

Raylı Sistemlerde Enerji Verimliliği Yöntemleri

Dr. Mine SERTSÖZ



Dr. Mine SERTSÖZ

RAYLI SİSTEMLERDE ENERJİ VERİMLİLİĞİ YÖNTEMLERİ

ISBN 978-605-69916-5-3

DOI 10.14527/9786056991653

Kitap içeriğinin tüm sorumluluğu yazarına aittir.

© 2020, PEGEM AKADEMİ

Bu kitabın basım, yayım ve satış hakları Pegem Akademi Yay. Eğt. Dan. Hizm. Tic. A.Ş.'ye aittir. Anılan kuruluşun izni alınmadan kitabın tümü ya da bölümleri, kapak tasarımı; mekanik, elektronik, fotokopi, manyetik kayıt ya da başka yöntemlerle çoğaltılamaz, basılamaz, dağıtılamaz. Bu kitap T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı bandrolü ile satılmaktadır. Okuyucularımızın bandrolü olmayan kitaplar hakkında yayınevimize bilgi vermesini ve bandrolsüz yayınları satın almamasını diliyoruz.

Pegem Akademi Yayıncılık, 1998 yılından bugüne uluslararası düzeyde düzenli faaliyet yürüten **uluslararası akademik bir yayınev**dir. Yayımladığı kitaplar; Yükseköğretim Kurulunca tanınan yükseköğretim kurumlarının kataloglarında yer almaktadır. Dünyadaki en büyük çevrimiçi kamu erişim kataloğu olan **WorldCat** ve ayrıca Türkiye'de kurulan **Turcademy.com** ve **Pegemindex.net** tarafından yayınları taranmaktadır, indekslenmektedir. Aynı alanda farklı yazarlara ait 1000'in üzerinde yayını bulunmaktadır. Pegem Akademi Yayınları ile ilgili detaylı bilgilere <http://pegem.net> adresinden ulaşılabilmektedir.

I. Baskı: Ocak 2020, Ankara

Yayın-Proje: Şehriban Türüldür
Dizgi-Grafik Tasarım: Müge Çetin
Kapak Tasarımı: Pegem Akademi

Ay-bay Kırtasiye İnşaat Gıda Pazarlama ve Ticaret Limited Şirketi
Çetinemeç Bulvarı 1314.Cadde No:37A-B
0312 472 58 55

Yayıncı Sertifika No: 36306
Matbaa Sertifika No: 33365

Yayıncı Sertifika No: 36306
Matbaa Sertifika No: 25931

İletişim

Karanfil 2 Sokak No: 45 Kızılay / ANKARA
Yayınevi: 0312 430 67 50 - 430 67 51
Dağıtım: 0312 434 54 24 - 434 54 08
Hazırlık Kursları: 0312 419 05 60
İnternet: www.pegem.net
E-ileti: pegem@pegem.net
WhatsApp Hattı: 0538 594 92 40

ÖN SÖZ

Raylı sistemlerde enerji verimliliği, çok fazla girdiye sahip son derece önemli bir konudur. Türkiye, son yıllarda raylı sistemlerde olumlu gelişmeler gösterirken bu alanda yani verimlilik konusunda yapılan çok fazla çalışma bulunmamaktadır. Ancak artan enerji ihtiyacında boş yere harcanacak enerji, ekonomiye ve çevreye büyük bir darbe olacaktır.

Bu sebeple bu kitap, raylı sistemlerde enerji verimliliğini ve bu verimlilik yollarını anlatmış; bu konuda yapılan çalışmalara dünyadan örnekler vermiştir. Amaç bu konuda lise, üniversite ve hatta lisansüstü eğitimi alan öğrencilere yeni ufuklar ve çalışma alanları kazandırabilmektir. Bununla birlikte sektör çalışanlarına da bir başvuru kitabı olma amacı taşımaktadır.

Dr. Mine Sertsöz

Ocak 2020

Eskişehir

İÇİNDEKİLER

Ön Söz.....	iii
-------------	-----

GİRİŞ

Giriş.....	1
------------	---

1. BÖLÜM CER GÜCÜ BESLEME SİSTEMLERİ

1. Cer Gücü Besleme Sistemleri	3
1.1. Trafo Merkezleri.....	3
1.2. Akım Toplama Sistemleri	6
1.3. Cer Motoru ve Sürücülerini.....	9

2. BÖLÜM ARAÇ TASARIMI

Araç Tasarımı.....	15
2.1. Kontrol Grubu.....	16
2.2. Motor	19
2.3. Sinyalizasyon ve İletişim Teknolojileri.....	19
2.4. Konfor Fonksiyonları	21

