



جامعة قاصدي مرباح ورقلة  
كلية العلوم التطبيقية  
قسم الهندسة الميكانيكية



مذكرة مقدمة من أجل الحصول على شهادة الماستر  
الميدان: العلوم والتكنولوجيا  
الشعبة: الهندسة الميكانيكية  
التخصص: هندسة ميكانيكية وتقنيات الإنتاج

بغنوان:

# دراسة وتصميم ممهل سرعة مستدام: تسخير الطاقة المسترجعة لضخ المياه

من تقديم:

عبد المعز حلاسة

سامي كريكر

تمت المناقشة بتاريخ 08 جوان 2026 أمام اللجنة المكونة من:

|        |                         |                      |              |
|--------|-------------------------|----------------------|--------------|
| رئيسا  | جامعة قاصدي مرباح ورقلة | أستاذ محاضر أ        | بوحمام ناصر  |
| مناقشا | جامعة قاصدي مرباح ورقلة | أستاذ التعليم العلمي | بوعقبة مصطفى |
| مشرفا  | جامعة قاصدي مرباح ورقلة | أستاذ مساعد أ        | خالفي مهدي   |

الموسم الجامعي: 2026 / 2025

## إهداء

أهدى نجاحي هذا إلى والدي الكريمين الداعمين الأولين لي في كل مسيرتي وفي كل خطوة  
أخطوها، دمت لي السند ما حييت. وإلى عائلتي الكريمة كل باسمه.

أساتذتي الأفاضل، جزاكم الله خير الجزاء وجعل ما قدمتموه لنا في ميزان حسناتكم وشفيعا لكم  
يوم تلقونه.

أهدي هذا الإهداء إلى كل عزيز جمعتني به الحياة حاضرا كان أم غائبا، أسأل الله التوفيق في  
مهنتي وأن أقدمها على الوجه الذي يحب ويرضى وأسأل الله التوفيق والسداد وحسن البصيرة.

عبدالمعز حمودة

## إهداء

الحمدُ لله الذي أعانَ فاستقامَ بفضلِهِ المَسِيرُ ؛ الله الواحدِ القَهَّارُ ، وَلِيَّ التوفيقِ ومُيسِّرِ العَسِيرِ .  
إلى مَنْ يَخْجُلُ العطاءُ من عطائِهِم ، وَيَعْجُزُ الثناءُ عن ثنائِهِم ؛ والديَّ الكريمين -أطالَ اللهُ في  
عمرِهِما- .

إلى ورثةِ الأنبياءِ ؛ أساتذتي الذين صاغوا من صبرِهِم مَعالِمَ مَعْرِفَتِي .  
إلى نفسي التي واجهتِ سنواتِ الدراسةِ الجامعيةِ بما تحملهُ من صِعبٍ وتحدياتٍ ، وصبرت  
على الضَّنَى ، وتحملتِ مسؤوليةَ السَّعيِ بشموخٍ .  
إلى كلِّ عزيزٍ جمعتني به الحياةُ حاضراً كان أم غائباً....  
أُهدي ثَمرةَ هذا الجُهدِ ، سائلاً المَنَّانَ أن يجعلَهُ علماً نافِعاً ، وذُخْراً يمتدُّ أثرُهُ ، وقبولاً يرضاهُ .

سامي كريكور

## شكر و عرفان

بسم الله الرحمن الرحيم، الحمد لله الذي أفاض علينا من أنوار علمه، ووفقنا لإتمام هذا الجهد المتواضع، والصلاة والسلام على المعلم الأول والقُدوة الأكمل، سيدنا محمد وعلى آله وصحبه ومن تبع هداه.

فإن الفضل والثناء لله سبحانه أولاً و آخراً ، نتقدم بأسمى عبارات التقدير وأجزل العرفان إلى كل من علمنا علماً نافعاً، و رعى خطانا لنرتقي في آفاق المعرفة فكراً وأدباً.

كما نخص بالشكر والامتنان أساتذتنا الأفاضل في **جامعة قاصدي مرباح ورقلة**، وعلى رأسهم أستاذنا المشرف **خالفي مهدي** الذي واكب هذا العمل بعظيم نصحه و ثمين إرشاداته.

كما نتوجه بالشكر الجزيل إلى السيد: بوحمام ناصر، لتفضله بقبول رئاسة لجنة مناقشة مذكرة تخرجنا.

فجزاهم الله عنا جميعاً خير ما يجزي عباده الصالحين، وجعل عطاءهم رفعةً لهم في الدنيا، وذخراً باقياً في الآخرة.

# الفهرس

|   |                |
|---|----------------|
| أ | إهداء          |
| ج | شكر و عرفان    |
| د | الفهرس         |
| ح | قائمة الجداول  |
| ط | قائمة الأشكال  |
| 1 | المقدمة العامة |

## الفصل الأول:

### الممهلات المستخدمة

|    |                                                    |
|----|----------------------------------------------------|
| 4  | I،1 تمهيد                                          |
| 4  | I،2 تعريف تقنيات حصاد الطاقة                       |
| 4  | I،3 خلفية أدبية                                    |
| 4  | I،3،1 تاريخ مطبات السرعة                           |
| 5  | I،3،2 المزايا والعيوب                              |
| 6  | I،3،3 الدراسات السابقة                             |
| 8  | I،4 مصادر الطاقة الكامنة في الطرقات                |
| 8  | I،4،1 الطاقة الميكانيكية (الضغط)                   |
| 9  | I،4،2 طاقة الاهتزازات (Vibration Energy)           |
| 9  | I،4،3 الطاقة الحرارية (Thermal Energy)             |
| 9  | I،5 التقنيات المستخدمة في ممهلات السرعة المستخدمة  |
| 9  | I،5،1 النظام الميكانيكي (Mechanical Gear System)   |
| 10 | I،5،2 النظام الهيدروليكي (Hydraulic Piston System) |
| 11 | I،5،3 النظام الهوائي (Pneumatic System)            |
| 12 | I،5،4 مقارنة بين مختلف الأنظمة                     |
| 13 | I،6 مفهوم الاستدامة في المشروع                     |

|    |                                                        |
|----|--------------------------------------------------------|
| 13 | I,6,1 الاستدامة البيئية (Environmental Sustainability) |
| 13 | I,6,2 الاستدامة الاقتصادية (Economic Sustainability)   |
| 14 | I,6,3 الاستدامة الوظيفية (Functional Sustainability)   |
| 14 | I,6,4 الاستدامة المجتمعية (Social Sustainability)      |
| 14 | I,7 الدراسة البيئية وأثر الاستدامة                     |
| 15 | I,8 خلاصة                                              |

## الفصل الثاني:

### مكونات ومبادئ عمل الممهل المستدامة

|    |                                                      |
|----|------------------------------------------------------|
| 17 | II,1 تمهيد                                           |
| 17 | II,2 مكونات الممهل المستدام                          |
| 17 | II,2,1 لوح الضغط (Pressure Plate)                    |
| 17 | II,2,2 الأسطوانة والمكبس (Piston & Cylinder)         |
| 17 | II,2,3 الصمامات اللا رجعية (Check Valves)            |
| 17 | II,2,4 الأنابيب والمركم (Piping & Accumulator)       |
| 18 | II,3 مبادئ عمل الممهل المستدام                       |
| 18 | II,3,1 آلية تحويل الطاقة                             |
| 19 | II,3,2 ميزة "تنعيم الحركة"                           |
| 19 | II,4 الحسابات الهندسية (Mathematical Modeling)       |
| 19 | II,4,1 الطاقة المتاحة                                |
| 19 | II,4,2 حجم المياه المضخوخة                           |
| 20 | II,4,3 الكفاءة الإجمالية ( $\eta$ ):                 |
| 20 | II,4,4 الإنتاجية اليومية                             |
| 20 | II,4,5 حساب الضغط اللازم للرفع                       |
| 20 | II,4,6 كفاءة النظام                                  |
| 21 | II,5 اختيار المواد (Material Selection)              |
| 21 | II,5,1 هيكل الممهل واللوح العلوي (Pressure Plate)    |
| 21 | II,5,2 أسطوانة المكبس والأسطوانة (Cylinder & Piston) |
| 21 | II,5,3 الصمامات والأنابيب (Valves & Piping)          |

|    |                                                                      |
|----|----------------------------------------------------------------------|
| 21 | ..... (Seals & Gaskets) الحشوات ومناعات التسرب II،5،4                |
| 22 | .....دراسة الإجهادات الميكانيكية II،6                                |
| 22 | ..... (Compressive Stress) حساب إجهاد الانضغاط على لوح الممهل II،6،1 |
| 22 | .....(Shear Stress) إجهاد القص في مسامير التثبيت II،6،2              |

## الفصل الثالث:

### التصميم الهيكلي للممهل المستدام

|    |                                                                    |
|----|--------------------------------------------------------------------|
| 24 | ..... تمهيد III،1                                                  |
| 24 | ..... (Conceptual Sketches) المخططات الأولية III،2                 |
| 26 | ..... (Technical Specifications) دفتر الشروط الفني III،3           |
| 26 | ..... المتطلبات الميكانيكية والإنشائية III،3،1                     |
| 26 | ..... متطلبات نظام ضخ المياه III،3،2                               |
| 27 | ..... المعايير البيئية وديمومة المواد III،3،3                      |
| 27 | ..... التصميم ورسم القطع: III.4                                    |
| 27 | ..... III.4.1. الهيكل والقاعدة:                                    |
| 27 | ..... III.4.2. لوح الممهل:                                         |
| 28 | ..... (The Hydraulic Cylinder) الأسطوانة الهيدروليكية III.4.3.     |
| 29 | ..... III.4.4. المكبس                                              |
| 29 | ..... III.4.5. آلية الربط:                                         |
| 30 | ..... III.5. أنواع الخزانات في المشروع:                            |
| 30 | ..... (Main Collection Tank): III.5.1. خزان التجميع الرئيسي        |
| 30 | ..... (Head Loss Calculations) الدراسة الهيدروليكية للرفع III.5.2. |
| 31 | ..... (Assembly & Simulation) تجميع القطع ومحاكاة الأداء III،6     |

## الفصل الرابع:

### الدراسة الاقتصادية

|    |                                              |
|----|----------------------------------------------|
| 33 | ..... تمهيد IV،1                             |
| 33 | ..... الدراسة المالية والجدوى الاقتصادي IV،2 |
| 33 | ..... IV،2،1 تكلفة الاستثمار الأولية         |

|    |                                                    |
|----|----------------------------------------------------|
| 34 | ..... تكاليف التشغيل والصيانة IV،2،2               |
| 34 | ..... تحليل ومناقشة النتائج IV،3                   |
| 34 | ..... موازنة الطاقة (Energy Balance) IV،3،1        |
| 35 | ..... استجابة النظام للحمولات المتغيرة IV،3،2      |
| 35 | ..... التأثير على انسيابية حركة المرور IV،3،3      |
| 35 | ..... موثوقية نظام التخزين (الخزان والمركم) IV،3،4 |
| 35 | ..... تقييم كفاءة النظام IV،4                      |
| 35 | ..... المزايا والقدرات التنافسية IV،4،1            |
| 36 | ..... القيود والتحديات الهندسية IV،4،2             |
| 38 | ..... الخاتمة                                      |
| 39 | ..... قائمة المراجع                                |

## قائمة الجداول

|    |                                                      |
|----|------------------------------------------------------|
| 12 | جدول I-1: مقارنة بين الأنظمة.....                    |
| 20 | جدول II-1: إختيار المواد.....                        |
| 32 | جدول IV-1: تكاليف الإنشاء والتركيب (تقدير 2026)..... |

## قائمة الأشكال

- شكل I-1: أشكال ممهلات السرعة ..... 5
- شكل I-2: مخطط إنتاج الطاقة من ممهلات السرعة ..... 6
- شكل I-3: نموذج أولي لممهل مستدام بسيط ..... 7
- شكل I-4: مخطط يوضح الجهد الكهربائي الناتج بدلالة وزن المركبة ..... 7
- شكل I-5: مخطط يوضح الجهد الكهربائي الناتج بدلالة السرعة ..... 7
- شكل I-6: مخطط عمل النظام الميكانيكي ..... 9
- شكل I-7: مخطط عمل النظام الهيدروليكي ..... 11
- شكل I-8: مخطط عمل النظام الهوائي ..... 12
- شكل II-1: مخطط المركم الهيدروليكي ..... 18
- شكل III-1: العناصر الأساسية للممهل ..... 25
- شكل III-2: تناوب وحدات الممهل على جانبي الطريق ..... 25
- شكل III-3: الهيكل الخارجي والقاعدة ..... 27
- شكل III-4: لوح الممهل ..... 28
- شكل III-5: الأسطوانة الهيدروليكية ..... 28
- شكل III-6: المكبس ..... 29
- شكل III-7: آلية الربط ..... 30
- شكل III-8: شكل التجميع النهائي ..... 31



## المقدمة العامة

منذ ظهورها عام 1953؛ كانت الممهلّات وما زالت واحدة من أكثر الطرق ابتكارًا لتقليل سرعة السيارات وتجنّيب السائقين والمشاة العديد من المشاكل. على مر الزمن، اتخذت الممهلّات العديد من الأشكال والمواد المختلفة. وقد جمع هذا الابتكار على بساطته العديد من العلوم كالهندسة وعلوم المواد، وميكانيكا المواد، والفيزياء ...

وفي إطار ترشيد استهلاك الطاقة، تم دراسة وتصميم ممهلّات السرعة تؤدي هدفها الوظيفي وتنتج الطاقة في آنٍ واحد. وقد بدأت العديد من الدول، مثل اليابان والمملكة المتحدة، بالفعل باستخدام ممهلّات السرعة لتوليد الكهرباء. كما خضع هذا الموضوع للعديد من الدراسات العلمية [01].

يقوم جهاز توليد الطاقة من ممهلّات السرعة بتحويل الطاقة الحركية والكامنة (القوة الأفقية الناتجة عن المركبة) إلى طاقة كهربائية (عبر مولد). لذا يُعد الجهاز عمليًا للغاية لأنه يُعزز تطوير الطاقة المستدامة. حيث أنه عل خلاف باقي تقنيات الطاقات المتجددة، لا يعتمد توليد الطاقة فيه على حالة الطقس، سواء كان مشمسًا (كما في الألواح الشمسية)، أو عاصفًا (كما في توربينات الرياح)، أو مضطربًا (كما في أمواج البحر). ويُعد اختيار موقع التركيب المناسب أمرًا بالغ الأهمية، إذ يعتمد توليد الجهاز للطاقة على وتيرة مرور المركبات. بمعنى آخر، إذا تم تركيبه على طريق ذي حركة مرور مستقرة نسبيًا طوال اليوم، فإنه يُمكنه توليد كمية كافية من الطاقة لضخ المياه مثلًا أو إنارة الطريق ليلاً [01].

