

DC BESLEMELİ RAYLI ULAŞIM SİSTEMLERİNİN SİMÜLASYONU

Mehmet Turan SÖYLEMEZ¹

Süleyman AÇIKBAŞ²

¹Elektrik Mühendisliği Bölümü

Elektrik-Elektronik Fakültesi

İstanbul Teknik Üniversitesi, 80626, Maslak, İstanbul

²İstanbul Ulaşım A.Ş., Esenler-İstanbul

¹e-posta: soylemez@elk.itu.edu.tr

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

Anahtar sözcükler: Raylı sistemler, simülasyon, cer gücü.

ÖZET

Ülkemizde büyük şehirlerde dayanılmaz hale gelen trafik sorunları, fosil artışı yakıtlardan kaynaklanan çevre sorunları ve bunlarla bağlantılı olan ekonomik sorunlar önümüzdeki senelerde metro, hafif raylı sistem ve tramvay gibi raylı ulaşım sistemlerinin giderek artan bir yoğunlukla toplu taşımacılıkta kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Yapılan planlara göre önümüzdeki 20 senelik zarf içinde büyük şehirlerimizin önemli bir kısmı yaygın raylı sistem ağları ile donatılmış olacaktır. İlk yatırım maliyetleri son derece yüksek olan raylı ulaşım sistemlerinin ülkemiz ekonomisine getireceği yükü de düşünerek, yapılması planlanan hatlar için tasarımı kolaylaştıracak ve mevcut sistemlerin daha büyük bir ağ içinde entegrasyonunun sonuçlarını analiz edecek çalışmalar yapılması büyük önem taşımaktadır.

Raylı ulaşım sistemlerinin tasarım ve analizinde simülasyon büyük bir önem taşımaktadır. Simülasyon yardımı ile güç sistemi boyutlandırılabilen, istenilen optimizasyon çalışmaları yapılabilen, olası problemler daha sistem inşa edilmeden görülerek çözülmekte ve sonuç olarak maliyette önemli azalmalar sağlanabilmektedir. Bu bildiride DC beslemeli raylı sistemlerin simülasyonu sırasında dikkat edilmesi gereken noktalara değinilerek bu konuda geliştirilmiş olan bir program tanıtılacaktır.

1. GİRİŞ

Raylı ulaşım sistemleri elektriksel, mekanik ve sosyal bileşenleri olan yüzlerce alt parçadan oluşmuş son derece karmaşık sistemler olup inşaat maliyetleri oldukça yüksektir. Ayrıca inşası tamamlanmış bir sistem üzerinde değişiklik yapmak çok zordur. Bu sebeple raylı sistemlerin planlama ve tasarım aşamaları hata kabul etmez.

Simülasyon çalışmaları planlamanın doğru yapılıp yapılmadığının test edilmesinde ve tasarlanan sistemin optimize edilmesinde önemli bir yer tutar. Bunun dışında hazırdaki bir sistem üzerinde kullanılan araçların değiştirilmesi veya headway (trenler arası süre) zamanın kısaltılması gibi büyük

modifikasyonlar yapılacağı zaman da simülasyon yardımımıza koşar [1]. Genel olarak bakıldığında simülasyon programlarının şu amaçlarla kullanılabilmesi görülür:

- İşletme şartlarında tren performansının belirlenmesi,
- Transformator merkezlerinin ve kesicilerin boyutlandırılması,
- Katener sisteminin yeterliliğinin saptanması [1]
- Bir trenin pantografındaki maksimum, minimum ve ortalama gerilim değerlerinin bulunması
- Enerji tüketiminin ve kayıplarının saptanması [2,3]
- Enerji tasarruf programlarının uygulamadan önce test edilmesi
- Regeneratif frenlemenin etkisi ve hattın 'receptivity rate' inin belirlenmesi
- Ray Gerilimi ve Kaçak akım analizi [4]
- Farklı besleme şekillerinin test edilmesi [2,4]
- Kısa devre akım ve gerilimlerinin analizi
- Araç zaman çizelgelerinin iyileştirilmesi

Yukarıda verilen maddelerden herhangi birinde yapılacak ufak iyileştirmeler dahi çoğu durumda yüzbinlerce dolarla ifade edilebilecek maliyet düşümlerine sebep olabilmektedir. Bazı durumlarda ise (ray gerilimi ve kısa devre analizi gibi) hesaplamaların doğru yapılması hayati önem taşımaktadır.

