

# DC Beslemeli Raylı Ulaşım Sistemlerinin Simülasyonu

M. Turan SÖYLEMEZ  
İstanbul Teknik Üniversitesi  
Elektrik Müh. Bölümü

Süleyman Açıkbaş  
İstanbul Ulaşım A.Ş.

Eylül 2005

Raylı Sistem Simülasyonu

1

## Plan

- Giriş - Neden Raylı Sistem Simülasyonu?
- Raylı sistemlerin simülasyonuna ilişkin bazı özellikler
- Sistem parametreleri
- Kullanıcı ara yüzü
- Program çıktıları ve raporlama
- Program bileşenleri
- Özet

Eylül 2005

Raylı Sistem Simülasyonu

2

## Neden Raylı Sistem Simülasyonu?

- ✓ Raylı sistemlerin inşaat maliyetleri oldukça yüksektir.
- ✓ Ayrıca inşaatı tamamlanmadan önce değişiklik yapmak ta çok zordur.
- ✓ Bundan dolayı inşaatın planlama ve tasarım aşamaları hata kaynaklıdır.
- ✓ Simülasyon çözümleri doğru yapılar yapılmadığının optimize edilmesini sağlar.
- ✓ Bunun dışında inşaat sırasında kullanılan araçların değiştirilmesi gibi büyük modifikasyonlar yapılacağı zaman da simülasyon yardımımıza koşar.



Eylül 2005

Raylı Sistem Simülasyonu

3

## Simülasyonun kullanım alanları

- ✓ Trafo merkezlerinin ve kesicilerin boyutlandırılması
- ✓ Katener sisteminin yeterliliğinin saptanması
- ✓ Bir trenin pantografındaki gerilim değerlerinin bulunması
- ✓ Enerji tüketiminin ve kayıplarının saptanması. Enerji tasarruf programlarının uygulamadan önce test edilmesi
- ✓ Regeneratif frenlemenin etkisinin belirlenmesi
- ✓ Ray gerilimi ve kaçak akım analizi
- ✓ Farklı besleme şekillerinin test edilmesi
- ✓ Kısa devre akım ve gerilimlerinin analizi
- ✓ Araç zaman çizelgelerinin iyileştirilmesi

Eylül 2005

Raylı Sistem Simülasyonu

4

## SimuX Nedir?



- ✓ **SimuX (SimülatorX)** bir Raylı Sistem Simülasyon programıdır.
- ✓ Yukarıda verilen amaçlarla kullanılabilir.
- ✓ Ayrıntılı bilgi <http://www.simulatorx.com> adresinden edinilebilir.

## Raylı Sistemlerin Simülasyonu



Raylı sistemlerin simülasyonu kendine has bir takım özellikler içerir.

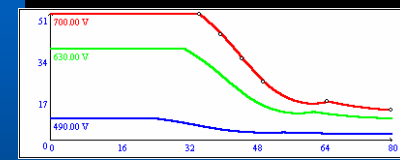
## Raylı Sistemlerin Simülasyonu



Raylı sistemler  
a. Elektriksel  
b. Mekanik  
c. Sosyal  
bileşenlerden oluşur.

Bu durum simülasyonda dikkate alınmalıdır.

## Raylı Sistemlerin Simülasyonu



Bir demiryolu sisteminin dinamik modellenmesi ve simülasyonu çok sayıda eş zamanlı **doğrusal olmayan denklem** çözümünü gerektirdiği için zorluk arz eder.

# Raylı Sistemlerin Simülasyonu



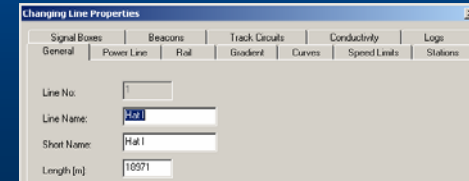
Raylı sistemlerin simülasyonunda bir başka zorluk ta sistemin **çok sayıda bileşenden** oluşması (bazı durumlarda binlerce) ve bunların birbirleriyle ilişkilerinin **zaman içinde değişiyor** olmasıdır.



# Sistem Parametreleri

## 1. Hatlar

- Hat sayısı, isimlendirmeleri ve metraji
- Yolcu istasyonları ve bekleme süresi
- Kurplar
- Eğimler
- Hız sınırlamaları ve maksimum işletme hızı
- Sinyalizasyon bilgileri



# Sistem Parametreleri

## 2. Cer Gücü ve Katener Sistemi

- Trafo merkezi sayısı, yerleri ve isimlendirmeleri
- Trafo merkezi iç ekipman değerleri (+) ve (-) Fider kabloları
- Trafolar arası izolman bölgeler
- Katener sistemi verileri
- Jumper noktaları
- Ray verileri
- Topraklama sistemine ilişkin veriler