3. BÖLÜM RAYLI SİSTEMLERDE ENERJİ DEPOLAMA

3. Raylı Sistemlerde Enerji Depolama	23
3.1. Enerji Depolama Aygıtları	23
3.1.1. Bataryalar.....	23
3.1.2. Volanlar	28
3.1.3. Ultrakapasitörler.....	29
3.1.4. Hibrid Elektrik Depolama Sistemleri.....	30
3.2. Raylı Sistemlerde Enerji Depolama Şekilleri.....	31
3.2.1. Araç Üstü Enerji Depolama	31
3.2.2. Yol Kenarı Enerji Depolama.....	33
3.2.3. Araç Üstü Enerji Depolama ile Yol Kenarı Enerji	34

4. BÖLÜM

ALTYAPI VE TESİS DİZAYNI

4.1. Sabit Tesisi Tüketimi	37
----------------------------------	----

5. BÖLÜM

VAROLAN TESİSLERİN VERİMLİ KULLANIMI

5. Varolan Tesislerin Verimli Kullanımı	39
5.1. İşletme	40
5.2. Enerji Verimli Sürüş Yöntemleri.....	41
5.3. Konfor Fonksiyonları	42
Son Söz.....	43
Kaynaklar.....	44

GİRİŞ

Raylı sistemlerde enerji verimliliği çok genel bir şekilde tasarım aşamasındaki ve çalışmakta olan raylı sistem işletmelerinde yapılacak olmak üzere ikiye ayrılır. Ancak bu konuda da çok keskin ayrımlar yoktur. Çünkü var olan bir sisteme daha sonrasında kazandırılacak birçok verimlilik çalışması mevcuttur.

Tasarım aşamasında yapılacak çalışmalar isminden de anlaşılacağı üzere henüz inşasına, işletmesine başlanmamış; planlama sürecinde olan raylı sistemlerde yapılabilecek çalışmalardır. Çoğu sistemde olduğu gibi bu sistemlerde de baştan yapılan planlama bazen maliyeti biraz arttırmakla birlikte geri dönüşü enerji verimliliğine dolayısıyla çevreye oldukça büyük olmaktadır.

Burada amaç aslında bu verimlilik adına yapılabilecek çalışmalarını bir otorite haline getirebilmek ve bu otoritesiz bir tasarım düşünülmesini imkânsız hale getirebilecek verimlilik kültürünü oluşturabilmektir. Bu otorite tabii ki devlettir. Çünkü verimlilik çalışmalarını devlet güvencesi altında devamlılığına sağlamak, kişisel veya özel sektör çabalarının sürdürülebilirliğinden çok daha fazladır.

Bu bölümde önce sistemler anlatılacak sonrasında bu sistemlerde yapılabilecek verimliliklere değinilecektir. Çünkü sistemi tanımadan yapılabilecek verimlilikleri kestirmek mümkün olmayacaktır. Kitabın düzeninde UIC (Uluslararası Demiryolları Topluluğu)'in yayınlamış olduğu raylı sistemlerdeki enerji verimliliği sınıflandırmasından bir tanesi olan 'Uygulandığı Alt Sisteme Göre Sınıflandırılan Ölçüm' şeklindeki sınıflandırmaya benzer bir sistem kullanılmıştır. Sınıflandırma birebir aynı olmasa da içerik olarak aynı konuları anlatmaktadır. Bu sınıflandırma:

1. Yol düzeni ile ilgili olan enerji tüketimi (rampalar, eğriler, sapmalar vb.)
2. Elektrik altyapısı ile ilgili enerji tüketimi (trafo, katener, ağ topolojisi, gerilim elektrifikasyonu, iletken bölümler vb.)
3. Demiryolu aracı ile ilgili enerji tüketimi (tren büyüklüğü, kütle, mimari, motor vb.)
4. Trenlerin işletimi ile ilgili enerji tüketimi (tarifeler, duraklar, trafik kontrolü, sürüş teknikleri vb.)
5. Raylı sistemin diğer alanlarıyla ilgili enerji tüketimi (istasyonlar, atölyeler, fabrikalar vb.).

Bu kapsamda bu kitap beş bölümden oluşmuştur. Ancak her bölümün birbirinden çok keskin sınırları yoktur. Bazen bir bölüme dâhil edilebilecek bir konu başka bir bölümde de anlatılabilir. Kitap okunurken bu gerçeğin dikkate alınması gerekir.

İlk bölüm, *Cer Gücü Besleme Sistemlerinin* detaylı incelendiği bölümdür. Cer gücü besleme sistemleri Trafo Merkezleri, Akım toplama sistemleri ve Cer Motoru ve sürücülerini olmak üzere üç kısımdan oluşur. Bu üç kısımda yapılacak enerji verimliliği çalışmalarına değinilmiştir.

