

Prospects for the Use of Maglev Trains in Azerbaijan

H.M. Ahmadov¹, E.K. Manafov², M.M. Nasirova², F.H. Huseynov²

¹ *Azerbaijan Technical University (Husein Javid ave. 25, Baku, AZ1073, Azerbaijan)*

² *Azerbaijan National Academy of Aviation (Mardakan ave. 30, Baku, AZ1045, Azerbaijan)*

For correspondence:

Huseynov Farid / e-mail: huseynovferid17525257@gmail.com

Abstract

The article examines the existing problems of passenger transportation in urban and suburban transport. A comparative analysis of trains with a magnetic cushion with various modes of transport is given. The history of the development of magnetic trains is given, the principle of operation of the EMC electromagnetic suspension system, the EMF electrodynamic suspension system and the permanent magnet system are considered. The advantages and disadvantages of magnetic trains are studied, the investment costs for this type of transport are analyzed. In addition to the noted obstacles that may arise when using magnetic trains, taking into account the growing problems in the operation of ground vehicles in the country, they will allow timely and high-quality satisfaction of the population's need for passenger transportation. In terms of a significant reduction in the intensity of traffic in the land transport sector in the country and the harmful compounds that they disperse into the environment, it is proposed to use these trains in the future in Azerbaijan.

Keywords: magnetic train, passenger transportation, electromagnetic system, electrodynamic system, system with permanent magnets, investment costs.

DOI: 10.52171/2076-0515_2022_14_03_41_53

Received 17.02.2021

Revised 17.09.2022

Accepted 23.09.2022

For citation:

Ahmadov H.M., Manafov E.K., Nasirova M.M., Huseynov F.H.

[Prospects for the use of Maglev trains in Azerbaijan]

Herald of the Azerbaijan Engineering Academy, 2022, vol. 14, no. 3, pp. 41-53 (in Azerbaijani)

Azərbaycanda Maqlev tipli qatarların tətbiqi perspektivləri

H.M. Əhmədov¹, E.K. Manafov², M.M. Nəsirova², F.H. Hüseynov²

¹ Azərbaycan Texniki Universiteti (Hüseyn Cavid pr. 25, Bakı, AZ1073, Azərbaycan)

² Azərbaycan Milli Aviasiya Akademiyası (Mərdəkan pr. 30, Bakı, AZ1045, Azərbaycan)

Yazışma üçün:

Hüseynov Fərid / e-mail: huseynovferid17525257@gmail.com

Xülasə

Məqalədə şəhərdaxili və şəhəratrafi sərnişin daşımaqlarındakı mövcud problemlər araşdırılmışdır. Maqnit yastıqlı qatarlar müxtəlif nəqliyyat növləri ilə müqayisəli təhlil edilmişdir. Maqnitli qatarların inkişaf tarixi verilmiş, elektromaqnit asqılı EMS, elektrodinamik asqılı EDS və sabit maqnitli sistemlərin iş prinsipləri araşdırılmışdır. Maqnitli qatarların üstünlükləri və çatışmazlıqları tədqiq olunmaqla, bu nəqliyyat növünə yatırılan sərmayə xərcləri təhlil edilmişdir. Maqnitli qatarların istifadəsi zamanı yarana biləcək maneələri qeyd edilməklə yanaşı, respublika ərazisində yerüstü nəqliyyat vasitələrinin istismarı prosesində getdikcə artan problemləri nəzərə alaraq, onların əhəlinin sərnişin daşımaqlarına olan tələbatını vaxtında və yüksək keyfiyyətlə yerinə yetirilməsinə imkan verəcəyi, respublika ərazisində yerüstü nəqliyyat sektorundakı hərəkət gərginliyini və ətraf mühitə səpələdiyi zərərli birləşmələri xeyli azaldacağı baxımından perspektivdə bu qatarların Azərbaycanda tətbiq edilməsinin məqsədəuyğunluğu təklif görülmüşdür.

Açar sözlər: maqnitli qatar, sərnişin daşımaqları, elektromaqnit sistem, elektrodinamik sistem, sabit maqnitli sistem, sərmayə xərcləri.

DOI: 10.52171/2076-0515_2022_14_03_41_53

УДК: 629.3

Перспективы применения поездов Маглев в Азербайджане

Г.М. Ахмедов¹, Э.К. Манафов², М.М. Насирова², Ф.Г. Гусейнов²

¹ Азербайджанский Технический университет (пр. Г.Джавида, 25, Баку, AZ1073, Азербайджан)

² Азербайджанская Национальная академия авиации (Мардакянский пр. 30, Баку, AZ1045, Азербайджан)

Для переписки:

Гусейнов Фарид / e-mail: huseynovferid17525257@gmail.com

Аннотация

В статье рассмотрены существующие проблемы пассажирских перевозок на городском и пригородном транспорте. Приведен сравнительный анализ поездов с магнитной подушкой с различными видами транспорта. Приведена история развития магнитных поездов, рассмотрены принцип работы системы электромагнитной подвески ЭМС, системы электродинамической подвески ЭДС и системы постоянного магнита. Изучены преимущества и недостатки магнитных поездов, проанализированы инвестиционные затраты на этот вид транспорта. С точки зрения значительного снижения интенсивности движения в наземном транспортном секторе страны предложено использовать эти поезда в будущем в Азербайджане, с учетом вредных соединений, которые они рассеивают в окружающей среде.

Ключевые слова: магнитный поезд, пассажирские перевозки, электромагнитная система, электродинамическая система, система с постоянными магнитами, инвестиционные затраты.

Giriş

İlk buxar lokomotivlərinin yaradılmasından təqribən 200 il keçməsinə baxmayaraq elektrik enerjisi və yanacaq (dizel, qaz və s.) hesabına sənişin və yük daşımaları ilə məşğul olan dəmir yol nəqliyyatının dərzi hərəkət vasitələri müasir texnologiyalar sayəsində mükəmməl səviyyədə inkişaf etmişdir. Qeyd etmək lazımdır ki, bütün bu illər ərzində ixtiraçı mühəndislər alternativ hərəkət vasitələrinin yaradılması üzərində aktiv işlər görmüşlər. Onların əməyinin nəticələrindən ən parlaq nümunə maqnit yastıqlar üzərindəki qatarlardır (MYQ).

