

الواجب العملي للمحاضرة الثالثة

من المحور الثاني: أسس وقواعد البحث والتطوير في مجال الطاقة المتجددة

الهدف الرئيسي من هذا الواجب العملي:

هو استيعاب مفهوم مستوى جاهزية التقنية. وذلك لأن هذا المفهوم يعد ركيزة أساسية يجب على المهندسين و طلاب الدراسات العليا والباحثين وأعضاء هيئة التدريس والمستثمرين فهمها ومعرفة تفاصيلها لكي يوفروا على أنفسهم الوقت والمال والجهد في اختيار المجالات البحثية و المشاريع الاستثمارية التي يرغبون أن يستثمروا فيها ابتكاراتها وقدراتهم العلمية والأكاديمية.

بداية سنتناول مفهوم جاهزية التقنية ونشرح ال 9 مستويات المتعلقة بجهازيتها. ثم سنعرض أربع تقنيات يجب على المتدرب أن يقوم بتحديد المستوى التي وصلت له هذه التقنية من حيث الجاهزية.

تعريف مستويات جاهزية التقنية:

تعرف مستويات جاهزية التقنية- Technology Readiness Levels (TRL) – على أنها نوع من أنظمة القياس المستخدمة لتقييم مستوى نضج التقنية في مجال معين وتتكون المستويات من 9 مراحل يعد TRL 1 هو الأدنى و TRL 9 هو الأعلى من حيث جاهزية التقنية للاستخدام في الأسواق و البدء في تصنيعها بكميات كبيرة ومنافسة. حيث يتم تقييم كل تقنية باستخدام معايير خاصة في كل مستوى من المستويات ال 9 ثم بعد ذلك يتم تعيين المستوى الذي وصلت له هذه التقنية وعليه يستطيع الباحثون والمستثمرون والشركات الكبرى من معرفة الجهود المطلوبة لتحويل هذه التقنية إلى منتج منافس يتمتع بكفاءة عالية وتكلفة منخفضة.

أهمية فهم وتحليل مستوى جاهزية التقنية:

يستخدم TRL في المؤسسات الصناعية والحكومية والمراكز البحثية لتقييم نضج التقنية (سواء كانت على سبيل المثال عبارة عن: جهاز أو مادة أو مكون أو عملية أو تطبيق و إلخ) من بداية وجودها كفكرة علمية بحثية إلى حد وصولها للأسواق واستخدامها كمنتج في السوق و على نطاق واسع.

معرفة هذا الأمر سيساعدك كباحث أو مستثمر في تحديد مقدار الموارد و الوقت ، والأموال ، والإمكانات الفكرية والبحثية والمرافق المطلوبة اللازمة لإحياء هذه التقنية وإخراجها إلى النور. ولهذا سنتمكن من معرفة التالي:

- ❖ ماهي التقنية التي تحتاج إلى تطوير وبمكاني أن اختارها في نطاق بحثي علمي في مرحلة الدراسات العليا أو أبحاث ما بعد الدكتوراة.
- ❖ المقدرة على تحديد ماهو المستوى الذي أعمل عليه حالياً في رسالة الدكتوراة أو الماجستير و متى أستطيع أن أصل بفكرتي البحثية إلى السوق واستثمارها بشكل تجاري و تحويلها كمنتج.
- ❖ ماهو المستوى من المستويات التسعة الذي من الأفضل لي الابتداء منه سواء في الاستثمار أو البحث العلمي وهل يتوافق مع الامكانيات المتاحة لدي.

