بررسی نوع پنجم حمل و نقل (هایپرلوپ) و چالش‌های راه‌اندازی آن

محمدرضا سلیمانی کرمانی*، استادیار، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، تهران، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: soleimani@bhrc.ac.ir

دریافت: ۹۷/۱۱/۰۸- پذیرش:۹۸/۰۲/۰۵
صفحه ۲۸-۱۳

چکیده

هایپرلوپ یک پیشنهاد برای حمل و نقل سریع مسافر و یا بار است، که ابتدا در در سال ۲۰۱۲ توسط ایلان ماسک مخترع و سرمایه‌گذار آمریکایی مطرح گردید. این طرح یک سیستم حمل و نقل لوله ای است که از طریق آن یک کپسول (قطار) حاوی مسافر و یا بار می‌تواند بدون مقاومت هوا و یا اصطکاک با سرعتی بالغ بر ۱۲۲۰ کیلومتر بر ساعت جا به جایی را انجام دهد. اگر چه در دنیای ایده پردازی، ممکن است ساخت و راه اندازی آن آسان جلوه کند. اما اجرای آن در شرایط واقعی بسیار چالش برانگیز است. آزمایش‌های اولیه در مقیاس کوچک نشان می دهد که راه اندازی هایپرلوپ کاملا امکان پذیر است و به علاوه، کارایی فوق العاده مطلوبی دارد. با این حال، ساخت یک لوله در مقیاس کامل به طول صدها کیلومتر که قادر به حفظ خلاء نزدیک به ۱۰۰٪ باشد، بدون شک یکی از بزرگترین چالش‌های مهندسی در قرن حاظر خواهد بود. بسیاری از کشورها در حال حاظر شروع به سرمایه‌گذاری های کلانی در این خصوص کرده‌اند. این مقاله قصد دارد تا چالشهای پیش روی احداث هایپرلوپ را مورد بررسی قرار دهد تا مهندسان و دست اندرکاران ایرانی نیز با چالش‌های آن آشنا گردند. در آخر راهکارهایی جهت شروع تحقیق در این خصوص در ایران پیشنهاد گردید. بی‌شک با توجه به مشکلات عدیده‌ای که بر سر راه وجود دارد ولی، این پدیده انقدر جذابیت دارد که با تکنولوژی‌های پیشرفته کنونی می توان بر مشکلات فائق آمد.

واژه‌های کلیدی: هایپرلوپ، خلا نسبی، حمل و نقل لوله ای، موتور القایی خطی، و کمپرسورهای محوری

۱-مقدمه

برنامه این است که فشار هوای درون یک لوله را کاهش داده و سپس یک قطار (کپسول) درون سیستم قرار گرفته شود. کاهش فشار باعث چند مزیت می شود؛ یکی، مقاومت هوا از بین می‌رود، و دوم، شیب فشار می‌تواند برای حرکت قطار در سرعت‌های بالا استفاده شود. ایجاد فشار جو در پشت کپسول باعث می شود که فشار هوا به سرعت به عقب رانده شود تا با گرادیان فشار برابر شود این عمل باعث می گردد که قطار با سرعت به جلو حرکت کند. این روش قادر خواهد بود تا کپسول را با سرعت نزدیک به صوت حرکت دهد. اگر چه بسیاری از افراد اختراع قطار در خلاء را به ایلان ماسک نسبت داده اند، اما این ایده تقریبا از۱۰۰ سال گذشته وجود داشته است. با این حال، قطارهای با قابلیت حرکت در خلاء در مقیاس بزرگتر هرگز ساخته نشدند به دلایل اینکه این قطارها به طور قابل ملاحظه ای گران بودند و خطرات اجتناب ناپذیری که در محیط های با سرعت وجود داشت. در سال ۱۹۱۰، مهندس رابرت گودارد طراحی یک قطار را که روی آهنرباهای مغناطیسی داخل یک تونل با خلاء قرار داشت، طراحی کرد که از لحاظ نظری می‌توانست در ۱۲ دقیقه از نیویورک تا بوستون سفر کند (MIT 2017). اما ایجاد یک سیستم که به طور مداوم هوا را تخلیه نماید بسیار کند بود، و همچنین، مقدار برق مورد نیاز برای هدایت مغناطیسی کپسول بیش از حد هزینه بر بود. ایلان ماسک متولد ۱۹۷۱ آفریقای جنوبی، مهندس، مخترع و شخص نامی تجارت در صنایع پیشرفته آمریکایی استاد و بنیانگذار شرکت‌هایی همچون تسلا موتورز، پی‌پال (که اکنون به ای‌بی تعلق دارد) و اسپیس‌اکس است. او هم‌اکنون مدیرعامل و مدیرفنی در اسپیس اکس است. ماسک همچنین در حال توسعه یک سیستم حمل و نقل با سرعت بالاست که تحت عنوان هایپرلوپ شناخته شده‌است. در سال ۲۰۱۳ ماسک طی سخنرانی اظهار داشت "طرح این سیستم که در

ذهن من شکل گرفته، چیزی است که هرگز تصادف نمی کند، شرایط مختلف اقلیمی بر آن بی اثر استآن ، ۳ الی ٤ بار سریعتر از سریعترین قطار است، سرعت این سیستم به طور متوسط دو برابر بیشتر از هواپیما است. در کمتر از ۳۰ دقیقه از مرکز شهر لوس آنجلس به مرکز شهر سانفرانسیسکو می رسد. هزینه یک بلیط آن بسیار کمتر از هواپیما و نسبت به هر نوع دیگر حمل و نقل است. اگر پنل‌های خورشیدی روی آن قرار گیرد، انرژی بیشتری تولید می کند تا در خود سیستم مصرف شود. مخاذن ذخیره انرژی دارد، به طوری که بدون استفاده از باتری، ٢٤ ساعت در روز می تواند کار کند "(Musk. E 2013). در اوایل دهه ۱۹۹۰، مهندسان MITیک قطار لوله خلاء (هایپرلوپ) را طراحی کردند که می تواند از شهر نیویورک تا بوستون را طی ۲۵ دقیقه طی کند. پس از ارئه این طرح ۲ شرکت با نام‌های هایپرلوپ وان تکنولوژیهای حمل‌ونقل هایپرلوپ به اختصار(HTT) سریعا کار بر روی ایده‌ی ایلان ماسک را آغاز کردند. شرکت هایپرلوپ وان در حال حاضر بیش از ۱۵۰ میلیون دلار بر روی این پروژه سرمایه‌گذاری کرده و شرکت دوم هم در حال حاضر برترین مهندسین سراسر دنیا را برای تحقق این طرح پیشنهادی به خدمت گرفته است. مفهوم هایپرلوپ آلفا برای اولین بار در اوت ۲۰۱۳ منتشر شد، پیشنهاد و بررسی مسیری را که از منطقه لس آنجلس به منطقه خلیج سانفرانسیسکو، تقریبا به طول مایل (٥٦٠ کیلومتر) با سرعت ٧٦٠ مایل در ساعت (۱۲۰۰ کیلومتر در ساعت) حرکت دهد و به مدت ۳۵ دقیقه است، که سریع تر از راه آهن و یا زمان سفر هوایی است (Musk. E 2013). شرکت HTT سرشار از نخبگان با استعداد از سیسکو، بوئینگ، هاروارد و ... است که شروین پیشه‌ور (کارآفرین ایرانی‌الاصل) نیز از اعضای کلیدی این پروژه می باشد. کار شروع ساخت اولین مسیر آزمایشی تکنولوژی حمل‌ونقل هایپرلوپ (HTT) با طول هشت کیلومتر از اواخر سال ۲۰۱۵ شروع شد. طراحان این تکنولوژی در نظر دارند ۱۰ میلیون نفر از این مسیر آزمایشی اولیه که در آمریکا (محلی بین لس‌آنجلس و سان‌فرانسیسکو) واقع است، استفاده کنند. ساخت این مسیر آزمایشی زمانی بیشتر از ۲ سال نیاز خواهد داشت و برآورد هزینه ساخت آن حدود ۱۵۰ میلیون دلار است. در سال ۲۰۱۷، هایپرلوپ وان برخی از اولین آزمایش های خود را در مورد تکنولوژی جدید آغاز کرد، و یک زمین آزمایشی ۵۰۰ متری در نوادا را با سرعت ۷۰ مایل در ساعت در ۵,۳ ثانیه طی کرد. این شرکت در نظر دارد تا سال ۲۰۲۱ سه سیستم هایپرلوپ را راه اندازی نماید. شکل ۱ تصویر شماتیک اینده هایپرلوپ و محل احداث بین خطوط بزرگراهی را نشان می‌دهد(Leanna Garfield 2018). سوال این است که آیا واقعا فرم جدیدی از حمل و نقل در حال شکل گیری است؟ - یک فرم پنجم پس از هواپیما، قطار، اتومبیل و کشتی - که مطابق با این معیارها است و برای پیاده سازی عملی است ؟.

