

**T.C.
BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ**

**KATENERSİZ TRAMVAY SİSTEMLERİ VE
EMİNÖNÜ-ALİBEYKÖY UYGULAMASI**

Yüksek Lisans Tezi

SERDAR ASLAN

İSTANBUL, 2016



**T.C.
BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KENTSEL SİSTEMLER VE ULAŞTIRMA YÖNETİMİ**

**KATENERSİZ TRAMVAY SİSTEMLERİ VE
EMİNÖNÜ-ALİBEYKÖY UYGULAMASI**

Yüksek Lisans Tezi

SERDAR ASLAN

Tez Danışmanı: PROF. DR. TUNCER TOPRAK

İSTANBUL, 2016

T.C.
BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KENTSEL SİSTEMLER VE ULAŞTIRMA YÖNETİMİ

Tezin Adı: Katenersiz Tramvay Sistemleri ve Eminönü-Alibeyköy Uygulaması
Öğrencinin Adı Soyadı: Serdar Aslan
Tez Savunma Tarihi: 11.04.2016

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları yerine getirmiş olduğu Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından onaylanmıştır.

İmza

Doç. Dr. Nafiz ARICA
Enstitü Müdürü

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları yerine getirmiş olduğunu onaylarım.

İmza

Yrd. Doç. Dr. Aybike
ÖNGEL
Program Koordinatörü

Bu Tez tarafımızca okunmuş, nitelik ve içerik açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak yeterli görülmüş ve kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmzalar

Tez Danışmanı
Prof. Dr. Tuncer TOPRAK

Bu kısımları doldurunuz

Üye

Doç. Dr. Ömer Özkan

Üye

Yard. Doç. Dr. Ali Osman PEKTAŞ

ÖZET

KATENERSİZ TRAMVAY SİSTEMLERİ VE EMİNÖNÜ-ALİBEYKÖY UYGULAMASI

Serdar Aslan

Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Tuncer Toprak

Nisan 2016, 67 sayfa

Ülkemizde son yıllarda raylı sistem yatırımları hızla artmaktadır. İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin raylı sistem vizyonu çerçevesinde, 2019 yılında 441 km raylı sistem hattının işletmeye açılması öngörülmektedir. Bu kapsamda ihalesi yapılmayı planlanan hatlardan biri de Eminönü-Alibeyköy raylı sistem hattıdır. Bu hat İstanbul'un tarihi merkezinden geçmektedir. Tarihi kent merkezinin görüntüsünü bozmamak için hattın tamamı katenersiz olarak yapılması planlanmaktadır. Bu çalışmada, İstanbul için en uygun katenersiz tramvay sisteminin hangisi olacağı araştırılmıştır.

Birinci bölümde çalışmanın amacı, objektifleri ve kapsamı ile ilgili kısa bilgiler verilmiştir. İkinci bölümde kent içi raylı sistemler incelenmiştir. Üçüncü bölüm katenersiz tramvay sistemleri incelenmiştir. Dördüncü bölümde katenersiz sistemlerin karşılaştırılması yapılmıştır. Beşinci bölümde İstanbul'da ki raylı sistemler hakkında bilgi verilmiştir. Altıncı ve yedinci bölümde Eminönü-Alibeyköy raylı sistem hattı için uygun katenersiz tramvaylar incelenmiştir. Son bölümde sonuç ve öneriler sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler : Hafif raylı sistem, katenersiz raylı sistem, batarya

ABSTRACT

CATENERY FREE TRAM SYSTEMS AND EMİNÖNÜ - ALİBEYKÖY APPLICATION

Serdar Aslan

Urban Transportation Systems and Management

Thesis Advisor: Prof. Dr. Tuncer TOPRAK

April 2016, 67 pages

“In our country investment in rail systems is continuously increasing in recent years. Within the scope of the rail system vision of İstanbul Metropolitan Municipality, it is planned to open a total of 441 km rail system line to operation by 2019. One of the railway lines planned to be tendered within this scope is the Eminönü – Alibeyköy Rail System Line. This line crosses the historical center of the city of İstanbul. To prevent any disturbance to the historic view of the İstanbul, it is planned to construct the whole line without a catenary system. In this study the most adequate tramway system without catenary line is investigated.

The first section includes brief information on the purpose of the study, its objectives and scopes. In the second section the urban rail systems are reviewed. Tramway lines without catenary systems are reviewed in Section Three. These tramway lines without catenary systems were compared in Section Four. Section Five provides information on the rail systems in İstanbul. In Sections Six and Seven systems without catenary that best fit for the Eminönü-Alibeyköy are investigated. Final section provides the conclusions and proposals.”

Keywords: Light rail systems, rail systems free catenary, battery.

İÇİNDEKİLER

TABLOLAR.....	ix
ŞEKİLLER.....	x
KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 ARAŞTIRMANIN AMACI.....	2
1.2 ARAŞTIRMANIN YÖNTEMİ.....	3
1.3 ARAŞTIRMANIN KAPSAMI.....	3
2. KENT İÇİ RAYLI TOPLU TAŞIMA TÜRLERİ.....	4
2.1 TRAMVAY SİSTEMLERİ.....	4
2.2 HAFİF METRO SİSTEMLERİ.....	5
2.3 METRO SİSTEMLERİ.....	5
2.4 MAGLEVLİ SİSTEMLERİ.....	6
2.5 HAVARAY SİSTEMLERİ.....	7
2.6 FÜNİKÜLER SİSTEMLER.....	7
3. KATENERSİZ RAYLI SİSTEMLER.....	9
3.1 ZEMİNDEN SÜREKLİ BESLEMELİ SİSTEMLER.....	10
3.1.1 Alstom Transport APS Sistemi.....	10
3.1.2 Ansaldo TramWave Sistemi.....	14
3.1.3 Bombardier Primove Sistemi.....	17
3.2 ARAÇ ÜSTÜ ENERJİ DEPOLAMA SİSTEMLERİ.....	19
3.2.1 Caf Süper Kapasitör Sistemi.....	19
3.2.2 Siemens Sitras HES&MES Sistemi.....	22
3.2.3 Bombardier Primove Sistemi.....	25
3.3 BATARYALAR.....	27
3.3.1 Nikel Kadmiyum.....	27
3.3.2 Lityum-İyon Batarya.....	28
3.4 SÜPER KAPASİTÖRLER.....	28
4. KATENERSİZ SİSTEMLERİN KARŞILAŞTIRILMASI.....	30
4.1 ALSTOM APS SİSTEMİ.....	30
4.2 ANSALDO TRAMWAVE SİSTEMİ.....	32
4.3 BOMBARDIER PRIMOVE SİSTEMİ.....	33

4.4 CAF SÜPERKAPASİTÖR SİSTEMİ.....	33
4.5 SİSTEMLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ VE DİĞER BATARYALI SİSTEMLER	34
4.5.1 Alstom APS Sistemi	35
4.5.2 Ansaldo Tramwave Sistemi	35
4.5.3 Bombardier Primove Sistemi	36
4.5.4 Siemens Sitra MES&HES Sistemi.....	36
4.5.5 Bombardier Batarya Sistemi	36
4.5.6 Caf Süper Kapasitör ve Batarya Sistemi.....	36
5. İSTANBUL'DA RAYLI SİSTEMLER VE TARİHÇESİ	37
5.1 RAYLI SİSTEM TARİHÇE	37
5.2 MEVCUT TRAMVAY HATLARI	40
5.2.1 Kabataş – Zeytinburnu – Bağlar Tramvay Hattı.....	40
5.2.2 Topkapı – Sultançiftliği Tramvay Hattı	40
6. EMİNÖNÜ – ALİBEYKÖY HATTI.....	42
6.1 GÜZERGAH VE HAT ÖZELLİKLERİ.....	42
6.2 KATENERSİZ BÖLÜM	46
6.3 HATTIN TEMEL PARAMETRELERİ.....	47
6.4 ARACIN YERİNE GETİRMESİ GEREKEN ŞARTLAR.....	48
6.5 SEÇİLECEK SİSTEMİN SÜRÜŞ KONSEPTİ.....	49
6.6 İŞLETME SİMÜLASYON PARAMETRELERİ.....	50
6.7 KATENERLİ VE KATENERSİZ HATLAR ARASI GEÇİŞ.....	55
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	56
KAYNAKÇA.....	61

TABLULAR

Tablo 3.1: Süperkapasitör ve Batarya Çözümleri.....	20
Tablo 3.2: Bataryalar ve süper kapasitörler karşılaştırılması.....	27
Tablo 3.3: Araçlarda kullanılan batarya çeşitlerinin özellikleri.....	27
Tablo 5.1: T1 Hat verileri.....	40
Tablo 5.2: T1 Hat verileri.....	41
Tablo 6.1: Eminönü Alibeyköy Yolculuk Dağılımı	50
Tablo 7.1: Maliyet Açısından Karşılaştırma Tablosu.....	58



ŞEKİLLER

Şekil 2.1: Tramvay Araç Gösterimi.....	4
Şekil 2.2: Metro Araçları	6
Şekil 2.3: Maglev Araç Gösterimi.....	7
Şekil 2.4: Havaray Araçları.....	7
Şekil 2.5: Füniküler Aracı.....	8
Şekil 3.1: Fransa Bordeaux şehrindeki APS hattı.....	11
Şekil 3.2 APS sisteminin ana parçaları.....	12
Şekil 3.3: APS rayının yapısı	13
Şekil 3.4 Ansaldo TramWave Sistemi Genel görünümü.....	15
Şekil 3.5: Ansaldo 'nun ÇİN Zhuhai hattı.....	16
Şekil 3.6: Tramwave sisteminde kullanılan enerji rayı.....	16
Şekil 3.7: TramWave sistemi Tramvay Akım Kollektörü.....	17
Şekil 3.8 Enerji Rayının Enerjilendirilmesi.....	18
Şekil 3.9 Bombardier Primove sisteminin prensibi.....	18
Şekil 3.10 Araç üstü enerji depolama sistemi ekipmanları.....	19
Şekil:3.11. Konvansiyonel Sistemle Katenersiz Sistem Karşılaştırılması.....	21
Şekil 3.12 CAF firmasının Zaragoza'daki Katenersiz Çözümü.....	22
Şekil 3.13 Sistemin İstasyondaki Genel görünüşü.....	23
Şekil 3.14 Enerji Yönetim Grafiği.....	24
Şekil 3.15 İşletme İçin Enerji Yönetimi.....	25
Şekil.3.16 Bombardier Batarya Performansı.....	26
Şekil 3.17 Bombardier Batarya Şarj ve Deşarj Modelleri.....	26
Şekil 3.18. Li-Ion Batarya Yapısı.....	28
Şekil 5.1 İstanbul'daki Tramvay hatlarının gösterimi.....	37
Şekil 5.2 Tramvayın Avrupa yakasındaki son seferi, 12 Ağustos 1962.....	38
Şekil 5.3 Trolleybüsler.....	39
Şekil 5.4 İstanbul Tramvay Hatları.....	41
Şekil 6.1. Proje Güzergahı ve Etki Alanlar.....	43
Şekil6.2 Unkapanı-Şişhane Karayolu Bağlantısı ile Tramvay Hattı İlişkisi.....	44
Şekil6.3. K. Karabekir Cad.,Sevinç Cad., Dere Sok. ile Tramvay Hattı İlişkisi.....	45
Şekil 6.4. Yavuz Selim Caddesi ile Tramvay Hattı İlişkisi.....	45

Şekil 6.5. P.Hattın İstanbul mevcut raylı sistemler ağı haritasındaki konumu.....	46
Şekil 6.6 Eminönü-Alibeyköy Güzergah Planı.....	47
Şekil 6.7 Hat Plan Profiline Göre Sürüş.....	51
Şekil 6.8 Eminönü -Alibeköy Arası Değişik Hızlarda yapılan Sürüşler.....	52
Şekil 6.9 Alibeyköy -Eminönü Arası Değişik Hızlarda yapılan Sürüşler.....	53
Şekil 6.10 Araç Üstü Enerji Depolama Sistemi ile Optimum Sürüş.....	54
Şekil 6.11 2019 yılı ile 2043 yılları için enerji Besleme İhtiyacı.....	54



KISALTMALAR

APS	: (Aesthetic Power Supply) Estetik Güç Kaynağı
AO	: Tam gaz(All out)
AW3	: Araçta 6 yolcu/ m2 ayaktaki ve oturan yolcu sayısı
CL	: Geri dönüşümsüz Katener Hattı(Contact Line without recuperation)
DC	: Doğru Akım
ESS	: Enerji Depolama Sistemi(Energy Storage System)
KG	: Kilogram
KHZ	: Kilo Herz
L	: Litre
M1	: Yenikapı-Otogar-Havalimanı-Kirazlı Hafif Metro Hattı
M2	: Hacıosman-Yenikapı Metro Hattı
NVC	: Katenersiz Tramvay (operation without contact line)
OCS	: Konvansiyonel Havai Hat Katener Sistemi
TC	: %3 oranında beklenmedik durum(Time Contigency 3%)
T1	: Kabataş- Bağcılar Tramvay Hattı
T4	: Topkapı-Sultançiftliği Tramvay Hattı
V	: Volt
W	: Watt
WH	: Watt Saat

1. GİRİŞ

Raylı sistem, insan hayatına ve yaşamana etki eden önemli icatlardan biridir. Ülkeleri, şehirleri dolayısıyla yerleşim yerlerini birbirine bağlayan bir sistem olması sebebiyle insan yaşantısına hem kültürel hem de sosyal yönünden olumlu etki etmektedir.

Dünya ilk olarak 1550'lili yıllarda maden ocaklarından çıkartılan cevheri gün yüzüne çıkarmak ve madende çalışan madencilerin madene giriş çıkışlarını hızlandırmak için yapılan ve aradan geçen zaman sonralarında maden ocaklarında yaygın olarak kullanılmaya başlanan sistemdeki vagonlar da hayvanlar ya da insanlar tarafından çekiliyordu.

İlk lokomotifin icadını 1804 yılında yapılmış ve daha sonra modern raylı sistemin temelleri atılmıştır.

Raylı sistem serüveni yukarıda belirtilen şekilde başlamış ve günümüzde iki gruba ayrılmıştır.

1.Şehirlerarası Demiryolları

a. Yolcu Taşımacılığı

a.i Konvansiyonel Trenler

a.ii Yüksek Hızlı Tren

b. Yük Taşımacılığı

2.Kent içi Raylı Sistemler

a.Tramvay

b. Hafif Raylı Sistemler

c. Metro

d. Maglev

e. Havaray

f. Füniküler

Raylı sistemler şehirlerarası ve kenti içi raylı sistemler olarak sınıflandırılmaktadır. Kent içi raylı sistem çözümlerinden biriside tramvay sistemidir. Ülkemizde son 15 yılda raylı sistem yatırımlarına öncelik verilmiş ve buna bağlı olarak da raylı sistem teknolojilerinde en güncel çözümler kullanılmaya başlanmıştır. İstanbul Büyükşehir Belediyesi güncel teknolojileri yakından takip etmekte ve katenersiz sistemle beslenen

tramvay araçlarını projelerinde kullanmayı planlamaktadır. Bu teknolojiyle yapılması planlanan Eminönü-Alibeyköy tramvay hattı da söz konusu projelerden bir tanesidir. Söz konusu tramvay hattında çalışacak olan katenersiz tramvay araçları; süper kapasitör ve/veya bataryalı (güzergah üzerinde veya istasyonda hızlı şarj) veya iki ray arasına gömülü (mekanik veya elektronik bölümlere ayrılmış) bir sistemden enerjilenecektir. Bu sayede hat boyunca direklerden ve tellerden oluşan konvansiyonel OCS (Havai Hat Katener Sistemi - Overhead Catenary System) olmayacak ve bu sayede tarihi doku bozulmadan ve katenerin oluşturabileceği olumsuz etkilerden korunmuş olunacaktır.

Tamamen Katenersiz tramvay sistem tasarımının uygulanmasına 2003 yılında başlanılmış ve farklı şehirlerde değişik tasarımlar ve teknolojilerde uygulanmaktadır. Bu çalışma kapsamında sözkonusu sistemlerle ilgili araştırma yapıldı, daha sonra değişik sistemlerin uygulanabilirliğinin irdelenmesi ve Eminönü-Alibeyköy raylı sistem hattı için neden iki ray arası gömülü enerji beslemeli sistemler veya süper kapasitör - bataryalı sistemlerden en uygun olanın tercih edilme kriterleri açıklanmaya çalışılmıştır. Bu çalışma tamamen/kısmen katenersiz tramvay sistemleri konusunda araştırma yapacak olan akademisyenler ve konunun uygulayıcısı olan kamu kurumları, işletmeciler ve üreticiler için önemli bir kaynak olacaktır.

1.1 ARAŞTIRMANIN AMACI

İstanbul Büyükşehir Belediyesi, İstanbul'un tarihi, turistik ve coğrafi bölgelerinden en önemlilerinden olan Haliç kıyısının; dini, kültürel, turistik ve eğitsel güzergahı olan Eminönü--Eyüp-Alibeyköy arasındaki erişimi doğrudan sağlamak; bir yandan da Altın Boynuz'un İstanbul'a kattığı kentsel kimliğe vurguda bulunmak amacıyla, mevcut Haliç kıyısı jeolojisine müdahale etmeden ve bunu yaparken de mevcut kara yollarındaki araç yükünü hafifletmek amacıyla Eminönü-Eyüp-Alibeyköy bölgelerine yaklaşık 10km lik katenersiz tramvay hattı yapmayı planlamaktadır.

Görsel etkisi dışında katenersiz hat olarak planlanmasının sebeplerinden biri de katenerli hatların çeşitli sebeplerle kopması, yangın vb. olumsuz etkilerinin olabilmesidir.

İşin ihale dokümanlarının hazırlanması aşamasında katenersiz tramvay tedarikçilerinden detaylı bilgi alınarak çalışmalar yapılmıştır. Tedarikçilerle yapılan görüşmelerde sistemlerin avantaj ve dezavantajları kapsamlı şekilde tartışılmış ve bu proje için hangi sistemin daha uygun olacağı araştırılmıştır.

1.2 ARAŞTIRMANIN YÖNTEMİ

Dünyanın değişik ölkelerinde test edilen, yapım aşamasında veya işletmede olan tamamen katenersiz sistemler incelenmiş ve bunların hangilerinin İstanbul için uygulanabilir olduğuna karar verecek çalışmalara başlanmıştır. Buna bağlı olarak karar verilen sistemin mevcut tramvay hatlarıyla fiziksel entegrasyonunun sağlanabilmesi ve ileride hattın uzatılması durumları dikkate alınarak gerekli alt yapının oluşturulması çalışmaları yapılacaktır.

1.3 ARAŞTIRMANIN KAPSAMI

Raylı sistem araçlarının üretimini yapan sektörün önde gelen firmalarının katenersiz sistem çözümleri ve tamamen katenersiz olarak işletmede çalışan hatların işletme ve araç performansları araştırılmasını kapsamaktadır. İstanbul da yapımı ihale edilecek olan Eminönü Alibeyköy tramvay hattı için tamamen katenersiz sistemin tesis edilmesi için gerekli çalışmaları kapsamaktadır.

2 KENT İÇİ RAYLI TOPLU TAŞIMA TÜRLERİ

2.1 TRAMVAY SİSTEMLERİ

Tramvay sistemi genellikle cadde seviyesinde konuşlandırılmakta ve metro sistemlerdeki gibi tünel ve büyük ölçekte inşaat işleri olmadığından diğer sistemlere göre yatırım maliyeti düşüktür. Tramvay hatları genellikle hemzemin hat olarak imal edilebilmekte, dolayısıyla yolcu istasyonları da cadde seviyesinde olduğundan çevre şartlarına, tarihi sit alan konumu da dikkate alınarak alternatif mimari çalışmalarla istasyonlar oluşturulabilir. Tramvay sistemleri cadde seviyesinde yer aldığından mevcut karayolu ulaşımı ile karma trafik oluşturabilmekte ve daha küçük kurplarda verimli çalışabilmektedir.

Tramvay istasyonlarının uzunlukları 30m ile 65m uzunluğunda olabilir. Tramvay aracının statik gabarisi en fazla 2650 mm ve ray açıklığı 1435 mm olarak yaygın kullanılmaktadır. Tramvay aracında akslı veya aksız olarak tasarlanabilmekte, araç boyu ise 35m.lere kadar yapılabilmektedir. Söz konusu araçların yolcu taşıma kapasitesi ise 250 kişi/araç olarak ve oturan yolcu sayısı ise taşıma kapasitesinin yüzde 20 ile 40 oranında tasarlanmaktadır. Araçların cer beslemesi konvansiyonel sistemlerde havai katener olarak 750 VDC yapılmaktadır. Tramvay sisteminin işletme hızları 18-25 km/saat arasında, maksimum işletme hızı ise 60 km/saat'dir. Tramvay sisteminde otomatik işletme yapılmayıp, sürücü tarafından manuel işletme yapılmaktadır. Tramvay raylı taşıma sisteminde saatte tek yönde 10.000 ile 19.000 yolcu/yön taşıma kapasitelerine erişebilmektedir.

Şekil 2.1 Tramvay Araç Gösterimi



2.2 HAFİF METRO SİSTEMLERİ

Hafif Metro Sistemi; kent içi demiryolu toplu ulaşım sistemlerinin en önemli yapı taşlarından bir tanesidir. Yolcu taşıma kapasitesi tramvay sistemine göre yüksek, hatlarının işletmesi sinyalli olup, tek yönde saatte maksimum yolcu taşıma kapasitesi 35.000-40.000 yol/yön/saat seviyelerindedir. Sistemin güzergahı emniyetli ve tam korumalı hat olarak tasarlanmaktadır. Bu sistem de kullanılan metro araçlarının ortalama işletme hızı 25-38 km/saat, maksimum nominal işletme hızı ise 70-80 km/saat'tir. Hafif metro sisteminin cer gücü beslemesi 3. Ray veya havai katener sisteminden olup, genellikle 750 VDC veya 1500 VDC gerilim ile çalışmaktadır.

