مذكرة تخرج مقدمة في

جامعة محمد بوضياف – المسيلة

جامعة محمد بوضياف - المسيلة
University of Mohamed Boudiaf-Msila

كلية الرياضيات والإعلام الآلي

قسم الإعلام الآلي

من أجل الاستيفاء الجزئي لمتطلبات شهادة

ماستر في الإعلام الآلي

من طرف

عشاشي نادية

بورحماني وفاء

عنوان المذكرة

سلسلة التوريد قائمة على البلوكشين لضمان سلامة الاغذية تتبع مصدر قانوني

تحت إشراف الأستاذ

الأستاذ المؤطر عادل موساوي

أعضاء لجنة المناقشة

عبد الغني بوداعة	جامعة المسيلة	**رئيسا**
عادل موساوي	جامعة المسيلة	**مقررا**
علي دابه	جامعة المسيلة	**ممتحنا**

ماي 2026

Abstract

Supply chain management systems face several problems, such as lack of transparency, difficulty in traceability, and poor coordination between involved parties. In addition, issues such as fraud and theft are common, especially in sensitive products like food and pharmaceuticals, which negatively affect consumers, companies, and even the government.

Despite the use of traditional management systems, they have not been able to effectively solve these issues due to heavy reliance on human intervention, which increases the risk of errors and data manipulation. In this context, blockchain technology has emerged as an effective solution for managing agricultural supply chains, as it provides high transparency and accurate traceability of products from the source to the end consumer, while reducing human intervention and ensuring data reliability. Therefore, this technology can be adopted in agricultural supply chains, especially for sensitive products such as wheat, in order to ensure food safety and trace product origins in a legal and transparent way, which enhances consumer trust and improves the quality of the food system.

Key words: Supply Chain , Agricultural Supply Chain , Blockchain , Food Safety

الملخص

تعاني سلاسل التوريد التقليدية من عدة مشاكل مثل ضعف الشفافية، صعوبة التتبع، وغياب التنسيق بين الأطراف، إضافة إلى انتشار الغش والسرقة خاصة في المنتجات الحساسة كالأغذية والأدوية، مما يؤثر سلباً على المستهلك والشركات والدولة.ورغم استعمال بعض أنظمة التسيير التقليدية، إلا أنها لم تتمكن من معالجة هذه الإشكاليات بشكل فعال بسبب الاعتماد الكبير على التدخل البشري، مما يزيد من احتمالية الأخطاء والتلاعب بالبيانات.في هذا السياق، ظهرت تقنية البلوكشين كحل فعال لإدارة سلاسل التوريد الزراعية، حيث توفر شفافية عالية وإمكانية تتبع دقيقة للمنتجات من المصدر إلى المستهلك النهائي، مع تقليل التدخل البشري وضمان موثوقية البيانات.وبذلك يمكن اعتماد هذه التقنية في سلاسل التوريد الزراعية، خاصة في المنتجات الحساسة مثل القمح، بهدف ضمان سلامة الغذاء وتتبع مصدره بطريقة قانونية وشفافة، مما يعزز ثقة المستهلك ويحسن جودة النظام الغذائي.

الكلمات المفتاحية: سلسلة التوريد , سلسلة توريد زراعية , البلوكشين ,سلامة الغذاء

الإهداء :

إلى من علّمني أن النجاح لا يُهدى بل يُنتزع بالإصرار والعمل...
إلى من كان سندي في كل خطوة، ودعمه سبباً في وصولي إلى هذه المرحلة...
إلى أمي الحبيبة، رمز الحنان والعطاء والدعاء الذي لا ينقطع...
إلى أبي العزيز، قدوتي في الحياة ومصدر قوتي ودعمي...
إلى أخي الوحيد، الذي أعتز به وأفتخر بوجوده في حياتي...
إلى إخواتي ، الذين كانوا لي دعماً وسنداً في كل المراحل، وشاركوا فرحتي ووقفي بجانبي.
كما أتوجه بجزيل الشكر إلى نفسي، على الصبر والمثابرة وعدم الاستسلام، وعلى الإصرار لإتمام هذا العمل والوصول إلى هذه المرحلة. إلى أسرتي التي لم تبخل عليّ بالدعم والتشجيع، وإلى كل من وقف بجانبي ولو بكلمة طيبة...
أهدي هذا العمل المتواضع، راجياً من الله أن يجعله علماً نافعاً وعملاً مقبولاً.

عشاشي نادية

﴿وَكَانَ فَضْلُ اللَّهِ عَلَيْكَ عَظِيمًا﴾
ما سلكتُ البدايات إلا بتيسيره، وما بلغتُ النهايات إلا بتوفيقه، وما حققتُ الغايات إلا بفضله، فالحمد لله قولاً وعملاً، والحمد لله على تمام النعمة وبلوغ هذا الإنجاز.
إلى الأيادي التي أزالت من طريقي أشواك الفشل، وإلى من ساندوني بكل حب في لحظات ضعفي، وإلى من رسموا لي مستقبلي بخطوط من الثقة والمحبة، إلى عائلتي العزيزة.
إلى النور الذي أنار دربي، والسراج الذي لا ينطفئ نوره، إلى العزيز الذي حملت اسمه فخراً، وداعمي الأول في مسيرتي، وسندي في الحياة، والدي العزيز.
أهدي فرحة تخرجي إلى تلك الإنسانة العظيمة، إلى من جعل الله الجنة تحت قدميها، وإلى من سهّلت عليّ الشدائد بدعائها، والدتي العزيزة.
إلى خيرة أيامي وصفوتها، إلى ضلعي الثابت وأمان أيامي، إخوتي وأخواتي.
إلى الذين يبهجهم نجاحي، وكانوا عوناً وسنداً لي في هذا الطريق، خالتي الأستاذة بوعبد الله إيمان وزوجها الأستاذ خليفي هشام.
إلى العزيز الذي افتقدته منذ بداية مشواري الجامعي، ويرتعش قلبي كلما ذُكر اسمه، إلى من فارقني جسداً وما زالت روحه ترفرف في سماء حياتي، إلى تلك الروح الطاهرة، عمي أحمد رحمه الله وأسكنه فسيح جناته.
وأخيراً، الشكر موصول لنفسي على صبرها وعزيمتها وإصرارها على مواصلة الطريق رغم الصعاب، راجيةً من الله تعالى أن ينفعني بما علّمني، وأن يعلمني ما أجهل، وأن يجعل هذا العمل حجةً لي لا عليّ.

بورحماني وفاء

التشكرات

أشكر الله عز وجل أن أنعم عليّ بإتمام هذا العمل المتواضع، ومن ثم يقتضي مني واجب الشكر والتقدير امتثالاً لقول المصطفى صلى الله عليه وسلم" :من لا يشكر الناس لا يشكر الله."

أتقدم بأسمى عبارات الشكر والامتنان إلى الدكتور المشرف موساوي عادل على هذا العمل، وأسأل الله أن يجازيه خير الجزاء.
كما لا أنسى أن أشكر زملائي وكل من قدم لي يد المساعدة من قريب أو بعيد في إنجاز هذا العمل، ولو بكلمة طيبة أو تشجيع.

فهرس

الفصل الاول: تقنية البلوكشين 2
1. تعريف البلوك شين (Blockchain) 3

.2 تقنية البلوك شين.....
3
.3 السجل الموزع 4
1.3. مفهوم السجل الموزع(Centralised Ledger) 4
2.3. خصائص السجل الموزع 4
3.3. مقارنة بين السجل الموزع و السجل المركزي 5
4 .تطور تقنية البلوك شين.....5
1.4. بلوك شين 1.0 : بيتكوين (Bitcon) 5
2.4. بلوكشين 2.0 : ايثيريوم (Ethereum) 5
3.4 . بلوك شين 3.0 :.....
6
4.4 . بلوك شين 4.0 :.....
6
.5 بنية البلوك شين.....
6
1.5. مكونات الكتلة : (Block Components) 6
2.5. العقد والشبكة (Nodes amd Netword).....8
3.5. اليات الاجماع (Consensus Mechanisms).....9
.6 طبقات البلوكشين.....12
.7 الطبقات المفاهيمية لبنية البلوكشين 13
8. كيف يعمل البلوك شين 14
.9 انواع بنية البلوك شين 15
10. العقود الذكية 17
اولا : مفهوم العقود الذكية: الية عملها وفوائدها.....17
ثانيا : طبقة العقود الذكية.....20
11. الترميز (Tokenization) 21
(1 مفهوم الترميز(Tokenization) 21
(2 تمثيل الاصول الرقمية 21
.12 الرموز غير القابلة للاستبدال (NFT) 22
(1 تعريف الرموز غير القابلة للاستبدال(Non-Fungible Token).....22
(2 خصائص NFT.....22
(3 مجالات استخدام NFT 23

13. منصات البلوك شين الحديثة 23
1. Ethereum 23
2. Solana 24
3. Avalanche(Avax) 25
4. Tron 26
5. Sui(Move) 27
6. Aptos 27
الفصل الثاني : سلسلة توريد الزراعية 29
1. مفهوم سلسلة التوريد 29
1.1تعريف سلسلة التوريد 29
2.1. الادارة سلسلة توريد 30
3.1. كيف تعمل سلسلة توريد ؟.....30
4.1. الفرق بين سلسلة التوريد وسلسلة القيمة.....32
5.1. اهمية ادارة سلسلة التوريد.....33
2. سلسلة التوريد الزراعية 33
1.2. تعريف سلسلة التوريد الزراعية 33
3.2. انواع المنتجات الزراعية.....34
4.2. خصائص المنتجات الزراعية.....34
3. الفاعلون في سلسلة التوريد 35
1.3. المزراع 35
2.3. وحدات التخزين والتجميع.....35
3.3. شركات النقل 35
4.3. تجار الجملة والتجزئة.....35
5.3. المستهلك 36
4. مراحل سلسلة التوريد الزراعية.....36
1.4. مرحلة اقتناء البذور ومدخلات الانتاج.....36
2.4. مرحلة الزراعة و المتابعة 36
3.4. مرحلة الحصاد وفحص الجودة.....36
4.4. مرحلة التخزين .....
36
5.4. مرحلة النقل و التوزيع.....37

6.4. مرحلة البيع و الاستهلاك.....37
5. واقع سلسلة التوريد الزراعية واشكالية التتبع : 37
1.5. سلسلة التوريد زراعية في الجزائر: 37
2.5. مفهوم التتبع 37
3.5. دور التتبع في سلامة الغذاء :.....37
4.5. نقائص الانظمة التقليدية 38
5.5. فوائد البلوك شين في سلاسل التوريد 38
الفصل الثالث : تصميم وتطوير نظام تتبع القمح قائم على البلوكشين 40
1. التطبيقات اللامركزية (DApps) 40
2. مفهوم لغة النمذجة الموحدة (Unified Modeeling Language).....41
1.2. مخطط حالات الاستخدام (Use Case Diagram) 41
2.3. مخطط التسلسل (Sequence Diagram).....43
3. تصميم النظام (System Design) 44
2.3. العناصر النظام (System Elements).....45
2.3. استخدام البلوكشين في التطبيق اللامركزي.....46
3.3 مكتبة Web3.js .....
46
4.3. النظام الخلفي خارج السلسلة (Off-chain Backend).....46
5.3 الواجهة الامامية (Frontend) 47
6.3 .الاتصال بين التطبيق والبلوكشين 47
4. ادوات التطوير 48
يتطلب تطوير هذا النظام استخدام مجموعة من الادوات , لغات البرمجية, انظمة التشغيل التي تساعد على بناء التطبيق وتشغيله بطريقة امنة. 48
1.4 العتاد ونظام التشغيل.....48
2.4 محرر الاكواد (Visual Studio Code).....48
3.4 Truffle Framework 48
4.4 Ganache 49
5.4 MetaMask.....49
6.5 اللغات المستخدمة في المشروع 50
5. تنفيذ العقد الذكي لسلسلة التوريد.....51
1.5 تحميل وتثبيت Ganache : 51
6. عقود الذكية لسلسلة التوريد 52

7. السيرفر(Backend) 58
إعداد السيرفر 58
الاتصال بالبلوكشين 58
8. الواجهة الأمامية(Frontend) 58
قائمة المراجع :..... 69

قائمة الصور

الشكل رقم 1 تقنية البلوكشين 3
الشكل رقم 2 السجل الموزع و المركزي 4
الشكل رقم 3 المعاملات 6
الشكل رقم 4 شبكة نظير الى نظير 9
الشكل رقم 5 اثبات العمل 10
الشكل رقم 6 اثبات الحصة 11
الشكل رقم 7 اثبات السلطة 11
الشكل رقم 8 طبقات البلوكشين 12
الشكل رقم 9 الطبقات المفاهيمية لبنية البلوكشين 14
الشكل رقم 10 كيف يعمل البلوكشين 15
الشكل رقم 11 انواع البلوكشين 16
الشكل رقم 12 العقود الذكية 18
الشكل رقم13 كيف تعمل العقود الذكية 19
الشكل رقم 14 لغة Solidity 21
الشكل رقم 15 الرموز غير القابلة للاستبدال 22
الشكل رقم 16 Eetherum 24
الشكل رقم 17 شعار Solana 25
الشكل رقم 18 شعار Avalanche 25

الشكل رقم 19 Tron 26
الشكل رقم 20 شعار Sui (move) 27
الشكل رقم 21 شعار Aptos 28
الشكل رقم 22 سلسلة التوريد 30
الشكل رقم 23 مراحل عملية ادارة سلسلة التوريد..... 31
الشكل رقم 24 الفرق بين سلسلة التوريد و سلسلة القيمة 32
الشكل رقم 25 سلسلة التوريد الزراعية..... 34
الشكل رقم 26 المنتجات الزراعية..... 34
الشكل رقم 27 تقنية بلوك شين في سلسلة زراعية 38
الشكل رقم 28 بنية التطبيق اللامركزي..... 41
الشكل رقم 29 مخطط حالات الاستخدام..... 42
الشكل رقم 30 مخطط التسلسل 44
الشكل رقم 31 تصميم نظام البلوكشين في سلسلة التوريد 45
الشكل رقم 32هيكل تطبيق لامركزي نموذج على شبكة الايثيروم..... 46
الشكل رقم 33 شعار Reactو Redux 47
الشكل رقم 34 التواصل بين تطبيق لامركزي وشبكة الايثيريوم و البلوكشين..... 48
الشكل رقم 35 شعار Visual Studio Code 48
الشكل رقم 36 شعار Truffle..... 49
الشكل رقم 37 شعار Ganache 49
الشكل رقم 38 واجهة MetaMask 50
الشكل رقم 39 واجهة Ganache 52
الشكل رقم 40 اضافة عقود..... 52
الشكل رقم 41 اعداد العقد الذكي والمتغيرات الاساسية..... 53
الشكل رقم 42 هيكلة البيانات والية التخزين 53
الشكل رقم 43 وظائف العقد الذكي ومعالجة البيانات 54
الشكل رقم 44 تعريف العقد والادوار 55
الشكل رقم 45 هيكل البيانات والتخزين..... 55
الشكل رقم 46 لدوال الرئيسية للعقد الذكي 56
الشكل رقم 47 تعريف العقد وربطه بعقد Wheat 56
الشكل رقم 48 هيكل بيانات التتبع والتخزين 56
الشكل رقم 49 التخزين الاحداث واضافة التتبع 57
الشكل رقم 50 دالة اضافة تتبع جديد 57
الشكل رقم51 استرجاع بيانات التتبع..... 57
الشكل رقم 52 جلب كل التتبع الخاص بشحنة..... 58
الشكل رقم 53 شجرة الملفات المشروع 59
الشكل رقم 54 اضافة شحنات القمح..... 60
الشكل رقم 55 واجهة تسجل مراحل التتبع 61
الشكل رقم 56 واجهة عرض جميع الشحنات..... 61
الشكل رقم57 واجهة فحص الجودة 62
الشكل رقم 58 الواجهة الرئيسية 62

الشكل رقم 59 واجهة الاحصائيات.....63
الشكل رقم 60 واجهة تسجيل المستخدمين.....63
الشكل رقم 61 واجهة QR 64
الشكل رقم 62 واجهة عرض جميع مراحل التتبع.....64

مقدمة العامة

يُعد القطاع الزراعي من القطاعات الحيوية التي تساهم بشكل أساسي في تحقيق الأمن الغذائي ودعم التنميةالاقتصادية. ومع ذلك، لا تزال سلاسل التوريد الزراعية تواجه العديد من التحديات، من أبرزها ضعف الشفافية، وصعوبة تتبع المنتجات، وغياب التنسيق الفعّال بين مختلف الأطراف المشاركة في السلسلة. كما تؤدي هذه المشكلات إلى زيادة مخاطر الغش والتلاعب بالمنتجات الغذائية وعدم القدرة على التحقق من مصدرها بشكل موثوق، مما قد يؤثر سلباً على سلامة المستهلك وثقته في المنتجات المعروضة في الأسواق .في السنوات الأخيرة، برزت تقنية البلوكشين كأحد الحلول التكنولوجية الحديثة القادرة على تحسين إدارة سلاسل التوريد. فهي توفر سجلاً رقمياً موزعاً يتميز بالشفافية والأمان وعدم قابلية البيانات للتعديل، مما يسمح بتسجيل ومشاركة المعلومات بين جميع الأطراف بطريقة موثوقة. كما تتيح العقود الذكية أتمتة العديد من العمليات وتقليل التدخل البشري، الأمر الذي يساهم في رفع كفاءة النظام وتعزيز موثوقية البيانات.

ويُعتبر القمح من أهم المنتجات الزراعية الاستراتيجية نظراً لدوره الأساسي في الأمن الغذائي. لذلك فإن ضمان تتبع القمح والتحقق من مصدره عبر مختلف مراحل سلسلة التوريد يُعد أمراً ضرورياً لضمان سلامة الغذاء وتعزيز ثقة المستهلك. ومن هذا المنطلق، توفر تقنية البلوكشين حلاً مبتكراً يسمح بتسجيل وتتبع جميع مراحل انتقال القمح بطريقة شفافة وآمنة. اعتمدت العديد من المؤسسات الزراعية على أنظمة معلومات وقواعد بيانات مركزية لإدارة وتتبع المنتجات الغذائية. ورغم مساهمة هذه الأنظمة في تحسين عملية إدارة البيانات، إلا أنها لا تزال تعاني من عدة قيود، مثل إمكانية التلاعب بالمعلومات، وصعوبة مشاركة البيانات بين مختلف الأطراف، إضافة إلى محدودية الشفافية وإمكانية التتبع.

1. إشكالية الدراسة

تعتمد سلاسل التوريد الزراعية التقليدية على أساليب تسيير مركزية وعمليات تسجيل يدوية، وهو ما يؤدي في كثير من الأحيان إلى ضعف الشفافية وصعوبة الوصول إلى معلومات دقيقة حول مصدر المنتجات ومسارها. كما أن توزيع البيانات بين عدة جهات يجعل عملية مراقبة الجودة وتتبع المنتجات أكثر تعقيداً، الأمر الذي قد يساهم في انتشار حالات الغش والتلاعب. في هذا الإطار، تسعى هذه الدراسة إلى استكشاف مدى إمكانية توظيف تقنية البلوكشين في تطوير نظام فعال لإدارة سلسلة توريد زراعية يضمن سلامة الأغذية ويوفرآ لية موثوقة لتتبع مصدر المنتجات.
وبشكل خاص، يركز هذا العمل على تصميم وتطوير نظام يعتمد على العقود الذكية لتسجيل المستخدمين وإدارة شحنات القمح وتتبع مراحل انتقالها داخل سلسلة التوريد. كما يهدف إلى دراسة مدى مساهمة تقنية البلوكشين في تعزيز الشفافية، وزيادة الثقة بين مختلف الأطراف، وتحسين إمكانية تتبع القمح من مرحلة الإنتاج إلى غاية وصوله إلى المستهلك النهائي.

2. أهداف الدراسة

تهدف هذه الدراسة إلى تصميم وتطوير نظام قائم على تقنية البلوكشين لإدارة وتتبع سلسلة توريد زراعية، بما يضمن سلامة الأغذية وإمكانية تتبع مصدر المنتجات بطريقة موثوقة وشفافة. ويتمثل الهدف الرئيسي في إنشاء نظام يعتمد على العقود الذكية لتسجيل مختلف الأطراف المشاركة في سلسلة التوريد وتتبع حركة المنتجات الزراعية عبر مراحلها المختلفة. يشمل النظام مجموعة من الوظائف الأساسية، مثل تسجيل المستخدمين وفق أدوار محددة، وتسجيل شحنات القمح، ومتابعة مراحل انتقالها بين مختلف الجهات المشاركة في السلسلة، بالإضافة إلى تخزين المعلومات المتعلقة بجودة المنتج ومصدره. كما يهدف النظام إلى توفير سجل رقمي آمن وغير قابل للتلاعب، يسمح بتتبع المنتج منذ مرحلة الإنتاج إلى غاية وصوله إلى المستهلك النهائي. ويركز هذا العمل على تطوير نموذج أولي عملي يمكن استخدامه كمرجع تقني لتطبيقات البلوكشين في المجال الزراعي، مع تقييم مدى فعالية هذه التقنية في تعزيز الشفافية والثقة داخل سلسلة التوريد.

3. نطاق الدراسة وحدودها

تركز هذه الدراسة على تطوير العقود الذكية والآليات الأساسية اللازمة لتتبع المنتجات الزراعية باستخدام تقنية البلوكشين، مع اعتماد القمح كدراسة حالة لتوضيح كيفية تطبيق النظام. تم تطوير النظام باستخدام شبكة Ethereum المحلية عبر Ganache والعقود الذكية المكتوبة بلغة Solidity ، إضافة إلى استخدام React.js للواجهة الأمامية و Node.jsو Express للربط بين الواجهة والبلوكشين. ولا تشمل الدراسة الجوانب القانونية والتنظيمية المرتبطة بتطبيق النظام على نطاق تجاري واسع، كما لا تتناول التكامل مع قواعد بيانات حكومية أو أنظمة مراقبة غذائية حقيقية. كذلك فإن النظام يمثل نموذجاً أولياً يهدف إلى إثبات إمكانية التطبيق، دون محاكاة جميع الظروف الواقعية أو التحديات التشغيلية التي قد تواجه الأنظمة التجارية واسعة النطاق. كما تبقى بعض الجوانب مثل التكامل مع إنترنت الأشياء(IoT) ، والتوسع على شبكات بلوكشين عامة، وتطبيق آليات أمنية متقدمة، مجالات مفتوحة لأعمال بحثية مستقبلية.

4. هيكل المذكرة

تم تقسيم هذه المذكرة إلى ثلاثة فصول رئيسية تجمع بين الجانب النظري والجانب التطبيقي. يتناول الفصل الأول المفاهيم الأساسية المتعلقة بتقنية البلوكشين، حيث يتم عرض مبادئ عملها، خصائصها، أنواعها، بالإضافة إلى العقود الذكية ودورها في تطوير التطبيقات اللامركزية. أما الفصل الثاني فيركز على سلسلة التوريد الزراعية، حيث يتم التطرق إلى مفهومها، مكوناتها، أهم التحديات التي تواجهها، ودور تقنية البلوكشين في تحسين الشفافية وإمكانية تتبع المنتجات الزراعية وضمان سلامة الأغذية. ويخصص الفصل الثالث للجانب التطبيقي للمشروع، حيث يتم عرض مراحل تصميم وتطوير النظام المقترح القائم على البلوكشين لتتبع القمح ، مع شرح العقود الذكية المستخدمة، وآلية عمل النظام، والسيرفر، والواجهة الأمامية، بالإضافة إلى النتائج المتحصل عليها. وفي الأخير، تُختتم المذكرة بخاتمة عامة تتضمن أهم النتائج المستخلصة وآفاق تطوير المشروع مستقبلاً.

الفصل الاول: تقنية البلوكشين

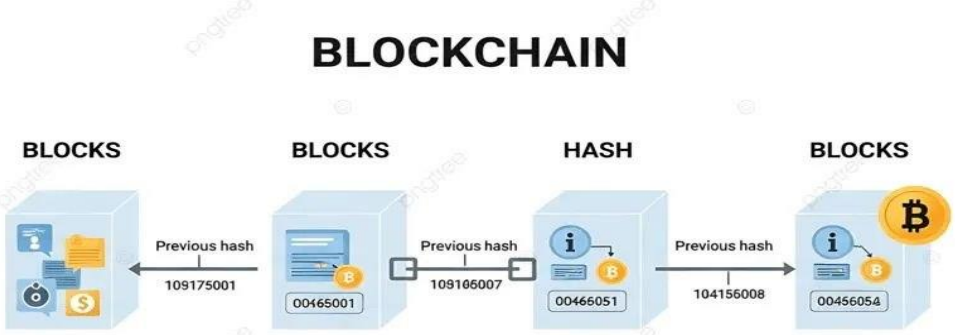
مقدمة

العالم في العقود الأخيرة شهد تطورًا متزايدا في مجال تكنولوجيا المعلومات والاتصالات، هذا أدى إلى ظهور حلول رقمية جديدة مثل تقنية البلوكشين التي تعد من الابتكارات الثورية في مجال ادارة

المعلومات التي الهدف الى تحسين طريقة تخزين البيانات وتبادلها وحمايتها . أن تقنية البلوك شين تعتمد على مبدأ السجل الموزّع واللامركزي، بحيث يتم تسجيل المعاملات والبيانات في شكل كتل مترابطة ومؤمّنة وهذا باستخدام تقنيات التشفير، ويتم مشاركتها بين جميع أطراف الشبكة دون الحاجة إلى جهة مركزية للتحكم أو الإشراف. ان هذه التقنية تمتاز بدرجة عالية من الشفافية و الأمان، كذلك عدم قابلية البيانات المسجّلة للتغيير. وقد ارتبط الظهور الأول للبلوك شين بالعملة الرقمية البيتكوين سنة 2008حيث أصبحت تقنية البلوك شين تُعتبر من الركائز الأساسية للتحول الرقمي الحديث، لما توفّره من حلول فعّالة لمشكلات الامن ، الشفافية، وأمن البيانات في الأنظمة التقليدي غير أن استخداماتها لم تَعُد تقتصر على المجال المالي فقط، بل امتدت لتشمل مجالات متعددة مثل سلاسل التوريد، العقود الذكية، الرعاية الصحية، الزراعة، والخدمات الحكومية.

1. تعريف البلوك شين (Blockchain)

تُعدّ تقنية سلسلة الكتل إحدى تقنيات قواعد البيانات الحديثة، حيث تتيح تسجيل البيانات على سلسلة كتل بطريقة مفتوحة وآمنة بين شركاء الأعمال من مختلف القطاعات. ويتم ذلك من خلال تسجيل البيانات وربطها في سلسلة متتابعة من الكتل المترابطة التي لا يمكن تغييرها أو حذفها بسهولة دون موافقة جميع أعضاء الشبكة. وبفضل هذه الخاصية، توفّر تقنية البلوكشين سجلًا رقميًا دائمًا وغير قابل للتعديل يُستخدم لتوثيق العديد من المعاملات مثل الطلبات، والمدفوعات، والحسابات وغيرها. إضافةً إلى ذلك، تضمن الخصائص الأمنية المدمجة في النظام أن تكون المعاملات مصرّحًا بها، وأن تسود نسخة واحدة صحيحة وموحّدة من البيانات [1].



الشكل رقم 1 تقنية البلوكشين

2. تقنية البلوك شين

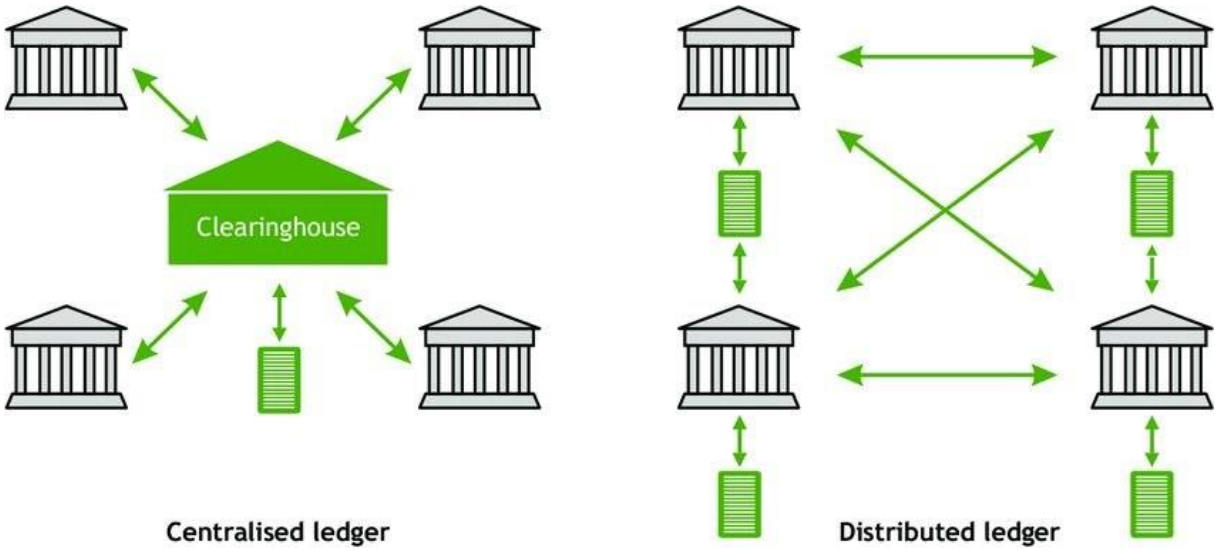
تقوم تقنية البلوك شين على فكرة مشاركة السجل الرقمي بين عدد كبير من العقد داخل شبكة واحدة، بحيث لا يوجد هناك جهة مركزية تتحكم في البيانات وتخزن المعلومات على شكل كتل مترابطة مع بعض، و كل كتلة تحتوي على مجموعة من المعاملات بالإضافة إلى بصمة رقمية التي بدورها تربطها بالكتلة السابقة، مما يجعل السلسلة مترابطة ومحمية ضد التلاعب.

إضافة انها تعتمد على نموذج الندّ للندّ في التواصل بين العقد، و نستخدم االبلوكشين عدة تقنات التشفير لضمان سلامة الديانات بحيث من الصعبة تعديلها بمعنى طبيعة النظام قائمة على النضافة فقط[2].