نهدف من خلال هذه الدراسة إلى دراسة وتصميم ممهلّ مستدام يسمح باسترجاع الطاقة الكامنة للمركبات لاستغلالها في ضخ المياه وتوفير الطاقة المستهلكة عادة لهاته الغاية.

تجسيّدًا لأهداف هذه الدراسة، سيتم تحليل النماذج الهندسية القائمة، وإجراء مقارنة بينها من أجل اختبار النظام الأكثر كفاءة في ضخ المياه وتزويد المناطق الحضرية بها.

سننترق في الفصل الأول إلى تعريف التقنيات التي تستخلص الطاقة مع دراسة الأنواع الموجودة وأنظمة ممهلّات السرعة المولدة للطاقة، مع تبين تاريخ الممهلّات مزاياها وعيوبها، ودراسة تجريبية أُجريت في المملكة المتحدة والدراسة البيئية.

سيتناول الفصل الثاني المعلومات التي جُمعت من مراجعة الأدبيات، بما في ذلك، آلية العمل عن كيفية تحويل وزن السيارة إلى ضغط هيدروليكي، سنحلل المكونات الميكانيكية والكهربائية لممهلّات السرعة، بالإضافة إلى الصيغ الأساسية المستخدمة في الحسابات والإجهادات.

سُجري الفصل الثالث عن نظام ضخ المياه وكيفية ربط الأجزاء ونظام نقل الطاقة ومحاكاة النظام مع دراسة جدوى على تصميم الممهلالت المختار وتطبيقه باستخدام برنامج SolidWorks الهندسي. كما سنختبر التصميم باستخدام أدوات تحليل خاصة بالمواد والبرمجيات.

سيكون في الفصل الرابع تقديم الدراسة المالية، بالإضافة إلى تكاليف التركيب والصيانة، مع مناقشة النتائج وتحليلها. في الأخير تلخص الخاتمة مدى كفاءة النظام في تحويل الطاقة مع تقديم مميزاته وعيوبه بالإضافة إلى توصيات.

الفصل الأول:

الممهلات المستدامة

## الفصل الأول: الممهلات المستدامة

### I، 1 تمهيد

جهاز حصاد الطاقة المرورية (TEHD) قادر على تحويل الحركة والضغط الناتجين عن مرور مركبة إلى طاقة مفيدة. هناك تقنيات مختلفة قادرة على جمع الطاقة من المركبات التي تمر فوق ممهل السرعة. تختلف هذه التقنيات في آلية حصاد الطاقة وتحويلها؛ فبينما تعتمد الأغلبية العظمى من الأنظمة التقليدية على الحث الكهرومغناطيسي، تبرز الأجهزة الكهروضغطية كاستثناء يعتمد على الخصائص الفيزيائية للمواد.

التصنيف المقترح للأجهزة الحالية يعتمد على هذه التقنيات المختلفة لجني الطاقة، وكيفية استخدامها لتحويل الطاقة من المركبات إلى طاقة مفيدة. هناك العديد من الأجهزة المماثلة التي تختلف فقط في بعض التفاصيل، وبناءً عليه تم اختيار الأكثر تمثيلاً فقط لهذا التصنيف بسبب خصائصها أو تاريخ نشرها أو أهميتها [01].

### I، 2 تعريف تقنيات حصاد الطاقة

ممهل السرعة المستدام لضخ المياه هو منظومة هندسية ذكية تدمج بين وظيفتي (الأمان الطرقي) واسترجاع الطاقة المهدرة. يعتمد النظام وظيفياً على مبدأ الحصاد الطاقوي (Energy Harvesting)، حيث يعمل على تحويل الطاقة الحركية والضغط الرأسي الناتج عن أوزان المركبات أثناء عبورها إلى قدرة هيدروليكية ميكانيكية. تتميز هذه التقنية بقدرتها على تشغيل وحدات ضخ المياه وتوجيهها نحو الخزانات أو شبكات الري دون الحاجة لمصادر طاقة خارجية، مما يجعلها حلاً ريادياً يدعم مفهوم المدن الخضراء والاقتصاد الدائري [10].

### I، 3 خلفية أدبية

#### I، 3، 1 تاريخ مطبات السرعة

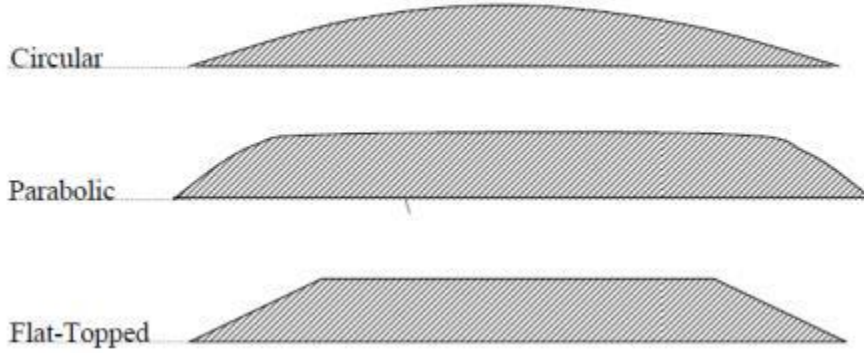
في مصر القديمة، لم تُصمم ممهلات السرعة لإبطاء المركبات، بل لمنع تحول الطرق إلى موحلة. في 7 يونيو 1906، ظهر أول ممهل سرعة مصنوع من الحجارة المسطحة والحصى في تشاتام. رُفع ممر المشاة بضع سنتيمترات فوق سطح الطريق لإبطاء المركبات وتجنب إزعاج الحياة الطبيعية لسكان القرية البالغ عددهم 1400 نسمة. "كان هناك عدة أشخاص في السيارة حينها، وعندما مرت الإطارات المطاطية الثقيلة فوق ممهل السرعة، اهتزت السيارة بعنف وارتفعت عدة أقدام في الهواء." تطايرت النظارات الواقية والقبعات والمفاتيح والأمشاط ودبابيس الشعر وغيرها من الأشياء في كل مكان [2].

اخترع "ممهل السرعة" عام 1953 آرثر هولّي كومبتون، الحائز على جائزة نوبل في الفيزياء والخبير في النظرية الكهرومغناطيسية. تم تركيب أول ممهل سرعة في أوروبا في دلفت، هولندا عام 1970. في عام 1973، نشر مختبر أبحاث النقل والطرق في المملكة المتحدة تقريرًا عن أنواع مختلفة من ممهلّات السرعة. في ذلك الوقت، لم يتم تركيب ممهلّات السرعة إلا في المناطق المخصصة [3].

### I، 2، 3 المزايا والعيوب

#### أ- المزايا:

لا يقتصر الغرض من تركيب ممهلّات السرعة على خفض سرعة المركبات في المناطق الخاصة فحسب، بل يشمل أيضًا خفضها على الطرق العامة. فعندما يرى السائقون ممهلّات السرعة، يضطرون إلى تخفيف سرعتهم، مما يضمن سلامة المشاة والسائقين [4].  
يوضح الشكل أدناه الأشكال المختلفة لممهلّات السرعة، وأكثرها شيوعًا الشكل الدائري والقطع المكافئ.

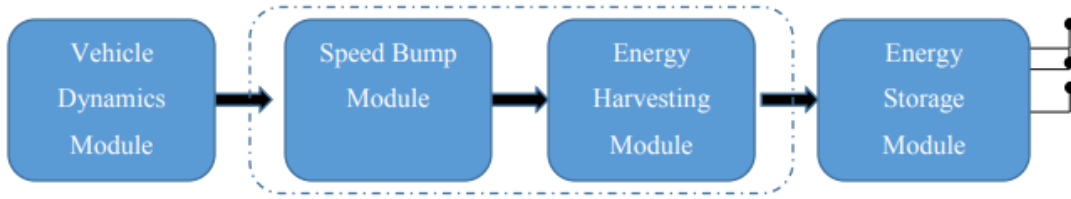


شكل I-1: أشكال ممهلّات السرعة

#### ب- العيوب:

- على الرغم من أن أنظمة التحكم في السرعة (SCS) فعالة جدًا في تقليل سرعات المركبات وتقليل عدد الحوادث بشكل كبير، إلا أن هناك بعض العيوب، مثل:
- تتسبب ممهلّات السرعة في إلحاق الضرر بالمركبات، خاصةً عند القيادة بسرعة زائدة.
  - تؤثر بشكل كبير على الأداء الديناميكي للمركبة،
  - أنها قد تُسبب إزعاجًا للركاب، وربما تؤدي إلى آلام مزمنة في الظهر.
  - يطول زمن استجابة مركبات الطوارئ، مثل سيارات الإسعاف والإطفاء، نتيجةً للتسارع والتباطؤ.
  - يزداد الضجيج الناتج عن المحرك والمركبات الأخرى عند مرور المركبة فوق ممهل السرعة. وقد تفقد المركبات الكبيرة والحافلات السيطرة عليها عند مرورها فوق ممهلّات السرعة بسرعات عالية.
  - تُساهم ممهلّات السرعة في تفاقم التلوث، لأن تغيير سرعة المركبة يزيد من استهلاك الوقود [4].

تُصبح الطاقات المتجددة واحدة من الاستراتيجيات الرئيسية للدول. تتبنى الدول في جميع أنحاء العالم هذه السياسة الجديدة لتقليل التلوث واستهلاكها للطاقة المستمدة من الوقود الأحفوري، وقد تم استخدام الممehلات بشكل مستمر لتقليل سرعة السيارات لمنع الحوادث واستغلالها في إنتاج الطاقات المتجددة. تُعد ممehلات السرعة المستدامة مصدراً مبتكراً لتوليد الطاقة بتكلفة تشغيلية شبه معدومة، وقد كانت المملكة المتحدة سبّاقة في اختبار هذه التكنولوجيا في لندن عام 2009، حيث أثبتت التجارب قدرة هذه الممehلات على توليد طاقة تتراوح بين 10 إلى 36 كيلووات عند توفر تدفق مروري مستمر. وبإسقاط هذه القدرة الإنتاجية على أنظمة الري وتزويد المياه، يمكن لهذه الممehلات أن توفر طاقة ضخ تعادل قيمتها الاقتصادية ما بين 190 إلى 65 دينار جزائري (\$1.3 إلى \$4.5) في الساعة، مما يترجم إلى توفير مالي سنوي ضخم يتراوح بين 113,400 حتى 1,123,000 دينار جزائري (\$782 حتى \$7,745)، وبذلك لا تقتصر هذه التقنية على تنظيم حركة المرور فقط، بل تتحول إلى محطات ضخ ذاتية التغذية تساهم في تحقيق الأمن المائي واستدامة الموارد.



شكل I-2: مخطط إنتاج الطاقة من ممehلات السرعة

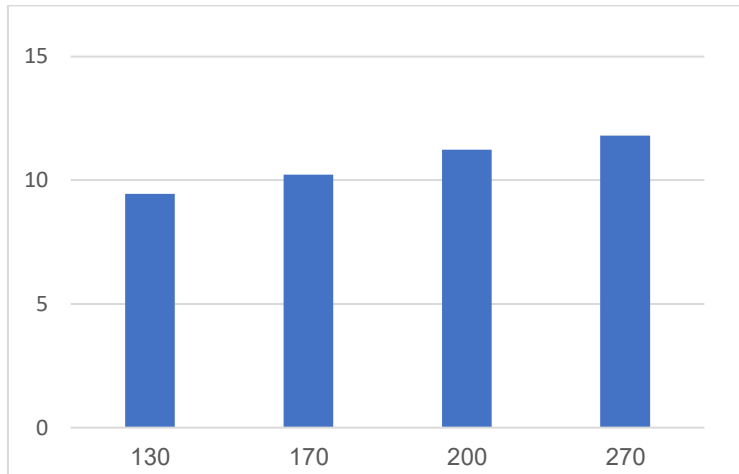
وفي سياق متصل، برزت تجربة "Libra" الإيطالية كنموذج رائد في استغلال المساحات المرورية؛ حيث أثبتت الدراسة التي أُجريت في مدينة ميلانو إمكانية تسخير الممehلات المطاطية لتحويل أوزان المركبات إلى طاقة هيدروليكية وميكانيكية. لم تقتصر نتائج هذه التجربة على إثبات الجدوى التقنية فحسب، بل أكدت على إمكانية توفير طاقة سنوية تصل إلى 100 ميجاوات في المناطق المزدحمة، مما يفتح آفاقاً واسعة لاستخدام هذه القوة في تشغيل مضخات المياه والري بالتنقيط في المساحات الخضراء المحاذية للطرق، وهو ما يعزز كفاءة استهلاك الموارد المتاحة [11].

دراسة أخرى إعتمدت على تصميم ممهل يوضع على سطح الطريق كما هو مبين في الشكل أدناه، حيث عند مرور يمر فوق ممهل السرعة، تدور الأسطوانات وتسمح لدينامو مرتبط بعمود الدوران بإنتاج الكهرباء [7].

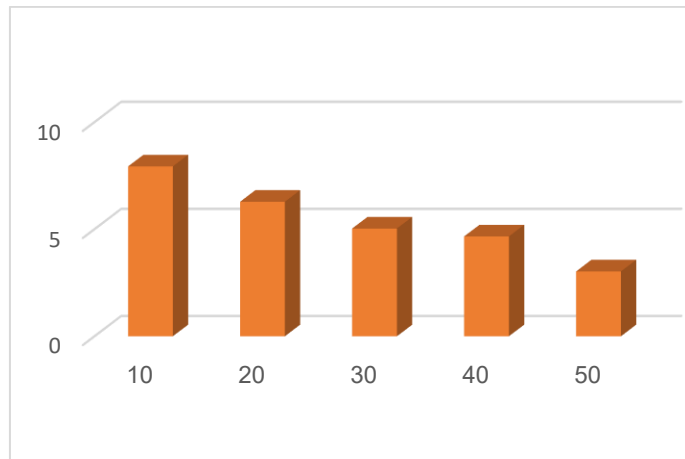


شكل I-3: نموذج أولي لممهل مستدام بسيط

تُظهر الدراسات التجريبية والنظرية أن SPGEP فعالة جدًا. في الرسوم البيانية أدناه، من الواضح أنه عند زيادة وزن المركبة (كجم) وتقليل سرعتها (كم/ساعة)، يتم زيادة الطاقة الناتجة (واط). لذلك، فهو فعال للغاية لأن المركبات تقلل من سرعتها عند القيادة فوق ممهل السرعة. يجب تخزين SPGEP في أماكن حيث يوجد حركة مرور مستمرة لضمان تخزين الطاقة بشكل مستمر وبالتالي الإنتاج.



شكل I-4: مخطط يوضح الجهد الكهربائي الناتج بدلالة وزن المركبة



شكل I-5: مخطط يوضح الجهد الكهربائي الناتج بدلالة السرعة

## I،4 مصادر الطاقة الكامنة في الطرقات

تعتبر الطرق بيئة غنية بالطاقة غير المستغلة، ويمكن تصنيف المصادر فيها إلى:

### I،4،1 الطاقة الميكانيكية (الضغط)

تُعرف الطاقة الميكانيكية في هذا النظام بأنها الطاقة المستخلصة من القوة الرأسية التي تؤثر بها كتلة المركبة أثناء عبورها فوق سطح الممهل. ويمكن تقسيمها إلى شقين أساسيين: [10]

✓ **طاقة الوضع والضغط الساكن:** عندما تضع السيارة ثقلها فوق الممهل، فإنها تمتلك طاقة وضع ناتجة عن ارتفاع الممهل عن مستوى سطح الأرض.

