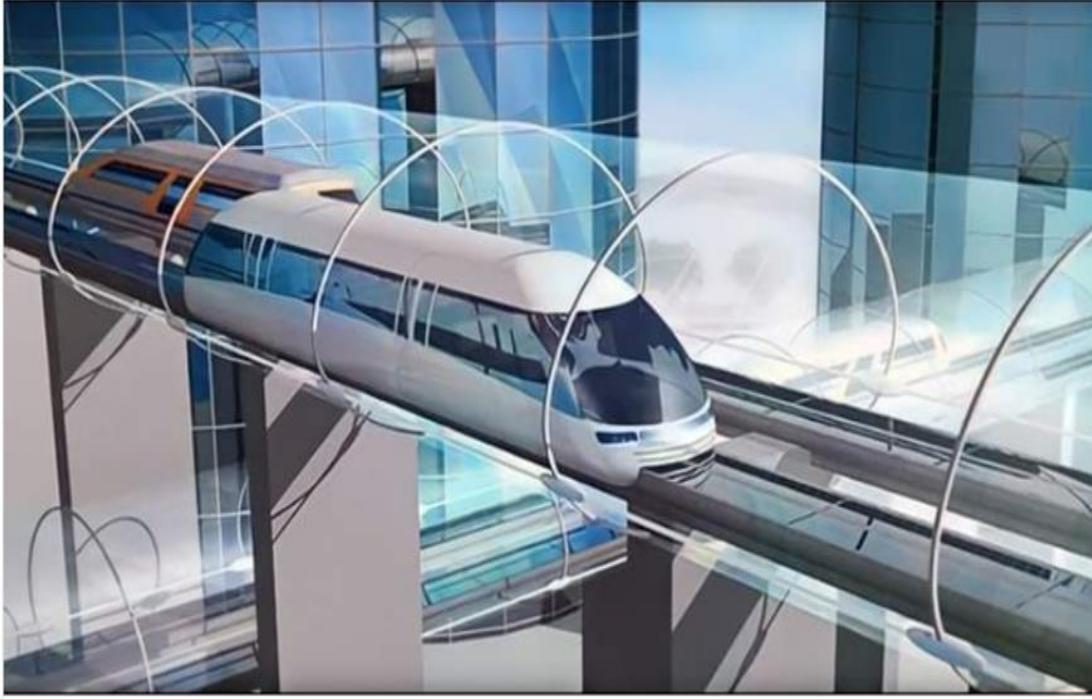


Hyperloop System

ملخص

يمر العالم بحالة من التطور التكنولوجي وأسلوب الحياة السريع، والإنسان بطبيعته كائن مطور لذاته وللبيئة التي يعيش فيها، لذلك كان يسعى على مر العصور لابتكار وسائل نقل، تلبي رغباته المتزايدة من ناحية السرعة والأمان في الوصول إلى وجهته المحددة، حيث كان يبدأ فكرته بالرسومات ثم بالعمل الحثيث على هذه الرسومات لتحقيقها على أرض الواقع، فمن اختراع السيارات إلى اختراع السفن والغواصات والقطارات والطائرات، ومع الانفجار السكاني المتسارع وازدياد الحاجة إلى استخدام وسائل النقل للوصول إلى أماكن العمل، ازداد الطلب على مختلف وسائل النقل؛ حيث تشكل القطارات أحد أهم وسائل النقل التي تلبي وتخدم عدداً كبيراً من المتقلين دفعة واحدة، كما أننا نشاهد -في أغلب الأحيان في أفلام الخيال العلمي- وجود أنفاق لأنابيب طويلة فوق الأرض أو في باطنها وبها كبسولات تستخدم كوسيلة للمواصلات تنقل الأشخاص إلى أعمالهم أو مهامهم اليومية، أو تنقل البضائع في وقت سريع جداً لا يتعدى دقائق أو بضع ساعات حتى لو كانت المسافة بعيدة جداً لدولة أو قارة، لذلك بدأت شركات النقل العمل على تطوير نظام نقل يلبي متطلبات المسافرين بوقت قصير نسبياً وسرعة كبيرة. ومن هنا جاءت فكرة تصميم نظام نقل هجين يدعى الهايبرلوب Hyperloop.



1- ما هو نظام النقل الهايبرلوب (Hyperloop System):

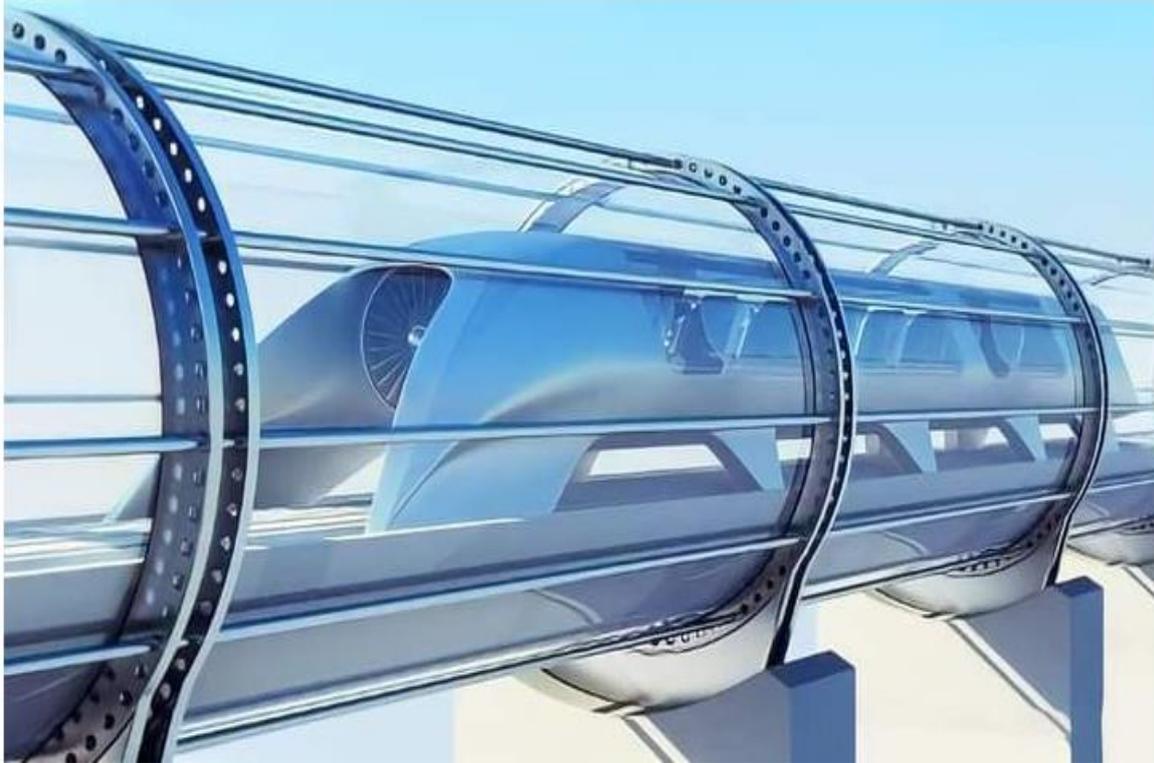
هو قطار مستقبلي عالي السرعة يعتمد على نظام نقل السرعة العالية Very High Speed Transport تم اقتراحه في عام 1972، والذي يدمج أنبوب نقل منخفض الضغط وقطار مغناطيسي معلق، وقد تم تطوير بعض الأفكار الأساسية من نظام نقل السرعة العالية VHST.

يتميز هذا النظام بسرعات عالية جداً تصل إلى 1200 كيلو متراً في الساعة، مما يجعله وسيلة فعالة وسريعة لنقل الركاب والبضائع بين المدن.

يتميز الهايبرلوب أيضاً بكفاءة استهلاك أقل للطاقة، وقدرة عالية على تحمل الظروف الجوية المختلفة مما يجعله خياراً مثيراً للاهتمام في مجالات النقل المستقبلية.

