الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
المدرسة العليا لأساتذة التعليم التكنولوجي ـ سكيكدة ـ

قسم : التكنولوجيا
التخصص : هندسة الطرائق

مذكرة التخرج لنيل شهادة أستاذ التعليم الثانوي

بعنوان

تحضير سماد عضوي صلب انطلاقا من التخمر الهوائي لمزيج من بقايا نباتية و حيوانات داجنة موجه لعملية إنبات شتلات المزروعات

من إعداد الطالب : لخضاري رفيق

- لجنة المناقشة :

بوكرش إكرام	رئيسا	أستاذ محاضر ـ أ ـ	المدرسة العليا لأساتذة التعليم التكنولوجي ـ سكيكدة ـ
بو اللمش حكيمة	مناقشا	أستاذ محاضر ـ ب ـ	المدرسة العليا لأساتذة التعليم التكنولوجي ـ سكيكدة ـ
بن جفال حسان	مؤطرا	أستاذ التعليم العالي	المدرسة العليا لأساتذة التعليم التكنولوجي ـ سكيكدة ـ

السنة الجامعية : 2024 / 2025

بسم الله الرحمن الرحيم

الإهداء :

الحمدُ لله الذي ما انتهى دربٌ، ولا خُتم سعيٌ إلا بفضله، وما بلغنا شيئًا إلا بتيسيره وتوفيقه. الحمدُ لله عدد ما كان، وعدد ما يكون، وعدد الحركات والسكون.

أقول قولي هذا، لا أنساها لكل من كان سببًا في اجتياز هذه المرحلة التي رغم مشقتها، هانت بفضل الله، ثم بوجودهم.. لا أنساها لكم.

فبعد سنواتٍ من الدراسة والعمل، كتب الله لي أن أبلغ هذا اليوم المنتظر، الذي أختتم فيه مساري الدراسي بالحصول على شهادة أستاذ التعليم الثانوي. وإذ أُسطّر هذه الكلمات في مستهل مذكرتي، فإنني أُهدي هذا العمل المتواضع إلى كل من كان له فضل عليّ، قريبًا كان أو بعيدًا، دعمني أو أرشدني، إلى كل من كان سببًا في ابتسامة، أو هدوء، أو دفعة أمل في طريقي.. إلى كل من ترك في نفسي أثرًا طيبًا لا يُنسى، لكم مني أصدق عبارات الامتنان والعرفان.

إلى من أفتخر بحمل اسمه "ولد الشيخ"، إلى من علّمني أن الرجولة تضحية، وأن الصبر رجولة، إلى من أفنى حياته ليصنع مني رجلًا.. إلى والدي العزيز، مشروعك اليوم قد أينعت ثماره، جعلني الله لك حجّةً يوم القيامة، ورفع قدرك في الدنيا والآخرة.

إلى من كانت دعواتها سرّ توفيقي، ورضاها سرّ سكينتي، إلى من حملتني وهناً على وهن، وربّتني بصبرٍ لا يُوصف.. إلى أمي الحبيبة، رزقني الله برّك ما حييت، وأطال عمركِ في طاعته.

إلى إخوتي: طبيب الأسرة محمد الأمين. والمشاغب بروحه، الطيّب بقلبه، أحمد خليل. النشيط الخلوق، عبد الله. أختي الكبرى، مريم، التي بادرت بفرحة تخرّجي كما لو كانت فرحتها. المؤنسات الغاليات، أمينة وشيماء، ألّف الله بين قلوبنا، وأنبتكم نباتًا حسنًا.

إلى عائلتي الكبيرة بكل فروعها، التي كانت ولا تزال مصدر فخر وانتماء، لكم جميعًا خالص الدعاء والمحبة.

إلى رفيق الدرب، أحمد خليل قداش، وزميل الدراسة أيمن جبايرية، أدام الله صحبتنا، وجمعنا دائمًا على ما يحب ويرضى.

إلى أهل قريتي "حمام النبائل"، أين محل إقامتي "الربيبة" كلٌّ باسمه ومكانته، لكم مني أصدق عبارات الشكر والامتنان.

إلى كل طاقم ثانوية الإمام محمد قتاتلية، لا سيما أستاذتي الكريمة بوسالم الزهرة، جزاكم الله خيرًا، وجعل ما قدمتم في ميزان حسناتكم.

إلى كل طاقم المدرسة العليا لأساتذة التعليم التكنولوجي بسكيكدة، أساتذةً وعمالًا، الذين علّمونا دروس التواضع قبل العلم، رزقكم الله من واسع فضله.

إلى كل الأساتذة الكرام الذين كان لهم شرف الإشراف على تعليمي طيلة مساري الدراسي بالمدرسة، والذين ألهموني حب مهنة التدريس بتواضعهم، بقيمهم وعطائهم وصدق رسالتهم، أخص بالذكر :السيد المدير الأستاذ جمال بوجعدار، الأستاذ صالح رحموني، الأستاذ حسان بن جفال، الأستاذ خير الدين كرايم، الأستاذ يوسف سايحي، الأستاذ هاني بوبكري، الأستاذ إبراهيم مريان، الأستاذ فارس بن جبيحة، إلى أُستاذاتي.. رفع الله مقامكم في الآخرة، ورفع الله درجاتكم في الجنة كما رفعها في الدنيا.

إلى الخلوق البشوش، إسماعيل، العامل النبيل، سهّل الله أمرك، ورزقك بمن تسكن إليها عن قريب.

إلى زملاء الدراسة الذين كانوا لي إخوةً وسندًا، ممن جمعتني بهم مقاعد الدرس، وضحكات القاعات، وسهرات الإقامة، وكانوا خير رفيق في دربٍ طويل أخص بالذكر :ب. أيمن، و. زكرياء، م. إلياس، غ. إلياس، ز. هيثم، ب. أمين، ق. محمد، ش. صلاح الدين، ش. عبد القادر، ط. أحمد، غ. حسام، ب. لطفي، ص. محمد، ب. سيف، ب. لؤي، كثيرون أنتم، الى كل من ضاقت السطور من ذكرهم ووسع صدري لهم، لكلٍّ منكم في قلبي مودة، وعلى لساني دعوة، لا باعد الله بيننا.

إلى من جمعتني بهم عديد الأنشطة الطيبة :عبد الله المفلح عروجي، محمد لشلح، عبد الرحمان يوسف، أيمن النغرة، أدام الله استخدامنا في طاعته.. إلى من كان حضوره نورًا في ليلةٍ غاب فيها القمر، عبد الرؤوف قروي، بلغك الله مرادك، وفتح لك أبواب الخير.

إلى صاحبي من تعلّق به القلب، وشغل البال، الذي كلما حاولت الاقتراب منه زاد خوفي من ربي، جعل الله لك من اسمك نصيبًا، أصلح حالك وشأنك حيث كنت، أنت سر إذا ذاعت كل الأسرار لم يذع.

إلى الخلوقات العفيفات، أخص بالذكر، من جمعتني بهم الدراسة هـ. مسعودة، ب. نور الهدى ، ح. نور الهدى، جمّلكنّ الله بالحياء.

إلى من لم تتأخر في مساعدتنا وتقديم يد العون لإنجاح هذا العمل، ح. نور الملاك، أتاكِ الله سُؤلكِ وجبر خاطِركِ.

إلى غزة وأهلها، إلى من أحيوا دين الله وشرعه، أحيونا وذكّرونا بحقيقتنا.. آواكم الله، حفظكم، نصركم، ثبّتكم، وأيّدكم بنصرٍ من عنده.

هي الدنيا.. دار عبور لا دار قرار، تجمعنا حينًا وتفرّقنا حينًا، تُضحكنا بقدر ما تُبكينا، وتُغرينا بزخرفها لتُذكّرنا دومًا بأنها لا تدوم.

نكدح فيها ونتعب، نغرس فيها بذور الأمل، نرتق أيامها بالصبر، ونمضي في دروبها بثقلها على ظهورنا، وكلنا شوقٌ ليومٍ لا وداع فيه ولا فُرقة.. عسانا في الجنة نُؤنِس ويُؤنَس بنا.

شكر و تقدير

بِسْمِ ٱللَّهِ ٱلرَّحْمَٰنِ ٱلرَّحِيمِ،
وَٱلصَّلَاةُ وَٱلسَّلَامُ عَلَىٰ أَشْرَفِ ٱلْمُرْسَلِينَ، سَيِّدِنَا مُحَمَّدٍ، وَعَلَىٰ آلِهِ وَصَحْبِهِ أَجْمَعِينَ.
عملاً بقول رسول الله صلى الله عليه وسلم:
"من لا يشكر الناس لا يشكر الله"،
أتقدّم بجزيل الشكر وعظيم الامتنان إلى كل من كان له دور في إنجاز هذا العمل، ولكل من علّمني معنى الصبر والاجتهاد، فكانوا لي عونًا وسندًا، وأثرًا طيبًا لا يُنسى.
وصدق من قال:
"جالس العلماء، فإن لم يكن لك حظ من علمهم، فإنك تنتفِعُ بِأدبهم".
وإن قلتم إنكم أنتم من صنعتم التميّز، وغيّرتم طريقة تفكيرنا، فصدقتم؛ فلولاكم ما صقلنا الرؤية، ولا ارتقينا في الطموح.
بداية أخص بالشكر والتقدير أستاذي المشرف، البروفيسور "حسّان بن جفّال"، الذي لم يدّخر جهدًا في توجيهي، ففتح لي آفاق الفهم، ووهبني من وقته وجهده ما لا يُقدّر بثمن. عرفته نشيطًا، متواضعًا، لا يُملّ حديثه، ولا تخرج من مجلسه إلا وقد ازددت علمًا وهمة. جزاه الله عني خير الجزاء، ورفع مقامه في الدنيا والآخرة، وجعل ما قدّمه في ميزان حسناته.
كما لا يفوتني أن أتقدّم بخالص الشكر والتقدير للبروفيسور، رئيس قسم التكنولوجيا، الأستاذ "صالح رحموني" الذي اتفقت القلوب على محبته. رغم أنه لم يدرّسني في قاعات الدرس، إلا أنه درّسني أعظم المقررات :الصدق في العمل، التواضع، وتحمل المسؤولية. كل لقاء به كان درسًا، وكل حوار معه كان يلزمني أن أمسك دموعي من شدّة الأثر. كنت دائمًا أتشرف بالجلوس معه في مكتبه، وأتذكر حين ردّ على أحدهم :"هذا صاحبي".
ولا زلت أسمعه يردد كلمات والدته: "ربي يجعلنا غابة، والناس منا حطّابة".
جزاك الله برّ والدتك، وبارك لك في الصحة والعافية، وزادك قدرًا ومحبة.
كما أتوجه بخالص الشكر إلى أعضاء لجنة المناقشة الأفاضل:
أستاذتيّ الكريمتين، "بوكرش إكرام" و "بواللمش حكيمة"، على تفضّلهما بقبول مناقشة هذه المذكرة، وتقييمها، وملاحظاتهما القيّمة التي ستكون لي ولغيري من الطلبة منارات بحثية في المستقبل. بلغكما الله مقاصدكما، ورفع قدركما في الدارين.
ولا أنسى أن أخصّ بالشكر إدارة المدرسة العليا لأساتذة التعليم التكنولوجي – سكيكدة، أساتذة، إداريين، وعمال، على ما وفّروه من بيئة مناسبة للتحصيل والعمل. والشكر موصول إلى قسم التكنولوجيا الذي احتضنني طوال سنوات تكويني.
وإلى زملائي وزميلاتي، من كانوا لي رفقة علم، وسند روح، وعون مسيرة..
شكرًا لكم على كل لحظة مشاركة، وكل دفعة تشجيع، وكل ذكرى ستظل محفورة في القلب.
وإلى كل من نسيتُ اسمه، ولم يغب عن قلبي..
جزاكم الله عني كل خير، وبارك لكم في علمكم وأعماركم، ورفع قدركم في الدنيا والآخرة.

وما هذا العمل إلا حصادٌ مشترك لكل من مرّ في دربي يومًا.. فلكم جميعًا نصيب من هذا الإنجاز.

الملخص بالعربية

يهدف هذا البحث إلى إنتاج سماد عضوي (كومبوست) انطلاقًا من مخلفات نباتية وحيوانية في إطار تثمين النفايات العضوية لتحقيق قيمة زراعية مضافة. أُنجزت التجارب في ظروف مخبرية باستخدام تصميم التجارب (DOE) وفق مخطط Box-Behnken بـ 62 تركيبة مختلفة، لدراسة تأثير عدة عوامل أهمها نسب المكونات الأساسية وزمن التخمير وعدد مصادر التهوية. خضعت العينات لتحاليل فيزيائية وكيميائية أظهرت نسبًا متوازنة من العناصر الغذائية الكبرى (NPK) بمتوسط بلغ 1.8% للآزوت، 0.25% للفوسفور و3.5% للبوتاسيوم، مع نسبة C/N ملائمة. كما أُجري اختبار إنبات بذور الطماطم لتقييم الفعالية البيولوجية، مسجلًا نسب إنبات وصلت 70–80%، ما يعزز إمكانية استخدام الكومبوست المنتج كخيار بديل وآمن للأسمدة الكيميائية.

الكلمات المفتاحية : العناصر المغذية، الكومبوست، تثمين النفايات العضوية، التخمر الهوائي، تصميم التجارب (DOE)، النسبة C/N، الزراعة المستدامة، السماد العضوي.

This research aims to produce organic compost from plant and animal waste as part of an approach to valorize organic residues and enhance their agricultural value. The experiments were conducted under laboratory conditions using a Design of Experiments (DOE) approach based on the Box-Behnken design, with 62 different compost formulations, to study the effect of various factors such as the proportion of key components, composting time, and the number of aeration sources. The samples underwent physical and chemical analyses, showing balanced levels of major nutrients (NPK) with average values of 1.8% nitrogen, 0.25% phosphorus, and 3.5% potassium, and an appropriate C/N ratio. A germination test using tomato seeds recorded rates between 70% and 80%, confirming the effectiveness of the produced compost as a safe alternative to chemical fertilizers.

Keywords: Nutrients, Compost, Organic Waste Valorization, Aerobic Fermentation, Design of Experiments (DOE), C/N Ratio, Sustainable Agriculture, Organic Fertilizer.

Ce travail vise à produire un compost organique à partir de déchets végétaux et animaux, dans une démarche de valorisation des résidus organiques pour en tirer une valeur agricole ajoutée. Les essais ont été réalisés en conditions de laboratoire en utilisant la méthode de planification des expériences (DOE) selon le plan Box-Behnken, avec 62 formulations différentes, afin d'étudier l'effet de plusieurs facteurs tels que la proportion des composants principaux, la durée de compostage et le nombre de sources d'aération. Les échantillons ont fait l'objet d'analyses physiques et chimiques, révélant des teneurs équilibrées en éléments nutritifs majeurs (NPK) avec des valeurs moyennes de 1,8 % pour l'azote, 0,25 % pour le phosphore et 3,5 % pour le potassium, ainsi qu'un rapport C/N adapté. Un test de germination réalisé sur des graines de tomate a enregistré des taux variant entre 70 % et 80 %, confirmant l'efficacité du compost produit comme alternative sûre aux engrais chimiques.

Mots-clés : Éléments nutritifs, Compost, Valorisation des déchets organiques, Fermentation aérobie, Plan d'expériences (DOE), Rapport C/N, Agriculture durable, Engrais organique.

العنوان	الصفحة
الإهداء	I
شكر و تقدير	II
الملخص بالعربية	III
الملخص بالإنجليزية	IV
الملخص بالفرنسية	V
فهرس المحتوى	VI
قائمة الجداول	VI
قائمة الأشكال	VI
قائمة المختصرات	XIV
مقدمة عامة	
المقدمة	1
المراجع	3
الفصل الأول : الأسمدة العضوية والكيميائية	
I. 1. مقدمـة	4
I. 2. نبذة تاريخية حول الأسمدة و التسميد	4
I. 3. أنواع الأسمدة	5
I. 1.3. الأسمدة العضوية	5
1) الأسمدة العضوية التقليدية	5
2) الأسمدة العضوية الخضراء	8
3) الكميوست	8
I. 2.3. الأسمدة الكيميائية	8
1) الأسمدة الكيميائية البسيطة	8
2) الأسمدة الكيميائية المركبة	8
3) أنواع الأسمدة الكيميائية	9
I. 4. العناصِر المغذية	10
I. 1.4. مفهوم العنصر الغذائي	10
I. 2.4. مصادر العناصر الغذائية للنبات	11

I. 3.4. العناصر الغذائية الضرورية للنباتات	11
1) العناصر الكبرى	12
2) العناصر الصغرى	13
I. 4.4. شروط توفر العنصر الضروري	14
I. 5.4. أهمية العناصر الغذائية في النبات	15
المراجع	18
الفصل الثاني : طرق تحضير الأسمدة العضوية "الكمبوست"	
II. 1. مقدمة	20
II. 2. تثمين النفايات العضوية (الطبيعية)	20
II. 3. أهمية تثمين المخلفات العضوية	21
II. 4. طرق تحضير الأسمدة العضوية (الطبيعية)	21
II. 1.4. الطريقة الهوائية (التحلل الهوائي)	22
II. 2.4. الطريقة اللاهوائية (التخمير اللاهوائي)	22
II. 5. أهمية الأسمدة العضوية	23
II. 6. الفرق بين الأسمدة العضوية و الكيمائية	23
II. 7. الكمبوست	23
II. 1.7. تعريف سماد الكمبوست	24
II. 2.7. العوامل المؤثرة في عملية الكمبوست	24
II. 3.7. المراحل التي تمر بها عملية الكمبوست	27
II. 1.3.7 مرحلة التحلل	27
II. 2.3.7 مرحلة النضج	27
II. 4.7. دلائل نضج الكمبوست	27
II. 5.7. مميزات و فوائد الكمبوست	28
II. 1.5.7 فوائد الكمبوست للتربة	28
II. 2.5.7. فوائد الكمبوست للنبات	29

II. 3.5.7. فوائد الكمبوست المادية و البيئية	29
المراجع	30
الفصل الثالث : طرق النمذجة العملية	
III. 1. مقدمة	31
III. 2. مفهوم تصميم التجارب	31
III. 3. طريقة عامل واحد في كل مرة	31
III. 1.3. نبذة تاريخية	31
III. 2.3. شرح طريقة عامل واحد في كل مرة	32
III. 3.3. المزايا	33
III. 4.3. العيوب	33
III. 4. طرق تحسين الشبكات العصبية	34
III. 1.4. الفوائد	35
III. 2.4 العيوب	35
III. 5. عملية اكتساب المعرفة	36
III. 1.5. اختيار طريقة التجريب	38
III. 2.5. تحليل النتائج	38
III. 3.5. الاكتساب التدريجي للمعرفة:	38
III. 6. الفضاء التجريبي	38
III. 7. النموذج الرياضي	39
III. 8. أساسيات تصميم التجارب	40
III. 9. الطريقة الإحصائية	40
III. 10. تصاميم العوامل ذات مستويين	41
III. 11. التصاميم العاملية ذات العوامل k (2^k)	41
III. 12. التصميم العشوائي الكامل (Completely Randomized Design)	41
III. 13. برنامج تصميم التجارب	41

III. 14. تصميم التجارب Box – Behnken (BBD)	42
IV. 1.14 الهدف من BBDs	42
III. 15. التطبيقات	42
III. 16. أنواع التصاميم التجريبية الإحصائية	43
III. 17. البرمجيات المستخدمة	44
III. 18. تقييم النموذج	44
III. 2.18. جموع المربعات	44
III. 3.18. التباين	45
III. 4.18. الإختبار الإحصائي	45
III. 19. دالة الرغبة (Desirability Function)	46
المراجع	47
الفصل الرابع : البرتوكول التجريبي والمنهجية العلمية	
IV. 1. مقدمة	49
IV. 2. المواد الأولية المستعملة	49
IV. 1.2. المخلفات الحيوانية	49
IV. 2.2. المخلفات النباتية	50
IV. 3. جمع وتحضير المواد	50
IV. 4. البروتوكول التجريبي (Protocole expérimental)	53
IV. 1.4. تصميم الخلطات العضوية	53
IV. 2.4. مكان إجراء التجربة	56
IV. 3.4. تجهيز المفاعلات	56
IV. 4.4. التهوية والتقليب	57
IV. 5. مراحل التخمير	57
IV. 6. المتابعة و المراقبة	58

IV. 7. تقييم نضج الكمبوست وجمع العينات	58
المراجع	61
الفصل الخامس : تحليل ومناقشة التجارب	
V. 1. مقدمة	62
V. 2. تحليل نسب تغير العناصر المغذية في العينات المدروسة التي تم الحصول عليها من مخبر شركة الأسمدة الجزائرية "فرتيال"	63
V. 1.2 نسب تغير الآزوت في العينات المدروسة	63
V. 2.2. نسب تغير الفسفور في العينات المدروسة	64
V. 3.2. نسب تغير البوتاسيوم في العينات المدروسة	64
V. 4.2 نسب تغير الكالسيوم في العينات المدروسة	65
V. 5.2. نسب تغير المغنزيوم في العينات المدروسة	66
V. 6.2. نسب تغير الصوديوم في العينات المدروسة	67
V. 7.2. نسب تغير الحديد في العينات المدروسة	67
V. 8.2. نسب تغير المنغنيز في العينات المدروسة	68
V. 9.2. نسب تغير الزنك في العينات المدروسة	69
V. 10.2. نسب تغير النحاس في العينات المدروسة	70
V. 3. تحليل قيم الـ pH و الناقلية للعينات المدروسة التي تم قيسها في مخبر المدرسة	70
V. 1.3. تحليل قيم الأس الهيدروجيني للعينات المدروسة	70
V. 2.3. تحليل قيم الناقلية للعينات المدروسة	71
V. 4. نمذجة العوامل المؤثرة على نضج الكمبوست	72
V. 1.4. تصميم نموذج بوكس-بهنكن الكامل 3^2	74
V. 2.4. مخطط باريتو	77
V. 3.4. تأثير العوامل الفردية على نسبة C/N في عينات الكمبوست المحضرة	78
V. 4.4. تحسين الاستجابة و تحديد الشروط المثالية	79
V. 5. تحليل نتائج نسبة الإنبات	80

V. 6. مقارنة بين الكمبوست المحضر محليا و الكمبوست التجاري (Pindstrup Substrate)	82
خلاصة عامة	
خاتمة	83
الملاحق	

قائمة الجداول

الرقم	العنوان	الصفحة
1.I	يبين محتوى واحد طن سماد عضوي من عناصر كيميائية.	7
2.I	يوضح النسبة المئوية لمتوسط الكمية الكلية للعناصر الكبرى في التربة.	13
3.I	يوضح الصورة التي تمتص عليها العناصر و مدى انتقاله والدور المميز في حياة النبات.	16
1.II	الفرق بين الأسمدة العضوية والكيميائية.	23
2.II	تدرج المواد العضوية من حيث سرعة تفككها و مدى ملائمتها للأسمدة.	25
3.II	قيم نسبة (C/N) لبعض المواد الداخلة في عملية الأسمدة.	26
4.II	يبين مواصفات السماد المخمر الناضج (الكمبوست الجيد).	28
1.III	التصميم التجريبي بالوحدات المشفرة.	39
1.IV	يبين مصدر المواد الأولية المستعملة، طريقة الجمع و التخزين، المعالجة الأولية، الغرض من الاستعمال.	50
2.IV	جدول العوامل و المتغيرات المحصل عليه باستخدام طريقة تصميم التجارب DOE.	54
1.V	المستويات المختلفة للعوامل التي تم العمل بها في دراسة نسبة C/N في عينات الكمبوست المحضرة.	72
2.V	مصفوفة تصميم BBD و قيم نسبة السكر في عصير التمر و مردود استخلاصه المتوقعة و المتحصل عليها.	74
3.V	معاملات الانحدار المقدرة لتحسين نسبة C/N في عينات الكمبوست المحضرة.	76
4.V	الشروط المثلى للتحضير كومبوست ذات درجة نضج عالية.	80
1.V	مقارنة بين الكمبوست المحضر محليا و الكمبوست التجاري (Pindstrup Substrate).	83

قائمة الأشكال		
الرقم	العنوان	الصفحة
1.I	يوضح صور أحواض تربية الأسماك و احتوائها على فضلات الأسماك.	7
2.I	يوضح صورة للسماد العضوي " الكمبوست ".	8
3.I	يوضح صورة للسماد الكيميائي " N P K ".	10
1.II	يوضح طرق معالجة النفايات تبعا لمحتواها من المادة العضوية.	22
2.II	عملية تخمر كومة من المواد العضوية في الطبيعة.	24
3.II	عملية تخمر مجموعة من المواد العضوية في الطبيعة و الناتج كمبوست.	24
1.III	رسم بياني توضيحي لاختبار التكيف بعامل واحد في كل مرة لنظام ثلاثي العوامل بمستويين لكل عامل.	33
2.III	مثال على شبكة عصبية ذات طبقة مخفية واحدة.	35
3.III	مخطط عملية اكتساب المعارف.	37
4.III	مجال تباين العامل.	39
5.III	تصاميم Box-Behnken لثلاثة مستويات.	42
6.III	مخطط تصنيف نوع تصميم التجارب.	43
7.III	رسم تخطيطي يوضح تقنيات تصميم التجارب.	44
1.IV	صور لعمية تجميع كرناف وسعف النخيل.	51
2.IV	صورة لكرناف و سعف النخيل بعد عمليه تجفيفه و سحقه جاهز للاستعمال.	52
3.IV	فضلات الدجاج بعد عملية جمعها وتنقيتها ثم تجفيفها جاهزة للاستعمال أولية لتحضير الكومبوست.	52
4.IV	فضلات الإغنام بعد عملية جمعها و تنقيتها ثم تجفيفها جاهزة للاستعمال أولية لتحضير الكومبوست.	52
5.IV	قشور البيض بعد عملية جمعها و تجفيفها ثم طحنا لتصبح جاهزة كمادة أولية لتحضير الكمبوست.	53
6.IV	صورة لمياه حوض السمك.	54
7.IV	تلوة القهوة أثناء عملية تجفيفها بعد أن تجميعها وتنقيتها.	54
8.IV	صور للمخبر الذي تم فيه العمل.	56
9.IV	المفاعلات البلاستيكية التي تمت بها عملية التخمر الهوائي و شكل الأنابيب المستعملة في تهوية المزيج.	57

10.IV	مراحل الحصول على الكمبوست.	57
11.IV	تجميع العينات و ارسالها إلى مخبر شركة الأسمدة الجزائرية "فرتيال".	59
12.IV	بذور الطماطم المستعملة و كذا الكمبوست التجاري الشاهد في اختبار الإنبات.	59
13.IV	صواني الشتلات (صواني الإنبات) مرقمة بها عينات الكمبوست المحضر لإجراء اختبار الإنبات داخل الدفيئة.	60
1.V	نسبة تواجد الآزوت في العينات المدروسة.	63
2.V	نسبة تواجد الفسفور في العينات المدروسة.	64
3.V	نسبة تواجد البوتاسيوم في العينات المدروسة.	65
4.V	نسبة تواجد الكالسيوم في العينات المدروسة.	66
5.V	نسبة تواجد المغنزيوم في العينات المدروسة.	66
6.V	نسبة تواجد الصوديوم في العينات المدروسة.	67
7.V	نسبة تواجد الحديد في العينات المدروسة.	68
8.V	نسبة تواجد المنغنيز في العينات المدروسة.	69
9.V	نسبة تواجد الزنك في العينات المدروسة.	69
10.V	نسبة تواجد النحاس في العينات المدروسة.	70
11.V	درجة حموضة العينات المدروسة.	71
12.V	ناقلية العينات المدروسة.	72
13.V	مخطط باريتو للتأثيرات الفردية والمتداخلة على نسبة C/N في عينات الكمبوست المحضرة.	78
14.V	منحنيات التأثيرات الرئيسية على نسبة C/N في عينات الكمبوست المحضرة.	79
15.V	تحديد الشروط المثلى لتحضير كومبوست ذات درجة نضج عالية.	79
16.V	تطور و نمو شتلات بذور الطماطم (الصواني رقم 31 و 60) بعد مدة 13 يوم.	81
17.V	تطور و نمو شتلات بذور الطماطم (باقي الصواني) بعد مدة 13 يوم	81
18.V	تطور و نمو شتلات بذور الطماطم بصينة الإنبات الشاهد بعد مدة 13 يوم.	82

الرمز	بالعربية	بالفرنسية	بالإنجليزية
pH	تركيز أيونات الهيدروجين (قياس الحموضة والقاعدية)	Potentiel Hydrogène	Hydrogen Potential
EC	الناقلية الكهربائية	Conductivité Électrique	Electrical Conductivity
NPK	نسبة العناصر المغذية الأساسية (النيتروجين - الفسفور - البوتاسيوم)	Azote - Phosphore - Potassium	Nitrogen - Phosphorus - Potassium
DOE	تصميم التجارب	Plan d'Expériences	Design of Experiments
C/N	نسبة الكربون إلى النيتروجين	Rapport Carbone/Azote	Carbon to Nitrogen Ratio
T°C	درجة الحرارة	Température en degrés Celsius	Temperature in Celsius
P	الفسفور	Phosphore	Phosphorus
K	البوتاسيوم	Potassium	Potassium
N	النيتروجين	Azote	Nitrogen
ANOVA	تحليل التباين	Analyse de la Variance	Analysis of Variance
DF	دالة الرغبة	Désirabilité Fonction	Desirability Function
di	دالة رغبة فردية	Désirabilité Individuelle	Individual Desirability
D	دالة الرغبة الشاملة	Désirabilité Globale	Overall Desirability
BBD	تصميم بوكس-بهنكن	Box-Behnken Design	Box-Behnken Design

مقدمة عامة

مقدمة

شهدت الجزائر منذ الاستقلال نموًا ديموغرافيًا متسارعًا، حيث ارتفع عدد السكان من 10.6 مليون نسمة سنة 1962 إلى أكثر من 46.6 مليون نسمة سنة 2023، مما أدى إلى زيادة حادة في الطلب على المنتجات الزراعية، لا سيما الحبوب [4،3]. و لمواجهة هذا التحدي، لجأت الدولة إلى دعم الإنتاج الفلاحي من خلال التوسع في استعمال الأسمدة الكيميائية، خصوصًا الفوسفاتية و الأزوتية، وهو ما ساهم في تحقيق بعض الأهداف الإنتاجية على المدى القصير. إلا أن هذا التوجه خلّف انعكاسات بيئية، صحية، و اقتصادية متعددة، فالخضر و الفواكه المنتَجة بهذه الطريقة غالبًا ما تكون ملوثة بالمعادن الثقيلة الكدميوم و الكروم ، مما يؤدي إلى رفضها من قبل الأسواق الأوروبية بالاضافة الى المساهم في انتشار الامراض المستعصة مثل الاورام السراطانية، الحساسة الجلدية، و الاتيمية لدى المستهلكين. كما أسهم هذا النمط من التسميد في تدهور خصوبة التربة، و اختلال التوازن البيولوجي، فضلًا عن الكُلف المرتفعة لاستخراج و تصنيع هذه الأسمدة، ما يُثقل كاهل القطاع الفلاحي و يُضعف من مردوديته التصديرية.

من جهة اخرى تُعد الأسمدة من الركائز الأساسية لتحقيق إنتاج زراعي مستدام، إذ تلعب دورًا محوريًا في تحسين خصوبة التربة و تعزيز نمو النباتات [3]. لطالما ارتبط نجاح الأنظمة الزراعية، سواء التقليدية منها أو الحديثة، بتوفّر العناصر الغذائية الضرورية التي تحتاجها النباتات لاستكمال دورة حياتها و تحقيق إنتاجية عالية، مما جعل استعمال الأسمدة أمرًا حتميًا في مختلف الأنشطة الزراعية. و منذ القدم، أدرك الإنسان أهمية تجديد خصوبة التربة، فاستعمل المواد العضوية المتوفرة في بيئته مثل روث الحيوانات و بقايا النباتات لتعويض ما تفقده التربة من مغذيات. و مع تطور العلوم الزراعية، ظهرت الأسمدة الكيميائية كحلٍّ سريع و فعّال لتلبية حاجيات النبات الغذائية [4]، فساهمت بشكل كبير في رفع الإنتاجية، غير أن الإفراط في استخدامها و سوء إدارتها أدّيا إلى عواقب وخيمة مست جوانب متعددة، من بينها تلوث المياه الجوفية، تدهور بنية التربة، تراكم بقايا كيميائية ضارة في المنتجات الزراعية، و انعكاسات صحية خطيرة على الإنسان و البيئة.

أمام هذه الإشكالية، برزت الحاجة إلى حلول بديلة و مستدامة تراعي الأبعاد البيئية و الاقتصادية، من أبرزها تثمين النفايات العضوية الناتجة عن الأنشطة الحضرية و الزراعية، و تحويلها إلى أسمدة طبيعية ذات مردودية فلاحية [5]. و تهدف هذه المقاربة إلى الحد من تلوث التربة و المياه، تقليل تكلفة الإنتاج، تحسين تهوية التربة و قابليتها للاحتفاظ بالماء، و استعمال مواد أولية محلية منخفضة التكلفة مثل بقايا الطعام، قشور الخضار و الفواكه، أوراق الأشجار، و فضلات الدواجن و المواشي، دون الحاجة إلى استهلاك طاقة إضافية، مع إمكانية التحكم في تركيب السماد الناتج بما يتماشى مع احتياجات النباتات.

و في هذا الإطار، تندرج هذه المذكرة التي تهدف إلى إنتاج سماد عضوي صلب مضبوط التركيبة الكيميائية، و ذلك من خلال تثمين مجموعة من المخلفات النباتية و الحيوانية المتوفرة محليًا، و المتمثلة في: جريد النخيل، بُنّ القهوة، قشور البيض، فضلات الدجاج، و فضلات

الأغنام. تمت عملية التحضير داخل مفاعلات أسطواني بلاستيكية مزوّد بآلية تهوية صُمّمت خصيصًا لهذا الغرض، بالاعتماد على التخمر الهوائي كآلية رئيسية للتحلل العضوي. و لضبط الظروف المثلى لعملية التحضير، تم اعتماد منهجية النمذجة الإحصائية باستخدام تصميم Box–Behnken، الذي يتيح دراسة تأثير عدة متغيرات أساسية [6]، مثل نسب المواد الأولية، مدة التخمير، نسبة الرطوبة، و نسبة التهوية.

و قد خضع السماد الناتج لسلسلة من التحاليل الفيزيائية و الكيميائية و البيولوجية بهدف تقييم تركيبته و جودته، من خلال تحديد تركيز العناصر المعدنية الأساسية كالازوت، البوتاسيوم و الفسفور ، قياس درجة الحموضة (pH)، قياس الناقلية الكهربائية (EC)، تحديد نسبة الكربون إلى الآزوت (C/N)، بالإضافة إلى إجراء اختبار نسبة الإنبات.

تنقسم هذه المذكرة إلى جزئين أساسيين: جزء نظري و آخر تطبيقي. يحتوي القسم النظري على ثلاثة فصول؛ يُعنى الأول بالتعريف بالأسمدة و تصنيفها و العناصر المغذية الأساسية للنبات، بينما يتناول الفصل الثاني طرق تحضير السماد العضوي و مبادئ تثمين النفايات، و يستعرض الفصل الثالث أساسيات النمذجة و تقنيات تصميم التجارب.

أما الجزء التطبيقي، فيتضمن الفصل الرابع الذي يشمل البروتوكول التجريبي، بداية بجمع المواد الأولية، مراحل التحضير، و الوسائل المستخدمة، وصولًا إلى اختبار الإنبات. و يُخصص الفصل الخامس لتحليل النتائج المتحصل عليها و مناقشتها من أجل تقييم جودة السماد المنتج مقارنة بالمعايير المتعارف عليها. تختم هذه المذكرة بخاتمة تشمل حوصلة لمختلف النتائج المتحصل عليها بالاضافة للتوصيات والمقترحات للمواصلة هذه الدراسة.

و من خلال هذا العمل، نطمح إلى المساهمة في نشر ثقافة التثمين البيئي للنفايات العضوية، و إبراز دورها كمصدر بديل و فعّال لإنتاج أسمدة طبيعية، تدعم الزراعة المستدامة و تحافظ على صحة الإنسان و البيئة على حد سواء.

المراجع

[1] ONS (Office National des Statistiques), (2023), Rapport annuel sur la population algérienne.

[2] Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural, (2022), *Rapport sur la production céréalière en Algérie*.

[3] FAO, (2017), The future of food and agriculture – Trends and challenges, Food and Agriculture Organization of the United Nations.

[4] N. C Brady, & R. R Weil, (2016), *The Nature and Properties of Soils*, Pearson Education.

[5]UNEP, (2021), Food Waste Index Report 2021, United Nations Environment Programme.

[6] D. C Montgomery, (2017), *Design and Analysis of Experiments*.