هذه القوة يمكن التعبير عنها فيزيائياً بأنها الشغل المبذول لإزاحة الممهل لأسفل:

$$W = F * D$$

حيث أن:

**W:** الشغل (الطاقة) بالجول.

**F:** القوة الناتجة عن وزن السيارة (كتلة السيارة × الجاذبية).

**D:** المسافة الرأسية التي يهبطها الممهل (الإزاحة).

✓ **الطاقة الديناميكية:** لا يقتصر الأمر على الوزن فقط، بل يضاف إليه تأثير الصدمة الناتجة عن سرعة السيارة. عندما تصطدم الإطارات بالممهل، تتحول جزء من طاقة الحركة الخطية للمركبة إلى طاقة ضغط مفاجئة. هذا "التأثير النبضي" هو ما يحفز النظام الميكانيكي للعمل (مثل النوابض أو المكبس الهيدروليكي) [01].

تتميز هذه الطاقة بأنها:

1. طاقة مهددة تُفقد في الممهلات التقليدية على شكل حرارة وتآكل للإطارات، وتحويلها لضخ المياه هو عملية "إعادة تدوير" للطاقة.

2. طاقة عالية الكثافة بالمقارنة مع الخلايا الشمسية الصغيرة، حيث تولد كمية طاقة لحظية كبيرة جداً لتحريك مكبس المضخة.

3. طاقة متقطعة لا تتدفق باستمرار، بل تظهر فقط عند مرور سيارة، مما يتطلب وجود نظام "تخزين" أو "تنعيم" للحركة لضمان عمل المضخة بسلاسة.

يتم التعامل مع الضغط الناتج عن الاطارات إما بطريقة مباشرة، حيث يكون الممهل نفسه عبارة عن مكبس لمضخة ترددية، أو بطريقة غير مباشرة حيث يتم تحويل الضغط إلى حركة دورانية لتشغيل مضخة طرد مركزية عبر تروس لزيادة السرعة.

### I،4،2 طاقة الاهتزازات (Vibration Energy)

تُعرف طاقة الاهتزازات في بيئة الطرق بأنها الطاقة الحركية المتذبذبة الناتجة عن التفاعل الديناميكي بين إطارات المركبات وسطح الطريق (أو جسم الممهل). هذه الطاقة ليست ناتجة عن الوزن الساكن للسيارة، بل عن "الحركة الترددية" الناتجة عن السرعة وعدم استواء السطح [10].

### I،4،3 الطاقة الحرارية (Thermal Energy)

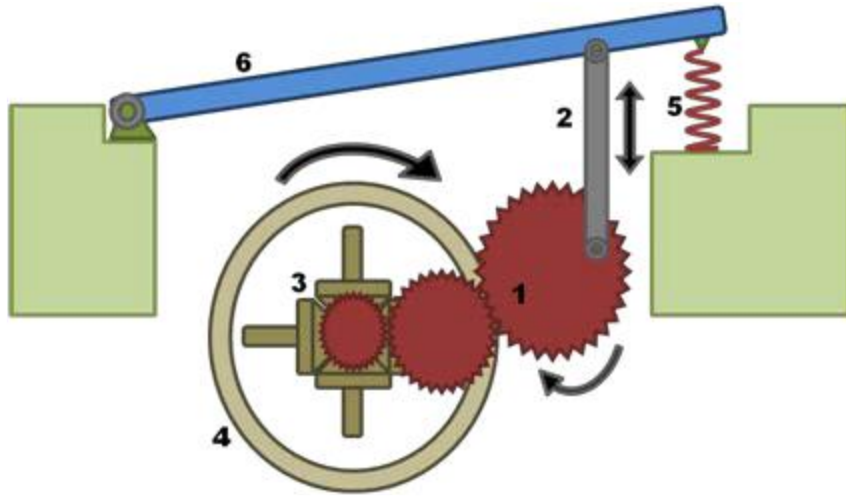
تُعرف الطاقة الحرارية في بيئة الطريق بأنها الطاقة الناتجة عن ارتفاع درجة حرارة الأجسام نتيجة الاحتكاك أو الامتصاص الإشعاعي [10].

### I،5،5 التقنيات المستخدمة في ممهلات السرعة المستدامة

لتحويل ضغط السيارات إلى طاقة، توجد ثلاث تقنيات رئيسية تُستخدم عالمياً:

#### I،5،1 النظام الميكانيكي (Mechanical Gear System)

المبدأ الأساسي لهذا النوع من الحصادات هو تحويل القوة الميكانيكية إلى كهرباء باستخدام آلية المكونات الصلبة لنقل الحركة مباشرة من سطح الممهل إلى المضخة هناك العديد من التصميمات المختلفة [10].



شكل I-6: مخطط عمل النظام الميكانيكي

(1) التروس، (2) قضيب التوصيل، (3) الدوار، (4) الثابت، (5) المثبط و(6) المنصة المفصلية.

- **المكونات:** جريدة مسننة (Rack)، تروس دائرية (Pinion)، عمود دوران (Shaft)، وحذافة (Flywheel)، قضبان التوصيل، العمود المرفقي.
- **آلية العمل:** عند انضغاط الممهل، تتحرك الجريدة المسننة لأسفل، مما يجبر الترس على الدوران بسرعة زاوية معينة. تُستخدم الحذافة هنا لتخزين الزخم وضمان استمرار دوران المضخة بين مرور سيارة وأخرى.

يقترح مكجي (1986) جهاز TEHD بغطاء على شكل هرم، وعندما تمر المركبة فوق الجهاز، يضغط على القمة وينشط تروساً مختلفة، محوّلًا هبوط الغطاء إلى حركة دورانية. في جهاز TEHD الذي صممه ألبرون (2004)، يدور أسطوانة مدفونة جزئياً في سطح الطريق عندما يمر فوقها مركبة. هذا الدوران ينشط نظام التروس ويزيد من سرعة الدوران في المولد.

سنيفارد وآخرون (2009) قدموا النتائج التجريبية التي تم الحصول عليها باستخدام الجهاز الذي صنعه فريقهم في مجلة تكنولوجيا الهندسة. في الجزء العلوي من الجهاز يوجد لوح طريق متحرك. يوجد نظام تخميد لإعادة اللوحة إلى وضعها الأصلي. عندما تمر المركبة فوق اللوحة، تنتقل قضبان التوصيل هذه الحركة إلى عمود المرفق ومن ثم إلى التروس. أخيراً، تصل الدوران إلى مولد، حيث يتم تحويله إلى طاقة كهربائية لضخ المياه [12].

يتكون نظام التوليد TEHD المقدم على الموقع الإلكتروني من قبل شركة Highway Energy Systems Ltd (2011). من قضبان توصيل، عمود مرفقي، دولاب طائر، تروس، مولد ونظام تخزين على السطح، هناك ثلاث لوحات طريق مجمعة تتحرك مثل الموجة عندما يمر المركبة فوقها. تمت الاختبارات على هذا المنحدر وكانت النتائج مرضية، وتم وضعه في بعض المناطق الخارجية في لندن في عام 2009.

• **المميزات:**

- كفاءة عالية في نقل العزم الميكانيكي.
- عمر افتراضي طويل مع الصيانة الدورية (التزييم).
- مثالي لتدوير المضخات الطاردة مركزياً (Centrifugal Pumps).

**2.5.1 النظام الهيدروليكي (Hydraulic Piston System)**

يعتمد نظام TEHD الهيدروليكي الأساسي على مبدأ برنولي، حيث يدخل السائل المضغوط داخل المكبس إلى الأنابيب الخارجية مما يقلل من ضغطه ولكنه يزيد من سرعته، بسبب تقليل المقطع العرضي. تحول التوربينات الهيدروليكية سرعة السائل إلى طاقة ميكانيكية ثم إلى كهرباء [10].

- **المكونات:** مكبس هيدروليكي (Cylinder)، أسطوانة، أنابيب وتوربين هيدروليكي، صمامات لا رجعية (Check Valves)، ومركم ضغط (Accumulator).

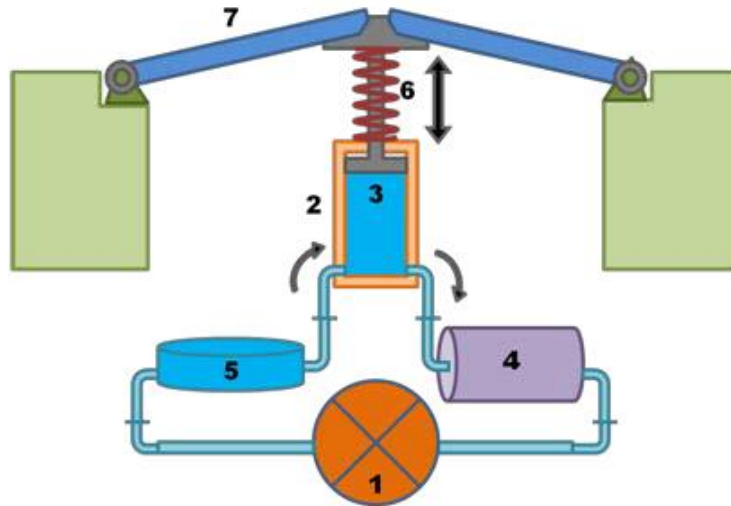
- **آلية العمل:** في جهاز TEHD الذي صممه لو فان (1982)، عندما تمر مركبة فوق الجهاز، فإنها تضغط على غرفة مملوءة بسائل غير قابل للضغط. هذه الغرفة متصلة بدائرة تحتوي على صمامات تحكم أحادية الاتجاه لدفع السائل إلى المحرك. في كلا الحالتين، يضغط مرور المركبة فوق المنحدر مكبساً يدفع السائل من داخل الأسطوانة إلى نظام التخزين. الأسطوانة تحتوي على صمامات دخول

وخروج للتحكم في تدفق السوائل خلال مرحلة الانضغاط والتوسع. مولد متصل بنظام التخزين يوفر الكهرباء للشبكة.

فكرة جاليش هي سرير قابل للضغط مملوء بسائل غير قابل للضغط موضوع تحت سطح الطريق. يتم دفع هذا السائل بوزن المركبات إلى نظام دوران حيث يتم تحويل طاقة السائل إلى طاقة ميكانيكية ومن خلال مولد إلى كهرباء. يقترح نظام TEHD مع لوحة متحركة تنزل فوق المكبس، مما يدفع السائل غير القابل للضغط من الأسطوانة إلى مولد كهربائي. هناك نظامان لاستعادة المكبس: في الأول، يقوم زنبرك متصل باللوحة بإعادة المكبس إلى موضعه الأصلي، وفي الثاني، يقوم خزان التمدد الموضوعة بين الأسطوانة والمولد بدفع السائل إلى الأسطوانة، مما يدفع المكبس إلى موضعه الأصلي.

#### • المميزات:

- قدرة عالية على نقل الطاقة لمسافات بعيدة (يمكن أن تكون المضخة بعيدة عن المطب).
- سهولة التحكم في معدل التدفق والضغط.
- تحمل الأوزان الثقيلة جداً (الشاحنات).



شكل I-7: مخطط عمل النظام الهيدروليكي

(1) التوربين الهيدروليكي، (2) الأسطوانة، (3) المكبس، (4) المكثف، (5) الخزان، (6) المثبط و(7) المنحدر

#### 3.5.1 النظام الهوائي (Pneumatic System)

مبدأ عمل جهاز TEHD الهوائي مشابه لجهاز TEHD الهيدروليكي ولكن باستخدام الغاز أو الهواء بدلاً من السائل غير القابل للضغط. من الواضح أنه إذا تم إدخال الغاز أو الهواء تحت ظروف جوية في المكبس، فإن كل القوة الضاغطة ستستخدم لضغط الهواء وستكون كفاءة العملية منخفضة للغاية. لذا من الضروري ضغط الغاز أو الهواء مسبقاً، مما يستلزم استخدام ضاغط [10].

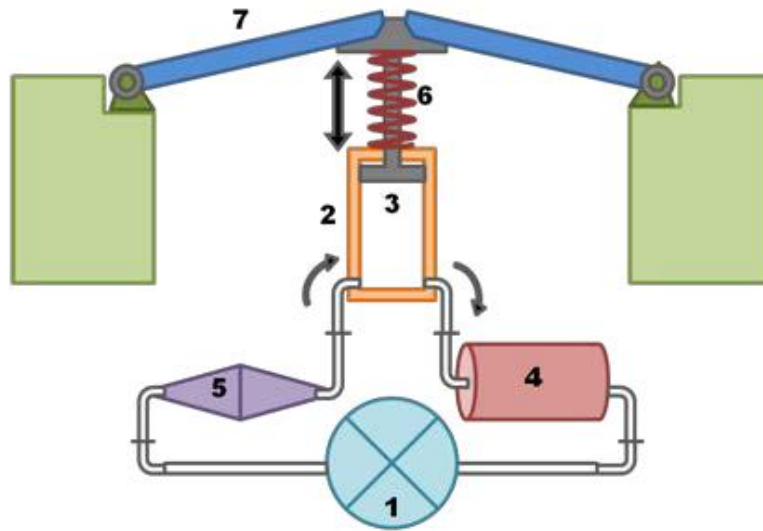
- آلية العمل: ضغط السيارة يضغط الهواء داخل وسائل هوائية، ويُخزن الهواء في خزان تحت ضغط مرتفع لاستخدامه لاحقاً في تشغيل مضخة تعمل بالهواء (Pneumatic Pump).

يقدم كروب (1978) جهاز TEHD مع مجموعة من النتوءات الصغيرة على طول امتداد الطريق. يتم وضع غرفة مملوءة بالغاز تحت كل نتوء. الجزء العلوي من جدار الغرفة مرّن لتسهيل ضغط الغاز بسبب وزن المركبة. جميع الغرف المتصلة على التوالي لدفع الغاز من غرفة إلى أخرى تكون عند ضغط أعلى. تحتوي الغرف الأخيرة من المجموعة على مساحة مرنة أصغر لزيادة الضغط الناتج عن وزن المركبة. يمكن استخدام هذا الهواء المضغوط بشدة لتوليد الكهرباء من خلال توربين.

يقترح سميث (1979) جهاز TEHD مع نتوء صغير في سطح الطريق يضغط المكبس عندما يمر المركبة فوقه. يعود الجهاز إلى وضعه الأصلي باستخدام نابضين على جانبي الأسطوانة حيث يتم ضغط الهواء. يتضمن المكبس صمامات دخول وخروج للسماح بدخول الهواء أثناء ارتفاع المكبس وطرده أثناء النزول. يوجد مكثف هوائي مضغوط بين الأسطوانات والمولد. يوجد مكثف مضغوط بالهواء بين الأسطوانات والمولد.