3. السجل الموزع

1.3. مفهوم السجل الموزع (Distributed Ledger)

يعتبر السجل الموزع نوعا من القواعد البيانات لتخزين معلومات عبر مجموعة من الحواسيب او العقد متصلة ضمن شبكة واحدة , دون الاعتماد على مركز تخزين واحد فقط . وتتميز هذه الانطمة بتزامن البيانات ومشاركتها مع جميع اعضاء الشبكة,هذا الامر الذي يمنع احتكار جهة واحدة لعملية التحكم او تعديل في السجل[3].



الشكل رقم 2 السجل الموزع و المركزي

2.3. خصائص السجل الموزع

- اللامركزية (Decentralization): بمعنى لا يوجد سلطة مركزية التي تتحكم في السجل، بل يتم توزيع التحكم بين جميع العقد المشاركة في الشبكة.
- التوزيع (Distribution): لدى كل عقدة في الشبكة يتم تخزين نسخة من الجيل ، وهذا يضمن توفر البيانات واستمراريتها حتى في حال تعطل بعض العقد.
- الشفافية (Transparency): نقصد بها أنه يمكن للأطراف المشاركة الاطلاع على المعاملات المسجلة والتحقق منها، و هذا حسب صلاحيات النظام المستخدم.
- الأمان (Security): لحماية البيانات وضمان سلامتها ومنع التلاعب بها يتم الاعتماد السجل الموزع على تقنات التشفير .
- عدم القابلية للتغيير (Immutability): بعد تسجيل المعاملة والمصادقة عليها، يصبح من الصعب جداً تعديلها أو حذفها، مما يضمن موثوقية السجل.
- الإجماع (Consensus): يتم تحديث السجل فقط بعد موافقة أغلبية العقد المشاركة في الشبكة وفق آلية إجماع محددة.

- الموثوقية (Reliability): بسبب وجود نسخ متعددة من السجل، تقل احتمالية فقدان البيانات أو تلفها [4] .

3.3. مقارنة بين السجل الموزع و السجل المركزي

السجل المركزي (Centralised Ledger) : هو قاعدة بيانات يتم فيه تخزين جميع المعلومات في موقع واحد وتكون ادارة تحت مسؤولية جهة واحدة مثل مؤسسة او هيئة حكومية او شركة. تتولى هذه الجهة التحقق من صحة المعملات وضمان سلامة وامن السجل [3] .

تتميز كل من السجل الموزع و السجل المركزي من عدة نقاط الاساسية منها :

- السجل المركزي (Centralised Ledger)

- ادارة البيانات تكون من جهة واحدة (فردا , مجموعة ,مؤسسة معينة) .
- يتطلب اذنا للوصول الى بيانات .
- يتميز بشفافية محدودة ويعتمد على جهة مركزية لضمان سلامة البيانات .
- اكثر كفاءة اقل تكلفة .
- التحكم بالوصول يقتصر فقط على الافراد او المؤسسات المصرح لها .

- السجل الموزع (Distributed Ledger)

- ادارة السجل يكون عبر الشبكة من المشاركين .
- كل عقدة تحفظ بنسخة كاملة من السجل .
- اي تعديل يلازم موافقة المشاركين الشبكة .
- يتميز بشفافية عالية مما يصعب التلاعب بالبيانات .
- اقل الكفاءة وزيادة في التكاليف .

4 .تطور تقنية البلوك شين

1.4. بلوك شين 1.0 : بيتكوين (Bitcon)

سبب ظهور الجيل الأول من تقنية البلوك شين هو الحاجة إلى طريقة لتحويل الأموال عبر الإنترنت بدون الاعتماد على البنوك أو جهات مركزية. في عام 2008، نشر شخص غامض باسم ساتوشي ناكاموتو الورقة العلمية الشهيرة التي قدمت البيتكوين كمثال عملي على البلوكشين. ثم في سنة 2009 تم إطلاق شبكة البيتكوين عمليًا مع تاسيس أول كتلة (Genesis Block) ويتميز هذا الجيل بمستوى عالي من الامان وشفافية واعتماده على مبدا لا مركزية [4].

2.4. بلوكشين 2.0 : ايثيريوم (Ethereum)

تعد ايثيريوم (Ethereum) لجيل الثاني من تقنية البلوك شين (Blockchain 2.0), حيث اقترحها فيتاليك بوتيرين لتوسيع حدود الاستخدام المالي التي تميزت بها بيتكوين. بعكس انظمة البلوك شين التقليدية تتيح ايثيريوم بيئة قادرة على تنفيذ الحوسبة العامة و دعم العقود الذكية ,مما يسهل على المطورين من انشاء

تطبيقات لامركزية معقدة تعمل وفق قواعد محددة مسبقا. تستند المنصة على الى عملتها رقمية الاصلية (ether-ETH) التي تستعمل كالاداة للتدوال ودفع الرسوم علاوة على دورها في تحفيز المشاركين في الشبكة[4][5].

3.4 . بلوك شين 3.0 :

ظهر الجيل الثالث من تقنية االبلوك شين لمعالجة القيود الاجيال السابقة خاصة فيما يتعلق ببطء المعاملات وارتفاعه التكاليف إضافة إلى حاجة للتوسع ودعم تطبيقات متعددة ومن ابرز المنصات الجيل الثالث solona ويتميز هذا الجيل بانخفاظ الرسوم و معاملات اسرع إضافة إلى قابلية أكثر لتطبيقات غير مالية مثل سلاسل التوريد[6].

4.4 . بلوك شين 4.0 :

يمثل بلوك شين 4.0 المرحلة المتقدمة من تطور تقنية البلوكشين , حيث يهدف الى جعلها منصة عملية وفعالة يمكن استخدامها بشكل مباشر في مجالات الاعمال والصناعة .ويتميز هذا الجيل بدمج البلوكشين مع تقنيات حديثة ,مثل الدذكاء الاصطناعي , مما يساهم في رفع مستوى الكفاءة وتحسين الاداء وتعزيز قدرات اتخاذ القرار.كما يسمح بتحقيق تكامل فعال بين مختلف الانظمة و المنصات الامر الذي يساعد الؤسسات على تلبية متطلباتها التشغيلية ودعم تطبيقاتها الصناعية والتجارية .وتعد منصتا Unibright و SEELE من ابرز الامثلة التي تعكس امكانات وتطبيقات هذا الجيل المتقدم من تقنية البلوك شين [7] .

5. بنية البلوك شين

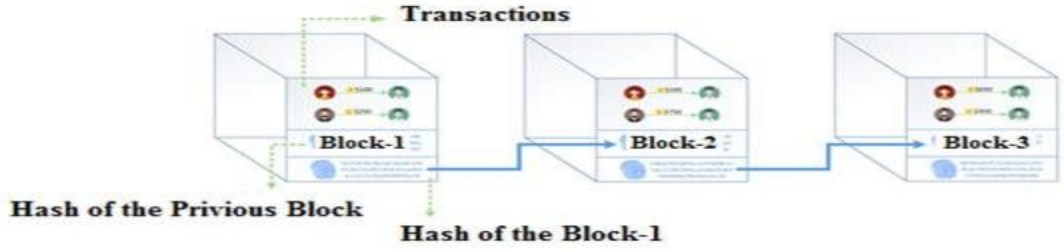
1.5. مكونات الكتلة : (Block Components)

تتكون كل كتلة في الشبكة البلوكشين من عدة عناصر اساسية تضمن سلامة البيانات وامان الشبكة وتشمل مايلي

- المعاملات(Transactions) :

المعاملة هي عملية رقمية تعني تنفيذ عدة اجراءات كوحدة متكاملة بحيث تنفذ كاملا او لا تنفيذ وهذا لضمان سلامة البيانات. ومنها حدوث اخطاء في تقنية بلوكشين تعرف المعاملة رسالة رقمية موقع باستخدام تقنات التشفير يقوم المستخدم بانشائها ثم يتم بثها إلى شبكة بلوكشن حيث تقوم العقد بالتحقق من صحتها تعتمد شبكات البلوكشين عادةً على نموذجين أساسيين لتنظيم المعاملات:

_ نموذج UTXO المستخدم في Bitcoin، حيث يتم تتبع المخرجات غير المصروفة من المعاملات السابقة



الشكل رقم 3 المعاملات

واستخدامها كمدخلات في معاملات جديدة

_ نموذج الحسابات (Account Model) المستخدم في Ethereum، حيث يتم تحديث رصيد الحساب مباشرة بعد تنفيذ المعامل[8] .

- الكتلة التاسيسية (Genesis Block) :

اول كتلة في سلسلة البلوكشين , وتتمميز بانها لا تحتوي على قيم التجزئة السابقة لانها بداية السلسلة . تتعبر الكتلة التاسيسية نقطة البداية التي تبنى عليها جميع الكتل اللاحقة[8] .

- الكتل(Blocks) :

الكتل (Blocks) تعتبر المكوّن الأساسي الذي تقوم عليه تقنية البلوكشين، حيث كل كتلة تمثل وحدة لتخزين البيانات . و كل كتلة تحتوي على مجموعة من المعاملات التي تم التحقق منها، بالإضافةً إلى معلومات تقنية تضمن سلامة السلسلة وربط الكتل ببعضها البعض. ومن خلال هذا الترابط المتسلسل بين الكتل، تتكوّن بنية تُعرف بسلسلة الكتل (Blockchain).

تتكوّن الكتلة بشكل عام من جزأين رئيسيين: محتوى الكتلة (Block Body) الذي يضم المعاملات

أولًا: رأس الكتلة (Block Header)

رأس الكتلة يحتوي على مجموعة من الحقول التي تلعب دورًا أساسيًا في تأمين الشبكة وتنظيم عملية إضافة الكتل الجديدة، ومن أهم هذه الحقول:

1. رقم الإصدار (Version):

يشير إلى نسخة البروتوكول أو البرنامج المستخدم، ويُستفاد منه في تتبّع التحديثات والتغييرات التي تطرأ على نظام البلوكشين.

2. هاش الكتلة السابقة (Previous Block Hash):

هو قيمة تجزئة بطول 256 بت ناتجة عن دالة تشفيرية مثل SHA-256، وتمثل البصمة الرقمية للكتلة السابقة. وبسببه يضمن الترابط بين الكتل ويجعلها مرتبة في سلسلة متتالية، بحيث يؤدي أي تعديل في كتلة سابقة إلى كسر هذا الترابط.

3. مستوى الصعوبة (Difficulty):

يعبر عن مقدار الجهد الحسابي المطلوب لإنشاء كتلة جديدة. في أنظمة إثبات العمل (Proof of Work)، يتم تعديل هذا المستوى تلقائيًا وفقًا لقدرة الحوسبة همه في الشبكة بهدف الحفاظ على زمن شبه ثابت لإنشاء الكتل.

4. جذر ميركل (Merkle Root):

هو قيمة هاش تمثل جميع المعاملات الموجودة داخل الكتلة باستخدام بنية شجرة ميركل. يتيح هذا الأسلوب التحقق من صحة أي معاملة داخل الكتلة بطريقة فعّالة دون الحاجة إلى فحص جميع المعاملات.

5. الطابع الزمني (Timestamp):

يمثل وقت إنشاء الكتلة وتسجيل المعاملات بداخلها، ويُستخدم لترتيب الكتل زمنيًا داخل السلسلة.

6. النونس (Nonce):

هو متغير عددي يُستخدم في خوارزمية إثبات العمل، حيث يقوم المعدّنون بتغييره مرارًا وتكرارًا إلى أن يتم العثور على قيمة هاش تحقق شروط الصعوبة المطلوبة.

ثانيًا: محتوى الكتلة (Block Body)

يضم هذا الجزء قائمة المعاملات التي تم التحقق من صحتها والموافقة عليها من طرف الشبكة. ويمثل هذا القسم البيانات الفعلية التي يراد تخزينها في البلوكشين، سواء كانت تحويلات مالية أو عمليات أخرى حسب نوع الشبكة[9] .

- قيمة التجزئة(Hash) :

قيمة مشفرة فريدة لكل كتلة تعرف باسم Hash ,وتعمل كبصمة رقمية للكتلة هذه تضمن عدم امكانية تعديل البيانات دون اكتشافه , حيث يؤدي اي تغيير في بيلنات الكتلة الى تغييرقيمة Hash مباشرة [8].

- العلاقة بين الكتل(Previous Hash) :

أن الكتل في تقنية البلوك شين ترتبط مع بعضها البعض على شكل حلقة متتابعة، بحيث كل كتلة تحتوي على قيمة تجزئة (Hash) للكتلة السابقة لها. هذا الارتباط هو ما يمنح البلوكشين اسمه: سلسلة الكتل (Blockchain). اي عندما يتم إنشاء كتلة جديدة، فإنها تتضمن داخل رأسها حقلًا يُسمّى هاش الكتلة السابقة (Previous Block Hash). مباشرة. وبهذه الطريقة، تصبح كل كتلة مرتبطة بالتي قبلها ارتباطًا تشفيريًا.يعني اذا تم تغيير بيانات الكتلة قديمة، فإن قيمة الهاش الخاصة بها ستتغير تلقائيًا. وبما أن الكتلة التالية تحتوي على الهاش القديم، فإن هذا التغيير سيؤدي إلى كسر السلسلة وجعل جميع الكتل اللاحقة غير صالحة[9].

2.5. العقد والشبكة

تلعب العقد (Nodes) دورا محوريا في شبكة البلوكشين ,فهي تمثل الاجهزة الكمبيوتر او الانظمة المسؤولة عن ادارة الشبكة و التحقق من المعاملات . مع الحفاظ على نسخة كاملة من السجل الموزع في كل عقدة.

- تعريف العقد (Nodes)

عقدة هي عنصر او جهاز متصل بشبكة االبلوكشين يمثل نقطة اتصال داخل الشبكة وكل عقدة تعمل كعنصر مستقل داخل النظام حيث تشارك في تبادل المعلومات و معالجة البيانات بالإضافة إلى حفظ سجل المعاملات والتحقق من صحتها لضمان استمرارية وامان النظام.

يمكن تشبيه العقد بالمشاركين في شبكة جماعية ومن وضائف العقد في طبقة الشبكة :

_ تخزين البيانات : كل عقدة تحتوي على نسخة من سلسلة الكتل (Blockchain)، مما يضمن وجود نسخ متعددة وموزعة للبيانات داخل الشبكة.

_ التحقق من المعاملات : عندما يُنشأ مستخدم معاملة جديدة، تقوم العقد بالتحقق من صحتها قبل إضافتها إلى الكتلة. هذا يشمل التأكد من صحة التوقيع الرقمي، وتوافر الرصيد في حالة العملات الرقمية.

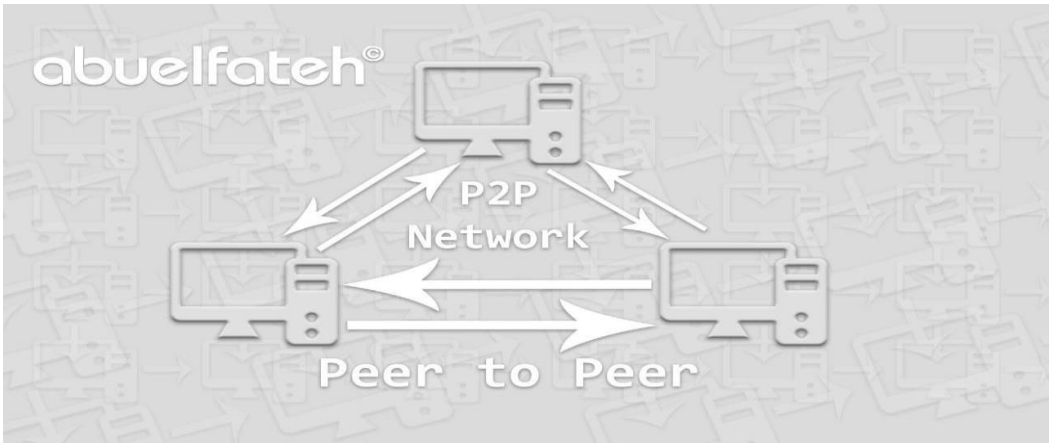
_ نقل المعاملات والكتل : بعد التحقق، تقوم العقد ببث المعاملات والكتل الجديدة إلى باقي العقد في الشبكة. هذا يجعل جميع المشاركين لديهم نفس نسخة البيانات في الوقت نفسه.

_ المشاركة في الإجماع : بعض العقد تُعرف باسم العقد الكاملة (Full Nodes)، وتشارك في عملية تحقيق الإجماع (Consensus) لتأكيد صحة الكتل الجديدة. هذا يضمن أن أي كتلة مضافة تتوافق مع قواعد البروتوكول.

_ حماية الشبكة واللامركزية : ما أن كل عقدة مستقلة، فإن الشبكة لا تعتمد على خادم مركزي واحد. هذا يجعل البلوكشين مقاومًا للهجمات والتوقفات المفاجئة [10].

- شبكة نطير الى نظير (Peer-to-Peer ,P2P)

تعتمد شبكة البلوكشين على نموذج نظير الى نظير ,حيث تتصل كل عقدة مباشرة بالعقد الاخرى دون الحاجة الى خادم مركزي [9] .



الشكل رقم 4 شبكة نظير الى نظير

يتيح هذا النموذج :

- تبادل البيانات بسرعة بين العقد.
- مقاومة الاعصال والهجمات علي اي عقدة فردية.
- توزيع المعلومات بشكل موحد على كل العقد لضمان الشفافية.

- الاتصال بين العقد (Node Communication)

يعد الاتصال بين العقد احد عناصر الاساسية في تشغيل شبكة البلوكشين .تتبادل العقد رسائل تحتوي على المعاملات الجديدة , الكتل المضافة و اي تحديثات في السجل الموزع وتستخدم بروتوكولات اتصال محددة لضمان تزامن بين جميع العقد, بحيث تمتلك كل عقدة نسخة متطابقة من السجل الرقمي , ممايحافظ على تكامل البيانات و يقلل من احتمالية الاخطاء او التلاعب , مما يعزز امان الشبكة وموثوقية العمليات المسجلة عليها [11] .

3.5. اليات الاجماع (Consensus Mechanisms)

تعتبر الية الاجماع من العناصر الاساسية في تقنية البلوكشين , حيث تهدف الى ضمان اتفاق جميع العقد على الحالة الصحيحة للسجل الموزع , بما في ذلك صحة المعاملات و ترتيبها. وبما ان الشبكة لاتعتمد على جهة مركزية يتم استخدام خوارزميات الاجماع للتحقق من المعاملات قبل اضافيها الى سلسلة الكتل.

تعمل هذه الخوارزميات من خلال قيام العقد بمراجعة المعاملات المقترحة , وعند توافق عليها اغلبية العقد , يتم تاكيدها واضافتها الى بلوكشين وتعرف هذه العملية باسم التعدين في بعض الانظمة ,خاصة تللك التي تستخم الية اثبات العمل.

تهدف اليات الاجماع الى منع مشكلة الانفاق المزدوج (Double Spend) والتي تتمثل في استخدام نفس العملة الرقمية اكثر من مرة ,كما تساعد على تحقيق الاتفاق بين العقد في الشبكة حتى فى حالة وجود عقد غير موثوقة وهو ما يعرف بمشكلة الجنزالات البيزنطيين (Byzantine Generale Problem).

توجد عدة انواع من اليات الاجماع , ويعتمد اختيارها على متطلبات الشبكة من حيث الامان والكفاءة ومن اشهر هذه الاليات :

a) اثبات العمل - Proof of Work(PoW)

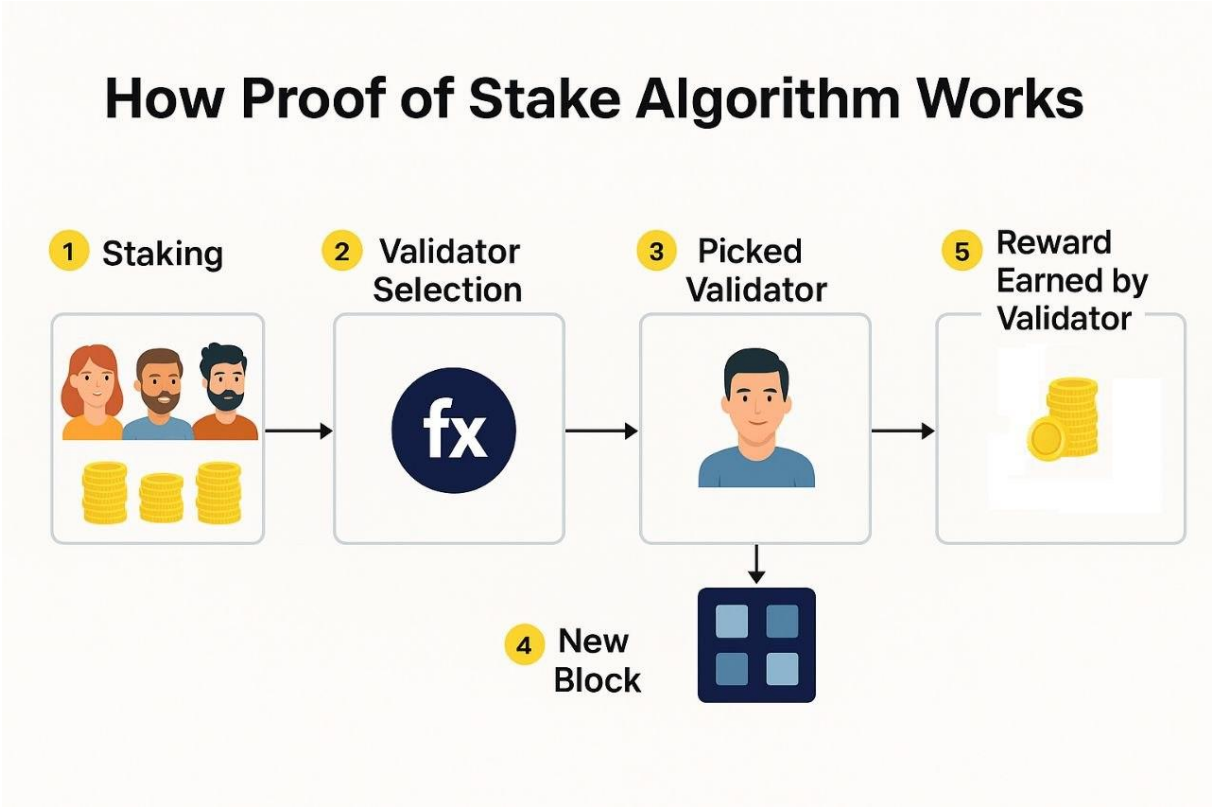
اثبات العمل هو خوارزمية اجماع تستخدم في شبكات البلوكشين من أجل التحقق من المعاملات واضافة كتلة جديدة إلى سلسلة الكتل. و تعتمد هذه الخوارزمية على قيام المشاركين في الشبكة بحل الغاز رياضية معقدة باستخدام القدرة الحاسوبية. أول جهاز ينجح في حل هذه المسألة يحصل على الحق في إضافة الكتلة الجديدة إلى البلوكشين.أن أهمية هذه الخوارزمية توفير مستوى عالٍ من الأمان لشبكات البلوكشين، اي محاولة تعديل أي كتلة في السلسلة يتطلب إعادة حل المسألة الرياضية ليس فقط لتلك الكتلة بل لكل الكتل التي تليها، لذلك يُعد هذا النظام فعالًا في منع التلاعب بالبيانات وضمان ثقة جميع المشاركين في الشبكة.

الشكل رقم 5 اثبات العمل

ومن أشهر الأنظمة التي تعتمد على خوارزمية إثبات العمل شبكة Bitcoin، حيث يتم استخدام التعدين للتحقق من المعاملات وإضافة الكتل الجديدة إلى

b) اثبات الحصة - Proof of Stake (PoS)

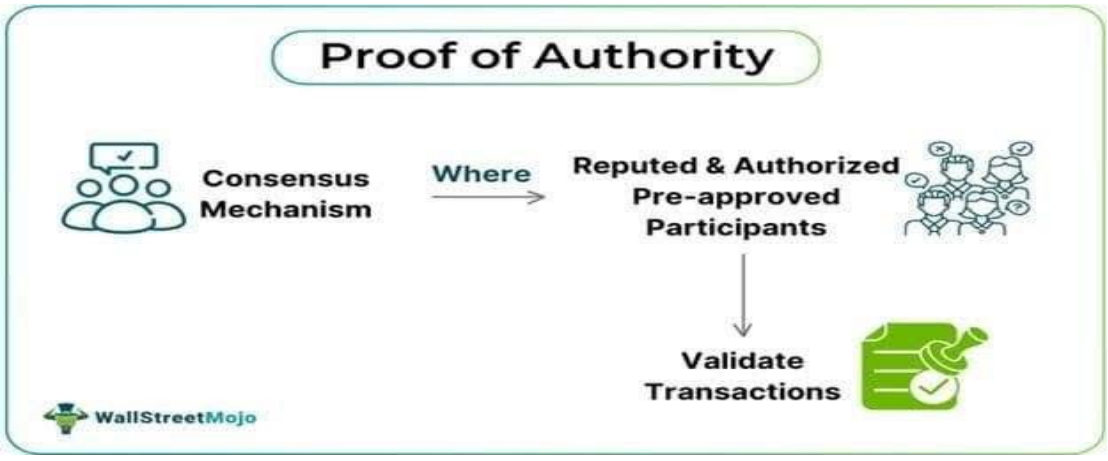
تعتمد الية اثبات الحصة على اختيار العقد التي تمتلك كمية من العملات الرقمية للتحقق من المعاملات وانشاء الكتل.تزداد فرص اختيارالعقدة كلما زادت كمية العملات التي تمتلكها او تقوم بتجميدها داخل الشبكة .



الشكل رقم 6 اثبات الحصة

تتميز هذه الالية بانها تستهلك طاقة اقل وتوفر سرعة اكبر في معالجة المعاملات مقارنة باثبات العمل, مما يجعلها اكثر كفاءة وقابلة للتوسع[13].

c) اثبات السلطة - Proof of Authority(PoA)

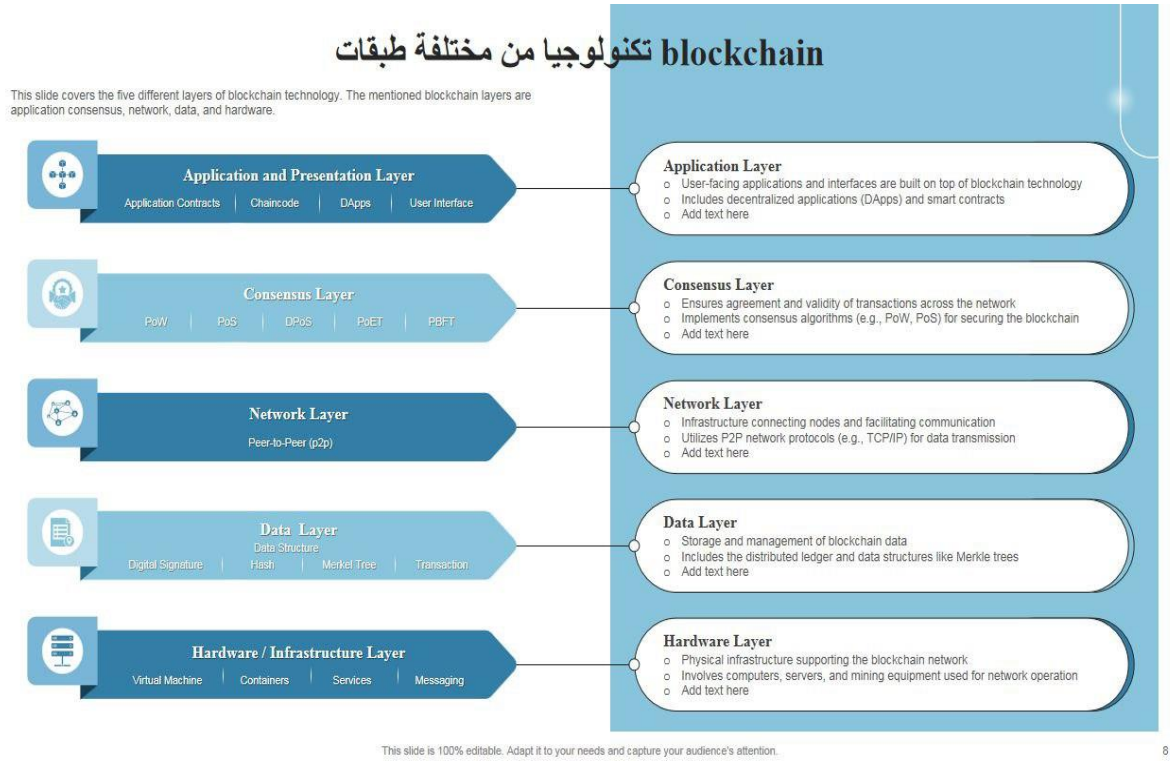


الشكل رقم 7 اثبات السلطة

تعتبر خوارزمية اثبات السلطة (PoA) احدى خوارزميات الاجماع التي نستخدمها في انظمة بلوكشين وهي عبارة عن نسخة معدلة من خوارزمية اثبات الحصة . حيث إن مُحقّقي الكتل لا يقومون برهن العملات، بل يعتمدون على سمعتهم وهويتهم داخل الشبكة. وبناءً على السمعة، يتم اختيار مجموعة من الكيانات الموثوقة مسبقًا، ومنحها الصلاحية للتحقق من المعاملات وإنشاء كتل جديدة في الشبكة.

6. طبقات البلوكشين

يمكن تصنيف البنية الطبقية للبلوك شين الى خمس طبقات رئيسية :



الشكل رقم 8 طبقات البلوكشين

- طبقة البنية التحتية للاجهزة:

تمثل طبقة الاجهزة الاساس الذي تقوم عليه شبكة البلوك شين , وتتكون من مجموعة من الحواسيب تسمى العقد, تقوم هذه العقد بتخزين بيانات البلوك شين والتحقق من المعاملات ومشاركة المعلومات مع باقي العقد عبر شبكة نظير الى نظير(P2P). ممايسمح بتبادل البيانات دون الحاجة الى خادم مركزي.وتوفر هذه الطبقة البيئة الازمة لتشغيل الشبكة وضمان استمرارها[14].

- طبقة البيانات:

تعد الطبقة المسؤولة عن تخزين وتنظيم المعاملات داخل سلسلة من الكتل المرتبطة ببعضها باستخدام قيمة التجزئة . تبدا هذه السلسلة بكتلة التكوبين , ثم يتم ربط كل كتلة جديدة بالكتلة التي قبلها , ممايضمن سلامة البيانات ويجعل تعديلها صعبا .