Dünyada, həmçinin ölkəmizin şəhər və şəhəratrafi rayonlarında əhalinin sayı durmadan artdığından sənişin daşımalarının həcmi də artır. Belə daşımalar üçün şəxsi avtomobillərdən istifadə edilən şəhərlərdə "pik" saatlarında hərəkət sürəti minimal həddədə azalır. Hazırda avtomobil nəqliyyatının böyük şəhərlərdə istismarı çox ciddi problemə çevrilmişdir. Onların dayanması və gözləməsi üçün nəinki yolların və küçələrin kənarları, hətta səkilər və uşaq meydançaları da zəbt olunmuşdur. Böyük şəhərlərdə ənənəvi sənişin nəqliyyat növləri daima artmaqda olan sənişin daşımalarının yerinə yetirilməsini təmin edə bilmir. Bəzi şəhərlərdə isə şəhərdaxili sənişin daşımaları üçün fərdi avtomobillərə nisbətən böyük və orta tutumlu avtomobillərin istifadəsi özünü daha çox doğruldur. Şəhərdaxili və şəhəratrafi daşımalar aşağıdakı şəraitlərdə yerinə yetirilir:

- daşıma keyfiyyəti və müntəzəmliyi yarıtmaz vəziyyətdə olur, xüsusən "pik" saatlarında yolların hərəkət vasitələri ilə yüklənmə səviyyəsi normadan 2-3 dəfədən çox olan hallarda buna daha çox təsadüf edilir;
- yerüstü şəhər nəqliyyat növlərində hərəkət sürəti azalmış (16-20 km/s) və bu da sənişinlərin iş yerinə çatma vaxtını (həftə ərzində 8-10 saata qədər) artırmışdır. İş yerinə çatma

vaxtı əksər hallarda gündəlik olaraq 1 saata qədər yüksəlir. Mütəxəssislər müəyyən etmişlər ki, sənişinlərin iş yerlərinə çatana qədər hər 10 dəqiqə ərzində komfortsuz vəziyyətdə olmaları, onların iş qabiliyyətini və məhsuldarlığını 3-4 % azaldır;

- havanın çirklənmə dərəcəsi son illər 3-4 dəfə artmış, səs səviyyəsi isə xeyli yüksəlmişdir;

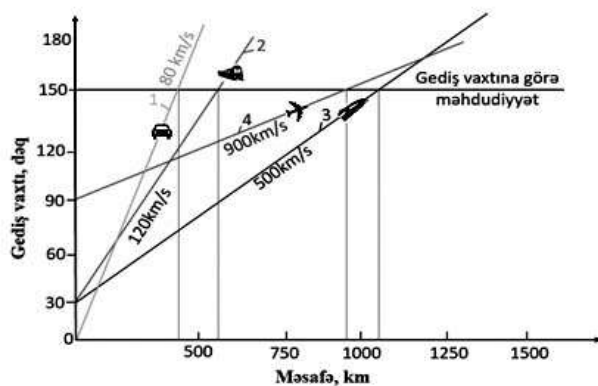
- avtomobil sənişin daşımalarında maye yanacaq sərfi bir neçə dəfə artmışdır;

- avtomobillərin sayının artması ilə yanaşı baş verən yol-nəqliyyat hadisələrinin sayı da yüksəlmişdir. Hər il dünyada baş verən yol-nəqliyyat hadisələrində ölənlərin sayı hazırda 8 mln. nəfərdən çoxdur.

Avtomobil yollarında və hava məkanında intensiv hərəkətin olması və mövcud nəqliyyat şəbəkələrinin bu sıx hərəkət şəraitində yetərli olmaması dəmir yolu nəqliyyatına ehtiyacı daha da aktuallaşdırır. Dəmir yolu nəqliyyatında rahatlıq, təhlükəsizlik, əlçatanlıq və qısa müddətə səyahət etmək arzusu sürətli qatarlardan istifadə zəruriyyəti yaratdı. Yüksək sürətli dəmir yolu digər nəqliyyat vasitələri ilə müqayisədə bir çox üstünlüklərə malikdir [1, 2].

Məsələnin qoyuluşu

Mütəxəssislər qeyd edirlər ki, uzaq məsafələrə hərəkət zamanı sənişinin yolda olma vaxtı ("qapıdan-qapıya" hərəkətdə) 3-4 saatdan artıq olmamalıdır. Müxtəlif nəqliyyat növlərinin hərəkətdə olma müddəti 2,5 saat olmaqla, onların istifadə edilmə xüsusiyyətləri mütəxəssislər tərəfindən araşdırılmışdır (şəkl. 1). Müəyyən edilmişdir ki, qeyd edilən müddət ərzində sənişin avtomobillə 150 km, qatarla 250 km, təyyarə ilə 900 km, MYQ ilə təqribən 1000 km məsafə qət edir. Müasir nəqliyyat növlərilə müqayisədə MYQ 50-1100 km məsafələrdə vaxta qənaət etməyə imkan yaradır.



Şəkil 1 – Sərnişin daşımalarında 2, 5 saat ərzində müxtəlif nəqliyyat növləri ilə qət edilən məsafələr:

1 - şəxsi avtomobillər (tıxacları nəzərə almaqla);
2 - dəmiryol nəqliyyatı; 3 - MYQ; 4 - hava nəqliyyatı

Figure 1 – Distances covered by different modes of transport for 2, 5 hours in passenger transportation:

1 - private cars (including traffic jams); 2 - railway transport; 3 - MLT; 4 - air transport

Vaxt baxımından hava nəqliyyatı ilə müqayisədə maqnitli nəqliyyat daha səmərəlidir. Çünki, təyyarə ilə uçmaq üçün ən azı 2 saat əvvəl hava limanında olmaq, təyyarədən düşdükdən sonra isə baqajı götürmək üçün bir müddət gözləmək lazım olduğu halda, bu qatardan istifadə etmək üçün baqajla birgə 5-10 dəqiqə əvvəl stansiyada olmaq kifayət edir və mənzil başında qatardan düşdükdən sonra baqajı gözləməyə ehtiyac duyulmur. Bundan əlavə, hava limanının şəhərdən xeyli kənarda yerləşməsi səbəbindən hava limanına getmək üçün əlavə vaxt və nəqliyyat lazım gəldiyi halda, səssiz və nisbətən ekoloji təmiz MYQ şəhərin mərkəzindən keçə bilər.

Həmçinin, MYQ-da enerji və ya yanacaq sərfi hava nəqliyyatına nisbətən 2 dəfədən də azdır. Təyyarələrin uça bilmədiyi yararsız hava şəraitində sərnişinlərin ləngimələrini və öz planlarını dəyişərək həyəcanlanmalarını da xüsusi qeyd etmək lazımdır. Yaddan çıxarmaq olmaz ki, hava nəqliyyatı ilə ətraf mühitə səs və zərərli qazlarla göstərilən mənfi təsirlər sərnişinlərə və ətraf ərazilərdə yaşayan əhaliyə ziyan yetirir, kənd təsərrüfatına yararlı xeyli ha-

mar münbit torpaq sahəsi hava limanı ərazisi üçün istifadə edilir [3].

Qeyd etmək lazımdır ki, 400-500 km/saat MYQ üçün son sürət həddi sayılır. Nisbətən böyük hərəkət sürətlərində aerodinamik müqaviməti dəf etmək üçün çox yüksək enerji sərf etmək lazım gəlir. Ənənəvi dəmir yollarının yataqlarında hərəkət edə bilməmələri Maqlev (maqnit levitasiyalı) qatarlarının istənilən yerdə təbiiq olunmasına maneə yaradır.

