

Raylı Sistemlerde Çevresel Etki ve Yolcu Sayısının Enerji Tüketimine Etkileri

Mine SERTSÖZ¹ - Sule KUSDOĞAN²

Anadolu University Sivil Havacılık Yüksekokulu msertsoz@anadolu.edu.tr¹
Kocaeli University Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı kusdogan@kocaeli.edu.tr²

ÖZET

İstanbul'da raylı sistemlerin tercih edilmesiyle toplamda 247.991.066,7 ton CO₂, yolcu başına ise 244,6 gr CO₂ miktarında azalma olduğu görülmektedir. Bu indirgenen değer ve enerji verimliliği üzerine gösterilen sonuçlar ulaşım şekillerini raylı sistem ağırlıklı olarak planlama yapılmasının çevresel açıdan faydalı olacağını göstermiştir. Bununla birlikte bir tramvay hattında farklı eğim değerlerinin ve yolcu sayılarının enerji tüketimi üzerindeki etkileri SimuX simülasyon programı kullanılarak araştırılmış ve bulunan sonuçlarda eğim değerinin azalması ile birlikte birim ağırlık başına düşen enerji tüketim miktarının giderek değişmeyen bir noktaya oturduğu saptanmıştır.

SUMMARY

Due to the preference of rail systems in Istanbul, it is observed that the decrease in quantity of CO₂ in total is 247.991.066,7 tons and 244,6 gr per passenger. The results of this reduced value and energy efficiency shows that urban plans concentrated on rail systems transportation will be advantageous with regards to environmental conditions. Besides, the effect of different gradient angles and passenger numbers on energy consumption were studied by SimuX simulation and it was shown that decrease in gradient angle makes the amount of energy per unit weight become steady.

1. İklim Değişikliği ile Mücadelede Enerji Verimliliği

1.1. İnsan Kaynaklı İklim Değişikliği

Çevre alanında sorunların ve çözüm yollarının yerel ve ulusal sınırları aşan niteliği, 1972 yılında Stockholm'de gerçekleştirilen ve 5 Haziran Dünya Çevre Günü'nün de çıkış noktası olan Birleşmiş Milletler İnsan ve Çevre Konferansı ile uluslar arası toplumun gündemine taşınmıştır. Stockholm Konferansı'ndan 20 yıl sonra Rio'da düzenlenen BM Çevre ve Kalkınma Konferansı sırasında imzaya açılan Çölleşmeyle

Mücadele Sözleşmesi (UNCCD), Biyolojik Çeşitlilik Sözleşmesi (UNCBD) ve İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (UNFCCC), "Rio Üçlüsü" olarak adlandırılarak "sürdürülebilir kalkınma" kavramının en önemli yasal dayanaklarını oluşturmaktadır. "Atmosferdeki sera gazı birikimlerini, iklim sistemi üzerindeki tehlikeli insan kaynaklı etkiyi önleyecek bir düzeyde durdurmayı başarmayı" hedefleyen BM İklim Değişikliği Sözleşmesi (BMİDÇS) ise 1994 yılında yürürlüğe girmiştir.

Atmosferdeki "doğal sera etkisini", gezegenimizin milyonlarca yıllık evrimi sonucunda oluşan ve normal koşullarda dünyadaki canlı yaşamının devamlılığını sağlayan en önemli etkenlerinden birisidir. Sözleşme'de belirtilen "insan kaynaklı iklim değişikliği", esas olarak fosil kaynakların (kömür, petrol, doğalgaz) aşırı tüketilmesi ve orman alanlarının hızla yok olması sonucunda başta CO₂ olmak üzere atmosferdeki sera etkisini arttıran aşırı ve çok hızlı bir şekilde salınmasını tanımlamaktadır. Sera gazları ile ilgili teknik veriler Tablo 1.1 'de sunulmaktadır.

