الجـــــمـهـوريـــــة الجـــــــزائـريـة الديمـــــــقـراطيـة الـشـــــــعبيـة
وزارة التـــــــــعـليـم العـــــــالي و البـــــــــحث العـــــلـمـــي
جـــــامعة مصطفـــــى اسطمبـــــولـي

كلية العلوم الاقتصادية، العلوم التجارية وعلوم التسيير
قسم العلوم الاقتصادية

مطبوعة بيداغوجية

اقتصاديات البلوكشين

الموجهة لطلبة:
السنة الأولى ماستر تخصص اقتصاد رقمي و تحليل البيانات

من اعداد الأستاذ: بستـــــاني عبد الكريـم
الرتبـة: أستـــاذ محـاضر ب

السنة الجامعية: 2025 ـ 2026

فهرس المحتويات

وصف المقياس و هيكله الزمني
أهداف المقياس
طريقة التقييم
الأعمال الموجهة
المقدمة العامة
المحاضرة 1 : البلوكشين ومبادئه الأساسية
المحاضرة 2 : أنواع الشبكات وتطبيقاتها في عالم البلوكشين
المحاضرة 3 : التشفير المطبق على البلوكشين
المحاضرة 4 : بنية شبكة البلوكشين
المحاضرة 5 : العملات المشفرة
المحاضرة 6 : العقود الذكية
المحاضرة 7 : تطبيقات البلوكشين
المحاضرة 8 : مخاطر وتحديات البلوكشين
المحاضرة 9 : تطوير تطبيقات البلوكشين
المحاضرة 10 : التطبيقات الاقتصادية لبلوكشين
المحاضرة 11 : الرهانات الاقتصادية لبلوكشين
المحاضرة 12 : أفاق و تطور تكنولوجيا البلوكشين
الخاتمة العامة
قائمة المراجع

وصف المقياس و هيكله الزمني

يعتبر مقياس اقتصاديات البلوكشين أحد الركائز الأساسية في برنامج الماستر في الاقتصاد الرقمي و تحليل البيانات و ماستر اقتصاديات الاعمال، حيث يمثل حلقة الوصل بين النظرية الاقتصادية والتطبيقات التكنولوجية الحديثة. يهدف هذا المقياس إلى تزويد الطلاب بالأدوات التحليلية اللازمة لفهم وتقييم التأثير الاقتصادي لتقنية البلوكشين والأنظمة اللامركزية على مختلف القطاعات الاقتصادية والمجتمع ككل.

الوحدة التعليمية	عنوان المقياس	الرصيد	المعامل	الحجم الساعي الأسبوعي		الحجم الساعي للسداسي	أخرى
				دروس	أعمال موجهة		
الوحدة الأساسية	اقتصاديات البلوكشين	5	2	1 سا 30	1 سا 30	45 سا 00	65 سا 00

أهداف المقياس

يهدف المقياس إلى:

- التمكين من فهم المبادئ الأساسية لتقنية البلوكشين وتطبيقاتها الممكنة في مختلف القطاعات.
- اكتساب المعرفة بالتشفير المطبق على البلوكشين لفهم كيفية تأمين المعاملات والمصادقة عليها.
- فهم بنية وتشغيل شبكة البلوكشين، بالإضافة إلى بروتوكولات الإجماع المستخدمة للتحقق من صحة المعاملات.
- دراسة العملات المشفرة المختلفة الموجودة و فهم العملات الرقمية و كيفية عملها وإمكاناتها الاقتصادية.
- اكتشف العقود الذكية وإمكانيات أتمتة العمليات التجارية.
- افحص فوائد وتحديات استخدام البلوكشين وكذلك الآثار التنظيمية والقانونية.
- اكتشف أدوات التطوير وأفضل الممارسات لتصميم وبرمجة ونشر التطبيقات على البلوكشين.

- و محاولة إدراك الآفاق المستقبلية لتكنولوجيا البلوكشين والفرص التي توفرها للابتكار وتحويل القطاعات المختلفة.

طريقة التقييم

تقييم مستمر + امتحان نهائي ويقاس معدل المادة بالوزن الترجيحي للدروس (60%) والأعمال الموجهة (40%)

الأعمال الموجهة

يهدف هذا البرنامج إلى تعزيز الفهم العملي لتقنية البلوكشين من خلال دراسة تطبيقاتها الملموسة في مختلف القطاعات الاقتصادية. يعد هذا البرنامج امتدادا طبيعيا للمحاضرات النظرية، حيث يتحول الطلاب من المستمعين إلى الباحثين الفاعلين الذين يستكشفون الجوانب التطبيقية للتقنية في سياقات حقيقية. تتيح هذه الأبحاث الفرصة للطلاب لاختبار المفاهيم النظرية في بيئات عملية، وفهم التحديات الحقيقية التي تواجه تنفيذ هذه التقنية، وتطوير حلول مبتكرة للمشكلات القائمة. و من أهدافها كذلك:

- تطوير تطبيقات عملية للبلوكشين في الحياة اليومية
- فهم التحديات الحقيقية للتنفيذ في مختلف القطاعات
- تقديم حلول مبتكرة للمشكلات الاقتصادية والاجتماعية
- إعداد كوادر مؤهلة لفهم وتطبيق هذه التقنية

قائمة البحوث المقترحة:

- البلوكشين والطاقة: قضايا بيئية وحلول مستدامة
- البلوكشين والأخلاق: التحديات والمسؤوليات

- البلوكشين والرعاية الصحية
- البلوكشين وسلسلة التوريد
- لبلوكشين في القطاع المالي
- البلوكشين و قطاع السيارات
- البلوكشين و قطاع الترفيه و السياحة
- تطبيقات البلوكشين في الاقتصاد التشاركي
- البلوكشين و قطاع التعليم
- البلوكشين و القطاع الحكومي
- تطبيقات البلوكشين في قطاع العقارات

المقدمة العامة:

غير الإنترنت طريقتنا في العمل، والتعلم، والتواصل، واللعب، والاشهار و التوزيع و كيفية إدارتنا لأموالنا وسمح لقطاعات جديدة، مثل وسائل التواصل الاجتماعي بالظهور. بالنسبة لبعض الناس، الإنترنت لا يزال في بداياته. الآثار الإيجابية للأنترنت كثيرة:

- اتصالات رخيصة في جميع أنحاء العالم.
- إمكانية إطلاق عمل دولي عبر الإنترنت.
- كيفيات جديدة للوصول إلى خدمات (الصحة، التعليم،....) والمعلومات.

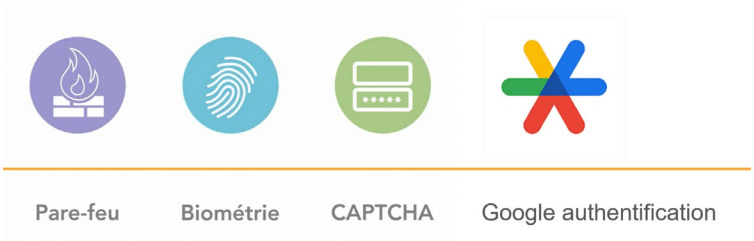
على الرغم من ذلك، يجب علينا أن نعترف بأن الإنترنت خلق عدد من المشاكل المتكررة، مثل:

- التحرش على وسائل التواصل الاجتماعي
- الجريمة الإلكترونية
- الأخبار المزيفةfake news

يثيـر الأنترنت بشكل أساسي قضايا الثقة

هل الشخص الذي نتفاعل معه عبر الإنترنت صادق ؟ هل هذه الخدمة حقيقية ؟ هل يتم حماية الوصول إلى الأنظمة الخاصة ؟

رغم كل التقنيات المستخدمة في الحماية مثل : كلمات المرور، و التحقق الثنائي، و برامج الحماية، نستخدم الآن عدة تقنيات منها:



رغم هذا، لا يزال هناك اختراق. تتعرض أنظمتنا وقواعد بياناتنا للتهديد وتصبح غير قابلة للاستخدام، يتم سرقة أموالنا وهوياتنا.

و من ثم اختلال الثقة : إذا أردنا تحقيق تصويت إلكتروني آمن بنسبة 100٪، وعملات رقمية قابلة للاستخدام، وتبادل موثوق بين الآلات، وسيارات ذاتية القيادة تتفاعل بأمان، ومصادقة امنة وشفافة، فإننا بحاجة إلى أن يكون الإنترنت أكثر أمانا وجديرا بالثقة. لإطلاق البيتكوين مثلا، العملة الرقمية الأكثر نجاحا، كان **يجب إنشاء آلية جديدة للثقة، ألا و هي البلوكشين.**

إلى جانب مشكلة الثقة نعيش في حياتنا اليومية كذلك **مشكلة الوسطاء**

أمثلة:

- مغترب يريد إرسال 500 أورو لوالده في الجزائر: البنك يأخذ 30 أورو عمولة مثلا، مدة زمنية تقدر بأسبوع على الأقل ويجب تقديم وثائق تثبت سبب التحويل.
- عند شراء مسكن: الوكالة العقارية، الموثق و السجل العقاري و الضرائب ....، كل يأخذ نصيبه من الوقت والمال

لو كان هناك «دفتر حسابات» واحد يملكه الجميع ولا يستطيع أحد تزويره، نستغني عن كثير من الوسطاء هذا الدفتر هو: البلوكشين أو سلسلة الكتل

يشهد العصر الرقمي تحولا جوهريا في مفهوم الثقة و الوساطة و أهميتها بالنسبة للتبادل المالي والمعلوماتي، حيث تبرز تكنولوجيا البلوكشين كأحد اكثر الابتكارات التقنية اثارة للجدل والاهمية منذ اختراع الانترنت نفسه. لم تعد هذه التكنولوجيا مجرد اساس للعملات الرقمية المشفرة، بل تحولت الى منظومة تقنية فلسفية تهدف الى اعادة هندسة العلاقات الاقتصادية والاجتماعية عبر استبدال الوساطة المركزية بالثقة الخوارزمية الرياضية.

تهدف هذه المطبوعة العلمية الى تقديم تحليل شامل ومفصل لأسس وتطبيقات وتحديات وافاق تكنولوجيا البلوكشين. سنتناول الموضوع من جذوره التاريخية، مرورا بمبادئه التقنية والتشفيرية، وصولا الى تطبيقاته العملية في شتى المجالات وتاثيراته الاقتصادية والاجتماعية العميقة الموزعة. نحن امام تقنية لا تزال في طور التشكل، تثير اسئلة جوهرية حول طبيعة المال، والملكية، والهوية، والحوكمة في العالم الرقمي(Catalini & Gans, 2020)

سنسلط الضوء على الفرص الهائلة التي تتيحها هذه التقنية في تعزيز الشفافية، وخفض التكاليف، وتمكين الافراد، وكذلك التحديات الكبيرة التي تواجهها، من استهلاك الطاقة الى الاطار التنظيمي الغامض (Yli-Huumo, Ko, Choi, Park, & Smolander, 2016) هذه رحلة استكشافية لفهم اداة قد تكون حجر الزاوية في بناء البنية التحتية للجيل القادم من الانترنت: انترنت القيمة . (Werbach, 2018)

المحاضرة الأولى:

البلوكشين ومبادئه الأساسية

1. تاريخ البلوكشين: من فكرة نظرية الى واقع مغير للعالم

لا يمكن فهم الحاضر دون استيعاب الماضي. تطورت فكرة البلوكشين عبر عقود من البحث في مجالات التشفير ونظريات الالعاب وعلوم الحاسوب. و يمكن تقسيم تاريخ البلوكشين إلى ثلاث مراحل أساسية :

أولا: الجذور الفكرية ما قبل البيتكوين (قبل 2008):

- **1991:** قام الباحثان Stuart Haber & Scott Stornetta بتقديم حلا عمليا حسابيا لوضع ختم للمستندات الرقمية بما لا يمكن لأحد الوصول إليها أو التلاعب بها. حيث يستخدم النظام سلسلة من الكتل المشفرة المضمونة في سبيل جعل الوثائق المختومة مخزنة ضمن إطار زمني.

Stuart Haber, left, and partner Scott Stornetta discuss their 'time-stamp' for electronic documents, which they developed in the Bellcore Research Laboratory in Morristown

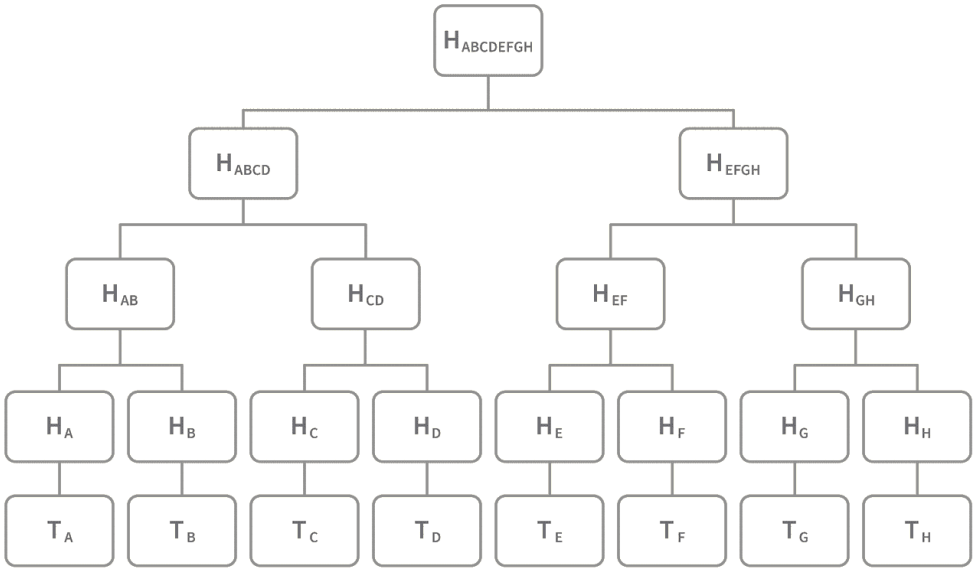
How To Time-Stamp a Digital Document[1]

Stuart Haber and W. Scott Stornetta
Bellcore, 445 South Street,
Morristown, NJ 07960-1910, U.S.A.
stuart@bellcore.com stornetta@bellcore.com

Abstract. The prospect of a world in which all text, audio, picture, and video documents are in digital form on easily modifiable media raises the issue of how to certify when a document was created or last changed. The problem is to time-stamp the data, not the medium. We propose computationally practical procedures for digital time-stamping of such documents so that it is infeasible for a user either to back-date or to forward-date his document, even with the collusion of a time-stamping service. Our procedures maintain complete privacy of the documents themselves, and require no record-keeping by the time-stamping service.

- **1992:** دمج شجرة ميركل Merkle tree لتصميم التقنية مما جعلها أكثر كفاءة من خلال السماح بجمع عدة وثائق في كتلة واحدة.

شجرة ميركل هي آلية تخلق **"بصمة رقمية"** فريدة لمجموعة البيانات، تضمن سلامة المعاملات وتجعل النظام بأكمله أكثر كفاءة وأمانا من الناحية الاقتصادية.

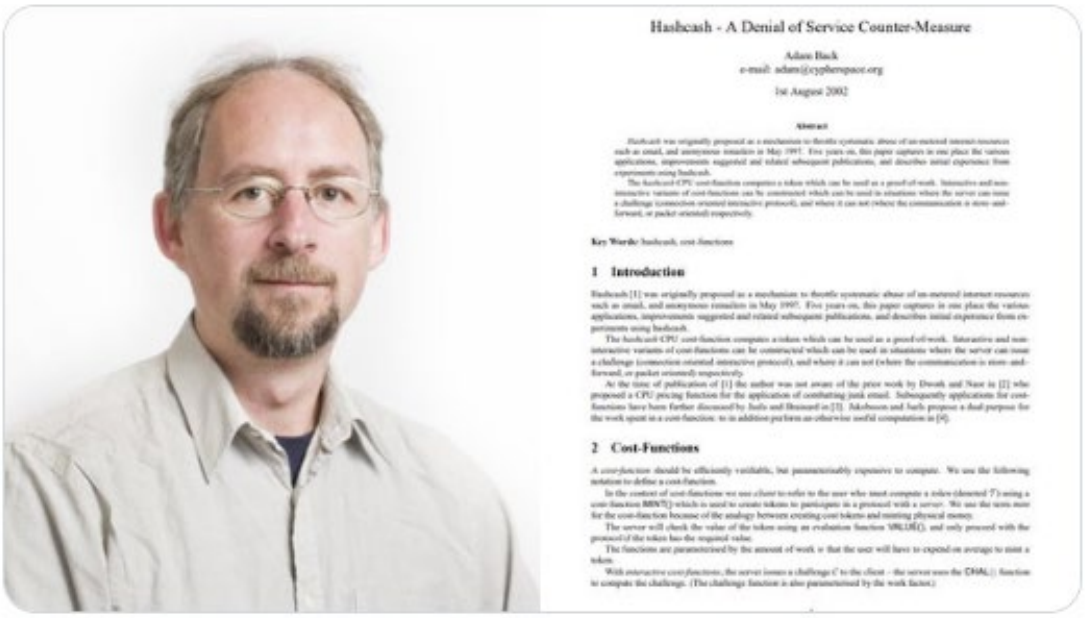


- **1997:** اقترح آدم باك في عام 1997 نظام "Hashcash" الذي يستخدم آلية برهان العمل (Proof of Work) لزيادة التكلفة الحسابية لإرسال البريد الإلكتروني، وبالتالي الحد من البريد المزعج.

تعتمد الفكرة على جعل إرسال كل رسالة مكلفا حسابيا للمرسل، وذلك من خلال مطالبة حاسوبه بحل لغز رياضياتي صغير قبل الإرسال. هذا اللغز يتطلب إيجاد قيمة محددة (تسمى nonce) تجعل ناتج تطبيق دالة تشفير على نص الرسالة يبدأ بعدد معين من الأصفار (أي يبدو كختم أو "طابع"). عملية البحث عن هذه القيمة تتطلب وقتا وطاقة حوسبية من المرسل، بينما يكون التحقق من صحتها

سريعا وسهلا للمستقبل أو الخادم. هكذا، حوّلت Hashcash التكلفة الحسابية إلى رادع عملي ضد الإرسال الجماعي غير المرغوب فيه دون الحاجة إلى سلطة مركزية للرقابة أو الإذن.

استلهم ساتوشي ناكاموتو هذه الفكرة لاحقا وطورها بشكل جذري، محولا إياها من أداة لمكافحة الرسائل غير المرغوب بها إلى حجر الزاوية في آلية الإجماع التي تحمي شبكة البيتكوين، مما مهد الطريق لظهور أول عملة مشفرة لامركزية في عام 2008. (Back, 2002)



Hashcash - A Denial of Service Counter-Measure

Adam Back
e-mail: adam@cypherspace.org

1st August 2002

Abstract

Hashcash was originally proposed as a mechanism to throttle systematic abuse of un-metered internet resources such as email, and anonymous remailers in May 1997. Five years on, this paper captures in one place the various applications, improvements suggested and related subsequent publications, and describes initial experience from experiments using hashcash.

The hashcash CPU cost-function computes a token which can be used as a proof-of-work. Interactive and non-interactive variants of cost-functions can be constructed which can be used in situations where the server can issue a challenge (connection oriented interactive protocol), and where it can not (where the communication is store-and-forward, or packet oriented) respectively.

Key Words: hashcash, cost-functions

1 Introduction

Hashcash [1] was originally proposed as a mechanism to throttle systematic abuse of un-metered internet resources such as email, and anonymous remailers in May 1997. Five years on, this paper captures in one place the various applications, improvements suggested and related subsequent publications, and describes initial experience from experiments using hashcash.

The hashcash CPU cost-function computes a token which can be used as a proof-of-work. Interactive and non-interactive variants of cost-functions can be constructed which can be used in situations where the server can issue a challenge (connection oriented interactive protocol), and where it can not (where the communication is store-and-forward, or packet oriented) respectively.

At the time of publication of [1] the author was not aware of the prior work by Dwork and Naor in [2] who proposed a CPU pricing function for the application of combatting junk email. Subsequently applications for cost-functions have been further discussed by Juels and Brainard in [3]. Jakobsson and Juels propose a dual-purpose for the work spent in a cost-function: to in addition put-form an otherwise useful computation in [4].

2 Cost-Functions

A *cost-function* should be efficiently verifiable, but parameterizably expensive to compute. We use the following notation to define a cost-function.

In the context of cost-functions we use *client* to refer to the user who must compute a token (denoted T) using a cost-function $MINT()$ which is used to create tokens to participate in a protocol with a *server*. We use the term *mint* for the cost-function because of the analogy between creating cost tokens and minting physical money.

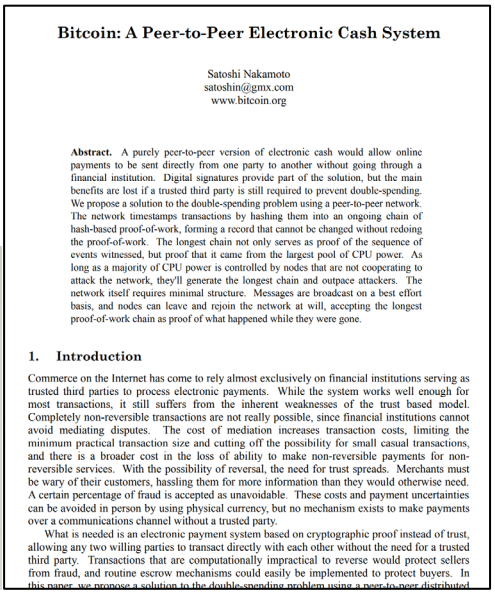
The server will check the value of the token using an evaluation function $VALUE()$, and only proceed with the protocol if the token has the required value.

The functions are parameterized by the amount of work w that the user will have to expend on average to mint a token.

With *interactive cost-functions*, the server issues a challenge C to the client – the server uses the $CHAL()$ function to compute the challenge. (The challenge function is also parameterized by the work factor.)

ثانيا: الولادة الرسمية للبتكوين (2008)

في اعقاب الازمة المالية العالمية، نشر شخص او مجموعة تحت الاسم المستعار **"ساتوشي ناكاموتو"** الورقة البيضاء الشهيرة بعنوان **"Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System"** هذه الورقة لم تقدم عملة رقمية فحسب، بل قدمت حلولا تقنية عبر ابتكار سلسلة الكتل كدفتر استاذ عام موزع وآلية برهان العمل كأساس للإجماع (Nakamoto, 2008) . وقد قام "ساتوشي" بتعدين اول عملة بيتكوين في عام 2009.



Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System

Satoshi Nakamoto
satoshin@gmx.com
www.bitcoin.org

Abstract. A purely peer-to-peer version of electronic cash would allow online payments to be sent directly from one party to another without going through a financial institution. Digital signatures provide part of the solution, but the main benefits are lost if a trusted third party is still required to prevent double-spending. We propose a solution to the double-spending problem using a peer-to-peer network. The network timestamps transactions by hashing them into an ongoing chain of hash-based proof-of-work, forming a record that cannot be changed without redoing the proof-of-work. The longest chain not only serves as proof of the sequence of events witnessed, but proof that it came from the largest pool of CPU power. As long as a majority of CPU power is controlled by nodes that are not cooperating to attack the network, they'll generate the longest chain and outpace attackers. The network itself requires minimal structure. Messages are broadcast on a best effort basis, and nodes can leave and rejoin the network at will, accepting the longest proof-of-work chain as proof of what happened while they were gone.

1. Introduction

Commerce on the Internet has come to rely almost exclusively on financial institutions serving as trusted third parties to process electronic payments. While the system works well enough for most transactions, it still suffers from the inherent weaknesses of the trust based model. Completely non-reversible transactions are not really possible, since financial institutions cannot avoid mediating disputes. The cost of mediation increases transaction costs, limiting the minimum practical transaction size and cutting off the possibility for small casual transactions, and there is a broader cost in the loss of ability to make non-reversible payments for non-reversible services. With the possibility of reversal, the need for trust spreads. Merchants must be wary of their customers, hassling them for more information than they would otherwise need. A certain percentage of fraud is accepted as unavoidable. These costs and payment uncertainties can be avoided in person by using physical currency, but no mechanism exists to make payments over a communications channel without a trusted party.