2.3 METRO SİSTEMLERİ

Metro, kent içi raylı toplu taşıma sisteminde en önemli yere sahiptir. Tek yönde saatteki yolcu taşıma kapasitesi 70.000 – 110.000 arasında olan kent içi demiryolu toplu taşıma sistemidir. Dünyada trafiğin sıkışık olduğu gelişmiş şehirlerde ulaşım sisteminin çözümü raylı sistemler olup, çözümü genellikle metro sistemleri sağlanmaktadır.

Metro sistemleri yer altından tünelle olduğu gibi köprü ve viyadük geçişleri olarak inşaa edilmektedir. Metro sisteminin hattı tam korumalı ve sinyalli işletme yapılmaktadır.

Bu sistemde, Otomatik Tren Kontrol Sistemi (ATC) (tamamen sürücüsüz) ile işletme yapılabilmektedir. Araçlar 90 sn.lik en az servis aralığını sağlayacak şekilde tasarlanmaktadır. Metro işletmesi 90 sn.lik sefer sıklığında sürekli çalışabilecek tarzda ve kapasitede tesis edilmektedir. Ana hatta yoğun çalışma aralıklarında belirtilen bu 90 sn. uç istasyon dönüşlerini de kapsamaktadır. Normal işletme şartlarında tren, AW3 yükte bütün bir güzergah boyunca ortalama 35-38 km/saat ticari hızı sağlayabilecek şekilde tasarlanmaktadır. Metro da maksimum tasarım hızı 90 km/saate kadar erişebilmektedir.

Metro sisteminde sinyalizasyon sisteminin seviyeleri vardır. İstasyonlar boyları, o hat için hazırlanan fizibilite raporuna ortaya çıkan yolcuk kesitleri dikkate alınarak tasarlanmakta olup, istasyon boyları yaklaşık 100m ile 200 m arasında bununla birlikte istasyon boyları araç boyları ile örtüşmektedir.

2650 mm ile 3150 mm arasında araç genişlikleri tasarlanmakta ve araçlar da iki bogi sistemi ve her bogi de iki aks kullanılan sistemlerdir. Söz konusu sistemin enerji temini 3.ray, rijit katener olarak yapılabilmekte ve genellikle 750 VDC, 1500 VDC veya 3000 VDC gerilimle sağlanabilmektedir.

Türkiye'nin ve İstanbul'un ilk tamamen sürücüsüz metro hattı Anadolu Yakasında Üsküdar Ümraniye-Çekmeköy Metro hattı (M5) olup, 2016 yılında işletmeye açılması planlanmaktadır. Yine İstanbul'un Avrupa Yakasında Kabataş-Mecidiyeköy-Mahmutbey Metro Hattı(M7) da tamamen sürücüsüz olarak tasarlanmış yapım işlemleri devam etmektedir. Bu hat ise 2018 yılı içerisinde işletmeye açılması planlanmaktadır. Mevcut hatların UTO sistemine dönüşümü ile ilgili artan yolculuk taleplerinin karşılanması ve işletme esnekliğinin kazanılması için çalışmalar yapılmaktadır.

Şekil 2.2: Metro Araç Gösterimi



2.4 MAGLEV SİSTEMLERİ

Maglev trende taşıyıcı ray ile araç arasında temas olmadığından söz konusu temasızlığı ise manyetik güç aracılığıyla araç kaldırılarak hareket ettirilmektedir. Bu pozisyonda tren sanki havada ilerleyebilen bir araç gibi ilerlemektedir. Bu sistem güzergah boyu dizilmiş olan bobinlere, araç üzerinde tesis edilen mıknatıslar sayesinde manyetik alan oluşturularak alternatif akım sağlanmaktadır. Trenin ilerleme hızı güzergah üzerine dizilmiş bobinlere verilen akım frekansının değiştirilmesi ile kontrol edilir. Sürtünme raylarla temas olmadığından minimum seviyelerdedir.

Şekil 2.3: Maglev Araç Gösterimi



2.5 HAVARAY SİSTEMLERİ

Havaray, tek ray hattından oluşan ve genellikle yerden belirli bir yükseklikte yaklaşık 8m ile 15m arasında yapılan hat güzergahını kullanan toplu taşıma sistemidir. Maksimum işletme hızı 80 km/saat olan havaray sistemi, sürücülü veya sürücüsüz olarak işletmede kullanılabilir.

İstanbul'un bazı bölgeleri içinde havaray sistemli çözümler tasarlanmaktadır.

Şekil 2.4: Havaray Aracı



Kaynak: http://www.turkiyeturizm.com/news_

2.6 FÜNİKÜLER SİSTEMLER

Füniküler sistemi, şehir merkezlerinde, eğimi yüksek olan arazilerde halatlar yardımı ile çalışan raylı sistem çözümdür. Genellikle yaklaşık 800m ile 1200m arasındaki kısa mesafeli alanlarda iki istasyonlu olarak inşa edilmektedir. İstanbul'da söz konusu sistem

Karaköy-Beyoğlu arasında 1875 tarihinde yapılmış ve hala işletmededir. İkinci hat olarak da 2006 yılında Taksim-Kabataş arasında föniküler hattı işletmeye açılmıştır.

Şekil 2.5: Föniküler Aracı



3 KATENERSİZ RAYLI SİSTEMLER

Katenerli tramvay hatları şehir merkezlerinde özellikle tarihi bölgelerden geçerken görsel görüntü kirliliği oluşturması, hat boyunca kaldırım üzerinde yaya akışına etki eden katener direklerinin konulması, katener direklerine araç çarpmaları vb. dış etkilere maruz kalmasının önüne geçilememesi, direklerin peronlarda yolcu sirkülasyonu olumsuz etkilemesi, hattın katenerli olmasından dolayı hat gabarisinin yüksek olması, havai hatlardan kaynaklanan işletme kayıplarının olması, peronlardaki ve çevredeki inşaat çalışmalarında vinç, jsb vb. iş makinalarının çalışmasında enerji kesilme gibi durumların yaşanması katenerli sistemin dezavantajları olarak sayılabilir. Bu olumsuzluklarda düşünüldüğünde gelişen teknolojiye de bağlı olarak katenersiz sistem çözümleri avantajlı konuma gelmektedir. İşletme gereksinimleri ve araç üreticiler yukarıda belirtilen olumsuzlukları minimize etmek için;

1879-05-31 in Berlin, Germany 130 V DC orta ray ile enerji beslemeli,

1881-05-16 in Lichterfelde (Berlin) 180 V DC iki ray ile enerji beslemeli,

1909 ... 1964 in Germany, Raylı Sistem Aracı AT3 (100 persons, 100 km, 50 ... 60 km/h) batarya beslemeli,

1930 ... 1961 in Germany, Shunter (90 t, 210 kW, 40 km/h) katener ve batarya beslemeli

Firmalar tarafından 1990' ların sonunda tamamen katenersiz veya kısmi katenersiz tramvay aracı ve hattının yapımı için çalışmalara başlanmıştır. Bu çalışmalar ihtiyaçların belirlenmesi ve teknolojinin gelişmesiyle beraber farklı alternatiflerle birlikte ivmelenerek sürdürülmektedir.

Günümüze gelene kadar yapılan teknolojik çalışmalar neticesinde tramvay üretiminde kısmi veya tamamen katenersiz alternatifli çözümler gerçekleştirilmiştir,

1. Zeminden Sürekli (İki Ray Arasına Gömülü) Enerji Beslemeli Sistemler
 - a. Elektronik Bölümlere Ayrılmış (Fiziksel Temaslı)
 - b. Mekanik Bölümlere Ayrılmış (Fiziksel Temaslı) sistemlerdir.
2. Enerji Depolamalı Sistemler
 - a. Süper Kapasitör + Batarya (Fiziksel Temaslı)
 - b. Batarya (Fiziksel Temaslı)
- c. Süper Kapasitör + Batarya (Endüktif Transferli)

3.1 ZEMİNDEN SÜREKLİ BESLEMELİ SİSTEMLER

Bu sistemler daha çok tramvay araç üreticilerinin kendi araç sistemlerine özgü tasarladığı geliştirdiği ve üretimini yaptığı özel sistemlerdir. Bu sistem iki ray arasına zemin seviyesinde gömülü enerji besleme sistemi tesis edilen bir nevi üçüncü ray enerji besleme sistemine benzer sistemler olup, güvenlik ve işletimi bakımından farklılıkları vardır. Bu sistemlerde araç geçişi esnasında aracın altında kalan gömülü sistem enerjilenmekte ve bunun dışında kalan bölgeler yalıtkanlığını sürdürmektedir.

Bu sistemi 2003 yılında başlayarak ilk geliştiren firma Alstom Transporte firmasıdır. Farklı ülkelerde işletmede olan zeminden beslemeli hatları bulunmaktadır. İkinci firma olarak da AnsaldoBreda ve Bombardier firmaları da kendi sistemlerini tasarlayıp geliştirmişlerdir. AnsaldoBreda ve Bombardier firmalarının sistemleri test aşamasını tamamlamış olup, işletmede olan hatları vardır. Zeminden beslemeli sistemlerde kesintisiz sürekli enerji beslemesi olduğundan araç üstü enerji depolama sisteminde olduğu gibi mesafe sınırlaması ve trafik sıkışıklığı gibi olumsuz durumlardan etkilenmemektedir. Bu sebepten dolayı durak mesafeleri uzun olan ve sıkışık trafikte çalışan işletmeler için daha avantajlı olduğu görülmektedir.

3.1.1 Alstom Transport APS Sistemi

APS sistemi, tramvay ray hattının iki ray arasına belirli bir kot farkıyla yerleştirilen özel bir enerji rayı sayesinde aracın enerji beslemesi sağlanır. Alstom ilk defa Aralık 2003'te 100 tramvay aracı ile 28km'lik tek hat APS sistemini Bordeaux (Fransa) şehrinde uygulamış ve Şekil 3.1'de görülmektedir. Söz konusu sistemde konvansiyonel sistemde olan teller ve direkler nedeniyle oluşan karmaşık görüntü ortadan kalkmıştır.

Şekil 3.1 Fransa Bordeaux şehrindeki APS hattı



Kaynak: Alstom

APS sisteminin temel avantajları;

a Katener beslemesi ile kıyaslandığında Tramvay performanslarında bozulma yok:

- i istasyonda bekleme olmadan korunan sefer aralığı
- ii azami hız kısıtlaması yok (APS modunda 60 km/h),
- iii korunan azami ivme, -yüzde8 dik meyiller,
- iv yedek güç sınırlaması yok (sıcak iklimlerde HVAC çalışır),
- v eşdeğer emre amadelik (2 km'lik çift hat uygulaması için > % 99.95)

b Karma trafik ve yolcu istasyonları arasında planlanmamış duraklar ile tam olarak uyumlu,

- i Tramvayın korunan estetiği (çatıda gözle görülür ağır ekipman yok),
- ii Tam yapısal güvenlik (APS sisteminin güvenliği, CERTIFER, STRMTG veya Lloyd's dahil olmak üzere 6 onay Makamı tarafından onaylanan özel bir güvenlik senaryosu yoluyla kanıtlanmıştır)

Şekil 3.2 de görüldüğü üzere APS sisteminde; anahtarlama kabini, anten, batarya kutusu ve kontak pabuçları araç üzerinde bulunmaktadır. Tramvay hattında ise cer gücü iletimi için zemine gömülü güç kutusu, enerji rayı ve kumanda panosu yer almaktadır.

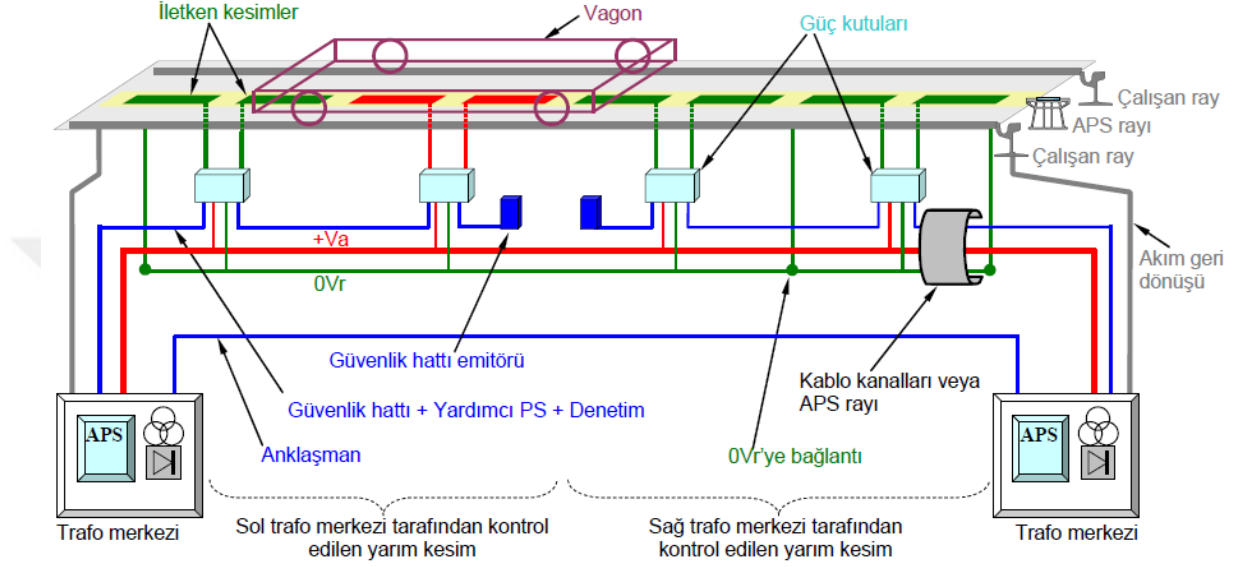
APS sistemi;

- ✓ Cer Gücü iletim rayı: 11m / İletken Kesim 8m / Nötr bölge: 3m
- ✓ Her bir güç kutusu 2 kesimi çalıştırır, her 22m'de bir güç kutusu bulunur.
- ✓ Her elektrikli kesimi kapsayan tramvaylar 30 veya 40m uzunluğundadır.

- ✓ Tramvay geçişinden sonra, kesim ray gerilimine bağlanır

İletken raylar hat boyunca arka arkaya birleştirilerek montaj işlemleri yapılmaktadır. Her elektrikli kesimi kapsayan tramvaylar 30m veya 40m uzunluğundadır. Tramvay geçişinden sonra, kesim ray gerilimine bağlanır.

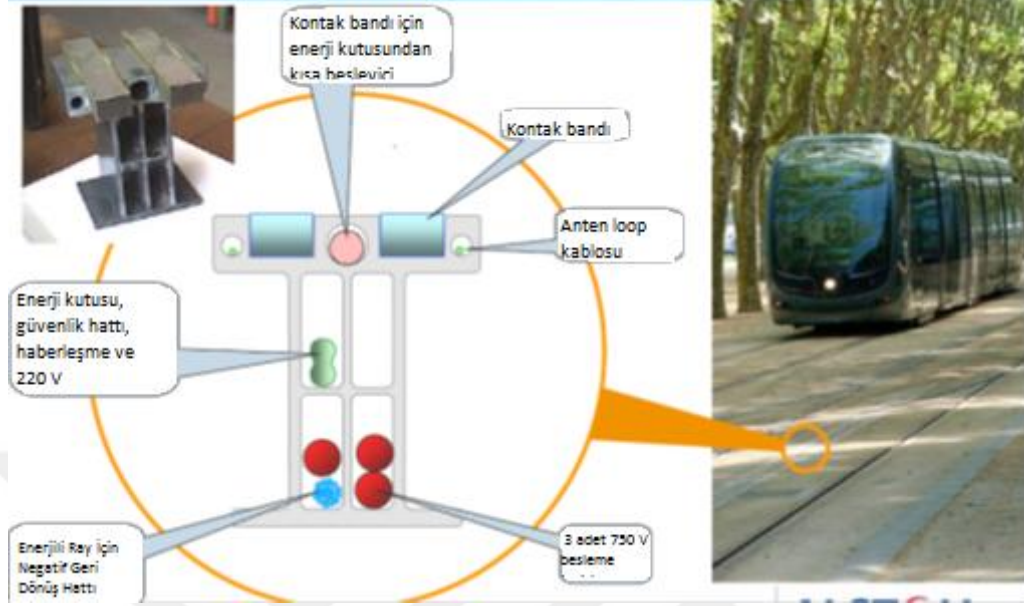
Şekil 3.2 APS sisteminin ana parçaları



Kaynak: Alstom

Enerji besleme rayı olarak kullanılan rayın aks yükü 13,5 tondur. Firma bununla ilgili gerekli testleri yaparak hat için döşen rayların aks dayanım yükü ile aynı seviyeye getirmiştir. Söz konusu rayın yapısı incelendiğinden sadece metal olmadığı içerisinde sisteme ait ekipmanlarında tesis edildiği Şekil 3.3 te gösterildiği gibidir.

Şekil 3.3: APS rayının yapısı



Kaynak: Alstom

APS sisteminin bakım işleri;

a. Önleyici bakım:

Sistemik önleyici bakım: Temizlik, ayarlar ve standart değişimler, özellikle ekipmanın performans kontrolü, korumalar, güvenlik üniteleri, optimum işletim sağlayan ayarlar gibi çeşitli müdahaleleri gerçekleştirmek amacıyla işletim süresine göre önceden belirlenen programa göre ziyaretler yapmayı içerir.

Koşullu önleyici bakım: Aynı zamanda koşula bağlı bakım olarak da adlandırılır ve bir eşik değer geçilmesi ile değerlendirilen malzemenin durumuna bağlı olarak çeşitli işlemlerin yürütülmesini içerir. Bu eşik değer tespiti, gözle kontroller, aşınma göstergeleri, seviye ölçüm cihazları ve tanılama sistemleri gibi çeşitli süreçlere göre belirlenebilir.

b. Düzeltici bakım:

Düzeltici bakım, ekipmanı veya parçaları işletim durumuna geri döndürmek amacıyla bir arızadan sonra gerçekleştirilen tüm işlemleri içerir.

Seviye 1 bakımı: Seviye 1 bakımı, ekipman açılmadan veya modül sökülmeden basit işlemlerin (temizlik gibi) yerine getirilmesini içerir. Bu bakım, özel becerilere sahip olmayan bakım araçları tarafından gerçekleştirilebilir. (örn. peron denetimi)

Seviye 2 bakımı: Seviye 2 bakımı, ekipmanın veya fonksiyonel modülün standart değişimini içerir, fakat özel ayarlar gerektirmez. (örn. Güç Kutusunun değişimi)

Seviye 3 bakımı: Seviye 3 bakımı, ayar veya özel aletlerin kullanımı gerektiren ekipmanların değişimini içerir. Ayrıca, yerinde mevcut bilgilerden başlayarak arızanın tespitini ve teşhisini de içerir/anlar.(örn. APS Rayı üzerindeki bir seramik tamponun onarımı)

Seviye 4 bakımı: Seviye 4 bakımı, özellikle ekipmanın içindeki alt takımların veya komponentlerin değişimi ile ölçüm cihazlarının ayarlanması veya kalibrasyonunu içerir. Seviye 4 bakımı, bir tekniğin veya özel bir teknolojinin ve/veya özel aletlerin yerleşiminin kontrolünü ifade eder. (örn. APS Kabini güvenlik lojiğinin kontrolü)

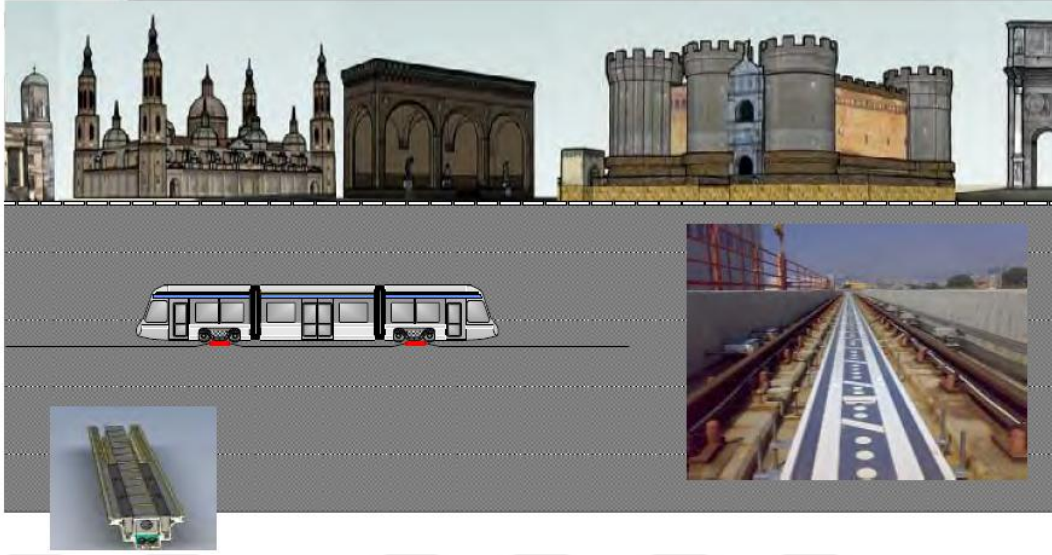
Seviye 5 bakımı: Seviye 5 bakımı, özellikle ekipmanın onarımı ve komponentlerin değişimi faaliyetlerinin tamamını içerir. Seviye 5 bakımı, özel tekniklere veya teknolojilere ilişkin teknik bilgi gerektirir.

