

Demiryolu Emniyet Yönetim Sistemi ve İş Güvenliği Kültürü (Rail SMS) projesi için Stratejik Ortaklık yapımızda;

#### TCDD Eğitim ve Öğretim Dairesi

Anadolu Üniversitesi

#### Demiryolu Mühendisleri Derneği

Eskişehir Atatürk Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi

DIK Solutions GmbH (Almanya)

Gestion Elaboracion Manuales Industriales Ingenieria Servicios Complementarios (İspanya)

Statny Institut Odborneho Vzdelavania (Slovakya)

Sveuciliste U Zagrebu (Hrvatistan) bulunmaktadır.

Proje kabul edilir ise aşağıdaki fikri çıktılar elde edilmesi amaçlanmaktadır.

- Raylı Sistemler Emniyet Yönetim Sistemi Öğretim Programı : Proje çıktılarının temelini öğretim programları oluşturacaktır. Proje süresi içerisinde öğretim programlarının Türkiye'deki politika yapıcılar tarafından onaylanması çalışmaları yapılacaktır. AB ülkelerinin ilgili kurum ve kuruluşlarına gönderilecektir.
- Emniyet Yönetim Sistemi Modülleri : Bu program içeriğinde yer alan teorik ağırlıklı modüller öğrenmeyi kolaylaştırıcı şekilde geliştirilecektir.

- Emniyet Yönetim Sistemi ölçme değerlendirme araçları: Ölçme değerlendirmede etkinlik ve kapsayıcılık ilkesi gereğince hazırlanacaktır.
- e-Öğretim Modülleri : Bu program içeriğinde yer alan teorik ağırlıklı modüller için e-öğrenme modülleri geliştirilecektir. bu modüller, animasyon destekli ve etkileşimli uygulamaları içerecektir.
- Tren Sürücüsü ve Tren Teşkilcisi İş Sağlığı ve Güvenliği Eğitim Modülleri: Raylı sistemler sektörünün emniyetine ilişkin en kritik görevler arasında yer alan iki mesleğe yönelik iş analizleri yapılacak ve analizlere dayalı e-öğrenme modülleri hazırlanacaktır.
- Eğitimi Uygulama Kılavuzu : Uzaktan öğrenme ile uygulamalı eğitim süreçlerini birleştiren karma bir eğitim yaklaşımının uygulama kılavuzu hazırlanacaktır
- Learning Manegement System (LMS) : Proje kapsamında geliştirilen e-öğrenme modüllerine kullanıcıların erişimini sağlayacak olan web tabanlı bir öğrenme platformudur. Kullanıcılar ders içeriği görüntüleme, eğitim sağlayıcısı ve diğer kullanıcılarla iletişim kurma gibi temel işlevleri gerçekleştirebilecekleri 7 gün 24 saat hizmet verecek açık bir sistem olacaktır.



#### Çağdaş GÖRGÜLÜ

Demiryolu Meslek Lisesi, Anadolu Üniversitesinden mezun olmuş ve 18 yıl boyunca TCDD bünyesinde Eskişehir Gar Müdürlüğü, Bilgi İşlem Dairesi Başkanlığı ile Sivas, Ankara ve Eskişehir Eğitim Merkezlerinde görev yapmıştır. Halen Eskişehir Eğitim Merkezi Müdürlüğünde görev yapmaktadır. UBSRS uluslararası bilet satışı ve rezervasyon sistemi tasarım projesi, UYEP, RAY-TES, RAILVET, ECVET, METEK başta olmak üzere birçok projede görev yapmıştır.

# Raylı Sistemlerde Enerji Depolama

▲ Mine SERTSÖZ

## ÖZET

Enerji depolama sistemleri, güç talebi düşükken depolama ile güç talebi fazla iken de deşarj olma yolu ile kullanıcıya bir esneklik sağlamaktadır. Enerji depolama elemanları araç üstü veya hat boyunda istasyon olarak uygun bir yere monte edilebilir. Bununla birlikte hat iletkenlerindeki kayıplar eğer düşük katener voltajlı sistemlerde ise (600 V veya 750 V) enerji depolama sistemleri daha verimli olacaktır [1]. Sistem eğer araçların direk birbirleri arasındaki enerji alışverişlerini sağlayacaksa depolama sisteminin boyutu küçülmektedir [2].