What is needed is an electronic payment system based on cryptographic proof instead of trust, allowing any two willing parties to transact directly with each other without the need for a trusted third party. Transactions that are computationally impractical to reverse would protect sellers from fraud, and routine escrow mechanisms could easily be implemented to protect buyers. In this paper, we propose a solution to the double-spending problem using a peer-to-peer distributed

ثالثا: مرحلة التطور (2009 - حتى الآن):

- **2013 - ظهور العملات البديلة:** بدأت عملات رقمية أخرى، والمعروفة باسم العملات البديلة في الظهور باستخدام تقنيات البلوكشين.
- **2014 - العقود الذكية:** تم إطلاق إيثيريوم، وهي منصة بلوكشين قدمت مفهوم العقود الذكية، مما سمح بتوسع استخدام هذه التكنولوجيا في قطاعات مختلفة، محولا بذلك البلوكشين من دفتر معاملات الى منصة قابلة للبرمجة.

2 .التعريف والمفهوم: ما هي تقنية البلوكشين

يمكن تعريف البلوكشين بشكل دقيق على انه:

> **"دفتر استاذ رقمي لامركزي، موزع، وغير قابل للتغيير، يسجل المعاملات او اي بيانات اخرى في كتل مرتبطة ببعضها زمنيا وتشفيريا، ويتم ادارته وصيانته من قبل شبكة من اجهزة الحاسوب (العقد) دون سلطة مركزية ".**

(Crosby, Pattanayak, Verma, & Kalyanaraman, 2016)

- **دفتر الاستاذ :(Ledger)** قاعدة بيانات.
- **رقمي :**موجود في الفضاء الالكتروني.
- **لامركزي :**لا يتحكم فيه طرف واحد.
- **موزع :**موجود على الآلاف الاجهزة حول العالم.
- **غير قابل للتغيير : (Immutability)** مقاوم للعبث والتعديل.
- **كتل مرتبطة تشفيريا :**يشكل هيكل السلسلة واساس امانها.

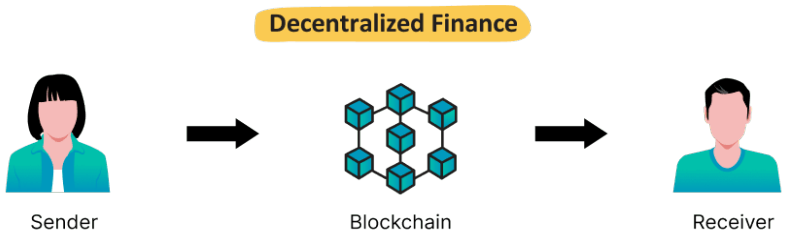
بشكل آخر: تقنية Blockchain أو سلسلة الكتل هي آلية متقدمة لقواعد البيانات تسمح بمشاركة المعلومات بشكل شفاف داخل الشبكة. تخزن قاعدة بيانات سلسلة الكتل البيانات في كتل مرتبطة ببعضها في سلسلة. وتعد البيانات متوافقة زمنيا لأنه لا يمكنك حذف السلسلة أو تعديلها من دون موافقة الأجهزة الأخرى في الشبكة.

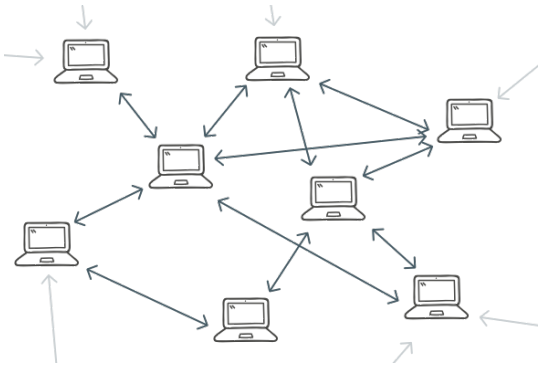
3. اللامركزية في مواجهة المركزية:

عندما نتعامل مع أنظمة المعلومات الحالية، يكون لدينا حاجة إلى كمبيوتر مركزي (سيرفر) يستلم البيانات ويعيد توجيهها، مما يعني أنه يكون على علم بتلك البيانات ولديه القدرة على التحكم فيها. ببساطة، نستلم نسخة مطابقة للبيانات المرسلة لنا، **وهو أمر غير مريح**، خاصة عندما يتعلق الأمر بإرسال بيانات حساسة، صور شخصية، أو معلومات سرية. **الاعتماد على سيرفرات مركزية يعرض البيانات لخطر الاختراق، التلاعب، والسرقة،** وهذا ينطبق على جميع وسائل التواصل الاجتماعي التي تعتمد على سيرفرات مركزية لتنظيم بيانات المستخدمين. عندما يرسل المستخدم رسالة لصديقه، تمر هذه الرسالة عبر سيرفر مركزي يقوم بإعادة إرسالها إلى الصديق، مما يجعل البيانات عرضة للاستخدام غير المرغوب فيه، سواء من قبل

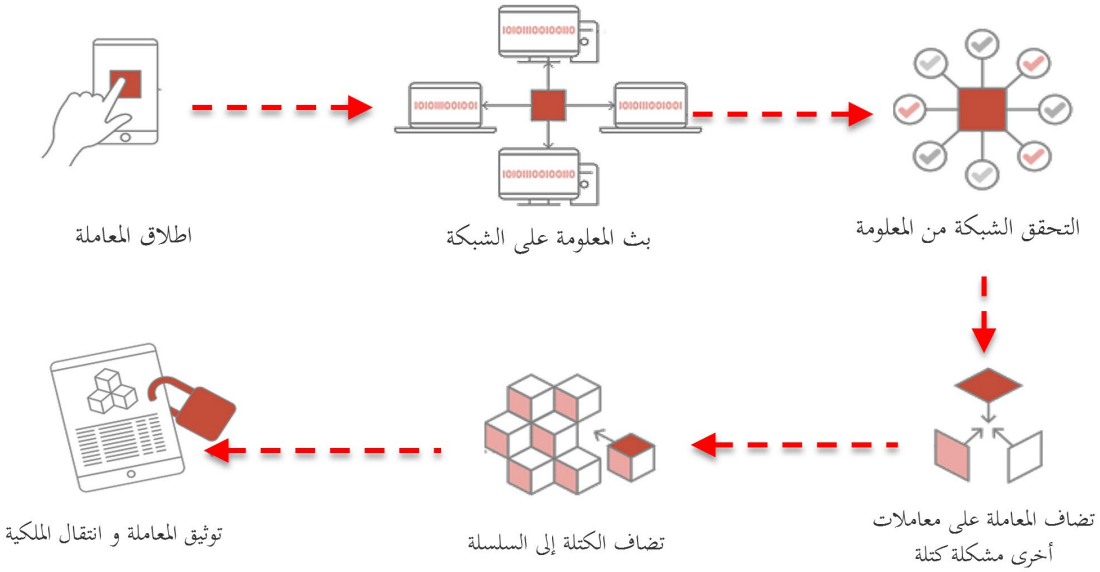
شركات الإعلانات أو الإحصاءات أو أي جهة أخرى تهتم بشراء هذه البيانات لأغراض تجارية أو غير تجارية أو تجسسية.

في حالة قاعدة بيانات مركزية، تكون قاعدة البيانات موجودة لدى الهيئة المركزية في الوسط. أما قاعدة بيانات في تكنولوجيا البلوكشين، فتُنسخ على كل حاسوب في الشبكة، أي تغيير في قاعدة البيانات يتم نسخه و ارساله عبر الإنترنت، إلى جميع قواعد البيانات المتطابقة على الشبكة الموزعة. يجب على جميع أجهزة الحواسيب الفردية التي تحتوي على قاعدة البيانات أن تؤكد ذلك . يعني أن يكون هناك بيانات موزعة على مجموعة من الحواسيب بشكل لامركزي و يتم التحقق من صحة تلك البيانات عن طريق اللغة البرمجية بين تلك الحواسيب.





4. آلية التشغيل: كيفية عمل سلسلة الكتل



المرحلة 1: إطلاق المعاملة

- ماذا يحدث؟

يقوم شخص (مثلا "أحمد") بإنشاء معاملة (مثلا "أريد تحويل 1 بيتكوين إلى سارة").

- التفاصيل التقنية:

يتم توقيع المعاملة بالمفتاح الخاص لأحمد، مما يثبت هويته ويحمي المعاملة من التعديل.

المرحلة 2: بث المعلومة على الشبكة

- ماذا يحدث؟

ترسل المعاملة الموقعة إلى الشبكة (على جميع العقد القريبة أو المشاركة).

- التفاصيل التقنية:

هنا تظهر اللامركزية – لا يتم إرسال المعاملة إلى خادم مركزي، بل إلى العقد المنتشرة عالميًا.

المرحلة 3: التحقق من صحة المعلومة عبر الشبكة

- ماذا يحدث؟

تقوم العقد (أجهزة المشاركين) بالتحقق من: التوقيع الرقمي (هل أحمد هو المرسل الحقيقي؟)، هل لدى أحمد رصيد كافٍ؟ (بالرجوع إلى السجل السابق)، التأكد من أن المعاملة لم تنفذ مسبقا (حماية من الإنفاق المزدوج).

- التفاصيل التقنية:

هذه هي آلية الإجماع في مرحلتها الأولى – يجب أن توافق غالبية العقد على صحة المعاملة.

المرحلة 4: تجميع المعاملات في كتلة (Block)

- ماذا يحدث؟

بعد التحقق، تجمع المعاملة مع معاملات أخرى صحيحة خلال فترة زمنية معينة (مثلاً كل 10 دقائق في البيتكوين) لتشكيل كتلة جديدة.

- التفاصيل التقنية:

تحتوي الكتلة على: رأس الكتلة: و الذي يتضمن الهاش الخاص بالكتلة السابقة (هذا هو الرابط الذي يشكل السلسلة)، قائمة المعاملات المُتحقق منها و الطابع الزمني وتفاصيل أخرى.

المرحلة 5: إضافة الكتلة إلى البلوكشين

- ماذا يحدث ؟

يتم ربط الكتلة الجديدة بالكتلة السابقة عبر التشفير (هاش الكتلة السابقة يُدرج في رأس الكتلة الجديدة).

- التفاصيل التقنية:

هنا تظهر عدم القابلية للتغيير – (Immutability) لأن أي تعديل في كتلة قديمة سيغير الهاش، مما يختَلف مع الكتل اللاحقة ويكشف التلاعب.

المرحلة 6: اكتمال المعاملة وانتقال الملكية

- ماذا يحدث ؟

بمجرد إضافة الكتلة إلى السلسلة، تعتبر المعاملة مؤكدة، ويتغير السجل المالي (مثلا: يخصم المبلغ من أحمد ويضاف إلى سارة).

- التفاصيل التقنية:

هذه هي الثقة المبنية على النظام – لا حاجة لبنك أو وسيط لإجراء التحويل.

5. الخصائص الأساسية: ما الذي يجعل البلوكشين فريدا ؟

- **اللامركزية:** لا توجد جهة واحدة تتحكم في الشبكة (مثل البنك أو الحكومة) السلطة موزعة على الشبكة، مما يزيل نقطة الفشل الواحدة ويقلل من مخاطر الاحتكار او التلاعب .

- **الشفافية:** في البلوكشين العام (مثل البيتكوين)، يمكن لاي شخص عرض جميع المعاملات منذ البداية. الثقة تنتقل من "الثقة في الوسيط" الى "الثقة في النظام الشفاف"، فجميع المعاملات مرئية للجميع (في البلوكشين العام).
- **عدم القابلية للتغيير:** بمجرد اضافة كتلة والتحقق منها، يصبح من المستحيل عمليا تغيير بياناتها.
- **الأمان:** يعتمد على التشفير القوي (التوقيعات الرقمية، الهاش). كل كتلة مرتبطة تشفيريا بالسابقة، مما يخلق سلسلة امنة.

5. مزايا البلوكشين: لماذا كل هذا الاهتمام؟

- **ازالة الوسطاء:** يتيح البلوكشين إجراء المعاملات مباشرة بين الأطراف دون وسيط، مما يؤدي إلى خفض التكاليف التشغيلية (كالإلغاء الكامل لرسوم التحويلات التقليدية)
- **السرعة والكفاءة:** يمكن ان تكون المعاملات عبر الحدود اسرع بكثير من النظم التقليدية التي تمر عبر وسطاء متعددين.
- **الاستمرارية:** الشبكة تعمل 7/24 دون توقف.
- **تقليل الاحتيال:** نظام دفتر الاستاذ العام والتشفير يجعل من الصعب للغاية تزوير المعاملات او انكارها.
- **تمكين الشمول المالي:** يمنح الوصول للخدمات المالية لاي شخص متصل بالأنترنت، حتى بدون حساب بنكي.

6. عوائق وقيود تقنية البلوكتشين

- **إمكانية الاستخدام في أنشطة غير قانونية:**

يمكن استخدام تقنية البلوكشين في أعمال غير مشروعة مثل تجارة المخدرات والأسلحة والتهريب، مما يشكل تهديدا للأمن العام ويعرض مصالح الأفراد والمجتمعات للخطر.

- **خطر سرقة بيانات الأفراد:**

بعد دخول البيانات إلى السلسلة، قد تتعرض للاستيلاء أو الاستغلال من قبل جهات ضارة، مما قد يؤدي إلى التلاعب بالممتلكات الرقمية أو بيع البيانات أو انتهاك الخصوصية.

- **القضاء على الوظائف الوسيطة:**

زيادة الاعتماد على البلوكشين قد يؤدي إلى اختفاء العديد من الوظائف التقليدية التي تعتمد على الوسطاء، مما يؤثر على خريطة التوظيف في قطاعات مثل البنوك والخدمات المالية.

- **خطر الاحتيال والاختراق:**

على الرغم من صعوبة اختراق السلسلة ككل، إلا أن المنصات والتطبيقات المبنية عليها قد تكون عرضة للاختراق، خاصةً تلك ذات القوة الحسابية المحدودة أو قلة الانتشار.

- **ارتفاع تكلفة المعاملات:**

يتطلب تشغيل شبكات البلوكشين (خاصة التي تستخدم خوارزمية إثبات العمل) أجهزة حاسوب قوية واستهلاكا كبيرا للطاقة، مما يؤدي إلى زيادة تكاليف المعاملات، خاصة في أوقات الذروة.

- **عدم وجود نظام محاسبي مركزي:**

غياب جهة مركزية للإشراف والرقابة يجعل من الصعب تطبيق إجراءات المحاسبة التقليدية، وقد يصعب تتبع الأخطاء أو العمليات غير المشروعة في حال حدوثها.

- **عدم إمكانية التعديل أو التراجع:**

تعتبر خاصية عدم التعديل ميزة أمان، لكنها قد تكون عائقا في حال حدوث خطأ بشري أو احتيال، حيث يصبح من المستحيل التراجع عن المعاملة أو تصحيحها بعد التنفيذ.

المحاضرة الثانية:

أنواع الشبكات وتطبيقاتها في عالم البلوكشين

من الضروري، قبل التطرق إلى أنواع البلوكشين، أن نفهم الأساس الذي تبنى عليه: هيكلية الشبكات. فهي بمثابة خرائط اتصال مختلفة. بناء على ذلك يمكننا عرض المثال التوضيحي التالي:

- أولاً: الشبكة المركزية - مثل مملكة قديمة. هناك عاصمة واحدة (الخادم المركزي) وكل المدن (أجهزة المستخدمين) ترسل رسائلها إلى العاصمة وتتلقى الأوامر منها. إذا سقطت العاصمة، انهارت المملكة. هذا هو نموذج معظم خدماتنا التقليدية اليوم.
- ثانياً: الشبكة اللامركزية - مثل دولة اتحادية. هناك عدة عواصم إقليمية (خوادم متعددة) كل منها تخدم منطقة، وتتعاون مع بعضها. إذا سقطت عاصمة إقليمية، يبقى الاتحاد عاملا لكن بضعف في تلك المنطقة.
- ثالثاً: الشبكة الموزعة - مثل سوق مفتوح. كل بائع ومشتر (كل عقدة) يتصل مباشرة مع الآخرين. لا توجد سلطة مركزية، والقواعد هي اتفاقيات بين الجميع. إذا غادر بعض الباعة، يستمر السوق.

السبب الذي يجعل هذا التصنيف مهما: كل نوع من أنواع البلوكشين يرتبط ارتباطا وثيقا بواحدة من هذه الهياكل الشبكية. فالبلوكشين الخاص يعمل على شبكة مركزية أو لامركزية محدودة، بينما البلوكشين العام يحتاج إلى شبكة موزعة بالكامل لتحقيق وعده الحقيقي باللامركزية.

1. مفهوم الشبكة:

بصفة عامة، الشبكة هي أي نظام يتكون من عناصر متصلة ببعضها، تتفاعل وتتبادل الموارد. هذا التعريف ينطبق على عدة أمثلة من حياتنا اليومية:

- شبكة الطرق: تربط المدن والقرى، تنقل البضائع والأشخاص
- شبكة المياه: أنابيب متصلة توزع الماء للمنازل
- شبكة العلاقات الاجتماعية: أنت متصل بأصدقائك، وهم متصلون بأصدقاء آخرين

الخصائص المشتركة لكل الشبكات:

- عناصر/عقد :(Nodes) نقاط اتصال في النظام (المدن في شبكة الطرق، الأشخاص في شبكة العلاقات)
- روابط/وصلات :(Links) طرق الاتصال بين العناصر (الطرق السريعة، خطوط الهاتف)
- قواعد/بروتوكولات (Protocols): قواعد تنظم عملية التبادل (قوانين المرور، أخلاقيات التواصل)

في الاعلام الآلي، يمكن تعريف الشبكة كالتالي:

> **" الشبكة هي مجموعة من الأجهزة الإلكترونية المتصلة، التي تتبادل البيانات والموارد عبر وسائط نقل مختلفة ".**

و تتكون من:

1. **العقد:(Nodes)**
   - أجهزة طرفية: حواسيب، هواتف ذكية، أجهزة لوحية

- أجهزة وسيطة: موجهات(Routers) ، محولات(Switches)
- أجهزة خدمة: خوادم(Servers) ، سحابات(Clouds)

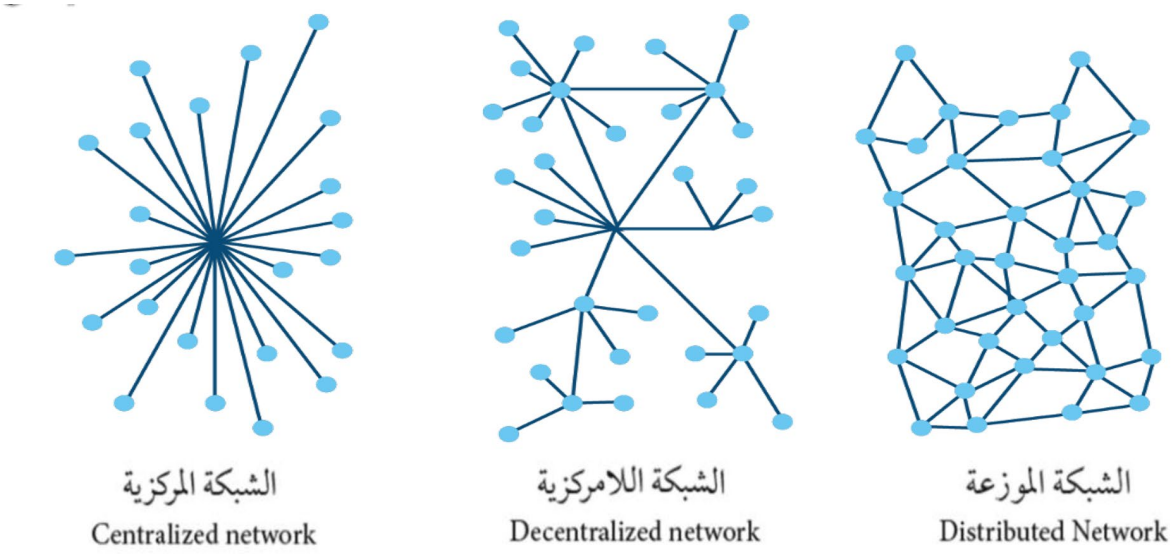
2. **الوسائط/الوصلات:(Media/Links)**

- سلكية: كابلات نحاسية، ألياف بصرية
- لاسلكية: موجات راديو، أشعة تحت الحمراء، أقمار صناعية

3. **البروتوكولات :(Protocols)**

- **HTTP/HTTPS** لتصفح الويب
- **SMTP** لإرسال البريد الإلكتروني
- **TCP/IP** اللغة الأساسية للإنترنت
- **بلوكشين بروتوكولات**

2. أنواع الشبكات (البنية التحتية للاتصال)



- **الشبكات المركزية Centralized Networks**

في الشبكة المركزية، يكون هناك مالك مركزي ووحيد للشبكة، يعتبر نقطة اتصال واحدة لمشاركة المعلومات. يدير هذا المالك كل الشبكة ويحدد الصلاحيات والأدوار لباقي المستخدمين، وبالتالي لا يمكن الوصول إلى المعلومات إلا من قبل المستخدمين المصرح لهم.

من الجوانب الإيجابية للشبكة المركزية هو وجود جهة واحدة فعّالة مسؤولة لا تتطلب الكثير من الصيانة، ولديها القدرة على محاسبة المشاركين في حالة الإخلال بالمعاملات. ومن بين السلبيات هو أن وجود مالك مركزي يعني أن جميع المعلومات متاحة لديه. تعطله يعني تعطل النظام بأكمله.

- **الشبكات اللامركزية Decentralized Networks**

في الشبكة اللامركزية، يوجد العديد من المالكين المركزيين الذين يحتفظون بنسخ من البيانات. هذا يحل مشكلة فشل المالك المركزي فبي الشبكة المركزية. في حالة فشل عقدة مركزية معينة، لا يزال من الممكن الوصول إلى المعلومات من العقد الأخرى بسبب وجود مالكين آخرين. يمكن أيضا تقليل سرعة الوصول إلى المعلومات.

مثال على شبكة لامركزية هو بيتكوين Bitcoin فمن بين فوائدها، تحافظ على سرية الخصوصية حيث تظل هويات المستخدمين غير معروفة، والوصول إلى المعلومات غير محدود، وسعة التحمل في الشبكة واسعة جدا. ومن بين عيوبها، تكلفة عالية جداً حيث تمتلك كل عقدة خواص وقدرات عالية.

