

الابتكار التكنولوجي للمؤسسات الناشئة في مجال الهندسة الزراعية " الزراعة العمودية أنموذجا "

Technological innovation of emerging enterprises in the field of agricultural engineering" vertical agriculture as a model "

ذيب سلسبيل^{1*}، العيفة عبد الحق²

¹ جامعة سطيف 1 (الجزائر)، dib.salsabil@univ-setif.dz

² جامعة سطيف 1 (الجزائر)، abdelhak.laifa@univ-setif.dz

تاريخ النشر: 2025/01/17

تاريخ القبول: 2024/09/16

تاريخ الاستلام: 2024/06/29

ملخص:

يهدف البحث إلى استعراض الابتكار التكنولوجي للمؤسسات الناشئة في مجال الهندسة الزراعية، وذلك من خلال تسليط الضوء على أنموذج الزراعة العمودية كحالة دراسية، حيث تسعى هذه المؤسسات إلى استخدام تقنيات مثل الزراعة المائية والهوائية وكذا الاستزراع السمكي لتحسين الإنتاجية والاستدامة في إنتاج الغذاء، خاصة في البيئة الحضرية أين تكون المساحات المتاحة محدودة ومكلفة، ويعتبر تطبيق هذا الأنموذج نقلة نوعية يسهم في زيادة الإنتاجية وتقليل التكاليف، مما يجعل زراعة المدن فعالة ومستدامة. **كلمات مفتاحية:** الابتكار التكنولوجي، المؤسسات الناشئة، الهندسة الزراعية، الزراعة العمودية.

Abstract:

The research aims to review the technological innovation of emerging institutions in the field of agricultural engineering, by highlighting the vertical farming model as a case study, as these institutions seek to use these technologies such as hydroponics and wind farming to improve productivity and sustainability in food production, especially in the urban environment where the available spaces are limited and expensive, and the application of this model is a qualitative leap that contributes to increasing productivity and reducing costs, making urban agriculture effective and sustainable.

Keywords: technological innovation, start-ups, agronomy, vertical farming.

1. مقدمة:

إن تحديات الأمن الغذائي المتزايدة المتمثلة في تغير المناخ وزيادة عدد السكان وندرة الموارد الطبيعية، استلزمت زيادة الإنتاج الزراعي والغذائي ليصبح قضية على جدول الأعمال الدولي والسياسي والبحثي، في ظل هذه الظروف ازداد الاعتماد على الابتكار التكنولوجي في المجال الزراعي، وذلك يظهر الزراعة العمودية التي كانت في فترة ليست ببعيدة مجرد خيال علمي والآن أصبحت نموذجاً بارزاً للابتكار في مجال الهندسة الزراعية، ففي عام 2020، طرحت صحيفة فايننشال تايمز تساؤل حول جدوى الزراعة العمودية: أمل أم ضجيج؟، هذه الاستفهامات والتي كان هذا سببها انطلاق موجة من المؤسسات الناشئة الجديدة الطموحة في هذا القطاع والتي قدمت حلولاً واعدة لزيادة الإنتاجية وكفاءة استخدام الموارد، مع تقليل الاعتماد على المبيدات الحشرية والأسمدة الكيميائية.

وفي ظل ما سبق يمكن طرح التساؤل التالي:

ما هي أهم الابتكارات التكنولوجية التي تقدمها المؤسسات الناشئة في مجال الهندسة الزراعية خاصة تلك المتعلقة بالزراعة العمودية؟

الأسئلة الفرعية:

- كيف يمكن للمؤسسات الناشئة في مجال الزراعة العمودية استخدام التكنولوجيا لتحسين كفاءة إنتاجها؟

- ما هي التحديات التي قد تواجه تبني التكنولوجيا في الزراعة العمودية وكيف يمكن التغلب عليها؟
وللإجابة على هذه الإشكالية نعرض الفرضيتين التاليتين:

الفرضية الأولى: تُقدم المؤسسات الناشئة في مجال الزراعة العمودية حلولاً تكنولوجية مبتكرة تُحسن من كفاءتها وفعاليتها.

الفرضية الثانية: يساهم الابتكار التكنولوجي في حلّ بعض التحديات الرئيسية التي تواجه الزراعة العمودية، مثل التكلفة المرتفعة واستهلاك الطاقة.

أهمية البحث: تكمن أهميته في تسليط الضوء على موضوع مهم يساعد في معرفة أفضل الابتكارات التكنولوجية التي تقدمها المؤسسات الناشئة في مجال الزراعة العمودية، ومنه زيادة الوعي بأهميتها كحلّ للتحديات الغذائية العالمية.

أهداف البحث: يهدف هذا البحث إلى تحليل أهم الابتكارات التكنولوجية التي تقدمها المؤسسات الناشئة في مجال الزراعة العمودية، وتقييم تأثير هذه الابتكارات على كفاءة وفعالية الإنتاج الزراعي، كما تسعى إلى تحديد التحديات التي تواجه هذه المؤسسات الناشئة في تبني وتطوير تقنيات الزراعة العمودية، وبناءً على النتائج المستخلصة، ستقدم الدراسة مقترحات لدعم وتطوير أنموذج الزراعة العمودية، بهدف تعزيز الاستدامة وزيادة الإنتاجية في هذا القطاع الحيوي.

منهجية البحث: اعتمدنا في هذا البحث على المنهج الوصفي التحليلي وذلك من أجل التعرف على المؤسسات الناشئة الزراعية وأساليب الابتكار المعتمدة فيها خاصة تلك المتعلقة بالزراعة العمودية ومدى مساهمتها في النهوض بالقطاع الفلاحي للأمم، كما تم الاعتماد على عدة مصادر أهمها الكتب والمقالات العلمية والمواقع الالكترونية وغيرها.

2. الابتكار التكنولوجي في الهندسة الزراعية

لا يتحقق النمو الاقتصادي والرفاه الاجتماعي للمجتمع إلا باستغلال الموارد البشرية والمادية المتاحة وذلك بالاستثمار في عمليات البحث والابتكار التكنولوجي.

1.2 الابتكار التكنولوجي

يعرف على أنه أي تحديد أو تحسين يُطبق على المنتجات أو على عمليات الإنتاج في مؤسسة إنتاجية، بهدف تعزيز كفاءة الجهاز الإنتاجي وتحسين جودة المنتجات، ويعتمد نجاحه أو فشله على عوامل رئيسية أهمها (الطحان، 2016):

- الحاجات الاقتصادية والاجتماعية
- الموارد الاقتصادية والاجتماعية
- المناخ الملائم
- مستوى مهارة العاملين.