من الناحية النظرية يعتبر وسيلة من وسائل النقل البري الحديثة مثل القطارات والمركبات العادية، لكنه يختلف بعض الشيء عنهم من جانب أن الركاب يدخلون في كبسولة متشابهة في الشكل "للترام" داخل شبكات من الأنابيب العملاقة، ويكون ضغطها منخفض، تربط بين محطتين في باطن الأرض أو فوقها، تكون هذه الشبكات شبه مفرغة من الهواء لتتخطى كل

السرعات وتكسر حاجز الوقت، يتم التحكم بها عن بعد فهي بدون سائق، ولا تتوقف إلا عند الوصول للمكان المطلوب. يبين الشكل (1) قطار يعمل بنظام الهايبرلوب.



الشكل (1) قطار يعمل بنظام الهايبرلوب

2- بداية انطلاق مشروع نظام الهايبرلوب وأبرز الشركات التي طورته:

كانت بداية انطلاق نظام الهايبرلوب مع رجل الأعمال الأمريكي "إيلون ماسك"، وتقوم الشركات الكبرى حالياً باستثمار أموال طائلة في مشروع الهايبرلوب حيث اتخذت إجراءات جادة، وقامت بوضع أنابيب في صحاري دبي كتجربة، كما تم كشف النقاب عن أنابيب هايبرلوب داخل مستودعات في أوروبا. ويعتبر مشروع الهايبرلوب أكثر استدامة من طرق النقل الجوي كالتيران وأسرع بكثير من القطارات السريعة. ومن ضمن أبرز الشركات التي تتسابق لتنفيذ مشروع الهايبرلوب:

➤ شركة "Hyperloop Transmission technologies" ومقرها الولايات المتحدة الأمريكية.

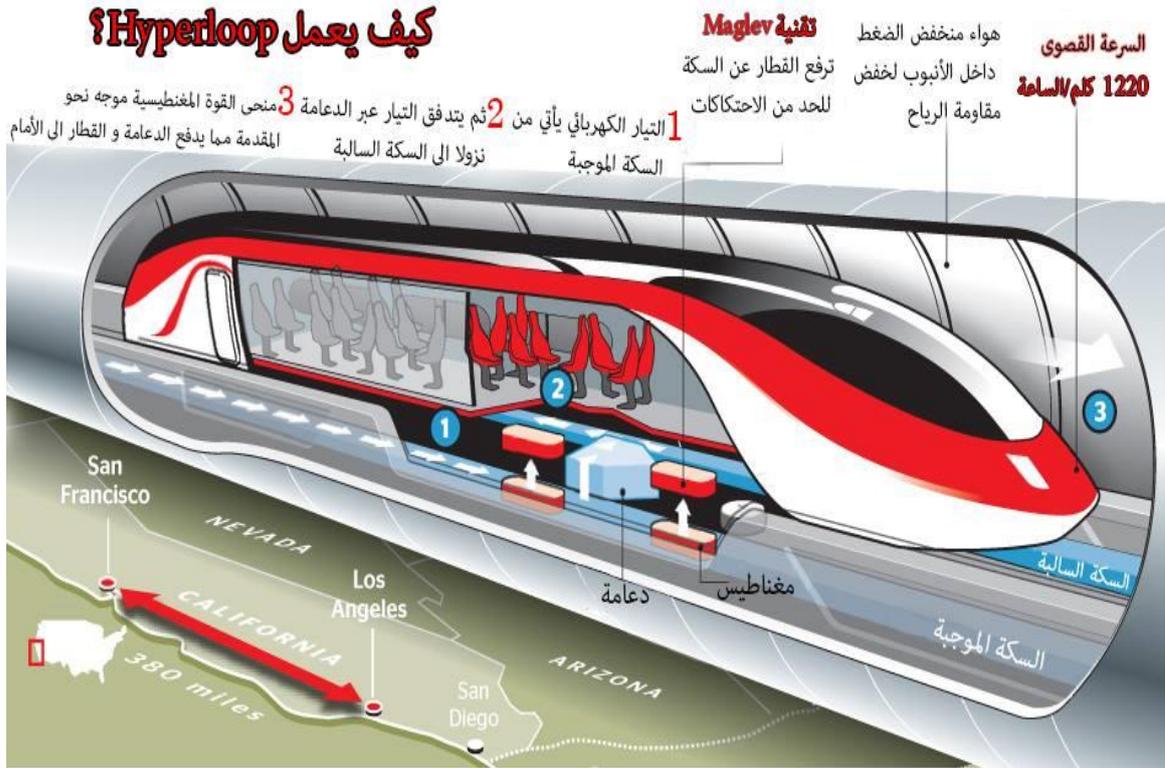
- شركة "Virgin Hyperloop one" ومقرها أيضاً الولايات المتحدة الأمريكية، والتي قامت ببناء مقصورة كاملة عام 2017 سرعتها /387/ كيلومتر في الساعة، وتعد شركة Virgin Hyper Loop one من أكبر الشركات في مجال نظام النقل هايبرلوب، فهي تهدف إلى صناعة حلقة كاملة في الأعوام القادمة، وتخطط لإنشاء أول مسار هايبرلوب بطول /435/ كيلومتراً بين مدينتي لاس فيغاس، ولوس أنجلوس لنقل الركاب المسافرين خلال عشرين دقيقة، ولديها كذلك مشاريع هايبرلوب في المملكة العربية السعودية والهند.
 - شركة "Transpod" وهي شركة كندية.
 - شركة "Hyperloop Hardt" الهولندية التي أعلنت عن افتتاح مكان للاختبار عام 2019 وكشفت عن خطط مستقبلية لتطوير نظام النقل والمواصلات في كافة أنحاء أوروبا.
- يبين الشكل (2) شعار لبعض الشركات المطورة لنظام النقل هايبرلوب.



شكل (2) شعار لبعض الشركات المطورة لنظام هايبرلوب

3- مكونات نظام الهايبرلوب:

يوضح الشكل (3) نظام النقل الهايبرلوب الذي يتكون من عدة مكونات رئيسية تعمل معاً لضمان تشغيله بكفاءة وهذه المكونات هي:



الشكل (3) مكونات نظام النقل الهايبرلوب

1-3 الأنابيب: تمثل الأنابيب الفائقة السرعة البنية الرئيسية لنظام الهايبرلوب، وتتمثل وظيفتها في توجيه الكبسولات، وتوفير البنية التحتية لحركتها بسرعات عالية.

توجد عدة أنواع من الأنابيب التي يمكن استخدامها في نظام النقل الهايبرلوب، يبين الشكل (4) بعض أنواع الأنابيب المستخدمة في نظام الهايبرلوب، وتختلف هذه الأنواع حسب المتطلبات الفنية والبيئية للمشروع وفيما يلي أهم أنواع الأنابيب المستخدمة في هذا النظام:

1- أنابيب الفولاذ: تعتبر أنابيب الفولاذ خياراً شائعاً لأنظمة النقل الهايبرلوب، حيث تتمتع بقوة عالية ومتانة وتحمل الضغط. كما يمكن تصنيعها بأحجام مختلفة لتلبية احتياجات المشروع.

2- أنابيب الألومنيوم: تُستخدم أنابيب الألومنيوم في بعض أنظمة الهايبرلوب نظراً لخفة وزنها وقدرتها على التحمل العالي. تتميز هذه الأنابيب بمقاومتها للتآكل وقابليتها لإعادة التدوير.

3- أنابيب الأكرليك: تُستخدم أنابيب الأكرليك في بعض التطبيقات الخاصة بسبب شفافيتها، مما يسمح برؤية حركة الكبسولات داخلها. تعتبر هذه الأنابيب خياراً جذاباً للاستخدام في مشاريع ترويجية أو تعليمية.

4- أنابيب البولي إثيلين: تُستخدم أنابيب البولي إثيلين في بعض التطبيقات الخفيفة والقصيرة المدى حيث تتمتع بخفة وزنها وسهولة تركيبها. تستخدم هذه الأنابيب في مشاريع تجريبية أو تطويرية.