شکل ۱. شماتیک ترسیم شده در سال ۱۹۷٤ یک قطار حرکت در خلا (Leanna Garfield 2018)

قطعات	هزینه (میلیون دلار)	ملاحظات
ساخت لوله	٦٥٠	۷۰۹/۲ مایل لوله
ساخت ستونها	۲/٥٥٠	تعداد ۲۵۰۰۰ ستون
ساخت تونل	٦۰۰	۱۵/۲ مایل طول تونل
سیستم محرکه	١٤٠	موتور القایی خطی
سلواهای خورشیدی و باطری	۲۱۰	پانل هایی که هر دو لوله را پوشش می دهد
ایستگاه و پمپ های خلاء	۲٦۰	تعداد ۲ عدد ایستگاه به قیمت هرعدد ۱۲۵ میلیون دلار
قیمت زمین و اجازه ساخت	۱۰۰۰	به طور کلی درI-5 ROW ، حداقل خرید
جمع کل	٥/٤١٠	

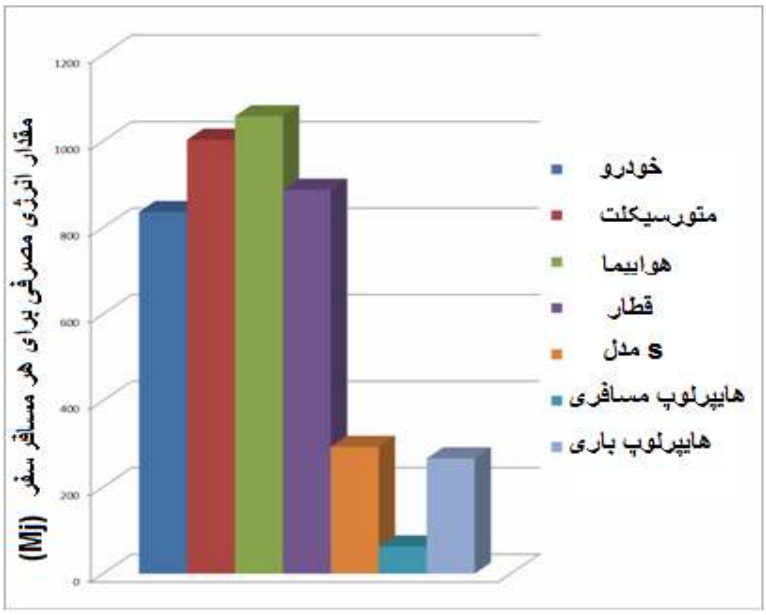
جدول ۱۱ راهنمای پیشنهاد برآورد هزینه ها برای برای شرکت هایپرلوپ آلفا (Taylor L. et. al 2016)، اگر قرار است سرمایه گذاریهای کلانی در ساخت هایپرلوپ صورت گیرد پس بهتر است سفر با هایپرلوپ شرایط زیر را فرهم نماید:

- ایمنی
- سرعت
- مقرون به صرفه
- راحتی
- ایمن نسبت به شرایط اقلیمی
- پایدار در خود تولیدی انرژی مصرفی
- مقاوم در برابر زلزله
- عدم مزاحمت برای سایر کاربران
- دوست دار محیط زیست

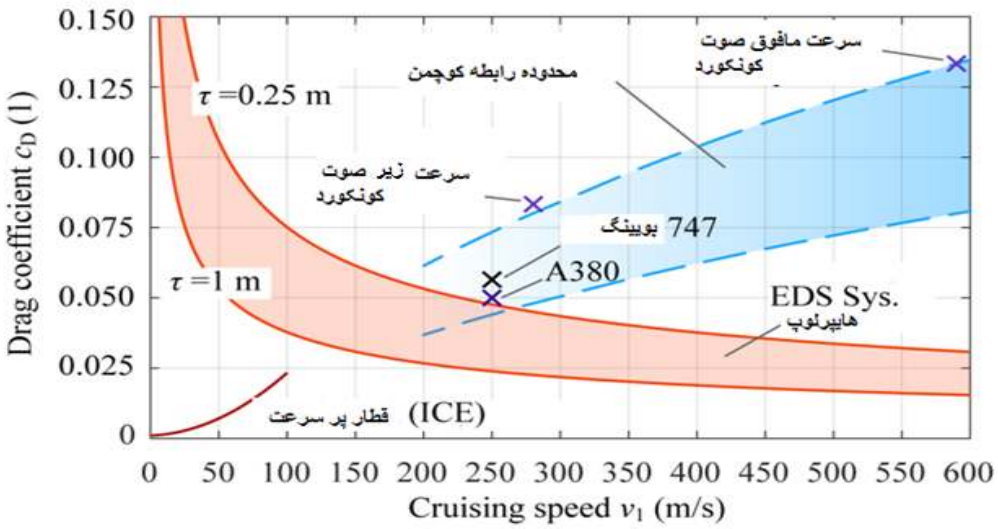
در این تحقیق سعی شده است که موانع فناوری های مورد نیاز و تنگناها مورد بررسی قرار گیرد تا مهندسین و دست اندرکاران داخل کشور جهت امکانسنجی پیاده‌سازی این طرح در آینده در داخل کشور با آن آشنا گردند.

۲-مزایای هایپرلوپ

در اوایل سال جاری، دانشمندان در مرکز تحقیقات گلن ناسا در اوهایو، مفهوم هایپرلوپ را از دیدگاه فنی و هزینه مورد بررسی قرار دادند. آنها نتیجه گرفتند که "برآورد مصرف انرژی، بهره وری هایپرلوپ مسافر و بار، به عنوان یک جایگزین سریع و ارزان تر برای پروازهای کوتاه مدت (۲۵۰ تا ۵۰۰ مایل) توجیح پذیر است Decker, K. et.al (2017). تحلیل امکان سنجی توسط وزارت حمل و نقل ایالات متحده آمریکا (DOT) برآورد می کند که مسیرهای **هایپرلوپ** می تواند تا شش برابر بیشتر انرژی صرفه جویی در مصرف در مسیرهای کوتاه نسبت به مسافرت هوایی و بیش از سه برابر سریع‌تر از سریع‌ترین سیستم قطار سریع در جهان می‌باشد (شکل ۲). به گفته محققان در دانشگاه هلموت اشمیت، در هامبورگ، هایپرلوپ نیز از نظر محیط زیست سازگار تر از وسایل نقلیه جاده‌ای هستند. در سال ۲۰۱٦ ، آنها اثرات ترافیکی جاده‌ای را با مقایسه با ساخت ۳۰۰ کیلومتر هایپرلوپ در شمال آلمان اختصاص داده شده به حمل و نقل زمینی محاسبه کردند. آنها اثرات حذف هزاران کامیون از جاده‌ها، از جمله کاهش آلودگی هوا، انتشار گازهای گلخانه‌ای، راه بندان و تصادفات جاده ای را اندازه‌گیری کردند. اگرچه هایپرلوپ در آلمان ابری نمی‌تواند صرفا از انرژی خورشیدی استفاده کند، اما می‌تواند از هر سال به میزان ١٤٠٠٠٠ تن دی اکسیدکربن حاصل از انتشار گازهای گلخانه‌ای جلوگیری کند. با توجه به نتیجه این تحقیق، میزان ۰۲٪ کل تولید آلاینده‌های هوا مانند متان، اکسید نیتروژن و گرد و غبار را در کشور آلمان از بین می‌رود. به طور کلی، هایپرلوپ می‌تواند هر ساله به مقدار ۹۰۰ میلیون یورو (۸۰۵ میلیون پوند) ارزش در کاهش آلودگی، حوادث و راه بندان و... هر سال صرفه جویی کند، که خود معادل یک سوم سرمایه گذاری اولیه آن که مبلغ ۲,۷ میلیارد یورو است می‌باشد. شکل ۳ مزایای مقایسه ضریب کشش (و به همین ترتیب تقاضای انرژی/انرژی) یک کپسول هایپرلوپ الکترو دینامیکی با سیستم دیگر حمل و نقل هوایی و زمینی با سرعت بالا را نشان می‌دهد.