سؤال ستستطيع الإجابة عليه في نهاية هذا التدريب:

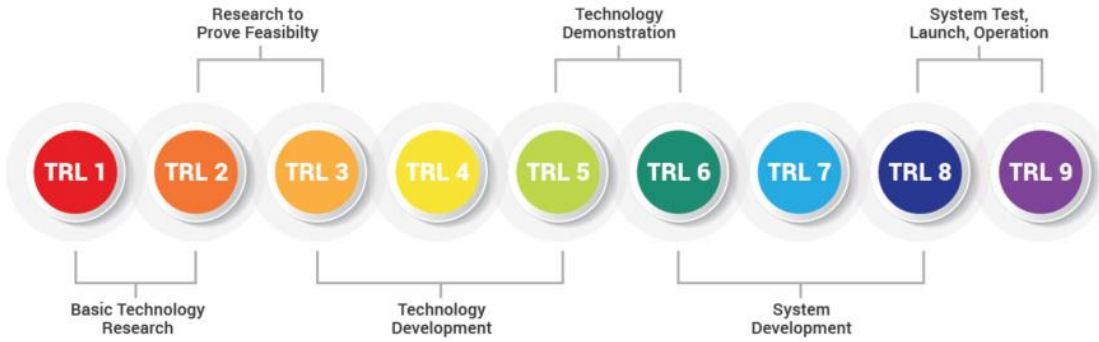
لماذا يستطيع بعض الباحثون في مرحلة الدراسات العليا وكذلك بعض المراكز البحثية لتحويل أفكارهم البحثية إلى منتجات في السوق استثمارتها شركات عملاقة ؟ وفي المقابل لا يستطيع الآخرون فعل ذلك؟

©2021, ARABRENA, All rights reserved

بإدارة خبراء قواعد وأساسيات البحث العلمي والتطوير في مجال الطاقة المتجددة - د. عبدالرحمن بابريك

الطبعة الأولى: فبراير 2022

مستويات جاهزية التقنية



المستوى الأول TRL1: تحديد الخصائص العلمية الأساسية لفكرة التقنية.

تركز هذه المرحلة على مراجعة الدراسات والأبحاث السابقة والتحقق من صحة الفرضية وذلك لصياغة المفاهيم العلمية والخصائص الهندسية المتعلقة بالتقنية المقترحة و عمل دراسات نظرية عامة لتحقيق من الخصائص الأساسية العامة لهذه الفرضية وما هو النقص و الاحتياج للتطوير. وأين وصلت الصناعة والباحثون في هذا المجال من قبل.

المستوى الثاني TRL2: الدراسة التحليلية لتحقيق من موافقة التقنية لقواعد العلوم الأساسية.

تتمحور الجهود في هذه المرحلة على التحقق من وجود أدلة علمية تبرهن صحة التخمينات السابقة التي تم على أساسها اقتراح التقنية. فيقوم الباحثون على عمل دراسات تحليلية علمية استناداً على القواعد والأسس العلمية في هذا المجال: كالقوانين الفيزيائية والرياضية والكيميائية والخ والحصول على تصاميم نظرية صحيحة للتقنية المقترحة. وفي العادة يتم استخدام برامج المحاكاة التي تسمح بدراسة عدة قوانين ومتغيرات في وسط برمجي واحد دون انفاق المال على هذا التحليل.

المستوى الثالث TRL3: هو إثبات مفهوم التقنية عملياً. (و هذا المستوى بعد أول مستوى للانتقال من مرحلة التطوير العلمي النظري للتقنية إلى المرحلة الثانية وهي التطوير التطبيقي للتقنية)

يتم في هذه المرحلة التحقق من صحة إمكانية تحويل تصميم التقنية إلى شيء ملموس في المختبر. حيث يتم تحويل التصاميم التي تم تحليلها في المرحلة السابقة والقيام بعدد من الدراسات والتجارب المخبرية. للتحقق المادي من صحة التوقعات التحليلية والافتراضات السابقة في مرحلة التصميم النظري.

المستوى الرابع TRL4: مرحلة إعداد النموذج ماقبل الأولي.

بعد التحقق من صحة عمل مكونات التقنية بصورة منفردة يتم دمج جميع المكونات وعمل نموذج أولي لتقنية التي تم اقتراحها وعادة يسمى هذا النموذج "بالنموذج الأولي القبيح". وذلك لأن التقنية تعمل بدقة وبكفاءة منخفضة مقارنة التقنية النهائية.

الواجب العملي للمحاضرة الثالثة

من المحور الثاني: أسس وقواعد البحث والتطوير في مجال الطاقة المتجددة

المستوى الخامس TRL5: اختبار النموذج الأولي للتقنية في الظروف المخبرية.