• **المميزات:**

- صديق للبيئة (لا يوجد خطر تسرب زيوت).
- تكلفة أقل، لكن كفاءته في ضخ كميات كبيرة من المياه أقل من النظام الهيدروليكي.



شكل I-8: مخطط عمل النظام الهوائي

(1) المولد، (2) الأسطوانة، (3) المكبس، (4) المجمع، (5) الضاغط، (6) المثبط و(7) المنحدر.

**I، 4، 5 مقارنة بين مختلف الأنظمة**

بناءً على المقارنة الموضحة في الجدول أدناه، يظهر النظام الهيدروليكي كخيار مثالي للمشاريع التي تتطلب أداءً عالياً واعتمادية كبيرة، ويمكن تلخيص ذلك في النقاط التالية:

1. **كفاءة وقوة الأداء:** يتميز النظام الهيدروليكي بكفاءة نقل (متوسطة - عالية) تتفوق على النظام الهوائي، مما يجعله قادراً على التعامل مع أحمال وضغوط كبيرة بفعالية.

2. مرونة التخزين: يمتلك النظام الهيدروليكي أفضل قدرة على تخزين الطاقة عبر "المركم الهيدروليكي"، وهي ميزة ممتازة تضمن استمرارية العمل واستقرار الضغط مقارنة بالأنظمة الأخرى.
3. الاستخدام الاستراتيجي: بينما تقتصر الأنظمة الأخرى على المهام البسيطة أو القريبة، يبرز النظام الهيدروليكي كحل عملي وحيد للمهام الشاقة مثل ضخ المياه لخزانات بعيدة أو مرتفعة، بفضل قدرته العالية على نقل الطاقة لمسافات دون فقدان كبير في الجهد.
- جدول I-1: مقارنة بين الأنظمة

| وجه المقارنة       | النظام الهيدروليكي             | النظام الميكانيكي             | النظام الهوائي             |
|--------------------|--------------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| كفاءة النقل        | متوسطة - عالية                 | عالية جداً                    | متوسطة                     |
| التعقيد            | متوسط (خراطيم وصمامات)         | عالٍ (تروس وسلاسل)            | بسيط                       |
| القدرة على التخزين | ممتازة (عبر المركم)            | محدودة (عبر الحذافة)          | جيدة جداً (خزان هواء)      |
| الاستخدام المقترح  | ضخ المياه لخزان بعيد أو مرتفع. | ضخ المياه مباشرة بجانب الممهل | ري الحدائق الصغيرة القريبة |

## I،6 مفهوم الاستدامة في المشروع

تتجلى استدامة مشروع "ممهل السرعة لضخ المياه" في قدرته على تلبية الاحتياجات الحالية (تنظيم المرور وتوفير المياه) دون استنزاف الموارد البيئية أو تحميل الأجيال القادمة أعباءً طاقوية. يركز المفهوم هنا على أربعة أبعاد أساسية:

### I،6،1 الاستدامة البيئية (Environmental Sustainability)

على الصعيد البيئي، يتميز النظام بتحقيق "صفر انبعاثات"، إذ لا يعتمد على احتراق الوقود أو استهلاك الكهرباء من الشبكة العامة، مما يضمن انعدام البصمة الكربونية خلال فترة التشغيل بالكامل. ويعتمد ذلك على استغلال ذكي للطاقة الحركية للمركبات التي كانت تتبدد سابقاً على شكل حرارة واهتزازات غير مفيدة، وتحويلها إلى عمل ميكانيكي منتج. كما يدعم المشروع الغطاء النباتي من خلال توجيه المياه المضخوخة لري المساحات الخضراء المحيطة بالطرق، مما يسهم في تنقية الهواء وتخفيف ظاهرة "الجزر الحرارية" في المناطق الحضرية.

### I،6،2 الاستدامة الاقتصادية (Economic Sustainability)

واقتصادياً، يوفر المشروع استقلالية طاقوية حقيقية، حيث يتحول إلى مصدر مجاني للطاقة بعد تغطية تكاليف الإنشاء الأولية فقط. وبالمقارنة مع مولدات الديزل التقليدية، فإن الأنظمة الميكانيكية والهيدروليكية المستخدمة في هذا الممهل تتميز بعمر افتراضي أطول وتكاليف صيانة دورية منخفضة جداً. علاوة على

ذلك، يسهم المشروع في توفير البنية التحتية من خلال الاستغناء عن الحاجة إلى تمديد شبكات وكابلات كهربائية طويلة ومكلفة لتشغيل مضخات المياه في الطرق السريعة أو المناطق النائية.

### 3،6،I الاستدامة الوظيفية (Functional Sustainability)

ومن الناحية الوظيفية، يتسم النظام بالازدواجية في الأداء، حيث لا يتخلى عن وظيفته الأصلية المتمثلة في ضمان الأمان الطرقي وتهدئة السرعة، بل يدمجها بفعالية مع وظيفة إنتاج الطاقة، مما يجعله حلاً هجيناً عالي الكفاءة. كما يضمن النظام استمرارية العمل بشكل تلقائي؛ فطالما استمرت حركة المرور على الطريق، استمر ضخ المياه، مما يخلق تدفقاً متوازناً يتناسب طردياً مع ذروة النشاط البشري والمروري دون الحاجة إلى تدخل بشري مستمر.

### 4،6،I الاستدامة المجتمعية (Social Sustainability)

على المستوى المجتمعي، يسهم المشروع في تحسين جودة الحياة من خلال توفير المياه اللازمة لري حدائق الطرق أو تنظيف الشوارع دون إرهاق الميزانيات البلدية المخصصة عادةً لتكاليف الطاقة. وفي الوقت نفسه، يعمل الممهل كنموذج تعليمي مرئي وملاموس يرفع الوعي البيئي لدى أفراد المجتمع، ويوضح كيف يمكن للابتكارات البسيطة القائمة على التكنولوجيا الخضراء أن تقدم حلولاً ذكية ومستدامة لمشاكل البنية التحتية المعقدة. وبذلك، يجمع المشروع بين الكفاءة التقنية والمسؤولية البيئية والاقتصادية، مقدماً نموذجاً عملياً قابلاً للتطوير والتكرار في مختلف السياقات الحضرية والطرقية.

### 7،I الدراسة البيئية وأثر الاستدامة

- إستناداً إلى أبعاد التنمية المستدامة (البيئة، الاقتصاد، والمجتمع)، نلاحظ أن هذه التقنية تسمح بـ:
- خفض الانبعاثات الكربونية من خلال تقديم بديل للمضخات التي تعمل بالديزل أو الكهرباء التقليدية (المنتجة من الوقود الأحفوري)، فكل لتر مياه يتم ضخه عبر الممهل يوفر ما يعادل كمية محددة من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون التي كانت ستنتج لو استخدمنا طاقة غير متجددة.
  - كفاءة في استهلاك الطاقة من خلال استرجاع الطاقة المهدرة التي يفترض بالمركبة استهلاكها لتجاوز الممهل التقليدي، إذ يعاد تدوير هذه الطاقة الضائعة.
  - التقليل من الضوضاء من خلال استبدال المولدات التي تعمل بالوقود، فالممهل المستدام يعمل بهدوء، مما يقلل من التلوث الضوضائي في المناطق السكنية.
  - استخدام المياه في النظام يعمل كمبرد طبيعي للأجزاء الميكانيكية، مما يقلل من الحاجة لمواد تشحيم كيميائية ملوثة للتربة.

## 8،I خلاصة

تصميم ممهل سرعة مستدام لضخ المياه ليس مجرد وسيلة لتهدئة المرور، بل هو محطة طاقة صغيرة تساهم في تحقيق أهداف التنمية المستدامة (SDGs) الخاصة بالطاقة النظيفة والمياه النظيفة. من خلال استعراض التقنيات المختلفة، يتبين أن النظام الهيدروليكي هو الأنسب لمشروع "ضخ المياه" لأنه يتميز بكفاءة نقل المياه مع مرونة في التخزين، كما أنه يبرز بصفته حلاً عملياً لمهام ضخ المياه لخزانات بعيدة أو مرتفعة دون فقدان كبير في الطاقة.

الفصل الثاني: مكونات  
ومبادئ عمل  
الممehلات المستدامة

## الفصل الثاني: مكونات ومبادئ عمل الممهلّات المستدامة

### II،1 تمهيد

بعد استعراض مختلف تقنيات حصاد الطاقة عبر الممهلّات المستدامة في الفصل السابق، يتناول هذا الفصل تفصيل المكونات الهيكلية للممهل، بدءاً من لوح الضغط الخارجي وصولاً إلى أنظمة استعادة الوضع الأصلي (النوابض). كما سيتم عرض النمذجة الرياضية للعلاقة بين وزن المركبة وكمية الشغل الميكانيكي الناتج، مع مراعاة ضياعات الاحتكاك وكفاءة التحويل. علاوة على ذلك، سيتم مناقشة المعايير الهندسية لاختيار المواد المستخدمة في التصنيع لضمان المتانة ومقاومة الظروف الجوية القاسية [02].

### II،2 مكونات الممهل المستدام

في الغالب، يتكون الممهل المستدام من القطع الأساسية الآتية [6]:

#### II،2،1 لوح الضغط (Pressure Plate)

يكون عادة من الفولاذ الكربوني (Carbon Steel) أو المطاط الصناعي المقوى. تتمثل وظيفته في استقبال وزن السيارة وحماية المكونات الداخلية.

#### II،2،2 الأسطوانة والمكبس (Piston & Cylinder)

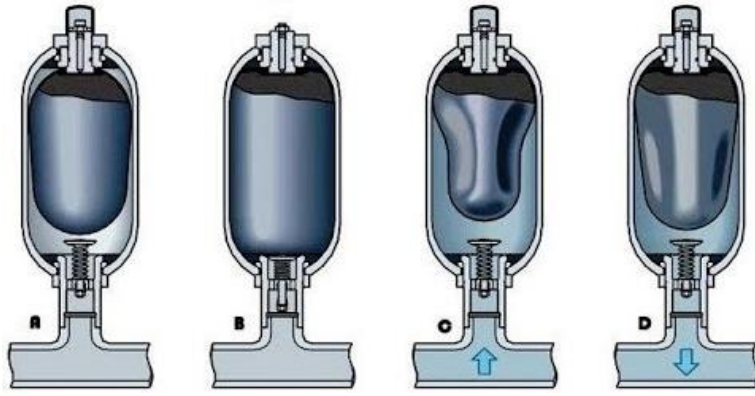
يبرزان كقطع أساسية في الأنظمة الهيدروليكية ويكونان عادة من الستانلس ستيل (Stainless Steel) لمنع الصدأ الناتج عن ملامسة الماء، وتتمثل وظيفتهما في تحويل الطاقة الميكانيكية إلى ضغط سائل.

#### II،2،3 الصمامات اللا رجعية (Check Valves)

الصمام عند المدخل يسمح بسحب الماء ولا يسمح برجوعه، بينما يسمح الصمام عند المخرج بخروج الماء نحو الخزان ولا يسمح بعودته للممهل.

#### II،2،4 الأنابيب والمركم (Piping & Accumulator)

تقتصر وظيفة الأنابيب على نقل الماء عبر مسارات محددة، بينما يضمن المركم ضغطاً هيدروليكيًا شبه ثابت ومستمرًا ينظم تدفق الماء ويمنع الصدمات في الأجزاء الداخلية للممهل. ويكون عادةً عبارة عن أسطوانة بداخلها غشاء (Diaphragm) أو مكبس، يفصل بين هواء مضغوط أو غاز (نيتروجين) وبين الماء القادم من الممهل.



شكل II-1: مخطط المركم الهيدروليكي

عند مرور سيارة بسرعة، يندفع الماء بضغط مفاجئ وعالي جداً قد يؤدي لكسر الأنابيب ما يعرف بـ Water Hammer. يعمل المركم على امتصاص هذه النبضة المفاجئة وتخزينها، ويحول حركة الماء من "دفعات" (فقط عند مرور سيارة) إلى "سريان مستمر" (حتى في الفراغات بين مرور السيارات). كما أنه بمثابة بطارية هيدروليكية تخزن الضغط الناتج عن الوزن وتفرغه تدريجياً لتشغيل المضخة بكفاءة أعلى.

## II، 3 مبادئ عمل الممهل المستدام

### II، 3، 1 آلية تحويل الطاقة

يعتمد المبدأ الحركي للممهل المستدام على دورة ميكانيكية رباعية المراحل، تهدف إلى استغلال الطاقة الحركية (Kinetic Energy) الناتجة عن وزن وحركة المركبة وتحويلها إلى طاقة هيدروليكية لضخ المياه [3].

- **مرحلة الاستقبال (الضغط الرأسي):** عند ملاصقة إطار السيارة لسطح الممهل (Pressure Plate)، تتحول طاقة الحركة الخطية للمركبة إلى قوة ضغط رأسي لأسفل. يهبط اللوح العلوي مسافة 10 سم (Stroke). هذه المسافة مدروسة لضمان عدم إزعاج السائق وفي نفس الوقت توفير إزاحة كافية لتحريك المكبس.
- **مرحلة التحويل (نقل القوة):** حيث ينتقل الضغط من اللوح العلوي إلى وحدة التحويل المتمثلة في مكبس (Piston) داخل أسطوانة مملوءة بالسائل. في النظام الهيدروليكي أو الجريدة المسننة (Rack) في النظام الميكانيكي لتحويل الحركة الرأسية إلى دوران سريع للتروس (Pinion).
- **مرحلة التوجيه (نظام الصمامات):** لضمان عدم عودة المياه أو السائل إلى الخلف عند ارتفاع الممهل، يستخدم النظام صمامات لا رجعية (Check Valves): صمام يسمح بسحب الماء من المصدر (بئر أو خزان أرضي) عند صعود الممهل، وآخر يفتح لدفع الماء نحو الخزان العلوي أو شبكة الري عند نزول الممهل بسبب ضغط السيارة.
- **مرحلة الاستعادة (الرجوع للوضع الأصلي):** بمجرد عبور السيارة، تقوم النوابض (Springs) المخفية تحت اللوح بدفع الممهل للأعلى مرة أخرى. هذه المرحلة تخلق فراغاً جزئياً

(Vacuum) داخل الأسطوانة، مما يؤدي لسحب كمية جديدة من الماء، وتجهيز الممهل لاستقبال السيارة التالية.

## II، 3، 2 ميزة "تنعيم الحركة"

- بما أن مرور السيارات متقطع، يضاف للنظام عنصر لتخزين الطاقة لضمان ضخ مستمر:
- المرمك الهيدروليكي (Accumulator) خزان صغير يضغط الهواء بداخله، وظيفته الحفاظ على ضغط الماء مستقراً حتى في الفترات التي لا تمر فيها سيارات.
- الحذافة (Flywheel) (في النظام الميكانيكي) قرص ثقيل يستمر في الدوران بفعل القصور الذاتي، مما يحافظ على عمل المضخة حتى بعد مرور إطارات السيارة.