من خلال ماسبق يمكن القول أن الابتكار التكنولوجي يمثل عملية تحسين وتطوير التقنيات والأفكار لإنتاج منتجات وخدمات جديدة أو تحسين المنتجات والخدمات الحالية باستخدام التكنولوجيا المتقدمة والأساليب الإبداعية، مما يساهم في تلبية احتياجات المجتمع وتحسين جودة الحياة.

2.2 الهندسة الزراعية

مصطلح "الهندسة الزراعية" مشتق من الكلمة اليونانية "Agros" تعني "الحقل" و "Nomos" تعني "الإدارة".

وتعرف بأنها التخصص الهندسي الذي يطبق العلوم والتكنولوجيا الهندسية على الإنتاج الزراعي والتجهيز، حيث تم قبول الهندسة الزراعية كأحد التخصصات الرئيسية التي تساهم بشكل كبير في زيادة إنتاجية الزراعة عن طريق زيادة كفاءة المدخلات والحفاظ على الموارد وتقليل خسائر ما بعد الحصاد إلى جانب إضافة القيمة للإنتاج الزراعي .

كما أنها فرع من العلوم الزراعية الذي يتعامل مع مبادئ وممارسات إدارة التربة والمياه والمحاصيل من خلال التطبيق العملي للعلم والمعرفة (Horikoshi، 2022).

ويشمل دور الهندسة الزراعية مجموعة واسعة من المهام مثل تصميم المباني الزراعية، وتطوير الآلات والمعدات الزراعية لتحسين الكفاءة والدقة، وإدارة الموارد الزراعية بفعالية من خلال تخطيط استخدام الأراضي والمياه، كما تتضمن تطوير أنظمة الري والصرف لتعزيز كفاءة استخدام المياه، واستخدام التكنولوجيا الحديثة في المسح الزراعي وتحليل البيانات لزيادة الإنتاجية (Sharma، 2014).

3. الابتكار التكنولوجي في المؤسسات الناشئة

1.3 مفهوم المؤسسات الناشئة

عرفتها Simonetta Primario على أنها مؤسسات صغيرة في مرحلة مبكرة من دورة حياتها تتوقع تحقيق أهدافها من خلال قدرتها الابتكارية الواعدة كما تعتبر محركاً أساسياً للتغير والنمو الصناعي للأنظمة الاقتصادية ومصدراً استراتيجياً لخلق فرص العمل والابتكار التكنولوجي (Simonetta Primario and others، 2024).

2.3 دور الابتكار في دعم المؤسسات الناشئة

تُعتبر الشركات الناشئة المبتكرة جهات فاعلة حيوية في تشكيل المشهد المستقبلي للنشاط الاقتصادي، ومن المثير للدهشة أنهم في نفس الوقت يعتبرون من بين أكثر الجهات فعالية ضعفاً في أي اقتصاد، إذ أن نشأتها في بيئة قائمة على عدم اليقين وعدم الاستقرار كالأزمات الاقتصادية أو الأوبئة

العالمية تظهر الحاجة الماسة إلى تطوير وتكييف نماذج أعمالها استجابةً لديناميكيات السوق المتطورة واحتياجات المستهلك الناشئة، ولا يتم ذلك إلا من خلال توفر نظام إيكولوجي للابتكار ركيزته تعزيز التعاون وتبادل الموارد والمعرفة بين المؤسسات الناشئة والشركات الكبيرة والحكومات والمؤسسات الأكاديمية والمستهلكين وغيرهم من الجهات ذات الصلة لتحقيق التوازن بين التنافس والتعاون، وهذا المفهوم مستوحى من الدراسات الرائدة لكريج رينولدز (1987)* ، كما يتطلب الأمر بناء بنية تحتية للابتكار، مثل مساحات العمل المشتركة ومراكز البحث والتطوير وبرامج التمويل والتدريب المخصصة لريادي الأعمال .

3.3 المؤسسات الناشئة الزراعية

اعتبرها الباحثان "Pablo Villalobos ، Laurens Klerkx" جهات فاعلة جديدة في أنظمة الابتكار الزراعي والغذائي الأوسع نطاقاً، تهدف إلى تعزيز الابتكار واستكشاف طرق جديدة ومتكاملة للحلول في عدة قطاعات، بما في ذلك الزراعة والطاقة والبناء، تعتمد هذه الجهات الجديدة على مفاهيم تكاملية مثل الاقتصاد الدائري والبيولوجي، لتطوير أنظمة زراعية وغذائية مستدامة ومبتكرة، كما يرى الباحثان أنها تسعى إلى إحداث تحولات في الطريقة التي يتم بها إنتاج وتوزيع الغذاء، بالإضافة إلى تعزيز التعاون بين القطاعات لتطوير حلول شاملة تلبى احتياجات المجتمعات بشكل أفضل (PabloVillalobos، 2024).

4. الزراعة العمودية: تقنياتها المبتكرة وجدواها الاقتصادية

إن الانتشار السريع لمفهوم الزراعة العمودية مدفوع بشكل أساسي لزيادة طلب المستهلكين على المنتجات الطازجة والصحية والمحلية المزروعة بشكل مستدام.

1.4 مفهوم الزراعة العمودية

عرفها Dickson Despommier بأنها أي مبنى متعدد الطوابق مخصص لزراعة الغذاء بداخله.

*نُعدّ من أهم الدراسات في مجال سلوكيات الحيوانات الاصطناعية إذ أكد رينولدز أن إدارة الحركة تنتج عن كل طائر يعدل موقعه قليلاً استجابةً للظهور القريبة، لا يوجد طائر هو القائد، ولا يوجد طائر هو التابع، بل يتفاعل كل منهم مع أقرب جيرانه، وتستجيب المجموعة بأكملها لتلك التفاعلات، وبالتالي يصبح التعاون والتنافس آليات أساسية للبقاء على قيد الحياة، وهي وسيلة للحد من المخاطر المفترسة التي تشكلها الجهات الفاعلة الأكبر والأكثر قوة.

ووصفها Rob wildmen بأنها "البيوت الزجاجية العمودية" أو "المصانع النباتية"، حيث تحتوي على العديد من القصص لزراعة المحاصيل باستخدام مساحة صغيرة من الأرض، عادةً ما تكون هذه المزارع متعددة الطبقات، وتمتد أفقياً على جوانب المباني مع تكديس النباتات في رفوف متعددة (wildmen, 2020).