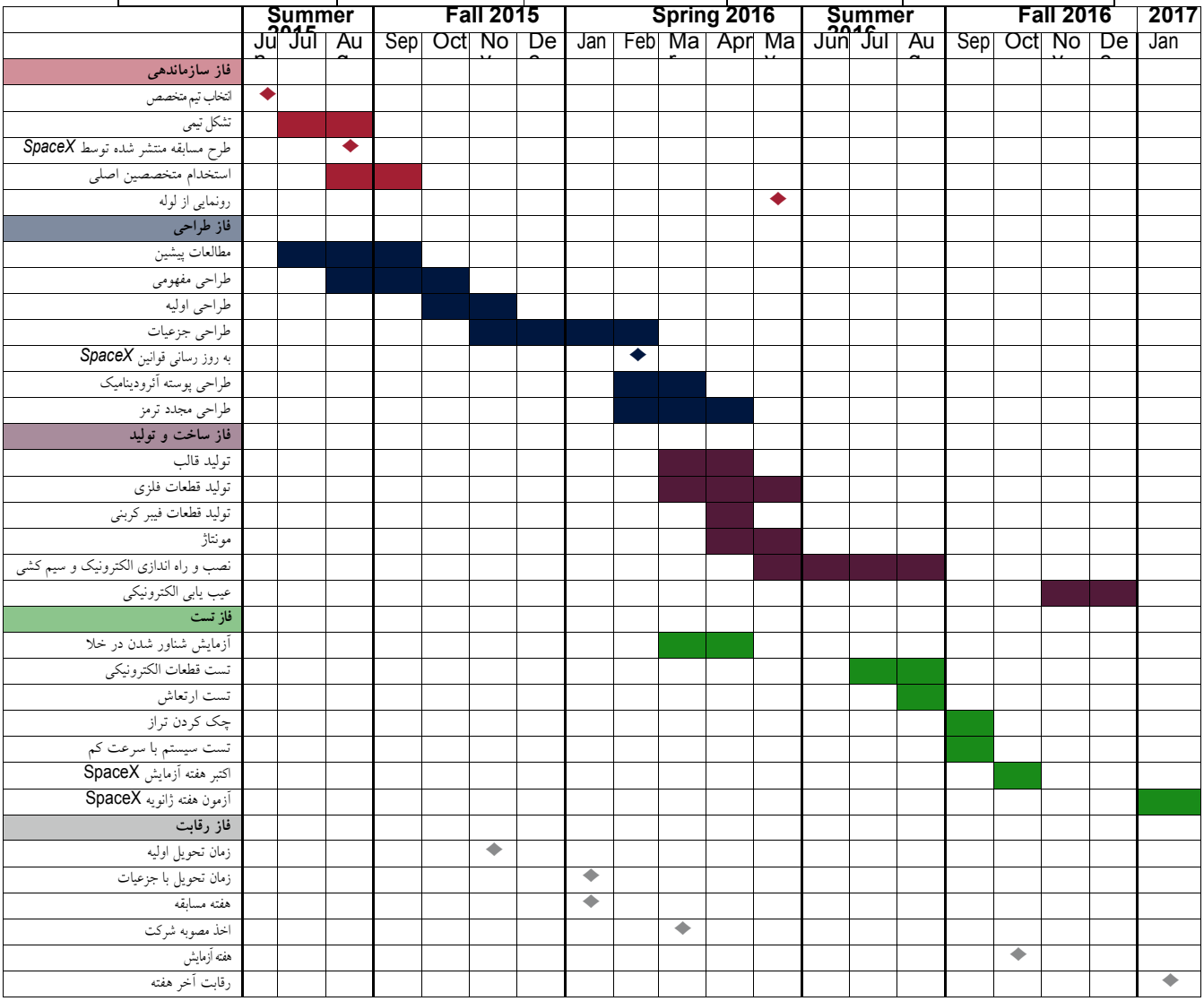
شکل ۲. هزینه انرژی برای هر مسافر برای سفر بین لس آنجلس و سانفرانسیسکو برای انواع مختلف مدهای حمل و نقل (Flankl Michael, et.al, 2015)



شکل ۳. مقایسه ضریب کشش (و به همین ترتیب تقاضای انرژی/انرژی) یک کپسول هایپرلوپ الکترو دیانایامیکی با سیستم دیگر حمل و نقل هوایی و زمینی با سرعت بالا (Flankl Michael, et.al, 2015).

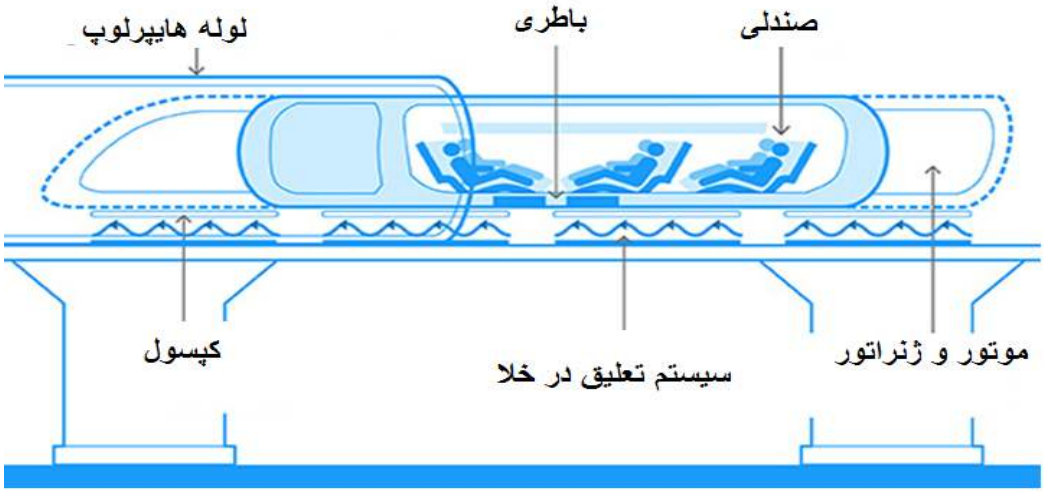
جدول ۲. برنامه احداث هایپرلوپ آمریکا و کشورهای حاشیه جنوب خلیج فارس که تا سال ۲۰۲۰ راه اندازی خواهد شد.

اتصال	کشور	فاصله (کیلومتر)	زمان سفر با خودرو (ساعت)	زمان سفر با هایپرلوپ (دقیقه)
نیویوک تا بستون	آمریکا	۳۰۶	۳:۸۰	۲۵
لوس آنجلس تا سانفرانسیسکو	آمریکا	۵۵۹	۶:۲۱	۳۵
بین نیویورک تا واشنگتن	آمریکا	۱۱۵,۵	۱:۴۵	۲۹
دبی تا ریاض	عربستان سعودی	۱۱۲۰	۱۰	۴۸
دبی تا ابوظبی	امارات	۱۴۱	۱:۲۸	۱۲
دبی تا دوحه قطر	قطر	۷۱۶	۷	۴۳
دبی تا مسقط	عمان	۴۱۹	۴:۳۰	۲۷
دبی تا الفجیره امارات	امارات	۱۱۹	۱:۱۷	۱۰



۳-فعالیتهای انجام شده تاکنون

در ۲۰ آذر۱۳۹۷ یکی از تونل های هایپرلوپ به طور آزمایشی برای عموم در کالیفرنیا افتتاح شد این نخستین تونل هایپرلوپ در لس آنجلس است که در ماه می تمام شد و برای حمل ونقل مسافران و وسایل نقلیه موتوری قابل استفاده است. این تونل از پارکینگ شرکت اسپیس ایکس آغاز می شود و بالاترین سرعت حرکت در آن نیز ۲۵۰ کیلومتر برساعت است. این بخشی از رویای هایپرلوپ ماسک برای نقل و انتقال افراد بین نیویورک و واشنگتن در ۲۹ دقیقه است. یک شرکت هلندی پس از برگزاری اولین دوره رقابت‌ها توسط ایلان ماسک، موفق شد یک پیست ۳۰ متری را در اروپا بنا کند. با اینکه قطر لوله هایپرلوپ در پیست آزمایشی اسپیس ایکس تنها ۲ متر قطر دارد، اما قطر لوله پیست این شرکت قادر است قطارهای فوق سریع با اندازه واقعی را از درون خود عبور دهد. شرکت هایپرلوپ وان هم یک پیست آزمایشی ۵۰۰ متری با قطر لوله مناسب دارد که در حومه شهر لاس وگاس بنا شده است. در تستی که جولای ۲۰۱۷ در پیست این شرکت انجام گرفت، رکورد ۳۰۸ کیلومتر در ساعت به ثبت رسید. جدول ۲ برنامه زمان بندی شرکت SpaceX جهت برگزاری اولین مسابقه آزمایشی هایپرلوپ را نشان می دهد. در حاشیه جنوب خلیج فارس این طرح با استقبال زیادی در کشورهای عربی قرار گرفته است. این وسیله جدید حمل و نقل باعث می شود که زمان سفر از دبی تا دیگر شهرها کاهش یابد. خطوط هایپرلوپ میان دبی و شهرهای مختلف امارات و کشورهای حاشیه خلیج فارس از جمله ریاض پایتخت عربستان سعودی تا سال ۲۰۲۰ راه اندازی خواهد شد. جدول ۱ برنامه احداث هایپرلوب در کشور آمریکا و برخی از کشورهای حاشیه جنوب خلیج فارس که تا سال ۲۰۲۰ راه اندازی خواهد شد را نشان می دهد.