Belə qatarların hərəkəti üçün xüsusi maqstralların tikintisinə ehtiyac duyulur. Bu isə, öz növbəsində böyük sərmayə qoyuluşunu tələb edir. Bundan əlavə, Maqlev qatarları üçün yaradılan güclü maqnit sahələri insan orqanizminə mənfi təsir göstərir. Ona görə də bu məsələ trassanın yaxınlığındakı sahədə yaşayan əhəlinin sağlamlığında müəyyən qədər özünü büruzə verir. Göstərilən amil səbəbindən qatarı idarə edən maşinistin və sərnişinlərin qorunması üçün Maqlevin salonu daxildən xüsusi materiallar vasitəsi ilə ekranlaşdırılır.

Maqnitli qatarların xeyrinə ən güclü faktor sürətli dəmiryol nəqliyyatına nisbətən onların 2-3 dəfə daha böyük hərəkət sürətinə malik olmalarıdır. Maqnit asqılı nəqliyyat sisteminin yaratdığı maqnit sahəsindən başqa onun ətraf mühitə göstərdiyi ekoloji ziyan hiss olunmur, estakadalar üzərində qurulduğundan kənd təsərrüfatına yararlı torpaqları zəbt etmir, qatarların hərəkəti zamanı yerin səthində səs və titrəmələr yaratmır [4, 5].

Müasir dəmir-beton estakadaların tikintisinin orta dəyəri metro xəttinin dəyərindən 3-8 dəfə az, inşa tempi isə 5-10 dəfə yüksəkdir. Lakin, estakadalar yerüstü avtomobil və dəmir yollarının inşasından baha başa gəlir. Qeyd edilənlərdən başqa estakadalar öz üstünlükləri ilə diqqəti daha çox cəlb edir: az torpaq işləri görülür, dayaqların sahəsinə uyğun kiçik torpaq sahələri zəbt edilir, tikinti elementlərinin

zavodlarda hazırlanması mümkün olur, təmas xətlərinin və kabellərin estakadaya bərkidilməsi nisbətən asanlaşır, istismar və texniki xidmət məsələləri rahat yerinə yetirilir. Estakadaları mövcud avtomobil və dəmir yollarının üst hissəsindən, hətta onları 2 mərtəbəli və ya müxtəlif istiqamətli hərəkətlər üçün də inşa etmək mümkündür. Yüksək sürəti təmin edəcək estakadalı qısa kəsmə yollar şəhərdən kənarda yerləşən yaşayış massivlərini əhalinin iş yerləri ilə, istirahət zonaları ilə və şəhərin ətraf qəsəbələri ilə əlaqələndirmək üçün əsas vasitələrdən biridir. Maneələri aradan qaldırmaq üçün estakadaları evlərin, çayların, yolların və meşə massivlərinin üzərindən keçməklə düzxətli inşa etmək mümkündür. Ekoloji cəhətdən nisbətən təmiz nəqliyyat növü kimi maqnitoplanlar estakadalı yollarla kurort zonalarında da geniş istifadə oluna bilər. Bəzi qədim şəhərlərdə binaların arxitektura mənzərəsini pozmamaları üçün lazım gəldikdə maqnitoplanları “yerin altına” da (tunellərə) istiqamətləndirmək mümkündür [6].

Kütləvi sərnişin daşımaları zamanı bütün qeyd edilən cəhətləri nəzərə almaqla ənənəvi nəqliyyat növlərinə nisbətən “maqnitli” nəqliyyat növü daha əlverişli sayılır və bu nəqliyyat növü ilə daşıma uzaqlığından asılı olaraq müxtəlif hərəkət sürətlərini təmin etmək mümkün olur. Məsələn, şəhərlərarası daşımalarda maksimal sürət 400-500 km/s, şəhərətrafi daşımalarda 200-250 km/s, şəhərlə hava limanını əlaqələndirmək üçün 250-300 km/s, şəhərdaxili daşımalarda isə 100-130 km/s daha əlverişli sayılır. Qeyd edilən hərəkət sürətləri ənənəvi yerüstü nəqliyyat növlərinin sürətlərindən 2-5 dəfə yüksəkdir.

Qeyd etmək lazımdır ki, şəhərətrafi və şəhərlərarası sərnişin daşımalarında yüksək hərəkət sürətini təmin edən dəmir yolları “maqnitli” yollarla rəqabət yarada bilər. Belə ki, maqnitoplanın özünün dəyəri və “maqnitli” yo-

lun çəkilişinə sərf olunan xərc dəmiryol nəqliyyatına nisbətən ümumilikdə 1,5-3 dəfə artıqdır. Lakin, ingilis mütəxəssislərinin tədqiqatları ilə müəyyən edilmişdir ki, sürtünmə prosesləri ilə əlaqədar dəmir yolunun təmir və texniki xidmət xərcləri “maqnitli” yollara nisbətən 15-20% yüksəkdir. Bütün bu qeyd edilənlər yerüstü nəqliyyat növü kimi gələcəkdə maqnitoplanların sərnişin daşımalarında geniş istifadə edilməyini bir daha sübuta yetirir. Çinin İnçxon aeroportundan çəkilən maqlev xəttinin böyük dəyərini baxmayaraq, onun yaradıcıları da təsdiq edirlər ki, bu qiymət adi dəmir yollarından 2/3 dəfə azdır. Onların araşdırmalarına görə maqlevin işi üçün elektrik enerji sərfiyyatı adi dəmiryol qatarları ilə müqayisədə 30 % çox olmasına baxmayaraq, Maqlev qatarlarının istismarı 60-70 % ucuz başa gəlir. Tətbiq perspektivlərinə baxmaq üçün Maqlev qatarlarının növlərini və iş prinsiplərini, bu tip qatarların üstünlükləri və çatışmazlıqlarını, həmçinin onların sərmayə xərclərini araşdırmaq lazımdır [7].

Məsələnin həlli

Yüksək sürətli qatarların istifadəsinin artırılmasında əsas amillər avtomobil və hava nəqliyyatının yüksək hərəkət intensivliyinə malik olmaları, belə qatarların isə ümumilikdə ətraf mühitə ekoloji cəhətdən nisbətən az mənfi təsir göstərməklə istismarının mümkün olmasıdır. İlk Shinkansen sürət qatarları 1964-cü ildə Yaponiyada, TGV tipli qatarları 1981-ci ildə Fransada, ICE tipli yüksək sürətli qatarları isə 1991-ci ildə Almaniyada istifadə edilmişdir (şəkl. 2).