Enerji depolama sistemleri enerji yoğunluğu, güç yoğunluğu ve enerji verimliliği açısından sınıflandırılabilir. Ayrıca, diğer bazı faktörlerde bunların kullanışlı olup olmamasını etkiler. Bu faktörler; çalışma dayanımı, maliyet, inşa boyutu, ağırlık, yük çevrimi kapasitesi ve güvenlidir [3].

## ABSTRACT

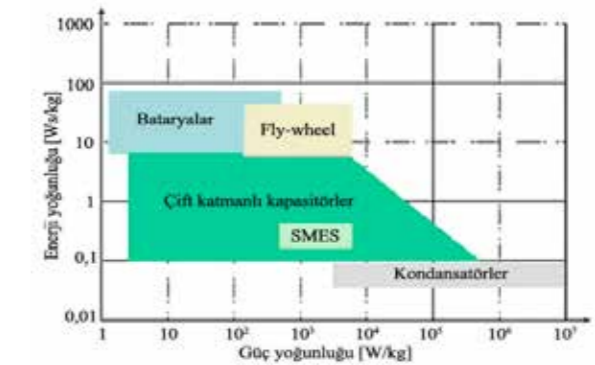
Energy storage system, it stores when the demand of power is low and it discharges when the demand of power is high. Thus it gives to users a flexibility. Energy storage system can be built on vehicle or to a place as a station line throughout. And addition to this, if losings of line conductives are low which is low catenary voltage systems (600 V or 750 V) energy storage systems will be more efficient [1]. Storage system dimensions will be smaller if system can provide energy taking-giving with each other directly [2]. Energy storage system can be classified as Energy density, power density and energy efficiency. Also, some other factors effect if these are usable. These factors are: working strength, cost,

dimension of build, weight, capacity of load circle and security [3].

## 1. Enerji Depolama Aygıtları

### 1.1. Bataryalar (Akümülatörler)

Şekil 1' den de görülebileceği gibi bataryalar diğer enerji depolama sistemlerine göre çok yüksek bir enerji yoğunluğuna sahiptirler. Ancak, düşük güç yoğunluğundan dolayı şarj olma süreleri yüksektir. Demiryolu taşımacılığı uygulamalarını göz önünde bulundurduğumuzda günümüz bataryaları, volan ve süperkapasitörlerin gerisinde kalmıştır. Demiryolu uygulamaları için ise gerekli olan kapasite araca çok fazla yük getirmekte ve çok fazla yere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bakımdan demiryolu ulaşımında batarya bazlı enerji depolama, maliyet-verim ilişkisi bakımından uygun değildir [4].



Şekil 1. Farklı enerji depolama ortamları [4]

### 1.2. Çift Katmanlı Kapasitörler (Ultrakapasitörler)

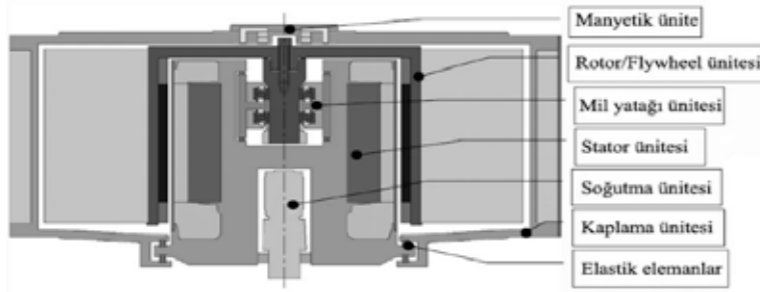
Ultrakapasitörler enerjiyi, elektrokimyasal bir çift katmanlı elektrik alanında depolarlar. Frenleme enerjisinin geri

kazanılmasında olduğu gibi, trenlerin ivmelenme anında ve eğim çıkışlarında da güç desteği sağlamak için birincil enerji kaynağı olarak geliştirilmektedirler.