شکل ٤. اجزاء تشکیل دهنده کپسول (قطار) (Dodson Brian, 2013)

٤-اجزاء اصلی هایپرلوپ

- لوله هایپرلوپ
- قطار (کپسول)
- سیستم تعلیق در خلا
- موتور، زنراتور و کمپرسور
- باطری
- صندلی

٤-١- قطار (کپسول)

کپسول به قطار حامل مسافر اطلاق می شود و دو نسخه برای ساختن آن در نظر گرفته شده است، یک نسخه مسافری و یک نسخه بار بری. با در نظر گرفتن متوسط زمان خروج ۲ دقیقه بین کپسول ها، حداقل ۲۸ مسافر در هر کپسول برای رسیدن به ۸٤۰ مسافر در ساعت نیاز دارند (شکل ٤). امکان افزایش ظرفیت کپسول با کاهش زمان بین خروجی ها امکان پذیر است. پایه فعلی در حین ساعت عجله، تا ٤۰ کپسول فعال است، که ٦ بار آن در پایانه‌های بارگیری و تخلیه مسافران در حدود ۵ دقیقه است.

٤-٢- کمپرسور

یکی از ویژگی های مهم کپسول، کمپرسور درون کپسول است که دو هدف دارد. اول، به سیستم اجازه می‌دهد تا کپسول برای عبور از لوله نسبتا باریک بدون ایجاد گیر افتادن بین کپسول و دیواره های لوله حرکت کند. ایجاد افزایش حجم هوا در جلو کپسول و فشرده سازی هوایی که از اطراف کپسول عبور می کند ا جهت افزایش نیروی کششی. دوم، هوا را به هوا یاطاقان عرضه می‌کند که تا وزن کپسول را در طول سفر پشتیبانی کند.

-انتقال هوا مطابق فرایند آورده شده در شکل ٤ صورت می‌گیرد.

-لوله هوا با نسبت ۱:۲۰ از طریق یک کمپرسور محوری فشرده می‌شود.

تا ٦۰٪ از این هوا از هوای عبوری است:

الف – هوا از طریق یک لوله باریک در نزدیکی پایین کپسول به طرف انتها حرکت می‌کند.

ب – یک نازل که در انتهای کمپرسور تعبیه شده است باعث افزایش جریان می‌شود تا مقادیر کمی از نیروی آیرودینامیکی و کششی را کاهش دهد.

– تا ٤٤/۰(۰/۲ کیلوگرم بر ثانیه) هوای خنک و فشرده بعلاوه ۱ :۵/۲ برای کپسول مسافر با خنک کننده اضافی

الف– پس از آن فشرده شدن در مخازن کامپوزیتی تحت فشار کمپرسور ذخیره می‌شود.

ب – هوای ذخیره شده در نهایت توسط یاتاقان های هوا مصرف می شود تا فاصله ی بین کپسول و دیواره های لوله را حفظ کند.

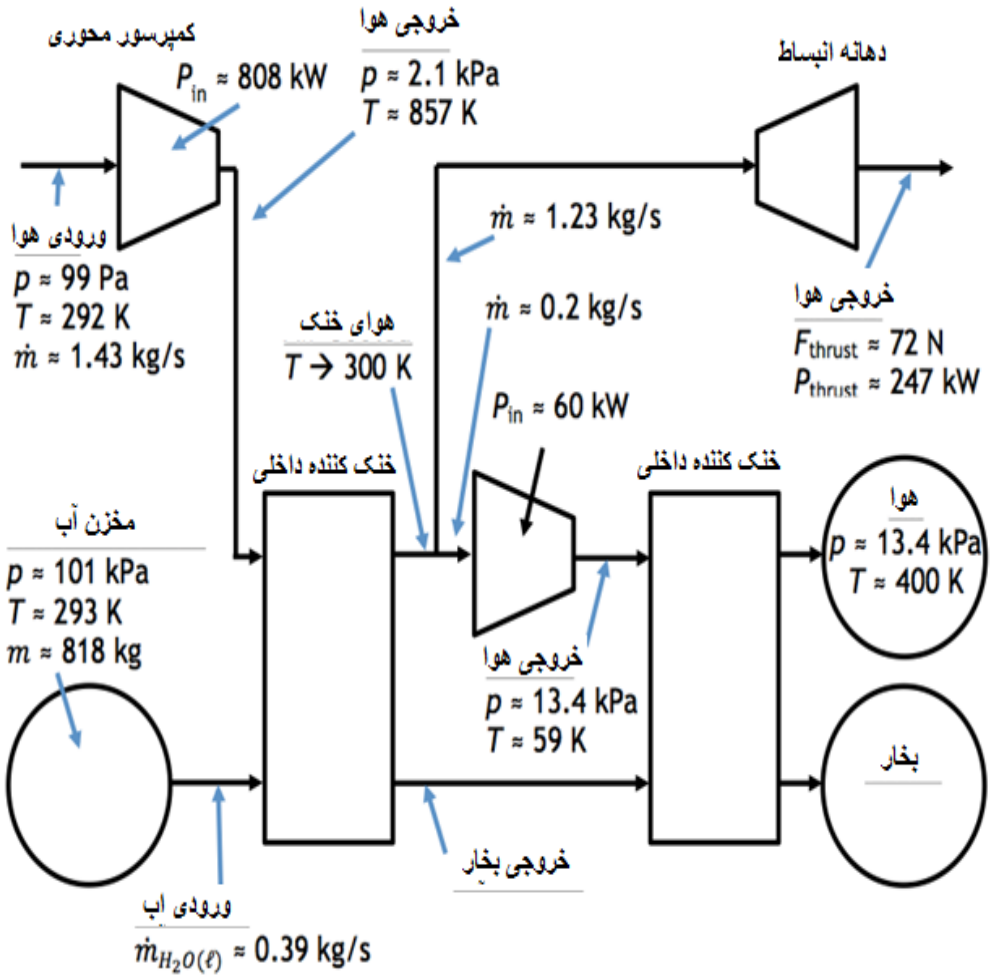
مخزن آب در محل برای خنک کردن هوا استفاده می شود.

الف– آب از طریق دو خنک کننده داخلی (۲۹۰ کیلوگرام کل وزن خنک کننده) با دبی ۰/۱٤ کیلوگرم در ثانیه پمپ می شود. ب– بخار تا زمان رسیدن به ایستگاه در کپسول ذخیره می شود. ت– مخازن آب و بخار به طور خودکار در هر توقف تعویض می‌شوند. کمپرسور توسط یک موتور الکتریکی برقی ٤۳٦ اسب بخار (۳۲۵ کیلووات) کار می کند.

الف– این موتور دارای جرم تخمین زده شده (۱٦۹ کیلوگرم) است که شامل سیستم الکترونیک قدرت است.

ب– ۱۵۰۰ کیلوگرم وزن باتری است که کارایی٤۵ دقیقه طول را دارد که برای زمان سفر با اضافه کردن نیروی پشتیبان اضافی بیش از اندازه مورد نیاز می باشد (شکل ۵).