بعد تجهيز التقنية و دمج جميع المكونات لها يتم اختبار النموذج الأولي في المختبر وتحت ظروف مختلفة يتوقع أن تعمل التقنية فيها. و كذلك لكي يتم معالجة جميع المشاكل التي قد تظهر في هذه التقنية بشكل مبكر و يتم التأكد من عمل التقنية في البيئة التي تم محاكاتها في المعمل بدق عالية.

المستوى السادس TRL6: اختبار النموذج الأولي للتقنية في النظام الذي سيعمل فيه: (و هذا المستوى يعد أول مستوى للانتقال من مرحلة التطوير التطبيقي للتقنية في المعمل بشكل منفرد إلى المرحلة الثالثة وهي التحقق من عمل التقنية في النظام الحقيقي التي ستعمل فيه بعد الإنتهاء من تطويرها)

يتم اختبار عمل التقنية في النظام التي ستعمل فيه التقنية بشكل متكامل. فمثلا فإذا كانت التقنية المقترحة بطارية بكفاءة عالية وتكلفة أقل سيتم اختبار عمل هذه البطارية ليس بشكل منفرد وإنما بشكل متكامل مع النظام الكهربائي أو في السيارة الكهربائية. وعادة يتم هذا الأمر في بيئة معملية عالية الدقة تحاكي الواقع الذي ستعمل فيه التقنية أو في بيئة تشغيلية مقارنة وحقيقة للواقع (كشوارع المدن وغيره). وتهدف هذه المرحلة إلى استكشاف الأخطاء التي قد تحدث عند عمل التقنية مع المكونات الأخرى في النظام.

المستوى السابع TRL7: النموذج الأولي النهائي المعتمد.

يتم نقل التقنية وتجربتها في الظروف التشغيلية الحقيقية لتعمل بشكل كامل في الظروف الحقيقية كعمل البطاريات في السيارات الكهربائية والسفر بها لمسافات مختلفة وفي طرق متعرجة وغيرها من الظروف الحقيقة التي قد تواجهها هذه السيارة كالطرق الجبلية والرملية والغبار والى ماشابه ذلك. و هذا هو أول نموذج أولي معتمد بالكامل كونه لم يلاحظ عليه أي عيوب أو مشاكل أثناء التجريب والاختبار والتشغيل. كون جميع التحديات والمشاكل تمت معالجتها في المراحل السابقة.

المستوى الثامن TRL8: مرحلة التقييم والإعداد لما قبل التصنيع. (و هذا المستوى يعد أول مستوى للانتقال من مرحلة التحقق من عمل التقنية في النظام الحقيقي التي ستعمل فيه بعد الإنتهاء من تطويرها إلى مرحلة التصنيع ما قبل التسلسلي)

في هذه المرحلة تكون التقنية مكتملة ومؤهلة للعمل بشكل تقني سليم كونه قد تم التحقق في المرحلة السابقة أن التقنية تعمل في شكلها النهائي وفي ظل الظروف التشغيلية المتوقعة بشكل صحيح وبدقة عالية. ولكن مايتبقى هو إجراء اختبارات وتقييمات للتقنية في الأسواق المستهدفة قبل الإنتاج. حيث يتم تقييم مواصفات التصميم ، بما في ذلك شروط الجودة والسلامة ومدى الملاءمة التشغيلية. في هذه المرحلة ، يهدف التصنيع ما قبل التسلسلي إلى التغلب على أي مشكلات مستقبلية تتعلق بالإنتاج الضخم.

المستوى التاسع TRL9: إطلاق المنتج في السوق.