# Sistem Parametreleri

## 3. Araçlar

- **Mekanik veriler**
  - Araç maksimum hızı
  - Araç boş/dolu ağırlık bilgileri.
  - Maksimum hızlanma ve frenleme ivme değerleri.
  - Cer kuvveti – Hız diagramı.
  - Frenleme kuvveti – Hız diagramı.
- **Elektriksel veriler**
  - Nominal, minimum ve maksimum gerilim değerleri.
  - Yardımcı güç değeri
  - Kontrol sistemi verileri
  - Hat gerilimi – Cer kuvveti diagramı



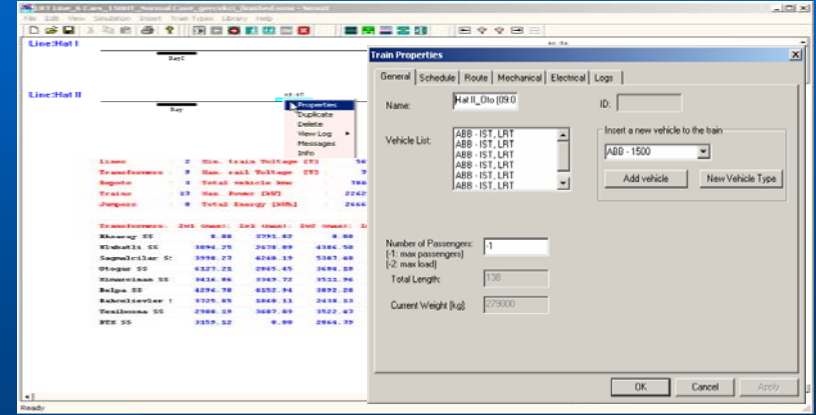
## Kullanıcı arayüzünün önemi

Bu kadar çok parametrenin hatasız bir şekilde girilmesi ve sonuçların doğruluğunun denetlenmesi için etkin bir kullanıcı arayüzü şarttır.

Beklenen ara yüz özellikleri arasında bazıları şunlardır:

- ✓ Sonuçların hat üzerinde hareket eden trenler şeklinde görülebilmesi
- ✓ Diyalog kutuları yardımıyla etkin bilgi girişi
- ✓ İstenen analog değerlerin grafiklerinin simülasyon ile eş zamanlı çizdirilmesi
- ✓ Diğer programlarla veri iletişimi (Matlab, MMA, Excel)

## Kullanıcı arayüzü



## Program Çıktıları ve Raporlama



Binlerce parametre söz konusu olduğundan hangi parametrelerin değişiminin kaydedileceğinin simülasyon programına bildirilmesi ve kritik parametrelere ilişkin raporlamaların etkin bir şekilde yapılması büyük önem taşır.

SimuX'ta bu amaçla değişik mekanizmalar kullanılmıştır.

## Genel bilgi ekranı

Genel bilgi ekranında simülasyon hakkındaki istatistiksel bilgiler sürekli olarak yer alır.

Lines	: 2	Min. train Voltage [V]	: 569.20	Current time	: 09:14:59
Transformers	: 9	Max. rail Voltage [V]	: 75.44	Time to simulate	: 00:05:40
Depots	: 3	Total vehicle kms	: 7846.95		
Trains	: 17	Max. Power [kW]	: 22625.99	Max. RMS Power [kW]	: 13282.54
Jumpers	: 0	Total Energy [kWh]	: 26663.30	Energy per vhc/km	: 3.40

Transformers:	Iv1 (max):	Ie1 (max):	Iv2 (max):	Ie2 (max):	Power (max)	Energy
Aksaray SS	0.00	3791.02	0.00	4741.27	3810.79	3162.38
Ulubatli SS	3094.25	2478.09	4386.50	3853.17	6072.33	4954.52
Sagmalcilar S:	3990.27	4240.19	5307.40	4686.43	5872.33	4831.40
Otogar SS	6127.21	2865.45	3684.18	3364.82	4801.56	3343.94
Hinaxsinan SS	3416.06	3349.72	3511.96	3272.36	3596.07	2295.61
Belpa SS	4296.70	4152.94	3092.20	3710.78	3786.65	2750.69
Bahcelievler :	3725.85	1860.11	2438.13	3472.52	3454.03	2128.26
Yenibosna SS	2900.19	3607.09	3522.47	3001.16	3255.64	1965.97
BTH SS	3159.12	0.00	2864.79	0.00	2966.26	1230.53

## Mesaj Kutusu

Mesaj kutuları aracılığı ile simülasyondaki nesnelere durumları ve simülasyonun ne aşamada olduğu hakkında bilgi edinilebilir.