الشكل (4) بعض أنواع الانابيب المستخدمة في نظام النقل الهايبرلوب

3-2 الكبسولات: تعتبر الكبسولات وسيلة نقل الركاب أو البضائع داخل الأنابيب. تتحرك هذه الكبسولات بفعل التحكم المغناطيسي، وتتمتع بقدرة عالية على التسارع والانزلاق بسلاسة.

يبين الشكل (5) كبسولة تستخدم في نظام النقل الهايبرلوب.

تصمم الكبسولات في نظام الهايبرلوب بشكل يحقق أقصى قدر من الكفاءة والراحة للركاب والبضائع، وعندما يتم تصميم الكبسولات يجب مراعاة النقاط التالية:

1- تيار هوائي منخفض: يتم تصميم الكبسولة لتكون مستديرة وذات تيار هوائي منخفض لتقليل المقاومة الهوائية، وزيادة الكفاءة في الانزلاق داخل الأنبوب.

2- نظام تعليق مغناطيسي: يتم استخدام مغناطيسات لتعليق الكبسولة داخل الأنبوب دون أي احتكاك مباشر، مما يسمح بحركة سلسلة وسرعات عالية.

3- نوافذ مقاومة للحرارة والتأثير: تضمن تصميمات النوافذ المقاومة للظروف البيئية القاسية توفير رؤية جيدة للركاب.

4- أنظمة هوائية للتحكم في الضغط: تستخدم للتعامل مع التغيرات في الضغط الجوي في أثناء التنقل داخل الأنبوب.

5- تقنيات تبريد فعالة: يتم استخدام تقنيات تبريد للتعامل مع الحرارة الناتجة عن الحركة بسرعات عالية.



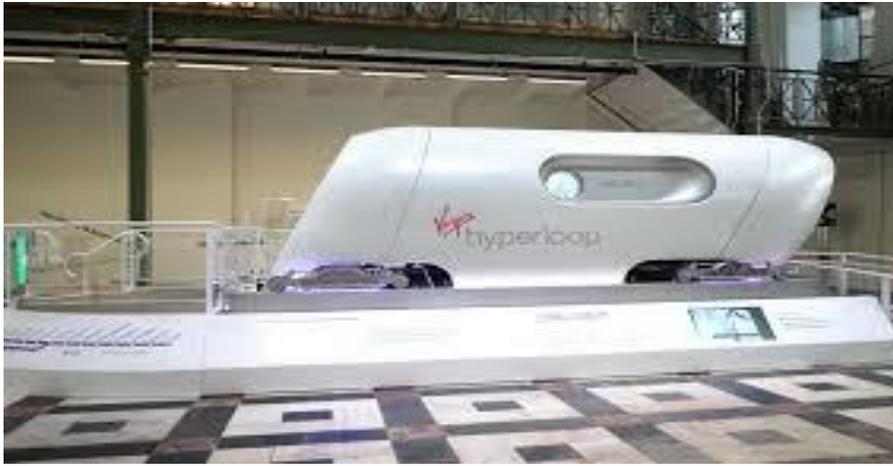
الشكل (5) كبسولة تستخدم في نظام النقل الهايبرلوب

3-2-1 أنواع الكبسولات المستخدمة في نظام الهايبرلوب:

توجد عدة أنواع من الكبسولات التي يمكن استخدامها في نظام النقل الهايبرلوب، وتختلف هذه الأنواع حسب الاستخدام والمتطلبات الفنية للمشروع. وفيما يلي بعض أنواع الكبسولات التي يمكن استخدامها في نظام الهايبرلوب:

1- كبسولات معدنية: تُستخدم الكبسولات المعدنية في بعض تطبيقات نظام الهايبرلوب، التي تتميز بقوتها ومتانتها وقدرتها على تحمل الضغط.

يبين الشكل (6) الكبسولة المعدنية التي تستخدم في المشاريع التجارية أو الصناعية، والتي تتطلب قدرة عالية على تحمل الظروف القاسية.



الشكل (6) كبسولة معدنية

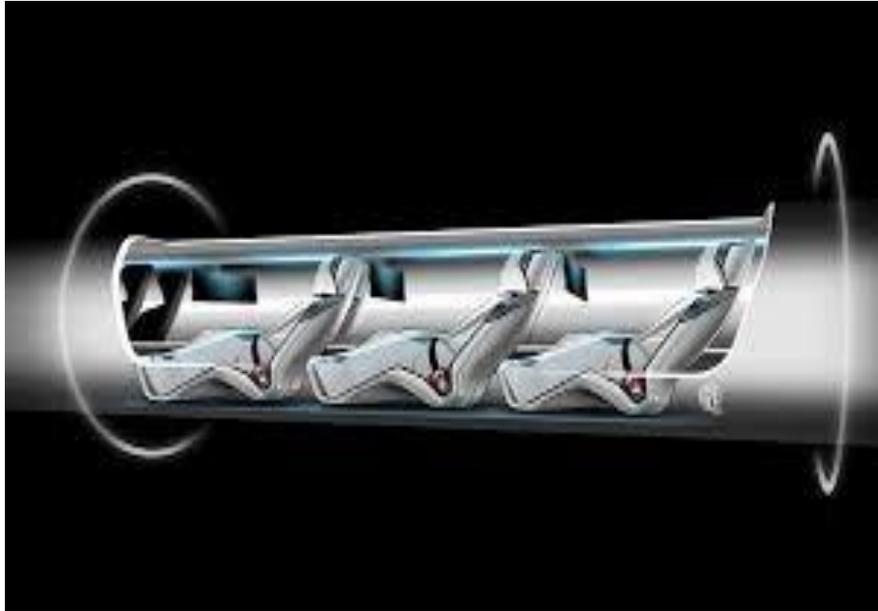
2- كبسولات بلاستيكية: تُستخدم الكبسولات البلاستيكية في بعض التطبيقات الخفيفة والقصيرة المدى، حيث تتميز بخفة وزنها وسهولة تصنيعها.

يبين الشكل (7) كبسولة بلاستيكية وتستخدم هذه الكبسولات في المشاريع التجريبية أو التعليمية.



الشكل (7) كبسولة بلاستيكية

3- كبسولات شفافة: تُستخدم الكبسولات الشفافة في بعض التطبيقات الترويجية أو التعليمية، حيث تسمح برؤية داخل الكبسولة ومتابعة حركتها داخل الأنبوب، يبين الشكل (8) كبسولة شفافة حيث تعتبر هذه الكبسولات خياراً جذاباً للاستخدام في المشاريع التفاعلية.



الشكل (8) كبسولة شفافة

4- كبسولات مخصصة: يمكن تصنيع كبسولات مخصصة وفقاً لمتطلبات محددة للمشروع مثل، الحجم، الشكل، والمواد المستخدمة. يتم تصميم هذه الكبسولات خصيصاً لتناسب احتياجات المشروع بشكل مثالي.

تتطور تصميمات الكبسولات باستمرار لتحسين أدائها، وتحقيق أقصى قدر من الراحة للركاب والبضائع، ولجعل تجربة السفر في نظام الهايبرلوب أكثر كفاءة.

تشمل بعض العناصر الشائعة في تصميم الكبسولات:

1. تيار هوائي منخفض: يتم تصميم الكبسولة لتكون مستديرة وذات تيار هوائي منخفض؛ لتقليل المقاومة الهوائية، وزيادة الكفاءة في الانزلاق داخل الأنبوب.

2. نظام تعليق مغناطيسي: يتم استخدام مغناطيسات لتعليق الكبسولة داخل الأنبوب دون أي احتكاك مباشر، مما يسمح بحركة سلسة وسرعات عالية.

3. نوافذ مقاومة للحرارة والتأثير: تضمن تصميمات النوافذ المقاومة للظروف البيئية القاسية، وتوفير رؤية جيدة للركاب.