İnsan kaynaklı iklim değişikliğini oluşturan sera gazlarının enerji, sanayi, ulaştırma, tarım, atık, ormancılık ve arazi kullanımı alanlarında ortaya çıkması ve buna karşı çözümlerin de yine bu alanlarda geliştirilecek radikal dönüşümlere bağlı olması nedeniyle, BMİDÇS diğerleri ile karşılaştırıldığında adından en çok söz ettiren uluslar arası çevre sözleşmesi olarak ortaya çıkmıştır. İklim değişikliği ile mücadele konusunda atılacak adımların etkinleştirilmesini hedefleyen ve 1997 yılında kabul edilerek 2005 yılında yürürlüğe giren Kyoto Protokolü ise güçlü, yenilikçi düzenlemeleri ve bağlayıcı yaptırımlarıyla çevre kaygılarının insan hayatının her alanına müdahale etmesini ve yön vermesini sağlamaktadır. [1]

Tablo 1.1: Sera Gazları İle İlgili Teknik Veriler [1]

Kyoto Protokolü Kapsamında Sera Gazları	Küresel Isınma Potansiyeli (GWP)	Atmosferde Kalma Süresi (yıl)	Tarihsel Dönem	Ortalama Yıllık Artış	En Güncel Oran
CO ₂	1	5-200	1000-1750-1750-2000	%0 %31	280 ppm 368 ppm
CH ₄	21	12	1000-1750-1750-2000	%0 %151	700 ppm 1750 ppm
N ₂ O	310	114	1000-1750-1750-2000	%0 %17	270 ppm 316 ppm
HFCs	140-	2 - >	Son 50 yılda tüm dünyada arttı.		
PFCs	12.000	50.000			
SF ₆	23.900	3.200			

1.2. Karbondioksit (CO₂) Salınım Miktarı

Bilim adamları ve iklim uzmanları atmosferdeki bir milyon birimde 350 ppm'lik CO₂ miktarının (350 parts per million) güvenli ve sağlıklı bir çevre açısından üst sınır olduğunda hemfikirler. Buzullardaki erimeler ve artan küresel ısınma 392 ppm ile günümüzde bu sınırı çoktan geçtiğimizin bir göstergesidir. Önüne geçilmediği ve tekrardan 350 ppm seviyesine çekilmediği takdirde, atmosferdeki bu yüksek CO₂ miktarı geri dönüşü olmayan sonuçlar doğuracaktır. Bunlardan en önemlisi Grönland buz katmanının erimesi ve Permafrost denilen ve kutuplarda donmuş halde bulunan toprak tabakasından metan gazı salınımlarıdır. [2].

18. Yüzyılın başından itibaren kömür, gaz ve yağ gibi materyallerden enerji ve çeşitli ürünler üretmeye başlandı. Gelişen saniye paralel olarak atmosferdeki CO₂ miktarı da artış gösterdi. Başta yavaş olan bu artış günümüzde artık iyice hızlanmıştır. Her gün yaptığımız birçok iş ne yazık ki kömür veya yağ yanması sonucu CO₂ açığa çıkaran enerji üretir. Başka bir deyişle yemek yapmak, ısınmak, elektrik ile çalışan ev aletlerini kullanmak veya sadece ışıkları açmak atmosfere daha çok karbondioksit salınımı demektir. İnsanoğlu olarak yeraltındaki milyonlarca yıldır fosil yakıtlar olarak biriken karbon atomlarını yakarak atmosfere bırakmaktayız. [2].

392 ppm günümüzde atmosferdeki CO₂ miktarını belirtmektedir. Bu rakam her yıl 2 ppm artmaktadır. Bilim adamları bu rakamın çok fazla olduğunu ve dünya tarihindeki en yüksek CO₂ seviyesi olduğunu söylemektedirler. Bu seviyenin doğa üzerinde yarattığı olumsuz etkileri eriyen ve yok olan buzullara bakarak anlayabiliriz. Bu buzulların milyonlarca insan için içme su kaynağı olduğu düşünülürse olayın ciddiyeti daha iyi anlaşılabilir. Küresel ısınmanın bir başka sonucu sivrisineklerin daha önceden görülmedikleri bölgelere göç etmeleridir. Sıcağı seven bu böcek turu küresel

ısınma ile dünyanın birçok bölgesine dağılmaya ve beraberlerinde sıtma ve dang gibi birçok hastalığı taşımaktadırlar.

Kuzey kutbu küresel ısınma ile ilgili en çarpıcı ve açık mesajı göndermektedir. 2007 yılındaki deniz buzulları 1979-2000 yılları ortalamasının %39 altında idi. Başka bir deyişle İngiltere büyüklüğünde bir buzul alanı yok olmuştur. [2].

