



Makale / Research Paper

İstanbul'da Karayolu Yolcu Taşımacılığında Elektrikli Araç Kullanımının İncelenmesi

Serkan VAROL¹, Zübeyde ÖZTÜRK², Onur ÖZTÜRK³

¹İTÜ FBE, Ulaştırma, 34485, Ayazağa, İstanbul, Türkiye

²İTÜ İnşaat Müh.-Ulaştırma, 34485, Ayazağa, İstanbul, Türkiye

³İTÜ FBE, 34485, Ayazağa, İstanbul, Türkiye

serkanvarol89@hotmail.com , ozturkzu@itu.edu.tr, onur.ozturk@live.com

Received/Geliş: 22.01.2018

Revised/Düzeltilme: 13.02.2018

Accepted/Kabul: 17.04.2018

Öz: İstanbul'da ulaştırma kaynaklı çevreye zararlı gazların azalmasına büyük katkısı olacağı düşünülen, içten yanmalı motor yerine elektrik motoru kullanılan elektrikli araçların işletilmesi gündemdedir. Çalışmada, gelecekte toplu taşıma araçlarında elektrikli araç sistemlerine geçileceği varsayılan senaryolar oluşturulmuştur. Bu senaryolarda öncelikle ticari taksilerin %30 oranında elektrikli araçlara geçeceği, ikinci senaryoda ticari taksilerin %70 ve otobüslerin %30 oranında elektrikli araçlara geçeceği, üçüncü senaryoda ticari taksilerin %100 otobüslerin %70 ve minibüslerin %30 oranında elektrikli araçlara dönüşeceği kabulü yapılmıştır. Toplamda altı farklı senaryo ile bütün toplu taşıma araçlarının elektrikli araç olacağı düşünülmüştür. Kaynak emisyonları belirlendikten sonra, toplu taşıma araçlarından dolayı artan enerji ihtiyacı miktarının da oluşturacağı kirlilikler hesaplanmıştır. Elektrikli sisteme geçiş ile azalan emisyonlar ile kaynakta oluşan emisyonlar arasındaki farktan net emisyon azalışı belirlenmiştir. Özel araçlar için de elektrikli sisteme geçişle azalan emisyonlar ile kaynakta oluşan emisyonlar saptanarak net emisyon azalışı belirlenmiştir. Sonuç olarak elektrikli araç sistemine geçiş, emisyonlarda azalmalar sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler: Karayolu, yolcu taşımacılığı, elektrik.

Research of the Use of Electrical Vehicles in Istanbul Highway Passenger Transport

Abstract: The use of electric vehicles which use electric engines instead of internal combustion engines are in order, which is expected to have a significant contribution to reduction of environmentally harmful gases caused by transportation. In the study there are scenarios, where it is assumed that the public transportation vehicles will switch to electric vehicle systems in the future in Istanbul. In these scenarios, first it is postulated that 30% of the commercial taxis will switch to electric vehicles. In the second scenario, it is postulated that 70% of commercial taxis and 30% of busses will switch to electric cars. In the third scenario it is postulated that 100% of the commercial taxis, 70% of busses and 30% of minibuses will switch to electric vehicles. Through a total of six different scenarios, it is thought that all of the public transportation vehicles will be electric vehicles. After the source emissions are determined, the pollution that will be caused at the source by the energy increase due to public transportation vehicles is calculated. The net decrease in emissions is determined by subtracting the emission produced at the source from the decrease in emissions due to switching to the electric system. The net decrease in emissions is determined by subtracting the emission produced at the source from the decrease in emissions due to switching from the private vehicles to the electric system. In conclusion, switching to the electric vehicle system will enable reductions in emissions.

Keywords: Highway, passenger transport, electric.

Bu makaleye atıf yapmak için

Varol S., Öztürk Z., Öztürk O., "İstanbul'da Karayolu Yolcu Taşımacılığında Elektrikli Araç Kullanımının İncelenmesi" El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi 2018, 5(2); 367-386.

How to cite this article

Varol S., Öztürk Z., Öztürk O., "Research of the Use of Electrical Vehicles in Istanbul Highway Passenger Transport" El-Cezerî Journal of Science and Engineering, 2018, 5(2); 367-386.

1. Giriş

Ulaştırma sektörünün en önemli girdisi enerjidir, bu nedenle sürdürülebilir yani etkin, verimli ve güvenli ulaşım için enerji temini büyük önem taşımaktadır. Dünya genelinde birincil enerji kaynaklarının yaklaşık beşte biri, ulaştırma sektörü tarafından tüketilmektedir. 2015 yılı Dünya Enerji Konseyi-Türk Milli Komitesi verilerine göre bu sektör, yaklaşık 24 milyon ton petrol eşdeğeri (MTEP) enerji tüketimi ile ülkemiz nihai enerji tüketiminden yaklaşık % 25'lik pay almaktadır [1-2]. Tablo 1'den görüleceği gibi 2004 yılında 13.7 Milyon ton eşdeğer petrol (Mtep) olan ulaştırma sektörü enerji tüketimi %80 artarak, 2015 yılında 24.7 Mtep'e ulaşmıştır. Türkiye'de ulaştırma sektörü, gerek yolcu gerekse yük taşımacılığında karayolu ağırlıklı olup, sektörde tüketilen enerjinin çok büyük bir bölümü karayolunda kullanılmaktadır [2].

Tablo 1. Ulaştırma sektöründe enerji kullanımı (Bin Tep)

2004		2010		2013		2015	
Tüketim	Pay(%)	Tüketim	Pay(%)	Tüketim	Pay(%)	Tüketim	Pay(%)
13.774	20	15.328	18	22.722	25	24.740	25

Ulaştırma sektörü yenilenemeyen enerji kaynaklarının tüketimi konusunda tüm sektörler içinde önemli bir paya sahiptir. Bu sektörün tüketilen petrol enerjisindeki payının fazla oluşu, özel araç sahipliğinin ve kullanımının günden güne artması, hızla artan nüfus ve benzin pompa fiyatlarının yıllar itibarıyla artan bir eğilim göstermesinin sorunlar doğurduğu açıktır. Hava kirliliği, havadaki yabancı maddelerin insan sağlığına, canlı hayatına ve ekolojik dengeye zararlı olabilecek miktarda bulunması şeklinde tanımlanmaktadır. Kirlenmeyi oluşturan maddeler çok çeşitli olmakla birlikte en etkili olan maddeler; karbonmonoksit, azot oksitleri, karbonhidratlar, partikül (parçacık) ve kükürt oksitleridir [3].

Hareket enerjisini oluşturmak için ihtiyaç duyulan enerji kaynağını taşıt içinde yakan ulaştırma araçlarının yayacakları kirletici miktarı, birim taşıma işi başına tüketilen enerji ve yakıt ile birim yakıttan çıkacak kirletici miktarına bağlı olarak değişiklik gösterir. Ulaşım kaynaklı hava kirlenmesinin önemli yanı özellikle havalandırması sınırlı caddelerde yoğun trafik ile yer seviyesinde birikim yaparak, trafik çevresinde yer alan kişilere ve trafiğe katılan kişilere doğrudan ve akut etki göstermesidir [4-5].

Motorlu araçların neden olduğu kirlenme bir çok faktöre bağlıdır. Bunlar; enerji tüketimi ile doğrudan ilgili olup taşıtın motor cinsi, aracı kullanım tarzı, araç yaşı, aracın fiziki durumu, ortalama hızı, yakıt kullanımı, yakıt cinsi, trafik durumu sayılabilir [6-7]. Petrol türevi yakıtların kullanılması sera gazı salımının (özellikle CO₂'in) büyük oranda artmasına ve buna bağlı olarak küresel ısınma gibi bütün dünyayı etkileyebilecek önemli sonuçların ortaya çıkmasına katkıda bulunmaktadır [8].

Ülkemizde ve dünyanın diğer ülkelerinde her geçen yıl ulaşım yoğunluğunun artması ve oluşan emisyon miktarlarının da buna paralel yükselmesi, içten yanmalı motor (İYM) teknolojisinde yapılan iyileştirmeleri, alternatif yakıtlar ve daha verimli alternatif araçların geliştirilmesini gündeme getirmektedir. Bu açıdan bakıldığında elektrikli araçlar; sessiz olması, düşük seviyede emisyon salımına sebebiyet vermesi ve yakıt tasarrufu sağlaması gibi avantajları sayesinde bu sorunlara çözüm getirebilecek potansiyele sahiptir. Ancak satın alma maliyetlerinin yüksek oluşu, yakıt sarfiyatı düşük olsa da kullanıcılar tarafından pahalı bulunmakta ve bu avantajlar gölgenmektedir.

