المياه من حيث اللون والطعم والرائحة الناتجة عن التلوث.

توسعت تطبيقات الامتزاز بشكل كبير في السنوات الأخيرة نتيجة لزيادة الحاجة إليها ولارتفاع المتطلبات البيئية بشكل ملحوظ. وقد ساعد التقدم التكنولوجي في تطوير وتوفير العديد من المواد المازة المتنوعة، مما أسهم في تحسين فعالية هذه العمليات وتوسيع نطاق استخدامها في تطبيقات مهمة في العديد من المجالات [2].

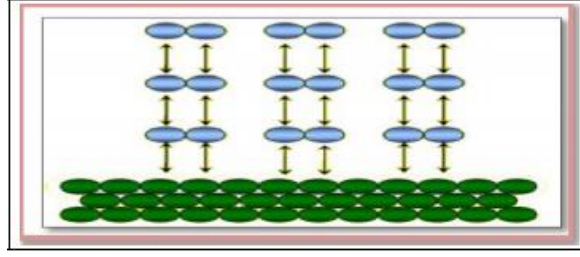
II-3- أنواع الإمتزاز:

يتم تصنيف عملية الامتزاز بناءً على نوع وطبيعة القوى التي تربط جزيئات أو ذرات المادة الممتزة بسطح المادة المازة. وتختلف هذه القوى حسب طبيعة المادة المازة وكذلك طبيعة سطحها من حيث النشاط الإلكتروني. بناءً على ذلك، يمكن تقسيم الامتزاز إلى نوعين مختلفين [3].

II-3-1- الامتزاز الفيزيائي:

يحدث الإمتزاز الفيزيائي نتيجة تفاعل بين جزيئات سطح المادة الصلبة والمادة الممتزة، حيث تكون القوى المسؤولة عن هذا التفاعل هي قوى فان دير فالس. يتميز هذا النوع من الإمتزاز بقدرته على تكوين عدة طبقات من الجزيئات على سطح المادة، ولذلك يُطلق عليه أيضاً اسم إمتزاز فان دير فالس [4].

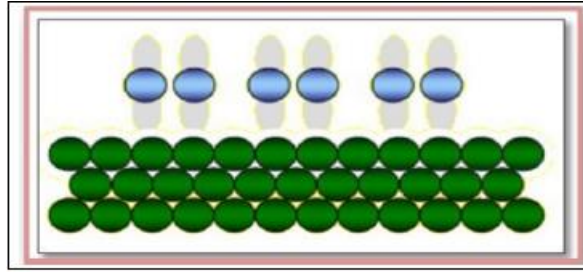
الفصل الثاني دراسة نظرية حول الإمتزاز



الشكل (II-1): صورة للامتزاز الفيزيائي [5].

II-3-2- الامتزاز الكيميائي:

يُعرف هذا النوع من الامتزاز بالامتزاز النشط، حيث يتميز بتكوين روابط كيميائية بين سطح المادة المازة والجزيئات أو الذرات الممتزة. ويؤدي هذا التفاعل الكيميائي إلى تكوين طبقة أحادية على سطح الماز، مما يعكس طبيعته الانتقائية والقوية في الامتزاز [4].



الشكل (II-2): صورة للامتزاز الكيميائي [5].

الجدول (II-1): مقارنة بين الامتزاز الفيزيائي والكيميائي [6].

الامتزاز الكيميائي	الامتزاز الفيزيائي	الخصائص
روابط كيميائية	روابط فاندر فالس	أنواع الروابط
مرتفعة جدا مقارنة بدرجة غليان المادة الممتزة	ضعيفة نسبيا مقارنة بدرجة غليان المادة الممتزة	درجة الحرارة العملية
تدمير انفرادية الجزيئات	انفرادية الجزيئات محفوظة	انفرادية الجزيئات
صعب	سهل	الامتزاز
بطيء جدا	سريع، مستقل عن درجة الحرارة	الحركية
أكبر من 10 Kcal/mol	أقل من 10 Kcal/mol	كمية حرارة الامتزاز
مرتفعة جدا	ضعيفة	الطاقة المطبقة
أحادي الطبقة	متعدد وأحادي الطبقة	نوع التكوين

II-4-ألية الإمتزاز:

يُعد الإمتزاز ظاهرة سطحية تحدث نتيجة تراكم الجزيئات أو الأيونات على سطح مادة مازة صلبة، ويُعزى ذلك إلى قوى كهروستاتيكية. ومن المعروف أن التفاعلات بين الذرات أو الجزيئات تحدث في جميع الاتجاهات، مما يؤدي إلى وجود قوى غير متوازنة تتجه نحو الخارج. تنتج ظاهرة الإمتزاز عادةً عن اختلاف تركيز المادة الممتزة بين طورين غير ممتزجين وتستمر هذه العملية حتى يتحقق التوازن بين الطورين. يُطلق على تركيز المادة الممتزة اسم "تركيز التوازن"، أما الزمن اللازم للوصول إلى هذا التوازن فيُعرف بـ "زمن التلامس"، وهو مؤشر مهم لتحديد نوع الإمتزاز. من الجانب الطاقوي، يمكن أن تكون عملية الإمتزاز إما ماصة للحرارة أو ناشرة لها، حسب طبيعة التفاعل. وتجدر الإشارة إلى أن سعة الإمتزاز للمادة المازة تعتمد بشكل كبير على خصائصها البنائية والهيكلية، كما أن نوع وطبيعة الاتصال بين الماز والممتز تتأثر بظروف الالتقاء والبيئة المحيطة [7].

II-5- العوامل المؤثرة على ظاهرة الإمتزاز:

تعتمد عملية الإمتزاز على عدة عوامل فيزيائية وكيميائية، من أهمها:

II-5-1- تأثير الرقم الهيدروجيني (pH) :

يُعد الرقم الهيدروجيني من أهم العوامل التي تؤثر على فعالية الإمتزاز، فدرجة حموضة المحلول تلعب دورًا كبيرًا في تحديد مدى تفاعل السطح الماز مع المادة الممتزة. إذ يحدث تنافس بين أيونات H^+ و OH^- على مواقع الإمتزاز على السطح الصلب. كلما زاد الـ pH (أصبح الوسط قاعدي)، يزداد معدل الإمتزاز إذا كانت المادة المازة ذات طابع حمضي، والعكس صحيح [8, 9].

II-5-2- تأثير درجة الحرارة:

عموماً يمكن أن يؤدي ارتفاع درجة الحرارة إلى زيادة معدل الإمتزاز مؤقتًا بسبب زيادة حركة الجزيئات وسرعة التفاعل، حيث تلعب درجة الحرارة دورًا مزدوجًا في عملية الإمتزاز لكن، في معظم الحالات، يُعتبر الإمتزاز تفاعلًا باعًا للحرارة (Exothermic) ، أي أن رفع درجة الحرارة أكثر من اللازم قد يؤدي إلى انخفاض كمية المادة الممتزة. وهذا يتوافق مع مبدأ (Henry Le Chatelier) ، الذي ينص على أن النظام سيعاكس التغيير الطارئ عليه، لذا فإن رفع درجة الحرارة في تفاعل باع للحرارة قد يُقلل من فعالية الإمتزاز [10].

II-5-3- طبيعة المادة الممتزة (Nature of Adsorbate) :

تتأثر عملية الامتزاز بشكل كبير بطبيعة المادة الممتزة، حيث تلعب الخصائص مثل شكل الحجم بالإضافة إلى درجة الاستقطاب، وجود المجموعات الفعالة، الوزن الجزيئي والذوبانية في الوسط دورًا حاسمًا. عندما يحتوي المحلول على أكثر من مكون، قد تحدث عملية امتزاز انتقائي، أي أن بعض المركبات تمتاز بشكل أفضل من غيرها. فالمواد القطبية تميل إلى الامتزاز على سطوح مواد قطبية والعكس بالعكس. كلما زاد الوزن الجزيئي وتغيرت الخصائص الكيميائية للمادة الممتزة أيضًا، زادت احتمالية ارتباطها بعدد أكبر من المواقع الفعالة على السطح، مما يرفع من سعة الامتزاز. ويعتبر وجود حلقات أروماتية متعددة في البنية الجزيئية للمادة الممتزة، وكذلك بطء ذوبانها في المحلول من العوامل الإضافية التي تُحسن من كفاءة الامتزاز، مما يطيل فترة تفاعلها مع السطح المازّ [10, 11].

II-5-4- طبيعة المادة المازّة (Nature of Adsorbent) :

ان الخواص السطحية للمادة المازّة تلعب دورًا مهمًا في تحديد مدى فعاليتها، فوجود مجموعات قطبية على سطحها واتساع المساحة السطحية، وشكل وحجم وتوزيع المسامات كلها عوامل تساهم في تحسين الأداء الامتزازي. يُضاف إلى ذلك أهمية عدد ونوع "المواقع الفعالة" على السطح، وهي المواقع التي يتم فيها التفاعل المباشر مع الجزيئات الممتزة. وهناك علاقة طردية بين المساحة السطحية النوعية للمادة المازّة وسعة الامتزاز، فكلما زادت المساحة، زادت إمكانية احتجاز جزيئات أكثر [8, 11].

II-6- أنواع المواد المازّة:

II-6-1- الأطينان :

تُعد الأطينان من المواد والمعادن واسعة الانتشار، وقد استخدمها الإنسان منذ العصور القديمة في مجالات متعددة. يتم تصنيف الأطينان إلى ثلاثة أنواع رئيسية، وهي:

- الأطينان المتبقية (Residual Clays) : تتكوّن في موقعها الأصلي نتيجة تحلل الصخور الأم دون أن تُنقل من مكانها.
- الأطينان المتغيرة (Alteration Clays) : تتكوّن نتيجة تغيرات كيميائية تصيب معادن أخرى مما يؤدي إلى تحولها إلى مادة طينية.
- الأطينان المنقولة (Transported Clays) : تنتج عن نقل المواد الطينية من موقعها الأصلي إلى أماكن أخرى بفعل المياه أو الرياح.

وقد توصّل العالم لوينشتاين (Lowenstein) في أوائل القرن العشرين إلى فرضية تنص على أن : "المادة الطينية تتكون من حبيبات صغيرة جداً من معادن متبلورة".

الفصل الثاني دراسة نظرية حول الإمتزاز

وهذا يعني أن الطين يتألف من مكونات معدنية دقيقة الحجم ذات بنى بلورية محددة. تُعدّ المعادن الطينية من أكثر المعادن شيوعاً في الطبيعة، وقد تتكوّن المادة الطينية من معدن طيني واحد فقط، أو قد تحتوي على نسب مختلفة من معادن غير طينية مثل الكوارتز ومعادن أخرى وتجدر الإشارة إلى أن العديد من أنواع الأطنان تحتوي أيضاً على مواد عضوية وأملاح قابلة للذوبان في الماء.

وتُعتبر المعادن الطينية المتبلورة هي المكوّن الأساسي والرئيسي في تركيب المواد الطينية حيث أن تركيبها المعدنية تلعب دوراً كبيراً في تحديد خصائص الطين الفيزيائية والكيميائية. ومن المهم معرفة أن كثيراً من المواد الطينية قد تتشابه في التركيب الكيميائي، لكنها تختلف في البنية البلورية، ويتم التمييز بين هذه التراكيب البلورية بدقة من خلال تقنية انعراج الأشعة السينية (X-ray Diffraction) والتي تُعد من أفضل الطرق لتشخيص وفهم تركيب المعادن الطينية [12].

II-6-2- الكربون المنشط :

يُعتبر الفحم النشط من أكثر المواد المُستخدمة في عمليات الامتصاص في المجال الصناعي، يتم الحصول عليه بشكل رئيسي من مواد كربونية مثل الخشب، القشور، ومخلفات البترول. يتكوّن من جزيئات كربون تم معالجتها كيميائياً أو فيزيائياً بهدف زيادة المسامية، مما يعزز قدرتها على الامتصاص. وقد تبين أن الفحم النشط مادة غير انتقائية تمتص الملوثات في الغالب بطريقة فيزيائية عن طريق قوى فان دير فالس [13].

II-6-3- الزيوليتات:

الزيوليتات هي ألومينو سيليكات بلورية ومسامية تأخذ الصيغة الكيميائية $M^{+}_{2/n}Al_2O_3 \cdot xSiO_2 \cdot yH_2O$ تتكون من ترابط رباعيات SiO_4 و AlO_4 . وهي تمتاز بهيكلها البلورية التي تنتج مسام دقيقة وموحدة ولهذا تُعرف بـ "الغربال الجزيئي" تتميز بشحنة سالبة ناتجة عن وجود الألومنيوم، وتُعادل هذه الشحنة بأيونات موجبة مثل الصوديوم (Na^{+}) البوتاسيوم (K^{+})، الكالسيوم (Ca^{2+})، والليثيوم (Li^{+}).

التركيب الكيميائي للزيوليت يحدد خصائصه؛ فكلما زادت نسبة الألومنيوم زادت محبته للماء والجزيئات القطبية، بينما الزيوليت الفقير بالألمنيوم يكون كارهاً للماء ويجذب الهيدروكربونات [14].

II-6-4- هلام السيليكا:

يُحضّر هلام السيليكا من المصدر $Si(OH)_4$ في وسط مائي عبر تفاعل سيليكات الصوديوم مع حمض معدني مثل الكبريتيك أو الهيدروكلوريك. ترتبط جزيئات Si-OH بروابط هيدروجينية.

يوجد نوعان من هلام السيليكا حسب حجم المسام :

- ميكروبوروس Microporous (مسامي دقيق - محب للماء)

الفصل الثاني دراسة نظرية حول الإمتزاز

- ماكروپوروس Macroporous (مسامي كبير - متعدد الاستخدامات)

المساحة السطحية له تتراوح من $600 \text{ m}^2/\text{g}$ إلى 800 ويُستخدم بشكل رئيسي في التجفيف، فصل المركبات العطرية، ومعالجة الغاز الطبيعي [15].

