

ŞEHİRİÇİ RAYLI ULAŞIM SİSTEMLERİNDE RAY GERİLİMİ VE SIZINTI AKIMI PROBLEMLERİ

Kerim ÇOLAK¹

Süleyman AÇIKBAŞ²

M. Turan SÖYLEMEZ³

^{1,2}İstanbul ULAŞIM AŞ, Ferhatpaşa Metro Tesisleri, Esenler - İstanbul

¹e-posta: colak@istanbul-ulasim.com.tr ²e-posta: acikbas@istanbul-ulasim.com.tr

³İTÜ, Elektrik Mühendisliği Bölümü, Maslak – İstanbul

³e-posta: soylemez@elk.itu.edu.tr

Anahtar sözcükler: Raylı sistemler, ray gerilimi, sızıntı akımı.

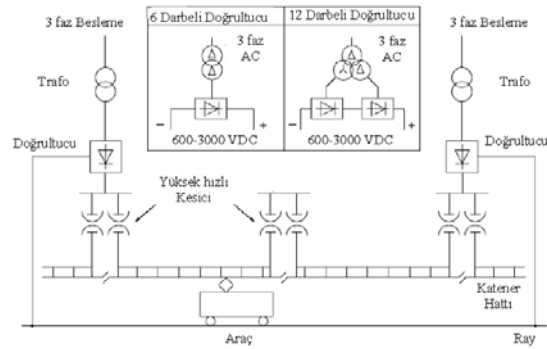
ÖZET

Toplu taşıma sistemlerinde en iyi alternatif olarak görülen raylı ulaşım sistemleri, ray gerilimi ve sızıntı akımı gibi problemleri beraberinde getirmektedir. Ray gerilimi canlı hayatı için tehlike oluştururken, sızıntı akımı ray ve hat civarında bulunan metalik yapılar üzerinde korozyona neden olmaktadır. Bu bildiride ray gerilimi ve sızıntı akımının etkilerini azaltacak yöntemler üzerinde durulmuş ve DC beslemeli raylı sistemlerdeki topraklama sistemlerinin etkisi incelenmiştir. Problemin çözümündeki sayısal yöntemden kısaca bahsedilerek örnek bir uygulamada farklı topraklama şekillerine ve iki farklı besleme gerilimine göre sızıntı akımı ve ray gerilimi değerleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda topraksız sistemlerin bazı güvenlik önlemlerinin alınması ile birlikte daha iyi bir çözüm olduğu görülmüştür.

1. GİRİŞ

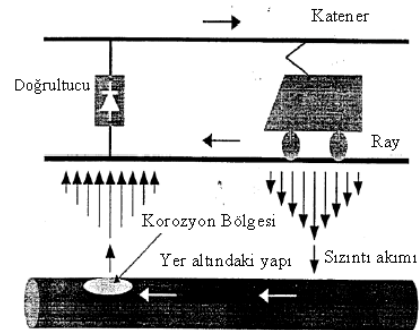
Raylı ulaşım sistemlerinde araç için gerekli olan enerji, tahrik sistemi trafo merkezlerinde (TTM) elde edilmektedir. Orta gerilim TTM'de indirildikten sonra 6, 12 veya 24 darbeli doğrultucular kullanılarak istenilen DC gerilim seviyesi elde edilmektedir (Şekil-1) [1]. Dünyada DC beslemeli raylı ulaşım sistemlerinde genel olarak 750 VDC, 1500 VDC ve 3000 VDC anma gerilim seviyeleri kullanılmakta olup, sistemin kullanıldığı güzergahtaki yolcu yükü, araç sayısı gibi faktörlere bağlı olarak tek bir fiderden 1000 - 8000 A arası akım çekilebilmektedirler.

TTM'de elde edilen DC gerilim, araçlara havai hat (Katen) veya 3. ray sistemi ile iletilmektedir. Araçların çekmiş olduğu akımın geri dönüşü raylar üzerinden yapılmaktadır. Raylar esas olarak, araç için bir yol oluşturmak ve aracı taşımak için dizayn edilmişlerdir. Fakat ekonomik nedenlerden dolayı raylar geri dönüş iletkeni olarak da kullanılmaktadır [2]. Böyle bir çözümün getirdiği bazı problemler vardır: hat boyunca ray üzerinde oluşan gerilim ve bunun sonucunda ray toprak arası geçirgenlik değerine bağlı olarak oluşan sızıntı akımı sorunu.