Egzoz emisyonlarının sınırlandırılmasında Euro V kriterinden Euro VI kriterine geçilecek olması gibi yasal zorunluluklar özellikle otomobil üreticilerini elektrikli araçlar konusunda çalışmalar yapmaya yöneltmiştir. Ayrıca Avrupa'da karbon emisyonuna göre yapılan vergilendirmeler de

otomobil almak isteyen kişiler veya mevcut otomobil sahipleri için elektrikli araçları cazip kılmaktadır. Bütün bunların yanısıra araç kullanımında, özellikle de şehir içi trafiğinde ortaya çıkan enerji tüketim miktarı önemli boyutlardadır. Elektrikli ve hibrid araçlarda bu enerjinin bir bölümü bataryalarda depolanabilir. Enerjiyi verimli ve daha ekonomik kullanmak için elektrikli ve hibrid araç teknolojilerinin yaygınlaşması önemlidir. Günümüzde neredeyse bütün büyük otomobil üreticileri gelecek dönem üretim planlamasında elektrikli ve hibrid araçlara önemli bir yer ayırmıştır [9].

2. Elektrikli Araçlar ve İstanbul'da Karayolu Araçlarında Elektrik Kullanımına Geçiş

Elektrikli araçların (EA) tasarımında araca yerleştirilen enerjinin dağıtımını tahrik ve sistem elemanlarıyla yapılmaktadır. Tahrik sistem konfigürasyonları sistem içerisindeki elemanların birbirlerine bağlanma şekilleri ve enerji akışındaki tercihlere göre belirlenmektedir. EA teknolojisindeki modeller sırasıyla tümü-EA'lar, hibrid EA'lar ve bataryalı veya bataryasız yakıt pilli araçlardır [10].

Elektrikli araçların avantajları; Bütün dünyada elektrikli araçlar için, çeşitli vergi teşvikleri uygulanmaktadır. Ülkemizde elektrikli otomobillerden motor gücüne göre %3, %7 ve %15 olmak üzere 3 ayrı kategoride özel tüketim vergisi-ÖTV alınmaktadır [11-12]. Elektrikli araçların bakım masrafları, İYM'lu araçların bakım masraflarına oranla çok daha düşüktür. Çünkü elektrikli araçlarda daha az mekanik aksam bulunmaktadır ve vites kutusu, egzoz sistemi, motor bloğu, yağlama gibi kısımlara ihtiyaç duyulmamaktadır. Bununla birlikte elektrikli araçlarda motor yağı, filtreler, triger kayışı, debriyaj baskı-balata ve şanzıman gibi bakım masrafları yoktur. Sadece fren balataları, diskleri ve silecekleri gibi malzemelerin bakım masrafları vardır. Hibrid araçlar İYM aksamlarını içerdiği için bakım masrafları elektrikli araçlardan daha yüksektir. Günümüzde enerji ihtiyaçları dış kaynaklara bağlı olan ülkeler için, elektrikli ve hibrid araçlar avantaj sağlayacaktır. Özellikle elektrik enerjisini güneş, rüzgâr, jeotermal, nükleer ve bunun gibi yeşil enerji adı verilen yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılayan ülkeler için bu avantaj daha da önemli hale gelmektedir. Ülkemiz gibi önemli açığı olan ülkelerin petrole ayırdıkları dış kaynak azaldıkça, bütçe açıklarında kayda değer azalmalar sağlanacaktır.

Hibrid araçlar ve belli bir mesafenin üzerinde yol alan elektrikli araçlar, önemli ölçüde yakıt avantajı sağlamaktadır. Bu avantaj düşük hızlarda daha da yüksek olmaktadır, alınan mesafenin azalmasına bağlı olarak da bu avantaj önemli ölçüde azalmaktadır.

Elektrikli ve hibrid araçlar daha az sera gazı salımı yapmaktadır. Tüm elektrikli araçlarda sera gazı salımı yoktur, yani CO₂ salımı sıfırdır. Ancak elektrik enerjisinin üretimine bağlı olarak santralde ortaya çıkan CO₂ salımı mevcuttur. Elektrik enerjisinin yeşil enerji kaynaklarından elde edilmesi durumunda CO₂ salımı daha da azalmaktadır. Elektrikli araçların kullanılmasıyla aynı zamanda egzoz gazları ile birlikte ortalama ısı da yayılmayacaktır. Araçlardan kaynaklanan CO₂ salımının azalması için ülkelerin bu konuda yapacakları çevre yatırımlarında (dışsal maliyetlerde) dolaylı olarak önemli ölçüde azalmalar sağlanacaktır. Elektrik motorları, İYM'lu araçlardan tamamen farklı bir prensipte çalışmaları için hiç ses çıkarmazlar ve yollarda gürültü yapmazlar [13-14]. Ulaşım kaynaklı rahatsızlıkların azalması sonucu daha sağlıklı bir toplum oluşacaktır. Düşük CO₂ emisyonu, havanın ve çevrenin kirletilmemesi, motor gürültüsü olmaması nedenleriyle daha sağlıklı bir yaşam sağlanacaktır. Elektrikli araçlardan oluşan CO₂ emisyonu sadece elektriğin temini için enerji kaynağından dolayı oluşacak emisyonlardır.

Elektrikli araçların dezavantajları: Elektrikli ve özellikle de hibrid araçların çözülmesi gereken önemli problemlerinden birisi de maliyet konusudur. Bu araçların ve özellikle de elektrikli araçların maliyet dezavantajını aşmak için en önemli konu batarya maliyetlerinin düşürülmesidir. Elektrikli

araçların konvansiyonel araçlarla rekabet edebilir hale gelmesi için önemli bir husus araç menzildir. Şehir içinde insanların günlük olarak ortalama 30-50 km yol yaptıkları belirlenmiştir. Tümü elektrikli araçların tam şarjlı bir batarya ile şehir içinde ortalama 100 km yol aldığı düşünülürse bu araçların şehir içinde günlük kullanımda çoğu sürücü için ideal olduğu ve ihtiyacı karşılayacağı sonucu ortaya çıkmaktadır. Ancak tümü elektrikli araçlar şehirlerarası kullanımda İYM araçlarla kıyaslandığında, menzil bakımından günümüzde büyük bir dezavantaja sahiptir. Elektrikli araç teknolojisinin yaygınlaşması açısından şarj altyapısının uygun bir şekilde geliştirilmesi de oldukça önemli bir sorundur. Elektrikli araçların şarj edilmesi için farklı yöntemler mevcuttur. Bu yöntemler arasında bulunan yavaş şarj yaklaşımı ile aracın şarj işlemi 25/26 kWh kapasiteye sahip bir batarya için 6-8 saat sürerken, hızlı şarj yöntemi ile şarj işleminin süresi 20-30 dakikalara düşürülebilmekte ve bataryanın %80'i şarj edilmektedir, en hızlı yöntem batarya değişimidir [15].

2.1. Toplu Taşıma Araçlarının Kademeli Olarak Elektrikli Sisteme Geçişi

Bu bölümde, İstanbul'da bulunan karayolu toplu taşıma sistemlerinin kademeli olarak elektrikli araçlara geçmesi için senaryolar oluşturulmuştur. Öncelikle İstanbul için karayolu yolcu taşımacılığında kaynaklanan emisyon miktarı belirlenmiş ve elektrikli sisteme geçiş ile bu emisyonların azalma oranları verilmiştir. Elektrikli sisteme geçiş ile artması beklenen enerji ihtiyacı da tanımlanmıştır. Toplu taşıma araçlarının elektrikli sisteme geçiş senaryoların karşılaştırılabilir sonuçlar verebilmesi için bazı kabuller yapılmıştır. Bu kabuller yapılırken ilgililerden günlük çalışma süreleri, motor güçleri ve şehir içinde aldıkları mesafeler derlenmiş bunların ortalaması alınmıştır. Bu bilgiler doğrultusunda optimum mesafe kabulleri yapılarak araç mesafeleri belirlenmiştir. Elektrikli araçlar için üretimde bulunan modeller karşılaştırılmış bunların akü kapasitesi ve aldıkları mesafeye göre enerji ihtiyacı tahminleri yapılmıştır.