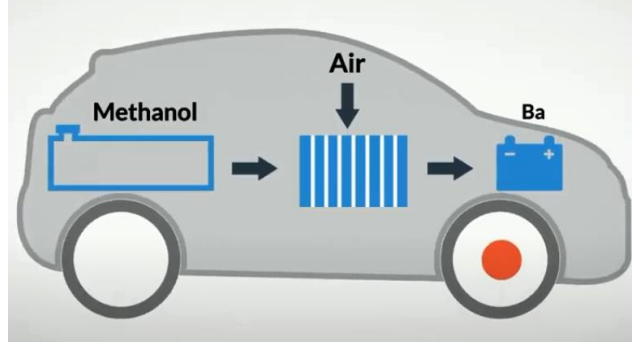
في هذه المرحلة يتم إطلاق المنتج في السوق بشكل نهائي بعد تجهيز خطوط الإنتاج بكميات كبيرة واقتصادية منافسة في السعر و الكفاءة لتقنيات الموجودة في الأسواق و التي تقوم بنفس الوظائف.

الواجب العملي للمحاضرة الثالثة

من المحور الثاني: أسس وقواعد البحث والتطوير في مجال الطاقة المتجددة

ولتبسيط هذا الأمر يمكننا توضيح مستوى جاهزية التقنية بالمثال التالي بشكل مبسط:

على سبيل المثال ، أنت باحث في مرحلة الدكتوراة في مجال خلايا الوقود قمت بالبحث والقراءة الغزيرة في هذا المجال. فوجدت أنه حتى الآن لا توجد تقنية مخصصة لاستغلال خلايا وقود الميثانول (Methanol fuel cell) صغيرة الحجم لتشغيل المحركات الصغيرة كمحركات الدراجات النارية وما شابهها.



(خلية وقود الميثانول صغيرة الحجم وهو جهاز يمكنه تحويل الطاقة الكيميائية من الوقود إلى كهرباء). ويعد الميثانول وقود نظيف يتم استخراجه من المخلفات الحيوية كالنباتات وغيره ويعد أقل في الانبعاثات وهو أحد أهم التوجهات المستقبلية في الطاقة المتجددة.

و بناءً على البحث والقراءة وتحليل الدراسات والأبحاث السابقة. تبادرت لك فكرة بحثية لرسالتك في الدكتوراة وهي اختراع خلية وقود صغيرة الحجم مخصصة للدراجات النارية كون هذا النوع من الدراجات هو الأكثر استخداماً في المناطق النائية والمناطق الزراعية وهناك حاجة بشرية لتطوير هذه التقنية لتخدم شريحة كبيرة في المجتمع. وبعد أن اخترت هذه الفكرة لمرحلة الدكتوراة بشكل أولي (TRL1). قمت بعمل عدد من الحسابات الكيميائية والفيزيائية لتصميم ومحاكاة خلية الوقود المقترحة وتوصلت لنتائج مناسبة تحاكي كمية المواد اللازمة لصناعة هذه الخلية وكمية الطاقة التي يمكن أن تنتج من هذه الخلية ونشرت هذه النتائج التحليلية في عدد من المجالات العلمية وسجلت براءة اختراع لهذا التصميم (TRL2). **ولكن السؤال هل يمكنك القول أن نتائج هذا التصميم يمكن أن يتم إرسالها لأحد مصانع الدراجات النارية لكي يستخدموها في عملية التصنيع ؟ بالطبع لا... ليس الآن لأنك كل ما قمت به هو فقط عمل تصميم لهذه الخلية ومراجعة صحة تطابقها مع العلوم الأساسية والقوانين الكيميائية والفيزيائية.**

ولهذا السبب قمت بطلب من قسم الأبحاث الخاص بك بتوفير المواد الأولية لصناعة وتجميع خلية الوقود المقترحة من قبلك وقمت بالاستعانة بالفنيين في معمل الكيمياء لتركيب هذه الخلية المقترحة في المرحلة السابقة (TRL3). وبعد ذلك قمت بتشغيلها وتجريبها وأعطت بعض النتائج الإيجابية (TRL4). ولكنها لم تكن مطابقة للنتائج التي حصلت عليها في المرحلة السابقة عبر برامج المحاكاة. فلذلك قمت أنت والفريق البحثي في المختبر بعمل المزيد من التحسينات والتجارب كي تعمل الخلية في الظروف المختبرية بشكل ممتاز واصلحت جميع المشاكل الأولية. وكانت النتيجة هي الحصول على نموذج أولي لخلية وقود تعمل بشكل سليم وتعطي جميع النتائج المطلوبة في المرحلة السابقة بشكل صحيح (TRL5). **ولكن السؤال هل يمكنك القول أنت وفريقك البحثي أن هذا النموذج يمكن أن يتم إرساله لأحد مصانع الدراجات لكي يستخدموها في عملية التصنيع ؟ بالطبع لا... ليس الآن لأن خلية الوقود ليست جاهزة للاستخدام الفوري على الدراجة النارية كونه لم يتم**