- **الشبكات الموزعة Distributed Networks**

تشبه إلى حد ما الشبكة اللامركزية (عدم وجود مالك مركزي واحد)، ولكنها تختلف في تنظيم العقد. في هذا النمط، هناك عدة مالكين للشبكة ينظمون الصلاحيات والأدوار بينهم، وتُعتبر نمطًا من المركزية المتعددة. مثال Facebook

من بين فوائدها، لا تفشل الشبكة عند فشل أحد المالكين فيها، والوصول إلى المعلومات يكون عاليا، وسريعا

3. تطور الشبكات

تطورت الشبكات من مجرد وسائل اتصال بسيطة إلى أنظمة ذكية قادرة على اتخاذ قرارات. و قد مر ذلك مراحل:

1) **الاتصال الأساسي:** نقل بيانات خام
2) **التفاعل البشري:** بريد إلكتروني، محادثات
3) **التفاعل الآلي:** أنظمة تتبادل بيانات دون تدخل بشري
4) **الذكاء الجماعي:** شبكات تتعلم وتتخذ قرارات جماعية ⬅ وهنا يأتي دور البلوكشين

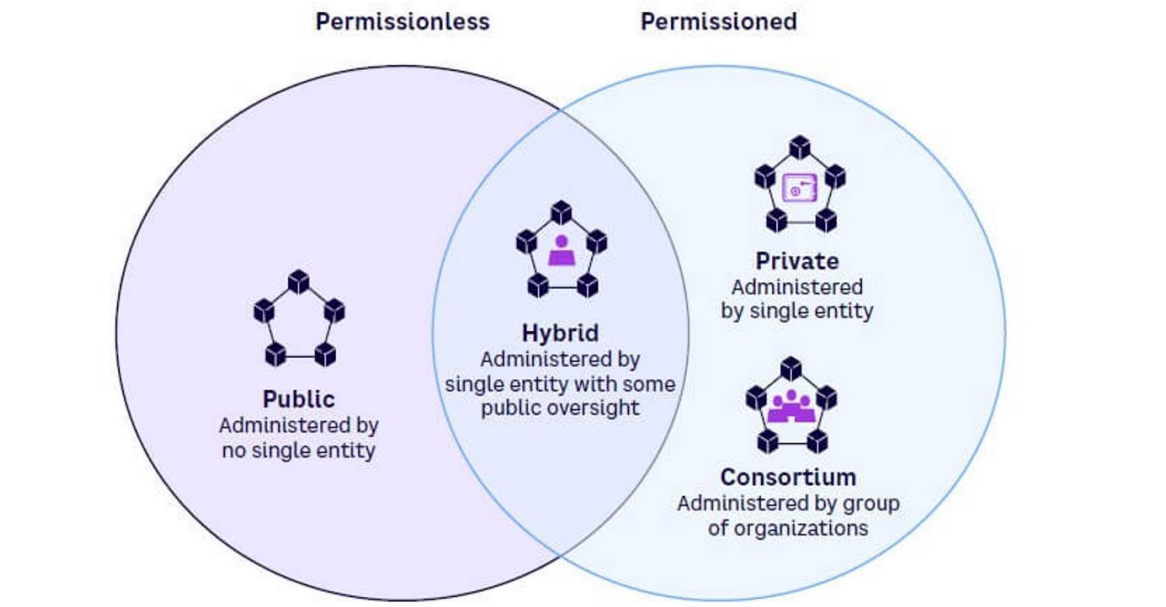
4. أنواع البلوكشين:

في الحديث عن البلوكشين وتقنيات الشبكات الموزعة، تستوقفنا محطة حاسمة لفهم التنوع الكبير في النماذج والتطبيقات التي نراها اليوم. فكما تختلف الديمقراطيات في العالم بين أنظمة رئاسية وبرلمانية، وتختلف نماذج الاقتصاد بين رأسمالية واشتراكية، تختلف أيضا هندسة شبكات البلوكشين في فلسفتها الأساسية وآليات حوكمتها.

تصنيف البلوكشين ليس مجرد تسميات تقنية جافة، بل هو تعبير عن معضلة أساسية في عصر المعلومات:

كيف نوزع السلطة في الفضاء الرقمي؟ هل نمنحها للجميع في نظام مفتوح غير خاضع لرقابة، أم نحتفظ بها في أيدٍ قليلة لضمان الكفاءة والتحكم؟

هذا الجدل بين الانفتاح و التحكم، بين الشفافية المطلقة و الخصوصية المحمية، هو ما ينتج لنا هذه الأنماط الأربعة المتميزة من شبكات البلوكشين. كل نموذج منها يمثل إجابة مختلفة على سؤال: "من يملك الحق في المشاركة؟ ومن يتحمل مسؤولية الإدارة؟"



السمة	البلوكتشين العام (Permissionless)	البلوكتشين الخاص/المُجَمَّع (Permissioned)
نوع الأمان	أمان اللامركزية ومقاومة الرقابة	أمان الخصوصية والتحكم التنظيمي
السيولة / المرونة	**عالية** (مفتوح للجميع، لا حاجة لإذن)	**منخفضة** (مقيد، يحتاج إلى إذن)

- **سلاسل الكتل العامة Public Blockchain:**

هي شبكة مفتوحة المصدر، تتيح لأي شخص الانضمام إليها، وهي لامركزية تمامًا. تسمح سلاسل الكتل العامة لجميع العقد أو الأشخاص بالحصول على حقوق متساوية للوصول إلى البلوكشين، وإنشاء كتل جديدة من البيانات والتحقق من صحة البيانات. لا توجد سلطة مركزية أو منظمة تتحكم في الشبكة. يستخدم هذا النوع بشكل أساسي لتبادل العملات المشفرة وعمليات التعدين. مثال عن ذلك Bitcoin

- **سلاسل الكتل الخاصة: Private Blockchain**

تعرف أيضا بالبلوكشين المُدارة، حيث تكون هذه السلاسل مُرخصة وتتحكم فيها مؤسسة واحدة (سلطة مركزية). في سلاسل الكتل الخاصة، يتم تحديد من قبل السلطة المركزية من يحق لها أن تكون مدققا أو عقدة، ولا تمنح السلطة المركزية بالضرورة حقوقا متساوية لجميع العقد أو المدققين. على سبيل المثال، شبكة تبادل العملات الرقمية من شركة Ripple هي مثال على سلسلة الكتل الخاصة.

- **البلوكشين الهجين : Hybrid Blockchain**

تتحكم فيها مؤسسة واحدة، ولكن مع وجود إشراف من سلاسل الكتل العامة، وذلك لتنفيذ عمليات محددة في المعاملات. على سبيل المثال، يعد IBM Food Trustمثالًا على سلسلة كتل هجينة، حيث تم تصميمها لتعزيز الكفاءة في سلسلة التوريد الغذائية.

- **البلوكشين الكونسورتيوم Consortium Blockchain**

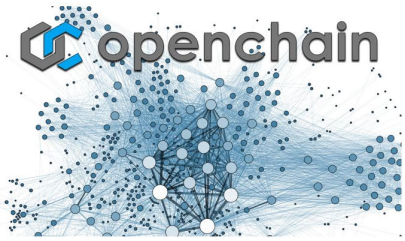
يشبه البلوكشين الهجين من حيث أنه يجمع بين البلوكشين الخاص و العام. و يعرف باسم بلوكشين الاتحاد أو الفيدرالي كذلك. يختلف عن البلوكشين الهجين في كونه يضم أعضاء مختلفين يعملون معا على شبكة لامركزية.

عادة ما تستخدم الكونسورتيوم بلوكشين من قبل البنوك: يمكن تشكيل اتحاد من قبل مجموعة من البنوك تعمل معا، ويكون لديهم السيطرة على العقد التي ستتحقق من صحة المعاملات.

5. كيفية انشاء شبكة بلوكشين:

لإنشاء شبكة بلوكشين خاصة، تتوفر عدة مسارات تقنية تتراوح بين الحلول الجاهزة والأطر المفتوحة المصدر والبرمجة منخفضة المستوى. من أبرز المنصات الجاهزة MultiChain التي تقدم بيئة مبسطة لإنشاء وتشغيل سلاسل الكتل الخاصة مع تحكم كامل في أذونات المشاركة ومعلمات الشبكة. وفي السياق المؤسسي، يوفر إطار Hyperledger مجموعة شاملة من أدوات وتقنيات البلوكشين المخصصة للأعمال التجارية، مع نماذج مثل Hyperledger Fabric الذي يدعم العقود الذكية المعقدة والخصوصية المجزأة للبيانات. للمطورين الأكثر تقدما، يمكن بناء شبكة من الصفر باستخدام لغات برمجة مثل Python ، مع الاستفادة من مكتبات مثل Web3.py أو استنساخ كود Bitcoin Core المفتوح المصدر وتعديله وفق المتطلبات الخاصة.

يعتمد اختيار المسار على عوامل مثل الخبرة التقنية للمطورين، مستوى التخصيص المطلوب، حجم الشبكة المتوقع، والموارد المتاحة، حيث توفر الحلول الجاهزة سرعة في النشر بينما تمنح البرمجة المخصصة مرونة غير محدودة في التصميم والوظائف.



المحاضرة الثالثة:

التشفير المطبق على البلوكشين

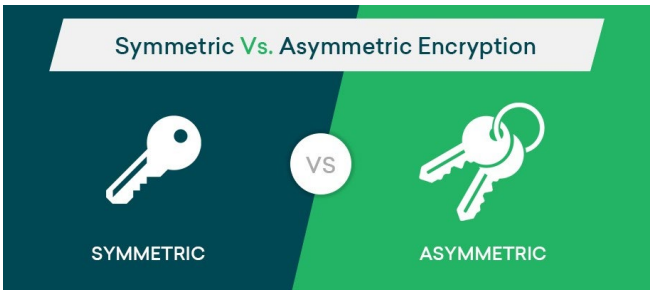
يعتبر التشفير (Cryptography) حجر الزاوية في بناء انظمة البلوكشين الامنة. بدون التقنيات التشفيرية المتقدمة، لن تكون تقنية البلوكشين قادرة على تحقيق اللامركزية والثقة الموزعة التي تميزها. يقوم التشفير في البلوكشين على مبدأ اساسي: تمكين الثقة بين الاطراف غير المتعارف عليها دون الحاجة الى وسيط مركزي (Antonopoulos, 2017).

1. ما المقصود من التشفير؟

خوارزمية التشفير عبارة عن إجراء يحول رسالة مكونة من نص عادي إلى معلومات مشفرة. وتستخدم الخوارزميات الحديثة رياضيات متقدمة ومفتاح تشفير أو أكثر. وهي تسهل نسبيا تشفير رسالة، ولكنها تجعل من المستحيل تقريبا فك تشفيرها بدون معرفة المفاتيح.

2. أنواع التشفير:

تنقسم تقنيات التشفير إلى فئتين، تشفير متماثل وتشفير غير متماثل، على أساس كيفية عمل مفاتيحها.



أولا: التشفير المتماثل Symmetric

تعرف عملية التشفير التي تستخدم فيها نفس المفاتيح لتشفير وفك تشفير المعلومات بإسم تشفير المفتاح المتماثل

- **ميزات التشفير بالمفتاح المتماثل:**

يشترط التشفير بالمفتاح المتماثل على جميع الأشخاص مشاركة المفتاح السري قبل إرسال المعلومات. و قد يستخدم هذا النوع من التشفير على نطاق واسع بسبب سرعته وكفاءته في تأمين البيانات.

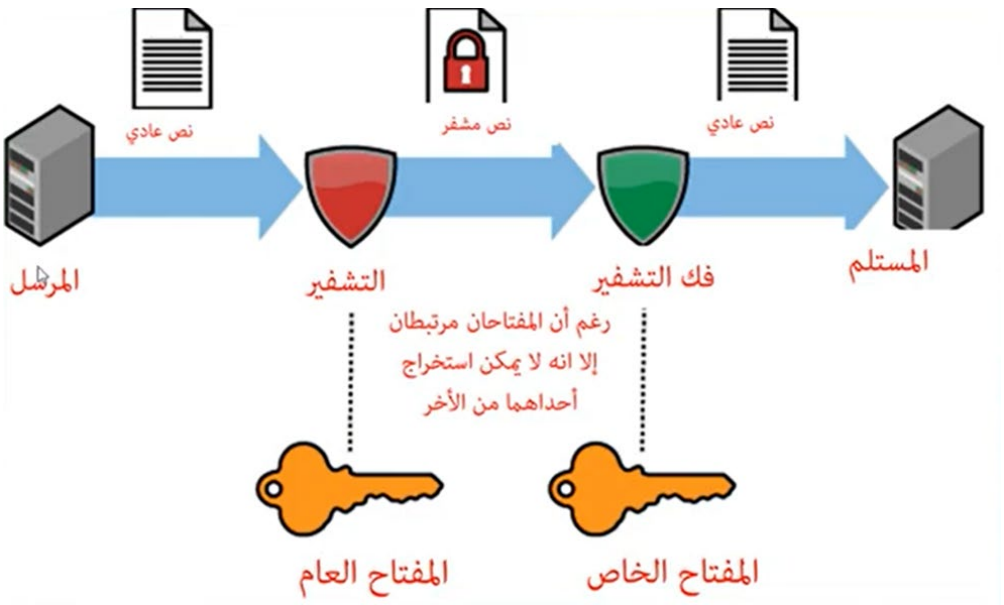
من أبرز ميزات التشفير المتماثل:

- **السرعة والكفاءة:** فهو أسرع من التشفير غير المتماثل، مما يجعله خيارًا مفضلاً في الأنظمة التي تتطلب أداءً عالياً.
- **استهلاك أقل للموارد:** لا يحتاج إلى عمليات حسابية معقدة كالتشفير غير المتماثل، مما يجعله أقل استهلاكا للموارد. وهذا مفيد للأجهزة ذات القدرات المحدودة.
- **سهولة التنفيذ:** نظرا لاستخدام مفتاح واحد، فإن تطبيق التشفير المتماثل يكون أسهل، ولا يتطلب إدارة مفاتيح معقدة مقارنة بالتشفير غير المتماثل.
- **أمان جيد عند إدارة المفاتيح:** إذا تم تأمين المفتاح بشكل جيد وشارك فقط بين الأطراف المعنية، فإن التشفير المتماثل يمكن أن يكون آمنًا وفعّالًا في حماية المعلومات الحساسة.

- **عوائق و حدود تشفير المفتاح المتماثل:**
  - **تكوين المفتاح:** قبل أي اتصال يحتاج الطرفان إلى الاتفاق على مفتاح سري، هذا يتطلب وجود آلية إنشاء مفتاح سري بشكل آمن.
  - **مشكلة الثقة:** يستخدم الطرفان نفس المفتاح للتشفير وفك التشفير، وهذا يتطلب وجود ثقة متبادلة بينهما. فإذا قام المستقبل، سواء عن طريق الخطأ أو بسبب هجوم، بفقدان المفتاح لصالح طرف ثالث غير موثوق، يمكن أن تصبح جميع الرسائل السابقة واللاحقة عرضة للانكشاف .
  - **التواصل العام:** يحتاج الناس عموما إلى تبادل المعلومات مع أطراف غير معروفة وغير موثوق بها، كالتواصل بين البائع عبر الانترنت و العملاء.

ثانيا: التشفير الغير متماثل Asymmetric Encryption

بدلا من استخدام مفتاح سري واحد لكل من التشفير وفك التشفير، يستخدم التشفير غير المتماثل أزواج المفاتيح العامة والخاصة المرتبطة رياضيًا لحماية المعلومات الحساسة المرسلة بين المستخدمين.



3. ما الفائدة من التشفير؟

التشفير هو حجر الأساس الذي تقوم عليه تقنية البلوكشين، فهو الآلية التي تحولها من مجرد سجل بيانات عادي إلى نظام آمن وموثوق. تكمن أهميته في توفير الهوية الرقمية الفريدة والمضمونة لكل مشارك وكل جزء من البيانات عبر وظائف رياضية متقدمة تخلق "بصمة رقمية" فريدة لكل معاملة أو كتلة (تُعرف بالهاش Hash). هذه البصمة تربط الكتل ببعضها بشكل تسلسلي غير قابل للعبث، إذ أن أي تغيير بسيط في البيانات الأصلية ينتج عنه هاش مختلف كليا، مما يكشف أي محاولة تزوير فورا. بفضل هذا التشفير، تتحقق الثقة في النظام دون حاجة إلى وسيط مركزي. و يفيد التشفير في :

- التوقيع الرقمي
- تخزين كلمات السر
- التحقق من تماثل الملفات
- خلق سلسلة الكتل
- العقود الذكية
- المعاملات المالية

4. دالة الهاش (دالة التجزئة)

sha-256 هو برنامج صغير يأخذ بيانات ويخلطها بطريقة منهجية بحيث يمنحك بصمة رقمية بطول 256 bitsومن الملاحظ أن اختصار « Sha- » يرمز إلى "خوارزمية التجزئة الآمنة"

تتميز بكونها مقاومة التصادم Collision resistance و لكن :

التصادم هو أن نجد ملفين مختلفين (مدخلات) يحملان نفس الهاش (المخرجات) . لحد اليوم لم نصل إلى البرهان عن ذلك رياضيا.

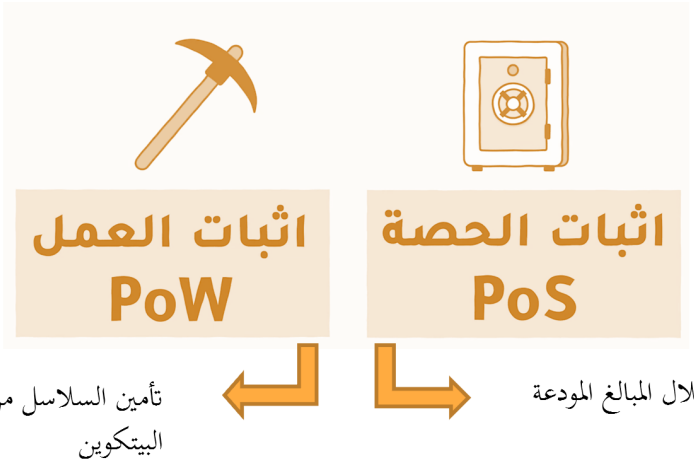
بالإضافة إلى ذلك، تتميز دوال التجزئة بما يلي:

- الدالة تقبل اي نوع من البيانات (ملف نصي، فيديو ، صورة، كتاب، موسوعة ولكن ايضا نص عادي)
- الدالة تسمح بادخال كمية غير محدودة من البيانات بأي حجم كان (بايت، ميجابايت، تيرا...) لكن دائما سنحصل على نتيجة بطول ثابت
- اذا ادخلت نفس البيانات مجددا تحصل على نفس النتيجة مرة اخرى (هذا ما يعطي بصمة رقمية فريدة لنفس المعلومات المدخلة)
- أبسط تغيير على البيانات ينتج نتيجة مختلفة تماما بنفس الطول

5. خوارزميات الإجماع:

للتحقق من صحة المعلومات أو تأكيد الحسابات نعتمد على آليتين للإجماع هما:

- اثبات العمل: Preuve de travail (Proof of Work - PoW)
- إثبات الحصة أو الرهان (Proof of Stake – PoS)



أولا: اثبات العمل Preuve de travail (Proof of Work - PoW)

- يستخدم إثبات العمل كآلية لحل المشكلة الصعبة وتأمين البلوكشين.
- يطلب من المشاركين في الشبكة إثبات أنهم قاموا بعمل معين (مثل حساب تجزئة للبيانات) من خلال إنفاق قدر كبير من الطاقة الحاسوبية.

كيف يعمل اثبات العمل؟

- يتطلب إثبات العمل إجراء حسابات حاسوبية باهظة الثمن، أو بعبارة أخرى، عملية التعدين. يجب إجراء التعدين لإنشاء معاملات غير موثوقة على blockchain.
- الخطوة 1) يتم تجميع المعاملات وتجميعها معا في شكل كتلة.
- الخطوة 2) يقوم القائمون بالتعدين بعد ذلك بالتحقق من المعاملات داخل كل كتلة، والتحقق مما إذا كانت شرعية.

- الخطوة 3) يقوم عمال المناجم بعد ذلك بحل لغز رياضي يُعرف باسم إثبات مشكلة العمل للمضي قدمًا. يجب على جميع عمال المناجم التنافس.
- الخطوة 4) تتم مكافأة أول عامل منجم يقوم بحل مشكلة الكتلة.
- الخطوة 5) ثم يتم تخزين المعاملات التي تم التحقق منها على سلسلة الكتل.

ثانيا: إثبات الحصة أو الرهان (Proof of Stake – PoS)

بدلا من إثبات العمل، يعتمد إثبات الرهان على مبدأ أن كمية معينة من العملة المشفرة تُراهن كضمان.

- يعزز إثبات الرهان الأمان بطريقة أقل استهلاكا للطاقة، حيث يكون الدافع للمحافظة على سلامة الشبكة هو الرهان المالي.

كيف يعمل ؟

1) **الرهان** :(Staking) يقوم المشاركون المُصلحون أو (Validators) بقفل وحجز كمية معينة من العملة المشفرة الخاصة بتلك الشبكة في محفظتهم كضمان.
2) **اختيار المُصدق**: يتم اختيار المُصدِّق الذي سيكون مسؤولا عن التحقق من كتلة المعاملات الجديدة وإضافتها إلى السلسلة، بشكل عشوائي أو بناء على حجم الرهان و/أو المدة التي حجزت فيها العملات. كلما زادت قيمة الرهان، زادت فرص الاختيار.
3) **الحافز والعقوبة**: إذا قام المُصدق بدوره بشكل صحيح، يحصل على مكافأة من رسوم المعاملات. ولكن إذا حاول التصرف بشكل خبيث أو غير صحيح (مثل الموافقة على معاملات مزورة)، فإنه يفقد جزءا أو كل العملات التي راهن بها كعقوبة.

فوائده الرئيسية:

- توفير هائل في الطاقة: لا حاجة لأجهزة تعدين قوية.
- أقل تكلفة: يقلل من الحاجة لاستثمارات باهظة في أجهزة متخصصة.
- أمان مشروط: يصبح الهجوم على الشبكة مكلفاً جداً للمهاجم، لأنه يجب عليه شراء والمراهنة على كمية هائلة من العملة، مما يجعله يخاطر بخسارتها إذا هاجم.

المحاضرة الرابعة:

بنية شبكة البلوكشين: الهيكل التشريحي

شبكة البلوكشين ليست نظاما واحديا متجانسا، بل هي عمارة معقدة متعددة الطبقات، حيث كل طبقة تبنى على أساس متين من سابقتها.

1. الطبقة الأولى: طبقة الشبكة (Network Layer)

هي تمثل البنية التحتية للاتصال والتواصل بين مكونات النظام

المكونات الأساسية في هذه الطبقة:

- **العقد(Nœuds)**

هي كل حاسوب متصل بالشبكة ويساهم في تشغيلها

- **أنواع العقد:**

العقد الكاملة :(Full Nodes) تخزن نسخة كاملة من السلسلة وتتحقق من كل المعاملات

عقد التعدين/التصديق :(Mining/Validating Nodes) مسؤولة عن إنشاء الكتل الجديدة

العقد الخفيفة :(Light Nodes) تعتمد على عقد أخرى للتحقق، تستخدمها المحافظ البسيطة

- **دور العقد في طبقة الشبكة:**

— استقبال وبث المعاملات والكتل

— تطبيق بروتوكولات الاتصال

— الحفاظ على اتصال مستمر مع العقد المجاورة

- **بروتوكولات الاتصال(Protocols de Communication)**

تتواصل العقد عبر بروتوكولات الاتصال لتشكيل نسيج الشبكة، و منها:

- بروتوكول الجوسيب :(Gossip Protocol) آلية انتشار المعاملات عبر الشبكة
- بروتوكول المزامنة :(Sync Protocol) كيفية تزامن العقد مع بعضها
- بروتوكول الاكتشاف :(Discovery Protocol) كيف تجد العقد الجديدة أقرانها

2. الطبقة الثانية: طبقة الإجماع (Consensus Layer)

وظيفتها آليات الاتفاق على صحة المعاملات وترتيبها. تحديد العقدة المخولة بإنشاء الكتلة التالية، منع الإنفاق المزدوج، ضمان اتفاق جميع العقد على نسخة واحدة من الحقيقة.

المكونات الأساسية في هذه الطبقة:

- **الإجماع (Consensus)**

طبقة الإجماع هي قلب النظام النابض الذي يمنح البلوكشين روحه الجماعية. في هذه الطبقة، تتحول الشبكة المكونة من آلاف العقد المستقلة والمتفرقة جغرافيا إلى عقل جماعي واحد قادر على الاتفاق على نسخة واحدة من الحقيقة، دون حاجة إلى سلطة مركزية تفرض القرار.

هنا تعمل آليات مثل **إثبات العمل** (حيث يتنافس المعدنون في سباق رياضياتي مكلف) أو **إثبات الحصة** (حيث يرهن المشاركون أموالهم كضمان للنزاهة) كدستور رقمي. هذا الدستور يحل المعضلة الأزلية: كيف نثق في نظام لا نعرف المشتركين فيه؟

باختصار، هذه الطبقة تحول الرياضيات إلى ثقة، والخوارزميات إلى اتفاق، واللامركزية إلى إجماع، مما يمكن مجموعة من الغرباء من الاتفاق على حقيقة مشتركة في فضاء رقمي لا مركزي.