1. Otobüslerin günlük 200 km mesafe yaptığı,
2. Minibüs, dolmuş ve servislerin günlük 160 km mesafe yaptığı,
3. Ticari taksilerin günlük 300 km yol katettiği,
4. Otobüslerin içinde %7 oranında bulunan CNGli araçlar ihmal edilmiştir.
5. Ticari taksilerin içinde %15 oranında bulunan LPG araçlar ihmal edilmiştir.
6. Emisyonlar için Euro V Standardı dikkate alınmıştır.
7. Elektrikli araç olarak otomobillerin 45 kwh ile 300 km mesafe yaptığı,
8. Elektrikli araç olarak minibüslerin 50 kwh ile 160 km mesafe yaptığı,
9. Elektrikli araç olarak otobüsleri 200 kwh ile 200 km mesafe yaptığı,
10. Ağır vasıtaların (otobüslerin) Euro V standartında, emisyonları belirleyebilmek için motor gücünün maksimum 200kw olduğu ve ortalama 140kw ile günde 12 saat işletildiği kabul edilmiştir.

2.1.1 Güncel emisyon durumu

Güncel durumda İstanbul'da toplu taşımada kaynaklanan emisyonları belirlemek için, öncelikle toplu taşımadaki araç sayısı tespit edilmiştir. Toplu taşıma araçlarının günlük yaptığı mesafeler için gerçeğe yakın kabuller yapılmış, araçların bir gün boyunca aldıkları mesafeler Tablo 2'de görüldüğü gibi hesaplanmıştır. EuroV emisyon değerleri ile çarpılarak bu araçların bir yılda oluşturdukları emisyonlar hesaplanmıştır. Binek araçlar ve ticari araçlar için EuroV standartlarında emisyonların birimleri g/km olarak verilmektedir. Bu araçların bir yılda aldığı mesafeyi birim emisyon değeri ile çarparak oluşacak emisyonları gram cinsinden bulmak mümkündür.

Ağır vasıtalar (otobüs) için bu birim g/kwh dir ve ağır vasıtaların emisyonlarını etkileyen bir çok etken vardır, bunların başında araç ağırlığı gelmektedir. Bir binek aracın ağırlığı 1000 kg ile 2000 kg arasında değişirken, bir otobüs için bu değer 15000 kg ile 25000 kg arasında değişmektedir. Bu

nedenle motor gücü üzerinden emisyon hesabı yapılmaktadır. İstanbul genelinde kullanılan otobüslerin motor gücü, otobüsün markasına göre 180–210 kw arasındadır, ancak araç her zaman tam güçle çalışmadığından 140 kw kabul edilmiştir ve otobüslerin bir günde 12 saat hareket halinde olduğu düşünülmektedir.

Tablo 2. İstanbul’da araç sayıları ve günlük mesafeler

ARAÇLAR	ARAÇ SAYISI	GÜNLÜK MESAFE
İETT	2.456	200
İOAŞ	934	200
ÖHO	2.107	200
Minibüs	6.412	160
Taksi Dolmuş	572	160
Servis	66.269	160
Taksi	17.395	300

Bu araçlar için örneğin CO emisyonunun EuroV değeri 1,5 g/kwh dır. Aracın 140 kw güç ile çalışma süresi 12 saat, ilgili emisyon değeri ile çarpılarak günlük emisyon değeri, bu sayıyı günlük aldığı mesafeye bölerek de km başına emisyon değeri bulunabilir. Buna göre günde; $140 \times 12 \times 1,5 = 2520$ gr CO oluşmaktadır. Bu sayıyı günlük aldığı mesafeye bölünce; $2520/200 = 12,6$ g/km CO olarak yaptığı km başına emisyon değeri belirlenebilmektedir. Ağır vasıta türü araçlar için diğer emisyonlar da benzer şekilde hesaplanarak, km başına açığa çıkan emisyon miktarı hesaplanmıştır. Bütün birim emisyonların araçların bir yılda yaptıkları mesafeler ile çarpılması ile oluşturdukları toplam emisyon Tablo 3’de gösterilmiştir.

Tablo 3. İstanbul’da toplu taşımadan kaynaklanan emisyonlar

ARAÇLAR	ARAÇ SAYISI	GÜNLÜK MESAFE	EMİSYONLAR (EURO V - g/km)					TOPLAM EMİSYONLAR (Ton)				
			CO	HC	NO _x	PM	CO ₂	CO	HC	NO _x	PM	CO ₂
İETT	2.456	200	12,600	3,864	29,400	0,168	320,00	2.259,03	692,77	5.271,07	30,12	57.372,16
İOAŞ	934	200	12,600	3,864	29,400	0,168	320,00	859,09	263,46	2.004,55	11,45	21.818,24
ÖHO	2.107	200	12,600	3,864	29,400	0,168	320,00	1.938,02	594,33	4.522,04	25,84	49.219,52
Minibüs	6.412	160	0,740	0,070	0,280	0,005	200,00	277,10	26,21	104,85	1,87	74.892,16
Taksi Dolmuş	572	160	0,740	0,070	0,280	0,005	200,00	24,72	2,34	9,35	0,17	6.680,96
Servis	66.269	160	0,740	0,070	0,280	0,005	200,00	2.863,88	270,91	1.083,63	19,35	774.021,92
Taksi	17.395	300	0,500	0,050	0,250	0,005	110,00	952,38	95,24	476,19	9,52	209.522,78
TOPLAM:							9.174,22	1.945,25	13.471,68	98,33	1.193.527,74	

Emisyonlar içinde en büyük payı sera gazı etkisi olan karbondioksit gazı oluşturmaktadır. CO₂ gazını NO_x ve CO gazı takip etmektedir, en az PM oluşumu gözlenmektedir.

2.1.2. Elektrikli sisteme kademeli geçiş

Karayolu toplu taşıma araçları için elektrikli sisteme geçişin ana girdileri; yakıt maliyetlerini düşürmek buna paralel olarak petrole bağımlılığı azaltmak ve insan sağlığı için zararlı emisyonları düşürmektir. Elektrikli araç teknolojisinin belli bir noktaya gelmesi ile karayollarında elektrikli araç sayısı giderek artmaktadır.

Toplu taşıma araçlarının tamamının tek seferde elektrikli araçlara geçmesi beraberinde bir çok problem getirecektir. Elektrikli sisteme geçmeden önce ilk olarak elektrik şarj istasyonu alt yapısı ve oluşacak elektrik talebini karşılayabilecek yeni enerji santralleri kurmak gerekmektedir. Bundan dolayı kademeli olarak elektrikli araç işletimine geçiş durumu düşünülmüştür.

1. Senaryo; Burada ticari taksilerin %30 oranında elektrikli olması durumu ele alınmıştır. Günümüzde birçok araba üreticisinin geliştirdiği elektrikli araç modeli bulunmaktadır. Bu nedenle ticari taksilerin elektrikli sisteme geçişi araç tedariki açısından en kolay olanıdır. Artık 45-50 kwh'lik batarya enerjisi ile bir otomobil 300-400km mesafe yol gidebilmektedir. Menzil sorununu büyük oranda ortadan kaldıran elektrikli otomobiller kullanıcılarına büyük oranda yakıt maliyetinden tasarruf sağlamaktadır. İstanbul'da 17.375 ticari taksi bulunmaktadır, bu araçların %30'u, yani 5.219 adet aracın elektrikli sisteme geçtiği düşünüldüğünde oluşacak toplam emisyonlar Tablo 4'de gösterilmektedir.

Tablo 4. Elektrikli sisteme geçiş ile azalan emisyonlar-S. 1

	TOPLAM EMİSYONLAR (Ton)				
	CO	HC	NO _x	PM	CO ₂
Toplam:	8.888,51	1.916,67	13.328,83	95,47	1.130.670,90
Azalma Miktarı:	285,71	28,57	142,86	2,86	62.856,83
Azalma Oranı:	%3,11	%1,47	%1,06	%2,91	%5,27

Bu senaryoya göre; elektrikli araçlar sıfır emisyonla sahip oldukları için trafikten çekilen dizel araç sayısı oranında emisyonlarda azalış gerçekleşmeye başlamıştır. En çok %5,17 oranı ile CO₂ emisyonları azalırken, en az düşüş %1,06 oranı ile NO_x emisyonlarında gözlemlenmiştir. Ticari taksilerin elektrikli sisteme geçmeye başlaması tek başına emisyonları küçük oranda azaltmıştır, bunun sebebi otomobillerden kaynaklı emisyonların otobüs ve minibüslere göre daha az olmasıdır. Ticari taksilerin %30 oranında elektrikli sisteme geçişi ile yaklaşık 85 gwh ilave elektrik enerjisi ihtiyacı oluşacaktır.