Artık ne yazık ki 200 yıl öncesindeki karbon seviyesi olan 200 ppm'ye dönmek mümkün değildir. Fakat dünyanın iklim konusunda önde gelen bilim adamları tarafından yapılan ölçüm ve araştırmalar sonucunda, güvenli bir üst sınır belirlenmiştir. Bu sınır 350 ppm'dir. Şu anda hedeflenen CO₂ miktarı en azından 350 ppm olmalıdır. Dünyanın dengeli bir biçimde üzerindeki yaşamı koruması ve sürdürmesi için atmosferdeki CO₂ miktarının bu seviyeye çekilmesi şarttır. [2].

Tablo 1.2: Dünyadaki Bazı Ülkelerin ve Türkiye'nin Kişi Başına CO₂ Üretim Miktarları [3]

ülkeler	kişi başına CO ₂ üretim miktarı
ABD	20,4 ton
Rusya	10,5 ton
Almanya	9,8 ton
Çin	3,84 ton
Hindistan	1,2 ton
Türkiye	3,14 ton

1.3. Enerji Sektörü ve İklim Değişikliği

Isı, ısınma, ulaştırma ve elektrik tüketiminden kaynaklanan salımların yer aldığı enerji sektörünün toplam salımlar içindeki payı artmaktadır.

Ulaşım sektöründen kaynaklanan sera gazları salınımlarındaki artış, enerji sektöründeki artışın ana kaynağıdır. Bu sektör gerçekte artış gözlenen tek sektördür. Diğer sektörlerle kıyaslandığında ulaşımın CO₂ salım miktarı %17'dir. [4] Bu hiç de küçümsenemeyecek bir rakamdır. Bu kapsamda aşağıdaki çalışma; ulaşımın payını küçültmek ve dolayısıyla toplam CO₂ salım miktarını düşürmek amaçlı yapılmıştır.

1.4. Raylı Sistem ile Otobüs Taşımacılığının Karbondioksit Salınımı Açısından Karşılaştırılması

2009 yılındaki verileri karşılaştırdığımızda raylı sistemi yıllık olarak kullanan kişi sayısı 466.178.000 [5] iken İETT'yi yıllık olarak kullanan kişi sayısı 1.013.824.000 'dir. [6] Ayrıca raylı sistemlerin yıllık harcadığı toplam enerji 6.228.757 kWh [5] ve İETT'nin kullandığı yıllık motorin miktarı 98.550.000 lt'dir. [6]

İETT'nin yıllık olarak salınım yaptığı karbondioksit miktarı: İETT'nin kullandığı yıllık motorin miktarı x motorinin litre başına ürettiği CO₂ miktarı =

$$98.550.000 \text{ lt} \times 2,65 \text{ kg/lt} = 261.115.500 \text{ kg CO}_2 \text{ 'dır.}$$

Raylı sistemin yıllık olarak yaptığı karbondioksit miktarı 0,971 kg/kWh'dır. (Burada en kötü varsayım ile elektrik enerjisi üretmek için kömür kullanıldığı düşünülmüştür. Eğer doğalgaz gibi daha az karbondioksit salınımı yapan bir üretim şekli düşünülürse salınım yarisından bile az olacaktır. Çünkü 1 kWh enerji üretmek için 0,450 kg karbondioksit salınımı olmaktadır.)

Raylı sistemlerin yıllık harcadığı toplam enerji x kömürün 1 kWh enerji üretmek için salınım yaptığı CO₂ miktarı =

$$6.228.757 \text{ kWh} \times 0,971 \text{ kg/kWh} \\ = 6.048.125,96 \text{ kg CO}_2 \text{ 'dır.}$$

Raylı Sistemi yıllık olarak kullanan kişi sayısı 466.178.000 ve İETT'yi yıllık olarak kullanan kişi sayısı 1.013.824.000 'dir. Burada yolcuların İETT yerine raylı sistemleri tercih ettiğini düşünelim. (İETT ile gidilen her yöne raylı sistemler ile gidilebildiğini varsayalım.)

$$\frac{1.013.824.000}{466.178.000} = 2,174$$

bu sayı İETT'yi tercih edenlerin, raylı sistemleri tercih edenlere oranıdır.