II-6-5- الألويمينات المنشطة:

تُنتج الألويمينات المنشطة عن طريق التحلل الحراري السريع لهيدروكسيد الألومنيوم $\text{Al}(\text{OH})_3$ ، مما ينتج عنه $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$ ذات بنية مسامية نتيجة فقدان الماء. تكون الأسطح الداخلية للمسام مغطاة بمجموعات Al-OH ، مما يسمح بحدوث الامتصاص عبر الروابط الهيدروجينية. تُعد الألويمينات المنشطة مواد غير متبلورة، قطبية إلى حد ما، ومحبة للماء. مساحتها السطحية تبلغ حوالي $300 \text{ m}^2/\text{g}$ وتُستخدم بشكل شائع للتجفيف، غير أن قدرتها على الامتصاص المحدودة بسبب انخفاض المساحة السطحية تعتبر عائقاً في استخدامها [16].

II-6-6- الممترات البوليمرية :

هذه المواد عبارة عن بوليمرات عضوية ذات مسامية كبيرة تُستخدم في إزالة المركبات العضوية، تنقية المياه، وحتى في الصناعات الدوائية.

وتُصنع أشهر أنواع هذه الممترات من:

- بولي ستيرين (Polystyrene).

- إسترات الأكريليك (Acrylate esters).

- أو الراتنجات الفينولية (Phenolic resins) . [17]

II-7- ايزوتارم الامتزاز:

الإيزوتيرم في الامتزاز هو منحنى يعبر عن العلاقة بين متغيرين أثناء حدوث عملية أو تفاعل معين عند درجة حرارة ثابتة، مثل العلاقة بين ضغط الغاز وحجمه، أو بين كمية الغاز الممتز وضغطه. في حالة الامتزاز من محلول، يوضح هذا الإيزوتيرم العلاقة بين تركيز المادة المذابة في المحلول وكمية ما تم امتزازه منها على سطح المادة المازة. ويتم الحصول على هذا المنحنى من خلال تجارب مخبرية تُجرى عند درجة حرارة محددة، حيث تُضاف كميات معروفة من المادة المازة إلى محاليل تحتوي على المادة المذابة، وبعد فترة زمنية مناسبة من التفاعل، يتم قياس تركيز المذاب المتبقي في المحلول. وبالاعتماد على هذه النتائج، يتم حساب كمية المادة المذابة التي تم امتزازها عند حالة التوازن باستخدام المعادلة :

$$Q_e = (c_0 - c_e) v/m = x/m \dots\dots\dots(1)$$

حيث :

C_0 : التركيز الابتدائي للمذاب (mg /L) .

C_e : التركيز عند التوازن للمذاب (mg /L) .

Q_e : كمية المذاب الماز عند التوازن بوحدة الوزن للمادة المازة (mg/g).

X : كمية المادة الممتزة عند التوازن $v (C_0 - C_e)$.

m : كتلة المادة المازة (g).

v : حجم المحلول (L) . [18]

II-8- نماذج إيزوتارم الامتزاز:

تعتمد نماذج الإيزوتارم للامتزاز على فرضيات رياضية أو تجريبية قد يصعب التحقق منها بشكل مباشر، لكنها توفر معلومات قيمة سواء نوعية أو كمية. ومن بين هذه المعلومات نوع التفاعل (مثل آلية الامتزاز، ما إذا كانت أحادية أو متعددة الطبقات، طبيعة مواقع الامتزاز...)، بالإضافة إلى ظواهر مثل التشبع (أي الحد الأقصى لكمية الملوثات التي يمكن امتصاصها) وسلوك المواقع النشطة وأيضاً المعطيات الحرارية الخاصة بعملية الامتزاز (مثل قيم الديناميكا الحرارية). تم تطوير العديد من النماذج النظرية والتجريبية من قبل باحثين كثر، ولكن يُعتبر كل من نموذج Langmuir و Freundlich من أكثر النماذج استخداماً وانتشاراً في هذا المجال.

II-8-1- إيزوتارم لانجمير (LANGMUIR) :

يفترض نموذج لانجمير (Langmuir) أن عملية الامتزاز تتم على شكل طبقة أحادية (Monolayer) على سطح صلب يحتوي على مواقع متجانسة ومتطابقة، أي أن جميع المواقع النشطة لها نفس القدرة على جذب الجزيئات ولا يوجد تفاعل بين الجزيئات الممتزة. وبمجرد امتلاء هذه المواقع بالجزيئات، لا يحدث امتزاز إضافي، مما يعني الوصول إلى حالة تشبع.

ويُعبّر عن هذا النوع من الإيزوتارم، أي الإيزوتارم أحادي الطبقة المشبع، بالمعادلة التالية:

$$q_e = \frac{q_m K_L C_e}{1 + K_L C_e} \dots \dots \dots (2)$$

حيث :

C_e : تركيز الممتز في المحلول عند التوازن (mg / L)

q_e : الكمية الممتزة عند التوازن (mg / g)

q_m : السعة العظمى للامتزاز (mg / g)

الفصل الثاني دراسة نظرية حول الامتزاز

و K_L عبارة عن ثابت لانجمير متعلق بطاقة وقدرة الامتزاز (L / mg) وتعطى المعادلة الخطية لنموذج لانجمير كما يلي:

$$\frac{c_e}{q_e} = \frac{1}{q_m k_L} + \frac{c_e}{q_m} \dots \dots \dots (3)$$

من خصائص نموذج لانجمير هو حساب معامل التوازن أو الثابت اللابعدى R_L والذي يوفر معلومات عن قابلية الامتزاز ويحسب بالعلاقة التالية:

$$R_L = \frac{1}{1+k_L C_0} \dots \dots \dots (4)$$

حيث :

C_0 التركيز الأولي للمتمز في المحلول (L/ mg) و يكون الامتزاز ملائم في حالة :

$$R_L < 1$$

بينما يكون غير ملائم في حالة :

$$R_L > 1$$

2-8-II- ايزوتارم فروندليش (FREUNDLICH) :

هو معادلة تجريبية تُستخدم لوصف عملية الامتزاز متعدد الطبقات على سطح غير متجانس يحتوي على مواقع ارتباط متعددة. يعكس هذا النموذج طبيعة الأسطح التي تختلف في طاقاتها السطحية ويُعبر عن العلاقة بين تركيز المادة الممتزة في المحلول والكمية الممتزة على السطح من خلال الصيغة التالية:

$$q_e = k_F C_e^{\frac{1}{n}} \dots \dots \dots (5)$$

حيث :

k_F : عبارة عن ثابت فروندليش ($\text{mg/g (L /mg)}^{1/n}$)

$1/n$: يعبر عن شدة الامتزاز.

وتعطى المعادلة الخطية لنموذج فروندليش كما يلي:

$$\text{Log } q_e = \text{log } k_F + 1/n \text{ log } c_e \dots \dots \dots (6)$$

3-8-II- إيزوتارم تيمكن (TEMKIN) :

يُعتبر نموذج تيمكن (Temkin Isotherm) من النماذج التي تأخذ في الحسبان أن حرارة الإمتزاز لا تبقى ثابتة، بل تتناقص بشكل خطي مع زيادة التغطية السطحية، وذلك نتيجة التفاعلات بين جزيئات المادة الممتزة والسطح الصلب (الماز).
و تُعطى المعادلة الخطية لنموذج تيمكن بالعلاقة التالية:

$$q_e = B \ln K_b + B \ln c_e \dots \dots \dots (7)$$

حيث :

K_b : ثابت ربط التوازن (L / mg).

B : ثابت تيمكن [19] .

9-II- حركية الإمتزاز:

1-9-II- نموذج الحركية من الرتبة الزائفة الأولى (Pseudo-first order kinetics model) :

اقترح العالم Lagergren نموذجًا حركيًا يُعرف بـ نموذج الحركية من الرتبة الزائفة الأولى والذي يُستخدم بشكل واسع لوصف عملية الإمتزاز (Adsorption) خصوصًا في الحالات التي يكون فيها الإمتزاز الفيزيائي هو المسيطر.
ويُعبر عن هذا النموذج بالمعادلة التالية:

$$\frac{d q_e}{dt} = k_1 (q_e - q_t) \dots \dots \dots (8)$$

بمكاملة هذه المعادلة نتحصل على :

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t \dots \dots \dots (9)$$

حيث :

q_t : سعة الإمتزاز عند اللحظة t (mg/g)

q_e : سعة الإمتزاز عند التوازن (mg/g)

k₁ : ثابت السرعة الحركية من الرتبة الزائفة الأولى (min⁻¹).

2-9-II- نموذج الحركية من الرتبة الزائفة الثانية (Pseudo-second order kinetics model)

في هذا النموذج، يعتمد معدل التفاعل على كل من كمية المادة الممتزة على سطح المادة المازة في لحظة معينة، والكمية الممتزة عند التوازن.

الفصل الثاني دراسة نظرية حول الإمتزاز

ويُعبّر عن نموذج الحركة من الرتبة الزائفة الثانية بالمعادلة التالية :

$$\frac{dq}{dt} = k_2 (q_e - q_t)^2 \dots\dots\dots (10)$$

ان تكامل هذه المعادلة يعطينا :

$$\frac{t}{q_t} = \left(\frac{1}{q_e}\right) t + \frac{1}{k_2 q_e^2} \dots\dots\dots (11)$$

II-9-3- نموذج الانتشار داخل الجزيئات (Intraparticle Diffusion Model) :

- نموذج الانتشار داخل الجزيئات يُستخدم لفهم سلوك الامتزاز بين سطح صلب ومحلول سائل حيث تمر العملية بثلاث مراحل حركية رئيسية، وذلك عند استبعاد تأثير انتقال المذاب في المحلول:
- انتقال الجزيئات الممتزة من المحلول إلى السطح الخارجي للمادة المازة، حيث تترسب على الطبقة الحدية. وتتأثر هذه المرحلة بشكل مباشر بسرعة التحريك.
 - انتقال الجزيئات الممتزة من الطبقة الحدية إلى داخل مسامات المادة المازة، حتى تصل إلى المواقع النشطة. وتتأثر هذه المرحلة بحجم الجزيئات ودرجة الحرارة.
 - تثبيت الجزيئات الممتزة على المواقع النشطة داخل المادة المازة، وتُعد هذه المرحلة الأكثر أهمية في عملية الامتزاز، وتُظهر حساسية كبيرة لتغيرات درجة الحرارة. [6]

II-10- الدراسة الترموديناميكية للامتزاز:

تُعد الدراسة الترموديناميكية لعملية الامتزاز أداة مهمة لفهم مدى جدوى العملية وطبيعتها التلقائية. إذ تُمكننا من تحليل التغيرات في الطاقة الحرة (ΔG°) ، والتغير في المحتوى الحراري أو الإنتالبي (ΔH°)، إضافة إلى التغير في الإنتروبي (ΔS°). ويتم تقدير هذه القيم من خلال ثوابت التوازن التي تُحسب عند درجات حرارة مختلفة.

وتُستخدم هذه المعلومات لتحديد ما إذا كانت عملية الامتزاز تلقائية أم لا، وما إذا كانت ماصة أو طاردة للحرارة. ويمكن التعبير عن التغير في الطاقة الحرة من خلال المعادلة:

$$\Delta G^\circ = -RT. \text{Ln}kc \dots\dots\dots (12)$$

حيث :

ΔG° : الاختلاف في الطاقة الحرة ($\text{KJ} \cdot \text{mol}^{-1}$)

R : ثابت الغازات المثالية ($8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

T : درجة الحرارة المطلقة (K)

الفصل الثاني دراسة نظرية حول الإمتزاز

Kc : ثابت التوزيع (L /g)

و يمكن حساب قيم كل من ΔH° و ΔS° باستخدام معادلة فان هوف (Van't Hoff) ، وذلك وفقاً للصيغة التالية [20] :

$$\ln kc = \frac{-\Delta H}{RT} + \frac{\Delta S}{R} \dots\dots\dots (13)$$

الخاتمة :

في الختام، قدم هذا الفصل استعراضاً معمقاً وشاملاً لظاهرة الامتزاز، بدءاً من تعريفها وأهميتها المتعددة، مروراً بأنواعها وآلياتها المختلفة، وصولاً إلى العوامل المؤثرة عليها وأنواع المواد المازة المتاحة. كما تناول الفصل بالتفصيل مفهوم إيزوتارم الامتزاز ونماجه الرياضية، بالإضافة إلى دراسة حركية الامتزاز والجوانب الترموديناميكية المصاحبة لها. يشكل هذا الفصل قاعدة بيانات أساسية ومتكاملة لفهم أعمق لتطبيقات الامتزاز المتقدمة التي سيتم استكشافها لاحقاً، مما يجعله لبنة ضرورية لفهم واستغلال هذه الظاهرة في مختلف المجالات ذات الصلة بموضوع هذه الدراسة.