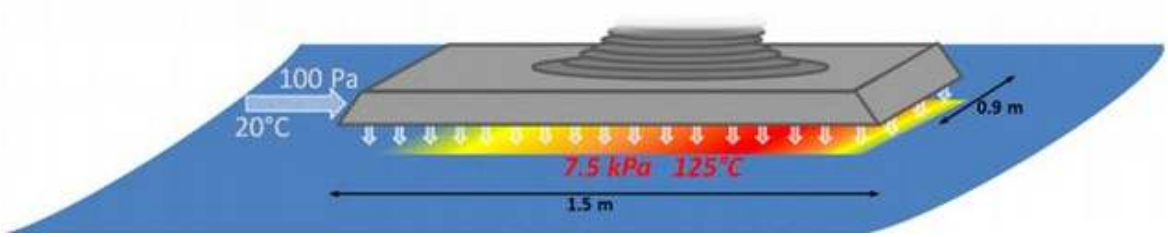
کشش



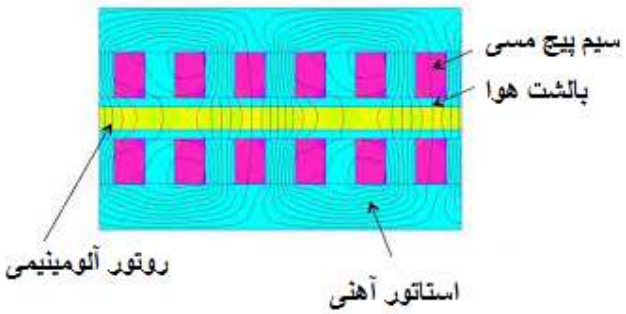
شکل ۵. فرایند کارآیی کمپرسور هایپرلوپ را نشان می دهد. (Dodson Brian, 2013)

٤-٣- سیستم تعلیق در خلا

در حال حاضر استقبال زیادی به فن آوری های غیر تماسی برای جابجایی اجسام با استفاده از تعلیق مغناطیسی وجود دارد. مهم‌ترین مفهوم «تکنولوژی حمل و نقل لوله تخلیه شده (خلا)» مسئله حمل و نقل با سرعت بالا و مجهز کردن سیستم به تعلیق مغناطیسی است. نمونه‌ای از همگرایی انرژی صرفه جویی حرکت در خلاء و به ویژه توسعه مغناطیسی تکنولوژی های سرعت بالا برای حمل و نقل زمینی است. چنین فن آوری‌ها به وسایل نقلیه اجازه می‌دهد تا سرعت حرکت بیش از ۱۰۰۰ کیلومتر در ساعت داشته باشد. و همچنین توسعه این تکنولوژی در آینده و رسیدن به سرعت ٦۰۰۰ کیلومتر در ساعت در چشم‌انداز را ممکن می‌سازد.



(الف)



(ب)

شکل ٦. (الف و ب) سیستم تعلیق مغناطیسی در خلا، (Yang Yi, 2017)

۵-چالشهای پیش رو

در حال حاضر مشکلات زیادی برای راه اندازی هایپرلوپ مطرح می‌کنند. با اینکه خطوط آزمایشی در شماری از کشورها راه اندازی شده ولی هنوز این پرسش مطرح است که چه نوع چالشهایی برای رسیدن به سرعت مافوق صوت وجود خواهد داشت. در زیر مشکل ترین مسائلی است که مهندسان باید قبل از اینکه یک سیستم قطار خلاء در مقیاس کامل را طراحی کنند باید در نظر بگیرند.

- فشار جوی
- فروپاشی خودبه خودی
- برخورد های مرگبار
- سرعت کپسول به بیش از ۱۰۰ کیلومتر / ساعت در عرض چند ثانیه،
- رفع فشار
- خطر تیغه های توربین در حین وقوع فاجعه بار
- انبساط حرارتی
- مشکل یکسان نبودن انتشار گرما در طول لوله های فولادی
- هدف تروریستی آسان
- مشکلات دفن هایپرلوپ در زیر زمین

ساخت یک لوله به طول صدها کیلومتر که یک کپسول نزدیک به خلاء کامل درون آن حرکت کند و بتواند از وزن کپسول که هزاران کیلوگرم وزن دارد و صدها کیلومتر در ساعت سرعت گیرد پشتیبانی کند، به خودی خود یک چالش مهندسی بزرگ خواهد بود. آزمایش های مقیاس کوچک در این زمینه نشان می دهد که اصول این ایده قابل پیاده سازی است. اگر چه در دنیای واقعی عوامل زیادی وجود دارد که نمی‌توان آنها را با یک طراحی کوچک مقایسه کرد. در شرایط واقعی، ده ها هزار کیلوگرم فشار اتمسفر وجود دارد که هر سازه ای را در خلاء می تواند خرد و نابود کند. در این ساختار بزرگ، گسترش حرارتی تهدیدی جدی برای سازه هایپرلوپ است. مشکلات زیاد اجتناب ناپذیری دیگریوجود دارد که هایپرلوپ با آنها مواجه است (Cunningham, Justin 2017). در زیر مشکل ترین مسائل که مهندسان باید قبل از اینکه یک سیستم قطار در خلاء را در مقیاس بزرگ طراحی شود باید در نظر گیرند.

۵-۱- فشار جوی

محفظه خلاء محیط خطرناکی است. کویرها بدترین مکان برای احداث چنین سیستم‌هایی می‌باشند. در طول روز گرما شدید می تواند باعث انبساط لوله گردد، اما در همان مکان به محض فرو رفتن خورشید لوله منقبض می شود. از آنجا یکه لوله به طور ثابت به محل نصب شده (شکل ۷)، باعث می شود که استرس حرارتی بصورت تغییر شکل در لوله‌ها آشکار گردد. اگر محفظه آسیب ببیند حتی یک فرورفتگی کوچک در بدنه (در مسیری که ۱۰۰۰ کیلومتر طول دارد)، باعث فروپاشی کل سیستم می‌گردد (Mason. Phil 2017). در بالای لوله های به هم پیوسته در خلاء کامل، هزاران کیلوگرم جو موجود است. قبل از اینکه هایپرلوپ عملیاتی شود، لوله های حمل و نقل که صدها کیلومتر طول دارند، باید قادر به تحمل وزن کل جو بالای آن باشند. اساسا وزن حدود ۱۰،۰۰۰ کیلوگرم در متر مربع تجمع پیدا خواهد کرد. یعنی، برای هر متر مربع لوله، بیش از ۱۰،۰۰۰ کیلوگرم نیروی خرد کننده بر روی آن وجود خواهد داشت. یک هایپرلوپ ٦۰۰ کیلومتری با قطر حدود دو متر، سطحی حدود ٤ میلیون متر مربع خواهد داشت. با توجه به اینکه یک متر مربع ۱۰،۰۰۰ کیلوگرم نیرو را تجربه خواهد کرد، در نتیجه کل هایپرلوپ باید تقریبا ٤۰ میلیارد کیلوگرم نیرو را بر روی تمام سطح خود تحمل کند.

شکل ۷. نسب لوله بر روی پایه های مستحکم

۵-۲- فروپاشی خودبه خودی

در دمای معمولی اتاق، مولکول‌های هوا در حدود ۲۰۰۰ کیلومتر در ساعت حرکت می‌کنند. در یک اتاق پر از هوا، مولکول ها در جهت های تصادفی به اطراف پراکنده شده و در هنگام حرکت با یکدیگر برخورد می‌کنند. هر ذره ملکول به تنهایی، گشتاور قابل توجهی نخواهد داشت. با این حال، در داخل قطار هایپرلوپ، مولکول‌های اندکی برای برخورد در هوا وجود دارد. جو می‌تواند به طور بسیار تحاجمی هوای درون را با شدت با نیرویی معادل وزن یک فیل با سرعت تقریبی ۲۰۰۰ کیلومتر در ساعت در هر متر مربع نیرو اعمال کند. با توجه به قطر دو متری لوله، قسمت مقطع لوله حدود ۳ متر مربع اندازه گیری می‌شود. اگر نقصی رخ دهد، هوا با سرعت بیش از حد با نیروی ۳۰۰۰۰ کیلوگرمی در سراسر سطح مقطع پخش می شود. هوا همچنان به حرکت در مسیر با نیروی انفجاری ادامه می دهد تا زمانی که با گرادیان فشار برابر شود یا تا زمانی که به یک جسم برسد – به احتمال زیاد به داخل کپسول های قطار. شایان ذکر است که فقط مقدار ۳- PSI، هوا می‌تواند موجب آسیب قابل توجهی به بدن انسان شود و حتی منجر به از دست دادن زندگی انسان گردد. در PSI۵ ، ساختمان‌ها سقوط خواهند کرد و تلفات گسترده خواهد بود. با PSI۱۰ ، ساختمان های بتن مسلح به شدت آسیب دیده و یا به طور کامل سقوط می‌کنند. انتظار می‌رود بیشتر مردم از بین بروند. در مورد هایپرلوپ، هوا می‌تواند به لوله با ۱۵ PSI (!) معادل یک اتمسفر یا ۱۰،۰۰۰ کیلوگرم در هر متر مربع وارد شود. همانطوری که هوا در هر شکافی وارد می‌شود، فشار اتمسفری می‌تواند لوله را مانند یک قوطی کنسرو پاره کند. هر کپسولی که در سر راه است، فورا از هم جدا می‌شود (Mason. Phil 2017) .