Çift katmanlı kapasitörler diğer kapasitörlere nazaran çok yüksek bir enerji yoğunluğu için geliştirilmişlerdir. Ultrakapasitörler enerji depolama boyutları bakımından oldukça esnekler ve değişik gerilim, güç aralığı ve yüklenen enerji içeriği değerlerine seri ve paralel bağlama yapılarak basit bir adaptasyon imkânı sağlarlar [3]. Çift katmanlı kapasitörler DC trafoya step-up/step-down konvertörle bağlıdır. Bu konvertör aynı zamanda

2) Flywheel sistemleri yüksek enerji ve yüksek güç yoğunluğuna sahip karakteristiktirler ve bu durum bunları demiryolu araçları için frenleme enerjisinin depolanmasında çekici bir teknoloji haline getirmiştir.

Ultrakapasitörlerle kıyaslandığında da onlara göre daha uzun bir çevrim ve kullanım ömrüne sahiptirler. Şarj ve deşarj olma süresi bakımından Ultrakapasitörler ile Bataryalar arasında bir yerdedir. %90'dan fazla verimliliği vardır. Piyasada var olan volanların yatırım maliyetleri oldukça yüksektir. Bir araştırmaya göre bunların amortisman süreleri 17-30 yıl olarak hesaplanmıştır [4, 7].



Şekil 2. Bir volan kesiti [8]

gerilim sabitleyici rol oynar [2]. Süperkapasitörler kontrol amaçlı bir ek donanıma ihtiyaç duyarlar. Bu kontrol ünitesi pik güç noktalarını tespit ederek daha fazla gücü trene verir, gerilimi sabit tutar ve ne zaman şarj ve deşarj olacağını süperkapasitöre bildirir.

Düşük yük zamanlarında iki tren arasında depolama sistemi düşük akımda şarj olur. Yüksek yükte ise kontrol ünitesi kullanılan gerilim seviyesine göre eşik seviyeyi fark eder. Bu eşik seviyesinin altında deşarj olarak sistemin geriliminin sabit kalmasını sağlar.

Süperkapasitörlerin yükü arttırdığı bir gerçektir fakat yapılan bir çalışmada yükü arttırmasına rağmen yine de enerji tasarrufu sağladığı görülmüştür. Bu değer kullanılan ultrakapasitör çeşidine ve kişi sayısına bağlı olarak %23 ila %26 değerleri arasında değişmektedir [5].

Kullanım alanlarına göre depolanmak istenen enerji başta olmak üzere birçok faktörün etkilediği dört çeşit süper kapasitör mevcuttur. Bunlar EoL, 0.91 kWh, 1.23 kWh, ve 1.56 kWh'dir. Bunlardan seçilecek olan ultrakapasitöre bazı simülasyon çalışmaları yapıldıktan sonra karar verilir [6].

### 1.3. Volan

Flywheel, dönen kütle üzerine temellenen bir elektromekanik enerji depolama sistemidir (Şekil

Depolama için ilk çözüm Bombardier Ulaşım tarafından Manheim'de bir prototip araçta yapılmıştır [9]. Prototip modern bir hafif raylı araçtır ve depolama cihazı enerji içeriği 1kWh ve ağırlığı 450 kg olan süperkapasitörler kümesidir. Önemli dezavantajları trenin ağırlığını yaklaşık %2 yükseltmesi, ek yere ve çift yönlü yükselticiye konvertör

ve yüksek maliyete ihtiyaç duymasındır. Bu sisteme Bombardier firması tarafından MİTRAC ismi verilmiştir. Bu sistemin enerji depolaması dışında da birçok avantajı da mevcuttur. (enerji verimliliği, ivmelenme sırasında pik güç ihtiyacını karşılama, altyapı kayıplarını düşürme ve gerilim stabilizasyonu)



Şekil 3. Bombardier Ulaşım Tarafından Yapılan Manheim'deki Prototip Araç [10]

### • Gerilim düşümünün azaltılması

Cer gücü sistemindeki arızalar haricinde gerilim düşümü iki prensip doğrultusunda oluşur: Trafo merkezlerindeki gerilim düşümü ve trenler ile besleme istasyonları arasındaki besleme iletkenleri ve raylar boyunca olan güç kayıpları. Araç üstü enerji depolama sistemlerinin kullanılması ile araçların akım alış noktaları olan pantograflarda oluşacak gerilim düşüm değeri minimize edilecek (hat akımını %50'den daha fazla, bazen %80 düşürerek gerilim düşümlerinin önüne geçilmektedir [11]) ve dolayısı ile araçların performanslarında oluşacak bir düşüşün önüne geçilecektir [12].