Buradan tüm yolcular SADECE raylı sistemi tercih ederse yapılacak CO₂ salınımı miktarı:

$$6.048.125,96 \times 2,174 = 13.124.433,33 \text{ kg 'dır.}$$

Yani CO₂ salınımı miktarı arasındaki fark:

İETT'nin yıllık olarak salınım yaptığı karbondioksit miktarı + raylı sistemlerin yıllık olarak salınım yaptığı karbondioksit miktarı - tüm yolcuların raylı sistemi tercih etmesi durumunda yıllık olarak salınım yaptığı karbondioksit miktarı=

$$261.115.500 \text{ kg} - 13.124.433,33 \text{ kg} = 247.991.066,7 \text{ kg} \\ \text{CO}_2 \text{ azalır.}$$

İETT Otobüslerini kullanan yolcu başına düşen CO₂ miktarı: İETT'nin yıllık olarak salınım yaptığı karbondioksit miktarı ÷ yıllık olarak İETT kullanan kişi sayısı=

$$261.157.500 \text{ kg} / 1.013.824.000 = 257,5 \text{ gr}$$

Tüm yolculukların varsayımımızda olduğu gibi raylı sistemle yapıldığında ise Yolcu başına düşen CO₂ miktarları ise şu şekildedir:

Raylı sistemlerin yıllık olarak salınım yaptığı karbondioksit miktarı ÷ yıllık olarak raylı sistemlerin tercih edilmesi durumundaki kişi sayısı =

$$13.124.433,33 \text{ kg} / 1.013.824.000 = 12,9 \text{ gr}$$

Kişi başına düşen CO₂ miktarları:

İETT Otobüslerini kullanan yolcu başına düşen CO₂ miktarı – Tüm yolcuları raylı sistemi tercih ettiklerinde yolcu başına düşen CO₂ miktarı=

$$257,5 - 12,9 = 244,6 \text{ gr kadar azalmıştır. [7]}$$

Sonuçtan da anlaşıldığı üzere raylı sistem kullanımı her halükarda CO₂ salımı açısından oldukça düşük değerlerdedir. Ülkede otobüs taşımacılığı yerine raylı sistem taşımacılığına ağırlık verilmelidir. Bunun için hükümet gerek kendi gerekse özel sektöre teşvik vererek raylı sistem taşımacılığını arttırması, enerjisi verimli kullanmak ve çevre kirliliği açısından oldukça mantıklı gözükmektedir.

2. SimuX Simülasyon Programı [8]

SimuX raylı sistem uygulamalarında kullanılan bir simülasyon yazılımı olup, karmaşık raylı sistem hatlarını (hafif metro, ağır metro, tramvay vb.) modelleyebilen bir çok parametreyi işletmecinin kriterlerine göre analiz edebilen ve kullanıcıya esnek ara yüz seçenekleri ile kolaylık sağlayabilen bir programdır. Geliştirilen SimuX [9] programında tüm sistem parametreleri Visual C++ ortamında geliştirilen ve görselliği üst seviyede olan bir kullanıcı ara yüzü ile sisteme dâhil edilmekte ve mümkün olduğunca, hattın ölçekli şeması üzerinde fare ile etkileşebilecek şekilde temsil edilmektedirler. Simülasyon programının aşamaları şu şekildedir:

- 1.) Belirlenen toplu taşımının raylı sistem ile yapılması kararı çıkar ise harita mühendisleri tarafından ray hattının bilgileri simülasyon programına girilir.
- 2.) Simülasyona hatta kullanılacak aracın bilgileri girilir.
- 3.) Simülasyon için gerekli seyahat parametreleri belirlenir.
- 4.) Değişkenler hesaba katılarak ve hesaba katılmayarak araç ve hat karakteristiği gözlenir.
- 5.) Belirlenen aracın girilen hat geometrisindeki tepkisi ve etap süresi simülasyon programı ile belirlenmiş olur.
- 6.) Son olarak istasyona giriş ve çıkış saatleri belirlenir.

Bu bağlamda simülasyon yardımı ile güç sistemi boyutlandırılabilen, istenilen optimizasyon çalışmaları yapılabilmekte, olası problemler daha sistem inşa edilmeden görülerek çözümlenmekte ve sonuç olarak maliyette önemli azalmalar sağlanabilmektedir. Raylı sistem simülasyon çalışmalarında en önemli husus, analizi yapılacak hattın parametrelerinin doğru ve eksiksiz bir şekilde programa girilmesidir.