3.1.2 Ansaldo TramWave Sistemi

Ansaldo firmasının geliştirdiği Tramwave akım toplama sistemi; bir cam takviyeli polyster boru içerir ve bu tramvay hattında yol yüzeyine betonlanmıştır. Bu boru içerisinde ayrı güç modülleri monte edilmiş olup, içerisinde bir esnek temas şeridi veya bandella yüklüdür. Tramvaylar, temas elemanının merkez pozitif şeridinden akım toplayacak şekilde bir manyetik enerji toplayıcısı ile donatılmıştır. Tramvay üstten geçerken temas şeridine etkiyip bunu kaldıracak şekilde tramvayın alt kısmına akım toplayıcıda kalıcı mıknatıslar monte edilmiştir. Bu şeridi kaldırırken bir temas oluşturulur ve modülün üst yüzeyi enerjilendirilir.

Manyetik gücün ayrılması ile kontak kısmı düşer ve güç ayrılmış olur. İlk prototip geliştirme 1998 yılında, ara geçiş sistemlerinin ilk pilot tesisi 2000 yılında ve bir raylı taşıt için ASM teknolojisinin ilk testi 2000 yılında gerçekleştirilmiştir. TramWave sistemi bir ürün haline getirilmiştir. Özellikle farklı tramvay sistemleri için bir "çekirdek teknolojisi" dayanarak geliştirilmiş ve test edilip kanıtlanmıştır.

Şekil 3.4 Ansaldo TramWave Sistemi Genel görünümü



Kaynak: Ansaldo

Ansaldo STS teknoloji aşağıdaki kavramlar üzerine kurulmuştur:

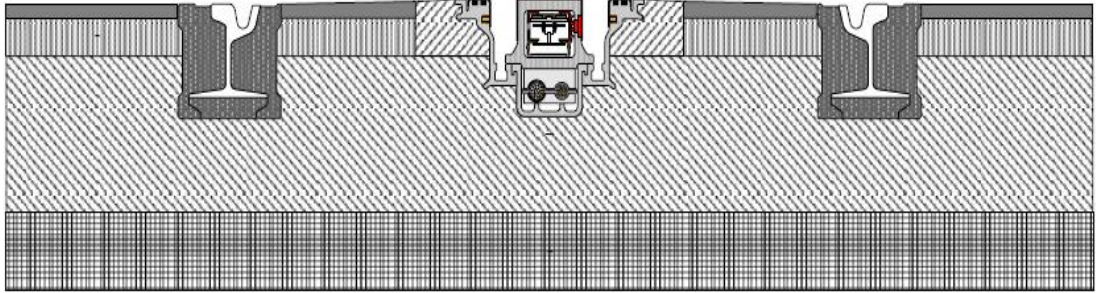
- Yere gömülü bir "kapalı boru" kullanımı,
- Bölümlenmiş yüzeyli bir temas hattında, her segment yalıtımlı ve güç iletim vasıtasıyla normalde toprağa bağlanır.
- Basit fiziksel prensipler sistemin tüm operasyonunu yönetir.
- Temas bölümleri, pozitif besleyici ile devreye sokulur, boru içinde bulunan esnek bir ferromanyetik kuşak üzerinde mıknatıs ve kalıcı bir "dahili" çekme kuvveti vasıtasıyla temas hattı üzerinden güç toplayıcıdan oluşur.
- Yer çekim kuvveti sayesinde değişken ferromanyetik alan ile negatif besleyici kapatılarak aşağı düşer.
- Canlı durumda olan bölümlerin toplam uzunluğu (1 metre max) çok kısadır, bunun sebebi ise "güvensiz" alanın kısa tutulmak istenmesidir.
- Tüm olası normal ve olumsuz işletim koşullarında sistemin güvenliği sağlanır.

Şekil 3.5: Ansaldo 'nun ÇİN Zhuhai hattı



Kaynak: Ansaldo

Şekil 3.6: TramWave sisteminde kullanılan enerji rayı

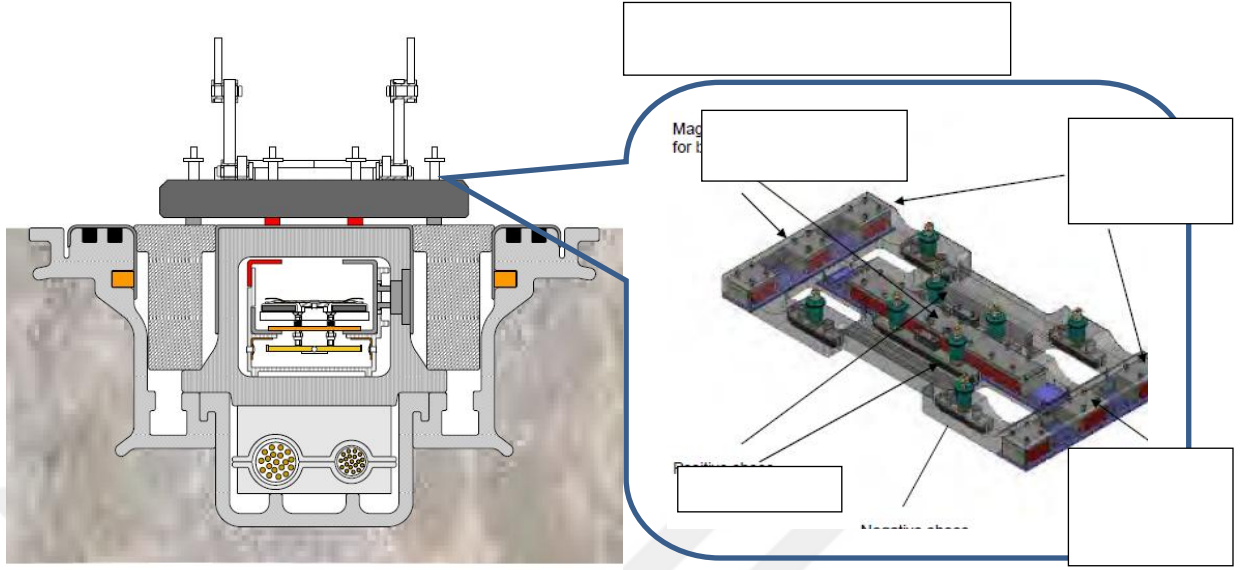


Kaynak: Ansaldo

TramWave sistemi;

- i Çevreyle uyumlu ve kentsel tarihi yapıları korur,
- ii Yayalar için ve ağır araçların geçişi için engel yok
- iii Kara yolu araçları ve yayalar için tamamen güvenlidir.
- iv Enerji tüketimi ve dinamik performansı konvansiyonel sistemdeki gibi benzerdir.
- v Hattın uzatımı ve genişletilmesi kolaydır.
- vi Hava koşullarına ve kara yolu ile uyumludur.
- vii Yeşil ve güvenli çözüm;
 - a. Kimyasal etkisi yok,
 - b. Araç ömrü boyunca ekipmana ihtiyaç yok
 - c. Araç ağırlığını arttırmaz, ihmal edilebilir.

Şekil 3.7: TramWave Sistemi Tramvay Akım Kollektörü



Kaynak: Ansaldo

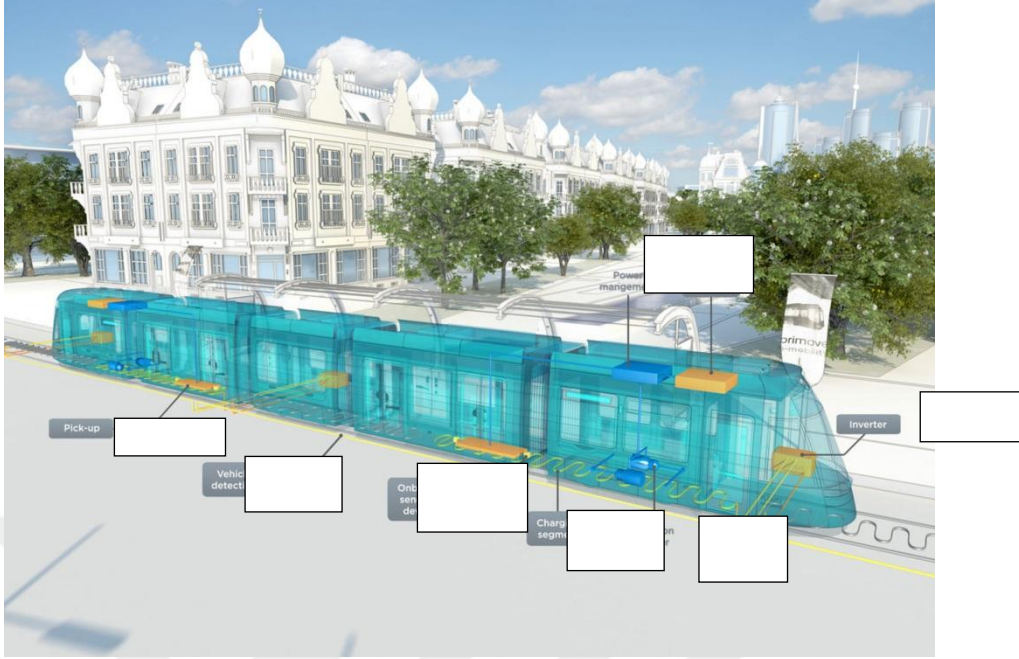
Tramwave Sistemi; elektriksel güvenlik, topraklama ve dönüş akımı bağlamında uluslararası standartlar ile uyumlu olarak yayaların güvenliği ile ilgili hükümleri sağlar. Bunun sebebi, tramvay hattında yol yüzeyine betonlanmış ve çalışan rayların arasında olmasıdır. Bu nedenle araç ve yaya alanlarında bulunan kuyu ve menhol kapağı ile ilgili uluslararası standartları sağlamalıdır.

Temas hattı en üst seviyedeki SIL 4 güvenlik gereksinimlerini karşılayabilmek için ilgili standartlarda belirtilen gereksinimlerini; yaşam süresi boyunca belirtilen güvenlikle ilgili uygulama koşulları karşılandığı sürece sağlamalıdır.

3.1.3 Bombardier Primove Sistemi

Primove Sistemi; Bombardier firmasının geliştirdiği sistem olup, fiziksel temas olmayan endüktif güç iletim sistemine uygun tasarlanmıştır. Şekil 3.8' de Primove'nin çalışma mantığı gösterilmektedir. Güzergahta konuşlandırılan spiral şeklindeki bobinlerde oluşan manyetik alan tramvayda bulunan alıcı bobinler sayesinde enerji araca transfer edilmiş olmaktadır. 2010 yılından itibaren iki elektrikli otobüs üstünde test yapılmaya başlayan sistem 2013 yılında işletmeye açılmış ve Nanjing, Hexi Line (China), bataryalı, hat uzunluğu 15.3km, İstasyon sayısı (Şarj):24 ve 2014 yılında işletmeye açılmıştır. Diğer Nanjing, Qilin Line (China), bataryalı, hat Uzunluğu:17.2km, istasyon sayısı (Şarj):14 ve 2014 yılında işletmeye açılmıştır.

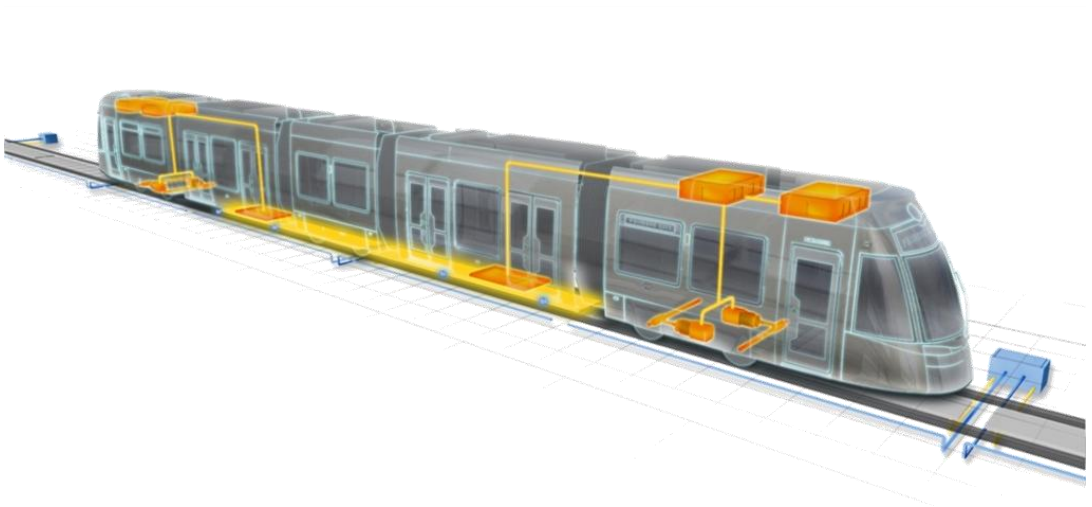
Şekil 3.8: Primove sisteminin prensibi



Kaynak: Bombardier

Primove sistemi; 9 metre uzunluğunda ve içerisinde bobinler olan iki ray arasında döşenen plakalardan oluşmaktadır. Araçtaki alıcı bobinler hiçbir fiziksel temas olmadan bu plakalarda indüklenen enerjiyi alırlar ve aracın hareket etmesini sağlarlar. Burada tramvay aracı hareket halinde iken indüklenen akım araç üzerindeki kapasitörleri şarj eder. Bu sistemde rejeneratif frenleme geri kazanımında kapasitörleri şarj eder.

Şekil 3.9 Bombardier primove çalışma prensibi



Kaynak: Bombardier

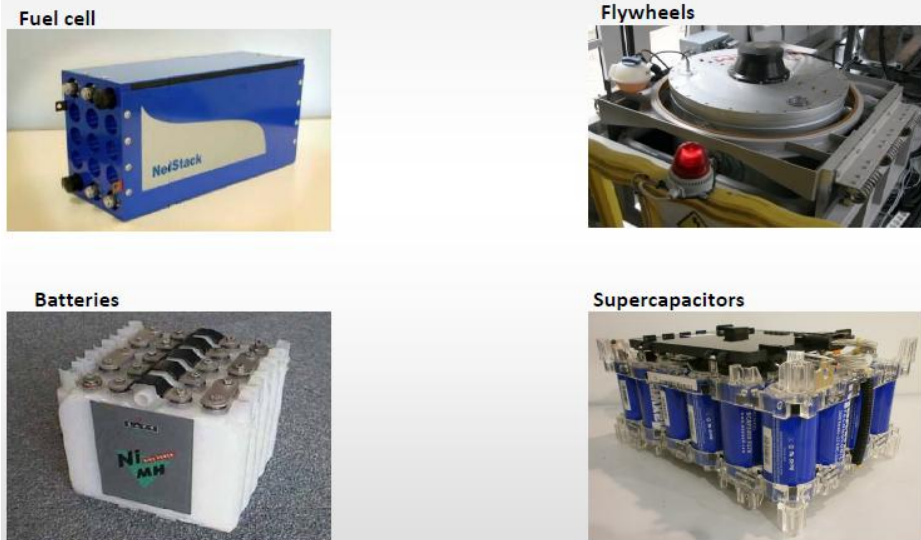
3.2 ARAÇ ÜSTÜ ENERJİ DEPOLAMAYA SİSTEMLERİ

Siemens, CAF, Bombardier ve Hyundai Rotem araç üretici firmalarının geliştirdiği sistemlerdir. Bu sistemlerde tramvay hatlarında istasyon bölgeleri hariç herhangi bir ek yatırıma ihtiyaç yoktur. Araç üzerinde enerji depolama sistemi bataryalar ve/veya süperkapasitörler sayesinde sağlanmaktadır. Bunların kapasitesi hattın özelliği, sürüş gereksinimlerine göre hesaplanarak süperkapasitör ve/vaya batarya kullanılmaktadır.

3.2.1 CAF Süperkapasitör Sistemi

Firma aşağıda Şekil 3.10 da belirtilen araç üstü enerji depolama sistemleri üzerinde araştırma, analiz, araç sistemi ile uyumluluk konularını da içeren değişik testler yaparak 7 yıldan fazla süredir çalışmalarını sürdürmektedir

Şekil 3.10: Araç üstü enerji depolama sistemi ekipmanları



Kaynak:CAF

Bu çalışmalar sonucunda en doğru çözüm olarak hibrid çözüm bazlı süperkapasitör ve batarya çözümü uygun görülmüştür.

Enerji ihtiyacı, sürüş mesafesi ile ilişkili olduğundan tramvay araçlarında direkt süperkapasitörlerin kullanılması, daha sonra ihtiyaç durumuna göre Li-ion battery grubu ile sürüş işlemlerinin devam ettirilmesi planlanmıştır. Aracın ilk hareketi süperkapasitörden sağlanacak şekilde tasarımı yapılmaktadır.

Süperkapasitörler yüksek hızlı şarj edilme özelliğine sahip olması sebebiyle araçların istasyonda yolcu inmesi ve binmesi için durması ile 20 saniye gibi bir sürede şarj

edilebilmektedir. Ayrıca sürüş halinde aracın frenleme yapmasıyla (rejenaratif frenleme) araç üstüne konuşlandırılan süperkapasitörlerin şarj işlemleri gerçekleştirilmektedir.

Süperkapasitörlerin tamamen bitmesi sonucundan araç enerji beslemesi araç üstünde konuşlandırılan batarya sisteminden sağlanmaktadır. Araç üstü Li-Ion batarya grubunun ise birkaç dakika sürede kısa dönemli şarj ihtiyacını karşılamaktadır. Sunulan çözümün ömrü dikkate alındığında çok yüksek şarj edilebilme özelliğinin olduğu bunun yansıması da batarya grubu ise yüksek şarj edilebilme özelliğinin olduğu ifade edilmektedir.

Tablo 1 en iyi çözüm. Süperkapasitörlerin ve batarya gruplarının soğutma sistemi vardır.

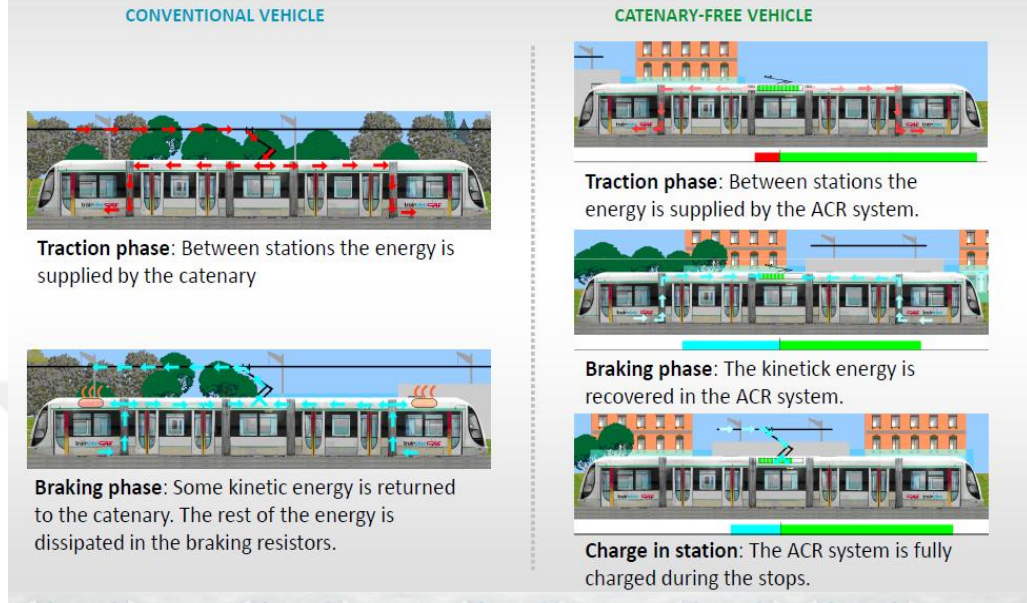
Tablo 1: Süperkapasitör ve Batarya Çözümleri

	Enerji Yoğunluğu	Güç	Yaşam Döngüsü
Li-Ion Bataryalar	Yüksek	Orta	Orta
Ultrakapasitörler	Orta	Yüksek	Yüksek

Firma katensiz tramvay sisteminin kurulacağı hatta, işverenin talep ettiği sürüş performansını sağlayabilmek için araç üstü enerji depolama sistemlerini hesaplamalarını yaparak sistem donatımı yapmaktadır. Yapılan hesaplamalar sonucunda araçların şarj edilme noktaları genellikle istasyon bölgeleri olmaktadır. Fakat bunun dışında ihtiyaç olması halinde ilave şarj bölgeleri oluşturulabilmektedir. Tüm bu şarj etme bölgeleri zeminden veya katernerli olarak da yapılabilmektedir.

Katenerli sistem ile katensiz karşılaştırıldığında Şekil 3.11’de Katenerli Sistemle Katensiz sistem karşılaştırılması görülmektedir.