المراجع العربية :

- [1] زغود العيد، "المساهمة في تثمين ألياف النخيل-التطبيق في إزالة بعض الملوثات من وسط مائي"، جامعة قاصدي مرباح ورقلة، 2021.
- [2] اشواق، ن. الايمان، غمري، ن. زنو، "دراسة الامتزاز لصبغة ازرق الميثيلين بالفحم المنشط من مخلفات النخيل (الليف) ،" جامعة قاصدي مرباح ورقلة، 2023.
- [3] ب. عشورة، ب. حمزة، فريال، "الدراسة الحركية للتفاعلات الكيميائية وتطبيقاتها على الإمتزاز،" جامعة قاصدي مرباح ورقلة، 2022.
- [4] ب. الزاوي، هناء، ب. طبة، كوثر، "دراسة استقصائية حول إزالة المعادن الثقيلة من الأوساط المائية،" جامعة قاصدي مرباح ورقلة، 2021.
- [5] ن. و. م. أ. م. ز. مباركة، "دراسة مقارنة لبعض النتائج التجريبية لنماذج الإيزوثرم،" ماستر أكاديمي مذكرة تخرج لنيل شهادة الماستر، جامعة الشهيد حمه لخضر الوادي، 2022.
- [6] ب. ع. قادرين مريم، شنوف زينب، "المعالجة الكيميائية للمخلفات الزراعية وتطبيقها في إزالة تلوث الماء بالامتزاز – دراسة نظرية- " ماستر أكاديمي مذكرة تخرج لنيل شهادة الماستر، جامعة الشهيد حمه لخضر الوادي، 2022.
- [7] التهامي، نجاح، هامل، ف. الزهراء، "دراسة إمتزاز الأصبغة العضوية من المحاليل المائية باستعمال الطين المحلي،" جامعة قاصدي مرباح ورقلة، 2023.
- [8] بوحداء، صفاء، ب. دادي، عفاف، "امتزاز صبغة أزرق الميثيلين من المحاليل المائية: مقارنة بين فعالية طين الإيليت-كاولنيت و السيليلوز البلوري متناهي الصغر كمواد مازة،" جامعة قاصدي مرباح ورقلة، 2020.
- [10] الصديقي، ن. اليقين، حيداتي، منال، "النمذجة الجزيئية وتصميم معقدات تناسقية لإمتزاز الملوثات،" جامعة قاصدي مرباح ورقلة، 2021.
- [11] ناصري، ابتسام، حمادة، إيمان، "امتزاز صبغة البلورة البنفسجية من محاليلها المائية بواسطة أطيان الإيليت بطريقة الدفعات والعمود: الوادي،" جامعة قاصدي مرباح ورقلة، 2019.
- [12] ز. إ. حسن، " التخلص من ملوثات المياه بواسطة ظاهرة الإمتزاز " بكالوريوس في علوم الكيمياء بحث تخرج (جزء من متطلبات نيل درجة البكالوريوس) جامعة القادسية، 2017.
- [13] بالخرفي نجوى، بوليفة بسمة، "نمذجة حركية إمتزاز صبغة أزرق الميثيلين على طين طبيعية،" جامعة قاصدي مرباح ورقلة، 2019.
- [14] قانه مروه، قانه بثينة، "دراسة نظرية للزيوليت وتطبيقاته،" جامعة قاصدي مرباح ورقلة، 2022.

الفصل الثاني دراسة نظرية حول الإمتزاز

- [18] غيلاني، ن. الهدى، شعوبي، رانيا، لاتامن، خولة، "دراسة إحصائية حول تثمين المخلفات الزراعية واستعمالها في إزالة المعادن الثقيلة"، جامعة قاصدي مرباح ورقلة، 2022.
- [20] بوخزة، سماح، ورخ، كريمة، "استخدام النفايات القائمة على السيليلوز لإمتزاز المعادن الثقيلة من المحاليل المائية: استعراض مقارنه للإمتزاز ولأليته (2010-2020)"، "جامعة قاصدي مرباح ورقلة، 2021.

المراجع الأجنبية :

- [9] S. Iftekhhar, D. L. Ramasamy, V. Srivastava, M. B. Asif, and M. Sillanpää, "Understanding the factors affecting the adsorption of Lanthanum using different adsorbents: a critical review," *Chemosphere*, vol. 204, pp. 413-430, 2018
- [15] S. E. A. Somia Ghadir, Hayat Bribech, Aisha Achiri, Rayan Naqis, "Synthesis, Characterization, and Application of Bio-adsorbent-based Schiff's Base for the Removal of Organic Pollutant," Master Académique Mémoire de fin d'études pour un master, University of El Oued, 2023
- [16] A. Khoualdi and A. A. Medjani, "Adsorption du bleu de méthylène par le charbon actif et l'argile," University of Oum El Bouaghi, 2016 .
- [17] H. B .CHERFAOUI, Nihad, "Adsorption d'un polluant pharmaceutique (Amoxicilline) sur charbon actif," Ingénieur d'État en Génie Chimique Mémoire de Fin d'Études École Nationale Polytechnique d'Alger, 2020
- [19] K. H. Karim, "Copper adsorption behavior in some calcareous soils using Langmuir, Freundlich, Temkin, and Dubinin-Radushkevich models ", *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering*, vol. 11, pp. 27-34, 2020.

الفصل الثالث

نتائج والمناقشة

III-1- تمهيد:

في هذا الفصل، سيتم عرض الخطوات العملية التي تم اتباعها لتحضير العينات وإجراء التجارب، بالإضافة إلى تسليط الضوء على الأدوات والتقنيات العلمية التي تم استخدامها لتحليل النتائج والتأكد من دقتها. يهدف هذا الجزء من الدراسة إلى توضيح كيفية التعامل مع المواد الأولية، وكيفية إعداد العينات الملوثة، وتطبيق تجارب الامتزاز عليها، إلى جانب استخدام أجهزة وتقنيات تحليلية دقيقة للكشف عن الخصائص الفيزيائية والكيميائية للعينات.

كما يستعرض هذا الفصل نتائج استخدام الجبس كمادة مازة طبيعية لإزالة صبغتين عضويتين هما: أزرق الميثيلين وأحمر الكونغو من المحاليل المائية.

تمت دراسة التغيرات البنيوية والكيميائية في الجبس باستخدام تقنيتي انعراج الأشعة السينية (XRD) والأشعة تحت الحمراء (FTIR)، كما تم تحليل الخصائص السطحية من خلال صور مكبرة للعينات قبل وبعد عملية الامتزاز، بهدف ملاحظة التغيرات الشكلية.

وقد أجريت قياسات الامتصاصية لتحديد كفاءة إزالة كل صبغة، مع تقييم تأثير كل من التركيز الابتدائي للصبغة ومدة التلامس على كفاءة الامتزاز.

كما تم تطبيق وتحليل نماذج الامتزاز لانجمير وفروندليش لفهم آلية التفاعل بين الجبس والصبغات، وتحديد نوع السطح وطبيعة عملية الامتزاز.

III-2- الطرق والمواد المستخدمة:

III-2-1- المواد والمحاليل الكيميائية المستخدمة:

- صبغة أحمر الكونغو (CR)
- صبغة أزرق الميثيلين (MB)
- ماء المقطر
- مخلفات الجبس

III-2-2- الأدوات والأجهزة المستخدمة:

- جهاز التسخين و الرج المغناطيسي
- جهاز الطرد المركزي
- كؤوس البيشر ml (100-250)
- مخبار مدرج 100 ml
- ميزان الكتروني حساس
- حوجلة عياريه ml (100-500)
- ماصات

الفصل الثالث نتائج والمناقشة

- جهاز الأشعة فوق البنفسجية-المرئية (UV-Vis)
- جهاز الأشعة تحت الحمراء (FT-IR)
- جهاز انعراج الأشعة السينية (XRD)
- جهاز pH meter
- جهاز المجهر الضوئي Microscopes holland

3-III- تحضير الجبس:

تتضمن عملية تحضير مخلفات الجبس الصناعية الصلبة لاستخدامها كمادة مازة في إزالة الصبغة عدة خطوات أساسية. أولاً، يتم جمع مخلفات الجبس الناتجة عن العمليات الصناعية وتنظيفها بعناية لإزالة أي شوائب سطحية مثل الغبار والزيوت والمواد العالقة التي قد تعيق عملية الإمتزاز. بعد التنظيف تخضع قطع الجبس لعملية تقطيع إلى أحجام عشوائية بهدف زيادة مساحة السطح المعرضة للسائل المحتوي على الصبغة، مما يعزز كفاءة الإمتزاز.



الشكل (1-III): مخلفات الجبس.

III-4- تشخيص مادة الجبس قبل المعالجة:

III-4-1- انعراج الأشعة السينية (XRD) :

الأشعة السينية، أو أشعة اكس، هي موجات كهرومغناطيسية تشبه الضوء لكنها تختلف عنه بطول موجي أقصر وتردد أعلى، مما يجعل طاقتها أكبر. تنتقل هذه الأشعة في خطوط مستقيمة من مصدرها، ولا تتأثر بالمجالات الكهربائية أو المغناطيسية، لأنها لا تحمل شحنة كهربائية. تُصنّف الأشعة السينية ضمن الأشعة المؤينة مثل أشعة جاما، ولهذا تُعدّ من الإشعاعات التي قد تشكل خطرًا بيولوجيًا عند التعرض لها بكثرة، بخلاف الأشعة غير المؤينة مثل الأشعة تحت الحمراء وفوق البنفسجية وموجات الراديو.

يتراوح طول موجتها بين 0.01 nm و 10 ، وتعتمد طاقتها على طولها الموجي وفق العلاقة الفيزيائية بين الطاقة والموجة [1].

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

حيث:

E : طاقة الفوتون (J)

h : ثابت بلانك (6.626×10^{-34} j.s)

c : سرعة الضوء (3×10^8 m/s)

λ : طول الموجي (m)

للحصول على مخطط انعراج الأشعة السينية ، تم استخدام جهاز الانعراج الآلي على المسحوق من نوع PROTO AXRD Benchtop الموضح في الشكل (III-2) . يعتمد هذا الجهاز على تصميم (2θ)، حيث تدور فيه العينة بنصف سرعة دوران الكاشف بالنسبة لشعاع الأشعة السينية الساقط. وقد تم توليد هذا الشعاع باستخدام أنبوب أشعة سينية ذي هدف من النحاس، مما ينتج عنه أشعة سينية مميزة بطول موجي مقداره حوالي 1.5425 \AA .



الشكل (III-2): جهاز الانعراج الآلي من نوع PROTO AXRD Benchtop. يُطحن الجبس يدويًا للحصول على مسحوق دقيق، ثم يُوضع على حامل العينة ويُضغط بلطف بصفيحة زجاجية لتكوين سطح مستوي.

III-4-2- التحليل الطيفي بالأشعة تحت الحمراء (FTIR) للجبس:

تُعد تقنية الأشعة تحت الحمراء بتحويل فورييه (FTIR) أداة تحليلية قوية وشائعة الاستخدام في الكيمياء لتوصيف المواد. تعتمد هذه التقنية على امتصاص الجزيئات للأشعة تحت الحمراء بأطوال موجية محددة، مما يوفر بصمة طيفية فريدة لكل جزيء. يمكن استخدام هذه البصمة لتحديد الهياكل الأساسية والمجموعات الوظيفية الموجودة في الجزيئات العضوية. بالإضافة إلى ذلك، تقدم معلومات قيمة عن طبيعة الروابط الكيميائية داخل الجزيء [2].

في هذه الدراسة تحديدًا، تم تسجيل أطياف الأشعة تحت الحمراء باستخدام جهاز Agilent Technologies Cary 630 FTIR وكان الهدف من ذلك هو فحص التركيب الكيميائي للعينات المستخدمة قبل وبعد عملية الامتزاز. من خلال تحليل التغيرات في الأطياف، يمكن تحديد المجموعات الوظيفية الموجودة في كل عينة وكشف أي تغيرات كيميائية قد تكون حدثت نتيجة لعملية الامتزاز.



الشكل (III-3): جهاز مطيافية الأشعة تحت الحمراء (FTIR).

III-4-3- المجهر المكبر (40×):

استخدم المجهر الضوئي المتواجد على مستوى مخبر البيولوجيا لتصوير سطح قطع الجبس المستخدمة كمادة مازة بهدف توثيق التغيرات المورفولوجية الطارئة على السطح قبل وبعد عملية الامتزاز. سمحت مقارنة الصور الملتقطة في الحالتين بتقييم تأثير الامتزاز على بنية سطح الجبس.

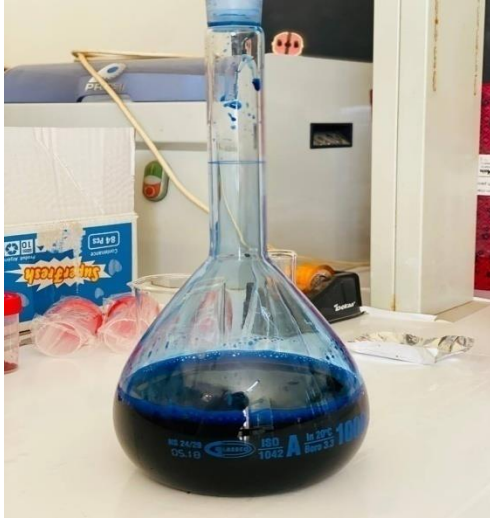


الشكل (III-4): جهاز المجهر الضوئي.

III-5-تحضير المحاليل الملوثة:

III-5-1- تحضير المحاليل القياسية:

لتحضير محلول بتركيز 1000 ppm، تم وزن 0.5 g من المادة الصلبة بدقة باستخدام ميزان حساس، ثم أضيفت إلى دورق حجمي سعة 500 ml. تم إضافة الماء المقطر حتى العلامة لتكملة الحجم إلى 500 ml ، ورجّ المحلول جيداً لضمان ذوبان المادة بالكامل.



الشكل (III-6): محلول قياسي لأزرق الميثيلين بتركيز 1000 ppm.



الشكل (III-5): محلول قياسي لأحمر الكونغو بتركيز 1000 ppm.