۵-۳- برخوردهای مرگبار

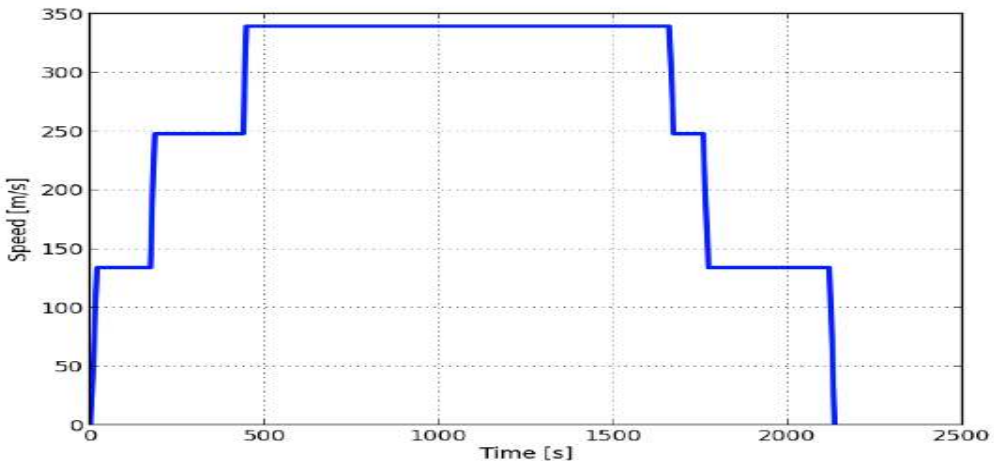
با توجه به ماهیت خاص طراحی، ساخت کپسولی که بتواند در طول وقوع فاجعه انفجار مقاومت کند، بسیار مشکل خواهد بود. کپسول باید به اندازه کافی محکم باشد

تا بتواند فشار اتمسفر در داخل کابین را تحمل کند، در عین حال باید به اندازه کافی سبک باشد تا کاربردی آسان داشته باشد. کپسول در ۱/۱۰۰۰ درجه اتمسفر عمل می‌کند، و این باعث می‌شود که تحمل ۱ آتمسفر برای لوله غیر ممکن بنظر برسد. پیاده سازی ویژگی‌های امنیتی که می‌تواند نیروی ۳۰۰۰۰ کیلوگرم فشار در حرکت با سرعت صوت مقاومت کند، دشوار خواهد بود. البته، یک ویژگی برای کپسول فشرده سازی هوا است. شاید هوا فشرده، کمی از اثرات انفجار اولیه را کاهش دهد – اگر چه بعید است که نیروی مخرب بر روی آن را کاهش دهد. با فرض اینکه یک کپسول بتواند به نوعی از انفجار اولیه هوا سالم بیرون بیاید، اما هنوز مشکلات دیگری نیز وجود دارد. هنگامی که هوا به یک کپسول برخورد می‌کند، مجبور خواهد شد که به سرعت داخل لوله جریان یابد. هوا می‌تواند نیروی ۱۰,۰۰۰ کیلوگرم در متر مربع یا ۱۰,۰۰۰ نیوتن در متر مربع را حفظ کند – که همه آنها بر روی کپسول وارد می‌شود. با فرض اینکه هوا فورا نتواند به تمام نقاط منتشر شود، در نتیجه کپسول‌ها به سرعت در مسیر لوله سرعت می‌گیرند تا زمانی که با یک نیروی مرگبار به یکدیگر برخورد کنند (Overton M 2018). طبق اسناد آلفا، یک کپسول حدود ۲۸۰۰ کیلوگرم وزن دارد. فرض بر این است که کپسول به طور کامل مسافر داشته باشد، که در این صورت در حدود ٤۰۰۰ کیلوگرم وزن دارد. همانطور که قبلا بحث شد، مقطع لوله حدود سه متر مربع، تقریبا در ۳۰۰۰۰ کیلوگرم، یا ۳۰۰۰۰ نیوتن نیروی رفع فشار به‌صورت متواتر وارد می‌شود. با استفاده فرموی فیزیک ساده، شتاب کپسول تحت رفع فشار خود به خودی می‌توان بدست آورد. (۱)

(نیرو = جرم × شتاب) $\rightarrow A = F / M$).

٥-٤- شتاب‌گیری کپسول در عرض چند ثانیه

تقریبا بلافاصله، بعد از حرکت کپسول در بهترین شرایط شتاب آن به ۷,۵ متر در مجذور ثانیه می‌رسد. اگر کپسول به طور کامل بارگیری نشود، شتاب می‌تواند حتی بیشتر باشد. اگر کپسول کاملا پر نشده باشد شتاب بیش از ۱۰ متر در مجذور ثانیه سریع‌تر از آنچه که در حین سقوط آزاد بدون مقاومت هوا (۹/۸ مترمربع برثانیه) تجربه خواهد شد. سرعت‌گیری هایپرلوپ (۱۲۰۰ کیلومتر در ساعت) و اثرات سرعت ناگهانی بر روی مسافران نیروهای عظیم G است که مسافران باید در این سرعت تحمل کنند. در کمتر از چهار ثانیه، یک کپسول کامل با ١٤ مسافر با وزن ۱۰۰ کیلوگرم برای هر نفر، به سرعت ۱۰۰ کیلومتر بر ساعت می رسد (شکل ۸). در مسیری که توسط بسیاری از کپسول‌ها به اشتراک گذاشته شده است. در صورت انفجار برخورد های مرگبار، صورت می‌گیرد. شتابی که یک شیء پس از فروپاشی از حالت خلاء به فشار اتمسفری تجربه می کند، حیرت انگیز است (Overton M 2018).



شکل ۸ . یک نمودار سرعت در و زمان برای کپسول هایپرلوپ را نشان می‌دهد (Jerey C. et,al., ۲۰۱٦)

۵-۵- کاهش سرعت

کم کردن اثرات منفی کاهش سرعت و اثرات منفی ان بر مسافران نیز قابل تامل است.

۵-٦-فروپاشی

هر نقص کوچک در لوله ممکن است منجر به فروپاشی شود. لوله ها در چنین شرایط محیطی شدید قرار دارند، که فشار جوی حتی در خصوص نقص‌های کوچک می‌تواند باعث خورد شدن لوله مانند یک قوطی آلومینیومی شود. فرض بر این است که سیستم لوله‌ای با دقت و احتیاط طراحی شده است. با این حال، هنوز خطرات بسیاری وجود دارد که که هایپرلوپ را نابود کند. کپسول های هایپرلوپ که در کنار یک توربین عظیم هم قرار دارند، که هایپرلوپ را به پایین مسیر در سرعت های بسیار بالایی حرکت می دهد. موتور توربین هایپرلوپ بسیار مشابه موتور توربین منظم در یک هواپیما عمل می کند، فقط چرخش بسیار زیاد و بسیار سریعتری دارد. هواپیماهای مسافربری در فضا برای بالا بردن سرعت و افزایش بهره‌وری در بالای جو پرواز می‌کنند. در ارتفاعی که اکسیژن موتورها آن تامین شود. هواپیما با ارتفاع خاصی پرواز می‌کند تا حداکثر بهره‌وری را در سطح با اکسیژن کافی به دست آورد تا بتواند به آسانی حرکت کند.