## II، 4، الحسابات الهندسية (Mathematical Modeling)

لتقدير أداء النظام، سنفترض مرور سيارة متوسطة الوزن على ممهل هيدروليكي [3].

### II، 4، 1 الطاقة المتاحة

الطاقة الناتجة عن ضغط السيارة هي " العمل " (W) ناتج عن وزنها والإزاحة الرأسية للممهل:

$$E = m * g * h$$

- $m$  (الكتلة): نفترض سيارة متوسطة بوزن 1500kg
- $g$  (الجاذبية)  $9,81 \text{ m/s}^2$
- $h$  (الإزاحة): المسافة التي يهبطها الممهل، ولتكن 0,05m أي (5cm)

$$1500 \times 9,81 \times 0.05 = 735.75$$

أي 735.75 جول لكل ضغطة إطارين (أماميين ثم خلفيين). بما أن السيارة لها 4 إطارات، فإجمالي الطاقة المتاحة هو حوالي 1470 جول.

### II، 4، 2 حجم المياه المضخوخة

إذا استخدمنا الممهل كمكبس مباشر لمضخة مياه، فإن حجم الماء (V) المزاح في كل ضغطة يعتمد على مساحة سطح المكبس (A):

$$V = A \times h$$

1. إذا كان قطر المكبس 0,2m أي (20cm):
  2. المساحة  $A = \pi r^2 \approx 0,0314 \text{ m}^2$
  3. الحجم:  $V = 0,0314 \times 0,05 = 0,00157 \text{ m}^3$
- أي حوالي 1,57 لتر لكل ضغطة إطار.

## II،4،3 الكفاءة الإجمالية (η):

لا تتحول كل الطاقة لضخ المياه بسبب الاحتكاك وضيعات الصمامات. كفاءة هذه الأنظمة تتراوح بين 40% إلى 60%. لذا، الكمية الفعلية قد تكون حوالي 0.8 إلى 1 لتر لكل ضغطة.

## II،4،4 الإنتاجية اليومية

هذا الحساب يربط بين حركة المرور وكمية المياه الفعلية:

1. المعطيات: نفترض طريقاً بمتوسط مرور 2000 سيارة/يوم.
  2. عدد الضغوطات: كل سيارة تمر بـ 4 إطارات (8 ضغطات إذا كان الممهل مزدوجاً)، لنقل 4 ضغطات (إطاران أماميان وإطاران خلفيان).
  3. الحجم لكل ضغطة: حسبنا سابقاً أنه 0.8 لتر (بعد خصم الضياعات).
  4. الحساب:  $2000 \times 4 \times 0.8 = 6400$  لتر/يوم.
- النتيجة: الممهل الواحد يمكنه ضخ حوالي 6.4 متر مكعب من المياه يومياً، وهي كمية كافية لري حديقة كبيرة أو تزويد مبنى صغير.

## II،4،5 حساب الضغط اللازم للرفع

إذا أردت ضخ الماء لخزان علوي (مثلاً على ارتفاع 10 أمتار)، يجب أن يولد الممهل ضغطاً كافياً:

$$P = \rho \times g \times H$$

$\rho$  (كثافة الماء):  $1000 \text{ kg/m}^3$

$g$  (الجاذبية):  $9.81 \text{ m/s}^2$

$H$  (الارتفاع المطلوب): 10m

$$\text{باسكال} \quad 1000 \times 9.81 \times 10 = 98.10$$

أي حوالي 1 بار

بما أن وزن السيارة 1500 كجم على مكبس قطره 20 سم يولد ضغطاً يصل لـ 4.7 بار، مما يعني أن الممهل قادر بسهولة على رفع الماء لارتفاعات تصل لـ 40 متراً.

## II،4،6 كفاءة النظام

تعرف الكفاءة (η) بأنها النسبة بين الطاقة الهيدروليكية الناتجة والطاقة الميكانيكية المعطاة:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100$$

حيث تشمل الضياعات:

- احتكاك ميكانيكي: (بين المكبس والأسطوانة).
- ضياعات هيدروليكية (تسرب بسيط في الصمامات).

- حرارة: (ناتجة عن انضغاط السائل)

## II،5 اختيار المواد (Material Selection)

يتم اختيار مكونات النظام بناءً على ثلاثة عوامل: القوة الميكانيكية، ومقاومة التآكل، والتكلفة الاقتصادية [13]:

### II،5،1 هيكل الممهل واللوح العلوي (Pressure Plate)

نختار الفولاذ الكربوني عالي المقاومة (High-Strength Carbon Steel) أو ASTM A36 لقدرته العالية على تحمل الصدمات المتكررة دون تشوه دائم كما يفضل طلائه بطبقة من الإيبوكسي أو الجلفنة لمنع الصدأ. يمكن أيضاً استخدام المطاط المعاد تدويره من إطارات الشاحنات (Recycled Tire Rubber) لتغليف السطح العلوي، مما يقلل الضوضاء ويمنع إنزلاق الإطارات.

### II،5،2 أسطوانة المكبس والأسطوانة (Cylinder & Piston)

تكون الأسطوانة من الفولاذ المقاوم للصدأ (Stainless Steel 316) أما المكبس فمن الألومنيوم لأن النظام يتعامل مع ضخ المياه بشكل مباشر، وهذه الاختيار يمنع حدوث تآكل داخلي قد يؤدي لتسرب الضغط أو تلوث المياه المضخوخة.

### II،5،3 الصمامات والأنابيب (Valves & Piping)

تكون الأنابيب عادة من البولي إيثيلين عالي الكثافة (HDPE)، وهذا لكونه مرناً وقدرته على تحمل ضغط التربة كما أنه ولا يصدأ. أما الصمامات فتكون من النحاس الذي يوفر إغلاقاً محكماً للصمامات اللا رجعية.

### II،5،4 الحشوات وممانعات التسرب (Seals & Gaskets)

- المادة المقترحة: مطاط النيتريل (NBR) أو Viton.
- السبب: لضمان عدم تسرب الماء من الأسطوانة تحت الضغط العالي، ولتحمل درجات الحرارة الناتجة عن الاحتكاك الميكانيكي.

جدول II-1: إختيار المواد

| الجزء          | الخاصية الأساسية               | المادة المختارة    |
|----------------|--------------------------------|--------------------|
| الغطاء الخارجي | الصلابة ومنع الانزلاق          | فولاذ مجلفن + مطاط |
| جسم المكبس     | مقاومة الصدأ والرطوبة          | Stainless Steel    |
| النوابض        | مرونة عالية وعمر طويل          | Spring Steel       |
| التمديدات      | خفة الوزن وطول العمر تحت الأرض | HDPE / PVC         |

## II،6 دراسة الإجهادات الميكانيكية

يهدف هذا الجزء إلى التأكد من أن "إجهاد الخضوع" للمادة المختارة أكبر من "الإجهاد الناتج" عن وزن أثقل مركبة متوقعة.

### II،6،1 حساب إجهاد الانضغاط على لوح الممهل (Compressive Stress)

عند مرور سيارة بوزن محوري، يتوزع هذا الثقل على مساحة تلامس الإطارات مع الممهل.

1. القانون:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

1.  $\sigma$ : هو الإجهاد

2. F: القوة

3. A: مساحة المقطع العرضي للوح الممهل.

2. التحليل: يجب أن يكون الإجهاد الناتج ( $\sigma$ ) أقل من إجهاد الخضوع للفلولاذ A36 (الذي يبلغ 250MPa)

بمعامل أمان (Factor of Safety) لا يقل عن 2,5 [14]

### II،6،2 إجهاد القص في مسامير التثبيت (Shear Stress)

تتعرض البراغي التي تثبت الممهل بالأرض لقوى قص ناتجة عن "فرملة" السيارات فوق الممهل.

يتم حساب إجهاد القص ( $\tau$ ) لضمان عدم انزلاق الممهل من مكانه عند التوقف المفاجئ للمركبات

[16].

الفصل الثالث:

التصميم الهيكلي

للممهل المستدام

## الفصل الثالث: التصميم الهيكلي للممهل المستدام

### III، 1 تمهيد

بعد أن استقرت الدراسة فيما سبق على أفضلية النظم الهيدروليكية من حيث المحددات الهيكلية للممهل وحساب الإجهادات الميكانيكية التي تضمن صموده أمام الأحمال المرورية، ينتقل البحث في هذا الفصل إلى الجانب التطبيقي والهندسي، حيث يتم التركيز على صياغة التصميم الإنشائي والميكانيكي للممهل المستدام. إن الهدف الجوهرى هنا هو تصميم منظومة قادرة على تحمل الإجهادات الكبيرة الناتجة عن أوزان المركبات المختلفة، وفي الوقت ذاته، ضمان كفاءة عالية في تحويل الحركة الرأسية المتقطعة إلى قوة دفع هيدروليكية كافية لضخ المياه.

سنتناول في هذا الفصل الذي يعتبر العمود الفقري للمذكرة، الرحلة التقنية للمشروع، بدءاً ب المخططات الأولية التي توضح آلية الربط بين مختلف قطع الممهل، مروراً بصياغة دفتر شروط فني يضع المحددات التقنية التي تضمن قابلية المشروع للتنفيذ على أرض الواقع كحل هندسي متكامل ومستدام، ويضمن كفاءة الأداء في الظروف الميدانية.

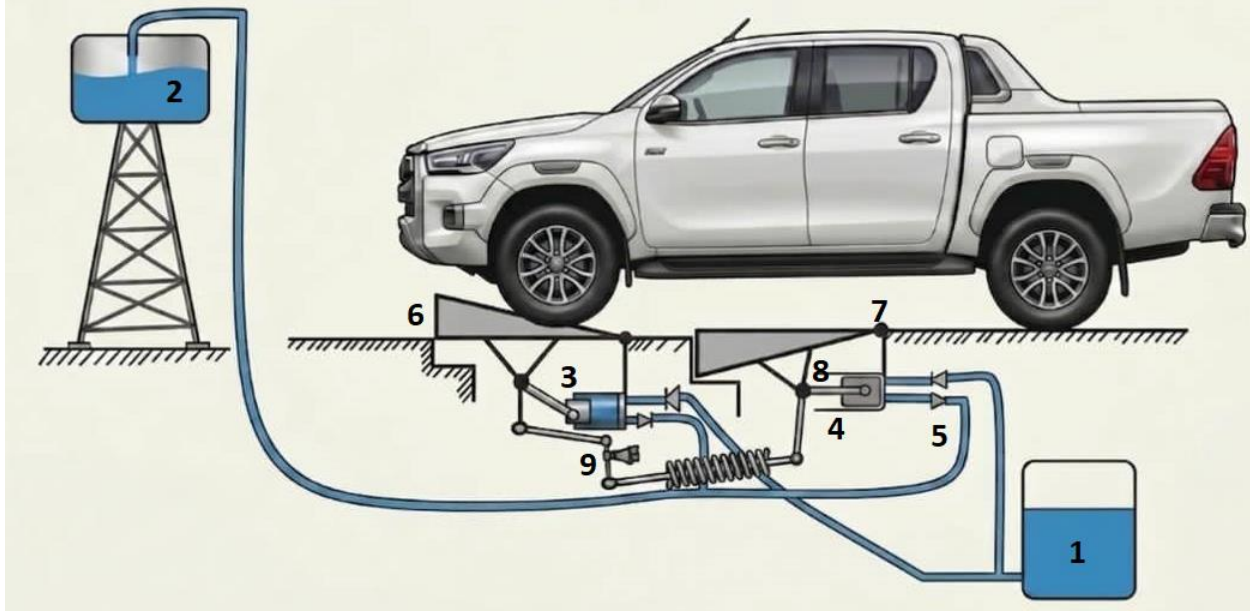
سيتم أيضاً استعراض مراحل التجسيد الرقمي للمشروع، من خلال نمذجة القطع ثلاثية الأبعاد وتجميعها افتراضياً، وصولاً إلى إجراء عمليات المحاكاة الديناميكية التي تتيح لنا التنبؤ بسلوك النظام، واكتشاف نقاط الضعف، وتحسين كفاءة ضخ المياه قبل الانتقال إلى مرحلة التصنيع النهائي.

### III، 2 المخططات الأولية (Conceptual Sketches)

تعتبر المخططات الأولية هي المرحلة التي تتحول فيها الفكرة الذهنية إلى رسم هندسي بسيط يوضح "منطق العمل" قبل الدخول في تعقيدات الأبعاد المليمترية.

يتكون الممهل المستدام الذي نقترحه من خلال هذه الدراسة أساساً من العناصر الممثلة في الشكل III-1 وتعتمد فكرته على وجود مصدر مائي قريب من الطريق عبارة عن حوض (1) في مستوى الطريق إضافة إلى خزان مياه (2) على ارتفاع 15 متر على الأقل. بهذه الطريقة، يتم تخزين الطاقة، ويمكن استخدام هذه المياه لاحقاً للرّي أو الاستخدامات المنزلية دون الحاجة لمضخة كهربائية.

يقوم الممهل بضخ المياه من الحوض إلى الخزان ليتم استعمالها فيما بعد بحسب الحاجة، أو إعادتها إلى الحوض مروراً بمولدات لتوليد طاقة كهربائية في حال إمتلاء الخزان. تعتمد عملية الضخ على أربع وحدات (أنظر الشكل III-2)، كل وحدة منها تحوي مكبسا (3) وأسطوانة (4) بصمامين (5) الغرض منهما إجبار المياه على السريان في إتجاه واحد (من الحوض إلى الخزان). تستمد الحركة الاهتزازية لكل مكبس من دوران لوح الممهل (6) حول محور (7) ثابت بالنسبة للطريق حيث يربط بينهما ذراع توصيل (8).



شكل III-1: العناصر الأساسية للممهل

تكون الوحدات الأربع موزعة على الطريق بحيث تتناوب في ضخ المياه، حيث تكون كل وحدتين على نفس الجانب من طريق إحداهما متقدمة والأخرى متأخرة ومتصلتين بين بعضهما البعض عن طريق آلية ربط (9)، هذه الأخيرة تجعل لوح الممهل الخاص بالوحدة المتأخرة يرتفع عند نزول لوح الممهل الخاص بالوحدة المتقدمة جراء ضغط العجلة عليه. نفس العجلة تواصل إلى الأمام لتجد لوح الممهل مرتفعا في الوحدة المتأخرة فتضغط عليه لتنزله رافعة بذلك اللوح الأول بفضل نفس الآلية (9).



شكل III-2: تناوب وحدات الممهل على جانبي الطريق

تناوب الوحدات الأربع على الطريق حسب ما هو موضح في الشكل أعلاه مما يسمح نظريا بتدفق أكثر إنسيابية دون الحاجة لمركم في حين تغنيها آلية ربط (9) عن استخدام نوابض لرفع لوح الممهل إلى الأعلى، وبالتالي إستغلال كل العمل الناتج عن ضغط العجلة في تحريك المكبس بدل إهدار جزء منه في ضغط النابض.