Bunun dışında hazırdaki bir sistem üzerinde kullanılan araçların değiştirilmesi veya headway (trenler arası süre) zamanın kısaltılması gibi büyük modifikasyonlar yapılacağı zaman da simülasyon yapılmalıdır. Genel olarak bakıldığında simülasyon programlarının şu amaçlarla kullanılabileceği görülür:

- İşletme şartlarında tren performansının belirlenmesi;
- Transformator merkezlerinin ve kesicilerin boyutlandırılması
 - Katener sisteminin yeterliliğinin saptanması
 - Bir trenin pantografındaki maksimum, minimum ve ortalama gerilim değerlerinin bulunması
 - Enerji tüketiminin ve kayıplarının saptanması
 - Enerji tasarruf programlarının uygulamadan önce test edilmesi
 - Ray Gerilimi ve Kaçak akım analizi
 - Farklı besleme sekülerinin test edilmesi

- Regeneratif frenlemenin etkisi ve hattın üretilen bu frenleme enerjisini kabul oranının (receptivity rate) belirlenmesi
- Kısa devre akım ve gerilimlerinin analizi
- Araç zaman çizelgelerinin iyileştirilmesi

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

Şekil 2.1' de görülen ara yüzde simülasyonda kullanılan ABB aracının teknik özellikleri bulunmaktadır. Dünya'daki raylı sistem araç üreticilerinin yapmış olduğu tren modellerinin birçoğu kütüphanesinde mevcut bulunup, kullanıcının hatta kullanılan aracın parametrelerine (maks. hız, maks. hızlanma ivmesi, min. yavaşlama ivmesi v.b.) programa girmesine gerek kalmadan hatta işletilen aracı kullanabilmektedir.

Manufacturer: ABB		Type Name: IST_LRT	
Mechanical Properties			
Maximum Acceleration [m/s ²]:	0.7	Maximum Velocity [km/h]:	80
Maximum Deceleration [m/s ²]:	1.1	Empty Weight [kg]:	29000
Emergency Brake Deceleration [m/s ²]:	1.3	Loaded Weight [kg]:	50200
Front Area [m ²]:	8	Rotational Mass Factor [%]:	10
Number of Axles:	6	Number of Seated:	250
Safety Distance [m]:	55	Standing Area [m ²]:	0
Length [m]:	23	Comfort Rate [m/s ³]:	1
Electrical Properties			
Auxiliary Power [kW]:	27	Minimum Operating Voltage [V]:	525
Allowed Maximum Voltage in Braking [V]:	900	Maximum Operating Voltage [V]:	900
		Nominal Operating Voltage [V]:	750

Şekil 2.1: ABB Tramvay Aracının Teknik Bilgileri.

3. Enerji Tüketimine Etki Eden Ağırlık (Yolcu Sayısı) Parametrelerinin İncelenmesi

Bu bölümde üç adet eğimdeki bir tramvay hattı için tramvayın boşta ve çeşitli yolcu sayılarıyla tramvayın tükettiği enerji değerleri SimuX ile hesaplanmış, böylelikle eğim-yolcu sayısı parametrelerinin enerji tüketimine etkileri irdelenmiştir.

Tablo 3.1: Eğimin %3 Olması Durumunda Yolcu Sayısının Enerji Tüketimi Üzerindeki Etkisi

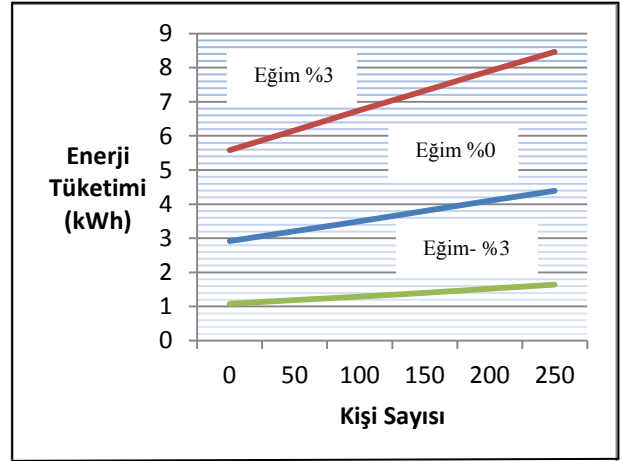
Yolcu Sayısı	Araç Ağırlığı	Enerji Tüketimi (kWh)	Ağırlık Başına Düşen Enerji Tüketimi (Wh)
0	31900	5,58	0,175
50	35400	6,16	0,174
100	38900	6,75	0,173
150	42400	7,32	0,172
200	45900	7,9	0,172
250	49400	8,46	0,171