بينما يرى Kheir Al-Kodmany أنها نهج ثوري لإنتاج كميات كبيرة من الأطعمة الطازجة عالية الجودة والمغذية على مدار السنة، دون الاعتماد على العمالة الماهرة أو الطقس المواتي أو خصوبة التربة العالية أو استهلاك كميات كبيرة من الماء (Al-Kodmany, 2018).

من خلال ما سبق يمكن القول أن الزراعة العمودية تعتبر أسلوب زراعي حديث قائم على زراعة النباتات داخل أبراج شاقولية في بيئة خاضعة للرقابة، مع اعتماد تقنيات مبتكرة لتحقيق أقصى استفادة من المساحات المحدودة، وبالنظر إلى تطبيقها في المدن والمناطق الحضرية، فإنها تُعد حلاً فعالاً لتلبية احتياجات الزراعة في بيئات ذات مساحات محدودة.

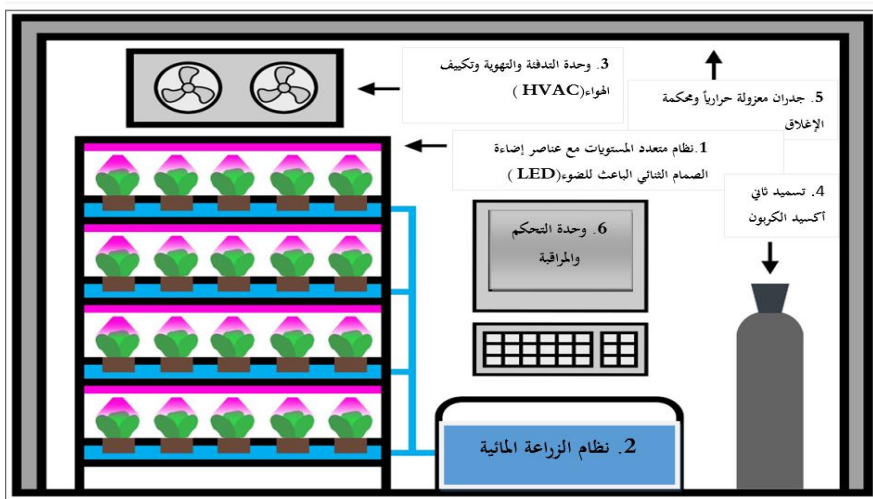
2.4 التقنيات والأساليب المستخدمة في الزراعة العمودية

طور الباحثون للزراعة العمودية أساليب عالية التقنية على أمل المساهمة في الإنتاج الغذائي المستدام من بينها:

1.2.4 الزراعة المائية Hydroponics :

قائمة على نظام النمو المغلق في المياه العميقة الذي يركز على إنتاج المحاصيل ذات الدورات القصيرة مثل الخضروات الورقية، ولا يتحمل الزراعات الثقيلة، إذ يتألف من ستة مكونات أساسية تهدف إلى توفير وسائط مثالية لنمو المحاصيل متعددة الطبقات، مع ضمان توازن بين الماء والهواء في منطقة الجذر، وتلعب أنظمة الإضاءة LED دوراً رئيسياً في هذا النظام فهي تُستخدم لتوفير الضوء اللازم لنمو النباتات، مع استخدام ألوان مختلفة من الضوء لتحفيز نمو أجزاء معينة من النبات، مثل الأحمر والأزرق لنمو الأوراق والأزرق لنمو الجذور والشكل الموالي يوضح ذلك: (Gerrewey, 2021)

الشكل رقم 01: رسم تخطيطي يوضح كيفية عمل الزراعة المائية

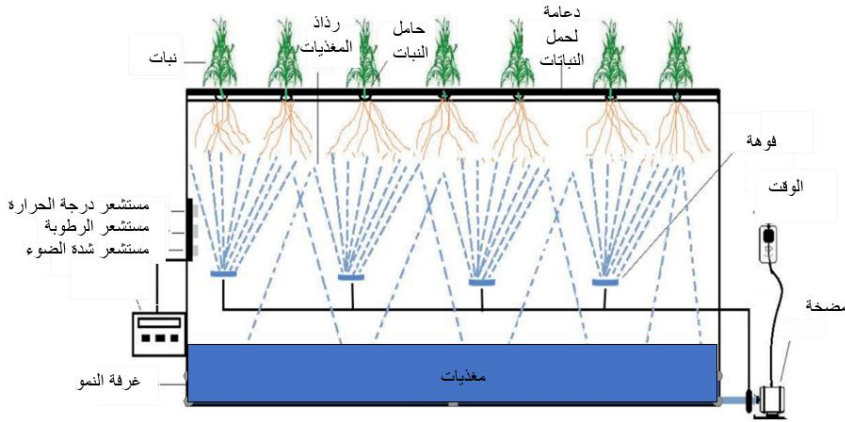


Source: Thijs Van Gerreway and others, Vertical Farming: The Only Way Is Up?, researchgate, MDPI, Agronomy, 2021, p3

2.2.4 الزراعة الهوائية Aeroponic

تعتمد على تعليق جذور النباتات في الهواء واستخدام وسط غازي مع دعائم رغوية أو بلاستيكية، حيث يتم توزيع محلول المغذيات عبر أنظمة رش مخصصة لتوفير العناصر الغذائية مباشرة للنباتات. تعتبر هذه التقنية مستدامة، حيث تقلل من استهلاك الموارد الطبيعية ومخاطر الأمراض النباتية المنقولة عبر التربة، لكنها تتطلب إدارة دقيقة ورصد دائم للظروف البيئية وصيانة منتظمة لأنظمة التغذية والرش، وتشمل الزراعة الهوائية مجموعة واسعة من المحاصيل مثل الخضروات الورقية، الخضروات الثمرية، النباتات ذات الجذور، والبقوليات (Mazhar H. Tunio، 2020).

