تقدير الآثار البيئية لتعدين العملات المشفرة

-دراسة حالة البيتكوين-

The Environmental Impacts Assessment for Cryptocurrency Mining

BITCOIN Case Study

د. بوعقل مصطفى

Dr. Bouakel Mustapha

جامعة أحمد زبانة، غليزان،(الجزائر) ، Mustapha.Bouakel@cu-Relizane.dz

تاريخ الاستلام: 2020/07/28 تاريخ القبول: 2020/08/08 تاريخ النشر: 2020/08/13

ملخص:

تهدف هذه الدراسة إلى تقدير الآثار البيئية الناجمة عن تعدين العملات المشفرة، مع التركيز على تجربة البيتكوين. وتوصلت الدراسة إلى أن ظاهرة الاندفاع نحو التعدين ساهمت بشكل سلبي في تضاعف حجم استهلاك الطاقة وتنامي البصمة الكربونية.

كلمات مفتاحية: العملات المشفرة، البيئة، التعدين، الطاقة، البصمة الكربونية، البيتكوين.

تصنيفات JEL: O33, Q29, Q49.

Abstract:

This study aims to estimate the environmental impacts of cryptocurrency mining, focusing on the Bitcoin experience. The study concluded that the rush towards mining contributed negatively to increasing energy consumption and the growing carbon footprint.

Keywords: Cryptocurrency, Environment, Mining, Energy, Carbon Footprint, Bitcoin.

JEL Classification Codes : O33, Q29, Q49.

المؤلف المرسل: بوعقل مصطفى، **الإيميل: Mustapha.Bouakel@cu-Relizane.dz**

1. مقدمة :

تعتبر العملات المشفرة، لا سيما تلك التي تتمتع بآلية دفع لا مركزية، ابتكارا مهما مكن من إحداث دفعة نسبية في شتى القطاعات المالية، كما أن الانتشار الواسع والشعبية التي حظيت بها في السنوات القليلة الأخيرة، استقطب اهتمام يمكن أن تشمل هذه الآثار تعزيزا محتملا نماذج وأنظمة الأعمال، فضلا عن تغيير شكل التفاعلات والروابط الاقتصادية الراهنة.

تعتبر المداخل الجديدة المصاحبة لتكنولوجيا سلسلة الكتل والعملات المشفرة، جوهر النقلة النوعية في المعاملات المالية الراهنة ومنعرجا هاما في تغيير شكل وطبيعة النظام المالي المستقبلي، وعلى الرغم من أنها تزال لا تحظى بإقبال المتعاملين لخلفيات تتعلق بالموثوقية، إخفاء الهوية، التعقد وتطايريتها المرتفعة من جهة، والتشكيك في جاهزيتها اللازمة لأن تحل محل العملات التقليدية وكذا مقدرتها على تقديم حلول ناجعة للظروف التي تعيش على وقعها الاقتصاديات المعاصرة من جهة أخرى، إلا أنها قد أحرزت مؤخرا تقدما ملموسا في ترسيخ مكانتها كفضاء ديناميكي وخصب ومدعوم بالنمو السريع في قيمة الوحدة، قاعدة المستخدمين، منصات التداول وحجم المعاملات اليومية.

باستخدام العملات المشفرة، يتم تخزين جميع المعاملات رقميا على أنها "كتل" في سلسلة يتم الاحتفاظ بها بواسطة شبكة من الأقران. من خلال آليات الإجماع المبنية على نهج إثبات العمل (PoW) وكذا الأنظمة الرقمية، يتنافس المنقبون على حل ألغاز رياضية منسقة بخوارزميات معقدة، حيث أن المنقب الذي يكفل القدرة على إضافة الكتلة التالية من البيانات إلى السلسلة، يتلقى وحدة محدودة من العملة المشفرة، ويمكن لأي جهة لديها إمكانية الوصول إلى الإنترنت والأجهزة المناسبة المشاركة في عملية التعدين.

ومع تنامي الاهتمامات تجاه التعدين، أشارت بعض الدراسات إلى أن معدل التجزئة (Hashrate) في شبكة Bitcoin عام 2018، تراوحت ما بين 15 و60 مليون تيرا (TH) في الثانية (Susanne & Massimo, 2019, PA)، كما أوضح مؤشر استهلاك الطاقة أن البصمة الكربونية بلغت 35,96 ميغا طن، فيما قدرت سعة الطاقة الكهربائية المستهلكة بـ 77,78 تيرا واط في الساعة (Digiconomist, 2020).

1.1 إشكالية الدراسة:

تتفق الاتجاهات المعاصرة على أن نجاح الابتكارات أصبح يعتد بالتفاعل مع المتغيرات البيئية أكثر من أي وقت مضى، وهو ما جعل الاندفاع المفرط نحو تعدين العملات المشفرة يثير العديد من الانشغالات المتعلقة بالبصمة الكربونية وترشيد استخدام الطاقة، ومع ذلك لا يزال هذا الإطار لم يتوصل إلى تصميم منهجية ورؤية واضحة لسد هذه الفجوة، كما أن دلالة النتائج لا بد لها أن تركز أكثر على تقدير الآثار البيئية الفعلية والمحتملة لتعدين العملات المشفرة، بالشكل الذي يرجح قدرتها على التوافق مع أبعاد التنمية المستدامة، وامتداد تصورها الوظيفي إلى ما هو أبعد من النظر إلى الراحة والأمان القوي المرتبط بأحدث أشكال المعاملات الاقتصادية.

وفي خضم هذه المتغيرات تنبثق معالم الإشكالية المصاغة في السؤال الرئيسي التالي:

ما هي الآثار البيئية الناجمة عن تعدين العملات المشفرة؟

2.1 الفرضية الرئيسية للدراسة:

يقود طرح الإشكالية إلى صياغة الفرضية الرئيسية التالية:

يؤدي تعدين العملات المشفرة إلى مضاعفة الأضرار وتعميق التكاليف البيئية.

3.1 أهداف الدراسة:

تسعى الدراسة لتحقيق جملة من الأهداف نوجز أبرزها فيما يلي:

- الاطلاع على مداخل وأبعاد تعدين العملات المشفرة؛
- إبراز طرق تقدير مخلفات تعدين العملات المشفرة؛
- محاولة تحليل واستشراف الآثار البيئية لتعدين العملات المشفرة مع التركيز على البيتكوين.

4.1 أهمية الدراسة:

تنبع أهمية الدراسة الحالية في مناقشة إمكانية بلورة تصور أكثر وضوحا، شمولية ودقة حول التحديات البيئية التي باتت تهدد مستقبل العملات المشفرة جراء عمليات التعدين والمتعلقة أساسا بالتنامي المفرط في استهلاك الطاقة وانبعاثات غاز ثاني أوكسيد الكربون، وهو ما يؤدي إلى خلق بؤرة تضارب بين المكاسب الاقتصادية والاعتبارات البيئية، وفي هذا السياق تبرز الحاجة لإيجاد بديل أمثل ومنهج سليم يُمكِّن من سد هذه الفجوة.

5.1 منهج الدراسة:

إن طبيعة الموضوع وخصوصياته تطلبت الاعتماد على المنهج الوصفي من خلال عرض المفاهيم الأساسية المرتبطة بتعدين العملات المشفرة، كما تم اللجوء إلى المنهج التحليلي في إطار مناقشة تطور مؤشرات استهلاك الطاقة والبصمة الكربونية واستجلاء الاتجاه العام للمخلفات البيئية ودرجة حساسيتها.

6.1 محاور الدراسة:

للإلمام بالموضوع والإحاطة بجزئياته تم تقسيم الدراسة إلى محورين رئيسين شملا:

- الإطار المفاهيمي لتعدين العملات المشفرة؛
- الآثار البيئية لتعدين العملات المشفرة: البيتكوين نموذجا.

2. الإطار المفاهيمي لتعدين العملات المشفرة

1.2 مفهوم العملة المشفرة:

لا يوجد اتفاق واضح بخصوص تحديد إطار مفاهيمي علمي دقيق يسمح بتعريف العملة المشفرة، كما أن هناك تداخل بين استخدام المصطلحات كالعملة الالكترونية (ECs)، الرقمية (DCs)، الافتراضية (VCs) والمشفرة (CCs)*.