كما تعتمد هذه الطبقة على تشفير والتوقيع الرقمي من اجل تامين المعاملات والتحقق من صحة وهوية المرسل , مما يمنع التلاعب ويعزز امان البلوك شين [15].

- طبقة الشبكة:

تمثل الطبقة التي تسمح للعقد في شبكة البلوك شين بالاتصال مع بعضها البعض باستخدم نظام النظير الى نظير(P2P).من خلال هذه الطبقة يمكن للعقد اكتشاف العقد الاخرى وتبادل المعلومات مثل الكتل الجديدة.

كما تعمل على نشر المعلومات بين جميع العقد , مما يضمن تحديث السجل الموزع بشكل مستمر والحفاظ على تزامن البيانات بين مختلف المشاركين في الشبكة. ويساهم هذا الاتصال في ضمان صحة المعاملات والحفاظ على استقرار الشبكة[15].

- طبقة التوافق:

طبقة المسؤولة عن التاكد من صحة المعاملات قبل اضافتها الى البلوك شين. تقوم مجموعة نت العقد بمراجعة المعاملة, واذا اتفقت فيما بينها على صحتها يتم قبولها واضافتها الى السلسلة, بدون هذه الطبقة لايمكن تاكيد المعاملات, ممايؤدي الى فشل النظام.

تعتمد هذه الطبقة على قواعد محددة تلتزم بها جميع العقد, حيث تقوم عدة عقد بالتحقق من المعاملة وعند موافقة العدد المطلوب يتم اعتمادها .مما يضمن ان الشبكة تعمل بطريقة امنة ومنظمة دون تحكم جهة واحدة .كما تساعد على منع حدوث تعارض او اضافة اكثر من سلسلة في نفس الوقت [16][13].

- طبقة التطبيقات:

الطبقة التي يتعامل معها المستخدم مباشرة من خلال البرامج والتطبيقات المختلفة .تشمل هذه الطبقة التطبيقات اللامركزية,والعقود الذكية, وواجهات المستخدم, وواجهات برمجة التطبيقات, والتي تستخدم لارسال واستقبال البيانات من سبكة البلوك شين.

تنقسم هذه الطبقة الى جزاين :

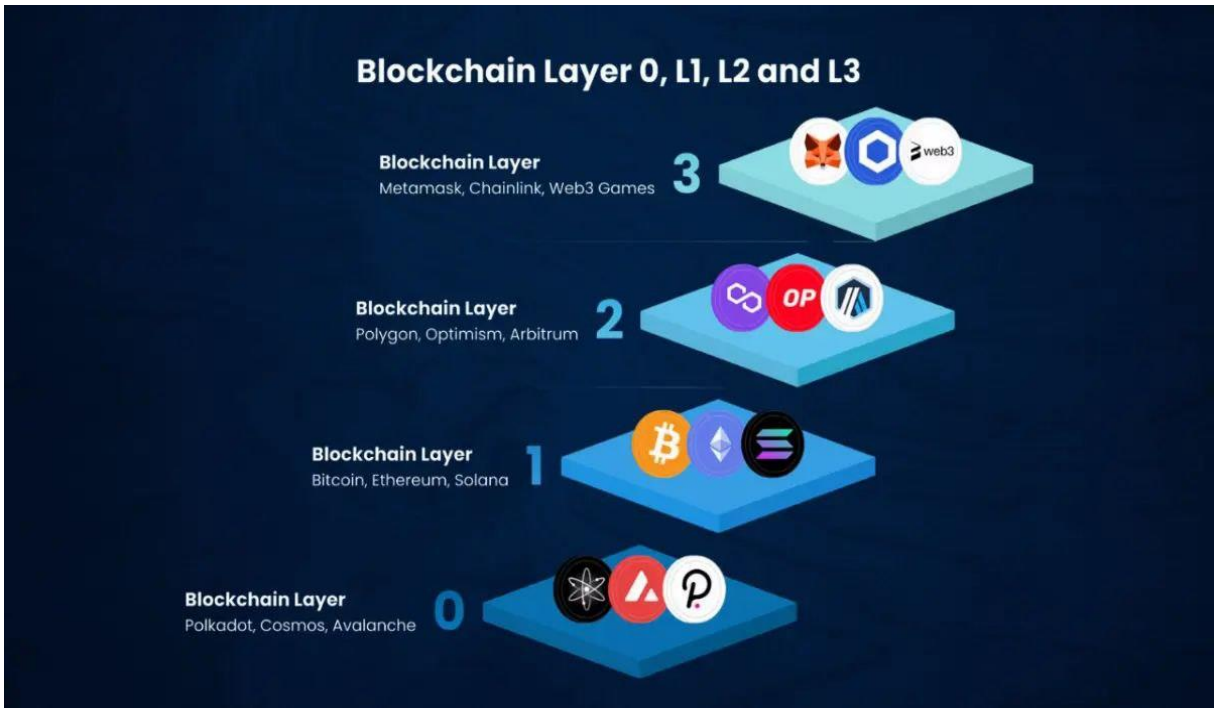
- جزء خاص بالتطبيقات التي يستخدمها الاشخاص.
- وجزء خاص بالتنفيذ, حيث يتم تنفيذ العقود الذكية ومعالجة المعاملات وفق القواعد المحددة.

تعمل هذه الطبقة كواجهة بين المستخم وشبكة البلوك شين, ممايتح تطوير تطبيقات مثل المحافظ الرقمية[14].

7. الطبقات المفاهيمية لبنية البلوكشين

- الطبقة 0 (Layer 0):

الطبقة صفر هي الاساس الذي يقوم عليه البلوك شين. تشمل الاجهزة, البروتوكولات, والروابط بين الشبكات, ويمكن تشبيهها بشبكة تربط عدة شبكات بلوك شين معا.تساعد هذه الطبقة سلاسل البلوك شين على التواصل والعمل مع بعضها البعض, كما توفر قاعدة لحل مشاكل التوسع في المستقبل.غالبا ما تحتوي على عملة رقمية خاصة لتحفيز المستخدمين والمطورين على المشاركة[13].



الشكل رقم 9 الطبقات المفاهيمية لبنية البلوكشين

- الطبقة 1 (Layer 1):

الطبقة الاولى هي اساس شبكة البلوك شين, فهي المسؤولة عن كل الوضائف الرئيسية مثل التحقق من المعاملات, حل النزاعات, وتنفيذ بروتوكولات الشبكة. يمكن اعتبار هذه الطبقة بمثابة البلوك شين نفسه.مع زيادة عدد المستخدمين ,قد تواجه هذه الطبقة مشاكل في التوسع, ممايؤدي الى زيادة رسوم المعاملات وطول وقت المعالجة بسب الحاجة لقوة حاسوبية اكبر لاضافة الكتل. لتخفيف هذه المشاكل, تستخدم تقنيات مثل اثبات الحصة و الشاردينع(Sharding) لتقسيم العمليات الحسابية الى اجزاء اضغر, لكنها ليست حلا مثاليا دائما[15].

- الطبقة 2 (Layer 2):

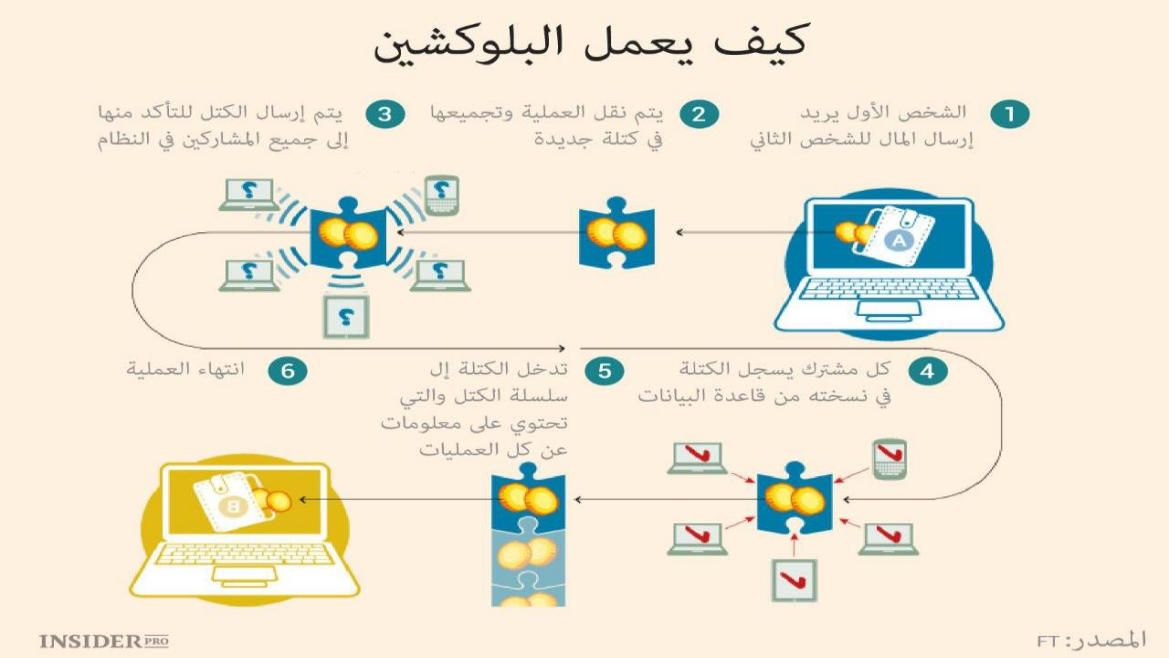
الطبقة الثانية تضاف فوق الطبقة الاولى لتحسين سرعة المعملات وتقليل الازدحام الشبكة.تقوم هذه الطبقة بمعالجة جزء من المعاملات خارج السلسلة الاولى ثم ارسال النتائج النهائية اليها, مما يقلل الضغط على الشبكة الاساسية ويزيد كفاتها. كما تساعد على في الحفاظ على امان ولامركزية الشبكة في نفس الوقت. مثال معروف هو شبكة Lightning على بيتكوين, التي تتيح معاملات اسرع وارخص دون التاثير على امان السلسلة الاصلية[16].

- الطبقة 3 (Layer 3):

الطبقة الثالثة هي الطبقة التي يتفاعل معها المستخدمون مباشرة .توفر هذه الطبقة واجهات سهلة للتعامل مع الطبقتين الاولى والثانية,وتشمل التطبيقات اللامركزية, المحافظ الرقمية, ومنصات التدوال السيولة و التخزين المؤقت. تتيح هذه الطبقة استخدام تقنية البلوك شين في الحياة العملية, مثل منصات التدوال اللامركزية Uniswap , المحافظ الرقمية Binance, ومنصات التدوال السيولة Aave [14] .

8. كيف يعمل البلوك شين

عند اجراء معملة جدبدة في البلوك شين, يتم تجميعها مع معاملات اخرى داخل كتلة جديدة. بعد ذلك, يتم التحقق من صحة هذه المعملات والتاكد من انها موقعة رقميا, وذلك لضمان التلاعب بها. قبل اضافة الكتلة الى السلسلة, يجب ان توافق عليها اغلبية العقد (اجهزة الحاسوب المشاركة) الموجودة في السلسلة, حتى يتم اعتمادها رسميا واضافتها الى البلوكشين.



الشكل رقم 10 كيف يعمل البلوكشين

كل كتلة تحتوي على :

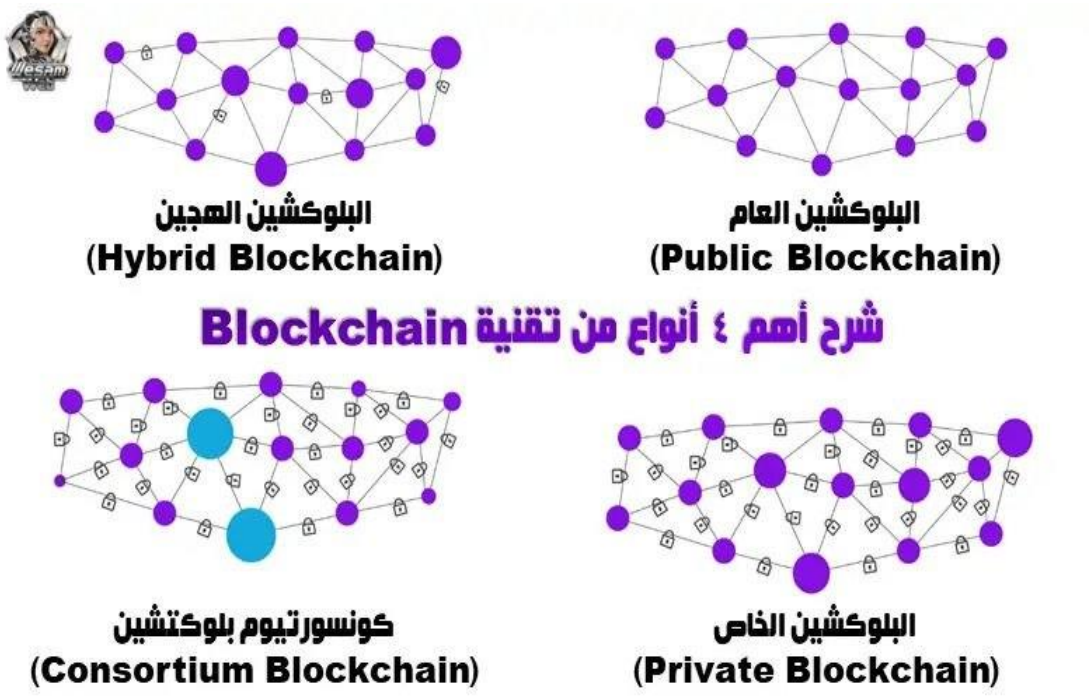
- بيانات المعاملات (مثل المرسل, المستقبل, والمبلغ)
- هاش (hash) خاص بها
- هاش الكتلة السابقة

هاش هو رمز رقمي فريد يتم انشاءه باستخدام خوارزمية تشفير مثل SHA-256 , ويعمل مثل بصمة رقمية لكتلة. اذا تم تغيير اي معلومات داخل كتلة, يتغير الهاش مباشرة, مما يكشف اي محاولة التلاعب. كما ان وجود هاش الكتلة السابقة يربط الكتل ببعضها ويكون سلسلة مترابطة, وتسمى اول كتلة في هذه السلسة كتلة التكوين (Genesis Block).

في شبكات مثل Bitcoin يتم استخدام الية تسمى الية العمل(POW) .في هذه الحالة, يقوم المعدنون (عقد تتحقق من المعاملات وتضيف الكتل جديدة الى البلوك شين) بحل مسائل حاسبية معقدة لاضافة كتلة جديدة, بعد ذلك يتم ارسال الكتلة الى جميع العقد في الشبكة, وكل عقدة تقوم بالتحقق منها قبل اضافتها الى نسختها من السجل.ويتم ذلك وفق قواعد تعرف ببروتوكول الاجماع , الذي يضمن اتفاق جميع العقد على نفس البيانات.

بهذه الطريقة, يصبح البلوك شين نظاما امنا وموثوقا,لان اي محاولة لتغيير البيانات تتطلب تعديل جميع الكتل والسيطرة على معظم العقد, وهو امر بالغ الصعوبة[17].

9. انواع بنية البلوك شين



الشكل رقم 11 انواع البلوكشين

_البلوكشين العام (Public Blockchain)

شبكة مفتوحة للجميع, حيث يمكن لاي شخص الانظمام وانشاء عنوان خاص به ليصبح عقدة في الشبكة.كل عقدة يمكنها قراءة البيانات, اضافة معاملات جديدة, والتحقق من صحة المعاملات الاخرى.[20][21]

امثلة : بيتكوين, ايثيريوم .

المزايا :

- شفافية: جميع المعاملات متاحة للجميع ويمكن التحقق منها.
- امان:التشفير والتحقق اللامركزي يجعل الشبكة صعبة الاختراق او التلاعب بها.
- اللامركزية: لايوجد سلطة مركزية, مايعزز الاستقلالية والتحكم الجماعي.

_ البلوكشين الخاص (Private Blockchain)

شبكة مغلقة تدار بواسطة جهة واحدة اومجموعة من الكيانات, حيث يمكن فقط للمستخدمين المصرح لهم الانظمام والمشاركة.في هذا النوع, لاتكون كل العقد متساوية في الصلاحيات, لذلك النظام يكون جزئيا لامركزي [22].

امثلة: Ripple , R3Corda

المزايا:

- تحكم كامل في الشبكة و الصلاحيات.
- اداء اسرع بسبب عدد محدود من المشاركين.
- حماية افضل للبيانات الحساسة.

_ البلوكشين الكونزرتيوم (Conortium Blockchain)

نوع من شبكات البلوكشين المصرح بها, يتم ادارته من قبل مجموعة من المؤسسات بدلا من جهة واحدة. يقتصر الانظمام والمشاركة فيها على الاعضاء المعتمدين فقط, وتقوم المؤسسات المشاركة معا بادارة الشبكة والتحقق من المعاملات.

الامثلة: مشاريع مشتركة بين البنوك او المؤسسات المالية [18].

الميزات:

- تعزيز التعاون: يسمح لعدة مؤسسات بالعمل معا على منصة مشتركة.
- امان اعلى: يتم التحقق من المعاملات من قبل عدة جهات, مما يزيد من الموثوقية.
- تحكم مشترك: تحتفظ كل مؤسسة بالتحكم في بياناتها مع المشاركة في ادارة الشبكة.

_ البلوك شين الهجين (Hybrid Blockchain)

نوع يجمع بين البلوك شين عام والخاص, حيث يسمح بالاحتفاظ ببعض البيانات بشكل خاص, مع امكانية التحقق من بيانات اخرى بشكل عام. ممايحقق توازنا بين الخصوصية و الشفافية [19].

الامثلة :منصة XinFin التي تدعم المعاملات الخاصة مع امكانية التحقق العام.

المزايا :

- يتيح التحكم في من يمكنه الوصول البيانات.
- يوفر مستوى عال من الامان وحماية المعلومات.
- يجمع بين الخصوصية و امكانية التحقق والشفافية.

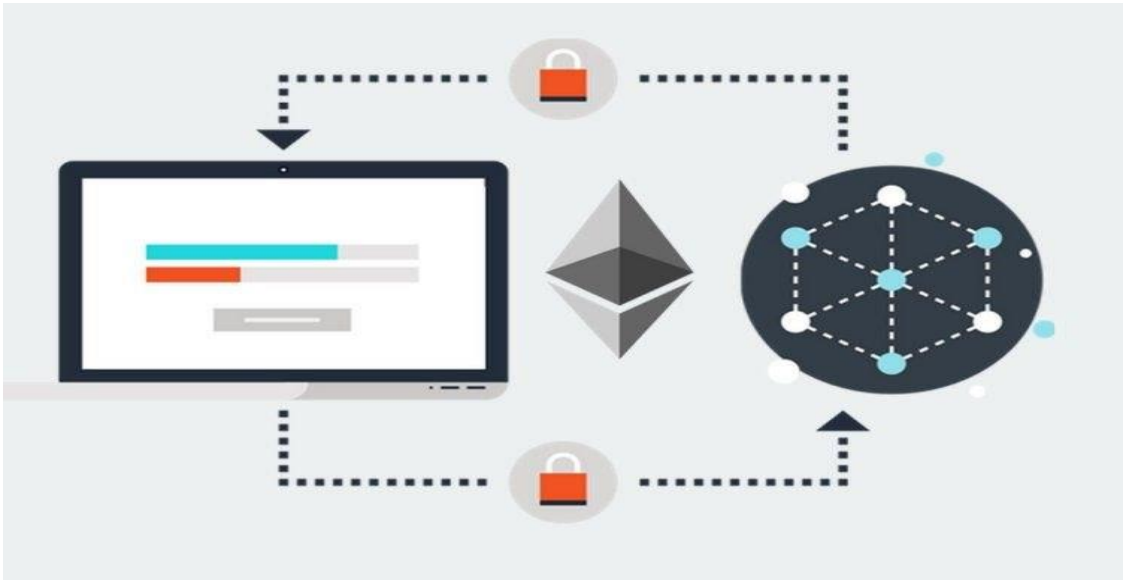
10. العقود الذكية

اولا : مفهوم العقود الذكية: الية عملها وفوائدها

تخيل الة بيع تعطيك مشروبك مباشرة بعد ادخال المبلغ الصحيح, دون الحاجة الى تدخل اي شخص. يساعد هذا المثال على توصيح فكرة العقد الذكي فب عالم البوك شين. فالعقود الذكية تغير طريقة ابرام الاتفاقيات وتنفيذها, حيث تسمح بتفيذ المعملات بشكل تلقائي وامن دون الحاجة الى وسيط.

1) ماهو العقد الذكي ؟

العقد الذكي هو برنامج حاسوبي ذاتي التنفيذ يتم نشرة على شبكة البلوكشين, حيث يحتوي على شروط محددة مكتوبة في شكل كود برمجي.ويتم تنفيذ هذه الشروط تلقائيا عند تحققها دون الحاجة الى وسيط, هذا يساعد على توفير الامان والشفافية ويمنع التلاعب بالبيانات.ويعود مفهوم العقود الذكية الى العالم Nick Szabo, وقد انتشر استخدامها بشكل واسع مع ظهور منصات البلوك شين مثل Ethereum [23]



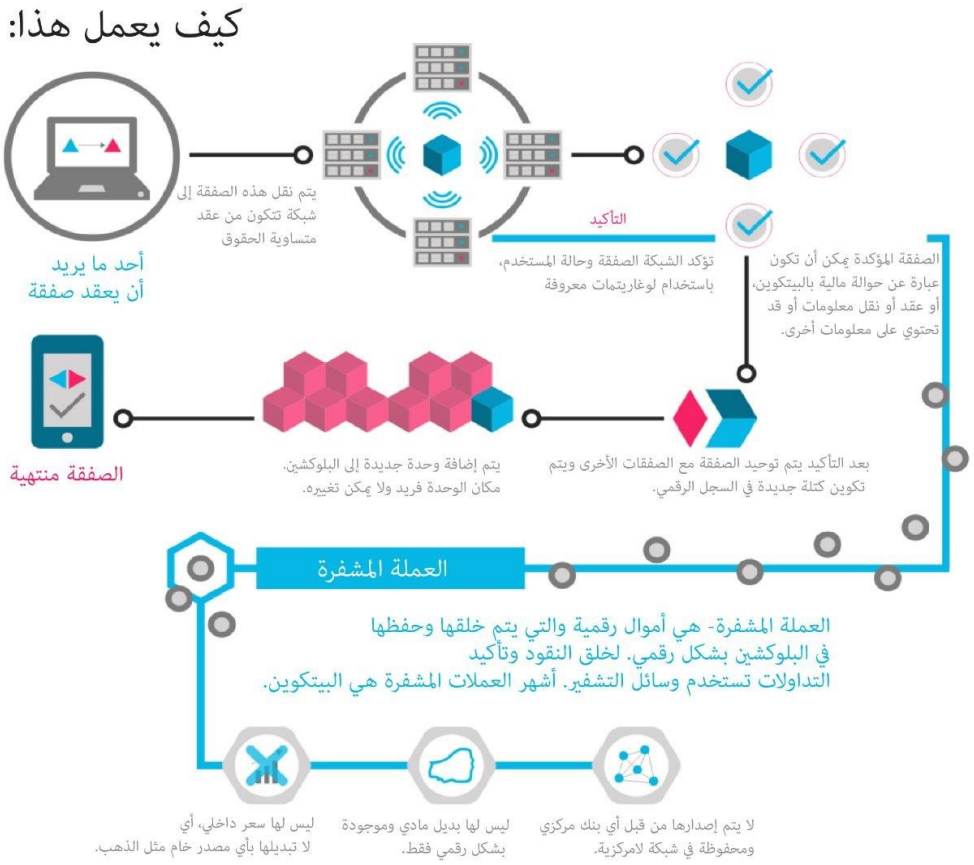
الشكل رقم 12 العقود الذكية

2) كيف تعمل العقود الذكية ؟

تمر عملية تنفيذ العقد الذكي بعدة مراحل اساسية وهي :

كتابة العقد الذكي : يقوم المطور بكتابة العقد الذكي وتحديد الشروط والقواعد باستخدام لغة لرمجة مخصصة لتقنية البلوك شين.

1. نشر العقد على البلوك شين : يتم تحميل العقد الذكي الى شبكة البلوك شين, حيث يحصل على عنوان خاص ويصبح جزءا من السجل الموزع.
2. انتظار تحقق الشروط: يظل العقد الذكي في حالة انتظار الى ان يتم استيفاء الشروط المحددة ,مثل استلام دفعة مالية او ادخال بيانات معينة.
3. تنفيذ العقد تلقائيا : عند تحقق الشروط , يقوم العقد بتنفيذ الاوامر المحددة مسبقا, مثل تحويل الاموال او تسجيل معاملة.
4. تسجيل نتيجة على البلوك شين : يتم تسجيل نتيجة التنفيذ بشكل دائم غلى شبكة البلوك شين, مما يضمن عدم امكانية تعديلها ويعزز الموثوقية و الشفافية [24].



الشكل رقم 13 كيف تعمل العقود الذكية

3) خصائص العقود الذكية

- التنفيذ التلقائي (Automatic Execution):

يقوم العقد الذكي بتنفيذ الإجراءات المتفق عليها بشكل تلقائي بمجرد تحقق الشروط المبرمجة فيه. وهذا يسمح بإتمام العمليات بسرعة وكفاءة دون الحاجة إلى تدخل بشري أو الاعتماد على طرف ثالث.

- عدم القابلية للتعديل (Immutability):

بعد نشر العقد الذكي على شبكة البلوكشين لا يمكن تغييره أو التعديل عليه. ويمكن فقط إيقافه أو حذفه إذا كانت هذه الخاصية مدمجة مسبقًا في تصميم العقد.

- الحتمية (Determinism):

تنفيذ العقد الذكي يعطي نفس النتيجة في كل مرة يتم تشغيله فيها، بغض النظر عن العقدة التي تقوم بتنفيذه داخل الشبكة. وإذا ظهرت نتائج مختلفة بين العقد، فلن يتم تحقيق الإجماع داخل الشبكة.

- الأمان (Security):

تتمتع العقود الذكية بدرجة عالية من الحماية ضد التلاعب، وذلك بفضل البنية الأمنية لتقنية البلوكشين. وحتى في حال محاولة اختراق النظام، سيضطر المهاجم إلى تعديل جميع الكتل اللاحقة للكتلة التي تم تغييرها، وهو أمر معقد وصعب للغاية.

4) فوائد العقواعد الذكية

توفر العقود الذكية مجموعة من المزايا التي تجعلها وسيلة فعالة لتنفيذ المعاملات بطريقة حديثة وامنة [25], ومن اهم هذه الفوائد:

- زيادة الكفاءة : تسمح العقود الذكية بتنفيذ العمليات بشكا تلقائي دون تدخل بشري, مما يسرع المعملات ويوفر الوقت والجهد.
- امان عالي : يتم تخزين العقود الذكية على شبكة البلوك شين المحمية بالتشفير, مما يمنع التلاعب ويضمن حماية البيانات.
- الشفافية والثقة : يتم تسجيل جميع العمليات على البلوك شين ويمكن للاطراف المعنية الاطاع عليها والتحقق منها, مما يغزز الثقة بينهم.
- خفض التكاليف : تلغي الحاجة للوسطاء مثل المحامين , ممايساهم في تقليل تكاليف المعملات.
- تقليل الاخطاء و زيادة الدقة : تنفيذ العقود وفق كود محدد مسبقا, مما يقلل الاخطاء البشرية ويضمن التزام جميع الاطراف بالشروط بدقة.

5) مجالات استخدام العقود الذكية

تستخدم العقود الذكية في مجالات عديدة تتجاوز العملات الرقمية, حيث تساعد على اتمتة العمليات وجعلها اكثرامانا و شفافية [26] :

- سلاسل التوريد : تتبع المنتجات خلال مراحل الانتاج المختلفة و تحدث السجلات تلقائيا لمنع التلاعب.
- العقارات : تنفيذ بيع العقارات الرقمية ونقل الملكية بشكل تلقائي عند تحقق الشروط.
- الالعاب الالكتروني :توفر مكافات عادلة وتتيح التداول التلقائي للاصول الرقمية داخل الالعاب.
- التامين : دفع التعويضات تلقائيا عند حدوث حالات محددة, مثل تاخر الرحلات.
- التصويت الالكتروني: تضمن شفافية ونزاهة الاقتراع .
- المعاملات بين الشركات : دفع المستحقات تلقائيا عند استلام الشحنات, مما يربط المعاملات الرقمية بالواقع.
- مجالات اخرى : تشمل التدوال المالي, الاقراض, حوكمة الشركات, وحل النزاعات مع تقليل الحاجة الى وسطاء .

ثانيا : طبقة العقود الذكية

طبقة العقود الذكية جزء من بنية البلوك شين يحتوي على الكود البرمجي للعقود الذكية ,ينفذ تلقائيا عند تحقق شروط مسبقا , دون الحاجة لوسيط.تخزن هده العقود على شبكة وتقوم باجراء الحسابات, تخزين البيانات, وعرض الحالة الحالية. يعمل الكود بشكل الي وفق منطق العقد [27].

دور طبقة العقود الذكية

- تنفيذ الاجراءات والمعاملات تلقائيا وفق قواعد وشروط مسبقا .
- تسجيل النتائج على البلوك شين بشكل دائم.
- ضمان الامان والشفافية ومنع التلاعب بالبيانات.
- دعم تطبيقات مثل الدفع الي, نقل الملكية.

لغة Solidity

تعتبر لغة Solidity الاداة الاساسية لبرمجة العقود الذكية على شبكة البلوكشين, خاصة على منصة Ethereum . حيث تساعد المطورين على تحديد الشروط والقواعد الخاصة بالمعاملات الرقمية, وتنفيذها تلقائيا بطريقة امنة وشفافة,مما يجعلها الاساس لانشاء تطبيقات لامركزية موثوقة [28].

تعريف لغة Solidity

لغة برمجة عالية المستوى تُستخدم لكتابة العقود الذكية Smart Contracts التي تعمل على شبكة البلوكشين، وخاصة على منصة .Ethereum تسمح هذه اللغة للمطورين بإنشاء برامج تُنفَّذ تلقائيًا داخل الشبكة اللامركزية لتنفيذ الاتفاقيات والعمليات المختلفة دون الحاجة إلى وسيط.