پس از شکست موتور، هایپرلوپ به طور چشمگیری ارتعاش می یابد. در هوا، یک بال هواپیما دارای برخی از انعطاف پذیری است که موتور را قادر می سازد بدون ارتعاش تمام هواپیما را هدایت کند. اما هواپیما می تواند در هوا با موتورهای پشتیبان مانور دهد تا در صورت از دست رفتن یک موتور، نقصان را جبران نماید. در عوض، در داخل یک لوله خلاء، ارتعاش لوله را از هم جدا می کند، و باعث فروپاشی فاجعه آمیز و کشنده شود. ارتعاشات شدید به احتمال زیاد به صورت ساختاری می‌تواند لوله ها را به خطر بیاندازد. در نتیجه هایپرلوپ نیازمند به یک پمپ سپس، هوا به سرعت وارد شود. کپسول هایپرلوپ با وزن تقریبی ۳.۰۰۰ کیلوگرم، باید نیروی ثابت و ارتعاشات را تحمل کند، زیرا هر کپسول در طول لوله‌ها در صدها کیلومتر در ساعت حرکت می‌کند. با نگهداری منظم لوله ها و اطمینان از کارکرد صحیح آنها، مسئله ای پیش نمی آید. بااین هواپیماهای مسافربری از موتورهای توربین استفاده می‌کنند که بیش از ۳۰۰۰ دور در دقیقه چرخش دارند. در این سرعت ها، هر تیغه توربو نیروی گریز از مرکز ۱۱۰ تن به اندازه وزن یک لکوموتیو کامل تحمل می کند.

۵-۷- خطرتیغه های توربین در حین وقوع فاجعه بار

البته موتورهای توربو طراحی شده اند که حاوی تیغه های داخل موتور در صورت شکستگی فاجعه آمیز نباشد. در غیر اینصورت، تیغه‌ها به سرعت به پرتابه‌های خطرناکی تبدیل می شوند که بیش از هزار کیلومتر در ساعت سرعت پیدا می‌کنند. پرتابه‌های سرکش می توانند به راحتی باعث تخریب و متلاشی شدن لوله ها گردند.

۵-۸- ارتعاش

توربومولکولی کاملا بی نقص است. یکی از بزرگترین چالش های مهندسین، ارتعاش است. ارتعاشات می‌توانند پیچ و مهره‌ها را شل نمایند، باعث شکستگی‌های میکروارگانیسمی شوند، یا یک شکست فاجعه بار ایجاد کند. در صورتی که یک پمپ توربو مولکولی با ده‌ها هزار دور RPM چرخانده شود، حتی با کمترین ایراد، می‌تواند منجر به فاجعه شود. اگر موتور شروع به ارتعاش کند، به سرعت از هم گسیخته می-شود و تیغه‌های توربین را به پرتابه های کوچک تبدیل می-کند. اگر نوک تیغه باز شود، می تواند به راحتی لوله هایپرلوپ را سوراخ کند و حال، اگر مهندسان موفق به شناسایی حتی یک لوله معیوب نشوند (بین هزاران لوله)، می‌تواند منجر به شکست کامل سیستم شود و یکبار دیگر منجر به فروپاشی خود به خود شود.(Mason. Phil 2017)

۵-۹- حباب هوا

اگر یک مقداری هوا (حباب) از طریقی وارد سیستم هایپرلوپ شود می‌تواند باعث فروپاشی سیستم شود . همانطور که کپسول با سرعت صدها کیلومتر در ساعت با توربینی که ده ها بار سریعتر از آن چرخش می کند حرکت کند، اگر یک کپسول با حباب هوا مواجه شود، حباب هوا بیشتر شبیه یک دیوار عمل می‌کند. اختلاف فشار باعث ایجاد خسارت های زیادی می شود که پره های توربین به سرعت آسیب می بینند. حتی کوچکترین خرابی در قطعات ممکن است به شدت به تیغه های توربین آسیب برساند، و باعث آسیب ناگهانی شود. توربین بی اختیار می شود، اما همچنان در سرعت های نجومی به چرخش ادامه می‌دهد. حتی یک تغییر کوچک در تیغه های توربین می‌تواند لرزش کافی ایجاد کند که باعث شود موتور متلاشی شود. به طور طبیعی، یک راه حل این است که اضافه کردن دریچه هایی که می تواند فشار مجدد لوله قبل از آنکه فروپاشی اتفاق افتد را برقرار کند مورد نیاز است. با این حال، نیاز به داشتن هزاران قطعه اضافی است که به طور چشمگیری باعث افزایش خطر فروپاشی است. البته، مهندسین خطرات فشار و دیگر خطرها را با توانایی خود جبران می کنند. ساخت چنین لوله ای نیاز به فولاد ضخیم دارد. فولاد با مجموعه‌ای از مشکلات خود می آید. در گرمای خورشید، این مشکل به شکل گسترش حرارتی ظاهر می شود.

۵-۱۰- گسترش حرارتی

لوله‌های فولادی گرما را بصورت یکنواخت هدایت نمی کند. وقتی فلز گرم می‌شوند حجمش تغییر می‌کند. در این حالت، گسترش خطی حرارتی نگران کننده است، زیرا ممکن است لوله را از بین ببرد. تنها راه مقابله با گسترش حرارتی استفاده از مفصل‌های کوچک در نقاط مشخص (مانند آنچه در پل‌ها و ریل‌ها مشاهده می‌شود) انجام شود. این امکان برای هایپرلوپی که نیاز به خلاء دارد باید به خوبی لحاظ گردد) (Hoather Ian 2016فولاد به اندازه کافی قوی است تا بتواند یک خلاء کامل را در شرایط ایده آل حفظ کند. با این وجود، یک مشکل دیگر به دلیل خاصیت فولاد وجود دارد. در طول سال، درجه حرارت قابل توجهی در بسیاری از نقاط جهان تغییر می‌کند. تغییر گرما باعث می‌شود که اندازه فیزیکی لوله هایپرلوپ تغییر کندHoather Ian) .(2016 گسترش و کاهش برای سازه‌های کمتر از یک کیلومتر بسیار ناچیز است. اما برای سازه هایی که صدها کیلومتر طول دارند (مانند هایپرلوپ)، می‌تواند اثرات بسیار قابل توجهی داشته باشد. نرخ انبساط حرارتی فولاد حدود ۱۳ قسمت در یک میلیون در درجه سانتیگراد است. پیش بینی منطقی از محدوده دمای مورد انتظار در ایالات متحده از ۰ درجه سانتیگراد تا ٤٠ درجه است. با توجه به واریانس درجه حرارت ٤٠ درجه، انبساط حرارتی منجر به واریانس نزدیک به ۳۰۰ متر می شود. در گرمای ایالات متحده، هایپرلوپ به صورت سالانه تحت شرایطی بیش از ٤٠ درجه قرار می گیرد (شکل ۹). بالای لوله از نور بیشتری برخوردار خواهد شد و در نتیجه گرما بیشتر خواهد بود. اختلاف دمای فقط سه درجه در لوله باعث می‌شود قسمت بالای آن تقریبا ۲۵ متر بیشتر از پایین باشد. هایپرلوپ خم می‌شود و احتمالا تحت حرارت گرم تابستان شکسته خواهد شد. لوله های نفت اغلب دارای مسائل مربوط به توسعه حرارت مشابهی هستند که در هایپرلوپ انتظار می رود. البته، انفجار لوله از انبساط حرارتی بسیار نادر است. علت فقدان گزارش های انفجار لوله ها از نتیجه مهندسی هوشمندانه است که اجازه می‌دهد تا لوله ها به طور دلخواه انقباض و انبساط یابند. حلقه های گسترش حرارتی اغلب در طول لوله های نفت مشاهده می شود. حلقه ها در اشکال مختلف ظاهر می شوند، اما یکی از قابل تشخیص ترین آنها در زیر دیده می شود. خمش لوله ها را از ترک خوردگی در اثر انقباض و انبساط جلوگیری می کند. متاسفانه اجرای چنین خمشی چشمگیر در یک سیستم قطار خلاء موجب فشار زیادی بر لوله می‌شود.

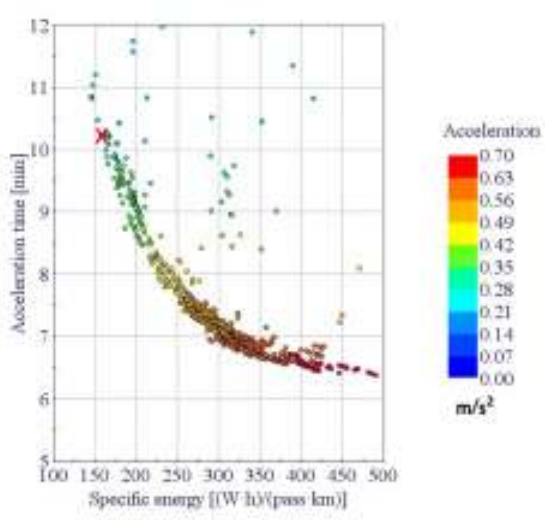
۵-۱۱- مقیاس

هرچه لوله بزرگتر باشد، احتمال وقوع حادثه بیشتر است. در ساخت هایپرلوپ کالیفرنیا) که حدود ۱۰۰۰ کیلومتر طول دارد، امکان رخ داد خطا بسیار زیاد است. در این صورت به نظارت بسیار دقیق نیاز دارد.