2. Senaryo; Bu senaryoda; ticari taksilerin %70 otobüslerin %30 elektrikli olması durumu ele alınmıştır. Günümüzde birçok şehirde otobüslerin elektrikli olması için çeşitli ihaleler yapıp, firmalar ile anlaşmıştır. Birçok otobüs imalat firması elektrikli otobüs modellerini geliştirmektedir. Geline son nokta 200 kwh batarya enerjisi ile 200 km mesafe gidebilen otobüslerin üretimi olmuştur. Kent içinde seferlerini yapan bir otobüs için bu menzil makul derecededir. İstanbulda İETT, İOAŞ ve ÖHO'ya ait toplam 5.497 otobüs bulunmaktadır. Elektrikli araç sistemine geçişin 2. adımı olarak ticari taksilerin %70 oranında ve otobüslerin %30 oranında elektrikli araçlara geçmesi ile azalacak emisyonlar tespit edilmiştir. Toplam emisyon değerleri Tablo 5'de gösterilmiştir.

Tablo 5. Elektrikli sisteme geçiş ile azalan emisyonlar-S. 2

TOPLAM EMİSYONLAR (Ton)					
	CO	HC	NO _x	PM	CO ₂
Toplam:	6.990,71	1.413,41	9.599,05	71,44	1.008.338,82
Azalma Miktarı:	2.183,51	531,83	3.872,63	26,89	185.188,92
Azalma Oranı:	%23,80	%27,34	%28,75	%27,35	%15,52

Otobüsler otomobillere göre çok daha fazla emisyon ürettiklerinden otobüslerin kısmen de olsa elektrikli sisteme geçmesi ile emisyonlarda ciddi oranda azalmalar başlayacaktır. Elektrikli sisteme geçişin 2. adımında neredeyse toplu taşımadan kaynaklı emisyonlarda %25 oranında bir azalma olmuştur. Ticari taksilerin %70 oranında ve otobüslerin %30 oranında elektrikli olması ile 320 gwh elektrik enerjisine ihtiyaç duyulacaktır.

3. Senaryo; Ticari taksilerin %100, otobüslerin %70 ve minibüslerin %30 elektrikli olması durumu ele incelenmiştir. Ticari taksi ve otobüslerden sonra kent içi toplu taşımada önemli payı olan minibüslerin ve dolmuşların da elektrikli sisteme geçişi beklenecektir. Elektrikli minibüsler ile ilgili prototip aşamasında olan bir çok çalışma mevcuttur. İstanbul kent içi taşımacılıkta toplam 4.889 minibüs ve dolmuş bulunmaktadır. Ticari taksiler ve otobüsler ile beraber minibüslerin de kademeli olarak elektrikli sisteme geçmesi sonucu toplam emisyon değerleri Tablo 6'da gösterilmiştir.

Tablo 6. Elektrikli sisteme geçiş ile azalan emisyonlar-S. 3

TOPLAM EMİSYONLAR (Ton)					
	CO	HC	NO _x	PM	CO ₂
Toplam:	4.592,00	756,06	4.702,87	41,00	869.646,08
Azalma Miktarı:	4.582,22	1.189,19	8.768,81	57,33	323.881,66
Azalma Oranı:	%49,95	%61,13	%65,09	%58,30	%27,14

Kademeli olarak elektrikli araçlara geçişin 3. aşamasında CO₂ emisyonları hariç diğer bütün gazlarda kent içinde %50nin üzerinde azalma meydana gelecektir. Ticari taksilerin %100 oranında, otobüslerin %70 oranında ve minibüslerin %30 oranında elektrikli araç olması ile 604 gwh elektrik enerjisine ihtiyaç duyulacaktır.

4. Senaryo; Ticari taksilerin %100, otobüslerin %100, minibüslerin %70 ve servislerin %30 elektrikli olması durumu ele alınmıştır. Toplu taşıma araçları içinde farklı bir konumu olan servisler İstanbul'da en fazla sayıda olan toplu taşıma aracıdır. Toplam 66.269 servis aracının bulunduğu kentte, elektrikli sisteme geçişin önemli bir halkasını da servis araçlarının oluşturacağı kesindir. Ticari taksiler, otobüsler, minibüsler ve servis araçlarının da aralarına katıldığı kademeli elektrikli sisteme geçmesi sonucu oluşacak toplam emisyon değerleri Tablo 7'de gösterilmiştir.

Kademeli olarak elektrikli sisteme geçişin 4. aşamasında artık toplu taşıma araçlarından kaynaklanan zararlı gazlar çok azalmıştır. Ticari taksilerin %100 oranında, otobüslerin %100 oranında, minibüslerin %70 oranında ve servislerin %30 oranında elektrikli araçlara geçmesi ile 1.139 gwh elektrik enerjisine ihtiyaç duyulacaktır.

Tablo 7. Elektrikli sisteme geçiş ile azalan emisyonlar-S. 4

TOPLAM EMİSYONLAR (Ton)					
	CO	HC	NO _x	PM	CO ₂
Toplam:	2.095,26	198,20	792,80	14,16	566.287,28
Azalma Miktarı:	7.078,96	1.747,05	12.678,88	84,17	627.240,46
Azalma Oranı:	%77,16	%89,81	%94,12	%85,60	%52,55

5. Senaryo; Ticari taksilerin %100, otobüslerin %100, minibüslerin %100 ve servislerin %70 elektrikli olması durumu ele alınmıştır. Servisler hariç diğer toplu taşıma araçlarının tamamı elektrikli sisteme geçmiş, toplu taşıma araçlarının büyük bölümü elektrikli taşıt olmuştur. Belirtilen şekilde elektrikli araçlara geçiş ile oluşacak emisyon değerleri Tablo 8'de gösterilmiştir, burada bütün gazlar %80-90 azalma göstermiştir.

Tablo 8. Elektrikli sisteme geçiş ile azalan emisyonlar-S. 5

	TOPLAM EMİSYONLAR (Ton)				
	CO	HC	NO _x	PM	CO ₂
Toplam:	859,16	81,27	325,09	5,81	232.206,58
Azalma Miktarı:	8.315,05	1.863,97	13.146,59	92,52	961.321,16
Azalma Oranı:	%90,64	%95,82	%97,59	%94,10	%80,54

Ticari taksilerin %100 oranında, otobüslerin %100 oranında, minibüslerin %100 oranında ve servislerin %70 oranında elektrikli araçlara geçmesi ile 1.661 gwh elektrik enerjisine ihtiyaç duyulacaktır.

6. Senaryo; Ticari taksilerin %100, otobüslerin %100, minibüslerin %100 ve servislerin %100 oranında elektrikli olması durumu ele alınmıştır. Artık bütün araçlar elektrikli, toplu taşımacılıktan kaynaklanan emisyonlar %100 oranında yok olmuştur. Bütün araçların elektrikliye geçmesi ile emisyonların son durumu Tablo 9'da gösterilmiştir.