عموما تعرفها الهيئة المصرفية الأوروبية (EBA) بأنها تمثيل رقمي للقيمة لا يصدر عن مصرف مركزي أو سلطة عامة ولا يرتبط بالضرورة بعملة تقليدية، لكن يتم قبولها من قبل الأشخاص الطبيعيين أو الاعتباريين كوسيلة للتبادل ويمكن نقلها أو تخزينها أو تداولها إلكترونيا (Marek & Lukasz, 2018, P13). كما يعرفها البنك العالمي على أنها تمثيلات رقمية ذات قيمة محددة بوحدة حسابها الخاصة تعتمد على تقنيات التشفير لتحقيق التوافق، وأضاف إمكانية تداولها رقميا، كما تصلح للتخزين والحساب (Robby & Alexander, 2018, P22).

ويعرفها قاموس Oxford على أنها عملة رقمية تستخدم فيها تقنيات التشفير لتنظيم توليد وحدات العملة والتحقق من تحويل الأموال، وتعمل بشكل مستقل عن البنك المركزي (Lexico, 2020).

* ECs: Electronic Currencies DCs: Digital Currencies VCs: Virtual Currencies CCs: Crypto Currencies

ويرى Cameron وآخرون (2019) بأنها نظام يعمل عبر شبكة مدعومة بتقنيات تشفير مختلفة (التجزئة، التوقيعات الرقمية وغيرها) للتحكم في الوصول إلى المعاملات والتحقق من صحتها من خلال آلية الإجماع (Cameron et al, 2019, P196).

2.2 تكنولوجيا سلسلة الكتل كدعامة للعملات المشفرة:

في 31 أكتوبر 2008، نشر شخص (فرقة) مجهول الهوية وباستخدام اسم مستعار Satoshi Nakamoto ورقة مختصرة شكلت منعرجا هاما في مجال التشفير. لقد أوجز فيه طريقة للتغلب على مشكل الإنفاق المزدوج خلال المعاملات المالية التقليدية. على الرغم من عدم ذكر سلسلة الكتل بشكل صريح، فقد وصف هيكلها على أنه سلسلة من الطوابع الزمنية المجزأة حيث يتضمن كل طابع زمني التشفير السابق في البعثرة، وبهذا تتشكل سلسلة حيث مع كل طابع زمني إضافي تتعزز الكتل الموجودة خلفه (Sultan. 2018. P50).

وعلاوة على اعتبار العملات المشفرة سجلا رقميا لملكية الأرصدة الاسمية التي يمكن استخدامها في المعاملات (Jonathan, Thorsten, 2019, P14)، فهي أيضا أول تطبيق لتقنيات سلسلة الكتل، حيث أنها تعبر عن إصدار نقدي بدون بنوك مركزية كما تسهل عمليات الدفع بدون مؤسسات مالية. وتجسدت العلاقة بين تكنولوجيا سلسلة الكتل والعملات الافتراضية لأول مرة في ابتكار عملة البيتكوين (Bitcoin)، حيث تم تشكيل ملف بيانات يحمل سجلات جميع معاملات البيتكوين السابقة -يطلق عليه مصطلح Bitcoin Blockchain- بما في ذلك إنشاء وحداتها المستقبلية، وغالبا ما يشار إليها باسم دفتر الأستاذ في البيتكوين (Aleksander & Fabian, 2018, P4).

3.2 تطور رسملة العملات المشفرة:

بلغ عدد العملات المشفرة إلى غاية 9 مارس 2020 حوالي 5.168 عملة، مشكلة بذلك قيمة سوقية قدرت بـ 224,395,330,440 دولار، فيما بلغت قيمة التداول اليومي 175,000,810,333 دولار (coinmarketcap, 2020). وكان Landau وGenais قد أشارا إلى أنه اعتبارا من مايو 2019، أصبح هناك أكثر من 2500 عملة تشفير متداولة. خلال الأشهر الخمسة الأولى من عام 2019، تراجعت القيمة السوقية الإجمالية ما بين 126 مليار دولار أمريكي و264 مليار دولار أمريكي بعد أن وصلت إلى قمة بلغت 830 مليار دولار أمريكي في يناير 2018. وبالمقارنة، تبلغ القيمة السوقية للأسهم العالمية 65 تريليون دولار أمريكي. تبلغ قيمة الذهب لدى القطاع الخاص حوالي 8 تريليونات دولار أمريكي، ويبلغ إجمالي المبالغ النقدية لدول

مجموعة العشرين 26.5 تريليون دولار أمريكي. كما توضح هذه الأرقام، فإن العملات المشفرة بشكل عام لا تلعب حاليا دورا مهما في الاقتصاد العالمي والأسواق المالية. ثلاثة منهم فقط تبلغ قيمتها الإجمالية أكثر من 1 مليار دولار أمريكي (Landau & Genais, 2019, P12).

احتلت البيتكوين المركز الأول بنسبة بلغت 64% من إجمالي العملات المشفرة المتداولة، وقد قدرت قيمتها السوقية في 2020/03/09 – توقيت 23:00 بـ 143,610,225,118 دولار، كما راوح حجمها في 24 ساعة الأخيرة 47,616,840,240 دولار، للإشارة فإن حجم العرض المتداول قدر بـ 18,262,300 بيتكوين من أصل 21 مليون بيتكوين.

كما جاءت في الإيثريوم في المركز الثاني بقيمة سوقية تجاوزت 21 مليار دولار، كما قدر حجمها في 24 ساعة الأخيرة بأزيد عن 24 مليار دولار، أما حجم العرض المتداول فقد تعدى 110 مليون دولار. من جهة أخرى فقد احتلت عملة الريبل المرتبة الثالثة بقيمة سوقية قاربت 9 مليار دولار، كما راوح حجمها في 24 ساعة الأخيرة 2,8 مليار دولار، أما حجم العرض المتداول فقد تخطى 43,8 مليار دولار.

بلغ سعر صرف البيتكوين مقابل الدولار بنفس تاريخ القياس السابق 7.863 دولار، وكانت قد سجلت أعلى ذروة لها في 11 ديسمبر 2017 بسعر صرف عادل 19.400 دولار، فيما قدر سعر صرف الايثريوم بـ 198 دولار، وكانت قد سجلت أعلى ذرة لها بسعر صرف راوح 1.168 دولار في 2018/01/05، في حين بلغ سعر صرف الريبل مقابل الدولار 0,2، وكان أعلى سعر صرف سجلته هذه العملة هو 2,12 دولار بتاريخ 2017/12/25.

الجدول 1: القيمة السوقية لأقوى ثلاث عملات مشفرة - إلى غاية مارس 2020

العملة	الرمز	القيمة السوقية	قيمة الوحدة	الكتلة المتداولة	الحجم (24س)
البيتكوين	BTC	143,610,225,118	7,863.75	18,262,300	47,616,840,240
الإيثريوم	ETH	21,866,755,772	198.74	110,027,549	24,244,882,435
الريبل	XRP	8,970,653,681	0.204725	43,818,008,717	2,850,657,795

Source : coinmarketcap.com, March 9, 2020

4.2 مفهوم تعدين العملات المشفرة:

يعرف تعدين العملات المشفرة على أنه استخدام قوة المعالجة في الكمبيوتر لحل المشكلات الرياضية المعقدة للغاية للحفاظ على دفتر الأستاذ العام لسلسلة الكتلة وإيجاد العملات جديدة (Rehana & Alanoud, 2019, P3).

تعدين العملات المشفرة هو عملية إضافة كتلة، أو مجموعة من بيانات المعاملات إلى سلسلة الكتل، أو سجل كامل لجميع المعاملات على بروتوكول معين. تحتوي الكتل على بيانات وصفية تشير إلى الكتل السابقة، وتشكل بنية متسلسلة. تؤدي محاولات تغيير رابط واحد في السلسلة إلى نتيجة غير صالحة وبالتالي يتم رفضها من قبل الشبكة الأوسع بواسطة الاجماع الموزع (Intelligence, 2019, P2).