Şekil:3.11. Konvansiyonel Sistemle Katenersiz Sistem Karşılaştırılması



Kaynak:CAF

Katenersiz sistem çözümlerinde; sadece tramvayın durma bölgelerine kısa mesafeli katener sisteminin tesis edilmesi, güvenli çözüm olması, tramvayın istasyona gelmesi ile enerji beslemenin gerçekleştirilmesi dolayısıyla basit ve maliyeti düşük çözümün olması, sistem tesisinin kolay ve düşük bakım giderlerinin olması nedenleriyle tercih edilebilmektedir. Diğer taraftan ise 3. Ray enerji beslemesi ve bogi de enerji kollektörü, minimum görsel etki, güvenli çözüm 3.rayın enerjilenmesi sadece tramvay üzerinde iken olmakta olup, yapımı kolay bakım işleri yüksek maliyet içermemektedir. Firmanın her iki yöntem ile ilgili iş deneyimi vardır ve en son Tayvan da hibrid çözüm sunmuştur. Bu sistemde iki durak arasındaki mesafeler 500-600 metre civarındadır. Firma her iki sistem için enerji yönetim sistemi oluşturarak işletme de yaşanacak olumsuz durumlarda sistemin işleyişinin sağlanması gerekmektedir. Şekil 3.12. de Zaragoza'da CAF firması tarafından yapılmış sistemler görülmektedir.

Şekil 3.12: CAF firmasının Zaragoza'daki Katenersiz Çözümü



Kaynak:CAF

3.2.2 Siemens Sitras HES&MES Sistemi

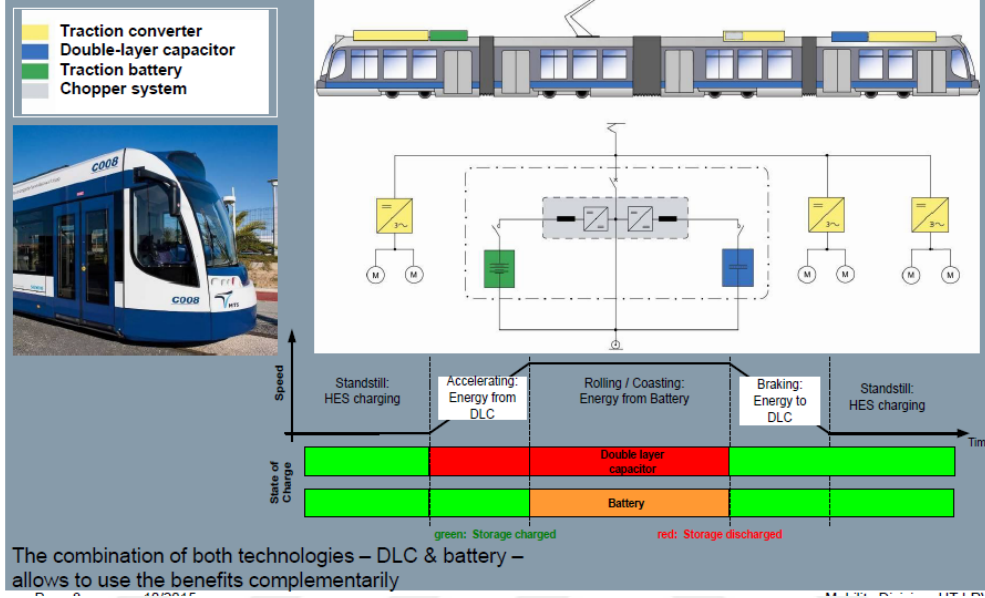
Araç üstü onboard Hibrid enerji depolama sistemi olan Sitras MES sistemi araç üreticisi Siemens firmasının geliştirdiği teknolojik bir üründür. Bu sistem;

- a. Ultra kapasitör (yüksek performans, kısa şarj edilebilme özelliği),
- b. Bataryalar(yüksek enerji depolama, acil durumlarda için de)
- c. Altyapı enerji besleme sistemi: Araç üstünde konuşlandırılan pantograf ile istasyonlarda kurulan rijit katener sistemden araç üstü enerji depolama sistemi şarj edilebilmektedir.

Katenersiz sistemin çalışması prensibi; araç istasyonda şarj ünitesi ile birlikte durur, pantografin rijit katenerle fiziksel temasıyla şarj işlemi başlar. İstasyonlarda kullanılan rijit katener sistemi istasyon giriş ve çıkışında eğimli(rampalı) olarak tesis edilebilir. Bu şekilde çözüm sunulması, tramvayın istasyonda bekleme süresine ilaveten tramvayın istasyona girerken şarj işlemine başlaması ve trenin ilk hareketinden istasyonu terk edene kadar şarj işleminin hala devam etmesi bununla birlikte tramvayın ilk hareketi için gerekli olan enerjinin araç üstü enerji depolama sisteminden değil direkt rijit katener sisteminden temin etmesi sistemin en önemli avantajı olarak görülmektedir. Sistem kullanılan süper kapasitörlerin DLC(Double Layer Capacitors) şarj edilme

süreleri 20 saniyeden daha azdır. İstasyon dışından yeniden şarj edilebilmesi aracın rejeneratif frenleme sistemi ile de olmaktadır. Bu sistem kısa mesafeler için geliştirilmiş bir sistem olup, tramvay 600 m üzerinde katenersiz bölgede hareket edebilmektedir.

Şekil 3.13: Sistemin İstasyondaki Genel görünüşü



Kaynak:Siemens

Siemens araç üstü enerji depolama sistemi; kolay entegrasyon ve çevre için düşük bakım çalışması, güvenli ve kendini kanıtlamış, tramvayın sürüşünde enerji verimliliği, geniş çapta endüstriyel gelişim, minimize edilmiş altyapı yatırım, çift katmanlı süperkapasitör ve batarya kombinasyonuna uygun mükemmel teknoloji avantajlarını sunmaktadır.

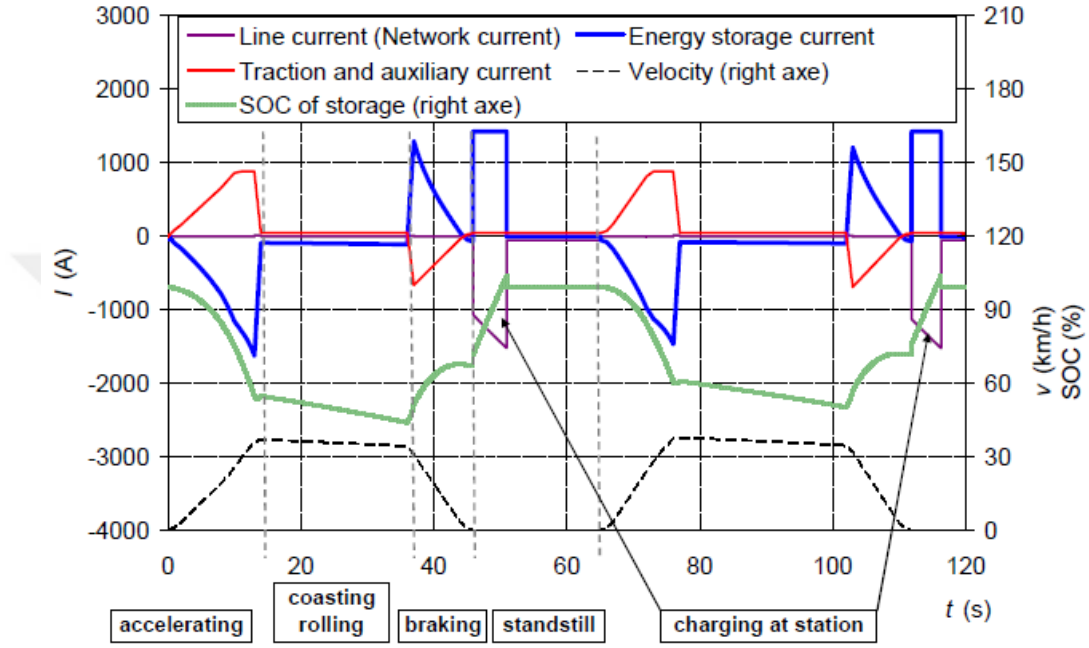
Söz konusu ekipmanlar, haberleşme, mekanik , su ve hava soğutmalı, tekli veya çift katmanlı değişik arayüzü uygulamaları vardır.

Firmanın sunduğu Sitras HES(Hibrid Enerji Depolama) sistemi ile MES (Mobil Enerji Depolama Sistemi) genel olarak aynıdır. HES sisteminde süperkapasitör konulmakta ayrıca batarya da konulmaktadır. Sürüş sırasında öncelikli olarak süperkapasitör kullanmakta, daha sonra ihtiyaç halinde batarya kullanılmaktadır. Şarj durumu ise aynı sıralama halinde olmaktadır.

Araç üstü enerji depolama sisteminde enerji yönetim sistemi mutlaka tesis edilmelidir. Tramvay sistemleri genellikle korumasız, trafikle iç içe olan hatlarda işletmesini yapmaktadır. Bu sebepten dolayı işletme sırasında trafik de yaşanacak olumsuz

koşullarda uygulanacak yöntemi önceden belirleyerek tramvay sistemine entegre edilmektedir. Tramvay araç tedarikçileri bu sistemi araç kontrol ekranına sürücüyü bilgilendirerek işletme kolaylığı sağlamaktadır.

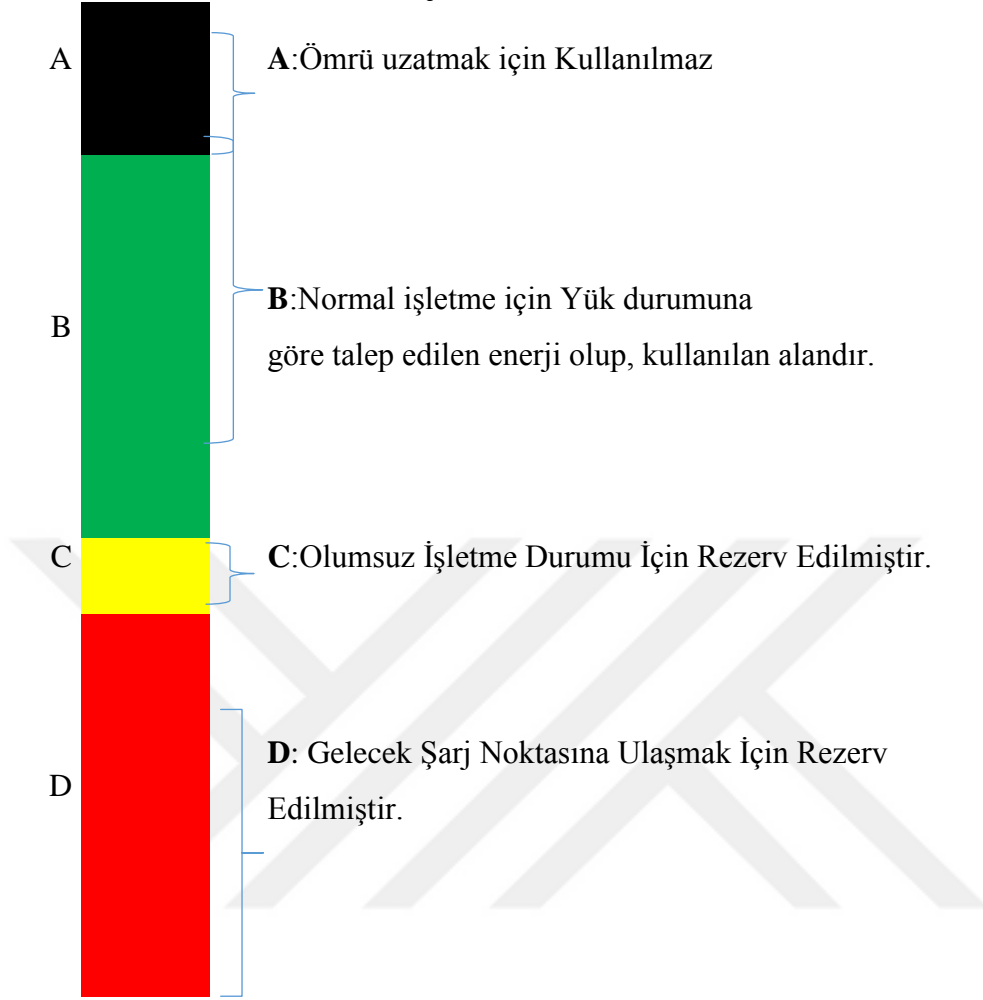
Şekil 3.14: Enerji Yönetim Grafiği



Kaynak:Siemens

Enerji yönetim sisteminde bataryalarının şarj durumunu aşağıdaki şekilde gösterilmektedir.

Şekil 3.15: İşletme İçin Enerji Yönetimi

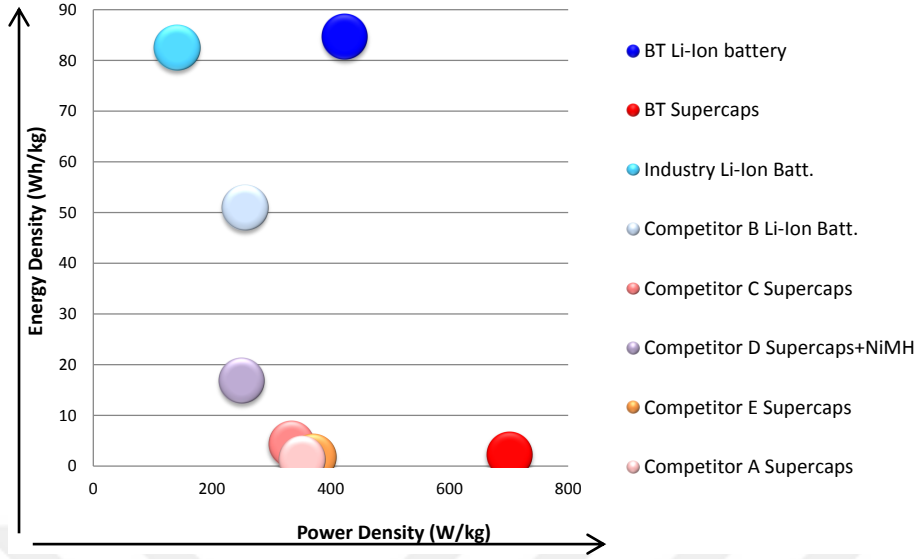


3.2.3 Bombardier Primove Batarya Sistemi

Bombardier firması katenersiz tramvay sistem çözümünde geliştirdiği batarya sistemini kullanmaktadır. Bu batarya sistemi Primove Lityum İyon bataryası olup, yüksek enerji yoğunluğuna(daha küçük hacimli, daha hafif), yeterli batarya rezervi (Uzun mesafeli hatlarda İklimlendirme ve tahrik sistemi için), Uzun batarya ömrüne sahip olması (yaklaşık 9 yıl), katenerli sistemle karşılaştırıldığında performans da kayıp yaşatmaması ile öne çıkmaktadır.

Firma tarafından kullanılan batarya grubu diğer batarya sistemleri ile karşılaştırıldığında yüksek performansa ve uzun ömürlü olduğunu Şekil 3.1 Batarya Performansı grafiğinde gösterilmektedir.

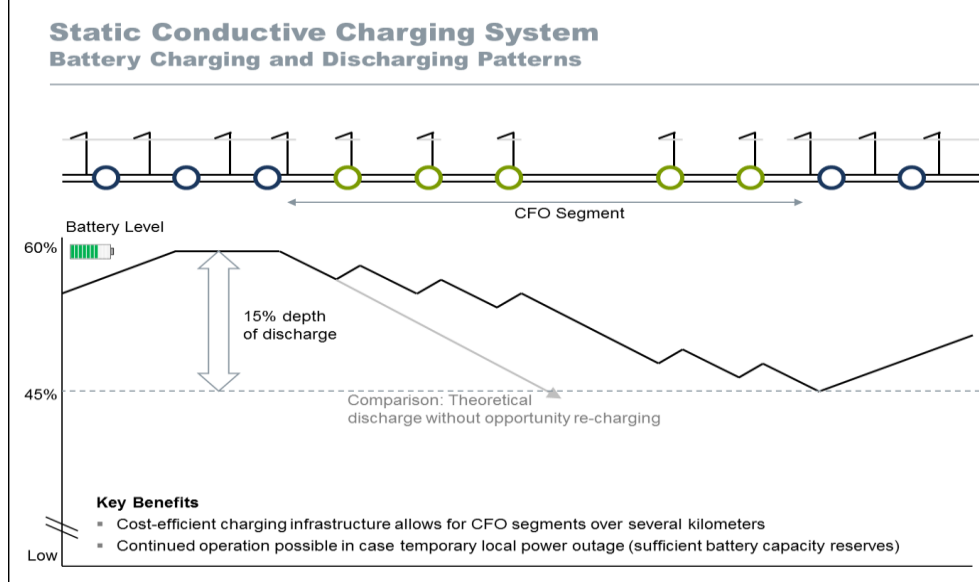
Şekil.3.16: Bombardier Batarya Performansı



Kaynak: Bombardier

Firma katensiz hatta kullanılacak araçta enerji yönetim sistemini oluşturarak, hattaki tüm olumsuzları dikkate alarak araç üstü enerji depolama ekipmanlarını ve kapasitelerini belirlemektedir. Bu enerji yönetim sisteminde firma daha güvenli bölgede kalabilmek için batarya şarj seviyesinde alt limit belirleyebilmektedir. Aşağıdaki şekil 3.18’de örnek bir çalışma da gösterilmektedir.

Şekil 3.17: Bombardier Batarya Şarj ve Deşarj Modelleri



Kaynak: Bombardier

3.3 BATARYALAR

Bataryalar, elektrokimyasal enerjiyi depoladıkları gibi devrelerine üreteç bağlandığında bu enerjiyi yeniden elektrik enerjisine dönüştürürler. Bataryalarında yapısında kullanılan kimyasal içeriğine göre farklı tipleri vardır. Genellikle, Ni-Cd, Ni-MH ve Li-On bataryaların kullanımı olmaktadır.

Bataryalar ve süper kapasitörler farklı enerji depolama özelliklerine sahiptir.

Tablo 3.2: Bataryalar ve süper kapasitörler karşılaştırılması

	Enerji Yoğunluğu	Güç	Beklenen Ömür(Döngü sayısı)
Süperkapasitör	Orta	Yüksek	1000000
Batarya	Yüksek	Düşük	2000

Bir bataryanın yüksek özgül enerji yoğunluğuna, daha kısa zamanda şarj edilebilme ve aynı zamanda büyük bir çalışma aralığına sahip olması gerekmektedir.

Özgül enerji yoğunluğu enerji kaynağının birim kütlesinde depolanan enerji miktarını ifade etmektedir. Özgül güç ise yine enerji kaynağının birim kütlesinin verdiği güç olarak tanımlanmaktadır. Tablo 3 'de araçlarda kullanılan ve gelişme altındaki bataryaların listesi verilmiştir.

Tablo 3. 3: Araçlarda kullanılan batarya çeşitlerinin özellikleri

Batarya tipi	Özgül Enerji (Wh/kg)	Enerji Yoğunluğu (Wh/l)	Özgül güç (W/kg)
Ni-Cd	50	100	200
Li-iyon (LiCoO ₂)	150	400	140
Li-iyon (LiMnO ₂)	120		100
Li-iyon (LiFePO ₄)	120	220	150

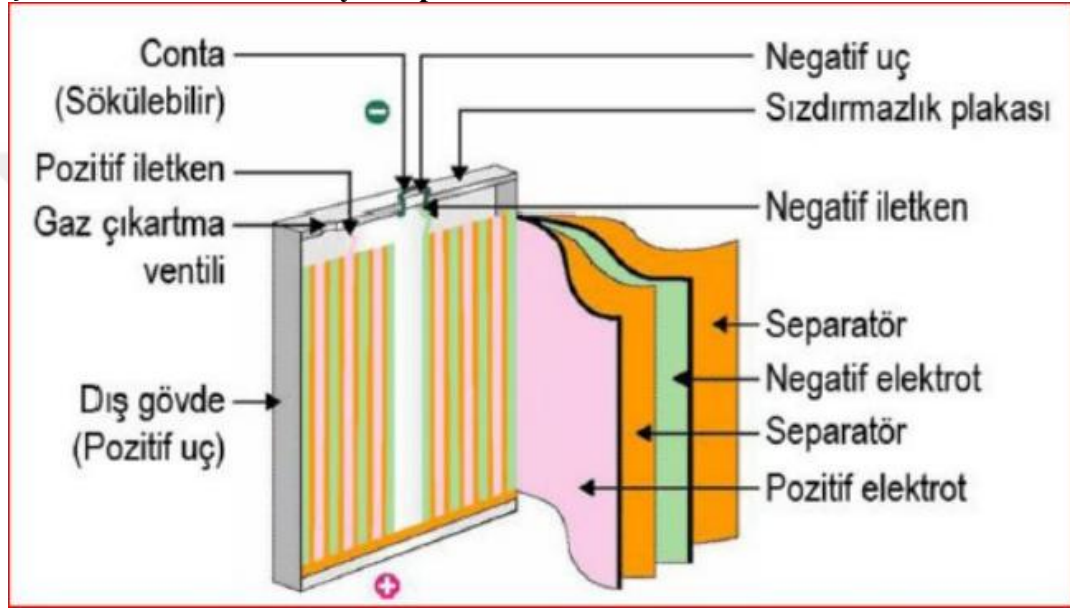
3.3.1 Nikel Kadmiyum

Nikel Kadmiyum (Ni-Cd) bataryada potasyum hidroksit bulunmaktadır. Nikel-kadmiyum bataryalar titreşimlere karşı dayanıklı aygıtlardır. Aşırı titreşim batarya yapısını olumsuz etkilemektedir. Bataryaları korumak amacıyla sarsıntılarını sönmüleyecek yumuşak bir muhafaza içinde bataryanın mümkünse ağırlık merkezine yakın sabit kalacak konumda yerleştirilir. Bataryanın ve koruma kapağının diğer sızıntılara karşı korunması gerekmektedir.