Şekil-1: DC güç besleme sistemi [1]

Rayın sonlu bir dirence sahip olması nedeniyle, raydan akım geçtiği zaman ray-toprak arasında, ray gerilimi olarak bilinen gerilim farkı olacaktır. Ray-toprak arası yalıtımın tam olarak sağlanamaması nedeniyle TTM'den çekilen akımın bir kısmı raydan toprağa, topraktan da yer altında gömülü metalik yapılar üzerinden sisteme geri dönecektir. Akımın istenilen yoldan saptığı her noktada korozyon oluşacağı göz önünde bulundurularak raylarda ve civardaki metalik yapılar üzerinde korozyona karşı önlemlerin alınması gereklidir. Özellikle aracın ve TTM'nin bulunduğu civarda korozyonun etkisi fazla olacaktır (Şekil-2) [3].



Şekil-2: Sızıntı akımı yolu [2]

Sistem tasarımında önemli olan nokta, emniyet kriterleri ve sızıntı akımı ile ilgili kriterlere uygunluk sağlanmasıdır [4]. Sızıntı akımlarının genliğinin tam

ve kesin olarak belirlenmesi zordur ve bu akımlar besleme sistemlerine göre AC veya DC olabilirler.

Ray üzerindeki gerilim, insan sağlığı ve can güvenliği için tehlikeli seviyelere çıkabilmektedir. Günümüzde, kalp pili gibi benzeri cihaz kullanan yolcuların artması emniyet konusunu daha da ön plana çıkarmaktadır. Standartlarda izin verilen maksimum ray gerilimi, süreye bağlı olarak tanımlanmıştır. Buna göre; ray gerilimi genliği arttıkça müsaade edilen süre azalmaktadır [4].

TTM' nin topraklama sistemi, sızıntı akımı ve ray gerilimine etki eden önemli parametrelerden biridir. Tahrik sistemlerinin planlamasında dönüş devresi de trafo merkezi kadar önemlidir. Ray hattı, güç besleme merkezleri tasarımı ve konumları sızıntı akımını etkilemektedir. Ray gerilimi ve bunun bir etkisi olarak sızıntı akımı en basit anlamda düşünüldüğünde hattan çekilen akım ve bu akım yolu üzerindeki dirençlerin bir fonksiyonudur. Ray gerilimi ve sızıntı akımının zararlı etkilerinin giderilmesinde aşağıda belirtilen uygulamalar büyük rol oynamaktadır.

Belirli bir güç ihtiyacı için TTM' den çekilen akım, gerilim ile ters orantılı olarak azalacağından daha yüksek gerilim seviyelerini tercih etmek ray gerilimini azaltacaktır [5]. Araç istasyondan kalkışta ivmelenirken TTM' den daha fazla akım çekmektedir. İstasyonların TTM' lere yakın olması halinde direnç az olacağından ray gerilimi de düşük değerlerde kalacaktır. Bir yola ait raylar arasında yapılacak olan karşılıklı bağlantılar dönüş yolu direncini azaltacaktır [6]. Yapılacak olan bu uygulamalar daha çok ray gerilimi etkisini sınırlandırmada etkili olacaktır. Sızıntı akımını sınırlamak için ray toprak arası direnci arttırmak gerekir. Bu ancak daha iyi yalıtıma sahip ray bağlantı elemanlarının kullanılması ve rayların ve hattın üst yapısını oluşturan balast gibi diğer elemanların düzenli olarak bakımlarının yapılması ile sağlanır.

2. TOPRAKLAMA SİSTEMLERİ

Raylı ulaşım sistemlerinde sistemin topraklı olup olmamasından kastedilen husus, ray ile toprak arasındaki bağlantı şeklindedir. Eğer ray ile toprak arasında hiçbir bağlantı yoksa sistem topraklanmamıştır. Toprak arada hiçbir direnç olmaksızın direkt olarak topraklama barasına bağlı ise sistem topraklanmıştır.