5.2 آليات تعدين العملات المشفرة:

نتيجة للمزايا الجذابة المتعلقة بالخدمات السحابية، يمكن جعل تعدين العملات المشفرة أكثر كفاءة وفعالية من حيث التكلفة من خلال استغلال خدمات تكنولوجيا السحابة المختلفة مثل

(Hari et al, 2015, P121):

- البنية التحتية كخدمة (IaaS)؛
- البرمجيات كخدمة (SaaS)؛
- النظام الأساسي كخدمة (PaaS)؛

ويرى Israa وDavor أن مكونات تعدين العملة المشفرة يستلزم توفر نظام لإدارة المعاملات، وحوض الذاكرة لتخزين المعاملات، اختيار خوارزميات العملة والمحفظة، إضافة إلى تكنولوجيا سلسلة الكتل ونظام إنذار أو إشعار (Israa & Davor, 2014, PP 3-4).

يتألف بروتوكول التعدين المفتوح المصدر من إثبات العمل القائم على الإجماع، وهو جوهر عملية التحقق من صحة المعاملات. يتم التحقق من كل معاملة مطلوبة أولا من خلال العقد الكاملة من خلال التأكد من أنها تفي بإرشادات الصلاحية ثم يتم تضمينها في قالب جديد لكل كتلة (Irni, Corina, 2019, P1).

يتم المفاضلة بين التعدين الفردي أو الجماعي، وبعد تهيئة مقومات العملية يتم ضبط الصعوبة، ومعدل التجزئة ويتم تشغيل برنامج التعدين، وفي حالة اكتشاف الكتلة الجديدة، يقوم البرنامج بإضافتها إلى المحفظة الشخصية مع خصم رسوم المعاملة (David, 2012, P17).

3.الآثار البيئية لتعدين العملات المشفرة: البيتكوين نموذجا

1.3 طرق تقدير الآثار البيئية:

إحدى القضايا المركزية التي تعقد النقاش حول الأثر البيئي للعملات الرقمية هي حقيقة أنه من الصعب للغاية إيجاد منهجية واضحة لقياس التأثير نفسه. بالنظر إلى أن البيتكوين ومعظم العملات الرقمية مجهولة المصدر، فإن إيجاد تقدير معقول لاتجاهات استخدام الطاقة في جميع أنحاء العالم والمرتبطة بهذه الصناعة يعد مشكلة.

سعيا لتصميم منهجية أكثر دقة وشمولا لمعالجة الآثار البيئية، تعمل الأبحاث الحديثة على تقدير استهلاك الكهرباء وانبعاثات ثاني أكسيد الكربون لكل مرحلة من مراحل تعدين العملات المشفرة على مدى عام واحد. ويمتد التقييم من استخراج المواد الخام اللازمة لإنتاج معدات الكمبيوتر إلى غاية الاستخدام التشغيلي (Tim, 2019).

هناك أربعة عوامل رئيسية تساهم في استهلاك الطاقة الخاصة بتعدين العملات المشفرة تشمل قوة الحوسبة في الأجهزة الصلبة؛ تجزئة الشبكة؛ الصعوبة؛ والتنظيم الحراري للأجهزة (Corrie, Heather, 2019, P4).

وعلى هذا الأساس يرى Jean أن تقدير الطاقة اللازمة للتعدين تحتاج إلى إرساء بعض الضوابط المتعلقة بـ (Jean-Antoine, 2019, P41):

- تحديد أي نوع من الآلات تستخدم لتعدين عملات البيتكوين وما هي النسبة المئوية من أجل تقييم ما إذا كانت تؤدي في وقت واحد وظائف أخرى؛
- النظر في موقع المنقبين (أو بالأحرى: مزارع التعدين) من أجل تحديد شبكة الطاقة المحلية التي تستمد طاقتها من المناخ المحلي المعني وتقييمها؛
- تقييم آليات وأنظمة التبريد المختلفة المستخدمة للحفاظ على درجة حرارة ثابتة للجهاز.

2.3 دراسة حالة البيتكوين:

1.2.3 تعريف البيتكوين:

البيتكوين هي عملة رقمية لا مركزية يتم توليدها وتخزينها على السحابة وليس لها وجود مادي (Rehana & Alanoud, 2019, P3). كما أنها مستقلة ولا تخضع لسلطة إصدار أو رقابة أي هيئة حكومية أو طرف آخر (Robby, Alexander, 2018, P31). وعلى الرغم من ذلك فإن قيمتها تستمر في الوجود بفضل الثقة والقبول لدى المتعاملين (DeVries, 2016, P1). كما عرفها

Francesco وآخرون على أنها عملة مشفرة تعمل وفق بروتوكول الند للند وترتكز جميع معاملاتها على تكنولوجيا سلسلة الكتل التي لا يمكن التلاعب بها أو تغييرها (Francesco et al, 2019, P1). تكمن القيمة التقنية للبيتكوين في حل مشكلة الإنفاق المزدوج حيث تستخدم كل معاملة تشفير المفتاح العام لإنشاء سجل عام دائم يسجل المشتري والبائع والمبلغ في صف واحد (Marshall, 2014, P30).

2.2.3 ظهور البيتكوين:

ويعتبر Satoshi Nakamoto المبتكر المجهول لبيتكوين، وقد كان يطمح إلى إنشاء نظام دفع إلكتروني يعتمد على دليل التشفير بدلا من الثقة، مما يسمح لأي طرفين راغبين بالتعامل مباشرة مع بعضهما البعض دون الحاجة إلى طرف ثالث موثوق به (Jon & Peder, 2019, P62).

في ظل انهيار الاقتصاد العالمي إثر أزمة المالية، تم تقديم 31 أكتوبر 2008، وبدأت التداول في الأسواق المنظمة في 22 ماي 2010 عندما قام Laszlo Hanyecz بأول صفقة بيع لشطيرتين مقابل 10 آلاف بيتكوين، ومنذ البداية، أظهرت تاريخا مضطربا في السوق، حيث أن أول فقاعة كانت نهاية 2013 حين وصل سعر صرفها حوالي ألف دولار (Henri, Fabrice, 2019, PP 105-106)، كما أن الفقاعة التي بلغت ذروتها في ديسمبر 2017 لا تبدو استثنائية، ففي الواقع ظهرت عدة فقاعات أسعار بيتكوين متداخلة قصيرة وطويلة الأجل بين عامي 2012 و2018 (Gerlach, et al, 2019, P2).

يوجد حاليا 2098 جهاز صراف آلي ATM خاص بالبيتكوين في 62 دولة، وتقبل أكثر من 11.500 شركة البيتكوين كوسيلة للدفع. عند النظر في انتشاره بين القارات، فإن 96% من أجهزة الصراف الآلي في أمريكا الشمالية وأوروبا (60% منه موجود في الولايات المتحدة)، بينما تبلغ حصة آسيا بـ 2.4% فقط (Dilek, Furuncu, 2019, P94). كما قدر موقع Statista عدد أجهزة ATM بـ 7.004 منها 4.790 جهاز بالولايات المتحدة الأمريكية أي ما يعادل 74.6% (Statista, 2019).