Maqnitli yastıq üzərində hərəkət edən qatar, maqnitoplan və yaxud maqlev – elektromaqnit sahəsinin təsiri ilə yol yatağının üzərində saxlanmaqla hərəkət edən qatardır. Belə hərəkət vasitəsi ənənəvi qatarlardan fərqli olaraq

hərəkət prosesində relslərin səthinə toxunmur. Qatar ilə yol yatağının səthi arasında müəyyən hava məsəfəsi mövcud olduğundan onlar arasında sürtünmə prosesi baş vermir. Belə halda hərəkətə qarşı yaranan yeganə müqavimət qüvvəsi aerodinamik müqavimətdir. Belə sistemlər monorels nəqliyyat növünə aid edilir. Maqnit yastıqları üzərində qatarların hərəkətinin mümkünlüyü ideyasını hələ XX əsrin əvvəllərindən aktiv şəkildə həyata keçirməyi arzulayırdılar. Lakin bir sıra səbəblərdən həmin dövrdə bu layihəni həyata keçirmək mümkün olmamışdır. Sonradan 1969-cu ildə ilk dəfə Almaniyada maqlev adlandırılan yeni hərəkət vasitəsinin hərəkət edəcəyi maqnit xəttinin quraşdırılmasına başlanıldı. Belə qatarın ilk istismarı 1971-ci ildə həyata keçirilmişdir.

Maqnit xətti üzərində “Transrapid-02” (şək. 3) adlandırılan ilk maqlev qatarı hərəkətə gətirilmişdir. “Transrapid-02” qatarını sürətli hərəkət vasitəsi adlandırmaq düzgün olmazdı, çünki onun həmin dövrdə maksimal hərəkət sürəti 90 km/saat, sərnişin tutumu isə cəmi 4 nəfər idi.

1979-cu ildə Maqlev tipli qatarın quruluşu müəyyən qədər təkmilləşdirilərək “Transrapid-05” adlandırıldı (şəkil 3). Belə qatar artıq 68 nəfər sərnişin daşıma qabiliyyətinə malik idi. Bu qatar üçün Hamburq şəhərində 908 m uzunluğunda xətt inşa edilmiş və onun üzərində qatar 75 km/saat sürətlə hərəkət edə bilmişdi. Həmin il Yaponiyada Maqlevin “ML-500” adlanan digər bir modeli nümayiş etdirildi. Yaponiyada maqnit yastığı üzərində hərəkət etmə prinsipinə malik belə qatar artıq 517 km/saat sürət əldə edə bilmişdi [8].

İlk kommersiya məqsədləri üçün layihələndirilmiş maqnit yastığı üzərində hərəkət etmə imkanına malik olan maqnitoplan (M-Bahn) 1984-cü ildə İngiltərənin Birmenhem şəhərində fəaliyyətə başlamışdı. Belə maqnit yastıqlı xətt Birmenhem beynəlxalq hava limanını terminalını yaxınlıqdakı dəmiryol stansiyası ilə əlaqələndirmişdi. Bu xətt 1984-1995-ci illər ərzində müvəffəqiyyətlə fəaliyyət göstərirdi. Maqnit yolunun uzunluğu 600 m, xətti asinxron mühərrikli hərəkət vasitəsinin yol yatağından aralanaraq qaldırılma hündürlüyü isə 15 mm təşkil etmişdi.



Şəkil 2 – Shinkansen, TGV və ICE tipli yüksək sürətli qatarlarının ilk nümunələri
Figure 2 – The first examples of high-speed trains Shinkansen, TGV and ICE



Şəkil 3 – Transrapid-02 və Transrapid-05 qatarları
Figure 3 – Transrapid-02 and Transrapid-05 trains

Artıq 2003-cü ildə onun yerində *Cable Liner* texnologiyasına əsaslanaraq *AirRail Link* sərnişin daşıma sistemi yaradılmışdır. 1980-ci ildən maqnit yastığı üzərində hərəkət edən yüksəksürətli qatarların yaradılması və istismarı üzrə layihələrə İngiltərə, Almaniya və Yaponiya ilə birgə Cənubi Koreya, Çin və ABŞ da qoşuldu.

Maqnit yastıqları üzərində hərəkət edən qatarlar xüsusi nəqliyyat növünə aid edilir. Hərəkət zamanı Maqlev tipli qatarlar yol yatağına toxunmadan sanki onun üzərində uçur. Bu proses qatarın süni yaradılmış maqnit sahəsinin təsiri ilə idarə olunması hesabına baş verir.

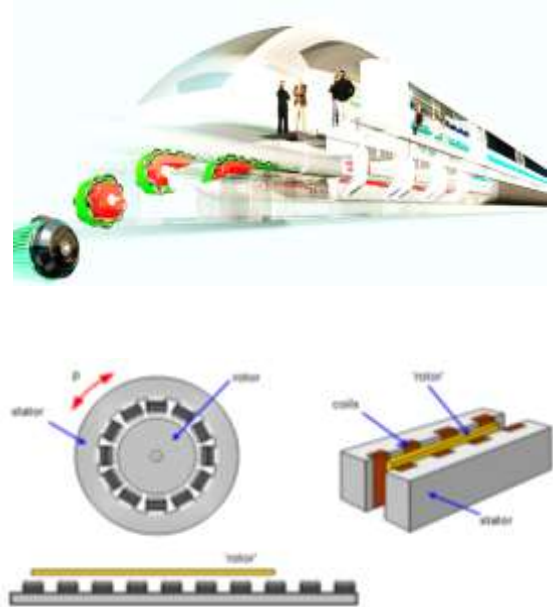
Məlumdur ki, iki maqnitin eyni qütblərini bir-birinə yaxınlaşdırsaq, onlar bir-birini itələyəcək və onlar arasında hava məsəfəsi, yəni maqnit yastığı yaranacaqdır. Maqlev qatarının hərəkətinin əsasını məhz bu sadə prinsipə əsaslanaraq relslərdən müəyyən hündürlükdə saxlanmaqla yerdəyişmə imkanına malik olması təşkil edir.

Hazırda maqnit yastığı və yaxud asqısının yaradılması üçün iki texnologiya işlənib hazırlanmış, üçüncü isə sınaq mərhələsindədir və yalnız kağız üzərində mövcuddur [9].

Qatarın irəliyə doğru hərəkəti xətti mühərrik vasitəsilə (şək. 4) həyata keçirilir. Adi elektrik mühərriklərində halqa formasında olmasına baxmayaraq, belə mühərriklərin stator və rotoru açılmış şəkildə – uzununa lövhə formasındadır. Stator dolaqları növbə ilə qoşularaq “qaçan” maqnit sahəsi yaradır.