Topraklanmamış sistemlerde rayların topraktan yalıtımına dikkat edilmelidir. Bu sistemlerde asıl amaç aracın çekmiş olduğu akımın direkt olarak ray üzerinden dönmelerini sağlayıp diğer metalik yapılar üzerinden akımların akmasını engellemektir [7]. Topraklanmamış sistemlerde ray gerilimi tehlikeli seviyelere çıkabilmektedir. Bu nedenle özellikle insanların tehlikeye maruz kalacağı noktalarda ek önlemler alınmalıdır. Böyle bir durumda istasyonlara

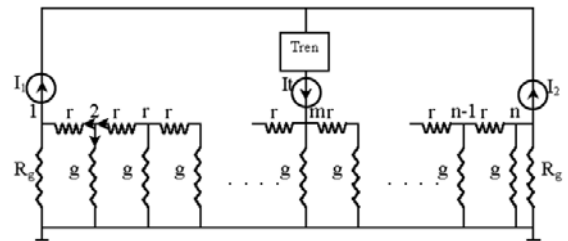
ve TTM' lere konulacak ray gerilimi kontrol aygıtları, ray gerilimini izleyerek, önceden ayarlanmış bir gerilim seviyesini aştığı zaman rayı direkt topraklayarak tehlikeli durumu ortadan kaldırmaktadır. Günümüzde en çok kullanılan topraklama sistemi topraklanmamış sistemlerdir.

Topraklanmış sistemler daha çok eski sistemlerde kullanılmaktadır. Bu sistemde ray gerilimi diğer sistemlere göre düşük olmaktadır, ancak ray toprak arasındaki yalıtıma dikkat edilmemesi ve akımın raydan toprağa ve topraktan TTM' lere akmasına izin verilmesi nedeniyle sızıntı akımının zararlı etkileri oldukça fazladır.

İki sistemin orta noktası olarak düşünülebilecek diyet topraklı sistemlerde ise ray diyet üzerinden topraklanmaktadır. Bu sistemde diyet, akımın topraktan raya doğru akmasına müsaade etmektedir [8]. Diyet topraklı sistemlerde de rayla toprak arasındaki yalıtımın iyi olmasına dikkat edilmektedir. Diyet genellikle önceden ayarlanmış bir gerilim seviyesi aşıldıktan sonra rayları topraklamaktadır.

3. SİSTEMİN SAYISAL OLARAK ÇÖZÜMÜ

Ray gerilimi ve sızıntı akımı probleminin hesabı kendine özgü şartlar sebebi ile kolay değildir. Sızıntı akımını belirleyen parametrelerin değerleri mevsime, toprağın yapısına ve sıcaklığa göre değişmektedir. Çözüm için önerilen yöntem genel olup daha karmaşık durumlara da uygulanması mümkündür. Burada kolaylık açısından bazı kabuller yapılmıştır. Ray toprak arası kaçak iletkenliğin ve ray direncinin sabit ve hat boyunca düzgün dağıldığı kabul edilmiştir. Şekil-3'de sistemin basit bir modeli gösterilmiştir.



Şekil-3: Sistemin modeli

- r: birim uzunluk başına ray direnci (ohm)
- g: birim uzunluk başına ray toprak arası kaçak iletkenlik (S)
- R_g: Topraklama direnci
- I_t: Aracın çektiği akım (A)
- I₁, I₂: 1 ve 2 no' lu TTM' den çekilen akım (A)
- m: Aracın bulunduğu nokta
- n: Sayısal çözüm için alınan nokta sayısı

Daha önce yapılan çalışmalar göstermiştir ki, sayısal çözüm ile analitik çözüm birbirine yakın sonuçlar vermektedir [9]. Sayısal yöntemle çözümde alınan

nokta sayısı arttıkça gerçek çözüme o kadar yaklaşılmaktadır. Çözüme ulaşmak için öncelikle admitans matrisi Y ve akım matrisi I oluşturulur. Daha sonra admitans matrisinin tersi ile akım matrisinin çarpımı ray üzerinde alınan her bir noktanın gerilimi bulunmaktadır.