الشكل رقم 02: رسم تخطيطي لنظام الزراعة الهوائية مع التحكم الآلي

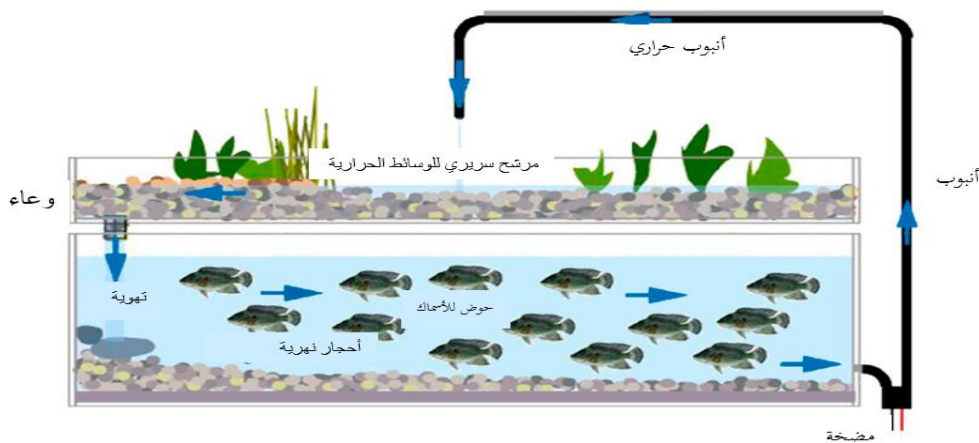


source: Mazhar H. Tunio and others, Potato production in aeroponics: An emerging food growing system in sustainable agriculture for food security, CHILEAN JOURNAL OF AGRICULTURAL RESEARCH, 2020 , P122.

3.2.4 الاستزراع النباتي السمكي Aquaponics

يعتمد هذا النظام على زراعة أسماك عالية الجودة في أحواض صغيرة وشفافة مع الطحالب الخضراء المجهرية، حيث توفر الطحالب العناصر الغذائية من الماء، وتستخدم أنظمة الإضاءة LED بألوان متنوعة لتحفيز سلوكيات الأسماك، مثل استخدام الضوء الأزرق للنمو والضوء الأحمر للتكاثر (الشكل رقم 03)، كما يتميز هذا النظام بتعزيز نمو الأسماك والطحالب بسرعة في المياه الدافئة، مما يجعله مناسباً للمزارع العمودية ذات المساحات المحدودة، إذ تشير الدراسات إلى أنه يمكن لحوض بحجم 1.5 متر في الارتفاع و1.5 متر في القطر أن ينتج ما يصل إلى 18 كغ من الأسماك سنوياً وتستخدم الأحواض أيضاً كوحدات لتخزين الطاقة الشمسية وتحسين ظروف النمو في البيئات الحضرية، كما تساهم في تبريد الهواء هواراً وتسخينه ليلاً، مما يوفر ظروفاً مثالية لنمو الأسماك والطحالب.

الشكل رقم 03: رسم تخطيطي لنظام الاستزراع النباتي السمكي



Source: Kheir Al-Kodmany ,The Vertical Farm: A Review of Developments and Implications for the Vertical City,Buildings ,2028,P10.

4.4 الجدوى الاقتصادية للزراعة العمودية

إن كل ابتكار يُوفّر الماء والمساحة والجهد والتكاليف يُعتبر مجد اقتصادياً، فالزراعة العمودية قائمة على مبدأ "إنتاجية أكبر مساحة أقل" فهي تتيح النمو الطبقي للمحاصيل، مما يضمن أقصى عائد لكل متر مربع من المساحة المتنامية، وهو ميزة مهمة بشكل خاص في المناطق الحضرية.

1.4.4 تحليل SWOT للزراعة العمودية

يعتبر تحليل SWOT أداة استراتيجية تستخدم لتحديد نقاط القوة والضعف والفرص والتهديدات لأي مشروع أو صناعة وفيما يلي تحليل SWOT للزراعة العمودية (Banerjee, 2013):

نقاط القوة (Strengths):

تتميز الزراعة العمودية بالكفاءة في استخدام المساحة والموارد، مما يزيد من إنتاجية الأرض ويقلل من الحاجة إلى المياه والأسمدة والطاقة، وهي بذلك توفر إنتاجاً مستداماً على مدار العام بفضل التحكم الكامل في الظروف البيئية مثل الضوء ودرجة الحرارة والرطوبة، كما تتيح مراقبة دقيقة للبيئة، مما يحسن نمو النباتات، وتسمح بالزراعة في المناطق الحضرية حيث تكون المساحة محدودة.

نقاط الضعف (Weaknesses):

تواجه الزراعة العمودية تحديات مثل التكلفة العالية، البنية التحتية المعقدة، والمتطلبات التقنية المتخصصة، كما أنه ليست جميع المحاصيل مناسبة لهذا النوع من الزراعة، وهناك مخاوف بيئية تتعلق بزيادة استهلاك الطاقة بسبب الإضاءة الاصطناعية. كما أن إدارة وتشغيل الأنظمة تتطلب مهارات تقنية عالية، مما قد يحد من القدرة على التوسع السريع.

الفرص (Opportunities):

تتمتع الزراعة العمودية بفرص نمو كبيرة في السوق نتيجة لزيادة الوعي البيئي والطلب على المنتجات الصحية والمستدامة، مع توقع تغير أنماط الاستهلاك لتفضيل المنتجات ذات القيمة الغذائية العالية، ويساهم الابتكار التكنولوجي في خفض تكاليف إقامة المزارع وتبسيط تشغيلها، بينما تدعم الزيادة السكانية وانخفاض حجم الأراضي الزراعية هذا النموذج واعتباره كحل مستدام لإنتاج الغذاء في المناطق الحضرية، إضافة إلى ذلك فالتغير المناخي يعزز الاهتمام بالزراعة المستدامة ويزيد من القبول الاجتماعي والسياسي لهذه النموذج.

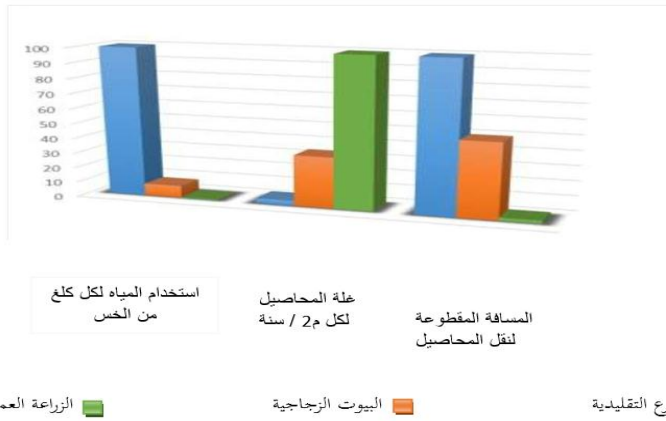
التحديات (Threats):

تواجه الزراعة العمودية تحديات من عدة جوانب، بما في ذلك الشكوك الواسعة من رجال الأعمال والأكاديميين حيال جدواها الاقتصادية والعملية، مما يتطلب بحثاً ودراسات علمية لإثبات فعاليتها، كما تكمن التحديات الأخرى في محدودية السوق وقدرة الزراعة التقليدية على تقديم الغذاء بتكاليف منخفضة، بالإضافة إلى منافسة الإعانات الزراعية التقليدية وتقلبات أسعار المنتجات الزراعية التي تؤثر على ربحية المزارعين.