الفصل الأول

الأسمدة العضوية والكيميائية

I. 1. مقدمـة

تُعد الأسمدة من الركائز الأساسية في تعزيز الإنتاج الزراعي و تحسين جودة المحاصيل، نظرًا لدورها الحيوي في تعويض التربة عن العناصر الغذائية التي تستنزفها النباتات خلال دورة نموها [1]، و تنقسم الأسمدة عمومًا إلى أسمدة العضوية مستخرجة من مصادر طبيعية كالمخلفات النباتية و روث الحيوانات، و أسمدة الكيميائية المصنعة تحتوي على عناصر مغذية بنسب محددة يسهل للنبات امتصاصها مباشرة [2]. و يكمن الفرق الجوهري بين هذين النوعين في طريقة التحلل، سرعة امتصاص العناصر، و تأثيرها طويل الأمد على خصوبة التربة و صحتها البيولوجية [3]، و في ظل تزايد التحديات البيئية المرتبطة باستخدام الأسمدة الكيميائية، يزداد الاهتمام حاليًا بالأسمدة العضوية كخيار أكثر استدامة من الناحية البيئية و الاقتصادية [4].

I. 2. نبذة تاريخية حول الأسمدة و التسميد

كلمة "التسميد" هي لفظة أدخلت في القرن ال 17 للتعبير عن مجموعة من التقنيات لضمان خصوبة التربة، و يمكن تعريفها بأنها أيضا مجموعة التقنيات الزراعية التي تهدف للحفاظ على تحسين إنتاجية الأراضي الفلاحية، و الهدف الرئيسي له النمو الجيد للنبات المقاومة للأمراض و الحشرات و الحصول على منتوج غني بالمركبات الغذائية [5]. تعتبر ممارسات التسميد جزءًا أساسيًا من الزراعة، و قد تطورت عبر العصور لتلبية احتياجات الزراعة المتزايدة، و تحسين خصوبة التربة و زيادة إنتاجية المحاصيل، فيما يلي تسلسل زمني يوضح تطور استخدام الأسمدة عبر العصور.

بدأت ممارسات التسميد منذ العصور القديمة، حيث كان المزارعون يعتمدون على المواد الطبيعية التي توفرها البيئة المحلية، استخدم الفلاحون في تلك العصور مخلفات الحيوانات مثل السماد البلدي، و المخلفات النباتية مثل بقايا المحاصيل، و كان المصريون القدماء و اليونانيون من بين أول من اكتشف فوائد استخدام الرماد و السماد العضوي لتحسين خصوبة التربة و زيادة إنتاج المحاصيل، هذا النوع من التسميد كان يهدف إلى استعادة العناصر الغذائية في التربة و تعزيز قدرتها على دعم نمو النباتات [6]. و مع تقدم العلم الزراعي في القرن التاسع عشر، بدأت الدراسات في فهم دور العناصر الغذائية الكبرى في نمو النباتات (النيتروجين، الفوسفور، و البوتاسيوم)، تم اكتشاف أهميتها الحيوية في تحفيز نمو النباتات، مما أدى إلى تصنيع الأسمدة الكيميائية، كانت هذه الأسمدة أكثر فعالية مقارنة بالأسمدة العضوية، حيث مكنت للمزارعين استخدامها بشكل دقيق لتلبية احتياجات المحاصيل بشكل أسرع و أكثر كفاءة، أسهم هذا الاكتشاف في زيادة الإنتاجية الزراعية بشكل ملحوظ، خاصة في الزراعة التجارية [7].

في بداية القرن العشرين، شهدت صناعة الأسمدة تطورًا هائلًا، بدأت الأسمدة الكيميائية تُستخدم على نطاق واسع، حيث ظهرت تقنيات مبتكرة لتحضير الأسمدة مثل الأسمدة المركبة التي تحتوي على مزيج من العناصر الغذائية، مما سمح بتوزيع فعال للعناصر اللازمة للنباتات. أصبحت هذه الأسمدة جزءًا أساسيًا من الزراعة المكثفة، مما أسهم في تلبية احتياجات الغذاء المتزايدة نتيجة لزيادة السكان[8].

في العقود الأخيرة، ظهرت مخاوف بيئية متزايدة من التأثيرات السلبية للأسمدة الكيميائية، مثل تلوث المياه و التربة و تدهور التنوع البيولوجي، دفع هذا الأمر إلى تحول تدريجي نحو الأسمدة العضوية و إعادة الاهتمام بالممارسات الزراعية المستدامة، تسعى هذه الأخيرة إلى تقليل استخدام الأسمدة الكيميائية و الاعتماد على الموارد الطبيعية مثل السماد العضوي و المواد العضوية المعاد تدويرها، كما أصبحت تقنيات الزراعة المستدامة أكثر شيوعًا، مما ساعد في تعزيز الإنتاج الزراعي مع الحفاظ على البيئة [9].

I. 3. أنواع الأسمدة

الأسمدة هي المواد العضوية و غير العضوية الأصل و المستخدمة بغية تغذية النباتات و تحسين خصائص التربة الحيوية و الفيزيائية و الكيماوية، إن استخدام الأسمدة من شأنه التأثير في إنتاجية النباتات (في المشاتل، الحقول و الحدائق) كما ونوعا... حيث ينشط نموها و يعزز مقاومتها و يحسن من حالتها الصحية كما أن فاعلية الأسمدة تتحدد بنوعيتها و خصائصها و قابلية الأنواع النباتية الحيوية و مدى حاجتها للمواد الغذائية و محتوى المواد القابلة للامتصاص في التربة [10].

تحتوي الأسمدة على عناصر غذائية كبرى التي يحتاجها النبات بكمية كبيرة و التي تتمثل في : النيتروجين (الآزوت)، الفوسفور، البوتاسيوم، الكبريت، كما أنها تحتوي على عناصر غذائية صغرى التي يحتاجها النبات بكميات قليلة جدا و هي الحديد، الكالسيوم، المنغنيز، المغنيزيوم، البروم، الزنك و النحاس. و بالتالي فالتسميد هو إضافة العناصر الغذائية للنبات و ذلك بهدف تعويض خصوبة التربة من هذه العناصر غير الموجودة فيها، أو تلك الموجودة بكميات قليلة و غير كافية لحاجات النبات، أو الموجودة بصورة غير جاهزة أي غير صالحة للامتصاص من قبل جذور تلك الأشجار [11].

I. 1.3. الأسمدة العضوية

هي تلك الأسمدة التي تضم المخلفات الحيوانية و النباتية المتكونة من المغذيات الضرورية للمزروعات بحيث تصنف هذه الأسمدة العضوية إلى [12] :

1) الأسمدة العضوية التقليدية

هي المواد الناتجة من مخلفات حيوانية و نباتية التي يتم إضافتها إلى التربة بعد أن تصل إلى مرحلة النضج التام (بعد التخمر) لتحسين خواصها الفيزيولوجية، بحيث تستخدم هذه الأسمدة بكثرة خاصة في تسميد الخضر لاحتوائها على نسبة عالية من المادة العضوية المشجعة لنمو النبات، و كذلك تحتوي على أهم العناصر الرئيسية التي يحتاجها النبات مثل عنصر النيتروجين، الفوسفور و البوتاسيوم. و يعتمد استخدام الأسمدة العضوية في تسميد محاصيل الخضر على مدى تحللها و محتواها من المادة الجافة، فالتركيب الكيميائي للأسمدة الحيوانية معقد ويختلف باختلاف نوع الحيوان، عمره، تغذيته، نوع فرشه، طرق جمع السماد و تخزينه [12]، و من أنواع الأسمدة الحيوانية نجد :

❖ **الفضلات الحيوانية (روث الحيوانات)**

هي المواد الناتجة من مخلفات الحيوانات الغنية بالعديد من العناصر الأساسية و الثانوية التي تحتاجها التربة الزراعية مثل فضلات الدجاج التي تحتوي على نسبة عالية من النيتروجين، لكن توجد انواع من فضلات الحيوانات ليست غنية بالعناصر المغذية مثل [14]:

✓ **سماد روث البقر :** هو سماد طبيعي من مخلفات الأبقار ذو طبيعة صلبة يحتوي على نسبة عالية من المادة الجافة 94.67% و 0.93% من النيتروجين، يحتوي أيضا على P_2O_5 و K_2O بنسب 0.88% و 1.19% على التوالي، تقدر درجة حموضته pH=8.38 [13].

✓ **سماد روث الدجاج :** هو سماد طبيعي، من مخلفات الدجاج يتميز بعدة خصائص منها : ذو طبيعة صلبة، يحتوي على نسبة عالية من النيتروجين حيث يقدر بـ 2.07 %، هذه القيمة اكبر من النسبة المتواجدة في سماد الغنم و البقر، كما أن سماد الدجاج غني ب K_2O و فقير من P_2O_5 [13].

❖ **فضلات طيور البحر :** من أفضل أنواع الأسمدة العضوية الحيوانية البحرية التي تحتوي على نسبة عالية من النيتروجين، ينتج هذا السماد من مخلفات طيور البحر و يستخدم على شكل مسحوق، حيث يوفر نسبة 2% من الفسفور و لا يوفر البوتاسيوم لكن على العموم هو غني بالعناصر الأخرى المغذية للنبات لذلك الكثير من المزارعين ينصحون باستخدامه، كما انه معروف عليه أنه يساعد الجذور على نموها و يحول دون تلفها [14].

❖ **سماد الدماء :** هو عبارة عن المواد الناتجة من مخلفات دماء الحيوانات المذبوحة التي تستخدم بعد جفافها، تحتوي على 14% من عنصر النيتروجين الذي ينتمي إلى العناصر الأساسية المغذية للنبات بحيث يعتبر أفضل سماد للنباتات الورقية مثل الخس [14].

❖ **سماد العظام :** هو سماد عضوي يحتوي على عنصر النيتروجين بنسبة 2%، الفوسفور بنسبة 11%، و الكالسيوم بنسبة 22%، كما توجد الكثير من العناصر الثانوية التي تغذي النبات، يستخلص هذا السماد من بقايا عظام الحيوانات البرية و الأسماك.

❖ **الأسمدة السمكية :** هو من أفضل أنواع الأسمدة العضوية الحيوانية لأنه غني بالعنصرين النيتروجين و الفوسفور و ينقسم إلى نوعين، النوع الأول يأتي على شكل سائل يسمى مستحلب الأسماك و ينتج من بقايا الأسماك المخمرة فعند مزجه بالماء و إضافته الى التربة يعطي العناصر الأساسية التي يحتاجها النبات كما يقوم بتحفيز النباتات الصغيرة على النمو بشكل أسرع، أما النوع الثاني يأتي على شكل مسحوق يسمى بالأسمدة المتحللة حيث يتكون من 12 % من عنصر النيتروجين، و يستعمل بعد مزجه بالماء [14]. تستخدم فضلات الأسماك **"الشكل (I .1)"** في سقي المنتوجات الزراعية التي تعتبر أسمدة طبيعية للأشجار و النبات، فهي تزيد من الإنتاج الزراعي بنسبة من 20% إلى 30% [14].

الشكل (I . 1) : يوضح صور أحواض تربية الأسماك و احتوائها على فضلات الأسماك.

أما بالنسبة للأسمدة الأخرى فهي من بقايا الطعام، ديدان التربة، الريش، الجلود و غيرها ... [14]

الجدول (I . 1) : يبين محتوى واحد طن سماد عضوي من عناصر كيميائية.

أنواع الروث (1طن)	N (kg)	P (kg)	K (kg)
روث بقر	3	2.5	1
روث غنم	8	6	3
روث خيول	5	3.5	3
روث دجاج	20	40	20
قمامة المدن	10	40	40
سماد المجاري	24	10	10
الدم المجفف	100	20	7
مسحوق اللحم المجفف	70	60	3
مسحوق العظام	20	300	7
مخلفات المذابح والمسالخ	90	10	4
قش الحبوب	40	20	50
سماد أخضر	50	15	50

2) الأسمدة العضوية الخضراء

تشمل تلك النباتات التي تزرع و تنمو في الحقول و الغابات و غيرها من المناطق التي تملك تربة رملية فقيرة من المواد العضوية بحيث تستخدم هذه الأسمدة بدون تخمر كما تستخدم في تسميد البقوليات، حيث يثبت النيتروجين الذي يسهل عملية تحليل بقايا النباتات و يثبت الازوت الموجود في الجذور و تزرع لاستخدامها في عملية التسميد بحيث يتم إضافتها بعد حرث و تقليب جزيئات التربة [12].

3) الكمبوست

هو السماد المحضر من تحلل نواتج المواد العضوية التي تتم من خلال إعادة تدوير ومعالجة المخلفات العضوية كأوراق الأشجار، قمامة الخشب باستخدام تأثير النشاط الحيوي للمكروبات في محيط رطب **"الشكل (I ـ 2)"**، يحتوي على العناصر المغذية للنبات مثل النتروجين و الفسفور و غيرها من المواد الغذائية التي يسهل امتصاصها من طرف النبات [15].

الشكل (I . 2) : يوضح صورة للسماد العضوي " الكمبوست ".

I. 2.3. الأسمدة الكيميائية

هو من أنواع الأسمدة الزراعية التي تحسن من خصائص التربة، فهي المركبات التي يتم تصنيعها من خلال عناصر أو مركبات كيميائية مغذية للنبات و تصنف هذه الأسمدة على صنفين هما كالتالي [17] :

1) الأسمدة الكيميائية البسيطة

هي التي تتكون من عنصر مغذي أساسي واحد (النيتروجين N أو الفوسفور P أو البوتاسيوم K) [18].

2) الأسمدة الكيميائية المركبة

هي التي تشمل على أكثر من عنصر سمادي مثل سماد (NPK) و بنسب مختلفة [18].

3) أنواع الأسمدة الكيميائية

تنقسم الأسمدة الكيميائية من حيث حالة السماد الى :

❖ **الأسمدة الآزوتية (النيتروجينية)**

تعتبر من أنواع الأسمدة البسيطة التي يكون فيها النيتروجين أو الأمونيا عنصر فعال، فهو يعتبر بديل السماد الحيواني حيث أن هذه الأسمدة تستخدم بكثرة لأهميتها في مساعدة النبات على النمو الخضري، و تنتج بشكل أساسي من غاز النشادر على شكل سماد سائل، أو على شكل سماد صلب مثل : الأمونيا، النترات، الفوسفات، وكبريتات الأمونيوم الذي يعتبر ذو تأثير حامضي، و تشمل الأمونيا على 82% من النيتروجين. اليوريا هو سماد نيتروجين يشمل 46% من النيتروجين الذائب في الماء، حيث ينتج هذا السماد من تفاعل محلول النشادر و غاز ثاني أكسيد الكاربون في درجة حرارة 185 ــ 190 درجة مئوية، و يشمل أيضا نسبة البيوريت ($[H_2NC(O)]_2NH$) لا تزيد عن 1%. هذا النوع له مميزات عدة فمثلا عند رشه على الأوراق يمتص عن طريق الثغور، لذلك تعتبر اليوريا من أهم مصادر النيتروجين الجيدة فلها لسرعة امتصاصها عل سطح الورقية للنباتات، و انتقالها كما تمتاز أيضا بأنها غير قطبية و قليلة السمية [19،16].

❖ **الأسمدة الفوسفاتية**

هو أحد العناصر الأساسية في التسميد بحيث يتم تصنيعها من خام الأباتايت ($Ca_5(PoO_4)_3(OH)$) الذي يشمل عنصر الفسفور، فهي تساعد النبات على تكوين الجذور و تساعده على خروج أزهار النبات و يشمل :

- الفوسفات الاحادي الممتاز (Single Super Phosphate)، بحيث يكون العنصر الفعال به 18%، بحيث يفضل أن يكون على شكل صورة حبيبات و نسبة رطوبتها لا تقل عن 1%.
- فوسفات ثلاثي الممتاز (TSP) : يشمل نسبة من الفوسفور الذائب في الماء التي لا تقل عن 42%، يفضل أن يكون بشكل حبيبات بحيث تمر 95% منها في المنخل 5 ملم تكون نسبة رطوبته لا تزيد على 4%.
- فوسفات خام صخر الفوسفات هو مسحوق الأباتايت الناعم الذي نضيفه إلى التربة على شكل سماد صلب، بحيث تكون نسبة الفوسفور فيه لا تقل عن 32% [19،16].

❖ **أسمدة البوتاسيوم :** يكون المركز الفعال فيها هو البوتاسيوم، و يقدر على أساس أكسيد البوتاسيوم (K_2O) من أهمها كلوريد البوتاسيوم (KCI) الذي يحتوي على 48-61% من K_2O، و كبريتات البوتاسيوم التي تحتوي على 48-50 % من K_2O [19،12].

❖ **أسمدة الكالسيوم :** هي الأسمدة التي تستخدم فيها أكاسيد الكالسيوم CaO، و تعتبر من الأسمدة التي تركيبها منفرد.

❖ **أسمدة المغنيزيوم :** هي الأسمدة التي تحتوي على عنصر المغنيزيوم Mg و تشمل سلفات المغنيزيوم [12،19].

❖ **أسمدة الكبريت :** هي الأسمدة التي تحتوي على الكبريتات، و الكبريتات تنتج من المواد الكيميائية المغذية لذلك النباتات تمتصها بسهولة [19،12].

كما توجد عناصر أخرى تكون بنسب قليلة كالحديد (Fe)، الزنك (Zn)، النحاس (Cu)، الكلور (Cl)، المنجنيز (Mn)، البور (B)، المولبيدن (Mo) و النيكل (Ni)، يضاف أحيانا إلى تلك العناصر عنصر الكوبالت و الذي يستعمل في تثبيت النيتروجين [20].

❖ **أسمدة مركبة NPK**

هي كلمة مختصرة تعني N للنيتروجين و P الفوسفور (يسمى بالفوسفات) و K البوتاسيوم، و هي ثلاثة عناصر غذائية مهمة و كل عنصر له أهمية أساسية لكل من التربة و النبات. تتوفر الأسمدة NPK في صورة صلبة (حبيبات دقيقة) **"الشكل (I ـ 3)"** و أخرى سائلة. بالنسبة للنباتات ليس من مهم الصورة التي يتواجد عليها السماد الذي يتم اختياره طالما أن التركيب نفسه [15].

الشكل (I . 3) : يوضح صورة للسماد الكيميائي " N P K ".

I. 4. العناصِر المغذية

I. 1.4. مفهوم العنصر الغذائي

هو مادة مغذية تحتاجها جميع النباتات لإكمال او ايصال دورة حياته و نمو وظائفه الحيوية و وظائف كل عنصر من هذه العناصر لا تستبدل و لا تعوض بإضافة عنصر غذائي اخر مكانه و اي نقص او زيادة فيه سيودي مباشرة الى قتل النبات و بالتالي تباطئ المحصول و الغلة فهو يؤدي وظيفة مميزة في حياة النبات الخاصة [22].

I. 2.4. مصادر العناصر الغذائية للنبات

يمكن تحديد مصادر العناصر المغذية للنبات في مصدرين أساسين و هما : العناصر الموجودة أصلا في التربة و منها المعادن الأرضية و نواتج تحلل المخلفات النباتية و المادة العضوية بالتربة، بينما المصدر الثاني فهو العناصر المضافة و التي تتمثل في إضافة الأسمدة الكيميائية و الأسمدة العضوية للتربة. و عليه يجب معرفة أن جل العناصر الغذائية الموجودة بالتربة خاضعة للعديد من العمليات و التي بدورها تحد أو تزيد من ذوبانيتها و بالتالي تؤثر على الصورة و الكمية الصالحة للنبات و هذه العمليات تختلف من عنصر لآخر سواء كانت حيوية أو كيميائية في الطبيعة، فمن العمليات الحيوية منها ما تحد من ذوبان العناصر المغذية أي امتصاصها من قبل الكائنات الدقيقة و تمثيلها داخل أجسامنا و هذا ما يعرف بعملية التمثيل أي تحويل العنصر من صورة معدنية إلى عضوية و لكن بعد موت هذه الكائنات تتحلل وتنطلق هذه العناصر مرة أخرى فتصبح في صورة صالحة و هذه العملية تعرف بعملية المعدنة وهي عكس العملية السابقة أي يحدث بها تحول العنصر من الصورة العضوية و غير الصالحة للنبات إلى الصورة المعدنية الميسرة للامتصاص، فالعملية الحيوية لها أهمية كبيرة بالنسبة للنيتروجين ومتوسطة للكبريت و الفسفور، والعملية الكيمائية تعمل على ترسيب العناصر و تجعلها في صورة غير صالحة للنبات فالفسفور أكثر العناصر تأثرا بهذا و قد يحدث تقييد لبعض العناصر وخاصة الكاتيونات منها و ذلك لإدمصاصها على الاسطح او بين الوحدات البلورية لمعقدات التبادل و يعتبر كل من ايوني البوتاسيوم و الامونيوم أكثر الكاتيونات ثباتا في هذه الطريقة [23].

I. 3.4. العناصر الغذائية الضرورية للنباتات

من بين هذه العناصر الغذائية الضرورية للنباتات نجد منها ما تنحصر ضمن 16 عنصر ضروري و أساسي لتغذية النبات, حيث يحصل النبات على الكربون و الهيدروجين و الأكسجين من الماء و غاز ثاني أكسيد الكربون و تشكل هذه العناصر الثلاثة مجتمعة أكثر من 92% من بروتوبلازم الخلايا النباتية الحية. يمتص النيتروجين أكثر من أي عنصر أخر بحيث يشكل 2% من البروتوبلازم اما الفسفور، البوتاسيوم، الكالسيوم، المغنسيوم و الكبريت، فتمتص بكميات اقل بكثير من النيتروجين و يمتص النبات باقي العناصر بكميات قليلة جدا و هي الحديد، الزنك، المنجنيز، النحاس، البورون، المولبيدنم و الكلور والتي نصنفها حسب ما يلي :

- **العناصر الأساسية :** مثل الكربون، الهيدروجين و الأكسجين.
- **العناصر الضرورية الكبرى :** مثل النيتروجين، الفسفور و البوتاسيوم.
- **العناصر الضرورية المتوسطة :** مثل الكالسيوم، الكبريت و المغنيزيوم.
- **العناصر الضرورية الصغرى :** مثل الحديد، الزنك، المنجنيز، النحاس، البورون، المولبيدنم و الكلور.
- **العناصر الضرورية الصغرى الخاصة :** مثل صوديوم، الومنيوم، كوبالت، جاليم، سيلكون، فانديوم و سيليم.

و هذه العناصر لا تحتاج إليها إلا بعض النباتات المحددة وليس كل النباتات مثل البنجر يستهلك الصوديوم كعنصر غذائي بينما الصوديوم ضار لباقي النباتات و كذلك يستهلك نبات الأرز عنصر السيلكون الذي يمنع مرض رقاد نبات الأرز [23].

1) العناصر الكبرى

هي عناصر كيميائية يحتاجها الكائن الحي بكميات كبيرة لتغذيته خلال حياته فالعناصر الكبرى ضرورية بالدرجة الأولى لبناء الجسم والخلايا ولعمل الأجهزة الحيوية، و سميت بالكبرى نظرا لضخامة الكميات اللازمة منها مقارنة بالصغرى و نذكر منها [24]:

الهيدروجين، النتروجين، الفسفور، البوتاسيوم والمغنيزيوم، الكبريت، الكربون، الأكسجين و الكالسيوم [25].

- **بالنسبة للأكسجين و الكربون و الهيدروجين :** فهي تشكل الهيكل الرئيسي للمادة الخضراء في النبات وتحصل النباتات الراقية على معظم احتياجاتها من هذه العناصر من الهواء والتربة والماء، فان النبات يحصل على حاجته من الكربون C والاكسجين O من الهواء مباشرة من غاز CO_2 و يكون الكربون 40% من الوزن الجاف للنبات و يعتبر مصدره الوحيد CO_2 و الذي تتراوح نسبته في الجو 03-0,4% و يدخل الكربون في تكوين جميع المواد العضوية في النبات حيث باتحاده مع ذرتين أكسجين (O) و ذرة هيدروجين (H)، يتكون جزيء الكربوهيدرات (في وجود الطاقة الضوئية و مادة الكلوروفيل خلال عملية التمثيل الضوئي و من هذه المواد تتكون باقي المواد الحيوية بالنبات البروتين، الاصباغ، الدهون ... و غيرها) وحديثا يستفاد من ذلك بالنسبة للنباتات النامية بالصوب و الانفاق في المناطق البارة خلال فصل الشتاء [29].
- **بالنسبة للأكسجين :** يحصل النبات عليه من CO_2 الجوي و عن طريق العديسات بالجذور.
- **بالنسبة للهيدروجين :** يحصل النبات على حاجته من ماء الري [21].
- **بالنسبة للنتروجين :** يعتبر عنصر محددا للنمو و لذلك فان إضافته تحسن نمو النبات و زيادة محصوله ففي بعض التجارب الحقلية تم دراسة إضافة النتروجين للأراضي الفقيرة منه ذات نسبة ملوحة متوسطة قد أدى إلى تحسن نمو النباتات فيها كالفاصوليا و الطماطم و الذرة.
- **بالنسبة للفسفور :** الفسفور المضاف الى التربة يزيد من نمو المحصول و يحسن من ملوحة التربة الزائدة بعد اضافته اليها و يعطي للنباتات الطاقة لنمو جيد و مقاومة التربة الملحية بحيث انه لا يتأثر بنوعية التربة المنخفضة الملوحة فالفسفور يعتمد بشكل كبير على نوع النبات و مرحلة نموه.
- **بالنسبة للبوتاسيوم :** يعتبر عنصر البوتاسيوم شبيها بعنصر الفسفور من حيث الانخفاض النسبي لتركيزه في المحلول الارضي، كما ان البوتاسيوم يدمص و يثبت على الاسطح و بين الوحدات البلورية للغرويات المعدنية الارضية بحيث يصبح غير ميسر في بعض الاراضي التي يسود فيها معدن الفيرميكيوليت فهذه الخاصية مهمة لحياة لنمو النبات.

❖ **النسبة للكالسيوم :** يلعب الكالسيوم دورا هاما وحيويا في فسيولوجيا و بناء النبات، و لكن نظرا لزيادته في الاراضي الزراعية يجعله عنصرا غير محددا للنمو في مثل هذه الأراضي، و مع ذلك فان زيادة الملوحة في الاراضي تزيد الحاجة الى اضافة الكالسيوم، حيث تنخفض الكميات فيرسب في صورة غير صالحة للامتصاص، او نتيجة لزيادة القوة الايونية في و التي تقلل من نشاط ايونه Ca^{+2} الكالسيوم.

❖ **بالنسبة للمغنسيوم :** يتنافس الكالسيوم بشدة مع المغنسيوم وتظهر مواضع الارتباط على اغشية بلازما جذور النباتات انخفاضا ملحوظا للارتباط بالمغنسيوم مقارنة بالكالسيوم، ومن ثم فان وجود كميات كبيرة من الكالسيوم يؤدي الى زيادة الممتص منه على حساب المغنسيوم فيقل تركيزه في الجذور والسيقان و الاوراق و تظهر معه اعراض نقصه على النبات [27].

❖ **بالنسبة للكبريت :** الكبريت و المغنسيوم متشابهان اي كلاهما يكمل الاخر فالكبريت يعمل على تكوين السكريات و كذلك يدخل في تركيب الاحماض الامينية للنباتات و نقصه يعرض النبات الى الموت فهو عنصر ضروري لتغذية النبات [28].

الجدول (I . 2) : يوضح النسبة المئوية لمتوسط الكمية الكلية للعناصر الكبرى في التربة.

المكون	أراضي مناطق رطبة	أراضي مناطق جافة
المادة العضوية	6.00	2.25
نتروجين	15.0	0.08
فسفور	0.04	0.07
بوتاسيوم	0.70	2.00
كالسيوم	0.04	1.00
مغنزيوم	0.30	0.60
كبريت	0.04	0.08

2) العناصر الصغرى

و هي مواد اساسية وقد تكون محددة للنمو و تستخدم بكميات قليلة مقارنة بالعناصر الكبرى كما انها تؤدي دورا مهما في انقسام الخلايا و تطور الانسجة المريستسمية و التمثيل الكربوني و التنفس و السرعة [29]، فهي اساسية لنمو المحاصيل الزراعية [24]. و نذكر منها البورون، الحديد، النحاس، الزنك، المنغنيز، المولبيدم، الكلور[25] ...

❖ **بالنسبة للبور :** يؤثر البورون في العديد من العمليات الكيميائية الحيوية للنباتات بحيث ان نقصه يظهر في الاراضي القلوية وغير المتوازنة بينه و بين الكالسيوم ويحسن من التربة الفقيرة في محتواها العضوي و يمدها بخصائص غنية بالفيتامينات لنمو النباتات.

❖ **بالنسبة للزنك :** يعتبر الزنك عنصر ضروري و هام في حياة النبات و هذا لإنتاجه الكلوروفيل و يظهر نقصه في الأراضي القلوية و الغنية بالفسفور.

❖ **بالنسبة للأزوت :** يوجد الازوت عموما بشكله المعدني في محلول التربة بشكل ايونات النترات و الامونيوم و هذه الايونات لا تشكل أكثر من 1-2% من الازوت الكلي الموجود في التربة ان امتصاص النترات من قبل النبات سريع عند pH المنخفض و يسبب امتصاصها ميل الى القاعدية في الوسط البيئي زيادة في امتصاص الكاتيونات من قبل النبات، كذلك الحث لبناء الأنيونات العضوية في النبات، و عموما يعتبر الازوت عنصر متحرك داخل النبات.

❖ **بالنسبة للمنجنيز :** و هو عنصر كيميائي مهم جدا لحياة النبات و التربة له دور في عملية التنفس و اصطناع البروتين و بدونه يتراكم ثاني اكسيد الكربون الذي يميت الخلايا النباتية و يلاحظ قلته كذلك في الاراضي القلوية و الفقير من المادة العضوية.

❖ **بالنسبة للنحاس :** يدخل عنصر النحاس في تركيب بعض الانزيمات المؤكسدة لخلايا النباتات فهو منشط اساسي لها بحيث نقصه للأراضي القلوية و العضوية يؤدي الى اعراض مرضية.

❖ **بالنسبة للحديد :** هو عنصر من العناصر الوفيرة في التربة حيث يوجد بنسب مختلفة تتراوح كميته في التربة بنسبة 2%-10% له اهمية كبيرة في حياة الكائنات الحية تزداد كمية منه في الطبقات السفلي من التربة و كذلك في الترب الطينة [30].

❖ **بالنسبة للكلور :** عنصر غير ثابت يتواجد في الظروف القياسية على شكل غاز دو لون اصفر مخضر، و نادرا ما يظهر حر في الطبيعة خلافا لأيونات الكلوريدات المتوفرة بكثرة و التي توجد في التربة و له تأثير جيد على المحاصيل الزراعية للنمو [31].

❖ **بالنسبة للمولبيدان :** عنصر المولبيدنم من العناصر النادرة الصغرى و نادرا ما يتم نقصه في التربة والتي يظهر على اوراق النبات، تبلغ نسبته بين 0.1 -1ppm هام لتثبيت الآزوت الجوي و في اصطناع حمض الاسكوربيك ويعمل على اختزل النترات الى نشادر فهو ضروري لحياة النبات و عنصر اساسي للتربة [32].

I. 4.4. شروط توفر العنصر الضروري

يعتبر العنصر ضروريا اذا توفرت فيه الشروط التالية :

❖ يؤدي غياب العنصر من بيئة نمو النبات إلى حدوث نمو غير طبيعي و يفشل النبات في إكمال دورة حياته و ينمو مبكرا.

- لا يستطيع عنصر اخر القيام بعمل العنصر الضروري.
- يجب أن يحدث تأثيره بصورة مباشرة على نمو و ميتابوليزم النبات و ليس عن طريق تأثير غير مباشر كإحداث تأثير مضاد لعنصر أخر.
- تظهر اعراضه بشكل واضح عند غيابه.
- ان يثبت ضروريته بالشروط السابقة لجميع النباتات الراقية تحت كل الظروف البيئية [33].

I. 5.4. أهمية العناصر الغذائية في النبات

- **النيتروجين :** يدخل في تركيب البروتين الذي يعتبر المركب الأساسي في بروتوبلازم الخلايا، و يعمل على تشجيع النمو الخضري. كما يرفع المحتوى لبروتيني للأوراق والحبوب.
- **الفسفور :** يدخل في تكوين الأنزيمات و الأحماض الامينية، و يلعب دور أساسي في عملية انقسام الخلايا ويشجع على نمو الجذور. كما يعمل على تقليل الأثر و زيادة الازوت في التربة.
- **البوتاسيوم :** ينظم استفادة النبات من الماء عن طريق فتح وغلق الثغور. ويلعب دور أساسي في انتقال الكربوهيدرات والبروتين من الأوراق إلى أماكن تخزينهم، و له أهمية في انقسام الخلايا.
- **الكالسيوم :** يلعب دور كبير في تكوين الصفيحة السطحية وهي الطبقة الأساسية لتكوين الجذور الخلوية. له دور أساسي في تحديد درجة نفاذيه الجذر الخلوية بالإضافة إلى دوره في إنبات الجذور و تنشيط الأنزيمات، وله دور في تقليل الحد من مرض موت الأوراق.
- **المغنيزيوم :** يدخل في تكوين جزئ الكلوروفيل، و هو ضروري لعملية انقسام الخلايا. يلعب دور عامل مساعد في معظم الإنزيمات النشطة.
- **الكبريت :** يلعب دورا هاما في عملية التنفس. يدخل في تركيب المواد المكونة للرائحة والطعم. و يدخل في تركيب البروتين (فيتامين ب) والمرافق الإنزيمي.
- **الحديد :** عنصر أساسي لتكوين جزئ الكلوروفيل و هام للنظم الأنزيمية و انتقال الالكترونات و عمليات التنفس.
- **الزنك :** عنصر ضروري لتحويل الامونيا إلى أحماض امينية و تكوين جزئ الكلوروفيل. يدخل في تركيب بغض الأنزيمات الضرورية في تمثيل البروتينات.

❖ **المنغنيز :** يُعد المنغنيز عنصرًا ضروريًا للنبات، حيث يعمل كعامل أكسدة، مما يحد من عملية اختزال الحديد داخل النبات، و بالتالي قد يساهم في ظهور أعراض نقص الحديد. كما يؤدي دورًا محفزًا في تنشيط العديد من الإنزيمات، و يُعد ضروريًا في تكوين الكلوروفيل، بالإضافة إلى كونه عنصرًا أساسيا في عملية انطلاق الأكسجين خلال التمثيل الضوئي.

❖ **النحاس :** يدخل في تكوين بعض الأنزيمات التي تلعب دورا هاما في تفاعلات الأكسدة و اختزال النبات، كما يعتبر عنصر ضروري لتكوين الكلوروفيل

❖ **البور :** له دور في تكوين ونضج حبوب اللقاح وعمليات التلقيح، تنشيط بعض الأنزيمات، و له دور في زيادة كفاءة دور الكالسيوم داخل النبات.

❖ **المولبيدان :** مكون و إنزيم لازم لبكتيريا تثبيت النتروجين الجوي، و له دور في التحولات الغذائية للفسفور داخل النبات.

❖ **الكلور :** يخزن الطاقة ويدخل في عملية التمثيل الضوئي، تنظيم الضغط الاسموزي في النبات، بحيث لا يوجد في النبات كناتج حقيقي للتحولات الغذائية، و هو عنصر متحرك [34].

الجدول (I . 3) : يوضح الصورة التي تمتص عليها العناصر و مدى انتقاله و الدور المميز في حياة النبات.

العنصر	الصورة الممتصة (الأيونات)		الحركة في النبات	الدور المميز في حياة البات (مختصر)
	كاتيونات	أنيونات		
الأكسجين O	-	O_2-CO_2	متحرك	بناء المواد الكربوهيدراتية ومركبات الطاقة.
الكربون C		CO_2	متحرك	
الهيدروجين H		H2O	متحرك	
النيتروجين N	NH_4^+	NO_3^-	متحرك	بناء البروتين وتركيب الخلايا.
الفسفور P		$H_2PO_4^-$ HPO_4^{-2} PO_4^{-3}	متحرك	تركيب الأحماض النووية ومركبات الطاقة ومرفقات الإنزيمات.
البوتاسيوم K	K^+	-	متحرك	تنظيم العمليات الحيوية، انقسام وتفاديه الخلايا، تمثيل البروتين والكربون وانتقال الكربوهيدرات.
المغنزيوم Mg	Mg^{+2}	-	-	تكوين جزيء الكلوروفيل ومنشط للعديد من الإنزيمات.

الكبريت S	-	SO_4^{-2}	-	يدخل في تركيب الأحماض الأمينية الكبريتية الأساسية، بناء المواد الطيارة ومرافق إنزيمي هام في عملية التنفس.
الحديد Fe	Fe^{+2}	-	-	تركيب العديد من الإنزيمات المسؤولة عن التنفس، الأكسدة والاختزال.
المنغنيز Mg	Mn^{+2}	-	بطيء الحركة	منشط أنزيمي في التنفس وتمثيل البروتين.
الزنك Zn	Zn^{+2}	-	غير متحرك	ضروري لتكوين الأكسجين وتمثيل البروتين والكلوروفيل.
النحاس Cu	Cu^{+2}	-	غير متحرك	الأكسدة والاختزال وله دور في التمثيل الضوئي وتكوين الكلوروفيل.
البور B	-	BO_3	غير متحرك	انقسام الخلايا وانتقال السكريات وإنبات حبوب اللقاح.
المولبيدان Mo	-	$HMoO_4$	غير متحرك	هام لاختزال النترات داخل النبات إلى آمونيا وله دور هام في ميتابولزم الفسفور.
الكلور Cl	-	Cl^-	متحرك	عملية التمثيل الضوئي وتنظيم العلاقات المائية داخل النبات عن طريق أكسدة الماء.
الكالسيوم Ca	Ca^{+2}	-	غير متحرك	تكوين الجدر الخلوية وعمليات الانقسام الخلوي.