Tablo 9. Elektrikli sisteme geçiş ile azalan emisyonlar-S. 6

	TOPLAM EMİSYONLAR (Ton)				
	CO	HC	NO _x	PM	CO ₂
Toplam:	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Azalma Miktarı:	9.174,22	1.945,25	13.471,68	98,33	1.193.527,74
Azalma Oranı:	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00

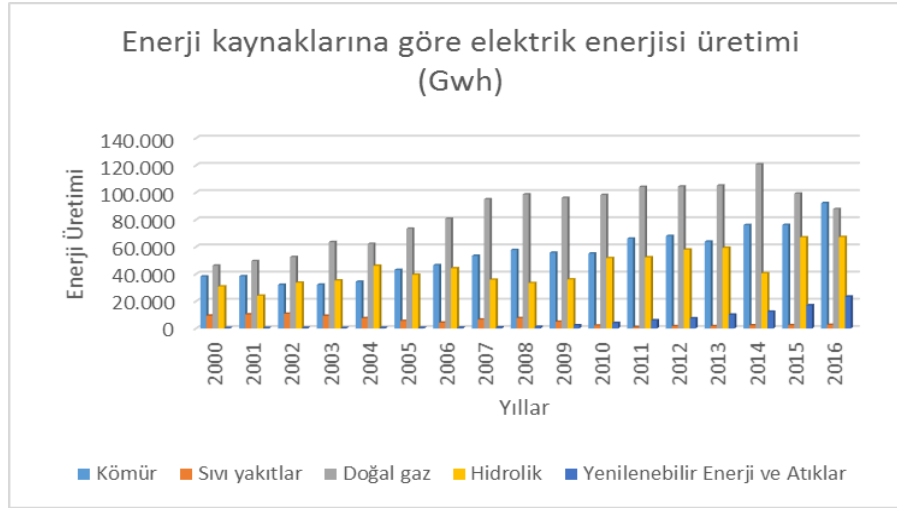
Bütün araçların elektrikli sisteme geçmesi ile ihtiyaç duyulan ek elektrik enerjisi 2.023 gwh'dir. Bu son durum ile birlikte atmosfere salınan tonlarca zararlı gaz artık oluşmamaktadır, bu sayede yaşadığımız yerin hava kalitesinde artış beklenmektedir.

3. Enerji Kaynakları ve Elektrik Üretiminden Kaynaklanan Emisyonlar

Gelişmekte olan ülkelerdeki hızlı nüfus artışı ve sanayileşme, enerjiye olan talebin hızla artmasına sebep olmaktadır. Enerji, zorunlu bir üretim faktörüdür, bir ülkenin ekonomik ve sosyal kalkınma potansiyelini yansıtmakta olan temel göstergelerden biridir. Enerji tüketimiyle sosyal kalkınma arasında doğrusal bir ilişki olup, ekonomik gelişme ve refah artışıyla enerji tüketiminin de arttığı görülmektedir. Günlük yaşamda her aşamada kullanım alanı bulan enerji; kimyasal, nükleer, mekanik (potansiyel ve kinetik), termal (ısı), jeotermal, hidrolik, güneş, rüzgar, elektrik enerjisi gibi değişik şekillerde bulunabilmekte ve uygun yöntemlerle birbirine dönüştürülebilmektedir. Değişik yöntemlerle enerji elde edilen kaynaklar, enerji kaynakları olarak isimlendirilmekte ve değişik şekillerde sınıflandırılmaktadır. Kullanışlarına göre enerji kaynakları yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynakları olarak ikiye ayrılırken; dönüştürülebilirliklerine göre enerji kaynakları birincil ve ikincil enerji kaynakları şeklinde incelenmektedir [16-17].

Yenilenemez enerji kaynakları, kısa bir gelecekte tükenebileceği öngörülen enerji kaynakları olup, fosil kaynaklılar ve çekirdek kaynaklılar olmak üzere iki farklı şekilde sınıflandırılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları ise; oldukça uzun sayılabilecek bir gelecekte tükenmeden

kalabilecek, kendisini yenileyebilen kaynakları ifade etmektedir [24]. Ülkemizde en fazla yenilenebilir kaynaklardan fosil kaynaklı enerji üretimi yapılmaktadır. Çekirdek kaynaklı enerji üretimi için çalışmalar yapılmakta olup, inşaat aşamasında bulunan santraller mevcuttur. Şekil 1’de kaynaklara göre elektrik enerjisi üretiminin yıllar bazında kıyaslanması gösterilmiştir. Ülkemizde yenilenebilir kaynaklardan da enerji üretimi gerçekleştirilmektedir. En fazla rüzgar enerji santrallerinden faydalanılmaktadır. Güneş enerji potansiyelimiz fazla olmasına rağmen bu enerji çeşidinden fazla miktarda faydalanamamaktayız. Jeotermal enerji ve biyo-kütle enerjisi ülkemizde üretimde kullanılan diğer yenilenebilir enerji kaynaklarımızdır. Gelişmekte olan ülkeler kategorisinde olan Türkiye’nin her yıl enerji gereksinimi de artmaktadır.

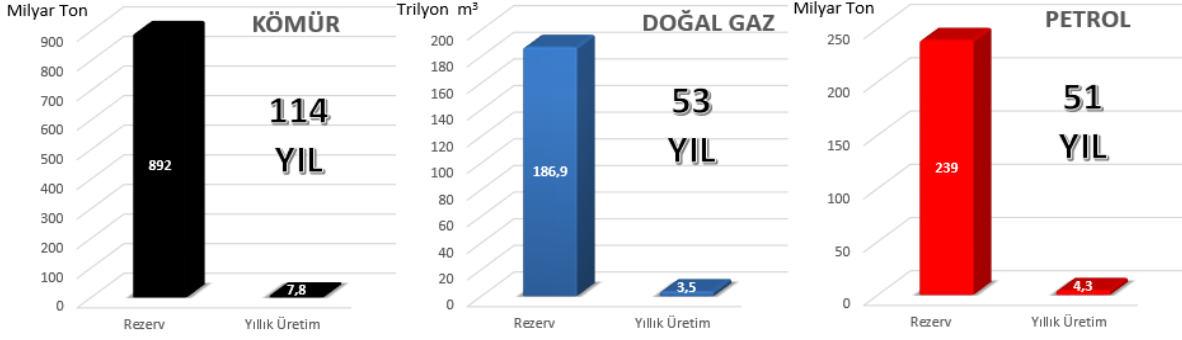


Şekil 1. Enerji kaynaklarına göre elektrik enerjisi üretimi.

Ülkemizde fosil kaynaklı enerji üretimi elektrik enerjisi üretimimizin başını çekmektedir.

3.1. Fosil Yakıt Kaynaklı Enerji

Endüstrileşmiş modern toplumların ekonomik büyümeleri fosil yakıtlardan elde edilen enerjiden faydalanma tabanına dayanmaktadır. Halihazırda Dünya enerji gereksiniminin % 80’i kömür, petrol veya doğal gaz olarak fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Dünyanın belirli bölgelerinde yoğunlaşmış olan bu kaynaklar değişik formlarda bulunmaktadır. İnsanoğlu bu kaynakları değişik yöntemlerle çıkarmayı ve istenilen enerjiyi elde etmeyi öğrenmiştir. Fosil yakıtların depolanabilir ve taşınabilirliği ulaşım için onların mükemmel yakıt olmasını sağlar. Türkiye fosil yakıtlardan kömür için zengin kaynaklara sahiptir. Fosil yakıtlar; ulaşım, evlerde, ticarî ve endüstri sektöründe, ısı üretiminde ve elektrik enerjisi elde edilmesinde büyük boyutlarda kullanılır. Ulaşım sektöründe daha çok petrol ürünleri (benzin, mazot, jet yakıtı vb.) tercih edilir [18-19]. Fosil yakıt rezervleri hızla azalmakta olup özellikle petrol ve doğal gaz rezervleri kritik seviyelere yaklaşmaktadır. Şekil 2’de dünya kömür, doğal gaz ve petrol rezervlerine ilişkin bilgi verilmiştir.



Şekil 2. Fosil yakıt rezervlerinin kalan ömürleri.

Türkiye’de enerji üretiminin yaklaşık %65’i (182.711 Gwh) fosil yakıtlar (kömür, linyit, doğalgaz) kullanılarak karşılanmaktadır [20]. Bunun sonucu olarak kaynakta oluşan kirlilik artmakta 1 kwh elektrik enerjisi üretmek için oluşan emisyon miktarı oldukça fazla olmaktadır. Ülkemizdeki bazı termik santrallerin yıllık enerji üretim miktarları Tablo 10’da verilmiştir.

Tablo 10. Bazı termik santrallerin yıllık enerji üretimi.