3.3.2 Lityum-İyon Batarya

Lityum-iyon bataryalar yapısal olarak lityum-katı polimer bataryalara benzemektedir. Deşarj esnasında lityum iyonları negatif “host”tan organik elektrot yardımıyla manganez, kobalt ya da nikel oksit pozitif “host”a geçer. Şarj sırasında da işlem tam tersi olarak gerçekleşir. Lityum iyonları katot ve anot arasında sarkaç gibi hareket eder. Bu bataryalar, şarjı yüzde 50 iken 1 saatten daha kısa sürede tekrar şarj yapılabilmektedir.

Şekil 3.18.: Li-Ion Batarya Yapısı



Kaynak:www.elektrikport.com.tr

Yüksek enerji yoğunluğu bulunan Lityum-katı polimer ve lityum-iyon bataryalar tramvaylar için en uygun potansiyele sahip enerji depolama aygıtları olarak değerlendirilmektedir. Bu bataryalar istenildiği zaman şarj edilebilirler olmasından dolayı tramvay sistemlerinde kullanılmaktadır.

3.4 SÜPER KAPASİTÖRLER

Süperkapasitörler hızlı ve yeniden şarj edilebilen, bataryalara göre daha fazla yükleme ve boşaltma yapabilen enerji depolama aygıtlarıdır. tekrardan şarj yapılabilir . Süper kapasitörlerin kullanım alanları arasında, elektrikli araçlar, tramvay araçlarında araç üstü enerji depolama sistemleri, dizel motor marş sistemleri, kablosuz güç cihazları, acil durum ve emniyet sistemleri sayılabilir. Günümüzde pek çok uygulamada, süper kapasitörler şarj edilebilir bataryalarla birlikte pilden daha yüksek bir güç ve çevrim ömrü elde etmek amacıyla kullanılmaktadır.

2009 yılında Süper kapasitörler LRV. havai katener telleri şehrin mimari mirasını koruma olmadan Heidelberg Tarihi Kent bölgesinde faaliyet sağlamaktadır. SC ekipman operasyonun ilk 15 yıl içinde tahsil edilecek beklenen €270,000 araç başına ek bir maliyettir. Bu Süper kapasitörler aracın planlanmış bir zaman mola istasyonlarında tahsil edilir. Bu yaklaşım birçok LRV şehir hatları tam rota yükleme için çok pahalı havai katener telleri hizmet etmek için izin verebilir.

Süperkapasitörlerin şarj olma süresi 15-20 saniye aralığında olup, kısa mesafeli durak arasında ve şarj istasyonlarının daha çok olduğu sistemlerde tercih edilebilmektedir. İstasyonlar arası mesafelerin uzun olması durumlarda sadece süper kapasitör kullanmak araç ağırlığının aşırı artmasına neden olabilmektedir. Bunun sebebi ise süper kapasitörlerin aynı enerji yoğunluğuna sahip batarya ile kıyaslandığında yaklaşık on kat daha ağır olacağı öngörülmektedir. İstasyon arası mesafenin uzak olduğu durumda süper kapasitörler batarya ile birlikte kullanılması tercih edilmektedir.

4 KATENERSİZ SİSTEMLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

4.1 ALSTOM APS SİSTEMİ

Alstom, eşdüzey bölümler boyunca, tren içinde taşınan pantograf ve kalıcı havai temas kablosu içeren konvansiyonel akım çekme sistemi yerine ray düzeyinde bir güç kaynağı sistemidir. APS sistemi, tramvay ray hattının iki ray arasına belirli bir kot farkıyla yerleştirilen özel bir enerji rayı sayesinde aracın enerji beslemesi sağlanır. Kent içi tramvay hatları korumasız hatlar olup, hattın karayolu ile kesişmesi olmaktadır. APS sistemi için iki ray arasına döşenen enerji rayının aks yükü mevcut rayların aks yüküne minimum eşdeğer dayanımda olması gerekmektedir. Firma yaşanan bu problemin kalıcı çözümü için gerekli çalışmaları başlatarak hatta kullanılan ray ile aynı seviyede aks yükü dayanımına sahip enerji rayı üretimini gerçekleştirmiş ve dayanımı 13,5 ton/aks yükseltmiştir.

APS sisteminin en büyük avantajı, katenerli sistemde olduğu gibi tramvaya sürekli enerji beslemenin olmasıdır. Bu durumda trafik sıkışıklığında, hat üzerinde herhangi bir olumsuzlukta(enerji besleme sistemi hariç) tramvay aracında performans kaybı yaşanmamaktadır. Genellikle aşırı güç ihtiyacı tramvay ilk hareketi için gerekli olup, hat üzerinde plansız dur kalklarda bu sistem etkilenmemektedir.

Sistemin dezavantajı olarak araç üstü enerji depolama sistemine göre karmaşık yapıya sahip olması, iklim şartlarında özellikle kış aylarında enerji rayının buzlanması ile temas sağlanamamakta ve enerji beslemesi kesintiye uğrayabilmektedir. Buzlanmadan dolayı Bordeaux hattında işletmede aksamalar yaşanmıştır. Kış mevsiminin ağır olarak yaşandığı şehirlerde buzlanma sorunu yaşanabilir.

Ayrıca 11 metrelik enerji rayı 3 metrelik izoleli kısmında arklanmaların yaşanabileceği belirtilmektedir. Enerji rayını temizleyen araçlar bunun için kullanılabilir. Diğer bir önlem ise buzlanmayı önleyen solüsyonlar kullanmaktır fakat kimyasallar hatta zarar verebilir.

Raylı sistemlerde enerji verimliliği en önemli husus olup, bu konuyla ilgili sürekli araştırmalar yapılmaktadır. Raylı sistemlerde rejenaratif frenleme ile enerji tüketimi daha alt seviyelere çekilmektedir. APS sisteminde rejenaratif frenleme güvenlik gerekçesiyle yapılmadığından enerji verimliliği yüzde 20 - 25 arasında düşmesi öngörülmektedir. Bu

nedenden dolayı uzun ve sefer sayılarının yüksek olduğu hatlarda enerji giderleri artacaktır.

Tramvay aracının sürekli enerji beslemesi saplandığından istasyonlar arası mesafeleri ve katenersiz hat uzunluğu istenildiği gibi düzenlenebilir.

APS sisteminin araç üzerinde anten, kontaklama kabini, enerji kollektörü vb gerekli ekipmanlar tesis edilmekte bununla birlikte hat üzerinde ilave yatırımlar gerekmektedir. Yapılacak sistemin uzunluğuna, hat1 ve hat2'nin konuşlandırılması ve kullanılacak malzemeye göre karşılaştırıldığında normal konvansiyonel sistemde kullanılan ekipmanlarla 3-4 kat maliyet artışı öngörülmektedir. Tramvay araçlarda ek olarak yapılacak ilave donanımlar da yaklaşık ilave yüzde 10 ile yüzde 15 arasında bir maliyet gelebilmektedir.

Bu sistem genel olarak incelendiğinde hat yatırım maliyetinin yüksek olması, araçta rejeneratif frenlemenin yapılamaması, ancak araca ilave süper kapasitör tesis edilmesiyle yapılabilmektedir. Kış aylarında kar ve tuzlama gibi durumlardan olumsuz etkilenmesi. Ayrıca, bu hattın deniz kenarında tesis edilecek olması iki ray arası gömülü sistemde oluşabilecek korozyon etkisinin öngörülememesi, çok fazla zemin altında donanım (ort. 1000 modül) bulunmakta ve bunların arıza sıklığı bilinmemektedir. Bu çözümler firmaların telifli ürünleridir

Firma tarafından katenersiz sistem seçimi aşağıda belirtilen kriterlere göre değerlendirilerek yapılması tavsiye edilmektedir.

1- Proje yerinin kontrolü,

a. İklim şartlarının çok sıcak olduğu ülkelerde AC kullanılır. Sıcak bölgelerde araç üstü enerji depolama sisteminin sıcaklığı çok yüksek değerlere ulaşması sorun olduğundan APS sistemi tavsiye edilir.

b. Kar ve sert kış koşullarını yaşayan ülkelerinde; 750 V akım toplama kollektörü ile APS veya diğer sistemlerde kar ve buzlanma sorun yaşatabileceğinden araç üstü enerji depolama sistemi tavsiye edilmektedir

2- Projenin özel gereksinimlerinin kontrolü; hattın eğiminin, istasyonlar arası mesafenin yüksek olduğu, karışık trafikte uzun ve düzenli şekilde çok durma-kalkmaların olması durumunda, araç üstü enerji depolama sistemleri söz konusu koşullarda performansı sağlamak için yüksek kapasiteli seçilmeli dolayısıyla araç

ağırlığını doğrudan artırmaktadır. Bu sebeplerden dolayı APS veya APS Hibrit sistemi tavsiye edilmektedir.

3- 1 Ve 2 no.lu çözümü teknik olarak yeterli bulunmadığı durumlarda, yatırım maliyeti, yatırım maliyeti ile işletme ve bakım maliyeti dikkate alınarak, düşük filo sayısı ve katenersiz hattın uzun olması durumunda araç üstü enerji depolama sistemi iyi bir seçim olacaktır. Aksine, filo sayısı yüksek ve katenersiz hattın kısa mesafeli olması durumunda APS teknolojisinin seçimi doğru bir seçim olacaktır.

$$\frac{\text{Filo Sayısı}}{\text{Katenersiz Hat Uzunluğu (km)}} > 2 \text{ APS sistemi yapılması uygun} \quad (4.1)$$

$$\frac{\text{Filo Sayısı}}{\text{Katenersiz Hat Uzunluğu (km)}} < 2 \text{ Araç üstü enerji depolama yapılması uygun} \quad (4.2)$$

4.2 ANSALDO TRAMWAVE SİSTEMİ

Ansaldo, eşdüzey bölümler boyunca, tren içinde taşınan pantograf ve kalıcı havai temas kablosu içeren konvansiyonel akım çekme sistemi yerine ray düzeyinde bir güç kaynağı sistemidir. APS sistemi, tramvay ray hattının iki ray arasına belirli bir kot farkıyla yerleştirilen özel bir enerji rayı sayesinde aracın enerji beslemesi sağlanır. Kent içi tramvay hatları korumasız hatlar olup, hattın karayolu ile kesişmesi olmaktadır. TramWave sisteminin en büyük avantajı, katenerli sistemde olduğu gibi tramvaya sürekli enerji beslemenin olmasıdır. Bu durumda trafik sıklığında, hat üzerinde herhangi bir olumsuzlukta(enerji besleme sistemi hariç) tramvay aracında performans kaybı yaşanmamaktadır. Genellikle aşırı güç ihtiyacı tramvay ilk hareketi için gerekli olup, hat üzerinde plansız durma- kalkmalarda bu sistem etkilenmemektedir.

Enerji rayının zemine döşenmesi ile su izolasyonu ve drenaj problemleri APS sistemine göre daha iyi seviyededir.

Araç üstü akım toplama kollektörünün enerji rayı ile teması kar ve buzlanma durumlarında yeterli seviyede sağlanamaz ve işletme kesintiye uğrayabilir. Bu durumda söz konusu problemin oluşmaması için gerekli önlemler alınmalıdır. Firma, bu sistemi ilk olarak Napoli tesislerinde 400 metrelik bir hatta testleri tamamlanmış ve ticari işletme de kullanılmaya başlanılmıştır. Firma Kasım 2013 yılında Çin CNR ile lisans

anlaşması imzalamış, Çin'in Zhuhai kentinde 8,9 km'lik TramWave sisteminin deneme işletmesini tamamlayarak ticari işletmeye vermiştir.

TramWave sisteminin yatırım maliyeti 3.000.000-4.300.000 €/km arasında hattın durumuna göre de değişmektedir. Bakım maliyeti olarak APS sistemi ile karşılaştırıldığında daha düşük seviyelerdedir. Bu sistemin hat yatırım maliyetinin yüksek, kış aylarında kar ve tuzlama gibi durumlardan olumsuz etkilenmesi, ayrıca, bu hattın deniz kenarında tesis edilecek olması iki ray arası gömülü sistemde oluşabilecek korozyon etkisinin öngörülememesi, çok fazla zemin altında donanım (ort. 1000 modül) bulunmakta ve bunların arıza sıklığı bilinmemektedir. Bu çözümler firmaların telifli ürünleridir

4.3 BOMBARDIER PRİMOVE SİSTEMİ

Bombardier firmasının primove sisteminde raylar arasında elektrik bobinlerle donatılması ve üzeri izolasyon malzemesi ile kapatılmaktadır. Araç üstü enerji depolama sisteminin şarj işlemleri istasyon bölgerinde tesis edilmekte fakat, hat üzerinde ihtiyaç olması durumlarında bazı bölgelere de tesis edilmektedir. Bu durumda tramvay hattının karayolu ile çakışması dolayısıyla aks yüklerine karşı dayanımlı olması gerekmektedir. Firma söz konusu sistemin dayanımı ile ilgili bilgi paylaşımı yapmamıştır.

İklim şartlarına karşı dayanımı konusunda kar ve buzlanmalar karşı endüktif sistem olduğundan bir problem yaşanmamaktadır. Trafik sıklığı konusunda zeminden sürekli enerji beslemeli sistem olmadığından önceden planlanan bazı bölgelere enerji besleme bölgeleri tesis edilebilir. Dolayısıyla trafik sıklığında yaşanacak olumsuz durumların önüne geçilebilmektedir. Bu sistem test aşamasındadır.

Firmanın bugün itibarıyla tesis ettiği bir sistem olmadığı için yatırım maliyetleri belli değildir.

4.4 CAF SÜPERKAPASİTÖR SİSTEMİ

Sıkışık trafik ve karayolu ile kesişen tramvay hatlarında, iki durak arası planlananın üzerinde durma ve kalkma işlemleri yaşanabilmektedir. Katenersiz sistemde araç üstü enerji depolama sisteminin kapasitesi hesaplanırken iki durak arası mesafeler, eğim, taşıma kapasitesi, sefer sıklığı, trafikteki olası dur-kalk sayısı, trafikle olan etkileşimi vb gerekli durumlar dikkate alınarak tespit edilir. Dolayısıyla enerji depolama sistemlerinin kapasitesi sınırlı olduğundan araçta enerji yönetim sistemi tesis edilmektedir. Bu

yönetim sisteminde, aracın herhangi bir nedenden dolayı hatta ilerleyememesi durumunda süreye

bağlı olarak (15dk sonra) indirgenmiş modda(havalandırma, ısıtma, aydınlatma ve klima sistemlerinin daha güçte) çalışmaya devam etmesidir. İki istasyon arası mesafelerin çok uzun olması araçta kullanılacak enerji depolama sistemin kapasitesinin yüksek olmasıdır. Bu da aracın ağırlığını artırması, aracın daha mukavim yapılması gibi nedenlerden dolayı da enerji tüketimi de artırmaktadır. Bu sebeplerin artması doğrudan araç maliyetine etki ederek maliyeti aşırı artırmaktadır.

Araç üstü enerji depolama sistemlerinin kar ve buzlanmaya karşı, diğer zeminden sürekli enerji beslemeli sistemlerde olduğu gibi riskleri minimum seviyelerdedir. Ancak çok sıcak iklim şartlarına sahip olan bölgelerde araç üzerinde konuşlandırılan sistemlerin korunması için özel önlemlerin alınmalı, bununla birlikte yaşanacak trafik sıkışıklığında, durmalarda vb. olumsuz durumlarda işletme de risk oluşturmaktadır.

Bu sistemde konvansiyonel sistemde olduğu gibi benzer yatırımların yapılması gerek olmayan sadece araç üstü enerji depolama sistem maliyetleri 300.000-400.000€ arasında değişmektedir. Batarya ve süperkapasitör ömrünün ortalama 8-10 yıl olması. Ömür döngüsü (30 yıl) 2 defa batarya ve süperkapasitör değişimini gerektirecek olması ve bunların bertaraf edilmesi gerekmektedir.

Süper kapasitörlerin yüksek performans, hızlı şarj edilebilme özelliğine karşın ömürleri bataryalarla aynı seviyede olduğu görülmektedir. Ayrıca kapasiteleri bataryalara göre daha düşüktür. Süper kapasitörler iki istasyon arası mesafelerin uzun olması durumlarda sadece tek başına tercih edilmezler, batarya ile birlikte kullanılmasına ihtiyaç vardır.

Teknolojik gelişmeler dikkate alındığında ileride birim ağırlık başına depolanan enerji (kWh/kg) miktarının artması ve maliyetlerin azalması öngörülmektedir. Tedarikçi sayısının çoktur. İşletme için ilave güvenlik tedbirlerine ihtiyaç yoktur.

Araç üstü enerji depolama sisteminde (Batarya ve süper kapasitör) herhangi bir sebeple arızalanması, enerjilerinin tükenmesi sonucunda aracı başka bir araçla hattan çekmek gerekmektedir. .

4.5 SİSTEMLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ ve DİĞER BATARYALI SİSTEMLER

Bombardier firmasının bataryalı çözümü; tedarikçi sayı sadece kendisi olup, telifli çözümdür. Siemens firmasının ve CAF firmasının bataryalı çözümümü

süperkapasitörle birlikte olması daha avantajlı olup, araç üstü ekipman maliyeti ve araca ekstra ağırlık getirmektedir. Yukarıda belirtilen sistemlerde hatta ilave bir maliyet getirmemekte olup,

tramvay araç maliyetini hattın güzergâhına, araçların çalışma sıklıklarına, katenersiz geçilecek bölgenin özelliklerine göre değişmektedir. Bu sistem araca gelecek ekstra maliyet 300.000 ile 400.000 € arasında değişmektedir. Batarya ve süperkapasitör ömrünün ortalama 8-10 yıl olması. Ömür döngüsü (30 yıl) 2 defa batarya ve süper kapasitör değişimini gerektirecek olması ve bunların bertaraf edilmesi gerekmektedir. Teknolojik gelişmeler dikkate alındığında ileride birim ağırlık başına depolanan enerji (kWh/kg) miktarının artması ve maliyetlerin azalması öngörülmektedir.

4.5.1 Alstom APS Sistemi

APS sisteminin yapısının kompleks, yatırım maliyetinin diğer araç üstü enerji depolama sistemlerine göre yüksek olduğu görülmektedir. Bununla birlikte tedarikçi sayısının sadece Alstom firmasının ve ürünün telifli olması rekabette sadece benzer sistem üreticisi olan TramWave ile yapılmaktadır. Kurulacak sistem, ihale edilecek hatla ilgili olup, hattın uzatılması durumu da dikkate alınarak gerekli arayüz ve entegrasyonlar sözleşmelerde ayrıca belirtilmelidir. İleride farklı bir firmadan temin edilecek araçların aynı hatta kullanılabilecek olmasının sağlanması gerekmektedir. Sürekli enerji temini olduğundan trafik sıklığı ve uzun süreli sefer aksamalarından etkilenmiyor ve istasyonlar arası mesafe sınırı yoktur.

4.5.2 Ansaldo Tramwave Sistemi

Firma, bu sistemi ilk olarak Napoli tesislerinde 400 metrelik bir hatta testleri tamamlanmış ve daha sonra Çin'de ticari işletme de kullanılmaya başlanılmıştır. Ansaldo, Kasım 2013 yılında Çin CNR firması ile lisans anlaşması imzalamış, Çin'in Zhuhai kentinde 8,9 km'lik TramWave sisteminin deneme işletmesini tamamlayarak ticari işletmeye vermiştir. TramWave sistemin yatırım maliyeti diğer araç üstü enerji depolama sistemlerine göre yüksek olup, kurulacak sistem öncelikle üretici firmanın araçlarının çalışmasına avantaj sağlamış olarak görüle bile ileride ilave araç alımında gerekli olan arayüzlerin sağlanması ve entegrasyonlar ayrıca sözleşmelerde belirtilmeli ki rekabet sağlansın. Bu sistemin bakım maliyeti APS sistemine göre minimum seviyelerde olduğu belirtilmektedir.

4.5.3 Bombardier Primove Sistemi

Bombardier firmasının telifli ürünü olup, tedarikçisi sadece kendisidir. Ayrıca firmanın sözkonusu sistemi bugün itibariyle sadece otobüs hattında ticari işletmede olduğu, raylı sistem hattında ticari işletmede olmadığından sistemin ileri de ne gibi sorunlar getireceği konusunda yeterli bilgi yoktur.

4.5.4 Siemens Sitra MES&HES Sistemi

Bu sistemde araç istasyona girerken şarj olmaya başlamakta ve istasyonu terk edinceye kadar şarj olmaya devam etmektedir. Buradaki şarj süresi ortalama 40-50 sn dir. Bunun en büyük avantajı aracın ilk hareket için ihtiyaç duyduğu enerjiyi pantograftan direk olarak kullanmasıdır. Bu araç üzerindeki enerji depolama ünitelerinin kapasitesi ve hacminde (%10-20) tasarruf yapılabilmektedir. Bu sistem henüz Katar da uygulama aşamasına geçmeyip, test işlemleri firma tarafından yapılmaktadır. Katenersiz sistem araç alımı için bir ihale açılırsa girebileceklerini beyan etmişlerdir.

4.5.5 Bombardier Batarya Sistemi

Bombardier firmasının telifli ürünü olup, tedarikçisi sadece kendisidir. Bu ürün diğer firmalara ait tramvay araçlarında kullanılmasının zor olduğu firma tarafından ifade edilmektedir. Katenersiz sistem araç alımı için bir ihale açılırsa girebileceklerini beyan etmişlerdir.