III-5-2- تحضير المحاليل ذات التراكيز المختلفة:

تم استخدام قانون التمديد لحساب حجم المحلول الأم اللازم لتحضير المحاليل ذات التراكيز المنخفضة، وذلك حسب العلاقة التالية:

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$$

حيث:

C_1 : تركيز المحلول الأم (1000 ppm)

V_1 : الحجم المطلوب من المحلول الأم (مطلوب حسابه)

C_2 : التركيز المطلوب

V_2 : الحجم النهائي للمحلول المخفف (100 ml)

كمثال على عملية تحضير المحاليل، نعرض فيما يلي طريقة إعداد محلول أحمر الكونغو بتركيز 15 ppm . فقد تم حساب حجم العينة المطلوبة من المحلول الأم باستخدام العلاقة:

الفصل الثالث نتائج المناقشة

$$1000 \times V_1 = 15 \times 100 \Rightarrow V_1 = 1500/1000 = 1.5 \text{ ml}$$

حيث تم أخذ 1.5 ml من المحلول الأم، ووضعه في دورق حجمي سعة 100 ml، ثم أُضيف الماء المقطر حتى علامة المعايرة للحصول على المحلول النهائي. تم اعتماد نفس المنهجية لتحضير محاليل أخرى من أحمر الكونغو بتركيز مختلفة (5-15-20-25-50-75-100 ppm) بالإضافة إلى محاليل من أزرق الميثيلين بتركيز (1-2.5-5-7.5 ppm) يعد هذا المثال توضيحاً لطريقة العمل المعتمدة لتحضير مجموعة المحاليل المستخدمة في هذه الدراسة.



الشكل (III-8): محاليل مخففة (CR) .

الشكل (III-7): محاليل مخففة (MB) .

III-6- تجارب الامتزاز:

III-6-1- مبدأ عمل جهاز الأشعة فوق البنفسجية المرئية:

تُعد مطيافية الأشعة فوق البنفسجية والمرئية (UV-Vis) إحدى التقنيات الطيفية التي تعتمد على قياس امتصاص العينة للأشعة الكهرومغناطيسية في منطقتي الطيف فوق البنفسجي والمرئي. يُعزى هذا الاسم إلى أن امتصاص الفوتونات في هاتين المنطقتين يؤدي إلى إثارة الإلكترونات ضمن الجزيئات المكونة للعينة. تعتمد هذه التقنية على مبدأ امتصاص جزيئات المادة الموجودة في المحلول للأشعة الساقطة، حيث يتناسب هذا الامتصاص طردياً مع تركيز المادة المذابة، وهو ما يوضحه قانون بير-لامبرت [3].

$$A = \epsilon Lc$$

حيث:

A: الامتصاصية.

L: سمك الخلية المرجعية (cm).

C: تركيز المحلول (mol/l).

ε: معامل الامتصاصية الجزيئي ($l \cdot mol^{-1} \cdot cm^{-1}$).



الشكل (9-III): جهاز الأشعة فوق البنفسجية و المرئية (UV-Vis).

III-6-2- تأثير تركيز الابتدائي:

تم تحضير سلسلة من المحاليل لكل من صبغتي أحمر الكونغو (CR) وأزرق الميثيلين (MB) بتركيزات ابتدائية مختلفة ، حيث تم نقل كل محلول إلى دورق زجاجي منفصل ووضع على جهاز التسخين والرج المغناطيسي مع ضبط درجة الحرارة على $25^{\circ}C$ وسرعة الرج على 350 t/min والرقم الهيدروجيني pH عند 7. تم إضافة 0.7 g من الجبس إلى كل محلول وتشغيل المؤقت عند زمن تماس ثابت (100 min) . عند انتهاء الزمن، سُحبت عينة حجمها 5 ml من كل محلول باستخدام ماصة دقيقة، ثم عُولجت بالطرد المركزي لمدة 10 دقائق للحصول على رائق صافي. أخيراً، تم تحليل العينات باستخدام جهاز (UV-Vis) لقياس الامتصاص عند الأطوال الموجية المحددة، بهدف مقارنة النتائج وتحديد العلاقة بين التركيز الابتدائي وامتصاص الصبغة وفقاً لقانون بير-لامبرت.

III-6-3- تأثير زمن التلامس:

تم وزن 0.7 g من الجبس مقسم عشوائياً، ثم نقل 100 ml من محلول الصبغة إلى دورق زجاجي (بيشر) ووضع على جهاز التسخين والرج المغناطيسي مع ضبط درجة الحرارة على $25^{\circ}C$ وسرعة الرج على 350 t/min وتركيز C والرقم الهيدروجيني pH عند 7. بعد استقرار درجة حرارة المحلول عند $25^{\circ}C$ ، أُضيف الجبس مع تشغيل مؤقت زمني كل 20 min ، سُحبت عينة حجمها 5 ml

الفصل الثالث نتائج المناقشة

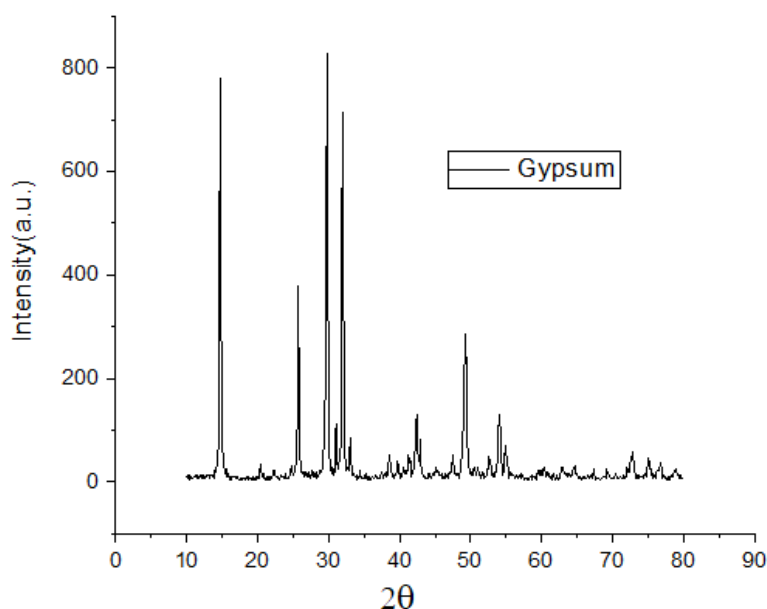
باستخدام ماصة دقيقة، واستمرت عملية السحب حتى الوصول إلى الزمن النهائي 140 min. بعد ذلك عولجت العينات بواسطة الطرد المركزي في مخبر الكيمياء التطبيقية و البيئية لمدة 10 دقائق للحصول على رائق صافٍ، ثم حُللت العينات باستخدام جهاز التحليل الطيفي بالأشعة فوق البنفسجية (UV-Vis) لقياس امتصاص الصبغة عند الأطوال الموجية المحددة.

III-7- تحليل النتائج والتشخيص بعد المعالجة:

III-7-1- تحليل مخطط انعراج الأشعة السينية (XRD):

- تحليل مخطط انعراج الأشعة السينية (XRD):

يوضح الشكل (III-10) مخطط انعراج الأشعة السينية للعيينة المرجعية .

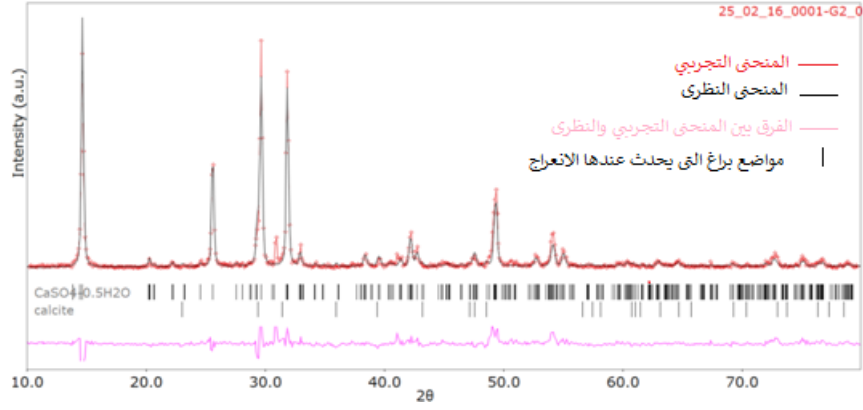


الشكل (III-10): مخطط انعراج للعيينة المرجعية A.

- تحسين نتائج الانعراج باستخدام طريقة ريتفالد Rietveld :

تحسين ريتفالد (Rietveld Refinement) هو أسلوب تم تطويره من قبل هوغو ريتفالد (Hugo Rietveld) ويُستخدم في توصيف المواد البلورية. عند إجراء انعراج الأشعة السينية على عينات على شكل مسحوق، ينتج مخطط يحتوي على قمم ذات شدة محددة في مواقع معينة. من خلال تحليل ارتفاع هذه القمم وعرضها ومواقعها، يمكن الحصول على معلومات دقيقة حول العديد من الجوانب المتعلقة بالبنية البلورية للمادة.

الفصل الثالث نتائج المناقشة



الشكل (III-11): عملية التحسين لمخطط انعراج الأشعة X على مسحوق مادة الجبس .

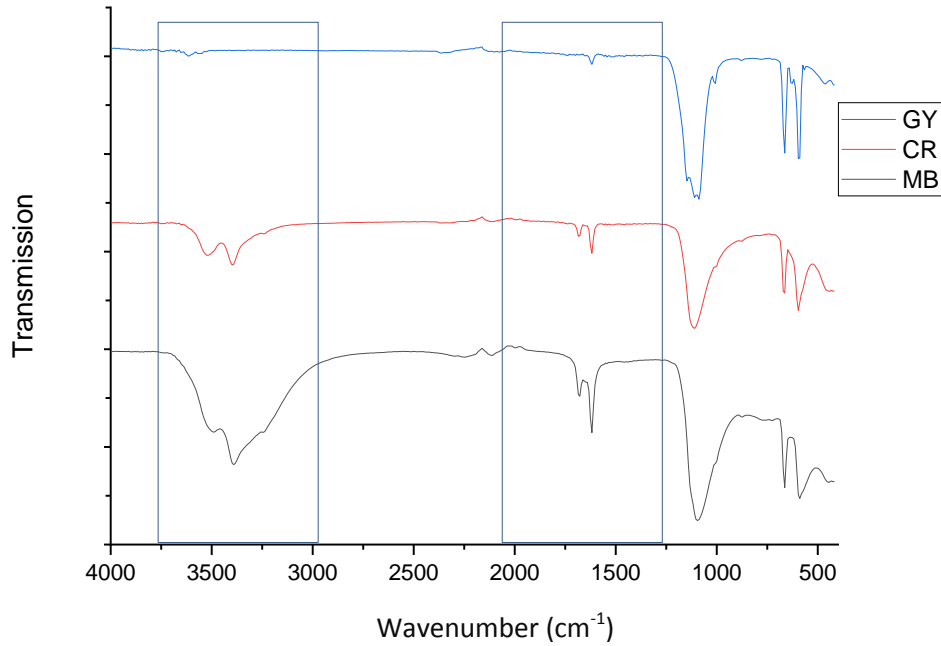
الجدول (III-1): جدول يوضح نسبة الأطوار وعوامل الثقة للعينة.

عوامل الثقة				نسبة تواجد الأطوار %		
X ²	R _{xp} (%)	R _{wp} (%)	R _p (%)	CaSO ₄ ·0.5H ₂ O	CaCO ₃	العينة
2.70	18.52	30.46	22.41	93.381	6.619	

يوضح تحسين ريتفيلد لمخطط انعراج الأشعة السينية (الشكل III-11) تطابقاً جيداً بين النمط التجريبي والنمط المحسوب ، مما يشير إلى دقة النموذج البنيوي المستخدم في توصيف العينة. يُلاحظ من مواقع القمم وشِدَّتْها وجود طورين رئيسيين في العينة، وهما كبريتات الكالسيوم نصف المائية (CaSO₄·0.5H₂O) والكالسيت (CaCO₃). كما أن الخط الوردي في أسفل الرسم البياني، الذي يمثل الفرق بين البيانات التجريبية والنموذج المحسوب، يُظهر انحرافاً بسيطاً ومحدوداً، وهو ما يؤكد على جودة تحسين ريتفيلد و التوافق الكبير بين النموذج النظري والنتائج العملية. تشير هذه النتائج إلى أن تركيب العينة متوافق إلى حد كبير مع البنية البلورية للطورين المحددين ، والجدول (III-1) يلخص النتائج النهائية لنسب عوامل الثقة وتواجد الأطوار.

III-7-2- التحليل الطيفي بالأشعة تحت الحمراء (FTIR) قبل وبعد الامتزاز:

يُعتبر تحليل طيف الأشعة تحت الحمراء (FTIR) أداة فعالة في دراسة التفاعلات بين المواد المازة والمواد الممتزة، حيث يُسهم في تحديد المجموعات الوظيفية الرئيسية المسؤولة عن آلية الامتزاز. في هذه الدراسة، تم استخدام تقنية FTIR لتحليل التغيرات الطيفية لسطح الجبس بعد امتزاز صبغتي أحمر الكونغو (CR) وأزرق الميثيلين (MB)، وذلك لفهم طبيعة التفاعلات الكيميائية والفيزيائية بين الجبس وهذه الصبغات.



الشكل (III-12): أطياف الأشعة تحت الحمراء لكل من الجبس قبل و بعد امتزاز صبغتي (CR) و (MB).