Dünyanın çeşitli ülkelerinde bu konuda simülasyon çalışmaları uzun süredir yapılmakta olup [5-9], ülkemizde (bizim bildiğimiz kadarı ile) daha önce yapılmış olan çalışmalar [10,11] daha çok tek aracın (yada dizinin) hareket mekanizmasının simülasyonu ile sınırlı olup tüm sistemi (birden fazla dizi birden fazla yol) ele almamaktadır.

Bu çalışmada bir raylı toplu ulaşım sisteminin bütün bileşenleri ile birlikte simülasyonun nasıl yapılacağı İstanbul Teknik Üniversitesinde geliştirilmiş olan bir simülasyon programı olan SimuX[12] örneği üzerinde tartışılacaktır. Bu program İstanbul Ulaşım A.Ş. ile yapılan iki projede kullanılmış ve elde edilen sonuçlar

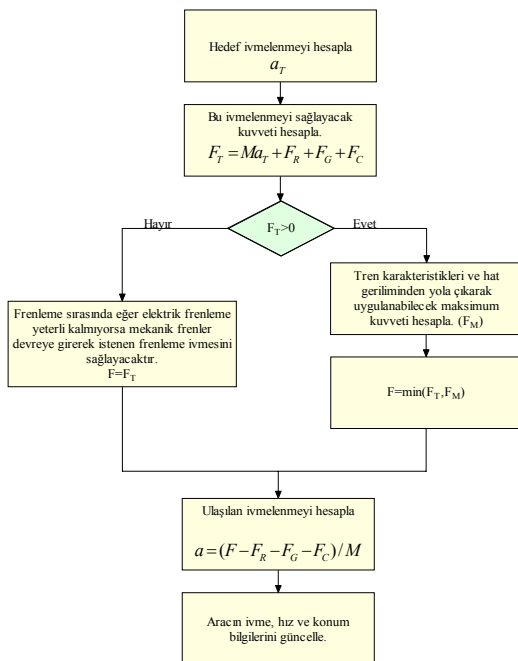
sinyalizasyon sistemine ilişkin diğer bilgiler gibi verilerin programa girilmesine (ve bu bilgilerin kullanılmasına) olanak sağlayacak modüler yapı sağlanmıştır. İleride bu bilgilerin de kullanılmasıyla optimal tasarım yapılması, zaman çizelgesi belirlenmesi, enerji tasarrufuna yönelik sürüş tekniklerinin belirlenmesi gibi konularda da çalışma yapılması olanaklı hale gelecektir.

3. MEKANİK BİLEŞEN

Daha önce de değinildiği üzere raylı sistemler birbiriyle etkileşim halinde bulunan mekanik, elektrik ve sosyal bileşenlerden oluşurlar. Bunlardan mekanik bileşen daha çok trenlerin hareketlerinin simülasyonu üzerine yoğunlaşmıştır ki burada kayma ve patinaj olmadığı varsayımı altında Newton'un 3. kanunu kullanılabilir:

$$F - F_R - F_G - F_C = Ma$$

Yukarıda verilen formülde F motor tarafından uygulanan kuvveti, F_R tren hızına ve hattın ilgili bölümündeki sürtünme katsayılarına bağlı olan direnç kuvvetini, F_G ve F_C yer çekimi ve kurplardan kaynaklanan kuvvetleri, M trenin kütlesini, a ise ivmelenmeyi göstermektedir. Bu formülden yola çıkarak tren hareketlerinin simülasyonunda kullanılacak bir algoritma Şekil 3' te verilmiştir. Bu algoritmada yer alan hedef ivmelenmenin hesaplanması sırasında trenin mevcut ivme, hız ve konumu, yönü, hattaki hız sınırlamaları, araç üzerindeki hız, ivme ve jerk sınırlamaları, bir sonraki tren ve istasyona ilişkin bilgiler, (varsa) bir sonraki trafik ışığına ait bilgiler ve diğer sinyalizasyon bilgileri gibi pek çok parametre göz önüne alınır.



