

İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**RAYLI SİSTEMLER VE LEVENT-HİSARÜSTÜ
METRO PROJESİNDE CER GÜCÜ BESLEMESİ**

YÜKSEK LİSANS SEMİNER TEZİ

SERDAR ŞENOL

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Elektronik Mühendisliği

Seminer Tezi Danışmanı: Prof. Dr. Hasan Hüseyin BALIK

MAYIS 2014

İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**RAYLI SİSTEMLER VE LEVENT-HİSARÜSTÜ
METRO PROJESİNDE CER GÜCÜ BESLEMESİ**

YÜKSEK LİSANS SEMİNER TEZİ

SERDAR ŞENOL

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Elektronik Mühendisliği

Seminer Tezi Danışmanı: Prof. Dr. Hasan Hüseyin BALIK

MAYIS 2014

Aileme,

ÖNSÖZ

Bu seminer çalışmasında, artan nüfus ile birlikte ulaşımında yaşanan sıkıntıların önüne geçmek için en iyi alternatiflerin başında gelen raylı sistemlerden bahsedilmiştir. Yapımında yer aldığım ve hala devam etmekte olan Levent-Hisarüstü Metro hattı ve CER gücü beslemesi hakkında bilgiler verilmiştir.

Mühendislik hayatına ilk adımlarımı attığım ve ilk projem olan Levent-Hisarüstü Metro hattı projesinde bilgilerini ve tecrübelerini benimle paylaşan **ALARKO-MAKYOL ORTAK GİRİŞİMİ** Elektrik-Elektronik Grubuna başta **Nevzat ÇELTEK** olmak üzere, **Aşkın AKPINAR'a, İnan KÜÇÜK'e, Yavuz ERDOĞAN'a** ve **Mehmet UYGUN'a** ve seminer tezinin yazımı esnasında desteğini esirgemeyen danışmanım **Prof. Dr. Hasan Hüseyin BALIK'a** teşekkürlerimi borç bilirim.

MAYIS 2014

Serdar ŞENOL
Elektrik Elektronik Mühendisi

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER	v
KISALTMALAR	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÖZET.....	x
SUMMARY	xi
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	2
2.1 Tezin amacı	2
2.2 Literatürde farklı ulaşım sistemlerinin karşılaştırılması.....	2
3. RAYLI TOPLU TAŞIMA SİSTEMLERİNİN ÇEŞİTLERİ	4
3.1 Finüküler	4
3.2 Maglev.....	5
3.3 Monoray	5
3.4 Tramway.....	6
3.5 Hafif Metro (LRT)	7
3.6 Metro	8
3.7 Banliyö Trenleri	9
3.8 Hızlı Tren	10
4. RAYLI TOPLU TAŞIMA SİSTEMLERDE ELEKTRİFİKASYON SİSTEMLERİ.....	11
4.1 Besleme gerilimi seviyeleri.....	11
4.2 Besleme gerilimi iletim sistemleri.....	12
4.2.1 Üçüncü ray	12
4.2.2 Standart (konvansiyonel) katener sistemi	13
4.2.3 Rijit katener sistemi	14
4.3 Katener ve 3. Ray sistemlerinin karşılaştırılması.....	15
5. RAYLI SİSTEMLERDE CER GÜCÜ BİLEŞENLERİ.....	16
5.1 Raylı sistemlerin güç beslemesi	16
5.2 Orta gerilim sistemi	18
5.2.1 Orta gerilim şalt hücreleri	18
5.2.2 Orta gerilim kabloları.....	20
5.3 CER sistemi.....	21
5.4 CER sistemini oluşturan bileşenler	21
5.4.1 CER trafosu.....	22
5.4.2 DC şalt hücreleri	23
5.4.3 İç ihtiyaç trafosu.....	25
5.4.4 Alçak gerilim trafosu	26
5.4.5 Kesintisiz güç kaynağı (UPS)	27
5.4.6 Redresör ve izolasyon trafosu	27
KAYNAKLAR	29

EKLER.....	30
ÖZGEÇMİŞ.....	32

KISALTMALAR

UIC	: Uluslararası Demiryolları Birliği (International Union of Railways)
UPS	: Kesintisiz Güç Kaynağı (Uninterruptible Power Supply)
SCADA	: Gözetimli Denetim ve Veri Toplama (Supervisory Control And Data Acquisition)
Hz	: Hertz
SUDAM	: Serbest Uyarmalı Doğru Akım Motoru
XLPE	: Çapraz Bağlanmış Polietilen (Cross-Linked Polyethylene)
LRT	: Hafif Raylı Tren (Light Rail Train)
DC	: Doğru Akım (Direct Current)
AC	: Alternatif Akım (Alternating Current)
kV	: Kilo Volt
kA	: Kilo Amper
kVA	: Kilo Volt Amper

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 4.1 EN 50163'e Göre Demiryolu Elektrifikasyonu Gerilim Seviyeleri	11
Çizelge 5.1: Farklı p değerleri için ortalama gerilimin/tepe değerine oranı	25

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1: Tünel Füniküler.....	4
Şekil 3.2: MagLev	5
Şekil 3.3: Üst Yollu Monoray	6
Şekil 3.4: Zeytinburnu-Kabataş Tramway Hattı	7
Şekil 3.5: Habipler – Topkapı Hafif Raylı Metro Sistemi	8
Şekil 3.6: Yenikapı-Hacıosman Metrosu	9
Şekil 3.7: Sirkeci-Halkalı Banliyö Treni.....	9
Şekil 3.8: Ankara-Eskişehir Hızlı Tren.....	10
Şekil 4.1: Üçüncü Ray Temas Yöntemleri(AÇIKBAŞ, 2008)	13
Şekil 4.2: Elektrikli Raylı Sistemin Bileşenleri (KARAKÖSE & GENÇOĞLU).....	14
Şekil 4.3: Marmaray Rijit Katener Sistemi	14
Şekil 4.4: Levenet-Hisarüstü Metrosu 3. Ray Uygulaması.....	15
Şekil 5.1: Raylı Sistem Güç Beslemesi (AYDIN, 2012)	17
Şekil 5.2: Levent-Hisarüstü Metro Hattı Orta Gerilim Hücreleri	18
Şekil 5.3: İstasyon 4 (Boğaziçi Üni.) CER Trafosu.....	22
Şekil 5.4: CER Besleme Şeması (ŞİMŞEK, 2008).....	23
Şekil 5.5: DC Şalt Hücreleri MG01 ve MG02, MC11 ve MD51	23
Şekil 5.6: 12 Darbeli Doğrultucu Devresi (AYDIN, 2012)	24
Şekil 5.7: İstasyon 3 (Etiler İstasyonu) 34,5/0,4kV 1000 kVA Kuru Tip İç İhtiyaç Trafoları.....	25
Şekil 5.8: İstasyon 4 (Boğaziçi Üniversitesi İstasyonu)Ana Dağıtım Panoları	26
Şekil 5.9: Tali Panolar.....	27

RAYLI SİSTEMLER VE LEVENT-HİSARÜSTÜ METRO PROJESİNDE CER GÜCÜ BESLEMESİ

ÖZET

Ülkemiz, raylı sistemler konusunda dünyanın gelişmiş ülkeleri arasında geri kalmıştır. Artan nüfus ile birlikte ortaya çıkan ulaşım sorununa çözüm arama çalışmaları, raylı sistemleri işaret etmiştir. Son yıllarda önemli ve büyük raylı sistem projeleri hayata geçirilmiştir. Bu projelerden biri de bugün benimde yapımında görev aldığım Levent-Hisarüstü Metro hattı projesidir.

Bu seminer tezinde amaç, raylı sistem araçlarının CER gücü besleme sistemi hakkında bilgiler vermek, besleme sisteminde kullanılan ekipmanların neler olduğunu, nasıl çalıştığını açıklamaktır. CER gücü ise, raylı sistem araçlarının hareketini sağlayan elektrik enerjisidir. Metro, tramvay, banliyö trenleri gibi tüm raylı sistem araçlarında hareketi sağlayan CER motoru bulunur. Trafo merkezinden enerji nakil hatları yardımıyla alınan enerji, istasyondaki CER odasına ulaşır. CER odasındaki orta gerilim hücrelerinde anahtarlanan enerji, CER trafosuna aktarılır. CER trafosu ile gerilim seviyesi düşürülen enerji, DC hücrelere iletilir. DC hücrelerde doğrultulan enerji artık 3. raya iletilebilir. Tren 3. raya temas halinde olan ray pabuçları ile enerjiyi alır ve trenin CER motoruna aktarır ve bu sayede hareket gerçekleşir.

RAIL SYSTEMS AND LEVENT-HİSARÜSTÜ TRAIN PROJECT POWER IN THE CER

SUMMARY

Rail systems in our country are lagging behind among the developed countries. Along with the growing population, studies emerged search for a solution to the transportation problem, the rail system has been pointed out. In recent years, important and major rail projects have been implemented. It's also one of the projects I have taken part in which is Hisarüstü Levent Light Train Rail line project in progress.

The purpose of this seminar thesis that giving information about CER of rail vehicle power supply system and describing how it works. In the first part of the utility of rail transport will provide a brief introduction about how it is advantageous. The second part illustrates researches on the rail system in Turkey. In the third chapter, in our country or running different railway systems all over the world and applications are described. In the chapter four, general information about the power supply systems of electric rail vehicles is given. The last chapter provides detailed information about electric rail vehicles, especially the equipment which is used while feeding the CER power supply in Hisarüstü Levent Light Train Rail Line.