بمقارنة الأطياف الثلاثة يمكننا استخلاص أن :

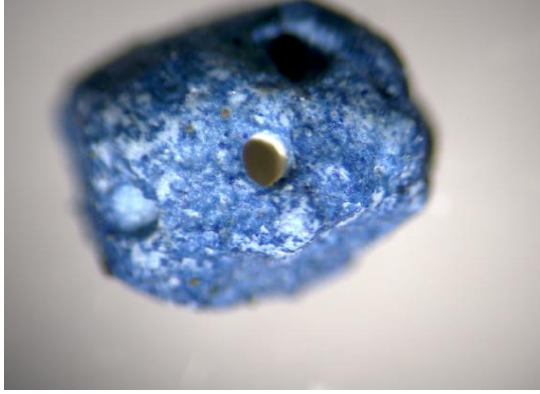
الامتصاص في النطاق $3000 - 3500 \text{ cm}^{-1}$: في هذا المجال، يُظهر كل من طيفي MB و CR امتصاصًا أقوى مقارنة بطيف GY. ويُعزى ذلك إلى:

- وجود مجموعات O-H من ماء التبلور في الجبس في طيف MB.
- وجود مجموعات N-H الخاصة بأحمر الكونغو في طيف CR.

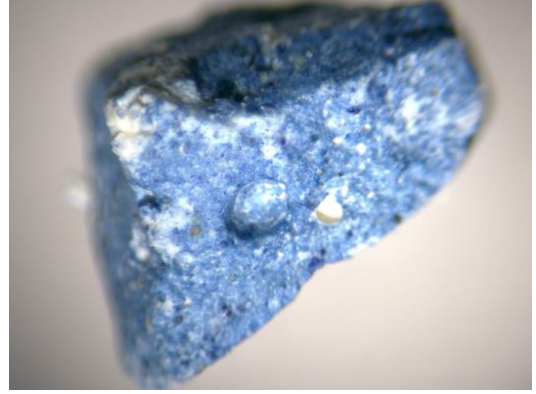
الامتصاصية في النطاق $1600 - 1700 \text{ cm}^{-1}$: تظهر قمم واضحة في طيف MB و CR بينما لا تظهر بوضوح في طيف GY هذه القمم ترتبط بروابط C=C، C=N الأروماتية، و C-N المميزة لصبغة أزرق الميثيلين، وكذلك بروابط N=N والحلقات العطرية المميزة لتركيب أحمر الكونغو.

III-7-3- الصور المجهرية للعينة قبل وبعد المعالجة:

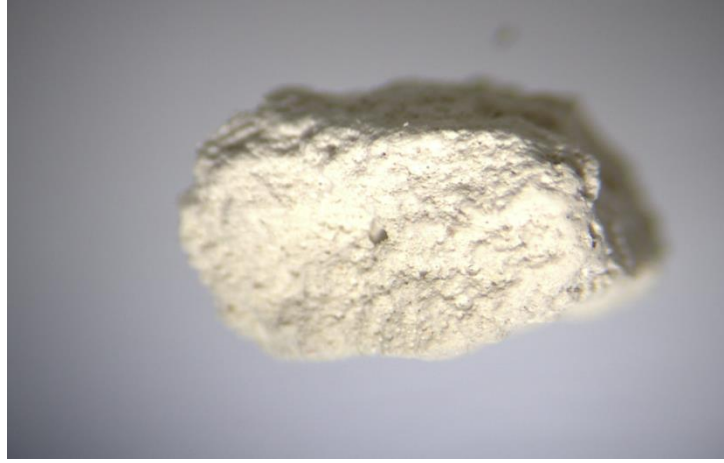
لقد أظهرت التحليلات المجهرية لسطوح الجبس قبل وبعد عملية الامتزاز اختلافات واضحة في المورفولوجيا السطحية. لوحظ أن العينات التي تمتلك عشوائية سطحية أكبر، تميزت بوجود تضاريس غير منتظمة وفتحات وحفر متعددة، أظهرت تغيرات أكثر وضوحًا بعد الامتزاز مقارنة بالعينات ذات السطح الأكثر سلاسة وانتظامًا. بالإضافة إلى ذلك، لوحظ تغير في لون سطح الجبس بعد الامتزاز، حيث ازدادت حدة اللون بشكل ملحوظ مع زيادة تركيز المحلول الممتز. يشير هذا التغير اللوني، المصاحب للتغيرات المورفولوجية، إلى ترسب المادة الممتزة على سطح الجبس وتفاعلها معه. تدعم هذه الملاحظات أن العشوائية السطحية توفر مساحة سطح أكبر وتزيد من عدد المواقع النشطة للامتزاز، وأن زيادة تركيز المادة الممتزة يؤدي إلى زيادة كميتها المترسبة على سطح الجبس.



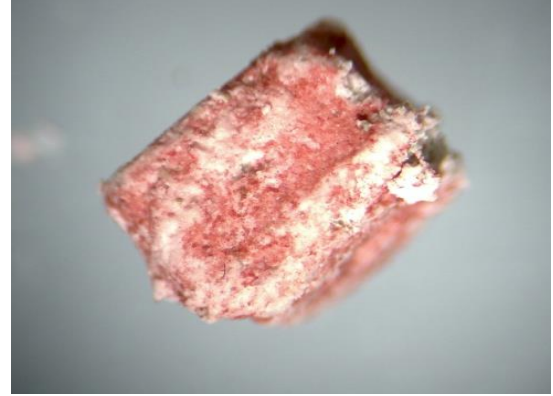
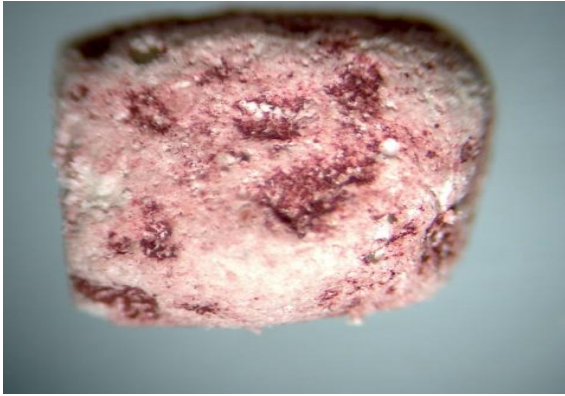
الشكل (III-14): صورة مكبرة (40 ×) لجبس ممتز بصبغة أزرق الميثيلين عند تركيز 5 ppm.



الشكل (III-13): صورة مكبرة (40 ×) لجبس ممتز بصبغة أزرق الميثيلين عند تركيز 2.5 ppm.



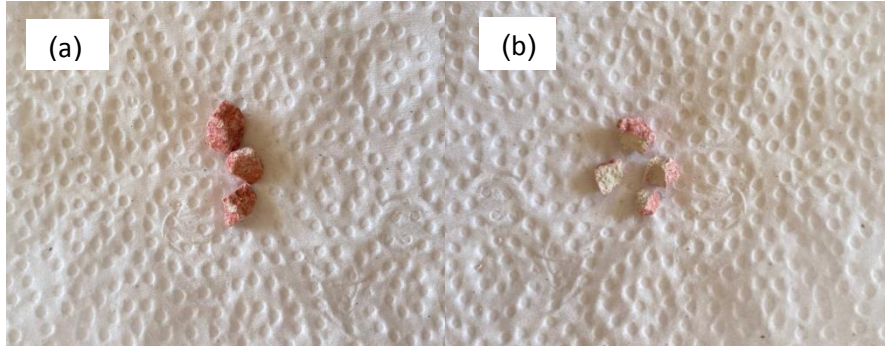
الشكل (III-15): صورة مكبرة (40×) للجبس قبل عملية الامتزاز.



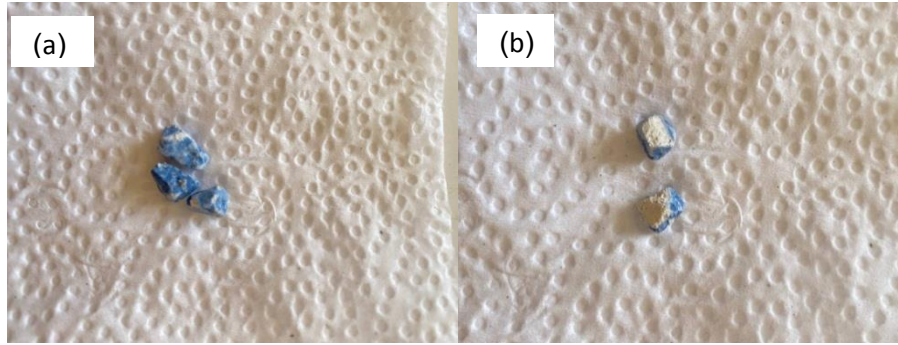
الشكل (III-16): صورة مكبرة (40×) للجبس ممتز بصبغة أحمر الكونغو عند التركيز 5 ppm. الشكل (III-17): صورة مكبرة (40×) للجبس ممتز بصبغة أحمر الكونغو عند التركيز 25 ppm.

III-4-7- مقارنة بين العينات (CR-MB):

أظهرت الصور الفوتوغرافية لعينات الجبس بعد عملية الامتزاز لكل من صبغتي أحمر الكونغو وأزرق الميثيلين تركز الصبغة بشكل واضح على السطح الخارجي للمادة الصلبة. وعند تقسيم عينات الجبس المستخدمة في الامتزاز إلى نصفين، لوحظ عدم وجود تغلغل للصبغات إلى داخل البنية الداخلية للجبس الشكلين (III-18) و (III-19). تؤكد هذه الملاحظة البصرية بشكل قاطع أن آلية الامتزاز لكلا الصبغتين على الجبس هي عملية سطحية بحتة، حيث تقتصر جزيئات الصبغة على الارتباط بالمواقع النشطة الموجودة على سطح المادة دون الانتشار أو التغلغل في حجمها الداخل.



الشكل (18-III): امتزاز صبغة أحمر الكونغو على الجبس (a) قبل التقسيم و (b) بعد التقسيم.



الشكل (19-III): امتزاز صبغة أزرق الميثيلين على الجبس (a) قبل التقسيم و (b) بعد التقسيم.

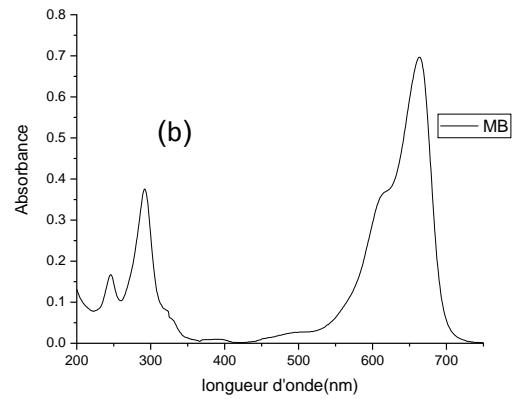
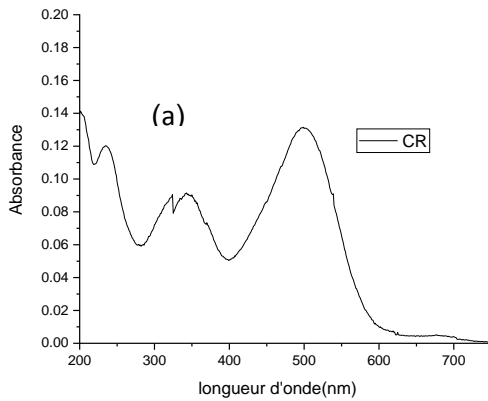
5-7-IV- تحديد الطول الموجي الأعظمي:

في البداية، وأثناء قياس الامتصاصية لكل من صبغتي CR و MB بدلالة طول الموجة، تم رصد ذروتين واضحتين عند 485.5 nm و 664.5 nm على التوالي، كما هو موضح في الشكل (20-III) أدناه.

وبذلك تم تحديد هذين الطولين كموقعي الامتصاص الأعظمي (λ_{max}) لكل من:

MB عند $\lambda_{max} = 664.5 \text{ nm}$

CR عند $\lambda_{max} = 485.5 \text{ nm}$



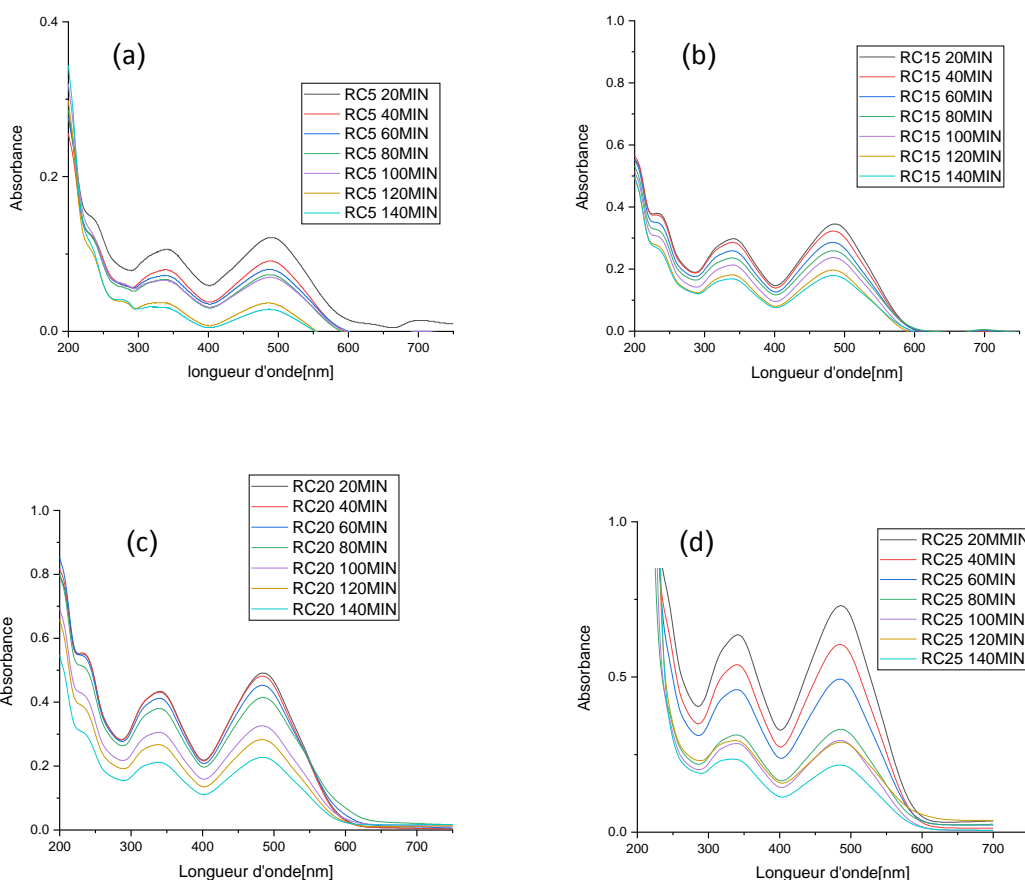
الشكل (20-III): منحنى طيف الامتصاص لصبغة (a) أزرق الميثيلين (MB) و (b) أحمر الكونغو (CR).