أما بالنسبة للنابض المرتبط بالآلية (9) فالغرض منه السماح للذراع بالتقلص في الحالات التي تكون فيها العجلة الخلفية للمركبة فوق لوح الممهل الخاص بالوحدة المتقدمة في نفس الوقت الذي تكون فيه عجلتها الأمامية لم تغادر بعد لوح الممهل الخاص بالوحدة المتأخرة؛ بهذه الطريقة نضمن سلامة آلية ربط وكذا وحدات الممهل من التلف جراء أحمال زائدة.

لضمان عمل الممهل بالطريقة الصحيحة، يتم تركيبه في طريق ذو مسار واحد واتجاه وحيد وفي حال طريق ذو مسارين يجب وضع حاجز يفصل بين المسارين لإجبار السائقين على سلوك أحدهما، يمكن في هذه الحالة تركيب ممهل في أحد المسارين فقط أو في كليهما.

يتم إختيار موضع تركيب الممهل من بين الأماكن التي تستدعي وجود ممهلات لتقليل السرعة وتكون حركة المرور فيها كثيفة وذلك بهدف استرجاع أكبر قدر من الطاقة؛ على سبيل المثال: الطريق المحاذي لمقر الولاية بتقريت والذي تستخدمه ما متوسطه 2000 سيارة يوميا.

يكون المسار مخصصا أيضا للمركبات خفيفة الوزن فقط (3.5 طن كأقصى حد) حتى لا يكون التغير في الضغط الذي تطبقه مختلف العجلات كبيرا، كما أن ذلك يسمح بتصميم ممهل ذو قطع صغيرة وخفيفة نسبيا بالمقارنة مع ممهل يفترض به تحمل ثقل كل أنواع المركبات.

### **III،3 دفتر الشروط الفني (Technical Specifications)**

يحدد هذا الجزء المعايير والقيود التي يجب أن يلتزم بها التصميم لضمان الأداء الوظيفي والأمان الطرقي.

#### **III،3،1 المتطلبات الميكانيكية والإنشائية**

1. أقصى حمل محوري (Axial Load) يجب أن يتحمل الممهل تأثير المركبات التي يصل وزنها إلى 3.5 طن وهذا يشمل الشاحنات الخفيفة، أي أن كل وحدة من وحدات الممهل الأربع يجب أن تتحمل ما يعادل طنا واحدا.

2. ارتفاع الممهل (Hump Height) يجب ألا يتجاوز 10 سم لضمان سلامة السيارات ومنع احتكاك أسفل المركبة بلوح الممهل.

3. مسافة الانضغاط (Stroke Length) تتعلق بالتصميم ومرتبطة بشكل مباشر بارتفاع الممهل حيث يجب جعلها في أقصى قيمة لها لتحقيق أقصى كفاءة للمضخة دون إزعاج السائق.

#### **III،3،2 متطلبات نظام ضخ المياه**

1. معدل التدفق المستهدف (Flow Rate) ضخ ما لا يقل عن 1.2 لتر من الماء في كل عملية مرور (بناءً على 4 إطارات).

2. أقصى ارتفاع للرفع (Pumping Head) القدرة على رفع المياه لارتفاع 15 مترًا كحد أدنى.

3. نوع الصمامات استخدام صمامات كرة (Ball-check valves) لتقليل الضياعات في التدفق.

1. مقاومة التآكل: يجب أن تكون جميع الأجزاء الملامسة للماء مصنوعة من الستانلس ستيل 304 أو 316.
2. درجات حرارة التشغيل: العمل بكفاءة في مدى حراري من  $-10^{\circ}\text{C}$  إلى  $+60^{\circ}\text{C}$ .

#### III.4 التصميم ورسم القطع:

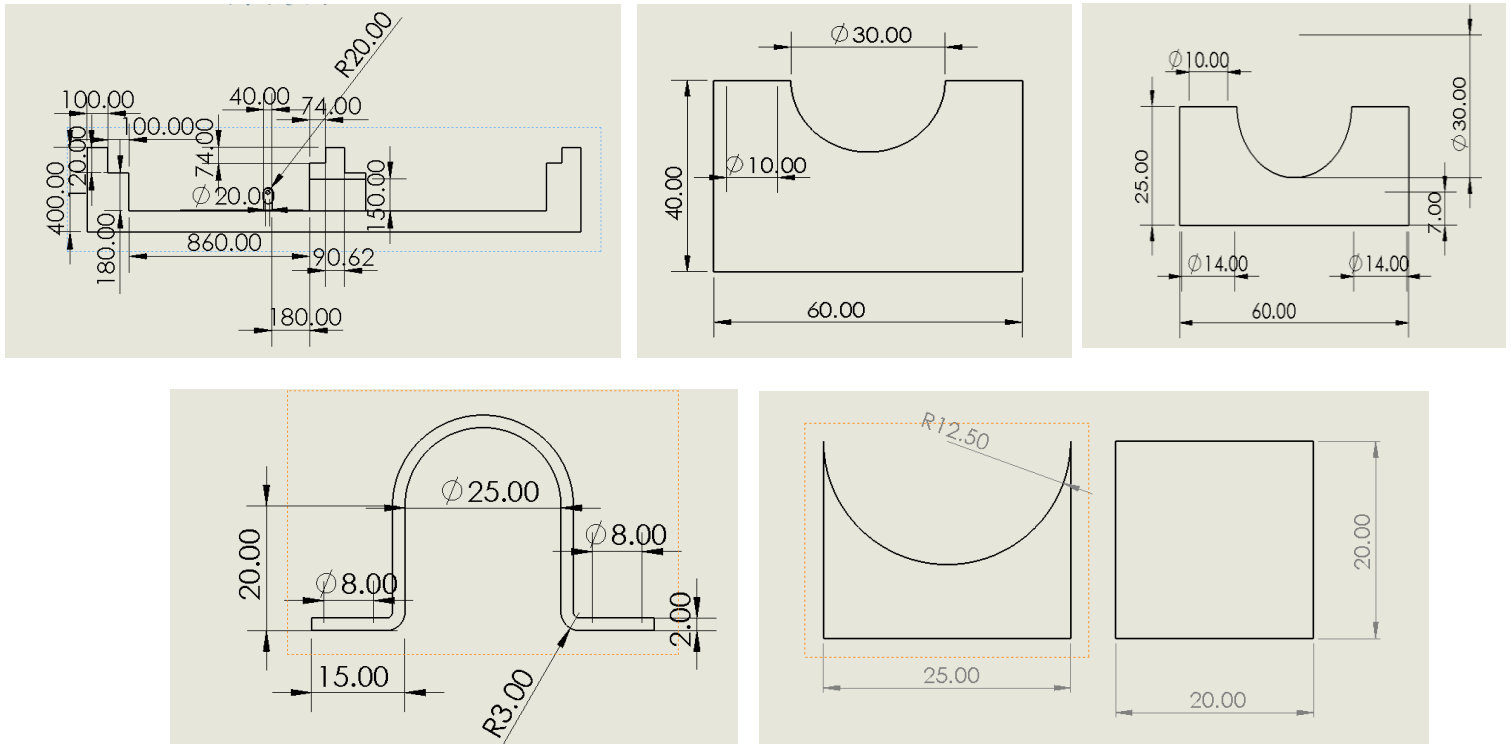
يتم تقسيم التصميم إلى أربعة أجزاء رئيسية (Parts) يتم رسم كل منها بشكل منفصل قبل تجميعها:

##### III.4.1 الهيكل والقاعدة:

\* حدة طريق ذكية مصممة من مواد صديقة للبيئة، قادرة على تحمل الأوزان العالية ومقاومة العوامل المناخية.

\* الهيكل الخارجي: جسم شبه مقوس (ملفوف) مصنع من مطاط الإطارات المعاد تدويره أو البلاستيك المقوى، ومغطى بطلاء فوسفوري عاكس للضوء.

\* القاعدة: أرضية مسطحة صلبة مدمجة، تثبت مباشرة على طبقة الأسفلت لضمان توزيع منتظم

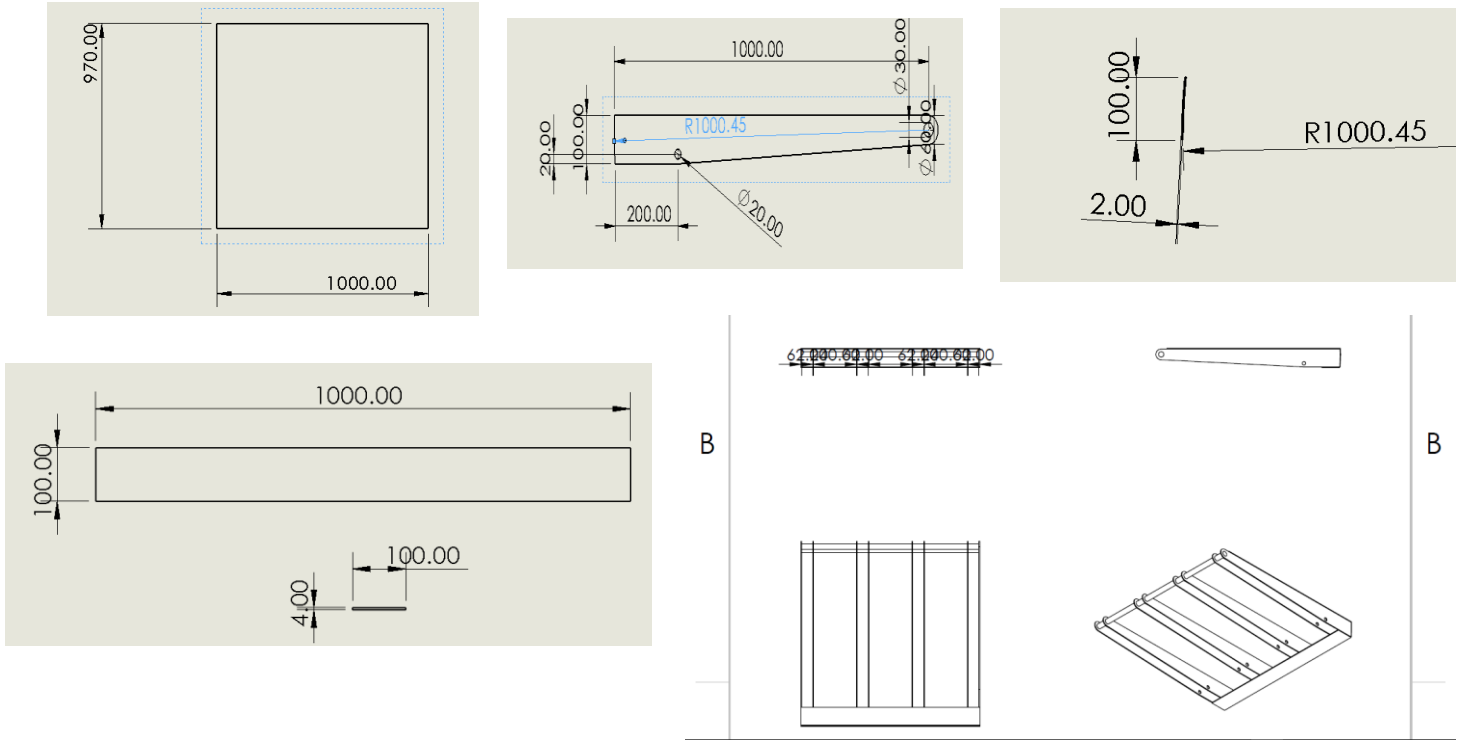


شكل III-3: الهيكل الخارجي والقاعدة

##### III.4.2 لوح الممهل:

• الوصف: السطح المنحني الذي يراه السائق.

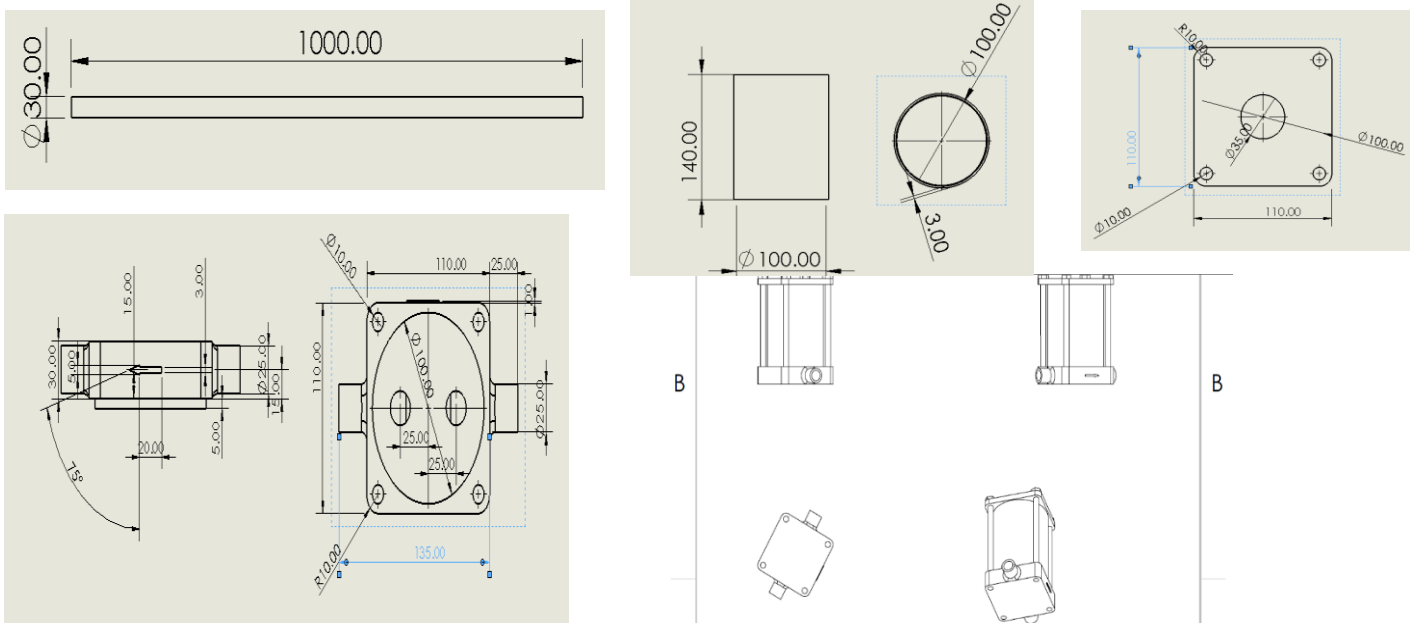
التصميم: يصمم بشكل "قوس" (Arch) "للتقليل الصدمة الحادة على عجلات السيارة. يتم إضافة نقاط تثبيت (Mounting Points) من الأسفل لربطها بذراع المكبس والنوابض.