- **آليات العمل الرئيسية:**

  - إثبات العمل :(PoW) حل ألغاز رياضية مكلفة طاقيا
  - إثبات الحصة :(PoS) الرهان بالعملات كضمان للنزاهة
  - آليات أخرى: PoA, DPoS, BFT

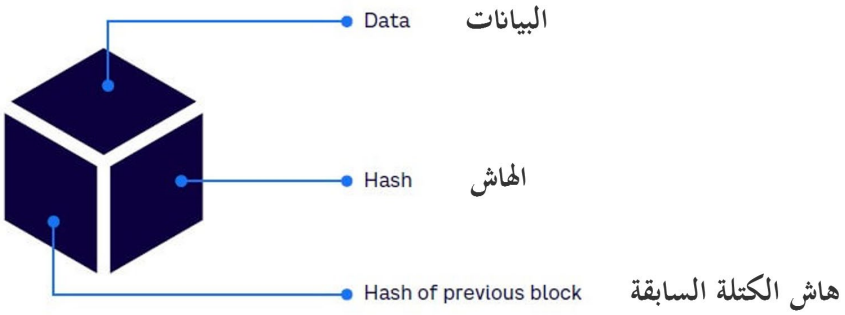
3. الطبقة الثالثة: طبقة البيانات (Data Layer)

مهمتها تخزين وتنظيم البيانات بشكل آمن ودائم

المكونات الأساسية في هذه الطبقة:

- **الكتل(Blocs)**

كل كتلة في سلسلة الكتل تشبه صفحة مؤرخة في دفتر أستاذ رقمي دائم، وتتكون من ثلاثة أقسام رئيسية متكاملة: البيانات، الهاش و هاش الكتلة السابقة



- **البيانات - (Data)**

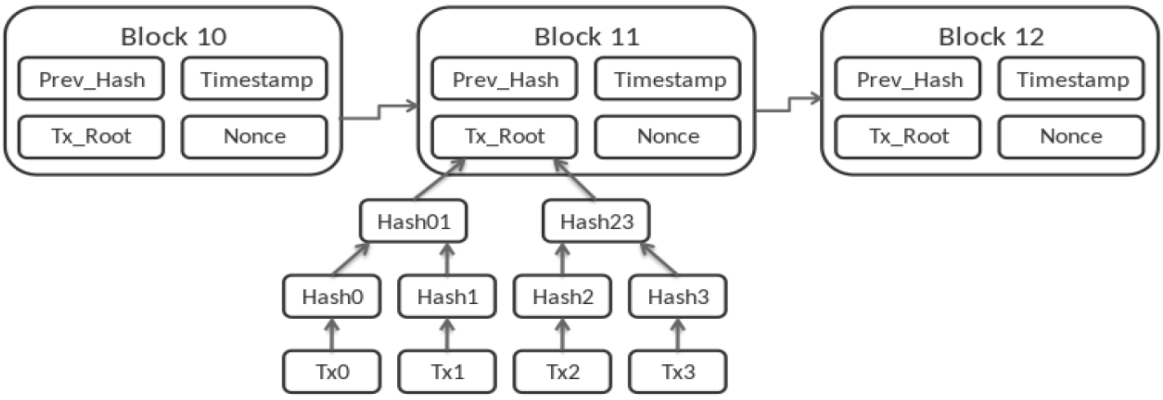
هذا هو الجسم الحقيقي للكتلة، حيث تسجل الأحداث الفعلية للشبكة : و نميز بين البيانات التجارية و/أو البيانات الفنية

أ. البيانات التجارية/المعاملات:

- المعاملات المالية: تحويلات العملات الرقمية
- معلومات الملكية: سجلات العقارات، الملكية الفكرية
- السجلات الرقمية: شهادات، هويات، وثائق
- تنفيذ العقود الذكية: نتائج التنفيذ والتغيرات الناتجة

ب. البيانات الفنية (الواصفات):

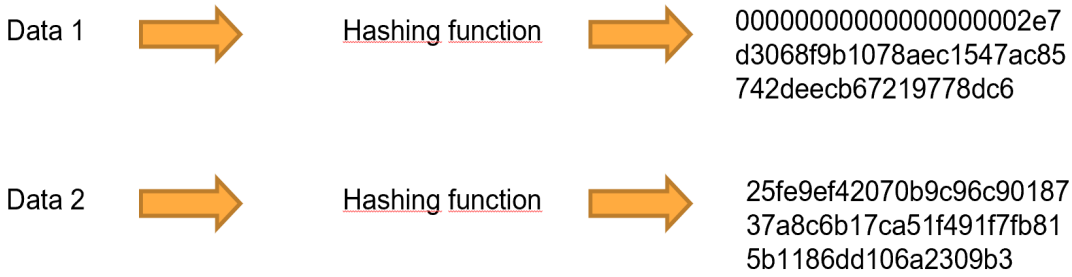
- طابع زمني :(Timestamp) اللحظة الدقيقة لإنشاء الكتلة
- رقم الإصدار: تنسيق الكتلة وإصدار البروتوكول
- الـ :Nonce رقم عشوائي فريد (خاص بأنظمة إثبات العمل)
- جذر ميركل :(Merkle Root) كما في الصورة Tx_Root



○ الهاش - (Hash) البصمة الرقمية الفريدة

الهاش هو الهوية الجينية للكتلة، وهو ما يجعل كل كتلة فريدة وغير قابلة للتكرار. من خصائص الهاش:

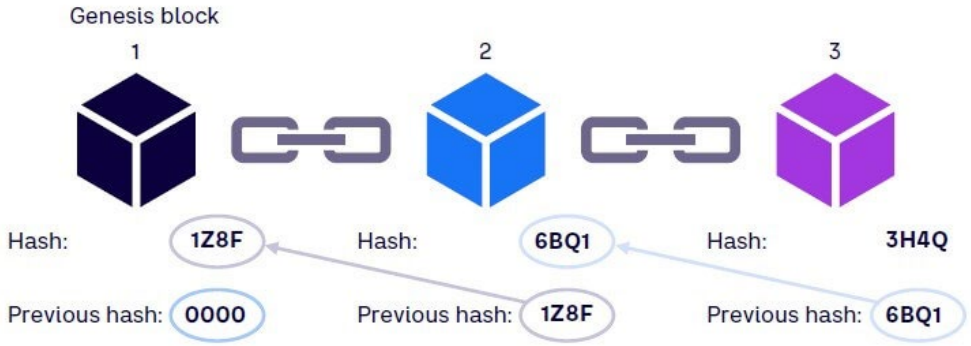
- فريد: لكل كتلة هاش مختلف عن جميع الكتل الأخرى
- حتمي: نفس البيانات تُنتج نفس الهاش دائماً
- غير قابل للعكس: من الهاش لا يمكن استرجاع البيانات الأصلية
- حساس للتغير: أي تغيير في البيانات يغير الهاش كلياً



○ هاش الكتلة السابقة - (Previous Hash) رابط الاتصال

هذا العنصر هو الخيط الذهبي الذي يربط السلسلة ببعضها، وهو الأساس لخاصية "عدم القابلية للتغيير". يتمثل دوره في :

- الربط الزمني: يربط كل كتلة بسابقتها مباشرة
- الحماية التسلسلية: يجعل تعديل كتلة واحدة يتطلب تعديل كل الكتل اللاحقة
- التاريخ الرقمي: يثبت التسلسل الزمني للأحداث



الكتلة ليست مجرد حاوية بيانات، بل هي نظام بيئي مصغر متكامل:

- البيانات: المحتوى الحيوي
- الهاش: الهوية والسلامة
- هاش السابقة: الاتصال والتاريخ

هذا التصميم الذكي يجعل كل كتلة قوية بمفردها، وأقوى في سلسلتها، وهو الأساس الذي تبني عليه تقنية البلوكشين متميزة بالثقة الدائمة والشفافية الكاملة في عالم رقمي معقد.

- **سلسلة الكتل (Chaîne de Blocs)**

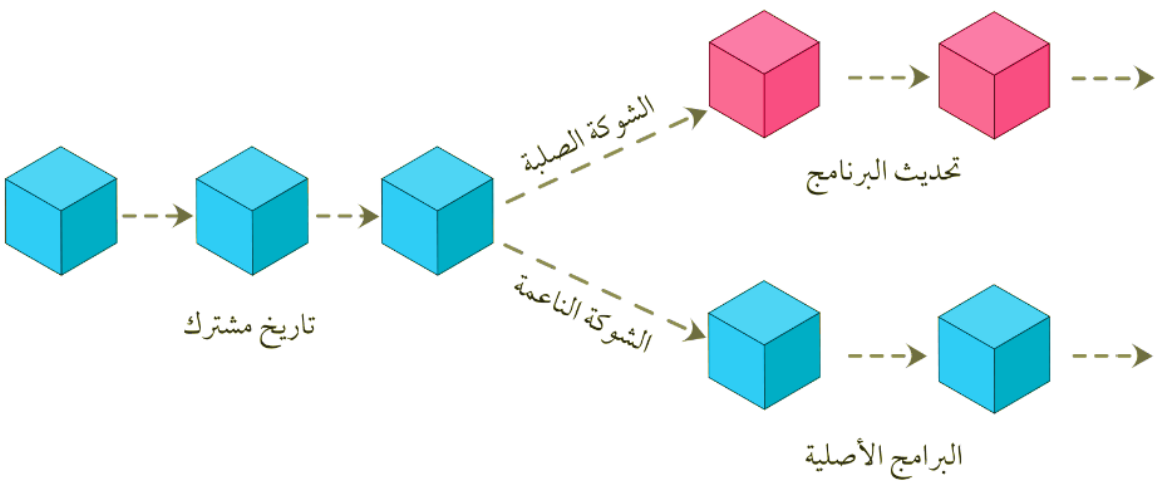
سلسلة الكتل هي الذاكرة الجماعية المتصلة للشبكة، حيث لا تكون الكتل منفصلة بل مترابطة في نسيج زمني لا ينفصم. الترابط بين الكتل ليس مجرد ترتيب تسلسلي، بل هو ربط تشفيري. يتمحور هذا النسيج حول ثلاثة مبادئ أساسية مترابطة: الترابط التشفيري حيث ترتبط كل كتلة بسابقتها عبر تجزئتها الهاشية، مما يخلق سلسلة زمنية يحمي تعديل أي حلقة فيها جميع الحلقات اللاحقة؛ والتوزيع اللامركزي حيث تحتفظ كل عقدة كاملة بنسخة متطابقة من السلسلة، مما يحول التاريخ إلى ملكية جماعية يصعب تزويرها لكونها مخزنة في آلاف المواقع المتزامنة؛ والتأكيد عبر شجرة ميركل التي تمثل العصب الذكي داخل كل كتلة.

وتبرز أهمية شجرة ميركل كإحدى العبقريات الهندسية في البلوكشين، فهي ليست مجرد هيكل بيانات، بل نظام تحقق ذكي يحل معضلة الكفاءة والأمان. تعمل الشجرة على تجزئة المعاملات فرديا ثم دمجها تسلسليا حتى الوصول إلى "جذر ميركل" وحيد في رأس الكتلة. هذه الآلية تسمح بالتحقق من أي معاملة دون الحاجة إلى تحميل الكتلة بكاملها – فبمجرد معرفة جذر ميركل وبضع تجزئات وسيطة، يمكن إثبات وجود المعاملة بدقة رياضية لا تقبل الجدل. كما أن حساسية الشجرة العالية تضمن أن أي تغيير ولو في معاملة واحدة يغير جذر ميركل كليا، مما يكشف أي محاولة تلاعب فورا. بهذا تجمع شجرة ميركل بين خفة الوزن في التحقق وقوة صمود في الحماية، مما يجعلها حجر الزاوية في بناء سلاسل الكتل القابلة للتوسع والموثوقة في آن معا.

- **الشوكة (Forke)**

الشوكة في البلوكشين هي لحظة تحول مصيرية في حياة السلسلة، تشبه نقطة الانقسام في الشجرة حيث يقرر الغصن أن يصبح شجرة جديدة. كما توضح الصورة في الأسفل، الشوكة هي تغيير في بروتوكول الإضافة - أي تغيير في القواعد التي تحكم كيفية إضافة الكتل الجديدة إلى السلسلة.

للشوكات النوعان الرئيسيان:



- **الشوكة الصلبة - (Hard Fork) الانقسام النهائي**

أن يكون هناك تغيير في البروتوكول لا يتوافق مع الإصدارات السابقة. من خصائصها:

- عدم التوافق: العقد التي لم تترقَ لا تستطيع فهم الكتل الجديدة
- انقسام دائم: ينشأ سلسلتان منفصلتان تماماً
- تاريخ مشترك: كلا السلسلتين تتشاركان التاريخ حتى نقطة الشوكة
- مصير مختلف: بعد الشوكة، كل سلسلة تعيش حياتها المستقلة

تشبيه بمثال: انقسام دولة إلى دولتين، لهما تاريخ مشترك لكن مستقبل منفصل

و من أسبابها:

- تحديثات جوهرية في البروتوكول
- خلافات في المجتمع حول اتجاه المشروع
- تصحيحات أمنية كبيرة

- **الشوكة الناعمة أو اللينة - (Soft Fork)**

هي تغيير في البروتوكول متوافق مع الإصدارات السابقة، "البيانات متوافقة مع الإصدارات السابقة". من خصائصها:

- التوافق: العقد القديمة تستمر في العمل لكن قد لا تستخدم الميزات الجديدة
- سلسلة واحدة: تبقى جميع العقد على نفس السلسلة
- تحديث تدريجي: لا إجبار فوري على الترقية

و من أسبابها:

- تحسينات وتحديثات طفيفة
- إضافة ميزات اختيارية
- تحسين الأداء والأمان

تشبيه بمثال: تحديث نظام التشغيل على هاتفك - التطبيقات القديمة تعمل، لكن قد لا تستفيد من الميزات الجديدة

المحاضرة الخامسة:

العملات المشفرة

ننتقل الآن بعد دراسة البنية التقنية للبلوكشين إلى تحليل الاقتصاد المؤسسي للأصول الرقمية التي تعمل على هذه التقنية. كما يلاحظ(Böhme et al., 2015) ، فإن العملات المشفرة تمثل نقطة تحول في فهمنا للنقود والأصول المالية، حيث تتحول من "ثقة في المؤسسات" إلى "ثقة في الرياضيات."

في اقتصاد اليوم الرقمي، نشهد تحولا جذريا في مفهوم القيمة النقدية. العملات المشفرة لا تختصر فقط كأدوات دفع، بل كأنظمة اقتصادية متكاملة، كل منها يمثل نموذجا مؤسسيا مختلفا لحوكمة القيمة الرقمية. دراسة (Yermack, 2015) تشير إلى أن هذه العملات تطرح تحديات وتطبيقات جديدة في نظرية النقد والمالية.

1. التطور والنضج الاقتصادي

يشهد القطاع عدة موجات من التطور، كما تطرق إليه (Mougayar, 2016) :

- **الموجة الأولى:(2009-2013)**
  - تركيز على النقد الرقمي اللامركزي
  - ظهور أولى العملات البديلة
  - بداية الاهتمام الأكاديمي والتنظيمي
- **الموجة الثانية:(2014-2017)**
  - تطور العقود الذكية مع إطلاق إيثيريوم

- ظهور التمويل اللامركزي الأولي(ICO)
- زيادة القيمة السوقية والمشاركة المؤسسية

○ **الموجة الثالثة:(2018-2021)**

- تطور التمويل اللامركزي(DeFi)
- ازدهار الرموز غير القابلة للاستبدال(NFTs)
- زيادة قبول المؤسسات التقليدية

○ **الموجة الرابعة (2022-الآن):**

- تنظيم متزايد ومؤسسية
- تطور البنى التحتية
- تكامل مع الأنظمة الاقتصادية التقليدية

2. مصطلحات متشابهة:

العملات الإلكترونية، العملات الرقمية، العملات الافتراضية، العملات المشفرة، العملات الغير مشفرة،..إلخ هي مصطلحات يمكن أن تبدو متشابهة ولكن لكل منها معاني مختلفة في سياق النظم المالية والتكنولوجيا.

- **العملات الرقمية (Digital Currency)**

هو مصطلح أوسع يشمل كل من العملات الإلكترونية والعملات المشفرة. يشير إلى أي نوع من الأموال أو الأصول النقدية الموجودة في شكل رقمي. العملات الرقمية قد تكون أو لا تكون مدعومة من قبل الحكومات. يمكن استخدامها للمعاملات عبر الإنترنت وكذلك لأغراض الاستثمار.

- **العملات الإلكترونية (Electronic Money)**

هي نسخة إلكترونية من العملات الورقية التقليدية. يمكن تداولها عبر الإنترنت وتستخدم في المعاملات الرقمية، لكنها مدعومة ومنظمة من قبل البنوك المركزية أو الهيئات الحكومية. تستخدم بشكل رئيسي في المعاملات الإلكترونية والدفع الإلكتروني، مثل تحويل الأموال عبر الإنترنت والدفع عبر الهاتف المحمول.

- **العملات الافتراضية (Virtual Currency)**

هي نوع من العملات الرقمية التي تستخدم بشكل رئيسي داخل شبكات محددة، مثل داخل ألعاب الفيديو أو على منصات معينة عبر الإنترنت. لا تُعتبر عملة قانونية وغالبا ما تفتقر إلى الدعم أو الاعتراف من قبل الحكومات. تستخدم بشكل أساسي داخل النظم الاقتصادية الافتراضية لشراء السلع الافتراضية أو الخدمات داخل المجتمعات أو الألعاب الإلكترونية.

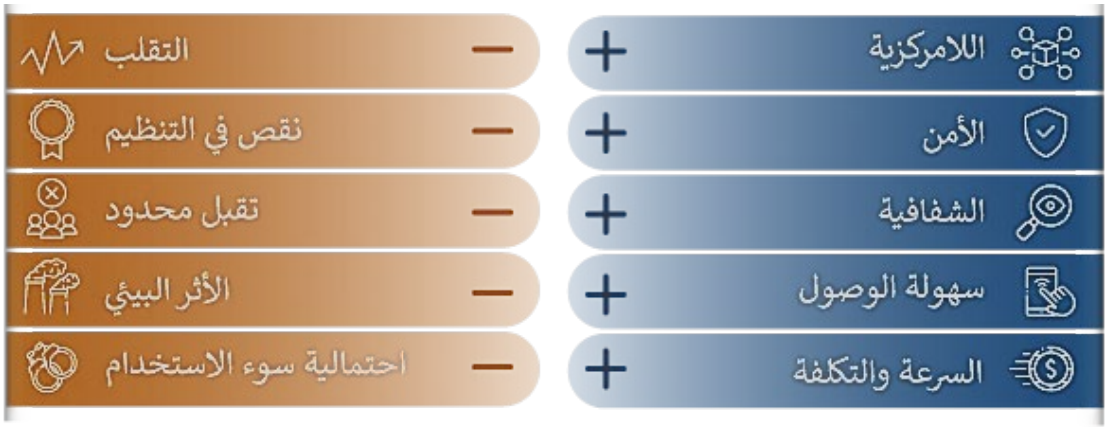
- **العملات المشفرة (Crypto Currency)**

العملة المشفرة مصطلح يطلق على النظام الذي يستخدم التشفير للسماح بإنشاء وتحويل وتبادل وحدات دفع رقمية بطريقة لامركزية وموزعة. يمكن تداول هذه الوحدات بأسعار السوق مقابل العملات الورقية . كما يعرفها (Böhme, Christin, Edelman, & Moore, 2015) بأنها "نظام دفع إلكتروني يعتمد على براهين رياضية وليس على الثقة في المؤسسات الوسيطة".

تعرف كذلك العملات المشفرة على أنها عملة رقمية افتراضية يتم تأمينها بالتشفير، وتستخدم شبكات لا مركزية تعتمد على تقنية سلسلة الكتل Blockchain

3. مزايـا و عيوب العملات المشفرة:

تقدم هذه التقنية عدة مزايا رئيسية مثل اللامركزية التي تقلل الاعتماد على سلطة واحدة، والأمن العالي ضد التلاعب، والشفافية في السجلات والمعاملات، إضافة إلى سهولة الوصول للجميع وسرعة التنفيذ مع تكلفة منخفضة. ومع ذلك، لا تخلو من التحديات، حيث تعاني من تعقيد في الفهم والاستخدام، ونقص في التنظيم الواضح، وتقبل محدود على نطاق واسع، فضلاً عن الأثر البيئي السلبي لاستهلاك الطاقة الكبير، واحتمالية سوء الاستخدام في الأنشطة غير المشروعة تبييض الأموال، الإرهاب، الجماعات الإجرامية.



4. خصائص العملات المشفرة:

- لا مركزية أي لا توجد سلطة مركزية مثل البنوك
- لا يمكن التغيير في سجل المعاملات أي أنها تتميز بالأمان وغير قابلة للتغيير
- تعتمد البنية التحتية التشغيلية العملات المشفرة على تقنية سلاسل الكتل
- لا اسمية أي أن المستخدمين مجهولو الهوية
- تستمد قيمتها من قبول الأفراد لها كوسيط للتبادل وآلية الدفع ومخزن للقيمة
- محدودية العرض والندرة أي لها حدود قصوى للعرض النقدي، الذي يتحدد عند برمجة الخوارزميات الأساسية عند انشائها، مما يعليها صفة الندرة النسبية.

5. أنواع العملات الرقمية:

اليوم، تنقسم العملات المشفرة إلى أنواع عديدة. وذلك بناء على:

- **الاختلاف في الخصائص:** تختلف العملات المشفرة عن بعضها البعض من حيث خصائصها، مثل الحجم الأقصى، ومعدل التضخم، وتقنية التحقق من المعاملات.
- **الاختلاف في الاستخدامات:** تختلف العملات المشفرة عن بعضها البعض من حيث الاستخدامات، فبعضها يستخدم للدفع مقابل السلع والخدمات، وبعضها يستخدم للاستثمار، وبعضها يستخدم لتشغيل عقود ذكية.
- **الاختلاف في التنظيم:** تختلف العملات المشفرة من حيث التنظيم، فبعضها منظم من قبل الحكومات، وبعضها غير منظم.

و بالتالي، يمكن تقسيمها إلى 4 أصناف أساسية:

- **البتكوين Bitcoin:**

البيتكوين يمثل أول عملة رقمية مشفرة ظهرت في العالم، حيث تم إطلاقها في عام 2009. تختلف عن العملات التقليدية كونها لا تعتمد على وسيط مركزي مثل البنوك.

تعتمد البيتكوين على تكنولوجيا البلوكشين التي توفر الأمان والشفافية في المعاملات. هذه العملة باتت أحد أهم الابتكارات في مجال المال والتكنولوجيا، وأحدثت ثورة في عالم الاقتصاد العالمي

تعريف البيتكوين:

"البيتكوين Bitcoin هو عملة رقمية لامركزية لا تخضع لإدارة أو تحكم أي بنك مركزي أو حكومة. يتم تداولها إلكترونيا بين المستخدمين مباشرة من خلال شبكة البلوكشين."

- **العملات البديلة altcoins**

تُستخدم العملات البديلة لتمثيل مجموعة متنوعة من العملات المشفرة غير البيتكوين، حيث تعتبر منصات مبتكرة تهدف إلى تحسين أو تعديل بروتوكول البيتكوين. وبالرغم من توافر آلاف العملات البديلة، إلا أن كل منها تتميز بميزاتها الفريدة وحالات استخدامها المختلفة وآليات معاملاتها. من بين العملات البديلة الشائعة مثل:

Ethereum (ETH), Binance Coin (BNB), Solana (SOL), Cardano (ADA), Ripple (XRP)،

حيث تهدف العديد منها إلى تقديم حلول للتحديات الموجودة في البيتكوين، مثل تسريع عمليات المعاملات، أو تعزيز مستويات الأمان، أو تحسين نظام التعدين بشكل أكثر عدالة.

على الرغم من نجاح بعض العملات البديلة في جذب متابعة واسعة وتشكيل مجتمعات كبيرة، إلا أنها لم تصل بعد إلى مستوى الاعتراف والقبول الواسع النطاق الذي يتمتع به البيتكوين.

- **العملات المستقرة Stablecoins**

العملات المستقرة هي نوع خاص من العملات المشفرة مصممة لمكافحة التقلبات سيئة السمعة في سوق العملات المشفرة. وهي تحقق هذا الاستقرار من خلال ربط قيمتها باحتياطي من الأصول. يمكن أن تكون هذه الأصول عملة ورقية محددة مثل الدولار الأمريكي، أو سلة من العملات الورقية المختلفة، أو حتى أنواع أخرى من الأصول مثل الذهب.