4.5.6 Caf Süper Kapasitör Sistemi

Firma ile Eminönü Alibeyköy tramvay hattının katenersi olması hususu görüşülmüş olup, söz konusu hat için uygun çözümleri olduğu ifade edilmiştir. Firma en son olarak Tayvan'ın Kaohsiung kentinde karışık enerji depolama sistemi uygulaması yapıp ticari işletmeye vermiştir. Katenersiz sistem araç alımı için bir ihale açılırsa girebileceklerini beyan etmişlerdir.

5 İSTANBUL'DA RAYLI SİSTEMLER VE TARİHÇESİ

5.1 RAYLI SİSTEM TARİHÇE

Kent içi raylı taşımacılıkta en önemli yeri olan tramvaylar, ilk önce Amerika'da 3 yıl sonrada Fransa(Paris) daha sonra ise Avrupa'nın diğer şehirlerinde kullanılmaya başlanmıştır.

İstanbul'da ilk tramvay hattı 31 Temmuz 1871 tarihinde Azapkapı-Beşiktaş arasında kullanılmaya başlanılmıştır. 30 Ağustos 1869 tarihli "Dersaadet'de Tramvay ve Tesis İnşaaası'na Dair Sözleşme" ile İstanbul caddelerinde yolcu ve eşya taşımacılığı için raylı sistem hatları inşa edilerek, atlar tarafından çekilen araba işletmeciliği yapılmış olup, faaliyet göstermiş olan şirket ise 'Dersaadet Tramvay Şirketi' dir.

Sekil 5.1: İstanbul'daki Tramvay hatlarının gösterimi



Azapkapı-Beşiktaş arasında ilk atlı tramvaylar çalışırken söz konusu hat Ortaköy'e kadar uzatıldı. Daha sonra Eminönü-Aksaray, Aksaray-Yedikule ve Aksaray-Topkapı hatları açılarak tramvay işletmeciliği yapılmıştır. Voyvoda'dan Kabristan Sokağı – Tepebaşı-Taksim-Pangaltı-Şişli, Bayezid-Şehzadebaşı, Fatih-Edirnekapı-Galatasaray-Tünel ve Eminönü-Bahçekapı hatları açıldı. Elektrikli Tramvaylar; İstanbul'un Avrupa yakasında 1961 yılında 5 yıl sonra ise Anadolu yakasında işletmeden çekilmiştir. Bunların yerine daha modern olarak gösterilen enerjisini katener sisteminden alan elektrikli otobüsler aldı ve 1984 yılından seferden kaldırılmıştır. Söz konusu otobüsler Trolleybüsler olarak

adlandırılmaktadır. Tramvayın Avrupa yakasındaki son seferi 12 Ağustos 1962'de, Şekil5.2'de görüldüğü üzere 128 no'lu tramvayla yapılmıştır.

Şekil 5.2: Tramvayın Avrupa yakasındaki son seferi, 12 Ağustos 1962



Kaynak: yarbis.yildiz.edu.tr

Sürat azlığı, bakım masraflarının ağırlığı nedeniyle kaldırılan tramvayların yerine konan trolleybüsler de çok uzun soluklu olmadı. Halk onlara "boynuzlu" adını taktı. En küçük bir sarsıntıda, boynuzları, üstteki telden kurtuluyor, şoför inerek, onları tekrar tellere yerleştirmek için çaba harcıyordu. Trolleybüslerin hızları düşüktü, manevra kabiliyetleri azdı. 1984 yılında seferden kaldırıldılar. İstanbullular, trolleybüsleri benimsemedikleri için, onları, tramvaylara yaptıkları gibi, duygulu törenlerle uğurlamadılar. Trolleybüsler, sessiz, sedasız, hayatımızdan silindiler.

Şekil 5.3: Trolleybüsler



Kaynak:İETT

T1 Bağcılar – Kabataş tramvay hattı, yaklaşık 350 bin yolcu/gün yolcu kapasitesi ile çalışmakta olup, İstanbul Avrupa Yakasında en çok kullanılan raylı sistem hattıdır. Hat güzergahında bulunan tüm istasyonlar cadde seviyesinde, sadece Topkapı istasyonu yer altında inşa edilmiş ve hat üzerinde toplam 31 istasyondan vardır. Hatta 1992 ve 2006 yılları arasında uzatmalar ilave edilerek hattın toplam uzunluğu 13.2 kilometre olmuştur.

Taksim-Kabataş föniküler hattı 2006 yılında hizmete girdi. Föniküler hattı Kabataş tarafından deniz hattını ve Kabataş-Bağcılar tramvay hattını ve Taksim’de Hacıosman Yenikapı metro hattını birbirine bağlamakta ve günlük 195 sefer yapmakta olup, 30.000 yolcu taşınmaktadır.

1992 yılında İstanbul metrosunun yapım çalışmaları Taksim - 4. Levent arasında başlamıştır. Taksim - 4. Levent metro hattı 2000 yılında hizmete girdi ve hattın kuzey tarafı Yenikapı’ya kadar güney tarafı da Hacıosman’a kadar uzatılmıştır. İstanbul’un ilk metrosu Yenikapı- Hacıosman güzergahında hizmet vermektedir.

İstanbul’un Anadolu yakasında Kadıköy – Kartal metro hattı Ağustos 2012’de ve Otogar-Kirazlı-Olimpiyatköy-Başakşehir metro hattı ise 2013 yılında hizmete açılmıştır. Bugün itibariyle İstanbul’da 145,45 km olup, gelecekte 35 milyon günlük yolcu hareketinin olacağı İstanbul da; raylı sistemlerin toplu taşımadaki payının yüzde

50'lere, raylı sistem uzunluğunun 2019 yılında 462 km,2019 sonrasında 776 km' ye uzaması hedeflenmektedir.

5.2 MEVCUT TRAMVAY HATLARI

5.2.1 Kabataş – Zeytinburnu – Bağlar Tramvay Hattı

İlk bölümü olan Sirkeci-Aksaray arası 1992 yılında açılan hat, önce Topkapı ve Zeytinburnu'na daha sonra Eminönü' ne bağlanmış, son olarak 29 Haziran 2006 tarihinde Kabataş bağlantısı ile Taksim-Kabataş Fünikülerine dolayısı ile Taksim-4.Levent metrosuna bağlanarak 4.Levent' ten Havalimanı' na kesintisiz raylı ulaşım sağlanmıştır.

T1 Hattı 2006 yılında hizmete alınan T2 Zeytinburnu - Bağcılar hattı ile 3 Şubat 2011'de birleşerek Kabataş'tan Bağcılara kesintisiz ulaşım sağlandı.Hattın toplam uzunluğu 18,5 kilometre ve 31 istasyondur. Hattın büyük bir kısmı tarihi yarımadadan geçmekte ve hat, karayolu trafiği ile kesiştiğinden ortak hemzemin yollar vardır. Hatta kullanılan tramvay araçları alçak tabanlı cadde tramvaylardır. Hat güzergahındaki tüm istasyonlarda engelliye ve bebek arabalı yolculara erişimine yönelik düzenlemeler yapılmıştır. Kabataş-Bağcılar tramvay hattı yolcu yoğunluğunun yüksek olduğu bir güzergahta hizmet etmektedir. Hatla ilgili işletme bilgileri aşağıda verilmiştir.

Tablo 5.1: T1 Hat verileri

Hat Uzunluğu	18,5 Km
İstasyon Sayısı	31
Vagon Sayısı	92
Vagon Sefer Süresi	65 dk
İşletme Saatleri	06:00 / 00:00
Günlük Yolcu Sayısı	320.000 Yolcu /
Günlük Sefer Sayısı	295 Sefer Tek Yön
Sefer Sıklığı	pik saatte 2 dk

5.2.2 Topkapı – Sultancıftlığı Tramvay Hattı

Topkapı – Sultancıftlığı Tramvay hattının günlük yolcu sayısı yaklaşık 150 bin yolcu olup, T1, M1 ve M2 hatlarının yolculuk sayılarından sonra gelen toplu taşıma sistemidir.

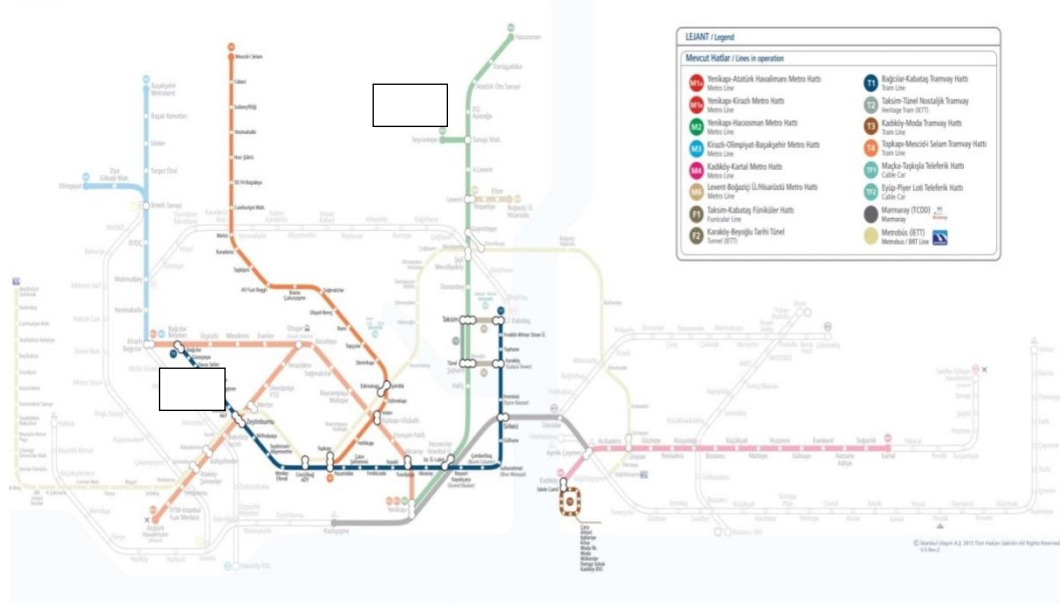
Bahse konu olan hat 2007 yılında hizmete açılmış ve 2009 yılında Edirnekapı-Topkapı kısmının da işletmeye açılması ile hattın uzunluğu 15,3 km olup, 22 istasyondur. Hatta yüksek tabanlı tramvay araçları kullanılmaktadır. T4 hattı, Şehitlik istasyonunda Metrobüs hattıyla Vatan istasyonunda M1 hattıyla Topkapı istasyonunda ise T1 hattı, ve Metrobüs hattıyla entegre durumdadır.

Tablo 5.2: T4 Hat verileri

Hat Uzunluğu	15,3 Km
İstasyon Sayısı	22
Vagon Sayısı	78
Vagon Sefer Süresi	42 dk
İşletme Saatleri	06:00 / 00:00
Günlük Yolcu Sayısı	95.000 Yolcu /
Günlük Sefer Sayısı	165 Sefer Tek Yön
Sefer Sıklığı	pik saatte 5 dk

Hat güzergahındaki istasyonlarda engelli ve bebek arabalı yolcuların erişimi için gerekli düzenlemeler yapılmış, istasyonlarında asansör ve yürüyen merdivenler konuşlandırılmıştır. Aşağıdaki Şekil 5.4 İstanbul Tramvay Hatları gösterilmektedir.

Şekil 5.4: İstanbul Tramvay Hatları



Kaynak: İstanbul Ulaşım A.Ş

6 EMİNÖNÜ – ALİBEYKÖY HATTI

İstanbul Büyükşehir Belediyesi, Raylı Sistem Daire Başkanlığı, Avrupa Yakası Raylı Sistem Müdürlüğü tarafından ihalesi yapılacak Bayrampaşa-Eyüp-Eminönü Raylı Sistem Projesi kapsamındaki “Eminönü-Alibeyköy Tramvay Hattı Projesi” dir. Ulaşım etüdünde, tramvay projesinin işletmeye açılacağı 2019 yılı ile 2040 yılı arasındaki değerlendirme dönemi içinde, hattın kesimleri üzerinde gelecekte ortaya çıkması beklenen yolculuk talepleri tahmin edilmiştir.

6.1 GÜZERGAH VE HAT ÖZELLİKLERİ

Proje alanı Fatih İlçesi Eminönü Meydanı’ndan başlayıp, kuzeye doğru Unkapanı, Fener, Eyüp, Silahtarağa, Alibeyköy’e kadar olan Haliç’in batı sahili boyunca uzanmaktadır. Bu haliyle Fatih ve Eyüp olmak üzere İstanbul’un iki ilçesini kapsamaktadır.

Proje güzergâhı genel olarak Fatih ve Eyüp ilçelerinden geçse de; konumu ve tarihi yapısı itibariyle İstanbul’un en önemli toplu taşıma güzergahlarından birisi olmaya adaydır. Mevcut, imalatı devam eden ve planlanan güzergâhlarla; Bağcılar-Kabataş Tramvay Hattı (T1) ile Eminönü’nde, mevcut Hacıosman-Yenikapı Metro Hattı (M2) ile Küçükpazar İstasyonu’nda, mevcut Beylikdüzü-Söğütluçeşme Metrobüs Hattı ile Feshane İstasyonu’nda, planlanan Bayrampaşa-Eyüp tramvay hattı ile Feshane İstasyonu’nda, mevcut Eyüp-Piyerloti Teleferik Hattı (TF2) ile Eyüpsultan’da, planlanan Kazlıçeşme Söğütluçeşme Metro Hattı ile Silahtarağa İstasyonu’nda, planlanan Eyüp-Yeşilpınar Teleferik Hattı ile Sakarya Mahallesi İstasyonu’nda, inşaat çalışmaları devam eden Mecidiyeköy-Mahmutbey Metro Hattı (M7) ile Alibeyköy İstasyonu’nda ve hattın son istasyonunda da Alibeyköy Cep Otogarı ile birlikte Seyrantepe-Alibeyköy Metro Hattı ile entegre olduğundan dolayı İstanbul’un birçok ilçesine hizmet edeceği ve kentin toplu ulaşım sisteminin çok önemli bir halkası olacağı öngörülmektedir.

Proje güzergâhının başlangıcı olan Eminönü Meydanı ve Çevresi kentin önemli turizm alanlarından. Bölgede bulunan ve ünü dünyaya yayılmış tarihi yarımadaadaki çarşılar ve alışveriş merkezleri gerek İstanbul içinden gerekse de dışından önemli oranlarda yolculuk çekmektedir. Tarihi Mısır Çarşısı, Kapalı Çarşı, vs. bunların başında gelmekte olup, bölgenin geleneksel ticaret merkezleridir.

Proje güzergahı genel olarak Haliç'in Batı Yakası boyunca uzanmakta ve Haliç kıyısından geçen Sahil Yolu ile deniz arasında kalan rekreasyon alanlarının içerisinde geçmektedir. Topoğrafik olarak genelde düz ve engebesiz bir arazi yapısı bulunmaktadır. Güzergah tasarımı esnasında mevcut tarihi yapılar ve kalıntılar ile rekreasyon alanı içerisindeki mevcut ağaçların mümkün olduğunca korunmasına özen gösterilmiştir. Ayrıca bölgedeki mevcut ve planlanan altyapı hatları ve teknik gereklilikler de dikkate alınmıştır.

Bölgedeki karayolu ağı, planlanan raylı sisteme paralel olarak oluşmuş olduğundan, planlanan hattın imalatının yapılmasına müteakip toplu taşıma olanaklarının gelişeceği öngörülmekte olup, bu durum bölgenin karayolu trafiğinde de ciddi azalmalara neden olacağı öngörülmektedir.

Şekil 6.1: Proje Güzergahı ve Etki Alanlar



Karayolu ulaşım altyapısı ve kesişmeler proje güzergahı mevcut Eminönü – Alibeyköy Sahil Yolu'na paralel geçmektedir. Proje başlangıcında Karaköy – Eminönü bağlantısını sağlayan Galata Köprüsü Yolu ile kesişmeden kaçınmak ve hattın fonksiyonelliğini arttırmak adına ilk istasyon Eminönü otobüs duraklarının olduğu bölgede öngörülmüştür. Devamında Unkapanı – Şişhane bağlantısının kentin önemli bir ulaşım aksı olması ve Haliç'in iki yakasını birbirine bağlayan en önemli karayolu akslarından birisi olması dolayısıyla tramvay hattının kesişimi kaçınılmaz olduğundan burada

planlanan tramvay hattının alta alınması öngörölmüş ve tasarım buna göre planlanmıştır.

Şekil 6.2: Unkapanı-Şişhane Karayolu Bağlantısı ile Tramvay Hattı İlişkisi



İstanbul için öngörölen ve Haliç'in her iki yakasını deniz altından bağlaması planlanan Unkapanı – Kasımpaşa Bağlantı Tüneli Projesi yapılan toplantılarda değerlendirilmiş olup, bu rapor hazırlanırken elde henüz somut bir tasarım olmadığından hat tasarımında dikkate alınmamıştır.

Proje güzergahı hattın devamında tamamen rekreasyon alanlarından geçmekte olup Alibeyköy Merkez İstasyonu'na kadar herhangi bir mevcut karayolu aksıyla kesişme söz konusu değildir. Buradan sonra sırasıyla mevcut olan Kazım Karabekir Caddesi, Sevinç Caddesi, Dere Sokak, Namık Kemal Caddesi ve Yavuz Selim Caddesi'ni hemzemin olarak sinyalize kesmesi planlanmıştır.

Şekil6.3: Kazım Karabekir Caddesi,Sevinç Caddesi, D ere Sok. ile Tramvay Hattı İlişkisi



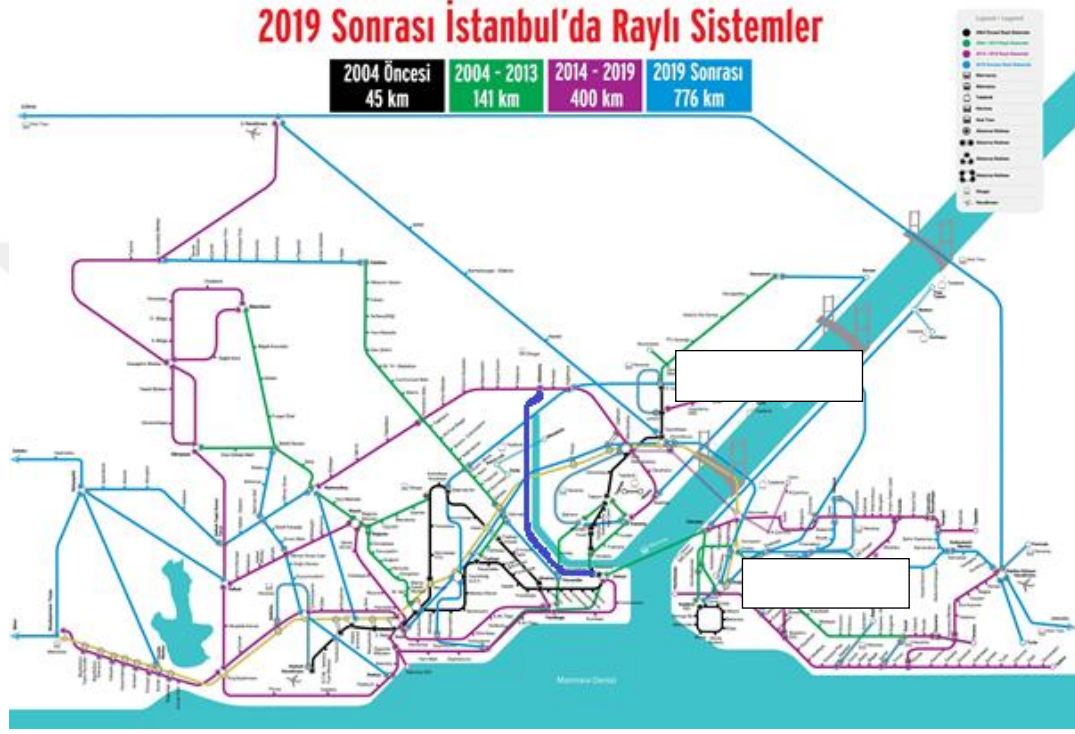
Şekil 6.4: Yavuz Selim Caddesi ile Tramvay Hattı İlişkisi



Planlanan Eminönü Alibeyköy hattı; Bağcılar-Kabataş Tramvay Hattı (T1) ile Eminönü İstasyonu'nda, Hacı Osman-Yenikapı Metro Hattı (M2) ile Küçükpazar İstasyonu'nda, tasarlanan Bayrampaşa-Eyüp tramvay hattı ile Feshane İstasyonu'nda, Eyüp-Piyer Loti Teleferik Hattı (TF2) ile Eyüp Teleferik İstasyonu'nda, tasarlanan Kazlıçeşme-Söğütlüçeşme Metro Hattı ile Silahtarağa İstasyonu'nda, tasarlanan Eyüp-Yeşilpınar Teleferik Hattı ile Sakarya Mahallesi İstasyonu'nda, inşaat çalışmaları devam eden

Kabataş-Mecidiyeköy-Mahmutbey Metro Hattı (M7) ile Alibeyköy Metro İstasyonu'nda entegre olup raylı sistemler hatları için oldukça önemli bir geçiş noktası olması öngörülmektedir.