	Yıllık Üretim Gwh
Gebze Doğalgaz Sant.	11.176
İzmir Doğalgaz Sant.	10.992
Zonguldak Kömür	13.720
Sugözü Termik Sant.	1.434
Tüpraş Kocaeli Sant.	1.122

Nükleer enerji; Yaşadığımız yüzyıla "atom çağı" damgasını vuran Nükleer Güç Santralleri (NGS), elektrik üretilmesinde temiz, güvenilir, kesintisiz ve yerleşmiş bir teknoloji olmasına karşın, pek çok ülkede yoğun kamuoyu tepkilerine sebep olmaktadır. NGS'lere karşı kamuoyu davranışlarının nedenleri araştırıldığında negatif tutumların kökeninde endişe ve korku gözlenir. Hâlâ insanlık nükleer gücün barışçıl amaçlarla kullanılabilceğinden şüphelidir. Bu da insanlığın nükleer gücü atom bombası ile tanımış olmasından kaynaklanır. İnsanoğlunun enerji krizini atlatmayı başarması nükleer enerji ile gerçekleşebilecektir. Çünkü 1 gr U235 izotopu, 2,5 ton kömürün verdiği enerjiyi sağlamaktadır [19-20]. Bu enerji çeşidindeki en önemli sorun, radyoaktif atıkların yok edilmesi hususunda yaşanmaktadır. Enerji üretim süreleri, 25-30 yıl ile sınırlı olan nükleer santrallerin, bu süre sonunda ne olacakları önemli bir sorundur. Nükleer atıklarla dolu olan santrallerin çevreleri, çalışma süresini dolduran reaktörler ve diğer radyoaktif atıklar potansiyel olarak radyoaktif kirlilik kaynağıdır. Günümüzde İngiltere ve Almanya, nükleer santral çöplüklerini yok etme konusunda önemli bir çıkmazda bulunan iki ülkedir [21]. Gelecekte yapılması planlanan nükleer santral ile 2020 yılında enerji ihtiyacımızın %9 oranında nükleer enerjiden karşılanması planlanmaktadır [22]. Yapımı planlanan nükleer enerji santrallerinin yıllık enerji üretimleri Tablo 11’de verilmiştir.

3.2. Hidro-enerji

Hidroenerji, suyun potansiyel enerjisinin, kinetik enerjiye dönüştürülmesi sonucu elde edilen bir enerji türüdür. Alternatif bir kaynak oluşu, çevreye etkisinin en alt düzeyde olması, önemli bir çevre kirliliğine neden olmaması, işletme ve bakım masraflarının az olması, ulusal olması ve güvenilir bir enerji arzı sağlayan bir kaynak oluşu ile hidroelektrik enerjisi, gün geçtikçe önem kazanmaktadır.

Tablo 11. Yapımı planlanan nükleer santraller ve enerji üretimleri.

	Yıllık Üretim Gwh
Akkuyu Nükleer	35.000
Sinop Nükleer	32.000
İğneada Nükleer	31.500

Hidroenerjide yaygın olarak, nehirler üzerine barajlar inşa ederek, suyun potansiyel enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmek suretiyle enerji elde edilmektedir. ABD’de enerji ihtiyacının %10’u hidrolik enerjiden sağlanmaktadır. Türkiye’de ise hidrolik enerjiden üretilen enerjinin payı gittikçe azalmakta olup, 1990 yılında elektrik üretiminde hidrolik enerjinin payı %40 iken, 2001 yılında bu oran %20’ye düşmüştür, günümüzde %25’tir (67.268 GWh). Termik santrallerden üretilen enerji miktarının artması hidrolik enerjinin payının düşmesinde etkili olmuştur. Hidrolik santraller, termik santrallere ve doğal gaz santrallerine göre çevresel faktörler ve dünyadaki eğilimler dikkate alındığında daha avantajlı konumdadırlar [21]. Ülkemizdeki bazı hidroelektrik santrallerinin yıllık enerji üretimleri Tablo 12’de verilmiştir.

Tablo 12. HES yıllık enerji üretimleri.

	Yıllık Üretim Gwh
Atatürk Barajı	6.952
Karakaya Barajı	6.720
Keban Barajı	5.852
Deriner Barajı	1.434
Beyhan Barajı	1.101

En eski barajlardan olan Atatürk Barajı ve sonra Karakaya Barajı, ülkemizde en büyük enerji üretim kapasitesine sahiptir.

3.3. Güneş Enerjisi

Yenilenebilir ve sınırsız bir kaynak olan güneş enerjisi insanlığın gelecekteki enerji problemini çözebilecek bir potansiyel oluşturmaktadır. Çok az çevresel problem yaratması, ilk yatırım yapıldıktan sonra tekrar yakıt masrafının olmaması, elektrik enerjisi olarak kullanılabilmesi evlere ısıtma sistemleri kurulabilmesi açılarından çok cazip görünmektedir. Güneş enerjisinden doğrudan (fotovoltaik paneller) veya dolaylı yoldan (termik santraller) elektrik elde etmek mümkündür. Güneş enerjisinin yaygın bir enerji kaynağı olması bakımından yoğunluğu düşüktür ve bulunduğu yere göre değişimler göstermektedir. Bu da kurulacak tesisin kullanacağı yeryüzü parçasının çok geniş ve düz alanlar olmasını gerektirmektedir. Türkiye bulunduğu coğrafi konuma bağlı iklimi nedeniyle güneş enerjisinden yararlanmada son derece uygun koşullarda olmasına karşın, henüz yeterince yaygınlaşmamıştır.

Tablo 13. GES yıllık enerji üretimleri

	Yıllık Üretim Gwh
Kayseri OSB GES	73
Konya Karatay GES	26
Derinkuyu GES	25
Makascı GES	18
Solentegre GES	16

Genelde seracılık ve evlerde sıcak su temininde kullanılan güneş enerjisi özellikle elektriksel ve mekanik iş üretiminde çok daha büyük boyutta kullanım alanı içine alınabilir [19]. Türkiye’de yıllık enerji üretiminin %0,36’sı (972 GWh) güneş enerjisinden karşılanmaktadır [20]. Bazı güneş enerjisi santrallerinin yıllık enerji üretimleri Tablo 13’de verilmiştir.

3.4. Rüzgar Enerjisi

Rüzgar temiz, güvenilir ve sürekli bir enerji kaynağıdır. Rüzgar, Dünya üzerinde devamlı hareket halindedir, büyük boyutta ancak dağınık bir enerjiye sahiptir. Rüzgar enerjisi bugün uygun şartlarda alışılmış üretime katkıda bulunabilecek ekonomik ve temiz enerji kaynağıdır. Tabii bunun için coğrafi konum itibarıyla ülkenin yerleşiminin uygun olması gerekir. Rüzgar türbinleri kuruldukları arazinin %5'ini işgal etmektedirler ve türbinlerin kanatları yerden oldukça yüksekte bulunmaktadır, böylece kalan arazi tarım, otlatma ve diğer amaçlarla kullanılabilir. Rüzgar türbinleri gece ve gündüz rüzgar olduğu sürece her zaman enerji üretebilmektedirler. Rüzgar enerjisi temiz bir enerji kaynağı olmasına rağmen çevresel bir takım olumsuz etkileri de bulunmaktadır. Rüzgar santralleri (RES), görsel ve estetik olarak kişileri rahatsız etmekte; rüzgar türbinleri, kuş ölümlerine neden olmakta, gürültü kirliliği oluşturmakta, radyo ve televizyon alıcılarında parazitler oluşturmaktadır [21]. Türkiye'de yıllık enerji üretiminin %5,67'si (15.492GWh) rüzgar enerjisinden karşılanmaktadır [20]. Bazı rüzgar enerjisi santrallerinin yıllık enerji üretimleri Tablo 14'de verilmiştir.