3.2.3 تعدين البيتكوين:

إن تعدين البيتكوين يقتضي ضبط الصعوبة كل 2016 كتلة على أساس الوقت الذي استغرقته للعثور على كتل 2016 السابقة. بالمعدل المرغوب فيه من كتلة واحدة كل 10 دقائق، سوف يستغرق 2016 كتل أسبوعين بالضبط للعثور عليها. إذا استغرقت القوالب السابقة لعام 2016 أكثر من أسبوعين لتجدها، تقل الصعوبة. إذا استغرقوا أقل من أسبوعين، تزداد

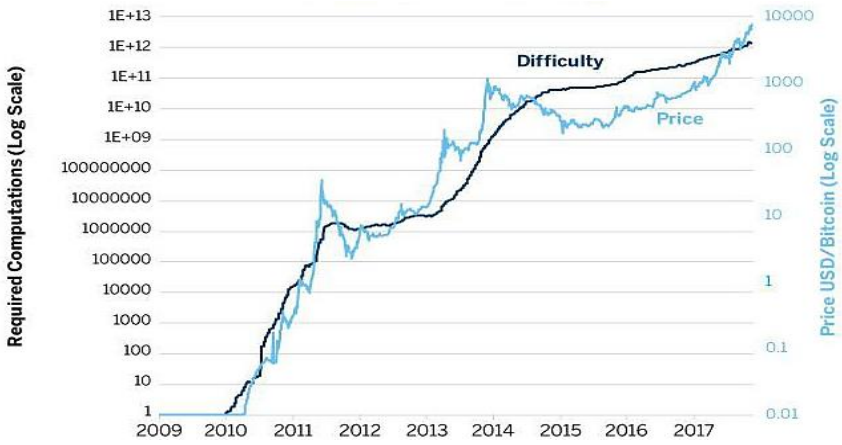
الصعوبة. تتغير درجة الصعوبة مع مقدار الوقت الذي يستغرقه بما يتجاوز أو يقل عن الأسبوعين لماضيين اللذين استغرقتهما كتل 2016 السابقة (BitcoinWiki, 2018).

يعتمد متوسط الوقت المستغرق للعثور على كتلة جديدة على مستوى الصعوبة الحالي للشبكة وقوة الحوسبة للأجهزة المستخدمة (Christian et al, 2018, P6). يخضع المنقبون لمجموعة صارمة من القواعد التي تحافظ على الهيكل العام للسوق، حيث أن هناك عدد محدود من البيتكوين يتم استخراجها، مما يخلق قيمة تعزى إلى الندرة. بالنسبة إلى البيتكوين، ونظرا لأن مكافآت الكتل المنشورة تنخفض إلى النصف كل 210.000 كتلة، فإن مكافأة البيتكوين الجديدة تتناقص تقريبا كل أربع سنوات (على سبيل المثال، تم تخفيض مكافأة 50 البيتكوين لكل كتلة في 2008 إلى 25 في 2012). في 31 أكتوبر 2018، تم إصدار الكتلة 548.173 بمكافأة تقدر بـ 12.5 بيتكوين بالإضافة إلى حوالي 0.2 بيتكوين في رسوم المعاملات (Corrie, Heather, 2019, P3). كما كانت الصعوبة تقدر بـ 6.936.230.051.963، ونظرا لأن كل كتلة تحتوي على حوالي 2^{32} تجزئة، ويتم حل كتلة واحدة كل 10 دقائق، يصبح معدل تجزئة الشبكة 49،651،468 TH/s (Christian et al, 2018, P5).

ويرتبط تعدين البيتكوين بدرجة الصعوبة التي تمثل قيمة تُستخدم لإظهار إمكانية العثور على التجزئة التي ستكون أقل من الهدف المحدد بواسطة النظام، ولكي تعتبر الكتلة شرعية، يجب أن تكون لها قيمة تجزئة أقل من الهدف المحدد. وتتغير الصعوبة كل 2016 كتلة، وتصاغ على الشكل التالي (Bitcoinwiki, 2020):

الصعوبة = صعوبة الهدف الأول / الصعوبة الحالية حيث الهدف الأول: يمثل 256 بت

الشكل 1: تطور أسعار ودرجة صعوبة تعدين البيتكوين



Source: Bitcoinwiki, en.bitcoinwiki.org/wiki/Difficulty_in_Mining, March 10, 2020

4.2.3 الآثار البيئية لتعدين عملة البيتكوين:

أظهرت نتائج أبحاث UNM أنه في مرحلة ما خلال 2018، تطابقت تكلفة الأضرار التي استلزمها تعدين البيتكوين مع قيمتها السوقية نفسها. وتنشأ هذه الأضرار من زيادة الملوثات الناتجة عن حرق الوقود الأحفوري المستخدم لإنتاج الطاقة، مثل ثاني أكسيد الكربون والجسيمات الدقيقة وأكاسيد النيتروجين وثاني أكسيد الكبريت. وقد تم ربط التعرض لبعض هذه الملوثات بزيادة خطر الوفاة المبكرة، كما قدرت ذات الدراسة أثر تعدين قيمة تعادل واحد دولار من البيتكوين تخلف 0.49 دولار كأضرار بيئية وصحية في الولايات المتحدة الأمريكية (UNM, 2019).

أشارت دراسة حديثة إلى أن طاقة الكمبيوتر الضخمة المطلوبة للتعدين تضع ضغوطا كبيرة على قطاع الطاقة مع تشغيل الآلات بشكل مستمر، ويستهلك الخادم النموذجي حوالي 1.5 Kw من الطاقة، ويكلف في أي مكان ما بين 3224 دولارا وأكثر من 9000 دولار لتعدين عملة معينة (Samford, Domingo, 2019).

كما أشارت دراسة Christopher وآخرون سنة 2018 إلى أن متوسط تكلفة الإنتاج المقدرة من قبل السوق يبلغ 5 سنت لكل KWh، كما تراجعت تكلفة اهتلاك رأس المال لـ 18 شهرا في حدود 8.500 دولار ما يعني أن عامل التعدين المتوسط هو الخسارة وعدم القدرة على تغطية النفقات الرأسمالية، والتعدين بأسعار الكهرباء أقرب من 3 سنت لكل KWh، مما يقلل من معدات

التعدين على مدار 24-30 شهرا، أو البحث عن الدفع أقل مقابل معدات التعدين (Christopher et al, 2018, P4).

تم إحصاء العديد من الأبحاث التي حاولت في الثلاث سنوات الأخيرة تقييم الآثار البيئية لتعدين البيتكوين، وتمايزت توجهات الباحثين بين مؤيد ومعارض، وفي هذا السياق أشارت نتائج دراسة Ryan سنة 2018 أن المخلفات الناجمة عن تعدين البيتكوين تعتبر الأقل تكلفة اقتصاديا وبيئيا مقارنة بالنشاطات الموازية المتعلقة بالإصدار النقدي والتنقيب عن الذهب وغيرها، حيث تم تقدير تكلفة عملية تعدين البيتكوين بـ 0.79 مليار دولار، أما استهلاك الطاقة فقد بلغ 3.6 مليون جيغا جول، في حين سجل انبعاث غاز ثاني أوكسيد الكربون 0.6 مليون طن (Ryan, 2018). والجدول الموالي يلخص نتائج مقارنة التكاليف السنوية.

الجدول 2: مقارنة التكاليف السنوية الاقتصادية والبيئية

النشاطات	التكلفة الاقتصادية	استهلاك الطاقة (GJ)	انبعاث CO_2 (Tn)
التنقيب عن الذهب	105 مليار دولار	475 مليون	54 مليون
رسكلة الذهب	40 مليار دولار	25 مليون	4 مليون
العملة الورقية والسك	28 مليار دولار	39.6 مليون	6.7 مليون
النظام المصرفي	1870 مليار دولار	2340 مليون	390 مليون
تعدين البيتكوين	0.79 مليار دولار	3.6 مليون	0.6 مليون

Source: coincentral.com/what-is-the-environmental-impact-of-bitcoin-mining, March 7, 2020.

أدت إمكانية المشاركة في عائدات مرتفعة بشكل استثنائي التي قدمتها سوق العملة المشفرة إلى اهتمام كبير من المستثمرين، حيث ارتفع عدد مستخدمي Coinbase، أحد كبريات عمليات التداول في العملات المشفرة في الولايات المتحدة، من 0.4 مليون في يناير 2017 إلى 5.6 مليون بحلول يونيو 2018 وهو ما ساهم في تضاعف الاقبال على عمليات التعدين(Szmigiera. 2019).