المراجع

[1] N.C Brady, & R.R Weil, (2008). The Nature and Properties of Soils (14th ed.). Pearson Education.

[2] FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2006). Fertilizer use by crop. Retrieved from http://www.fao.org/3/a0257e/a0257e.pdf

[3] J.L Havlin, S.L Tisdale, W.L Nelson, & J.D Beaton, (2014), Soil Fertility and Fertilizers Pearson Education.

[4] X Zhao, Y Zhou, & J Wang, (2016). Effect of organic and inorganic fertilizers on soil properties and crop yield: A review. Scientific Reports, 6, Article number: 25381. https://doi.org/10.1038/srep25381

[5] الدجوى علي، (1991)، تكنولوجيا الزراعة والعلاج النباتي مكتب النسر للطباعة، ص 320.

[6] FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2006). Fertilizer use by crop. Retrieved from http://www.fao.org/3/a0257e/a0257e.pdf

[7] J.L Havlin, S.L Tisdale, W.L Nelson, & J.D Beaton, (2014), Soil Fertility and Fertilizers , Pearson Education.

[8] N.C Brady, & R.R Weil, (2008), The Nature and Properties of Soils, Pearson Education.

[9] X Zhao, Y Zhou, & J Wang, (2016). Effect of organic and inorganic fertilizers on soil properties and crop yield: A review. Scientific Reports, 6, Article number: 25381. https://doi.org/10.1038/srep25381

[10] عبد الستار صالح المشهداني، (2010)، من محاضرات الدورة التدريبية الأولى للموسم الزراعي للمهندسين و المرشدين الزراعيين.

[11] إياد هاني العلاف، 150 سؤال وجواب في برامج تسميد بساتين الفاكهة، دار المعتز للنشر والتوزيع, جامعة الموصل, ص: 10-33، 2018.

[12] دوقال يسرى، (2021)، دراسة موسعة عن الأسمدة العضوية والكيميائية، الايجابيات والسلبيات، مذكرة لنيل شهادة الماستر، قسم البيولوجيا و ايكولوجيا النبات، جامعة الإخوة منتوري قسنطينة 1، الجزائر.

[13] بن عمارة فاطمة، ثامر هدى، (2015)، تأثير الأسمدة العضوية الطبيعية على انتاج محصول البطاطا ومحتوى مضادات الأكسدة والبروتين في الدرنات ماستر في جامعة الشهيد حمة لخضر الوادي، الجزائر.

[14] شاشة راضية، بوعزيز نجلاء، (2022)، مذكرة لنيل شهادة ماستر أكاديمي في الكمياء تخصص كيمياء تحليلية، ص 13، جامعة قاصدي مرباح، ورقلة، الجزائر.

[15] حسين حمود، الاسمدة العضوية اساس الزراعة والغذاء الصحي الامن مجلة الجيش العدد 305، جامعة لبنانية كلية الزراعة.

[16] محمد باحث في علوم الزراعة، السماد العضوي الاهمية الخصائص السماد الكيميائي انوعه ومكوناته، موسوعة الورد، التربة و التسميد، 30 يناير 2022.

[17] وعرة مروة، خزندار شامة ميساء، (2021)، الاسمد الزراعية استخداماتها ومنافعها واضرارها، مذكرة شهادة الماستر، جامعة الاخوة منتوري قسنطينة قسم البيولوجيا، الجزائر.

[18] شاشة راضية، بوعزيز نجلاء، (2022)، مذكرة لنيل شهادة ماستر أكاديمي في الكمياء تخصص كيمياء تحليلية، ص 16، جامعة قاصدي مرباح، ورقلة، الجزائر.
[19] طارق اسماعيل كاخيا، كتيب الأسمدة.
[20] شيته أحمد، دليل تفصيلي شامل الاسمدة الكيميائية و انواعها و شرح الرموز الكيميائية للتركيبات السمادية عالم الزراعة شوهد بتاريخ 13/02/2022.
[21] محمد الأمين، (2015)، مصادر العناصر الغذائية والدور الذي تلعبه داخل النباتات (علم التربة _ دروس) الدورة التدريبية للأسمدة، مزرعة الهدى.
[22] عودة مراد، غسان المومني، عبد الرحمان فارس، رعد النعيمات البيئة والموارد الزراعية، وزارة التربية والتعليم للنشر ادارة المناهج والكتب المدرسية، المملكة الاردنية الهاشمية ص 90-95، (2010).
[23] ياسر عبد الحكيم، كتاب المختصر المفيد في الأسمدة والتسميد.
[24] محمد العيد، دليل شامل عن العناصر الصغرى واهميتها في تغدية النبات واعراض نقصها وطريقة اضافتها، التسميد والاسمدة الزراعية، 9 مارس 2021.
[25] مجلة حصاد 15 مايو 2019.
[26] احمد عبد المنعم، حسن كتاب تكنولوجيا الزراعات المحمية.
[27] علي عبد الجليل الشهير، استاد خصوبة الارضي وتغدية النبات، محاضرات في مقرر تغدية النبات لطلاب المستوى الرابع برنامج الاراضي والمياه، للفصل الدراسي الثاني المحاضرة التاسعة العام الجامعي (2020).
[28] كتاب الدليل الشامل في العناصر الغذائية واشكالها في التربة وتاثيرها عليها، المكتبة الزراعية الشاملة (2020).
[29] مجلة العلوم الزراعية العراقية – 45 (1) : 18-25، (2014).
[30] مظفر احمد الموصلي، الكامل في الاسمدة والتسميد تحليل التربة والنبات والماء، بيروت لبنان (1971).
[31] www .ipni.net/nutrifacts العناصر الغذائية، حقائق رقم (11).
[32] علاء هاشم يونس الطائي، (2020)، العناصر الغذائية الصغرى في التربة.
[33] ماهر جورجي نسيم، (كتاب الزراعة العضوية اساسيات وتقنيات)، (2008).
[34] كتاب أعراض نقص العناصر الغذائية (مكتبة النور).

الفصل الثاني

طرق تحضير الأسمدة العضوية (الكمبوست)

II. 1. مقدمة

أصبح الاتجاه السائد لمدن العالم هو تحويل النفايات و خاصة العضوية منها إلى مواد قابلة للاستعمال، و مصدر من مصادر الطاقة من أجل الحد من خطورتها و محاربة التلوث، و كما هو معروف أن من نتائج هذا التثمين في الوسط الهوائي هو الحصول على الأسمدة التي تعد من الركائز الأساسية في عمليات التنمية الزراعية. حيث انعكس استعمالها بشكل مبهر على الإنتاج الفلاحي و شكلت عنصرا أساسيا في تحقيق النهضة الزراعية على مستوى العالم [01].

II. 2. تثمين النفايات العضوية

المخلفات العضوي هي النفايات الزائدة غير المرغوب بها عضوية التركيب و الناتجة من كافة النشاطات الزراعية أو من عمليات التصنيع الزراعي أو من تربية الحيوانات أو مخلفات الطعام من المنازل و المطاعم الخالية من أي مواد دخيلة كالمعادن أو البلاستيك أو الزجاج أو المركبات الكيميائية. و تشكل نسبة هذه المخلفات بما يزيد عن (68) من مجموع المخلفات العامة [02].

تتميز هذه المخلفات بأنها غنية بقيمتها الغذائية من البروتين و الكربوهيدرات و الدسم و العديد من الأملاح و الأحماض و العناصر المعدنية و الفيتامينات، لذلك تعتبر مصدرا جيدا بصورتها الخام في عمليات تصنيعها إلى أعلاف أو سيلاج تستخدم في تغذية حيوانات و طيور المزرعة أو في إنتاج أسمدة وتربة عضوية عالية الجودة. تستخدم المخلفات الزراعية مع المخلفات الحيوانية و مخلفات الطعام من المنازل و المطاعم و التي تخضع لمعالجة مدروسة و خاصة مختلفة عن باقي المخلفات العضوية الأخرى في إنتاج العديد من المنتجات و هي الأعلاف الخاصة بالأسماك و الأسمدة و التربة العضوية ذات المنشأ النباتي، نظرا لارتفاع نسبة محتواها من المادة العضوية [02].

يمكن تقسيم النفايات أو المخلفات العضوية إلى ثلاثة أنواع رئيسية و ذلك بحسب مصدرها وهي:

- **المخلفات الزراعية:** هي عبارة عن نفايات مختلف النشاطات الزراعية من بذار و حصاد و تقليم و تطعيم، و كذلك نفايات المحاصيل و المنتجات الزراعية، و بقايا العلف و روث الحيوانات [03].
- **المخلفات الحيوانية:** هي المخلفات العضوية الناتجة من نشاطات و مشاريع تربية الحيوانات و الأسماك و الطيور. و تشمل العديد من المخلفات و منها فضالات الحيوانات و الدواجن خلال تربيتها بالمزارع أو المباقر أو المداجن أو محطات الإنتاج و تشمل فضالات الحيوانات من روث الحيوانات [02].
- **مخلفات الطعام من المنازل و المطاعم :** هي فضالات ذات منشأ حيواني أو نباتي تنتج عن تحضير مختلف أنواع الأغذية التي يتناولها الإنسان يوميا و في طعامه، و شراب و تشمل هذه الفضلات مخلفات المطابخ في المنازل و الفنادق و المطاعم، و مخلفات المسالخ و أسواق الخضار و المحلات الخاصة بتخزين الأغذية و بيعها. و فضلات الطعام، كل هذه الأصناف تتكون من مواد عضوية مركبة سريعة التحلل و التفكك و التعفن، وبخاصة بوجود الحرارة المناسبة، و يدخل في تركيبها كذلك نسبة كبيرة من الماء. تختلف كمية هذا النوع من

الفضلات حسب الفصول، فهي تزداد في فصل الصيف، و لاسيما مخلفات الفواكه و الخضار، بينما تقل كميتها في فصل الشتاء و يكون معظمها مواد دسمة و دهنية، إذ يكثر استهلاك اللحوم في الشتاء [04].

تشكل النفايات العضوية ما يقارب 50% من حجم النفايات المنزلية و تعتبر النفايات العضوية النوع الوحيد من النفايات الذي يتحلل بالكامل بسرعة كبيرة نسبيا [05]. و وفقا للقانون 01-19 فإن عملية تثمين النفايات هي جميع عمليات إعادة استخدام النفايات أو إعادة تدويرها أو تحويلها إلى سماد أو مادة أخرى [06].

II. 3. أهمية تثمين المخلفات العضوية [07]

تكمن أهمية تثمين النفايات بصفة عامة في فاعلية طرق التثمين و أيضا الحاجة إلى المواد المنتجة و قد قسمنا أهمية التثمين إلى :

- **الأهمية البيئية**

وراء كل الطرق المتبعة في تثمين النفايات هدف بيئي و هو المحافظة على البيئة و الموارد البيئية من مياه و تربة و هواء نقي و كائنات حية و أيضا ترابط النظام البيئي، فكما ذكرنا سابقا تعد النفايات من مشكلات العصر لذلك كان من الأهمية القصوى التخلص منها للحفاظ على البيئة.

- **الأهمية الاقتصادية**

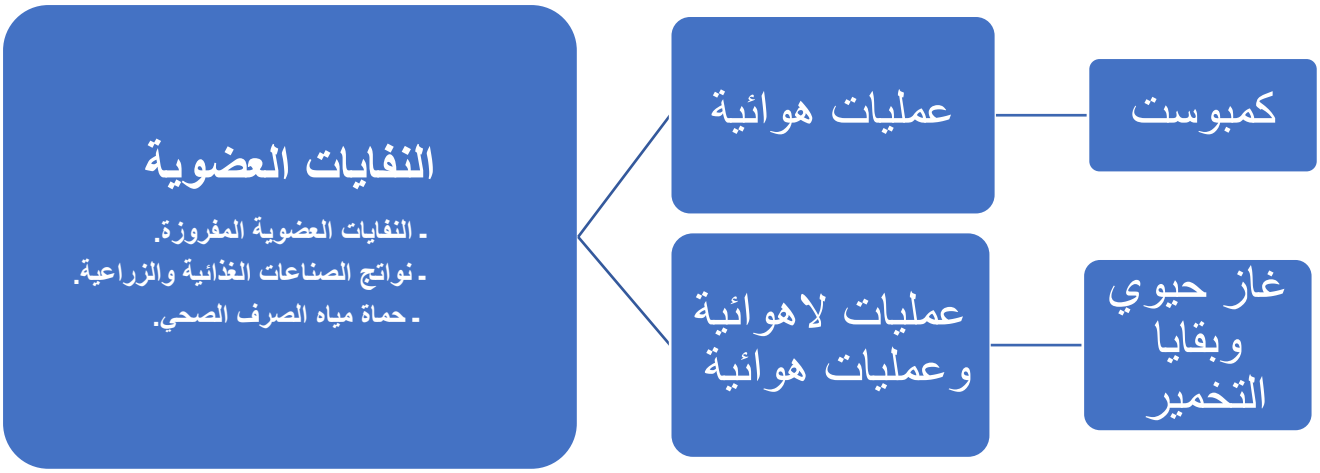
توفر النفايات العضوية مادة ذات قيمة سالبة في حالتها الأولى و لذلك فان تثمينها يجعل لها قيمة مالية معتبرة و ذلك بإتباع طرق محددة لكي تعطيها تلك القيمة. و أيضا بمعالجتها نتجنب خسائر مالية قد تتكبدها بسبب أخطارها و مضاعفاتها من تلوث و ضياع للموارد الطبيعية.

- **الأهمية الاجتماعية**

إن تثمين النفايات ثقافة عصرية من شانها أن تساهم بقدر كبير في تنمية الشعوب و الحفاظ على الثروات للأجيال القادمة، و تنمي الحس بالمسؤولية للفرد تجاه البيئة و ما تقدمه من خيرات.

II. 4. طرق تحضير الأسمدة العضوية (الطبيعية)

إن اعتماد الطريقة المناسبة لمعالجة النفايات العضوية يستند بدرجة كبيرة على نسبة الشوائب فيها، و على خواصها الفيزيائية و الكيميائية، و كذلك إلى الهدف النهائي من عملية المعالجة [08]. و بناءً على ذلك فإنه يمكن معالجة النفايات العضوية بالطرق التالية، كما هو موضح في الشكل المقابل **"الشكل (II . 1)"** :



الشكل (II . 1) : يوضح طرق معالجة النفايات تبعا لمحتواها من المادة العضوية.

II. 1.4. الطريقة الهوائية (التحلل الهوائي) [09]

هي إحدى وسائل المعالجة البيولوجية للمخلفات العضوية سواءً النباتية أو الحيوانية للحصول على سماد عضوي جيد و المحافظة على البيئة، و إثراء التربة بالكائنات الحية التي تقوم بتثبيت النيتروجين الجوي و إذابة الفوسفور و البوتاسيوم مما يساعد على نمو المحاصيل بكفاءة عالية. و هي عملية حيوية تعتمد على نشاط التمثيل الغذائي للعديد من الكائنات الحية الدقيقة حيث تعتمد تلك الكائنات في تغذيتها على ما تحتويه هذه المخلفات من المواد الكربوهيدراتية و النيتروجينية. و أثناء تغذيها على هذه المواد تنطلق كميات كبيرة من الحرارة و ثاني أكسيد الكربون و بخار الماء **"الشكل (II . 2)"**، و نتيجة لتلك الحرارة المنطلقة فان درجة حرارة المكورة تصل بين 60 إلى 75 درجة مئوية.

II. 2.4. الطريقة اللاهوائية (التخمير اللاهوائي) [10]

يعتبر الهضم اللاهوائي للمخلفات العضوية إحدى التقانات الحيوية لإنتاج طاقة قابلة للتجدد و نظيفة من الكتلة العضوية، بالإضافة إلى حفظ قيمة المخصب العضوي (السماد) الناتج عن تلك المخلفات. و هو عملية تحلل حيوي للمواد العضوية بغياب الأكسجين، و التي يتم خلالها تحلل و تحول المواد العضوية من قبل الكائنات الحية الدقيقة التي تعمل على تحطيم المركبات العضوية المعقدة و تحويلها إلى مركبات كيميائية بسيطة، و بشكل نهائي إلى غاز حيوي مؤلف من ميثان و نسب من غازات أخرى و مواد عضوية على شكل حمأة مستقرة، و يعد الميثان مصدرًا للطاقة المتجددة و يعتبر أحد الحلول لمشاكل النقص المستمر للطاقة التقليدية، حيث يمكن أن يحرق مباشرة في موقع الهضم لتأمين المتطلبات الحرارية و الكهربائية، بالإضافة لتوليد الكهرباء داخل المزارع. تحول الكائنات الحية الدقيقة المادة العضوية إلى غاز الميثان و ثاني أوكسيد الكربون كمنتجات رئيسية وفق المعادلة التالية:

$$\text{مواد عضوية} + \text{ماء} + \text{بكتريا لا هوائية} \longrightarrow CO_2 + CH_4 + NH_3 + H_2S$$

II. 5. أهمية الأسمدة العضوية

تعتبر المادة العضوية هي المسؤولة عن تكوين البناء الأراضي المرغوب فيه للطبقة السطحية من التربة كما تشجع تكوين المسام الأرضية ذات الأقطار الواسعة و أيضا تعمل على تحسين العلاقات المائية الهوائية للتربة و تقلل من انجراف التربة سواء بالرياح أو المياه [11].

II. 6. الفرق بين الأسمدة العضوية و الكيمائية [12]

تعتبر الأسمدة العضوية أفضل من الكيميائية لعدة أسباب منها **"الجدول (II . 1)"** :

الجدول (II . 1) : الفرق بين الأسمدة العضوية و الكيميائية.

الأسمدة الكيميائية (صناعية)	الأسمدة العضوية (الطبيعية)
عبارة عن مواد معدنية مصنّعة	مزيج من بقايا نباتية وحيوانية بدرجات مختلفة من التحلل
خالية من الكربون	تحتوي على نسبة تتراوح بين 45 %و50 %من الكربون باعتبارها مواد عضوية
توفر العناصر المغذية المحددة (عنصر أو أكثر) حسب نوع السماد بسيط أو مركب	توفّر مختلف العناصر المغذية الكبرى والصغرى
أكثر عرضة للفقد بالغسل أو عمليات الفقد المختلفة	أقل عرضة للفقد بالغسل أو عمليات الفقد المختلفة
يقلل من عدد الكائنات المجهرية التي تتعايش مع النبات ويؤثر على تحليل المواد العضوية وتفكيكها، ومنه يدمن النبات على الأسمدة الصناعية	يشجع عمل الكائنات المجهرية المفيدة لتفكيك المواد العضوية والحفاظ على توازن التربة
سريع التأثير والامتصاص، والكمية الزائدة تتراكم في النبات والتربة وتترسب إلى المياه الجوفية	يمتص ببطيء فيزود النبات بالغذاء حسب الحاجة دون إحداث تراكم في نبات أو تربة أو تسرب للمياه الجوفية
عموماً لا تؤثر في خصائص التربة، عدا إضافتها للعناصر الغذائية المحددة وبعض التأثيرات مثل درجة تفاعل التربة والملوحة	تحسن خواص التربة، فتجعل من التربة الرملية أكثر قدرة على الاحتفاظ بالرطوبة، أما الطينية فأقل احتفاظاً بالماء

II. 7. الكمبوست

يمكن استغلال النفايات العضوية مثل بقايا الطعام و النبات في إنتاج الأسمدة و مخصبات التربة، و التي تعرف بتسمية "كومبوست"، حيث يتم تحلل هذه النفايات بواسطة الكائنات الحية الدقيقة و تحولها إلى مركبات عضوية صغيرة تستخدم كبديل للسماد الكيماوي المستخدم في الزراعة، و تساهم هذه العملية بشكل كبير في التقليل من النفايات المنزلية، و توفر مواد طبيعية بديلة للأسمدة الكيماوية [07].

الشكل (II . 2) : عملية تخمر كومة من المواد العضوية في الطبيعة.

II. 1.7. تعريف سماد الكمبوست

الكمبوست أو كما يسمى بالذبال هو المادة الناتجة عن عملية تحلل المادة العضوية بتأثير الكائنات الحية الدقيقة مما يؤدي إلى رفع درجة الحرارة داخل الكومة إلى 70 درجة مئوية و هذه الدرجة كفيلة بالقضاء على الكائنات الحية الممرضة الضارة بالنبات و التربة و الكمبوست منتج غني بالعناصر المعدنية الكبرى و الصغرى و استخدامه في الزراعة يعمل على زيادة إنتاجية وحدة إنتاج المساحة و تحسين خواص التربة، و الكمبوست كغيره من المنتجات العضوية له العديد من الفوائد منها ما يتعلق بالتربة الزراعية و منها ما يتعلق بالنبات هذا بالإضافة إلى فوائد أخرى بيئية [13].

II. 2.7. العوامل المؤثرة في عملية الكمبوست [13]

هناك عوامل عديدة في عملية الكمبوست و التي تؤثر على سرعة تحلل المادة العضوية و جودة الكمبوست الناتج.

1) نوع المادة العضوية

سواء كانت سريعة أو بطيئة التحلل على عملية الكمبوست **"الجدول (II . 2)"**، فنجد أن مواد بطيئة التحلل تحتاج إلى وقت أطول لإكمال التحلل كما تحتاج هذه المـواد إلى ضبط نسبة الكربون إلى النتروجين حيث أنها في الغالب تكون غنية بالكربون و فقيرة من النتروجين و قد يصل معدل الكربـون إلى النتروجيـــن C/N ratoi-500 و بالتالي تحتاج هذه النسبة إلى خفضها بواسطة إضافة بعض الأسمدة المعدنية أو المواد التي تحتوي على نسبة أزوت عالية.

الشكل (II . 3) : عملية تخمر مجموعة من المواد العضوية في الطبيعة و الناتج كمبوست.

الجدول (II . 2) : تدرج المواد العضوية من حيث سرعة تفككها و مدى ملائمتها للأسمدة.

المادة العضوية	قابلية التفكك البيولوجي
السكريات	سريعة
البروتينات	
الدسم	متوسطة
السيللوز	
الخشبين	صعبة
الرنتجات	

2) الهواء

يعد من العوامل الهامة إذ أن التحلل الهوائي للكومة يستهلك كميات كبيرة من الأكسجين لذلك يجب وصول الأكسجين إلى كل أجزاء كومة الكمبوست في كل الأوقات و تخفف التهوية و بخار الماء و الغازات الأخرى داخل كومة الكمبوست حيث يتحدد عدد التهوية بمقدار الارتفاع في درجة حرارة الكومة إذ انه غالبا ما ترتفع درجة الحرارة بعد التقليب (التهوية).

3) الرطوبة

داخل الكومة من المتطلبات الهامة للكائنات الحية الدقيقة داخلها كي تنشط تلك الكائنات إذ أن الماء يوفر الوسط المناسب للتفاعلات الكيماوية التي تحدث داخل الكومة، كما الماء وسط لانتقال المواد الغذائية و في ذات الوقت يسمح الماء للكائنات الحية الدقيقة أن تتحرك حول المغذيات. و تتراوح نسبة الرطوبة المثلى لعملية الكمبوست من 50-55%.

4) درجة الحرارة

من العوامل الهامة لعملية الكمبوست إذ تعيش الكائنات الحية الدقيقة المختلفة في درجات حرارة مختلفة كما ينتج عن التحلل التي تحدث بفعل الميكروبات كميات كبيرة من الطاقة على شكل حرارة و يعمل النشاط الميكروبي على تراكم درجة الحرارة حتى تصل إلى درجة حرارة عالية (بين 60-70 درجة مئوية).

5) حجم الحبيبات

يؤثر حجم الحبيبات في جودة الكمبوست الناتج الأمر الذي ربما يحتاج إلى عملية غربلة باستخدام ماكينات الغربلة، كما يؤثر حجم الحبيبات على سرعة عملية التحلل حيث انه كلما صغر حجم الحبيبات كلما زاد السطح المعرض لعملية التحلل و لكن بعد حجم معين تقل سرعة التحلل نتيجة لقلة التهوية داخل الكومة فمع صغر حجم الجزيئات يصعب التهوية داخل الكومة.

6) حجم الكومة [14]

يعتمد الارتفاع المثالي و عرض كومة الكمبوست على مسامية و محتوى الرطوبة للمواد الخام الداخلة في الكومة.

7) درجة الحموضة [14]

يجب أن تتراوح قيمته في الكمبوست ما بين 6 و 8 و يفضل أن يكون اقرب إلى 7.

8) نسبة الكربون إلى النتروجينC/N

تعتبر نسبة الكربون إلى نتروجين (C/N) للمخلفات الداخلة في عملية التخمير الهوائي معيار لقياس مدى وفرة المواد الغطائية للبكتيريا و مدى جودة السماد العضوي الناجم عن عملية الأسمدة **"الجدول (I . 3)"**، و يجب أن تتراوح القيم المثالية لهذه النسبة بين (1/130/25) و هي موضحة في الجدول التالي :

الجدول (II ـ 3) : قيم نسبة (C/N) لبعض المواد الداخلة في عملية الأسمدة.

المادة	نسبة (C/N)
نجارة الخشب	500 – 100
الورق والكرتون	500 – 200
القش	100 – 400
بقايا الأشجار	150 – 100
النفايات المنزلية	21 – 20
روث الحيوانات	30 – 2
بقايا الأعشاب	25 - 12

II. 3.7. المراحل التي تمر بها عملية الكمبوست [13]

تمر عملية الكمبوست بمرحلتين أساسيتين ينتج في أخرها الكمبوست الناضج و تلك المراحل هي :

II. 1.3.7 مرحلة التحلل

حيث أن الكائنات الحية الدقيقة تكون نشطة جدا و تستطيع تحليل المواد العضوية سريعة التحلل و يأتي دور المواد بطيئة التحلل و في الغالب يكون الدور الأبرز للفطريات حيث أنها القادرة على مهاجمة السليلوز و تحويله إلى وحدات ذات وزن جزئي صغير و معظم العملية تحدث في منتصف الكومة و التحلل يستمر لمدة تختلف باختلاف نوع المادة المراد تحويلها إلى كمبوست فالمواد سريعة التحلل تأخذ وقت اقل بينما المواد بطيئة التحلل تأخذ وقت اكبر بكثير لوجود مواد ذات وزن جزئي كبير مثل السليلوز و الذي نجده يتكون من وحدات من الجلوكوبيرانوز تصل إلى 10000 وحدة في المتوسط.

II. 2.3.7 مرحلة النضج

و في هذه المرحلة يتم تحلل للمادة العضوية و يحدث انخفاض لدرجة الحرارة داخل الكومة و هذا لم تنتهي فعلا مرحلة النضوج حيث أنها تستمر إلى مالا نهاية إلى أن يصبح الكمبوست رطب أكثر فأكثر ،و يكون جاهز للإستعمال و يكون شكله مفتت و له لون بني معتم أو لون أسود و يتم الحكم على نضج الكمبوست عن طريق عدة اختبارات من أشهرها اختبار الإنبات فان كانت نسبة أعلى من 80% كنسبة مئوية من الكنترول كان هذا الكمبوست ناضج و يمكن استخدامه دون أن يسبب خطورة على النبات المزرع في بيئة الكمبوست حيث انه لا يسبب تحول للنتروجين المعدني المتاح في التربة إلى نتروجين عضوي غير متاح للنبات و يمكن تقصير مدة عمل الكمبوست إلى الحد الأدنى بتوفير الظروف المثلى لعملية الكمبوست من محتوى رطوبي و درجة حرارة وحجم الجزيئات ونسبة الكربون إلى النتروجين.

II. 4.7. دلائل نضج الكمبوست [15]

هناك عدة دلائل أو مظاهر يستدل منها على نضج الكمبوست **"الجدول (II . 4)"** منها :

- انخفاض درجة حرارة المكمورة في حالة توافر درجة الرطوبة المثلى إلى حوالي 50-40 درجة مئوية و هو أقل من المدى الحراري البيولوجي فتمام نضج الكمبوست يقترن بتوقف التفاعلات المولدة للحرارة و انخفاض درجة حرارة المكمورة لتتساوى مع درجة حرارة الوسط المحيط.
- اختفاء رائحة الامونيا و رجع ذلك إلى تحولها إلى نترات و ظهور رائحة أخرى مقبولة أقرب إلى رائحة التربة الجافة عندما ترش بالماء.
- اكتساب الكمبوست اللون البني الداكن المميز له.

الجدول (II ـ 4) : يبين مواصفات السماد المخمر الناضج (الكمبوست الجيد).

الصفة	الوصف والحدود المثلى
اللون	اللون البني الداكن أو الغامق
الرائحة	مقبول كرائحة التراب المرشوش بالماء
درجة التخمر	الرابعة و الخامسة
الكثافة	لاتزيد عن 700 Kg/m^3
درجة الحرارة	أعلى من درجة حرارة الجو الخارجي بـــ 10 – 5 درجة مؤية
نسبة الرطوبة	أقل من 30%
الأكسجين	أكثر من 8
ثنائي أكسيد الكربون	بين 2 – 1%
النيتروجين الكلي	أكبر من 1%
الفسفور الكلي	أكبر من 0.8%

II. 5.7. مميزات و فوائد الكمبوست [14]

للكمبوست العديد من الفوائد نذكر من بينها

II. 1.5.7 فوائد الكمبوست للتربة

- ✓ يعمل على تحسين خواص التربة الرملية حيث تعمل المادة العضوية المتحللة به على تحسين بناء الأراضي الرملية و تجميع الحبيبات و زيادة قدرتها على الاحتفاظ بالماء.
- ✓ يعمل على تحسين خواص التربة الطينية و الجيرية أيضا حيث يعمل على تحسين التهوية و عملية تبادل الغازات.
- ✓ تحسين المواد الدوبالية من السعة التبادلية للتربة فترفع من كفاءة امتصاص الماء بواسطة جذور النباتات.
- ✓ يعمل على زيادة خصوبة الأراضي الكلسية.
- ✓ يزيد من نسبة المادة العضوية في التربة.
- ✓ ينشط الكائنات الحية الدقيقة بالتربة و التي تفرز منشطات طبيعية و تساعد على تسير العناصر الغذائية.

II. 2.5.7. فوائد الكمبوست للنبات

- ✓ مخزن رئيسي و مستمر للعناصر الغذائية الكبرى و الصغرى للنبات حيث يعمل كمادة مخلبية للعناصر الغذائية فيطلقها بالتدريج للنبات مما يؤدي إلى زيادة إنتاجية المحاصيل الزراعية.
- ✓ يصلح لتسميد جميع أنواع الزراعات سواء كانت خضروات، فاكهة أو أي محاصيل أخرى.
- ✓ يزيد من الماء الميسر للنبات حيث يحفظه من الفقد عن طريق البخر أو التسرب.

II. 3.5.7. فوائد الكمبوست المادية و البيئية

- ✓ تقليل استخدام المخصبات و الأسمدة المعدنية (الكيميائية) فيقلل من تكلفة الإنتاج.
- ✓ يعمل الكمبوست على مقاومة بعض الأمراض فيقلل من استخدام المبيدات.
- ✓ تحسين نمو النباتات يعمل على زيادة الإنتاجية و بالتالي زيادة العائد المادي.
- ✓ يعد الكمبوست واحد من أهم طرق الاستفادة من المتبقيات العضوية من خلال تدويرها و إعادة استخدامها.
- ✓ تحويل المخلفات الزراعية إلى كمبوست يقلل من انتشار الآفات و الحشرات و القوارض التي تكمن في المخلفات فيحافظ على البيئة.
- ✓ التخلص من المتبقيات الزراعية بتقليل حجمها و إنتاج مادة مفيدة للتربة الزراعية.

المراجع

[01] بونوة مارية، وعواج يسرى، دراسة استقصائية حول معالجة النفايات العضوية في الوسط الهوائي واللاهوائي، مذكرة تخرج لنيل شهادة الماستر أكاديمي في الكيمياء، (2022)، جامعة قاصدي مرباح، ورقلة.

[02] محمد جرعتلي، (2016)، المخلفات العضوية من عبء صحي وبيئي إلى مورد اقتصادي.

[03] بسام العجي، (2015)، إدارة النفايات الصلبة، مقرر حماية البيئة السنة الخامسة جامعة دمشق، سوريا.

[04] عبري عيسى، (2014)، النفايات الصلبة كيف نتعامل معها ونفيد منها؟

[05] بونوة مارية، وعواج يسرى، (2022)، دراسة استقصائية حول معالجة النفايات العضوية في الوسط الهوائي واللاهوائي، ص 13، مذكرة تخرج لنيل شهادة الماستر أكاديمي في الكيمياء، تخصص كيمياء المحيط، جامعة قاصدي مرباح، ورقلة.

[06] A.BELAÏB, (2012), etude de la gestion et de la valorisation par compostage des dechets organiques generes par le restaurant universitaire aicha oum elmouminine willaya de constantine, Université de Mentouri Constantine, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie Département de Biologie et d'Ecologie, Mémoire de Magister en Ecologie Option: Gestion des déchets Evaluation et Solutions Environnementales. P 8

[07] بلقاسم مسلم، صبرين قرميط، (2018)، تثمين النفايات العضوية في الوسط اللاهوائي مذكرة ماستر جامعة الوادي، الجزائر.

[08] بونوة مارية، عواج يسرى، (2022)، دراسة استقصائية حول معالجة النفايات العضوية في الوسط الهوائي واللاهوائي، ص 15، مذكرة تخرج لنيل شهادة الماستر أكاديمي في الكيمياء، تخصص كيمياء المحيط، جامعة قاصدي مرباح، ورقلة.

[09] بونوة مارية، عواج يسرى، (2022)، دراسة استقصائية حول معالجة النفايات العضوية في الوسط الهوائي واللاهوائي، ص 16، مذكرة تخرج لنيل شهادة الماستر أكاديمي في الكيمياء، تخصص كيمياء المحيط، جامعة قاصدي مرباح، ورقلة.

[10] بونوة مارية، عواج يسرى، (2022)، دراسة استقصائية حول معالجة النفايات العضوية في الوسط الهوائي واللاهوائي، ص 17، مذكرة تخرج لنيل شهادة الماستر أكاديمي في الكيمياء، تخصص كيمياء المحيط، جامعة قاصدي مرباح، ورقلة.

[11] بونوة مارية، عواج يسرى، (2022)، دراسة استقصائية حول معالجة النفايات العضوية في الوسط الهوائي واللاهوائي، ص 24، مذكرة تخرج لنيل شهادة الماستر أكاديمي في الكيمياء، تخصص كيمياء المحيط، جامعة قاصدي مرباح، ورقلة.

[12] غانية دنيا، (2020)، تثمين المخلفات العضوية لتحضير الكمبوست ودراسة خواصه الفيزيوكيميائية والميكروبيولوجية، جامعة ورقلة.

[13] رمضان عبد السيد ناصر، 1433 هـ، المخلفات النباتية الزراعية جامعة الملك سعود المخلفات النباتية الزراعية واستخداماتها في صناعات الخشبية في المملكة العربية السعودية.

[14] طارق إسماعيل كاخيا، (2010)، كتيب الأسمدة.

[15] د مصطفى عبد الرحمان العجمي، (2013)، صناعة الكمبوست وفوائده ص 11.

الفصل الثالث

طرق النمذجة العملية

III. 1. مقدمة

يتحكم في عملية تحضير الأسمدة العضوية ذات جودة العديد من العوامل، نذكر من بينها نسب المواد العضوية المستخدمة، كمية الرطوبة، مدة الحضانة أو مدة التخمر، نسبة التهوية ...، و للحصول على سماد غني بالعناصر المغذية ذو جودة عالية وبأقل تكلفة، لذا وجب دراسة تأثير جميع هذه العوامل على عملية تحضير السماد. هناك العديد من الطرق المعتمدة في هذا النوع من الدراسة، نذكر من بينها: طريقة دراسة عامل كل مرة (OFAT)، (ANN)، عملية تصميم التجارب (DOE) ...، بعض هذه الطرق تتطلب وقت كبير و عدد هائل من التجارب، بالإضافة إلى عدم الدقة في تحديد الشروط المثالية، في حين نجد أن عملية تصميم التجارب توفر إمكانية إجراء عملية النمذجة بعدد أقل من التجارب و في وقت قصير، هذه الطريقة يمكن أجراؤها باستخدام العديد من النماذج الإحصائية مثل : نموذج (BBD) Box-Behnken Design، Central Composite Design (CCD)، نموذج ANOVA، نموذج Taguchi، نموذج Plackett–Burman ...، في عملنا هذا قمنا باختيار نموذج بوكس-بهنكن (Box-Behnken Design)، بـ 08 عوامل : نسبة المواد الأولية (كمية كرناف النخل، كمية تلوة القهوة، كمية قشور البيض، كمية فضلات الدجاج، كمية فضلات الغنم)، حجم ماء حوض السمك، بالإضافة إلى عامل التهوية وعامل الزمن.