Tablo 14. RES yıllık enerji üretimleri

	Yıllık Üretim Gwh
Soma RES	487
Balıkesir RES	407
Gökçedağ RES	389
Geycek RES	312
Dinar RES	196

3.5. Jeotermal Enerji

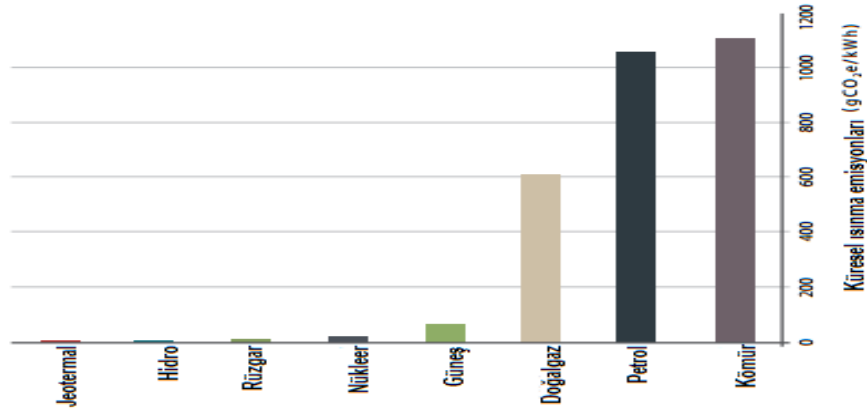
Jeotermal enerji, yer kabuğunun derinliklerindeki ısının yer altı sularını ısıtması sonucunda ısınan suyun yeryüzüne çıkmasıyla oluşan bir enerji türüdür. Bu enerjinin daha çok ısı enerjisi olarak kullanılması önerilmektedir. Bunun yanında sanayi için diğer enerji kaynaklarından çok daha ucuzdur. ABD'de konut ısıtma amacıyla ilk kez 1891 yılında kullanılmıştır. 1904 yılında İtalya'da ilk defa jeotermalden elektrik üretilmiş, 1969 yılında Fransa'da büyük şehirlerin jeotermal enerjiyle ısıtılmasına başlanmıştır. Türkiye'de ısınma amacıyla ilk olarak 1964 yılında Gönen'de (Balıkesir) bir otelde kullanılmıştır [21]. Türkiye'de yıllık enerji üretiminin %1,74 (4.767GWh) jeotermal enerjisinden karşılanmaktadır [20]. Bazı santrallerin yıllık enerji üretimleri Tablo 15'de verilmiştir.

Tablo 15. Jeotermal santrallerin yıllık enerji üretimleri

	Yıllık Üretim Gwh
Kızıldere 3 JES	750
Efeler JES	609
Kızıldere 2 JES	463
Germencik JES	316
Pamukören JES	245

3.6. Elektrik Üretiminde Oluşan Emisyonlar

Elektrik enerjisinden kaynaklı emisyonlar elektrik enerjinin nasıl üretildiği ile doğrudan bağlantılıdır ve ülkeden ülkeye büyük değişiklik göstermektedir. Örneğin linyit ve taşkömürü kullanılıyorsa kWh başına CO₂ emisyonu bu maddelerin yüksek karbon içerikleri nedeniyle yüksek, gaz yakıtlı güç santralleri için düşük, yenilenebilir enerjilerin çoğu için sıfırdır. CO₂ emisyonu aynı zamanda elektrik üretiminin tipine de bağlıdır. Yeni güç santrallerinde eskilere nazaran yüksek bir verim elde edilmektedir. Farklı güç üretim sistemlerinin CO₂ emisyonları Şekil 3'de gösterilmiştir [21].



Şekil 3. Elektrik üretiminden kaynaklanan kWh başına CO₂ emisyonu

Türkiye’de mevcut elektrik üretim şartları ile beraber incelendiğinde 2012 yılında oluşan toplam CO₂ emisyonu eşdeğeri 380 Milyon tondur ve 2012 yılı emisyonları incelendiğinde, CO₂ eşdeğeri olarak en büyük payı %70.2 ile (266,79 Milyon ton) enerji kaynaklı emisyonlar almaktadır. Tablo 16’da yıllara göre emisyon değişim değerleri verilmiştir. Açığa çıkan CO₂ emisyonunun %39’u (104,05 Milyon ton) elektrik üretiminden kaynaklanmaktadır. 2012 yılı için üretilen toplam elektrik enerji miktarı 239.497 Gwh dir. Bu üretimin %73’ü fosil kaynaklardan, %24’ü hidrolik kaynaklardan elde edilmiştir [23-24]. Bu verilere göre 2012 yılı için 1 kWh elektrik enerjisinin üretilmesi sırasında ortaya çıkan CO₂ eşdeğeri =104/239≈0,4344 kg/kWh’dır. 2016 yılı itibari ile fosil kaynakların kullanımını %67’dir. Fosil kaynak kullanımının azaldığı bunun yerine yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının arttığı görülmektedir. Bundan dolayı 1 kWh elektrik enerjisinin üretilmesi sırasında ortaya çıkan CO₂ eşdeğerinin de bir miktar azaldığı düşünülmektedir. 2015 yılı verileri ile 1 kWh elektrik enerjisinin üretilmesi sırasında ortaya çıkan CO₂ eşdeğeri 0,421 kg/kWh olduğu söylenebilir.

İlerleyen yıllarda fosil kaynak kullanım oranının daha da düşmesi ile kWh başına türetilen emisyonlar da azalacaktır. AB’de kWh elektrik üretimi başına CO₂ emisyonlarının ortalaması için geniş bir bölge mevcuttur. AB’de elektrik üretim sektörünün ortalama CO₂ emisyonları ülkeler arasında önemli farklılıklar göstermektedir. 25 Avrupa ülkesinde yapılan ölçümlerde elektrik üretiminden kaynaklanan ortalama seragazı emisyonu 380gr CO₂/kWh olarak ölçülmüştür. Emisyonlar; linyit ve taşkömürü kullanan ülkelerde daha yüksek, gazın çok kullanıldığı nükleer güç üretimi ve hidro enerjinin olduğu ülkelerde daha düşüktür. Yenilenebilir enerji kaynaklarının artmasıyla CO₂ emisyonlarının önemli derecede azalması beklenmekte olup, 2030 yılı için tahmin edilen ortalama değer 130 gr CO₂/kWh’dır [15].

Tablo 16. Türkiye’de yıllara göre enerji üretimleri.

Enerji kaynaklarına göre elektrik enerjisi üretimi ve payları						
Electricity generation and shares by energy resources						
Yıl	Toplam	Kömür	Sıvı yakıtlar	Doğal gaz	Hidrolik	Yenilenebilir Enerji ve Atıklar ⁽¹⁾
Year	Total	Coal	Liquid fuels	Natural Gas	Hydro	Renewable Energy and wastes
	(GWh)			(%)		
2008	198.418	57.740	7.540	98.614	33.334	1.191
2009	194.813	55.717	4.870	96.043	36.040	2.338
2010	211.208	55.125	2.112	98.212	51.746	4.013
2011	229.395	66.066	918	104.145	52.302	5.964
2012	239.497	68.017	1.676	104.421	57.958	7.424
2013	240.154	63.881	1.681	105.187	59.318	10.086
2014	251.963	76.093	2.268	120.690	40.566	12.346
2015	261.783	76.179	2.356	99.216	67.016	17.016

Kaynak: TEİAŞ, Türkiye Elektrik Üretim - İletim İstatistikleri

(1) Jeotermal, rüzgar, katı biyokütle, güneş, biyogaz ve atık kaynaklarını içerir.

Tablodaki rakamlar, yuvarlamadan dolayı toplamı vermeyebilir.

Tablo 17’de benzer hesap yöntemi ile bazı gazlara ait emisyon değerleri verilmiştir.

Tablo 17. 2015 yılı emisyonları (gr/kwh)

	Emisyon
CO ₂	421
CO	1,97
NO _x	4,40

3.7. Azalan Emisyonlar ile Kaynak Emisyonlarının Karşılaştırılması

Elektrikli araç sistemlerine geçiş ile azalan emisyon verileri çalışmada gösterilmiş ve elektrikli araç sistemlerine geçiş ile ihtiyaç duyacağımız ilave enerji miktarı belirlenmiştir. Şuan elektrik ürettiğimiz kaynakların elektrik üretimindeki payları aynı kalacak şekilde üretime devam ettiğimizi düşünerek, önceki bölümde belirtilen her bir durum için kaynakta oluşacak kirlilik ve net emisyon kazançları belirlenmiştir. Buna göre;

1. Senaryoda; Elektrik kullanımına ticari taksilerin %30 oranında geçmesi ile 85,7 gwh enerji ihtiyacı artmıştır. Bu elektrik enerjisinin temini için mevcut yöntemlerin kullanılması durumunda kaynakta oluşacak emisyonlar dikkate alınarak net emisyon değişimi Tablo 18’de gösterilmiştir.

