

# RAYLI SİSTEMLERDE ENERJİ OTOMASYONU İLE HAT KAYIPLARININ AZALTIKMASI

Taciddin AKÇAY<sup>1</sup> Y.Doç.Dr. Aysel ERSOY<sup>2</sup>

<sup>1</sup> İstanbul Büyükşehir Belediyesi Avrupa Yakası Raylı Sistem Müdürlüğü  
34010 Merter İstanbul

<sup>2</sup> İstanbul Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü  
34320 Avcılar İstanbul

<sup>1</sup>e-posta: [taciddin.akcay@ibb.gov.tr](mailto:taciddin.akcay@ibb.gov.tr)

<sup>2</sup>e-posta: [aersoy@istanbul.edu.tr](mailto:aersoy@istanbul.edu.tr)

## Özet

*Enerji yönetimi bir işletmede enerjinin verimli kullanılabilmesi açısından önemli bir kavramdır. Raylı sistemlerde enerji tüketim miktarı yüksek olduğu için enerjinin etkin şekilde kullanılması önem arz etmektedir. Bu sistemlerde kullanılan enerji miktarı zaman ve lokasyon faktörlerine (eğim, ortam koşulları, istasyonlar arası mesafe) bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Ayrıca raylı sistemlerde işletme esnasında oluşan hat kayıplarında bir çok etken söz konusudur. Enerji yönetimi akıllı şebeke uygulamalarıyla bir organizasyonun kullandığı enerjiyi optimize etmekle ilgilenir.*

*Bu çalışmada raylı sistemlerde enerji otomasyon yöntemi ile hat kayıplarının azaltılması hedeflenmiştir. Başak Şehir 4-Kirazlı İve Olimpiyat Köyü-İkitelli Metro Hattı orta gerilim yük akış simülasyonu gerçekleştirilmiş ve enerji otomasyonunun hat kayıplarına etkisi simülasyon sonuçları üzerinden değerlendirilmiştir.*

**Anahtar sözcükler:** Raylı Sistemler, Demiryolları, İletim hattı, Kayıplar, Enerji, Otomasyon.

## 1. Giriş

Enerji tüketiminde optimum koşulları sağlamak için elektriğin etkin ve verimli kullanımı önem arz etmektedir. Özellikle raylı sistemler gibi birden çok kaynaktan besleme kullanılan uzun hatlı sistemlerin iletim hatlarında enerji kayıpları meydana gelir. Elektrik iletiminde oluşan bu kayıplar enerji otomasyon sistemi ile minimize edilmeye çalışılmaktadır [1-5]. Enerji otomasyonunun sağlanmasında hat verilerinin izlenmesinde simülasyon yöntemi önemli bir yere sahiptir.

Simülasyon yöntemi ile güç sistemi değerlendirilebilmekte istenilen optimizasyon çalışmaları yapılabilmekte, olası problemler daha sistem inşa edilmeden görülerek çözülmekte ve sonuç olarak kayıplarda önemli azalmalar sağlanmaktadır.

Güç temininin problemsiz bir şekilde gerçekleştirilmesi için dinamik yük davranışının belirlenmesi gerekmektedir [1]. Güç kaybı hesaplanırken bara gerilimi, hattın empedansı, iletim hattının gerilimi, hattaki gerilim düşümü dikkate alınır. Gerilim düşümü güç kaybı ile doğru orantılı olup özellikle ring enerji besleme sistemine sahip uzun mesafelerde bu kayıp daha

fazla olmaktadır. DC beslemeli bir raylı sistemin AC enerji dağıtım sistemleri için güç akışı yapılarak yük akışı ve hata analizi simülasyon sonuçlarıyla enerji besleme oranlarının seçimi yapılabilmektedir [1]. Bunun yanında raylı sistemlerin besleme noktasındaki yüklenme durumlarını ve araçların gerilim profillerini incelemek için olasılıksal yük akışı teknikleri uygulanabilmektedir [2].

Bu çalışmada çok istasyonlu bir raylı sistemde enerji otomasyon sistemi ile enerji yönetimi uygulanarak hat kayıplarının azaltılması gerçekleştirilmiştir. Çalışmada ikitelli-otogar-bağcılar metro hattına ait 2 ağ ele alınmıştır. Sistem, hem İkitelli İndirici Merkez hem de Kirazlı İndirici Merkez olmak üzere iki ayrı noktadan beslenmektedir.