### • Trafo merkezlerinden talep edilen tepe güç değerinin düşürülmesi

Gereken gücün bir kısmının enerji depolamadan gelmesiyle hattan çekilen tepe güç talebi önemli derecede azalabilecektir. Bunun direkt olarak faydaları;

Azaltılmış enerji maliyeti,

Azaltılmış tepe güç için cer gücü sistemi dizaynı;

- o Yeni hatlar için daha az besleme istasyonu
- o Kablolamada daha küçük kesitler

Var olan altyapı sistemi için daha fazla araç veya daha güçlü araç,

Daha zayıf hatlarda ivmelenme limitlerinde iyileştirme [13, 4].

### • Katenersiz çalışma olanağının elde edilmesi

Enerji depolama sistemini araç üstüne monte etmek belli kısımlarda katenersiz işletme yapmayı mümkün kılabilir. Şarj olmuş enerji depolama sistemi, kısa süreler için altyapının neden olabileceği enerji kesintilerinde aracın çalışmasını temin eder. Örneğin, 1 km'lik mesafeler, enerji kesintisinin olduğu durumlarda veya katenersiz bölgelerde (tarihi yerler vb.) enerji depolama sistemi tarafından sağlanan enerji ile kat edilebilir. Katenersiz çalışma bölgesinin kesin uzunluğu birçok faktöre bağlıdır. En önemlileri; depolama sisteminde depo edilmiş enerji, aracın maksimum hızı, hattın eğimi, en düşük yardımcı güç ihtiyacıdır.

## 2. Enerji Depolama Sistemleri

### 2.1. İstasyon Tipi Enerji Depolama

İstasyon tipi enerji depolama sistemlerinin kurulumları hat boyunca gerilim düşümlerinin fazla olduğu ve çekilen net gücün fazla olduğu yerlerde olmalıdır.

Depolanan enerji aynı veya farklı trenlerde kullanılabilir. Enerji tasarrufundan başka istasyon tipi depolama, zamanla güç talebini yumuşak bir şekilde sokar ve katener geriliminde sabitleyici bir etki yapar. Bununla birlikte yatırım maliyetleri de yüksektir. Bu yüzden ölçü olarak sistemdeki önemli noktalar belirlenerek kullanımı buralarla sınırlandırılabilir [13, 4].

### 2.1. Araç Üstü Enerji Depolama

Enerji depolama sistemleri enerji tasarrufunu büyük ölçüde arttırılabilecektir. Frenleme fazında aracın kinetik enerjisi başka bir enerji çeşidine (kapasitörler için elektrostatik enerjiye) dönüştürülür ve depolama elemanında depo edilir. Araç hareketsiz konumda iken de bu elemanlar bir sonraki ivmelenme esnasında bu enerjiyi sağlayabilmek için tam şarj edilmiş olmalıdır. Enerji depolama sistemi böyle bir yolla sağlanmalıdır ki bir sonraki ivmelenme esnasında araç gerekli olan enerjiyi dış enerji beslemesinden tamamıyla karşılama ihtiyacı duymasın [13, 4].

Tren üstü enerji depolama sistemi uygulamalarında sadece elektrokimyasal piller ve süper kapasitörler pratik bir uygulama alanına sahiptir. Elektrokimyasal piller ve süper kapasitörlerin birbirlerine göre artıları eksileri de olsa süper kapasitörler gücün pik yaptığı noktalarını karşılamada daha elverişlidir. Ayrıca süper kapasitörler çevrim ömürleri milyonlar mertebesindedir. Bunun sebebi enerji depolama prensibinin elektrostatik prensipte olmasıdır. Bu yüzden en elverişli araç üstü enerji depolama sistemi ultrakapasitörlerdir [11].