الشكل رقم 14 لغة Solidity

دورها في تطوير العقود الذكية

- تستخدم لكتابة برامج العقود الذكية.
- تحديد القواعد والشروط التي تنظم تنفيذ المعملات.
- تمكن من التحكم في نقل وتحويل الاصول الرقمية.
- المساهمة في تطوير التطبيقات اللامركزية (DApps).
- تسمح بتشغيل العقود الذكية على شبكة Ethereum عبرالالة الافتراضية (EVM) [29].

11. الترميز (Tokenization)

1) مفهوم الترميز(Tokenization)

عملية تحويل اصل حقيقي او البيانات الى تمثيل رقمي يسمى رمز(Token).يستخدم هذا الرمز لتمثيل القيمة او الاصل بشكل رقمي, ويساعد هذا الاسلوب في حماية البيانات الحساسة وتسهيل ادراتها وتبادلها بطريقة اكثر كفاءة.

2) تمثيل الاصول الرقمية

تمثيل الأصول الرقمية هو عملية تحويل أصل حقيقي أو معنوي إلى رمز رقمي (Token) يتم تسجيله على شبكة البلوك شين. يمثل هذا الرمز قيمة الأصل أو ملكيته بشكل رقمي، وهذا يسمح بإدارته وتداوله بطريقة امنة وشفافية . كما يتيح نظام البلوك شين بتسجيل جميع العمليات التي تمت عليه ، مما يجعل تتبع تاريخه ومعرفة جميع التغييرات التي طرأت عليه أمرًا ممكنًا .وتتم عملية تمثيل الأصول الرقمية عبر مجموعة من الخطوات الأساسية، وهي:

- تحديد الأصل: في هذه المرحلة يتم اختيار الأصل الذي سيتم تحويله إلى رمز رقمي، مثل منتج زراعي، سلعة تجارية، أو عقار.

- إنشاء الرمز الرقمي: بعد تحديد الأصل يتم إنشاء رمز رقمي (Token) على شبكة البلوك شين بواسطة عقد ذكي، بحيث يمثل هذا الرمز الأصل أو جزءًا منه.
- تسجيل المعلومات : تخزن البيانات المرتبطة بالأصل داخل شبكة البلوك شين، مثل مصدره، تاريخ إنتاجه، أو خصائصه المختلفة.
- تداول الرمز الرقمي: بعد إنشاء الرمز يمكن نقله أو تداوله بين المستخدمين عبر الشبكة، مع البقاء جميع العمليات مسجلة بشكل دائم داخل البلوك شين، وهذا يضمن الشفافية .

12. الرموز غير القابلة للاستبدال (NFT)

1) تعريف الرموز غير القابلة للاستبدال(Non-Fungible Token)

رمز رقمي فريد يتم انشاءه وتخزينه على شبكة البلوك شين, ويستخدم لاثبات ملكية عنصر معين, سواء كان ماديا او رقمي. تعني كلمة " غير قابل للاستبدال " ان كل NFT مختلف عن الاخر وله خصائص مميزة تجعله فريدا, لذلك لايمكن استبداله برمز اخر كما يحدث مع العملات التي تكون متشابهة في القيمة و الخصائص [30].

الشكل رقم 15 الرموز غير القابلة للاستبدال

يمكن ان يمثل NFT اشياء متعددة مثل الصور, الفيديوهات, عناصر الالعاب,او حتى العقارات. تقوم شبكة البلوك شين بتسجيل بيانات المالك وتاريخ عمليات البيع والشراء, ممايضمن الشفافية .

بشكل مبسط, يشبه NFT العمل الفني الاصلي الذي ينتج بعدد محدود ومرقم, حيث يكون كل نسخة فريدة ويمكن التحقق من اصالتها , بينما النسخ العادية غير الموثقة لاتملك نفس القيمة و لا تعتبر الاصلية [31].

2) خصائص NFT

من اهم الخصائص التي تتميز بها. هي

- عدم القابلية للاستبدال (Non-Fungibility):

كل رمز NFT اي فريد من نوعه ولا يمكن استبداله برمز آخر له نفس القيمة، على عكس العملات الرقمية القابلة للاستبدال مثل Bitcoin أو Ethereum.

- الندرة (Scarcity): يتم إنشاء عدد محدود من رموز NFT، مما يمنحها قيمة أكبر ويجعلها نادرة في بعض الحالات.
- إثبات الملكية (Ownership) : يتيح NFT إثبات ملكية أصل رقمي معين بشكل واضح وموثق على شبكة البلوك شين.
- الشفافية وإمكانية التتبع (Transparency & Traceability): جميع المعاملات المرتبطة بالـNFT يتم تسجيلها على البلوك شين، مما يسمح بتتبع تاريخ الملكية والتحقق منه بسهولة
- عدم القابلية للتغيير (Immutability) :بعد تسجيل NFT على البلوك شين، لا يمكن تعديل البيانات المرتبطة به، وهذا يضمن سلامة المعلومات وحمايتها من التلاعب
- قابلية التداول (Transferability): يمكن نقل ملكية NFT بسهولة بين المستخدمين عبر منصات البلوك شين المختلفة.

3) مجالات استخدام NFT

لم يعد استخدام ال NFT يقتصر على الفن الرقمي فقط, بل توسع ليشمل مجالات عديدة ومتنوعة في الاقتصاد الرقمي [30].

- اثبات حضور حدث معين.
- توثيق اتمام دورة تدريبية او شهادة تعليمية.
- امتلاك عناصر داخل الالعاب الالكترونية
- بيع وشراء الاعمال الفنية الرقمية
- ترميز الاصول الحقيقية مثل العقارات.
- اثبات الهوية الرقمية.
- التحكم في الوصول الى محتوى حصري.
- التذاكر الرقمية للفعاليات.
- تسجيل اسماء النطاقات اللامركزية
- استخدامها كضمان في التمويل الامركزية.

13. منصات البلوك شين الحديثة

1. Ethereum

تُعد Ethereum سلسلة كتل (Blockchain) تحتوي على حاسوب مدمج داخلها، وهي تمثل الأساس لبناء التطبيقات والمنظمات بطريقة لامركزية، دون الحاجة إلى إذن، ومقاومة للرقابة .قام فيتاليك بوترين (Vitalik Buterin) بتطوير Ethereum من منظور أكثر عملية، حيث تُعد Ethereum بنية تحتية حاسوبية لامركزية ومفتوحة المصدر على مستوى عالمي تقوم بتنفيذ برامج تُعرف باسم العقود الذكية (Smart Contracts). وتستخدم هذه المنصة تقنية البلوك شين لمزامنة وتخزين تغيّرات حالة النظام، بالإضافة إلى استخدام عملة رقمية تُسمى إيثر (Ether) لقياس وتحديد تكلفة موارد التنفيذ.

كان الهدف الأصلي من Ethereum هو إنشاء بلوك تشين عام متعدد الاستخدامات يمكن تخصيصه لعدد كبير من التطبيقات. ومع مرور الوقت توسّع الطموح من Ethereum .

الشكل رقم 16 Eetherum

2. Solana

سولانا ((Solanaشبكة بلوك شين عامة عالية الاداء تهدف تنفيذ المعاملات الرقمية بسرعة كبيرة وبتكلفة منخفضة. تدعم تطبيقات لامركزية متنوعة مثل المدفوعات, الالعاب, الرموز غير قابل للاستبدال, والخدمات المالية اللامركزية[32]

مزايا :

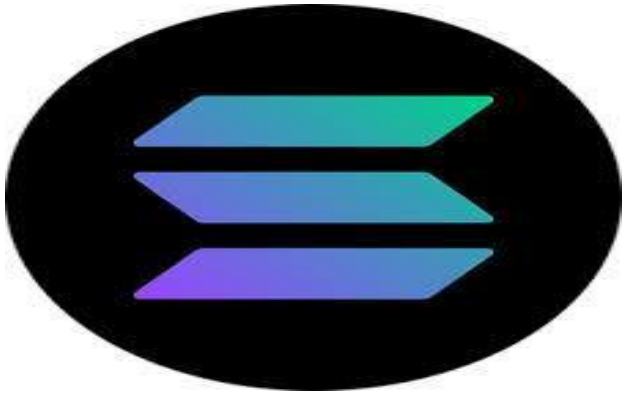
- سرعة عالية :اتمام المعاملات في اقل من ثانية
- تكلفة منخفضة :رسوم تنفيذ المعاملات قليلة جدا, مما يسهل التفاعلات الصغيرة والمتكررة.
- سعة كبيرة: معالجة الاف المعاملات في ثانية دون تباطؤ
- وصول عالمي: يمكن لأي شخص استخدامها من اي مكان دون قيود مصرفية او جغرافية
- دعم التطبيقات اللامركزية مناسبة التطبيقات Defi, الالعاب الرقمية.

مجالات الاستخدام: التطبيقات المالية اللامركزية, اصول رقمية ممثلة لأشياء من العالم الحقيقي (Tokenized Assets) [33] .

عيوب :

- مشاكل الاستقرار: واجهت الشبكة توافقات عدة بسبب الضغط على معاملات.
- حساسية للتحديثات والاخطاء التقنية:اي خطا في البروتوكول او ترقية الشبكة قد يسبب توقف النظام مؤقتا.

- اللامركزية المحدودة نسبيا:عدد المدققين اقل مقارنة بشبكات مثل ethereum.



الشكل رقم 17 شعار Solana

3. Avalanche(Avax)

Avalanche هي منصة بلوكشين لامركزية تم تصميمها لتشغيل التطبيقات اللامركزية (Dapps) والعقود الذكية كفاءة عالية، مع دعم شبكات متعددة تعمل معًا في بيئة واحدة.

الشكل رقم 18 شعار Avalanche

- من ميزاتها الاساسية

Avalanche هي أنها تحل مشاكل سرعة المعاملات، القابلية للتوسع، والأمان التي تواجه بعض شبكات البلوك شين التقليدية، مثل شبكة Bitcoin أو Ethereum.

Avalanche تنقسم إلى ثلاث سلاسل رئيسية

- X-Chain (Exchange Chain):

مسؤولة عن إنشاء ونقل الأصول الرقمية مثل العملات المشفرة والرموز

- C-Chain (Contract Chain):

متوافقة مع الآلة الافتراضية لإيثيريوم (EVM).

تُستخدم لتشغيل العقود الذكية والتطبيقات اللامركزية.

- P-Chain (Platform Chain):

تنسق عمل المدققين (Validators).

تدير إنشاء الشبكات الفرعية (Subnets) الخاصة بالشبكة.

هذا الهيكل يجعل Avalanche منصة مرنة وقابلة للتوسع، حيث يمكن لكل تطبيق أو مؤسسة أن تنشئ شبكتها الخاصة ضمن النظام.

4. Tron

منصة بلوك شين لامركزية تهدف الى انشاء نظام رقمي يسمح بمشاركة المحتوى و التطبيقات دون الحاجة الى لوسطاء. تعتمد على بلوك شين والعقود الذكية لتوفير بيئة امنة لتوير التطبيقات اللامركزية, اطلقت الشبكة سنة 2017 بهدف تمكين المستخدمين في التحكم في بياناتهم, وتستخدم عملة TRX لإتمام المعاملات داخل الشبكة [34].

الشكل رقم 19 Tron

مزايا

- ✓ سرعة المعاملات : معالجة عدد كبير من المعاملات في ثانية.
- ✓ قابلية التوسع : يمكن للشبكة التعامل مع عدد كبيرمن من المستخدمين .
- ✓ ازالة الوسطاء: يتيح مشاركة المحتوى مباشرة بين المستخدمين.
- ✓ رسوم منخفضة : تكاليف تنفيذ المعاملات ضغيرة جدا.

عيوب:

- منافسة قوية :تواجه منافسة من شبكات مثلEthereum وSolana .
- انتقادات تتعلق بالشفافية : بعض القضايا المتعلقة بالإدارة والتطوير.
- اعتماد محدود: مقارنة ببغض الشبكات اخرى لاتزال بعض المنصات اكثر انتشارا.

مجالات استخدام: الالعاب الرقمية, خدمات التمويل اللامركزي, مشاركة المحتوى الرقمي [35].

5. Sui(Move)

Sui هي شبكة بلوك شين حديثة من الجيل الأولي Layer-1، صممت لتكون سريعة، و قابلة للتوسع، كذلك فعّالة في إدارة البيانات والمعاملات. و الهدف منها هو تمكين تطبيقات لامركزية متقدمة كالألعاب و منصات الرموز غير القابلة للاستبدال (NFTs)، كذلك تطبيقات المالية اللامركزية (DeFi)، مع تقديم أداء أعلى مقارنة بالشبكات التقليدية.

الميزة الأساسية في Sui هي تنفيذ المعاملات بشكل متوازي، أي أن عدة عمليات يمكن أن تتم في الوقت نفسه دون تعارض، على عكس الشبكات الأخرى التي تنفذ المعاملات بالتتابع، مما يقلّل زمن تأكيد المعاملات ويزيد من كفاءة الشبكة

هي لغة برمجة مصممة خصيصًا لكتابة العقود الذكية على شبكات مثل Sui. وهي تركز على:

الأمان العالي: تمنع الأخطاء الشائعة في العقود الذكية، مثل سرقة الأصول أو فقدانها.

نظام الموارد (Resource-Oriented): الأصول الرقمية تُعتبر موارد فريدة لا يمكن نسخها أو حذفها إلا بطريقة آمنة محددة.

المرونة والقابلية للتوسّع: يمكن من خلالها تصميم أنواع مختلفة من الأصول الرقمية والتحكم الكامل في انتقالها.

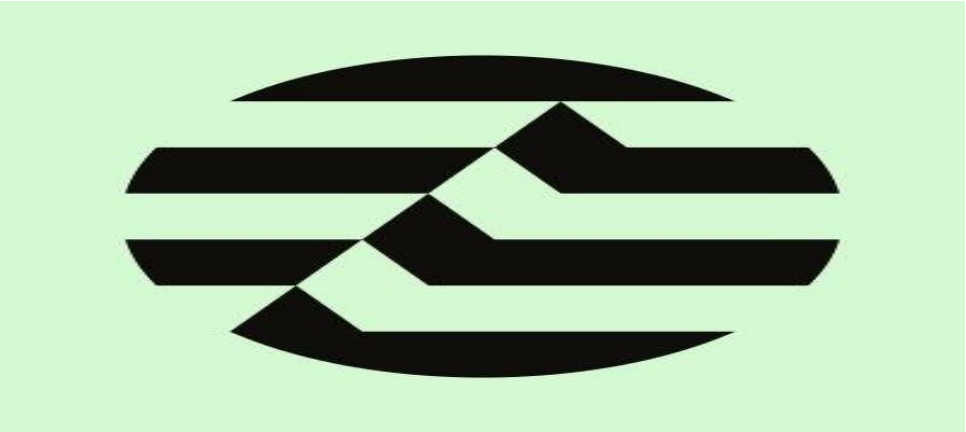
الفعالية: اللغة مصممة لتنفيذ سريع، مما يتماشى مع سرعة شبكة Sui.

باستخدام Move، يمكن للمطورين على Sui إنشاء برامج تنفّذ تلقائيًا داخل الشبكة، سواء لنقل أصول رقمية، تشغيل تطبيقات NFT، أو بناء تطبيقات مالية معقدة، مع ضمان أمان البيانات وسهولة إدارتها.

الشكل رقم 20 شعار Sui (move)

6. Aptos

تعد Aptos شبكة البلوك شين حديثة من الطبقة الاولى, تم اطلاقها في اكتوبر 2022 بهدف تحسين سرعة وامان وقابلية توسع شبكات البلوكشين.تم تطوير هذه الشبكة من طرف مهندسين سابقين في Meta,الذين عملوا على مشروع Diem [36] .



الشكل رقم 21 شعار Aptos

تهدف Aptos الى حل بعض المشاكل التي تواجه شبكات البلوك شين التقليدية, مثل بط المعاملات وضعف الاداء . وتعتمد على تقنيات حديثة مثل التنفيذ المتوازي للمعاملات ولغة برمجة Move, مما يسمح بتنفيذ المعاملات بسرعة عالية وبمستوى امان مرتفع [37].

كما توفر بيئة مناسبة لتطوير التطبيقات اللامركزية, وتستخدم في عدة مجالات مثل التمويل اللامركزي, الرموز غير القابلة للاستبدال, والخدمات الرقمية المختلفة.

خاتمة

في هذا الفصل, تم تقديم المفاهيم الاساسية لتقنية البوك شين, من خلال التعرف على تعريفها, خصائصها الرئيسية, وبنيتها, بالإضافة الى شرح اليات التوافق التي تضمن امن وموثوقية الشبكة . كما تم التطرق الى ابرز المنصات التي تدعم التطبيقات اللامركزية ومعالجة المعاملات بطريقة امنة وشفافة.

في الفصل الموالي, سيتم التطرق الى مفهوم سلسلة توريد الزراعية, مع توضيح مكوناتها الاساسية ومراحلها المختلفة, اضافة الى ابراز اهم التحديات التي تواجهها. دور تقنية البلوك شين في تعزيز تتبع المنتجات الزراعية,وضمان الشفافية ولأمان داخل هذه السلاسل.

الفصل الثاني : سلسلة توريد الزراعية

مقدمة

تعد سلاسل التوريد الزراعية من الركائز الاساسية في الاقتصاد, حيث تساهم في توفير المنتجات الغذائية ووصولها الى المستهلك بجودة جيدة. تمر هذه السلسلة من عدة مراحل تبدا بشراء البذور و مدخلات الانتاج, ثم الزراعة و الحصاد, مرورا بعمليات النقل والتخزين و التوزيع, حتى تصل المنتجات الى المستهلك. كما تتميز بتعدد الفاعلين فيها مثل المزراعين وتجار, وهذا يجعلها نظام معقدا يحتاج الى تنظيم والتنسيق. كما تواجه مجموعة من تحديات اهم ضعف البنية التحتية للنقل والتخزين, ارتفاع نسب الفاقد التلف, اضافة الى صعوبة تتبع المنتجات وضمان جودتها. لذلك, اصبح من الضروري تطوير سلاسل التوريد الزراعية و الاعتماد على اساليب حديثة في التتبع والادارة لضمان جودة المنتجات وتقليل المخاطر.

في هذا الفصل, سيتم التطرق الى مفهوم سلسلة التوريد الزراعية ومراحلها, مع تركيز على اهم مشاكل التي تواجهها وكيف يمكن تحسينها.

1. مفهوم سلسلة التوريد

1.1.تعريف سلسلة التوريد

سلسلة التوريد (Supply chain) هي جميع الأنشطة والجهات التي تشارك في إنتاج منتج أو خدمة ونقله من المصدر الأول للمواد الخام إلى المستهلك النهائي .حيث تشمل هذه السلسلة جميع المراحل مثل التوريد، الإنتاج، التخزين، النقل، والتوزيع. اي هي الطريق الذي يسلكه المنتج منذ الحصول على المواد الأولية حتى يصل إلى يد المستهلك.

و تمر سلسلة التوريد بعدة مراحل، مذكرة منها :

- <u>الموردون (Suppliers):</u>

هم الذين يقومون بتوفير المواد الخام اللازمة لصناعة المنتج.

- <u>التصنيع (Manufacturing):</u>

يتم تحويل المواد الخام إلى منتجات جاهزة.

- <u>التخزين (Warehousing):</u>

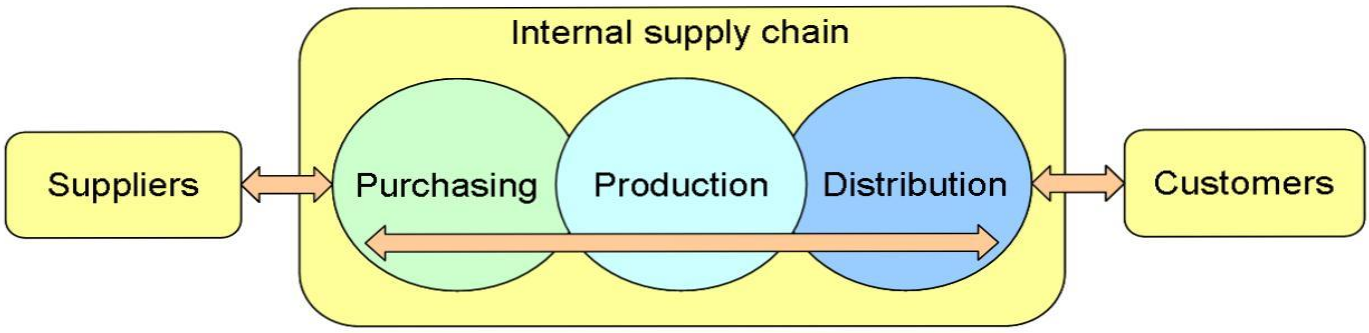
يتم حفظ المنتجات في المخازن قبل توزيعها.

- <u>التوزيع والنقل (Distribution &Transportation):</u>

نقل المنتجات إلى الأسواق أو نقاط البيع.

- <u>المستهلك النهائي(Customer):</u>

الجهة التي تشتري المنتج وتستخدمه [56].



الشكل رقم 22 سلسلة التوريد

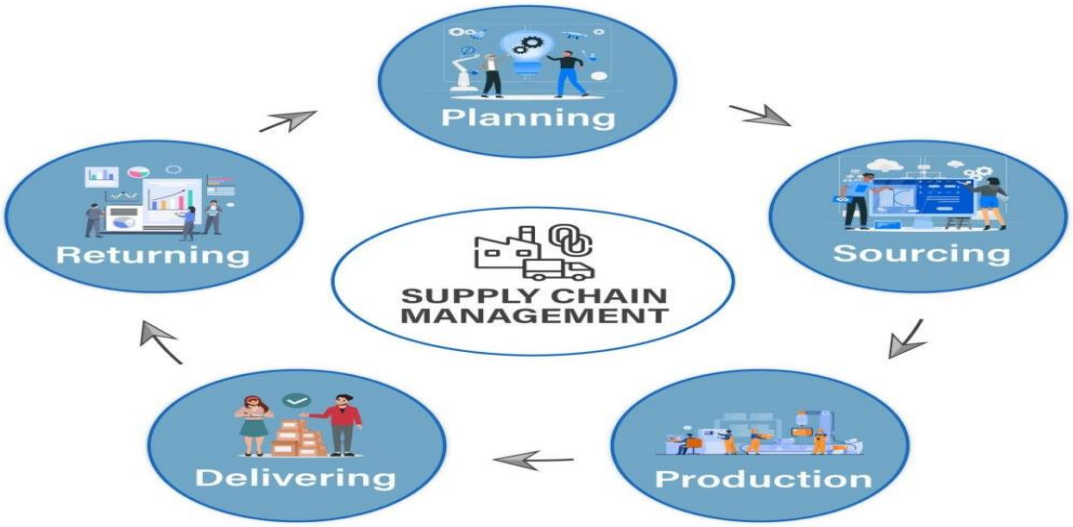
2.1. الادارة سلسلة توريد

تعرف ادارة سلسلة توريد (Supply Chain Management) على انها عملية تنظيم وتنسيق جميع الانشطة التي تضمن وصول المنتج من الموردين الى المستهلك النهائي.حيث تمر المواد على عدة مراحل, تبدا كمواد اولية ثم تتحول الى منتجات نهائية, ويتم الاشراف على هذه المراحل من طرف المختصين في سلسلة التوريد. تشمل هذه الادارة مجموعة من الانشطة مثل التخطيط , التوريد, النقل, اضافة الى التنسيق بين مختلف الاطراف كالموردين, المصانع, المخازن, ومراكز التوزيع. تعتمد ادارة سلسلة التوريد على التعاون الفعال بين جميع الشركاء, مما يساعد على تحسين سير العمل داخل السلسلة [39].

3.1. كيف تعمل سلسلة توريد ؟

سلسلة التوريد هي النظام الذي يربط جميع الاطراف والعمليات اللازمة لتوصيل المنتج من المورد الى مستهلك النهائي.تهدف الى ضمان وصول المواد والمنتجات في الوقت المناسب, وبالجودة المطلوبة, باقل تكلفة, مع الحفاظ على كفاءة واستمرارية العمليات.

تمر سلسلة التوريد بعدة عمليات اهمها :



الشكل رقم 23 مراحل عملية ادارة سلسلة التوريد

- التخطيط (Planning):

تمثل مرحلة التخطيط الاساس في ادارة سلسلة التوريد, حيث تشمل التنبؤ بطلبات العملاء, ووضع الجداول الانتاج, وتحديد مستويات المخزون المناسبة, بهدف تلبية احتياجات السوق بكفاءة. وتعتمد المؤسسات على تحليل المعطيات السابقة ودراسة السوق لضمان دقة التوقعات, تقوم الشركات بتنسيق قرارات الانتاج والمخزون لضمان توفر المنتجات مع تجنب الفائض او النقص.كما تشمل هذه المرحلة حسن استغلال الموارد المتاحة مثل اليد العاملة, اضافة الى تحقيق توازن بين تلبية الطلب و تقليل تكاليف التخزين [41] .

- التوريد (Source) :

تعنى مرحلة التوريد باختيار الموردين الذين يوفرون المواد والمنتجات اللازمة لسلسلة التوريد. حيث يقوم المسؤولون بتقييم الموردين وفق معايير مثل التكلفة, الجودة, الموثوقية, ومستوى الخدمة. كما تشمل هذه المرحلة بناء علاقات تعاون جيدة مع الموردين لضمان توفر الامدادات بشكل منتظم وفي الوقت المناسب, اضافة الى ذلك, يتم التفاوض على عقود لتحديد شروط التوريد, مما يساهم على تحقيق الكفاءة وضمان استقرار سلسلة التوريد [40] .

- التصنيع (Manufacturing) :

المرحلة التصنيع او التنفيذ هي مرحلة مهمة في سلسلة التوريد, حيث يتم من خلالها تحويل المواد الخام الى منتجات نهائية جاهزة للاستخدام. وتشمل هذه المرحلة كل عمليات الانتاج مثل التجميع و التصنيع والاختبار.كما يتم الركيز على مراقبة الجودة لضمان مطابقة المنتجات للمعايير المحددة, وضياغة المعدات لتجنب توقف العمل, وتوفير سير العمليات بكفاءة, وتتكامل هذه الانشطة لضمان استمرارية تدفق المنتجات وتلبية طلبات السوق بفعالية [39] .

- التوزيع (Delivering) :

مرحلة التوزيع في سلاسل التويد تهدف الى ايصال المنتجات للعملاء في الوقت والمكان المناسبين وبالحالة المطلوبة. تبدا بمعالجة الطلبات واستلامها وتنفيذها, وتشمل ادارة المخازن لضمان توفر المنتجات

بسرعة.كما تشمل ادارة النقل لمتابعة حركة البضائع من المخازن الى العملاء واختيار وسائل النقل المناسبة.كل هذه العمليا تضمن وصول المنتجات بكفاءة وتحقيق رضا العملاء [39].

- الارجاع (Returning) :

تتضمن ادارة الارجاع في سلاسل التوريد التعامل مع المنتجات التي بعبدها العملاء, وهو امر شائع في التجارة الالكترونية حيث يشتري البعض المنتجات قبل تجربتها, تشمل هذه العملية نقل المنتجات المرتجعة من العميل الى الشركة (اللوجستيات العكسية), كما يتم فحص المنتجات لمعرفة سبب الارجاع واتخاذ القرار المناسب, سواء بالاصلاح, الاستبدال, اعادة التدوير, او التخلص منها. وهناك جانب مالي, حيث تصدر الشركة استرداد المبلغ او اضافة رصيد للمنتجات المرتجعة, لضمان رضا العملاء و استمرارية الثقة بالعلامة التجارية [39].

4.1. الفرق بين سلسلة التوريد وسلسلة القيمة

تلعب كُلًّا من سلسلة القيمة وسلسلة التوريد دورًا أساسيًا في تحقيق الكفاءة التشغيلية، ولذلك سنوضح الفرق بين سلسلة القيمة وسلسلة التوريد :

تُشير سلسلة القيمة إلى مجموعة من الأنشطة التي تضيف قيمة إلى المنتج أو الخدمة خلال عملية الإنتاج، بدءًا من تصميم المنتج وحتى تقديمه للعملاء، بينما تُركّز سلسلة التوريد على تدفق المواد الخام والسلع والمنتجات من الموردين إلى العملاء عبر شبكة معقدة من العمليات والأنشطة.

ويكمنُ الفرق بين سلسلة القيمة وسلسلة التوريد بشكلٍ أساسيٍ فيما يلي:

الأهداف: تسعى سلسلة القيمة إلى تعزيز الفائدة المضافة للمنتج بواسطة تحسين جودته، بينما تهدف سلسلة التوريد إلى تحسين استلام وتدفق البضائع وتقليل التكاليف.

الشكل رقم 24 الفرق بين سلسلة التوريد و سلسلة القيمة

النطاق: تقتصر سلسلة القيمة على الإجراءات والنشاطات الداخلية في الشركة، في حين تشمل سلسلة التوريد جميعالأطراف الخارجية مثل الشركاء والموردين [57].

5.1. اهمية ادارة سلسلة التوريد

ادارة سلسلة التوريد تعد جزءا مهما في معظم الشركات, وهي ضروية لنجاح العمل وتحقيق رضا العملاء.

- **تقليل التكاليف و المخاطر:** خفض تكاليف الشراء والتخزين, وتفادي توقف العمل مما يساعد الشركة على العمل بشكل جيدا [42] . رؤية واضحة لكل مراحل سلسلة التوريد تمكن من معرفة المشاكل مبكرا, مما يقلل من المخاطر المالية ويحافظ على سمعة المؤسسة [44].
- **نقل المعلومات والتواصل:** ضمان تواصل فعال ونقل المعلومات فوريا يقلل من الاخطاء والتاخير, استعمال التكنولوجيا الحديثة لمتابعة حالة الطلبات لكل من العملاء والموردين [45].
- **تحسين خدمة العملاء:** تعمل ادارة سلسلة التوريد على توصيل المنتجات بالكميات الصحيحة وفي المكان والوقت المناسبين [5], تقديم خدمات مابعد البيع بسرعة ,مما يزيد من رضا العملاء ويقلل التاخير في تلبية طلباتهم [47]
- **زيادة المرونة:** سلسلة التوريد الفعالة تمكن الشركة من التعامل مع الفرص والمشاكل المفاجئة بسرعة. مما يسهل اتخاذ القرارات الانسب بسرعة اعداد خطط الطوارئ وتحليل السيناريوهات[43].
- **تعزيز التعاون مع الموردين:** التعاون الطويل الامد مع الموردين يمكن الشركات من تلبية طلبات السوق بسلاسة وتقيلي المشكلات المالية و التشغيلية.
- **رفع جودة المنتجات:** ضمان التوافق المعايير مع الموردين يساعد الشركات على ملاحظة المشاكل مبكرا وتحسين جودة المنتجات قبل وصوله للعملاء [44].