1. GİRİŞ

Günümüzde neredeyse dünyanın tüm kentlerinde gerek araç trafiği gerekse ulaşım büyük sorunlara yol açmaktadır. Bu sorunların başında insanların bir yerden bir yere ulaşımında büyük zaman kayıpları yaşamaları gelmektedir. Bunu takip eden en önemli sorun ise ulaşımında kullanılan araçların kirliliğe yol açmalarıdır. Atmosferdeki kirlilik dünya üzerindeki artan nüfus ile birlikte hızla artmaktadır. Bu yüzden insanlar her yönden en önemli yaşam kaynaklarımızdan birisi olan havayı korumak için çözümler üretmeye çalışmaktadır. Hava kirliliğine neden olan etmenlerin başında motorlu araçlar gelmektedir. Bu yüzden insanları toplu taşımaya yönlendirip akaryakıt veya kömür gibi yakıtlarla çalışarak atmosfere yoğun karbondioksit gazı salan araçların kullanımını azaltmamız gerekiyor (TÜİK, 2011).

Bu duruma en akılcı çözüm raylı sistem teknolojileridir. Gerek yerüstünde gerekse yeraltında hem taşımacılık yapmakta hem de trafiğe yol açmamaktadır. Ayrıca yine yolcu sayısındaki yüksek rakamlar raylı sistemleri diğer toplu taşıma alternatiflerinden üstün tutmaktadır. Raylı sistemler sadece insan taşımacılığında değil, hayvan, eşya, mal ve yük taşımacılığında da hem daha ekonomik hem de daha hızlı çözümler sunmaktadır. Bu çözümlerin yanı sıra atmosfere verdiği zarar diğer tüm motorlu araçlardan kat be kat azdır. Her yanı ile taşımacılıkta fırsatlar sunan bu teknoloji diğer alternatiflerine göre daha maliyetlidir. Fakat bu maliyetler doğru yatırımlarla çok kısa zamanda göz ardı edilecek seviyeye gelmektedir.

İlk bölümde raylı sistemlerin faydalarından, ulaşımında nasıl avantajlar sağlayacağı hakkında kısa bir giriş yapıldı. İkinci bölümde ise, Türkiye’de raylı sistem üzerine yapılan araştırmalara örnekler verildi. Üçüncü bölümde gerek dünya da gerekse ülkemizde çalışan farklı raylı sistem araçları ve uygulamaları anlatılmıştır. Dördüncü bölümde ise, elektrikli raylı sistem araçlarının enerji besleme sistemleri hakkında genel bilgiler verilmiştir. Beşinci bölümde ise, elektrikli raylı sistem araçlarının özellikle Levent-Hisarüstü Metro hattında CER gücü temini sırasında kullanılan ekipman hakkında detaylı bilgiler verilmiştir.

2. LİTERATUR ARAŞTIRMASI

Dünya çapında raylı sistemlerle alakalı birçok yayın ve çalışma mevcuttur. Türkiye de ise, raylı sistemler daha çok yeni olduğundan yapılan çalışmalarda çok ileri seviyelerde değildir. Bu tezin yazımında da faydalanılan Türkiye’de yapılan tezlerden Tayfun AYDIN’ın (2012) “Hafif raylı sistemlerin elektrik güç beslemesinde güvenilirlik analizi”, Mine SERTSÖZ (2012) “Raylı sistemlerde enerji verimliliği”, Süleyman AÇIKBAŞ (2008) “Çok hatlı çok araçlı raylı sistemlerde enerji tasarrufuna yönelik sürüş kontrolü” ve Mehmet T. SÖYLEMEZ ve Süleyman AÇIKBAŞ (2005) “DC beslemeli raylı ulaşım sistemlerinin simülasyonu” adlı tez çalışmaları bulunmaktadır.

2.1 Tezin Amacı

Seminer tezinde üzerinde durulan konu, raylı sistemler için elektrik güç dağıtımı olacaktır. Bu konu da, Levent-Hisarüstü metro hattının yapım aşamaları ile birlikte anlatılacaktır. Enerji üretildiği orta gerilim seviyesinden iletilmesinden dağıtımına kadar, bu aşamalara gelene kadar kullanılan tüm malzeme ve ekipmanlar hakkında detaylı bilgiler verilecektir. Çok az sayıda kişinin içinde bulunabildiği bir metro hattı hakkında araştırmacıların bilgi sahibi olmaları amaçlanmıştır. Kurulum esnasında karşılaşılan sorunların detaylı inceleneceği bu seminer tezi, daha sonraki çalışmalara ışık tutacak ve sorunların daha ileri ki zamanlarda daha hızlı çözülmesine de olanak sağlayacaktır.

2.2 Raylı Sistemlerin Farklı Ulaşım Sistemleri ile Karşılaştırılması

İspanya’da hızlı demiryolu sistemi ilk olarak Sevilla ve Madrid şehirleri arasına kurulmuştur (Rus & Inglada, 1997). Bu hızlı demiryolu sisteminin faydası, maliyet analizi, zaman değerlemesi gibi incelemeleri yapılmıştır. Hızlı demiryolu sistemi kurulduktan sonra motorlu araç trafiği ve kazalarında azalma ayrıca hususi araç

kullanımının da azaldığı görülmüş. Ayrıca İspanya devletinin gelecek kırk yıl boyunca kar edeceği ve iki şehir arasındaki ulaşım zamanının kısılmasından dolayı yolcularında zamandan ve paradan tasarruf edecekleri ortaya konmuştur (Rus & Inglada, 1997).

Fransa’da yapılan bir araştırma ise havayolu taşımacılığı ile demiryolu havayı kirletme yönünden ve yakıt tüketimi açısından yapılmıştır. Ayrıca üç saatten daha az yolculuk süresi olan mesafelerde, hızlı raylı sistem havayoluna alternatif olabilir mi diye araştırılmış. Bu araştırmanın sonucunda hızlı raylı sistem yakıt olarak elektrik enerjisi kullandığından çevreye verilen zarar en az seviyededir. Ayrıca raylı sistemin konforu ve hizmet kalitesi artırıldığında yolcular tarafından çok sık tercih edilmektedir (Patterson & Perl, 1999).

Avrupa’da yirmi yedi ülkede yapılan bir çalışmada ise ulaşımın sosyal ilerlemeler üzerine etkileri incelenmiş. Yapılan bu çalışmada bir oyun oluşturulmuş ve hızlı tren ile havayolu arasında rekabet araştırması yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda sosyal refahı da tüm halka eşit olarak yayabilmek için hızlı raylı sistemlerin geliştirilmesine önem verilmesi tüm Avrupa Birliği üyelerine aktarılmıştır (Adler, Pels, & Nash, 2010).

Yapılan bu araştırmalarda da gösterdiği üzere yolcuların hızlı demiryolunu seçmelerinde ulaşım sürelerinin, güzergahların seçiminin ve merkezi birimlere uzaklığı önemli rol oynamaktadır. Raylı sistemlerin, havayolu gibi konforu yüksek, ulaşımı hızlı bir toplu taşıma aracına alternatif olabilmesinin en önemli etkeni ise, raylı sistemlerin çok iyi işletme koşullarında çalıştırılmalıdır.

3. RAYLI TOPLU TAŞIMA SİSTEMLERİNİN ÇEŞİTLERİ

Raylı toplu sistemleri zaman içerisinde teknolojinin ve araştırmaların geliştirilmesi ile birlikte farklı taşımacılık çeşitleri ile ortaya çıkmaya devam etmiştir. Bazı sistemler ray üzerinde, bazıları havada tel üzerinde, bazıları yer altında, bazıları ise yerüstünde ihtiyaca göre kullanılmaya başlanmıştır. Kullanılan raylı sistemler bu bölümde incelenecektir.

3.1 Füniküler

Füniküler, eğimli arazi yapılarında insanların veya eşyaların taşınması amacı ile halatlarla birbirine bağlanmış ve bir taşıyıcı ray üzerinde hareket edebilen sistemlerdir. Füniküler üst istasyonda bulunan tahrik kasnağına sarılmış, çelik halat ile bağlanmış en az iki araçtan oluşur. İki araç hat üzerinde hareket ederken belirli bir mesafede paralel raylar sayesinde yan yana gelir ve araçlar birbirini geçtikten sonra hat tekrar teke düşer. Birbirine bağlı olan araçlardan aşağı inen, yukarı çıkan araç yardımcı olurken, yukarı çıkan araç ise aşağı inen aracın kontrolden çıkmasını engeller. Dünyadaki ilk yer altı funiküleri ise İstanbul'daki Karaköy'den Galata Kulesi'ne çıkan 1875 yılında inşa edilen Tünel adıyla bilinen funikülerdir (İMRAK & SALMAN). Şekil 3.1'de Tünel funiküler görülmektedir.