2.4.4 العائد المقدر للزراعة العمودية مقارنة بالزراعة التقليدية

وفقاً لـ Swathi Erekaث وآخرين، يمكن للمزارع العمودية إنتاج غلة من الخس لكل متر مربع تفوق الزراعة التقليدية بأكثر من 80 ضعفاً والبيوت الزجاجية بأكثر من 12 ضعفاً (انظر الرسم البياني رقم 04)، مما يقلل الجهد وتكاليف النقل لقرها من المستهلك، هذه المزارع مناسبة للدول التي تعاني من نقص المياه لأنها تستخدم أنظمة ري مغلقة وتقنيات إدارة المياه المتقدمة والنظيفة فالمزارعون العاملون فيها على دراية تامة بما يضاف من أسمدة ومبيدات حشرية في إنتاج محاصيل زراعية عضوية ومنه الحصول على غذاء صحي وآمن، كما أنها تحمي المحاصيل من الطقس الخارجي وتغير المناخ، مما يمكن من الزراعة على مدار العام حتى في البيئات القاسية. (Erekaث، 2024)

الشكل رقم 04: يبين الرسم البياني مقارنة بين المزارع التقليدية والبيوت الزجاجية والزراعة العمودية من حيث استخدام المياه وإنتاجية المحاصيل ومسافة وصول الغذاء



Source : Swathi Erekaath and others, Food For Future: Exploring Cutting-Edge Technology and Practices in Vertical Farm, JournaPre-proof, Elsevier, 2024, p15.

ويشير الجدول رقم 01 إلى العائد المقدر للمزارع العمودية مقارنة بالزراعة التقليدية لعشرة محاصيل مختلفة لدراسة مصممة من قبل المؤلف DLR Bremen ، وكما هو متوقع تكون الغلات في المزارع العمودية عادة أعلى، فعلى سبيل المثال يبلغ إنتاج البطاطا في الزراعة التقليدية حوالي 28 طنًا/هكتار، بينما يصل في المزارع العمودية إلى 150 طنًا/هكتار، أي ما يقرب من خمسة أضعاف، وبصفة عامة تحقق المزارع العمودية إنتاجية تزيد بحوالي 2.5 مرة عن المزارع التقليدية وتعزى هذه الزيادات في غلة الزراعة العمودية إلى البيئة المغلقة والتحكم بالإضاءة ، وتعدد دورات النمو والحصاد، بالإضافة إلى حسن استخدام المساحة (Sheng, 2018).

الجدول رقم 01: يبين العائد المقدّر للزراعة العمودية مقارنة بالزراعة التقليدية

إنتاج الأرض	مردود الحقل (طن/هكتار)	العائد في الجهد المتغير بسبب التكنولوجيا (طن/هكتار)	زيادة العامل بسبب التكنولوجيا
جزر	30	58	1,9
الفجل	15	23	1,5
بطاطس	28	150	5,4
الطماطم	45	155	3,4
فلفل	30	133	4,4
فراولة	30	69	2,3
البازلاء	6	9	1,5
ملفوف	50	67	1,3
الحس	25	37	1,5
السبانخ	12	22	1,8
المجموع/المتوسط	28	71	2,5

Source: Jie Sheng, Vertical Farming Feasibility The opportunities and challenges of adapting vertical agriculture University of British Columbia, Vancouver, Canada,2018,p14.

5. تجارب ناجحة للمؤسسات الناشئة في تطبيق الابتكار التكنولوجي في مشاريع الزراعة العمودية

شهدت الزراعة العمودية تقدم ملحوظ من خلال جهود شركات التكنولوجيا الناشئة بابتكارها تقنيات تجسدت في نماذج اقتصادية جديدة وطرق زراعية ابتكارية، والتي أسهمت بشكل كبير في تحويل هذه الفكرة إلى واقع ملموس، وتتصدر قائمة هذه المؤسسات الرائدة :

1.5 إيروفارم Aerofarm :

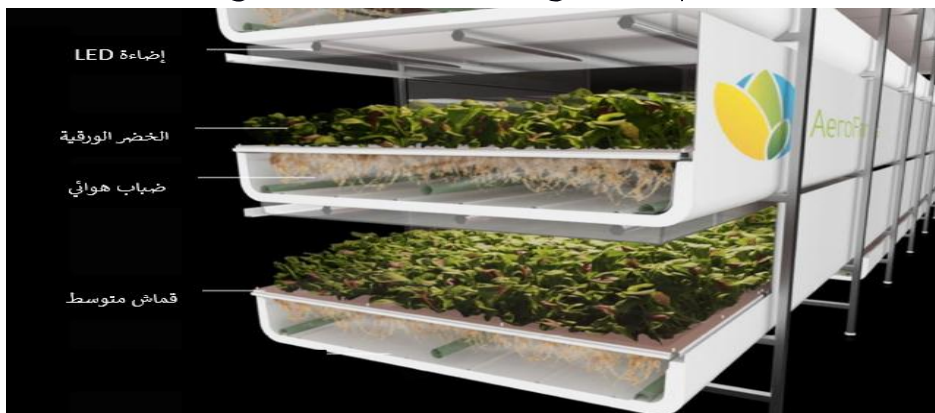
هي مؤسسة ناشئة رائدة في مجال الزراعة العمودية داخل المباني، وتعتمد على تقنية الزراعة المائية والهوائية لزراعة الخضروات الورقية، والتي تُظهر إنتاجية عالية حيث تنتج 390 مرة أكثر من الخضروات من مساحة الأرض نفسها مقارنة بالزراعة التقليدية (aerofarms، 2021)، كما تستغرق عملية نمو

النباتات حوالي 12-14 يومًا فقط، بينما يستغرق الأمر ما بين 30-45 يومًا في المزارع التقليدية، وبالتالي فهي تحقق كفاءة عالية إذ تستهلك 95% ماء أقل من الزراعة التقليدية، وجودة عالية حيث تُنتج خضروات طازجة وذات نكهة مميزة، واستدامة عالية حيث لا تستخدم أي مبيدات حشرية وتُقلل من انبعاثات الكربون (Baranuik، 2017).