Tablo 3.2: Eğimin %0 Olması Durumunda Yolcu Sayısının Enerji Tüketimi Üzerindeki Etkisi

Yolcu Sayısı	Araç Ağırlığı	Enerji Tüketimi (kWh)	Ağırlık Başına Düşen Enerji Tüketimi (Wh)
0	31900	2,92	0,0915
50	35400	3,21	0,0906
100	38900	3,5	0,0899
150	42400	3,8	0,0896
200	45900	4,1	0,0893
250	49400	4,39	0,0888

Tablo 3.3: Eğimin -%3 Olması Durumunda Yolcu Sayısının Enerji Tüketimi Üzerindeki Etkisi

Yolcu Sayısı	Araç Ağırlığı	Enerji Tüketimi (kWh)	Ağırlık Başına Düşen Enerji Tüketimi (Wh)
0	31900	1,08	0,0338
50	35400	1,19	0,0336
100	38900	1,29	0,0331
150	42400	1,4	0,033
200	45900	1,52	0,033
250	49400	1,64	0,033



Şekil 3.1: Farklı Eğim Değerleri ve Kişi Sayıları İçin Enerji Tüketim Miktarları

Burada verilen üç adet tablodan açıkça görülmektedir ki eğim değeri arttıkça ağırlık başına düşen enerji tüketimi artmaktadır. Bununla birlikte aynı eğim değerlerinde yolcu sayısının artması, ağırlık başına düşen enerji tüketim miktarını azaltmakla birlikte çok az etkilediği; hatta eğimin negatif olduğu durumlarda hiç etkilemediği saptanmıştır. Buna ek olarak

verilen şekilden de kişi sayısı artışının enerji tüketimini, eğimin arttığı noktalarda daha ivmeli bir şekilde arttırdığı gözlemlenmiştir.

4. Sonuç

İstanbul'da tüm ulaşım şekillerinin raylı system ile yapılabildiği varsayımında bulunarak kişi başına düşen CO₂ miktarının 244,6 gr. kadar azaldığı gözlemlenmiştir. 100 yıllık bir kayın ağacının saate 2,25 kg CO₂ tükettiği düşünülürse bir saatte tramvayı kullanan 174 kişinin, otobüsü kullanan ise sadece 9 kişinin ürettiği CO₂'i tüketebilir. Elektrik üretirken kaynak olarak kömür değil de hidroelektrik seçilirse bu değer tramvay için 56250 kişiye kadar çıkabilmektedir.

Eğim değeri arttıkça ağırlık başına düşen enerji tüketimi artmaktadır. Bununla birlikte aynı eğim değerlerinde yolcu sayısının artması, ağırlık başına düşen enerji tüketim miktarını azaltmakla birlikte çok az etkilediği; hatta eğimin negatif olduğu durumlarda bir noktadan sonra hiç etkilemediği saptanmıştır.

KAYNAKLAR

1. Bina Enerji Yöneticileri Eğitimi Cilt 1
2. www.350.org, (son erişim 27 haziran 2012)
3. Karbonayakizi.com
4. Kumbaroğlu G., Arıkan Y., 2009 "Türkiye'nin CO₂ Salımları", Açık Toplum Vakfı, İstanbul
5. İstanbul Ulaşım a.ş.
6. İETT.gov.tr
7. Kuşdoğan Ş. ve diğerleri "Energy Efficiency In Rail Systems And Comparison Between Rail System In Istanbul And Bus Transportation In Terms Of Carbondioxide (CO₂) Emission"
8. Açıkbaz S. "Çok Hatlı Çok Araçlı Raylı Sistemlerde Enerji Tasarrufuna Yönelik Sürüş Kontrolü" Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
9. www.simulatorx.com, (son erişim Eylül 2012.)