Şekil 3.1: Tünel Füniküler

3.2 Maglev

Maglev, bir taşıtın manyetik alana maruz bırakılarak hareket ettirildiği, yönlendirilebildiği teknolojiler için kullanılan bir isimdir. Maglev (Manyetik Levitasyon), aracın hareket edeceği yol boyunca dizilmiş olan bobinlere, aracın altına dizilmiş olan mıknatısların kilitlendiği bir manyetik alan yaratmak üzere alternatif gerilim uygulanır. Sürekli değişen alternatif gerilim sayesinde yol boyunca dizili olan bobinler, aracın doğrusal olarak hareket etmesini sağlayacak olan bir senkron motor görevi görür. Manyetik alanın etkisiyle hareketlenen aracın hızı, alternatif gerilimin frekansının değiştirilmesi ile ayarlanır. Oluşan manyetik alan aracı yaklaşık olarak 15 cm kadar havaya kaldırır. Bu araçlar 100 km/s hızlarda manyetik alan ile 100 km/s'in altındaki hızlarda ise tekerlek üzerinde hareket etmektedirler (ULUSOY, 2010). Şekil 3.2'de Maglev görülmektedir.



Şekil 3.2: MagLev

3.3 Monoray

Monoray ya da diğer adıyla Monorail'in bugün uygulanmakta olan iki tipi vardır. Birinde araç rayın üzerinde yol alırken, diğerinde ise araç rayları altında havada sarkar vaziyette hareket etmektedir. Genellikle yer sorununun olduğu şehirlerde ya

da kasabalarda kullanılmaktadır. Bugün Japonya’da 71 km monoray hatta çalışır haldedir. Yaklaşık olarak saatte 30 bin yolcu taşıma kapasitesi bulunan monoray, ABD, Malezya, Almanya ve İngiltere’de de kullanılmaktadır. Hızları ise 25-30 km/s civarındadır. Şekil 3.3’de Monoray’ın çekilmiş bir görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.3: Üst Yollu Monoray

3.4. Tramvay

Tramvaylar, şehiriçi yolcu taşımacılığı sistemleri arasında en eski taşımacılık yöntemidir (ÖZTÜRK, 2012). Karayolundaki diğer toplu taşıma araçları ile birlikte aynı güzergahı kullanan tramvaylar, trafiğin ve yolun durumuna göre bir sürücü tarafından kontrol edilen araçlardır. Tek yönde saatte 15 bin yolcu taşıma kapasitesine sahip olan tramvaylar, büyükşehirlerde tali ulaşım aracı olarak kullanılmaktadır (ŞİMŞEK, 2008). Tramvaylar diğer raylı sistem araçlarına göre hız ve yolcu taşıma yönünden oldukça zayıf kalmaktadır. Büyük çoğunluğu hemzemin yol üzerinde işletilen tramvaylar, ortalama 25-35 km/s hızla işletilmektedirler ve yaklaşık 300-500 m aralıklarla yolcu istasyonları bulunmaktadır (KESKİN, 2013). İstanbul’da uygulaması bulunan tramway, en eski örneklerinden birisi Zeytinburnu-Kabataş arasında hizmet vermektedir. Tramvaylar da elektrik enerjisini kullanarak hareket etmektedir, genellikle de 750V DC ile beslenen bu araçlar kataner sistemini kullanmaktadır. Şekil 3.4’te Zeytinburnu-Kabataş tramvay hattından bir görüntü verilmiştir.



Şekil 3.4: Zeytinburnu-Kabataş Tramvay Hattı

3.5. Hafif Metro (LRT)

Hafif raylı metrolar (Light Rail Train), tramwayların modernleşmiş daha da geliştirilmiş daha fazla yolcu taşıma kapasitesine sahip halidir. Yeraltında, viyadüklerde ve kendine has yolu olan elektrikli ulaşım sistemidir. Tramwaylara göre neredeyse iki daha fazla yolcu taşıma kapasitelerine sahiptirler. Tek yönde 10 bin ile 30 bin yolcu taşıyabilirler. Hafif metrolar, nüfus yoğunluğu çok yüksek şehirlerde tali ulaşım sistemleri olarak kullanılırken, nüfus yoğunluğu az olan yerlerde ana ulaşım sistemi olarak kullanılmaktadırlar. Yapım maliyetleri de gittikleri güzergahlara göre yüksek olabilmektedir. Örneğin, İstanbul Habipler – Topkapı hafif raylı metro sistemi şuanda hizmet vermektedir. Teknik yönden bakılacak olursa, hafif raylı metro tramwaydan daha hızlı ulaşım sağlamaktadır. Ortalama ticari hızı 42-45 km/s, maksimum hız ise 80 km/s'tir (ÖZTÜRK, 2012). Ayrıca istasyon boyları 100 m civarında olup, 4'lü dizi araçlar kullanılmaktadır. Elektrik enerjisi ile hareket eden hafif raylı metrolar, diğer raylı sistemler gibi 3. Ray ya da katener sistemleri ile beslenmektedir. Gerilim seviyeleri ise 750V DC, 1500V DC ve 3000V DC olarak kullanılmaktadır. Şuanda hizmet veren Habipler – Topkapı hafif raylı metro sistemi katener ile 750V DC ile beslenmektedir (AYDIN, 2012). Şekil 3.5'te Habipler-Topkapı hafif raylı metro hattından bir görüntü verilmiştir.



Şekil 3.5: Habipler – Topkapı Hafif Raylı Metro Sistemi

3.6. Metro

Metrolar, diğer adıyla ağır raylı sistemler bugün şehiriçi toplu ulaşımında en yüksek yolcu kapasitesinin olduğu araçlardır. Tek yönde saatte 70 bin yolcu taşıma kapasitesi olan bu sistem dünyanın pek çok yerinde ana toplu taşıma sistemleri olarak çalıştırılmaktadır. İstanbul gibi nüfusu kalabalık olan şehirlerde, yolcu sirkülasyonunun en yüksek sayılara ulaştığı bölgelerde yerin metrelerce altında kurulur ve işletilirler. Yapım aşamaları her yönü ile bütün toplu taşıma sistemleri arasında en zorlu ve ağır olan sistemdir. Ayrıca diğer sistemlere göre en büyük dezavantajı da yapım maliyetlerinin çok yüksek olmasıdır. Metrolar teknik yönden bakılacak olursa, hız bakımından da diğer sistemlerden üstündür. Ortalama ticari hız 42-48 km/s'tir. Fakat maksimum ulaşabildikleri hız ise 90 km/s'tir. Ayrıca tren boyları 8'li dizi halinde hareket ettikleri zaman 200 m'ye kadar çıkmaktadır (ÖZTÜRK, 2012). Bu durum da istasyon peronları boyları da 200 metre olarak inşaa edilirler. Elektrik enerjisi ile hareket eden metrolar, diğer raylı sistemler gibi 3. Ray ya da katener sistemleri ile beslenmektedir. Gerilim seviyeleri ise 750V DC, 1500V DC ve 3000V DC olarak kullanılmaktadır. Bugün işletme halindeki Yenikapı-Hacıosman metrosunda 3. Ray sistemi olmakla birlikte gerilim seviyesi 750V DC'dir. Şekil 3.6'da Yenikapı-Hacıosman ağır raylı metro hattından bir görüntü verilmiştir.



Şekil 3.6: Yenikapı-Hacıosman Metrosu

3.7. Banliyö Treni

Banliyö trenleri, büyükşehirlerde genellikle şehir dışındaki yerleşim yerlerine ulaşımı sağlamak amacıyla ya da birbirine yakın mesafede bulunan şehirler arasındaki ulaşımı sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Kendine özel raylı güzergahı bulunan banliyö trenleri, bazı hemzemin geçitlerinden kontrollü olarak geçiş sağlar. İşletme giderleri ve enerji tüketimi oldukça düşüktür. Banliyö trenleri enerji beslemesinde katener sistemini ve 15-25 KV enerjisi seviyesini kullanmaktadır (AYDIN, 2012). Şekil 3.7’de görülen İstanbul’da Sirkeci-Halkalı arasında uzun yıllar hizmet veren banliyö hattı, hızlı tren çalışmaları nedeniyle bir süredir hizmet vermemektedir.



Şekil 3.7: Sirkeci-Halkalı Banliyö Treni

3.8. Hızlı Tren

Dünyanın ilk hızlı treni 1964 yılında yapımı tamamlanan Japonya’da bulunan Tokaido Shinkansen’dir. Tren Tokyo ile Osaka arasında yapılan deneme sürüşlerinde 200 km/s hıza çıkmayı başarmıştır. Avrupa’da ise 1981 yılında Paris ile Lyon kenti arasına kurulan hızlı tren 300 km/s hıza ulaşabilmiştir. (TCDD, 2009). UIC (İnternational Union of Railways), hızlı treni yeni yapılacak hatlar üzerinde 250 km/s hıza ulaşabilen, mevcut hatlarda ise 200 km/s hıza ulaşabilen trenler olarak belirtmiştir. Türkiye’de ise hızlı tren uygulaması 2009 yılında Ankara ile Eskişehir arasında hayata geçirilmiştir. Şekil 3.8’de Ankara-Eskişehir hızlı tren hattından bir görüntü verilmiştir.