Qatarın alt hissəsinə bərkidilmiş rotor bu sahə ilə qarşılıqlı təsirdə olaraq qatarı hərəkət etdirir. Sistemin etibarlı işini təmin etmək üçün stator və rotor arasındakı məsafə sabit saxlanılmalıdır. Bu məsələ, monorels yollarının bütün tiplərinin özünəməxsus xüsusiyyətləri (yan asqılı yollardan başqa) və hərəkət zamanı vaqonların yellənməsi (əsasən də əyrixətli sahə-

lərdə eninə yerdəyişməsi) səbəbindən çətin əldə olunur. Ona görə də, bunun üçün ideal yol infrastrukturunu qurulmalıdır.



Şəkil 4 – Xətti mühərrikin quruluşu
Figure 4 – Structure of a linear motor

Elektromaqnit asqılı sistem “EMS”. Zəmana görə dəyişən elektromaqnit sahəsinin təsirinə əsasən maqlevin levitasiyası, yəni havada asılı qalması həyata keçirilir. Bu halda qatarın hərəkəti üçün keçirici materialdan (adətən metaldan) hazırlanmış T-şəkilli relslər lazım gəlir. Belə konstruksiya dəmiryol xəttini xatırladır. Lakin burada qatardakı təkərlərin əvəzinə dayaq və istiqamətləndirici maqnitlər quraşdırılır (şək. 5).

Bu maqnitlər T-şəkilli yol yatağının kənarlarında olan ferromaqnit statorlara paralel yerləşdirilir.

Relə maqnitlərindəki elektrik cərəyanı saniyədə təqribən 100 000 dəfə qoşulub açılır və sürtünmə qüvvəsinin təsirinə məruz qalmadan xətti hərəkət təmin olunur. Hər bir vaqonun metaldan hazırlanmış aşağı çıxıntılarına elektron idarəetmə sisteminə malik elektromaqnitlər quraşdırılır.



Şəkil 5 – EMS texnologiyası
Figure 5 – EMS technology

Onlar xüsusi T-şəkilli relsin alt tərəfində yerləşdirilmiş maqnitlərlə qarşılıqlı təsirdə olur və nəticədə qatar yol üzərində asılı qalır. Yan maqnitlər həmin prinsiplə yan tərəflərin tarazlığını təmin edir. Yol boyu qatarı hərəkətə gətirəcək maqnit sahəsini yaradan xətti mühərrikin dolaqları quraşdırılır.

Belə qatarın altında polad yol yatağının bir neçə santimetrliyində yerləşdirilmiş güclü maqnitlər quraşdırılır. Qatarın hərəkəti zamanı yol yatağının konturundan keçən maqnit seli daim dəyişir və yataqda qatarın maqnit asqısını itələyən güclü maqnit sahəsini yaradan böyük induksiya cərəyanları əmələ gəlir. Bu halda yaranan qüvvə o qədər böyük olur ki, müəyyən sürət əldə edən qatar, yataqdan bir neçə santimetr məsafəyə qədər aralanır və faktiki olaraq havada uçaraq hərəkət edir. Qatar eyni qütblü maqnitlərin itələnmə və əksinə müxtəlif qütblü maqnitlərin cəzb olunması hesabına levitasiya edir.

“Transrapid” qatarının yaradıcıları maqnit asqısı üçün gözlənilməz sxem tətbiq etmişlər. Onlar eyni qütblərin itələnməsindən deyil, müxtəlif qütblərin cəzb olunmasından istifadə etmişlər. Maqnit üzərində yükü asmaq çətin məsələ deyil, belə sistem dayanıqlıdır. Lakin maqnitin alt hissəsində bunu etmək praktik olaraq mümkün deyil. Əgər bu zaman idarəolunan elektromaqnit götürülsə, onda bu proses dəyişəcəkdir. Nəzarət sistemi maqnitlər arasında-

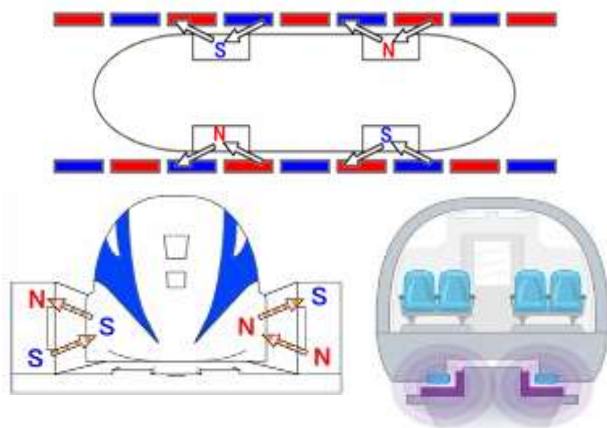
kı məsamənin 10 millimetmə qədər sabit saxlanmasını təmin edə biləcəkdir [10].

Məsamənin çoxalması zamanı bu sistemdə aparıcı maqnitlər cərəyanın gücünü artırır və bu yolla qatarı aşağı dartır. Məsamənin azalması zamanı isə cərəyanın gücü azaldılır və məsamə artırılır. Belə sxemin 2 böyük üstünlüyü mövcuddur: yol yatağının maqnitli elementləri iqlim şəraitinin təsirlərindən mühafizə olunur; bu elementlərin sahəsi isə yol və qatar arasındakı kiçik məsamə hesabına əhəmiyyətli dərəcədə zəifdir. Ona görə də o, daha kiçik gücə malik cərəyanlar tələb edir. Müvafiq olaraq, belə konstruksiyaya malik olan qatar iqtisadi cəhətdən daha səmərəli sayılır.

Sistemin dayanıqlığı maqnitlənmə dolaqlarındakı cərəyanın avtomatik tənzimlənməsi ilə təmin edilir: xüsusi vericilər qatarla yol yatağı arasındakı məsaməni daim ölçür və avtomatik sistem elektromaqnitlərə məsaməyə uyğun gərginlik ötürür. Sürətlə işləmə qabiliyyətinə malik olan idarəetmə sistemi yol və qatar arasındakı məsaməyə daim nəzarət edir. EMS texnologiyası bazasında yaradılmış qatarların əyləcləməsi aşağı təcilli sinxron xətti mühərriklə həyata keçirilir. O, dayaq maqnitləri və yol yatağı elementlərindən ibarət olur. Qatarın sürətini və dartı qüvvəsini yaradılan dəyişən cərəyanın tezliyinin və gücünün dəyişdirilməsi ilə tənzimləmək mümkün olur. Sürəti azaltmaq üçün maqnit dalğalarının istiqamətini dəyişmək kifayət edir.