2. سلسلة التوريد الزراعية

1.2. تعريف سلسلة التوريد الزراعية

- سلسلة التوريد الزراعية (Agriculture supply chain) هي الشبكة المعقدة والمترابطة تشمل كافة الأطراف والأنشطة والعمليات اللازمة لإنتاج المنتجات الزراعية (كالمحاصيل والثروة الحيوانية كذلك المنتجات الغذائية) وتوصيلها من المزرعة إلى المستهلك النهائي[58].
- تتكون هذه السلسلة من عدة مراحل أساسية :

- **مدخلات الإنتاج:** توفير البذور، الأسمدة، المبيدات، والمعدات الزراعية للمزارعين.
- **الإنتاج الزراعي:** مرحلة زراعة المحاصيل أو تربية المواشي في المزارع.
- **ما بعد الحصاد (المعالجة):** تشمل الحصاد و التنظيف، التصنيف، التغليف، والتخزين.
- **النقل والخدمات اللوجستية:** نقل المنتجات من المزارع إلى مراكز التوزيع أو المصانع.
- **التوزيع والتسويق:** وصول المنتجات إلى تجار الجملة، التجزئة، والسوبر ماركت.
- **المستهلك النهائي:** المرحلة الأخيرة حيث يتم شراء واستهلاك المنتج.

تهدف إدارة هذه السلاسل إلى مزامنة العرض مع الطلب، وتقليل الهدر (خاصة أن المنتجات الزراعية سريعة التلف)، وضمان جودة المنتج النهائي، بالإضافة إلى خفض التكاليف وزيادة الربحية لجميع الأطراف المشاركة.

- **أنواع سلاسل التوريد الزراعية:**

السلاسل التقليدية: تشمل وسطاء متعددين بين المزارع والمستهلك.

السلاسل القصيرة: تقليل الوسطاء لربط المزارع بالمستهلك بشكل أسرع.

السلاسل المستدامة/الخضراء: التركيز على الممارسات البيئية، مثل تقليل الانبعاثات والنفايات [59].

الشكل رقم 25 سلسلة التوريد الزراعية

2.2. مفهوم المنتجات الزراعية

المنتجات الزراعية هي جميع السلع الناتجة عن الانشطة الزراعية, سواء كانت نباتية او حيوانية,مثل الحبوب و الخضروات و الفواكه واللحوم و الالبان, تهدف هذه المنتجات الى تلبية احتياجات الانسان الغذائية او الصناعية.

الشكل رقم 26 المنتجات الزراعية

3.2. انواع المنتجات الزراعية

يمكن تصنيف المنتجات الزراعية الى عدة فئات رئيسية

- المنتجات النباتية **:** تشمل الحبوب (كالقمح), الخضروات, الفواكه, والبقوليات.
- المنتجات الحيوانية **:** مثل اللحوم, الحليب, البيض, ومشتقاته.
- المحاصيل الصناعية**:** المنتجات تستخدم في الصناعة مثل القطن, التبغ, وقصب السكر.
- المنتجات الزراعية الثانوية**:** مثل الزيوت النباتية, العسل .

4.2. خصائص المنتجات الزراعية

- **قابلة للتلف :** منتجات الزراعية تتاثر بسرعة بالحرارة او الرطوبة, وهذا مما يجعل الاحتفاظ بها صعبا ويجبر الفلاح لبيعها او استهلاكها في وقت قصير.
- **موسمية الانتاج:** الانتاج يكون في فترات معينة من السنة فقط, مما يؤديالى انخفاض الاسعار وقت الوفرة وارتفاعها لاحقا.
- **اختلاف الجودة :** تختلف جودة المنتجات الزراعية من حبة لاخرى, وهذا يجعل عملية فرزها وتوحيد معاييرها اكثر صعوبة مقارنة بالمنتجات المصنعة [62].
- **صغر حجم المنتجين وتشتت الانتاج :** الانتاج الزراعي غالبا صغير و متفرق بين الفلاحين, ما يعقد عملية التقدير والتسويق [46].
- **تحديد الاسعار :** الفلاح لا يتحكم في الاسعار, بينما الشركات الكبرى لها القدرة على ضبط الاسعار نسبيا [62].
- **مادة اولية للصناعة :** المنتجات الزراعية تعتبر خام اساسي للصناعات, وعند زيادة الطلب الصناعي قد ترتفع الاسعار[47].

3. الفاعلون في سلسلة التوريد

1.3. المزراع

تعد سلسلة التوريد الزراعية منظمة تضم عدة فعاليات أساسيين من بينهم :

- **المزارع:** يعتبر المزارع عنصر اساسي ونقطة بداية في هذه السلسلة،حيث يقوم بإنتاج المحاصيل الزراعية باستعمال ويبيع منتجاته إما مباشرة في الأسواق .
- أو عبر وسطاء، مما يجعله مؤثرًا كبيرًا ل مختلف الموارد مثل البذور والاسمدة والمياه ويحرص على توفير منتجات ذات جودة عالية، كما يحدد كمية الانتاج حسب الظروف الطبيعية والاقتصادية، في جودة وسعر المنتجات.

2.3. وحدات التخزين والتجميع

وحدات التخزين والتجميع في سلسلة التوريد الزراعية مهمة جدا لضمان وصول المنتجات بكفاءة. وحدات التخزين هي اماكن مخصصة لحفظ المنتجات مثل المخازن و المستودعات, وتساعد على حماية البضائع من التلف او السرقة وتنظيم المخزون لتسهيل الوصول اليه بسرعة, خاصة المنتجات الزراعية سريعة التلف. اما وحدات التجميع فهي مراكز تجمع الشحنات من عدة موردين او مواقع مختلفة في شحنة واحدة كبيرة قبل النقل, هذا مايقلل من عدد الرحلات ويوفر في تكاليف النقل, ويساعد على مل الشاحنات والحاويات بالكامل, كما سهل توزيع المنتجات حسب الوجهة او نوعها. على سبيل المثال, يمكن لمزارعين متعددين ارسال منتجاتهم الى مستودع تجمعي, حيث تجمع في حاويات كبيرة قبل توزيعها على السواق او العملاء النهائيين [47].

3.3. شركات النقل

تعتبر شركات النقل حلقة وصل مهمة في سلسلة التوريد الزراعية ،اذ تقوم بنقل المنتجات من مناطق الانتاج إلى الاسواق او المصانع مع الحرص على الحفاظ على جودتها خاصة بالنسبة للمواد المقابلة للتلف وذلك باستخدام وسائل نقل مناسبة .كما تساهم في ضمان وصول المنتجات في الوقت المناسب، رغم التحديات مثل المسافات الطويلة وارتفاع تكاليف النقل.

4.3. تجار الجملة والتجزئة

يعد تجار الجملة حلقة وسيطة مهمة, حيث يقومون بشراء كميات كبيرة من المنتجات الزراعية من المزارعين او المخازن, ثم يبيعونها لتجار التجزئة او الاسواق. دورهم تسهيل توزيع المنتجات بكميات مناسبة وبشكل منظم. اما تجار التجزئة فهم الذين يبيعون المنتجات مباشرة للمستهلك النهائي في الاسواق او المحلات.وجود هذين نوعين من التجار يضمن وصول المنتجات الزراعية الى المستهلك بسهولة, مع تحسين تنظيم السوق والحد من ضياع المنتجات [48].

5.3. المستهلك

تعتبر المستهلك الحلبة الاخيرة في سلسلة التوريد الزراعية، حيث يشتري الموجات ويستهلكها ،كما يؤثر بشكل مباشرة على السوق من خلال طلبه ويسعى دائما للحصول على منتجات ذات جودة عالية الاسعار مناسبة [60].

4. مراحل سلسلة التوريد الزراعية

1.4. مرحلة اقتناء البذور ومدخلات الانتاج

تعتبر هذه المرحلة بداية سلسلة التوريد الزراعية, حيث يقوم المزارعون باقتناء البذور ومدخلات الانتاج الضرورية مثل الاسمدة, المبيدات, المياه, والالات الزراعية. وتؤثر هذه المدخلات بشكل كبير على كمية وجودة الانتاج, فاختيار مدخلات جيدة يساعد على زيادة الانتاج وتقليل المشاكل والمخاطر اثناء الزراعة [50].

2.4. مرحلة الزراعة و المتابعة

تعتبر مرحلة الزراعة من اهم المراحل في هذه السلسلة حيث يتم خلالها انتاج محاصيل زراعية منذ بداية الغرس البذور الى غايه نموها و يبدا المزارع بتجهيز التربة بشكل جيد مثل حرثها وتسميدها ثم يزرع البذور حسب الموسم. ثم بعد ذلك تأتي مرحله المتابعة وهي مرحله مستمرة يراقب فيها المزارع نمو النباتات فيسقيها بانتظام ويحميها من الحشرات والامراض كذلك يتأكد من توفر الظروف المناسبة كالماء والضوء، وتكمن اهميتها في ضمان انتاج محاصيل ذات جودة عالية وبكمية كافية .

3.4. مرحلة الحصاد وفحص الجودة

تعد مرحلة الحصاد وفحص الجودة من اهم مراحل سلسلة التوريد الزراعية, حيث يتم جمع المحاصيل عند نضوجها لضمان كمية وجودة عالية.مع مراعاة التوقيت المناسب لكل محصول. بعد الحصاد, تفرز المنتجات وتصنف حسب الحجم و الشكل و الجودة, وازالة الفاسد منها, واجراء الفحوصات اللازمة لضمان سلامتها وخلوها من الملوثات والمبيدات. ثم تعبئتها بطريقة مناسبة للحفاظ عليها اثناء النقل والتخزين, مما يضمن وصولها الى الاسواق و العملاء بحالة جيدة ويقلل من الفاقد [51].

4.4. مرحلة التخزين

تأتي مرحلة التخزين بعد الحصاد مباشرة ،وتعتبر من المراحل الحساسة في سلسلة التوريد الزراعية، حيث يتم فيها حفظ المنتجات بعد الحصاد وقبل نقلها او بيعها. تهدف هذه المرحلة الى حمايه المنتجات من التلف والحفاظ على جودتها لأطول مده ممكنة حيث يتم وضع المحاصيل في اماكن مخصصة مثل المخازن او غرف التبريد مثلا الخضر والفواكه تحتاج الى درجه حرارة منخفضة اما الحبوب تخزن في اماكن جافة، كما يجب توفير شروط مناسبة داخل اماكن التخزين كدرجة الحرارة الملائمة وتهوية جيدة، إضافة الى نسبة الرطوبة المناسبة ، وذلك لمنع التعفن المنتجات او اصابتها بالحشرات وقد تستخدم وسائل حديثه مثل انظمة

المراقبة من اجل التحكم في درجة الحرارة و الرطوبة وتكمن اهمية هذه المرحلة في تقليل الخسائر وضمان توفر المنتجات في السوق بجودة عالية.

5.4. مرحلة النقل و التوزيع

بعد الحصاد وفحص الجودة, تنقل المنتجات الزراعية الى مرحلة النقل.في هذه المرحلة, تنقل البضائع من المزارع او مراكز التجميع الى المخازن او الاسواق باستخدام وسائل نقل مناسبة مثل الشاحنات المبردة, وتخزن في مستودعات مجهزة للحفظ على جودتها وسلامتها, مع ترتيب المخزون بشكل يسهل الوصول اليه عند الحاجة.تهدف هذه المرحلة الى حماية المنتجات من التلف او العوامل المناخية, وتقليل الفاقد و يضمن استمرارية سلسلة التوريد بكفاءة [52].

6.4. مرحلة البيع و الاستهلاك

مرحلة مهمة حيث يتم فيها عرض المنتجات الزراعية في الأسواق أو المحلات التجارية ، وهذا بعد نقلها وتوزيعها. في مرحلة البيع يعمل التجار على بيع المنتجات للمستهلكين سواء في الأسواق الجملة أو المحلات، مع تنظيمها بطريقة مناسبة والحفاظ على جودتها، من أجل تسهيل عملية الشراء وجذب الزبائن.

بعد ذلك تأتي مرحلة الاستهلاك، فيقوم المستهلك بشراء المنتجات واستعمالها حسب حاجاته اليومية، ويلعب دورًا مهمًا في هذه المرحلة، لأنه يحدد الطلب في السوق من خلال اختياراته، حيث كلما زاد الطلب على منتج معين زاد إنتاجه. وتكمن أهمية هذه المرحلة في تحقيق الربح، وضمان وصول المنتجات إلى المستهلك النهائي، بالإضافة إلى تحقيق التوازن بين العرض والطلب في السوق [61].

5. واقع سلسلة التوريد الزراعية واشكالية التتبع :

1.5. سلسلة التوريد زراعية في الجزائر:

تواجه سلسلة التوريد الزراعية في الجزائر عدة تحديات تؤثر على كفاءتها وربحية المنتجات.ضعفالبنية التحتية للنقل و التخزين يؤدي الى تلف المنتجات وزيادة الفاقد, بينما يحد اعتماد المزارعين على قنةات التسويق التقليدية التي يسيطر عليها الوسطاء من ارباحهم.اضافة الى ذلك, ضعف استخدام التكنولوجيا لمتابعة المخرون وصعوبة دمج صغار الفلاحين في السلسلة يمنع الوصول الى الاسواق الكبيرة والقيمة. لذلك, يحتاج تحسين سلسلة التوريد الزراعية الى تطوير البنية التحتية, استخدام التكنولوجيا, وتنظيم قنوات التسويق لتقليل الفاقد, رفع جودة المنتجات , وزيادة ربحية المزارعين [53]

2.5. مفهوم التتبع

نقصد بالتتبع في سلسلة التوريد الزراعية على أنه عملية متابعة ومراقبة مسار المنتج عبر جميع مراحله بدءا من انتاج المنتجات في المزرعة و وصولًا إلى المستهلك النهائي. ويشمل ذلك إمكانية معرفة مصدر المنتج وتاريخ إنتاجه و كذلك الظروف التي مرّ بها المنتج أثناء التخزين والنقل و أخيرا التوزيع.

و يعتمد التتبع على تسجيل المعلومات في كل مرحلة من مراحل السلسلة مثل تاريخ الإنتاج و مكانه كذلك طرق المعالجة، ووسائل النقل المستعملة ، مما يسمح بالتحكم في جودة المنتجات وضمان سلامتها. كما يساعد التتبع على اكتشاف المشكلات بسرعة مثل تلف المنتجات أو عدم مطابقتها للمواصفات، وبالتالي اتخاذ الإجراءات اللازمة في الوقت المناسب، وتتمثل أهمية التتبع في تحسين شفافية سلسلة التوريد وتعزيز ثقة المستهلك إضافة إلى تسهيل الرقابة وتنظيم السوق خاصة مع استخدام الوسائل التكنولوجية الحديثة التي تجعل هذه العملية أكثر دقة وفعالية.

3.5. دور التتبع في سلامة الغذاء :

1. *تحديد المصدر بسرعة :* يساعد التتبع في سلامة الغذاء على تحديد مصدر اي مشكلة او تلوث بسرعة.
2. *الحد من المخاطر الصحية :* يقلل من انتشار الاغذية الفاسدة او غير المطابقة للمواصفات.
3. *استرجاع المنتجات بكفاءة :* يمكن سحب المنتجات الملوثة او المعيبة من الاسواق بشكل اسرع لتجنب الضرر.
4. *تعزيز ثقة المستهلكين :* يضمن التتبع للمستهلك ان المنتجات امنة وتخضع لرقابة دقيقة [54].
5. *تحسين الرقابة والجودة :* يساهم في متابعة كل مراحل الانتاج والتوزيع, مما يحسن جودة وسلامة المنتجات الغذائية و الزراعية.
6. *الالتزام بالقوانين و المعايير :* يساعد الشركات على الامتثال للمعايير المحلية والدولية الخاصة بسلامة الغذاء.

4.5. نقائص الانظمة التقليدية

تعاني الأنظمة التقليدية للتتبع في سلسلة التوريد الزراعية من عدة نقائص تحدّ من فعاليتها، حيث تعتمد غالبًا على الطرق اليدوية مثل التسجيل الورقي أو التواصل الشفهي، وهذا يجعلها عرضة للأخطاء وفقدان المعلومات. كما أن تبادل المعلومات بين مختلف الأطراف يكون بطيئًا وغير منظم مما يصعّب عملية متابعة مسار المنتجات بشكل صحيح.

إضافة إلى ذلك، فإن غياب التنسيق بين مختلف الفاعلين في السلسلة يؤدي إلى نقص الشفافية، اذ لا يمكن معرفة مصدر المنتج أو المراحل التي مرّ بها بسهولة. كما يصعب من خلالها اكتشاف المشكلات في الوقت المناسب مما قد يشكل خطرًا على صحة المستهلك، كذلك من بين النقائص الصعوبة في حفظ البيانات واسترجاعها في الوقت المناسب، خاصة عند التعامل مع كميات كبيرة من المنتجات. لذلك، تُعتبر الأنظمة التقليدية غير كافية في ظل التطور الحالي، مما يستدعي الاعتماد على حلول رقمية حديثة لتحسين التتبع وضمان جودة المنتجات.

5.5. فوائد البلوك شين في سلاسل التوريد

الشكل رقم 27 تقنية بلوك شين في سلسلة زراعية

- **زيادة الشفافية :** تسجل كل خطوة في السلسلة بشكل دائم وواضح للجميع.

- **تتبع المنتجات بسهولة :** يمكن معرفة مصدر المنتج ومساره من الانتاج حتى وصوله للمستهلك النهائي.
- **تحسين سلامة الغذاء :**الكشف السريع عن المنتجات الملوثة او غير المطابقة للمواصفات
- **تقليل الاحتيال والتزييف:** صعوبة تعديل البيانات تمنع الاحتيال والتلاعب بالمنتجات.
- **تسريع العمليات:** العقود الذكية تنفذ الاجراءات تلقائيا بدون تاخير.
- **تعزيز الثقة بين الشركاء:** جميع المشاركين في سلسلة التوريد يمكنهم الاطلاع على المعلومات الموثوقة في اي وقت.
- **تحسين الكفاءة و تقليل التكاليف :** توحيد البيانات وتقليل الحاجة الى الوسطاء يقلل الاخطاء و التكاليف الادارية [55]

خاتمة

تعد سلسلة التوريد الزراعية منظومة متكاملة تشمل مجموعة من المراحل المترابطة بدءا من الإنتاج الزراعي ومرورًا بعمليات التخزين والنقل والمعالجة، وصولًا إلى مرحلتي البيع والاستهلاك. و رغم الدور الحيوي والاهمية الذي تؤديه هذه السلسلة في ضمان الأمن الغذائي وتوفير المنتجات في الأسواق، إلا أنها تواجه عدة تحديات، خاصة فيما يتعلق بالتتبع حيث تعاني الأنظمة التقليدية من نقص في الدقة والشفافية وصعوبة في مراقبة مسار المنتجات.

ولمواجهة هذه الاشكاليات، أصبح من الضروري الاعتماد على التقنيات الحديثة، وعلى رأسها البلوك شين، كحل فعّال لتحسين أنظمة التتبع، وذلك من خلال توفير قاعدة بيانات آمنة وشفافة تُمكّن من تسجيل وتتبع جميع مراحل مرور المنتج بشكل دقيق وغير قابل للتلاعب. وعليه، فإن تحديث سلسلة التوريد الزراعية بالاعتماد على هذه التقنيات يُعدّ ضرورة ملحّة لتعزيز جودة المنتجات و تقليل الخسائر كذلك ترسيخ ثقة المستهلك بالإضافة الى تحقيق كفاءة أعلى في تسيير الأسواق الزراعية.

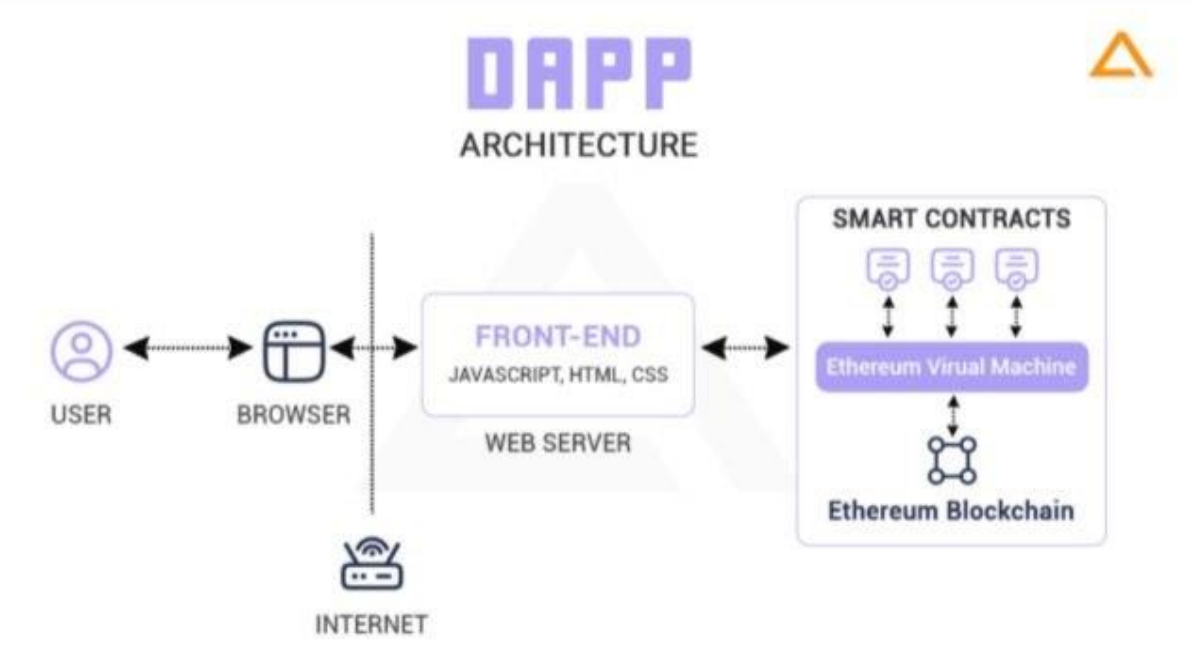
الفصل الثالث : تصميم وتطوير نظام تتبع القمح قائم على البلوكشين

مقدمة

في هذا الفصل ,سنستعرض مرحلة تطوير مشروعنا. سنقوم بتعريف مفهوم التطبيقات اللامركزية (DApps) وشرح اهم خصائصها , ثم سنتطرق الى تصميم النظام و المخططات المستعملة في تحليل وبناء التطبيق. بعد ذلك, سنقدم نظرة عامة على نظامنا, بما في ذلك مكوناته, التفاعلات بين اجزائه, والادوات المادية والبرمجية المستخدمة . واخيرا ,سنشرح كيفية تنفيذ العقود الذكية الخاصة بسلسلة التوريد وربطها بالتطبيق. وفي نهاية هذا الفصل , سيتم توضيح مختلف مراحل تنفيد النظام و النتائج المتحصل عليها.

1. التطبيقات اللامركزية (DApps)

التطبيق اللامركزي هو نوع من التطبيقات يتم تطويره للعمل على الشبكة بلوكشين لامركزية, حيث يجمع بين العقود الذكية في جهة الخلفية(Backend) وواجهة المستخدم في حهة الامامية (Frontend). تعتبر تطبيقات (DApps) بانها بدون صلاحيات , مما يعني ان اي مستخدم يمكنه الوصوا اليها واستخدامها بحرية. تتضمن العديد من التطبيقات اللامركزية عقودا ذكية تم تطويرها من قبل مطورين اخرين,وتمتاز بالشفافية وعدم الحاجة الى الثقة بين الاطراف ,حيث يمكن لاي مستخدم التحقق من صحة هذه العقود ووضائفها. كما انها تعمل دون تدخل بشري مباشر, و لاتخضع لملكية جهة واحدة, بل يتم توزيع الملكية من خلال الرموز الرقمية (Tokens). يمكن تطوير هذه التطبيقات لاغراض متعددة مثل الالعاب, التمويل , ووسائل التواصل الاجنماعي .وتعمل هذه التطبيقات في بيئة مفتوحة المصدر ولامركزية على شبكة البلوكشين , ممايجعلها مقاومة للتحكم او التعديل من اي جهة مركزية [63].



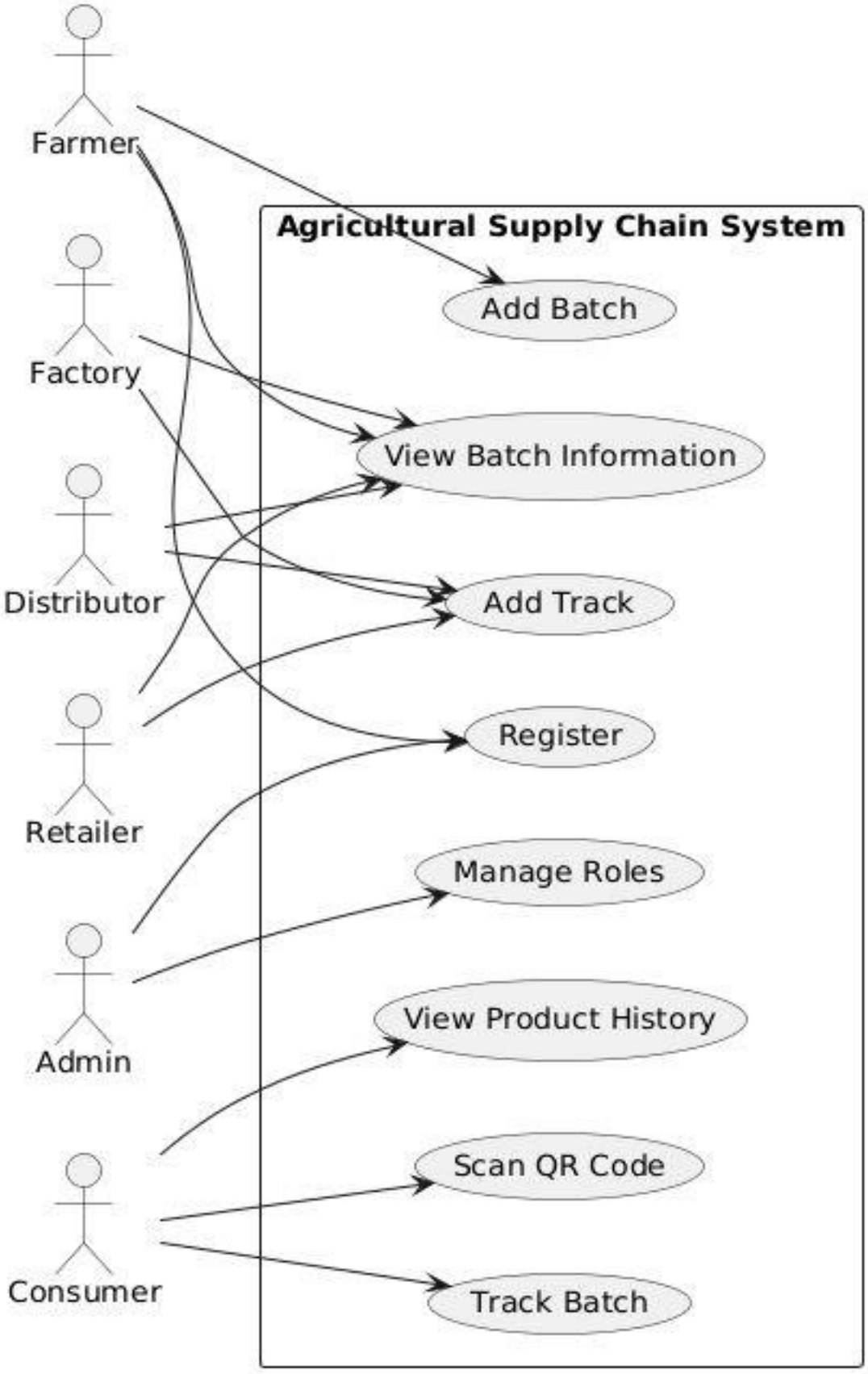
الشكل رقم 28 بنية التطبيق اللامركزي

2. مفهوم لغة النمذجة الموحدة (Unified Modeeling Language)

لغة قياسية تستخدم في هندسة البرمجيات من اجل تصميم وتوثيق وتحليل الانظمة البرمجية بشكل بصري .تعتمد هذه اللغة على مجموعة من المخططات التي تمكن من تمثيل هيكل النظام وسلوكه بطريقة واضحة ومنظمة. تستخدم UML لتسهيل فهم النظام بين المطورين و اصحاب المشروع ,كما تساهم في توضيح مكونات النظام والعلاقات بينها وكيفية تفاعلها قبل البدء في مرحلة التنفيذ البرمجي.

1.2. مخطط حالات الاستخدام (Use Case Diagram)

يوضح مخطط حالات الاستخدام التفاعل بين مختلف اطراف النظام (Actore) ووظائف التطبيق (Use Cases) .يهدف هذا المخطط الى بيان كيفية استخدام النظام من طرف المستخدمين المختلفين, مثل الفلاح , المصنع, الموزع, البائع , و المستهلك , بالاضافة الى المشرف المسؤول عن ادارة النظام.