وفي تقرير آخر أشار Gold وMcBride إلى أن تداول العملات المشفرة عبر المنصات المخصصة لها لا يزال في طوره التمهيدي مقارنة بمزودي الخدمات الرقمية الرائدين، حيث قدر في أكتوبر 2018 معدل التحويلات في الثانية الواحدة المفعلة من قبل "فيزا" 24.000 عملية، متبوعة بمنصة "الريبل" بـ 1.500 عملية، و"باي بال" بـ 193 عملية، بينما سجلت الإيثر والبيتكوين 20 و7 تحويلات على التوالي (Gold, McBride. 2019. P18) ، وتؤشر هذه المعطيات على أن معدل استهلاك الطاقة الخاصة بتحويل العملات المشفرة وتسوية المعاملات أيضا لا يزال في مرحلة مبكرة، وهو ما يفسر سبب الجدل القائم حول آثر التعدين على مستقبل المركبات البيئية.

وفي هذا الصدد توصلت نتائج Christian وآخرون سنة 2018 إلى أن استهلاك الطاقة الخاصة بتعدين البيتكوين قدر بـ 48.2 TWh، أما البصمة الكربونية السنوية فتراوحت من 21.5 إلى 53.6 Mt من غاز ثاني أكسيد الكربون (Christian et al, 2018, P2)، وفي آخر تقدير لهم بجويلية 2019 تم تبيان أن استهلاك الطاقة قد انخفض إلى 45.8 TWh، أما البصمة الكربونية السنوية فتراوحت من 22 إلى 22.9 Mt من CO_2 (Christian et al, 2019, P1647).

ويعتبر مؤشر BECI من أكثر المؤشرات تتبعا لتقدير استهلاك الطاقة لتعدين البيتكوين، حيث تعتمد طريقة توليده على إنشاء سلسلة زمنية يوما بعد يوم باستخدام البيانات التالية (De Vries, 2018, P803):

- متوسط سعر البيتكوين خلال فترة زمنية معينة؛
- عدد البيتكوين المستخرجة خلال نفس الفترة الزمنية؛
- افتراض حول النسبة المئوية لعائدات تعدين البيتكوين؛
- افتراض حول متوسط سعر الكهرباء (5 سنت لكل kWh).

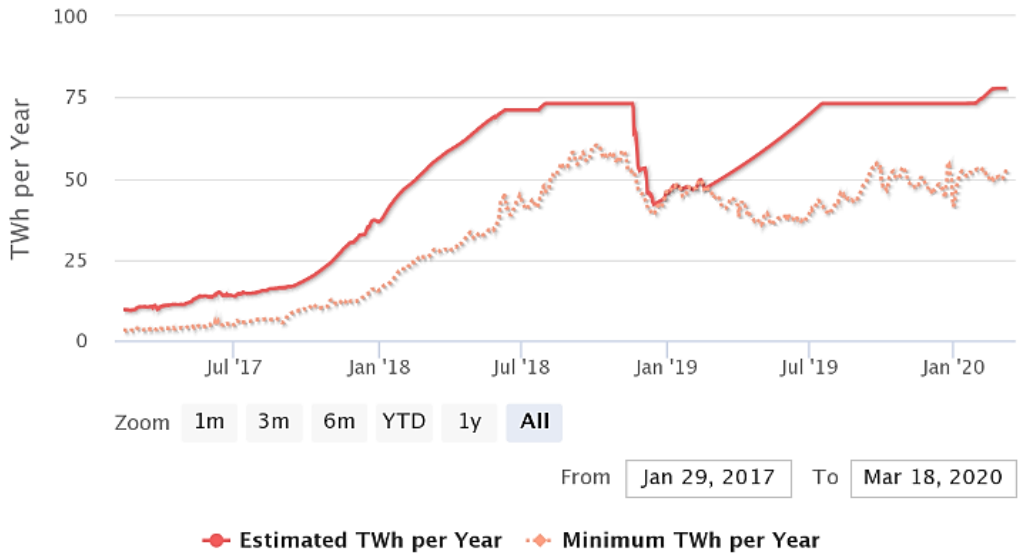
يتم ضرب متوسط سعر البيتكوين على مدى فترة زمنية في عدد البيتكوين المستخرج في تلك الفترة، بالإضافة إلى رسوم المعاملات للحصول على إجمالي الإيرادات، والتي بدروها تضرب في 60% للحصول على نفقات الكهرباء. ثم يتم تقسيم هذه النفقات على سعر الكهرباء المفترض لاستهلاك الكهرباء المقدر للشبكة لفترة التحليل (Jonathan, 2019, P9).

غالبا ما تكون الحسابات المستندة إلى الافتراضات عرضة للخطأ خصوصا في ظل المعلمات الاقتصادية (كسعر صرف البيتكوين) المتقلبة، وترتبط بشكل غير كامل في أحسن الأحوال باستخدام الكهرباء. قد تميل الأنظمة الاقتصادية الحقيقية نحو المثالية، لكنها غالبا لا

تقترب بسبب تكاليف المعاملات والفشل الإدراكي والعيوب الأخرى في الأشخاص والمؤسسات. بالإضافة إلى ذلك، فإن الافتراضات التي يستخدمها Digiconomist لا سيما افتراض أن 60% من عائدات البيتكوين تعادل تكاليف الكهرباء وتثبيت سعر الكهرباء بـ 5 سنت لكل Kwh، وهو ما يرجح نسبية هذا المؤشر.

من جهة أخرى ذكرت أبحاث Power Compare على الرغم من أن تعدين البيتكوين تستهلك حاليا 0.13% فقط من إنتاج الكهرباء في العالم، إلا أنها تنمو بسرعة فائقة. ويقدر مؤشر استهلاك طاقة البيتكوين زيادة الاستهلاك بنسبة 29.98% خلال الشهر الماضي. وإذا استمر هذا المعدل في النمو بصفة مطردة، ولم تقم البلدان بإضافة أي قدرة جديدة لتوليد الطاقة، فإن تعدين البيتكوين سوف يشكل تحديا عويصا أمام التنمية المستدامة (Power Compare, 2020).

الشكل 2: مؤشر استهلاك الطاقة لتعدين البيتكوين



Source : Digiconomist, digiconomist.net/bitcoin-energy-consumption, March 7,2020

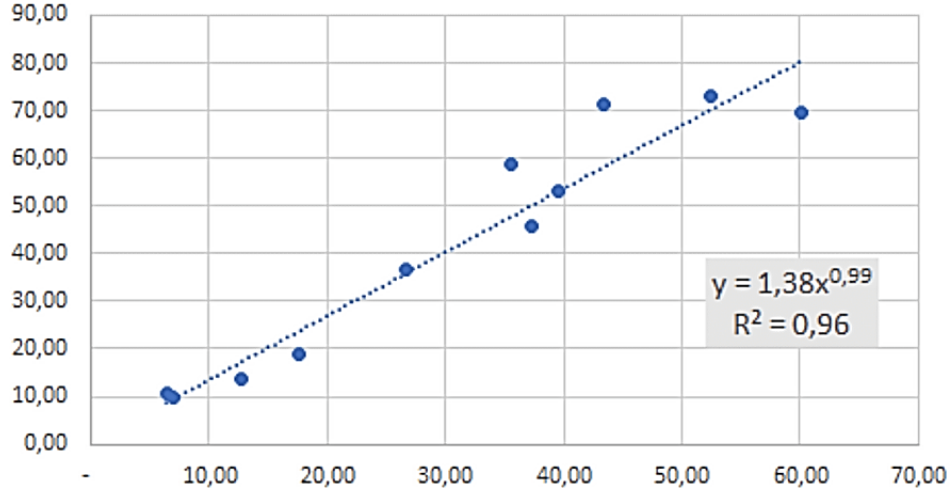
في آخر تقدير لـ Digiconomist أوضح أن معدل الطاقة اللازمة لتعدين البيتكوين إلى غاية 18 مارس 2020 بلغ 77.78 TWh سنويا، وهو ما يعادل استهلاك الطاقة في الشيلي، كما بلغت آثار الصفقة الواحدة 642.87 kWh ما يعادل متوسط استهلاك الطاقة لأسرة أمريكية على مدى 21.73 يوما. أما بالنسبة لانبعاث غاز ثاني أوكسيد الكربون فقد قدر بـ 36.95 Mt أي

ما يعادل الانبعاث في نيوزيلندا، وبمعدل 305.36 Kg في كل صفقة، وتعادل هذه البصمة الكربونية 763.411 معاملة فيزا أو 50.894 ساعة من مشاهدة يوتيوب. وفي نفس السياق قدر حجم النفايات الالكترونية 11.33 kt وبمتوسط بلغ 93.6 g لكل صفقة.