4. أنظمة هوائية للتحكم في الضغط: تستخدم للتعامل مع التغيرات في الضغط الجوي في أثناء التنقل داخل الأنبوب.

5. تقنيات تبريد فعّالة: يتم استخدام تقنيات تبريد للتعامل مع الحرارة الناتجة عن الحركة بسرعات عالية.

3-3 نظام التحكم والمراقبة:

يلعب التحكم في نظام الهايبرلوب دوراً حاسماً في ضمان سلامة وكفاءة عمل النظام بشكل عام، ويتم التحكم بالسرعة في نظام الهايبرلوب عن طريق تعديل قوة الدفع أو الجاذبية الخاصة بالكبسولة. يُستخدم نظام التحكم والمراقبة لضبط القوى السابقة بدقة من خلال نظام دفع قوي يستخدم محركات قوية لتحقيق سرعات عالية وتسارع فعّال، وتعديل المغناطيسية لتحقيق توازن مثالي بين السرعة والثبات، وتقنيات التحكم الذكي الذي يعتمد على أنظمة ذكية لمراقبة وتحسين السرعة بناءً على الظروف ومتطلبات الرحلة، كما أن التواصل المستمر بين الكبسولة ونظام التحكم المركزي يضمن الالتزام بمعايير الأمان.

وفيما يلي أهم أنظمة التحكم المستخدمة في نظام الهايبرلوب:

1- نظام التحكم المركزي: يتضمن نظام التحكم المركزي مجموعة من الأجهزة والبرمجيات التي تتحكم بعملية تشغيل الهايبرلوب بشكل شامل. يقوم هذا النظام برصد وتحليل البيانات المستقبلية من جميع أجزاء النظام واتخاذ القرارات اللازمة لضمان سير العمل بسلاسة. ويتضمن عدة مكونات ووظائف مهمة منها:

- مراقبة حركة الكبسولات داخل الأنبوب، وتنظيم سرعتها واتجاهها لتحقيق رحلات آمنة وفعّالة.
- تحديد مسار الكبسولات بناءً على الوجهة المحددة والظروف البيئية والمتغيرات الأخرى.
- التواصل الفعّال مع الكبسولات ومحطات الصعود والهبوط لضمان التنسيق السلس في جميع مراحل الرحلة.
- تنفيذ إجراءات السلامة اللازمة والاستجابة الفورية لأي حالة طارئة.

2- نظام التحكم الموزع: يشمل نظام التحكم الموزع عدداً من الوحدات الصغيرة الموزعة على طول النظام، والتي تتفاعل مع بعضها البعض لتنفيذ الأوامر وضبط عملية التشغيل. يساهم هذا النظام في توزيع الحمولة بشكل أفضل وتقليل خطأ الإشارة. وهو يحقق الفوائد الآتية:

- توزيع التحكم مما يؤدي إلى استجابة أسرع للتغيرات والتحديثات، حيث يتم توزيع السلطة على نقاط مختلفة في النظام.
- يساهم في جعل النظام أكثر مرونة، حيث يمكن تكوين التحكم وفقاً لمتطلبات محددة وظروف التشغيل.
- تقليل مخاطر فشل نقطة مركزية، وتوفير نظام قادر على التكيف والاستمرار في العمل حتى في حالة حدوث عطل في إحدى النقاط.
- تحسين الأمان من خلال توزيع مهام التحكم، مما يقلل من التأثير السلبي في حالة وقوع حادث.

• يوزع العمل على عدة مكونات، مما يقلل من التحميل الزائد على نقاط محددة ويحسن توازن العبء.

3- الاستشعار والرصد: يتضمن نظام التحكم في الهابرلوب مجموعة من أجهزة الاستشعار وأنظمة الرصد التي تقيس مختلف المتغيرات مثل، درجة الحرارة، الضغط، السرعة، والموقع. تساعد هذه الأجهزة في جمع البيانات اللازمة لاتخاذ قرارات دقيقة.

4- التحكم في السرعة والتوجيه: يتضمن نظام التحكم في الهابرلوب أنظمة لضبط سرعة واتجاه حركة الكبسولات داخل الأنبوب. يتم تنظيم هذه الأنظمة بشكل دقيق لضمان وصول الكبسولات إلى وجهتها بأمان.

5- التحديثات والصيانة: يجب أن يتضمن نظام التحكم في الهابرلوب آليات للصيانة الدورية، والتحديثات التقنية لضمان استمرارية عمل النظام بكفاءة عالية. تشمل بعض جوانب الصيانة:

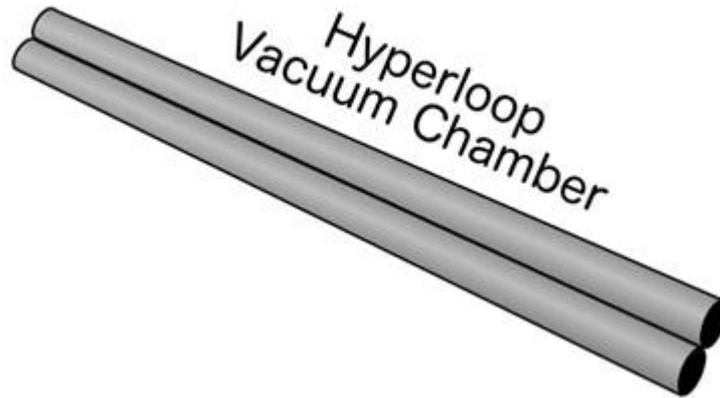
- فحص دوري للمكونات الرئيسية مثل، الأنابيب والكبسولات للكشف عن أي مشاكل.
 - تنفيذ عمليات صيانة دورية للأنظمة الميكانيكية والكهربائية لضمان سلامة وكفاءة التشغيل.
 - تحديث التكنولوجيا لتحسين الأداء وتعزيز مستوى الأمان وفقاً للتطورات التكنولوجية الحديثة.
 - تأهيل الفريق الفني المسؤول عن الصيانة بشكل جيد لتنفيذ الأعمال بكفاءة.
 - استخدام نظم مراقبة لتتبع أداء النظام والكشف المبكر عن أي مشاكل.
- يعتبر نظام التحكم في نظام الهابرلوب عنصراً حيوياً لضمان سلامة وفعالية عمل النظام بشكل عام.

3-4 نظام الفراغ: نظام الفراغ في الهابرلوب هو جزء أساسي من تصميم النظام الذي يساعد في تحقيق سرعات عالية، ويستخدم نظام الفراغ لإزالة الهواء من داخل الأنابيب، مما

يقلل من المقاومة، ويسمح بتحقيق سرعات عالية للكبسولات وكفاءة في النقل. ويتم تحقيق هذه المتطلبات من خلال ما يأتي:

1-4-3 الغرفة الفارغة Chamber Vacuum: يتم توفير غرفة فارغة داخل الأنبوب المخصص للهايبرلوب حيث يتم ضخ الهواء خارجها لإنشاء فراغ جزئي. يتم استخدام مضخات خاصة لضخ الهواء وخلق الضغط المنخفض داخل الأنبوب. تعتبر الغرفة الفارغة بيئة خالية من الهواء حيث يتم خفض الضغط الجوي داخلها لتقليل المقاومة التي تواجه الكبسولات في أثناء حركتها، وهذا يساعد في زيادة سرعة وكفاءة الحركة داخل الأنبوب بفضل انخفاض الضغط داخل الغرفة. يبين الشكل (9) نموذج لغرفة فارغة مستخدمة بنظام الهايبرلوب.