III. 2. مفهوم تصميم التجارب

تصميم التجارب هو أداة من أدوات البحث الحديث الذي يهتم بتطبيق الأساليب الإحصائية في التجربة العلمية، يلعب دورا رئيسيا في مختلف ميادين العلوم التطبيقية ويوفر خطة تجريبية منهجية وفعالة لتحقيق الأهداف، مما يسمح تصميم التجارب بدراسة عدة عوامل في آن واحد وتحديد تأثيراتها على أداء المنتج، وتحديد المستويات الأمثل لهذه العوامل من أجل تحسين وثوقية المنتج [1]. تستطيع هذه الخطط تنظيم الاختبارات المرافقة للبحث العلمي و يمكن الحصول على أقصى قدر من المعلومات باستخدام أقل عدد ممكن من التجارب [2]، يعتمد فهم طريقة التصميم التجريبي على فكرتين أساسيتين: فكرة الفضاء التجريبي وفكرة النمذجة الرياضية للكميات المدروسة، هذه الأداة مهمة للمهندسين والعلماء للتعرف على تصميمات مختلفة وطريقة تنفيذها وتحليل بياناتها وذلك للحصول على قرارات علمية بدرجة كافية من الدقة وبأقل تكلفة. يؤدي استخدامها في وقت مبكر من دورة المنتج إلى منتجات أكثر كفاءة وموثوقية [3].

III. 3. طريقة عامل واحد في كل مرة

III. 1.3. نبذة تاريخية

اعتبرت طريقة OFAT التي تختبر عامل واحد في كل مرة، واحدة من الأساليب العلمية الشائعة جدًا والتي كانت سائدة حتى بداية القرن التاسع عشر، وفي هذه الطريقة يتم اختبار عامل واحد في كل تجربة مع تقييد المتغيرات الأخرى باستثناء العامل المدروس، ومع ذلك أثبتت الأبحاث أن اختبار عدة متغيرات في وقت واحد يكون أفضل خاصة في الحالات التي تتطلب تحليل البيانات [4].

في عام 1919 أجرى رونالد فيشر بحثا في مجال الزراعة بهدف زيادة إنتاجية المحاصيل في المملكة المتحدة، كان الحصول على البيانات أمرا

صعبا إذا اعتمد على الطريقة التقليدية فعملية زراعة المحصول في الربيع والحصول على النتائج في الخريف تتطلب وقتا طويلا، باستخدام تصميم التجارب تمكن من إعادة صياغة العملية بشكل يسمح بتحليل العديد من العوامل في وقت واحد وبتكلفة أقل، مما أدى إلى تسريع عملية البحث وتحسين جودة البيانات المتاحة، كان فيشر أول من بدأ باستخدام DOE مما أضاف تحولًا كبيرًا في كيفية إجراء التجارب وجمع البيانات في مجال الزراعة وغيرها من المجالات [5].

في عام 1935 كتب فيشر كتاب عن تصميم التجارب شرح فيه كيف يمكن استخلاص نتيجة صحيحة من التجربة في ظل وجود عوامل مزعجة [5]. وفي عام 1975 اهتم جينيتشي تاجوتشي بأساليب تحسين الجودة وإتقان تصميم المنتج قام بنشر جداول قابلة للاستخدام عمليا وطور إجراءات جديدة من أجل ضمان استقرار جيد ووثوقية مناسبة للمنتج ، اقترح أن يتم أخذ العوامل الضجيجية بعين الاعتبار في أي تجربة لتحسين الوثوقية [4].

في عام1994استخدم M.S.Hamada تصميم التجارب في تحسين موثوقية المصابيح الفلورية والمنظمات الحرارية، وفي عام2008 استعرض كل من A.G.wilson،M.S.Hamada و F.Martz عدة خوارزميات في مجال الوثوقية لتقدير المعاملات لنماذج إرجاع خطية وغير خطية من أجل توزيعات مختلفة وبوجود تأثيرات عشوائية [6].

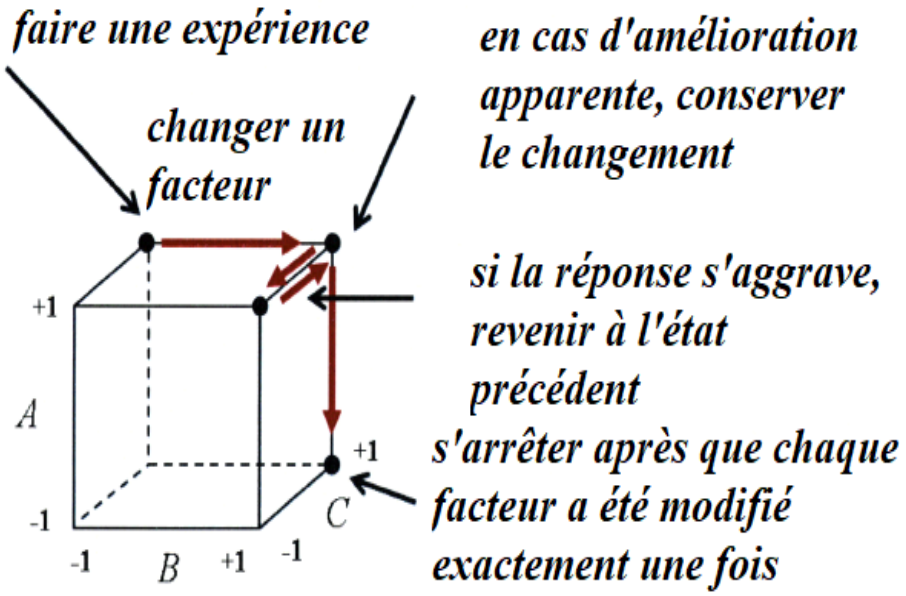
III. 2.3. شرح طريقة عامل واحد في كل مرة

تُعد طريقة "عامل واحد في كل مرة (One Factor At a Time - OFAT) من أقدم الأساليب المستخدمة في أبحاث المرونة، حيث تم اقتراحها لأول مرة من قِبل فريدمان وسافاج سنة 1947. تعتمد هذه الطريقة على تنفيذ تجارب متسلسلة يتم خلالها تغيير عامل واحد فقط في كل مرة، مع إبقاء العوامل الأخرى ثابتة. ويُحتفظ بالقيم التي تُظهر تحسنًا في الاستجابة، في حين يتم استبعاد القيم التي تؤدي إلى نتائج سلبية. تُكرر هذه العملية إلى حين استنفاد جميع العوامل المدروسة [8،7]

كما هو موضح في **"الشكل (III ـ 1)"**، فإن تطبيق هذه الطريقة على نظام يحتوي على ثلاثة عوامل، يُفحص كل منها على مستويين. وتُجرى العملية التجريبية وفقًا للخطوات التالية [9،8]:

- **الخطوة 1 :** اختيار مجموعة محددة من المتغيرات المستقلة.
- **الخطوة 2 :** تنظيم المتغيرات المستقلة.
- **الخطوة 3 :** إجراء التجارب بدءًا من نقطة انطلاق أولية، مع تغيير قيمة المتغير الأول فقط، والإبقاء على بقية المتغيرات ثابتة. يُحدد المتغير الذي يؤدي إلى أعلى استجابة.
- **الخطوة 4 :** تكرار نفس الإجراء مع المتغير الثاني، مع تثبيت قيمة المتغير الأول عند المستوى الذي أعطى أفضل استجابة في الخطوة السابقة، والإبقاء على باقي المتغيرات في مستوياتها الأصلية.

- **الخطوة 5 :** بعد المرور بجميع المتغيرات (أي استكمال دورة واحدة من التجارب)، يُعاد تنفيذ الدورة باستخدام القيم المُحسّنة التي تم التوصل إليها كنقطة انطلاق جديدة.



الشكل (III ـ 1) : رسم بياني توضيحي لاختبار التكيف بعامل واحد في كل مرة لنظام ثلاثي العوامل بمستويين لكل عامل [8].

لقد تعرّضت طريقة "عامل واحد في كل مرة (One Factor At a Time - OFAT)" لانتقادات واسعة في الأدبيات الإحصائية، وكذلك في البحوث المرتبطة بالتصاميم التجريبية المرنة، نظرًا لمحدوديتها وكونها أقل كفاءة مقارنة بالأساليب الحديثة. وتشير العديد من الدراسات إلى أن سلبيات هذه الطريقة تفوق مزاياها المحتملة [10]. ومع ذلك، لا يزال من المفيد عرض أهم مزاياها وعيوبها كما يلي:

III. 3.3. المزايا

- سهولة التطبيق والتحليل : لا تتطلب طريقة OFAT خبرة متقدمة في التحليل الإحصائي، مما يجعلها مناسبة للباحثين غير المتخصصين في الإحصاء. لا تزال بعض المؤسسات الصناعية تستخدمها لتحديد المتغيرات المؤثرة في العمليات [11].
- التركيز التجريبي في مناطق فعالة : في الأنظمة التي يُحتمل أن تحتوي على تفاعلات بين المتغيرات، يمكن أن تُسهم OFAT في تركيز الجهود التجريبية ضمن النطاقات التي يُتوقع أن تكون واعدة من حيث الاستجابة [12].

III. 4.3. العيوب

- الاعتماد على نقطة البداية : تعتمد هذه الطريقة اعتمادًا كبيرًا على ظروف البداية، مما قد يحد من قدرتها على استكشاف المجال التجريبي بشكل شامل، ويُعيق الوصول إلى الظروف المثلى [13،14].

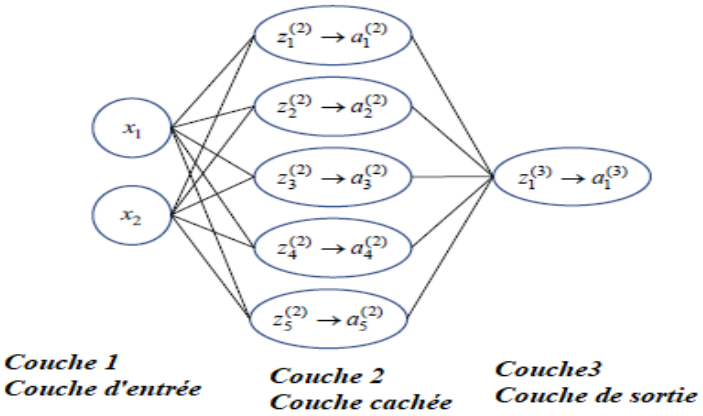
- إمكانية التحيز الذاتي : تكون OFAT عرضة لتحيّز الباحث، إذ قد تؤثر التوقعات المسبقة على اختيار العوامل أو مستوياتها، مما يقيّد الموضوعية في تصميم التجربة [14،13].
- إغفال التفاعلات بين العوامل : لا تسمح الطريقة بدراسة التداخلات أو العلاقات التفاعلية بين المتغيرات، مما قد يؤدي إلى فقدان معلومات جوهرية حول طبيعة النظام المدروس [14،13].
- ضعف الكفاءة التحليلية : مقارنة بالتصاميم الإحصائية متعددة العوامل مثلDOE ، تفتقر OFAT إلى القدرة على تقديم تحليل شامل للبيانات، وقد تُنتج معلومات محدودة حول سلوك النظام [14،13].
- ارتفاع الكلفة والجهد : بسبب طبيعتها التسلسلية، فإن تطبيق OFAT يتطلب عددًا أكبر من التجارب، ما يؤدي إلى زيادة التكاليف واستهلاك وقت أطول، مع تقليل الكفاءة العامة للتجربة [14،13].

III. 4. طرق تحسين الشبكات العصبية

تُعد الشبكات العصبية الاصطناعية (Artificial Neural Networks - ANNs) من النماذج المعيارية في مجال التعلم الآلي، وتُستخدم على نطاق واسع في مهام تصنيف الأنماط واكتشاف العلاقات المعقدة بين البيانات. وتتميز هذه الشبكات بقدرتها على تحويل مجموعة متنوعة من المشكلات الواقعية في مجالات متعددة مثل الفيزياء، الكيمياء، الاقتصاد، والطب، إلى مشكلات تصنيف يمكن حلها عبر تقنيات التعلم الذاتي [15]. تعتمد نماذج الشبكات العصبية (Neural Networks - NNs) على خوارزميات تحاكي الأنشطة الإدراكية، مثل التعلم والتحسين، مستلهمة من آلية عمل الدماغ البشري. يُبنى النموذج من عدد كبير من الوحدات المعالجة تُعرف باسم الخلايا العصبية، وتكون كل خلية مرتبطة بعدد من الخلايا الأخرى عبر روابط ذات أوزان مخصصة .يتم تمثيل كل خلية عصبية من خلال ما يُعرف بـ "متغيرات الحالة"، وهي ناتج مجموع مرجّح من مدخلات الشبكة (input variables) ومتغيرات الحالة المرتبطة بخلايا أخرى. تعمل هذه الخلايا بشكل متوازي وموزّع، حيث يقوم كل عصبون بإجراء عملية تحويل بسيطة بشكل متزامن مع الآخرين. وكما هو موضّح في **"الشكل (III ـ 2)"** ، تتكون الشبكة العصبية من ثلاث طبقات رئيسية:

- طبقة الإدخال : وهي الطبقة الأولى التي تستقبل البيانات.
- الطبقة المخفية : تقع في الوسط، وتُستخدم لمعالجة المعلومات.

طبقة الإخراج : تمثل الطبقة النهائية، وتُظهر مخرجات النموذج [18،17،16].



شكل (III ـ 2) : مثال على شبكة عصبية ذات طبقة مخفية واحدة.

يتطلب بناء نماذج فعّالة من الشبكات العصبية الاصطناعية فَهمًا عميقًا لكل من المبادئ النظرية لهذه النماذج، وكذلك المجال العلمي الذي ستُطبَّق فيه. إذ إن مكونات الشبكة، مثل البنية المعمارية وعدد الطبقات، بالإضافة إلى قيم المعلمات المُستخدمة أثناء التدريب، ترتبط ببعضها البعض بشكل وثيق. وبالتالي، فإن فهم تفاعلات هذه العناصر يُعد أمرًا أساسيًا لتحقيق أداء فعّال ومثمر للشبكة العصبية الاصطناعية [19].

وفيما يلي، سيتم عرض أبرز مزايا الشبكات العصبية، يليها استعراض لأهم القيود أو التحديات المرتبطة باستخدامها.

III. 1.4. الفوائد

- ✓ نمذجة العمليات المعقدة : تُعد الشبكات العصبية الاصطناعية من الأدوات الفعّالة في نمذجة العمليات الكيميائية المعقدة، خاصةً في الحالات التي تتسم فيها العلاقات بين المتغيرات بعدم الخطية أو تكون فيها النماذج التحليلية التقليدية غير دقيقة أو عالية الكلفة من الناحية الحسابية.
- ✓ القدرة على المعالجة السريعة : تعتمد نماذج الشبكات العصبية على حسابات جبرية غير تكرارية (non-iterative computations)، مما يُمكّن من تنفيذ عمليات المحاكاة بسرعة كبيرة. تُعد هذه الخاصية مفيدة بشكل خاص في التطبيقات التفاعلية أو في البيئات التي تتطلب عدداً كبيراً من عمليات المحاكاة في وقت محدود، كالتطبيقات الشبكية والأنظمة الصناعية المباشرة.
- ✓ الفعالية في تحسين العمليات : يمكن دمج الشبكات العصبية مع تقنيات التحسين التقليدية، مثل البرمجة غير الخطية، لتسريع عمليات التحسين وتحديد أفضل الشروط التشغيلية للنظام قيد الدراسة [20].

III. 2.4 العيوب

- ✓ تعقيد ضبط الأعدادات : يتطلب تحديد الإعدادات المثلى للشبكة العصبية (مثل عدد الطبقات، نوع الدوال التنشيطية، ومعدل التعلم) وقتًا طويلاً وجهدًا كبيرًا، بالإضافة إلى استهلاك موارد حوسبة معتبرة.

- ✓ البحث التجريبي الطويل : غالبًا ما يضطر المطورون إلى اختبار عدة تكوينات للشبكة وتجريب معلمات فائقة (hyperparameters)مختلفة على مدار فترات زمنية طويلة، مما يؤدي إلى إبطاء دورة تطوير النموذج.
- ✓ الاستهلاك العالي للموارد : قد تتطلب عملية تدريب النماذج واختبارها موارد حسابية كبيرة، بما في ذلك القدرة المعالجة والذاكرة، خاصةً عند التعامل مع مجموعات بيانات ضخمة أو نماذج ذات بنية معقدة.
- ✓ ارتفاع التكاليف التشغيلية : إن استهلاك الموارد الكبير يؤدي إلى رفع الكلفة التشغيلية، وهو ما قد يُعيق تطبيق الشبكات العصبية في بعض المجالات أو المشاريع ذات الميزانيات المحدودة [20].

III. 5. عملية اكتساب المعرفة

زيادة المعارف تعني إيجاد إجابة لسؤال مطروح. لذا تبدأ العملية بطرح سؤال أو عدة أسئلة "الشكل (III ـ 3)".

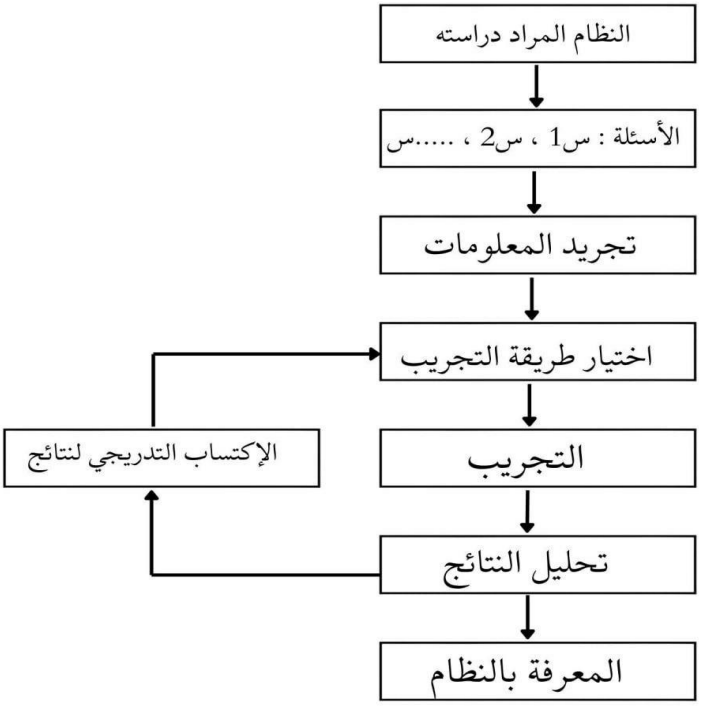
على سبيل المثال، إذا رغبنا في معرفة تأثير سماد معين على مردودية القمح في قطعة أرض، يمكننا طرح الأسئلة التالية، وهي بطبيعة الحال غير مقتصرة على هذه الأسئلة فقط:

- "هل يمكننا الحصول على 10 قناطير إضافية من القمح للهكتار الواحد بزيادة كمية السماد؟"
- "ما هو تأثير الأمطار على فعالية السماد؟"
- "هل ستظل جودة القمح جيدة إذا استخدمت هذا السماد؟"
- "كمية السماد التي يجب استخدامها للحصول على أكبر كمية ممكنة من القمح لكل هكتار؟"

تعمل هذه الأسئلة على تحديد المشكلة التي يجب حلها، وترسم الخطوط العامة للأعمال الواجب تنفيذها. لذا، من المهم للغاية أن تكون الأسئلة المطروحة مرتبطة فعلاً بالمشكلة الأساسية. وبالطبع، قبل الشروع في إجراء التجارب، من الحكمة التأكد أولاً مما إذا كانت المعلومات المطلوبة متوفرة مسبقاً في مصادر أخرى . ولهذا الغرض، يتم إجراء جرد للمعارف المتوفرة، سواء عن طريق مراجعة ما كُتب سابقا من دراسات وكتب ومقالات، أو باستشارة خبراء، أو من خلال حسابات نظرية، أو بأي وسيلة أخرى تهدف إلى الإجابة على الأسئلة المطروحة دون الحاجة إلى تجارب. بعد هذه المرحلة الاستقصائية، قد تُجاب الأسئلة المطروحة كلياً، مما يعني انتفاء المشكلة. أما في حال بقاء بعض الأسئلة بلا إجابة، أو تغير صياغتها، يصبح من الضروري عندئذٍ تنفيذ تجارب من أجل الحصول على الأجوبة الشاملة المرجوّة. ويُعد هذا العمل التحضيري جزءاً من مهام الباحث التجريبي، ولن نُفصّل فيه كثيراً، لأنه ليس هو المرحلة من عملية الاكتساب التي نرغب في تركيز تفكيرنا وجهودنا على تحسينها. بعد تصفية الأسئلة لتبقى فقط تلك التي لا إجابة آنية لها، يكون من الضروري إجراء تجارب. لكن كيف يمكن اختيار هذه التجارب بحيث:

- نصل بسرعة إلى أفضل النتائج الممكنة.

- نتفادى تنفيذ تجارب غير مجدية.
- نحصل على أعلى دقة ممكنة في النتائج.
- نضمن تقدّماً مؤكداً.
- نُقيم نمذجة دقيقة للظاهرة المدروسة.
- نكتشف الحل الأمثل [22].



شكل (III ـ 3) : مخطط عملية اكتساب المعارف.

الجوانب الثلاثة الأساسية في عملية اكتساب المعارف هي كما يلي:

- اختيار منهجية التجريب.
- تحليل النتائج.
- الاكتساب التدريجي للمعرفة.

فلنلقِ نظرة أكثر تفصيلًا على هذه الجوانب الثلاثة، مع العلم أن التجارب تُنظم بطريقة تُسهّل استغلال النتائج وتُتيح اكتساب المعارف ذات الأهمية بشكل تدريجي [22].

III. 1.5. اختيار طريقة التجريب

يجب أن تُسهِّل طريقة التجريب المختارة تفسير النتائج. كما ينبغي أن تُقلِّل من عدد التجارب المطلوبة دون أن تُضحّي بجودة النتائج. توفر نظرية تصاميم التجارب الشروط التي تُمكّن من الحصول على أعلى درجة ممكنة من الدقة بأقل عدد من التجارب. وبذلك تُحقق أعلى مستوى من الكفاءة بأدنى عدد من التجارب، وبالتالي، بأقل تكلفة ممكنة [22].

III. 2.5. تحليل النتائج

يُصبح تحليل نتائج التجارب أسهل بفضل الاختيار المسبق والمدروس للتجارب. فإذا تم التحضير الجيد للتجارب، ستكون النتائج سهلة التفسير وغنية بالدلالات والمعارف. وبفضل الحواسيب والبرمجيات، أصبح إعداد تصاميم التجارب والقيام بالحسابات اللازمة لتفسيرها أمرًا في غاية البساطة. كما تتيح هذه الأدوات تمثيلات بيانية فعّالة تُبرز النتائج بشكل واضح وجذاب، مما يُحسِّن من فهم الظواهر المدروسة [22].

III. 3.5. الاكتساب التدريجي للمعرفة

إن المُجرِّب الذي يشرع في دراسة معينة لا يكون على دراية مسبقة بالنتائج، ولذلك من الحكمة أن يتقدّم في العمل بشكل تدريجي، بما يُتيح له إعادة توجيه التجارب استنادًا إلى النتائج الأولية.

تُساعد المحاولة الأولى في توجيه التجارب لاحقًا نحو الجوانب ذات الأهمية الفعلية في الدراسة، والتخلّي عن المسارات التي لا تؤدي إلى نتائج مفيدة.

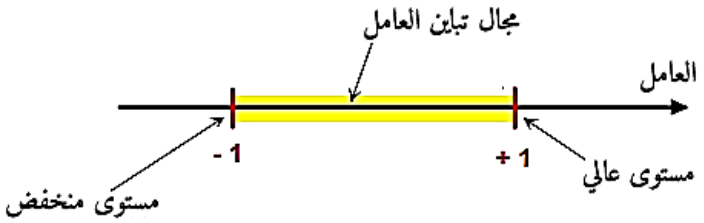
وتُفضي السلسلة الأولى من التجارب إلى استنتاجات مؤقتة، وبناءً على هذه الاستنتاجات، تُطلق سلسلة جديدة من التجارب.

ويُستخدم مجموع نتائج السلسلتين معًا لرسم صورة دقيقة للنتائج المتعلقة بموضوع الدراسة.

بهذه الطريقة، يجمع المُجرِّب فقط النتائج التي يحتاجها، ويتوقّف عن التجريب بمجرد أن يَبلُغ الهدف المنشود من دراسته [22].

III. 6. الفضاء التجريبي

التجارب التي تستخدم لدراسة تحسين أداء العمليات يهتم فيها الباحث بدراسة الكمية التي يقيسها في كل اختبار، تعتمد هذه التجارب على تأثير عامل واحد أو عدة عوامل، حيث يحدد الباحث الحد الأدنى (المستوى المنخفض الذي يعبر عنه بالرقم 1-) والحد الأعلى (المستوى العالي الذي يعبر عنه بالرقم1+). تسمى جميع القيم التي يمكن أن يأخذها العامل بين المستويين بمجال تباين العامل [2].



شكل (III ـ 4) : مجال تباين العامل.

III. 7. النموذج الرياضي

تخطيط التجارب يتطلب تحديد أهداف البحث بوضوح وتحديد العوامل التي يمكن التحكم فيها، التي تؤثر على الظاهرة المدروسة، يجب التركيز على العلاقة بين التجربة والنموذج الذي يمكن للباحث تطويره باستخدام نتائج التجربة. تقديم التجارب المصممة بطريقة إحصائية يوفر أساسًا متينًا لتطوير نموذج تجريبي للنظام المدروس، عادة ما يتم اختيار دالة رياضية تربط الاستجابة بالعوامل المؤثرة، يتم اعتماد تطوير محدود لسلسلة تايلور ـ ماكلورين، حيث من المفترض أن تكون المشتقات ثابتة، ويأخذ التوسيع شكل كثير حدود ذات درجة عالية [5،3]

$$Y=a_0 + \Sigma a_i x_i + \Sigma a_{ij} x_i x_j + \dots + \Sigma a_{ii} x_i^2 + a_{ij\dots z} x_i x_j \dots x_z$$

a_0, a_i, a_{ij} : معاملات النموذج الرياضي ويتم حسابها من نتائج التجربة.

y : الإجابة أو مقدار الفائدة يتم قياسه أثناء التجربة بدقة معينة.

x : يمثل المستوى المخصص للعامل من قبل الباحث لإجراء الاختبار.

تعتبر التمثيلات الهندسية ملائمة للتصميم التجريبي ولكم بمجرد أن يتجاوز عدد العوامل ثلاثة لم يعد من الممكن استخدامها نعتمد تمثيلا على شكل جداول لها ميزة الاستعمال مهما كان عدد العوامل ، التمثيل الذي يستخدم الوحدات المشفرة هو الأكثر عموما من ذلك الذي يستخدم الوحدات المادية المعتادة [2].

الجدول (III ـ 1) : التصميم التجريبي بالوحدات المشفرة.

رقم التجربة	العامل 1	العامل2
1	-1	-1
2	+1	-1
3	-1	+1
4	+1	+1

III. 8. أساسيات تصميم التجارب

- **التكرار :** يتطلب الحصول على قيمة تقديرية للخطأ التجريبي تكرار المعالجة عدة مرات في التجربة، وذلك حسب الامكانيات المتاحة و درجة الدقة المطلوبة ويحقق التكرار العديد من الاهداف نذكر منها: زيادة عدد التكرارات في كل معاملة يساهم في تقليل الخطأ التجريبي لمتوسط المعاملة، و تكرار التجربة في أكثر من منطقة أو أكثر من موسم يؤدي إلى تعميم نتائج التجربة [1].
- **التوزيع العشوائي :** هو كل وحدة تجريبية لديها نفس الفرصة لتلقي نفس المعاملة، مما يقلل من التحيز لصالح معاملة معينة على حساب الأخرى ويساعد في الحصول على تقدير دقيق للخطأ التجريبي، يشترط تطبيق الطرق الإحصائية واختبارات المعنوية [1].
- **التحكم في الوحدات التجريبية :** يعد التحكم في الوحدات التجريبية أحد الأسس الرئيسية لتصميم ناجح، حيث يتم تقسيم الوحدات التجريبية إلى مجموعات متجانسة تعرف بالقطاعات، وتوزيع المعاملات بشكل عشوائي داخل كل قطاع. يهدف ذلك إلى تحسين دقة التجربة وتعزيز قدرتها على التطبيق الواسع، خاصة عندما تتم إجراء القطاعات في أماكن وأوقات مختلفة [1].

III. 9. الطريقة الإحصائية

لضمان استخدام الطريقة العلمية أو الإحصائية بشكل فعال في تصميم وتحليل التجارب، يجب على كل باحث فهم الخطوات المنطقية للبحث العلمي. يمكن تلخيص خطوات الطريقة الإحصائية في المراحل التالية:

- **تحديد الهدف من التجارب :** تعتبر الأهداف المرسومة أساسية في تحديد التصميم المناسب، والفرضيات المطلوبة للاختبار والتقديرات الإحصائية اللازمة، بعد ذلك يحدد التحليل الإحصائي الذي يساعد في تحقيق هذه الأهداف [1].
- **اختيار العوامل :** يعتبر تحديد العوامل ومستوياتها بدقة أمراً بالغ الأهمية، حيث يتوقف نجاح التجربة على هذه الدقة، يفضّل في هذه المرحلة توضيح كل عامل مع تحديد دوره في تحقيق هدف التجربة [1].
- **تصميم التجربة :** المطلوب من الباحث هو تحديد التصميم الأمثل للدراسة المشروعة، مع التركيز على طريقة توزيع العينات بشكل عشوائي وتحديد عدد التكرارات، وذلك وفقًا لأهداف البحث وكمية المواد التجريبية المتاحة. يجب أن يكون التصميم بسيطًا قدر الإمكان، وغير مكلف وسهل التحليل والتفسير[23].
- **تنفيذ التجربة :** ينبغي للباحث أن يشرف على تنفيذ التجربة، بدءاً من وضع التصميم وتوزيع العوامل بطريقة عشوائية، وضمان تنفيذ كل الخطوات وفقاً للبرنامج المخطط له [23].
- **تحليل البيانات :** في هذه المرحلة، ينبغي التحقق من ملاءمة النموذج الخطي المستخدم للبيانات وصحة الافتراضات الإحصائية قبل اتخاذ أي قرارات أو استخلاص أي استنتاجات[4].

- **النتائج :** يتم عرض نتائج التجربة بطرق علمية على شكل تقارير واضحة بحيث تمكن غير المختصين من فهم واستيعاب ما توصل إليه البحث من نتائج [4].

III. 10. تصاميم العوامل ذات مستويين

يعد التصميم العاملي ذو مستويين هو الأسلوب الأكثر شيوعا في تصميم التجارب، إذا كان النموذج الخطي مناسباً للتنبؤ فإن التصميم العاملي ذو مستويين سيكون الاختيار الصحيح، يوصف هذا النوع من التصميم ببساطة أنه 2^k بحيث يشير الأساس 2 إلى عدد مستويات العوامل وk هو عدد العوامل، إن عدد التجارب التي يتطلبها التصميم العاملي الكامل الذي يتم فيه دمج المستويات يتوافق مع 2^k، يمكن استخدام تصميم تجريبي ذو مستويين بغرض استبعاد العوامل المهمة بعدد صغير من التجارب، هناك أنواع مختلفة من التصاميم التجريبية ذات مستويين ولكن يوجد نوعين من التصاميم الأكثر استخداما هما: تصميمات العوامل(designs factorial) وتصميمات بوكس ـ بهنكن(BBD) [24]. لغرض هذه الظاهرة سيتم تصنيف المستويين لكل عامل بين1-و1+ لذلك لدينا Ej={ +1, -1}، هذه الرموز عملية للغاية ولكن لسوء الحظ لا يمكن توسيعها لتشمل الحالة التي يكون فيها العوامل أكثر من مستويين [5].

III. 11. التصاميم العاملية ذات العوامل k (2^k)

يرمز لهذه التصاميم بالرمز 2^kحيث يشير هذا الترميز إلى عدد الاختبارات التي سيتم إجراءها، سرعان ما يصبح هذا الرقم كبيرا فمثلا ولسبعة عوامل فقط يجب إجراء 128 اختباراً، في هذه التجارب يكون لدينا kعامل لكل منها مستويان: مستوى منخفض وآخر عالي، لتقليل عدد الاختبارات مع الاحتفاظ بإمكانية دراسة جميع العوامل تم استخدام التصميم العاملي الكسري ذو مستويين [2،1].

III. 12. التصميم العشوائي الكامل (Completely Randomized Design)

يعتبر التصميم العشوائي الكامل من أبسط التصميمات وأسهلها تحليلاً، بحيث يستعمل غالباً عندما تكون الوحدات التجريبية متجانسة أي الاختلافات التي بينها تكون ضئيلة، يتم إجراء هذا التصميم بافتراض t معالجة وnمن الوحدات التجريبية فيتم توزيع المعالجات على الوحدات التجريبية بشكل عشوائي بحيث نحصل على r_1من الوحدات التي تجرى عليها المعالجة الأولى و r_2 وحدة تجريبية تجرى عليها المعالجة الثانية وهكذا إلى آخر معالجة وآخر وحدة تجريبية متبقية وبالتالي يتم التوزيع عشوائيا بدون نظام محدد. إن العيب الرئيسي لهذا التصميم هو انخفاض الكفاءة في حالة عدم تجانس الوحدات التجريبية [1].

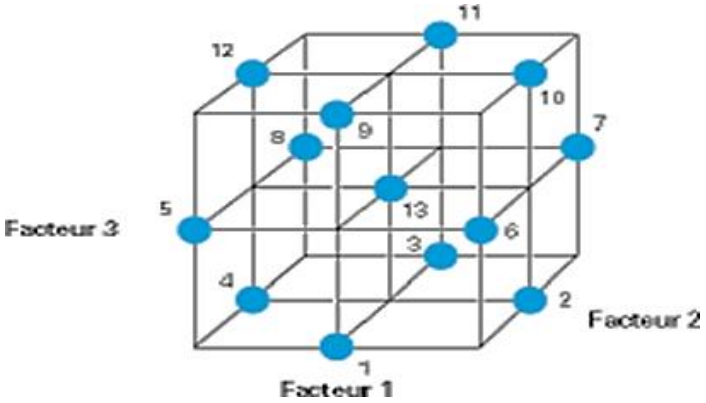
III. 13. برنامج تصميم التجارب

غالبًا ما يكون بناء الخطط التجريبية أمرًا سهلاً ويمكن الاعتماد على المصفوفات المنشورة بالفعل. ومع ذلك، فمن الضروري أن تكون الخطة مناسبة للدراسة المحددة ويمكن حساب المعاملات باستخدام جداول البيانات، لكن هذا يتطلب برمجة ووقت. لذا، فمن الأفضل

استخدام برامج إحصائية متخصصة تقوم بحساب المعاملات وتجميع البيانات الإحصائية، مما يتيح تقييم جودة النموذج الرياضي بشكل فعال [4،2].

III. 14. تصميم التجارب Box – Behnken (BBD)

من السهل تنفيذ تصاميم Box-Behnken لأن جميع العوامل تأخذ ثلاثة مستويات فقط: - 1 و0 و+1، كمتغيرات مشفرة. تقع النقاط التجريبية في منتصف حواف كل ضلع من أضلاع المكعب الشكل(III.10)، تلبي تصميمات بوكس-بينكن معيار تحسين معين [25].



شكل (III ـ 5) : تصاميم Box-Behnken لثلاثة مستويات.

IV. 1.14 الهدف من BBDs

- تطوير النماذج الكروية : يمكن تنفيذها باستخدام ثلاثة مستويات فقط من المتغيرات. وهذا يبسط تنفيذ التجربة [27،26].
- السماح بتدوير النموذج : إنشاء مستويات Box-Behnken التي يمكن تدويرها بسهولة أو بسهولة تقريبًا. وهذا يوفر حرية أكبر في تصميم التجارب [27،26].
- تجنب التركيبات المتطرفة : قم بإنشاء نماذج لا تحتوي على تركيبات تكون فيها جميع المكونات عند الحد الأقصى أو الحد الأدنى لقيمتها في نفس الوقت. يساعد هذا على تجنب إجراء الاختبار في ظل ظروف صعبة، مما قد يؤدي إلى نتائج غير مرضية [27،26].
- تقليل عدد الاختبارات : من أجل الحصول على نتائج ذات صلة. وهذا يوفر الوقت والموارد والمال الذي يتم إنفاقه على إجراء التجربة [27،26].