يقدر مؤشر BECI أن إجمالي التكلفة السنوية لتعدين البيتكوين تبلغ أزيد عن 3.09 مليار دولار مقابل عائدات سنوية تقدر بأزيد عن 6.1 مليار دولار، كما يبلغ إجمالي التجزئة في شبكة البيتكوين 119.660 PH/s (Digiconomist, 2020). وفي نفس الصدد قدر بنك التسوية الدولية BIS تكلفة التجزئة الواحدة في شبكة البيتكوين بـ $10x2.12^{-18}$ دولار (Raphael, 2019, P8).

وفي دراسة أجراها Per Poplyus أوضح أن هناك ارتباط قوي بين مخرجات مؤشر استهلاك الطاقة للبيتكوين BECI ومؤشر استهلاك الطاقة للبيتكوين المعتمد من طرف جامعة كامبريدج CBECI، وكلاهما بينا أن تطور استهلاك الطاقة ارتفع بمعدل 800% خلال 2.5 سنة الماضية.

الشكل 3: العلاقة بين BECI وCBECI لاستهلاك الطاقة لتعدين البيتكوين



Source : Digiconomist, digiconomist.net/bitcoin-energy-consumption, March 7,2020

وكان مؤشر CBECI قد أبرز أن إنتاج الطاقات بالاعتماد على الموارد المتجددة مثل الطاقة المائية والتي تبلغ 4.164 TWh وتكفي لتشغيل شبكة البيتكوين 50 مرة، كما أن الطاقة العضوية والنفايات تنتج 577 TWh وتكفي لتشغيل شبكة البيتكوين 7 مرات، علاوة على الطاقة الشمية والهوائية وغيرها والتي تنتج 1405 TWh وتكفي لتشغيل شبكة البيتكوين 17 مرة (CBECI, 2020).

وفي هذا الصدد أشار Marc إلى أن تعدين البيتكوين أصبح يأخذ اعتبارات عديدة منها (Ryan, 2018):

- استهداف المناطق ذات أسعار الطاقة المنخفضة؛
- تنامي تثمين البحث عن الطاقات البديلة المتجددة كالطاقة الكهرومائية والطاقة الحرارية؛
- تعزيز توظيف البيتكوين بهدف خلق قيمة مضافة تغطي حجم الطاقة المستهلكة؛
- ارتفاع عدد المنقبين يؤدي إلى تخفيض تكلفة استهلاك الطاقة بالنسبة لكل معاملة.

أما فيما يتعلق بتطور الحصص السوقية لمجمعات التعدين، يمكننا ملاحظة أن التوزيع قد تغير بمرور الوقت. لم تكن الأحواض (أو المزارع) المهيمنة على التعدين الآن (BTC.com وViaBTC وBTC.TOP) موجودة في أوائل عام 2016، والعكس صحيح، فإن معظم التجمعات الأكبر في عام 2016 (BTCC وBitfury وBW Pool) أصبحت الآن أصغر بكثير. علاوة على أنه، من يناير حتى منتصف 2018، احتوت ثلاثة أحواض مجمعة على أكثر من 50% من إجمالي قوة التعدين (Matteo, 2019, P8).

5.2.3 التمركز الجغرافي لعمليات تعدين البيتكوين:

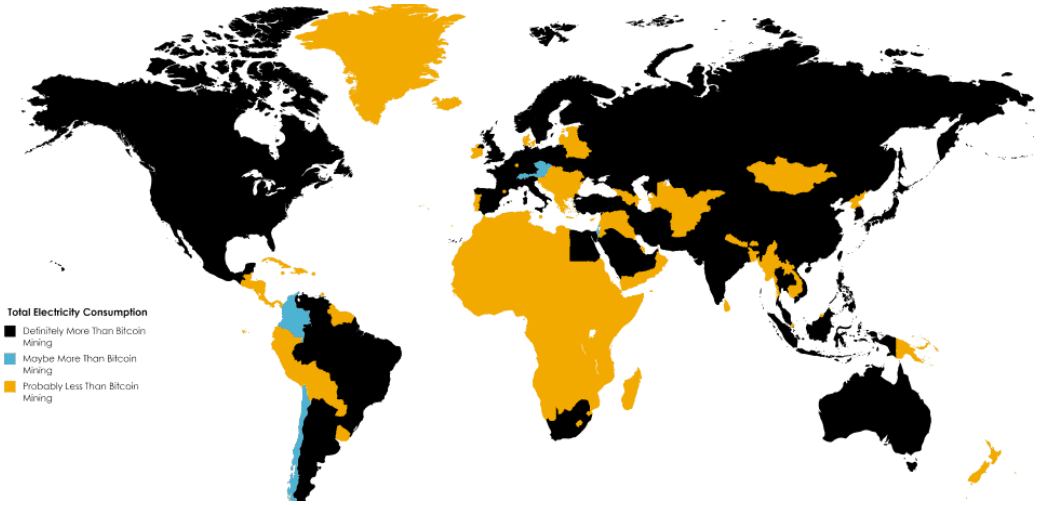
وفقا لدراسة أجريت في عام 2017، تبين أن ما يقرب من ثلاثة أرباع جميع مجمعات التعدين الرئيسية تتواجد إما في الصين (58%) أو في الولايات المتحدة (16%) (Corrie, Heather, 2019, P7)، أشارت دراسة Christopher وآخرون سنة 2018 أن 80% من عمليات تعدين البيتكوين في الصين تتركز في مقاطعة Sichuan، كما أن أغلبية من يغادرون الصين يختارون عدم إعادة الاستثمار داخلها. وبدلا من ذلك، يقومون بإعداد عمليات في مناطق معينة من الدول الاسكندنافية وروسيا وكندا والولايات المتحدة حيث يمكن الجمع بين الكهرباء الوفيرة والرخيصة، التنظيم الودي وشبكة إنترنت عالية السرعة، والمناخات الأكثر برودة للتقليل من الحاجة إلى تكلفة إضافية لتبريد الأجهزة (Christopher et al, 2018, P6).

تحفز دورة التنقيب عن الكتل المستمرة على البحث عن مزارع لتعدين البيتكوين في جميع أنحاء العالم، ونظرا لأن التعدين يمكن أن يوفر تدفقا عاليا من الإيرادات، فإن المنقبون على استعداد تام لتشغيل الآلات بغض النظر عن حجم الطاقة اللازمة للحصول على جزء منها.

وبمرور الوقت يتسبب هذا الاندفاع إلى نمو إجمالي استهلاك شبكة البيتكوين للطاقة إلى أبعاد كارثية، مع دفع سعر العملة إلى مستويات قياسية جديدة.

تستهلك شبكة البيتكوين بأكملها الآن طاقة أكثر من عدد من البلدان، فبحسب آخر تحديث لـ PowerCompare فإن استهلاك الكهرباء لتعدين البيتكوين يتجاوز معظم دول افريقيا باستثناء مصر وجنوب افريقيا، في حين أنه يعادل تقريبا ستة دول أخرى تشمل النمسا الشيلي، كولومبيا، التشيك، إسرائيل وسويسرا (PowerCompare, 2018).

الشكل 4: مقارنة بين استهلاك الكهرباء في دول العالم وتعدين البيتكوين - 2018/12



Source: powercompare.co.uk/bitcoin-mining-electricity-map, March 9, 2020

من جهة أخرى يبلغ استهلاك الطاقة اللازمة لتعدين البيتكوين إلى الطاقة المستهلكة في الولايات المتحدة الأمريكية حوالي 1.9%، و8% بالنسبة إلى روسيا، و13% بالنسبة إلى ألمانيا، أما كندا، فرنسا وانجلترا فقد بلغت النسبة 14%، 16% و23% على التوالي (Digiconomist, 2020).