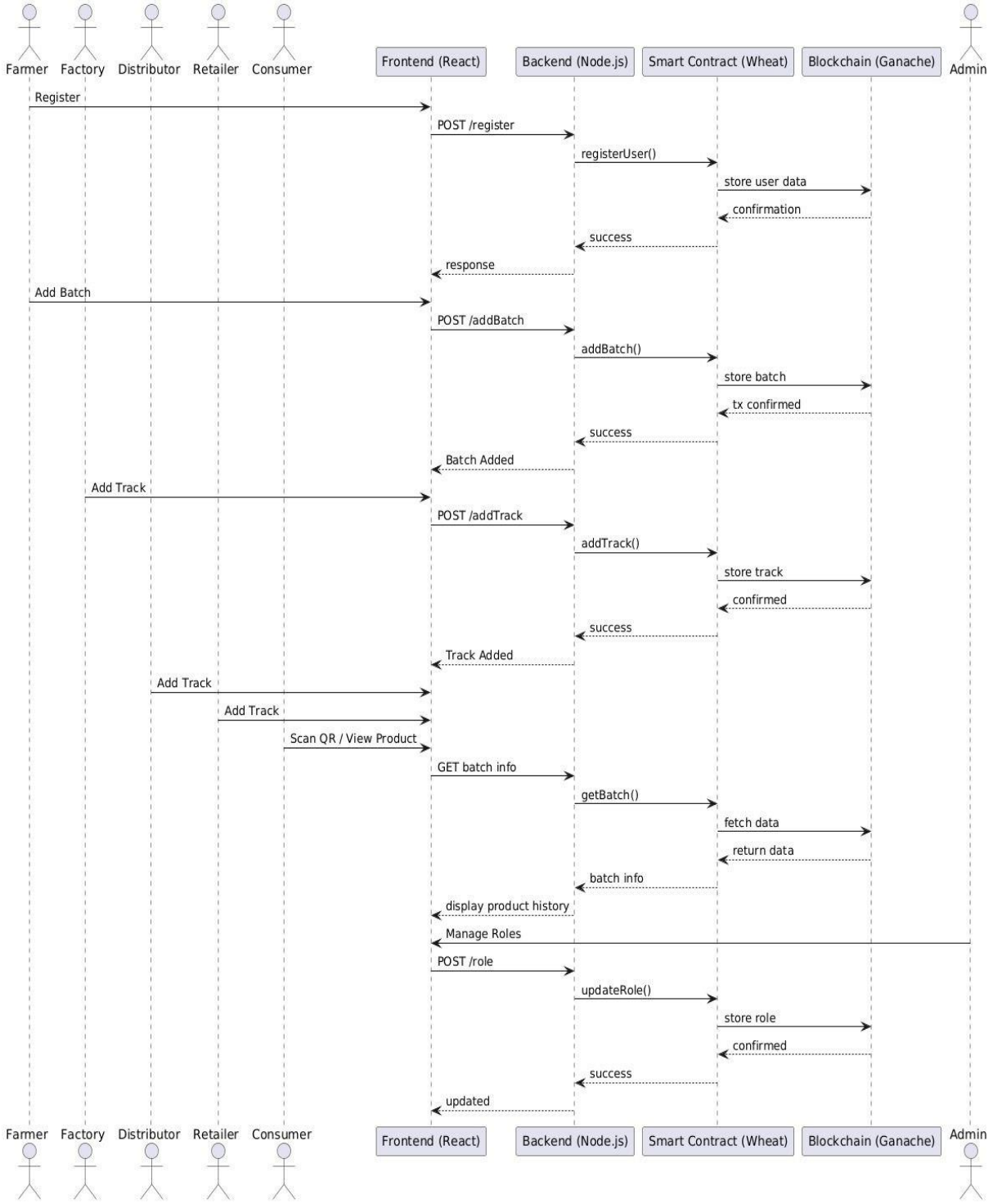


الشكل رقم 29 مخطط حالات الاستخدام

يتكون مخطط حالات الاستخدام من مجموعة من الأطراف الفاعلة التي تمثل مختلف المستخدمين المتعاملين مع النظام. حيث يبدأ الفلاح (Farmer) بالتسجيل في النظام ثم يقوم بإضافة دفعات القمح وإدخال المعلومات الأساسية المتعلقة بها، كما يمكنه الاطلاع على بيانات الشحنات المسجلة.
أما المصنع (Factory) والموزع (Distributor) وبائع التجزئة(Retailer) ، فيشاركون في عملية تتبع المنتج عبر إضافة معلومات التتبع الخاصة بكل مرحلة من مراحل سلسلة التوريد، بالإضافة إلى إمكانية الاطلاع على بيانات الشحنات ومتابعة حالتها.
من جهة أخرى، يقوم المشرف (Admin) بإدارة النظام من خلال تسجيل المستخدمين وتنظيم الأدوار والصلاحيات المختلفة، مما يضمن التحكم في الوصول إلى وظائف النظام والمحافظة على سلامة البيانات.
أما المستهلك(Consumer) ، فيستطيع مسح رمز الاستجابة السريعة (QR Code) الخاص بالمنتج، وتتبع مساره داخل سلسلة التوريد، والاطلاع على السجل الكامل للمنتج ومختلف المراحل التي مر بها قبل وصوله إليه.
وبصفة عامة، يوضح هذا المخطط كيفية تفاعل مختلف المستخدمين مع النظام، حيث يتم تسجيل وتتبع جميع المعلومات المتعلقة بالقمح عبر مراحل الإنتاج والمعالجة والتوزيع، مما يضمن الشفافية وإمكانية التتبع وتحسين موثوقية البيانات داخل سلسلة التوريد الزراعية المعتمدة على تقنية البلوكشين.

2.3. مخطط التسلسل (Sequence Diagram)

يمثل مخطط التسلسل اسلوبا يستخدم لعرض كيفية تفاعل مكونات النظام المختلفة مع بعضها عبر الزمن , من خلال توضيح ترتيب تبادل الرسائل والعمليات بين المستخدمين والنظام والعقود الذكية في سلسلة التوريد المعتمدة على البلوكشين . في هذا المشروع , يوضح مخطط التسلسل كيفية تنفيذ العمليات مثل تسجيل المستخدم, اضافة دفعة قمح , وادخال بيانات التتبع .حيث تبدا العملية عندما يقوم المستخدم (مثل الفلاح او المصنع) بارسال طلب عبر واجهة التطبيق , والتي بدورها تتواصل مع الواجهة الخلفية ثم تقوم باستدعاء العقد الذكي على شبكة الايثيريوم. بعد تنفيذ العملية داخل العقد الذكي, يتم تسجيل البيانات بشكل دائم وغير قابل للتعديل على شبكة البلوكشين. ثم يتم ارجاع النتيجة الى الواجهة الخلفية ومن ثم الى واجهة المستخدم لعرض التاكد او البيانات المطلوبة . كما يوضح هذا المخطط تسلسل التفاعل بيت مكونات النظام المختلفة مثل المستخدم, واجهة الويب , الخادم الخلفي , العقود الذكية , وشبكة البلوكشين, ممايبين كيفية انتقال البيانات بطريقة مختلفة وامنة. وبذلك يساعد مخطط التسلسل في فهم كيفية تنفيذ العمليات خطوة بخطوة داخل النظام ,ويبين كيفية تدفق البيانات بين مختلف مكونات التطبيق اللامركزي بشكل شقاق وموثوق.

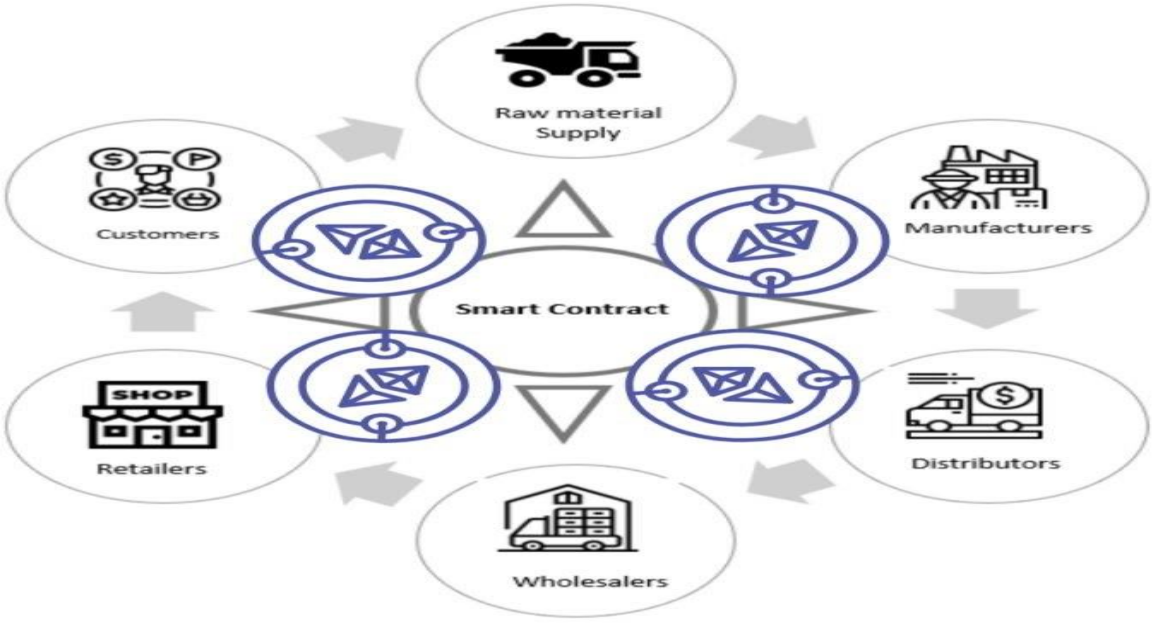


الشكل رقم 30 مخطط التسلسل

3. تصميم النظام (System Design)

في هذا القسم , سنعرض تصميم النظام المعتمد على تقنية البلوكشين والذي يهدف الى حل مشاكل سلسلة التوريد الزراعية, وذللك من خلال الاستفادة من الخصائص التي توفرها هذه التقنية مثل الشفافية, الامان , وامكانية تتبع المنتجات عبر مختلف المراحل .تم اختيار شبكة الايثيريوم (Ethereum) لتنفيذ هذا

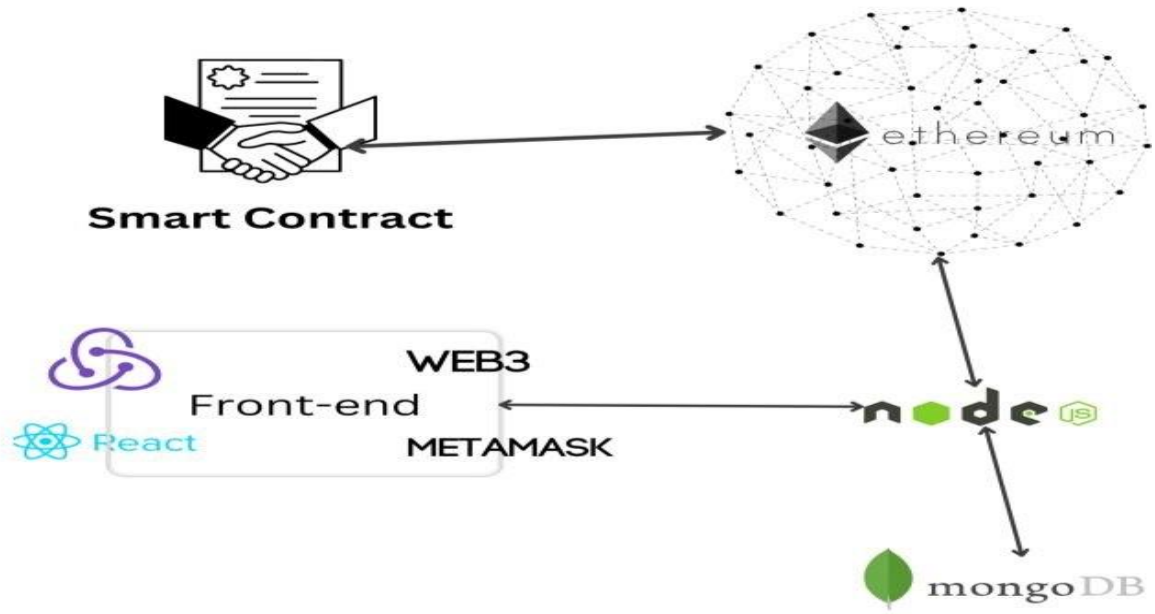
المشروع نظرا لمميزاتها العديدة , ودعمها للعقود الذكية ,بالاضافة الى توفر بيئة تطوير قوية ومجتمع واسع من المطورين .كما تم الاعتماد على عقود الذكية من اجل تنفيذ العمليات بشكل الي دون الحاجة الى طرف وسيط .يعتبر هذا النوع من الانظمة تطبيقا لامركزيا (DApp) مبنيا على تقنية البلوكشين .



الشكل رقم 31 تصميم نظام البلوكشين في سلسلة التوريد

2.3. العناصر النظام (System Elements)

توجد عدة مكونات وتقنيات يمكن الاعتماد عليها في انشاء نظام بلوكشين يتميز بالامان و الكفاءة , وقد تم اختيار هذه العناصر تحديدا لما توفره من سرعة في معالجة و تنفيذ العمليات داخل النظام .



الشكل رقم 32هيكل تطبيق لامركزي نموذج على شبكة الايثيروم

.

2.3. العناصر النظام (System Elements)

توجد عدة مكونات وتقنيات يمكن الاعتماد عليها في انشاء نظام بلوكشين يتميز بالامان و الكفاءة , وقد تم اختيار هذه العناصر تحديدا لما توفره من سرعة في معالجة و تنفيذ العمليات داخل النظام .

2.3. استخدام البلوكشين في التطبيق اللامركزي

تساهم تقنية البلوكشين في تطوير سلسلة التوريد من خلال توفير الشفافية , الامان , وامكانية تتبع المنتجات عبر مختلف المراحل . كما تسمح بتسجيل البيانات بشكل دائم وغير قابل للتعديل , ممايسهل التحقق من صحة المعلومات واكتشاف اي تلاعب .في هذا المشروع , تم الاعتماد على شبكة الايثيريوم (Ethereum) والعقود الذكية لتنفيذ العمليات بطريقة الية وامنة دون الحاجة الى وسيط, بالاضافة الى بناء تطبيق لامركزي (DApp) يضمن موثوقية البيانات وسهولة تتبع المنتجات .

3.3 مكتبة Web3.js

تعتبر Web3.js مكتبة JavaScript تستخدم لتمكين المطورين من التفاعل مع الشبكة الايثيريوم وبناء التطبيقات اللامركزية .وتعمل هذه المكتبة كحلقة وصل بين تطبيقات الويب وشبكة البلوكشين.ممايسهل دمج وظائف الشبكة داخل التطبيقات . توفر هذه المكتبة مجموعة من الواجهات البرمجية (APIs) التي تسمح بالاتصال بعقد الايثيريوم وتنفيذ العمليات عبر بروتوكولات مثل HTTP و WebSocket .كما تقوم تلقائيا بتحويل وظائف العقود الذكية الى استدعاءات منخفضة المستوى عبر واجهة ABI .

4.3. النظام الخلفي خارج السلسلة (Off-chain Backend)

يعتبرNode.js بيئة تشغيل تستخدم لتنفيذ JavaScript على جهة الخادم, في حين يعتبر Express.js اطار عمل مبني عليه يهدف الى تسهيل انشاء تطبيقات الويب وواجهات البرمجة (APIs). كما يساعد Express.js في تنظيم التطبيق من خلال نظام التوجيه (Routing) والوسائط(Middleware)

,ممايجعل التعامل مع الطلبيات ومعالجة البيانات اكثر بساطة وكفاءة. ويعد من اكثر الاطر استخداما في تطوير تطبيقات Node.js .[64]

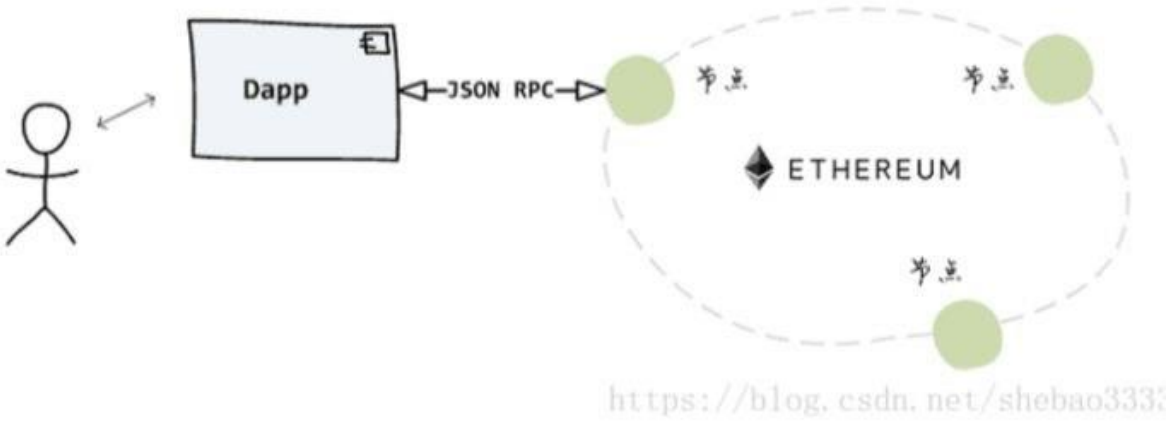
5.3 الواجهة الامامية (Frontend)

تهدف الواجهة الامامية الى توفير واجهة استخدام تفاعلية تسمح للمستخدم بالتحكم في وظائف التطبيق بسهولة. في هذا المشروع تم الاعتماد على (React.js) , وهي مكتبة (JavaScript) مفتوحة المصدر تعتمد في بناء واجهات المستخدم القائمة على مكونات (Components) وتتميز بالتفاعلية و المرونة .كما تم استخدام (Redux) لادارة الحالة (State Management)داخل التطبيق, وذلك لتنظيم البيانات المسترجعة من الخادم الخلفي (Backend)وعرضها بطريقة مرتبة وفعالة داخل الواجهة .[65]

الشكل رقم 33 شعار Reactو Redux

6.3 .الاتصال بين التطبيق والبلوكشين

يتم التواصل بين التطبيق وشبكة البلوكشين من خلال مجموعة من التقنيات والادوات التي تسمح بتبادل البيانات وتنفيذ العمليات بين واجهة المستخدم والعقود الذكية. عنمدا يقوم المستخدم بتفيذ عملية داخل التطبيق ,مثل اضافة دفعة قمح او تحديث معلومات التتبع ,يتم ارسال الطلب من الواجهة الامامية (Frontend)الى الخادم الخلفي (Backend).بعد ذلك يقوم الخادم باستخدام مكتبة (Web3.js) للتفاعل مع العقد الذكي الموجود على شبكة الايثيريوم .تعتمد عملية الاتصال على بروتوكول (JSON-RPC) الذي يسمح بارسال الطلبات واستقبال الاستجابات من شبكة البلوكشين, ويعتبر احد معايير الAPI المستخدمة على نطاق واسع فب الانظمة الموزعة للتواصل مع شبكات البلوكشين وتنفيذ العملبات المختلفة. وبعد تنفيذ العملية داخل العقد الذكي , تسجل البيانات بشكل دائم وامن على البلوكشين , ثم تعاد النتيجة الى التطبيق ليتم عرضها للمستخدم.



الشكل رقم 34 التواصل بين تطبيق لامركزي وشبكة الايثيريوم و البلوكشين

4. ادوات التطوير

يتطلب تطوير هذا النظام استخدام مجموعة من الادوات , لغات البرمجية, انظمة التشغيل التي تساعد على بناء التطبيق وتشغيله بطريقة امنة.

1.4 العتاد ونظام التشغيل

تم تنفيذ هذا المشروع باستخدام حاسوب محمول من نوع HP Notebook مزود بمعالج Intel Core i3-5005U بسرعة GHz2.00 ونظام التشغيل Windows 11 .

2.4 محرر الاكواد (Visual Studio Code)

يعد محرر الاكواد مجاني وخفيف وقوي, يستخدم في تطوير البرمجيات, ويعمل على انظمة تشغيل مختلفة مثل Windows و Linux وغيرها .يعتمد على تقنيات مفتوحة المصدر مثل (Language Server Protocol) و(Type Script) و(Electron , Node.js). يجمع هذا المحرر بين البساطة في الكتابة الكود ولادوات المتقدمة للمطوين ,مثال الاكمال التلقائي (IntelliSense) وتصحيح الاخطاء (Debugging), مما يجعله من اكثر ادوات التطوير استخداما[65].

الشكل رقم 35 شعار Visual Studio Code

3.4 Truffle Framework

يعتبرTruffle اطار عمل متكامل لتطوير التطبيقات اللامركزية على شبكة الايثيريوم, يسهل هذا الاطار عملية التطوير من خلال توفير ادوات مهمة مثل المترجم العقود الذكية , ادوات الاختبار التلقائي, ونصوص النشر. كما يدعم ادارة العقود المكتوبة بلغة Solidity بشكل منظم , ويوفر مميزات مهمة مثل ترحيل العقود, ادارة الشبكات , وادوات تصحيح الاخطاء ,ممايساعد المطورين على تطوير ونشر التطبيقات بكفاءة عالية .

الشكل رقم 36 شعار Truffle

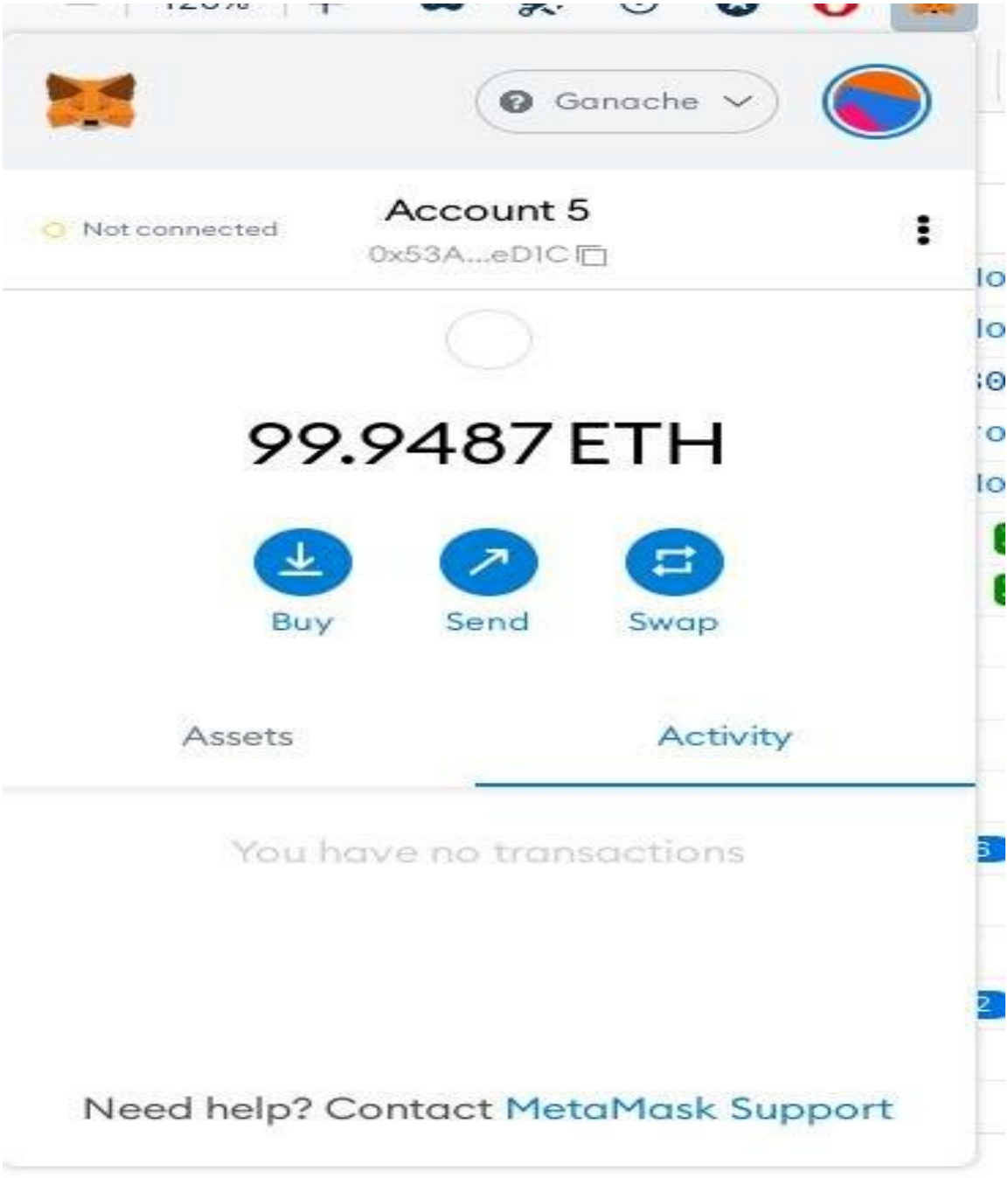
4.4 Ganache

يعتبرGanache شبكة بلوكشين محلة تستخدم لتوفير بيئة اختبار خاصة لتطوير التطبيقات اللامركزية, يسمح هذا النظام بمحاكاة المعاملات وادارة الحسابات ومراقبة نشاط البلوكشين بسهولة .يستعملGanache خلال مرحلة التطوير لتسريع عملة الاختبار وتقليل الحاجة الى شبكة الحقيقية, كما توفر ميزات مثل لقطات الشبكة وامكانية اعادة نفس السيناريوهات لاختبار دقيق.

الشكل رقم 37 شعار Ganache

5.4 MetaMask

MetaMask هي محفظة رقمية تعمل كاضافة للمتصفح, تتيح للمستخدمين تخزين عمل الايثيريوم والتفاعل مع البلوكشين .تعتبرMetaMask بوابة اساسية لدخول عالم التطبيقات اللامركزية و التمويل اللامركزي , حيث توفر واجهة سهلة الاستخدام مع مستوى عال من الامان عبر التشفير وعبارات الاسترجاع, مما يساعد في تنفيذ المعاملات والتواصل مع التطبيقات المبينة على الايثيريوم [66].



الشكل رقم 38 واجهة MetaMask

6.5 اللغات المستخدمة في المشروع

- Solidity : لغة البرمجة الاساسية لكتابة العقود الذكية على شبكة الايثيريوم, وتستخدم لتنفيذ العمليات داخل البلوكشين بطريقة امنة ولامركزية.
- HTML : تستخدم لبناء هيكل صفحات الويب وتحديد العناصر الاساسية في واجهة المستخدم.
- CSS : تستعمل لتنسيق وتصميم واجهة المستخدم وتحسين الشكل العام للتطبيق وجعله اكثر جاذبية وسهولة في الاستخدام
- Java Script : تعد اللغة الرئيسية في تطوير التطبيق , حيث تستخدم في الواجهة الامامية والخلفية, وتساعد في ربط التطبيق مع البلوكشين وتنفيذ التفاعلات .

5. تنفيذ العقد الذكي لسلسلة التوريد

في هذا الجزء يتم عرض مراحل تنفيذ النظام وخطوات اعداد المشروع, في البداية يتم انشاء مجلد خاص بالمشروع باسم Supply-chain . تثبيت من الموقع الرسمي, بالاضافة الى اضافة محفظة على المتصفح .

بعد ذلك يتم تثبيت اطار العمل باستخدام الامر `npm install –g truffle` :

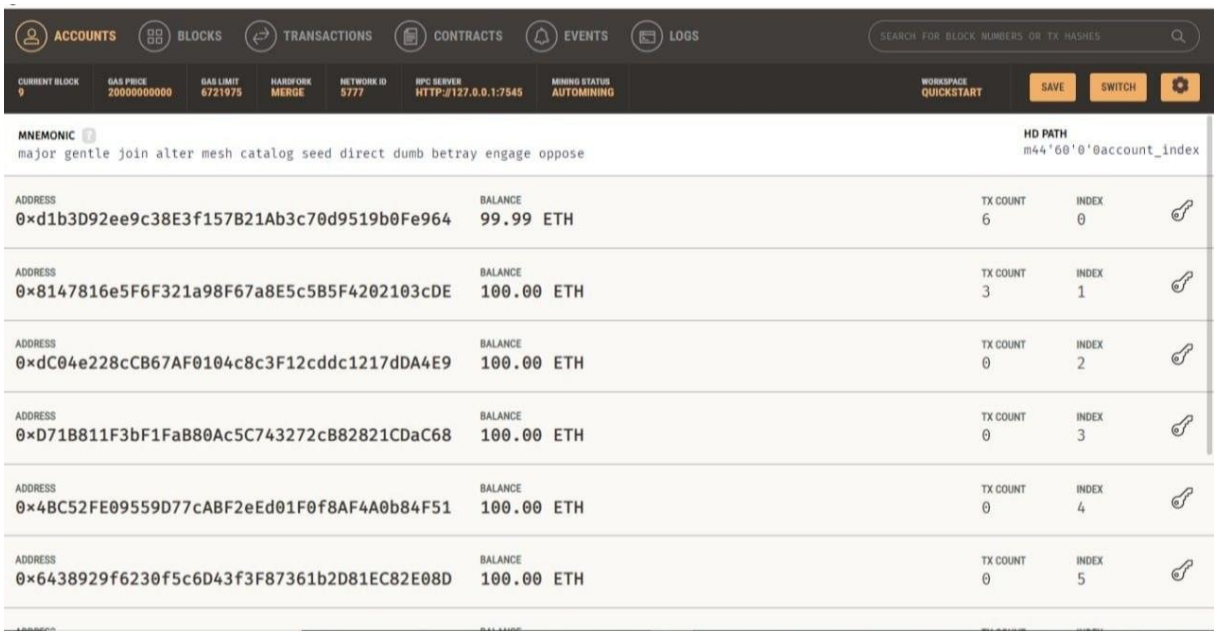
وبعد اكتمال التثبيت يتم تهيئة المشروع عبر الامر : `truffle init`

بعد تنفيذ هذا الامر يتم انشاء هيكل المشروع الذي يحتوي على عدة مجلدات وملف اساسي:

- Contracts : يحتوي على الاكواد العقود الذكية .
- Migrations :يستخدم انشر التحديثات الاخاصة بالعقد على شبكة الايثيريوم .
- Test: يحتوي على اختبارات العقود الذكية.
- Truffle-config.js : ملف اعدادات المشروع .