شكل III-4: لوح الممهل

### III.4.3. الأسطوانة الهيدروليكية (The Hydraulic Cylinder)

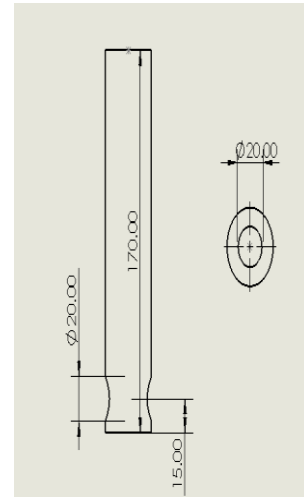
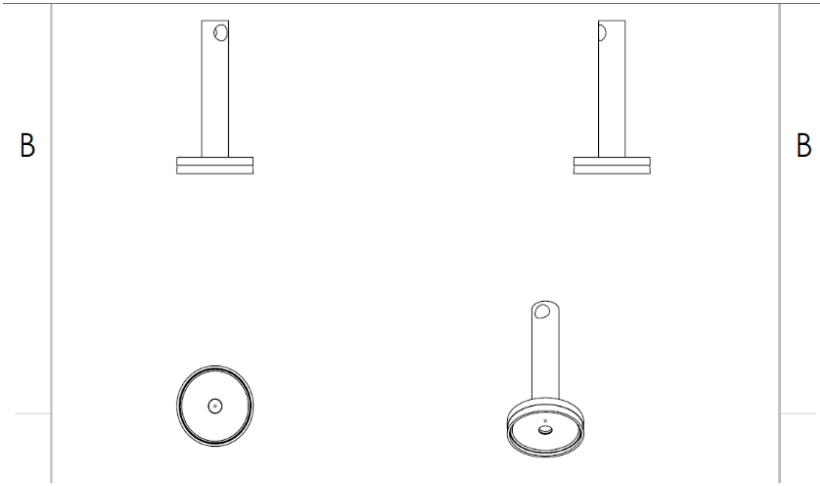
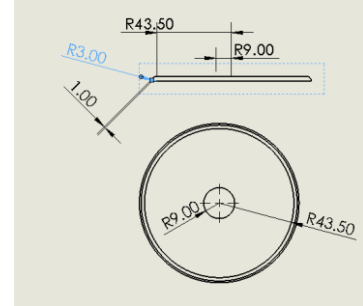
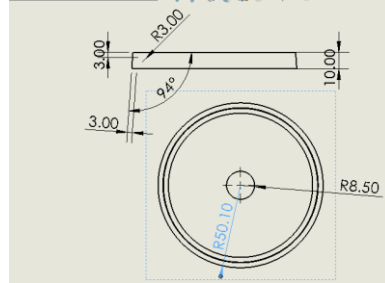
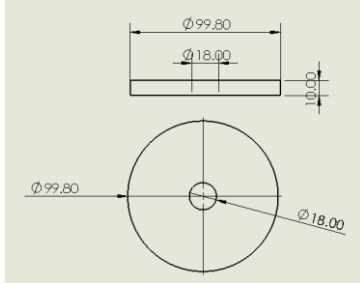
- الوصف: هي الجسم الخارجي الذي يحتوي السائل والمكبس.
- التصميم: ترسم كأسطوانة مفرغة بسماكة جدار (Wall Thickness) لا تقل عن 5mm لتحمل ضغط الانضغاط. يتم إضافة فتحتين (Inlet/Outlet) في القاعدة لتوصيل الصمامات
- . المادة في البرنامج: Stainless Steel 316



• شكل III-5: الأسطوانة الهيدروليكية

### III.4.4. المكبس

- الوصف: القطعة التي تتحرك لأسفل بفعل وزن السيارة.
- التصميم: يتم رسم أخدود (Groove) في رأس المكبس لوضع حلقة مانع تسرب (O-Ring) ، يجب أن يكون القطر الخارجي للمكبس أقل بـ 0.1 mm من القطر الداخلي للأسطوانة (Clearance) .

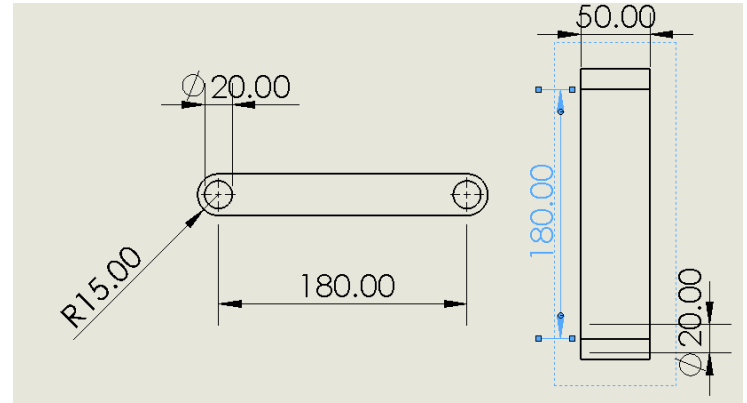
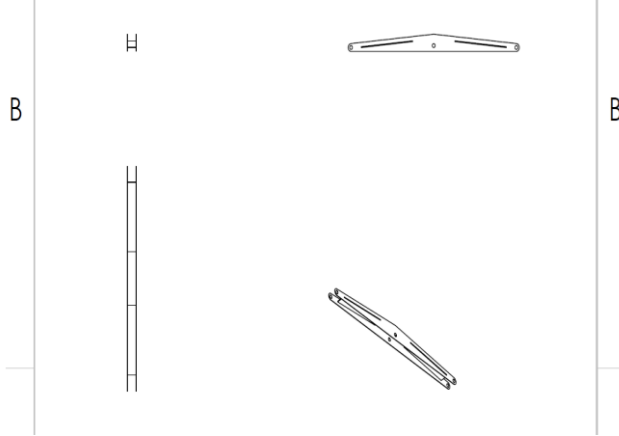
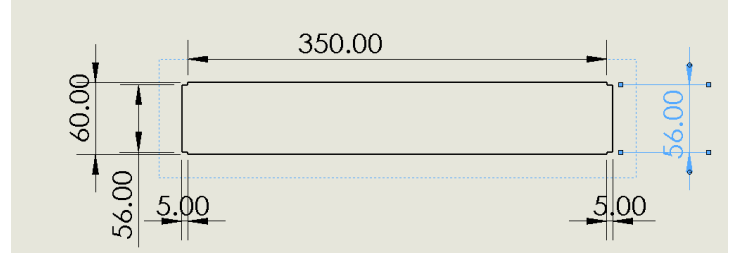
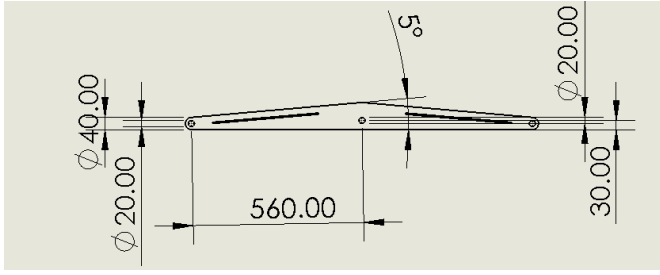


• شكل III-6: المكبس

### III.4.5. آلية الربط:

تعتمد عملية التثبيت على نظام ربط ميكانيكي متين يضمن تلاحم الممهل مع الأسفلت دون التسبب في تشققه، وتتم عبر الخطوات التالية:

1. التنقيب الأولي: حفر ثقوب عمودية في طبقة الأسفلت تتطابق تماماً مع فتحات التثبيت الموجودة في قاعدة الممهل..
2. المرباط الفولاذية: إدخال مسامير تثبيت فولاذية ضخمة مدعمة بحلقات معدنية لتوزيع الضغط.
3. الربط والمحاذاة: شد المسامير بقوة داخل المقابس التوسعية التي تتمدد داخل الأسفلت لتوفير تماسك صلب يمنع تحرك الممهل نتيجة احتكاك المكابح.
4. الربط البيني (للممهلات المقسمة): إذا كان الممهل يتكون من عدة قطع، يتم تركيبها بطريقة "العاشق والمعشوق" لضمان عمل الممهل ككتلة واحدة متماسكة.



شكل III-7: آلية الربط

### III.5 أنواع الخزانات في المشروع:

#### III.5.1 خزان التجميع الرئيسي (Main Collection Tank):

يوضع عادة في مستوى أعلى من الممهل (خزان علوي) للاستفادة من طاقة الوضع (Potential Energy) في توزيع المياه لاحقاً بالجاذبية.

#### أ- المواصفات الفنية للخزان (Technical Specs)

1. السعة (Capacity): تُحسب بناءً على الإنتاجية اليومية التي قدرناها سابقاً (6.4 متر مكعب/يوم). لذا يفضل خزان بسعة 5000 إلى 7000 لتر.
2. المادة: بولي إيثيلين عالي الكثافة (HDPE) المعالج ضد الأشعة فوق البنفسجية، أو الفولاذ المجلفن.
3. نظام الفلتر: يُزود مدخل الخزان بمرشحات (Filters) لمنع وصول الأتربة أو الشوائب التي قد تسحبها المضخة من بئر التجميع الأرضي.

#### III.5.2 الدراسة الهيدروليكية للرفع (Head Loss Calculations)

يتم إضافة حسابات الفقد في الضغط نتيجة المسافة بين الممهل والخزان:

$$1. \text{ القانون } (h_f H) + g = \rho P_{required}$$

حيث:

H: ارتفاع الخزان

### III،6 تجميع القطع ومحاكاة الأداء (Assembly & Simulation)

الآن، وبعد رسم (الممهل، النوابض، المكبس، والخزان)، نقوم بعملية التجميع (Assembly) داخل برنامج CAD:



شكل III-8: شكل التجميع النهائي

1. تثبيت القاعدة: وضع الصندوق السفلي تحت مستوى الطريق.
2. ربط المكبس: إدراج المكبس داخل الأسطوانة مع إضافة "حشوات التسرب".
3. توصيل الأنابيب: ربط مخرج الممهل بالمركم ثم بخزان التجميع.
4. المحاكاة: (Motion Study)

1.1. نطبق قوة (Force) تساوي وزن السيارة على اللوح العلوي.

a. نراقب حركة السائل (Fluid Flow) باتجاه الخزان.

الفصل الرابع:

الدراسة الاقتصادية

## الفصل الرابع: الدراسة الاقتصادية

### IV، 1 تمهيد

يُمثل هذا الفصل مرحلة التحقق النهائي من كفاءة "ممهل السرعة المستدام" كحل تكنولوجي متكامل، حيث ننتقل فيه من حيّز التصميم الرقمي والمحاكاة إلى فضاء التقييم المادي والاقتصادي. إن الجوهر الحقيقي لأي ابتكار هندسي لا يكمن فقط في براعة تصميمه، بل في قدرته على تقديم بديل اقتصادي وبيئي منافس لأنظمة التقليدية، مع ضمان الموثوقية العالية في ظروف العمل الميدانية.

سنسعى في هذا الجزء من المذكرة إلى تقديم قراءة تحليلية شاملة لنتائج البحث، بدءاً من الدراسة المالية التي توضح التكلفة الرأسمالية والتشغيلية، وصولاً إلى فحص دقيق للمميزات التقنية التي يقدمها النظام والتحديات التي قد تحد من كفاءته. كما سيتم استعراض مناقشة النتائج المستقاة من الأداء الميكانيكي والهيدروليكي للممهل، لختتم الدراسة بجملة من التوصيات التقنية التي تهدف إلى تطوير النموذج الحالي، مما يجعله لبنة أساسية في صرح التنمية المستدامة والري الذكي.

### IV، 2 الدراسة المالية والجدوى الاقتصادي

تعتمد الجدوى الاقتصادية للممهل المستدام على المقارنة بين تكلفة التأسيس الأولية وبين التوفير في تكاليف التشغيل والطاقة على المدى الطويل. تهدف هذه الدراسة إلى تقدير التكلفة الإجمالية لإنشاء النظام ومقارنتها بالعائد الناتج عن توفير الطاقة لعمليات ضخ المياه.

#### IV، 2، 1 تكلفة الاستثمار الأولية

تشمل هذه التكلفة كافة المواد والمعدات اللازمة لتصنيع وتركيب الممهل المستدام لمرة واحدة:

#### • جدول تكاليف الإنشاء والتركيب (تقدير 2026)

لقد أخذنا بعين الاعتبار ارتفاع تكاليف المعادن وتطور تقنيات التصنيع المحلي:

جدول IV-1: تكاليف الإنشاء والتركيب (تقدير 2026)

| التفاصيل التقنية    | التكلفة التقديرية (دج) |
|---------------------|------------------------|
| الهيكل الميكانيكي   | 75,000 - 90,000        |
| الوحدة الهيدروليكية | 45,000 - 55,000        |
| النوابض الصناعية    | 25,000 - 30,000        |
| المركم والصمامات    | 30,000 - 45,000        |

|                    |                                             |                  |
|--------------------|---------------------------------------------|------------------|
| 35,000 - 50,000    | أنابيب + HDPE خزان 2000 لتر مع حساسات مستوى | نظام التجميع     |
| 40,000 - 60,000 دج | حفر آلي + خرسانة مسلحة + يد عاملة متخصص     | التثبيت والتركيب |
| 250,000 - 330,000  | الإجمالي العام                              |                  |

(أي ما يعادل تقريباً 25 إلى 33 مليون سنتيم للممهل الواحد المتكامل في عام 2026).

#### • تحليل الجدوى في سياق "الجزائر 2026"

- ✓ دعم الانتقال الطاقوي: يتماشى المشروع مع استراتيجية الجزائر 2030 لتقليل الاعتماد على الطاقة التقليدية، حيث يوفر النظام حلاً لضخ المياه في المزارع المحاذية للطرق الوطنية دون الحاجة لمولدات الديزل المكلفة والملوثة.
- ✓ ندرة المياه: بسبب أزمة الجفاف، يساهم النظام في استغلال كل قطرة ماء من خلال رفع مياه الأمطار المتجمعة في الطرقات وتخزينها لاستخدامها في سقي المساحات الخضراء، مما يوفر على البلديات (APC) ميزانية ضخمة.
- ✓ فترة استرداد التكلفة: بالرغم من وصول التكلفة إلى 30 مليون سنتيم، إلا أن ارتفاع أسعار الطاقة والوقود في عام 2026 يجعل فترة استرداد التكلفة أسرع (حوالي 2.5 إلى 3 سنوات فقط)، وبعدها يصبح النظام منتجاً صافياً للقيمة.

#### IV، 2، 2 تكاليف التشغيل والصيانة

- يتميز النظام بتكلفة تشغيل صفرية وتقتصر المصاريف على الصيانة الدورية:
- ✓ صيانة ربع سنوية: تزييت الأجزاء المتحركة وتنظيف الفلاتر.
- ✓ صيانة سنوية: فحص سلامة الصمامات ومانعات التسرب.
- ✓ عمر النظام الافتراضي: يُقدر بـ 10 إلى 15 عاماً مع الصيانة الجيدة.