لا تكمن مشكلة البيتكوين في استهلاكها الضخم للطاقة، ولكن حقيقة أن معظم مرافق التعدين في شبكة البيتكوين تقع في مناطق (في الصين في المقام الأول) تعتمد بشكل كبير على الطاقة القائمة على الفحم إما بشكل مباشر أو لغرض موازنة الزيادة في الطلب، ما يعني ببساطة أن تفاقم البصمة الكربونية ناجم عن سبب وجيه يتعلق بكون أن الفحم يغذي البيتكوين.

4. خاتمة:

على الرغم من أن بعض التوجهات تعمل على التخفيف من القلق بشأن الآثار البيئية المتولدة جراء تعدين العملات المشفرة إلا أن أغلب الأبحاث أقرت بأن ظاهرة الاندفاع نحو التعدين ساهم بشكل سلبي في تنامي حجم استهلاك الطاقة وتضاعف البصمة الكربونية بغض النظر عن الأضرار الصحية والمناخية، كما أن التضارب في تقييم مخلفات التعدين يعزى إلى التباين في بناء نماذج التقدير وصعوبة ضبط المتغيرات المركبة لهذه العملية. للإشارة فإن صياغة الأثار البيئية اقتصاديا أعطى بعدا أكثر دلالة عن حجم الأضرار الفعلية والمحتملة لظاهرة تعدين العملات المشفرة وكذا مدى الانحراف عن التوافق مع متطلبات التنمية المستدامة.

1.4 اختبار صحة الفرضية:

تبين من خلال مضمون الدراسة أن تعدين العملات المشفرة يؤدي إلى مضاعفة الأضرار وتعميق التكاليف البيئية، وبالتالي يمكن اعتبار الفرضية الرئيسية للدراسة صحيحة.

2.4 نتائج الدراسة:

سمحت الدراسة الحالية بالتوصل إلى جملة من النتائج نوجزها فيما يلي:

- أدى التصور البيئي السلبي إلى ترجيح عوامل الدفع التي ابتكرتها العملات المشفرة، وهو ما يستدعي مراجعة مسألة كفاءة عمليات التعدين وإعادة هيكلة تكنولوجيا سلسلة الكتل؛
- إن تقدير الآثار البيئية للتعدين يساهم في تحليل الرؤية المستقبلية المتعلقة بإمكانية إحلال العملات المشفرة محل العملات التقليدية وهو ما يشكل منعرجا هاما في شكل وطبيعة النظام النقدي والمالي الدولي؛
- صعوبة التقدير الاقتصادي للتكاليف البيئية تعزى إلى تطايرية العملات المشفرة، تعقد مسالك تعدينها، وتعدد مركبات الظاهرة، كما أن ممارسات التعدين لا بد لها أن تندرج ضمن المسؤولية الأخلاقية، الاجتماعية والبيئية؛
- تتمركز معظم عمليات تعدين البيتكوين في الصين والمناطق الشمالية لاعتبارات تتعلق بالأنظمة الودية، المناخ، تكاليف الطاقة وحجم أحواض التعدين؛

- إن ارتفاع قيمة البيتكوين مقابل ارتفاع تكاليف عمليات التعدين ساهم بدرجة عالية في تدهور ربحيتها، كما إن قيمتها المضافة المتعلقة بالأمان والخصوصية أصبحت مرهونة بحساسيتها تجاه قضايا الطاقة، التلوث والاستدامة البيئية؛
- إن عمليات التعدين ستتضاعف نظرا لارتفاع القيمة السوقية للبيتكوين، سرعة تحقيق المكاسب، زيادة درجة الصعوبة والميل نحو الندرة وهو ما يجعل القضايا البيئية تشهد المزيد من التحديات؛
- إن التوسع في البصمة الكربونية يتعذى على حساب حجم الوقود الأحفوري الموجه لتغطية الطاقة المستهلكة لتعدين البيتكوين؛
- إن استهلاك الطاقة الخاصة بتعدين العملات المشفرة ترتبط بقوة الحوسبة في الأجهزة الصلبة؛ تجزئة الشبكة؛ الصعوبة؛ والتنظيم الحراري للأجهزة.

3.4 مقترحات الدراسة:

- تحتاج المنظومة الدولية إلى توحيد جهودها بخصوص استحداث لوائح تنظيمية لضبط عمليات التعدين وتصويبها وحتى تداول العملات المشفرة؛
- ضرورة إعادة النظر في البعد الرقابي (الأمني) لتكنولوجيا سلسلة الكتل وطريقة إثبات العمل (PoW) كونهما العامل الأساسي في رفع مستوى الصعوبة وبالتالي زيادة الحاجة إلى الطاقة والمزيد من انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون؛
- تكاثف الجهود والتنسيق بين مختلف الجهات قصد تسطير منهجية أكثر دقة وشمولية لتقدير الآثار البيئية لتعدين العملات المشفرة؛
- تثمين المبادرات الهادفة إلى تخفيف الاندفاع نحو تعدين العملات المشفرة والإسراع في اتخاذ ترتيبات للتحكم في الظاهرة وترشيد الطاقة المستنفذة؛
- تعزيز استخدام الطاقات المتجددة كونها أكثر البدائل المتاحة لمواجهة التنامي المفرط في استهلاك الطاقة وتقليل الآثار الجانبية.

4.4 محدودية وآفاق الدراسة:

ركزت الدراسة على البيتكوين باعتبارها أول عملة مشفرة وأكثرها استحواذا على الحصة السوقية، وتستقطب أكبر شريحة من المعدنين. ما يعني أن هناك تفاوت في تقييم حجم المخلفات الناجمة عن تعدين العملات الأخرى. من جهة أخرى فإن تقدير الآثار البيئية اقتصاديا يتوقف على أسعار الصرف التي تزامنت وفترة إعداد الدراسة، وهذا ما يؤشر على تغير القيم

المشار إليه في الدراسة استنادا للتغير في المعطيات. كما تم استهداف مؤشر استهلاك الطاقة الخاصة بالبيتكوين BECI نظرا لقدرته على معالجة المعطيات الخاصة بالآثار البيئية ومتابعتها بصفة دورية وإتاحة المقارنات التوضيحية، ما يجعل مخرجات الأبحاث وكذا المؤشرات الأخرى تعطي اتجاها متباينا عن نتائج الدراسة الحالية. وبناء على ما سبق تتجلى إشكاليات أخرى تتعلق بتحديد الأسلوب الأمثل لتقدير الآثار البيئية لتعدين العملات المشفرة، إمكانية بناء نموذج تقدير شامل لمختلف العملات المشفرة، وتوسيع حقل المتغيرات البيئية عوض الاقتصار على الطاقة الكهربائية والبصمة الكربونية.

5. قائمة المراجع:

- Aleksander Berentsen, Fabian Schär, (2018), A Short Introduction to the World of Cryptocurrencies, Federal Reserve Bank of St. Louis Review, 100(1), P4.
- Alex de Vries, (2018), Bitcoin's Growing Energy Problem, Joule Review, Vol. 2, No. 5, Doi.org/10.1016/j.joule.2018.04.016.
- BitcoinWiki, Mining Difficulty in Different Coins, Retrieved from en.bitcoinwiki.org/wiki/Mining_Difficulty_in_Different_Coins, Published on August 8, 2018, Visited on March 8, 2020.
- Cameron Dark, David Emery, June Ma and Clare Noone, (2019), Cryptocurrency: Ten Years On, Bulletin – June 2019, Reserve Bank Of Australia.
- CBECI, Cambridge Bitcoin Electricity Consumption Index, (2020), Cambridge Centre for Alternative Finance, Retrieved from cbeci.org/comparisons, on March 08, 2020,
- Christian Stoll, Lena Klaaßen, Ulrich Gallersdo ¨rfer, (2019), The Carbon Footprint of Bitcoin, Joule Review, Elsevier Inc, July 17, 2019.
- Christian Stoll, Lena Klaaßen, Ulrich Gallersdörfer, (2018), The Carbon Footprint of Bitcoin, Working Paper Series, WP 2018-018, Massachusetts Institute of Technology MIT, Center for Energy and Environmental Policy ResearchCEEPR, USA.
- Christopher Bendiksen, Samuel Gibbons, Eugene Lim, (2018), The Bitcoin Mining Network: Trends, Composition, Marginal Creation Cost, Electricity Consumption & Sources, CoinShares Research.