ID	Tarih	Gönderen	Başlık	Ekstra Bilgi
15	08:04:23	Train 2 HAT I (08:00)	Train leaves station.	Station 1015 YenI
14	08:04:04	Train 2 HAT I (08:00)	Train arrives station.	Station 1015 YenI (17026.24 [m])
13	08:03:25	Track	Simulation Started.	
12	08:03:25	Track	Simulation stopped.	
11	08:03:21	Train 1 HAT II (08:00)	Train leaves station.	Station 2003 Ulu
10	08:03:03	Train 1 HAT II (08:00)	Train arrives station.	Station 2003 Ulu (2006.42 [m])
9	08:02:57	Train 2 HAT I (08:00)	Train leaves station.	Station 1016 DtaI
8	08:02:40	Train 2 HAT I (08:00)	Train arrives station.	Station 1016 DtaI (17799.04 [m])
7	08:01:33	Train 1 HAT II (08:00)	Train leaves station.	Station 2002 Emn
6	08:01:13	Train 1 HAT II (08:00)	Train arrives station.	Station 2002 Emn (950.40 [m])
5	08:00:41	Train 2 HAT I (08:00)	Train leaves station.	Station 1017 HavI
4	08:00:02	Train 2 HAT I (08:00)	Train arrives station.	Station 1017 HavI (18969.00 [m])
3	08:00:00	Depot 2	Train leaves depot.	
2	08:00:00	Depot 1	Train leaves depot.	
1	08:00:00	Track	Simulation Started.	

Eylül 2005

Raylı Sistem Simülasyonu

17

## Bilgi Kutusu

InfoBox 1 (Train 1 HAT II (08:00))			
Name	: HAT II (08:00)		
Short Name	: 08:00		
Type	: Train		
ID	: 1		
Line No	: 2		
Location	: 3100.72 [m]		
AVAILABLE LOGS:			
Electrical Energy	: Avg. Val:129634994.569	Std. Dev:71303063.665	Va
Rail Voltage	: Avg. Val: 12.059	Std. Dev: 12.065	Val: 20.369
Jerk	: Avg. Val: -0.002	Std. Dev: 0.210	Val: 0.002
Gradient Force	: Avg. Val:21151.652	Std. Dev:21426.039	Va
Curve Force	: Avg. Val:1496.694	Std. Dev: 717.928	Va
Energy Bunk	: Avg. Val:26802350.419	Std. Dev:15502573.817	Va
Cumulative Receptivity	: Avg. Val: 0.043	Std. Dev: 0.025	Val: 0.064
Train Resistance Force	: Avg. Val:5128.590	Std. Dev:2213.139	Va
Distance to Next Train			
Train Power	: Avg. Val:980619.923	Std. Dev:675222.307	Va
Acceleration	: Avg. Val: 0.068	Std. Dev: 0.512	Val: -0.097
Total Resistance Force	: Avg. Val:26458.416	Std. Dev:22756.971	Va
Speed Limits	: Avg. Val: 19.492	Std. Dev: 4.717	Val: 19.444

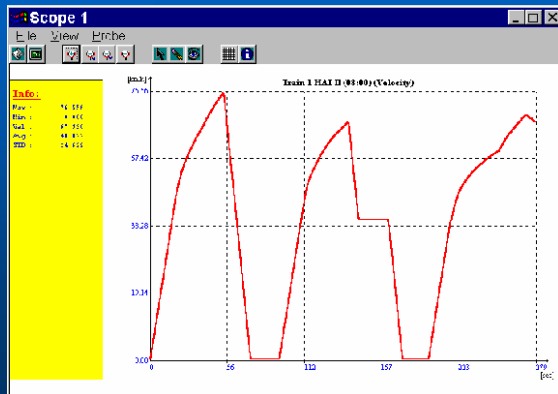
Bilgi kutuları bir nesne hakkında özet bilgi içerir.

Eylül 2005

Raylı Sistem Simülasyonu

18

## Scope



SimuX'teki en etkin raporlama araçlarından biri scope'tur. Scope'lar kullanılarak kaydı tutulan verilerin görsel bir çıktısı elde edilir ve sistem değişkenlerinin değişimleri ayrıntılı olarak incelenebilir.

Eylül 2005

Raylı Sistem Simülasyonu

19

## Simülasyon Programının Bileşenleri

- Simülasyon programına değişik açılardan bakmak mümkün olmakla birlikte analiz açısından uygun bir bakış açısına göre programı şu bileşenlere ayırmak mümkün olabilir:
  - Mekanik Bileşen
  - Elektrik Bileşen
  - Sosyal Bileşen