من العملات المستقرة المعروفة:

- Tether (USDT)
- USD Coin (USDC)
- Binance USD (BUSD)

- **عملات الميم Memecoins**

هي نوع من العملات الرقمية التي تعتمد على روح الفكاهة أو الثقافة الشعبية، وعادة ما تكون مستوحاة من "ميمات" الإنترنت Internet memes أو موضوعات ساخرة. تكون هذه العملات في الغالب أقل جدية مقارنة بمشاريع العملات الرقمية الأخرى مثل Bitcoin أو Ethereum. تعرف هذه العملات بارتفاع قيمتها المفاجئ نتيجة تأثير المجتمعات أو الترويج الواسع على وسائل التواصل الاجتماعي، لكنها غالبا ما تكون عرضة للتقلبات الحادة.

مثال: Dogecoin (DOGE), Shiba Inu (SHIB), Pepe (PEPE), Floki (FLOKI), Bonk (BONK), Pudgy Penguins (PENGU).

إلى جانب هذه الأصناف المذكورة سابقا هناك أصناف أخرى تدخل ضمن العملات المشفرة مثل:

- **عملات الخصوصية**

هي فئة من العملات المشفرة المصممة لتوفير إخفاء هوية محسّن للمستخدمين. تستخدم تقنيات تشفير متقدمة لإخفاء تفاصيل المعاملات، مثل المرسل والمستلم والمبلغ، مما يضمن مستوى أعلى من الخصوصية مقارنة بمعظم العملات المشفرة الأخرى .أمثلة: **DASH, ZEC, XMR**

- **رموز DeFi**

رموز DeFi (التمويل اللامركزي) هي العمود الفقري للمنصات المالية اللامركزية، مما يتيح للمستخدمين الوصول إلى مجموعة واسعة من الخدمات المالية مثل الإقراض والاقتراض والتداول والتخزين دون وسطاء تقليديين مثل البنوك أو السماسرة. غالبا ما تعمل هذه الرموز كأدوات حوكمة أو آليات مكافأة داخل بروتوكولات DeFi. أمثلة: **Uniswap (UNI) ،Aave (AAVE)**

- **الرموز غير القابلة للاستبدال(NFTs)**

هي أصول رقمية فريدة تمثل ملكية عنصر أو جزء من المحتوى أو أصل معين، يتم التحقق منها من خلال تقنية blockchain. على عكس العملات المشفرة مثل Bitcoin أو Ethereum، والتي يمكن استبدالها (تبادلها)، فإن NFTs فريدة من نوعها ولا يمكن استبدالها على أساس واحد لواحد مقابل NFT آخر حيث أن كل منها مميز عن الآخر وقيمتها محددة للعنصر الرقمي أو المادي الفريد الذي تمثله. أمثلة:

- **CryptoPunks** و هي 10.000 شخصية قابلة للتجميع تم إنشاؤها خوارزميا، وغالبا ما يتم بيعها بملايين الدولارات في المزادات.
- **Bored Ape Yacht Club (BAYC)** مجموعة من NFTs فريدة من نوعها لقردة كرتونية تمنح حامليها مزايا العضوية، بما في ذلك الوصول إلى الأحداث والمجتمعات الحصرية.

6. دور العملات المشفرة في النظام المالي العالمي

العملات المشفرة تشغل عدة أدوار متوازية في الاقتصاد العالمي، كما تحلل دراسة: (Bis, 2018)

- **كأصل استثماري:**

- **تنويع المحافظ** :ارتباط منخفض مع الأصول التقليدية
- **تحوط ضد التضخم** :خاصة في الاقتصادات ذات التضخم المرتفع
- **إمكانية نمو عالية** :مع مخاطر أعلى

- **كوسيط للتبادل:**

- **تحويلات دولية** :تكاليف أقل وسرعة أعلى
- **دفعات صغيرة** :ممكنة بفضل انقسام الوحدات
- **دفعات عبر الحدود** :دون حاجة للوساطة البنكية

- **كمخزن للقيمة:**

- **الندرة المبرمجة** :عرض محدود في بعض العملات
- **مقاومة المصادرة** :صعوبة تجميد أو مصادرة الأصول
- **الاستقلالية** :عدم الارتباط بالسياسات الحكومية

7. الآثار على الاقتصاد الكلي

كما يحلل(Catalini & Gans, 2020) ، فإن للعملات المشفرة آثاراً اقتصادية كبرى:

- **على الاستقرار المالي:**

- **مخاطر جديدة** :تقلبات سعرية، مخاطر تشغيلية

- **فوائد محتملة :**تنويع النظام المالي
- **تحديات تنظيمية :**صعوبة تنظيم أنظمة لامركزية

- **على النمو الاقتصادي:**

- **الابتكار التمويلي :**نماذج أعمال جديدة
- **الشمول المالي :**وصول الخدمات للمحرومين
- **الكفاءة الاقتصادية :**تخفيض تكاليف المعاملات

- **على التجارة الدولية:**

- **تسهيل المدفوعات عبر الحدود :**تخفيض التكاليف والوقت
- **تحدي سياسات رأس المال :**صعوبة فرض قيود
- **تأثير على أسعار الصرف :**في بعض الأسواق الناشئة

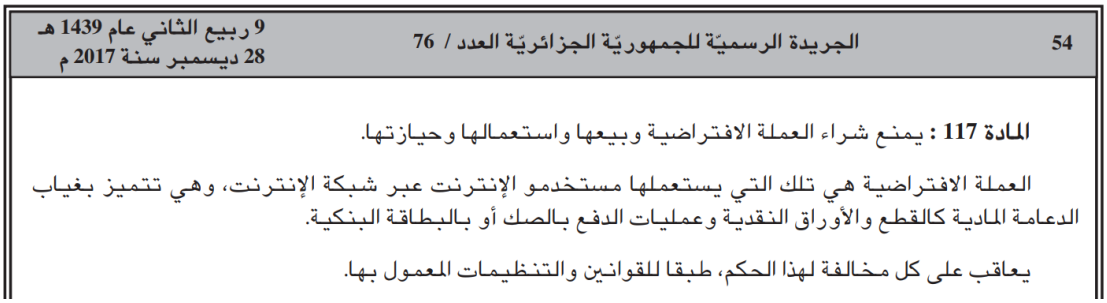
8. الوضعية القانونية للعملات المشفرة في الجزائر:

تتسم الوضعية القانونية للعملات المشفرة في الجزائر بوجود **نصين قانونيين** ، مما يستدعي فهم التسلسل الزمني وقواعد تدرج القوانين.

- **مرحلة الحظر المبدئي(2017-2018)**

- قانون المالية لسنة **2018**المنشور بالجريدة الرسمية رقم 76 في 28 ديسمبر 2017.
- **النص :المادة 117** التي تنص صراحةً على" **:يمنع شراء العملة الافتراضية وبيعها واستعمالها وحيازتها".**

- **التعريف :**عرّفت المادة العملة الافتراضية بأنها تلك المستعملة عبر الإنترنت والتي تفتقر إلى دعامة مادية (أوراق نقدية، قطع، صكوك، بطاقات بنكية). وهذا التعريف يشمل العملات المشفرة (مثل البيتكوين).
- **النتيجة :**منذ مطلع 2018، أصبحت جميع معاملات العملات المشفرة **محظورة بموجب القانون**.



54 الجريدة الرسميّة للجمهوريّة الجزائريّة العدد / 76 — 9 ربيع الثاني عام 1439 هـ / 28 ديسمبر سنة 2017 م

المادة 117 : يمنع شراء العملة الافتراضية وبيعها واستعمالها وحيازتها.

العملة الافتراضية هي تلك التي يستعملها مستخدمو الإنترنت عبر شبكة الإنترنت، وهي تتميز بغياب الدعامة المادية كالقطع والأوراق النقدية وعمليات الدفع بالصك أو بالبطاقة البنكية.

يعاقب على كل مخالفة لهذا الحكم، طبقا للقوانين والتنظيمات المعمول بها.

- **مرحلة تعزيز وتوسيع الحظر(2025)**

- قانون رقم **25-10**مؤرخ في **24يوليو 2025**، المعدل لقانون الوقاية من تبييض الأموال وتمويل الإرهاب (قانون 01-05 لسنة 2005).
- **النص :**أدخل **المادة 6 مكرر** التي وسعت نطاق الحظر بشكل كبير.
- **نطاق الحظر الجديد :**لم يقتصر على مجرد الشراء والبيع والحيازة، بل شمل:
  - **الإصدار** أو **التعدين**.
  - **الترويج** لها.
  - **إنشاء أو تشغيل منصات تداول**.
  - **استعمالها كوسيلة دفع (نفع)** أو **كأداة استثمار**.

قانون رقم 25-10 مؤرّخ في 28 محرّم عام 1447 الموافق 24 يوليو سنة 2025، يعدّل ويتمّم القانون رقم 05-01 المؤرّخ في 27 ذي الحجّة عام 1425 الموافق 6 فبراير سنة 2005 والمتعلق بالوقاية من تبييض الأموال وتمويل الإرهاب ومكافحتهما.

المادة 5 : يتمم القانون رقم 05-01 المؤرّخ في 27 ذي الحجّة عام 1425 الموافق 6 فبراير سنة 2005 والمذكور أعلاه، بمادة 6 مكرر تحرر كما يأتي :

"*المادة 6 مكرر* : يمنع إصدار الأصول الافتراضية أو شراؤها أو بيعها أو استعمالها أو حيازتها أو الاتجار فيها أو الترويج لها أو إنشاء أو تشغيل منصات لتداولها، والتي تعد ممتلكات أو عائدات أو أموالا أو أصولا أخرى، أو أي قيمة معادلة أخرى :

– كوسيلة دفع أو الاعتراف بها كعملة،

– كوسيلة استثمار.

يشمل المنع الأنشطة المتعلقة بتعدين العملات الافتراضية".

- **الهدف :**ربط الحظر صراحة بمكافحة **تبييض الأموال وتمويل الإرهاب**، مما يعطي السلطات **إطارا جزائيا أقوى للملاحقة.**

المحاضرة السادسة:

العقود الذكية (Smart contracts)

نعيش اليوم في لحظة تاريخية فريدة تشهد تحولاً جوهرياً في طبيعة العقود والاتفاقيات الاقتصادية. العقود الذكية تمثل أكثر من مجرد تطور تقني، فهي تجسيد لفلسفة اقتصادية جديدة تعيد تعريف كيفية تنظيم الثقة والتبادل في المجتمع الرقمي. لقد انتقلنا من عقود الطين في بلاد ما بين الرافدين، إلى العقود الورقية في عصر النهضة، وصولا إلى العقود الرقمية في عصر المعلومات. اليوم، نحن على أعتاب عصر العقود الذكية القائمة على البرمجة والتنفيذ التلقائي.

إن الهدف الأساسي للعقود الذكية هو تلبية شروط التعاقدية بشكل آلي، وتقليل الحاجة إلى الوساطة الموثوقة، وبالتالي تقليل تكاليف المعاملات. هذا الرؤية أصبحت الآن واقعا ملموسا يغير قواعد اللعبة الاقتصادية على مستوى العالم.

1. تاريخ العقود الذكية: من الفكرة النظرية إلى الثورة العملية

- **البدايات النظرية(1994-2008)**

تعود جذور مفهوم العقود الذكية إلى عام 1994 عندما قدم Szabo الفكرة لأول مرة في مقالته الرائدة. تصوره لعالم يمكن فيه تنفيذ العقود تلقائيا بواسطة الحواسيب، مما يقلل الحاجة إلى المحاكم والوسطاء. لكن هذا بقي نظري بحت لسنوات عديدة، حيث افتقرت إلى البيئة التقنية المناسبة للتنفيذ(Szabo, 1997) .

- **الولادة الفعلية(2009-2014)**

مع ظهور البيتكوين في عام 2009، أصبحت الفكرة قابلة للتطبيق عمليا. قدم Satoshi Nakamoto أول تطبيق عملي للعقود الذكية البسيطة من خلال لغة البرمجة Script في البيتكوين. لكن التقدم الحقيقي جاء

مع إطلاق إيثيريوم في عام 2014، حيث قدم Vitalik Buterin آلة إيثيريوم الافتراضية التي مكنت من إنشاء عقود ذكية معقدة وقابلة للبرمجة بالكامل(Buterin, 2014) .

- **النمو والتطور (2015-الآن)**

شهدت الفترة من 2015 إلى 2020 نموا هائلا في تطبيقات العقود الذكية، بدءا من التمويل اللامركزي ووصولا إلى إدارة سلسلة التوريد. اليوم، نشهد مرحلة النضج حيث تتكامل العقود الذكية مع الأنظمة الاقتصادية التقليدية وتتطور لتصبح أكثر أماناً وكفاءة وقابلية للتوسع(Cong & He, 2019) .

2. التعريف: جوهر العقد الذكي

العقد الذكي هو بروتوكول حاسوبي ينفذ شروط اتفاقية تلقائيا عند استيفاء شروط محددة مسبقا. لكن هذا التعريف البسيط يخفي وراءه تحولا فلسفيا عميقا. العقود الذكية لا تقوم فقط بأتمتة المهام، بل تعيد هندسة مفهوم الثقة نفسها في العلاقات الاقتصادية.

من الناحية التقنية، يتكون العقد الذكي من ثلاثة عناصر أساسية: أولا، الشروط المبرمجة التي تحدد متطلبات التنفيذ. ثانيا، الإجراءات التي يتم تنفيذها عند استيفاء الشروط. ثالثا، النتائج النهائية التي تحدث بعد التنفيذ. هذه المكونات تعمل معا في نظام موزع لا مركزي، حيث يكون التنفيذ مضمونا رياضيا ولا يمكن عكسه أو تغييره(Wright & De Filippi, 2018).

تعريف العقود الذكية:

العقود الذكية هي برامج رقمية تُنفذ ذاتيا عند تلبية شروط معينة، وهي تعتبر جزءا من تقنية البلوكشين. تسهل هذه العقود المعاملات بين الأطراف المختلفة بدون الحاجة إلى وسيط. فهي تجمع بين العناصر القانونية والتقنية لتوفير طريقة موثوقة وأوتوماتيكية لتنفيذ الاتفاقيات.

الفرق بينها و بين العقود التقليدية هو أن:

- العقود التقليدية: تحتاج إلى أطراف ثالثة (محامين، الموثقين، مؤسسات مالية،...) لتوثيقها وتنفيذها، مما يزيد التكاليف ويطيل الزمن المطلوب لإتمام المعاملات.
- العقود الذكية: تعتمد على البرمجيات لتنفيذ الشروط دون تدخل بشري، مما يوفر الكفاءة والشفافية.

تقوم العقود الذكية أساسا على تكنولوجيا داعمة متمثلة في :

- **تقنية البلوكشين بالعقود الذكية** مبنية على تقنية البلوكشين و التي تدعم تسجيل وتوثيق جميع المعاملات بطريقة آمنة وغير قابلة للتغيير و بشكل دائم.
- **العملات الرقمية**: تستخدم العملات الرقمية كوسيلة لتنفيذ المدفوعات المرتبطة بالعقود الذكية. أشهر الأمثلة: استخدام عملة الإيثر Ether على شبكة Ethereum لتنفيذ العقود الذكية.

3. كيفية انشاء العقود الذكية:

- **مرحلة التصميم والتحليل**

تبدأ عملية إنشاء العقد الذكي بمرحلة تحليل دقيقة للمتطلبات والاحتياجات. في هذه المرحلة، يجب تحديد الشروط بدقة، وفهم التفاعلات بين الأطراف المختلفة، وتحليل المخاطر المحتملة. يتطلب هذا فهماً عميقاً لكل من المجال الاقتصادي المستهدف والتقنيات المتاحة (Wohrer & Zdun, 2018) .

- **مرحلة البرمجة والتطوير**

تستخدم العقود الذكية لغات برمجة متخصصة مثل Solidity لسلسلة إيثيريوم، أو Rust لسلسلة سولانا. تتميز هذه اللغات بميزات أمنية خاصة تهدف إلى منع الأخطاء الشائعة في العقود الذكية. عملية البرمجة تتطلب دقة عالية، حيث أن أي خطأ بسيط يمكن أن يؤدي إلى خسائر مالية كبيرة (Atzei, Bartoletti, & Cimoli, 2017).

- **مرحلة الاختبار والتدقيق**

قبل نشر العقد الذكي على الشبكة الرئيسية، يمر بمراحل اختبار مكثفة. يتم اختبار العقد في بيئات اختبار مثل شبكات Testnet ، ويخضع لتدقيق أمني متخصص من قبل شركات متخصصة في أمن البلوكشين. هذه المرحلة حاسمة للغاية، حيث أن العقود المنشورة لا يمكن تعديلها بسهولة.

- **مرحلة النشر والتشغيل**

بعد الانتهاء من الاختبار، يتم نشر العقد الذكي على شبكة البلوكشين. يصبح العقد في هذه المرحلة جزءاً من السلسلة ولا يمكن تغييره إلا بإجراءات معقدة. يبدأ العقد في تلقي المعاملات وتنفيذ الشروط المبرمجة تلقائياً.

4. دورالعقود الذكية في الاقتصاد الحديث

- **إعادة هندسة الثقة الاقتصادية**

تمثل العقود الذكية نقلة نوعية في كيفية بناء الثقة في النظام الاقتصادي. بدلا من الاعتماد على المؤسسات الوسيطة مثل البنوك والشركات القانونية، تنتقل الثقة إلى الشفرة البرمجية والرياضيات. هذا التحول يخلق نظاما أكثر كفاءة وأقل تكلفة، حيث يتم استبدال تكاليف الوكالة وتكاليف التحقق بتكاليف برمجة وتنفيذ.

- **تحويل هياكل السوق**

تعمل العقود الذكية على تحويل هياكل السوق من خلال تمكين نماذج اقتصادية جديدة كانت غير مجدية سابقا. على سبيل المثال، الاقتصاد التشاركي يصبح أكثر كفاءة من خلال أتمتة عمليات المشاركة والدفع. الأسواق اللامركزية تمكن من التداول المباشر بين الأطراف دون الحاجة إلى وسيط مركزي.

- **تأثير على الكفاءة الاقتصادية**

تشير الدراسات إلى أن العقود الذكية يمكن أن تخفض تكاليف المعاملات بنسبة تصل إلى 90% مقارنة بالأنظمة التقليدية. هذا التخفيض يأتي من عدة مصادر: إزالة الوسطاء، أتمتة العمليات الإدارية، تقليل النزاعات القانونية، وتحسين الشفافية. هذه الكفاءة المحسّنة تنعكس إيجابا على النمو الاقتصادي والابتكار.

- **زيادة الشفافية المالية**

من أهم المساهمات التي تقدمها العقود الذكية للاقتصاد الحديث هي توفير سجل علني يمكن التحقق منه لجميع المعاملات. هذه الشفافية غير المسبوقة تمثل نقلة نوعية في كيفية تتبع وتدقيق الأنشطة الاقتصادية. فبدلا من السجلات المغلقة والمتفرقة في الأنظمة التقليدية، توفر العقود الذكية دفتر أستاذ موزع يمكن لأي طرف

معني الوصول إليه والتحقق منه. هذه الشفافية تخلق بيئة اقتصادية أكثر عدالة وكفاءة، حيث يمكن للمشاركين في السوق اتخاذ قرارات مستنيرة بناء على معلومات كاملة ودقيقة.

- **تعزيز الأمان الاقتصادي**

الأمان الذي توفره العقود الذكية يمثل ركيزة أساسية في الاقتصاد الحديث. صعوبة التلاعب أو الاختراق في أنظمة العقود الذكية تنبع من طبيعتها التشفيرية المتقدمة وهيكلها الموزع. كل معاملة تتم عبر العقود الذكية مشفرة بشكل رياضي وتخزن في كتل مرتبطة تشفيريا، مما يجعل تغييرها أو تزويرها مهمة شبه مستحيلة من الناحية العملية. هذا المستوى العالي من الأمان يحمي النظام الاقتصادي من عمليات الاحتيال والفساد، ويبني ثقة المستثمرين والمشاركين في السوق(Howell, Niessner, & Yermack, 2020).

5. التطبيقات العملية:

- **القطاع المالي والبنكي**

في القطاع المالي، تشكل العقود الذكية أساس التمويل اللامركزي (DeFi) الذي يشهد نموا هائلا. منصات مثل Uniswap تمكن من التداول اللامركزي، بينما تقدم منصات مثل Aave خدمات الإقراض والاقتراض بدون وسيط. تعمل هذه المنطق على تخفيض التكاليف وزيادة الشفافية في النظام المالي(Harvey, Ramachandran, & Santoro, 2021).

- **إدارة سلسلة التوريد**

تستخدم الشركات العقود الذكية لتحسين كفاءة سلسلة التوريد. على سبيل المثال، يمكن برمجة عقد ذكي لدفع ثمن البضائع تلقائيا عند وصولها إلى المستودع، أو لتتبع المنتجات من المصنع إلى المستهلك النهائي. هذا يحسن الشفافية ويقلل التكاليف الإدارية.

- **العقارات والأملاك**

في مجال العقارات، تمكن العقود الذكية من أتمتة عمليات البيع والإيجار. يمكن برمجة عقد ذكي لنقل ملكية العقار تلقائيا عند استلام الدفع، أو لتحصيل الإيجار بشكل دوري. هذا يقلل الحاجة إلى الوسطاء العقاريين والمحامين.

- **الرعاية الصحية**

في القطاع الصحي، تمكن العقود الذكية من إدارة السجلات الطبية بشكل آمن وفعال. يمكن للمرضى التحكم في من يصل إلى بياناتهم الطبية وفي أي ظروف، كما يمكن استخدام العقود الذكية لإدارة عمليات البحث العلمي والمشاركة في التجارب السريرية.

- **الحكومة الإلكترونية**

تستخدم الحكومات العقود الذكية لتحسين كفاءة الخدمات العامة. يمكن برمجة عقود ذكية لإدارة أنظمة التصويت الإلكتروني، أو تحصيل الضرائب والرسوم، أو إدارة السجلات العامة مثل سجلات الأراضي والممتلكات(Ølnes & Jansen, 2017).

6. الفوائد والمزايا:

- **الكفاءة التشغيلية**

توفر العقود الذكية كفاءة تشغيلية غير مسبوقة من خلال أتمتة العمليات اليدوية والمتكررة. وقت التنفيذ ينخفض من أيام أو أسابيع في الأنظمة التقليدية إلى دقائق أو حتى ثوان في الأنظمة الذكية. التكاليف الإدارية تنخفض بشكل كبير نتيجة لإزالة الوسطاء وتقليل الأخطاء البشرية(Tapscott & Tapscott, 2019).

- **الشفافية والثقة**

تمنح العقود الذكية شفافية كاملة حيث يمكن لكل الأطراف رؤية نفس المعلومات والتحقق من تنفيذ الشروط. هذه الشفافية تبني الثقة بين الأطراف وتقلل من مخاطر النزاعات والمنازعات. كل معاملة مسجلة بشكل دائم وغير قابل للتغيير، مما يمكن من التدقيق الكامل(Catalini & Gans, 2020).

- **الأمان والمقاومة**

تتميز العقود الذكية بمستوى عالٍ من الأمان والمقاومة للتلاعب. بمجرد نشر العقد على الشبكة، يصبح من المستحيل عملياً تغييره أو إيقافه. هذا يخلق بيئة آمنة للمعاملات المالية والعقود الهامة.

- **الابتكار والمرونة**

تمكن العقود الذكية من إنشاء نماذج أعمال وتطبيقات جديدة لم تكن ممكنة سابقاً. المرونة في البرمجة تسمح بتصميم عقود تلبي احتياجات محددة بدقة، مما يفتح آفاقاً جديدة للابتكار في مختلف القطاعات الاقتصادية.

7. التحديات والمخاطر

- **التحديات التقنية**

تواجه العقود الذكية تحديات تقنية كبيرة أبرزها مشكلة قابلية التوسع. الشبكات الحالية تواجه قيودا في عدد المعاملات التي يمكن معالجتها في الثانية. التحدي التقني الآخر يتمثل في مشكلة Oracle ، أو كيفية الحصول على بيانات خارجية موثوقة لتنفيذ شروط العقود.