يتم تقليل الاحتكاك بين الكبسولات والهواء مما يجعل الحركة أكثر سلاسة وسرعة. إن تقليل الضغط داخل الغرفة يسهم في تقليل فرصة وقوع حوادث ناتجة عن اصطدام الكبسولات بالهواء، كما يزيد من سلامة النظام بشكل عام. يمكن أن تُصمم الغرفة الفارغة بأنظمة تحكم في درجة الحرارة لضمان بقاء درجة حرارة البيئة المحيطة مستقرة ومناسبة لحركة الكبسولات كما يجب تصميم الغرفة الفارغة بطريقة تسهل عمليات الصيانة والإصلاح، مثل سهولة الوصول إلى المعدات والأنظمة الميكانيكية والكهربائية. باختصار. تعتبر الغرفة الفارغة جزءاً حاسماً من نظام الهايبرلوب، حيث توفر بيئة مثالية لحركة الكبسولات بسرعة عالية وبأمان، وتسهل عمليات التحكم والصيانة في النظام.

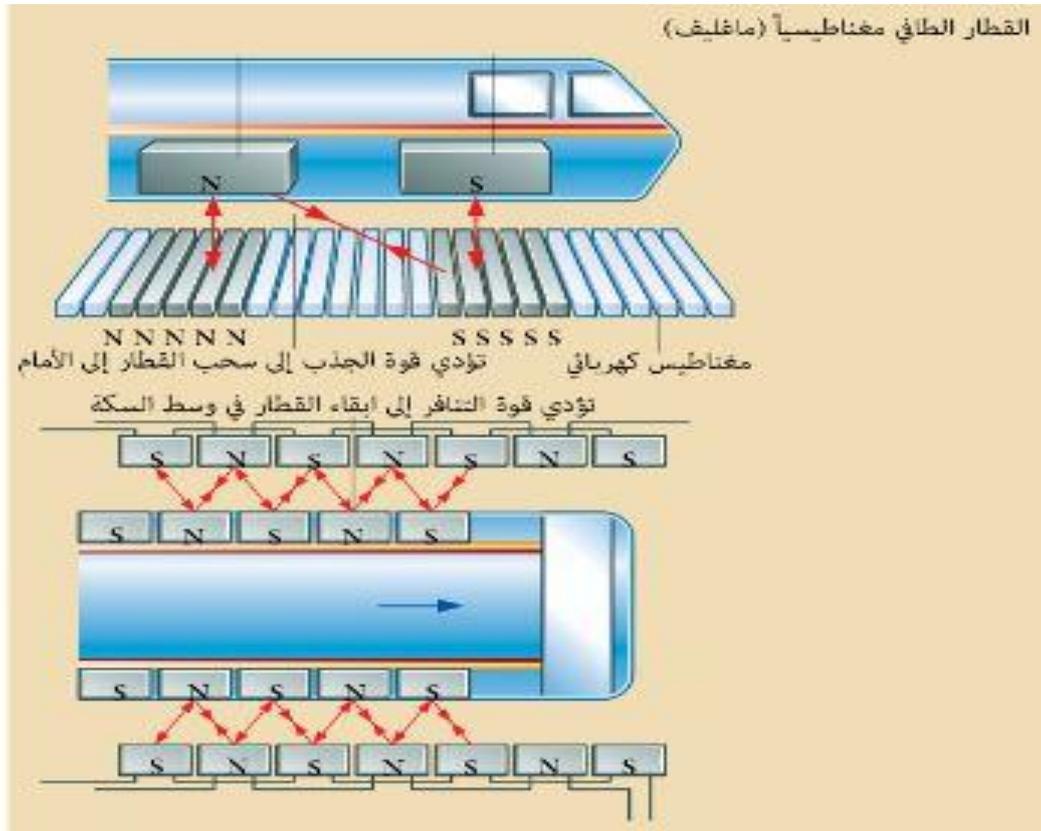


الشكل (9) نموذج لغرفة فارغة مستخدمة بنظام الهايبرلوب

3-4-2 التقليل من المقاومة: عندما يتم إنشاء فراغ جزئي داخل الأنبوب، فإن ذلك يؤدي إلى تقليل المقاومة التي تواجهها الكبسولات في أثناء حركتها، وبالتالي يمكن للكبسولات الانتقال بسرعات أعلى دون تأثيرات سلبية ناتجة عن الاحتكاك. يعتبر تقليل المقاومة في نظام الهايبرلوب أمراً حاسماً لزيادة سرعة وكفاءة حركة الكبسولات داخل الأنبوب.

هناك عدة طرق تستخدم لتحقيق ذلك ومنها:

3-4-2-1 التصميم الأسطواني للأنبوب: تصميم الأنبوب بشكل أسطواني يساعد على تقليل المقاومة، حيث يقلل من تشتت الهواء، ويسهل حركة الكبسولات بشكل أكثر انسيابية. **3-4-2-2** التقنيات المغناطيسية: يمكن استخدام التقنيات المغناطيسية لتحقيق تحكم دقيق في حركة الكبسولات داخل الأنبوب مما يزيد من كفاءة الحركة، ويقلل من المقاومة، ومن أهم التقنيات المغناطيسية المستخدمة في نظام الهايبرلوب، تقنية Maglev المستخدمة في القطارات المغناطيسية. يبين الشكل (10) هذه التقنية، والتي يمكن شرحها وفق ما يأتي:

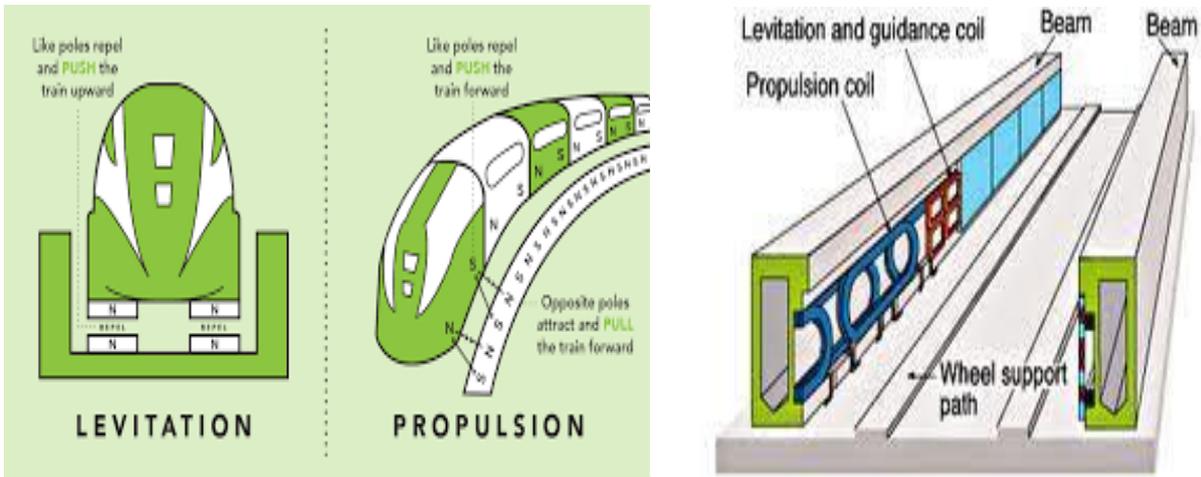


الشكل (10) تطبيق تقنية Maglev في نظام الهايبرلوب

3-4-2-2-1- تقنية التعليق المغناطيسي Maglev:

تقنية "Maglev" هي اختصار لـ "التعليق المغناطيسي" (Magnetic Levitation)، وتستخدم في نظام النقل السريع للقطارات والهايبرلوب. تعتمد هذه التقنية على استخدام التأثير المغناطيسي للتحكم في الحركة، دون وجود أي احتكاك بين القطار والسكة. يبين الشكل (11) أساس عمل تقنية Maglev والذي يكمن في توليد حقول مغناطيسية قوية بين المغناطيسات الموجبة والسالبة. عندما يتم تحريك المغناطيس الموجب (أحد مغناطيسين متقابلين) بشكل طولي على طول المسار، ينتج تأثير مغناطيسي يسمح بتعليق القطار فوق المسار دون أي احتكاك، ويتم تحريك القطار باستخدام تيارات كهربائية في المغناطيسات.