كما تضم مشاريع إيروفارم أكبر مزرعة عمودية في العالم بمساحة 70000 قدم مربع في نيو جيرسي (Vittek، 2017) وتقدم مزرعة "دانفيل" خدمات لأكثر من 1000 تاجر تجزئة للأغذية في المنطقة، وتوجيه استثمارات بقيمة 100 مليون دولار أمريكي من مكتب أبو ظبي للاستثمار بإنشاء مزرعة فيها بمساحة 90000 قدم مربع مخصصة للبحث والتطوير (aerofarms، 2020)، بالإضافة إلى شراكة مع الخطوط الجوية السنغافورية لتقديم خضروات طازجة للمسافرين وتعمل على توسيع وجودها في قطاع التجزئة من خلال شراكاتها مع تجار التجزئة ومنصات التجارة الإلكترونية (FITZPATRICK، 2019).

ويتوقع أن تصل قيمة الزراعة العمودية في مزارع أريوفارم وحدها إلى 12.7 مليار دولار بحلول عام 2026، مع معدل نمو سنوي مركب يزيد عن 22% خلال السنوات الخمس القادمة، بالإضافة إلى ذلك من المتوقع أن تصبح منتجاتها ذات ميزة عالمية بقيمة 1.8 تريليون دولار بحلول عام 2023، حيث ستساهم الخضروات الورقية بمبلغ 108 مليارات دولار في هذا الإجمالي.

الشكل رقم 05: يوضح نظام زراعة النباتات في مزارع إيروفارم



المصدر: <https://aerofarms.com/technology/> تاريخ الاطلاع: 2024/04/24

2.5 إمرسن غرو EmersonGrow

تعتبر مؤسسة رائدة في مجال تقنيات الإضاءة LED الذكية للزراعة الداخلية في كندا، ولها خبرة واسعة في مجال تقنيات الإضاءة الزراعية الرقمية، حيث أنها تصمم وتصنع منتجاتها الخاصة من خلال التحكم بجودة الضوء وكميته ومدته والآليات الأساسية ذات الصلة التي تؤثر على سمات إنتاج المحاصيل البيولوجية ومنه المساهمة في تحسين إنتاجية المحاصيل وتقليل استهلاك الطاقة .

أهم تقنيات EmersonGrow تتمثل في (emersongrow. 2024):

- تصميمها لمصابيح LED لتقليد الضوء الطبيعي للشمس، إذ تمتلك النباتات القدرة على تفكيك الضوء الطبيعي إلى ألوان مختلفة، ولكل لون طول موجي فريد على طيف الأشعة فوق البنفسجية مما يلعب دوراً مميزاً في نموها فالضوء الأزرق يعزز نموها والأحمر يحفز استجابة هرمونية تؤدي إلى إزهار النباتات، والأشعة فوق البنفسجية (UVB) تلعب أدواراً في مراحل النمو المختلفة، تستغل هذه تقنية لزيادة كفاءة عملية البناء الضوئي عند النباتات.

- الضوء الذكي: تتيح منتجات EmersonGrow التحكم عن بعد وشبك الإضاءة بالإنترنت، مع إمكانية تعديل اطياف الضوء وشدة الإضاءة وموحدات التشغيل وفقاً لأطوار نمو النبات المختلفة. وصفات الإضاءة: (Light Recipes) طوّرت الشركة نظاماً قائماً على السحابة يسمح للمستخدمين بمشاركة وتحميل "وصفات إضاءة" خاصة بأنواع معينة من النباتات، مما يساعد على تحسين وتحسين إنتاجية المحاصيل.

3.5 هيدرو غرين Hydrogreen

هي مؤسسة رائدة في مجال تغذية الماشية، وتعتبر جزءاً من نظام المزارع المكعبة تأسست سنة 2015، وتتميز بتقنياتها المعروفة باسم GLS 808 ، والتي تعتمد على نظام الماشية الخضراء، يقوم هذا النظام بدمج عدة آلات - تتراوح بين 6 إلى 12 آلة - في بيئة داخلية تجارية مكيفة والذي ومن خلاله يمكن زراعة محاصيل العلف من البذور إلى أن تصبح جاهزة للتغذية في غضون 6 أيام فقط، ويتم زراعة محاصيل العلف على مدار العام بشكل تلقائي، مما يضمن إنتاج علف طازج عالي الجودة.

وتتميز هذه التقنية بكفاءة فائقة، حيث يمكن لكل نظام إنتاج ما يقارب 2 كيلومتر مربع من الأراضي الزراعية، مع إنتاج يصل إلى 25 مليون طن من الأعلاف الطازجة سنوياً، والأهم من ذلك فإن هذا

النظام يستخدم ما يصل إلى 95% أقل من المياه مقارنة بعمليات تربية الماشية التقليدية (hydrogreen)،
(2024):

الشكل رقم 06: يوضح استخدام تقنيات الزراعة المائية في إنتاج الأعلاف بمزرعة Masseria

بإيطاليا Cilentana



المصدر: <https://www.instagram.com/p/CvIM6tcOonj/> تاريخ الاطلاع:

2024/05/13

4.5 أغريكول Agricool :

هي مؤسسة فرنسية ناشئة أسست عام 2015، اعتبرت كواحدة من أفضل المؤسسات الناشئة الفرنسية سنة 2017، وتتخصص في إنشاء مزارع حضرية صغيرة باستخدام حاويات شحن قديمة معروفة بـ "المبردات" لزراعة الفراولة عمودياً دون استخدام أي مبيدات حشرية، تعتمد هذه الحاويات على أضواء LED التي تعمل بالطاقة المتجددة بنسبة 100%، مما يقلل استهلاك المياه بنسبة تصل إلى 90% مقارنة بالزراعة التقليدية، وتزعم أغريكول أن الفراولة المزروعة محلياً تتمتع بطعم أفضل، وتحتوي على نسبة أعلى من فيتامين C بنسبة 30% مقارنة بالفراولة المتوفرة في المحلات (Perreau، 2022)، كما جمعت خلال سنة 2021 مبلغ 25 مليون دولار بهدف توسيع نطاق تكنولوجيا الزراعة الحضرية في باريس ودي من خلال توظيف 200 شخص إضافي وتركيب 100 حاوية جديدة، ووفقاً لتقارير الأمم المتحدة، من المتوقع أن تبلغ نسبة منتجات الزراعة العمودية 20% من إجمالي المنتجات الاستهلاكية بحلول عام 2030، مقارنة بسنة 2021 والتي بلغت 5% (Marin، 2022).