۵-۱۲- مصرف انرژی / هزینه

خالی کردن فشار لوله از هوا برای هر بار که وسیله نقلیه به مقصد می رسد، نیاز به پمپ خلاء سنگین دارد که باعث خواهد شد انرژی الکتریسیته زیادی مصرف نماید. فقط برای کاهش فشار در لوله؛ در یک رقابت آزمایشی هایپرلوپ که در اوائل سال جاری انجام شد، حدود ۳۰ دقیقه طول کشید تا یک لوله آزمایشی به طول ۱ کیلومتر و به قطر لوله ۱,۶ متر از هوا خالی گردد (شکل ۱۰).

شکل ۹. انبساط حرارتی فولاد (ریل آهن)



شکل ۱۰. رابطه مصرف انرژی با شتاب هایپرلوپ

۵-۱۳-پدافندغیرعامل

هایپرلوپ می تواند از لحاظ فنی در زیرزمین به خاک سپرده شود، که هم از نظر پدافند غیر عامل تهدید حمله تروریستی را از بین می‌برد و از فشارهای ناشی از گسترش حرارتی کاسته می شود. متاسفانه، این روش همچنین توانایی نصب

سیستم های تهویه و تخلیه اضطراری را محدود می‌کند و همچنین هزینه های آن را افزایش می دهد.

٦-نتیجه‌گیری

هایپرلوپ نوع جدیدی از حمل و نقل است که مدعی است که یک جایگزین رقابتی و پایدار برای حمل و نقل ریلی و حمل و نقل هوایی است که می تواند با سرعت ۱,۲۰۰ کیلومتر در ساعت حرکت کند. عملکرد سیستم هایپرلوپ می تواند به روش های مختلف و از دیدگاه ذینفعان مختلف (یعنی مسافران، اپراتورهای حمل و نقل، مقامات دولتی و جامعه) در نظر گرفته شود، عملکرد عملیاتی، مالی، اجتماعی / محیطی سیستم هایپرلوپ باید مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد. تا کنون، تکنولوژی هایپرلوپ دوران اولیه خود را طی می کند و هنوز در مورد راه اندازی سیستم با سرعت بیش از ۱۰۰۰ کیلومتر در ساعت اطمینان زیادی وجود ندارد و در نتیجه نیاز به تحقیق بیشتری دارد. نقطه ضعف عمده فن آوری سیستم هایپرلوپ ، به نظر می رسد ظرفیت حمل و نقل کم آن است. از منظر عملیاتی، یک مسئله مهم تحقیق این است که چگونه می توان ظرفیت حمل و نقل سیستم هایپرلوپ را افزایش داد، مثلا افزایش تعداد صندلی یا اتصال چندین کپسول به یک وسیله نقلیه (قطار). و همچنین تا چه اندازه این تغییر ظرفیت می تواند بر سایر عملکرد های عملیاتی، مالی و اجتماعی / زیست محیطی سیستم تاثیر بگذارد. در نهایت، از دیدگاه اجتماعی / محیط زیست، تحقیقات بیشتری برای بررسی کل مصرف انرژی در طول عمر و انتشار گازهای گلخانهای سیستم از جمله توسعه زیرساخت ها (خطوط و ایستگاه ها / پایانه ها)، و... نیازمند است. جهت امکانسنجی احداث این سیستم در ایران، با توجه به بیچیدگی بسیار و مواردی که در طول این مقاله به آنها اشاره شد، ما نیز باید تحقیقات خود را در این زمینه آغاز کنیم ولی با دقت بسیار زیاد. البته سایر کشورها از سال ۲۰۱۳ شروع به تحقیق و ساخت این سیستم نموده اند. دیر یا زود این سیستم اول در امریکا و اروپا و بالاخره در کشورهای عربی خلیج فارس احداث می‌گردد و مانند توسعه هر تکنولوژی دیگر همگانی خواهد شد. ما نیز می‌توانیم با سرمایه‌گذاری های نه چندان سنگین تحقیقات خود را به صورت آزمایشی و کسب تجربه و در مقیاس کوچک مثلا ٦٠ متر طول آغاز کنیم و در مرحله اول تجربیاتی از حرکت در خلا و تعلیق مغناطیسی بدست اوریم و در مرحله دوم حرکت را با سرعت حدود ۲۰ الی ۳۰ کیلومتر در ساعت تجربه کنیم تا روزی که تجربه و تکنولوژی مناسب صاصل گردید بتوانیم با به عرصه طول بیشتر و سرعتهای بالا بگذاریم.

۷-مراج

-Cunningham, Justin, (2017), "The impossible engineering reality check facing".

-Decker, Kenneth, Jeffrey Chin, Andi Peng, Colin Summers, Golda Nguyen, Andrew Oberlander,k Gazi Sakib, Nariman Sharifrazi, Christopher Heath, Justin Gray, Robert Falck,

-Dodson Brian, (2013), "Beyond The Hype Of Hyperloop: An Analysis Of Elon Musk's Proposed Transit System" Urban Transport feature Magazine, August 22nd.

-Flankl Michael, Tobias Wellerdieck, Arda Tüysüz, Johann W. Kolar (2015), "Scaling laws for electrodynamic suspension in high-speed transportation" Electronic Systems Laboratory, Swiss Federal Institute of Technology, Zurich, Switzerland, ISSN 1751-8644.

-Hoather Ian, Nirmal K. Mandal (2016), "Management of Rail Stress in a Modern Railway Maintenance Infrastructure" Australia, Central Queensland University, Centre for Railway Engineering, Bruce Highway, Rockhampton, QLD 4702, AUSTRALIA.

-Jerey C, Chin , Justin S. Gray , Scott M. Jones , Jerey J. Berton (2016), "Open-Source Conceptual Sizing Models for the

-(2017), “On the Aerodynamic Design of the Hyperloop Concept, Conference Paper June 2017 with308 Reads”, DOI: 10.2514/6.2017-3740

-Taylor L., David J. Hyde, Lawrence C. Barr.” (2016), “Hyperloop Commercial Feasibility Analysis”: High Level Overview Catherine July, DOT-VNTSC-NASA-16-01, Glenn Research Center, Cleveland, OH.

-Werner Max, Klaus Eissing and Sebastian. (2016), “Shared Value Potential of Transporting Cargo via Hyperloop Langtonk. Helmut-Schmidt-University Hamburg Volkswirtschaftslehre, Nr./ No. 166 Mai.

-(2017), 35th AIAA Applied Aerodynamics Conference, At Denver, CO, Hyperloop Transportation Technologies capsule.Hyperloop Transportation Technologies.

-Yang Yi, Haiyang Wang; “Aerodynamic Simulation of High-Speed Capsule in the Hyperloop System” Hunan University 2017; Moble Benedict, Texas A&M University; David, Coleman, Texas A&M University, 35th AIAA Applied Aerodynamics Conference Denver, Colorado.

Hyperloop Passenger Pod" NASA Glenn Research Center, Cleveland, OH

-Mason. Phil, (2017), “Interesting Engineering Magazine “The Biggest Challenges That Stand in the Way of Hyperloop” June, 29th.

-Mit Hyperloop Final Report (2017), “An overview of the design, build, and testing process for MIT’s entry in the SpaceX Hyperloop Competition 2015-2017” August©MIT Hyperloop Team 2017. All rights reserved.

-Musk. Elon, SpaceX, “Hyperloop Alpha,” (2013), SpaceX. h_p://www.spacex.com/ sites/ spacex/ files/hyperloop_ alpha. Cited on, 16, 19, 23, 57, and 64, pp. 15.

-NASA Glenn Research Center, Cleveland, (2017), OH "Conceptual Feasibility Study of the Hyperloop Vehicle for Next-Generation Transport".

-Overton Mike, BSE, "Complex Hyperloop Capsule Safety Requirements and Risk Mitigations" August 21-25, 2018 Safety Team Contributor; Hyperloop Transportation Technologies, Culver City, CA, 90230, USA Michael C. Sarin, PE, BSE, BA; Safety HyperLeader; Hyperloop Transportation Technologies, Culver City, CA, 90230, USA.