Şekil 3: Tren hareketlerinin simülasyonu

4. ELEKTRİK BİLEŞEN

Bizim burada ele aldığımız DC Beslemeli raylı ulaşım sistemlerini dirençler, gerilim kaynakları ve akım kaynaklarından oluşmuş çok büyük elektrik şebekeleri olarak görmek mümkündür. Yalnız bu şebekelerin alışlageldik elektrik şebekelerinden farkı içlerinde hareket eden ve dinamik bir şekilde değer değiştiren elemanların olmasıdır. Trenlerin hareketine bağlı olarak şebekenin topolojisi farklı şekiller alabilmekte ve şebeke içindeki bazı elemanların (örneğin tren trafo arası katener direnci) değerleri değişebilmektedir. Üstelik regeneratif frenleme, trafo merkezlerindeki koruma devreleri ve ray gerilimi yükselmesine karşı kullanılan topraklama elemanlarının (RPCD) varlığı elektrik şebekesinin çözümü sırasında lineer olmayan elemanları da göz önüne almayı zorunlu kılmaktadır.

Literatürde bu tür devrelerin çözümü için “modifiye edilmiş yük akım yaklaşımı” ve “doğrudan matris yaklaşımı” olmak üzere iki ana yöntem önerilmiştir [8]. Nodal analiz kullanılarak yapılan doğrudan matris yaklaşımı geliştirilen SimuX programı tarafından kullanılmaktadır. Bu yaklaşıma göre verilen bir t anı için sistemdeki tüm elemanlar dirençler ile gerilim ve/veya akım kaynakları olarak modellenmekte daha sonra elde edilen sistem empedans matrisinin tersi alınarak çözüme gidilmektedir. Söz konusu empedans matrisi çoğu kere yüksek boyutlara sahip olup (1000 x 1000 gibi) ters alma işleminin etkin bir şekilde yapılması büyük önem taşımaktadır [12]. Sistemin lineer olmayan özelliklerinden dolayı bazı adımlarda bu empedans matrisine ilişkin denklemin bir adım için birden fazla kere çözülmesi gerekebilir. Bütün bunlar göz önüne alındığında altta yatan algoritmaların son derece hızlı bir şekilde çalışması gerektiği ortadadır. Geliştirilen programda bu konu özellikle dikkate alınmış ve sonuç olarak gerçekçi bir sistem simülasyonunun gerçek sisteme göre çok daha hızlı bir şekilde (1:5 civarında) çalışması mümkün olmuştur.

Elektrik şebekesinin çözümüne bağlı olarak bulunan hat gerilimleri trenlerin ulaşabilecekleri maksimum ivmelenmeyi belirlemektedir. Diğer taraftan trenlere motorlarından uygulanan kuvvete bağlı olarak pantograf gerilimleri değişecektir. Bunun yanı sıra tren hareketleri sonunda elektrik şebekesinin değiştiği de düşünülürse mekanik ve elektrik bileşenlerin simülasyonlarının birlikte yapılmasının önemi ortaya çıkar.

5. SOSYAL BİLEŞEN

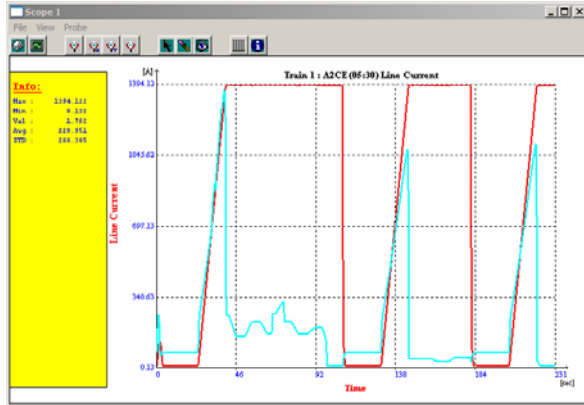
Raylı ulaşım sistemlerinin simülasyonunda çoğu zaman göz ardı edilen bir unsur sistemin insanları taşıdığı ve insanların gün içindeki hareketlerine bağlı olarak değişiklikler arz edeceğidir. Ayrıca bazı istasyonlar arası yolcu talebinin fazla olması sonucu belirli bölgelerde tren kütlelerinin değişeceği ve bunun sistemin diğer bileşenlerini etkileyeceği unutulmamalıdır.

Neyse ki elektrik sistemin boyutlandırılması sırasında en kötü koşullar göz önüne alındığından trenler tam yüklü olarak kabul edilebilir. Ancak zaman çizelgesi çıkarımı gibi daha gerçekçi simülasyon isteyen çalışmalarda insan hareketlerinin de göz önünde bulundurulması yerinde olacaktır.