الشكل رقم 07: يظهر التصميم الداخلي لشكل حاويات الشحن الخاصة بزراعة الفراولة.



المصدر: [https://fr.growspecdevice.com/container-farm/vegetable-grow-](https://fr.growspecdevice.com/container-farm/vegetable-grow-container/strawberries-container-farm.html)

[container/strawberries-container-farm.html](https://fr.growspecdevice.com/container-farm/vegetable-grow-container/strawberries-container-farm.html) تاريخ الاطلاع: 2024/05/13

5.5 هارفست إكس HarvestX: "روبوتات ذكية لتعزيز إنتاج الفراولة في المصانع العمودية الداخلية" تعدّ شركة هارفست إكس اليابانية الناشئة رائدة في مجال أتمتة إنتاج الفراولة داخل المصانع العمودية الداخلية، إذ تهدف تقنياتها إلى تحسين كفاءة الإنتاج وزيادة جودة الثمار مع تقليل الاعتماد على اليد العاملة.

حلول هارفست إكس:

تركز هارفست إكس على ثلاث مجالات أساسية لتعزيز إنتاج الفراولة:

- التلقيح الآلي: استبدال النحل الحي بروبوتات متطورة تُقلّد سلوكه بدقة عالية، مما يضمن تلقيحاً متجانساً ويزيد من العائد.
- إدارة النباتات: استخدام أنظمة ذكية لمراقبة نمو كل شتلة وتقديم الرعاية المناسبة في الوقت المناسب، مما يُحسّن من صحة النباتات ويُقلّل من الأمراض.
- الحصاد الآلي: توظيف روبوتات لجمع الفراولة الناضجة بدقة وكفاءة، ممّا يُقلّل من الهدر ويُحسّن من جودة الثمار والشكل الموالي يوضح ذلك:

الشكل رقم 08: يوضح مراحل زراعة الفراولة

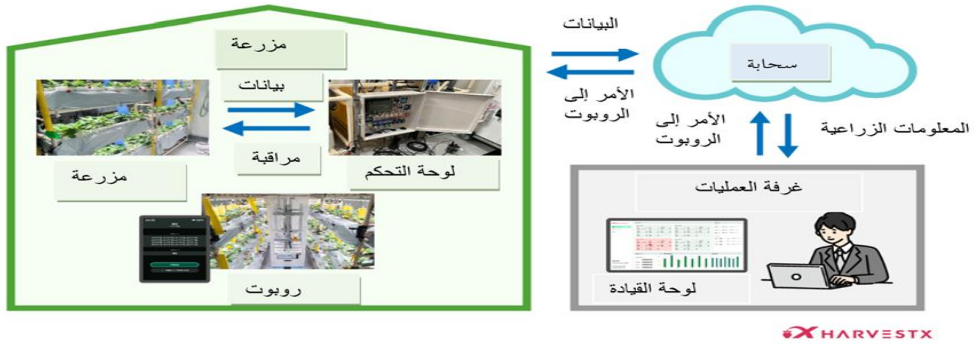


المصدر: <https://harvestx.jp/en/solutions/> / تاريخ الاطلاع: 2024/05/20

المزايا التقنية لهارفست إكس:

- تُقدّم تقنيات هارفست إكس العديد من الفوائد لمزارعي الفراولة في البيئات الداخلية:
 - زيادة الإنتاجية: يُؤدّي التلقيح الآلي إلى زيادة العائد بشكل كبير، بينما تُحسّن إدارة النباتات من صحة الثمار وتُقلّل من الفاقد.
 - خفض التكاليف: يُقلّل الاستغناء عن العمالة اليدوية في عمليات التلقيح والحصاد من تكاليف التشغيل.
 - تحسين الجودة: يُضمن التلقيح الآلي جودة عالية ومتجانسة للثمار، ممّا يُحسّن من قيمتها السوقية.
 - الاستدامة: يُقلّل استخدام الروبوتات من الاعتماد على النحل الحي، ممّا يُحافظ على التنوع البيولوجي ويُعزّز من استدامة الإنتاج.
- التطورات التقنية:** تُواصل هارفست إكس تطوير تقنياتها باستمرار، مستفيدة من أحدث التطورات في مجال الذكاء الاصطناعي والروبوتات ومن أهم إنجازاتها:
- نظام التنبؤ بالعائد: يُستخدم هذا النظام لتنبؤ كمية الفراولة التي ستنتجها كل شتلة، ممّا يُساعد على تحسين تخطيط الإنتاج وتقليل الفاقد.
 - تصنيف نضج الثمار: يُصنّف هذا النظام الفراولة تلقائيًا حسب نضجها، ممّا يُساعد على ضمان حصاد الثمار في الوقت الأمثل (harvestX, 2024).
 - محاكاة المزارع: يتمّ استخدام محاكاة كمبيوترية لتصميم وتطوير أنظمة الروبوتات قبل اختبارها في البيئة الفعلية، ممّا يُقلّل من الوقت والتكاليف، والشكل الموالي يوضح كيفية عمل ذلك:

الشكل رقم 09: يبين كيفية عمل التقنيات الذكية لمزرعة هارفيست إكس



المصدر: <https://harvestx.jp/en/solutions> / تاريخ الاطلاع: 2024/05/20

6. خاتمة:

إن التوسع الحالي السريع في الزراعة العمودية مدفوع بشكل أساسي بزيادة طلب المستهلكين على المنتجات الطازجة والصحية والمحلية المزروعة بشكل مستدام وبأسعار معقولة مما يجعلها أنموذجاً جديداً للزراعة المبتكرة والمستدامة، والمؤسسات التكنولوجية الناشئة كغيرها من المستثمرين قد لعبت دوراً محورياً في دعم وتطوير هذه التقنية بابتكاراتها المتعددة مثل أنظمة ومستلزمات الإضاءة والزراعة المائية والأتمتة، إن نجاح هذه المبادرات وقدرتها على تلبية احتياجات السوق المتزايد تظهر بشكل جلي في النتائج التالية:

اختبار الفرضيات:

الفرضية الأولى صحيحة نسبياً ذلك أن العديد من المؤسسات الناشئة تقدم حلولاً مبتكرة تُحسن من كفاءة وفعالية الزراعة العمودية من خلال:

زيادة الإنتاجية: ذلك أن أنظمة الإضاءة LED تُحسن من كفاءة استخدام الطاقة فهي تُقلل من استهلاك الطاقة بنسبة 20% وتوفر إضاءة قابلة للتعديل تناسب احتياجات المحاصيل المختلفة، كما أن أنظمة الري الذكية تُقلل من استهلاك المياه بنسبة 90%.