- Coinmarketcap.com, March 9, 2020, 23:00.
- Corrie E. Clark, Heather L. Greenley, (2019), Bitcoin, Blockchain, and the Energy Sector, CSR Report, VERSION 3 - R45863, Congressional Research Service.
- David R. Sterry, (2012), Introduction to Bitcoin Mining: A Guide For Gamers, Geeks, and Everyone Else, Copyright © 2012 David R. Sterry.
- Digiconomist, (2020), Bitcoin Energy Consumption Index, Retrieved form digiconomist.net/bitcoin-energy-consumption, on March 7, 2020.
- Francesco Zola, Jan Lukas Bruse, Maria Eguimendia, Mikel Galar and Raul Orduna Urrutia, (2019), Bitcoin and Cybersecurity: Temporal Dissection of Blockchain Data to Unveil Changes in Entity Behavioral Patterns, Applied Science Journal, No. 5003, doi: 10.3390/app9235003.
- Hari Krishnan R, Sai Saketh Y, Venkata Tej Vaibhav M, (2015), Cryptocurrency Mining – Transition to Cloud, (IJACSA) International Journal of Advanced Computer Science and Applications, Vol. 6, No. 9.
- Heidi Samford, Lovely-Frances Domingo, (2019), The Political Geography and Environmental Impacts of Cryptocurrency Mining, The Henry M.Jackson School of International Studies, University of Washington.
- Henri Arslanian, Fabrice Fischer, (2019), The Future of Finance: The Impact of FinTech, AI, and Crypto on Financial Servies, Palgrave McMillan: Switzerlad.
- https://www.lexico.com/en/definition/cryptocurrency, visited on March 7, 2020.
- Intelligence, Cryptocurrency Mining, A Primer, Kraken, Retrieved from blog.kraken.com/wp-content/uploads/2019/04/Cryptocurrency-Mining-A-Primer-April-2019.pdf, March 6, 2020.
- Irni Eliana Khairuddin, Corina Sas, (2019), An Exploration of Bitcoin Mining Practices: Miners' Trust Challenges and Motivations, CHI 2019, May 4–9, 2019, Glasgow, Scotland, UK, doi.org/10.1145/3290605.3300859.
- Israa Alqassem, Davor Svetinovic, (2014), Towards Reference Architecture for
- J.C. Gerlach, G. Demos, D. Sornette, (2019), Dissection of Bitcoin's Multiscale Bubble Historyfrom January 2012 to February 2018, arXiv:1804.06261v4 [econ.EM].

- Jean-Antoine Parrer, (2019), Comparative Analysis of the CO2 Footprint of Bitcoin Transactions versus Traditional Financial Transactions using Life-Cycle-Assessment: A Basic Approach to a Life-Cycle-Assessment of Bitcoin Transactions, Bachelor Thesis, Vienna University of Economics and Business.
- Jean-Pierre Landau, Alban Genais, (2019), Digital Currencies: An exploration into technology and money, Report to M. Bruno Le Maire, Minister of Economy.
- Jon Nicolaisen, Peder Østbye, (2019), Useful Money and Cryptocurrencies, Institutional Investor Journals, Cryptocurrency Special Issue, New York.
- Jonathan Chiu, Thorsten V. Koeppl, (2019), The Economics of Cryptocurrencies—Bitcoin and Beyond, Staff Working Paper 2019-40, Bank of Canada.
- Jonathan Koomey, (2019), Estimating Bitcoin Electricity Use: A Beginner's Guide, Coin Center Report.
- Karim Sultan, Umar Ruhi, Rubina Lakhani, (2018), Conceptualizing Blockchains: Characteristics & Applications, 11th IADIS International Conference Information Systems.
- M. Szmigiera, (2019), Bitcoin - Statistics & Facts, statista.com/topics/2308/bitcoin, Posted on Nov 22, 2019, Accessed on March 6, 2020.
- M. Szmigiera, Cryptocurrencies - Statistics & Facts, Retrieved from: statista.com/topics/4495/cryptocurrencies/, Published on Oct 23, 2019, Visited on Nov 09, 2019
- Marek Dabrowski, Lukasz Janikowski, (2018), Virtual currencies and their potential impact on financial markets and monetary policy, Report No. 495, CASE – Center for Social and Economic Research, Warsaw.
- Marshall Van Alstyne, (2014), Why Bitcoin Has ValueEvaluating the evolving controversial digital currency, Economic and Business Dimensions, Communications Of The Acm, Vol. 57, No. 5, Doi :10.1145/2594288.

- Matteo Romiti1, Aljosha Judmayer, Alexei Zamyatin, Bernhard Haslhofer, (2019), A Deep Dive into Bitcoin Mining PoolsAn Empirical Analysis of Mining Shares, The 2019 Workshop on the Economics of Information Security (Boston, June 3-4, 2019).
- Peter D. DeVries, (2016), An Analysis of Cryptocurrency, Bitcoin, and the Future, International Journal of Business Management and Commerce, Vol. 1 No. 2.
- Power Compare, Retrieved from powercompare.co.uk/bitcoin, on March 7, 2020.
- PowerCompare.co.uk/bitcoin-mining-electricity-map, Late 2018, Visited on March 9, 2020
- Raphael Auer, (2019), Beyond the doomsday economics of "proof-of-work" in cryptocurrencies, BIS Working Papers, No 765, Monetary and Economic Department, Bank for International of Settlements.
- Rehana Parveen, Alanoud Alajmi, (2019), An Overview Of Bitcoin's Legal And Technical Challenges, Journal of legal, Ethical and Regulatory Issues, Volume 22, Special Issue1.
- Robby Houben, Alexander Snyers, (2018), Cryptocurrencies and blockchain, Legal context and implications for financial crime, money laundering and tax evasion, PE 619.024 Report, Policy Department for Economic, Scientific and Quality of Life Policies, European Parliament.
- Robby HOUBEN, Alexander SNYERS, (2018), Cryptocurrencies and blockchain: Legal context and implications for financial crime, money laundering and tax evasion, PE 619.024, European Union.
- Ryan Smith, (2018), What is the Environmental Impact of Bitcoin Mining?, Retrieved from Coincentral.com/what-is-the-environmental-impact-of-bitcoin-mining, Published on June, 11, 2018, Visited on March 7, 2020.
- Şerif Dilek, Yunus Furuncu, (2019), Bitcoin Mining and Its Environmental Effects, ournal of Economics and Administrative Sciences, Vol 33 Iss 1.
- Susanne Kohler, Massimo Pizzol, (2019), Life Cycle Assessment of Bitcoin Mining, Environmental Science & Technology Review, Environ. Sci. Technol. xxxx, xxx,

xxx–xxx, ACS Publications, American Chemical Society, Doi: 10.1021/acs.est.9b05687.

- Tim Sandle, (2019), Just how bad for the environment is Bitcoin mining? , Digital Journal, Retrived from: www.digitaljournal.com/tech-and-science/technology/just-how-bad-for-the-environment-is-bitcoin-mining/article/562377#ixzz6GAuXfc9T, on Mar 07, 2020.
- UNM team, (2019), The environmental cost of cryptocurrency mines, Eurek Alert AAAS, University of New Mexico.
- Zack Gold, Megan McBride. (2019). Cryptocurrency: A Primer for Policy-Makers, CAN Research Memorandum.
- Cryptocurrencies: Bitcoin Architectural Analysis, 2014 IEEE International Conference on Internet of Things(iThings), and IEEE Green Computing and Communications (GreenCom) and IEEE Cyber, Physical and Social Computing (CPSCom).