6. SONUÇLARIN GÖRÜNTÜLENMESİ

İyi bir simülasyon programının simülasyon sonuçlarını etkin şekilde raporlayabilmesi beklenir. Raylı sistemlerin simülasyonunda ilgilenilebilecek pek çok parametre olabileceği için hangi parametrelerin kayıt altına alınacağı önceden (ya da simülasyon sırasında) belirlenebilmeli ve kayıt altına alınan değerler etkin bir şekilde kullanıcıya sunulabilmelidir. Sistemde bir şeyler ters gittiğinde bu görsel olarak kullanıcıya yansıtılmıyorsa kullanıcının sonuçları yorumlaması son derece zorlaşabilir.

Geliştirilen SimuX programında trenlerin hareketleri ve sisteme ilişkin ana parametrelerin değerleri anlık olarak ana ekran üzerinde gösterilir. Bunun dışında scope adı verilen pencereler yardımıyla istenilen değişkenlerin zaman içindeki değişimlerinin grafiksel olarak kullanıcıya gösterilebilmesi öngörülmüştür (Şekil 4). Bunun dışında tüm verileri MATLAB, Mathematica ya da Excel gibi programlara aktarmak, XML yada sade yazı formatlarında rapor üretmek, sistemde rastlanan önemli olaylara ilişkin mesajları görüntülemek mümkündür.



Şekil 4: Scope örneği

7. SONUÇ

Bu bildiride DC beslemeli raylı ulaşım sistemlerinin simülasyonunda dikkate alınması gereken noktalar özetlenerek bu konuda geliştirilmiş bir simülasyon programı tanıtılmıştır. Daha gerçekçi simülasyonların yapılabilmesi amacıyla bahsi geçen programa sinyalizasyon ve makas elemanlarının tanıtılması, tek hat işletmeciliğine olanak sağlanması, yolcu akışlarının ve gün içi sıcaklık değişimlerinin simülasyonu ve araç motor dinamiklerinin kayma ve patinajı da göz önüne alacak biçimde daha ayrıntılı simülasyonu gibi ekler yapılması planlanmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Açıkbaş S., Söylemez M.T., Upgrading the rolling stock - its effects on the traction power supply system, *IEE Int. Conf. on Railway Engineering (ICRE 2005), Hong Kong, bildiri no: B1-3, 2005.*
- [2] Açıkbaş S., Söylemez M.T., Energy loss comparison between 750 VDC and 1500 VDC power supply systems using rail power simulation, *Computers in Railways IX, WIT Press, Boston, ISBN: 1-85312-715-9, pp 941-950, 2004.*
- [3] Açıkbaş S., Söylemez M.T., Raylı toplu taşımda enerji verimliliği ve katener sistemlerinin paralellenmesi, *Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu (EVK 2005), Kocaeli, 2005.*
- [4] 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.*
- [5] Mellit B., Goodman C. J., Arthurton R. I. M., Simulator for studying operational and power-supply conditions in rapid-transit railways, *IEE Proc., Vol 125, Iss 4, pp 298-303, 1978.*
- [6] Cai Y., Irving M.R., Case S.H., Modeling and numerical solution of multibranch DC rail traction power systems, *IEE Proc.-Electr. Power Appl., Vol 142, Iss 5, pp. 323-328, 1995.*
- [7] Cai Y., Irving, M. R., Case S. H., Iterative techniques for the solution of complex DC-rail-traction systems including regenerative braking, *IEE Proc.-Gener. Transm. Distrib., Vol 142, Iss 5, pp. 445-452, 1995.*
- [8] Goodman C. J., Siu, L. K., Ho, T. K., A review of simulation models for railway systems, *Int. Conf. on Developments in Mass Transit Systems, IEE, pp. 80-84, 1998.*
- [9] Yu D., Lo K. L., Wang X., Wang, X., MRTS traction power supply system simulation using Matlab/Simulink, *Vehicular Technology Conference, IEEE, pp. 308-312, 2002.*
- [10] Kurtulan, S., Bir elektrikli ulaşım sisteminin modellenmesi ve simülasyonu, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 1992.
- [11] Ündil, S., Bir Elektrikli Ulaşım Taşıtının Bond Graf Metodu ile Simülasyonu ve Geçici Rejim Analizi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1994.
- [12] Söylemez, M. T., Açıkbaş S., Multi-train simulation of DC rail traction power systems with regenerative braking, *Computers in Railways IX, WIT Press, Boston, ISBN: 1-85312-715-9, pp 941-950, 2004.*