Öncelikle sistemin hat şeması benzeşim senaryoları oluşturulmuş ve buna bağlı olarak benzeşim ana verileri hesaplanmıştır. Benzetimde Matlab / simulink programı kullanılmış ve bu çalışmadaki hesaplamalarda doğru sonuç alabilmek için 50e-6 örnekleme zamanı ile çalıştırılmıştır. Yapılan simülasyonda sistem 3 ayrı durum için analiz edilmiş olup, bunlar tüm hat İkitelli Merkezden beslenirken, tüm hat Kirazlıdan beslenirken, 1. Ağ İkitelliden 2. Ağ Kirazlıdan beslenirken olan durum ele alınmıştır. Daha sonra istasyon baralarına ait yük analizleri gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar değerlendirilerek enerji otomasyonu ile hat kayıpları optimize edilmeye çalışılmıştır.

## 2. Elektrifikasyon Sistemi

İkitelli-Otogar-Bağcılar Metro hattı 14.819 kilometre uzunluğunda ve 13 istasyonlu olarak planlanmıştır. Kirazlı-1 istasyonundan başlayan hat, ikitelli Güney Sanayi istasyonunda çatallanarak, bir kesimi Basak Konutları'na diğer kesimi ise Olimpiyat Parkı'na uzanmaktadır. Hat işletmeye açıldığında, ana hattın Kirazlı – Basak Konutları arasında işletileceği, İkitelli Güney Sanayi ile Olimpiyat Parkı arasında ise mekik sistemi ile işletme yapılacağı öngörülmüştür. Bu çalışmada mekik hattına göre daha yoğun işletme sıklığına sahip ana hatta ait hesaplar yapılmıştır. 34.5 / 0.4 kV iç ihtiyaç trafo ları ve 34.5/12.2 kV cer trafo larından oluşmakta olan hat 12 darb eli redresör sistemi ile 1500 V DC gerilim ile işletilmektedir. Cer sistemi araçlara kataner hattı boyunca iletilmektedir. Hattın kurulu gücü 120 MVA'dır. Yolcu yoğunluğuna göre hattın başlangıç

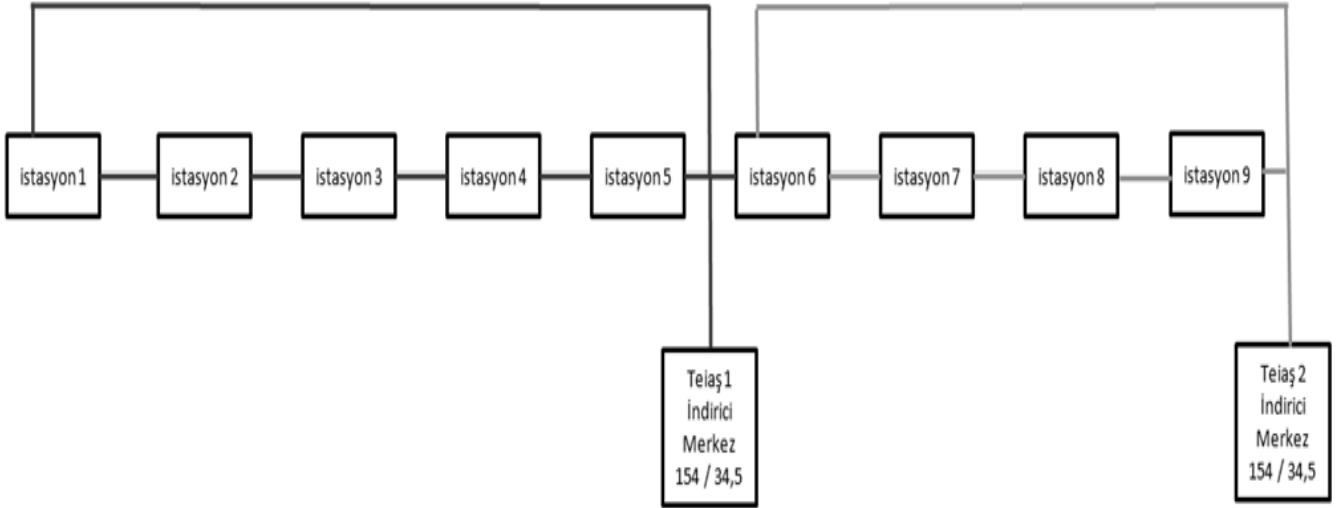
aşamasında yaklaşık 5 dakikalık sefer sıklığı ile işletilmesi planlanmaktadır. Yani hesaplarda kullanabilmek için tek bir işletme yönü için iki istasyon