Elektrodinamik asqılı sistem “EDS”. Yüksəkkeçirici maqnitlər əsasında yaradılmış elektrodinamik asqı – EDS yol yatağındakı maqnit sahəsi ilə qatarda quraşdırılmış yüksəkkeçirici maqnitlərin yaratdığı sahənin qarşılıqlı təsirindən alınan levitasiya hesabına əldə olunur. Yüksəkkeçirici maqnit – yüksəkkeçirici materiallı dolaqlardan ibarət olan elektromaqnitdir. Yüksəkkeçirmə vəziyyətində olan dolaq

demək olar ki, müqavimətə malik olmur. Əgər belə dolaq qısa qapanmışsa, onda orada yarıdılmış cərəyanı praktik olaraq uzun müddət saxlamaq mümkündür. Yüksəkkeçirici maqnitin dolaqlarında dövr edən sönməyən cərəyanın maqnit sahəsi stabildir və döyünən deyildir. Yüksəkkeçirici materialın kritik temperaturdan yuxarı qiymətlərində maqnitin dolağı yüksəkkeçiricilik qabiliyyətini itirir. Belə temperatur dolaqda kritik cərəyan və yaxud kritik maqnit sahəsinin əldə olunması məqsədiylə yaradılır. Bunları nəzərə alaraq, yüksəkkeçirici maqnitlərin dolaqları üçün temperatur, cərəyan və maqnit selinin yüksək qiymətlərinə malik olan materiallar tətbiq edilir.



Şəkil 6 – EDS texnologiyası
Figure 6 – EDS technology

EDS sisteminin güc elementləri qatarda quraşdırılmış yüksəkkeçiricili solenoidlərdən və yol strukturunda yerləşdirilmiş keçirici lövhələrdən və yaxud qısaqapanmış konturlardan ibarətdir. Cərəyanlı solenoidlərin keçirici elementlər üzərindən hərəkəti zamanı sonuncuda burulğanlı cərəyanlar yaranır. Bu cərəyanlarla solenoidlərin maqnit sahəsi arasındakı qarşılıqlı təsir itələmə qüvvələrinin yaranmasına səbəb olur. Yapon mütəxəssisləri tərəfindən bu prinsipə əsaslanan maqnit asqısı üzərində hərəkət edən qatar (*JR-Maglev*) yaradılmışdır (şəkil 6).

JR-Maglev – Yaponiya Dəmiryol Texnikasının Tədqiqat İnstitutu (*Japan Railway Technical Research Institute*) və *Japan Railways* dəmiryol operatoru tərəfindən layihələndirilib ərsəyə gətirilən maqnit asqılı yüksək sürətli yapon qatarları sistemidir. 2015-ci ildə *Yamanasi* əyalətində qurulmuş sınaq sahəsində L0 modifikasiyalı *Sinkansen* sınaq qatarı təkərsiz dəmiryol nəqliyyatı üçün 603 km/saata sürət rekordu əldə etmişdir. Bu sistemin adı əyləcləmə rejimi üçün elektrodinamik əyləcləmədən istifadə olunur. Fövqəladə hallarda isə qatardakı açılan aerodinamik əyləclərdən və arabacıq təkərlərindəki diskli əyləclərdən istifadə olunur. *JR-Maglev* qatarında quraşdırılmış yüksəkkeçirici maqnitlərdən ibarət elektrodinamik asqıdan (EDS) və yolda quraşdırılmış 8 rəqəmi formasındakı xüsusi elektrik keçiricilərdən istifadə edilir.

Hazırda Çində Şanxaydan *Pudun* hava limanına qədər fəaliyyət göstərən xəttə *Transrapid* Alman sistemindən fərqli olaraq *JR-Maglev* sistemində monorels sxemindən istifadə edilmir. Burada qatarlar maqnitlər arasındakı kanalda hərəkət edir (şəkil 7).



Şəkil 7 – Qatarın hərəkət etdiyi kanal və ən müasir qatarın ön forması

Figure 7 – The channel through which the train moves and the front form of the most modern train

Belə sxem yüksək hərəkət sürəti əldə etməyə imkan yaratmaqla yanaşı istismar sadəliyi ilə də fərqlənir və sənişinlərin təxliyyəsi zamanı onların təhlükəsizliyini təmin etmək imkanına da malik olur.

Çindəki *Yamanasi* xəttində ön tərəfdən 14 m uzunluqlu adi ucuşış formadan praktik ola-

raq yastı (müstəvi) formalara malik bir neçə qatarın sınağı keçirilmişdir (şəkil 7). Sınaqlarla müəyyən edilmişdir ki, uc hissəsi yastı formada olan qatarın yüksək sürətlə tunelə daxil olması zamanı gurultulu səsin qarşısı alınır. Qatarın idarə olunması kompüterlə həyata keçirilir. Baxış üçün maşinist kabinasının ön pəncərəsi olmadığından maşinist yalnız videokamera vasitəsilə yolun təsvirini kompüterdə müşayiət etməklə hərəkətə nəzarət edir.

EMS elektromqnit asqısının qatarlarından fərqli olaraq EDS texnologiyası əsasında yaradılmış qatarlarda kiçik hərəkət sürətlərində (150 km/saat-dək) hərəkət üçün qatarda əlavə təkərlər nəzərdə tutulur. Sürətlənmə zamanı tələb olunan sürətə çatdıqdan sonra təkərlər yerdən aralanır və qatar yer səthindən bir neçə santimetr hündürlükdə «uçmağa» başlayır. Həmçinin qəza halları zamanı təkərlər qatarın daha yumşaq şəkildə hərəkətinə imkan yaradır. Lakin *JR-Maglev* ilə həyata keçirilən EDS sisteminin tikintisi və istismarı Transrapidin EMS sistemindən daha çox xərc tələb edir [11].

EDS sisteminin əsas üstünlüyü onun daha yüksək stabilliyə malik olmasındadır. Yol yatağı və maqnitlər arasında məsafənin azalması zamanı itələmə qüvvəsi yaranaraq maqnitləri ilkin vəziyyətinə qaytarır. Eyni zamanda məsafənin artması itələmə qüvvəsini azaldaraq cəzəmə qüvvəsini artırır ki, bu da sistemin stabilliyinə gətirib çıxarır. Bu halda qatarla yol yatağı arasında məsaməyə nəzarət və düzəliş olunması üçün elektronikanın imkanlarından istifadəyə ehtiyac duyulmur. EDS sisteminin çatışmayan cəhəti isə 150 km/saat-dək hərəkət sürətlərində qatarların təkərlərlə təchiz olunmasına ehtiyacın duyulmasındadır. Təkərlərin hərəkəti üçün qurulmuş relslər yol yatağının bütün uzunluğu boyunca inşa edilməlidir ki, bu da baş verə biləcək hər hansı texniki nasazlıq səbəbindən qatarın istənilən yerdə dayandırıl-

ması üçündür. EDS sisteminin daha bir mənfəi cəhəti aşağı sürətlərdə yol yatağında itələyici maqnitlərin ön və arxa hissələrində onların əksinə təsir göstərən sürtünmə qüvvəsinin yaranmasıdır. Bu, *JR-Maglev*in tam itələyici sistemdən imtina etmə və yan levitasiya sistemə müraciət etmə səbəblərindən biridir. Onu da qeyd etmək lazımdır ki, sənişin salonunda güclü maqnit sahəsindən mühafizə məqsədilə xüsusi qurğuların tətbiqinə ehtiyac vardır. Ürək-damar problemləri olan sənişinlər üçün ekranlaşdırılmamış qatarda səyahət etmək təhlükəli sayılır.