- **المخاطر الأمنية**

التاريخ يظهر عدة حالات خسائر كبيرة نتيجة أخطاء في العقود الذكية. أي خطأ برمجي، مهما كان صغيرا، يمكن أن يستغل للقيام بهجمات تؤدي إلى خسائر مالية كبيرة. هذا يتطلب مستوى عاليا من الخبرة والدقة في البرمجة والاختبار.

- **التحديات القانونية**

يواجه الاعتراف القانوني بالعقود الذكية تحديات كبيرة في معظم الدول. الأنظمة القانونية التقليدية تعتمد على مفاهيم يصعب تطبيقها في العقود المبرمجة. كما توجد تحديات في تحديد الاختصاص القضائي في حالة النزاعات.

- **المخاطر الاقتصادية**

توجد مخاطر اقتصادية مرتبطة بتركيز القوة والثروة. قد تؤدي العقود الذكية إلى مركزية الثروة في أيدي المبرمجين والمطورين، كما قد تخلق حواجز دخول عالية للشركات الصغيرة والمتوسطة.

- **التحديات الثقافية**

تمثل قلة الوعي حول استخدام العقود الذكية تحديا ثقافيا وعمليا كبيرا. فمعظم الأشخاص والشركات التقليدية لا تزال تفتقر إلى الفهم الكافي لكيفية عمل هذه التقنية ومزاياها العملية. هذه الفجوة المعرفية تخلق حاجزا نفسيا يمنع التبني الواسع للعقود الذكية.

- **مشكلة الشروط الغامضة**

تعتبر مشكلة الشروط الغامضة واحدة من أهم التحديات التي تواجه العقود الذكية، خاصة عند مقارنتها بالعقود التقليدية. ففي العقود التقليدية، يمكن للغة القانونية أن تكون مرنة وتسمح بالتفسير البشري الذي

يأخذ في الاعتبار السياق والنوايا. بينما في العقود الذكية، يجب أن تكون الشروط دقيقة ومحددة رياضيا، مما قد يؤدي إلى غموض في التطبيق العملي. على سبيل المثال، مصطلح مثل "التسليم في الوقت المناسب" يمكن تفسيره بمرونة في العقد التقليدي، لكنه يتطلب تعريفا رياضيا دقيقا في العقد الذكي. هذا الغموض المحتمل يمكن أن يؤدي إلى عقود غير عادلة أو تنفيذ غير مرن لا يأخذ في الاعتبار الظروف الطارئة أو السياقات الخاصة (Swan, 2015).

"العقود الذكية ليست مجرد أداة تقنية، بل هي تجسيد لتحول اقتصادي ومؤسسي عميق. إنها تمثل الانتقال من الاقتصاد القائم على الثقة في الأشخاص والمؤسسات إلى الاقتصاد القائم على الثقة في الرياضيات والبرمجة. هذا التحول يحمل وعودا كبيرة بتحسين الكفاءة الاقتصادية وتمكين نماذج جديدة للتعاون والابتكار. لكن الطريق إلى هذا المستقبل ليس خاليا من التحديات. يجب التغلب على العقبات التقنية، وتطوير أطر تنظيمية متوازنة، وبناء أنظمة تعليمية تلبي احتياجات الاقتصاد الجديد. النجاح في هذه المهمة سيتطلب تعاوناً بين المطورين والاقتصاديين والمشرعين والمجتمع ككل"

المحاضرة السابعة:

تطبيقات البلوكشين

نعيش في عصر يشهد تحولا جوهريا في كيفية تنظيم النشاط الاقتصادي والاجتماعي. تقنية البلوكشين، التي بدأت كأساس للبيتكوين، تطورت لتصبح بنية تحتية تكنولوجية قادرة على تحويل قطاعات اقتصادية بأكملها. كما يوضح (Tapscott & Tapscott, 2019) ، فإن البلوكشين يمثل "بروتوكول الثقة" الذي يعيد تعريف كيفية تفاعل الأفراد والمؤسسات في العالم الرقمي.

تهدف هذه المحاضرة إلى استكشاف التطبيقات العملية للبلوكشين عبر قطاعات متنوعة، من التتبع الدقيق للسلع إلى إدارة الهوية الرقمية، ومن أنظمة التصويت الآمنة إلى تحويل قطاع التأمين. كل تطبيق يمثل حالة دراسة في كيفية استخدام التقنيات اللامركزية لمعالجة تحديات اقتصادية ومؤسسية قائمة.

1. التتبع - (Traçabilité) ثورة في إدارة سلسلة القيمة

يمثل التتبع الدقيق للسلع والمنتجات تحديا اقتصاديا كبيرا للعديد من الصناعات. تقليديا، تعتمد أنظمة التتبع على سجلات مركزية معرضة للخطأ والتلاعب، مما يؤدي إلى خسائر اقتصادية كبيرة وتحديات في إدارة الجودة. البلوكشين يقدم حلا ثوريا لهذه المشكلة من خلال توفير سجل موزع غير قابل للتغيير لتتبع حركة المنتجات من نقطة المنشأ إلى المستهلك النهائي.

شركة Walmart ، على سبيل المثال، نفذت نظاما قائما على البلوكشين لتتبع المنتجات الغذائية. كما توضح دراسة (Kshetri, 2018) ، فإن هذا النظام خفض وقت تتبع مصادر التلوث في المنتجات الغذائية من 7 أيام إلى 2.2 ثانية فقط. هذا التحسن في الكفاءة لا يحسن فقط سلامة الغذاء، بل يخفض التكاليف التشغيلية ويحسن تجربة المستهلك.

- **التطبيقات العملية والفوائد الاقتصادية**

في قطاع السلع الفاخرة، تستخدم شركات مثل LVMH البلوكشين لمكافحة المنتجات المقلدة. كل قطعة تُسجل على السلسلة مع معلومات مفصلة عن المواد والتصنيع والتوزيع. هذا النظام يخلق قيمة اقتصادية مضافة للمنتجات الأصلية ويحمي سمعة العلامات التجارية.

القطاع الصيدلاني يستفيد بشكل خاص من تطبيقات التتبع القائمة على البلوكشين. تتبع الأدوية من المختبر إلى الصيدلية يضمن جودة المنتج ويمنع تداول الأدوية المقلدة، مما ينقذ أرواحا ويوفر مليارات الدولارات من الخسائر الاقتصادية.

2. الهوية الرقمية - إعادة تعريف مفهوم الهوية

تمثل إدارة الهوية الرقمية تحديا مؤسسيا واقتصاديا كبيرا في العالم الرقمي. أنظمة الهوية المركزية التقليدية تعاني من مشاكل أمنية وتكلفة عالية وعدم كفاءة. دراسة (World Bank, 2017) تشير إلى أن حوالي مليار شخص حول العالم لا يملكون هوية رسمية، مما يحرمهم من الوصول إلى الخدمات المالية والتعليمية الأساسية.

البلوكشين يقدم نموذجا جديدا للهوية الرقمية اللامركزية، حيث يتحكم الأفراد في هوياتهم الرقمية بدلا من المؤسسات المركزية. هذا النموذج، كما يشرح (Ølnes & Jansen, 2017) ، يخفض تكاليف إدارة الهوية بنسبة تصل إلى 80% ويحسن الأمان والخصوصية.

- **التطبيقات العملية والآثار الاقتصادية**

حكومة إستونيا رائدة في تطبيق الهوية الرقمية القائمة على البلوكشين. المواطنون الإستونيون يستخدمون هوياتهم الرقمية للوصول إلى أكثر من 99% من الخدمات الحكومية عبر الإنترنت. هذا النظام خفض التكاليف الإدارية بشكل كبير وحسن كفاءة الخدمات العامة.

في القطاع المالي، تمكن هويات البلوكشين من تبسيط عمليات "اعرف عميلك (KYC) "وتقليل تكاليف الامتثال. الشركات يمكنها التحقق من هويات العملاء بشكل آمن وفعال، مما يخفض التكاليف ويحسن تجربة المستخدم.

3. التصويت الإلكتروني - تعزيز الديمقراطية الرقمية

تواجه الأنظمة الانتخابية التقليدية تحديات كبيرة تتعلق بالشفافية والأمان والتكلفة. التصويت الورقي مكلف وبطيء ومعرض للتلاعب، بينما أنظمة التصويت الإلكترونية المركزية تواجه مخاطر أمنية كبيرة. البلوكشين يقدم حلا مبتكرا لهذه التحديات من خلال إنشاء أنظمة تصويت شفافة وآمنة ويمكن التحقق منها.

كما يحلل(Draheim, Krimmer, & Tammet, 2021) ، فإن أنظمة التصويت القائمة على البلوكشين تقدم عدة مزايا: أولا، توفير سجل تصويت غير قابل للتغيير يمكن التحقق منه. ثانيا، تمكين التصويت عن بعد مع الحفاظ على سرية التصويت. ثالثا، تخفيض تكاليف إجراء الانتخابات بنسبة تصل إلى 60.%

- **التجارب الدولية والتطبيقات العملية**

تطبيق Voatz في الولايات المتحدة استخدم البلوكشين لتمكين الجنود الأمريكيين في الخارج من التصويت في الانتخابات. النظام وفر أمانا عاليا وشفافية، مع تقليل تكاليف التصويت عن بعد بشكل كبير.

في سويسرا، تجرب مدينة Zug نظام تصويت بلوكشين للاستفتاءات المحلية. هذا النظام يزيد مشاركة المواطنين ويخفض التكاليف الإدارية، كما يوضح دراسة الحالة التي أجرتها المدينة.

4. قطاع التأمين - إعادة هندسة إدارة المخاطر

يعد قطاع التأمين أحد أكثر القطاعات استفادة من تقنية البلوكشين. الأنظمة التقليدية تعاني من تعقيدات إدارية عالية وتكاليف معاملات كبيرة ومشاكل في الثقة بين الأطراف المختلفة. البلوكشين يمكن أن يحول هذا القطاع من خلال أتمتة عمليات المطالبات وتحسين إدارة المخاطر وزيادة الشفافية.

شركة AXA ، على سبيل المثال، أطلقت برنامج Fizzy الذي يستخدم العقود الذكية لتقديم تأمين ضد تأخر الرحلات الجوية. عند تأخر الرحلة لمدة ساعتين أو أكثر، يتم دفع التعويض تلقائيا دون حاجة لتقديم مطالبة. هذا النظام يحسن تجربة العملاء ويخفض التكاليف التشغيلية بنسبة 40%.

- **التطبيقات المتقدمة والابتكارات**

في مجال التأمين الصحي، تمكن العقود الذكية القائمة على البلوكشين من إدارة المطالبات بشكل آلي بناء على بيانات طبية موثقة. هذا يقلل الاحتيال ويحسن كفاءة معالجة المطالبات ويخفض التكاليف.

تأمين السيارات يستفيد أيضاً من تقنيات إنترنت الأشياء المدمجة مع البلوكشين. البيانات من أجهزة الاستشعار في السيارة يمكن أن تستخدم لتحديد أقساط التأمين بشكل ديناميكي بناء على سلوك القيادة الفعلي، مما يخلق نظاما أكثر عدالة وكفاءة.

5. سلسلة التوريد - (Supply Chain) تحسين الكفاءة التشغيلية

تمثل إدارة سلسلة التوريد العالمية تحدياً معقداً يشمل العديد من الأطراف عبر حدود جغرافية وقانونية متعددة. الأنظمة التقليدية تعاني من عدم الشفافية وارتفاع التكاليف وصعوبة التتبع. البلوكشين يقدم حلاً شاملاً لهذه التحديات من خلال توفير منصة موحدة لجميع الأطراف في السلسلة.

شركةMaersk ، أكبر شركة شحن بحري في العالم، تعاونت مع IBM لتطوير منصة TradeLens القائمة على البلوكشين. هذه المنصة، كما توضح دراسة الحالة التي أجرتها الشركة، خفضت وقت معالجة المستندات من 7-10 أيام إلى أقل من يوم واحد، وقللت التكاليف اللوجستية بنسبة 15-20.%

- **الفوائد الاقتصادية والمؤسسية**

الشفافية المحسنة في سلسلة التوريد تخفض مخاطر الاحتيال وتحسن جودة المنتجات. الشركات يمكنها تتبع المواد الخام من المصدر، مما يضمن الامتثال للمعايير البيئية والاجتماعية.

الكفاءة المحسنة تخفض التكاليف التشغيلية وتقلل الهدر. العقود الذكية يمكن أن تدفع تلقائياً عند استلام البضائع، مما يقلل التكاليف الإدارية ويحسن التدفق النقدي.

6. تطبيقات أخرى مبتكرة

- **الرعاية الصحية - تحويل إدارة البيانات الطبية**

يعاني القطاع الصحي من تحديات كبيرة في إدارة السجلات الطبية وتقاسم البيانات بين المؤسسات المختلفة. الأنظمة المركزية التقليدية مكلفة ومعرضة للاختراق وتفتقر إلى التوافقية. البلوكشين يقدم حلا آمنا وفعالا لإدارة السجلات الطبية الرقمية.

شركة Medicalchain تستخدم البلوكشين لتمكين المرضى من التحكم في سجلاتهم الطبية ومشاركتها مع مقدمي الخدمات الصحية المصرح لهم. هذا النظام يحسن جودة الرعاية ويخفض التكاليف الإدارية، كما تحلل دراسة(Mettler, 2016)

- **الطاقة - تمكين الاقتصاد الطاقي اللامركزي**

يشهد قطاع الطاقة تحولاً نحو اللامركزية مع نمو مصادر الطاقة المتجددة. البلوكشين يمكن أن يحول سوق الطاقة من خلال تمكين التداول المباشر للطاقة بين المنتجين والمستهلكين.

منصة Power Ledger في أستراليا تمكن الأسر التي لديها ألواح شمسية من بيع الطاقة الفائضة لجيرانهم مباشرةً. هذا النظام يحسن كفاءة استخدام الطاقة ويخفض التكاليف، كما توضح دراسة (Mengelkamp, Notheisen, Beer, Dauer, & Weinhardt, 2018)

- **الملكية الفكرية والإبداع - حماية الحقوق الرقمية**

تواجه صناعة المحتوى والإبداع تحديات كبيرة في حماية الحقوق الرقمية وإدارة الإتاوات. البلوكشين يمكن أن يحول هذا القطاع من خلال إنشاء سجلات غير قابلة للتغيير للملكية الفكرية.

منصة Mycelia لفنانة الموسيقى Imogen Heap تستخدم البلوكشين لإدارة حقوق الموسيقى وتوزيع الإتاوات بشكل عادل. هذا النظام يضمن حصول الفنانين على تعويض عادل لعملهم ويحسن الشفافية في الصناعة.

- **العقارات - تحويل سوق الأملاك**

سوق العقارات تقليدي ومعقد مع العديد من الوسطاء والتكاليف المرتفعة. البلوكشين يمكن أن يحول هذا القطاع من خلال أتمتة عمليات البيع والتأجير وإدارة الملكية.

في السويد، تجري اختبارات لنظام بلوكشين لتسجيل ملكية الأراضي. هذا النظام يخفض وقت نقل الملكية من أشهر إلى أيام، ويقلل التكاليف بشكل كبير، كما تحلل دراسة. (Casey & Wong, 2017)

7. التحديات والعقبات

- **التحديات التقنية والفنية**

تواجه تطبيقات البلوكشين تحديات تقنية كبيرة تتعلق بقابلية التوسع والأداء. الشبكات الحالية محدودة في عدد المعاملات التي يمكن معالجتها في الثانية، مما يقيد التطبيقات واسعة النطاق.

التحدي التقني الآخر يتمثل في قابلية التشغيل البيني بين سلاسل الكتل المختلفة. معظم تطبيقات البلوكشين تعمل في عزلة، مما يحد من فوائد الشبكة ويخلق تجزئة في السوق.

- **التحديات التنظيمية والقانونية**

يواجه تبني البلوكشين تحديات تنظيمية كبيرة في معظم الدول. الإطارات القانونية الحالية لم تصمم لتتناسب مع الطبيعة اللامركزية والمتعددة الاختصاصات لتقنية البلوكشين.

التحدي التنظيمي المتمثل في التوازن بين الابتكار والحماية يشكل عقبة كبيرة. التنظيم المفرط قد يخنق الابتكار، بينما التنظيم الضعيف قد يعرض المستهلكين والمشاركين في السوق للمخاطر.

- **التحديات الثقافية والتنظيمية**

تمثل المقاومة الثقافية والتنظيمية للتغيير تحديا كبيرا لتبني تطبيقات البلوكشين. المؤسسات التقليدية تميل إلى مقاومة التقنيات الجديدة التي تهدد نماذج أعمالها وهياكلها التنظيمية القائمة.

التحدي الثقافي المتمثل في بناء الثقة في التقنيات الجديدة يتطلب جهوداً تعليمية وتوعوية كبيرة. معظم الناس والمؤسسات لا يفهمون كيف تعمل تقنية البلوكشين، مما يخلق حاجزا نفسيا أمام التبني.

8. الفرص المستقبلية

- **الابتكار في نماذج الأعمال**

تفتح تقنية البلوكشين الباب أمام نماذج أعمال جديدة كانت غير ممكنة سابقاً. الاقتصاد التشاركي يصبح أكثر كفاءة وعدالة، حيث يمكن أتمتة عمليات المشاركة والدفع بشكل آمن وشفاف.

المنظمات اللامركزية الذاتية (DAOs) تمثل نموذجاً تنظيمياً جديداً يمكن أن يحول كيفية إدارة المشاريع والمؤسسات. هذه المنظمات تعمل بدون هيكل إداري مركزي، حيث تتخذ القرارات وتنفذها تلقائياً من خلال العقود الذكية.

- **التحول الرقمي المتكامل**

المستقبل سيشهد تكاملاً أعمق بين تقنية البلوكشين والتقنيات الناشئة الأخرى مثل الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء. هذا التكامل سيخلق أنظمة ذكية ومترابطة قادرة على إدارة العمليات الاقتصادية والاجتماعية المعقدة بشكل آلي وفعال.

التطبيقات الهجينة التي تجمع بين الميزات المركزية واللامركزية ستمكن من تحقيق التوازن بين الكفاءة والتحكم من ناحية، والشفافية والمرونة من ناحية أخرى.

- **التأثير على التنمية المستدامة**

تقدم تقنية البلوكشين فرصاً كبيرة لدعم أهداف التنمية المستدامة. التطبيقات في مجالات مثل الشمول المالي وإدارة سلسلة التوريد المستدامة والطاقة المتجددة يمكن أن تساهم بشكل كبير في تحقيق هذه الأهداف.

الشفافية والمساءلة التي توفرها تقنية البلوكشين يمكن أن تحسن الحوكمة والتنمية في البلدان النامية، حيث توفر أدوات فعالة لمكافحة الفساد وتحسين تقديم الخدمات العامة.

الرحلة نحو التبني الواسع لتطبيقات البلوكشين ستكون طويلة ومعقدة، مليئة بالتحديات والعقبات. لكن الفرص والفوائد المحتملة كبيرة جداً بحيث لا يمكن تجاهلها. تحسين الكفاءة الاقتصادية، وزيادة الشفافية، وتمكين النماذج الجديدة للتعاون والابتكار - كل هذه الفوائد تجعل الاستثمار في تطوير وتبني هذه التقنيات استثماراً ضرورياً للمستقبل.

المحاضرة الثامنة:

مخاطر وتحديات البلوكشين

يعتبر تحليل المخاطر والتكاليف والفوائد أمرا جوهريا في أي قرار اقتصادي. تكنولوجيا البلوكشين، رغم وعودها بتحويل الأنظمة المالية والاقتصادية، لا تخلو من تحديات جوهرية تمس صميم الاقتصاد: الاستقرار المالي، وحوكمة الأسواق، وكفاءة تخصيص الموارد، والآثار الخارجية السلبية. تهدف هذه المحاضرة إلى فحص هذه التحديات من عدسة اقتصادية وتحليلية، لتفادي الترويج غير النقدي للتكنولوجيا وبناء فهم متوازن لمستقبلها.

1 .التحديات الأمنية والاستقرار المالي

ترتبط المخاطر الأمنية في البلوكشين مباشرة بمخاطر النظام المالي وفقدان الثقة. فشل النظام الأمني لا يعني مجرد خسارة فردية، بل قد يؤدي إلى تأثيرات منتظمة (Systemic Risks) ، خاصة مع ازدياد الترابط بين النظام المالي التقليدي والأصول المشفرة.

أبرز هذه المخاطر تشمل ما يعرف " هجمات 51%" التي قد تهدم ثقة المستثمرين في سلسلة كاملة، كما حدث مع بعض سلاسل البلوكشين الصغيرة .(Fanti et al., 2019) بالإضافة إلى ذلك، تشكل ثغرات العقود الذكية، كما في حالة اختراق منظمة "الداو" المستقلة (The DAO) عام 2016، خطرا على الأصول المغلقة فيها وقد تؤدي إلى خسائر فادحة دون وجود آلية تعويض مركزية واضحة.(Kaal, 2020) في العديد من شبكات إثبات الحصة، يتركز حق التصويت في أيدي عدد قليل من الحاملين الكبار، مما يهدد مبدأ اللامركزية.

تتحدى هذه الحوادث النموذج الاقتصادي القائم على "الثقة بالوسيط" وتستبدله بـ "الثقة في الكود"، مما يطرح أسئلة حول مسؤولية المطورين ومدى قدرة المستخدمين العاديين على تقييم المخاطر البرمجية المعقدة.

2 .المخاطر التنظيمية والمعايير والجوانب القانونية

يخلق الغموض التنظيمي حول الأصول الرقمية بيئة من عدم اليقين(Regulatory Uncertainty) ، وهو عدو رئيسي للاستثمار والابتكار على المدى الطويل. يتجلى هذا التحدي في عدة أوجه:

- تفاوت الأطر التنظيمية عالميا: بينما تتبنى دول مثل سويسرا والإمارات تنظيما تقدميا، تفرض دول أخرى مثل الصين حظرا كاملا، مما يخلق تحديات للشركات العالمية (Zetzsche, Arner, & Buckley, 2020)
- عدم وضوح المسؤولية القانونية: من المسؤول في حال اختراق منصة لا مركزية؟ المطورون؟ مشغلو العقد؟ هذا الغموض يثني المستثمرين المؤسسيين.

3 .المخاطر المرتبطة بالعوامل البشرية و السياسية

تعتبر المخاطر البشرية من أكبر الثغرات في أنظمة البلوكشين، حيث تنتقل المسؤولية الكاملة للمستخدم. تشمل هذه المخاطر:

- فقدان المفاتيح الخاصة: يقدر أن حوالي 20% من عملات البيتكوين الموجودة حاليا معطلة أو مفقودة بسبب فقدان المفاتيح الخاصة.
- هندسة اجتماعية واحتيال: تزايد هجمات التصيد (Phishing) التي تستهدف حافظات العملات المشفرة، حيث بلغت الخسائر العالمية من الاحتيال في العملات المشفرة 3.94 مليار دولار في 2023 وفقا لـ.Chainalysis

- خطأ المستخدم: المعاملات في البلوكشين غير قابلة للإلغاء، مما يجعل الأخطاء في إدخال العناوين خسائر دائمة.
- المخاطر الجيوسياسية: تسبب الحظر الصيني للعملات المشفرة في 2021 في صدمات كبيرة للسوق، مما يدل على حساسية القطاع للقرارات السياسية.

4 .تأمين العملات المشفرة والتخزين الآمن

- مقارنة الحفظ الساخن مقابل البارد: بينما توفر الحافظات الساخنة سيولة أكبر، فإنها أكثر عرضة للاختراق. تظهر الدراسات أن نسبة كبيرة من حوادث القرصنة كانت بسبب اختراق الحافظات الساخنة.
- تحديات التأمين: سوق تأمين العملات المشفرة لا يزال ناشئا، مع أقساط عالية وتغطية محدودة، مما يترك المستثمرين المؤسسيين والأفراد معرضين للمخاطر بشكل كبير.