arasında bir araç olduğu kabulü yapılabilmektedir. Başakşehir 4-Kirazlı 1 ve Olimpiyat Köyü-İkitelli metro hattı orta gerilim yük akışı Şekil 1’de gösterilmektedir.

Şekil 1’e göre sistem anahat işletmesinde besleme noktası İkitelli ve Kirazlı indirici Merkezlerdir. Teiaş 1 nolu besleme noktası İkitelli indirici merkezi Teiaş 2 nolu besleme noktası ise Kirazlı indirici merkezi simgelemektedir.

- **Besleme Ağı-1:** İkitelli Güney -İkitelli-2 San-İkitelli San-Başak Konut1-Başak Konut-4
- **Besleme Ağı-2:** İstoç İstasyon – Mahmutbey- Kirazlı- Kirazlı-1

olmak üzere iki ana ring şebekeye ayrılmıştır.



Şekil 1: Sistemin Basitleştirilmiş Tek Hat Şeması

Sistemin analizi yapılırken şu kabüller yapılmıştır:

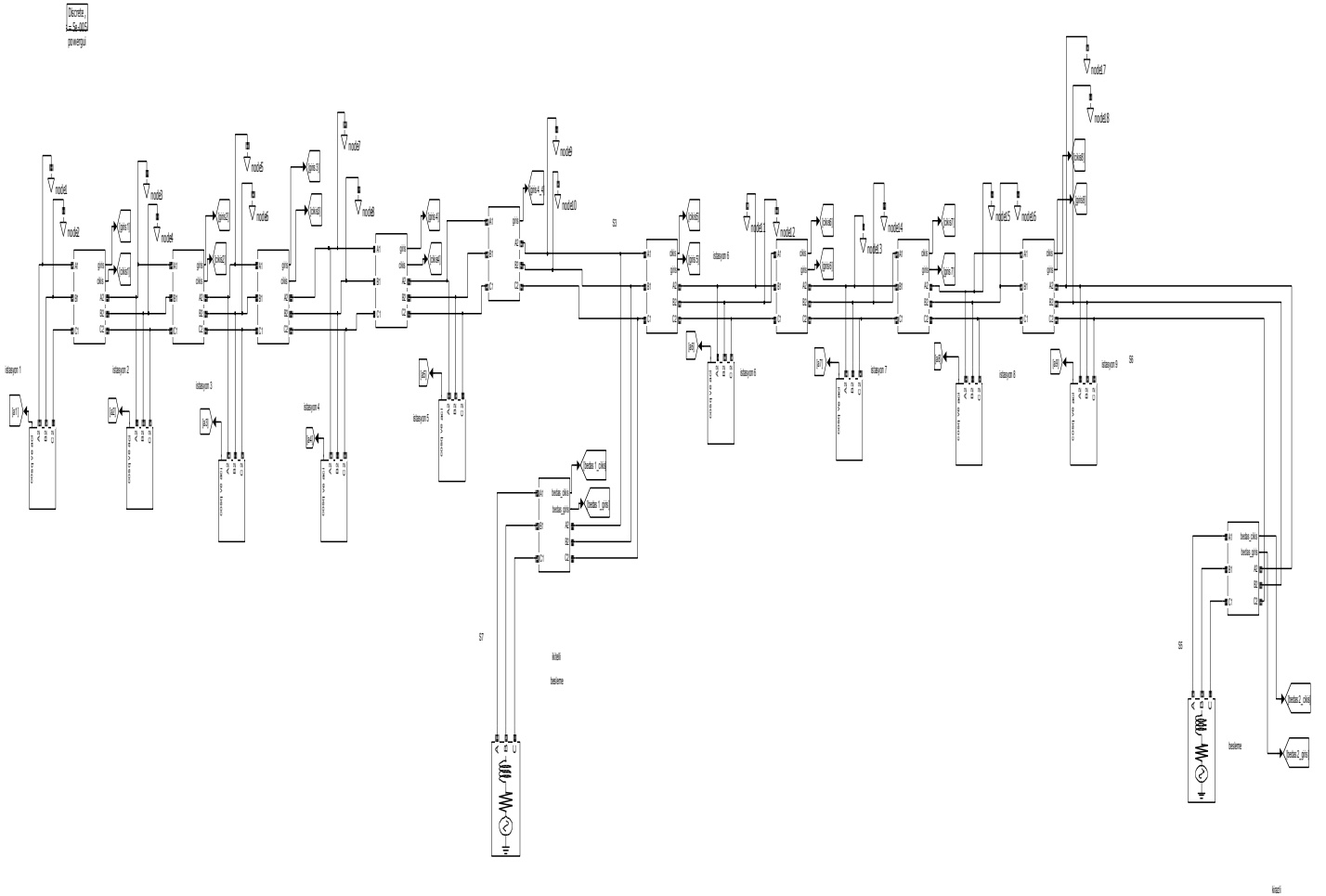
- İstasyon başı Toplam çekilen güç yaklaşık 2.5 MVA aktif 100 kVar reaktif
- Uzun ring kabloları pasif durumdadır.
- İkitelli ve Kirazlı İndirici Merkezin kısa devre gücü 7560MVA’dır.
- 34,5kV kablolar YXC7Z1-R 1x(3x(1x185mm<sup>2</sup>)) ve 2x(3x(1x185mm<sup>2</sup>)) kesitli kablolar kullanılmıştır.
- Sadece OG yük akışı gerçekleştirilmiştir.
- Hesaplamalarda üreticilere ait katalog değerler kullanılmıştır.