İkinci bölüm, *Araç Tasarımını* anlatan bölümdür. Araç tasarımı şu birimlerden oluşmaktadır: Kontrol Grubu (Yazılım/Donanım/İzleme Sistemleri Şasi/Karoser), Motor ve Transmisyon, Elektrik–Elektronik Ekipmanlar/Sürücüler, Sinyalizasyon ve İletişim Teknolojileri, Konfor fonksiyonlarıdır (aydınlatma, ısıtma, soğutma ve havalandırma). Bu bölümde birçok birimden oluşmakta olan araç tasarımında yapılabilecek olan verimlilik çalışmalarına değinilmiştir.

Üçüncü bölüm *Raylı Sistemlerde Enerji Depolama* ile ilgili bölümdür. Bu bölümde öncelikle raylı sistemlerde enerji depolama için kullanabilecek depolama cihazları anlatılmıştır. Sonrasında ise yol kenarı ve araç üstü enerji depolama sistemlerinden bahsedilerek verimlilikle ilgili çalışmalara değinilmiştir.

Dördüncü bölümde *Altyapı ve Tesis Dizaynı* anlatılmıştır. Çünkü sistemin kurulduğu yer ihtiyaç duyulan enerji tüketiminde doğrudan etkilidir.

Beşinci bölümde *Varolan Tesislerin Verimli Kullanımı* ile ilgili olan bölümdür. Bu bölümde yapım aşamasında olan değil de zaten var olan sistemin verimli kullanımına yönelik uygulamalar anlatılacaktır.

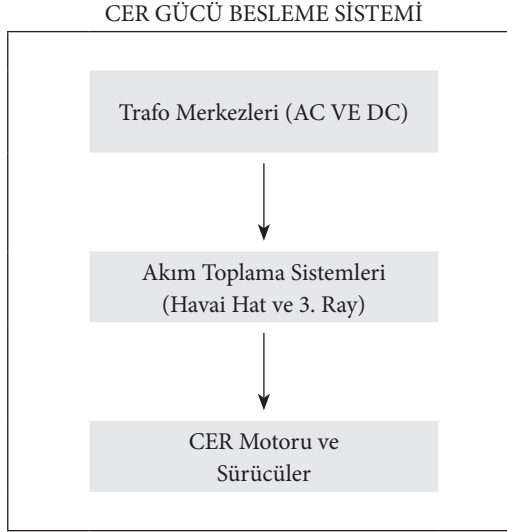
Dikkat edilecek olursa verimlilik çalışmalarını daha ziyade elektriksel alanda yapılacak çalışmalardan oluşmuştur. Makina ve inşaat mühendisliğini ilgilendiren donanımlara yazarın çalışma sahası dışında kaldığından çok fazla değinilmemiştir.

1. BÖLÜM

CER GÜCÜ BESLEME SİSTEMLERİ

1. Cer Gücü Besleme Sistemleri

Cer gücü besleme sistemleri en kısa tabirle, cer motorlarının beslenmesini sağlayan sistemlerdir. Bu sistemlerin yolculukların aksamaması için kesintisiz olması, bunun yanında insan sağlığına ve çevreye karşı güvenlik önlemlerinin en üst seviyede olması beklenir. Cer gücü besleme sistemleri üç ayrı yapıdan oluşur. Bunlar trafo merkezleri, akım toplama sistemleri ve cer elektrik motoru-sürücü sistemleridir. Bu sistemler ayrıntılı olarak anlatılacaktır. Şekil 1.1'de Cer gücü besleme sistemi ve alt birimleri gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Cer Gücü Besleme Sistemi ve Alt Birimleri

1.1. Trafo Merkezleri

Trenlerin ihtiyaç duyduğu besleme şekilleri şu şekildedir:

- 600 V DC
- 750 V DC

- 1200 V DC
- 1500 V DC
- 3000 V DC
- 15 kV 16,7 Hz
- 25 kV 50, 60 Hz
- 2x25 kV 50, 60 Hz

Trafo merkezleri, cer motorlarının ve yardımcı sistemlerin beslenmesi için ihtiyaç duyulan elektrik enerjisini sağlamakla yükümlüdür. Trafo merkezleri elektrik enerjisini yüksek gerilim ağından alarak gerekli transmisyon işlemlerinden geçirir ve raylı sistemin kullanımına uygun hale getirir. Bu transmisyon işlemi sonucunda belli bir AC-frekans veya DC elektrik değeri elde edilmiş olur. Aşağıdaki tablo bu çeşitleri özetlemek için oluşturulmuştur:

Tablo 1.1. DC ve AC Besleme Çeşitleri ve Onlara Ait Akım Toplama Sistemleri

	DC		AC
600 V	Havai hat veya 3.ray	15 kV 16,7 Hz	Havai hat
750 V	Havai hat veya 3.ray	25 kV 50, 60 Hz	Havai hat
1200 V	Havai hat	2x25 kV 50, 60 Hz	Havai hat
1500 V	Havai hat veya 3.ray		
3000 V	Havai hat		

Tablo 1.1.'de verilen sistemleri kısaca şu şekilde açıklanabilir:

600 V DC sistemler daha ziyade eski sistemlerde kullanılan gerilim çeşididir. Ancak yeni kurulumlarda da az tercih edilmekle birlikte mevcuttur. Bu gerilim çeşidine sahip ülkeler Macaristan, Japonya, Romanya ve İspanya'dır.