تعتبر تقنية Maglev من بين التقنيات الأكثر كفاءة في مجال النقل السريع، حيث توفر سرعات عالية، ورحلات سلسة وهادئة نسبياً بسبب عدم وجود احتكاك ميكانيكي. كما أنها تعتبر بيئية للغاية بسبب تقليل الاحتكاك والانبعاثات الضارة. تستخدم تقنية Maglev في بعض النظم القائمة حالياً، مثل نظام القطارات المغناطيسية في اليابان والصين، ويُنظر إليها على أنها تقنية مستقبلية واعدة لتحسين النقل العام.



الشكل (11) مبدأ عمل تقنية القطار المغناطيسي

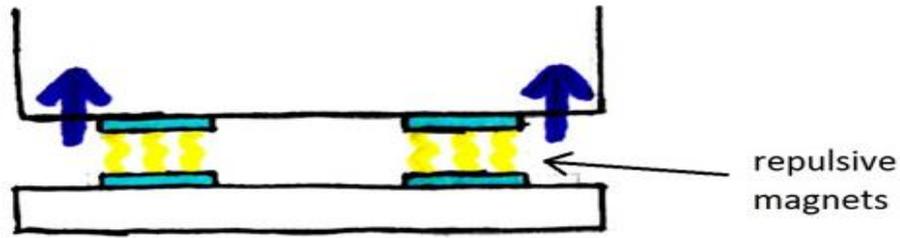
3-4-2-2-2- أنواع تقنية Maglev:

هناك نوعان رئيسيان من تقنية Maglev تستخدم في أنظمة النقل:

1. Maglev بالانزياح الديناميكي (Electrodynamic Suspension – EDS):

يوضح الشكل (12) مبدأ عمل هذه التقنية والذي يمكن تلخيصه فيما يأتي:

- يستخدم هذا النوع من التقنية مغناطيسات مثلثة (القطب الشمالي، المغناطيس، القطب الجنوبي) على جانبي المسار ومغناطيسات أخرى على القطار نفسه.
- عند تشغيل التيار الكهربائي في المغناطيسات على القطار، ينشأ تأثير مغناطيسي يثبت القطار فوق المسار.
- يتم التحكم في الارتفاع والتوجيه باستخدام تغيير التيار الكهربائي في المغناطيسات على القطار.



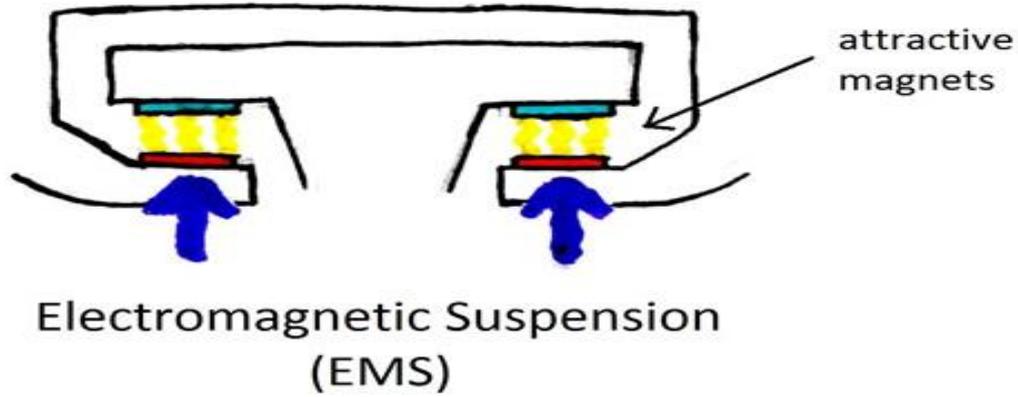
Electrodynamic Suspension
(EDS)

الشكل (12) مبدأ عمل تقنية الانزياح الديناميكي

2. Maglev بالانزياح الدائم (Permanent Magnet Suspension – EMS):

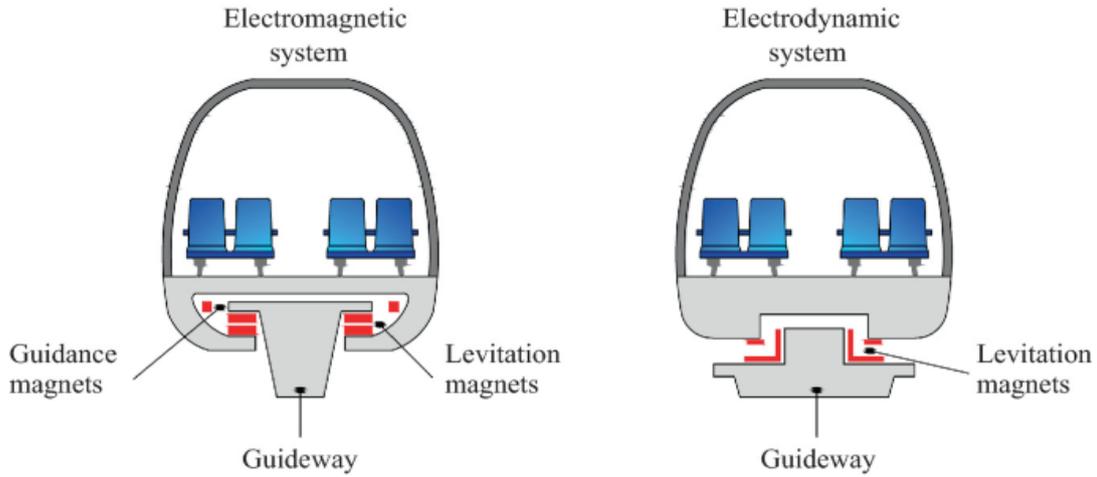
يوضح الشكل (13) مبدأ عمل هذه التقنية، والذي يمكن تلخيصه فيما يأتي:

- يعتمد على استخدام مغناطيسات دائمة على جانبي المسار وعلى القطار نفسه.
- تنتج المغناطيسات الدائمة تأثيراً مغناطيسياً يثبت القطار فوق المسار بدون احتكاك.
- يتم التحكم في الارتفاع والتوجيه باستخدام أنظمة تحكم مغناطيسية لضبط المغناطيسات في القطار.
- كل منها له مزاياه وعيوبه وتطبيقاته المحددة، ويختلف استخدام كل نوع منها حسب الظروف المحلية، والمتطلبات الفنية والاقتصادية.



الشكل (13) مبدأ عمل تقنية الانزياح الدائم

والشكل (14) يبين توزيع كل من هاتين التقنيتين على السكة الحديدية.



الشكل (14) يبين توزيع كل من هاتين التقنيتين على السكة الحديدية

3-2-4-3 تقليل الضغط في الهواء المحيط بالكبسولات: يمكن تصميم نظام يقوم بتقليل

الضغط في الهواء المحيط بالكبسولات لتقليل المقاومة التي تواجهها.

4-2-4-3 التصميم الديناميكي للكبسولات: يمكن تصميم الكبسولات بشكل يقلل من

المقاومة، مثل استخدام تصميم مدبب للجزء الأمامي من الكبسولة لتخفيض التداخل مع

الهواء.

هذه أهم الطرق والتقنيات لتقليل المقاومة، وزيادة سرعة وكفاءة حركة الكبسولات في نظام

الهايبرلوب.

3-4-3 زيادة كفاءة الطاقة: بفضل نظام الفراغ، يمكن تحقيق كفاءة أعلى في استهلاك الطاقة، حيث لا يتطلب تحريك الكبسولات طاقة كبيرة لتجاوز المقاومة الهوائية.

4-4-3 تحديد السرعة: يمكن تحديد سرعة الكبسولات بدقة أكبر في بيئة فارغة، مما يسمح بتحقيق سرعات عالية جداً دون تأثيرات سلبية على الكبسولات أو الركاب.

5-4-3 الحفاظ على الضغط: يجب أن يتم رصد وضبط ضغط الفراغ بشكل دوري لضمان استمرارية عمل النظام بشكل صحيح، وضمان عدم وجود تسريبات تؤثر على كفاءة النظام.