III. 15. التطبيقات

تُستخدم التجارب المصممة إحصائيًا في تطبيقات جميع أنواع الصناعات تقريبًا. يُقال في كثير من الأحيان أن التجارب المصممة يمكن تطبيقها في أي مكان توجد فيه منتجات وعمليات. وتستخدمها الصناعات مثل الزراعة والكيمياء والكيمياء الحيوية والأدوية وتصنيع أشباه الموصلات والهندسة الميكانيكية والمنسوجات والسيارات بشكل منتظم. لا داعي للقول بأن هناك العديد من المقالات البحثية المتاحة التي

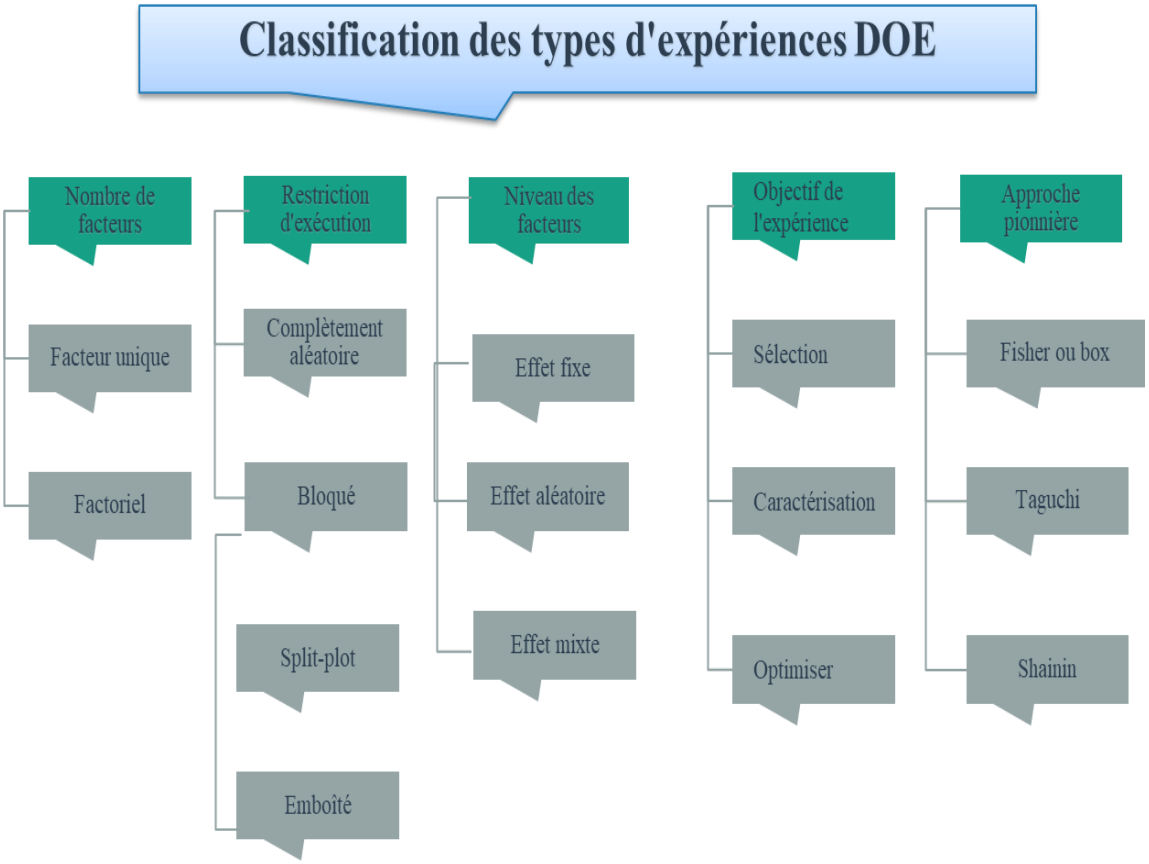
توضح التطبيقات الواسعة للتجارب المصممة إحصائيًا في العديد من العمليات والمنتجات والأنشطة المتعلقة بالإدارة، بما في ذلك توصيف العمليات وتحسينها وتصميمها وتطوير المنتجات وخفض التكاليف [28].

❖ **التطبيق في الكيمياء:**

حتى الآن، ظلت الكيمياء موضوعًا يعتمد بشكل كبير على التحقيق التجريبي. يجب على الكيميائيين أن يفهموا كيفية استخدام التصميم التجريبي لاستخراج المعلومات المفيدة من التجارب الكيميائية بكفاءة وتحقيق ظروف التفاعل المثالية للعملية الكيميائية التي تتم دراستها. إن التجربة المصممة جيدًا والنموذج المناسب لا يوفران المزيد من المعلومات فحسب، بل يحققان أيضًا الظروف التجريبية المثالية، في حين أن التجربة الكيميائية المصممة بشكل سيئ قد توفر معلومات غير كافية للغاية، حتى لو تم استخراج المعلومات الكيميائية باستخدام طريقة تحليل بيانات جيدة جدًا. لذلك، فإن التصميم الفعال للتجربة الكيميائية أمر ضروري للكيميائيين [29].

III. 16. أنواع التصاميم التجريبية الإحصائية

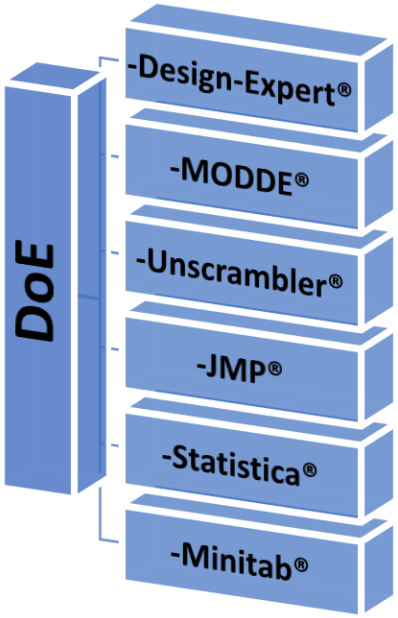
يتم تحديد DOE الصحيح الذي يجب استخدامه من خلال معايير مثل هدف التجربة، وعدد العوامل المشاركة، وعدد مستويات هذه العوامل، والقيود التي يجب مراعاتها أثناء التجربة. يمكن تصنيف أنواع DOE بطرق مختلفة كما هو موضح **"الشكل (III ـ 6)"** [29]:



شكل (III ـ 6) : مخطط تصنيف نوع تصميم التجارب.

III. 17. البرمجيات المستخدمة

يعد استخدام البرمجيات مفيدًا للغاية في حل المشكلات الرياضية والإحصائية المعقدة التي تواجهها عند تنفيذ التصميمات التجريبية. حيث هناك مجموعة البرامج خصيصًا لإجراء دراسات DoE، كما هو موضح في الرسم التخطيطي **" الشكل (III ـ 7) "** ، تقدم هذه الأدوات عمومًا واجهة سهلة الاستخدام ترشد المستخدم خلال كل خطوة من خطوات عملية تطوير المنتج [30].



شكل (III ـ 7) : رسم تخطيطي يوضح تقنيات تصميم التجارب.

III. 18. تقييم النموذج

قد لا يصف النموذج الرياضي المُتوصل إليه بعد ملاءمة الاستجابة مع البيانات بشكل مرضٍ المجال التجريبي المدروس. ومع ذلك، نستخدم الطرق التالية لتقييم جودة النموذج المُعدَّل.

III. 1.18. تحليل التباين (ANOVA)

يُعدّ تحليل التباين طريقة تهدف إلى دراسة تأثير عامل أو عدة عوامل ضمن عملية معيّنة؛ ويمكن استخدامه لتحليل البيانات التجريبية التي تتضمن عوامل كمية ونوعية في آن واحد [31].

III.2.18. جموع المربعات

يُشتق تحليل التباين من تقسيم التغير الكلي إلى مكوّناته :

SStot : مجموع المربعات الكلي، وهو يُقدّر مقدار التغير الكلي في البيانات (أي يقيس تشتّت البيانات حول المتوسط العام) :

$$SS_{tot} = \sum_{i=1}^{k} \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x})^2 \qquad \text{(Eq.III.1)}$$

$$SS_{tot} = \sum_{i=1}^{k} n_i(\bar{x}_i - \bar{x})^2 + \sum_{i=1}^{k}\sum_{j=1}^{n_i}(x_{ij} - \bar{x}_i)^2 \quad \text{(Eq.III.2)}$$

تشير هذه المعادلة إلى أن التغير الكلي في البيانات، كما يُقاس بمجموع المربعات المصحّح الكلي، يمكن تقسيمه إلى [32] :

- ✓ SSreg : مجموع المربعات العائد إلى الانحدار، والذي يُقدّر الفروقات بين متوسطات المعالجات والمتوسط العام:

$$SS_{reg} = \sum_{i=1}^{k} n_i(\bar{x}_i - \bar{x})^2 \quad \text{(Eq.III.3)}$$

- ✓ SSres : مجموع المربعات العائد إلى البواقي (الخطأ)، والذي يُقدّر الفروقات بين الملاحظات داخل كل معالجة مقارنة بمتوسط المعالجة :

$$SS_{res} = \sum_{i=1}^{k}\sum_{j=1}^{n_i}(x_{ij} - \bar{x}_i)^2 = \sum_{i=1}^{k}(n_i - 1)s_i^2 \quad \text{(Eq.III.4)}$$

وبالتالي، نستنتج أن :

$$SS_{res} = \sum_{i=1}^{k}\sum_{j=1}^{n_i}(x_{ij} - \bar{x}_i)^2 = \sum_{i=1}^{k}(n_i - 1)s_i^2 \quad \text{(Eq.III.5)}$$

III. 3.18. التباين

نظرًا لأن مجموعات المربعات الثلاث: SStot وSSreg وSSres، لا تستند إلى نفس عدد القيم المربعة المُجمّعة، فلا يمكن مقارنتها بشكل مباشر.

وقبل إجراء أي مقارنة بينها، يجب أخذ درجات الحرية الخاصة بكل مجموعة مربعات بعين الاعتبار [32].

III. 4.18. الإختبار الإحصائي

من أجل اتخاذ قرار بشأن رفض الفرضية العدمية في تحليل التباين، نقوم بمقارنة القيم المحسوبة لكل من التباين داخل المجموعات والتباين بين المجموعات.

- ✓ إذا كانت القيمتان متقاربتين جدًا، فإن ذلك يُشير إلى أن الفرضية العدمية قد تكون صحيحة.
- ✓ أما إذا كان التباين بين المجموعات أكبر بشكل ملحوظ من التباين داخل المجموعات، فإن ذلك يُشير إلى أن الفرضية البديلة هي الأرجح.

ولتحويل هذه الإجراءات إلى إطار اختباري رسمي، يجب علينا تحديد إحصائية اختبار [31].

وتتمثل هذه الإحصائية في النسبة التالية :

$$F = \frac{MS_{reg}}{MS_{res}} \quad \text{(Eq.III.6)}$$

حيث:

- ✓ MSreg : متوسط مربعات الانحدار (أي: مجموع مربعات الانحدار مقسومًا على درجات الحرية المناسبة)،
- ✓ MSres : متوسط مربعات البواقي (الخطأ).

❖ **الاحتمالية p**

تُعد القيمة الإحصائية الأهم في جدول تحليل التباين هي قيمة الاحتمالية p. وتُستخدم هذه القيمة لتحديد مدى تأثير المتغيرات ضمن النموذج، كما تُستخدم للحكم على مدى دلالة التأثيرات إحصائيًا في النموذج. يمكن تقييم أهمية البيانات من خلال قيمة p، حيث تشير القيم القريبة من الصفر إلى أهمية أكبر للنتائج [31].

❖ **معاملات التحديد**

يُعرَّف معامل التحديد على أنه النسبة الجزئية من تغيرات الاستجابة التي يُفسّرها النموذج فقط. ويُعطى هذا المعامل بالعلاقة التالية :

$$R^2 = \frac{SS_{reg}}{SS_{tot}} = 1 - \frac{SS_{res}}{SS_{tot}} \qquad \text{(Eq.III.7)}$$

يُعد معامل بذلك مقياسًا لجودة النموذج، وتتراوح قيمته بين 0 و1. فإذا كان قريبًا من 1، فإن النموذج يُمكنه استرجاع القيم المقيسة للاستجابات بدقة. أما إذا كان مساويًا لـ 0، فهذا يعني أن النموذج لا يفسّر شيئًا [32].

❖ **معامل التحديد المُعدّل**

يُعرّف معامل التحديد المُعدّل بنفس الطريقة، على أنه النسبة الجزئية من تغيرات الاستجابة التي يُفسّرها النموذج فقط، مع الأخذ بعين الاعتبار درجات الحرية المقابلة. ويُعطى هذا المعامل بالتعبير التالي :

$$R^2_{adj} = \frac{\frac{SS_R}{k-1}}{\frac{SS_E}{n-1}} \qquad \text{(Eq.III.8)}$$

ونظرًا لأخذ درجات الحرية بعين الاعتبار، فإننا نجد دائمًا أن :

$R^2_{adj} \leq R^2$ [34،33].

III. 19. دالة الرغبة (Desirability Function)

تُعد دالة الرغبة (Desirability Function - DF) أداة شائعة الاستخدام في تحديد الشروط المثلى العامة، حيث تعتمد على مبدأ تحويل كل استجابة فردية (di) إلى دالة رغبة مخصصة. وتُستخدم هذه الدوال الفردية لاحقًا لبناء دالة رغبة شاملة (D) يتم تعظيمها بغرض الوصول إلى القيم المثلى للعوامل المؤثرة، مع الأخذ في الاعتبار التفاعلات المحتملة بينها [35].و تكمن القيمة المضافة الرئيسية لهذه التقنية في قدرتها على معالجة كل من الاستجابات الكمية والنوعية، وذلك من خلال تحويل مختلف القيم إلى مقياس موحّد يتراوح بين 0 و1. في هذا السياق، تُحوّل كل استجابة (U) إلى دالة رغبة منفصلة بحيث تعبّر القيمة 1 عن الحد الأعلى للرغبة، أي الحالة المثالية، في حين تشير القيمة 0 إلى غياب تام للرغبة أو إلى الحد الأدنى المقبول من قابلية تطبيق هذه الاستجابة [35].

المراجع

[1] الدكتور محمد طاهر الامام ،تصميم وتحليل التجارب ،جامعة الملك السعود ـ الرياض ،1994.

[2] Jacques Goupy, les Plans D'expériences, Revue Modulab, 2006.

[3] Douglas.C.Montgomery, Design and Analysis of experiments, Arizona state University, 2013.

[4] Benjamin Durakovie, Design of experiments Application, Industrial Engineering International University of Sarajevo, 2017.

[5] J.B.Clément, les Plans D'experience pour le BTS chimiste, Direction de l'enseignement Scolaire, 1997-1998.

[6] ابراهيم زعبي، أطروحة لنيل شهادة الدكتوراه،استخدام الطرق الاحصائية لتصميم التجارب و تحليل المعطيات في اختبارات الوثوقية المسرعة ،قسم الاتصالات المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا بسوريا،2006.

[7] C.P. Kitsos, Optimal Experimental Design for Non-Linear Models, n.d.

[8] J. Klein, G. Giglioni, Francis Bacon, (2003).

[9] P. Dagnelie, Le plan d ' expérience évolue ..., (1920) 13–36.

[10] W.R. CAMPBELL, Claude Bernard, 1813-1878: The Founder of Modern Medicine, Can. Med. Assoc. J. 89 (1963) 127.

[11] Walter Tinsson, Plans d'expérience: constructions et analyses statistiques , n.d.

[12] S. KARAM, Application de la méthodologie des plans d'expériences et de l'analyse de données à l'optimisation des processus de dépôt, Thèse de Doctorat, Université de Limoges, France, (2004) Thèse, UNIVERSITE DE LIMOGES, France.

[13] T. Fabien, Amélioration de la fiabilité d'un système complexe Application ferroviaire : Accès voyageurs, 'Université de VALENCIENNES ET DU HAINAUT-CAMBRESIS, 2013.

[14] A. Rosenblad, The Concise Encyclopedia of Statistics, 2011. https://doi.org/10.1080/02664760903075614.

[15] A.T. Abdulrahman, Construction and Analysis of Experimental Designs, (2020).

[16] D.S. Anderson, Value-added management with design of experiments, 1995. https://doi.org/10.1016/0261-3069(95)90080-2.

[17] K.D. Broota, Experimental Design in Behavioural Research, 1989.

[18] L. Ronin, Développement de la production en continu dans l'industrie pharmaceutique : étude bibli- ographique et expérimentale de la mise en forme de poudres par extrusion. Sciences pharmaceutiques. 2017. hal-01931807 HAL, (2018).

[19] S. Zeyneb, Séparation des ions de lanthane(III) par la technique de point de trouble. Optimisation expérimentale et statistique., UNIVERSITE ABOU-BEKR BELKAID – TLEMCEN, 2020.

[20] J. Goupy, Les plans d'experiences, Rev. Modul. (2006) 74–116.

[21] B. Hamida, Etude de l'élimination de la pollution des composés récalcitrants d'un milieu réactionnel en appliquant les procédés d'oxydation avancée (PAO), (Université Badji Mokhtar -

Annaba), 2021.

[22] Jacques Goupy,Lee Creighton,DUNOD,Paris,2001.

[23] Riccardo leardi, Experimental design in chemistry, Analytical chemical, 2009.

[24] Heshmatollah. E.N.Riccardo.L.H, Experimental Design in Analytical Chemistry-Part I: Theory, Journal of AOAC International, 2014.

[25] Stéphane Vivier, Stratégies d'optimisation par la méthode des Plans d'Expériences, et Application aux dispositifs électrotechniques modélisés par Eléments Finis, Modélisationetsimulation. Université des Sciences et Technologie de Lille - Lille I, 2002. Français

[26] Montgomery, D. C. *Design and Analysis of Experiments*, 8th ed.; John Wiley & Sons: New York, 2017.

[27] Kempthorne, O. *The Design and Analysis of Experiments*; Wiley-Interscience: New York, 1952.

[28] Wu, C. F. J.; Hamada, M. *Experiments: Planning, Analysis, and Optimization*; John Wiley & Sons: New York, 2009.

[29] Draper, N. R.; Smith, H. *Applied Regression Analysis*, 3rd ed.; Wiley-Interscience: New York, 1998.

[30] Fisher, R. A. *The Design of Experiments*; Oliver and Boyd: Edinburgh, 1935.

[31] R. L. Mason, R. F. Gunst, J. L. Hess. Statistical design and analysis of experiments, with applications to engineering and science. John Wiley& Sons, New Jersey (2003).

[32] C. M. Judd, G. H. McClelland, C. S. Ryan. Data Analysis: A Model Comparison Approach to Regression, ANOVA, and Beyond. Taylor and Francis group, 3rdedition, New York, (2017).

[33] G. E. P. Box, J. S. Hunter, W. G. Hunter. Statistics for Experimenters. John Wiley & Sons, 2nd edition, New Jersey (2005).

[34] P. Goose, D. Meintrup. Statistics with JMP: Hypothesis test, ANOVA and regression. John Wiley & Sons, 1st edition (2016).

[35] M Roosta, M Ghaedi, A Daneshfar, R Sahraei, AAsghari: Optimization of the ultrasonic assisted removal of methylene blue by gold nanoparticles loaded on activated carbon using experimental design methodology. UltrasonicsSonochemistry 21 (2014) 242–252. Yuh-Shan. H et al (2005).

الفصل الرابع

البروتوكول التجريبي والمنهجية العلمية

IV. 1. مقدمة

السماد العضوي (الكمبوست) هو السماد الذي يمكن الحصول عليه من تخمير البقايا النباتية حيث يتم تحضيره بتوفر مكان مناسب يتم فيه جمع المواد العضوية الأولية و توفير شروط مناسبة للتحلل البيولوجي يتطلب عدة أسابيع أو أشهر و يختلف حسب الظروف البيئية و العوامل المحيطة. يتناول هذا الفصل الجانب التجريبي من هذه الدراسة، و الذي يُعتبر الركيزة الأساسية لفهم مدى نجاعة تحويل المخلفات النباتية و الحيوانية إلى سماد عضوي عالي الجودة. اعتمدنا في هذا العمل على تصميم تجريبي محكم باستخدام طريقة تصميم التجارب (DOE)، ما أتاح لنا تنظيم التجارب و ضبط المتغيرات المؤثرة للحصول على نتائج دقيقة و موثوقة. تجدر الإشارة إلى أنه قد تم توثيق كافة مراحل التحضير و التخمير بالصور، مما يعزز من الشفافية العلمية و يُبرز التسلسل العملي المعتمد في إنجاز هذا العمل.

IV. 2. المواد الأولية المستعملة

في إطار تحضير الكومبوست، تم اختيار مجموعة متنوعة من المواد العضوية ذات الأصل الحيواني والنباتي، مع مراعاة توازن المحتوى الغذائي بين الكربون والنيتروجين، بالإضافة إلى ملاءمتها لعملية التحلل البيولوجي. تُصنّف هذه المواد بشكل رئيسي إلى فئتين رئيسيتين حسب مصدرها: المخلفات الحيوانية و المخلفات النباتية، حيث تتميز كل فئة بخصائص و مكونات تؤثر بشكل مباشر على جودة السماد المنتج، و كذلك على سرعة ونوعية عملية التحلل العضوي.

IV. 1.2. المخلفات الحيوانية

تمثل المخلفات الحيوانية مصادر غنية بالنيتروجين و العناصر المعدنية الضرورية لعملية التحلل. و تساهم في تحقيق التوازن بين الكربون و النيتروجين، و هو عامل مهم لتحفيز نشاط الميكروبات و تسريع تحلل المواد العضوية.

- فضلات الدجاج : معروفة باحتوائها على نسبة عالية من النيتروجين، مما يجعلها من المصادر الفعالة لتعزيز نمو الكائنات الدقيقة و تحفيز عملية التحلل السريع[01].
- فضلات الأغنام :تحتوي على نسبة معتدلة من النيتروجين و المواد العضوية، و تتميز بكونها مادة متوازنة تسهم في تحسين بنية التربة بعد التحلل[02].
- قشور البيض : تعد مصدرًا غنيًا بالكالسيوم، و هو عنصر مهم في تعديل الحموضة (pH) و تحسين خصوبة التربة[03].
- ماء الأكواريوم : يحتوي على عناصر غذائية ذائبة مثل النترات و الفوسفات و بعض المعادن التي تساهم في دعم النشاط الحيوي للكائنات الدقيقة داخل الكومبوست[04].

IV. 2.2. المخلفات النباتية

تعتبر المخلفات النباتية المصدر الرئيسي للكربون، الذي تستخدمه الميكروبات كمصدر للطاقة خلال عملية التحلل. تختلف هذه المخلفات في تركيبها الكيميائي، حيث تحتوي على مركبات مثل الألياف، الليغنين، و السكريات التي تؤثر على سرعة و كفاءة التحلل.

- تفل القهوة : يحتوي على نسبة جيدة من المواد العضوية و النيتروجين، بالإضافة إلى مركبات الفينولات التي قد تؤثر على نشاط بعض الكائنات الدقيقة، لذلك يتطلب معالجته بعناية[05].
- كرناف النخيل : يتكون بشكل رئيسي من ألياف خشبية و غنية بالليغنين، مما يجعله يتحلل ببطء نسبيًا، و يعمل كعامل لتحسين تهوية الخليط و امتصاص الرطوبة[06].

IV. 3. جمع و تحضير المواد

تُعد عملية جمع وتحضير المواد الأولية خطوة أساسية في إعداد الكومبوست، حيث تؤثر جودة المواد و حالتها الأولية بشكل مباشر على فعالية عملية التحلل البيولوجي و نوعية السماد النهائي. لضمان تحقيق الظروف المثلى لعملية التخمير، تم اتباع منهجية دقيقة لكل مادة، شملت مصادر جمعها، طرق التخزين، المعالجات الأولية، و الغرض من استخدامها ضمن تركيبة الكومبوست "**الجدول (IV . 1)**".

الجدول (IV . 1) : يبين مصدر المواد الأولية المستعملة، طريقة الجمع و التخزين، المعالجة الأولية، الغرض من الاستعمال.

مصدر المادة	طريقة الجمع والتخزين	المعالجة الأولية	الغرض من الاستعمال
كرناف وسعف النخيل			
تم جمع كرناف وسعف النخيل من أشجار النخيل المنتشرة في المنطقة، حيث تم قصها وتجميعها.	تم التجميع والتخزين مؤقتًا في أماكن جافة قبل الشروع في معالجتها.	خضعت المواد إلى تجفيف كامل تحت أشعة الشمس، ثم تم طحنها باستخدام آلة الطحن لتحويلها إلى قطع صغيرة تزيد من مساحة السطح وتسهل عملية التحلل الحيوي.	يستخدم كرناف وسعف النخيل كمصدر رئيسي للكربون، مع تحسين التهوية والبنية الفيزيائية للكومبوست، مما يساهم في تسريع عملية التحلل البيولوجي.
فضلات الدجاج والأغنام			
تم جمع فضلات الدجاج والأغنام يوميًا من الحظائر والمزارع المحلية.	جُمعت الفضلات طازجة مباشرة لتفادي التحلل المبكر، مع إزالة الشوائب الكبيرة مثل الحصى والأوساخ.	خضعت الفضلات لمرحلة تجفيف جزئي تحت أشعة الشمس لتقليل محتوى الرطوبة وتحسين قابليتها للتخزين والمعالجة لاحقًا.	تُستخدم فضلات الدجاج والأغنام كمصدر غني بالنيتروجين والعناصر المعدنية الأساسية، مما يسهم في تحسين التوازن الغذائي داخل الكومبوست وتعزيز نشاط الميكروبات المحللة.
قشور البيض			

تم جمع قشور البيض من المطاعم ومحلات الحلويات والمرطبات.	جُمعت القشور بعد الاستخدام مباشرة، وتم التعامل معها بسرعة لمنع حدوث تعفن أو تلوث.	خضعت القشور لعملية تجفيف كاملة تحت أشعة الشمس، ثم تم سحقها إلى جزيئات صغيرة لزيادة مساحة السطح وتسريع تحللها في الكومبوست.	تُستخدم قشور البيض كمصدر غني بالكالسيوم، وهو عنصر مهم يساعد في تعديل حموضة التربة (pH) وتحسين خصائصها الفيزيائية والكيميائية داخل المادة العضوية
تلوة القهوة			
تم جمع تلوة القهوة (بقايا القهوة المستعملة) من المقاهي المحلية بعد استخدامها في تحضير القهوة الساخنة.	جُمعت البقايا بشكل يومي أو دوري، وتم حفظها في أوعية نظيفة للحدّ من التعفن أو نمو الفطريات قبل معالجتها.	خضعت تلوة القهوة لعملية تجفيف بتعريضها لأشعة الشمس بهدف تقليل نسبة الرطوبة ومنع التكتل، ثم تم غربلتها لإزالة الشوائب والكتل الكبيرة.	تُستخدم تلوة القهوة كمصدر للنيتروجين في الكومبوست، وتساعد في تحسين المحتوى الغذائي للخليط وزيادة تنشيط النشاط الميكروبي.
ماء الأكواريوم			
جُمِع الماء مباشرة من الحوض واستخدم فورًا دون تخزين لفترات طويلة لضمان جودة العناصر الذائبة فيه.	تم الحصول على ماء الأكواريوم من حوض سمك في المنزل.	لم يخضع الماء لأي معالجة إضافية، وتم استخدامه كما هو لتوفير العناصر الغذائية المذابة.	يُستخدم ماء الأكواريوم كمصدر للعناصر الغذائية الذائبة والمعادن التي تدعم نمو الميكروبات وتسريع عملية التحلل في الكومبوست، كما يساعد في رفع نسبة الرطوبة داخل الخليط.

الشكل (IV . 1) : صور لعمية تجميع كرناف و سعف النخيل.

الشكل (IV . 2) : صورة لكرناف و سعف النخيل بعد عمليه تجفيفه و سحقه جاهز للاستعمال.

الشكل (IV . 3) : فضلات الدجاج بعد عملية جمعها و تنقيتها ثم تجفيفها جاهزة للاستعمال أولية لتحضير الكومبوست.

الشكل (IV . 4) : فضلات الإغنام بعد عملية جمعها و تنقيتها ثم تجفيفها جاهزة للاستعمال أولية لتحضير الكومبوست.

الشكل (IV . 5) : قشور البيض بعد عملية جمعها و تجفيفها ثم طحنا لتصبح جاهزة كمادة أولية لتحضير الكمبوست.

الشكل (IV . 6) : صورة لمياه حوض السمك.

الشكل (IV . 7) : تلوة القهوة أثناء عملية تجفيفها بعد أن تجميعها وتنقيتها.

IV. 4. البروتوكول التجريبي (Protocole expérimental)

IV. 1.4. تصميم الخلطات العضوية

في البداية، قمنا بتصميم تجارب التخمر بالإعتماد على نسب المواد العضوية التي تدخل في العملية و باستخدام طريقة تصميم التجارب (DOE)، حسب نموذج بوكس ـ بهنكن مما يساعد على اختبار تأثير المكونات المختلفة على الكومبوست، و يسهّل اختيار الخلطات المناسبة التي تحقق توازنًا جيدًا بين المواد الغنية بالكربون و المواد الغنية بالنيتروجين و للحصول على سماد الكمبوست غني بالعناصر المغذية الأساسية تم نمذجة عملية التخمر تحت تأثير سبعة عوامل أساسية نذكر من بينها: كمية كرناف النخيل (ثابتة 1 كلغ)، كمية البيض (متغيرة من 10 غرام ــ 60 غرام)، تلوة القهوة (متغيرة 100 غرام ــ 300 غرام)، فضلات الدجاج (10 غرام ـ 300 غرام)، سعة ماء الأكواريوم(0.4 لتر ـ 2 لتر)... و الذي أدى إلى تصميم 62 تجربة كما هو مبين في الجدول التالي **"الجدول (IV . 2)"** :

الجدول (IV . 2) : جدول العوامل و المتغيرات المحصل عليه باستخدام طريقة تصميم التجارب DOE.

التجربة	تلوة القهوة	فضلات الدجاج	فضلات الأغنام	قشور البيض	ماء الأكواريوم	مصادر التهوية	الزمن	كرناف النخيل
	Qcob (g)	Qshd (g)	Qchd (g)	Qegs (g)	Qwat (L)	Nais (unite)	t (Week)	PKP (g)
1	200	155	155	10	0,4	1,0	10	1000
2	200	155	155	60	0,4	1,0	10	1000
3	200	155	155	10	2	1,0	10	1000
4	200	155	155	60	2	1,0	10	1000
5	200	155	155	10	0,4	3,0	10	1000
6	200	155	155	60	0,4	3,0	10	1000
7	200	155	155	10	2	3,0	10	1000
8	200	155	155	60	2	3,0	10	1000
9	100	155	155	35	1,2	1,0	5	1000
10	300	155	155	35	1,2	1,0	5	1000
11	100	155	155	35	1,2	3,0	5	1000
12	300	155	155	35	1,2	3,0	5	1000
13	100	155	155	35	1,2	1,0	15	1000
14	300	155	155	35	1,2	1,0	15	1000
15	100	155	155	35	1,2	3,0	15	1000
16	300	155	155	35	1,2	3,0	15	1000
17	200	10	155	35	0,4	2,0	5	1000
18	200	300	155	35	0,4	2,0	5	1000
19	200	10	155	35	2	2,0	5	1000
20	200	300	155	35	2	2,0	5	1000
21	200	10	155	35	0,4	2,0	15	1000
22	200	300	155	35	0,4	2,0	15	1000
23	200	10	155	35	2	2,0	15	1000
24	200	300	155	35	2	2,0	15	1000
25	100	10	155	10	1,2	2,0	10	1000
26	300	10	155	10	1,2	2,0	10	1000
27	100	300	155	10	1,2	2,0	10	1000
28	300	300	155	10	1,2	2,0	10	1000
29	100	10	155	60	1,2	2,0	10	1000
30	300	10	155	60	1,2	2,0	10	1000
31	100	300	155	60	1,2	2,0	10	1000
33	300	300	155	60	1,2	2,0	10	1000
34	200	155	10	10	1,2	2,0	5	1000

35	200	155	300	10	1,2	2,0	5	1000
36	200	155	10	60	1,2	2,0	5	1000
37	200	155	300	60	1,2	2,0	5	1000
38	200	155	10	10	1,2	2,0	15	1000
39	200	155	300	10	1,2	2,0	15	1000
40	200	155	10	60	1,2	2,0	15	1000
41	200	155	300	60	1,2	2,0	15	1000
42	100	155	10	35	0,4	2,0	10	1000
43	300	155	10	35	0,4	2,0	10	1000
44	100	155	300	35	0,4	2,0	10	1000
45	300	155	300	35	0,4	2,0	10	1000
46	100	155	10	35	2	2,0	10	1000
47	300	155	10	35	2	2,0	10	1000
48	100	155	300	35	2	2,0	10	1000
49	300	155	300	35	2	2,0	10	1000
50	200	10	10	35	1,2	1,0	10	1000
51	200	300	10	35	1,2	1,0	10	1000
52	200	10	300	35	1,2	1,0	10	1000
52	200	300	300	35	1,2	1,0	10	1000
53	200	10	10	35	1,2	3,0	10	1000
54	200	300	10	35	1,2	3,0	10	1000
55	200	10	300	35	1,2	3,0	10	1000
56	200	300	300	35	1,2	3,0	10	1000
57	200	155	155	35	1,2	2,0	10	1000
58	200	155	155	35	1,2	2,0	10	1000
59	200	155	155	35	1,2	2,0	10	1000
60	200	155	155	35	1,2	2,0	10	1000
61	200	155	155	35	1,2	2,0	10	1000
62	200	155	155	35	1,2	2,0	10	1000

IV. 2.4. مكان إجراء التجربة

تم تنفيذ التجربة في زاوية مخصصة داخل المدرسة، استُخدمت كمخبر عملي بسيط، لكن فعال "الشكل (IV . 8)". هذا الفضاء ساعدنا على تنظيم العمل، و مراقبة كل خطوة بدقة، أين قمنا بتنظيم وفرز المواد الأولية، كذلك أين تم وضع فيه المفاعلات البلاستيكية التي تحتوي على الخليط العضوي، حيث توفرت فيه الظروف المناسبة للعمل، المتابعة اليومية وأهم عامل وهو التهوية.

الشكل (IV . 8) : صور للمخبر الذي تم فيه العمل.

IV. 3.4. تجهيز المفاعلات

استخدمنا دلاء بلاستيكية متوسطة الحجم كمفاعلات لتخمير المواد العضوية بسعة 6.2 لتر (قطرها: 20 سم وارتفاعها: 24 سم)، تم ترقيم هذه المفاعلات بإلصاق لصاقة تحمل رقم التجربة (من 0 إلى 62 حسب عدد التجارب). و لضمان دخول الهواء إلى داخل الكتلة العضوية، وضعنا أنابيب بلاستيكية مثقبة بشكل عمودي من أسفل الدلو إلى أعلاه "الشكل (IV . 9)". هذه الأنابيب تسمح بدخول الأوكسجين و توزيعه بالتساوي، مما يمنع تكوّن مناطق مغلقة تفتقر للهواء (لاهوائية)، و التي قد تؤثر سلبًا على التخمير. خلال ملء الدلاء، حرصنا على توزيع المواد بشكل متجانس و تجنب ترك فراغات كبيرة. كما قمنا بترطيب الخليط للوصول إلى نسبة رطوبة مناسبة، عادة بين 50% و60%، و هي النسبة المثلى لنشاط البكتيريا.

الشكل (IV . 9) : المفاعلات البلاستيكية التي تمت بها عملية التخمر الهوائي و شكل الأنابيب المستعملة في تهوية المزيج.

IV. 4.4. التهوية والتقليب

لم نعتمد على أجهزة تقليب ميكانيكية، بل استخدمنا طريقة بسيطة تُعرف بالتهوية الطبيعية، و هي إدخال الهواء عبر الأنابيب المثقبة دون استخدام مروحة أو آلة. هذه الطريقة سهلة و فعّالة في نفس الوقت، خاصة في الكميات الصغيرة. أما التقليب اليدوي، فقد كنا نقوم به فقط عند الحاجة، مثلًا عندما نلاحظ انخفاض التهوية أو ارتفاع الرطوبة. لم يكن التقليب دوريًا، بل تم بشكل متباعد، بهدف تجديد الهواء و توزيع الرطوبة و الحرارة داخل الخليط.

IV. 5. مراحل التخمير

امتدت فترة التخمير من **5إلى 15 أسبوعًا**، و خلالها مرّ الكومبوست بعدة مراحل **"الشكل (IV . 10)"**:

- **المرحلة الأولى (المرحلة الحارة) :** ترتفع فيها درجة الحرارة بسبب النشاط الكبير للبكتيريا.
- **الثانية (المرحلة الانتقالية) :** تبدأ الحرارة بالانخفاض تدريجيًا.
- **المرحلة المرحلة الثالثة (مرحلة النضج) :** تستقر الحرارة، و تصبح رائحة الخليط ترابية، و يكون الكومبوست جاهزًا للاستخدام.

التهوية و التقليب ساعدا على تجنب ظهور الروائح الكريهة أو مناطق متعفنة داخل المزيج.