- Analizlerde aracın en fazla yüklediği durumlar dikkate alınmıştır.

Sistem sade bir hale dönüştürülebilme için besleme ağı 1 ve besleme ağı 2 olmak üzere bölgelere ayrılmıştır.

### 3. Simülasyon Sonuçları

Bu çalışmada adı geçen metro hattı Matlab - Simulink kullanılarak yapılan simülasyonla elde edilmiştir. 9 istasyonlu hattın simulink modeli şekil 2'de görülmektedir. Çalışmada enerji otomasyonunun optimum verimliliğinin daha iyi anlaşılabilmesi için 3 durum oluşturulmuş ve bu 3 durum ayrı ayrı incelenerek her bir durum ile istasyonlardaki gerilim seviyeleri aktif ve reaktif güç verileri ile yük akışının değişimi tablolar halinde özetlenmiştir. Ayrıca yine her bir durum için istasyon başı gerilim değişimi şekil 3 ile verilmiştir.



Şekil 2: 9 istasyonlu bir hatta ait simulink modeli

1. Durumda tüm hat İkitelli indirici merkezden beslenirken olan duruma ait veriler tablo I'de

verilmiştir. Yine bu durum için İstasyonlara ait bara gerilimlerinin istasyonlara göre değişim

grafığı şekil 3’de gösterilmektedir. Bu durumda aktif güç 22.55 MW, reaktif güç 234 kVAR olup aktif güç kaybı bakımından 2.durumdan daha az 3. Durumdan ise daha fazla kayıp gerçekleşmiştir, ama reaktif güç kaybı bakımından bu durumun tam tersi söz konusudur.

Tablo I

1. Durum tüm hat İkitelli Merkezden beslenirken

	Aktif Güç (kw)	Reaktif Güç (kvar)	Hat akımı (A)	Hat Gerilimi (kV)	Yük Açısı (derece)
1. istasyon	2.500	100,00	43,94	32,87	2,29
2. istasyon	5.001	100,30	87,81	32,88	1,14
3. istasyon	7.503	124,00	131,70	32,90	0,94
4. istasyon	10.010	176,50	175,50	32,92	1,01
5. istasyon	12.520	235,60	219,30	32,95	1,08
6. istasyon	10.010	-118,70	175,50	32,92	-0,67
7. istasyon	7.502	-425,50	131,60	32,90	-0,32
8. istasyon	5.000	65,90	87,76	32,89	0,75
9. istasyon	2.500	100,00	43,92	32,89	2,29
1. İndirici Merkez	22.550	-234,20	394,80	33,00	*
2. İndirici Merkez	*	*	*	*	*
Uzun ring 1	*	*	*	*	*
Uzun ring 2	*	*	*	*	*