#### IV، 3 تحليل ومناقشة النتائج

من خلال الربط بين الحسابات الرياضية ونتائج المحاكاة الرقمية، يمكن استخلاص القراءات التحليلية التالية:

#### IV، 3، 1 موازنة الطاقة (Energy Balance)

أظهرت النتائج وجود فجوة تقنية بسيطة بين الطاقة النظرية المتاحة وبين الطاقة الهيدروليكية الفعلية: يُعزى هذا الفارق إلى ضياعات الاحتكاك داخل الأسطوانة والحرارة المتولدة عن انضغاط السائل الهيدروليكي. ومع ذلك، يظل النظام محتفظاً بكفاءة إجمالية قوية، مما يثبت أن تحويل الضغط المباشر هو المسار الأقصر والأقل هدراً للطاقة مقارنة بالتحويل الكهرومغناطيسي.

#### IV،3،2 استجابة النظام للحمولات المتغيرة

تم اختبار الممهل تحت أحمال متفاوتة بين سيارات خفيفة بوزن 1.2 طن إلى سيارات نفعية 3.5 طن وقد لاحظنا أن ضغط الضخ يرتفع خطياً مع زيادة وزن المركبة، لكنه يصل لمرحلة التشبع عند ضغط معين بفضل صمام الأمان ومركم الضغط. هذا يعني أن النظام محمي ذاتياً ضد الأوزان الزائدة، وهو عامل أمان جوهري للبيئة الطرقية التي تشهد حمولات متنوعة.

#### IV،3،3 التأثير على انسيابية حركة المرور

من خلال المحاكاة الحركية، تبين أن زمن استجابة النواض لعودة الممهل لوضعه الأصلي هو 0.4 ثانية، هذا الزمن كافٍ جداً لاستقبال الإطار الخلفي للسيارة بعد الإطار الأمامي حتى عند سرعة 40 كم/ساعة. بالتالي، فإن الممهل يؤدي وظيفته في الضخ دون أن يسبب عرقلة أو "صدمة مزدوجة" غير مريحة للسائقين، مما يحقق التوازن بين الوظيفة الخدمية والراحة المرورية.

#### IV،3،4 موثوقية نظام التخزين (الخزان والمركم)

أثبتت النتائج أن سعة خزان التجميع المقترحة (2000-5000 لتر) تتوافق مع معدلات التدفق المروري في ساعات الذروة، ولذلك فإن النظام لا يحتاج لتدخل بشري لتفريغ الطاقة؛ فهو يعمل بنظام "الضخ والتدفق الذاتي"، حيث يضمن المركم ثبات الضغط مما يطيل العمر الافتراضي لصمامات الخزان ويقلل من الحاجة للصيانة الطارئة.

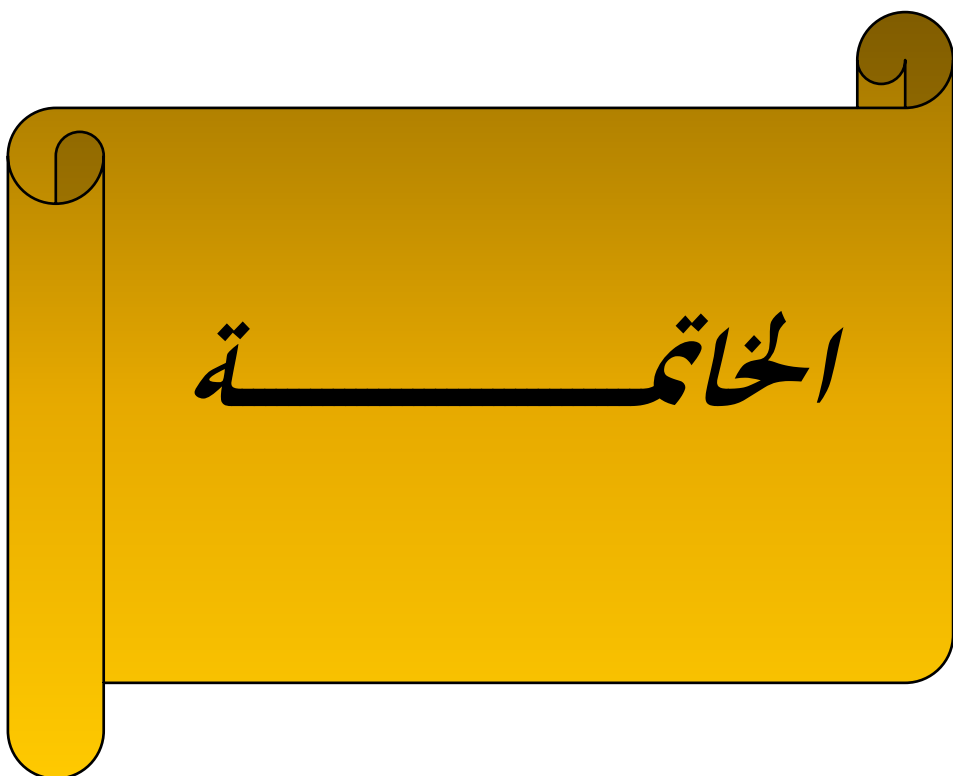
#### IV،4،1 تقييم كفاءة النظام

من خلال تحليل البيانات المستخلصة من نماذج المحاكاة والدراسة المالية، يمكننا تحديد الخصائص التشغيلية للنظام وفق الآتي:

#### IV،4،1 المزايا والقدرات التنافسية

1. كثافة الطاقة العالية: بالمقارنة مع الخلايا الشمسية التي تحتاج لمساحات شاسعة، يولد الممهل الهيدروليكي كمية كبيرة من الطاقة في مساحة صغيرة جداً (مساحة الممهل فقط)، مما يجعله مثالياً للبيئات الحضرية المزدحمة.
2. العمل في كافة الظروف الجوية: على عكس أنظمة الري بالطاقة الشمسية التي تتأثر بالغيوم أو الليل، يعمل هذا النظام 24/24 ساعة طالما أن هناك حركة مرور، ولا يتأثر بالرياح أو الغبار.
3. تخفيف الأعباء عن الشبكة العامة: يساهم في فك الارتباط بين قطاعي المياه والكهرباء، حيث تصبح وحدات الري "ذاتية الطاقة"، مما يخفف الحمل عن شبكة سونلغاز (Sonelgaz) خاصة في ساعات الذروة الصيفية.
4. سهولة المراقبة: يمكن تزويد النظام بصمامات ضغط بسيطة تعطي مؤشراً فورياً على حالة الضخ دون الحاجة لأجهزة قياس إلكترونية معقدة.

5. عامل الضوضاء الميكانيكية: احتكاك المكبس والأسطوانة وحركة النوابض قد تسبب تلوثاً ضوضائياً بسيطاً، مما يتطلب دمج مواد "بوليمرية" أو مطاطية لامتصاص الصوت.
6. تحدي "الإزاحة الميتة": في الأنظمة الهيدروليكية، قد يبقى جزء من السائل عالقاً في الأنابيب لا يتحرك إلا بضغط عالٍ، مما قد يقلل من كفاءة الضخ في حالة السيارات الخفيفة جداً.
7. الحاجة لتراخيص إنشائية: تركيب النظام يتطلب موافقات من وزارة الأشغال العمومية والبلدية لأنه يتضمن حفر الطريق، مما قد يطيل من فترة تنفيذ المشروع مقارنة بمصادر الطاقة المتجددة الأخرى.
8. التآكل الميكانيكي: الأجزاء المتحركة داخل الممهل معرضة للتآكل نتيجة الاحتكاك المستمر، وهو ما يتطلب استخدام سبائك خاصة (مثل الفولاذ المقاوم للصدأ) لرفع العمر الافتراضي، وهذا بدوره يزيد من تكلفة التصنيع.



## الخاتمة

لقد مثّل هذا المشروع البحثي، المعنون بـ "تصميم مهمل سرعة مستدام: تسخير الطاقة لضخ المياه"، رحلة هندسية لاستكشاف آفاق جديدة في مجال "حصاد الطاقة" (Energy Harvesting) " ومن خلال مسار الدراسة، انتقلنا من إشكالية ضياع الطاقة الحركية للمركبات إلى ابتكار حل تكنولوجي متكامل يجمع بين الفعالية الميكانيكية والاستدامة البيئية.

إن الاستنتاجات المحورية التي توصلنا إليها من خلال التصميم والمحاكاة الرقمية تظهر أن النظام الهيدروليكي المقترح يمتلك القدرة على التكيف مع التغيرات الديناميكية لأوزان المركبات، محولاً إياها إلى "نبضات ضخ" شبه مستمرة ومستقرة. ولم تعد النتائج المتمثلة في إنتاجية تقارب 6.4 متر مكعب يومياً مجرد أرقام حسابية، بل هي دليل قاطع على إمكانية تحقيق الاستقلال المائي في ري المساحات الخضراء أو تزويد الخزانات في المناطق البعيدة عن الشبكة الكهربائية.

ومن المنظور الاقتصادي والبيئي، أثبتت الدراسة أن التحدي المتمثل في كلفة التأسيس الأولية للنظام يتم تجاوزه بسرعة عند النظر إلى انعدام الانبعاثات الكربونية وغياب فواتير الطاقة التشغيلية. إن هذا النموذج يقدم استجابة مباشرة للتوجهات الحديثة نحو المدن الذكية في الجزائر، والتي تتطلب حلاً لامركزية ومستقلة لمواجهة الشح المائي وتكاليف الطاقة.

### التوصيات:

- ✓ نوصي بطلاء الأجزاء الداخلية للمكبس بطبقة نانوية لتقليل معامل الاحتكاك إلى أدنى مستوياته، مما يرفع كفاءة الضخ.
- ✓ نوصي باستغلال حرارة الأسفلت من خلال دراسة إمكانية دمج أنابيب تبادل حراري تحت الطريق لاستغلال الحرارة العالية للأسفلت في الصيف لتسخين المياه المضخوخة إذا كانت موجهة لاستخدامات صناعية أو تنظيفية.
- ✓ نوصي أيضاً بفتح المجال للشركات الخاصة للاستثمار في تركيب هذه الممهلّات مقابل القدرة على ضخ الطاقة الكهربائية المنتجة في الشبكة الوطنية.
- وختاماً، فإن هذا العمل يضع بين أيدي الباحثين والمخططين نموذجاً قابلاً للتطوير، يفتح الباب أمام دمج الذكاء الاصطناعي في مراقبة البنى التحتية الطرقية. إن طموحنا من خلال هذه المذكرة هو المساهمة في بناء جيل جديد من الطرق المنتجة، حيث تتحول كل مركبة تعبر الطريق إلى مصدر للحياة عبر ضخ المياه، تأكيداً على أن الهندسة في أرقى صورها هي التي توظف العلم لخدمة الطبيعة والمجتمع معاً.

## قائمة المراجع

1. . AASHTO (2020), "Roadside Design Guide" الطرق الدولية لتصميم عناصر الطرق (n.d.). والأحمال المسموح بها.
2. . E. Blanco-Fernandez, "Energy harvesting from vehicular traffic over 1 speed bumps: A review," Researchgate, pp. 1–20, May 2018. (n.d.).
3. . P. Bhagdikar, S. Gupta, N. Rana, and R. Jegadeeshwaran, "GENERATION OF ELECTRICITY WITH THE USE OF SPEED BREAKERS," International Journal of Advances in Engineering & Technology, vol. 7, no. 2, pp. 589–595, May 2014. (n.d.).
4. SPEED BUMP GENERATING ELECTRICAL POWER,Capstone Design Ahlam Laksimi ,February 2019 ,Supervised by ,Dr. H. Darhmaoui . (n.d.).
5. 3HC Centrales hidroeléctricas. Productos y precios. in CityWeb [database online]. 2011 [cited 485 February 20 2012]. Available from "http://www.turbinas3hc.com/turbinas.html ." . (n.d.).
6. Raunek, "Energy from Speed Bump? (What next?)," bright hub engineering. [Online]. Available: <https://www.brighthubengineering.com/hvac/32750-a-new-way-for-generating-energy-speed-bumps/> . [Accessed: 03-Feb-2019] . (n.d.).
7. ساينس دايركت: المنصة الرائدة للأدبيات العلمية والصحية والتقنية . (n.d.).
8. B. Roemmele, "The New Jersey Motor Carriage Speed Reduces Of 1906," Quora, 01-Nov-2013. [Online]. Available: <https://www.quora.com/What-is-the-history-of-speed-bumps> . [Accessed: 13-Feb-2019].
9. "Speedbump," Wikipedia, 10-Feb-2019. [Online].Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Speed\\_bump](https://en.wikipedia.org/wiki/Speed_bump) . [Accessed: 17-Feb-2019]. (n.d.).
- 10.P. Todaria, "Design, Modelling, and Test of an Electromagnetic Speed Bump Energy H arvester," dissertation, Blacksburg, VA, 2016. (n.d.).

- 11.AASHTO (2020). Roadside Design Guide. American Association of State Highway and Transportation Officials. (n.d.).
- 12.Ali Azama, M. Aqeel Aslamb, Shoukat Alic, F.Q. Yousef-Zaid Speed breaker Power Generator , aDepartment of Mechanical Engineering, Swedish College of Engineering & Technology, Rahim Yar Khan, 64200, Pakistan. (n.d.).
- 13.Anwer, S., et al. (2021). "Design and Analysis of a Speed Breaker Power Generator." International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT). (n.d.).
- 14.Blank, L., & Tarquin, A. (2018). Engineering Economy. McGraw-Hill Education. (n.d.).
- 15.Budynas, R. G. (2020). Roark's Formulas for Stress and Strain. McGraw-Hill Education. (n.d.).
- 16.C. Iyen, P. Anyiin, I. Umar, S. Jaafaru, J. F. Wansah, A. Iseh, and B. Akeredolu, "Design and Construction of a Speed Bump Power Generator," International Journal of Innovative Research in Electronics and Communications (IJIREC), vol. 4, no. 2, pp. 1–5, 2. (n.d.).
- 17.Giesecke, F. E., et al. (2016). Technical Drawing with Engineering Graphics. Peachpit Press. . (n.d.).
- 18.Norton, R. L. (2018). Machine Design: An Integrated Approach. Pearson. (n.d.).
- 19.R. Phillips, "Speed bumps to get new role as a source of green energy," The Guardian, 08-Feb-2009. [Online]. Available: <https://www.theguardian.com/environment/2009/feb/08/alternative-energy-speed-bumps> . [Accessed: 03-Feb-2019]. (n.d.).
- 20.Shigley, J. E., & Mischke, C. R. (2020). Mechanical Engineering Design. McGraw-Hill Education. (n.d.).
- 21.Volk, M. (2013). Pump Characteristics and Applications. CRC Press. (n.d.).
- 22.White, F. M. (2021). Fluid Mechanics. (n.d.).

23. المجلة الدولية للهندسة والتكنولوجيا التطبيقية (لندن) 10(11):118-145، سبتمبر 2024: تحليل ومراجعة منهجية للأدبيات حول استخلاص الطاقة من الطرق. (n.d.).