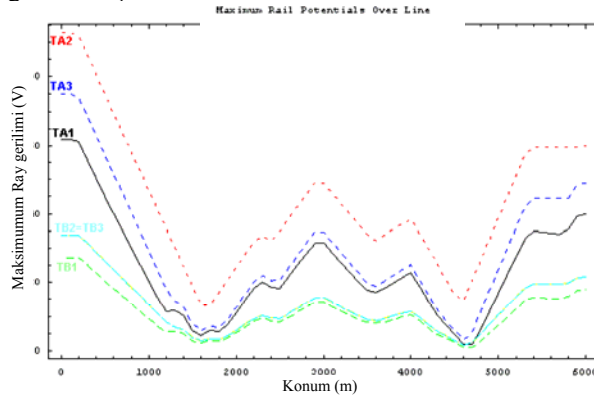
4. SİMÜLASYON TESTLERİ ve SONUÇLARI

Simülasyon testleri İTÜ’de geliştirilen, çoklu tren ve çok hatlı raylı sistem simülasyon programı olan SimuX [10] ile gerçekleştirilmiştir. Simülasyonda 6 km uzunluğunda tek hat, iki farklı TTM’ den beslendiği ve 7 yolcu istasyonunun bulunduğu durum dikkate alınmıştır. İncelemede TTM’ ler 1500 m’ ye ve 4500 m’ ye yerleştirilmiştir. Tablo 1’ de gösterildiği gibi 6 farklı simülasyon yapılmıştır. Diyet ile topraklanmış sistemde diyetün devreye girme gerilim seviyesi 10 V olarak ayarlanmıştır.

Test	Topraklama Yöntemi	Besleme gerilimi
TA1	Topraklanmış	750 VDC
TA2	Diyot ile topraklı	750 VDC
TA3	Topraklanmamış	750 VDC
TB1	Topraklanmış	1500 VDC
TB2	Diyot ile topraklı	1500 VDC
TB3	Topraklanmamış	1500 VDC

Tablo-1:Yapılan simülasyonlar

Şekil-4’ de yapılan 6 farklı simülasyon neticesindeki hatta oluşan maksimum ray gerilimi değerleri gösterilmiştir.



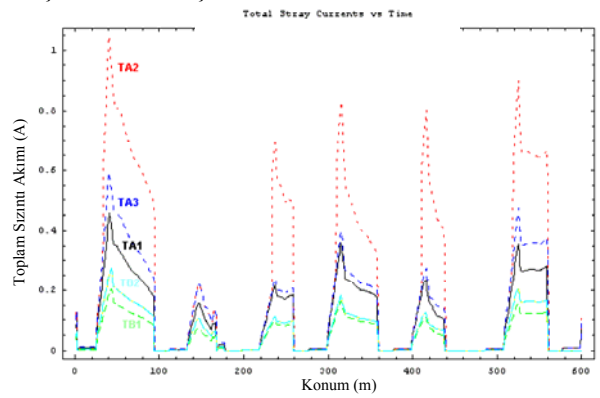
Şekil-4: Maksimum ray gerilim profilleri

Şekil-4’ de görüldüğü gibi özellikle TTM’ lerin buldukları noktada ray geriliminin daha düşük olduğu görülmektedir. Bunun nedeni daha önce de açıklandığı gibi, TTM ile araç arasındaki uzaklık azaldıkça akım yolu üzerindeki direnç değeri de azalacağından ray gerilimi küçük olacaktır. TTM’ lerden uzaklaştıkça ray gerilimi de artmaktadır. 1500 VDC ile 750 VDC besleme durumlarındaki ray gerilimleri karşılaştırılırsa 1500 VDC’ de maksimum ray geriliminde %60-%70’ lik bir azalma olmaktadır. Aynı gerilim ile beslenen fakat farklı topraklama yöntemleri kullanılan durumlar kıyaslandığında en düşük ray gerilimi değeri topraklanmış sistemlerde

elde edilmektedir. 1500 VDC besleme durumunda diyet ile topraklanmış sistem ile topraklanmamış sistemdeki ray gerilimleri arasında bir fark olmamaktadır. Çünkü diyet ile topraklanmış sistemde ray gerilimi 10 V’ u aşmadığı için devreye girmemiştir.