2. Durumda tüm hat Kirazlı indirici merkezden beslenirken olan duruma ait veriler tablo II’de verilmiştir. Bu durumda istasyonlara ait bara gerilimlerinin istasyonlara göre değişim grafığı şekil 3’de ifade edilmektedir. Aktif güç tüketimi 22,61 MW ve reaktif güç tüketimi 120 kVAR olup aktif güç kayıpları bakımından en kötü durum bu işletme koşullarında gerçekleşmiştir. Ayrıca maksimum gerilim düşümü bu durumda yaşanmış olup en düşük hat gerilimi minimum değerini alarak 1. İstasyondaki hat voltajı 32,73 kV olarak gözlemlenmiştir.

Tablo II

2. Durum tüm hat Kirazlıdan beslenirken

	Aktif Güç (kw)	Reaktif Güç (kvar)	Hat akımı (A)	Hat Gerilimi (kV)	Yük Açısı (derece)
1. istasyon	2.500	100,00	44,12	32,73	2,29

2. istasyon	5.000	101,10	88,18	32,74	1,15
3. istasyon	7.502	125,60	132,20	32,76	0,95
4. istasyon	10.010	178,70	176,30	32,78	1,02
5. istasyon	12.510	238,40	220,20	32,81	1,09
6. istasyon	15.030	89,14	264,10	32,85	0,34
7. istasyon	17.540	34,62	308,00	32,88	0,11
8. istasyon	20.060	-33,30	351,90	32,92	-0,09
9. istasyon	22.580	-31,69	395,70	32,95	-0,08
1. İndirici Merkez	*	*	*	*	*
2. İndirici Merkez	22.610	-120,70	395,70	33,00	*
Uzun ring 1	*	*	*	*	*
Uzun ring 2	*	*	*	*	*

3. Durumda 1. bölge İkitelli indirici merkezden 2. bölge Kirazlı indirici merkezden beslenirken olan duruma ait veriler tablo III’de verilmiştir. Böyle besleme durumunda ise istasyonlara ait bara gerilimlerinin istasyonlara göre değişim grafığı şekil 3’de verilmektedir. Aktif güç tüketimi 22,53 MW ve reaktif güç tüketimi 529 kVAR olup raktif güç kayıpları bakımından en kötü durum bu işletme koşullarında gerçekleşmiştir. Ayrıca minimum gerilim düşümü bu durumda yaşanmış olup diğer durumlara göre en düşük hat gerilimi maksimum değerini alarak 1. İstasyondaki hat voltajı 32,89 kV olarak görülmüştür.