Şekil 3.8: Ankara-Eskişehir Hızlı Tren

4. RAYLI TOPLU TAŞIMA SİSTEMLERİNDE ELEKTRİFİKASYON SİSTEMLERİ

4.1 Besleme Gerilimi Seviyeleri

Raylı sistemlerde, enerjinin tipinin, ne seviye de olacağının, trafo merkezlerinin hangi mesafelerde olacağı kısmında olsa, trenin hareket edeceği güzergah, durak sayısı, eğim ve benzeri etkenler göz önüne alınarak belirlenir. Tüm raylı sistemlere bakılırsa besleme gerilimi olarak 25 kV AC tek fazlı şebekede 50 Hz frekanslı ya da 750 V DC kullanılmaktadır (Bonnett, 2005). Tramvay, hafif raylı raylı metrolar gibi sistemlerde de bu gerilim seviyeleri kullanılır fakat motorlu araçlar ile ortak hareket edilen yollarda daha düşük gerilim seviyeleri tercih edilir. Pek sık olmamakla birlikte başka gerilim seviyeleri de kullanılmaktadır. Örneğin; Orta Avrupa'da 15 kV AC 16,6 Hz tek fazlı raylı sistem varken, Afrika'da 50 kV ve 3000 V DC'de kullanılmaktadır. Çizel 4.1'de demiryolları elektrifikasyonu gerilim seviyeleri verilmiştir.

Çizelge 4.1 EN 50163'e Göre Demiryolu Elektrifikasyonu Gerilim Seviyeleri

	U_n	U_{min2}	U_{min1}	U_{max1}	U_{max2}	U_{max3}
DC 600 V	600	-	400	720	770	1015
DC 750 V	750	-	500	900	950	1269
DC 1,5 kV	1500	-	1000	1800	1950	2538
DC 3,0 kV	3000	-	2000	3600	3900	5075
AC 15kV 16,7 Hz	15000	11000	12000	17250	18000	24311
AC 25kV 50 Hz	25000	17500	19000	27500	29000	38746

U_n : Nominal gerilim

U_{min1} : En düşük kalıcı gerilim

U_{min2} : En düşük geçici gerilim, max. 10 dk

U_{max1} : En yüksek kalıcı gerilim

U_{max2} : En düşük geçici gerilim, max. 5 dk

U_{max3} : Aşırı gerilim, 20 ms'den uzun süreli olmak üzere

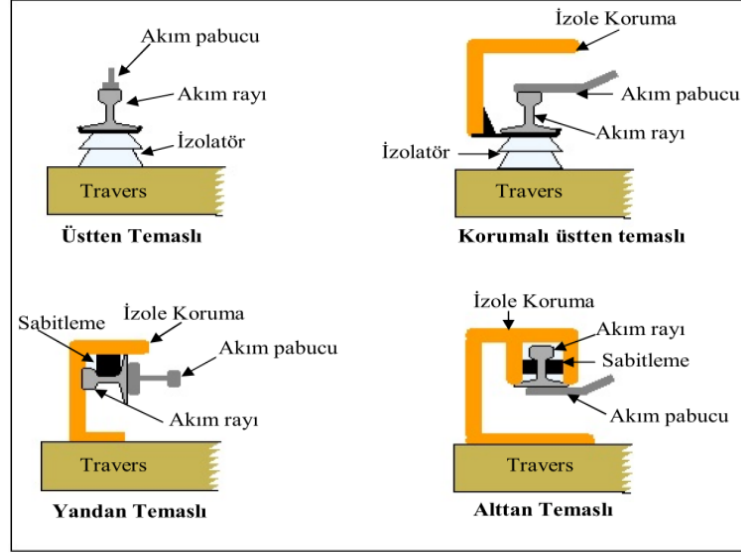
Bu enerji seviyelerinin AC/DC olarak elde edilmesi de farklı gerilim seviyelerindendir. DC sistemlerde elektrik enerjisi 11 kV ya da 33 kV şebekeden alınıp kullanırken, AC sistemlerde ise 132 kV ya da daha yüksek gerilim seviyelerinden alınarak kullanılırlar (Bonnett, 2005). Örneğin; Levent-Hisarüstü metro hattında enerji trafo merkezinden 34,5 kV olarak alınır ve indirici trafolar yardımıyla kullanılır. Dikkat edilirse DC sistemler şehiriçi toplu taşımada, AC sistemler ise yük ve uzun mesafeli raylı toplu taşımada tercih edilmektedirler. Dünyanın geneline bakacak olursak, ortalama 200 000 km elektrik kullanan demiryollarının % 33'ü 25 kV AC 50 Hz, % 18'i 25 kV AC 16,7 Hz geri kalan % 49'luk kısım ise DC gerilim kullanmaktadır (ŞİMŞEK, 2008).

4.2 Besleme Gerilimi İletim Sistemleri

Raylı sistem araçlarının hareket etmek için kullandıkları elektrik enerjisi birkaç farklı yol yardımı ile trenlere aktarılabilmektedir. Bunun belirlenmesindeki en büyük etken, raylı sistemin güzergahıdır. Diğer bir ifade ile demiryolu, tünelde mi yer alacak, viyadükten mi geçecek, tümüyle yerüstünde mi olacak, hattın tamamı kaç kilometre olacak? Gibi soruların cevabı sonrası demiryolu üzerinde hareket edecek aracın elektrik enerjisini, 3. Ray ile mi, standart katener ile mi yoksa rijit katener ile mi alacağı belirlenir.

4.2.1 Üçüncü ray

Üçüncü ray sistemi, genel olarak taşıyıcı raylarla aynı seviyede bulunmakla birlikte metro sistemlerinde sıkça kullanılmaktadır. Raylı sistem aracı, üçüncü rayda bulunan enerjiyi, aracın her iki yanında bulunan ray pabucu yardımı ile alır. Trenin hareket edebilmesi için iki taraftaki pabuçlardan en az bir tarafın üçüncü raya temas halinde olması gerekmektedir. Ray pabucunun üçüncü raya olan temas durumları kullanıma göre farklılık gösterebilmektedir. Yandan, alttan veya üstten temas ile üçüncü raydan enerji alınabilmektedir. Şekil 4.1'de ray pabucunun üçüncü raya temas biçimleri gösterilmiştir.

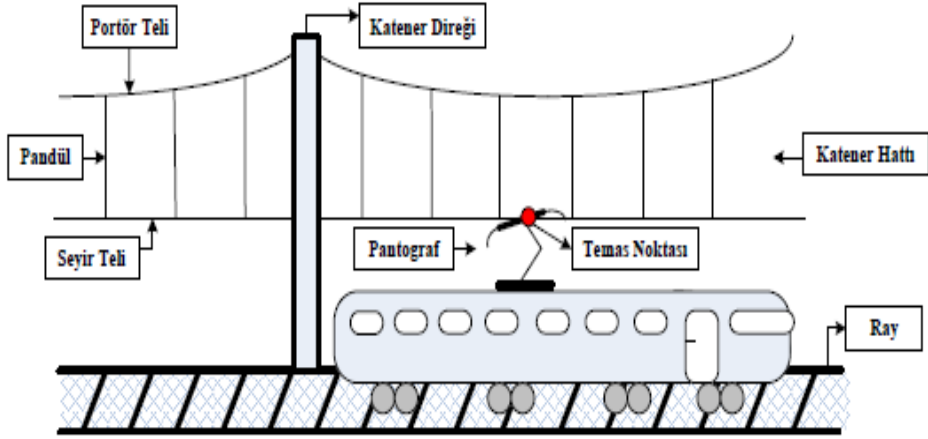


Şekil 4.1: Üçüncü Ray Temas Yöntemleri(AÇIKBAŞ, 2008)

Üçüncü rayların yapısı ise çeliktir. Normal çelikten biraz daha yumuşak ve 20⁰C sıcaklıkta 13-22,5 mΩ gibi bir iç dirence sahiptir. Al kompozit (Al-MgSi) üçüncü rayların direnci ise 7-15 mΩ/km'dir. Bazı eski sistemlerde dönüş akımını (-) trafo merkezine taşımak için dördüncü ray kullanıldığı da görülmüştür (AÇIKBAŞ, 2008).

4.2.2 Standart (Konvansiyonel) katener sistem

Trenlerin hareket edebilmesi için gerekli olan elektrik enerjisini tüm hat boyunca taşıdığı havai hat sistemidir. Daha geniş bir şekilde ifade etmek gerekirse, demiryolu üzerinde hareket eden araçlara tüm iklim şartlarında, olumlu/olumsuz çevre şartlarında, demiryolunun çeşitli geometrik güzergahlarında, azami hızda, trenlerin enerji alan pantografında ve kontak telinde aşınmayı minimuma indirgeyen ayrıca can ve mal kayıplarını da minimize eden elektrik akımını taşıyan havai hatlardır.



Şekil 4.2: Elektrikli Raylı Sistemin Bileşenleri (KARAKÖSE & GENÇOĞLU)

Hat boyunca asılı olan katener hattından enerji tren üzerinde bulunan pantograf aracılığıyla alınır. Şekil 4.2’de de görüldüğü üzere katener sistemi kullanılan trenlerde, enerjiyi katenerin seyir telinden alıp trene aktaran elemanın adı pantografıdır. Aracın üzerinde bulunmakla birlikte izolatörler vasııyla araçtan izole edilmiştir (KARAKÖSE & GENÇOĞLU).

4.2.3 Rijit katener sistemi

Raylı sistemlerdeki gelişmeler ile birlikte 3. ray ve standart katener sistemine alternatif olarak kullanılan, iletkenliği yüksek ve hafif havai hat besleme sistemidir. 1500V DC ve 750V DC hafif ve ağır metro sistemlerinde kullanılmakla birlikte 3000 V DC, 15kV AC ve 25kV AC sistemlerde de kullanılmaktadır (Editör, 2014). Rijit katener sisteminin en önemli özelliği de standart katener sistemleri ile beraber aynı hat içerisinde kullanılabilmeleridir.