Sabit maqnitli EDS sistemi. Sabit maqnitli asqı sistemi yeni və iqtisadi cəhətdən ən səmərəli sistemdir (şəkil 8). Sistemin qatarlarında istifadə edilən diamaqnetik materiallar, onlara təsir edən xarici maqnit sahəsinin istiqamətini dəyişməklə əksinə maqnitlənən maddələrdir.



Şəkil 8 – Sabit maqnitli asqı sistemi
Figure 8 – Fixed magnetic suspension system

Xarici maqnit sahəsi mövcud deyilsə, diamaqnetiklər maqnit momentinə malik olmur. Belə texnologiyanın üstünlüyü aşağı sürətlərdə və hətta dayanacaqlarda dayanan zaman qatarın yol yatağı üzərində havada qalma imkanını yaradır. Bu texnologiyada sabit maqnitlərdən istifadə edilir. Ağır çəkili qatarın havada saxlanması üçün güclü maqnit sahəsi tələb olunduğundan, maqnitlərin çəkisi kifayət

qədər yüksək olmalıdır. Qeyd edilən bu texnologiya hələ ki, praktik olaraq tətbiq olunmamışdır. Buna əsas səbəb kimi böyük kütlə və ölçülərə malik olan sabit maqnitlərin çox baha başa gəlməsi ilə izah olunur. Bu texnologiyaya yaxın olan, lakin hələ də kağız üzərində mövcud olan texnologiya “Inductrack” sabit maqnitlərinin tətbiq edildiyi EDS sistemidir.

Məlumdur ki, *Inductrack* sabit maqnitlərinin aktivləşdirilməsi üçün enerji lazım gəlir. Yaxın dövrdə tədqiqatçılar hesab edirdilər ki, sabit maqnitlər qatarın levitasiyası üçün kifayət qədər gücə malik deyil. Lakin, bu problemi maqnitlərin “*Halbax massivi*”ndə yerləşdirilməsi yolu ilə həll etmək mümkün olmuşdur. Bu variantda maqnitlər elə formada yerləşdirilir ki, maqnit sahəsi massivin altında deyil, üstündə yaranır və eyni zamanda qatarı 5 km/saat-dək çox kiçik sürətlərdə belə havada saxlamaq mümkün olur. Sabit maqnitlərdən ibarət belə massivlərin dəyəri çox böyük olduğundan, hələ bu texnologiya üzrə kommersiya layihəsinə baxılmamışdır.

Çox yüksək ilkin investisiya xərcləri, məsafə, relyef və ekoloji şərait xüsusiyyətləri, həmçinin bəzi xərclərdən asılı olaraq dəyişkənlik məsələsi Maqlev qatarlarının geniş tətbiq dairəsinə malik olmasına ciddi təsir göstərir. Digər tərəfdən, dünyanın hər yerində nəhəng hava yolları şirkətlərinin Maqlev investisiyalarına qarşı müqavimət göstərmələri də özünü büruzə verir [12].

Məlumdur ki, qatarlarla bağlı qəzaların baş verməsinin ən böyük səbəbi, onların hərəkətində eyni səviyyəli keçidlərin mövcudluğudur. Maqlev qatarlarının fərqli üstünlüyü ondan ibarətdir ki, onların öz fərdi yolları mövcuddur və digər hərəkət vasitələri ilə eyni səviyyəli keçidləri yoxdur, həmçinin maqlev qatarlarına pis hava şəraiti də ciddi təsir göstərmir. Bunlardan başqa Maqlev qatarlarının eti-

barlılıq səviyyələri və digər üstünlükləri də bütün hava şəraitlərində təyyarələrdən daha yüksəkdir. Maqlev qatarlarını təhlükəsizlik baxımından adi qatarlarla müqayisə etdikdə də onların üstünlüyü aydın görünür. Bu qatarlar ənənəvi nəqliyyat vasitələrinə nəzərən etibarlı və səssizdir. Bu qatarlar atmosferi zərərli qazlarla çirkləndirmədiyinə görə şəhərlər üçün ideal nəqliyyat növüdür.

Nəqliyyat strukturuna yatırılan xərclərin həcmi ilə istismar xərcləri bir-biri ilə sıx bağlı olur. Maqnitli qatarların ilkin istismarına qədər sərf olunan xərclərə ərazinin dağlıq və ya düz olması, şəhər və ya şəhərdənkənar ərazilər kimi amillər əhəmiyyətli dərəcədə təsir göstərir. Cədvəldə müxtəlif ərazi şəraitlərinə uyğun olaraq maqnitli qatar və yüksək sürətli qatar üçün hər bir kilometrə uyğun sərmayə xərcləri göstərilmişdir.

Cədvəl – Maqnitli və yüksək sürətli qatarların sərmayə xərclərinin müqayisəsi

Table – Comparison of investment costs of magnetic and high-speed trains

Müxtəlif ərazi şəraitlərinə uyğun sərmayə xərcləri	Yüksək sürətli qatar və xətt (mln dollar)	Maqlev qatarı və xətt (mln dollar)
Az inkişaf etmiş ərazilərdə	8.8	17
Şəhəratrafi ərazilərdə	30.6	37.4
Dağlıq ərazilərdə	34	40.8
Sıx şəhər ərazilərində	54.4	61.2

Xərclər arasındakı belə əhəmiyyətli dərəcədə fərqlərin yaranmasına müxtəlif amillərin təsiri olsa da, torpaq şəraitinin təsiri ən mühüm amil sayılır. Bundan əlavə, maya dəyərində təsir edən digər amil, xəttin keçdiyi yerin yaşayış məntəqələrinə yaxın olub-olmaması ilə bağlıdır.

Bundan əlavə, sürətli qatar xəttinin inşasına daha az xərc çəkilməsinin digər mühüm amili əksər yerlərdə mövcud xətlərin bərpası və sürətli qatarların hərəkəti üçün münasib şəraitin yaradılmasıdır. Ümumilikdə, hər bir kilometrə görə tikinti xərcləri 17-65 milyon dollar arasında dəyişir. Şübhəsiz ki, bu fərqlərin yaranmasında ən böyük amil ərazi şəraitidir. Maqlev qatarlarının geniş istifadə oluna bilməməsi, qiymət baxımından ətraflı araşdırmaya imkan vermir. Digər tərəfdən, Maqlev qatarlarının aşağı istismar xərcləri bu mövzuda tədqiqatların aparılmasını aktuallaşdırır.