1.5 تحميل وتثبيت Ganache :

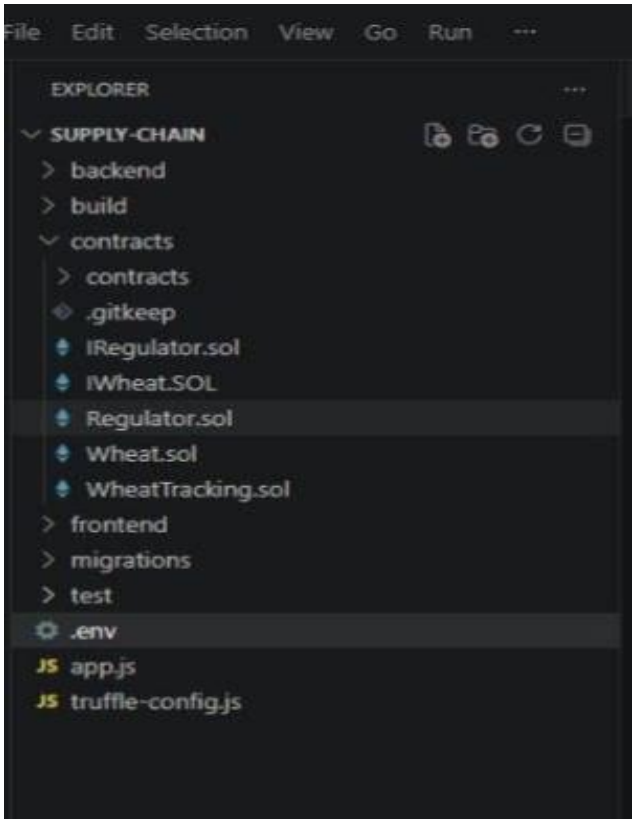
يتم تحميل و تثبيت برنامج Ganache لانشاء شبكة ايثيريوم محلية بشكل سريع, حيث يوفر بيئة اختبار تحتوي على حسابات جاهزة تحاكي عقد الشبكة الحقيقية.يسمح باختبار العقود الذكية محليا قبل نشرها على شبكة الايثيربوم , ممايساهم في اكتشاف الاخطاء وتحسين الاداء داخل بيئة امنة .



الشكل رقم 39 واجهة Ganache

6. عقود الذكية لسلسلة التوريد

يعتمد هذا المشروع على ثلاث عقود ذكية اساسية تم تصميمها لادارة مراحل مختلفة من سلسلة التوريد الزراعية على شبكة البلوكشين, حيث يساهم كل عقد في تنفيذ جزء محدد من النظام بشكل امن ولامركزي.



الشكل رقم 40 اضافة عقود

- عقد Wheat

يتضمن هذا الجزء إعدادات العقد الذكي الأساسية، حيث تم أولاً تحديد رخصة MIT ثم تحديد إصدار Solidityالمستعمل لتطوير العقد. بعد ذلك تم استيراد واجهة IRegulator من أجل ربط عقد Wheat بعقد المنظم .Regulator كما يحتوي هذا الجزء على تعريف العقد الذكي Wheat وإنشاء متغير owner الذي يخزن عنوان صاحب العقد الذي قام بنشره على البلوكشين، بالإضافة إلى المتغير regulator الذي يمثل عقد المنظم. أما الـ constructor فيتم تنفيذه مرة واحدة فقط عند نشر العقد، حيث يقوم بحفظ عنوان ناشر العقد داخل owner وربط عقد Wheat بعنوان عقد Regulator من أجل إمكانية التواصل بين العقود الذكية داخل النظام.

```
// SPDX-License-Identifier: MIT
pragma solidity ^0.8.0;

import "./IRegulator.sol";

contract Wheat {

    address public owner;
    IRegulator public regulator;

    constructor(address _regulatorAddress) {
        owner = msg.sender;
        regulator = IRegulator(_regulatorAddress);
    }
```

الشكل رقم 41 اعداد العقد الذكي والمتغيرات الاساسية

يتعلق هذا الجزء ببنية تخزين بيانات القمح داخل البلوكشين. حيث تم إنشاء هيكل بيانات يسمى Batch يُستخدم لتمثيل شحنة قمح واحدة، ويتضمن مجموعة من المعلومات المهمة مثل رقم الشحنة، عنوان الفلاح، نوع القمح، نسبة الرطوبة، نسبة البروتين، نوع البذور، وقت الحصاد، الموقع، حالة الشحنة والكمية. كما يحتوي هذا الجزء على متغير batchCount الذي يُستخدم لإحصاء عدد الشحنات المسجلة داخل النظام. إضافة إلى ذلك، تم استعمال mapping باسم batches لتخزين جميع الشحنات بطريقة منظمة وربط كل شحنة بمعرف خاص يسمح بالوصول إليها بسهولة. وتم كذلك تعريف حدث يسمى BatchCreated يُطلق تلقائياً عند إنشاء شحنة جديدة من أجل تسهيل تتبع العمليات داخل النظام.

```
struct Batch {
    uint id;
    address farmer;
    string wheatType;
    uint moisture;
    uint protein;
    string seedType;
    uint256 harvestTime;
    string location;
    string status;
    uint quantity;
}

uint public batchCount;

mapping(uint => Batch) public batches;
```

الشكل رقم 42 هيكلة البيانات والية التخزين

يتضمن هذا الجزء الدوال الأساسية المسؤولة عن إدارة بيانات القمح داخل النظام. تُستخدم الدالة addBatchلإضافة شحنة جديدة إلى البلوكشين، حيث تقوم بزيادة عدد الشحنات ثم إنشاء سجل يحتوي على جميع المعلومات الخاصة بالشحنة مثل نوع القمح، نسبة الرطوبة، نسبة البروتين، الكمية والموقع. كما

يتم تسجيل عنوان المستخدم الذي قام بالإضافة بواسطةmsg.sender ، بالإضافة إلى حفظ وقت العملية باستخدام .block.timestamp بعد ذلك يتم تخزين البيانات داخل mapping batches ثم إطلاق الحدث BatchCreatedللإشارة إلى نجاح عملية الإضافة. أما الدالة getBatch فتُستخدم لاسترجاع بيانات شحنة معينة انطلاقاً من رقمها التعريفي، حيث تسمح بقراءة المعلومات المخزنة داخل البلوكشين وإرجاع كافة تفاصيل الشحنة بطريقة آمنة ومنظمة.

```
// ADD BATCH (بدون approve)
function addBatch(
    string memory _wheatType,
    uint _moisture,
    uint _protein,
    uint _quantity,
    string memory _seedType,
    string memory _location
) public {

    batchCount++;

    batches[batchCount] = Batch(
        batchCount,
        msg.sender,
        _wheatType,
        _moisture,
        _protein,
        _seedType,
        block.timestamp,
        _location,
        "Registered",
        _quantity
    );

    emit BatchCreated(batchCount, msg.sender);
}
```

```
// GET BATCH
function getBatch(uint _id)
    public
    view
    returns (
        uint,
        address,
        string memory,
        uint,
        uint,
        string memory,
        uint256,
        string memory,
        string memory,
        uint
    )
{
    Batch memory b = batches[_id];

    return (
        b.id,
        b.farmer,
        b.wheatType,
        b.moisture,
        b.protein,
        b.seedType,
        b.harvestTime,
        b.location,
        b.status,
        b.quantity
    );
```

الشكل رقم 43 وظائف العقد الذكي ومعالجة البيانات

- عقد Regulator

يبدأ العقد الذكي Regulator بتحديد بنية النظام من خلال إنشاء enum Role التي تمثل أدوار المستخدمين داخل سلسلة التوريد. تشمل هذه الأدوار Farmer للفلاح، Factoryللمصنع، Distributor للموزع، Retailer لتاجر التجزئة، بالإضافة إلى None التي تعني عدم تعيين أي دور. هذا التصنيف يسمح بتنظيم المشاركين في النظام وتحديد صلاحيات كل طرف بشكل واضح داخل البلوكشين.

```
Regulator.sol
contract Regulator {

    enum Role { None, Farmer, Factory, Distributor, Retailer }
```

الشكل رقم 44 تعريف العقد والادوار

في هذا الجزء يتم إنشاء هيكل بيانات يسمى Entity يحتوي على اسم المستخدم والدور الذي ينتمي إليه. ثم يتم استخدام mapping(address => Entity) لربط كل عنوان على شبكة البلوكشين بمعلومات المستخدم الخاصة به، مما يسمح بتخزين البيانات بشكل دائم وآمن. كما تم تعريف حدث Registered الذي يتم إطلاقه عند تسجيل مستخدم جديد، ويستخدم هذا الحدث لإعلام النظام والواجهة الأمامية بأن عملية التسجيل تمت بنجاح، مما يسهل تتبع الأنشطة داخل
العقد الذكي.

```
    struct Entity {
        string name;
        Role role;
    }

    mapping(address => Entity) private entities;

    event Registered(address indexed user, string name, Role role);
```

الشكل رقم 45 هيكل البيانات والتخزين

يحتوي هذا الجزء على الدوال الأساسية المسؤولة عن تسجيل المستخدمين واسترجاع بياناتهم. تُستخدم الدالة register لتسجيل مستخدم جديد داخل النظام، حيث تستقبل اسم المستخدم والدور الخاص به. كما تحتوي على شرط require للتأكد من أن المستخدم غير مسجل مسبقاً، بالإضافة إلى التحقق من أن الدور المختار صالح وليس .None بعد ذلك يتم تخزين بيانات المستخدم داخل mapping entities وربطها بعنوانه على البلوكشين، ثم يتم إطلاق الحدث Registered للإعلان عن نجاح عملية التسجيل. أما الدالة getEntityفتُستخدم لاسترجاع معلومات مستخدم معين اعتماداً على عنوانه، حيث تقوم بقراءة البيانات المخزنة داخل البلوكشين وإرجاع اسم المستخدم والدور الخاص به بطريقة آمنة ومنظمة.

```
    function register(string memory _name, Role _role) public {
        require(entities[msg.sender].role == Role.None, "Already registered");
        require(_role != Role.None, "Invalid role");

        entities[msg.sender] = Entity(_name, _role);

        emit Registered(msg.sender, _name, _role);
    }

    function getEntity(address _addr)
        public
        view
        returns (string memory name, Role role)
    {
        Entity memory e = entities[_addr];
        return (e.name, e.role);
    }
}
```

الشكل رقم 46 لدوال الرئيسية للعقد الذكي

- عقد WheatTracking

هذا الجزء يقوم بإنشاء العقد WheatTracking وربطه بعقد .Wheat الهدف منه هو تمكين عقد التتبع من الوصول إلى بيانات الشحنات والتأكد من وجودها قبل تسجيل أي عملية تتبع.

```
tracts > WheatTracking.sol
// SPDX-License-Identifier: MIT
pragma solidity ^0.8.0;

import "./Wheat.sol";

contract WheatTracking {

    Wheat public wheat;

    constructor(address _wheatAddress) {
        wheat = Wheat(_wheatAddress);
    }
```

الشكل رقم 47 تعريف العقد وربطه بعقد Wheat

يتم تعريف struct باسم Track لتمثيل كل عملية تتبع. يحتوي على معلومات مثل رقم التتبع، رقم الشحنة، الشخص الذي قام بالعملية، نقطة الانطلاق والوصول، الموقع، المرحلة ووقت العملية. هذا الهيكل يمثل كل حركة تخص القمح داخل سلسلة التوريد.

```
    struct Track {

        uint trackId;
        uint batchId;

        address actor;

        string from;
        string to;

        string location;


        string stage;

        uint timestamp;
    }
```

الشكل رقم 48 هيكل بيانات التتبع والتخزين

يتضمن هذا الجزء متغير trackCount لحساب عدد عمليات التتبع المسجلة. كما يتم استعمال mappingلتخزين كل عملية تتبع حسب رقمها، بالإضافة إلى mapping آخر يربط كل شحنة بجميع عمليات التتبع الخاصة بها. وتم أيضاً تعريف حدث TrackAdded الذي يتم إطلاقه عند إضافة أي تتبع جديد بهدف تسهيل متابعة العمليات داخل النظام.

```
uint public trackCount;

// 📦 trackId => Track
mapping(uint => Track) public tracks;

// 📦 batchId => list of trackIds
mapping(uint => uint[]) public batchTracks;

event TrackAdded(
    uint batchId,
    string stage,
    uint timestamp
);
```

الشكل رقم 49 التخزين الاحداث واضافة التتبع

تسمح دالة addTrack بإضافة مرحلة جديدة لشحنة قمح معينة. قبل تسجيل العملية يتم التحقق من وجود الشحنة داخل عقد .Wheat بعد ذلك يتم إنشاء سجل جديد يحتوي على بيانات التتبع ويتم تخزينه داخل البلوكشين وربطه بالشحنة، ثم يتم إطلاق حدث للإعلان عن نجاح العملية.

```
// 🚚 ADD TRACK
function addTrack(
    uint _batchId,
    string memory _from,
    string memory _to,
    string memory _location,

    string memory _stage
) public {
```

الشكل رقم 50 دالة اضافة تتبع جديد

تقوم دالة getBatchTracks بإرجاع جميع عمليات التتبع المرتبطة بشحنة معينة، مما يسمح بمتابعة كل مراحل انتقال القمح داخل سلسلة التوريد بشكل كامل ومنظم

```
// 📊 GET TRACK
function getTrack(uint _id)
    public
    view
    returns (
        uint,
        uint,
        address,
        string memory,
        string memory,
        string memory,
        string memory,
        uint
    )
{
```

استرجاع بيانات التتبع51 الشكل رقم

تستخدم دالة getTrack لاسترجاع تفاصيل عملية تتبع محددة حسب رقمها، حيث تقوم بإرجاع جميع المعلومات المتعلقة بها مثل رقم الشحنة، الشخص الذي قام بالعملية، الموقع، المرحلة ووقت التنفيذ.

```
    // ■ GET TRACK IDS FOR BATCH
    function getBatchTracks(uint _batchId)
        public
        view
        returns (uint[] memory)
    {
        return batchTracks[_batchId];
    }
}
```

الشكل رقم 52 جلب كل التتبع الخاص بشحنة

7. السيرفر(Backend)

يُعتبر السيرفر العنصر الذي يربط بين الواجهة الأمامية المبنية بـ React وشبكة البلوكشين. تم تطويره باستخدام Node.js و Expressبهدف استقبال طلبات المستخدمين ومعالجتها، ثم إرسالها إلى العقود الذكية عبر Web3.js مع التعامل مع شبكة Ganache المحلية.

- إعداد السيرفر

في بداية إعداد السيرفر يتم استيراد المكتبات الأساسية مثل Express و CORSوdotenv، إضافة إلى استيراد العقود الذكية الخاصة بالمشروع مثل Regulator و Wheatو .Trackingبعد ذلك يتم إنشاء تطبيق Express وتفعيل بعض الـ middleware مثل cors و express.jsonمن أجل السماح باستقبال البيانات القادمة من الواجهة الأمامية ومعالجتها بشكل صحيح

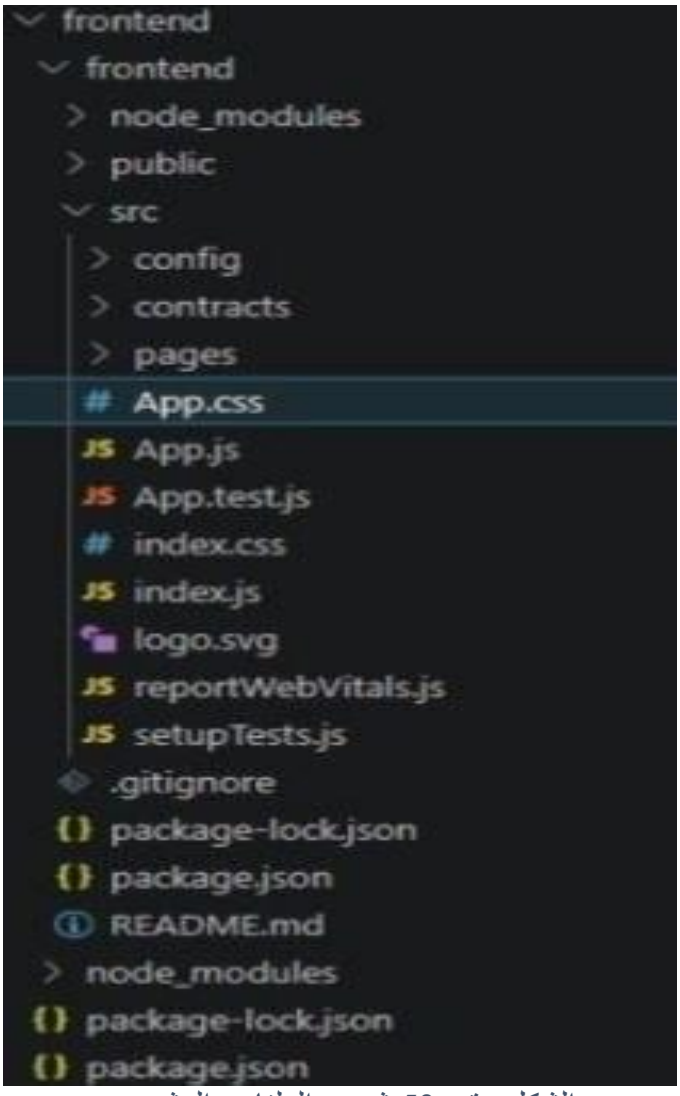
- الاتصال بالبلوكشين

يقوم السيرفر بالاتصال بشبكة Ganache من خلال مكتبةWeb3.js ، مما يسمح بالتفاعل مع العقود الذكية وتنفيذ الدوال الموجودة بداخلها. ومن خلال هذا الاتصال يمكن تنفيذ عدة عمليات مثل تسجيل المستخدمين، إضافة شحنات القمح، أو تسجيل مراحل التتبع داخل البلوكشين.

8. الواجهة الأمامية (Frontend)

تم تطوير الجزء الخاص بالواجهة الأمامية باستخدام مكتبة React.js من أجل توفير واجهة تفاعلية للمستخدمين. تم
إنشاء تطبيق React باستعمال الأمر التالي:

```
npx create-react-app
frontend
```



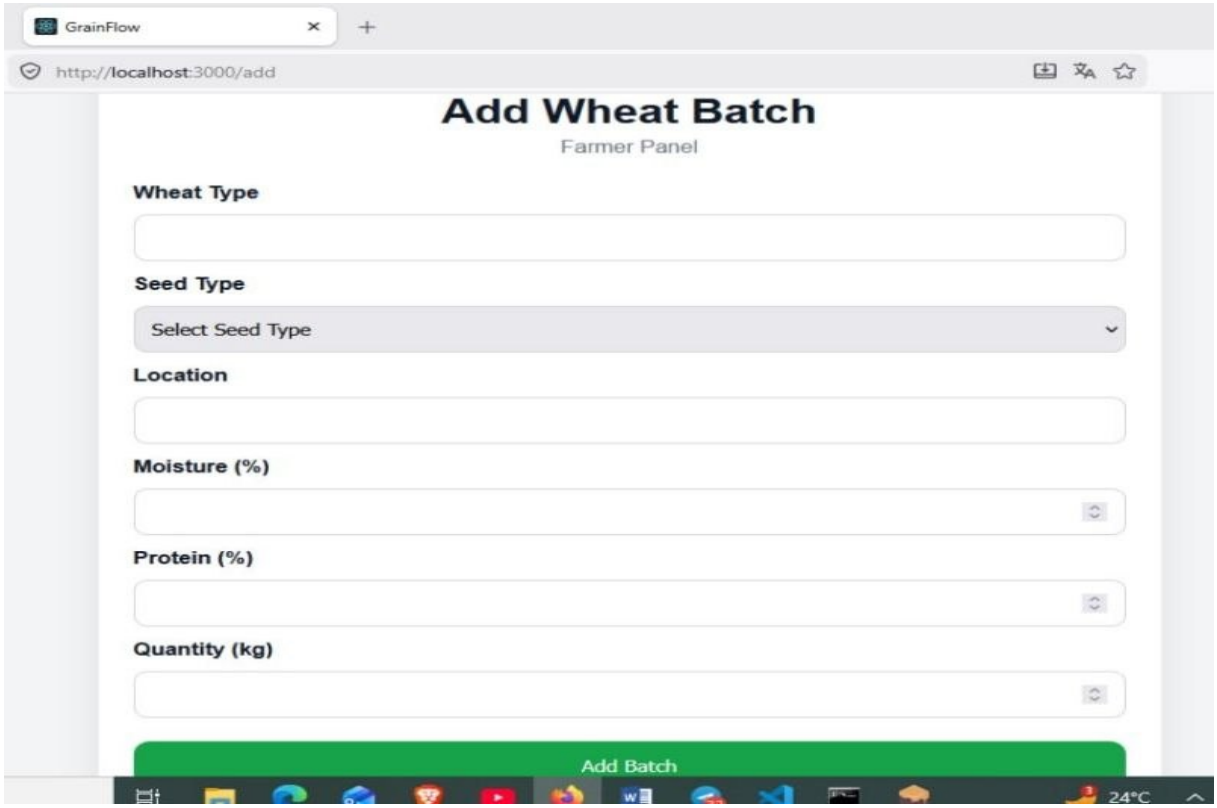
الشكل رقم 53 شجرة الملفات المشروع

بعد إنشاء المشروع، قامت React بإنشاء المجلدات والملفات الأساسية اللازمة للتطوير، مثل مجلد src الذي يحتوي على المكونات وملفات التنسيق، بالإضافة إلى مجلد public المخصص للموارد الثابتة .

تسمح الواجهة الأمامية للمستخدمين بالتفاعل مع نظام البلوكشين من خلال صفحات بسيطة ومنظمة. تم إنشاء عدة مكونات React لإدارة مختلف وظائف التطبيق، مثل تسجيل المستخدمين، إدارة شحنات القمح، وعمليات التتبع.

كما تم إنشاء صفحة تسجيل دخول للمستخدمين من أجل التحقق من الهوية. وتم تطبيق آلية المصادقة والتفويض باستعمال Express.js مع .(JSON Web Token) JWT عند تسجيل الدخول يقوم السيرفر بإنشاء Token يُستخدم للتحقق من هوية المستخدم وصلاحياته. وبناءً على دور المستخدم يتم توجيهه إلى الواجهة والوظائف المناسبة داخل النظام.

- AddBatch.js :

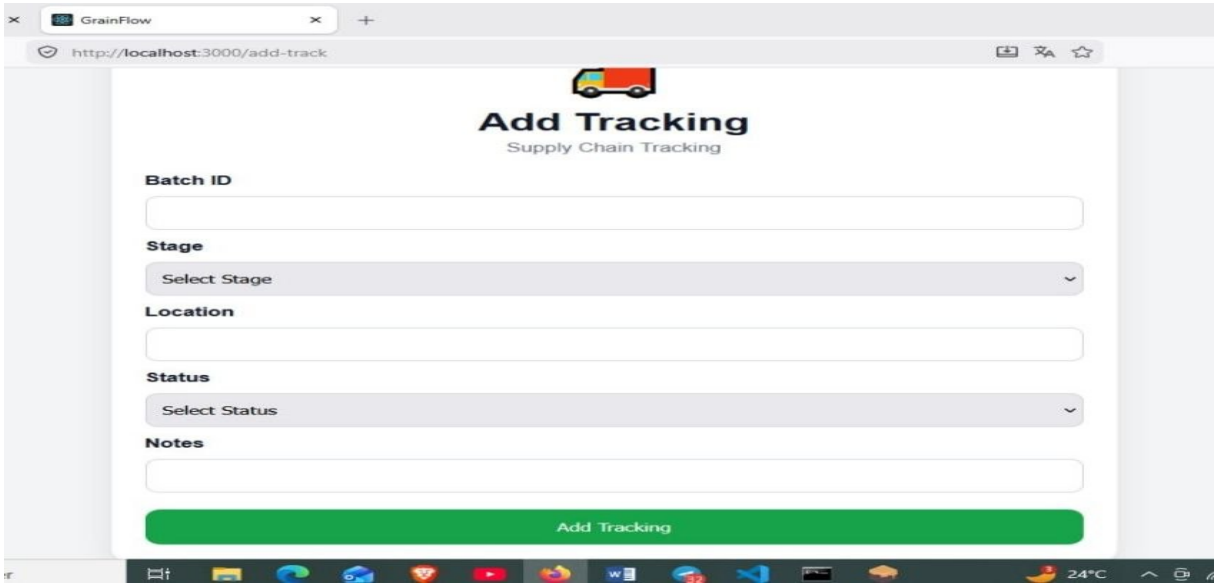


الشكل رقم 54 اضافة شحنات القمح

تُخصص هذه الصفحة لإضافة شحنات القمح الجديدة إلى النظام. يقوم الفلاح بإدخال بيانات الشحنة مثل نوع القمح،

الكمية، الموقع، ونسب الجودة، ثم يتم إرسال هذه المعلومات إلى البلوكشين عبر السيرفر.

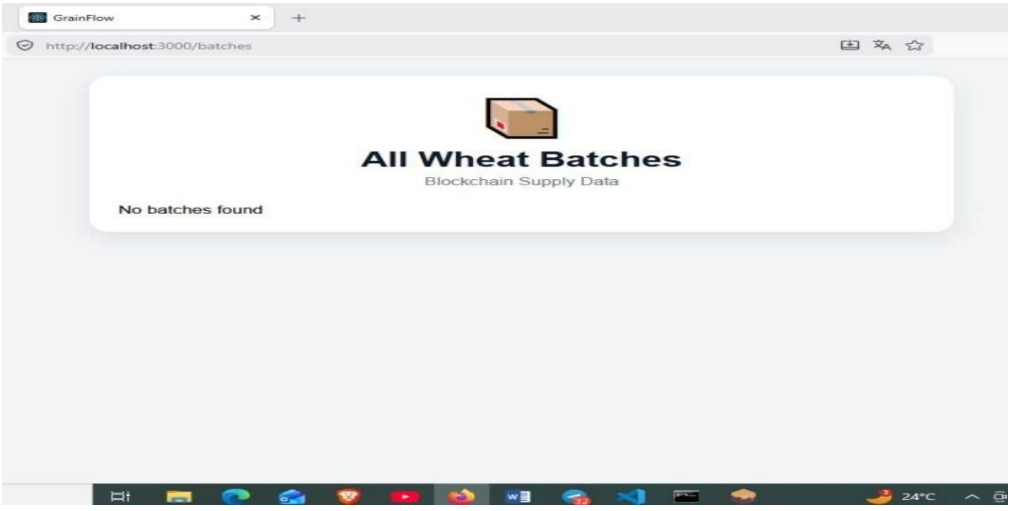
- AddTrack.js :



الشكل رقم 55 واجهة تسجل مراحل التتبع

تُستخدم هذه الصفحة لتسجيل مراحل تتبع الشحنات داخل سلسلة التوريد. حيث يتم إدخال معلومات المرحلة الحالية أو بيانات النقل وتخزينها داخل نظام التتبع.

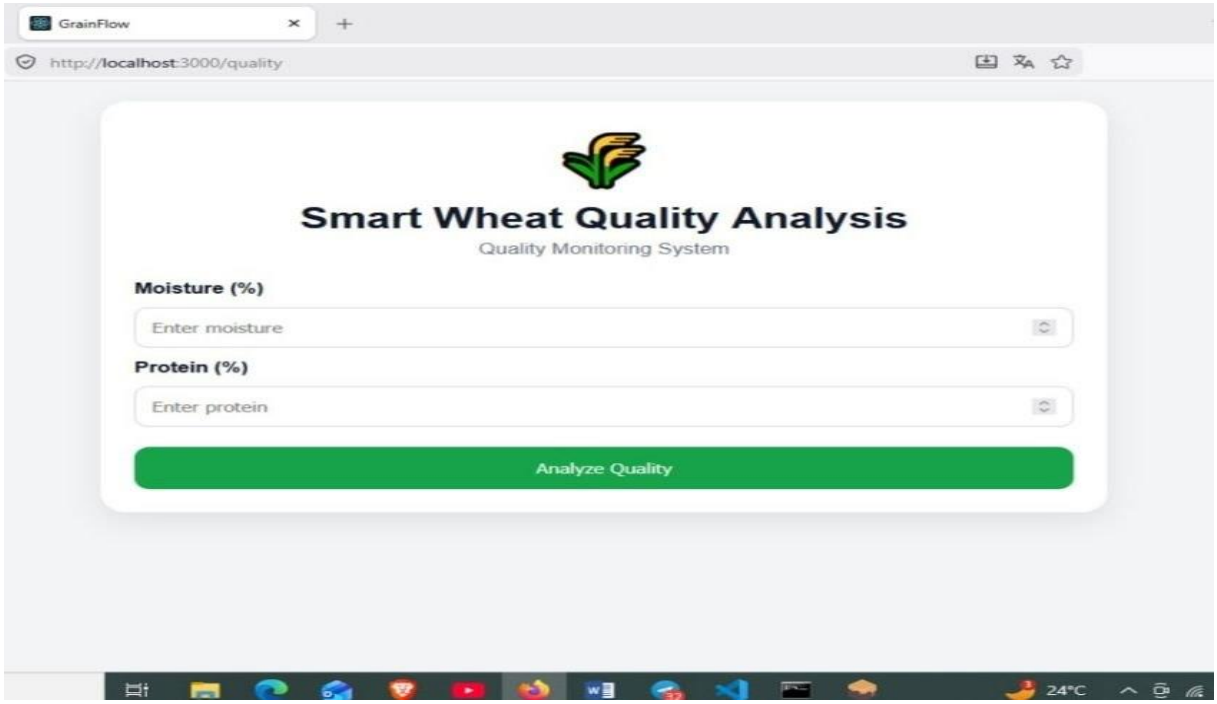
- BatchList.js :



الشكل رقم 56 واجهة عرض جميع الشحنات

تقوم هذه الصفحة بعرض جميع شحنات القمح المسجلة داخل النظام، مع إظهار المعلومات الأساسية الخاصة بكل شحنة بطريقة منظمة.