Şekil 4.3: Marmaray Rijit Katener Sistemi

Genel olarak bakıldığında Alüminyum kompozit profil ve buna irtibatlı kontak telinden meydana gelmektedir. Bunun en bilinen örneği Marmaray’da uygulanmıştır. Şekil 4.3’de yer alan tünel Marmaray’a projesine aittir, dikkatli bakıldığında tünel boyunca havada asılı olarak rijit katener sisteminin uygulanmış hali görülebilmektedir.

4.3 Katener ve 3. Ray Sistemlerinin Karşılaştırılması

Katener sisteminde havai hatlar olduğundan kopma riski vardır. Zaman içerisinde kontak telinin değiştirilmesi veya yenilenmesi yapılmalıdır. Ayrıca rijit katener sisteminde akım taşıma kapasitesi ve kısa devre direnci daha büyüktür doğal olarak standart katener sistemine göre daha avantajlıdır. Her iki tip katener sisteminin kurulum maliyetleri de 3.ray sistemine göre daha fazladır. Raylı sistem yeraltında olacaksa 3.ray sisteminin tercih edilmesi tünel yüksekliğinde daha az olacağını ve dolayısıyla maliyetinde düşmesini sağlamaktadır. Ayrıca katener sistemler görüntü kirliliğine de sebep olmamaktadır oysa 3.ray göz önünde olmayan bir sistemdir. 3.ray sisteminde elektrik akımının sürekliliğinin sağlanması, katener sisteme göre daha fazladır. Yalnız 3.ray sisteminin katener sistemlere karşı bir dezavantajı vardır. Herhangi bir canlının perondan raylara inmesi demek, 3.rayla karşı karşıya gelmesi demektir. Bu yüzden katener sistemlere göre daha fazla risk taşımaktadır. Şekil 4.4’te Levent-Hisarüstü metro hattından bir görüntü verilmiştir.



Şekil 4.4: Levent-Hisarüstü Metrosu 3. Ray Uygulaması

5. RAYLI SİSTEMLERDE CER GÜCÜ BİLEŞENLERİ

Raylı sistemlerde güç temini enerjinin kullanılan akıma göre değişiklik göstermektedir. Temelde kullanılan enerji türü doğru akımdır (DC). Çünkü trenlerde kullanılan DC gerilim, seri uyarmalı doğru akım motorlarında (SUDAM), AC gerilime göre çok daha uygun hiperbolik bir güç/hız eğrisine sahiptir (ŞİMŞEK, 2008). Dünya üzerindeki sistemlerde büyük çoğunlukla DC sistemler tercih edilmesine rağmen, düşük gerilimin kullanıldığı mevcut ya da eski sistemlerde büyük güç değerlerini karşılamak neredeyse imkansız hala gelmektedir.

Seri motorlar üzerine yapılan çalışmalarından birisi, AC gerilimin doğrultularak DC gerilime dönüştürülmesiydi. Amaç ise, tek fazlı AC seri motoru, şebeke frekansında (50 Hz) ve monofaze AC gerilimde sürebilmektir. Yapılan çalışmalarla amaca ulaşıldı fakat beraberinde sorunlar meydana geldi. Kabloalarda yüksek frekans orantılı endüktif girişimler meydana geldi. Büyük güçlü tek faz CER gücü temininin üç fazlı şebekede gerilim dengesizliği de sorunlardan birtanesiydi.

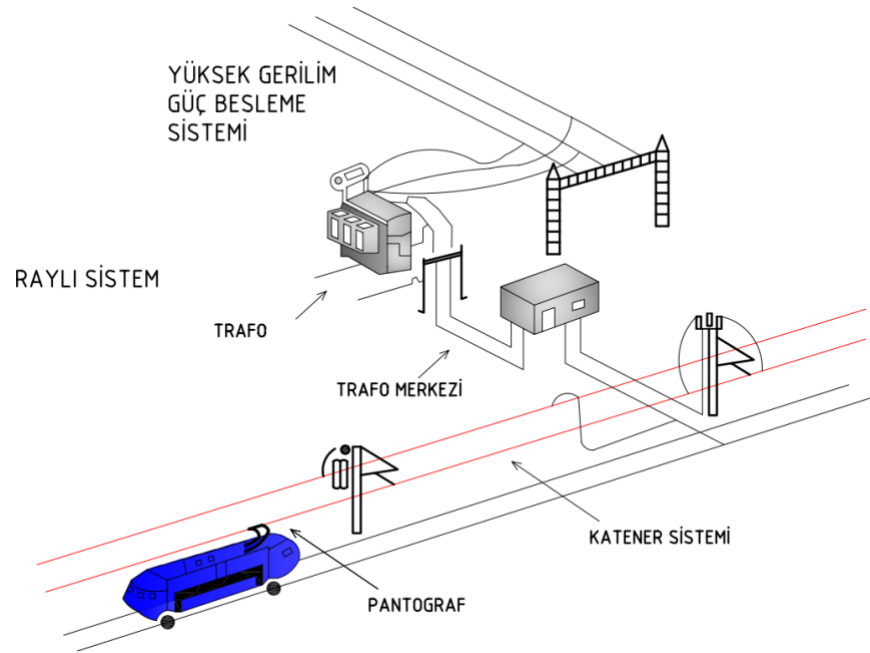
Güç elektroniğindeki gelişmeler ile birlikte birçok ülke enerji düzeyi olarak 25 kV AC 50 Hz kullanmaya başladı (ŞİMŞEK, 2008).

5.1. Raylı Sistemlerin Güç Beslemesi

Raylı sistemlerde trenin hareketi için ve diğer yardımcı elemanların beslenmesi için gerekli olan güç “CER Gücü” olarak adlandırılmaktadır. Enerji beslemesinin türü ise motorların karakteristiğine ve ihtiyaca göre belirlenmektedir. İhtiyaçın incelenmesi bakımından ilk sorgulanması gereken durum, raylı sistem hattının nerede işletileceği sorusunun cevaplanmasıdır. Çünkü hattın şehir içi ya da şehirlerarası işletilecek olması, trenin nasıl hareket edeceğini belirleyecek en

büyük etkindir. Şehir içi raylı sistemlerde trenler kısa sürede çok yüksek hızlara ulaşır yine kısa sürede yavaşlaması gerekmektedir. Fakat bu durum şehirlerarası ulaşımında böyle bir çalışma biçimine gerek olmamaktadır.

CER gücünün ilk amacı treni hareket ettirebilmektir. Genel olarak da enerji şehir içindeki trafo merkezlerinden yüksek gerilim olarak temin edilir, indirici trafo sayesinde ihtiyaç olan gerilim seviyesi elde edilmiş olur. Transformatörler, bu sistemde gerilimin gereken yerlerde yükseltilmesine gereken yerlerde düşürülmesine imkan sağlamaktadır. Bu yüzden birçok sistemde olduğu gibi raylı sistemlerde sıkça kullanılmaktadırlar. Transformatörlerle istenilen düzeye getirilen enerji buradan iletim sistemleri (Katener ya da 3. Ray) kullanılarak trene aktarılır. Bu enerjinin şehir dağıtım şebekelerinden alınıp, CER gücü olarak kullanılacak hale gelmesine kadar yapılan işlemlerin gerçekleştirildiği merkezlere ise CER Gücü Trafo Merkezleri adı verilmektedir.



Şekil 5.9: Raylı Sistem Güç Beslemesi (AYDIN, 2012)

Şekil 5.1’de de katener sistemi ile besleme yapılmış bir sistem temsili olarak modellenmiştir.

5.2. Orta Gerilim Sistemi

Hafif/ağır raylı sistemlerde enerji, yüksek gerilim sisteminden indirici trafo merkezine oradan da orta gerilim kabloları ile CER gücü trafo merkezine iletilir. Trafo merkezinden kablolar ile iletilen enerji, CER gücü trafo merkezindeki orta gerilim kesici hücrelerine gelir. Buradaki orta gerilim hücreleri gerek gerilimi ölçmek gerek yönlendirmek için kullanılır. Sistemin ihtiyacına göre farklı orta gerilim hücreleri bulunabilir. Hemen hemen tüm hücrelerde, gerilim seviyesine göre vakumlu veya gazlı arabalı diye tabir edilen kesiciler bulunmaktadır. Şekil 5.2’de orta gerilim hücreleri verilmiştir.