الواجب العملي للمحاضرة الثالثة

من المحور الثاني: أسس وقواعد البحث والتطوير في مجال الطاقة المتجددة

تجربتها واختبارها وهي تعمل مع المحرك الكهربائية وبقيّة مكونات الدراجة النارية. كون السؤال المهم هل ستعمل هذه الخلية فعلا كما افترضت في بداية بحثك للدكتوراة على تشغيل الدراجة النارية أو لا؟

ولهذا السبب كان لابد لك أنت وفريقك البحثي بالعمل على مزيد من الجهود لاختبار عمل هذه الخلية في الدراجة بشكل متكامل مع بقيّة مكونات الدراجة النارية (كالمحرك ونظام الإقلاع وبقيّة المكونات) وليس فقط أن تعمل بشكل منفرد كما قمت بعمله في المرحلة السابقة. فلذلك قمت أنت والفريق البحثي ومشرف الدكتوراة بالاستعانة بالمزيد من المختصين من قسم الهندسة الميكانيكية وذلك لدمج هذه الخلية واختبار عملها مع محرك الدراجة فقامت بعمل عدة اختبارات وهي ربط خلية الوقود بالمحرك الكهربائي وربطت المحرك بالعجلات. وقمت أيضا بتصميم دائرة تحكم لكي تتمكنوا من التحكم بكمية الطاقة المنتجة من الخلية وعلاقتها بسرعة المحرك وكذلك سرعة العجلات. وصممت خزان لوقود الميثانول وعملت على جميع التحسينات في هذه الدرجة كي تعمل بشكل صحيح ومتكامل. وبعد عدة تجارب وتحسينات للأخطاء الهندسية والتصميمية وعمل بعض من الدراسات والأبحاث باختبار المواد المكونة منها هذه الدراجة وصلتم إلى نموذج أخير ليس لخلية الوقود التي تعمل بشكل صحيح في المرحلة السابقة بل وصلتم لدراجة نارية تعمل بشكل رائع في ظروف المخبرية (TRL6). **ولكن السؤال هل يمكنك القول أنت وفريقك البحثي أن هذه الدراجة يمكن أن يتم إرساله لأحد مصانع الدراجات لكي يقوموا بتصنيع دراجات مماثلة لها؟ بالطبع لا... ليس الآن لأن دراجة الوقود التي اقترحتها قمت بتجربتها في الظروف المخبرية فقط لم يتم تجربتها واختبارها في الظروف الاعتيادية خارج المخبر.** كون السؤال المهم هل ستعمل هذه الدراجة في طرق مرورية مختلفة وهل ستعمل بسرعات مختلفة على حسب حركة السير والممرور في الطريق الذي تسير فيه؟

ولهذا السبب قمت أنت والفريق البحثي بتجربة الدرجة في ظروف خارج المخبر وتأكدتم من قدرتها على السير في درجات حرارة مختلفة و في طرق معبدة وغير معبدة ولأوقات زمنية طويلة وقصيرة. وبعد القيام بجميع التجارب السابقة قمت برصد الأخطاء ومعالجتها وتحسينها و وصلتم إلى النموذج النهائي للدراجة المقترحة والتي تعمل بوقود الميثانول (TRL7). **ولكن السؤال هل يمكنك القول أنت وفريقك البحثي أن هذه الدراجة صالحة للبيع وأنتم لستم بحاجة لمصنع ويمكنكم الاكتفاء الذاتي بالمعمل الذي عملتم فيه كل التحسينات؟ بالطبع لا... لأن هناك العديد من الأمور التي تسبق عمل خط إنتاج مستقل بهذا النوع من الدراجات وهي المواصفات والمقاييس ومعايير الجودة والسلامة وحساب التكاليف النهائية لإنتاج دراجة واحدة من هذا النوع والشرية المستهدفة تحديات التسويق والاحتياجات الفعلية في الأسواق المستهدفة وغيرها من الخطوات التي لابد من القيام بها كي يمكنكم القول أن هذه التقنية جاهزة تقنيا للاستخدام وسعرها منافس كي تدخل الأسواق.**