Şekil 6.5: Planlanan hattın istanbul mevcut raylı sistemler ağı haritasındaki konumu

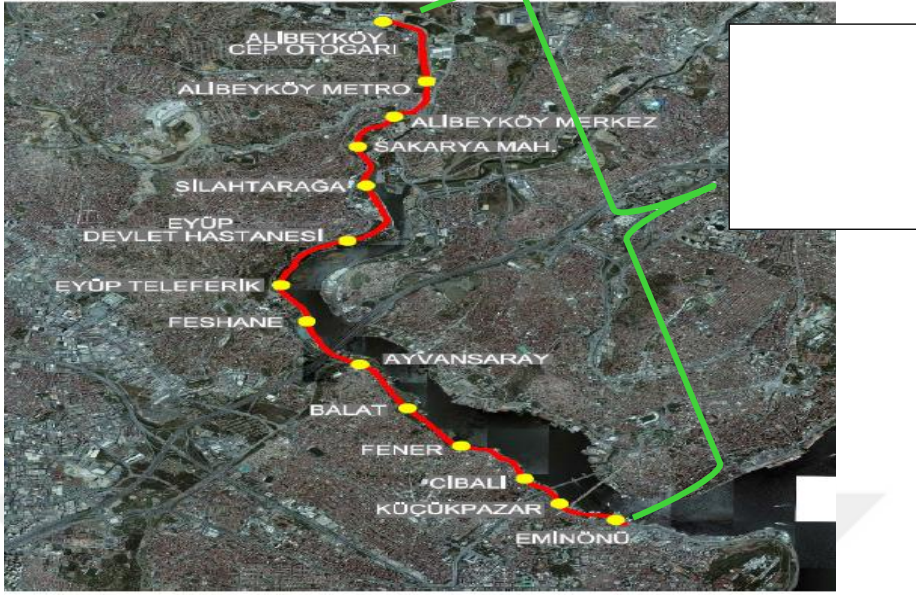


Kaynak:istanbulmetrosu.com.tr

6.2 KATENERSİZ BÖLÜM

Eminönü-Alibeyköy tramvay hattının tamamı 10,065 km'si tamamen katenersiz sistem olması planlanmaktadır. Hattın sonunda Alibeyköy Cep Otogarı İstasyonunun sonunda konuşlandırılacak depo sahasının tamamı ve depo sahasına giriş yapılacak bölgede konvansiyonel katener sistemi ile tesis edilecektir.

Şekil 6.6: Eminönü-Alibeyköy Güzergah Planı



6.3 HATTIN TEMEL PARAMETRELERİ

Yukarıda da belirtildiği üzere Eminönü-Alibeyköy tramvay hattının güzergahı, Eminönü Meydanı'ndan başlayarak Haliç kenarından gitmekte ve Alibeyköy Cep Otogarının yanında sonlanmaktadır. Güzergahın uzunluğu 10,065 Km.dir. Minimum yatay kurp yarıçapı 50 metre, maksimum boyuna eğim max. Yüzde 6 olarak planlanmıştır. Hattın tasarım hızı korumalı kesimlerde 70 Km/saat, korumasız kesimlerde ise 50 Km/saat olarak planlanmıştır.

Proje güzergâhı üzerinde toplam 14 istasyon noktası öngörülmüştür. Bu istasyonlar mevcut otobüs durakları ve bölgedeki yolculuk üretim-çekim alanları ile uyumlu olacak şekilde tespit edilmiştir. Birbirleri ile entegre olması gereken toplu taşıma hatları için ayrıca entegrasyon durakları düşünülmüştür.

Planlanan durakların tamamı, mevcut araç nitelikleri doğrultusunda yan peron olarak belirlenmiştir. Başlangıç ve bitiş durakları işletme açısından fonksiyonelliği arttırmak ve geri dönüşleri kolaylaştırmak adına E tipi durak şeklinde öngörülmüştür. Ayrıca Feshane Durağı işletme sırasında ortaya çıkabilecek farklı senaryolar da göz önüne alınarak üçlü peron şeklinde düşünülmüştür.

Eminönü Meydanı tarafından başlamak üzere planlanan tramvay durakları:

İstasyonlar	Kilometre	Ara Mesafeler(m)
Eminönü	0+600	0
Küçükpazar	0+710	650
Cibali	1+204	494
Fener	1+999	795
Balat	2+749	750
Ayvansaray	3+538	789
Feshane	4+398	860
Eyüp Teleferik	4+988	590
Eyüp Devlet Hastanesi	5+938	950
Silahtarağa	6+978	1040
Sakarya Mahallesi	7+607.5	629.5
Alibeyköy Merkez	8+208	600.5
Alibeyköy Metro	8+898	690
Alibeyköy Cep Otogarı	10+065	1167

6.4 ARACIN YERİNE GETİRMESİ GEREKEN ŞARTLAR

Eminönü-Alibeyköy hattının ihalesi anahtar teslimi olarak yapılması öngörülmektedir. Tramvay araç alımı ve hattın yapım işi ihale çalışmaları devam etmekte olup, henüz ihale ilanı yapılmamıştır. Hatta kullanılacak araçlar ilk defa bu hatta kullanılacağından bu hatta ait araç teknik şartnamesinde belirtilen şartları sağlaması gerekmektedir.

- Raylar arası açıklık 1435 mm
- Dingil yükü AW3'te (6 yolcu/ m2) ≤ 11500 kg
- Araç genişliği 2650 mm
- Kapı eşik yüksekliği (ray mantarı tepesinden) 350mm
- Düşük taban yüksekliği 350-400mm

- Maksimum eğim..... yüzde 6.5
- Maksimum hız 60 km/h
- Hat gerilimi; anma 750 VDC
- Minimum yatay kurp yarıçapı(AW-3 yükle) 25 m
- Minimum yatay kurp (yüksüz)..... 20 m
- Minimum düşey kurp yarıçapı 300 m
- Araçta yolcular için iklimlendirme sistemi ile donatılması olacaktır. Katenersiz sistemin tamamında herhangi bir performans düşüşü yaşanmayacaktır.
- Trafik sıkışıklığı dahil araç performansında herhangi bir düşüş yaşanmayacaktır.
- Araç genişliği 2.65 m olmalı, mevcut T1 hattı ile fiziksel bağlantı olacağından araçların ağır bakımları hat sonunda kurulacak depo bakım sahasında değil Esenler bakım atölyesinde yapılması planlanmaktadır.
- Hat Haliç kıyısına paralel gittiğinden durakları arasındaki bazı kesimlerde, tramvaya yayalardan geçiş hakkı sağlamak mümkün değildir.
- Hat İstanbul'un tarihi tarihi ve turistik alanlarından geçtiği için, tramvayın tesadüfi duruşları söz konusu olabilecektir.

6.5 SEÇİLECEK SİSTEMİN SÜRÜŞ KONSEPTİ

Yeni inşaa edilecek hat, Fatih İlçesi Eminönü Meydanı'ndan başlayıp, kuzeye doğru Unkapanı, Fener, Eyüp, Silahtarağa, Alibeyköy'e kadar olan Haliç'in batı sahili boyunca uzanmaktadır. Hattın depo bölgesi hariç tamamı katenersiz olarak tesis edilecektir. Hattın tamamı sahil boyu karayoluna paralel gitmesi, kimi yerlerde trafik ile kesişmesi olacağından tramvayın sık sık duruş ve kalkış işlemi yapması gerekmektedir. Sunulan haritalardan yola çıkarak, zeminden sürekli enerji beslemeli sistem sürüş tasarımı esnasında, makas geçişlerinde enerji beslemesi olamayacaktır. Bu sebepten dolayı acil durumlarda da kullanılabilecek ilave araç üstü depolama sistemine ihtiyaç duyulacaktır.

Batarya kapasitesini hesaplarken varsayımlara yer vermeden en ağır senaryo ile çalışılmalıdır. Söz konusu makas geçişlerinde veya olası sürekli enerji beslemeli sistemin arızalı bölümleri en yüksek tüketim tahminleri olarak dikkate alınmalıdır. Şayet araç üstü enerji depolama sisteminin kapasitesi yetersiz olarak tasarlanacak olursa, aşağıdaki senaryo söz konusu olabilir:

-Hatta kalan tramvayın yanına çalışan tramvay gelir, hatta kalan tramvayı makas bölgesinden veya enerjisiz bölgeden enerjili bölgeye itmeye çalışır.

Ayrıca idarelerin işletme talebine göre acil durumlarda kullanılmak üzere dizel ray temin edebilir ve hatta kalan tramvay aracını depoya çekebilir. Bu durumda işletmede kesintiye sebebiyet verebilir.

6.6 İŞLETME SİMÜLASYON PARAMETRELERİ

Siemens firması araç üstü enerji depolama sistemi olan süperkapasitör ve batarya sistemi ile ilgili Eminönü-Alibeyköy hattı için bazı simülasyon çalışmaları yapmıştır. Bu çalışmalarda hat için hazırlanan fizibilite yolculuk sayıları dikkate alınarak hazırlanmıştır. Aşağıdaki tabloda yolculuk sayıları 2019 yılı ile 2043 yılları arasında ki Eminönü-Alibeyköy ile Alibeyköy-Eminönü yönünde taşınacak yolculuk sayılarını göstermektedir.

Tablo 6.1: Eminönü-Alibeyköy Yolculuk Dağılımı

Yıl	Eminönü-Alibeyköy Tramvay Hattı		
	Eminönü-Alibeyköy Yönü	Alibeyköy-Eminönü Yönü	
2019	5.875	2.732	yolcu/saat/yön
2020	6.758	3.265	yolcu/saat/yön
2021	7.775	3.901	yolcu/saat/yön
2022	8.944	4.662	yolcu/saat/yön
2023	10.289	5.571	yolcu/saat/yön
2024	10.507	5.689	yolcu/saat/yön
2025	10.729	5.809	yolcu/saat/yön
2026	10.956	5.932	yolcu/saat/yön
2027	11.188	6.058	yolcu/saat/yön
2028	11.425	6.186	yolcu/saat/yön
2029	11.667	6.317	yolcu/saat/yön
2030	11.914	6.450	yolcu/saat/yön
2031	12.166	6.587	yolcu/saat/yön
2032	12.423	6.726	yolcu/saat/yön
2033	12.686	6.869	yolcu/saat/yön
2034	12.955	7.014	yolcu/saat/yön
2035	13.229	7.162	yolcu/saat/yön
2036	13.509	7.314	yolcu/saat/yön
2037	13.795	7.469	yolcu/saat/yön
2038	14.086	7.627	yolcu/saat/yön
2039	14.385	7.788	yolcu/saat/yön
2040	14.689	7.953	yolcu/saat/yön
2041	15.000	8.121	yolcu/saat/yön
2042	15.317	8.293	yolcu/saat/yön
2043	15.641	8.469	yolcu/saat/yön

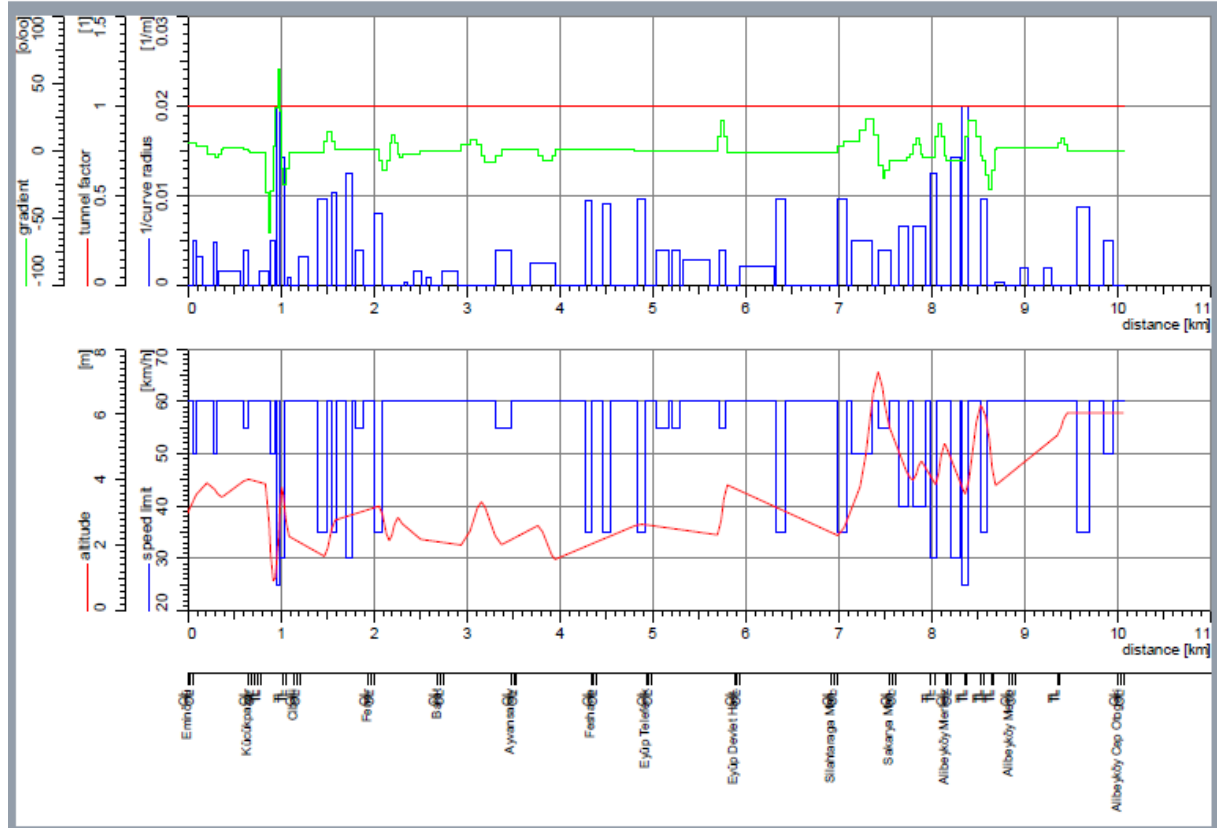
Bununla birlikte aşağıda belirtilen araç parametreleri de simülasyonda kullanılmıştır.

- Dingil yükü AW3'te (6 yolcu/ m2) ≤ 11500 kg
- Araç genişliği 2650 mm

- Araç boyu.....2x(28-30)m
- Maksimum eğim..... yüzde 6.5
- AW3’de Hızlanma ivmesi 1.2 m/s²
- Maksimum frenleme ivmesi (normal servis freni ile) 1.4 m/s²
- Acil fren ivmesi..... 2.8 m/s²
- Maksimum hız 60 km/h
- Hat gerilimi; anma 750 VDC
- Jerk.....1m/s³
- Tramvay taşıma kapasitesi.....250 kişi/tramvay
- Sefer Sıklığı:
 - 2019 yılı için 5 dak.
 - 2043 yılı için 2 dak

Hat topoglojisi, kurplardaki hız limitleri, trafik ışıklarını içeren sürüş grafik Şekil 6.7 ‘de aşağıda verilmiştir.

Şekil 6.7:Hat Plan Profiline Göre Sürüş



Kaynak :Siemens

Yapılan değişik hız durumları dikkate alınarak en optimum sürüş modu tanımlanmak istenilmektedir. Katenersiz sistemde araç sürüşü tamamen sürücü tarafından yapılmakta olup, burda sürüş hızı da ön plana çıkmaktadır. Firma yaptığı 60km/h, 50km/h ve 40 km/h hızlarda simüle ederk sürüş yapıldığını ve optimum sürüş hızı olarak 50km/h belirttiğini ve söz konusu şürüşle ilgili aşağıdaki Şekil6.8'de grafik halinde gösterilmiştir. Aşağıdaki grafikte gösterilen kısaltmalar:

CL:Geri dönüşümsüz Katener Hattı(Contact Line without recuparition)

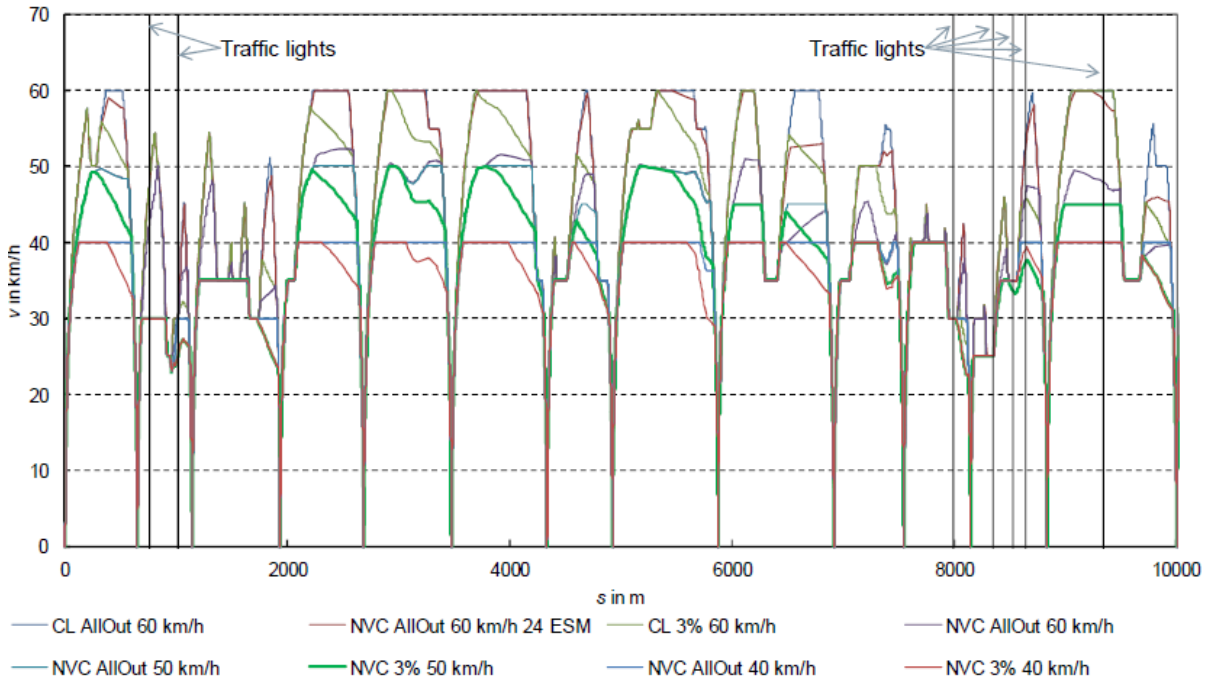
ESS: Enerji Depolama Sistemi(Energy Storage System)

AO: Tam gaz(All out)

TC: yüzde 3 oranında beklenmedik durum(Time Contingency 3%)

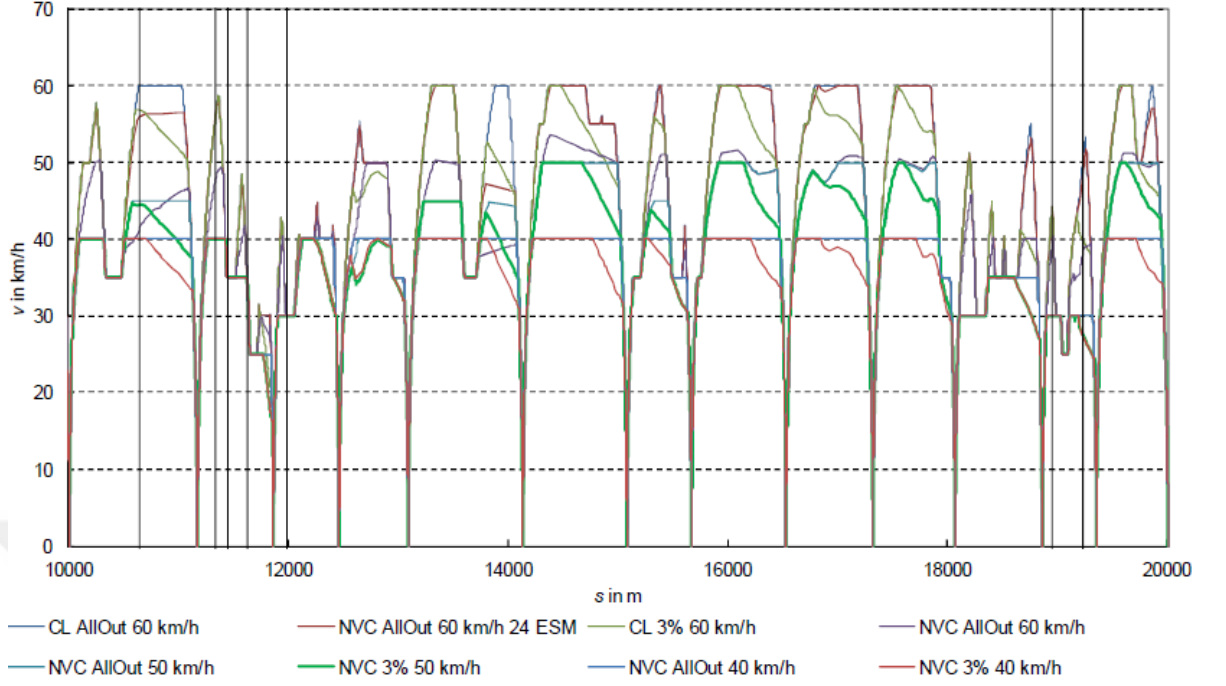
NVC: Katenersiz Tramvay (operation without contact line)

Şekil 6.8:Eminönü'den Alibeköy tarafına Değişik Hızlarda yapılan Sürüşler



Kaynak :Siemens

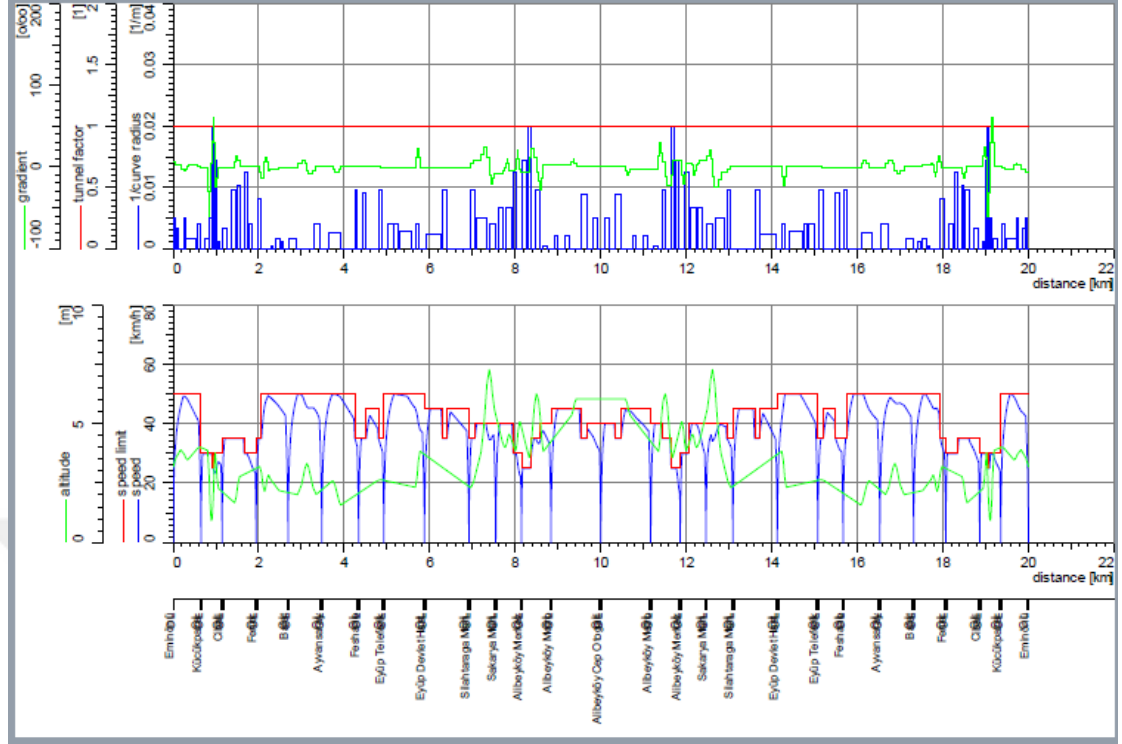
Şekil 6.9 :Alibeyköy–Eminönü Arası Değişik Hızlarda yapılan Sürüşler



Kaynak :Siemens

Yukarıdaki iki Alibeyköy'den Eminönü tarafına, Eminönü'den Alibeyköy tarafına yapılan katenersiz sürüş grafikleri incelendiğinde 50km/h ile yapılan tam gaz sürüşü, seyahat süresi de dikkate alındığında optimum sürüş modu(hızı) olarak görülmektedir. Firma söz konusu hat ile ilgili optimum sürüşü içeren değerlendirme grafiğini Şekil6.10'de aşağıda gösterilmiştir.