Şekil 5.2: Levent-Hisarüstü Metro Hattı Orta Gerilim Hücreleri

5.2.1. Orta gerilim şalt hücreleri

Orta gerilim hücreleri, Levent-Hisarüstü metro hattı için trafo merkezinden alınan 34,5 kV’luk enerjiyi CER trafosuna, iç ihtiyaç trafolarına ve enerji ihtiyacı olan tüm ekipmanlara enerji dağıtımı yapılırken kullanılmıştır. Orta gerilim hücreleri uygulamada Şekil 5.2’de görüldüğü üzere 36kV 31,5 kA’ye kadar hava izoleli, metal mafhazalı, arabalı ve vakumlu kesicilere sahip modüler hücrelerdir. Hücrelerde gerilim trafoları, akım trafoları, kesici, ayırıcı ve ölçüm cihazlarının tümü mevcuttur. Orta gerilim hücreleri her biri farklı görevi olan, 8 adet

hücreden meydana gelir. Kısaca bahsetmek gerekirse hücreler şu şekilde adlandırılmaktadır;

- Ring Giriş/Çıkış Hücresi
- Yardımcı Güç Trafosu Çıkış Hücresi
- CER Trafosu Çıkış Hücresi
- Bara Kuplaj Hücresi
- Ölçü Hücresi

Ring giriş/çıkış hücresi:

Bu hücreler orta gerilim hücreleri arasında genellikle ilk ve son hücre olarak kullanılmaktadır. Bu haliyle bir önceki ve bir sonraki istasyonlar arasındaki bağlantıyı sağlarlar. Raylı sistemlerde enerjinin anlık bile olsa kaybedilmesi çok büyük sıkıntıların açığa çıkmasına sebep olabilmektedir. Bu yüzden ring hücreleri enerjinin kesilmesi önlemek üzere kurulur, raylı sistem güzergahı üzerindeki tüm trafo merkezleri üzerinden geçen enerji ring hücreleri sayesinde birbiri ardına aktarılır.

Yardımcı güç trafosu çıkış hücresi:

Yardımcı güç trafoları, istasyon yapılarındaki alçak gerilim ile beslenen tüm ekipmanların elektrik ihtiyacını karşılamak amacı ile kullanılırlar. Yani istasyonlardaki aydınlatma armatürleri, motor, pompa, havalandırma ekipmanları gibi donanımların beslemeleri yardımcı güç trafoları diğer bir adıyla iç ihtiyaç trafoları yardımıyla yapılır. Ek 1’de örnek olarak verilen orta gerilim projesinde istasyon 2’de 2 adet 34,5/0,4kV 1000kVA iç ihtiyaç trafosu görülmektedir. Ayrıca Levent-Hisarüstü hattı için 4 istasyonda da 2’şer adet olmak üzere 34,5/0,4kV 1000kVA iç ihtiyaç trafosu öngörülmüştür.

CER trafosu çıkış hücresi:

Trenin hareketi gerekli olan enerjinin sağlandığı trafoya gücün aktarılmasını sağlayan hücredir. Girişinde bulunan 34,5kV’luk enerji bu hücrenin kapatılmasıyla birlikte 34,5/0,59kV 3300 kVA’lık CER trafosuna aktarılır.

Ek 1’de örnek olarak verilen orta gerilim projesinde istasyon 2’de 2 adet 34,5/0,59kV 3300kVA CER trafosu görülmektedir. Ayrıca Levent-Hisarüstü hattı için istasyon 1’de 1 adet, istasyon 2’de 2 adet ve istasyon 4’te 2 adet olmak üzere 34,5/0,59kV 3300kVA çift çekirdekli CER trafosu öngörülmüştür.

Bara kuplaj hücresi:

Kesicili kuplaj hücreleri, yük ayırıcıyla kuplaj yapabilmek için kullanılmaktadır. Kuplaj ise, birden fazla enerji beslemesinin yapıldığı orta gerilim sistemlerinde enerji giriş önceliğinin nereden yapılacağını belirlemek için kullanılmaktadır.

Ölçü hücresi:

İsminden de anlaşılacağı gibi, üzerinde Bedaş mühürlü sayacı bulunan bu hücre orta gerilim olarak ne kadar kw/h enerji tüketildiğini ölçmektedir. Levent-Hisarüstü hattında orta gerilimin enerjimizin ilk giriş yaptığı hücreler ve B2 olarak adlandırılan trafo merkezindeki orta gerilim hücrelerinden B2/BH/02 nolu hücre ölçü hücresidir.

5.2.2. Orta Gerilim Kabloları

Kablolar, enerjinin üretildiği noktadan ekipmanlara taşınması amacıyla kullanılmaktadırlar. Kullanılacak yere, zemine, ekipmana göre kablo tipleri değişmektedir. Başlıca kablo çeşitleri olarak, yüksek gerilim, orta gerilim, alçak gerilim, zayıf akım, sinyal olmak değişik üzere kablolar vardır. Ayrıca iletkenin cinsine göre, bakır, alüminyum gibi iletkenlerde kullanılmaktadır. Yine gerek denizaltında, havada, yeraltında kablo tipleri farklılık göstermektedir. Orta gerilimde de kablolar kullanım amacına göre farklılık göstermektedir. Levent-Hisarüstü metro hattında orta gerilim kabloları istasyonların arası 34,5kV enerjinin taşınmasında ve ring hattının oluşturulmasında kullanılmıştır.

20,3/35 kV XLPE izoleli, elik tel zırlı,  damarlı, bakır iletkenli kablo kullanılmıştır. Bu kablonun dielektrik kaybı çok düşük, mekanik zorlamalara karşı dirençlidir.

5.3. CER Sistemi

Raylı sistemlerde CER enerjisinin üretimi/tüketimi ile ilişkili olan birçok faktör bulunmaktadır. Eğer raylı sistemin çalışacağı güzergahı göz önüne alırsak, kurplar, istasyonlar arası mesafeler, hattın eğimi ve hız sınırlamaları etkili olacaktır. Eğer ki, işletmede kullanılacak araçlar göz nnne alınırsa, araçların ağırlığı, araçların motorları, yapısı ve araçtaki yardımcı güç sistemleri etkili olacaktır. Eğer CER gücü dağıtım ve besleme açısından bakılırsa, trafo merkezlerinin sayısı ve aralarındaki mesafeler, beslemede kullanılacak sistemin (katener, 3.ray) zellikleri, trafo merkezindeki ekipmanların tipi etkili olacaktır. Ayrıca retim/tüketime etki eden bir durumda, hattın işletilmesi durumudur, trenler arası süre(headway), istasyonlardaki bekleme süreleri ve tren kompozisyonu etkili olacaktır.

5.4. CER Sistemini Oluşturan Bileşenler

Raylı sistemlerde trafo merkezinden orta gerilim hücrelerine iletilen enerji iki yerde değerlendirilmektedir. Birincisi trenin hareketi için gerekli olan enerji, diğeri ise istasyon yapılarında kullanılması gereken enerjidir. Daha önce bahsettiğimiz üzere ve Ek 1’de yer alan orta gerilim tek hat şemasında da görüldüğü üzere, orta gerilimden çıkış yapan enerji CER trafosuna ve i ihtiyaç trafolarına bağlanır. CER trafosu trenin hareket etmesi için kullanacağı enerjiyi temin eder. İ ihtiyaç trafoları ise, istasyon yapısında bulunan aydınlatma, ısıtma, soğutma, zayıf akım sistemleri, haberleşme sistemleri ve havalandırma fanları gibi ekipmanların enerji ihtiyacını karşılar.

Ayrıca CER sisteminde enerjinin 3. raya veya katener sistemine iletilmeden önce CER trafosunun sekonderinden çıktıktan sonra bağlandığı farklı ekipmanlarda mevcuttur. Kısaca bir CER merkezi şu ekipmanlardan oluşabilir;

- CER trafosu
- DC Şalt Hücreleri
- Orta Gerilim Hücreleri
- İç ihtiyaç trafoları
- AG Panoları
- UPS
- Redresör
- Redresör Trafosu

Hattın talep edeceği enerji miktarı belirtilen ekipmanların değişmesine sebep olabilir, Levent-Hisarüstü metro hattında kullanılan CER merkezi ekipmanları belirtildiği gibidir.

5.4.1. CER Trafosu

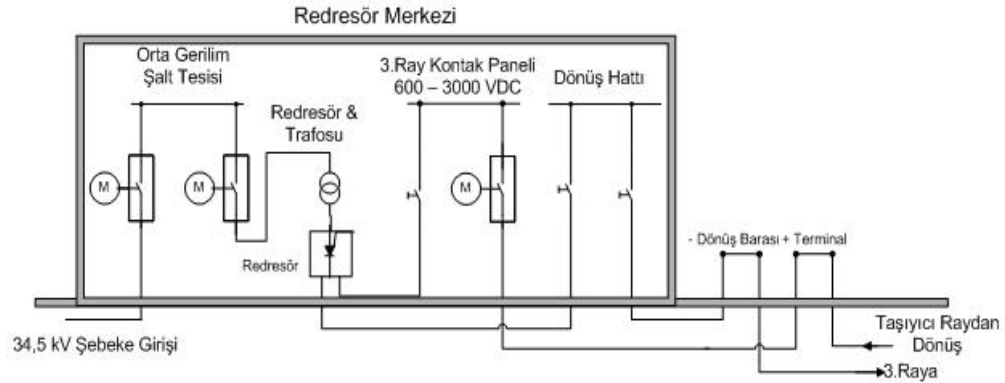
Trenin hareketi için gerekli olan 750V DC enerjinin üretilmesinde kullanılan trafolar CER trafoları olarak adlandırılmaktadır. Levent-Hisarüstü metro hattında, İstasyon 1 (Levent)'de 1 adet, İstasyon 2 (Nispetiye)' de 2 adet, ve İstasyon 4 (Boğaziçi Üniversitesi)'te 1 adet olmak üzere 34,5/0,59kV 3300 kVA gücünde çift çekirdekli toplamda 4 adet CER trafosu tesis edilmiştir. Şekil 5.3'te CER trafosu gösterilmektedir.