إن نظام الفراغ في الهايبرلوب يعتبر عنصراً حاسماً لتحقيق سرعات عالية وكفاءة في نظام النقل، ويجب تصميمه وصيانته بعناية لضمان تحقيق أداء مثالي للنظام.

4-محطات التوجيه (محطات الصعود والهبوط): تعتبر محطات التوجيه نقطة التحميل والتفريغ للكبسولات، حيث يتم إدخال وإخراج الركاب أو البضائع من وإلى النظام. الشكل (15) يبين الرسم التوضيحي لمحطة توجيه تقوم بنقل الركاب.



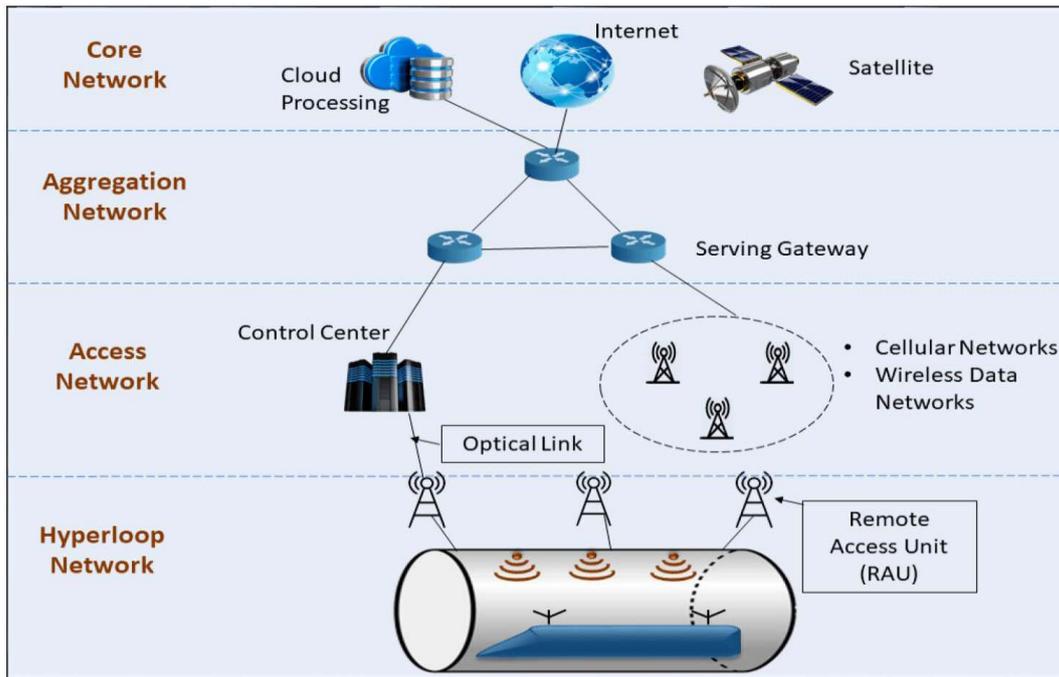
الشكل (15) محطة التوجيه

تتم عملية التوجيه عادةً باستخدام تقنيات متقدمة للتحكم في حركة الكبسولة داخل الأنبوب. من أهم العوامل التي تسهم في عملية التوجيه هي:

- نظام التحكم المغناطيسي: يستخدم المجال المغناطيسي لتوجيه الكبسولة بدقة داخل الأنبوب حيث يمكن تغيير قوة المجال لتحقيق اتجاهات مختلفة.
 - أنظمة توجيه ذكية: تستفيد من تقنيات التعلم الآلي للتكيف مع الظروف المتغيرة واتخاذ قرارات توجيه فعّالة.
 - تقنيات التحكم في الهواء: يمكن استخدام أنظمة هوائية لتوجيه الكبسولة من خلال تغيير التيارات الهوائية داخل الأنبوب.
 - مستشعرات الاتجاه والموقع: تعتمد على مستشعرات متقدمة لقياس الاتجاه والموقع بدقة، مما يساعد في تحديد السلوك التوجيهي.
- تتكامل هذه التقنيات لتحقيق توجيه دقيق وفعالٍ للكبسولة داخل الأنبوب وضمان سلامةٍ وفعالية النظام.
- 5- التفاعل وخدمة الركاب:
- يتم تصميم الكبسولات بحيث تكون متفاعلة مع الركاب وبعض العناصر المهمة في هذا السياق هي:
1. نوافذ رؤية محسنة: تصميم نوافذ الكبسولة لتوفير رؤية جيدة للركاب، مما يسمح لهم بالاستمتاع بالمناظر في أثناء الرحلة.
 2. أنظمة إضاءة مريحة: توفير إضاءة مناسبة للكبسولة لتحسين راحة الركاب، وتقليل التعب في أثناء الرحلة.
 3. مرافق الراحة: إضافة مرافق، كالمقاعد المريحة، وتكييف الهواء لتحسين تجربة السفر.
 4. تقنيات تواصل متقدمة: توفير وسائل تواصل فعّالة مع الركاب، سواء كانت للترفيه أو الإعلام في أثناء الرحلة.
 5. أنظمة أمان متقدمة: توفير إجراءات أمان قوية لضمان راحة وسلامة الركاب في أثناء الرحلة.
- تهدف هذه العناصر إلى جعل تجربة الركاب في نظام الهايبرلوب إيجابية وملهمة، مع التركيز على السلامة والراحة.

6- نظام الاتصال المستخدم في نظام الهايبرلوب:

تعد شبكة الاتصال في نظام الهايبرلوب عنصراً أساسياً يمكنه تبادل البيانات والمعلومات بين مختلف عناصر النظام، يبين الشكل (16) بنية شبكة الاتصال المستخدمة في نظام الهايبرلوب بما في ذلك الكبسولات، ومراكز التحكم، وأجهزة الاستشعار، والبنية التحتية الأخرى.



الشكل (16) بنية شبكة الاتصال المستخدمة في نظام الهايبرلوب

تتكون شبكة الاتصال في نظام الهايبرلوب من العناصر الآتية:

1- كابلات الألياف البصرية: تُستخدم كابلات الألياف البصرية في أنظمة الهايبرلوب بسبب عرض المجال الترددي العالي، والتأخير المنخفض، ومقاومتها للتداخل الكهرومغناطيسي. تقوم هذه الكابلات بنقل البيانات بسرعة عالية على مسافات طويلة، مما يضمن التواصل الفعال بين المكونات المختلفة.

2- أنظمة الاتصال اللاسلكي: بالإضافة إلى كابلات الألياف البصرية، يُمكن استخدام أنظمة الاتصال اللاسلكي مثل الواي فاي (Wi-Fi)، والبلوتوث (Bluetooth)، أو شبكات

الجوال (GSM) في نظام الهايبرلوب لتأمين الاتصال بين الكبسولات المتحركة والبنية التحتية المكونة للنظام.

3- مراكز التحكم: تعتبر مراكز التحكم محاوراً مركزية لرصد وإدارة نظام الهايبرلوب، بما في ذلك شبكات الاتصال. فهي تجمع وتحلل البيانات من مختلف الأجهزة والأجسام لضمان التشغيل بأمان وكفاءة.

4- الاتصال عبر الأقمار الصناعية: قد تستخدم بعض أنظمة الهايبرلوب اتصالاً عبر الأقمار الصناعية لنقل البيانات على مسافات طويلة، أو لتوفير التواصل في المناطق النائية حيث تكون البنية التحتية للاتصالات التقليدية محدودة.

7- مزايا وفوائد نظام الهايبرلوب:

1- القدرة على تحقيق سرعات فائقة، مما يقلل من وقت السفر بشكل كبير.

2- كفاءة بالطاقة، نظراً لانخفاض المقاومة الهوائية داخل الأنبوب، يمكن تحقيق كفاءة طاقة أكبر مقارنة ببعض وسائل النقل التقليدية.