شكل الدراجة التي تعمل بوقود الميثانول في المستوى السابع

الواجب العملي للمحاضرة الثالثة

من المحور الثاني: أسس وقواعد البحث والتطوير في مجال الطاقة المتجددة

ولهذا السبب قمت أنت وفريقك البحثي بالتواصل مع مصنع مختص ليقوم برصد كل هذه التحديات في المرحلة السابقة و تحليلها ودراستها(TRL8). وبعد ذلك استطعتم الإثبات أن منتجكم قابل للتصنيع بكميات كبيرة وفي الأسواق المستهدفة(TRL9).

الخلاصة:

سيساعدك فهم مستوى جاهزية التقنية على أن تصبح مهندس وباحث واعي بمستقبل البحث العلمي والتطوير في مجال الطاقة المتجددة بل وستعرف أسرار التوجهات للشركات الاستثمارية والمعاهد البحثية. وستكون لديك القدرة على تحديد نقاط الضعف والقوة في المجال الذي تعمل فيه حالياً. وستدرك على ماهي الإمكانيات التي تحتاجها لدخول في كل مستوى و ماهي المرحلة الأنسب التي يجب عليك البدء فيها بناء على إمكانياتك المادية والمعرفية.

ماهي المصادر والمراجع التي يمكنك استخدامها لتحليل جاهزية التقنية TRL؟

- ✓ المقالات العلمية في المجلات الدولية المحكمة.
- ✓ التقارير الدولية والحكومية من الشركات والمصانع والمراكز البحثية والجامعات.
- ✓ النشرات الإخبارية للشركة (قد تحجب التفاصيل الفنية الخاصة بالملكية).
- ✓ الأخبار العامة ومدونات الويب والإعلانات (مصادر ثانوية قد تحيلك إلى المعلومات الأصلية).
- ✓ الاتصالات الشخصية مع الخبراء والباحثين والاستشاريين الذين يعملون في القطاع الصناعي والأكاديمي.

تدريب عملي:

سنقوم بقراءة أربع مقالات مختلفة لتقنيات مختلفة. وبعد الدراسات والأبحاث تم العمل على تطويرها لتصل لمرحلة معينة. مهمتك الآن أن تقوم بتحديد مستوى الجاهزية التي وصلت لها هذه التقنية (من TRL1 إلى TRL9).

1. طالب دكتوراة قم بتطوير تقنية جديدة لتحلية المياه بالطاقة الشمسية بكفاءة تصل إلى 400%

رابط المقالة للمطالعة:

[/https://www.arabrena.com/1711](https://www.arabrena.com/1711)

2. باحثة دكتوراة عربية ساهمت في تطوير محفز جديد لإنتاج الهيدروجين بكفاءة عالية

رابط المقالة للمطالعة:

[/https://www.arabrena.com/2277](https://www.arabrena.com/2277)

3. شركة Triple Solar تكشف عن لوح حراري كهروضوئي جديد لخفض تكلفة تدفئة المنازل

رابط المقالة للمطالعة:

الواجب العملي للمحاضرة الثالثة
من المحور الثاني: أسس وقواعد البحث والتطوير في مجال الطاقة المتجددة

[/https://www.arabrena.com/2277](https://www.arabrena.com/2277)

4. Pilot project for flywheel storage underway in Hawaii

رابط المقالة للمطالعة:

<https://www.pv-magazine.com/2018/03/14/pilot-project-for-flywheel-storage-underway-in-hawaii>

روابط اضافية لمن يريد المزيد من الاطلاع وهي اختيارية:

<https://www.seaborg.com/the-reactor>

<https://www.mdpi.com/2079-6412/10/5/503>