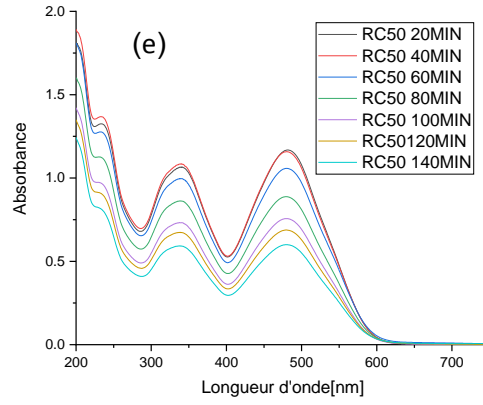
IV-6-7- قياس الامتصاصية:

تقدم هذه الدراسة تحليلاً لنتائج امتزاز صبغتي أحمر الكونغو وأزرق الميثيلين على سطح الجبس، حيث تم تقييم تأثير العوامل المختلفة مثل التركيز الأولي C و زمن التماس t في ثبوت كل من درجة الحرارة T والرقم الهيدروجيني pH من خلال تحليل منحنيات الامتزاز.

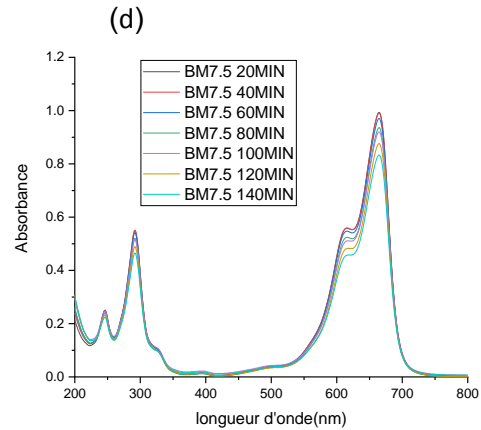
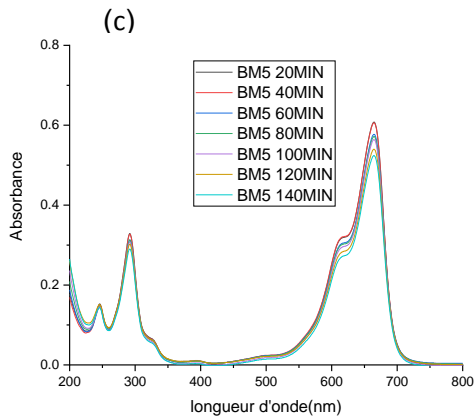
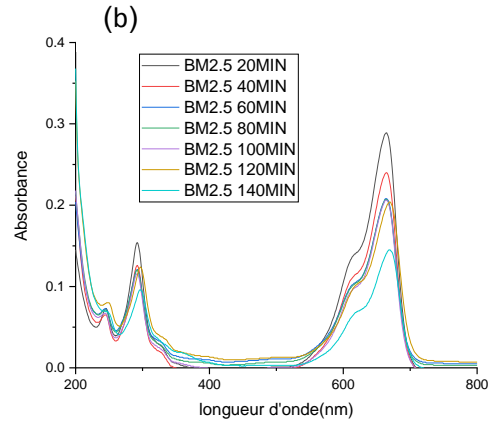
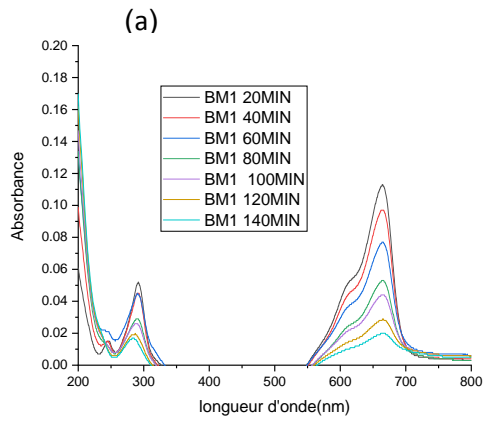
قمنا بإجراء قياسات أطياف امتصاص الأشعة فوق البنفسجية والمرئية (UV-Vis) لصبغتي أحمر الكونغو و أزرق الميثيلين بتركيزات مختلفة، باستخدام مطياف UV-Vis في مدى الطول الموجي من (200-800) nm. تهدف هذه التجربة لدراسة ديناميكية عملية امتزاز الصبغة على سطح الجبس في فترات زمنية مختلفة (20-40-60-80-100-120-140 min).

تم تسجيل قيم الامتصاص عند الطول الموجي لذروة الامتصاص المميزة لكل من أحمر الكونغو و أزرق الميثيلين، فتحصلنا على الشكلين (III-21) و (III-22). لقد سمحت لنا هذه البيانات بتتبع انخفاض تركيز الصبغة في المحلول مع الزمن نتيجة امتزازها على سطح الجبس، و بالتالي ساعدتنا في تقييم كفاءة الامتزاز %DR (Desorption Ratio) وتحديد سرعة العملية بناءً على التغير في تركيز الصبغة في المحلول.





الشكل (21-III): منحنى طيف الامتصاص لصبغة (CR) ذات التراكيز (a) 5 ppm (b) -15 ppm (c) 20 ppm (d) -25 ppm (e) 50 ppm الممتزة على مادة الجبس.



الشكل (22-III): منحنى طيف الامتصاص لصبغة (MB) ذات التراكيز (a) 1ppm (b) 2.5ppm (c) 5ppm (d) 7.5 ppm (e) الممتزة على مادة الجبس.

الفصل الثالث نتائج المناقشة

IV-7-7- تأثير تركيز الصبغة على كفاءة الامتزاز:

لقد أظهرت النتائج أن تغير تركيز صبغتي أزرق الميثيلين وأحمر الكونغو الابتدائي يؤثر بشكل واضح على سلوك الامتزاز، حيث يوضح الشكل (III-23) والشكل (III-24) كيف أن اختلاف تركيز الصبغة أدى إلى تغير في كمية المادة الممتزة على سطح الجبس. و تحسب كفاءة امتزاز وفقا لقانون التالي :

$$\%DR = \frac{A_0 - A_t}{A_0} \times 100$$

حيث:

$\%DR$: كفاءة امتزاز.

A_0 : الامتصاصية الابتدائية.

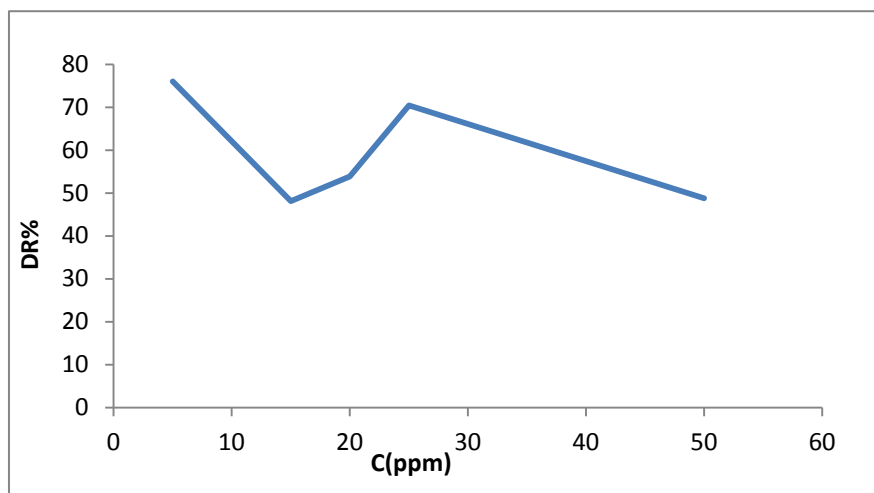
A_t : الامتصاصية بعد زمن t .

ففي حالة أحمر الكونغو ، أظهرت النتائج أن كفاءة الامتزاز كانت مرتفعة عند التراكيز المنخفضة، حيث بلغت نسبة الإزالة حوالي % 76.03 عند تركيز 5 ppm ، مما يعكس وفرة المواقع النشطة على سطح الجبس في بداية التجربة (الجدول III-2).

الجدول (III-2): كفاءة الامتزاز صبغة (CR) عند تراكيز مختلفة .

كفاءة الامتزاز (DR%)	الامتصاصية النهائية (A_t)	الامتصاصية الابتدائية (A_0)	التركيز الابتدائي C(mg/l)
76.03	0.029	0.121	5
48.12	0.179	0.345	15
53.76	0.227	0.491	20
70.41	0.216	0.730	25
48.79	0.596	1.164	50

الفصل الثالث نتائج المناقشة



الشكل (III-23): تأثير التركيز الابتدائي للصبغة (CR) على كفاءة الامتزاز على الجبس.

ومع زيادة تركيز الصبغة، لوحظ انخفاض تدريجي في كفاءة الإزالة، ويُعزى ذلك إلى تشبع المواقع الفعالة على سطح الجبس، حيث لم تعد قادرة على احتجاز المزيد من جزيئات الصبغة. كما لوحظ وجود تذبذب ملحوظ في نسب الإزالة عند بعض التراكيز (الشكل III-23)، ويُعزى هذا السلوك إلى عشوائية توزيع الخصائص السطحية للجبس المستخدم، نظرًا لعدم توحيد سطح المادة الممتازة بين التجارب.

في المقابل، أظهرت دراسة جوبيير حسن وزملائه [4] على صبغة أصفر الكلورازول (التي تحمل نفس طبيعة الشحنة) أن كفاءة الإزالة كانت أعلى، حيث وصلت إلى 99.4% عند تركيز 30 ppm مع انخفاض إلى 85.0% عند 90 ppm.

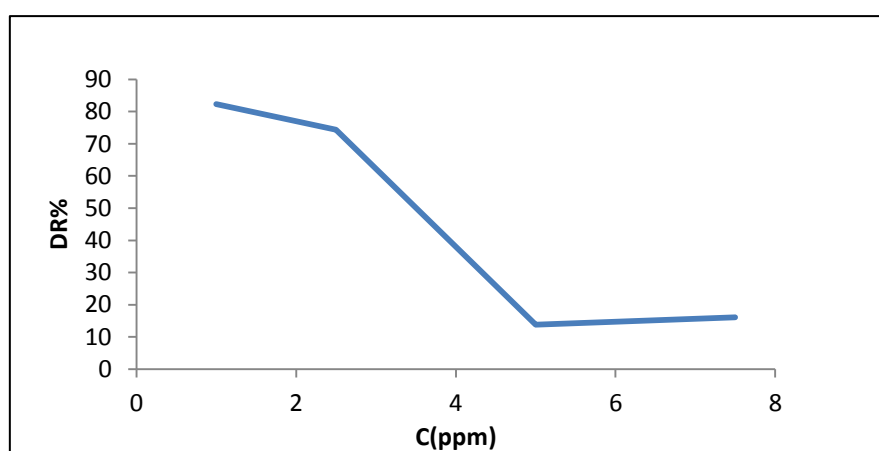
ويُحتمل أن يكون هذا الفرق في الأداء ناتجًا عن استخدامهم جبسًا مسحوقًا ناعمًا، ما وفر سطحًا أكثر انتظامًا وتجانسًا في توزيع المواقع النشطة، مما ساهم في رفع كفاءة الامتزاز وتقليل التذبذب في النتائج. كما يمكن أن يكون للاختلاف في الخصائص الفيزيائية والكيميائية بين الصبغتين، مثل الحجم الجزيئي أو البنية الفراغية، دور في التأثير على آلية الامتزاز وسلوك التفاعل مع سطح الجبس. جميع هذه العوامل تُمثل فرضيات تفسيرية محتملة للفروقات بين الدراستين، وتحتاج إلى دراسات إضافية للتحقق من مدى تأثير كل عامل منها بشكل دقيق.

أما في حالة أزرق الميثيلين فقد أظهرت نتائج التجربة أن كفاءة إزالة الصبغة باستخدام الجبس كمادة مازة انخفضت تدريجيًا مع زيادة تركيز الصبغة في المحلول. حيث بلغت نسبة الإزالة أعلى قيمها عند التراكيز المنخفضة (1-2.5 ppm)، نتيجة لتوفر عدد كافٍ من المواقع النشطة على سطح الجبس لامتصاص جزيئات الصبغة. ومع زيادة التركيز إلى 5 ppm لوحظ انخفاض ملحوظ في كفاءة الإزالة (الجدول III-3)، ويُعزى ذلك إلى تشبع سطح الجبس بجزيئات الصبغة، مما يؤدي إلى تناقص فعالية الامتزاز بسبب محدودية المواقع النشطة.

الفصل الثالث نتائج المناقشة

الجدول (3-III): كفاءة الامتزاز صبغة (MB) عند تراكيز مختلفة .

كفاءة الامتزاز (DR%)	الامتصاصية النهائية (A_t)	الامتصاصية الابتدائية (A_0)	التركيز الابتدائي C(mg/l)
82.30	0.02	0.113	1
74.39	0.074	0.289	2.5
13.81	0.524	0.608	5
16.11	0.833	0.993	7.5



الشكل (III-24): تأثير التركيز الابتدائي للصبغة (MB) على كفاءة الامتزاز على الجبس.