### 2.2. Araç Üstü Enerji Depolama Sistemi ile İstasyon Tipi Enerji Depolama Sisteminin Karşılaştırılması

İstasyon Tipi Enerji Depolama sistemlerin güç akış kontrolleri tren üstü enerji depolama sistemlerine göre daha karmaşıktır. Çünkü araç üstü sistemlerde girilen referans değeri aracın kinetik enerjisi baz alınarak hesaplanır; istasyon tipi enerji depolamada ise hattın gerilimi ve o hattın şarj durumu esas alınarak hesaplanır [14]. Ayrıca araç üstü enerji depolama sistemlerinin boyutlandırılmada maksimum kinetik enerjiyi (dolayısıyla potansiyel enerjiyi) bilmek yeterliken istasyon tipinde aracın rejeneratif frenleme oranını ve voltaj limitlerinden dolayı enerji transfer limitini de bilmek gerekir [15].

İstasyon tipi enerji depolama sistemlerinden alınan verimin yüksek olması için trafik yoğunluğunun az olduğu yerlerde kullanılması gerekir. Dolduğu zaman hemen deşarj olması gerekmektedir. Bu da ivmelenen araçlara



zorluk yaşatmaktadır. Küçük olan tiplerde uzaktaki bir araç ivmelenme yaptığı zaman gerilim düşümlerine sebep olabilir. Enerji verimliliği açısından bir iyileştirme yapılmak istendiğinde hat geriliminde belirgin bir değişim olmaz iken, araç üstü enerji depolama da hat kayıpları düşer ve gerilim stabilizasyonu sağlanır [15].

Ayrıca İstasyon tipi enerji depolama sistemlerinin maliyeti, diğer sisteme göre oldukça yüksektir.

#### KAYNAKLAR

1. Kılıç B., Tuna S., Yağcıtekin B., Metropolitan Raylı Sistemlerde Enerji Yönetimi, *2.Ulusal Enerji Verimliliği Forumu*, İstanbul, Ocak 2011.
2. Günselmann W., Technologies for Increased Energy Efficiency in Railway Systems, *Power Electronics and Applications 2005 European Conference*, Dresden, Germany, 2005.
3. Steiner M., Scholten J., Energy Storage On Board Of DC Fed Railway Vehicles, *PESC 2004 Conference*, Aachen, Germany, 2004.
4. URL-12: <http://www.railway-energy.org> (Ziyaret tarihi 15 Nisan 2012).
5. Barrero R., Mierlo J.V., Tackoen X., Supercapacitors on-board light rail vehicles: enhanced energy storage systems for improved vehicle efficiency, *Proc. IEEE/ASME Joint Rail Conference*, Wilmington, April 2008.
6. Wong K.K., Ho T.K., *Coast control of train movement with genetic algorithm*, 1nd edition, IEEE Conference Publications, Newyork, 2003.
7. Samineni S., Johnson B. K., Hess H. L., Law J. D., Modeling and Analysis of a Flywheel Energy Storage System with a Power Converter Interface, *IPST 2003*, New Orleans, 2003.
8. Alstom, Rotterdam Demonstration of Flywheel Test, September 2005.
9. Pagiela S., Steiner M., Klohr M., Energy Storage System with UltraCaps on Board of Railway Vehicles, *2007 European Conference on Power Electronics and Applications*, Aalborg, Danimarka, 2007.
10. Steiner M., Klohr M., Pagiela S., Energy Storage System with UltraCaps on Board

of Railway Vehicles, *Power Electronics and Applications 2007 European Conference*, Aalborg, Danimarka, 2007.

11. Iannuzzi D., (IEEE Member) Improvement of the Energy Recovery of Traction Electrical Drives using Supercapacitors, *Electrical Engineering Department*, Naples, Italy, 2008.
12. Gordon S.P., Rorke W.S., Energy Storage and Alternatives to Improve Train Voltage on a Mass Transit System, *Sandia National Labs*, Albuquerque, April 1995.
13. URL-11: [http://www.uitp.org/eupolicy/positions/2006/03/Climate\\_Change\\_EN](http://www.uitp.org/eupolicy/positions/2006/03/Climate_Change_EN) (Ziyaret tarihi 15 Eylül 2012).
14. Kumbaroğlu G., Arıkan Y., Türkiye'nin CO2 Salımları, *Açık Toplum Vakfı*, İstanbul, 2009.
15. Barrero R., Mierlo J. V., Tackoen X., Improving energy efficiency in public transport: stationary supercapacitor based energy storage systems for a metro network, *VPPC IEEE*, 2008.