3- التأثير البيئي الأقل، بسبب استخدام التكنولوجيا المغناطيسية، وانخفاض المقاومة الهوائية يمكن أن يؤدي إلى تقليل استهلاك الطاقة وتقليل تأثيراته البيئية.

4- توفير الأراضي، بسبب تحرك الهايبرلوب عبر هياكل مرتفعة أو أنابيب مغلقة، مما يقلل من استهلاك الأراضي المستخدمة للبنية التحتية.

5- تقليل الازدحام المروري في المدن، نظراً لقدرته على التحرك بسرعة عالية.

6- توفير وقت السفر بشكل كبير، نظراً للسرعات العالية.

7 - قدرته على ربط مدن مختلفة بشكل سريع يمكن أن يحسن التواصل والتبادل الاقتصادي.

يبين الشكل (17) أهم فوائد نظام الهايبرلوب.



الشكل (17) أهم فوائد نظام الهايبرلوب

8- سرعة القطار المستخدم بنظام الهايبرلوب:

إن هذه التكنولوجيا ستسمح بتحقيق سرعات عالية جداً تفوق ما يمكن تحقيقه بواسطة وسائل النقل التقليدية، تتحرك الكبسولة داخل الأنبوب الضاغط عندما يتم تحقيق فراغ جزئي، ويمكن أن تحقق سرعات هائلة نتيجة للتقليل الكبير للمقاومة الهوائية واستخدام التكنولوجيا المغناطيسية.

من المتوقع أن تصل سرعات الهايبرلوب إلى مئات الكيلومترات في الساعة، وقد تتجاوز /1000/ كيلومتر في الساعة في بعض التصاميم المستقبلية. يجري تطوير تكنولوجيا الهايبرلوب باستمرار، وقد يشهد المستقبل تحسينات إضافية في السرعات الممكنة.

9- تأثير نظام الهايبرلوب على البيئة:

يُعتبر نظام الهايبرلوب نظاماً بيئياً نظراً للأمور الآتية:

- 1- بسبب انخفاض المقاومة الهوائية داخل الأنبوب، يمكن أن يترتب على ذلك استهلاك طاقة أقل مما يمكن أن يكون له تأثير إيجابي على البيئة.
- 2- بفضل الفراغ الجزئي داخل الأنبوب، يمكن تحقيق سرعات عالية باستهلاك طاقة أقل مقارنة ببعض وسائل النقل التقليدية.
- 3- يمكن تحديد المسارات المخصصة للهايبرلوب بشكل دقيق، مما يقلل من تأثير استخدام الأراضي، وقد يكون له تأثير إيجابي على المناطق الحضرية.
- 4- قدرة الهايبرلوب على تحقيق سرعات عالية يمكن أن تقلل من ازدحام المرور وبالتالي تحسين جودة الهواء.

10- نظام التهوية المستخدم في الهايبرلوب:

نظام التهوية في الهايبرلوب هو جزء أساسي من تصميمه، حيث يتم الاعتماد على نظام تهوية متقدم لضمان توفير الهواء النقي، والمحافظة على ضغط مستقر داخل النفق. يتم استخدام أنظمة تهوية متطورة لضخ الهواء بشكل مستمر وتوزيعه بالتساوي داخل النفق، مع التحكم في درجة الحرارة والرطوبة لضمان راحة الركاب وسلامتهم. تكون أنظمة التهوية في الهايبرلوب مصممة بشكل فعال لضمان تدفق هواء نقي وصحي داخل النفق، مما يضمن راحة الركاب وسلامتهم في أثناء رحلاتهم.

تعتمد تهوية وتنفس الركاب على عوامل مهمة لضمان راحة وسلامة الركاب خلال الرحلة. وهذه أبرز النقاط التي يجب مراعاتها عند تصميم أي نظام تهوية في الهايبرلوب:

- 1- نظام تهوية معتمد على التكنولوجيا: يتم تصميم نظام تهوية متقدم لضخ الهواء النقي داخل الكبسولة، وتوفير تدفق هواء مستمر لراحة الركاب. يتم استخدام أنظمة تكييف الهواء للتحكم في درجة الحرارة والرطوبة داخل الكبسولة.
- 2- تنقية الهواء: يتم استخدام أنظمة تنقية الهواء لإزالة الشوائب والروائح غير المرغوب فيها من الهواء داخل الكبسولة.
- 3- ضمان التدفق الجيد للهواء: يتم تصميم الكبسولات بطريقة تسمح بتدفق جيد للهواء داخل الكبسولة، مع توفير فتحات تهوية توزع الهواء بشكل متساوٍ.

4- نظام طوارئ للتهوية: يجب أن يتم تصميم نظام طوارئ للتهوية يعمل تلقائياً في حالة حدوث أي طارئ يتطلب تدفق هواء إضافي لضمان توفير هواء نقي وآمن للركاب.

5- تدريب الطواقم: يتم تدريب الطواقم العاملة على الهايبرلوب للتعامل مع أي مواقف طارئة تتعلق بالتهوية وضمان سلامة الركاب.

باستخدام هذه الإجراءات والتقنيات، يتم ضمان توفير بيئة تهوية مريحة وآمنة داخل الكبسولة لراحة الركاب في أثناء الرحلة في الهايبرلوب.

11- تكلفة نظام الهايبرلوب:

تكلفة تطوير وبناء نظام الهايبرلوب تعتمد على عدة عوامل، بما في ذلك حجم ومدى الخط

الذي سيتم بناؤه، وتكنولوجيا الهايبرلوب المستخدمة، والظروف الجغرافية والبيئية للمشروع.

حتى الآن لا يوجد نظام هايبرلوب تم بناؤه تجارياً على نطاق واسع. معظم المشاريع

التجريبية والفحوص النمذجية قد تمولها شركات خاصة أو جهات حكومية. يعتبر تمويل

البحث والتطوير والتجارب الأولية جزءاً مهماً من عمليات تطوير التكنولوجيا الجديدة مثل

الهايبرلوب.

والجدول (1) يبين دراسة نظرية لتكلفة مشروع هايبرلوب.

الجدول (1) دراسة نظرية لتكلفة إنشاء نظام هايبرلوب

Component	Cost (million USD)
Capsule	54 (40 capsules)
Capsule Structure & Doors	9.8
Interior & Seats	10.2
Compressor & Plumbing	11
Batteries & Electronics	6
Propulsion	5
Suspension & Air Bearings	8
Components Assembly	4
Tube	5,410
Tube Construction	650
Pylon Construction	2,550
Tunnel Construction	600
Propulsion	140
Solar Panels & Batteries	210
Station & Vacuum Pumps	260
Permits & Land	1,000
Cost Margin	536
Total	6,000

12- لمحة مستقبلية:

من المتوقع ازدياد الطلب على هذا النظام في السنوات العشرة القادمة، والقفز إلى المرتبة الأولى في قطاع النقل العالمي، والربط التجاري بين مختلف بلدان العالم أو حتى بين القارات؛ لما يتمتع به من استقلالية عن الظروف الجوية بالدرجة الأولى (مشاكل النقل البحري - مشاكل النقل الجوي).

المراجع:

1- “Hyperloop Promises Ultrafast Transportation. But What Does It Mean For The Environment?” [Online]. Available: <https://ensia.com/features/Hyperloop-transportation-environment-impacts/> (Accessed: 2019،Dec. 12).

2 - “A Revolution in Railway Communication.” [Online]. Available: <https://news.itu.int/a-revolution-in-railway-communication/> 2019،،Aug. 13

3- L. Yan، “Development and application of the Maglev transportation system،” IEEE Trans. Appl. Supercond.، vol. 18، no. 2، pp. 92-99، Jun. 2008

Kevin. “How Maglev Trains Work” ،4-Bonsor
<http://travel.howstuffworks.com/maglev-train.htm>

إعداد: المهندسة هزار أحمد مناع

- دبلوم في الهندسة المعلوماتية/ قسم شبكات ونظم حاسوبية./

- مهندسة في وزارة الداخلية - الشؤون المدنية.