ومن الجدير بالذكر أن منحنى الإزالة أظهر زيادة طفيفة في الكفاءة عند أعلى تركيز مُختبر 7.5 ppm (الشكل III-24) ، وهو تذبذب يمكن تفسيره بأن سطح قطع الجبس غير منتظم وعشوائي البنية مما يؤدي إلى تباين في التوزيع المكاني للمواقع النشطة، حيث قد تُظهر بعض المناطق قدرة امتزازية أعلى بشكل غير متوقع.

في المقابل، أشارت نتائج دراسة جوبير حسن وزملائه [4]، التي استخدمت مسحوق الجبس كمادة مازة، إلى نسبة إزالة قصوى لصبغة الميثيلين الأزرق بلغت حوالي 24% في الوسط المتعادل. وعلى الرغم من استخدام مسحوق الجبس الذي يتميز بمساحة سطحية أكبر، إلا أن الكفاءة التي تحققت في الدراسة الحالية باستخدام قطع الجبس عند التركيزات المنخفضة كانت أعلى بكثير. هذا التباين يشير إلى أن عوامل أخرى غير مجرد مساحة السطح قد تلعب دورًا هامًا في عملية الامتزاز، مثل الخصائص الكيميائية لسطح الجبس المستخدم أو طبيعة المواقع النشطة المتوفرة.

إن الكفاءة العالية التي تحققت في الدراسة الحالية عند التركيزات المنخفضة باستخدام قطع الجبس، والتي تجاوزت تلك التي أظهرها مسحوق الجبس في دراسة جوبير حسن وزملائه، قد تُعزى إلى

الفصل الثالث نتائج المناقشة

عدة عوامل محتملة لا تزال في إطار الفرضيات. على الرغم من أن مسحوق الجبس يوفر مساحة سطحية أكبر نظرياً، إلا أن الخصائص السطحية لقطع الجبس المستخدمة في الدراسة الحالية قد تكون أكثر تفاعلية تجاه جزيئات صبغة أزرق الميثيلين عند التركيزات المنخفضة. يمكن أن يشمل ذلك توزيعاً أكثر ملائمة للمواقع النشطة أو وجود أنواع مختلفة من المواقع ذات ألفة أعلى للصبغة. بالإضافة إلى ذلك، فإن طبيعة السطح غير المنتظم للقطع قد يخلق مناطق ذات قدرة امتزازية محسنة لم تكن متاحة بنفس القدر في مسحوق الجبس. ومع ذلك، فإن الانخفاض الملحوظ في الكفاءة عند التركيزات العالية في الدراسة الحالية يؤكد في نهاية المطاف على أهمية مساحة السطح المتاحة كعامل مقيد. يشير هذا إلى أن شكل المادة المازة يؤثر بشكل معقد على عملية الامتزاز، وأن تحقيق كفاءة عالية عند تركيزات منخفضة لا يضمن استمرارها عند التحميل العالي للملوث. وتجدر الإشارة إلى أن هذه التفسيرات تظل في إطار الفرضيات التي تحتاج إلى مزيد من التحقق من خلال دراسات معمقة لتحليل خصائص سطح الجبس المستخدم في كلتا الحالتين وتحديد الآليات الدقيقة لعملية الامتزاز.

III-7-8- تأثير زمن التلامس:

أظهرت نتائج الامتزاز أن زيادة زمن التلامس أدت إلى انخفاض تدريجي في الامتصاصية، حيث لوحظ هذا السلوك بوضوح حتى عند زمن تلامس قدره 140 دقيقة. هذا الانخفاض لا يشير إلى ضعف أداء الجبس، بل يعكس فعالية الامتزاز، حيث تم التقاط معظم جزيئات الصبغة خلال الفترات الأولى من التفاعل، مما أدى إلى انخفاض تركيز الصبغة في المحلول مع مرور الوقت.

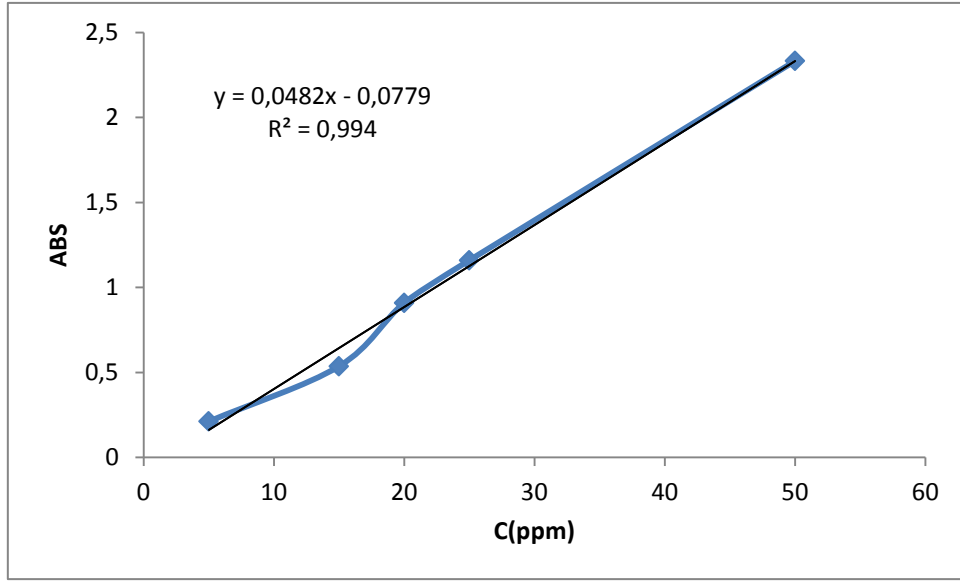
يشير هذا السلوك إلى أن الجبس يمتلك قدرة عالية على الامتزاز في وقت قصير، مما يقلل من كمية المادة المتبقية لاحقاً ويؤدي إلى تناقص تدريجي في الامتصاصية. وعلى الرغم من أن التجربة لم تتجاوز 140 دقيقة، إلا أن الاتجاه الظاهر في النتائج يُظهر أن الزيادة في الزمن تؤدي إلى امتصاص أقل، وهو ما يمكن أن يُعزى إلى فعالية الجبس في إزالة المادة الممتازة بسرعة، وبالتالي استنفاد معظم التركيز المتاح في المحلول.

III-8- دراسة ايزوتارم الامتزاز:

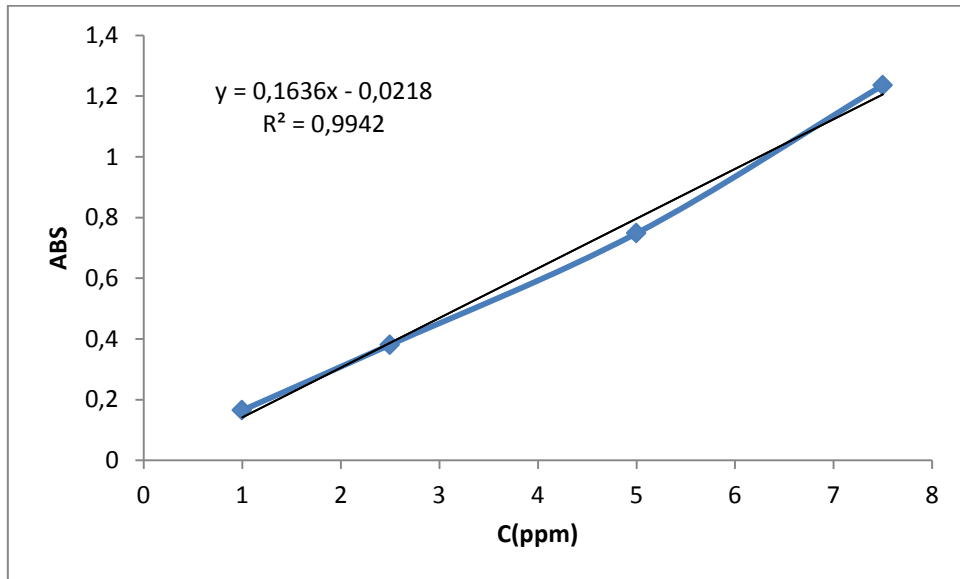
تمثل النماذج ايزوتارم أداة مهمة لفهم آلية الامتزاز وتفسير العلاقة بين تركيز المادة الممتازة في المحلول وكمية الامتزاز على سطح المادة الممتازة عند حالة التوازن. في هذه الدراسة، تم تطبيق كل من نموذج لانجمير وفروندليش على البيانات التجريبية بهدف تحديد النموذج الذي يصف بشكل أفضل سلوك امتزاز صبغة على سطح الجبس.

يساعد اختيار النموذج الأنسب في الكشف عن طبيعة التفاعل السطحي، سواء كان يحدث على سطح متجانس وبامتزاز أحادي الطبقة كما يفترضه نموذج لانجمير، أو على سطح غير متجانس مع إمكانية الامتزاز متعدد الطبقات كما هو الحال في نموذج فروندليش.

1-8-III المنحنى الشاهد لصبغتي أحمر الكونغو (CR) و أزرق الميثيلين (MB):



الشكل (III-25): منحنى الشاهد لصبغة (CR).



الشكل (III-26): منحنى الشاهد لصبغة (MB).

يقدم المنحنيان الموضحان في الشكلين III-25 و III-26 العلاقة بين امتصاصية الصبغتين، أحمر الكونغو والأزرق الميثيلين (ABS)، وتركيز كل منهما C في غياب الجبس أو أي عوامل متداخلة، وهما يعتبران منحنيين شاهدين يعكسان السلوك الطبيعي للامتصاص. يتضح من المنحنيين نمط خطي تقريباً، حيث تزداد امتصاصية أحمر الكونغو وفق المعادلة:

الفصل الثالث نتائج المناقشة

$$y = 0.048x - 0.077$$

بينما تزداد امتصاصية الأزرق الميثيلين وفق العلاقة:

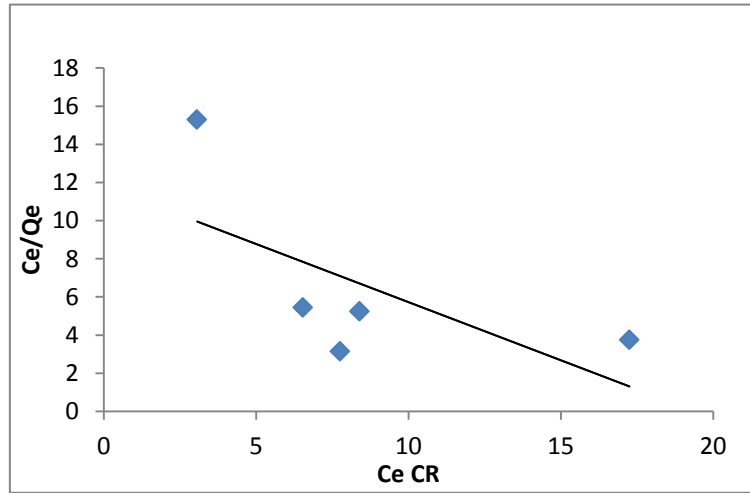
$$y = 0.1636x - 0.0218$$

مع تصحيح طفيف عند القيم المنخفضة في كلتا الحالتين. كلا المنحنيين مدعومان بمعامل ارتباط مرتفع $R^2 = 0.994$ ، مما يؤكد التناسب بين الامتصاصية والتركيز في الوسط السائل، ويشكلان أساساً لتقييم تأثير الجبس أو غيره من المواد في التجارب اللاحقة.

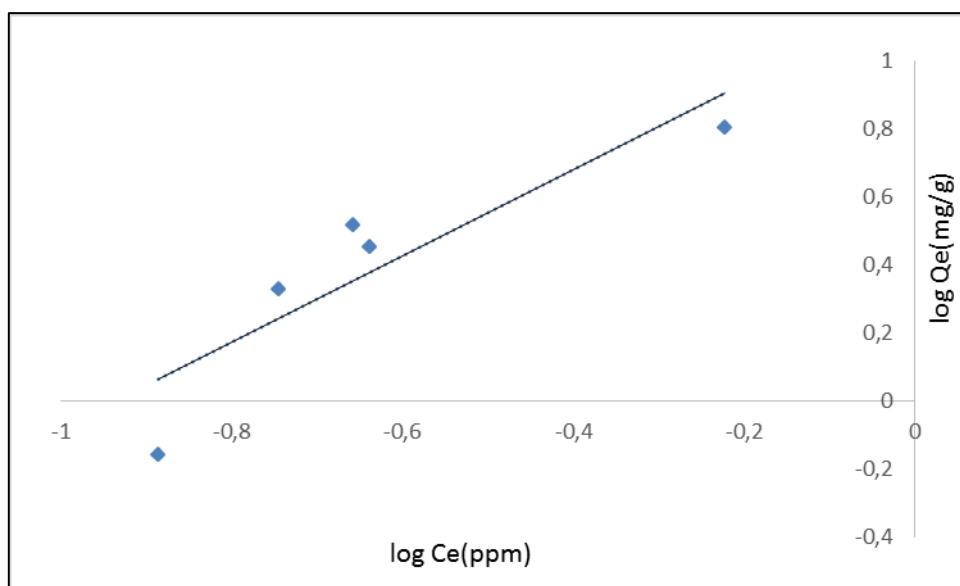
III-9- دراسة ايزوتارم الامتزاز:

تمثل النماذج ايزوتارم أداة مهمة لفهم آلية الامتزاز وتفسير العلاقة بين تركيز المادة الممتزة في المحلول وكمية الامتزاز على سطح المادة الممتزة عند حالة التوازن. في هذه الدراسة، تم تطبيق كل من نموذج لانجمير وفروندليش على البيانات التجريبية بهدف تحديد النموذج الذي يصف بشكل أفضل سلوك امتزاز صبغة على سطح الجبس.