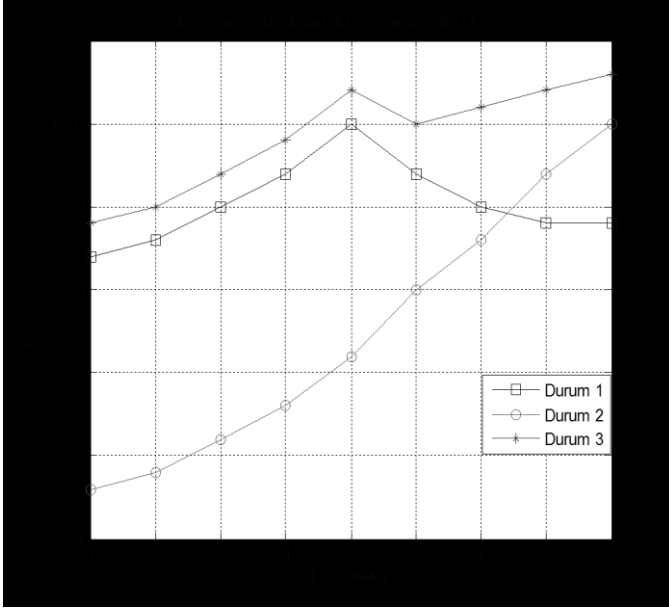
Tablo III

3. Durum 1. Ağ İkitelliden 2. Ağ Kirazlıdan beslenirken

	Aktif Güç (kw)	Reaktif Güç (kvar)	Hat akımı (A)	Hat Gerilimi (kV)	Yük Açısı (derece)
1. istasyon	2.500	100,00	43,91	32,89	2,29
2. istasyon	5.001	100,20	87,76	32,90	1,14
3. istasyon	7.504	123,80	131,60	32,92	0,94
4. istasyon	10.010	176,20	175,40	32,94	1,01
5. istasyon	12.520	235,20	219,20	32,97	1,07
6. istasyon	2.500	-181,20	43,91	32,95	-4,14
7. istasyon	5.000	-264,00	87,71	32,96	-3,02
8. istasyon	7.502	-373,30	131,50	32,97	-2,85
9. istasyon	10.000	-403,50	175,30	32,98	-2,31
1. İndirici Merkez	12.520	114,10	219,20	33,00	*
2. İndirici Merkez	10.010	-529,80	175,40	33,00	*

Uzun ring 1	*	*	*	*	*
Uzun ring 2	*	*	*	*	*

İstasyonlara ait bara gerilimlerinin istasyonlara göre değişim grafiği şekil 3’de gösterilmektedir.



Şekil 3: Üç ayrı besleme durumu için istasyon gerilimlerinin değişim grafiği

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada 9 istasyonlu bir raylı sistem ağına ait 2 Ağ 3 farklı enerji işletme senaryosu durumu eşliğinde analiz edilmiş ve elde edilen aktif güç, reaktif güç, akım, gerilim, bara açısı değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen verilere dayanarak sistemde aktif güç kaybının en az meydana geldiği durumun en az güç tüketiminin olduğu ağ 1’in İkitelli indirici merkezden ağ 2’nin ise Kirazlı indirici merkezden beslendiği durum olduğu belirlenmiştir. Aktif güç kaybının en fazla meydana geldiği beslenme durumu ise sistemden en fazla güç çekildiği tüm sistemin Kirazlı indirici merkez tarafından beslendiği 2. durum olarak tespit edilmiştir. 1. Ağ İkitelliden 2. Ağ Kirazlıdan beslenirken ayrıca istasyonlara ait bara gerilimleri en yüksek ve gerilim düşümünün de en az olduğu için şebekeden çekilen reaktif güç maksimum olmuştur.

Çalışma kapsamında yapılan simülasyon sonuçlarına göre sistem enerji işletme senaryosu oluşturulmadan önce veriler istasyonlardaki OG hücrelerdeki baralardan belirli periyotlarla alınarak kayıplar enerji otomasyon yazılımları ile kontrol altında tutulmalıdır. Enerji işletme senaryosunun en verimli olduğu koşullar araştırılarak akıllı sistemlerden faydalanılarak enerjinin etkin biçimde kullanılması gerçekleştirilebilir. Bu çalışmada yüklerin belirlendiği koşullar ve sistem dizaynı

çerçevesinde en verimli koşulların hangi veriler ile sağlanabileceğini gösterilmiştir.

#### KAYNAKLAR

- [1] S. Farhad, T. Saeed, H. H., Seyed, "POWER DISTRIBUTION SYSTEM ANALYSIS OF URBAN", *Electrical and Computer Engineering Faculty, University of Tabriz, Tabriz, Iran*
- [2] T.K. Ho, Y.L. Chi, J. Wang, K.K. Leung, "Load flow in electrified railway", *IEEE 2nd Int. Conf. on Power Electronics, Machines and Drives*, Vol. 2, Pages:498-503, April 2004.
- [3] C.S. Chen, H.J. Chaung, J.L. Chen, "Analysis and dynamic load behavior for electrified mass rapid transit systems", *IEEE 34th Int. Conf. Industry Applications*, Vol. 2, pp. 992-997, Oct. 1999.
- [4] E. Pilo, L. Rouco, A. Fernandez, A. Hernandez-Velilla, "A simulation tool for the design of the electrical supply system of high speed railway lines", *IEEE Power Engineering Society Summer Meeting*, Vol. 2, pp. 1053- 1058, July 2000.
- [5] Y. Chai, M.R. Irving, S.H. Case, "Iterative techniques for the solution of complex DC rail traction systems including regenerative braking", *IEE Proc. On Generation, Transmission and Distribution*, Vol. 142, No.5, pp. 445-452, September 1995.