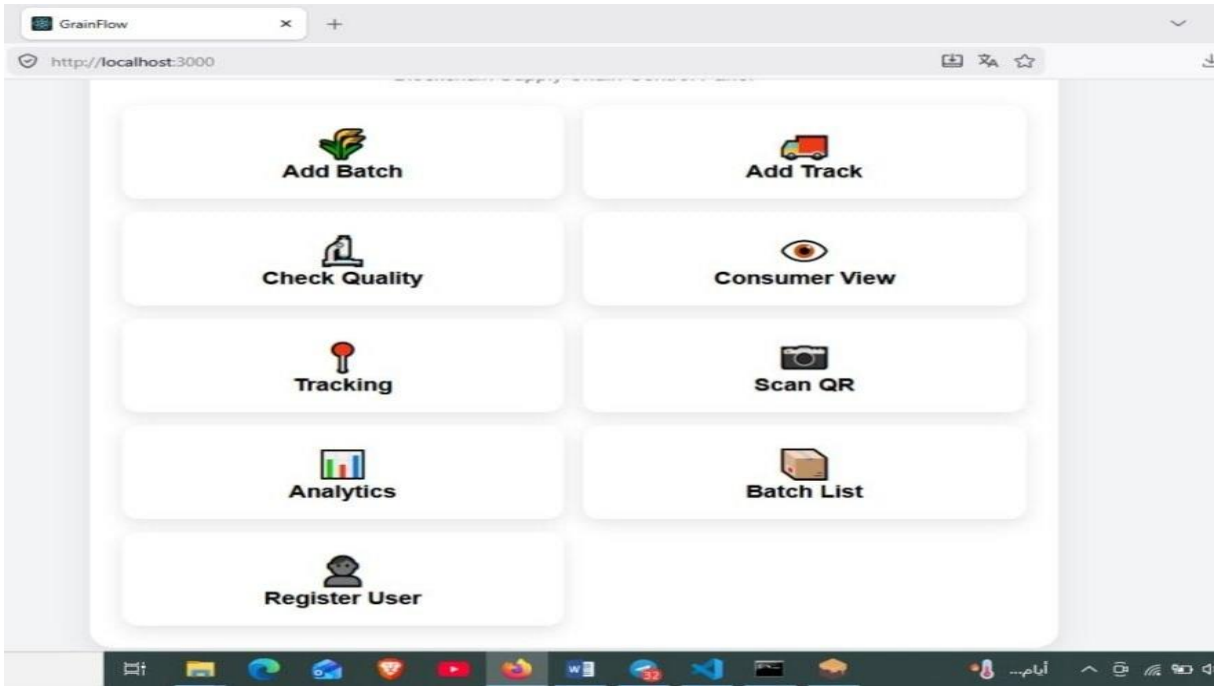
- CheckQuality.js :



واجهة فحص الجودة57 الشكل رقم

تسمح هذه الصفحة بعرض وفحص معايير جودة القمح مثل نسبة الرطوبة والبروتين، مما يساعد على تقييم جودة الشحنات المسجلة.

- Dashboard.js :

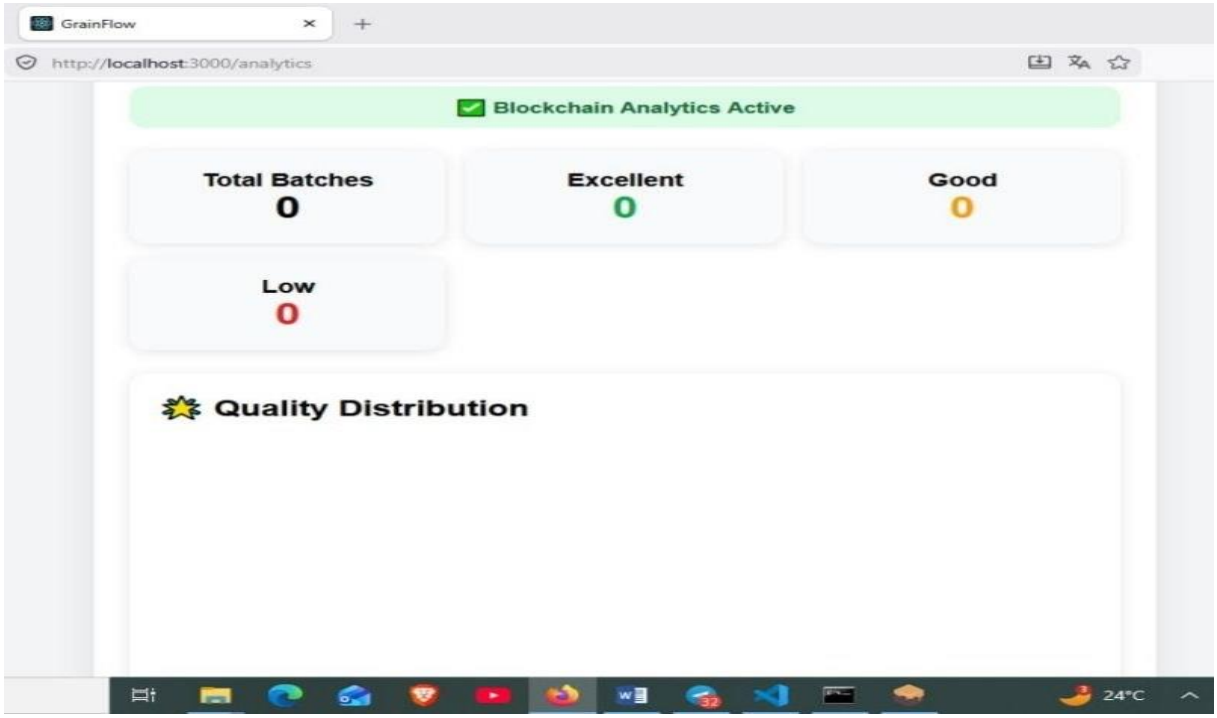


الشكل رقم 58 الواجهة الرئيسية

تعتبر الواجهة الرئيسية للنظام، حيث تعرض أهم البيانات والإحصائيات المتعلقة بالشحنات، المستخدمين، وعمليات التتبع.

- GrainFlowAnalytics.js :

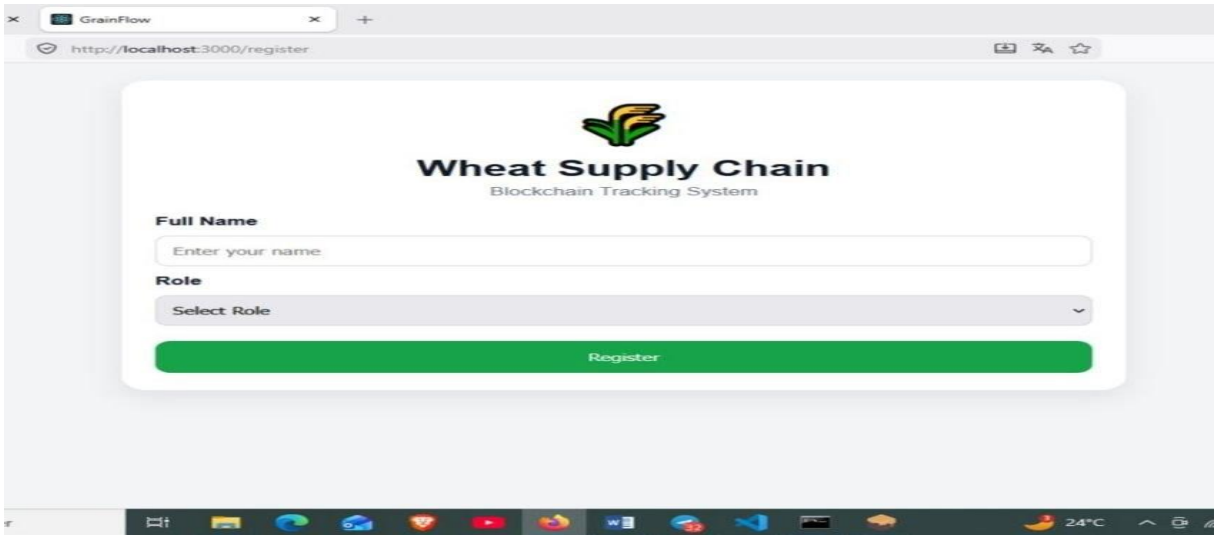
تُستخدم هذه الصفحة لعرض التحليلات والإحصائيات الخاصة بحركة القمح داخل النظام، مثل عدد الشحنات ومراحل انتقالها.



الشكل رقم 59 واجهة الاحصائيات

- Register.js :

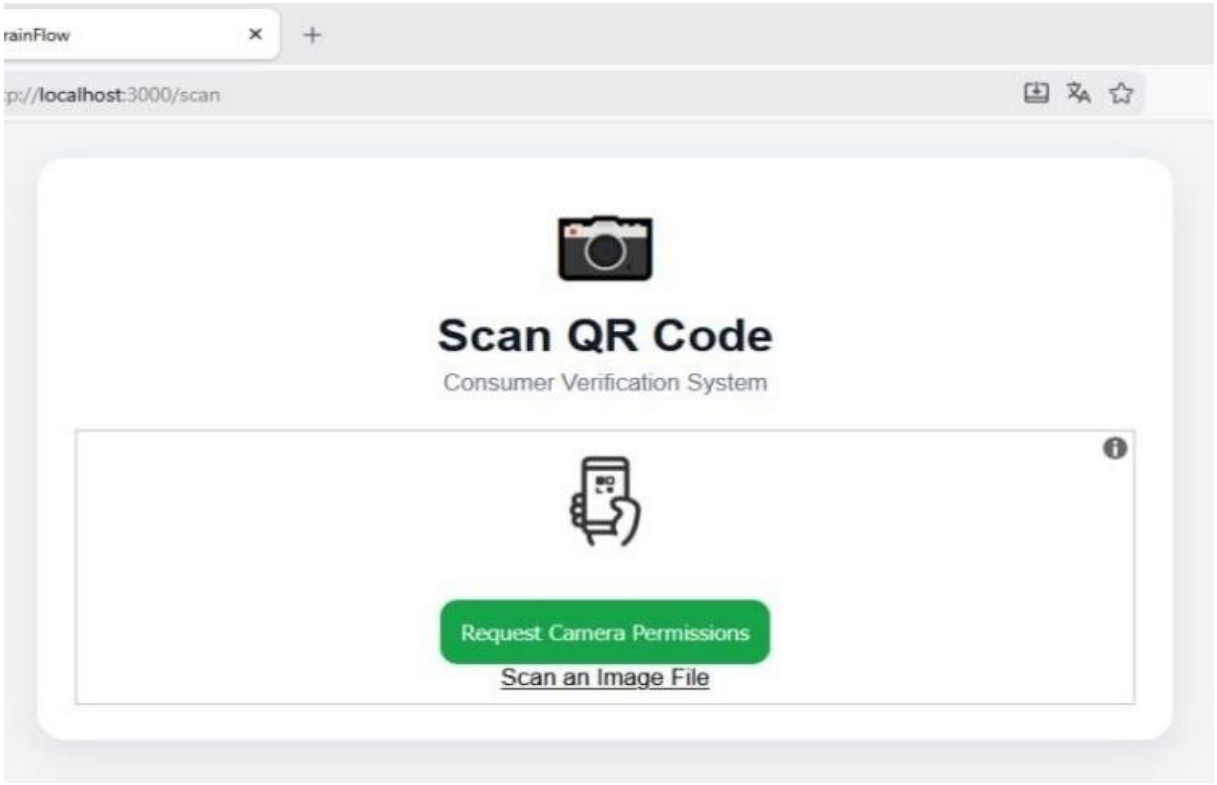
تسمح هذه الصفحة بتسجيل المستخدمين داخل النظام عبر إدخال المعلومات الأساسية واختيار الدور المناسب مع ربط الحساب بمحفظة.MetaMask



الشكل رقم 60 واجهة تسجيل المستخدمين

- ScanQR.js :

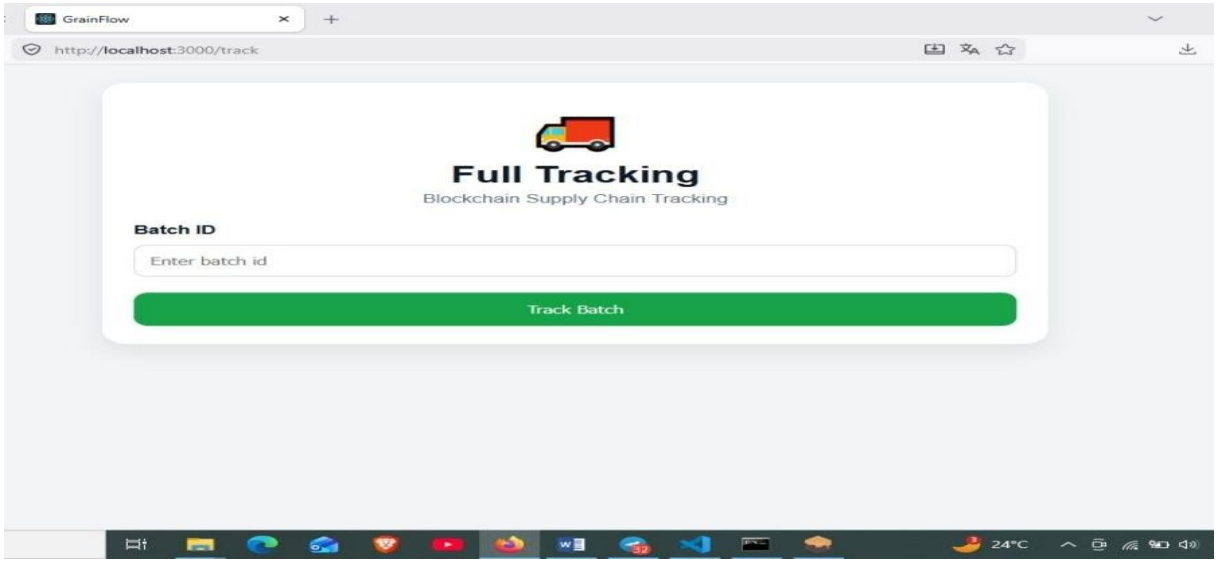
تُستخدم لمسح رمز QR الخاص بالشحنة بهدف الوصول السريع إلى بيانات التتبع والمعلومات المخزنة على البلوكشين.



الشكل رقم 61 واجهة QR

- Tracking.js :

تسمح هذه الصفحة بعرض جميع مراحل تتبع شحنة معينة، مما يساعد على متابعة مسار القمح عبر مختلف مراحل سلسلة التوريد.



الشكل رقم 62 واجهة عرض جميع مراحل التتبع

خاتمة

في ختام هذا الفصل، يتضح أن تقنية البلوكشين أصبحت من التقنيات الضرورية لما توفره من مزايا مهمة للشركات والمصانع، خاصة في مجال إدارة سلاسل التوريد. حيث تساهم هذه التقنية في تعزيز الشفافية، الأمان، وإمكانية تتبع المنتجات بشكل دقيق، مما يساعد على الحد من الغش وحماية المنتجات من التزوير.كما تساعد هذه التقنية على تعزيز ثقة المستهلكين ودعم تنافسية الشركات من خلال ضمان جودة المنتجات والمحافظة على سمعة العلامات التجارية داخل السوق

خاتمة العامة :

في ختام هذه المذكرة، تم التوصل إلى أن سلاسل التوريد الزراعية التقليدية تعاني من عدة تحديات تؤثر على كفاءتها وموثوقيتها، مثل ضعف الشفافية، وصعوبة تتبع المنتجات، وغياب التنسيق بين مختلف الأطراف، مما قد يؤدي إلى مشاكل تتعلق بسلامة الغذاء وانتشار الغش والتلاعب . وللتغلب على هذه الإشكاليات، تم اقتراح وتصميم نظام يعتمد على تقنية البلوكشين والعقود الذكية بهدف تحسين إدارة سلسلة التوريد الزراعية، مع التركيز على دراسة حالة القمح. حيث يتيح هذا النظام تسجيل المستخدمين حسب أدوارهم، وتوثيق الشحنات، وتتبع مراحل انتقال المنتجات بطريقة آمنة وشفافة وغير قابلة للتعديل .وقد أظهرت الدراسة أن استخدام تقنية البلوكشين يساهم بشكل فعال في تعزيز الشفافية، ورفع مستوى الثقة بين مختلف الأطراف، وتحسين إمكانية تتبع المنتجات الزراعية من المصدر إلى المستهلك النهائي.
وفي الأخير، يمكن اعتبار هذا العمل خطوة نحو تطوير أنظمة أكثر أماناً وموثوقية في مجال سلاسل التوريد الزراعية، مع إمكانية تطويره مستقبلاً من خلال دمج تقنيات حديثة مثل إنترنت الأشياء (IoT) وتوسيع نطاق التطبيق ليشمل بيئات تشغيل حقيقية.

قائمة المراجع :

[1] :Amazon Web Services،"ما هي تقنية البلوكشين؟"متاح على الرابط:

https://aws.amazon.com/what-is/blockchain/ تم الاطلاع عليه بتاريخ: 24 فيفري 2026

[2] :Tencent Cloud،"Distributed Ledger vs Centralized Ledger"، متاح على الرابط: https://www.tencentcloud.com/learn تم الاطلاع عليه بتاريخ: 24 فيفري 2026.

[3] :GeeksforGeeks، "الفرق بين السجل المركزي والسجل الموزع (Centralized Ledger vs Distributed Ledger)"، متاح على الرابط: https://www.geeksforgeeks.org/ تم الاطلاع عليه بتاريخ: 24 فيفري 2026.

[4] : بويتيرين، ف. (2014). إيثريوم: منصة العقود الذكية وتطبيقات اللامركزية من الجيل التالي. متاح على الإنترنت: https://blockchainlab.com/pdf/Ethereum_white_paper-a_next_generation_smart_contract_and_decentralized_application_platform-vitalik-buterin.pdf

[5] : هيفا، ت.، يليانتلا، م.، وليناج، م. (2020). دراسة حول العقود الذكية المبنية على البلوكشين: التطبيقات، الفرص والتحديات. مجلة تطبيقات الشبكات والحاسوب، المجلد 177، المقال رقم 102857.

[6] : موخرجي، ب.، برادهان، س. (2021). من بلوكشين 1.0 إلى بلوكشين 4.0: التحول التطوري لتقنية البلوكشين. في: مكتبة الأنظمة الذكية المرجعية، ص. 29–49.

DOI: 10.1007/978-3-030-69395-4_3 [تاريخ الاطلاع: 24 فيفري 2026]. DOI: 10.1016/j.jnca.2020.102857 [7] :"Blockchain"، Investopedia 20 نوفمبر 2024. [متاح على الإنترنت]الرابط: https://www.investopedia.com/terms/b/blockchain.asp.

[8] :بشير، إ. (2018). إتقان البلوكشين: تقنية السجل الموزع، اللامركزية، والعقود الذكية، دار نشر Packt.

[9] : أنطونوبولوس، أ. م. (2017). إتقان بيتكوين: برمجة البلوكشين المفتوح، دار نشر O'Reilly Media.

[10] : تشنغ، ز.، شي، س.، داي، هـ.، تشن، س.، ووانغ، هـ. (2017). تحديات وفرص البلوكشين: دراسة مسحية. مجلة الخدمات الشبكية والشبكة الدولية، المجلد 13، العدد 2، ص. 174–212.

[11] : Ethereum.org. (2026). إثبات الحصة (Proof-of-Stake – PoS). تم الاسترجاع من:

https://ethereum.org/en/developers/docs/consensus-mechanisms/pos/Investopedia. Proof of Stake (PoS). :[12] متاح على الإنترنت

الرابطhttps://www.investopedia.com/terms/p/proof-stake-pos.asp :تاريخ الاطلاع: 24 فيفري 2026

[13] : GeeksforGeeks، "البنية الطبقية لنظام البلوكشين"، متاح على الرابط:

https://www.geeksforgeeks.org/layered-architecture-of-blockchain-ecosystem/تم الاطلاع عليه بتاريخ: 26 فيفري 2026.

[14] : Blockchain-Council، "طبقات تقنية البلوكشين"، متاح على الرابط:

https://www.blockchain-council.org/blockchain/layers-of-blockchain-technology/ تم الاطلاع عليه بتاريخ: 26 فيفري 2026.

[15] : Skrill Crypto Academy، "ما هي طبقات البلوكشين"، متاح على الرابط:

https://www.skrill.com/en/crypto/the-skrill-crypto-academy/advanced/what-are-blockchain-layers/

[16] : Bitskwela، "طبقات بنية البلوكشين"، متاح على الرابط:

https://www.bitskwela.com/en/layers-of-blockchain-architecture تم الاطلاع عليه بتاريخ: 26 فيفري 2026.

[17] : "كيف تبني بنية بلوكشين خاصة بك MLSDev. " متاح على الإنترنت.

https://mlsdev.com/blog/156-how-to-build-your-own-blockchain-architecture.

تم الاطلاع عليه بتاريخ: 26 فيفري 2026.

[18] : Sirine HAMLAOUI. "البلوكشين لإدارة سلسلة توريد الأدوية (Blockchain for the Drug Supply Chain Management)"،مذكرة تخرج، جامعة بسكرة، الجزائر، 2020.متاح على الرابط:http://archives.univ-biskra.dz/bitstream/123456789/15767/1/Sirine%20HAMLAGUI.pdf

[19] : Dixit, Sudarshan."ما هو البلوكشين الاتحادي (Consortium Blockchain)؟"، موقع GeeksforGeeks،25 ماي 2023.متاح على الرابط:

https://www.geeksforgeeks.org/what-is-consortium-blockchain/

[20] : TMGM (دون تاريخ). أساسيات البلوكشين وأنواعه. تم الاسترجاع من

https://www.tmgm.com/ar/academy/trading-academy/blockchain-basics

[21] : Simplilearn.(دون تاريخ). أنواع البلوكشين .(Types of Blockchain) تم الاسترجاع من:

https://www.simplilearn.com/tutorials/blockchain-tutorial/types-of-blockchain

[22] : CryptoGoro.(دون تاريخ). أنواع البلوكشين. تم الاسترجاع من:

https://www.cryptogoro.com/أنواع-البلوكشين/

[23] : عرفني. (بدون تاريخ). ما هي العقود الذكية وكيف تعمل؟. متاح على الرابط:

https://3arfni.com/what-are-smart-contracts/ تاريخ الاطلاع: 26 فيفري 2026.

[24] : OKX Learn. (بدون تاريخ). ما هي العقود الذكية؟. متاح على الرابط:

https://www.okx.com/learn/what-are-smart-contracts (تاريخ الاطلاع: 26 فيفري 2026).

[25] : Bitrabo. (بدون تاريخ). شرح العقود الذكية: الفوائد والمخاطر. متاح على الرابط:

/https://www.bitrabo.com/discover/smart-contracts-explained-benefits-and-risks

[26] : ECOS. (بدون تاريخ). ما هي العقود الذكية؟ شرح المفهوم والمميزات. متاح على الرابط:

/https://ecos.am/en/blog/what-are-smart-contracts (تاريخ الاطلاع: 26 فيفري 2026).

[27] : B. K. Mohanta، S. S. Panda، و D. Jena، "نظرة عامة على العقود الذكية وحالات استخدامها في تقنية البلوكشين"، في وقائع المؤتمر الدولي الثالث عشر حول الحوسبة والاتصالات وتقنيات الشبكات (ICCCNT)، جويلية 2018، الصفحات 1–4.

متاح على الرابط: https://doi.org/10.1109/ICCCNT.2018.8494045

[28] : لغة تطوير العقود الذكية"، متاح على: /https://docs.soliditylang.org/en/latest (تاريخ الاطلاع: 26 فيفري 2026).

[29] : Ethereum.org، "لغات العقود الذكية على الإيثيريوم"، متاح على:
/https://ethereum.org/en/developers/docs/smart-contracts/languages

(تاريخ الاطلاع: 26 فيفري 2026).

[30] : Ethereum.org، "ما هي الرموز غير القابلة للاستبدال (NFTs)"، متاح على:
/https://ethereum.org/en/nft (تاريخ الاطلاع: 26 فيفري 2026).

[31] : Cornell Law School، "Non-Fungible Tokens (NFTs)"، متاح على:
/https://www.law.cornell.edu (تاريخ الاطلاع: 26 فيفري 2026).

[32] : Solana Official، "ما هي سولانا؟"، متاح على: https://solana.com/ar/learn/what-is-solana(تاريخ الاطلاع: 26 فيفري 2026).

[33] : Coin Insider، "Solana: A High-Performance Blockchain"، متاح على:
/https://www.coininsider.com/cryptocurrency/solana/guide

(تاريخ الاطلاع: 26 فيفري 2026).

[34] : Investopedia، "ما هو TRON (TRX)"، متاح على:
/https://www.investopedia.com/tech/what-tron-trx (تاريخ الاطلاع: 26 فيفري 2026).

[35] : Eco Support، "TRON Blockchain: الدليل الكامل لفهم TRX ونظامها البيئي"، متاح على: https://eco.com/support/en/articles/11972004-tron-blockchain-the-complete-guide-to-understanding-trx-and-its-ecosystem (تاريخ الاطلاع: 26 فيفري 2026).

[36] : Backpack Learn، "ما هو Aptos: منصة بلوكشين Layer-1 عالية الأداء"، متاح على:
https://learn.backpack.exchange/articles/what-is-aptos

[37] The Block : "ما هو Aptos: شرح شبكة البلوكشين وتطبيقاتها"، متاح على: https://www.theblock.co/learn/308506/what-is-aptos/ (تاريخ الاطلاع: 26 فيفري 2026).

[38] J. Holdsworth و M. Kosinski، "الترميز الرقمي (Tokenization)،" موقع Think – IBM، 16 أفريل 2025. متاح على: https://www.ibm.com/think/topics/tokenization

[39] Shopify: (بدون تاريخ). ما هي إدارة سلسلة التوريد؟ متاح على الإنترنت:

https://www.shopify.com/blog/supply-chain-management?term=&adid=775804629970&campaignid=19685648060&utm_medium=cpc&utm_source=google&gad_source=1&gad_campaignid=19685648060&gclid=CjwKCAjwpcTNBhA5EiwAdO1S9lzhhXluH1UeBwTIh-xaYfOEbry4z40BeyokN4Kopr32xbm2kCSFCxoCa1EQAvD_BwE

[40] Holisol Logistics : (2016). خطوات بناء التميز في عملية إدارة سلسلة التوريد: خمسة عناصر رئيسية

[41] LiveWell : (2023). العناصر الأساسية الخمسة لإدارة سلسلة التوريد. متاح على الإنترنت: https://livewell.com/finance/what-are-the-5-basic-components-of-a-supply-chain-management-scm-system/ [تاريخ الاطلاع: 30 مارس 2026]

[42] : موقع Compliance Chain، أهمية إدارة سلسلة التوريد، متاح على الرابط:

https://compliancechain.com/what-is-the-importance-of-supply-chain-management/

[43] : موقع PlanetTogether، أهمية إدارة سلسلة التوريد، متاح على الرابط:

https://www.planettogether.com/aps/best-practices/the-importance-of-supply-chain-management

[44] : موقع American Express، فوائد إدارة سلسلة التوريد، متاح على الرابط:

https://www.americanexpress.com/en-gb/business/trends-and-insights/articles/benefits-of-supply-chain-management

[45] : Scribd، خصائص المنتجات الزراعية والإنتاج
https://www.scribd.com/document/798812724/Pt4-characteristics-of-Agricultural-Products-and-Production

[46] : Agric4profits، طبيعة المنتجات الزراعية،
https://agric4profits.com/the-nature-of-agricultural-products-2/

[47] : Hedylaالمستودع التجميعي ودوره في سلسلة التوريد. تم الاطلاع عليه من:
https://hedyla.com/en/consolidation-storage-warehouse

[48] : Seattle University. مكونات سلسلة التوريد: فهم العناصر الأساسية لإدارة سلسلة التوريد. تم الاطلاع عليه من:

https://www.seattleu.edu/business/online/albers/blog/supply-chain-components-understanding-the-key-elements-of-scm
[49] : Gomotive "سلسلة التوريد الزراعية"، متاح على:
/https://gomotive.com/glossary/agriculture/agriculture-supply-chain
[50] : جامعة Texas A&M – Aggie Horticulture، "دليل مزارعي الخضروات في تكساس – الفصل العاشر: الحصاد والتعامل مع المحاصيل"، متاح على: https://aggie-horticulture.tamu.edu/vegetable/guides/texas-vegetable-growers-handbook/chapter-x-harvesting-handling/
[51] : موقع KnowHow Distrelec، "دور النقل في الزراعة"، متاح على: https://knowhow-distrelec-com.translate.goog/transportation/the-role-of-transport-in-agriculture/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=ar&_x_tr_hl=ar&_x_tr_pto=tc
[52] : أحمدة، أ.، ورينيه، ف. (2023). سلسلة الإمداد الزراعية في الجزائر. منصة الجمال العلمية الجزائرية (ASJP)، المجلد 19، العدد 2. متاح على:
https://asjp.cerist.dz/en/downArticle/174/19/2/234384
[53] : FoodDocs . أهمية التتبع في سلامة الغذاء. متاح على:
https://www.fooddocs.com/post/traceability
[54] : AIMS Education. البلوكشين وإدارة سلسلة التوريد. متاح على:
https://aims.education/blockchain-supply-chain-management
[55] : .هارفارد بزنس ريفيو،"سلسلة التبريد Supply chain "،متاح على:
https://hbrarabic.com(تاريخ الاطلاع :1فيفري2026).
[56] : "Université Mohamed Khider Biskra"، الفرق بين سلسلة التبريد وسلسلة القيمة"،متاح على:
/http://archive.univ-biskra.dz(تاريخ الاطلاع :1فيفري 2026).
[57] : MANAGE، مفهوم سلسلة التوريدي الزراعية "،متاح على:
https://www.manage.gov.inSupply/ (تاريخ الاطلاع :1 فيفري 2026).
[58] : Food and Agriculture Organization,"سلاسل إمداد زراعية وإزالة الغابات وإيجاد مصادر مسؤولة على المستوى العالمي"،متاح على: https://www.fao.org (تاريخ الاطلاع:2فيفري 2026).
[59] : Coursera، "Supply Chain of Agriculture"،متاح على :
https://www.coursera.org (تاريخ الاطلاع:2فيفري2026).
[60] : Najd AgriTech "إدارة سلسلة الإمداد الزراعي"،متاح على :
https://www.najdagritech.com(تاريخ الاطلاع:2فيفري2026).
[61] : Green Initiative،"إمكانية التتبع في الزراعة"،متاح على :https://greeninitiative.eco
(تاريخ الاطلاع:2فيفري2026).

[62] :موقع Insights on India، Agricultural Marketing and Issues – FCI، متاح على الرابط:

https://www.insightsonindia.com/agriculture/agricultural-marketing-and-/issues/fci

[63] : موقعEthereum.org ، "توثيق مطوري الإيثيريوم"، [متصل]. متاح على

https://ethereum.org/en/developers/docs/

[64] :موقعNode.js ، "Node.js"، [متصل]. متاح على https://nodejs.org/en/

[65] : David Herbert ، "ما هوReact.js ؟ (الاستخدامات، الأمثلة، والمزيد)"، متاح على : https://blog.hubspot.com/website/react-js .

[66] : Hitesh Sant [36]، "دليل المبتدئين إلىMetaMask ، Geekflare، متاح على :

https://geekflare.com/beginners-guide-to-metamask/