الشكل (IV . 10) : مراحل الحصول على الكمبوست.

IV. 6. المتابعة والمراقبة

طوال فترة التخمير، قمنا بمراقبة الخصائص الفيزيائية والكيميائية للخليط بشكل منتظم. كنا نلاحظ:

- **اللون** :هل أصبح داكنًا كما في التربة الجيدة؟
- **الرائحة** :هل هي ترابية أم بها رائحة تعفن؟
- **القوام** :هل أصبح الخليط متماسكًا دون وجود قطع غير متحللة؟

كما أجرينا قياسات منتظمة لبعض المؤشرات:

- **درجة الحرارة** :باستخدام ميزان حرارة خاص.
- **درجة الحموضة** :(pH) لمعرفة إن كان الوسط مناسبًا للبكتيريا.
- **الناقلية الكهربائية** :(EC) لتقييم تركيز الأملاح الذائبة.

IV. 7. تقييم نضج الكمبوست وجمع العينات

بعد انتهاء فترة التخمير، تم تقييم نضج الكمبوست باستخدام عدة معايير نوعية و كمية.

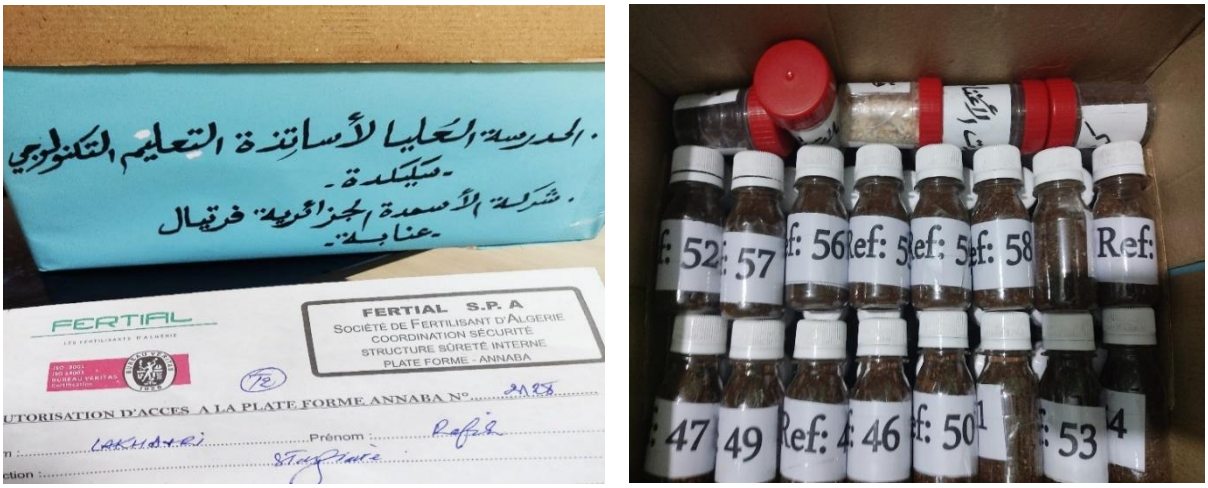
❖ من بين المعايير النوعية:

- تغير لون المادة إلى اللون البني الداكن أو الأسود.
- اختفاء الرائحة الكريهة، وظهور رائحة ترابية معتدلة.
- قوام متجانس و مفتت يشبه التربة.

❖ أما المعايير الكمية فشملت:

- ثبات القيم الكيميائية مثل درجة الحموضة و الناقلية الكهربائية.
- اخفاض نسبة المواد العضوية القابلة للتحلل.
- نتائج تحاليل إضافية حسب المعايير المعتمدة.

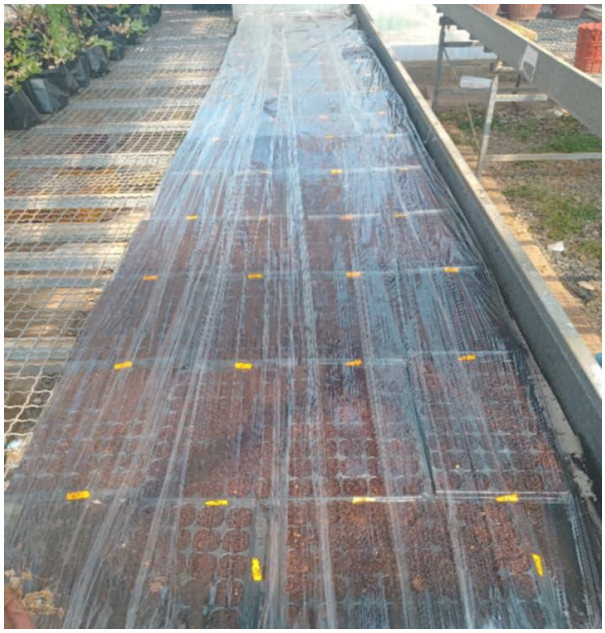
تم جمع العينات من مواقع متعددة داخل الدلو لتكون ممثلة للخليط بالكامل، حيث جُمعت في أوقات مختلفة لضمان تقييم شامل ودقيق. و تم إرسال العينات إلى مخبر شركة الأسمدة الجزائرية "فرتيال" لتحليل العينات و معرفة العناصر المغذية ونسبها في كل عينة **"الشكل (IV . 11)"**، كذلك تم اجراء بما قياساتpH ، الناقلية الكهربائية و الرطوبة بمخبر المدرسة.



الشكل (IV . 11) : تجميع العينات و ارسالها إلى مخبر شركة الأسمدة الجزائرية "فرتيال".

بعد الانتهاء من مرحلة تحليل الخصائص الفيزيائية و الكيميائية للكمبوست المنتج، شرعنا في اختبار نسبة الإنبات باعتبارها خطوة حاسمة لتقييم تأثير هذا السماد العضوي على نمو النباتات. يُعد اختبار الإنبات مؤشرًا بيولوجيًا بالغ الأهمية يعكس جودة الكمبوست و ملاءمته للاستعمال الزراعي. و قد أُجريت هذه التجربة في قسم العلوم الفلاحية بجامعة سكيكدة، داخل الدفيئة الجامعية (La Serre) **"الشكل (IV . 13)"**، حيث قمنا بزراعة بذور الطماطم **"الشكل (IV . 12)"** في وسط يحتوي على الكمبوست المنتج محليًا، مع إجراء زراعة موازية لنفس البذور في كومبوست تجاري مستورد **"الشكل (IV . 12)"** لأغراض المقارنة. تمت متابعة التجربة بدقة من خلال السقي المنتظم وملاحظة مراحل تطور البذور في كلا الوسطين، ما سمح لنا بتقييم الأداء البيولوجي للكمبوست المحضر و مدى كفاءته في دعم الإنبات و النمو الأولي للنباتات.

الشكل (IV . 12) : بذور الطماطم المستعملة و كذا الكمبوست التجاري الشاهد في اختبار الإنبات.



الشكل (IV . 13) : صواني الشتلات (صواني الإنبات) مرقمة بها عينات الكمبوست المحضر لإجراء اختبار الإنبات داخل الدفيئة.

المراجع

[01] هادية مهوات، ابتهاج حساسة، (2021)، تثمين الأسمدة العضوية (فضلات الدجاج) بواسطة مواد عضوية ومعدنية، مذكرة تخرج لنيل شهادة ماستر أكاديمي، جامعة الشخيد حمة لخضر، الوادي.

[02] عوايجية نوال، (2015)، تأثير العوامل الإيكوبيولوجية على بعض المؤشرات الدموية والبيوكيمائية لدى الماعز بشمال شرق الجزائر، مذكرة للحصول على شهادة الدكتوراه، جامعة باجي مختار، عنابة.

[03] فاضلي خميس، (2014)، إعداد مخطط الأعمال لمشروع إنتاج سماد الكالسيوم من قشر البيض، مذكرة مقدمة كجزء من متطلبات نيل شهادة الماستر، جامعة محمد خيضر، الوادي.

[04] رمضان محمد أبوزيد، (2020)، البيئة المائية وخصائص المياه، كتاب أكاديمي لطلاب شعبة الأسماك، كلية الزراعة، جامعة الفيوم.

[05] بوصلاح نسرين، بولحية هيام، (2022)، تأثير إضافة (SCG) للتربة على خصائص النمو لدى نوع من النجليات (القمح - Triticum) ونوع من الباقوليات (العدس - Lens Culinaris) دراسة ميدانية بشمال شرق الجزائر قسنطينة، مذكرة تخرج لنيل شهادة الماستر، جامعة الإخوة منتوري، قسنطينة.

[06] زعيتر غادة، دعاس مروة، (2019)، إنتاج سماد عضوي انطلاقاً من نفايات نخيل التمر (Phoenix dactylifera L) من منطقة بسكرة، مذكرة تخرج لنيل شهادة الماستر، جامعة الإخوة منتوري، قسنطينة.

الفصل الخامس

تحليل ومناقشة النتائج

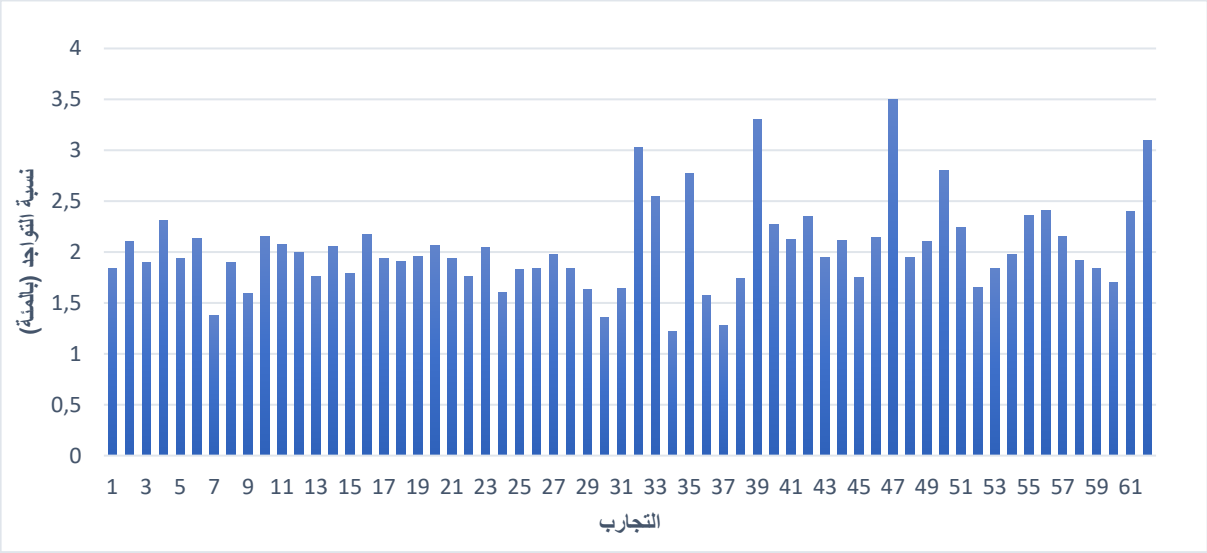
V. 1. مقدمة

يتناول هذا الفصل تحليل النتائج المتحصل عليها من مختلف القياسات المخبرية التي أُجريت بمخبر شركة الأسمدة الجزائرية "فرتيـــــــال"، و هذا لتقييم جودة السماد العضوي المنتج. ركّزنا بشكل خاص على تحديد تركيزات العناصر المغذية الأساسية: النيتروجين (N)، الفسفور (P)، و البوتاسيوم (K)، نظرًا لأهميتها الحيوية في دعم نمو النباتات و تحسين التربة. كما تم قياس مؤشرات إضافية مثل الأس الهيدروجيني (pH) و الناقلية الكهربائية (EC)،و كذا تحديد النسبة نسبة الكربون إلى الآزوت (C/N)، و التي تُعد معايير رئيسية في تحديد صلاحية السماد للاستخدام الزراعي. و قد خضعت جميع النتائج لتحليل علمي ممنهج، مدعّم بالرسوم البيانية التوضيحية، من أجل استنتاج مدى فعالية السماد المحضر، أيضًا تم اجراء اختبار الإنبات كمرحلة ختامية، لقياس الأثر البيولوجي المباشر للسماد على نمو النبات، مما أتاح لنا التحقق عمليًا من فعالية المنتج. و قد تم تحليل هذه النتائج بشكل علمي ممنهج بهدف استخراج استنتاجات دقيقة و موثوقة حول مدى نجاعة السماد العضوي المحضر.

V. 2. تحليل نسب تغير العناصر المغذية في العينات المدروسة التي تم الحصول عليها من مخبر شركة الأسمدة الجزائرية "فرتيال"

V. 1.2 نسب تغير الآزوت في العينات المدروسة

تم تحليل نسبة الآزوت في جميع العينات المنجزة سابقا، النتائج المتحصل عليها مبينة في الشكل **"الشكل (V . 1)"** :



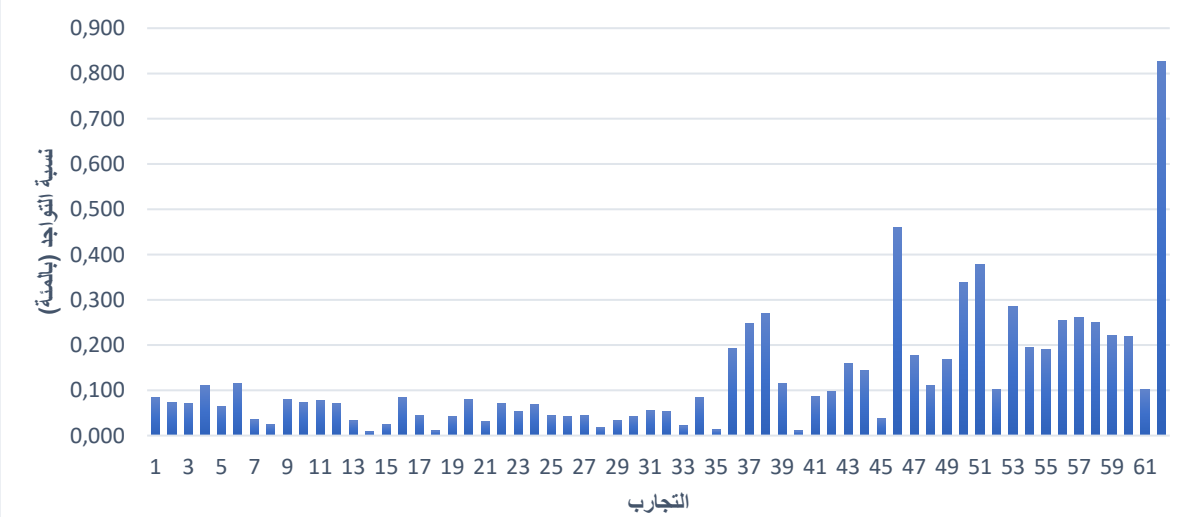
الشكل (V . 1) : نسبة تواجد الآزوت في العينات المدروسة.

أوضح المنحنى البياني الخاص بعنصر الآزوت تفاوتًا ملحوظًا في تركيز هذا العنصر بين العينات المدروسة. فقد سُجّلت أعلى النسب في العينات رقم 32، 39، 47، و 62، حيث تراوحت القيم بين 3.03% و 3.5%، و يُنسب هذا الارتفاع إلى احتواء هذه العينات على نسب معتبرة من المخلفات الحيوانية، و على وجه الخصوص روث الدواجن و الأغنام، المعروفة بثرائها بعنصر الآزوت. في المقابل، أظهرت العينات رقم 07، 30، 34، و 37 نسبًا منخفضة لم تتجاوز 1.5%، و يرجع سبب ذلك إلى هيمنة مكونات فقيرة بالآزوت، مثل كرناف

النخيل و قشور البيض. أما باقي العينات، فقد تراوحت نسب الآزوت فيها بين 1.6% و 2.5%، مما يعكس توازنًا نسبيًا في تركيب المواد العضوية المستخدمة، و يُعد هذا المستوى مناسبًا لإنتاج سماد عضوي فعّال في تعزيز النمو الخضري للنباتات.

V. 2.2. نسب تغير الفسفور في العينات المدروسة

تم تحليل نسبة الفسفور في جميع العينات المنجزة سابقا، النتائج المتحصل عليها مبينة في الشكل "الشكل (V . 2)" :

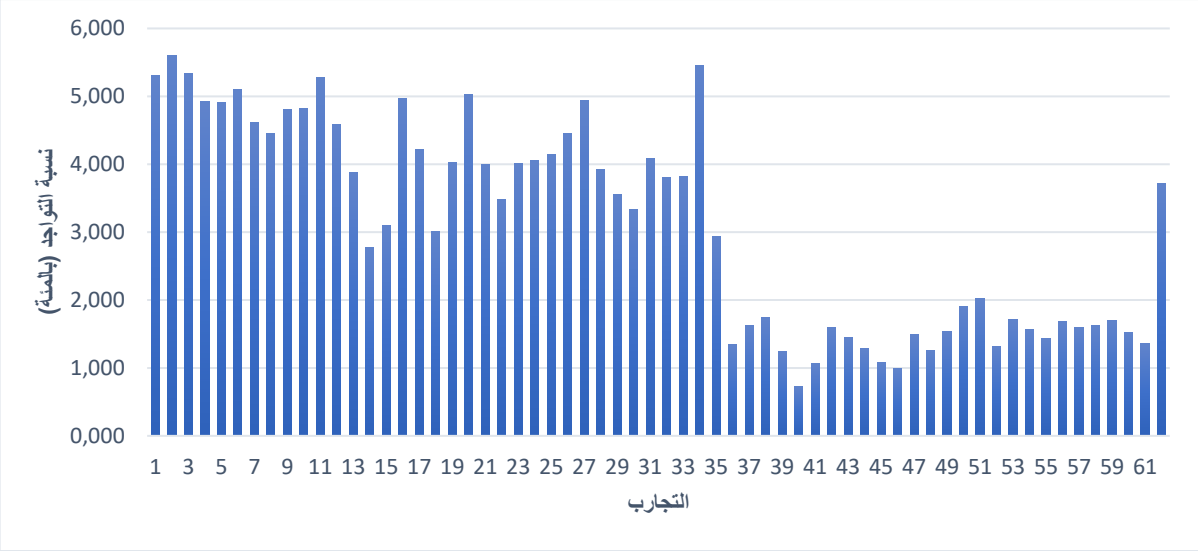


الشكل (V . 2) : نسبة تواجد الفسفور في العينات المدروسة.

أبرز المنحنى البياني الخاص بعنصر الفسفور وجود تباين واضح في تركيز هذا العنصر بين العينات محل الدراسة. فقد سجّلت العينة رقم 62 أعلى تركيز بلغ حوالي 0.822%، تلتها العينات رقم 46، 50، و 51 التي تجاوزت نسبتها 0.330%، و يُنسب هذا الارتفاع إلى احتواء هذه العينات على كميات معتبرة من فضلات الدواجن و ماء الأكواريوم، و اللذان يُعرفان بثرائهما بالفوسفات العضوي و غير العضوي، إلى جانب التحلل السريع لمركبات الروث، مما يُسرّع من إطلاق الفسفور في صورة قابلة للامتصاص. في المقابل، أظهرت العينات رقم 29، 21، 14، و 09 نسبًا ضعيفة من الفسفور لم تتجاوز 0.1%، و يرجع سبب ذلك غالبًا إلى سيطرة مكونات فقيرة بهذا العنصر، مثل كرناف النخيل و قشور البيض، إضافةً إلى احتمال انخفاض النشاط الميكروبي في هذه العينات، مما يُحدّ من تحويل الفسفور العضوي إلى أشكال ذائبة قابلة للاستفادة النباتية. أما باقي العينات، فقد تراوحت نسب الفسفور فيها بين 0.1% و 0.3%، و هو ما يُشير إلى وجود توازن نسبي في تركيبة المواد الأولية، يجمع بين المصادر النباتية و الحيوانية.

V. 3.2. نسب تغير البوتاسيوم في العينات المدروسة

تم تحليل نسبة البوتاسيوم في جميع العينات المنجزة سابقا، النتائج المتحصل عليها مبينة في الشكل "الشكل (V . 3)" :



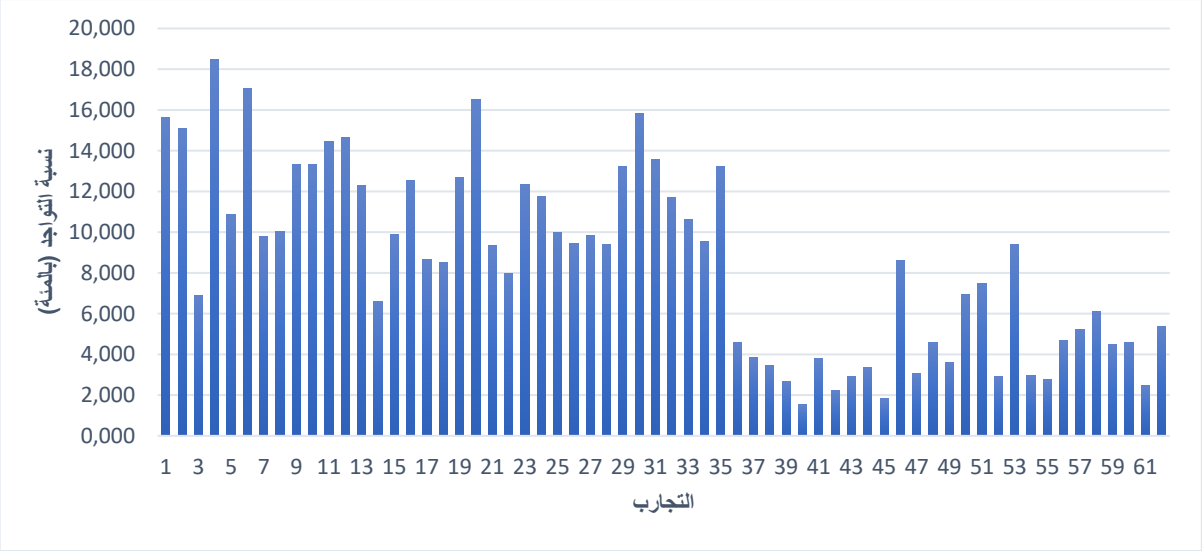
الشكل (V . 3) : نسبة تواجد البوتاسيوم في العينات المدروسة.

بيّن المنحنى البياني الخاص بعنصر البوتاسيوم وجود تفاوت واضح في تركيزه بين العينات المختلفة. فقد أظهرت العينات رقم 1، 2، 6، 14، 21، 30، و 34 نسبًا مرتفعة، تراوحت بين 4.500% و 5.800%، ويُعزى ذلك أساسًا إلى وفرة فضلات الدواجن و تفل القهوة في تركيبة هذه العينات، إذ تُعرف هذه المكونات بكونها مصادر غنية بعنصر البوتاسيوم. في الجهة المقابلة، رُصدت نسب منخفضة لدى عينات أخرى، مثل 37، 39، 41، 43، و 45، حيث لم تتجاوز قيمة البوتاسيوم فيها 2.000%، ويرجع هذا الانخفاض إلى هيمنة مواد فقيرة بالبوتاسيوم، لا سيما بقايا الأوراق الجافة أو المكونات الغنية بالسليلوز و الفقيرة بالمعادن. فيما يخص باقي العينات، فقد تراوحت النسب بين 2.000% و 4.500%، مما يُشير إلى تركيب متوازن نسبيًا للمكونات العضوية، و هو ما انعكس على محتواها المتوسط من عنصر البوتاسيوم.

V. 4.2 نسب تغير الكالسيوم في العينات المدروسة

تم تحليل نسبة الكالسيوم في جميع العينات المنجزة سابقا، النتائج المتحصل عليها مبينة في الشكل **"الشكل (V . 4)"** :

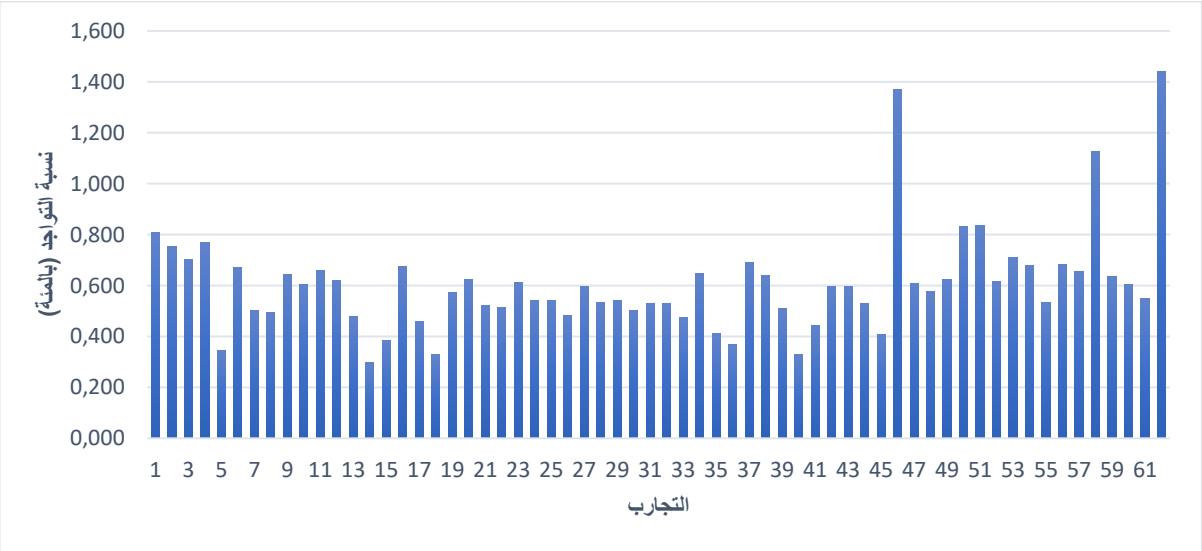
أوضحت النتائج البيانية الخاصة بالكالسيوم وجود تفاوت واضح في تركيز هذا العنصر بين العينات المدروسة. فقد سجّلت العينات رقم 04، 06، 20 أعلى القيم، حيث تراوحت النسب بين 18.000 % و16.000%، و يُعزى هذا الارتفاع إلى الوفرة الكبيرة لقشور البيض ضمن التركيبة الأولية، نظرًا لغناها الطبيعي بالكالسيوم. في المقابل، لوحظت نسب منخفضة لدى عينات مثل 40، و45، إذ لم تتجاوز 2.000%، و يُرجّح أن يعود ذلك إلى هيمنة مكونات نباتية فقيرة بالكالسيوم، مثل كرناف النخيل و بعض المواد الليفية الأخرى. أما بقية العينات، فقد تراوحت نسب الكالسيوم فيها بين 12.000% و 6.000%، مما يعكس تركيبة عضوية متوازنة نسبيًا بين المصادر الحيوانية و النباتية، انعكست في تركيز متوسط للكالسيوم في المنتج النهائي.



الشكل (V . 4) : نسبة تواجد الكالسيوم في العينات المدروسة.

V. 5.2. نسب تغير المغنزيوم في العينات المدروسة

تم تحليل نسبة المغنزيوم في جميع العينات المنجزة سابقا، النتائج المتحصل عليها مبينة في الشكل **"الشكل (V . 5)"** :



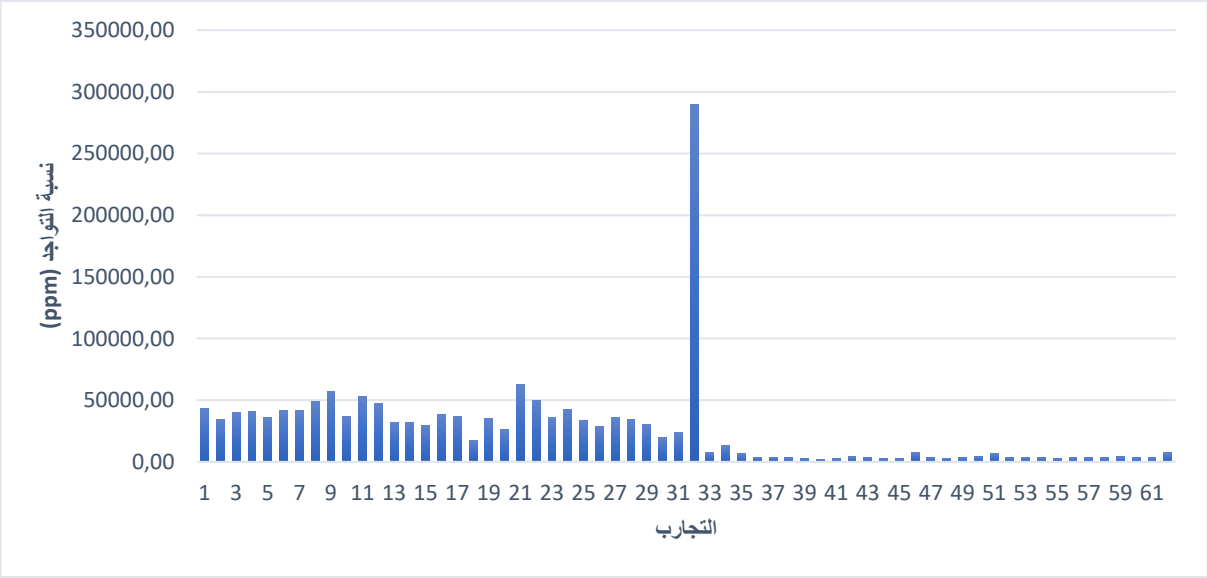
الشكل (V . 5) : نسبة تواجد المغنزيوم في العينات المدروسة.

أوضحت النتائج البيانية الخاصة بعنصر المغنزيوم وجود تباين ملحوظ في تركيزه بين العينات المدروسة. فقد سجّلت العينات رقم 46، 58، و 62 أعلى القيم، حيث تراوحت النسب بين 1.250% و 1.440%، و يُنسب هذا الارتفاع إلى احتواء هذه العينات على كميات معتبرة من فضلات الدواجن و تفل القهوة، و هما من المصادر العضوية المعروفة بغناها بعنصر المغنزيوم. في المقابل، لوحظ انخفاض واضح في نسب المغنزيوم لدى بعض العينات، مثل 5، 14، 18، و 40، إذ لم تتجاوز القيم 0.400%، و يُرجّح أن يعود ذلك إلى سيطرة مكونات أولية فقيرة بهذا العنصر، خاصة كرناف النخيل و قشور البيض. أما بقية العينات، فقد تراوحت فيها نسب المنغنيز بين

0.400%و 0.800%، مما يعكس وجود نوع من التوازن في تركيب المواد العضوية، و هو ما انعكس بدوره على التركيز المتوسط لهذا العنصر في السماد الناتج.

V. 6.2. نسب تغير الصوديوم في العينات المدروسة

تم تحليل نسبة الصوديوم في جميع العينات المنجزة سابقا، النتائج المتحصل عليها مبينة في الشكل "الشكل (V . 6)" :



شكل (V . 6) : نسبة تواجد الصوديوم في العينات المدروسة.

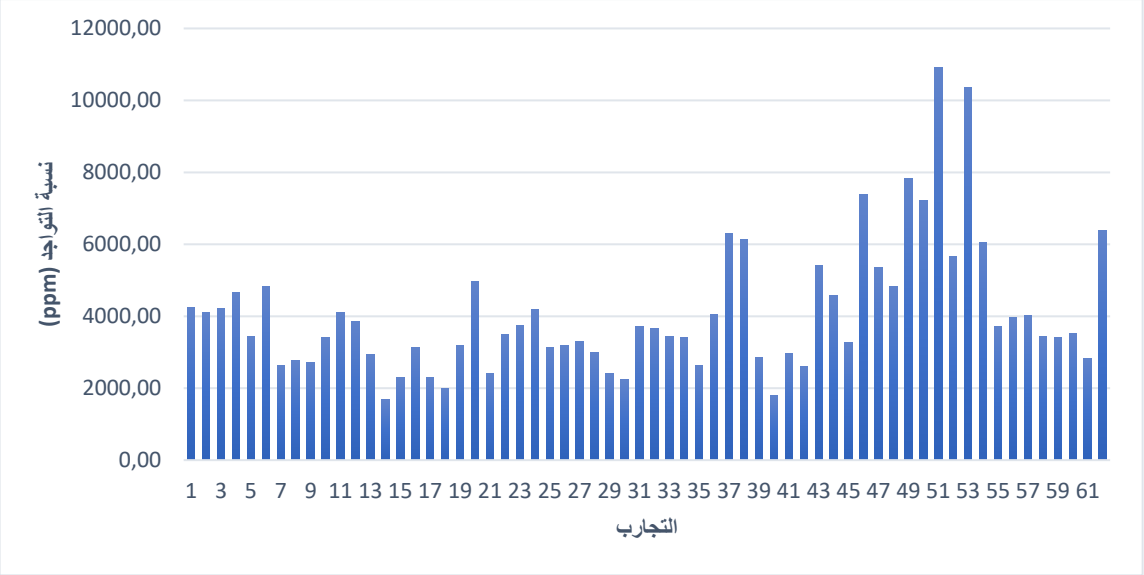
أبرز المنحنى البياني الخاص بعنصر الصوديوم وجود تفاوت كبير في نسب تركيزه بين العينات. فقد سجّلت العينة رقم 32 أعلى نسبة، حيث بلغ التركيز 280000.00 ppm، ويُنسب هذا الارتفاع إلى وجود كميات معتبرة من المواد الغنية بالصوديوم ضمن التركيبة الأولية، لا سيما فضلات الدواجن و فضلات الأغنام، بالإضافة إلى ماء الأكواريوم، الذي يُعد مصدرًا مباشرًا للأملاح المعدنية و على رأسها الصوديوم.

عكس ذلك، رُصدت نسب منخفضة من الصوديوم في عينات مثل 34، 46، و 62، إذ لم تتجاوز 12905.00 ppm، ويُرجّح أن يكون ذلك نتيجة هيمنة مواد أولية فقيرة بالصوديوم، مثل كرناف النخيل و قشور البيض.

أما بقية العينات، فقد تراوحت نسب الصوديوم فيها بين 17487.00 ppm و 62800.00 ppm، مما يدلّ على تركيبة عضوية متوازنة نسبيًا، أدّت إلى تركيز متوسط لهذا العنصر في المنتج النهائي.

V. 7.2. نسب تغير الحديد في العينات المدروسة

تم تحليل نسبة الصوديوم في جميع العينات المنجزة سابقا، النتائج المتحصل عليها مبينة في الشكل "الشكل (V . 7)" :



الشكل (V . 7) : نسبة تواجد الحديد في العينات المدروسة.

أوضح المنحنى البياني الخاص بعنصر الحديد وجود تفاوت واضح في تركيزه بين العينات المختلفة. فقد سجّلت العينتان رقم 51 و 53 أعلى القيم، حيث تجاوزت 10000.00 ppm، ويُنسب هذا الارتفاع إلى احتواء العينات على نسب معتبرة من المواد الغنية بالحديد، خصوصًا فضلات الدواجن وفضلات الأغنام، إلى جانب ماء الأكواريوم الذي يُعد من المصادر المباشرة للأملاح المعدنية، بما في ذلك عنصر الحديد.

في المقابل، سُجّلت أدنى القيم لدى عينات مثل 14، 18، و 40، إذ لم تتعدَّ 2000.00 ppm، و من المحتمل أن يُعزى ذلك إلى هيمنة مكونات أولية فقيرة بالحديد، مثل كرناف النخيل و قشور البيض.

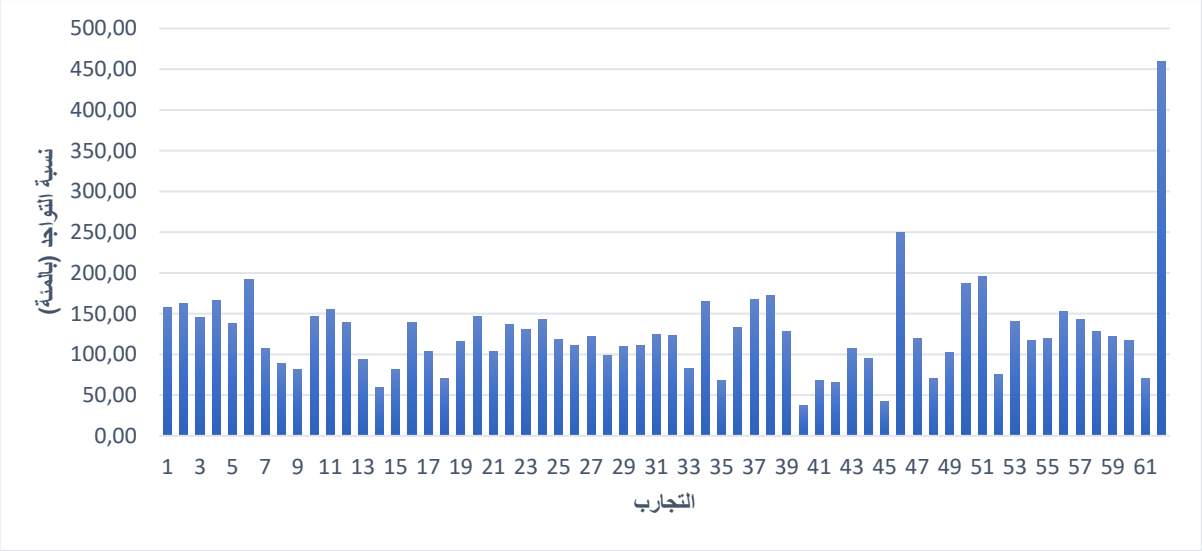
أما بقية العينات، فقد تراوحت فيها نسب الحديد بين 2000.00 ppm و 6000.00 ppm، ما يعكس توازناً نسبيًا في التركيبة العضوية، ساهم في إنتاج محتوى متوسط من عنصر الحديد في السماد.