Verilen şartlar altında diyet topraklı bir sistem için ilginç bir sonuç ortaya çıkmıştır. 750 VDC besleme durumunda diyet topraklı bir sistemde ray gerilimi topraklanmamış sisteme göre daha fazla olduğu görülmektedir.

Şekil-5’de zamana bağlı olarak raydan toprağa akan sızıntı akımlarının toplamı verilmiştir. TA1 ve TB1 durumundaki toplam sızıntı akımı değerleri 1/1000 ölçek ile verilmiştir.



Şekil-5: Toplam sızıntı akımı

1500 VDC besleme durumunda sistem TTM’den daha az akım çektiği ve ray gerilimi daha düşük olduğu için, toplam sızıntı akımı değerleri 750 VDC beslemeye göre daha az olmaktadır. 1500 VDC beslemede TB2 ve TB3 durumlarında ray gerilimleri aynı olduğundan toplam sızıntı akımı değerlerinde de fark yoktur. Her iki besleme durumunda da sistemin topraklı olması halinde toplam sızıntı akımı diğer topraklama durumlarına göre daha fazla olmaktadır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan simülasyon sonuçlarında, topraklı sistemlerde, diğerlerine kıyasla ray geriliminin küçük, buna karşılık toplam sızıntı akımının büyük olduğu görülmüştür. Topraklanmamış sistemlerde ise ray geriliminin topraklanmış sisteme göre daha yüksek değerlerde kalmıştır. İlk bakışta, ray gerilimi ve sızıntı akımının etkilerine karşı bir çözüm olarak görülen diyet topraklı sistemler ise topraklanmamış sisteme göre daha yüksek ray gerilimleri oluşturmuştur. Daha yüksek gerilimle araçların beslenmesi, ray gerilimi ve sızıntı akımı açısından daha iyi sonuçlar vermiştir. Raylı ulaşım sistemlerinde farklı sistemlerin uygulanabilirliğinin araştırılmasında, simülasyonlardan yararlanılması gerçek sistem tasarımlarında büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Böyle bir uygulama zaman ve maliyet açısından büyük bir tasarruf sağlayacaktır.

6. TEŞEKKÜR

Bu bildirinin hazırlanmasına izin ve destek veren İstanbul ULAŞIM AŞ yetkililerine teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- [1] Y. OURA, Y. MOCHINAGA, H. NAGASAWA: 'Japan Railway Technology Today', East Japan Railway Culture Foundation, 2001, pp 48-58
- [2] CASE S., 'DC traction stray current control – So what's the problem', IEE Colloquium, Oct. 1999.
- [3] Yu, J.G., ad Goodman, C.J.: 'Modelling of railpotential raise and Leakage Current in DC Rail Transit Systems', 'IEE Colloquium on Stray Current Effects of DC Railway and Tramways', London, October 1990, pp 221-226.
- [4] European Draft Standard prEN 50122-1: 'Protective provisions relating to electrical safety and earthing', July 1995
- [5] Söylemez, M. T., Açıkbaş S., Comparison of stray currents and rail voltage profiles between 750VDC and 1500VDC power supply systems using simulation, IEE Int. Conf. on Railway Engineering (ICRE 2005), Hong Kong, bildiri no: B5-2, 2005 .
- [6] European Draft Standard prEN 50122-2: Protective Provisions Against the Effects of Stray Current Caused by DC Traction Systems, July 1995
- [7] Bahra, K. S., Batty, P.G.: 'Earthing and Bonding of Electrified Railways', Int. Conf. On Developments in Mass Transit Systems 20-23 April, 1998, pp. 296-303
- [8] LEE, C.H., WANG, H. M.: 'Effects of Grounding Schemes on Rail Potential and Stray Currents in Taipei Rail Transit Systems', IEE Proc. Elec. Power App. Vol.148, No. 2, March 2001, pp. 148-154
- [9] ÇOLAK K., HOCAOĞLU H. : 'Calculation of Rail Potentials in a DC Electrified Railway System', Proceedings of UPEC 2003, Greece, 1-3 September 2003 pp 5-8
- [10] M.T. Söylemez, S. Açıkbaş. "Multi-Train Simulation of DC Rail Traction Power Systems with Regenerative Braking", Computers in Railways IX, WIT Press,ISBN:1-85312-715-9 pp. 958-968, (2004).