تحقيق الاستدامة :

- بتقليل استخدام المبيدات الحشرية والأسمدة الكيميائية.
- تقليل هدر المياه
- تقليل استخدام الأراضي.
- تقليل البصمة الكربونية.
-

الوصول إلى الطعام:

- بتوفير منتجات طازجة وصحية محلية.
- تقليل مسافة وصول الأغذية.

الفرضية الثانية أيضا صحيحة نسبيا إذ يساهم الابتكار التكنولوجي في حلّ بعض التحديات الرئيسية التي تواجه الزراعة العمودية ذلك أن أنظمة الإضاءة LED المستخدمة في الزراعة بشقيها الهوائية والمائية وكذا الاستزراع السمكي تُقلّل من تكاليف الطاقة بشكل كبير، كما تُقلّل من كمية المياه المستخدمة، مما يُقلّل من تكاليف الري، بالإضافة الى ذلك فان استخدام الطاقة الشمسية وطاقة الرياح وغيرها من الطاقات المتجددة لتشغيل أنظمة الزراعة العمودية يقلل من تلك التكاليف.

وعلى ضوء ما سبق يمكن تقديم المقترحات التالية:

- 1- دعم وتطوير المؤسسات الناشئة في مجال الزراعة العمودية:
 - إنشاء صندوق دعم للمؤسسات الناشئة في المجال الزراعي.
 - تقديم إعفاءات ضريبية للمستثمرين.
 - تنظيم ورش عمل وبرامج تدريبية.
 - إطلاق حملات إعلامية لنشر الوعي.
- 2- توفير التمويل اللازم لتطوير تقنيات الزراعة العمودية وتشجيع الاستثمار فيها.
- 3- وضع قوانين وتشريعات تدعم تطبيق الزراعة العمودية.

4- دعم البحث والتطوير في مجال الزراعة العمودية لتطوير تقنيات أقل تكلفة وأكثر ملاءمة للظروف في الدول النامية.

5- بناء القدرات وتدريب المزارعين على تقنيات الزراعة العمودية.

6- تحسين البنية التحتية لتوفير الطاقة والمياه اللازمة لدعم الزراعة العمودية.

7- تطوير تقنيات محلية الصنع لخفض الاعتماد على الواردات.

8- تطبيق نماذج للزراعة العمودية في نطاق الجامعات لتعزيز دور المجتمعات المستدامة.

7. قائمة المراجع:

1- جاسم محمد علي الطحان، 2016، الابتكار المتضمنات والمتغيرات، دار الكتاب الجامعي، الإمارات

العربية المتحدة، الطبعة 1، ص43.

2- BENALI Brahim, (2023) ,STARTUP Environnements juridique, financier et fiscal des startups, des incubateurs et des porteurs de projets innovants, EDITIONS ITINERAIRES SCIENTIFIQUES ,Alger,p9.

3- Horikoshi, Satoshi and others, (2022)Agritech: Innovative Agriculture Using Microwaves and Plasmas, Thermal and Non-Thermal Processing: Thermal and Non-Thermal Processing, springer , ,p49.

4- Rakesh Kumar Sharma(2014) Basics of Agriculture for Engineers Useful for B.Tech. (Agricultural Engineering) ,Daya Publishing House,Astral International Pvt. Ltd ,India, , P 116.

5- Simonetta Primario and others, (2024) Peer innovation as an open innovation strategy for balancing competition and collaboration among technology start-ups in an innovation ecosystem, Journal of Innovation & Knowledge ,elsevier, p 1.

6- Laurens Klerkx , Pablo Villalobo (2024) , Are AgriFoodTech start-ups the new drivers of food systems transformation? An overview of the state of the art and a research agenda ,Global Food Security,scienceDirect, ,p3.

7- Rob wildmen,.(2020) ,vertical farming: A future perspective or a mere conceptual idea,p12 .

8- Kheir Al-Kodmany, (2018) ,The Vertical Farm: A Review of Developments and Implications for the Vertical City,Buildings,P2.

9- Thijs Van Gerrewey and others, (2021),Vertical Farming: The Only Way Is Up? ,ResearchGate, MDPI, Agronomy, p3.

- 10- Mazhar H Tunio and others, (2020) ,Potato production in aeroponics: An emerging food growing system in sustainable agriculture for food security, CHILEAN JOURNAL OF AGRICULTURAL RESEARCH, P122.
- 11- Chirantan Banerjee,(2013) , Up and Away! The Economics of Vertical Farming, Journal of Agricultural Studies, University of Bonn Meckenheimer, Germany,p49
- 12- Swathi Ereka and others ,(2024) ,Food For Future: Exploring Cutting-Edge Technology and Practices in Vertical Farm ,Journal Pre-proof ,Elsevier ,p12.
- 13- Jie Sheng ,(2018) ,Vertical Farming Feasibility The opportunities and challenges of adapting vertical agriculture University of British Columbia, Vancouver, Canada,p14.
- 14- AeroFarms ,(2021) <https://www.aerofarms.com/aerofarms-breaks-ground-on-worlds-largest-and-most-technologically-advanced-aeroponic-indoor-vertical-farm/>29/04/2021 .
- 15- Chris Baranuik(2017) How Vertical Farming Reinvents Agriculture, 2017www.bbc.com/future.06/04/2017 .
- 16- Shelby Vittek(2017),Vertical Farms Are Green—And Growing www.njmonthy.com09/05/2017 .
- 17- AeroFarms,(2020) <https://www.aerofarms.com/aerofarms-to-build-worlds-largest-rd-farm/> 09/04/2020.
- 18- ALEX FITZPATRICK , (2019) This Airline Is Working With The World's Largest 'Vertical Farm' For Fresher In-Flight Meals.
- 19- Emerson grow ,(2024)<https://www.emersongrow.com/>13/05/2024
- 20- Hydrogreen , (2024)<https://hydrogreenglobal.com/>13/05/2024 .
- 21- Perreau, Charlie,(2022)<https://www.lesechos.fr/start-up/impact/la-ferme-urbaine-agricool-placee-en-redressement-judiciaire-1395891>24/03/2022.
- 22- Marin, Jérôme(2022)<https://cafetech.fr/2022/06/02/les-fermes-urbaines-dagricool-rachetees-pour-50-000-euros/>02/06/2022.