5 .مخاطر التشفير والتحديات التقنية طويلة المدى

- التقدم في الحوسبة الكمومية: يشكل تطور الحواسيب الكمومية تهديدا وجوديا لخوارزميات التشفير الحالية المستخدمة في البلوكشين. تقدر الدراسات أن خوارزميات التوقيع الرقمي الحالية قد تصبح قابلة للكسر خلال عقد أو عقدين.
- ضعف المولدات العشوائية: الاعتماد على مولدات أرقام عشوائية ضعيفة في إنشاء المفاتيح قد يعرضها للاختراق.

6 .استهلاك الطاقة والأثر البيئي (التكاليف الخارجية السلبية)

يشكل الاستهلاك المرتفع للطاقة في آليات الإجماع القائمة على إثبات العمل (Proof of Work) مثار جدل اقتصادي وبيئي كبير. يمكن تحليل هذه القضية من منظور التكلفة الخارجية السلبية (Negative Externality).

فالطاقة المستهلكة في التعدين لها تكاليف بيئية واجتماعية (كزيادة الانبعاثات الكربونية) لا يتحملها بالكامل معدنو العملات، بل تتحملها المجتمع ككل .(Stoll et al., 2019) هذا يخلق إخفاقا في السوق (Market Failure)يتطلب تدخلا، إما عبر فرض ضرائب تصحيحية (Pigouvian Taxes) أو تشجيع التحول نحو آليات إجماع بديلة.

المحاضرة التاسعة:

تطوير تطبيقات البلوكشين

يأتي هذه المحاضرة في سياق استكمال الرؤية الشاملة حول البلوكشين، حيث ننتقل من المبادئ النظرية والنماذج الاقتصادية إلى الجانب العملي التطبيقي. كاقتصاديين، الغاية ليست تدريب الطلاب على البرمجة، بل تمكينهم من فهم العملية التطويرية كظاهرة اقتصادية وإدارية، وذلك لاتخاذ قرارات مستنيرة في مجالات الاستثمار، والتقييم، والتنظيم، وإدارة المشاريع القائمة على هذه التكنولوجيا.

1. طبيعة الأدوات المستخدمة في تطوير البلوكشين:

تختلف عملية بناء تطبيق على البلوكشين عن التطوير التقليدي بشكل أساسي. فهي تشبه بناء مدينة ذات قوانين ذاتية التنفيذ، وليس مجرد برنامج. تتطلب هذه العملية مجموعة من الأدوات المتخصصة التي لا تعمل فقط على كتابة الكود، بل على محاكاة عالم اقتصادي لامركزي بأكمله. هذه الأدوات هي بمثابة رأس المال التقني للمشروع، واختيارها يؤثر بشكل مباشر على الجدول الزمني، هيكل التكاليف، والمخاطر النهائية. يمكن تقسيم هذه الأدوات إلى فئات رئيسية، كل منها يلعب دوراً اقتصاديا محدداً.

(Antonopoulos & Wood, 2018)

- **بيئات التطوير المتكاملة:** تعمل مثل ورش التصميم الأولي. أداة مثلRemix IDE ، التي تعمل على المتصفح، تتيح اختبار فكرة عقد ذكي بتكلفة شبه معدومة وسرعة كبيرة. هذا يساهم في مرحلة "التحقق من صحة الفكرة" بأقل استثمار ممكن.
- **أطر العمل:** تشبه خطوط الإنتاج في المصانع. إطار عمل مثل Truffle Suite أو Hardhat ينظم عملية التطوير بأكملها، من كتابة الكود إلى اختباره ونشره. يؤدي استخدامها إلى خفض كبير في وقت التطوير (قد يصل إلى 40-60%)، مما يترجم مباشرة إلى توفير في التكاليف التشغيلية للفرق البرمجية.

- **أدوات الاختبار:** هي منطقة التجارب الآمنة قبل الإطلاق الفعلي. شبكات الاختبار مثل Goerli أو Ropsten، والمحاكيات المحلية مثل Ganache، تسمح باختبار التطبيق في بيئة تحاكي العالم الحقيقي دون مخاطر مالية حقيقية. الاستثمار في اختبار مكثف هنا هو صمام أمان اقتصادي؛ حيث أن خطأ برمجيا واحدا على الشبكة الرئيسية قد يتسبب في خسائر فادحة، بينما إصلاحه في مرحلة الاختبار يكلف جزءاً ضئيلاً.

2. برمجة العقود الذكية – هندسة الثقة والقيمة الاقتصادية

العقد الذكي ليس مجرد سطور برمجية، هو آلية لامركزية لإنشاء الثقة وتنفيذ الاتفاقيات ذاتيا. من منظور اقتصادي، هو منتج يقلل بشكل جذري من "تكاليف المعاملة" التي حددها رونالد كويس، وذلك عبر إزالة الحاجة إلى وسيط موثوق. عندما يتحول اتفاق مالي أو تجاري إلى عقد ذكي، فإنه يتحول من عملية عرضة للأخطاء البشرية والتأخير والنزاع، إلى عملية قابلة للتنبؤ، وآلية، وشفافة.(Buterin, 2014)

- **مكونات العقد الذكي وترجمتها الاقتصادية**

يمكن تفكيك العقد الذكي إلى مكونات:

- **متغيرات الحالة:** هي بيانات الملكية والقيم المخزنة على السلسلة إلى الأبد، مثل أرصدة الحسابات أو ملكية أصل رقمي. تمثل رأس المال الثابت للنظام.
- **الدوال:** هي العمليات المسموح بها، مثل "تحويل" أو "سحب". كل استدعاء لدالة يكلف رسوما للمعالجة. تصميم الدوال بكفاءة يؤثر مباشرة على التكلفة التشغيلية للتطبيق.
- **الأحداث:** هي إشعارات يتم بثها عند حدوث شيء مهم (مثل اكتمال بيع). تعمل كآلية محاسبة ومراجعة لامركزية، تخفض تكلفة التدقيق والتحقق.

- **الأمن السيبراني كمسألة بقاء اقتصادي**

في عالم العقود الذكية، يصبح الأمن السيبراني مسألة وجودية ومالية، وليس تقنية فقط. ثغرة أمنية في عقد تقليدي يمكن إصلاحها بترقيع برمجي. ثغرة في عقد ذكي منشور قد تؤدي إلى سرقة كافة الأموال المحتجزة فيه بشكل لا يمكن عكسه. لذلك، فإن الاستثمار في التدقيق الأمني الخارجي و الاختبار المكثف ليس رفاهية، بل هو عنصر أساسي في الميزانية، أشبه بشراء تأمين ضد الكوارث. تشمل المخاطر الشائعة هجمات "إعادة الدخول" التي تمكن المهاجم من سحب الأموال بشكل متكرر، أو "التجاوزات الحسابية" التي قد تؤدي إلى إنشاء أموال من العدم أو محوها.

- **لغات البرمجة وسوق المهارات**

اختيار لغة البرمجة مثل Solidity (الأكثر شيوعا) أو Vyper (التركيز على الأمان) له آثار على سوق العمل والتكلفة. تؤدي شيوع لغة ما إلى وجود مجتمع أكبر، وأدوات أكثر، ومطورين أكثر، مما يخفض متوسط تكاليف التوظيف. في المقابل، قد تقدم لغة أقل شيوعا مزايا أمنية تقلل من تكاليف التدقيق، لكنها قد تعني صعوبة أكبر في إيجاد المطورين المناسبين.

3. النشر على البلوكشين:

- **مرحلة ما قبل النشر: الاستثمار في تقليل المخاطر**

قبل النشر، تمر العملية بمراحل هي في جوهرها استثمار في تقليل المخاطر:

- **الاختبار الشامل:** يشمل اختبارات الوحدة للتأكد من عمل كل جزء، واختبارات التكامل للتأكد من تعاون الأجزاء معاً، واختبارات النظام لمحاكاة الاستخدام الحقيقي. كل خطأ يتم اكتشافه هنا يوفر آلاف الدولارات من الخسائر المحتملة.

- **التدقيق الأمني:** غالبا ما تقوم به شركات خارجية متخصصة. تكلفته (قد تكون باهضة في بعض الأحيان) هي مقابل تقييم مستقل لمخاطر قد تهدد رأس المال المستثمر بالكامل.
- **التوثيق:** توثيق الكود ووظائفه ليس للفنيين فقط، بل هو أصل معرفي يقلل من مخاطر الاعتماد على أفراد معينين ويسهل عملية الصيانة المستقبلية.

- **النشر الفعلي: اللحظة الفاصلة**

عملية النشر نفسها هي معاملة غير قابلة للتغيير. عند نشر عقد ذكي، يتم دفع رسوم لكتابة كوده بشكل دائم على السلسلة في عنوان ثابت. لا يمكن تعديل هذا الكود بعد النشر. هذه اللازمة التقنية (Immutability)هي مصدر القوة الرئيسي للبلوكشين (الثقة في قاعدة ثابتة)، وأيضاً أحد أكبر مخاطره الاقتصادية. أي خطأ، حتى لو طفيف، يبقى للأبد ما لم يتم تصميم العقد مسبقاً بآلية ترقية معقدة. لذلك، فإن قرار "النشر" هو قرار استراتيجي واقتصادي كبير(Destefanis et al., 2018).

- **ما بعد النشر: إدارة الأصل الرقمي الحي**

بعد النشر، يتحول العقد إلى أصل رقمي حي يتطلب إدارة مستمرة:

- **المراقبة:** باستخدام أدوات مثل Etherscan أو The Graph ، يجب مراقبة نشاط العقد، والكشف عن أي محاولات اختراق أو سلوك غير متوقع.
- **الصيانة:** حتى مع عدم إمكانية تغيير الكود الأساسي، قد تكون هناك حاجة لإدارة المفاتيح الخاصة بالعقد، أو ترقية النظام عبر نماذج معقدة مثل "نمط الوكالة."
- **التواصل:** غالباً ما يكون التطبيق جزءاً من نظام بيئي. التواصل الواضح مع المستخدمين حول التحديثات أو المشكلات يعد عنصراً حاسماً في الحفاظ على الثقة والقيمة.

- **مثال تطبيقي:**

لنأخذ مثالاً على نظام تصويت لامركزي لانتخابات جمعية تعاونية. يبدأ التحليل الاقتصادي بمقارنة التكاليف:

- النظام التقليدي: يتضمن تكاليف عالية للورق، العد اليدوي، الحراسة، والطعون المحتملة.
- النظام القائم على البلوكشين: تكاليفه مركزة في التطوير الأولي والتدقيق الأمني (قد تكون باهضة)، ولكن تكاليف التشغيل لكل جولة تصويت لاحقة تكون ضئيلة جدا. العائد لا يكون ماليا فقط، بل في شكل ثقة أعلى، مشاركة أوسع، ونتائج غير قابلة للطعن تقنيا.

الدروس المستفادة تشمل أن الجدوى لا تقاس فقط بالتوفير المباشر، بل أيضا بتحقيق قيم غير ملموسة مثل الشفافية والثقة، والتي بدورها يمكن أن تقلل من تكاليف النزاعات وترفع من قيمة المؤسسة ككل.

المحاضرة العاشرة:

تطوير تطبيقات البلوكشبن

تهدف هذه المحاضرة إلى استكشاف التأثيرات العميقة لتقنية البلوكشين على الأنظمة الاقتصادية والمالية. في ظل التحول الرقمي المتسارع، تظهر تقنية البلوكشين كأحد أهم الابتكارات المالية منذ ظهور الإنترنت نفسها. ستتناول هذه المحاضرة ثلاثة محاور رئيسية: تحول أنظمة الدفع التقليدية، تطور العملات المشفرة ونماذج التمويل الجديدة، وأخيراً تأثير العقود الذكية على الاقتصاد الحقيقي.

1. تحويل أنظمة الدفع والتحويلات المالية

تشهد الأنظمة المالية التقليدية تحولا جذريا تحت تأثير تقنية البلوكشين. تعمل أنظمة الدفع التقليدية على نموذج الوساطة، حيث تلعب البنوك والمؤسسات المالية دور الوسيط الموثوق بين الأطراف المتعاملة. هذا النموذج، رغم كفاءته النسبية، يعاني من عدة تحديات هيكلية تتمثل في ارتفاع التكاليف، بطء المعالجة، وصعوبة الوصول للفئات غير المتعاملين مع البنوك. تقدم تقنية البلوكشين بديلا لامركزياً يعمل على نموذج مباشر بين الأطراف، مما يقلل الاعتماد على الوسطاء ويخفض تكاليف المعاملات بشكل كبير.

يتمثل التحول الأكثر وضوحاً في مجال التحويلات المالية الدولية. تشير تقديرات البنك الدولي إلى أن العاملين المهاجرين يرسلون ما يقارب 600 مليار دولار سنويا إلى بلدانهم الأصلية، مع تكاليف وسيطة تصل إلى 7% في المتوسط .(World Bank, 2021) تقدم تقنية البلوكشين إمكانية خفض هذه التكاليف إلى أقل من 1% من خلال التحويلات المباشرة باستخدام العملات المستقرة المدعومة بالدولار مثل USDT و .USDCهذه العملات تجمع بين استقرار العملات التقليدية وكفاءة تقنية البلوكشين، مما يوفر وسيلة دفع أكثر فعالية.

تواجه هذه التحولات تحديات تنظيمية جسيمة. تحاول الحكومات والبنوك المركزية موازنة بين تشجيع الابتكار المالي وحماية النظام المالي من المخاطر الجديدة مثل غسل الأموال وتمويل الإرهاب. تشير دراسة أجراها

صندوق النقد الدولي إلى أن 80% من البنوك المركزية تدرس إصدار عملات رقمية خاصة بها كاستجابة لهذه التحولات (IMF, 2022). هذا الاتجاه نحو "العملات الرقمية للبنوك المركزية" يمثل محاولة للحفاظ على السيادة النقدية في مواجهة انتشار العملات الخاصة.

2. العملات المشفرة ونماذج التمويل الجديدة

- **تطور سوق العملات المشفرة**

يمثل ظهور البيتكوين في 2009 بداية ثورة في مفهوم النقود. كتب ناكاتومو ساتوشي في الورقة البيضاء للبيتكوين أن الهدف هو "نظام دفع إلكتروني يعتمد على إثبات العمل دون الاعتماد على وسيط موثوق " .(Nakamoto, 2008)تطور هذا المفهوم ليشمل أكثر من 20,000 عملة رقمية مختلفة، مع سوق إجمالي تجاوز 3 تريليون دولار.

يمكن تقسيم العملات المشفرة إلى ثلاث فئات رئيسية: عملات الدفع مثل البيتكوين التي تعمل كاحتياطي قيمة، عملات المنصات مثل الإثيريوم التي توفر بيئة للتطبيقات اللامركزية، والعملات المستقلة مثل Rippleالمصممة للتحويلات المؤسسية. كل فئة تخدم احتياجات اقتصادية مختلفة وتواجه تحديات مميزة في القبول والتنظيم.

- **نماذج التمويل الابتكارية**

برزت العروض الأولية للعملات (ICO) كظاهرة تمويلية ثورية بين 2017 و2018، حيث جمعت المشاريع ما يزيد عن 22 مليار دولار .(Howell et al., 2020) هذا النموذج أتاح للشركات الناشئة جمع التمويل مباشرة من الجمهور العالمي دون المرور بالقنوات التقليدية. لكن انتشار حالات الاحتيال والفشل التجاري سرعان ما كشف عن مخاطر هذا النموذج، حيث فشل 81% من مشاريع ICO في تحقيق أهدافها المعلنة. رداً على هذه المخاطر، تطورت نماذج تمويل أكثر تنظيماً مثل STO التي تقدم رموزاً أمنية تخضع للقوانين المالية التقليدية، وIEO التي تتم عبر منصات تبادل مرخصة. توضح هذه التطورات كيفية تكيف النماذج

الاقتصادية الجديدة مع المتطلبات التنظيمية القائمة، مما يشير إلى مسار اندماج تدريجي بين النظامين التقليدي والجديد

3. العقود الذكية وأمن المعاملات

تشكل العقود الذكية تحولا جذريا في المشهد الاقتصادي العالمي، حيث تعيد تعريف مفاهيم النقود، العقود، والثقة في المعاملات. بينما تقدم فرصاً هائلة لخفض التكاليف، زيادة الكفاءة، وتحسين الشمول المالي، فإنها تحمل أيضاً مخاطر وتحديات كبيرة تتطلب فهماً دقيقاً وإطاراً تنظيميا متوازنا.

- **ثورة العقود الذكية في الاقتصاد الرقمي**

تعمل العقود الذكية كبرامج ذاتية التنفيذ تقلل من الحاجة إلى الوسطاء في المعاملات الاقتصادية. يشير كاتاليني وجانز (2016) إلى أن العقود الذكية يمكن أن تخفض تكاليف المعاملات بنسبة 30-50% في العديد من القطاعات. هذا التخفيض يأتي من إزالة تكاليف الوساطة، تقليل وقت التنفيذ، والتقليل من مخاطر النزاعات.

في القطاع المالي، أدى ظهور العقود الذكية إلى بروز مفهوم التمويل اللامركزي(DeFi) ، الذي وصلت قيمته الإجمالية المقفلة إلى 180 مليار دولار في ذروته .(BIS, 2022) توفر منصات DeFi خدمات مالية تقليدية مثل الإقراض والاقتراض والتأمين والادخار، ولكن بشكل لامركزي وآلي. هذا التحول يهدد النماذج التقليدية للوساطة المالية ويطرح أسئلة عميقة حول مستقبل المؤسسات المالية القائمة.

- **تأثير البلوكشين على أمن المعاملات**

توفر تقنية البلوكشين عدة مزايا أمنية جوهرية للمعاملات الاقتصادية. يتمثل الأساس التقني في استخدام التشفير غير القابل للكسر والتسجيل الدائم غير القابل للتغيير. تتيح هذه الخصائص درجة عالية من الشفافية والقابلية للتدقيق، مما يجعل الاحتيال المالي أكثر صعوبة.

تشير دراسة أجرتها شركة PwC (2021) إلى أن تطبيقات البلوكشين في سلسلة التوريد يمكن أن تخفض الاحتيال بنسبة 40%، وفي مجال الملكية الفكرية بنسبة 60%. في القطاع المالي، تتيح تقنية البلوكشين تتبعا كاملا لتدفقات الأموال، مما يعزز قدرة الجهات التنظيمية على مكافحة غسل الأموال وتمويل الإرهاب.

- **التحديات والمستقبل**

رغم المزايا الواضحة، تواجه تطبيقات البلوكشين الاقتصادية تحديات كبيرة. تشمل هذه التحديات التقلبات السعرية الكبيرة، المخاطر الأمنية التقنية، الغموض التنظيمي، والتحديات البيئية المرتبطة باستهلاك الطاقة. تقدر بعض الدراسات أن تعدين البيتكوين يستهلك طاقة تعادل استهلاك بلدان متوسطة الحجم.(Cambridge University, 2021)

يشير الاتجاه الحالي إلى اندماج تدريجي بين النظامين التقليدي والجديد. تدرس البنوك المركزية إصدار عملات رقمية، تدمج المؤسسات المالية التقليدية تقنية البلوكشين في عملياتها، وتظهر أطر تنظيمية أكثر وضوحا. هذا المسار نحو التكامل يوفر فرصة لتحقيق فوائد التقنية مع إدارة مخاطرها بشكل فعال.

المحاضرة الحادية عشر:

الرهانات الاقتصادية لبلوكشين

تتناول هذه المحاضرة التأثيرات الهيكلية طويلة المدى لتقنية البلوكشين على النظام الاقتصادي العالمي. بينما تركز المحاضرة السابقة على التطبيقات المباشرة، تبحث هذه المحاضرة في التحولات الجذرية في هياكل السوق، نماذج الأعمال، ودور الفاعلين الاقتصاديين. ستتم مناقشة ثلاثة محاور رئيسية: إعادة تشكيل النظام المالي، تحول نماذج الأعمال، والتحديات التنظيمية والحوكمة.

1. إعادة تشكيل النظام المالي

- **ظاهرة عدم الوساطة (Disintermediation)**

تمثل عدم الوساطة أحد أهم التحولات الهيكلية التي تفرضها تقنية البلوكشين. يشير التقرير السنوي للمنتدى الاقتصادي العالمي (2020) إلى أن تقنية البلوكشين يمكن أن تقلل الاعتماد على الوسطاء الماليين التقليديين بنسبة 30-50% في بعض القطاعات. تعمل البنية التحتية المالية التقليدية على نموذج مركزية الثقة، حيث تلعب البنوك والمؤسسات المالية دور الوسيط الموثوق بين الأطراف المتعاملة(Tapscott & Tapscott, 2019).

تتيح تقنية البلوكشين إمكانية نقل الثقة من المؤسسات إلى البروتوكولات والشبكات اللامركزية. هذا التحول يهدد النماذج التجارية القائمة للعديد من المؤسسات المالية، خاصة في مجالات التحويلات، التسويات، والتأمين. تقدر دراسة أجرتها شركة Accenture (2021) أن البنوك يمكن أن تخسر 30% من إيراداتها التقليدية بسبب انتشار التقنيات المالية اللامركزية.

- **ظهور فاعلين جدد**

يتميز المشهد المالي الجديد بدخول فاعلين غير تقليديين. تشمل هذه الفاعلين منصات التبادل اللامركزية، مزودي السيولة الآليين، ومجتمعات الحوكمة اللامركزية. يوضح تقرير بنك التسويات الدولية الصادر في

2022 (BIS, 2022) أن حجم التداول في منصات التبادل اللامركزية وصل إلى 1 تريليون دولار شهريا في ذروة السوق، وهو ما يعادل حجم تداول بعض البورصات التقليدية الكبرى.

يمثل ظهور هذه الفاعلين تحولا في مفهوم الملكية والسيطرة. في النماذج التقليدية، تكون السيطرة مركزية في أيدي المساهمين والإدارة. في النماذج اللامركزية، توزع السلطة بين حاملي الرموز الذين يشاركون في اتخاذ القرارات عبر أنظمة تصويت مدمجة في البروتوكولات نفسها (Wright & De Filippi, 2015).

- **تحديات الاستقرار المالي**

رغم المزايا المحتملة، تطرح اللامركزية تحديات جسيمة للاستقرار المالي. تشير ورقة عمل صادرة عن صندوق النقد الدولي (IMF, 2022) إلى عدة مخاطر:

- **مخاطر التضخم الدوري:** الديون والرهونات في أنظمة DeFi معرضة للتسويات القسرية في فترات انخفاض الأسعار
- **مخاطر الترابط:** ترابط البروتوكولات المختلفة يمكن أن يؤدي إلى انتشار الصدمات عبر النظام البيئي
- **نقص آليات الإقراض الأخيرة:** عدم وجود مقرض أخير في الأنظمة اللامركزية

2. تحول نماذج الأعمال

تشكل الرهانات الاقتصادية للبلوكشين تحولاً جذرياً في النظام الاقتصادي العالمي، مع آثار عميقة على هياكل السوق، نماذج الأعمال، والتوازن بين الابتكار والتنظيم. بينما تقدم فرصاً هائلة لخفض التكاليف، تحسين الكفاءة، وتمكين المستهلكين، فإنها تحمل أيضاً مخاطر كبيرة للاستقرار المالي والشمولية الاقتصادية. (Catalini & Gans, 2020)

- **تأثيرات خفض التكاليف**

تخفض تقنية البلوكشين تكاليف المعاملات عبر عدة آليات. تشير دراسة أجرتها OECD (2020) إلى أن تكاليف التحقق والامتثال في المعاملات المالية يمكن أن تنخفض بنسبة 40-80% باستخدام تقنية البلوكشين. هذا الانخفاض يأتي من:

- **إزالة الوسطاء:** التخلص من تكاليف الوساطة في كل مرحلة
- **الآلية:** التنفيذ التلقائي يقلل من الأخطاء البشرية وتكاليف المتابعة
- **الشفافية:** قابلية التدقيق ترفع الكفاءة وتقلل الاحتيال

في قطاع سلاسل التوريد، يمكن لتقنية البلوكشين خفض تكاليف المعاملات بنسبة 30-50% من خلال تحسين التتبع والدفع الآلي(Cheikosman & Mulligan, 2023) .