750 V DC sistemler dünyada en çok bulunan gerilim çeşididir. Bu gerilim çeşidine sahip ülkeler Avusturya, İsviçre, Brezilya, Almanya, İtalya, Japonya, Hollanda, Filipinler, İsviçre ve Türkiye'dir.

1200 V DC çok spesifik bir gerilim çeşidi olup genelde yük taşımacılığında kullanılır. Bilinen en iyi örneği Küba'da kullanılan Hershey Elektrikli Demiryolu hattıdır. Bunun dışında Estonya, Almanya, İspanya, İsviçre ve ABD bu sistemi geçmişte kullanmış ve bazıları halen kullanmaktadır.

1500 V DC de tercih edilen bir gerilim çeşididir. Bazı ülkelerde bu gerilim değeri değiştirilmiştir ancak halen kullanan ülkelere bazıları Arjantin, Avusturya, Brezilya, Çekya, Danimarka, Mısır'dır. Bu ülkeler dışında hemen hemen

her ülkede kullanılmaktadır demek yanlış olmaz. Türkiye’de de Bursa ve İstanbul Metrolarının bazı hatlarında bu gerilim seviyesi tercih edilmiştir.

3000 V DC hatta sahip olan çoğu ülke 25 kV AC’ye çevirerek bu sistemi değiştirmişleridir. Bu gerilim seviyesini kullanan bazı ülkeler Fas, Kuzey Kore, Şili ve Slovenya’dır.

15 kV sistemler; Avusturya, Almanya, Norveç, İsveç ve İsviçre’de yer almaktadır. Yüksek gerilim değerinin daha az kayıplara sebep olmasının keşfiyle bu sistemler yerini 25 kV sistemlere bırakmışlardır.

25 kV sistemler 1950’lerden sonra dünya çapında yaygınlaşmıştır ve neredeyse tüm ülkelerde ağır taşımacılıkta bu sistemler tercih edilir. Daha önce kullanılmamasının sebebi ise yeni teknolojilere ve inşaat mühendisliğindeki gelişmelere ihtiyaç duymasıdır.

2x25 sistemler, 50 kV’ta dağıtım yaparken ve aracın 25 kV gerilim sisteminde kullanılması anlamına gelir. Çekiş hattı +25 kV ve -25 kV’ta bir besleme teli ile beslenir bu nedenle bu devreler arasındaki voltaj 50 kV olup toprağı 25 kV’tır. Bu nedenle, yalıtım veya boşluk yalnızca 25 kV için tasarlanmıştır.

Genelde şehir içi hatlarda 750 V DC ve şehirlerarası hatlarda 25 kV kullanılmaktadır.

Bunun dışında trafoların enerji verimliliğini etkileyecek unsurlarını şöyle belirtmek mümkündür:

- **Sıcak yedekli/Soğuk yedekli trafo olması:** Normalde cer gücünün temini için kullanılan trafoların, sıcak yedekli olarak değil de soğuk yedekli trafo haline getirilmesi için çalışmalar yapılmalıdır. Sıcak yedekli trafo, ihtiyaç olacak anlara hazırlıklı olması için sürekli çalışır halde bulunan trafolardır. Enerji verimliliği açısından bir kayıptır.
- **Süper iletken trafo olması:** Yapılan bir çalışma göstermiştir ki süper iletken trafoların geleneksel trafo yerine seçilmesi ile enerji tüketimi trafo açısından %90; trenin toplam enerji tüketimi açısından ise %30 azalmaktadır. Bu rakamlar işletmeden işletmeye değişebilmektedir.
- **Tersinir trafo olması:** Bu durumda, rejeneratif frenleme enerjisinin dirençlerde harcanmasına veya herhangi bir depolama sisteminde depolanmasına ihtiyaç duymadan direk olarak, tekrar kullanılmak üzere trafoya geri verilebilir.
- **Trafo merkezleri (TM) sayısı ve yerleri:** Gerilim durumunun ve işletme sıklığının değişmesiyle ihtiyaç duyulan trafo ve trafo uzaklıkları da değişmektedir.