V. 8.2. نسب تغير المنغنيز في العينات المدروسة

تم تحليل نسبة المنغنيز في جميع العينات المنجزة سابقا، النتائج المتحصل عليها مبينة في الشكل **"الشكل (V . 8)"** :

أوضحت النتائج البيانية الخاصة بعنصر المنغنيز وجود تباين ملحوظ في تركيزه بين العينات المدروسة. فقد سجّلت العينة رقم 62 أعلى قيمة، حيث تبلغت نسبة المنغنيز 460.00%، و يُنسب هذا الارتفاع إلى احتواء هذه العينات على كميات معتبرة من فضلات الدواجن و تفل القهوة، و هما من المصادر العضوية المعروفة بغناها بعنصر المنغنيز، وكذا ماء الأكواريوم. في المقابل، لوحظ انخفاض واضح في نسب المنغنيز لدى بعض العينات، مثل 40، و 45، إذ لم تتجاوز القيم 50.00%، و يُرجّح أن يعود ذلك إلى سيطرة مكونات أولية فقيرة بهذا العنصر، خاصة كرناف النخيل و قشور البيض.

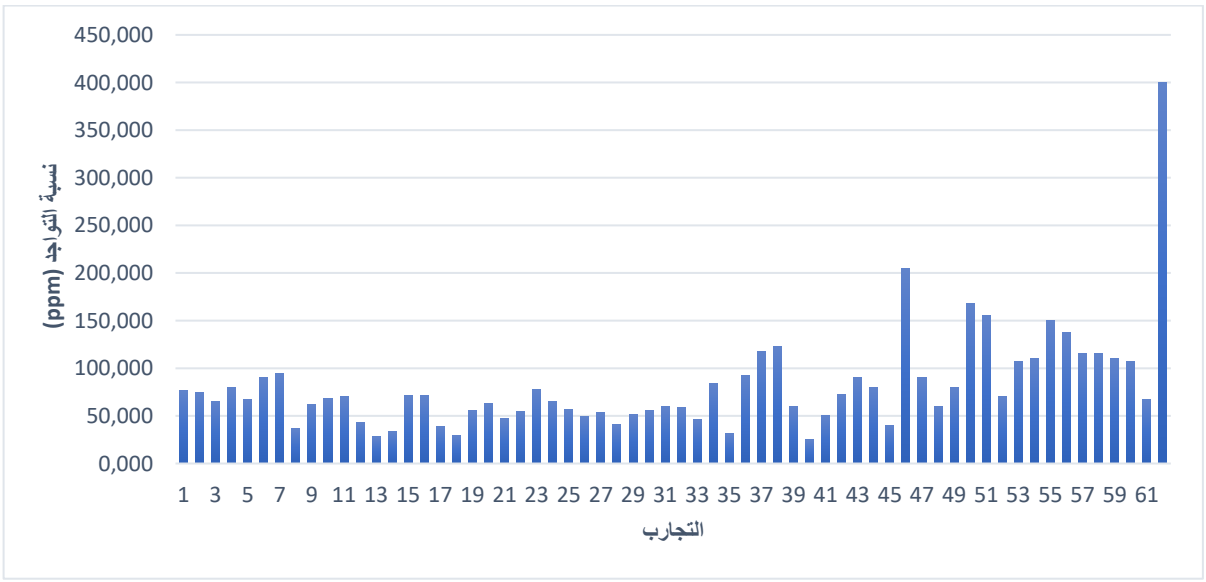
أما بقية العينات، فقد تراوحت فيها نسب المنغنيز بين 170.00% و 80.00%، مما يعكس وجود نوع من التوازن في تركيب المواد العضوية، و هو ما انعكس بدوره على التركيز المتوسط لهذا العنصر في السماد الناتج.



الشكل (V . 8) : نسبة تواجد المنغنيز في العينات المدروسة.

V. 9.2. نسب تغير الزنك في العينات المدروسة

تم تحليل نسبة المغنزيوم في جميع العينات المنجزة سابقا، النتائج المتحصل عليها مبينة في الشكل **"الشكل (V . 9)"** :

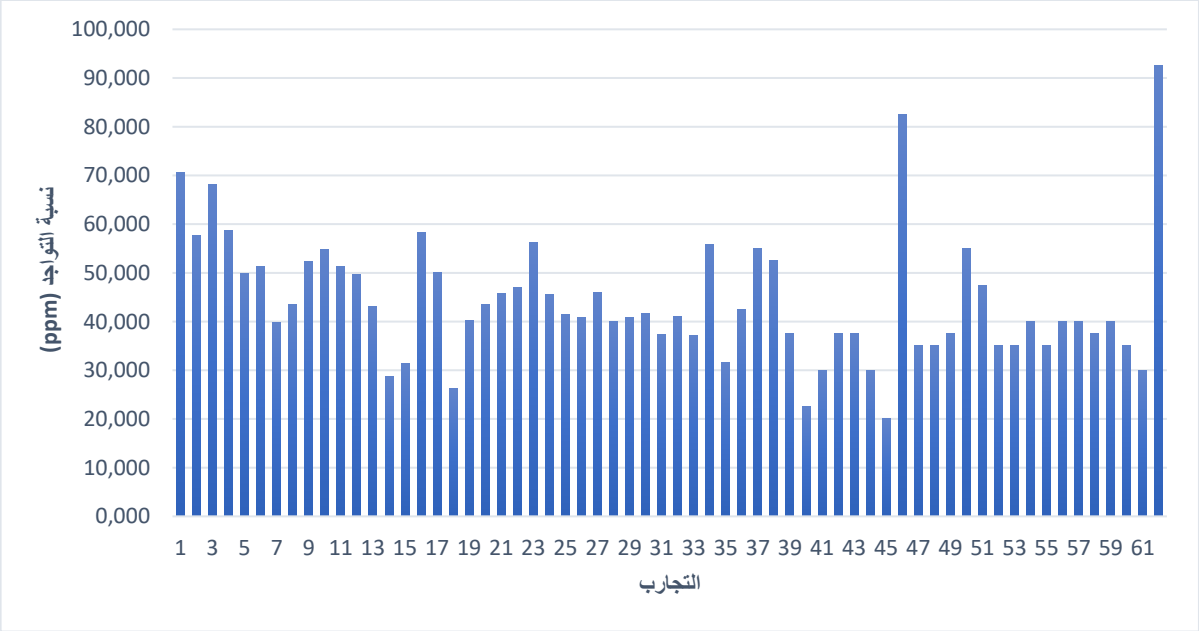


الشكل (V . 9) : نسبة تواجد الزنك في العينات المدروسة.

أظهرت النتائج البيانية أن العينة رقم 62سجّلت أعلى تركيز لعنصر الزنك، حيث بلغت القيمة 400.00 ppm، يُنسب هذا الارتفاع إلى احتواء هذه العينة على نسب معتبرة من المواد الأولية الغنية بالزنك، خاصة فضلات الدواجن و تفل القهوة. في المقابل، لوحظ انخفاض ملحوظ في تركيز الزنك لدى عدد من العينات، مثل 08، 13، 33، و45، إذ لم تتجاوز القيم فيها 45.00 ppm، و يُرجّح أن يعود ذلك إلى سيطرة مكونات فقيرة بعنصر الزنك على تركيبتها. أما باقي العينات، فقد تراوحت تركيزات الزنك فيها بين 45.00 ppm و 90.00 ppm، ما يدلّ على وجود توازن نسبي في المواد العضوية المستعملة، و هو ما انعكس على تركيز متوسط للزنك في السماد المنتج.

V. 10.2. نسب تغير النحاس في العينات المدروسة

تم تحليل نسبة النحاس في جميع العينات المنجزة سابقا، النتائج المتحصل عليها مبينة في الشكل "الشكل (V . 10)" :



الشكل (V . 10) : نسبة تواجد النحاس في العينات المدروسة.

بيّن المنحنى البياني الخاص بعنصر النحاس وجود تباين ملحوظ في نسب تركيزه بين العينات. فقد سجّلت العينتان رقم 46 و 62 أعلى القيم، حيث تجاوزتا 80.000 ppm، و يُعزى هذا الارتفاع إلى احتواء المواد الأولية لهذه العينات على نسب معتبرة من النحاس، و لا سيما فضلات الدجاج وفضلات الأغنام، بالإضافة إلى تفل القهوة المعروف بتركيزه المرتفع من هذا العنصر. في المقابل، سُجّلت نسب منخفضة في عينات مثل 18، 14، 40، و 45، إذ لم تتعدَّ 30.000 ppm، و يُرجّح أن يكون هذا الانخفاض ناتجًا عن غلبة مكونات فقيرة بالنحاس، مثل كرناف النخيل و قشور البيض. أما بقية العينات، فقد تراوحت نسب النحاس فيها بين 30.000 ppm و 55.000 ppm، ما يعكس تركيبة عضوية متوازنة نسبيًا، أدّت إلى إنتاج محتوى متوسط من عنصر النحاس في السماد.

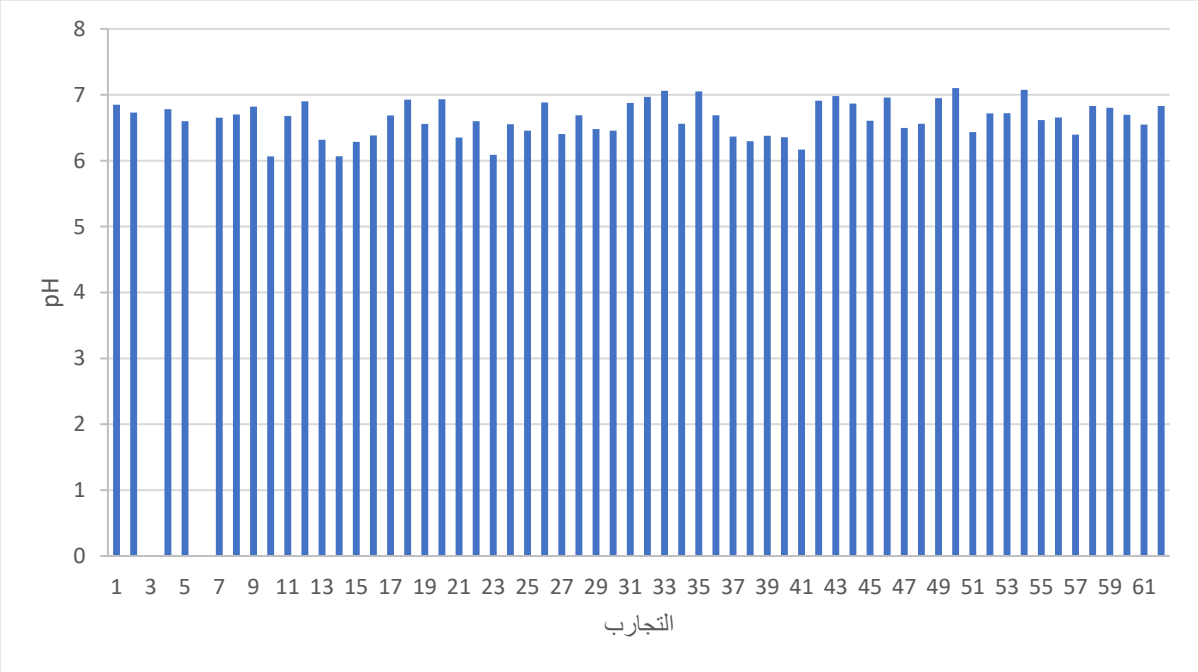
V. 3. تحليل قيم الـ pH و الناقلية للعينات المدروسة التي تم قيسها في مخبر المدرسة

V. 1.3. تحليل قيم الأس الهيدروجيني للعينات المدروسة

تم تحليل قيم ال pH في جميع العينات المنجزة سابقا، النتائج المتحصل عليها مبينة في الشكل "الشكل (V . 10)" :

أوضح المنحنى البياني الخاص بقيم pH وجود تباين طفيف بين العينات المدروسة. فقد سجّلت العينتان رقم 33 و54 أعلى القيم، بلغت حوالي 7.0، و ترجع هذه القيمة إلى احتواء المواد الأولية لهذه العينات على نسب معتبرة من الشوارد القاعدية، الناتجة عن مكونات مثل ماء الأكواريوم و فضلات الدواجن، و التي تُحرّر شوارد بشكل سريع أثناء التحلل. في المقابل، سُجّلت قيم منخفضة نسبيًا في عينات مثل 10، 14، 23، و 41، حيث تراوحت بين 6.2 و 6.1، و يُرجّح أن يكون هذا الانخفاض ناتجًا عن غلبة مكونات فقيرة بالشوارد القابلة

للتحرر السريع، مثل كرناف النخيل و قشور البيض. ورغم أن قشور البيض غنية بكربونات الكالسيوم ($CaCO_3$)، إلا أنها تتحلل ببطء شديد في الظروف العادية، و لا تُطلق شواردها القاعدية بسهولة خلال فترة التحلل القصيرة، ما يجعل تأثيرها على pH محدودًا في المدى القصير. أما بقية العينات، فقد تراوحت قيم الأس الهيدروجيني فيها بين 6.8 و 6.3، ما يدلّ على توازن نسبي في تركيب المواد الأولية، مما أسهم في إنتاج وسط متعادل إلى حمضي ضعيف، و هو مناسب لعمليات التحلل العضوي.



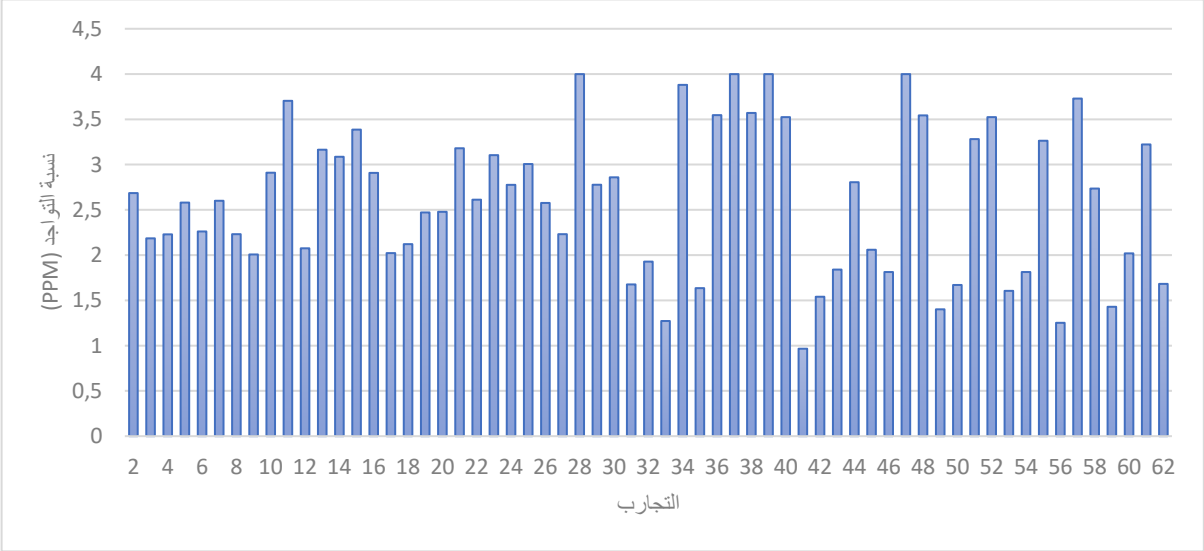
شكل (V . 11) : درجة حموضة العينات المدروسة.

V. 2.3. تحليل قيم الناقلية للعينات المدروسة

تم تحليل قيم الناقلية في جميع العينات المنجزة سابقا، النتائج المتحصل عليها مبينة في الشكل **"الشكل (V . 12)"** :

بيّنت النتائج المستخلصة من المنحنى البياني للناقلية الكهربائية تباينًا ملحوظًا في القيم المسجلة بين العينات، مما يعكس اختلاف تركيبة المواد الأولية الداخلة في كل عينة من حيث تركيز الشوارد الذائبة. فقد سجّلت العينات رقم 28، 37، 39، و47 أعلى قيم للناقلية، قُدّرت بـ 4.00 mS/cm، و هو مؤشر واضح على ارتفاع محتواها من الأملاح الذائبة. ويمكن ربط هذا الارتفاع بوجود مكوّنات غنية بالشوارد مثل ماء الأكواريوم، الذي يحتوي على أملاح معدنية مذابة (كالصوديوم، البوتاسيوم، الكالسيوم...)، بالإضافة إلى فضلات الدواجن، المعروفة بثرائها بالعناصر المعدنية و سهولة تحللها، مما يزيد من تركيز الشوارد في المستخلص المائي للسماد. في المقابل، سجّلت العينة رقم 41 أدنى قيمة للناقلية بلغت 0.90 mS، مما يشير إلى محتوى منخفض من الشوارد الذائبة. ويُعزى ذلك إلى سيطرة مكونات أولية فقيرة بالأملاح، مثل كرناف النخيل و قشور البيض، حيث أن الأولى تتكون أساسًا من ألياف سليلوزية ضعيفة الذوبان، و الثانية وإن كانت غنية بالكالسيوم، إلا أن تركيبها المعدني في صورة كربونات غير ذائبة بسهولة في الماء، مما يقلل من إسهامها في رفع قيمة الناقلية. أما باقي

العينات، فقد تراوحت قيم الناقلية فيها بين 3.50 mS و 2.00 mS، و هي مستويات متوسطة تعكس توازنًا نسبيًا بين المواد الغنية بالأملاح و تلك الفقيرة بها. و تُعد هذه النسب مؤشرًا إيجابيًا على نضج نسبي للتخمير و فعالية عملية التحلل العضوي، خاصة عندما تكون القيم ضمن المجال الأمثل لنمو النباتات دون أن تشير إلى ملوحة زائدة قد تؤثر سلبًا على التربة أو المحصول.



شكل (V . 12) : ناقلية العينات المدروسة.

V. 4. نمذجة العوامل المؤثرة على نضج الكمبوست

اخترنا في هذه الدراسة ،العمل مع تصاميم (Box-Behnken BBD)، و التي يتم من خلالها تغيير جميع العوامل من تجربة إلى أخرى من أجل تقدير تأثيراتها المختلفة، بعبارة أخرى ندرس تأثير أحد العوامل بتغير العوامل الأخرى في الاستجابة، تكمن مزايا التصاميم المعمول بها بشكل أساسي في انخفاض تكلفتها، انخفاض عدد التجارب، ودراسة التداخلات المحتملة بين العوامل. يتألف تصميم بوكس-بهنكن (BBD) من 2^k تجربة (k: تمثل العوامل الثلاثة في التجربة، 2: عدد مستويات كل تجربة)، و هو مفيد جدًا للدراسات الأولية أو لمرحلة التحسين. في دراستنا هذه، تم استخدام تصميم تجريبي كامل مكون من 62 تجربة لدراسة أهمية العوامل الفيزيوكيميائية مثل كمية بن القهوة (Qcob)،كمية فضلات الاغنام (Qshd)،كمية فضلات الدجاج (Qchd)،كمية قشور البيض (Qegs)، كمية ماء حوض الأسماك (Qwat) ، عدد مصادر التهوئة (Nais)، مدة حضانة الكبوست (t) ، في تحسين نسبة C/N في عينات الكمبوست المحضرة يوضح **"الجدول (V . 1)"**، عوامل الإدخال و مستوياتها في التجربة. ولدراسة التداخلات المختلفة بين العوامل الفيزيوكيميائية التي تؤثر على التفاعل، استخدمنا طريقة التصميم التجريبي سبع عوامل مستقلة بمستويات مختلفة، بما في ذالك كمية بن القهوة (Qcob)، كمية فضلات الاغنام (Qshd)،كمية فضلات الدجاج (Qchd)، كمية قشور البيض (Qegs)، كمية ماء حوض الأسماك (Qwat)، عدد مصادر التهوئة (Nais)، مدة حضانة الكبوست (t) مع التكرارات الثلاثة في النقطة المركزية.

الجدول (V . 1) : المستويات المختلفة للعوامل التي تم العمل بها في دراسة نسبة C/N في عينات الكمبوست المحضرة.

العوامل	الوحدة	الرمز	المستوى الأدنى	النقطة المركزية	المستوى الأعلى
لكمية بن القهوة	Qcob)	g	100	200	300
كمية فضلات الاغنام	(Qshd)	g	10	155	300
كمية فضلات الدجاج	Qchd	g	10	155	300
كمية قشور البيض	(Qegs)	g	10	35	60
كمية ماء حوض الاسماك	(Qwat	L	0,4	1,2	2
عدد مصادر التهوئة	Nais	-	1	2	3
مدة حضانة الكبوست	(t)	اسبوع	5	10	15

في هذه الدراسة، تم اختيار نسبة C/N في عينات الكمبوست المحضرة كاستجابة (Y) للحصول على الشروط المثلى لعملية تحضير الكومبوست، تم تحليل البيانات باستخدام البرنامج الإحصائي Minitab22، والذي استعمل لإستنتاج التغييرات الأساسية الفردية و التغييرات الأساسية المتداخلة بين مختلف العوامل المدروسة [1، 3]. في هذه الدراسة، تم إعطاء العدد الإجمالي للتجارب التي أجريت من خلال هذه المعادلة:

$$N^{br}_{exp} = 2^{\varepsilon} + P \text{.....(1)}$$

حيث:

ε : عدد العوامل المدروسة.

P: عدد نقاط المركز المطبقة لاختبار الحدود التربيعية بين المستويات المنخفضة والعالية.

و تستخدم النقاط المركزية لتقدير وضوح و انحناء النموذج المطبق وهكذا، تم إجراء 15 تجربة في هذه الدراسة، بما في ذلك مجموعة من مستويات العوامل المدروسة كما هو موضح في **"الجدول (V . 2)"**، يمكن تطبيق نتائج التصميم المشار إليه من حيث نموذج الانحدار و الاستجابة النظرية **"الجدول (V . 2)"**، من خلال المعادلة التالية [1، 2]:

$$(y) = a_0 + \sum_{i=1}^{k} a_i x_i + \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=i+1}^{k} a_{ij} x_i x_j + \varepsilon \text{ ... ... (2)}$$

حيث:

ε: هو الحد المتبقي.

a_0: هو متوسط قيمة النتيجة.

a_i: هو المعاملات الخطية.

a_{ij} و a_{ijk}: يرمز إلى معاملات التفاعل بين العوامل المدروسة.

x_i، x_j و x_k: العوامل المستقلة.

تم استخدام برنامج Minitab 22 الإحصائي لنظام و يندوز لإنشاء تصميم التجارب (DoE) و تحليل البيانات المتحصل عليها، باعتماد اختبار F-Value و P-Value لتحليل المعاملات و استخدام معادلة رياضية من الدرجة الثانية لحساب معاملات الانحدار، استخدم اختبار عدم التطابق لتقييم مدى التوافق مع النماذج الرياضية، تم التحقق من الدلالة الإحصائية للنموذج باستخدام اختبار F-test. تم تطبيق التمثيل البياني لسطح الاستجابة لتوضيح تأثيرات العوامل المستقلة على الإستجابات المختارة و اختيار أفضل نموذج على أساس أعلى قيم R^2، و يجب أن تكون قيم P أقل من 0.05.

V. 1.4. تصميم نموذج بوكس-بهنكن الكامل 3^2

تم إجراء تحسين التصميم التجريبي لنموذج بوكس-بهنكن الكامل في شكل مصفوفة من 62 تجربة لمستويات مختلفة من العوامل المدروسة و نسبة C/N، في عينات الكمبوست المحضرة التي تم الحصول عليها و القيم التي تم التنبؤ بها، كما هو موضح في **"الجدول (V . 2)"**، و تظهر النتائج التي تم الحصول عليها بوضوح أن نسبة C/N في عينات الكمبوست التي تم الحصول عليها تراوحت بين 12,70% إلى 34,11%، و يمكن اعتبار هذه المساحة التجريبية الكبيرة ميزة لدراستنا حيث يمكن أن تحتوي على الشروط المثلى المطلوبة، و باستخدام هذه النتائج يمكننا تقدير التغييرات الأساسية الفردية والتغييرات الأساسية المتداخلة بين العوامل التي تم دراستها.

الجدول (V . 2) : مصفوفة تصميم BBD و قيم نسبة السكر في عصير التمر و مردود استخلاصه المتوقعة و المتحصل عليها.

Trials	العوامل المدروسة							الاستجابة العملية	الاستجابة المتنبء بها
	Qcob (g)	Qshd (g)	Qchd (g)	Qegs (g)	Qwat (L)	Nais (unite)	t (Week)	$(N/C)_{EXP}$	(N/C) Pre
1	200	155	155	10	0,4	1,0	10	20,0518	22,5661
2	200	155	155	60	0,4	1,0	10	22,9580	22,8843
3	200	155	155	10	2	1,0	10	20,0000	20,3398
4	200	155	155	60	2	1,0	10	20,2300	20,9594
5	200	155	155	10	0,4	3,0	10	21,5180	20,7886
6	200	155	155	60	0,4	3,0	10	22,5080	22,1682
7	200	155	155	10	2	3,0	10	24,5900	24,6637
8	200	155	155	60	2	3,0	10	28,8590	26,3447
9	100	155	155	35	1,2	1,0	5	20,8304	20,8868
10	300	155	155	35	1,2	1,0	5	24,5304	24,5426
11	100	155	155	35	1,2	3,0	5	26,8304	26,6907
12	300	155	155	35	1,2	3,0	5	30,0000	30,0813
13	100	155	155	35	1,2	1,0	15	25,8304	25,7491
14	300	155	155	35	1,2	1,0	15	27,5304	27,6701
15	100	155	155	35	1,2	3,0	15	23,8304	23,8182
16	300	155	155	35	1,2	3,0	15	25,5304	25,4740
17	200	10	155	35	0,4	2,0	5	17,2618	17,7513
18	200	300	155	35	0,4	2,0	5	26,0918	26,0069
19	200	10	155	35	2	2,0	5	21,2690	20,7263
20	200	300	155	35	2	2,0	5	27,0990	27,4820
21	200	10	155	35	0,4	2,0	15	19,2618	18,8788

22	200	300	155	35	0,4	2,0	15	27,0918	27,6345
23	200	10	155	35	2	2,0	15	19,2690	19,3539
24	200	300	155	35	2	2,0	15	27,0990	26,6095
25	100	10	155	10	1,2	2,0	10	17,6904	17,4749
26	300	10	155	10	1,2	2,0	10	20,3904	20,1307
27	100	300	155	10	1,2	2,0	10	25,5204	25,2305
28	300	300	155	10	1,2	2,0	10	28,2204	27,8863
29	100	10	155	60	1,2	2,0	10	18,1404	18,4745
30	300	10	155	60	1,2	2,0	10	20,8404	21,1303
31	100	300	155	60	1,2	2,0	10	25,9704	26,2301
33	300	300	155	60	1,2	2,0	10	28,6704	28,8859
34	200	155	10	10	1,2	2,0	5	16,4304	16,0528
35	200	155	300	10	1,2	2,0	5	29,4804	29,1808
36	200	155	10	60	1,2	2,0	5	16,8804	17,0524
37	200	155	300	60	1,2	2,0	5	29,9304	30,1804
38	200	155	10	10	1,2	2,0	15	16,4304	16,1804
39	200	155	300	10	1,2	2,0	15	29,4804	29,3084
40	200	155	10	60	1,2	2,0	15	16,8804	17,1800
41	200	155	300	60	1,2	2,0	15	29,9304	30,3080
42	100	155	10	35	0,4	2,0	10	15,3018	14,8010
43	300	155	10	35	0,4	2,0	10	18,0018	17,4568
44	100	155	300	35	0,4	2,0	10	28,3518	27,9290
45	300	155	300	35	0,4	2,0	10	31,0518	30,5848
46	100	155	10	35	2	2,0	10	15,3090	15,7760
47	300	155	10	35	2	2,0	10	18,0090	18,4318
48	100	155	300	35	2	2,0	10	28,3590	28,9040
49	300	155	300	35	2	2,0	10	31,0590	31,5598
50	200	10	10	35	1,2	1,0	10	12,7404	12,0814
51	200	300	10	35	1,2	1,0	10	20,5704	19,5671
52	200	10	300	35	1,2	1,0	10	25,7904	24,7324
52	200	300	300	35	1,2	1,0	10	33,6204	32,7041
53	200	10	10	35	1,2	3,0	10	12,7080	13,6243
54	200	300	10	35	1,2	3,0	10	20,1060	21,1640
55	200	10	300	35	1,2	3,0	10	25,7400	26,7433
56	200	300	300	35	1,2	3,0	10	34,1100	34,7690
57	200	155	155	35	1,2	2,0	10	27,0000	27,0000
58	200	155	155	35	1,2	2,0	10	26,0000	27,0000
59	200	155	155	35	1,2	2,0	10	27,0000	27,0000
60	200	155	155	35	1,2	2,0	10	28,0000	27,0000
61	200	155	155	35	1,2	2,0	10	26,0000	27,0000
62	200	155	155	35	1,2	2,0	10	28,0000	27,0000

- **تحديد التأثيرات و المعاملات الهامة للنموذج**

طبق تحليل التباين (ANOVA) لتحديد التأثير الهام للتغييرات الأساسية الفردية و المتداخلة على تحسين نسبة C/N في عينات الكمبوست المحضرة، تم تقييم صلاحية النموذج الذي تم إنشاؤه باستخدام تحليل التباين و التباين الشامل، و هو طريقة إحصائية تقسم التباين الكلي لمعاملات الإدخال إلى عدة وحدات مرتبطة بمصادر تباين محددة و تستخدم لاختبار الفرضيات حول العناصر ذات الأهمية، و قد تم تطبيقه لدراسة كيفية تضافر إعدادات العوامل الرئيسية للتأثير على نسبة C/N، في عينات الكمبوست المحضرة. من خلال تحديد قيم العامل P، و التي يجب أن تكون أقل من 0.05 عند مستوى الثقة 95% ، لتكون ذات دلالة إحصائية واضحة. يمكن استخدام المعادلة (3) للتعبير عن العلاقة بين معاملات الإدخال و النتيجة المتوقعة بعد استبدال المتغيرات(i) بقيمها و نسبة C/N ، تم تحليل قيم الاستجابة لتحسين العوامل، تعبّر المعادلة (3) عن النموذج متعدد الحدود الناتج.

- **معادلة الانحدار بالوحدات غير المشفرة**

N/C Ratio =-13,36 + 0,0369 Qcob + 0,0518 Qshd + 0,0658 Qchd + 0,2019 Qegs + 5,91 Qwat + 4,67 Nais + 1,444 tf - 0,000034 Qcob*Qcob - 0,000077 Qshd*Qshd - 0,000074 Qchd*Qchd - 0,002966 Qegs*Qegs - 2,994 Qwat*Qwat - 0,641 Nais*Nais - 0,0162 tf*tf - 0,000000 Qcob*Qshd + 0,000000 Qcob*Qchd - 0,000000 Qcob*Qegs + 0,00000 Qcob*Qwat - 0,00066 Qcob*Nais - 0,000867 Qcob*tf + 0,000006 Qshd*Qchd - 0,000000 Qshd*Qegs - 0,00323 Qshd*Qwat + 0,00009 Qshd*Nais + 0,000172 Qshd*tf + 0,000000 Qchd*Qegs + 0,00000 Qchd*Qwat + 0,00081 Qchd*Nais - 0,000000 Qchd*tf + 0,0038 Qegs*Qwat + 0,0106 Qegs*Nais + 0,00000 Qegs*tf + 1,907 Qwat*Nais - 0,1563 Qwat*tf - 0,3867 Nais*tf

باعتماد نسبة C/N في عينات الكمبوست المحضرة كإستجابة كانت تأثيرات عوامل التشغيل وتداخلاتها ذات دلالة إحصائية بمجال ثقة يزيد عن 95%، وبلغت قيمة (R^2 (98,24%) ، حيث كانت قيمة (R^2 ajust (95,88% و (R^2 préd(88,86% مما يشير إلى أن المصطلحات التي تم قياسها في النموذج ملحوظة بما يكفي لعمل نتائج مرضية، بالإضافة إلى ذلك فإن قيمة F الجيدة (41,52) تؤكد أهمية النموذج المتوقع انظر **"الجدول (V . 3)"** :

الجدول (V . 3) : معاملات الانحدار المقدرة لتحسين نسبة C/N في عينات الكمبوست المحضرة.

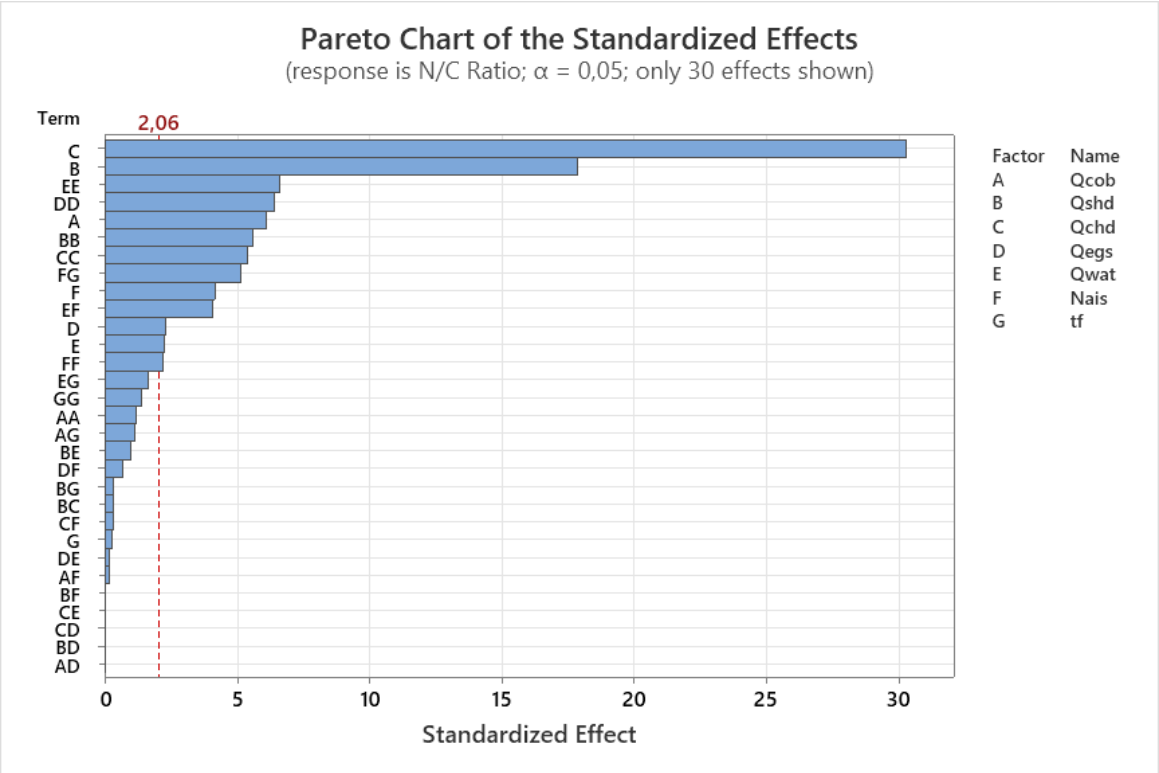
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	35	1640,12	46,86	41,52	0,000
Linear	7	1468,61	209,80	185,91	0,000
Qcob	1	42,32	42,32	37,50	0,000
Qshd	1	360,90	360,90	319,80	0,000
Qchd	1	1034,07	1034,07	916,31	0,000
Qegs	1	6,00	6,00	5,31	0,029
Qwat	1	5,70	5,70	5,05	0,033
Nais	1	19,53	19,53	17,30	0,000
tf	1	0,10	0,10	0,09	0,771
Square	7	116,23	16,60	14,71	0,000
Qcob*Qcob	1	1,57	1,57	1,39	0,248
Qshd*Qshd	1	35,62	35,62	31,56	0,000
Qchd*Qchd	1	32,93	32,93	29,18	0,000

Qegs*Qegs	1	46,39	46,39	41,11	0,000
Qwat*Qwat	1	49,57	49,57	43,93	0,000
Nais*Nais	1	5,54	5,54	4,91	0,036
tf*tf	1	2,20	2,20	1,95	0,174
2-Way Interaction	21	55,28	2,63	2,33	0,021
Qcob*Qshd	1	0,00	0,00	0,00	1,000
Qcob*Qchd	1	0,00	0,00	0,00	1,000
Qcob*Qegs	1	0,00	0,00	0,00	1,000
Qcob*Qwat	1	0,00	0,00	0,00	1,000
Qcob*Nais	1	0,04	0,04	0,03	0,861
Qcob*tf	1	1,50	1,50	1,33	0,259
Qshd*Qchd	1	0,12	0,12	0,10	0,749
Qshd*Qegs	1	0,00	0,00	0,00	1,000
Qshd*Qwat	1	1,12	1,12	1,00	0,327
Qshd*Nais	1	0,00	0,00	0,00	0,972
Qshd*tf	1	0,13	0,13	0,11	0,742
Qchd*Qegs	1	0,00	0,00	0,00	1,000
Qchd*Qwat	1	0,00	0,00	0,00	1,000
Qchd*Nais	1	0,11	0,11	0,10	0,758
Qchd*tf	1	0,00	0,00	0,00	1,000
Qegs*Qwat	1	0,05	0,05	0,04	0,843
Qegs*Nais	1	0,56	0,56	0,50	0,486
Qegs*tf	1	0,00	0,00	0,00	1,000
Qwat*Nais	1	18,61	18,61	16,49	0,000
Qwat*tf	1	3,13	3,13	2,77	0,108
Nais*tf	1	29,91	29,91	26,51	0,000
Error	26	29,34	1,13		
Lack-of-Fit	21	25,34	1,21	1,51	0,345
Pure Error	5	4,00	0,80		
Total	61	1669,46			
S	**R-sq**	**R-sq(adj)**	**R-sq(pred)**		
1,06232	98,24%	95,88%	88,86%		

V. 2.4. مخطط باريتو

نظرا لإمكانية ظهور تأثير المكونات الرئيسية وعلاقاتها على الاستجابة المحددة(**نسبة C/N في عينات الكمبوست المحضرة**)، فإن مخطط باريتو هو جزء مفيد جدًا من حيث المعلومات في دراسة التصميم. تم رسم كل تأثير أفقياً على مخطط باريتو بمستوى ثقة 95% وقيمة T-Value تساوي 62,26،تم إجراء اختبار T-Value للتحقق مما إذا كانت تختلف اختلافاً كبيراً عن الصفر، مما يدل على كفاءة النموذج المقترح.