Şekil 5.3: İstasyon 4 (Boğaziçi Üni.) CER Trafosu

5.4.2. DC Şalt Hücreleri

Orta gerilim hücresinde anahtarlanan 34,5kV'luk enerji ilgili kesicinin kapatılması ile CER trafosunun primer sargılarına iletilir. Sekonder sargılarından 0,59kV'a indirilen enerji DC hücrelere busbar sistemi yardımıyla doğrultulmak için diyot grubunun bulunduğu hücrelere iletilir.



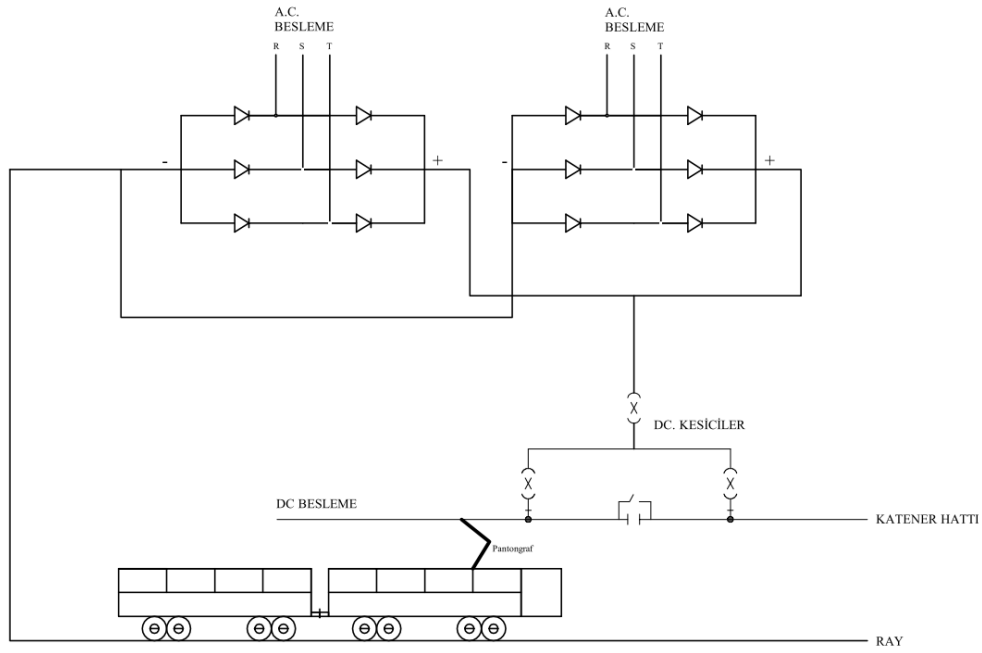
Şekil 5.4: CER Besleme Şeması (ŞİMŞEK, 2008)

Şekil 5.4'te, anlatılanların özetini açıkça daha belirgin bir şekilde ortaya koymaktadır. Redresör trafosu, Şekil 5.4'te CER trafosunu ifade etmektedir. Redresör ise, trafonun sekonder sargılarından busbar ile taşındığı diyot gruplarını içerisinde barındıran MG01 ve MG02 olarak adlandırılan DC hücrelerdir. Şekil 5.5'te DC hücreler görülmektedir.



Şekil 5.5: DC Şalt Hücreleri MG01 ve MG02, MC11 ve MD51

MG01 ve MG02 hücrelerinde bulunan diyot gruplarına AC olarak giren enerji DC gerilime dönüştürülür. MC11 ve MD51 hücrelerinden + 750V DC ve – olarak alınır. Burada MC11 +, MD51 – kutupların alındığı hücrelerdir. Doğrultma işleminde kaç darbeli doğrultma yapılacağı gücün mertebesine göre belirlenmektedir. Çok özel durumların haricinde, 6 darbeli ya da 12 darbeli doğrultucu devreleri kullanılmaktadır. 6 darbeli devreler düşük güçler için tercih edilirken, 12 darbeli doğrultucular ise büyük güçler için tercih edilmektedir. Şekil 5.6’da 12 darbeli doğrultucu görülmektedir.



Şekil 5.6: 12 Darbeli Doğrultucu Devresi (AYDIN, 2012)

Daha önce de bahsettiğimiz üzere doğrultucuların darbe sayısını istenilen güç etkilemektedir. Belirleyici etken ise akım değeridir.

Eğer doğrultulan gerilimin ortalama değerine bakacak olursak;

Örnek olarak belirli p değerleri için;

Çizelge 5.1: Farklı p değerleri için ortalama gerilimin/tepe değerine oranı

Darbe Sayısı (p)	P = 2	P= 6	P=12
V_{d0}/V_M	0,636	0,954	0,990

Çizelge 5.1’de de görüldüğü üzere darbe sayısı arttıkça ortalama gerilimin, tepe değerine oranı 1’e yaklaşmakta, bu da çıkışta gerilimin daha az salınımsız daha doğru bir gerilim olmasını sağlamaktadır.

5.4.3. İç İhtiyaç Trafosu

İç ihtiyaç trafoları istasyon yapılarındaki elektrik ihtiyacını karşılamak için kullanılmaktadırlar. İstasyon yapılarında, aydınlatma, havalandırma, motor, makine, ısıtma, soğutma gibi elektrik ihtiyacı olan tüm ekipmanlar iç ihtiyaç trafoları sayesinde beslenmektedir. Levent-Hisarüstü metro hattında da her istasyon yapısında 2’şer adet 34,5/0,4kV 1000 kVA gücünde iç ihtiyaç trafoları öngörülmüştür. Ek 1’de verilen orta gerilim projesinde istasyon 2 gözükmemektedir, projede 2 adet ATR/01 ve ATR/02 isimli iç ihtiyaç trafoları yer almaktadır. Şekil 5.7’de iç ihtiyaç trafoları görülmektedir.



Şekil 5.7: İstasyon 3 (Etiler İstasyonu) 34,5/0,4kV 1000 kVA Kuru Tip İç İhtiyaç Trafoları

5.4.4. Alçak Gerilim Sistemi

Raylı sistemlerde alçak gerilim istasyon yapılarında kullanılmaktadır. Temelini iç ihtiyaç trafosu oluşturmaktadır. Trafo merkezinden iletilen 34,5kV'luk enerji, iç ihtiyaç trafosunun primerine girer, sekonderden 0,4kV olarak alınır. Sekonderden alınan bu enerji, istasyon yapılarındaki gerek tek fazlı gerekse üç fazlı tüm sistemlerde kullanılabilir. Primeri üçgen, sekonderi yıldız bağlı olan iç ihtiyaç trafoların, sekonderinden 0,4kV değerindeki enerji Ana Dağıtım Panolarına(LVS) aktarılır, ana dağıtım panolarından istasyon yapılarındaki kat panolarına ya da diğer adıyla tali panolara aktarılır. Sekonder ile ana dağıtım panosu arasında enerji aktarımı kablo ile yapılabileceği gibi busbar sistemlerle de yapılabilmektedir. Levent-Hisarüstü metro sisteminde iç ihtiyaç trafoları ile LVS'ler arasında enerji aktarımı busbar ile yapılmıştır. Şekil 5.8'de LVS'ler görülmektedir.



Şekil 5.8: İstasyon 4 (Boğaziçi Üniversitesi İstasyonu)Ana Dağıtım Panoları

Ana dağıtım panosunda her tali panoya ait şalter bulunmaktadır. Enerji bu şalterler sayesinde anahtarlanmaktadır. İstasyon katlarında bulunan bu tali panolar genellikle tek amaca hizmet etmektedir. Aydınlatma panosu, priz panosu, tünel aydınlatma pano, tünel priz panosu ya da mekanik ekipman panosu isimlerinden de anlaşılacağı gibi her panonun görevi tektir. Bu

panolardan da enerji şalterler yardımıyla dağıtılmaktadır. Şekil 5.9’da tali panolar görülmektedir.



Şekil 5.9: Tali Panolar

5.4.5. Kesintisiz Güç Kaynağı (UPS)

İstasyon yapılarındaki, enerjisini kaybetmesi halinde sonuçlarının hayati önem taşıyan ekipmanların beslemesi EDB (Emergency Distribution Board) panosundan yapılmalıdır. İstasyon yapılarındaki yolcu mahallerin aydınlatma armatürlerinin %20’si, tünel yapısındaki armatürlerin % 50’si, (bir normal bir acil)acil durumda çalışacak şekilde beslemesi yapılmalıdır. Ayrıca trenin yönlendirilmesinde büyük öneme sahip olan SCADA, sinyalizasyon ve haberleşme sistemleri de yine UPS’ten beslenmelidir. Levent-Hisarüstü metro hattında her istasyon yapısına uygun değerde UPS seçilmiştir. Levent ve Etiler istasyonları için 60 kVA, Nispetiye ve Boğaziçi Üniversitesi istasyonları için 80 kVA UPS öngörülmüştür.