Şekil 6.10: Araç Üstü Enerji Depolama Sistemi ile Optimum Sürüş

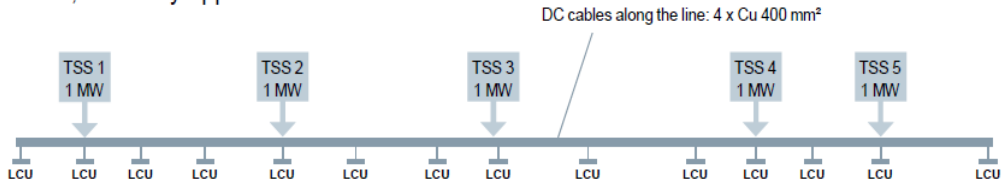


Kaynak :Siemens

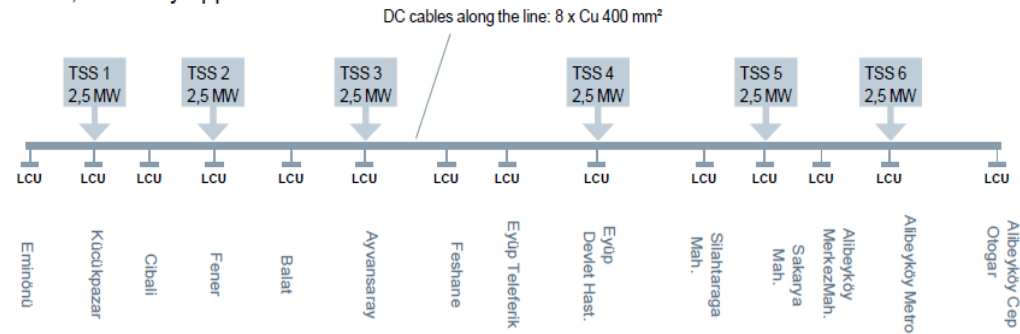
Tüm bu sürüş simülasyonu sonucunda 2019 yılı ile 2043 yılları için hattın enerji besleme ihtiyacı belirlenmiş olup aşağıdaki Şekil 6.11 'de grafik halinde belirtilmiştir.

Şekil 6.11: 2019 yılı ile 2043 yılları için enerji Besleme İhtiyacı

2019, headway approx. 5 min



2043, headway approx. 2 min



Kaynak :Siemens

Siemens tarafından yapılan tüm simülasyon çalışması incelendiğinde; AW3 yükünde yapılan sürüşte, tramvay aracının tasarımı müşteri ihtiyacına göre ve hattı topolojisine göre enerji verimliliği değişebilmektedir. Güvenli enerji besleme sisteminin iyi olduğu, konvansiyonel katener sistemle yatırım maliyetinin karşılaştırılmasında, önemli bir şekilde düşük olduğunu, düşük bakım maliyeti, tramvay enerji depolama sistemi dahil özel bir bilgiye ihtiyaç olmadığını, 2019 yılı ile 2043 yılları arasındaki enerji ihtiyacının belirlendiği ve yönetebilir olduğu, 50km/h lik sürüşün yüzde 3 oranında beklenmedik durum dikkate alındığında optimum sürüş olduğu, bu sürüşün yolcular için konforlu ve işletme için ise de en ekonomik sürüş olduğu öngörülmektedir.

6.7 KATENERLİ VE KATENERSİZ HATLAR ARASI GEÇİŞ

Eminönü-Alibeyköy tramvay hattı tamamen katenersiz sistem olarak tesis edilmesi planlanmaktadır. Ana hat dışında kalan Depo-Bakım-Parklanma Sahası,'nda ve Depo-Bakım Sahası'na erişim yollarında ise Konvansiyonel Havai Hat Katener Sistemi (OCS) tesis edilecektir.

Araçların diğer hatlarda olası çalışma durumu ve depo sahası kullanım şartları da dikkate alınarak araç üzerindeki pantograf üzerinden de her halükarda katenerden besleme olacak şekilde tasarım yapılması planlanmaktadır.

Aracın, katenerli olan depo sahasına giriş çıkışlarında, konvansiyonel katener sistemi ile katenersiz besleme sistemi aralarındaki geçiş, otomatik algılamalı olacak ve pantograf otomatik olarak kaldırılıp indirilecektir. İstenildiğinde sürücü kabininde bulunan bir buton sayesinde sürücü, pantografı emniyetli bir şekilde indirip kaldırabilecektir. Pantografin otomatik veya manuel geçişinde kalkma veya inme süresi herbiri için en fazla 7 saniye olacaktır. Bu durumlarda arklanma olmayacaktır.

7 SONUÇ VE ÖNERİLER

İstanbul'da ilk tramvay yapımı 1871 yılında Azapkapı-Beşiktaş arasında yapılmış, ilk atlı tramvaylar bu güzergahta kullanılmaya başlanılmış ve hat Ortaköy'e kadar uzatıldı. İstanbul Avrupa Yakasında elektrikli tramvaylar 1961 yılında, Anadolu yakasında ise 1966 yılında hizmetten çekildi. Daha sonra trolleybüsler 1961 yılında işletmeye alındı ve sözkonusu trolleybüsler 1984 yılında seferden kaldırıldı.

İstanbul Büyükşehir Belediyesi 2019 yılı ve sonrası için raylı sistem hedeflerinden birisi de Eminönü-Alibeyköy raylı sistem hattı olup, söz konusu hattın yapımını ihale etmek için 2015 yılından itibaren yoğun bir çalışmaya başlayarak 2016 yılı içerisinde çalışmaların tamamlanması öngörülmektedir. Hat tamamen katenersiz sistem çözümüne göre projendirilerek ihalesi yıl içerisinde yapılması hedeflenmektedir.

Eminönü-Alibeyköy raylı sistem hattı; Eminönü Meydanı'ndan başlayarak Haliç kenarını takip ederek Alibeyköy Cep Otogarı yanında hat sonlanmakta ve Alibeyköy Cep Otogarı öncesinde Depo-Atölye konuşlandırılmıştır. Güzergahın uzunluğu 10,065 Km.dir. Minimum yatay kurp yarıçapı 50 metre, maksimum boyuna eğim yüzde 6 olarak planlanmıştır. Hattın tasarım hızı korumalı kesimlerde 70 Km/saat, korumasız kesimlerde ise 50 Km/saat olarak planlanmıştır.

Hattın katenersiz olarak inşa edilmesine karar verilmesinden sonra konuyla ilgili katenersiz tramvay sistemleri üreten firmalarla görüşülmüş, katenersiz hatların bazılarını inceleme yapılmış ve Eminönü-Alibeyköy raylı sistem hattı için en uygun katenersiz sistem araştırılmıştır. Konuyla ilgili katenersiz sistem çözümleri şunlardır;

1. Enerji Depolamalı Sistemler

- a. Süper Kapasitör + Batarya (Fiziksel Temaslı)
- b. Batarya (Fiziksel Temaslı)
- c. Süper Kapasitör + Batarya (Endüktif Transferli)

2. Zeminden Sürekli Enerji Beslemeli Sistemler

- a. Elektronik Bölümlere Ayrılmış (Fiziksel Temaslı)
- b. Mekanik Bölümlere Ayrılmış (Fiziksel Temaslı)

olmak üzere iki sistem üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Sözkonusu sistemlerin avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır.

Enerji Depolamalı Sistemlerin avantajları;

- a Hatta ekstra bir donanım gereksinimi yoktur, dolısıyla hat maliyetleri düşüktür.
- b Regeneratif frenleme sisteminin ürettiği enerjinin geri kazanımı var.
- c Araçlar diğer hatlarda da kullanılabilir,
- d Enerji kesintilerinde ilave bir donanıma gerek duymadan (jeneratör) yolcuları en yakın istasyona kadar götürebilir.
- e Zeminden sürekli enerji beslemeli sisteme göre daha basit bir yapıya sahiptir
- f Teknolojik gelişmeler dikkate alındığında ileride birim ağırlık başına depolanan enerji (kWh/kg) miktarının artması ve maliyetlerin azalması öngörülmektedir.
- g Tedarikçi sayısı birden çoktur.
- h İşletme için ilave güvenlik tedbirlerine ihtiyaç yoktur.
- i Kar ve buzlanmadan kaynaklı sorunlardan etkilenmemektedir.

Enerji Depolamalı Sistemlerin avantajları;

- a Süperkapasitör ve bataryadan dolayı araca ekstra ağırlık gelecektir.
- b Enerji depolama ekipman maliyetlerinin araç maliyetini artacaktır.
- c Batarya ve superkapasitör ömrünün ortalama 8-10 yıl olduğundan araç ömür döngüsünde(30 yıl) 2 defa batarya ve süper kapasitör değişimini gerektirecektir.
- d Enerji depolama ekipmanlarının geri dönüşümlü olmaması nedeniyle çevreyi olumsuz etkileyecektir.
- f Aracın herhangi bir nedenden dolayı hatta ilerleyememesi durumunda süreye bağlı olarak (15dk sonra) indirgenmiş modda çalışmaya devam edecektir.
- g Hava sıcaklığının yüksek olduğu ülkelerde sistem ekipmanlarının sıcaklığının yükselmesi, yüksek kapasiteli soğutma sistemlerinin araçta tesis edilmesi gerekmektedir.

Zeminden sürekli enerji beslemeli sistemlerin avantajları:

- a Araç üstü donanım az olması sebebiyle araç üstü enerji depolama sistemine göre araç ağırlığı daha hafiftir.
- b Sürekli enerji temini olduğundan trafik sıkışıklığı ve uzun süreli sefer aksamalarından etkilenmemektedir.
- c İstasyonlar arası mesafe sınırı yoktur.

Zeminden sürekli beslemeli sistemlerin dezavantajları:

- a Hat yatırım maliyeti yüksektir.

- b Regeneratif frenleme sisteminin ürettiği enerjinin geri kazanımı yoktur. Ancak araca ilave süper kapasitör veya batarya tesis edilmesiyle yapılabilmektedir.
- c Kış aylarında kar ve tuzlama gibi durumlardan olumsuz etkilenmektedir. Ayrıca, bu hattın deniz kenarında tesis edilecek olması iki ray arası gömülü sistemde oluşabilecek korozyon etkisinin öngörülememektedir.
- d Çok fazla zemin altında donanım (ort. 1000 modül) bulunmakta ve bunların arıza sıklığı bilinmemektedir
- e Bu çözümler firmaların telifli ürünleridir.
- f Sistemin yapısı araç üstü enerji depolama sistemine göre kompleks olması sebebiyle bakım maliyeti yüksektir.

Tablo 7.1: Maliyet Açısından Karşılaştırma Tablosu

Gösterge Maliyeti		
Araç Üstü Enerji Depolamalı Sistemler	Süper Kapasitör	Kullanım ömrü sonunda değişimi araç maliyetinin yüzde 20'si
	Batarya	Kullanım ömrü sonunda değişimi araç maliyetinin yüzde 20'si
	Endüktif Transfer	Bilinmiyor. Ancak büyük olasılıkla süper kapasitörle iki ray arası gömülü sistemin kombine maliyeti
Zeminden Sürekli (İki Ray Arası Gömülü) Enerji Beslemeli Sistemler	Elektronik Bölümlere Ayrılmış	Yapı tasarımı maliyetinin yüzde 10 ile yüzde 15 veya yaklaşık olarak katener sisteminin <u>3-4 katı</u>
	Mekanik Bölümlere Ayrılmış	Büyük olasılıkla elektronik bölümlere ayrılmış sistemle aynı

İstanbul'un iklimi, trafik koşulları ve tamamen katenersiz hattın parametreleri dikkate alındığında en uygun sistemin zeminden sürekli enerji beslemeli sistem olduğu görülmüştür.

En kötü işletim koşulları simüle edilerek makas bölgeleri ve enerji besleme zonlarından birinin arıza olasılığı dikkate alındığında aracın bir sonraki zona kadar götürebilecek araç üstü enerji depolama(süperkapasitör) kapasiteleri hesaplanmalıdır. Ayrıca araç üstünde konuşlandırılacak süperkapasitör ile regeneratif frenleme sisteminin ürettiği enerjinin geri kazanımı sağlanmış olacak, bununla birlikte tramvay enerji tüketimini minimum seviyelere çekecektir.

Eminönü-Alibeyköy tramvay hattı Fatih ve Eyüp ilçelerinden geçse de; konumu ve tarihi yapısı itibarıyla İstanbul'un en önemli toplu taşıma güzergâhlarından birisi

olmaya adaydır. Bahse konu olan tramvay hattı tarihi yarımada içerisinde ve Haliç kıyılarında

olması dolayısıyla tarihi, turistik ve ekolojik açıdan değerlendirildiğinde bölgenin nitelik olarak taşıt trafiğinden arındırılması, karbon salınım oranlarının azaltılması, yaya hareketliliğinin artırılması ve bu kapsamda toplu taşıma olanaklarının artırılması için planlanmıştır.

Proje güzergahı genel olarak Haliç'in Batı Yakası boyunca uzanmakta ve Haliç kıyısından geçen Sahil Yolu ile deniz arasında kalan rekreasyon alanlarının içerisinde geçmektedir. Güzergah tasarımı esnasında mevcut tarihi yapılar ve kalıntılar ile rekreasyon alanı içerisindeki mevcut ağaçların mümkün olduğunca korunmasına özen gösterilmiştir.

Yukarıda katenersiz sistem çözümlerinin avantajları ve dezavantajlarından bahsedilmiş olup, Eminönü-Alibeyköy tramvay hattında uygulanacak sistemin seçiminde bazı kriterlere göre öneriler yapılabilir.

- Uygulanacak sistemin ekonomik olması talep edilirse, ilk yatırım maliyeti düşük olan araç üstü depolama sistemi tercih edilebilir. Ancak, trafik sıkışıklığı, iki durak arası mesafe sınırlaması ve planlanan durma-kalkmaların fazla olacağı dolayısıyla tramvay aracı belirli bir süreden sonra indirgenmiş moda çalışacağından ilave önlemler alınması gerekebilir. Sistem ekipmanlarının (süperkapasitör ve/veya batarya) kullanım ömrü 8-10 yıl olduğundan araç (işletme) ömründe 2 defa kapasite yenileme yapılması zorunlu olacak olup, bu değişimi araç maliyetinin yüzde 20'si olacağı öngörülmektedir. Ayrıca, enerji besleme bölgelerinin (istasyon bölgeleri) katenerli olması halinde enerji besleme direkleri olacağından çevreye, tarihi dokuya etkisi araştırılmalıdır.
- Uygulanacak sistemin işletme performansı, trafik sıkışıklığı, iki durak arası mesafe sınırlaması ve planlanan durma-kalkmaların fazla olacağından tramvay aracı bundan etkilenmeyecektir(indirgenmiş moda uygulanmayacağı). Ayrıca, aracın enerji besleme sistemi zeminden sürekli (iki ray arası gömülü) enerji besleme yapılacağından çevreye, tarihi dokuya olumsuz etkisi (istasyon bölgeleri dahil) olmayacaktır. İşletme ömrü süresince işletme bakım maliyeti araç üstü

enerji depolama sistemine göre kıyaslandığında yüksek olacağı öngörülmektedir.

Yukarıda da görüldüğü üzere katenersiz sistem çözümlerinden hangisi talep edilirse, talep edilmeden önce önerilen sistemin avantaj ve dezavantajları birlikte değerlendirilmeli, seçilecek sistemin çevreci olması, tarihi dokuyu koruyan, insana değer katan, ilk yatırım maliyeti, işletme ömrü süresince bakım-onarım ve yenileme maliyetleri ile birlikte düşünülerek sistem tercihi yapılması uygun olacaktır.

Eminönü Alibeyköy tramvay hattı, İstanbul'un tarihi, turistik ve coğrafi bölgelerinden geçecek şekilde planlanmıştır. Haliç kıyısının; dini, kültürel, turistik ve eğitsel güzergahı olan söz konusu hat Eminönü-Eyüp-Alibeyköy arasındaki erişimini doğrudan sağlayacak, bununla birlikte Altın Boynuz'un İstanbul'a kattığı kentsel kimliğe değer katacağı öngörülmektedir. Bu raylı sistem hattı için seçilecek sistemin tamamen katenersiz olması görsel etkiyi olumsuz etkilemeyecektir. Tarihi bölgelerden geçecek/geçen raylı sistem hat çalışmalarına ışık olacak bir proje olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

Kitaplar

Bellis, Mary. 2007, "History of Streetcars and Cable Cars".

Post, Robert C. 2007, "*Urban Mass Transit*"

Jurgen K.R, 2002, "Electric and Hybrid Electric Vehicles", Boston.

Westbrook M.H, 2001, "The electric and Hibrid Electric Car.", London, SAE.

Doç.Dr.Zübeyde ÖZTÜRK, Dr. Veysel ARLI, "Demiryolu Mühendisliği"

Sürelî Yayınlar

Feasibility of Alternative Power Supply Systems for the LUAS BXD Mayıs 2012

International Railway Journal Şubat 2016

[Railway Gazette International](#) Haziran 2011

[Railway Gazette International](#) Ekim 2013

Railway Gazette International Kasım 2014

Railway Gazette International Temmuz 2015

Diğer yayınlar

<http://www.otomotiv.aku.edu.tr/sitedokuman/otoelektro/elektrikliaraclardersnotu.doc>
www.gazi.edu.tr

Hitachi's Initiatives on Lithium-Ion Battery Business Tarih: 17.04.2009, Hitachi Ltd.

Efficient Energy Management for Onboard Battery-driven Light Railway Vehicle, Wootae Jeong¹, Soon-Bark Kwon¹, Duckshin Park¹, Woo Sung Jung¹, Korea Railroad Research Institute, 22 Mayıs 2011)

-UITP Technology Day, 20 October 2011, Brussels

-Streetcar Technology Assessment, May 2010, URS Corporation, Charlotte, North Carolina
WP2B Energy Recovery, Overview of braking energy recovery technologies in the public transport field, March 2011

-Spanish Firm FEVE Unveils Hydrogen Fuel Cell Tram, Railway Gazette, 19 October 2011

-Network Rail Presentation 2 January 2012, Energy Storage

-Alstom – Future Trends in Railway Transportation, Francois Lacote, Japan Railway and Transport Review 42, December 2005

-Bombardier website - <http://www.bombardier.com/en/transportation>

-CAF website - <http://www.caf.es>

-Alstom website – www.alstom.com/transport

-Parry People Mover website – www.parrypeoplemovers.com

-Wikipedia Class 70 - [http://en.wikipedia.org/wiki/British_Rail_Class_70_\(electric\)](http://en.wikipedia.org/wiki/British_Rail_Class_70_(electric))

-Ansaldo website – www.ansaldo-sts.com

- Technology Briefing Paper Catenary Free Tram Operation, Paul Griffiths, Geoff Inskip, 5 September 2012

- Overhead wires free light rail systems, Margarita Novales ,July 29, 2010

-www.istanbul-ulasim.com.tr,

-www.ibb.gov.tr,

-<http://www.ansiklopedim.info/?p=2675>