يوضح "الشكل (V . 13)"، أن الأشرطة التي تمثل العواملQcob، Qshd، Qchd، Qegs، Qwat، Nais على مخطط باريتو تتقاطع مع الخط المرجعي عند 2,06، هي اهم الشروط تاثيرا على النموذج الحالي، هذه التأثيرات ذات طقة إحصائية بمستوى ثقة يفوق 95%. الا انه لا يمكن تحديد ما إذا كان تأثير العامل يوثر ايجابا أو يقلل من نسبة C/N في عينات الكمبوست المحضرة، حيث يمثل هذا الرقم قيمة التأثير المطلق الذي تم تحديده من أكبر تأثير إلى أصغر تأثير، بينما الاشرطة التي لم تتجاوز حاجز الخط المرجعي (2,06،) تمثل العوامل التي تتميز بتاثير غير واضح مثل زمن حضانة الكومبوست tf .

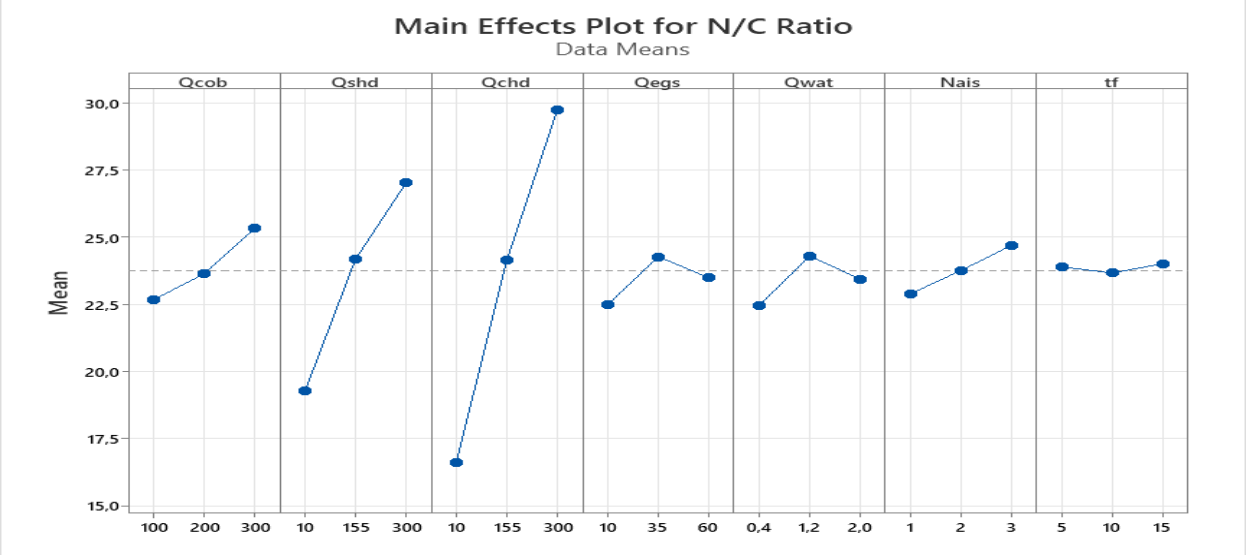


الشكل (V . 13) : مخطط باريتو للتأثيرات الفردية و المتداخلة على نسبة C/N في عينات الكمبوست المحضرة.

V. 3.4. تأثير العوامل الفردية على نسبة C/N في عينات الكمبوست المحضرة

أظهرت منحنيات التغيرات الفردية للعوامل الأساسية أن:

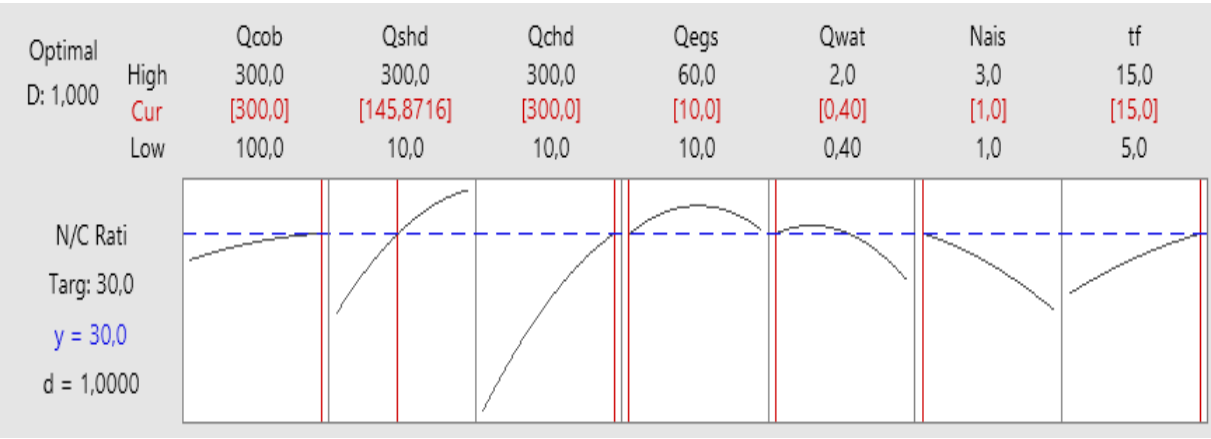
- ✓ كمية بن القهوة (Qcob)، كمية فضلات الاغنام (Qshd)،كمية فضلات الدجاج (Qchd)، لها تأثير جد واضح كما هو مبين من خلال إنحراف منحناها من منخفض (-1) إلى مرتفع (1) ،ويظهر العامل تأثيرا إيجابيا على نسبة C/N في عينات الكمبوست المحضرة، و تم العثور على قيمة P ذات دلالة إحصائية عالية و التي كانت أقل بكثير من0,05.
- ✓ أما بالنسبة لعوامل كمية قشور البيض(Qegs) ، كمية ماء حوض الاسماك(Qwat)، فتأثيره طفيف إذ أن الرفع في قيمة هذه العوامل حُسّن بشكل بسيط نسبة C/N في عينات الكمبوست المحضرة .
- ✓ وحتى الزيادة في مدة حضانة الكبوست (t) من 5 إلى 15 اسبوع لم تحدث فرقًا واضحًا في نسبة C/N في عينات الكمبوست المحضرة أي أن الزمن له تأثير ضعيف أو غير ملحوظ على نسبة C/N في الظروف المدروسة. مما يعني أن العمل له تأثير مهمل و هذا ما تؤكده قيمة P التي كانت أكبر بكثير من0,05.



الشكل (V . 14) : منحنيات التأثيرات الرئيسية على نسبة C/N في عينات الكمبوست المحضرة.

V. 4.4. تحسين الاستجابة و تحديد الشرووط المثالية

يعد تحسين الاستجابة خيارا أساسيا للحصول على أفضل تداخل بين العوامل المدروسة و هذا بهدف لحصول على أكبر قيمة ممكنة للإستجابة المختارة، يوضح الرسم البياني كيفية تأثير العوامل على الاستجابات المثلى المتوقعة (**y**). بالإضافة إلى ذلك، تم تطبيق تقنية الدالة المرغوبة المركبة (**D**) لتقييم تأثير العوامل المدروسة مثل كمية بن القهوة (Qcob)، كمية فضلات الاغنام (Qshd)،كمية فضلات الدجاج (Qchd)، كمية قشور البيض (Qegs)، كمية ماء حوض الاسماك(Qwat)، عدد مصادر التهوئة (Nais)، مدة حضانة الكبوست (t).



الشكل (V . 15) : تحديد الشروط المثلى لتحضير كومبوست ذات درجة نضج عالية.

وتظهر النتائج التي تم الحصول عليها أن أقصى قيمة لنسبة C/N في عينات الكمبوست بلغت 30% و الشروط المثالية المبينة في الجدول ادناه **"الجدول (V . 4)"** :

الجدول (V . 4) : الشروط المثلى للتحضير كومبوست ذات درجة نضج عالية .

العوامل	الرمز	الوحدة	القيمة المثالية	الدالة المرغوب فيها D
لكمية بن القهوة	Qcob)	g	300	1
كمية فضلات الاغنام	(Qshd)	g	145,87	
مية فضلات الدجاج	Qchd	g	300	
كمية قشور البيض	(Qegs)	g	10	
كمية ماء حوض الاسماك	(Qwat	L	0,4	
عدد مصادر التهوئة	Nais	-	1	
مدة حضانة الكبوست	(t)	اسبوع	15	
الاستجابة المثلى المتوقعة	C/N	%	30	

I. 5. تحليل نتائج نسبة الإنبات

بعد الانتهاء من تحليل الخصائص الفيزيائية والكيميائية للكمبوست المنتج، تم إجراء اختبار الإنبات باعتباره مؤشرًا بيولوجيًا مهمًا لتقييم جودة السماد وملاءمته للاستعمال الزراعي. شملت التجربة 62 صينية زراعة، بمعدل 40 بذرة طماطم في كل صينية، حيث زُرعت البذور مباشرة في مختلف تركيبات الكمبوست المحضر، مع تخصيص تجربة موازية باستعمال كمبوست تجاري مستورد (Pindstrup Substrate) كشاهد للمقارنة. أُجريت الزراعة داخل الدفيئة الجامعية بجامعة سكيكدة، و تحت ظروف متابعة دقيقة شملت السقي المنتظم والرصد اليومي لمراحل الإنبات. لوحظ أن الإنبات بدأ في بعض التركيبات بعد حوالي 12 يومًا، و تطور تدريجيًا إلى أن ظهرت الأوراق الأولى في العديد من الصواني **"الشكل (V . 17)"**، خاصة تلك المرتبطة بالتركيبتين رقم 60 و 31، اللتين سجلتا نسبة إنبات بلغت 70 % **"الشكل (V . 16)"**، وهي نسبة تفوقت بوضوح على الكمبوست التجاري الذي لم تتجاوز فيه نسبة الإنبات 50 % **"الشكل (V . 18)"**، يُعزى هذا الفارق في الأداء إلى الطبيعة العضوية الغنية للكمبوست المحضر محليًا، و الذي يحتوي على مزيج متوازن من المواد النباتية والحيوانية (تفل القهوة، روث الدواجن، ماء حوض السمك...)، ما وفر وسطًا خصبًا يتميز بتهوية جيدة وتوازن في المغذيات. تجدر الإشارة إلى أن الكمبوست التجاري المستخدم غالبًا ما يُوصى باستعماله ممزوجًا مع التربة لتحسين خواصه الفيزيائية و الكيميائية، بينما تم في هذه التجربة استخدامه كما هو، مما قد يكون سببًا إضافيًا في تدني فعاليته البيولوجية عند الاستخدام الخالص. هذه النتائج تعزز من فعالية الكمبوست المحلي كخيار بديل مستدام، قادر على دعم المراحل الأولى من نمو النبات دون الحاجة إلى إضافات خارجية.

الشكل (V . 16) : تطور و نمو شتلات بذور الطماطم (الصواني رقم 31 و 60) بعد مدة 13 يوم.

الشكل (V . 17) : تطور و نمو شتلات بذور الطماطم (باقي الصواني) بعد مدة 13 يوم.

الشكل (V . 18) : تطور و نمو شتلات بذور الطماطم بصينة الإنبات الشاهد بعد مدة 13 يوم.

V. 6. مقارنة بين الكمبوست المحضر محليا والكمبوست التجاري الكمبوست التجاري (Pindstrup Substrate)

يبيّن الجدول أدناه **"الجدول (V . 5)"** المقارنة الفوارق الجوهرية بين الكمبوست المحضر محليًا والكمبوست التجاري المستورد (Pindstrup Substrate)، من حيث التركيب، الخصائص الفيزيائية و الكيميائية، القابلية للتعديل، الأثرين البيئي و الاقتصادي. يتميز الكمبوست المحلي بتركيبة عضوية متنوعة تعتمد على مخلفات نباتية و حيوانية متوفرة محليًا، مما يساهم في توفير مغذيات أساسية بمستويات متوازنة (NPK)، مع الحفاظ على خصائص فيزيائية مناسبة مثل الأس الهيدروجيني والناقلية الكهربائية، ما يجعله وسطًا زراعيًا فعّالًا. كما يتميز بنشاط بيولوجي مرتفع نتيجة وفرة الكائنات الدقيقة، و هو عامل حاسم في تحلل المواد العضوية و توفير المغذيات للنبات. من جهة أخرى، يتمتع الكمبوست التجاري بخصائص فيزيائية ثابتة و ملمس ناعم متجانس، لكنه غالبًا ما يكون فقيرًا بالنشاط البيولوجي الطبيعي، ولا يتيح مرونة كبيرة في تعديل تركيبته حسب نوع المحصول أو ظروف التربة. اقتصاديًا، يُعد الكمبوست المحلي خيارًا منخفض التكلفة، حيث يعتمد على تدوير نفايات متوفرة محليًا، بعكس الكمبوست التجاري الذي يُشكل عبئًا ماديًا نتيجة التصنيع و الاستيراد. كما أن الأثر البيئي للكمبوست المحلي يُعد إيجابيًا كونه يندرج ضمن ممارسات الاقتصاد الدائري ويُقلل من تراكم النفايات العضوية. لهذه الأسباب، يُوصى

باعتماد الكمبوست المحضر محليًا كخيار زراعي مستدام، مع إمكانية تحسين خصائصه عبر ضبط نسب المكونات العضوية و تكييفه مع متطلبات كل محصول.

الجدول (V . 5) : مقارنة بين الكمبوست المحضر محليا و الكمبوست التجاري (Pindstrup Substrate) .

المعيار	الكمبوست المحضر محليًا	الكمبوست التجاري (Pindstrup Substrate)
التركيب الأساسي	مخلفات نباتية وحيوانية محلية	خث الطحالب +إضافات صناعية
(NPK) توفر العناصر المغذية	N: 1.8%، P: 0.25%، K: 3.5% (التركيبة المتوسطة)	غير محددة بدقة (تختلف حسب المنتج)
(pH) الأس الهيدروجيني	متوازن 6.3 – 6.8	قريب من التعادل (حسب التركيبة)
(EC) الناقلية الكهربائية	معتدلة (2.0 – 3.5 mS/cm)	منخفضة عادة لتقليل الملوحة
التهوية	جيدة بفضل التنوع العضوي والمسامية	جيدة لكن تعتمد على طبيعة الخلط
النشاط البيولوجي	غني بالكائنات الدقيقة والمواد المتحللة	محدود أو معقم صناعيًا
التحلل والملمس	ألياف متحللة جزئيًا، ملمس ترابي ناعم	خث ناعم، متجانس، خفيف الوزن
المرونة في التعديل	عالية – يمكن تعديل التركيبة حسب الحاجة	محدودة – تركيبة ثابتة
المصدر	محلي – من تدوير نفايات عضوية	مستورد – مصنع صناعيًا
الاستخدام الشائع	يُستخدم مباشرة كسماد أو وسط زراعة	يُخلط غالبًا مع التربة
الكلفة الاقتصادية	منخفضة – مكونات متوفرة محليًا	مرتفعة بسبب التصنيع والاستيراد
الأثر البيئي	إيجابي – يساهم في التدوير وتقليل التلوث	محايد أو سلبي نسبيًا
السلامة البيئية والصحية	آمن – خالٍ من المعقمات الصناعية	قد يحتوي على معقمات أو إضافات صناعية

خلاصة عامة

خاتمة

يهدف هذا العمل إلى إنتاج سماد عضوي (كومبوست) انطلاقًا من تدوير مخلفات نباتية و حيوانية، في سياق علمي و بيئي يراعي متطلبات التنمية الزراعية المستدامة. وقد اعتمدنا على طريقة تصميم التجارب (DOE) وفق مخطط Box-Behnken ، لتقييم تأثير سبعة عوامل رئيسية (كمية كرناف النخيل، كمية فضلات الدجاج، كمية فضلات الغنم، كمية قشور البيض،كمية بن القهوة، حجم ماء حوض الاسماك، و عدد فتحات التهوية)، إضافة إلى عامل الزمن التخمر، ما أسفر عن تنفيذ 62 تركيبة تجريبية، و التي أُنجزت في ظروف مخبرية مضبوطة.

عكست نتائج التحاليل الفيزيائية و الكيميائية و التجارب البيولوجية تطورًا واضحًا في خصائص بعض التركيبات من حيث النضج و الثبات. فقد شملت القياسات الأساسية :الناقلية الكهربائية، pH، و تحاليل للعناصر المعدنية في مخبر شركة الأسمدة الجزائرية "فرتيـال"، مع التركيز على الاستجابة للعناصر المغذية الأساسية NPK، التي بلغت نسبها القصوى في احدى التركيبات: 3.1% نيتروجين، 0.82% فوسفور، و 3.7% بوتاسيوم، و هي مؤشرات مشجعة لجودة السماد. أما من الناحية البيولوجية، فقد أُجري اختبار إنبات لبذور الطماطم، أظهر نسب إنبات جيدة لدى عدد محدود من التركيبات (بين 70% و 80%)، مما يدل على نضج بيولوجي فعّال، في حين سجلت باقي التركيبات نسبًا أدنى نتيجة لتفاوت درجات التحلل أو عدم توازن التركيبة العضوية. و رغم شمول التحاليل لعناصر أخرى كالكالسيوم، المغنيسيوم، الحديد و غيرها، إلا أن تركيزنا انصبّ على NPK باعتباره معيارًا أساسيًا في تقييم الفعالية الزراعية. كما أن غياب التحاليل الميكروبيولوجية يمثل أحد جوانب النقص التي يمكن الاشتغال عليها مستقبلاً.

تُساهم نتائج هذا العمل في سد فجوة معرفية حول نمذجة عملية التخمير المتعدد المصادر، و تبرز أهمية التصميم التجريبي في تحسين خصائص الكومبوست المنتج. و من الجانب التطبيقي، فإن إنتاج هذا النوع من السماد يمكن أن يُوفر بديلًا حيويًا للأسمدة الكيميائية، بتكلفة أقل، و بتأثير بيئي إيجابي، خاصة أن كل طن من الكومبوست المنتج قد يساهم في تقليل الانبعاثات الغازية الناتجة عن معالجة النفايات التقليدية، و يساهم في تقليص حاجة الفلاحين إلى استخدام منتجات زراعية مرتفعة الثمن، إن هذا العمل لا يُمثّل سوى بداية لمسار بحثي أوسع، حيث نوصي مستقبلًا بـــ :

- توسيع الدراسة لتشمل تحاليل ميكروبيولوجية دقيقة لعينات السماد المحضر.
- تقييم تأثير الكومبوست المحضر على أنواع زراعية متعددة و في ظروف مناخية مختلفة.
- دراسة الجدوى الاقتصادية لتطبيق الإنتاج الواسع للكومبوست على المستوى المحلي.
- إدماج عوامل جديدة مثل درجة الحموضة الابتدائية، الضغط، أو إضافة منشطات حيوية لتحسين كفاءة التحلل.

خلاصة عامة

و في الختام، نأمل أن يكون هذا العمل نقطة انطلاق لبحوث تطبيقية تخدم قطاع الزراعة العضوية، و تدعم الانتقال نحو نماذج إنتاج زراعي نظيفة و آمنة، تسهم في تعزيز الأمن الغذائي و حماية البيئة، ضمن رؤية تنموية قائمة على الاقتصاد الدائـــــري (Circular Economy) و التثمين البيولوجي للنفايات.

الملاحق

FERTIAL-USINE D'ARZEW
Direction Technique
Contrôle Qualité
Laboratoire Agronomique

	Réf	Réf Labo	P ppm (ICP)	K ppm (ICP)	Ca ppm (ICP)	Mg ppm (ICP)	Na ppm (ICP)	Fe ppm (ICP)
1	1	V- 1 -25	3,350	212,000	625,40	32,260	171,900	16,940
2	2	V- 2 -25	2,890	223,800	603,50	30,110	138,100	16,430
3	3	V- 3 -25	2,810	213,600	275,20	28,130	158,700	16,850
4	4	V- 4 -25	4,440	196,700	738,80	30,790	162,200	18,690
5	5	V- 5 -25	2,590	196,300	434,60	13,760	145,200	13,730
6	6	V- 6 -25	4,600	204,200	681,60	26,760	166,500	19,350
7	7	V- 7 -25	1,400	184,400	390,80	20,000	167,100	10,540
8	8	V- 8 -25	1,010	178,200	400,50	19,790	196,900	11,100
9	9	V- 9 -25	3,200	192,500	532,70	25,690	228,700	10,880
10	10	V- 10 -25	2,910	192,900	532,50	24,120	147,000	13,690
11	11	V- 11 -25	3,080	211,200	578,30	26,340	213,000	16,380
12	12	V- 12 -25	2,840	183,400	585,50	24,740	188,400	15,390
13	13	V- 13 -25	1,320	155,400	491,90	19,080	129,300	11,700
14	14	V- 14 -25	0,370	111,100	264,40	11,870	126,400	6,720
15	15	V- 15 -25	1,000	123,700	395,20	15,320	117,700	9,230
16	16	V- 16 -25	3,390	198,800	501,60	26,960	154,300	12,560
17	17	V- 17 -25	1,820	168,700	346,90	18,320	146,200	9,230
18	18	V- 18 -25	0,450	120,600	340,30	13,210	69,950	7,940
19	19	V- 19 -25	1,700	160,800	507,50	22,920	140,000	12,700
20	20	V- 20 -25	3,180	201,300	659,70	24,990	105,300	19,870
21	21	V- 21 -25	1,290	159,900	373,10	20,840	251,200	9,680
22	22	V- 22 -25	2,810	139,400	318,20	20,560	200,500	13,990
23	23	V- 23 -25	2,140	160,600	493,80	24,400	143,700	15,000
24	24	V- 24 -25	2,770	162,000	469,80	21,590	170,500	16,710
25	25	V- 25 -25	1,740	165,500	399,10	21,670	135,000	12,470
26	26	V- 26 -25	1,700	178,000	377,40	19,290	113,400	12,770
27	27	V- 27 -25	1,760	197,800	392,80	23,860	143,000	13,220
28	28	V- 28 -25	0,760	156,700	375,30	21,390	136,800	11,970
29	29	V- 29 -25	1,340	142,100	528,20	21,710	122,100	9,610
30	30	V- 30 -25	1,720	133,500	633,40	20,040	79,810	8,950
31	31	V- 31 -25	2,200	163,600	541,80	21,150	94,300	14,850
32	32	V- 32 -25	2,120	152,000	469,00	21,200	1158,500	14,620

33	33	V- 33 -25	0,850	153,000	423,90	18,990	31,770	13,790
34	34	V- 34 -25	3,410	217,900	381,80	25,830	51,620	13,600
35	35	V- 35 -25	0,530	117,300	529,80	16,440	26,700	10,510
36	36	V- 36 -25	7,670	53,730	182,90	14,660	15,510	16,140
37	37	V- 37 -25	9,910	64,730	154,50	27,580	15,780	25,240
38	38	V- 38 -25	10,760	69,580	137,50	25,560	13,450	24,520
39	39	V- 39 -25	4,640	49,580	106,70	20,380	11,510	11,420
40	40	V- 40 -25	0,450	29,320	61,02	13,170	8,660	7,150
41	41	V- 41 -25	3,440	42,890	151,10	17,800	9,680	11,810
42	42	V- 42 -25	3,900	63,610	89,81	23,780	17,100	10,380
43	43	V- 43 -25	6,330	57,830	117,50	23,850	13,780	21,640
44	44	V- 44 -25	5,720	51,530	134,00	21,230	11,340	18,260
45	45	V- 45 -25	1,540	43,100	74,17	16,280	9,870	13,120
46	46	V- 46 -25	18,350	39,400	343,60	54,800	30,660	29,560
47	47	V- 47 -25	7,090	59,860	121,70	24,300	12,910	21,400
48	48	V- 48 -25	4,390	50,420	184,00	23,020	12,290	19,360
49	49	V- 49 -25	6,750	61,480	144,50	24,990	13,620	31,360
50	50	V- 50 -25	13,520	76,380	276,90	33,220	17,600	28,830
51	51	V- 51 -25	15,090	80,990	299,10	33,360	27,370	43,650
52	52	V- 52 -25	4,090	52,710	116,90	24,650	14,260	22,630
53	53	V- 53 -25	11,370	68,510	376,00	28,370	15,550	41,420
54	54	V- 54 -25	7,820	62,730	119,30	27,220	13,830	24,180
55	55	V- 55 -25	7,590	57,600	110,60	21,270	10,980	14,870
56	56	V- 56 -25	10,210	67,140	188,00	27,300	14,730	15,860
57	57	V- 57 -25	10,420	64,010	208,90	26,270	14,050	16,050
58	58	V- 58 -25	10,000	64,750	244,90	44,990	13,870	13,770
59	59	V- 59 -25	8,880	67,720	178,90	25,360	16,710	13,620
60	60	V- 60 -25	8,730	61,180	183,10	24,200	13,250	14,120
61	61	V- 61 -25	4,090	54,180	98,09	21,910	12,750	11,330
62	62	V- 62 -25	33,050	148,500	215,60	57,680	29,640	25,520
63	63	V- 63 -25	20,610	103,500	330,30	33,710	17,110	46,310
64	64	V- 64 -25	20,910	105,400	349,60	24,320	17,550	46,450
65	65	V- 65 -25	4,770	40,010	200,30	9,920	5,460	16,700
66	66	V- 66 -25	2,790	57,400	197,98	25,010	11,990	12,700
67	67	V- 67 -25	2,120	115,850	169,25	31,180	37,180	14,000

FEUILLE D'ANALYSES DES VEGETAUX

Cu ppm (ICP)	Mn ppm (ICP)	Zn ppm (ICP)	B ppm (icp)	P %	K %	Ca %	Mg %	Na ppm
0,282	0,628	0,306	<	0,084	5,300	15,635	0,807	42975,00
0,231	0,652	0,297	<	0,072	5,595	15,088	0,753	34525,00
0,273	0,581	0,262	<	0,070	5,340	6,880	0,703	39675,00
0,235	0,663	0,317	<	0,111	4,918	18,470	0,770	40550,00
0,200	0,554	0,269	<	0,065	4,908	10,865	0,344	36300,00
0,206	0,768	0,363	<	0,115	5,105	17,040	0,669	41625,00
0,159	0,431	0,379	<	0,035	4,610	9,770	0,500	41775,00
0,174	0,354	0,147	<	0,025	4,455	10,013	0,495	49225,00
0,209	0,325	0,250	<	0,080	4,813	13,318	0,642	57175,00
0,219	0,584	0,273	<	0,073	4,823	13,313	0,603	36750,00
0,206	0,621	0,280	<	0,077	5,280	14,458	0,659	53250,00
0,199	0,559	0,174	<	0,071	4,585	14,638	0,619	47100,00
0,172	0,373	0,112	<	0,033	3,885	12,298	0,477	32325,00
0,115	0,237	0,135	<	0,009	2,778	6,610	0,297	31600,00
0,125	0,328	0,284	<	0,025	3,093	9,880	0,383	29425,00
0,233	0,556	0,284	<	0,085	4,970	12,540	0,674	38575,00
0,201	0,416	0,155	<	0,046	4,218	8,673	0,458	36550,00
0,105	0,283	0,119	<	0,011	3,015	8,508	0,330	17487,50
0,161	0,464	0,224	<	0,043	4,020	12,688	0,573	35000,00
0,174	0,586	0,253	<	0,080	5,033	16,493	0,625	26325,00
0,183	0,413	0,187	<	0,032	3,998	9,328	0,521	62800,00
0,188	0,544	0,220	<	0,070	3,485	7,955	0,514	50125,00
0,225	0,522	0,313	<	0,054	4,015	12,345	0,610	35925,00
0,182	0,573	0,262	<	0,069	4,050	11,745	0,540	42625,00
0,166	0,474	0,229	<	0,044	4,138	9,978	0,542	33750,00
0,163	0,445	0,199	<	0,043	4,450	9,435	0,482	28350,00
0,184	0,490	0,213	<	0,044	4,945	9,820	0,597	35750,00
0,160	0,395	0,163	<	0,019	3,918	9,383	0,535	34200,00
0,163	0,437	0,206	<	0,034	3,553	13,205	0,543	30525,00
0,166	0,442	0,222	<	0,043	3,338	15,835	0,501	19952,50
0,150	0,498	0,241	<	0,055	4,090	13,545	0,529	23575,00
0,164	0,494	0,233	<	0,053	3,800	11,725	0,530	289625,00

0,149	0,329	0,183	<	0,021	3,825	10,598	0,475	7942,50
0,223	0,660	0,335	<	0,085	5,448	9,545	0,646	12905,00
0,127	0,271	0,125	<	0,013	2,933	13,245	0,411	6675,00
0,170	0,530	0,370	<	0,192	1,343	4,573	0,367	3877,50
0,220	0,670	0,470	<	0,248	1,618	3,863	0,690	3945,00
0,210	0,690	0,490	<	0,269	1,740	3,438	0,639	3362,50
0,150	0,510	0,240	<	0,116	1,240	2,668	0,510	2877,50
0,090	0,150	0,100	<	0,011	0,733	1,526	0,329	2165,00
0,120	0,270	0,200	<	0,086	1,072	3,778	0,445	2420,00
0,150	0,260	0,290	<	0,098	1,590	2,245	0,595	4275,00
0,150	0,430	0,360	<	0,158	1,446	2,938	0,596	3445,00
0,120	0,380	0,320	<	0,143	1,288	3,350	0,531	2835,00
0,080	0,170	0,160	<	0,039	1,078	1,854	0,407	2467,50
0,330	1,000	0,820	<	0,459	0,985	8,590	1,370	7665,00
0,140	0,480	0,360	<	0,177	1,497	3,043	0,608	3227,50
0,140	0,280	0,240	<	0,110	1,261	4,600	0,576	3072,50
0,150	0,410	0,320	<	0,169	1,537	3,613	0,625	3405,00
0,220	0,750	0,670	<	0,338	1,910	6,923	0,831	4400,00
0,190	0,780	0,620	<	0,377	2,025	7,478	0,834	6842,50
0,140	0,300	0,280	<	0,102	1,318	2,923	0,616	3565,00
0,140	0,560	0,430	<	0,284	1,713	9,400	0,709	3887,50
0,160	0,470	0,440	<	0,196	1,568	2,983	0,681	3457,50
0,140	0,480	0,600	<	0,190	1,440	2,765	0,532	2745,00
0,160	0,610	0,550	<	0,255	1,679	4,700	0,683	3682,50
0,160	0,570	0,460	<	0,261	1,600	5,223	0,657	3512,50
0,150	0,510	0,460	<	0,250	1,619	6,123	1,125	3467,50
0,160	0,490	0,440	<	0,222	1,693	4,473	0,634	4177,50
0,140	0,470	0,430	<	0,218	1,530	4,578	0,605	3312,50
0,120	0,280	0,270	<	0,102	1,355	2,452	0,548	3187,50
0,370	1,840	1,600	<	0,826	3,713	5,390	1,442	7410,00
0,120	0,990	0,650	<	0,515	2,588	8,258	0,843	4277,50
0,120	1,060	0,660	<	0,523	2,635	8,740	0,608	4387,50
0,180	0,190	0,170	<	0,119	1,000	5,008	0,248	1365,00
0,130	0,270	0,210	<	0,070	1,435	4,950	0,625	2997,50
0,130	0,010	0,190	<	0,053	2,896	4,231	0,780	9295,00

Fe ppm	Cu ppm	Mn ppm	Zn ppm	B ppm	N %
4235,00	70,500	156,95	76,575	<	1,84
4107,50	57,725	163,03	74,275	<	2,1
4212,50	68,125	145,25	65,575	<	1,9
4672,50	58,675	165,75	79,350	<	2,31
3432,50	49,900	138,48	67,325	<	1,94
4837,50	51,400	192,00	90,700	<	2,13
2635,00	39,750	107,70	94,675	<	1,38
2775,00	43,550	88,43	36,850	<	1,9
2720,00	52,250	81,35	62,475	<	1,59
3422,50	54,750	146,10	68,175	<	2,15
4095,00	51,400	155,28	69,925	<	2,07
3847,50	49,650	139,70	43,450	<	2
2925,00	43,075	93,35	28,075	<	1,76
1680,00	28,625	59,20	33,650	<	2,05
2307,50	31,350	81,93	70,900	<	1,79
3140,00	58,350	138,98	70,900	<	2,17
2307,50	50,125	104,08	38,850	<	1,94
1985,00	26,175	70,70	29,625	<	1,91
3175,00	40,150	116,05	55,875	<	1,96
4967,50	43,600	146,50	63,125	<	2,06
2420,00	45,750	103,15	46,775	<	1,94
3497,50	47,000	136,10	55,075	<	1,76
3750,00	56,175	130,55	78,150	<	2,04
4177,50	45,550	143,20	65,500	<	1,6
3117,50	41,425	118,53	57,175	<	1,83
3192,50	40,825	111,13	49,725	<	1,84
3305,00	45,875	122,50	53,150	<	1,98
2992,50	39,975	98,65	40,625	<	1,84
2402,50	40,800	109,18	51,475	<	1,63
2237,50	41,575	110,50	55,600	<	1,36
3712,50	37,400	124,50	60,300	<	1,64
3655,00	40,975	123,50	58,300	<	3,03

3447,50	37,225	82,25	45,800	<	2,55
3400,00	55,800	164,98	83,650	<	1,22
2627,50	31,675	67,65	31,225	<	2,77
4035,00	42,500	132,50	92,500	<	1,57
6310,00	55,000	167,50	117,500	<	1,28
6130,00	52,500	172,50	122,500	<	1,74
2855,00	37,500	127,50	60,000	<	3,3
1787,50	22,500	37,50	25,000	<	2,27
2952,50	30,000	67,50	50,000	<	2,12
2595,00	37,500	65,00	72,500	<	2,35
5410,00	37,500	107,50	90,000	<	1,95
4565,00	30,000	95,00	80,000	<	2,11
3280,00	20,000	42,50	40,000	<	1,75
7390,00	82,500	250,00	205,000	<	2,14
5350,00	35,000	120,00	90,000	<	3,5
4840,00	35,000	70,00	60,000	<	1,95
7840,00	37,500	102,50	80,000	<	2,1
7207,50	55,000	187,50	167,500	<	2,8
10912,50	47,500	195,00	155,000	<	2,24
5657,50	35,000	75,00	70,000	<	1,65
10355,00	35,000	140,00	107,500	<	1,84
6045,00	40,000	117,50	110,000	<	1,98
3717,50	35,000	120,00	150,000	<	2,36
3965,00	40,000	152,50	137,500	<	2,41
4012,50	40,000	142,50	115,000	<	2,15
3442,50	37,500	127,50	115,000	<	1,92
3405,00	40,000	122,50	110,000	<	1,84
3530,00	35,000	117,50	107,500	<	1,7
2832,50	30,000	70,00	67,500	<	2,4
6380,00	92,500	460,00	400,000	<	3,1
11577,50	30,000	247,50	162,500	<	1,54
11612,50	30,000	265,00	165,000	<	1,97
4175,00	45,000	47,50	42,500	<	1,76
3175,00	32,500	67,50	52,500	<	1,87
3500,00	32,500	2,50	47,500	<	2,01