- **نماذج أعمال جديدة**

تتيح تقنية البلوكشين ظهور نماذج أعمال كانت مستحيلة تقنياً أو غير مجدية اقتصادياً:

- **التمويل المجزأ:** تقسيم الملكية للأصول الكبيرة مثل العقارات أو الأعمال الفنية إلى أجزاء صغيرة قابلة للتداول
- **اقتصاد المشاركة المطور:** أنظمة مشاركة ذات حوافز آلية وشفافة
- **التمويل الجماعي الذكي:** أنظمة تمويل توزع العوائد تلقائياً بناءً على اتفاقيات مبرمجة

تشير تقديرات شركة Deloitte (2022) إلى أن سوق توكنات الأصول الواقعية يمكن أن يصل إلى 24 تريليون دولار بحلول 2027، وهو ما يمثل تحولا جذريا في كيفية تملك الأصول وتداولها.

- **تأثيرات على المستهلكين**

يستفيد المستهلكون من عدة تحسينات:

- خدمات جديدة: وصول لخدمات مالية كانت حصرية للأثرياء أو المؤسسات
- تحسين حماية البيانات: أنظمة هوية رقمية تعطي المستهلكين سيطرة أكبر على بياناتهم الشخصية
- شفافية أكبر: إمكانية تتبع المنتجات من المصدر إلى المستهلك النهائي

تظهر دراسة أجرتها جامعة هارفارد (2021) أن 65% من المستهلكين على استعداد للدفع أكثر مقابل منتجات يمكن تتبع مصدرها عبر البلوكشين، مما يشير إلى قيمة اقتصادية حقيقية للشفافية التي توفرها هذه التقنية.

3. التحديات التنظيمية والحوكمة

- **مفارقة التنظيم اللامركزي**

تواجه الحكومات والمؤسسات التنظيمية في مختلف أنحاء العالم تحديا فريدا يتمثل في كيفية تنظيم أنظمة لا مركزية تتجاوز الحدود التقليدية للدولة القومية. تشير دراسة أجرتها جامعة كامبريدج عام 2022 إلى أن الطبيعة العابرة للحدود لتقنية البلوكشين تخلق بيئة تنظيمية معقدة، حيث تتعارض القوانين والأنظمة بين الدول المختلفة في كثير من الأحيان. يخلق هذا الواقع تناقضات قانونية صارخة، حيث قد يكون النشاط المشروع في دولة ما غير قانوني في دولة مجاورة، مما يضع المستخدمين والمطورين في حالة من الارتباك القانوني المستمر(Fenwick & Vermeulen, 2019).

تظهر تحديات عملية جسيمة في تنفيذ القوانين التقليدية على أنظمة موزعة عالميا. فعندما تكون الشبكة مكونة من آلاف العقد المنتشرة في عشرات الدول، تصبح عملية تحديد المسؤولية القانونية وتطبيق العقوبات مهمة شبه مستحيلة بالوسائل التقليدية. هذا الغموض التنظيمي لا يؤثر فقط على المستخدمين الحاليين، بل يخلق بيئة من عدم اليقين التي تثبط الاستثمارات طويلة المدى وتحد من الابتكار التكنولوجي. تشير

البيانات إلى أن العديد من الشركات التقنية تتردد في تبني تقنية البلوكشين بشكل كامل بسبب الخوف من التغيرات التنظيمية المفاجئة التي قد تعرض استثماراتها للخطر.

- **أطر التنظيم الناشئة**

ردا على هذه التحديات، بدأت تظهر نماذج تنظيمية جديدة تحاول التوفيق بين حماية المصالح العامة وتمكين الابتكار التكنولوجي. يبرز نموذج المبادئ كأحد أكثر النماذج مرونة، حيث تركز الجهات التنظيمية على وضع مبادئ عامة تتعلق بحماية المستهلك ومكافحة الأنشطة غير المشروعة، مع ترك هامش من المرونة في التطبيق العملي. هذا النهج يسمح للتكنولوجيا بالتطور مع ضمان وجود حدود أخلاقية وقانونية واضحة.

ظهر أيضا نموذج المناطق التنظيمية التجريبية، حيث تخصص بعض الدول مناطق أو قطاعات معينة لتجربة تطبيقات البلوكشين تحت إطار قانوني مؤقت ومرن. هذه "المناطق الرقمية الحرة" تسمح للشركات الناشئة باختبار حلولها في بيئة حقيقية مع حماية جزئية من المخاطر التنظيمية. تعكس هذه التجارب اعترافا صريحا بأن القوانين التقليدية قد لا تكون مناسبة تماماً للتقنيات الجديدة، وأن هناك حاجة لفترة تجريبية لفهم الآثار الكاملة لهذه التقنيات قبل وضع تشريعات دائمة.

في السياق الدولي، تشير توصيات مجموعة العشرين لعام 2023 إلى أهمية التنسيق بين الدول لتطوير أطر تنظيمية متوافقة. هذا التنسيق ضروري لمنع "المنافسة التنظيمية" السلبية، حيث قد تسعى بعض الدول لجذب الشركات عبر تقديم تنظيم ضعيف يهدد الاستقرار المالي العالمي. يدعو هذا النهج إلى تعاون دولي لمعالجة المخاطر الناشئة من الأصول الرقمية، مع الحفاظ على التوازن بين حماية النظام المالي وتمكين النمو الاقتصادي القائم على الابتكار.

- **حوكمة البلوكشين**

تطرح الأنظمة اللامركزية أسئلة جوهرية حول مفهوم الحوكمة في غياب السلطة المركزية. كيف يمكن اتخاذ القرارات الجماعية في أنظمة لا تعترف بسلطة قيادية عليا؟ وكيف يتم توزيع السلطة بين مختلف الفاعلين في

النظام البيئي، بما في ذلك المطورين الذين يبنون الأنظمة، والمستخدمين الذين يستخدمونها، والمستثمرين الذين يمولونها؟ تزداد تعقيداً عندما تظهر نزاعات تحتاج إلى حل في أنظمة تفتقر إلى السلطة القضائية التقليدية.

توفر منظمات الحوكمة اللامركزية (DAOs) إجابات مبتكرة لهذه التساؤلات من خلال آليات تصويت مدمجة في البروتوكولات نفسها. تسمح هذه المنظمات لحاملي الرموز بالمشاركة في اتخاذ القرارات المتعلقة بتطوير المنصة، توزيع الموارد، والتغيرات في البروتوكول. لكن هذه النماذج تثير بدورها تحديات جديدة حول فعالية عملية اتخاذ القرار، حيث قد تؤدي المشاركة الواسعة إلى شلل في اتخاذ القرارات الاستراتيجية. كما تظهر تساؤلات حول استدامة النماذج الاقتصادية لهذه المنظمات، خاصة في ظل إمكانية التلاعب بآليات التصويت من قبل الجهات التي تملك حصصا كبيرة من الرموز(Wright & De Filippi, 2018).

تشير التجارب العملية إلى أن نجاح أنظمة الحوكمة اللامركزية يعتمد على عدة عوامل حاسمة، بما في ذلك شفافية عملية صنع القرار، وجود آليات فعالة لحل النزاعات، والقدرة على التكيف مع التحديات الجديدة. يتطلب هذا النموذج من الحوكمة إعادة تعريف مفاهيم المسؤولية والمساءلة في عالم رقمي لا مركزي، حيث تنتقل السلطة من الهياكل الهرمية التقليدية إلى شبكات تشاركية معقدة.

المحاضرة الثانية عشر:

أفاق و تطور تكنولوجيا البلوكشين

تستكشف هذه المحاضرة المستقبل المحتمل لتقنية البلوكشين والتحديات التي ستحدد مسار تطورها. بينما تركز المحاضرات السابقة على الحاضر والماضي القريب، تبحث هذه المحاضرة في الاتجاهات التكنولوجية والفرص الاقتصادية والمخاطر النظامية التي ستشكل المشهد المستقبلي. ستتم مناقشة ثلاثة محاور رئيسية: التحديات التكنولوجية والقابلية للتوسع، الفرص الاقتصادية العالمية، وآفاق التطوير المسؤول والمستدام.

1. التحديات التكنولوجية والقابلية للتوسع

يمثل تحدّي قابلية التوسع أحد أكبر العوائق أمام الانتشار الواسع لتطبيقات البلوكشين. تشير دراسة أجرتها جامعة ستانفورد عام 2022 إلى أن شبكة البيتكوين يمكنها معالجة سبع معاملات في الثانية فقط، بينما يمكن لـ Visa معالجة أربعة وعشرين ألف معاملة في الثانية. هذا الفارق الهائل يحد من استخدام البلوكشين في التطبيقات التي تتطلب معالجة عالية الحجم، مثل أنظمة الدفع الجماعية أو أسواق التداول عالية التردد (Cong & He, 2019).

تظهر عدة حلول تكنولوجية لمعالجة هذا التحدي، أهمها الحلول خارج السلسلة التي تعالج المعاملات خارج السلسلة الرئيسية ثم تسجل النتائج النهائية فقط على السلسلة الأساسية. تشمل هذه الحلول شبكة Lightning للبيتكوين وشبكات Plasma وRollups للإثيريوم. بالإضافة إلى ذلك، توجد السلاسل الجانبية كسلاسل موازية مستقلة يمكنها التواصل مع السلسلة الرئيسية، وتقنية تجزئة السلسلة التي تقسم السلسلة إلى أجزاء أصغر تعالج المعاملات بشكل متوازي (Buterin, Reijsbergen, Leonardos, & Piliouras, 2020).

مع تطور التكنولوجيا، تتطور أيضاً التهديدات الأمنية المرتبطة بها. تشير تقارير شركة Chainalysis عام 2023 إلى أن عمليات الاختراق وسرقة العملات الرقمية وصلت إلى 3.8 مليار دولار في عام 2022. تتنوع هذه التهديدات من هجمات 51% على آليات الإجماع إلى استغلال الثغرات في العقود الذكية مروراً بهجمات الهندسة الاجتماعية. في مواجهة هذه التحديات، تظهر تقنيات أمنية جديدة مثل الأدلة الصفرية المعرفية التي تسمح بإثبات صحة المعاملة دون كشف التفاصيل، والتشفير المتجانس الذي يمكن من إجراء العمليات الحسابية على البيانات المشفرة، وأنظمة الإنذار المبكر التي تستخدم الذكاء الاصطناعي للكشف عن الأنماط المشبوهة(Bonneau et al., 2015).

يشكل استهلاك الطاقة تحديا كبيرا لبعض بلوكشينات إثبات العمل. تشير بيانات جامعة كامبريدج عام 2023 إلى أن تعدين البيتكوين يستهلك حوالي مئة وعشرة تيرا واط ساعة سنويا، وهو ما يعادل استهلاك بلد مثل هولندا. هذا الاستهلاك المرتفع يثير مخاوف بيئية ويسلط الضوء على الحاجة إلى نماذج إجماع أكثر كفاءة. تشمل الحلول المطروحة الانتقال إلى إثبات الحصة كما فعلت إثيريوم في تحديثThe Merge ، وتشجيع استخدام الطاقة المتجددة بين المعدنين، وتطوير خوارزميات إجماع تستهلك طاقة أقل.

2. الفرص الاقتصادية العالمية

تتيح تقنية البلوكشين إنشاء أسواق كانت غير مجدية اقتصاديا في السابق. تشير تقديرات شركة McKinseyعام 2023 إلى عدة مجالات واعدة، منها سوق الأصول الرقمية الذي يمكن أن يصل إلى خمسين تريليون دولار بحلول عام 2030، والتمويل اللامركزي الذي يتوقع له نمو سنوي مركب بنسبة 35% حتى عام 2030، وسلسلة التوريد الذكية التي يمكن أن تخفض التكاليف بنسبة 30% وتحسن الكفاءة بنسبة 50 % .

تمثل تقنية البلوكشين فرصة خاصة للبلدان النامية. يوضح تقرير البنك الدولي عام 2023 عدة مجالات للاستفادة تشمل الشمول المالي من خلال توفير خدمات مالية للفئات غير المتعاملين مع البنوك، وتعزيز الشفافية الحكومية عبر تقليل الفساد وتحسين تقديم الخدمات، وتوفير هوية رقمية آمنة للملايين الذين لا يملكون وثائق رسمية. تشير دراسة أجرتها الأمم المتحدة عام 2023 إلى أن تطبيقات البلوكشين في البلدان النامية يمكن أن تضيف تريليون دولار للاقتصاد العالمي بحلول عام 2030. (UNCTD, 2024)

يخلق تطور تقنية البلوكشين فرص عمل جديدة ويتطلب مهارات مختلفة تماما عن المهارات التقليدية. تشير بيانات منصة LinkedIn عام 2023 إلى نمو طلبات الوظائف في مجال البلوكشين بنسبة 400% منذ عام 2020، وارتفاع الرواتب في هذا المجال بنسبة 30% عن المتوسط في قطاع التكنولوجيا، وحاجة متزايدة لمهارات متعددة التخصصات تجمع بين التكنولوجيا والاقتصاد والقانون.

3. التطوير المسؤول والمستدام

يجب أن يتطور مجال البلوكشين مع مراعاة الاعتبارات الأخلاقية الملحة. تشير دراسة من معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا عام 2023 إلى عدة قضايا أخلاقية تحتاج إلى معالجة، منها قضية الإنصاف والمساواة وضمان وصول الجميع للفوائد وليس فقط الأثرياء والمتقدمين تقنياً، وقضية الخصوصية والتوازن بين الشفافية والخصوصية الفردية، وقضية المساءلة وتحديد المسؤول في الأنظمة اللامركزية.

يحتاج التطور المستقبلي إلى أطر تنظيمية متوازنة تتعامل مع التعقيدات الفريدة لهذه التقنية. تشير توصيات مجموعة السبع عام 2023 إلى ضرورة التعاون الدولي لتطوير معايير مشتركة عبر الحدود، وتبني نهج التنظيم القائم على المخاطر الذي يعامل أنواعاً مختلفة من التطبيقات بشكل مختلف، وتعزيز مفهوم التعلم التنظيمي عبر أطر مرنة تتكيف مع التطور التكنولوجي السريع.

يجب أن يساهم تطور تقنية البلوكشين في تحقيق أهداف التنمية المستدامة العالمية. تشير تقارير المنتدى الاقتصادي العالمي عام 2023 إلى إمكانيات كبيرة في مجالات متعددة، منها استخدام البلوكشين لتحسين شبكات الطاقة المتجددة في مجال الطاقة النظيفة، وتحسين تتبع المنتجات العضوية والعادلة في مجال الزراعة المستدامة، وتحسين سجلات المرضى ومكافحة الأدوية المزيفة في مجال الصحة (Cheikosman & Mulligan, 2023).

الخاتمة العامة

لقد قدمت هذه المطبوعة سلسة محاضرات في مقياس البلوكشين رحلة معرفية متكاملة لهذه التكنولوجيا، بدءاً من المبادئ الأساسية ووصولا إلى الآفاق المستقبلية. لقد استكشفنا معا كيف تطورت هذه التقنية من مجرد مفهوم نظري في الورقة البيضاء للبيتكوين إلى نظام تقني واقتصادي معقد يشكل تحديا وتحولا في الوقت نفسه.

تكمن القوة الاستثنائية لتقنية البلوكشين في قدرتها على دمج ثلاثة أبعاد حيوية: البعد التقني الذي يوفر آليات غير مسبوقة للثقة الرقمية، والبعد الاقتصادي الذي يعيد تشكيل نماذج القيمة والتبادل، والبعد الاجتماعي الذي يطرح أسئلة جوهرية حول الحوكمة والسلطة في العصر الرقمي. لقد رأينا كيف أن فهم أي من هذه الأبعاد بمعزل عن الآخرين يقود إلى تحليلات قاصرة وتوقعات غير واقعية.

من خلال استعراض سلسلة المحاضرات، تبرز عدة دروس أساسية. أولا، أن تقنية البلوكشين ليست حلما تكنولوجيا بحتا، بل هي أداة تحويل اقتصادي واجتماعي ذات إمكانيات هائلة ومخاطر كبيرة في الوقت نفسه. ثانيا، أن نجاح أي تطبيق يعتمد على التوازن الدقيق بين الابتكار التقني والجدوى الاقتصادية والقبول الاجتماعي. ثالثا، أن المستقبل لا ينتمي حصريا لأي من النماذج الحالية، بل سيكون نتاجا لتكامل مدروس بين النظام التقليدي والابتكارات الجديدة.

تأتي أهمية فهم البلوكشين من موقعها كجزء من تحول رقمي أشمل يشمل الذكاء الاصطناعي، إنترنت الأشياء، والحوسبة السحابية. التفاعل بين هذه التقنيات يخلق بيئة جديدة تماما للاقتصاد والمجتمع. في هذا السياق، يصبح فهم البلوكشين ليس ترفا أكاديميا، بل ضرورة استراتيجية لأي متخصص في الاقتصاد الرقمي أو التخطيط المستقبلي.

رغم الإمكانيات الواعدة، لا تزال هناك تحديات جوهرية تواجه انتشار تقنية البلوكشين على نطاق واسع. تتضمن هذه التحديات مشكلات قابلية التوسع التقنية، والمخاوف البيئية المرتبطة باستهلاك الطاقة، والتعقيدات التنظيمية في عالم لا مركزي، والفجوة الرقمية التي قد تتفاقم إذا لم تُدار عملية الانتقال بحكمة. معالجة هذه التحديات تتطلب تعاونا غير مسبوق بين الحكومات والقطاع الخاص والمجتمع الأكاديمي والمجتمع المدني.

تقدم تقنية البلوكشين وعدا باقتصاد أكثر شمولا يصل إلى الفئات المهمشة، وأكثر شفافية يقلص مساحات الفساد، وأكثر كفاءة يخفض تكاليف المعاملات. تحقيق هذا الوعد لا يعتمد على التكنولوجيا وحدها، بل على قدرتنا الجماعية على تصميم أنظمة تضع الإنسان في المركز، وتحترم التنوع، وتعمل من أجل الصالح العام.

تكون هذه السلسلة قد وصلت إلى ختامها الشكلي، لكنها في الحقيقة تمثل بداية رحلة معرفية أوسع. التطور السريع في هذا المجال يعني أن التعلم يجب أن يكون عملية مستمرة. مواصلة الاستكشاف، والمشاركة في الحوار، والمساهمة في بناء مستقبل رقمي يعكس قيما إنسانية عميقة أكثر من ضروري.

و في الأخير، نختم هذه السلسة من المحاضرات بمقولة بيتر دراكر:

"أعظم خطر في زمن التحولات الكبرى ليس التغيير نفسه، بل التمسك بطرق التفكير القديمة في عالم جديد."

قائمة المراجع

Antonopoulos, A. M., & Wood, G. (2018). *Mastering ethereum: building smart contracts and dapps*: O'reilly Media.

Atzei, N., Bartoletti, M., & Cimoli, T. (2017). *A survey of attacks on ethereum smart contracts (sok).* Paper presented at the International conference on principles of security and trust.

Back, A. (2002). Hashcash-a denial of service counter-measure .

Bis. (2018). *Central bank digital currencies. Bank for International Settlements Committee on Payments and Market Infrastructures.* . Retrieved from

Böhme, R., Christin, N., Edelman, B., & Moore, T. (2015). Bitcoin: Economics, technology, and governance. *Journal of economic Perspectives, 29*(2), 213-238 .

Bonneau, J., Miller, A., Clark, J., Narayanan, A., Kroll, J. A., & Felten, E. W. (2015). *Sok: Research perspectives and challenges for bitcoin and cryptocurrencies.* Paper presented at the 2015 IEEE symposium on security and privacy.

Buterin, V. (2014). A next-generation smart contract and decentralized application platform. *white paper, 3*(37), 2-1 .

Buterin, V., Reijsbergen, D., Leonardos, S., & Piliouras, G. (2020). Incentives in Ethereum's hybrid Casper protocol. *International Journal of Network Management, 30*(5), e2098 .

Casey, M. J., & Wong, P. (2017). Global supply chains are about to get better, thanks to blockchain. *Harvard business review, 13*(3), 2018 .

Catalini, C., & Gans, J. S. (2020). Some simple economics of the blockchain. *Communications of the ACM, 63*(7), 80-90 .

Cheikosman, E., & Mulligan, C. (2023). *Guidelines for improving blockchain's environmental, social and economic impact*.

Cong, L. W., & He, Z. (2019). Blockchain disruption and smart contracts. *The Review of Financial Studies, 32*(5), 1754-1797 .

Crosby, M., Pattanayak, P., Verma, S., & Kalyanaraman, V. (2016). Blockchain technology: Beyond bitcoin. *Applied innovation, 2*(6-10), 71 .

Destefanis, G., Marchesi, M., Ortu, M., Tonelli, R., Bracciali, A., & Hierons, R. (2018). *Smart contracts vulnerabilities: a call for blockchain software engineering?* Paper

presented at the 2018 International Workshop on Blockchain Oriented Software Engineering (IWBOSE).

Draheim, D., Krimmer, R., & Tammet, T. (2021). On state-level architecture of digital government ecosystems: From ICT-driven to data-centric. In *Transactions on Large-Scale Data-and Knowledge-Centered Systems XLVIII: Special Issue In Memory of Univ. Prof. Dr. Roland Wagner* (pp. 165-195): Springer.

Fenwick, M., & Vermeulen, E. P. (2019). A Primer on Blockchain, Smart Contracts & Crypto-Assets. *Lex Research Topics in Corporate Law* & *Economics Working Paper* .(3-2019)

Harvey, C. R., Ramachandran, A., & Santoro, J. (2021). *DeFi and the Future of Finance*: John Wiley & Sons.

Howell, S. T., Niessner, M., & Yermack, D. (2020). Initial coin offerings: Financing growth with cryptocurrency token sales. *The Review of Financial Studies, 33*(9), 3925-3974 .

Kaal, W. A. (2020). Blockchain Technology for Good. *U. St. Thomas LJ, 17*, 878 .

Kshetri, N. (2018). 1 Blockchain's roles in meeting key supply chain management objectives. *International Journal of information management, 39*, 80-89 .

Mengelkamp, E., Notheisen, B., Beer, C., Dauer, D., & Weinhardt, C. (2018). A blockchain-based smart grid: towards sustainable local energy markets. *Computer Science-Research and Development, 33*(1), 207-214 .

Mettler, M. (2016). *Blockchain technology in healthcare: The revolution starts here.* Paper presented at the 2016 IEEE 18th international conference on e-health networking, applications and services (Healthcom).

Mougayar, W. (2016). *The business blockchain: promise, practice, and application of the next Internet technology*: John Wiley & Sons.

Nakamoto, S. (2008). A peer-to-peer electronic cash system. *Bitcoin.–URL: https://bitcoin. org/bitcoin. pdf, 4*(2), 15 .

Ølnes, S., & Jansen, A. (2017). *Blockchain technology as s support infrastructure in e-government.* Paper presented at the International conference on electronic government.

Swan, M. (2015). *Blockchain: Blueprint for a new economy*: " O'Reilly Media, Inc.".

Szabo, N. (1997). The idea of smart contracts. *Nick Szabo's papers and concise tutorials, 6*(1), 199 .

Tapscott, D., & Tapscott, A. (2019). Blockchain. *Rewolucja, Wydawnictwo PWN* .

UNCTD. (2024). *Digital economy report 2024*: UN.

Werbach, K. (2018). *The blockchain and the new architecture of trust*: Mit Press.

Wohrer, M., & Zdun, U. (2018). *Smart contracts: security patterns in the ethereum ecosystem and solidity.* Paper presented at the 2018 International Workshop on Blockchain Oriented Software Engineering (IWBOSE).

Wright, A., & De Filippi, P. (2015). Decentralized blockchain technology and the rise of lex cryptographia. *Available at SSRN 2580664* .

Wright, A., & De Filippi, P. (2018). *Blockchain and the law: the rule of code*: Harvard University Press.

Yermack, D. (2015). Corporate Governance Implications of Blockchain Technology .

Yli-Huumo, J., Ko, D., Choi, S., Park, S., & Smolander, K. (2016). Where is current research on blockchain technology?—a systematic review. *PloS one, 11*(10), e0163477 .

Zetzsche, D. A., Arner, D. W., & Buckley, R. P. (2020). Decentralized finance. *Journal of Financial Regulation, 6*(2), 172-203 .