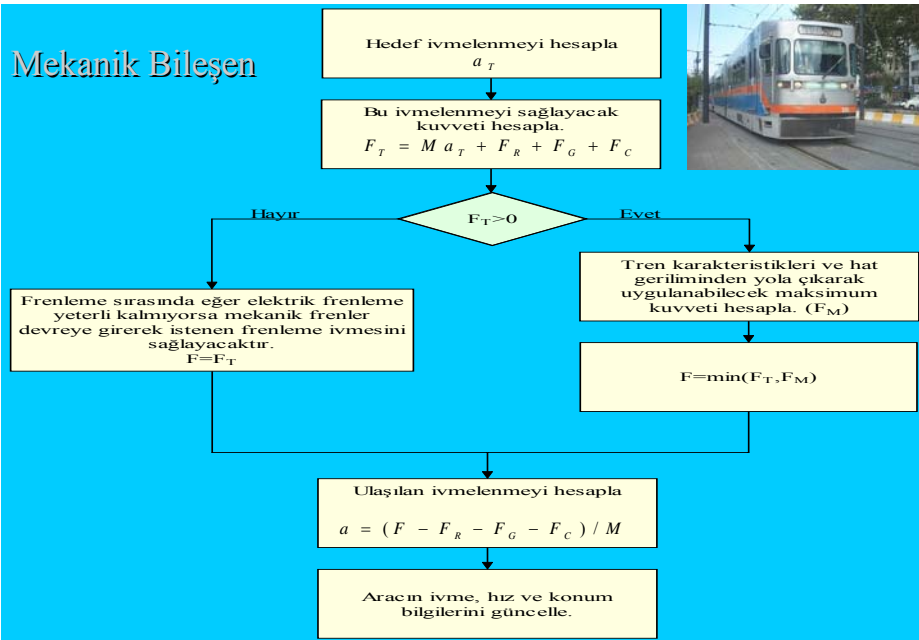


Eylül 2005

Raylı Sistem Simülasyonu

20

## Mekanik Bileşen



## Elektrik Bileşen

- Hatta bulunan bütün elektriksel elemanlar büyük bir şebeke oluşturur.

- Trafo merkezleri
- Katener ve ray sistemi
- Tren dizileri
- Paralleleme elemanları
- Topraklama ekipmanları vbg.

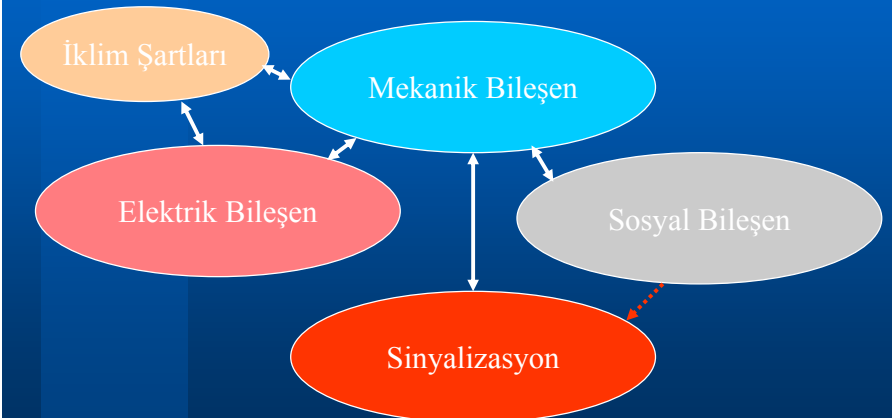


## Elektrik Bileşen

- Verilen bir örnekleme anında tüm bu elemanlara ilişkin elektriksel modeller otomatik olarak oluşturulur.
- Düğüm gerilimleri yöntemi ile devre çözülür.
- Regeneratif frenleme ve trafo blokajı nedeniyle çözüm için bir kaç iterasyon gerekebilir.



## Simülasyon Bileşenleri Arasında Etkileşim



## Özet

- Simülasyon çalışmaları raylı sistem tasarım ve işletiminde önemli bir rol oynar.
- Simülasyon lineer olmayan büyük boyutlu zamanla değişen denklemlerin çözümünü içerdiğinden zordur.
- Raylı sistemlerin işletimine ilişkin pek çok parametre vardır ve bunların etkin bir kullanıcı ara yüzü ile bilgisayara girilmesi büyük önem taşır.
- Simülasyon programları analiz kolaylığı açısından mekanik, elektrik ve sosyal bileşenlere ayrılabilir.
- Sinyalizasyonun bu bileşenlerle olan etkileşimi araştırılmalıdır.

## Teşekkür

Sabırla Dinlediğiniz İçin  
Teşekkür Ederim

## İleriye Yönelik Çalışmalar

Programın şu yönlerde geliştirilmesi devam etmektedir:

1. Değişik sinyalizasyon standartlarına uyumluluk
2. Yolcu akışlarının simüle edilmesi
3. Gün içi sıcaklık değişimlerinin simülasyonu
4. Araç motor dinamiklerinin kayma ve patinajı da göz önüne alacak biçimde daha ayrıntılı simülasyonu