**Mine SERTSÖZ**

1984 Kasım Pazaryeri doğumlu olup, Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik Mühendisliğinden mezundur. Doktora eğitimine, Anadolu Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği'nde devam etmektedir. Anadolu Üniversitesi Ulaştırma Meslek Yüksek Okulunda Raylı Sistemler Elektrik Alanında öğretim görevlisi olarak çalışmakta ve raylı sistemler alanında akademik çalışmalarına devam etmektedir. Evli ve iki çocuk annesidir.

# Raylı Ulaşımında Kentsel Ölçekte Geleceğe Yönelik Tasarımlar

▲ Evrim PEKASLAN

#### Giriş

Günümüzde gelişmiş ülkelerde, büyük kentlerde kent içi ve şehirlerarası ulaşımın raylı sistem üzerine kurulduğunu görmekteyiz. Bunun en temel sebebi, kalabalık insan gruplarının kısa zamanda ve konforlu bir şekilde ulaşımını sağlamaktır.

Özellikle ülkemizde, geleceğin kentlerinde nüfus yoğunluğunun artışı ile oluşacak olan kentsel büyüme göz önünde bulundurulduğunda, raylı ulaşım ayrı bir önem kazanmaktadır. Kentsel ulaşım politikalarında raylı sistemin acil bir biçimde ön plana alınması önem taşımaktadır. Bu bağlamda, oluşturulacak olan kent planları, raylı ulaşım sistemi temel alınarak yapılmalıdır. Raylı sistem, kentin ana arterlerini rahatlatarak şekilde düşünülmeli ve diğer ulaşım sistemleri bu ana arterlerden çalışmalıdır.

#### Geleceğe Yönelik Kent Tasarımları ve Ulaşım Dair Fikirler

##### Kentsel Gelişim ve Büyüme

Kent, sürekli devinen bir yapıdır. Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerdeki genç nüfus yoğunluğu ve nüfusun sürekli artış göstermesi, kentsel gelişimin/büyümenin düzenli ve/veya düzensiz olarak sürekli devam etmesi anlamına gelir.

2014 yılı itibariyle Türkiye nüfusu 78 milyona yaklaşmış durumdadır [1]. Birleşmiş Milletler Kalkınma Raporu'nda,

Türkiye nüfusunun 2023 yılında 81-83 milyon, 2050 yılında 90-95 milyona ulaşmasının beklendiği belirtilmiştir [2]. Dünya Bankası verilerine göre, 2013 yılı itibariyle Türkiye nüfusunun %72'si kentlerde yaşamaktadır [3].

Bütün bu veriler ışığında diyebiliriz ki, sürekli devinen, gelişmekte ve büyümekte olan kentlerimizde ulaşım olanakları her geçen gün daha da önem kazanmaktadır ve kazanmaya devam edecektir. Kent planlamacıları, tasarımcılar ve diğer disiplinlerin bir araya gelmesi sağlanarak, şimdi ve gelecekte kentsel tasarımda ulaşım olanakları çok ciddi bir biçimde düşünülmelidir.

##### Gelecek Tasarımı ve Ütopya

Geleceğe yönelik kentsel tasarımlar içerisinde ulaşım, mutlaka göz önüne alması gereken en önemli faktörlerden biridir. Ütopik kent tasarımlarında, özellikle raylı sistemlerin kullanımı göze çarpar. Geleceğin kentlerinde tasarımcılar için raylı sistemler tasarımın ayrılmaz bir parçası gibidir. Geleceğin kentlerini oluşturan temel unsurlar, temiz çevre, sürdürülebilirlik, herkes için rahat ve konforlu bir yaşam öngörüsüdür. Bu kentlerin içinde yer alacak ulaşım yöntemlerinin de basit, temiz, ucuz, konforlu olması düşünülmüştür.

Macar asıllı mimar Yona Friedman'ın neredeyse bir çocuk saflığı ve sadeliğinde hazırladığı tasarımlarında, tüm kentin üzerinden geçen veya kent katmanları arasından süzülüp giden hafif raylı sistemler görülür.