5.4.6. Redresör ve İzolasyon Trafosu

Redresörler, şebeke gerilimini (AC), DC gerilime dönüştüren ve istenilen voltaj seviyesine indirebilen ekipmanlardır. Redresörler genellikle enerjinin yedeklenmesi bir yerde depo edilmesi veya acil aydınlatma sistemlerinin yapımında kullanılırlar. Ayrıca redresörler belirli bir akü grubunu şarj etmek, onları sürekli dolu tutmak içinde kullanılabilir. Metro gibi raylı sistem

yapılarında genellikle de bu amaç ile kullanılmaktadırlar. Mikroişlemci kontrollü olan redresörlerin çıkış gerilimleri, akımları ve şarj hızı istenildiği şekilde ayarlanabilmektedir. Günümüzde giriş beslemesi tek faz veya üç faz olan redresörlerin çıkış gerilimleri çok farklı olabilmektedir. Bunların bazılarına örnek vermek gerekirse, 12V DC, 24V DC, 48V DC, 110V DC ve 220V DC. Levent-Hisarüstü metro hattında Levent ve Etiler istasyonlarında 100V DC/60A, Nispetiye ve Boğaziçi Üniversitesi istasyonlarında ise 110V DC/90A olmak üzere 2'şer adet yedekli çalışması planlanan redresör öngörülmüştür.

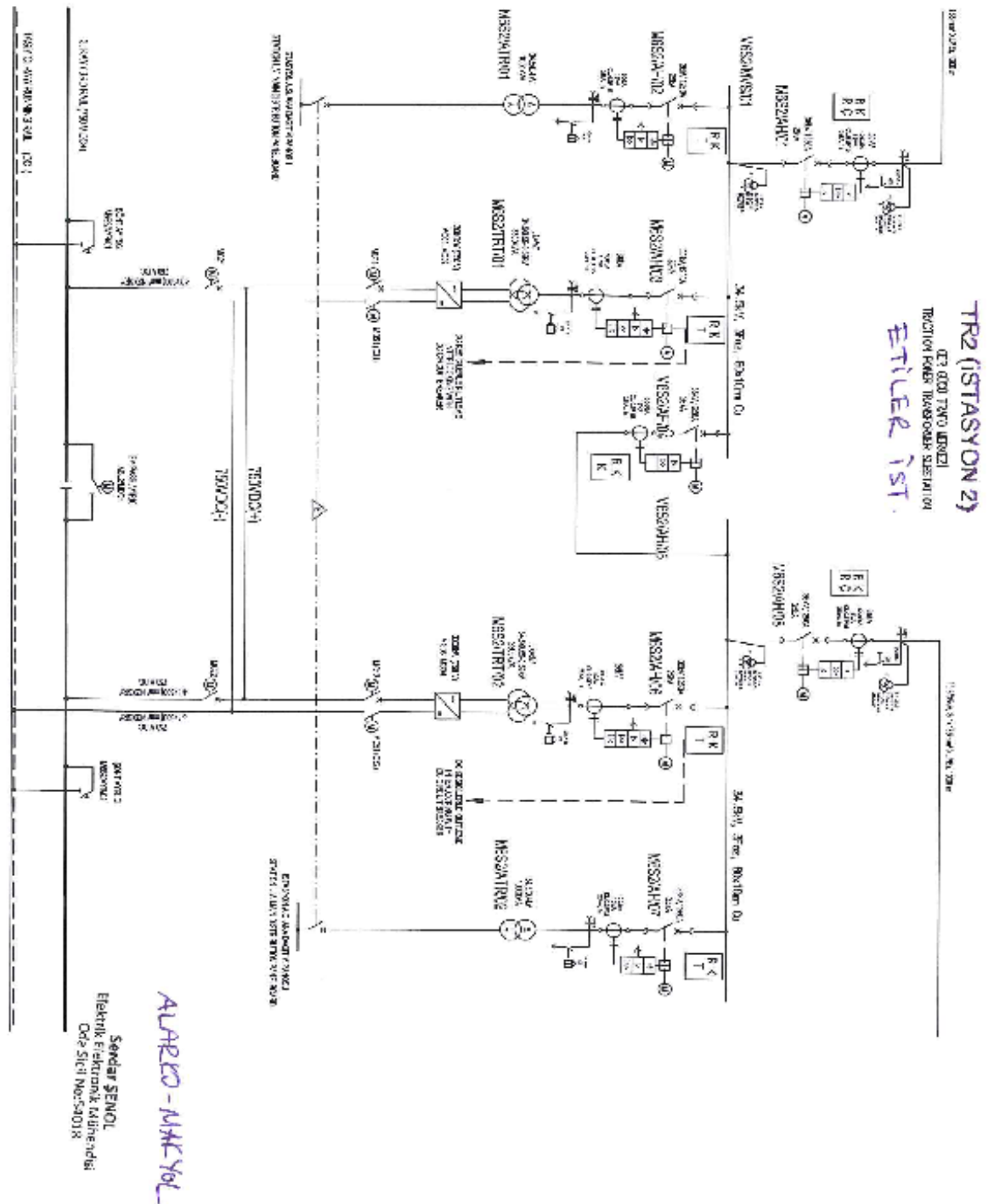
Sargılar ile nüvenin birbirinden yalıtılmasını sağlayan, izolasyon amacıyla AC şebekeden enerjilenen güç cihazlarında, birincil ve ikincil taraf sargılarının birbirinden izoedildiği ve alçak gerilim gereken yerlerde kullanılan cihazlara izolasyon yada yalıtım trafosu adı verilmektedir. Kullanılmasındaki temel amaç canlıların çarpılma riski olan yerlerdir. Trafoların en çok işe yaradığı kullanım alanı ise, alçak gerilimle çalışan yerlerde oluşabilecek manyetik kirliliğin yüke aktarılmasını önlemektir. Levent-Hisarüstü metro hattında Levent ve Etiler istasyonlarında 80 kVA, Nispetiye ve Boğaziçi Üniversitesi istasyonlarında 100 kVA gücüne sahip izolasyon trafoları öngörülmüştür.

KAYNAKLAR

- AÇIKBAŞ, Y. M.** (2008). *Çok Hatlı Çok Araçlı Raylı Sistemlerde Enerji Tasarrufuna Yönelik Sürüş Modeli*. Doktora Tezi: İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Adler, N., Pels, E., & Nash, C.** (2010). High-speed rail and air transport competition: Game engineering as tool for cost-benefit analysis. *Transportation Research Part B: Methodological* (s. 812-833). içinde
- AYDIN, T.** (2012). *Hafif Raylı Sistemlerin Elektrik Güç Beslemesinde Güvenilirlik Analizi*. Yüksek Lisans Tezi: İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Bonnett, C.** (2005). Practical Railway Engineering. C. Bonnett içinde, *Practical Railway Engineering 2 nd Ed.* (s. 122-123). London: Imperial College Press.
- Editör.** (2014, Nisan 25). *Elektrikport*. Nisan 25, 2014 tarihinde Elektrikport: <http://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/rayl-sistemlerde-enerji/8657#ad-image-0> adresinden alındı
- İMRAK, P. D., & SALMAN, A. G.** (tarih yok). Füniküler Sistemler ve Türkiye'de Kullanımı. *Mühendis ve Makina*, 37-39.
- KARAKÖSE, E., & GENÇOĞLU, M. T.** *Pantograf-Katener Sistemlerinde Aktif ve Pasif Kontrol Teknikleri*. Elazığ: Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü Fırat Üniversitesi.
- KESKİN, D.** (2013). *Kent İçi Raylı Sistemler Elektromekanik Sistemler Yatırım Maliyetleri*. İstanbul: Bahçeşehir Üniversitesi.
- ÖZTÜRK, N. F.** (2012). *Hafif Raylı Sistemlerde PLC ile Makas Kontrolü*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi.
- Patterson, J., & Perl, A.** (1999). The full cost of high-speed rail: An engineering approach. *World Transport Policy & Practice*, 39-46.
- Rus, G. d., & Inglada, V.** (1997). Cost-benefit analysis of the high-speed train in Spain. *The Annals of Regional Science*, 175-188.
- ŞİMŞEK, A.** (2008). *Elektrikli Raylı Sistemlerin İncelenmesi ve Kent İçi Raylı Ulaşım Sistemlerinde Enerji Kalitesi ve Geri Kazanımı*. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi.
- TCDD.** (2009). Yüksek Hızlı Tren Hakkında Herşey. 8.
- ULUSOY, A.** (2010). *Ulaşımında Raylı Sistemler ve Kayseray*. Kayseri: Erciyes Üniversitesi.
- TÜİK.** (2011). *ULUSAL SERAGAZI EMİSYON ENVARTERİ RAPORU*. Ankara: Türkiye İstatistik Kurumu Matbaası.

EKLER

EK A: Levent-Hisarüstü orta gerilim tek hat şemasından, Etiler İstasyonu.



ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Serdar ŞENOL
Doğum Yeri ve Tarihi: 17.10.1986
Adres: Yeşilova Mah. Benhür Sok. No: 23 Kat:1
K.Çekmece/İST.
E-Posta: serdarsenol@hotmail.com.tr
Lisans: Karadeniz Teknik Üniversitesi

Mesleki Deneyim ve Ödüller:

İş hayatına Elektronik Haberleşme teknikeri olarak başladım. Fatih Belediyesi Başkanlık binasının yapımında 8 ay görev aldım. Ardından üniversite hayatına mühendislik fakültesi ile devam ettim. Haziran 2013'te mezun olduğum Elektrik Elektronik Mühendisliği bölümünden sonra Ağustos 2013'ten beri Levent-Hisarüstü Metro hattının Elektrik Elektronik yapım grubunda mühendis olarak çalışmaktayım.

“Mikroişlemci kontrollü led aydınlatma tasarımı ve gerçekleştirilmesi” isimli iki mühendis arkadaşım ile yapmış olduğumuz lisans bitirme tezimiz 1. Ödülüne layık bulunmuştur.