Maqlev qatarları ilə bağlı ölkəmizdə onların tətbiqi baxımından heç bir araşdırma aparılmadığı üçün onların hər bir kilometr vahidinin dəyərini təhlil etmək mümkün deyil. Amerika Birləşmiş Ştatları Dəmiryol İdarəsinin (USFRA) 2005-ci il hesabatına görə 1 kilometrlik maqlev xəttinin tikinti dəyəri 31,25-62,50 milyon dollar arasında dəyişir. Maqlev qatarları ilə ideal səyahət uzunluğu 240 kilometrədən çox olduqda daha aydın görünür. Qısa məsafələrdə maksimum sürətə çatmamaq və səyahət vaxtını səmərəli şəkildə azaltmamaq problemlərinə təsadüf olunur. Məsafə 800 kilometrədən çox olan hallarda sənişinlərin hava nəqliyyatı ilə daşınması daha məqsədəuyğundur.

Nəqliyyat növlərinə görə sənişinlərin daşınma məsafəsinin ideal uzunluğu aşağıdakı sxemdə göstərilmişdir (şəkil 9).



Şəkil 9 – Nəqliyyat növlərinə görə sənişinlərin daşınma məsafəsinin ideal uzunluğu

Figure 9 – Ideal length of passenger transportation by type of transport

Nəticə

Respublikamızın böyük şəhərlərində, xüsusən paytaxt Bakıda avtomobil nəqliyyatının hərəkətində yaranan ciddi problemlər, gələcəkdə estakadalar üzərində qurulması mümkün olan “maqnitli” yolların köməyi ilə aradan qaldırıla bilər. Respublikanın coğrafi şəraitini və relyefini nəzərə alaraq, cənub zonasını Lənkəran Beynəlxalq Hava Limanı, Lənkəran və Bakı şəhərlərinin dəmiryol və avtomobil vağzalaları və Heydər Əliyev Beynəlxalq hava limanından keçməklə Şimal zonası ilə, həmçinin H.Əliyev Beynəlxalq hava limanını bir sıra rayon mərkəzlərindən, Gəncə şəhərindən və Gəncə Beynəlxalq hava limanından keçməklə Respublikanın qərb zonası ilə “maqnitli” yollar vasitəsilə əlaqələndirmək olar. Bu, əhalinin şəhərlərarası və şəhərdaxili sənişin daşımalarına olan tələbatının vaxtında və yüksək keyfiyyətlə yerinə yetirilməsinə imkan yaradar, Respublika ərazisində və qeyd edilən şəhərlərin rayonlarında yerüstü nəqliyyat vasitələrindəki gərginliyi və onların ətraf mühitə səpələdiyi zərərli birləşmələri xeyli azaltmış olardı.

Maqnitoplanların hərəkəti üçün hətta 2 mərtəbəli estakadalar da nəzərdə tutula bilər: birinci mərtəbədə kiçik sürətli və bəzi rayon mərkəzlərinin yaxınlığından keçdikdə dayanmaq üçün yaxın dayanacaqları nəzərdə tutulacaq qatarlar üçün; ikinci mərtəbədə isə yüksək sürətli maqnitoplanların hərəkəti üçün. Bu yeni nəqliyyat növü ilə Beynəlxalq hava limanlarını əlaqələndirməklə H.Əliyev Beynəlxalq hava limanını “düyün” hava limanına (HUB) çevirmək olar və uzaq məsafələrə sənişin daşımalarının müntəzəmliyini təmin etmək məqsədilə sənişinləri bir yerə yığaraq, onları istədikləri istiqamətlərə yola salmaq üçün şərait yaratmaq olar.

REFERENCES

1. **Demirezer T.**, 2010. Türkiye’de hızlı tren projeleri ve proje yapıları. TCDD İşletmesi Genel Müdürlüğü, Ankara. Göker A, 1996. Yüksek Hızlı Tren TÜBİTAK Raporu. Ankara, Türkiye. 2-16 s. *(in Turkish)*
2. **Solak K.**, 2011. Raylı sistem alternatifleri ile manyetik alan üzerinde hareket eden trenlerin (maglev) çok ölçütlü değerlendirme yöntemi ile karşılaştırılması. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi *(in Turkish)*
3. **Yaghoubi H.** The most important advantages of magnetically levitated trains. In Proceedings of the 11th International Conference of Chinese Transportation Professionals (ICCTP 11), *American Society of Civil Engineers (ASCE) Publisher*, Nanjing, China, 2011. *(in English)*
4. U.S. Department of Transportation Federal Railroad Administration, 2001. Maglev Deployment Program Final Programmatic Environmental Impact Statement, John A. Volpe National Transportation Systems Center, DOT-VNTSC- FRA-00-04, Volume I, Springfield, Virginia, pp. 243-245 *(in English)*
5. **Yau J.D.** (2009). Aerodynamic response of an EMS-type maglev vehicle running on flexible guideways, 10th International Conference on Fluid Control, Measurements, and Visualization, Moscow, Russia. *(in English)*
6. **Yaghoubi H. & Ziari H.** (2011). Development of a maglev vehicle/guideway system interaction model and comparison of the guideway structural analysis with railway bridge structures. ASCE, *Journal of Transportation Engineering*, Vol 137, No. 2, pp. 140-154 *(in English)*
7. **Witt M. & Herzberg S.** (2004). Technical-economical system comparison of high speed railway systems. The 18th International Conference on Magnetically Levitated Systems and Linear Drives, Shanghai, China. *(in English)*
8. **Tielkes T.** (2006). Aerodynamic aspects of maglev systems, Proceedings of the 19th International Conference on Magnetically Levitated Systems and Linear Drives, Dresden, Germany *(in English)*
9. **Behbahani H. & Yaghoubi H.** (2010). Procedures for safety and risk assessment of maglev systems: a case-study for long-distance and high-speed maglev project in Mashhad Tehran route. The 1st International Conference on Railway Engineering, High-speed Railway, Heavy Haul Railway and Urban Rail Transit, Beijing Jiaotong University, Beijing, China, China Railway Publishing House, pp. 73-83, ISBN 978-7-113-11751- 1 *(in English)*
10. **Hyung S.H., Chang H.K., Jong M.L., Chang W.L.** System integration of a non-contact conveyor using magnetic levitation technology,” Mechatronics (ICM), 2011 IEEE International Conference on, pp.708,712, April 2011 *(in English)*
11. **Ravaud R., Lemarquand G., Lemarquand V.** Halbach structures for permanent magnets bearings. Progress In Electromagnetic Research. M, 2010. Vol. 14, pp. 263–277 *(in English)*
12. **Gasymov A.A.** Vliyaniye sistemy menedzhmenta kachestva na uroven uslug v sfere gruzovykh aviaperevozok. Vestnik Azerbajdzhanskoy inzhenernoy akademii, 2018, T. 10, № 2, c. 106-112 *(in Russian)*