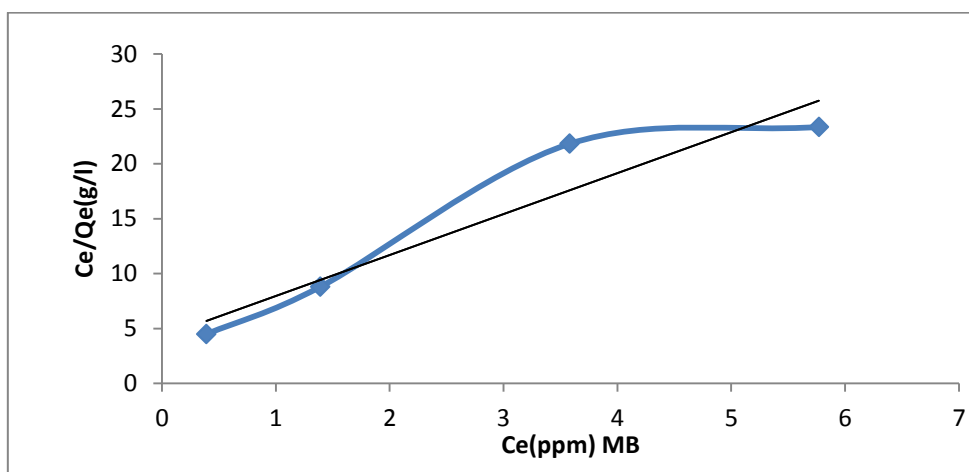
يساعد اختيار النموذج الأنسب في الكشف عن طبيعة التفاعل السطحي، سواء كان يحدث على سطح متجانس و بامتزاز أحادي الطبقة كما يفترضه نموذج لانجمير، أو على سطح غير متجانس مع إمكانية الامتزاز متعدد الطبقات كما هو الحال في نموذج فروندليش.



الشكل (III-27): منحنى نموذج لانجمير لصبغة (CR).

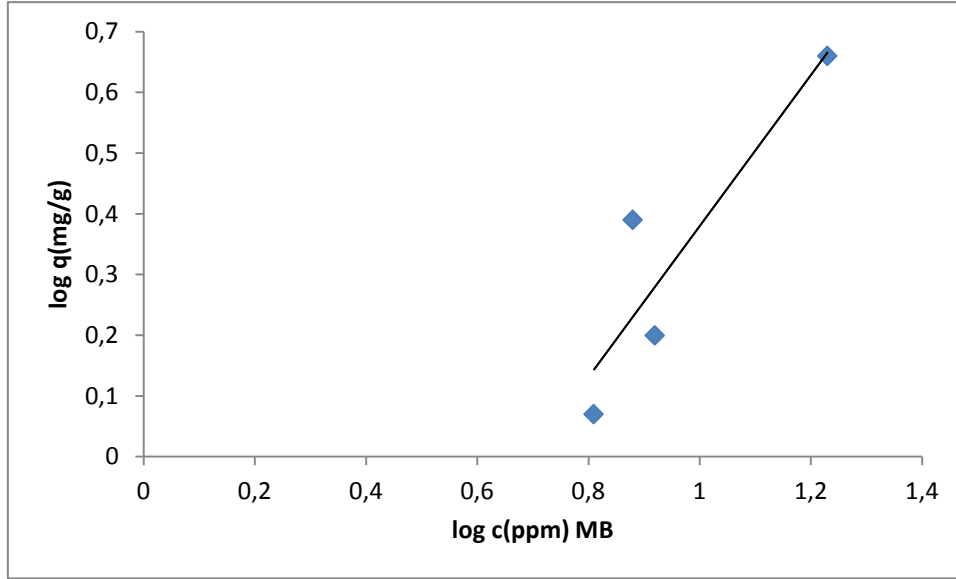


الشكل (28-III): منحنى نموذج فروندليش لصبغة (CR).



الشكل (29-III): منحنى نموذج لانجمير لصبغة (MB).

الفصل الثالث نتائج المناقشة



الشكل (III-30): منحنى نموذج فروندليش لصبغة (MB).

الجدول (III-4): ايزوتارم امتزاز صبغة CR على سطح الجبس.

Adsorption isotherm	Parameter	Value
Langmuir	q_{\max} (mg/g)	30
	K_L (L/mg)	0.04
	R^2	0.96
Freundlich	K_f (mg/g) (L/mg) ^{1/n}	5.5
	n	2.8
	R^2	0.93

الجدول (III-5): ايزوتارم امتزاز صبغة MB على سطح الجبس.

Adsorption isotherm	Parameter	Value
Langmuir	q_{\max} (mg/g)	3.5
	K_L (L/mg)	0.12
	R^2	0.94
Freundlich	K_f (mg/g) (L/mg) ^{1/n}	0.65
	n	2.1
	R^2	0.91

الفصل الثالث نتائج المناقشة

فبالرغم من أن مادة الجبس المستخدمة في هذه الدراسة كانت في شكل قطع غير متجانسة من حيث الشكل والحجم، إلا أن نتائج امتزاز صبغتي أحمر الكونجو و أزرق الميثيلين أظهرت تطابقاً جيداً مع نموذج لانجمير (انظر الأشكال من III-27 الى III-30 و الجدولين III-4 و III-5). حيث انه تبين لنا انه يناسب البيانات بشكل أفضل، فقد تحصلنا على القيمتين $R^2=0.96$ و $R^2=0.94$ على الترتيب لكل من أحمر الكونجو وأزرق الميثيلين. وهذه النتائج تشير إلى أن امتزاز الصيغتين معا على الجبس هو امتزاز أحادي الطبقة على سطح متجانس نسبياً.

ويمكن تفسير هذا التوافق بعدة عوامل:

1- قد تكون المواقع النشطة على سطح الجبس متماثلة كيميائياً، حتى وإن اختلفت فيزيائياً، مما يؤدي إلى سلوك امتزاز متجانس فعال.

2- إن التراكيز المستخدمة خلال التجربة لم تكن مرتفعة إلى درجة تُحفّز تكوّن طبقات متعددة من الصبغة على السطح، ما يجعل نموذج الامتزاز أحادي الطبقة (لانجمير) ملائماً.

وعلاوة على ذلك، فإن البنية البلورية للجبس، التي تحتوي على أيونات الكالسيوم والمجموعات الهيدروكسيلية، قد توفر مواقع امتزاز متكررة كيميائياً، حتى في وجود اختلافات هندسية بين القطع. لذا، يُعزى التوافق الكبير مع نموذج لانجمير إلى تشابه التأثيرات الكيميائية للمواقع السطحية، وليس بالضرورة إلى التماثل الفيزيائي للسطح.

الخاتمة:

من خلال هذا الفصل، تم استعراض المنهجية العلمية المتبعة في تحضير العينات وتنفيذ التجارب المتعلقة بعملية الامتزاز باستخدام الجبس كمادة مازة طبيعية. أظهرت النتائج أن الجبس يمتلك قدرة فعالة على إزالة صبغتي أزرق الميثيلين وأحمر الكونغو من المحاليل المائية، مما يبرز إمكانيته كخيار اقتصادي وبسيط لمعالجة المياه الملوثة.

كما ساهمت التحاليل البنيوية والكيميائية (XRD) و (FTIR) في توضيح التغيرات التي طرأت على تركيبة الجبس بعد الامتزاز، في حين مكّنت الصور المكبرة من ملاحظة التحولات الشكلية على السطح. بالإضافة إلى ذلك، أظهرت قياسات الامتصاصية تأثير كل من التركيز الابتدائي للصبغة ومدة التلامس على كفاءة الإزالة، فيما وفّرت نماذج لانجمير وفروندليش فهماً أعمق لآلية التفاعل بين الجبس والصبغات المدروسة.

تمثل هذه النتائج خطوة مهمة نحو تطوير حلول بيئية فعالة لمعالجة المياه، وتعزز من جدوى استخدام مواد محلية طبيعية مثل الجبس في التطبيقات البيئية المختلفة.

المراجع العربية:

- [1] ق. ا. ك. ا. الدقيقة، "المحاضرة 3: مطيافية الأشعة السينية"، 2024.
- [3] ب. ا. س. و. ر. ليلي، "تطبيقات مطيافية UV-Vis في تقدير المركبات الفعالة وفعاليتها"، مذكرة ماستر، جامعة قاصدي مرباح – ورقلة، 2022.

المراجع الأجنبية:

- [2] A. H. Jawad, N. S. A. Mubarak, and A. S. Abdulhameed, "Hybrid crosslinked chitosan-epichlorohydrin/TiO₂ nanocomposite for reactive red 120 dye adsorption: kinetic, isotherm, thermodynamic, and mechanism study," *Journal of Polymers and the Environment*, vol. 28, pp. 624-637, 2020.
- [4] M. J. Hassan, M. F. Islam, N. Akter, M. N. Uddin, A. Y. Abir, S. B. Aoun, *et al.*, "Applicability of gypsum in selective removal of anionic dye molecules from aqueous medium," *Applied Water Science*, vol. 11, pp. 1-11, 2021.

خلاصة عامة

الخلاصة العامة:

في ظل التحديات البيئية المتزايدة الناتجة عن التلوث الصناعي، وخاصة تلوث المياه بالأصبغ العضوية، تبرز أهمية البحث عن حلول فعّالة واقتصادية لمعالجة هذه المياه. وفي هذا السياق، جاءت هذه المذكرة لتسلط الضوء على إمكانية استخدام مادة الجبس، المتوفرة محليًا، كمتز فعال لإزالة صبغتي أحمر الكونغو وأزرق الميثيلين من المحاليل المائية.

تضمن الفصل الأول عرضًا نظريًا عامًا حول الجبس من حيث خواصه الفيزيائية والكيميائية ومصادره واستعمالاته، إضافةً إلى تقديم شامل للأصبغ المستخدمة صناعيًا، مع التركيز على الأثر البيئي لكل من أحمر الكونغو وأزرق الميثيلين.

أما الفصل الثاني، فقد خُصص لدراسة نظرية لظاهرة الامتزاز، حيث تم التطرق إلى المبادئ الأساسية التي تحكم هذه الظاهرة، والنماذج الرياضية التي تُستخدم لوصفها، وعلى رأسها نماذج لانجمير وفروندليش، مما شكل قاعدة علمية لتحليل البيانات التجريبية.

في الفصل الثالث، تم عرض الأجهزة والتقنيات المستخدمة في إجراء التجارب، بالإضافة إلى خطوات تحضير مادة الجبس الخام مع ضمان تجانس العينة ودقة النتائج. شملت المنهجية التجريبية تحضير محاليل مائية بتركيزات مختلفة من صبغتي أزرق الميثيلين (MB) وأحمر الكونغو (CR)، مع استخدام الجبس كمادة امتزاز، تحت ظروف مضبوطة تشمل الزمن، درجة الحرارة، وقيمة الـ pH. وقد تم تحديد تركيز الصبغة المتبقية بعد عملية الامتزاز باستخدام مطيافية UV-Vis، ومن ثم حساب نسبة الإزالة (%DR) لتقييم فعالية الجبس.

أظهرت النتائج أن سلوك الامتزاز يتأثر بعوامل مثل التركيز الابتدائي للصبغة وزمن التماس. وقد بينت الدراسة أن الجبس يمتلك قدرة معتبرة على امتزاز كلتا الصبغتين، حيث بلغت كفاءة الامتزاز القصوى لأحمر الكونغو 76.03% عند تركيز ابتدائي قدره 5 ppm، في حين بلغت 82.30% لأزرق الميثيلين عند تركيز ابتدائي قدره 1 ppm، مما يعكس فعاليته كمادة امتزاز منخفضة التكلفة.

كما كشفت التحاليل الفيزيائية والكيميائية، مثل XRD و FTIR، عن الخصائص البنيوية والوظيفية للجبس، حيث أظهرت وجود أطوار بلورية رئيسية مثل CaCO_3 و $\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$ ، بالإضافة إلى مجموعات وظيفية فعالة مثل O-H، N-H، C=C، و C-N، التي تسهم في آلية الامتزاز.

وعند تحليل النتائج باستخدام النماذج الرياضية، تبين أن نموذج Langmuir هو الأكثر توافقًا مع البيانات التجريبية، بقيم معامل R^2 بلغت 0.96 لصبغة CR و 0.94 لصبغة MB، هذا يشير إلى أن آلية الامتزاز تتم عبر تكوين طبقة أحادية على سطح الجبس دون حدوث تفاعلات كيميائية مباشرة، مما يؤكد الطبيعة الفيزيائية لعملية الامتزاز.

الخلاصة العامة

تُبرز هذه النتائج الجدوى البيئية والاقتصادية لاستخدام الجبس كمواد امتزاز منخفضة التكلفة ومتاحة بكثرة لمعالجة المياه الملوثة بالأصبغ، خاصة في المناطق الصحراوية التي تتوفر فيها هذه المادة بكميات كبيرة.

ورغم هذه النتائج المشجعة، فإن العمل لم يخلُ من بعض التحديات، لاسيما ما يتعلق بعدم دراسة تأثير بعض العوامل مثل درجة الحرارة أو إمكانية إعادة استخدام الجبس بعد عملية الامتزاز. وعليه، نقترح في إطار آفاق البحث المستقبلية:

- دراسة تأثير العوامل الديناميكية (مثل درجة الحرارة و pH) على الامتزاز.
- تعديل الجبس بوسائل كيميائية أو فيزيائية لتحسين أدائه.
- تطبيق الدراسة على مياه ملوثة حقيقية من مصادر صناعية.
- تقييم إمكانية إعادة استخدام الجبس بعد التشبع.