Tablo 18. Elektrikli sisteme geçiş ile net emisyon değişimi-S. 1

	TOPLAM EMİSYONLAR (Ton)				
	CO	HC	NOx	PM	CO2
Toplam Emisyon:	8.888,51	1.916,67	13.328,83	95,47	1.130.670,90
Azalma Miktarı:	285,71	28,57	142,86	2,86	62.856,83
Azalma Oranı:	%3,11	%1,47	%1,06	%2,91	%5,27
Kaynak Emisyonları:	169,06		377,72		36.088,47
Net Emisyon Azalışı:	116,66		-234,86		26.768,36
Net Toplam Emisyon:	9.057,56		13.706,54		1.166.759,37
Toplam Azalma Oranı	%1,27		%-1,74		%2,24

Elektrik enerjisini yeterince temiz kaynaklardan üretmediğimiz için artan enerji ihtiyacımız kaynakta kirlilik oluşmasına neden olmaktadır. Hatta bu durum için NO_x gazı kaynak kirliliği elektrikli sisteme geçiş ile sağlanan kazançtan daha fazladır. Bu durum ancak elektrik enerjisini temiz kaynaklardan elde etme ile önlenebilir.

2. Senaryoda; Elektrikli araç sistemine ticari taksilerin %70 ve otobüslerin %30 oranında geçmesi ile 320 gwh enerji ihtiyacı artmıştır. Bu elektrik enerjisinin temini için mevcut yöntemlerin kullanılması durumunda kaynakta oluşacak emisyonlar dikkate alınarak, oluşacak net emisyon değişimi Tablo 19’da gösterilmiştir. Ağır vasıtaların ürettiği emisyonlar daha fazla olduğu için, bu araçların azalması emisyon kazançlarında fark edilir değişimler oluşturacaktır. Ancak ihtiyaç duyulan enerji miktarı da aynı oranda fazla olan bu araçlar kaynakta en çok oluşan gaz olan CO₂ emisyonlarının düşüş oranını azaltmıştır. Ticari taksi duraklarında yapılacak uygulamanın benzeri, hatta daha kapsamlısı otobüs duraklarında da uygulanabilir.

Tablo 19. Elektrikli sisteme geçiş ile net emisyon değişimi-S. 2

	TOPLAM EMİSYONLAR (Ton)				
	CO	HC	NO _x	PM	CO ₂
Toplam Emisyon:	6.990,71	1.413,41	9.599,05	71,44	1.008.338,82
Azalma Miktarı:	2.183,51	531,83	3.872,63	26,89	185.188,92
Azalma Oranı:	%23,80	%27,34	%28,75	%27,35	%15,52
Kaynak Emisyonları:	631,90		1.411,85		134.892,35
Net Emisyon Azalışı:	1.551,60		2.460,78		50.296,57
Net Toplam Emisyon:	7.622,62		11.010,90		1.143.231,16
Toplam Azalma Oranı	%16,91		%18,27		%4,21

3. Senaryoda; Elektrikli araç sistemine ticari taksilerin %100, otobüslerin %70 ve minibüslerin %30 oranında geçmesi ile 604 gwh kadar enerji ihtiyacı artmıştır. Bu elektrik enerjisinin temini ve mevcut yöntemler için emisyonlara göre oluşacak net emisyon değişimi Tablo 20’de gösterilmiştir.

Tablo 20. Elektrikli sisteme geçiş ile net emisyon değişimi-S. 3

	TOPLAM EMİSYONLAR (Ton)				
	CO	HC	NO _x	PM	CO ₂
Toplam Emisyon:	4.592,00	756,06	4.702,87	41,00	869.646,08
Azalma Miktarı:	4.582,22	1.189,19	8.768,81	57,33	323.881,66
Azalma Oranı:	%49,95	%61,13	%65,09	%58,30	%27,14
Kaynak Emisyonları:	1.192,96		2.665,40		254.661,29
Net Emisyon Azalışı:	3.389,26		6.103,41		69.220,36
Net Toplam Emisyon:	5.784,96		7.368,27		1.124.307,37
Toplam Azalma Oranı	%36,94		%45,31		%5,80

4.Senaryoda; Elektrikli araç sistemine ticari taksilerin %100, otobüslerin %100, minibüslerin %70 ve servislerin %30 oranında geçmesi ile 1.139 gwh kadar enerji ihtiyacı artmıştır. Bu elektrik enerjisinin temini için mevcut yöntemlerin kullanılması durumunda, kaynakta oluşacak emisyonlar dikkate alınarak net emisyon değişimi Tablo 21’de gösterilmiştir.

4. Senaryoda; Elektrikli araç sistemine ticari taksilerin %100, otobüslerin %100, minibüslerin %100 ve servislerin %70 oranında geçmesi ile 1.661 gwh kadar enerji ihtiyacı artmıştır. Bu elektrik enerjisinin temini için mevcut yöntemler kullanılması durumunda kaynakta oluşacak emisyonlardan dikkate alınarak net emisyon değişimi Tablo 22’de gösterilmiştir. Burada dikkati çeken servis sayısının fazla oluşu ile ihtiyaç duyulan elektrik enerji miktarı da fazlalaşmıştır ve bu durum

kaynakta oluşacak NO_x emisyonlarını arttırmıştır. 4. duruma göre NO_x emisyon oranındaki azalma düşmüş, buna karşılık CO₂ emisyonları büyük oranda azalmıştır.

Tablo 21. Elektrikli sisteme geçiş ile net emisyon değişimi-S. 4

	TOPLAM EMİSYONLAR (Ton)				
	CO	HC	NO _x	PM	CO ₂
Toplam Emisyon:	2.095,26	198,20	792,80	14,16	566.287,28
Azalma Miktarı:	7.078,96	1.747,05	12.678,88	84,17	627.240,46
Azalma Oranı:	%77,16	%89,81	%94,12	%85,60	%52,55
Kaynak Emisyonları:	2.246,56		5.019,44		479.573,69
Net Emisyon Azalışı:	4.832,40		7.659,44		147.666,77
Net Toplam Emisyon:	4.341,82		5.812,24		1.045.860,97
Toplam Azalma Oranı	%52,67		%56,86		%12,37

Bu durumda karbonmonoksit ve azotoksiler yaklaşık %50 oranında toplam azalma göstermiştir. Karbondioksit ise %21,95 oranında azalarak, bir önceki senaryoya göre büyük bir azalış göstermiştir.

Tablo 22. Elektrikli sisteme geçiş ile net emisyon değişimi-S. 5

	TOPLAM EMİSYONLAR (Ton)				
	CO	HC	NO _x	PM	CO ₂
Toplam Emisyon:	859,16	81,27	325,09	5,81	232.206,58
Azalma Miktarı:	8.315,05	1.863,97	13.146,59	92,52	961.321,16
Azalma Oranı:	%90,64	%95,82	%97,59	%94,10	%80,54
Kaynak Emisyonları:	3.276,12		7.319,76		699.354,03
Net Emisyon Azalışı:	5.038,93		5.826,83		261.967,13
Net Toplam Emisyon:	4.135,28		7.644,85		931.560,61
Toplam Azalma Oranı	%54,92		%43,25		%21,95

6.Senaryoda; Bütün toplu taşıma araçlarının elektrikli sisteme geçmesi ile 2.023 gwh kadar enerji ihtiyacı artmıştır. Bu elektrik enerjisinin temini için mevcut yöntemlerin kullanılması durumunda kaynakta oluşacak emisyonlardan dikkate alınarak net emisyon değişimi Çizelge 23'de gösterilmiştir. İhtiyaç duyulan 2.023 gwh enerjinin tamamı İstanbul'a yeni yapılacak bir hidroelektrik santralinden, İstanbul yakınlarına kurulacak rüzgar enerji santralleri veya başka bir yenilenebilir enerji kaynağından temin edilmesi durumunda, oluşacak bütün emisyonlar sıfırlanacaktır. Hem kentiçi hava kalitesi artacak, hem de kaynakta kirlilik oluşmayacaktır.

Tablo 23. Elektrikli sisteme geçiş ile net emisyon değişimi-S. 6

	TOPLAM EMİSYONLAR (Ton)				
	CO	HC	NO _x	PM	CO ₂
Toplam Emisyon:	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Azalma Miktarı:	9.174,22	1.945,25	13.471,68	98,33	1.193.527,74
Azalma Oranı:	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00
Kaynak Emisyonları:	3.991,73		8.918,63		852.114,84
Net Emisyon Azalışı:	5.182,49		4.553,06		341.412,89
Net Toplam Emisyon:	3.991,73		8.918,63		852.114,84
Toplam Azalma Oranı	%56,49		%33,80		%28,61

3.8. Özel Araç Senaryosu

İstanbul'da bulunan toplu taşıma araçlarının tamamının elektrikliye geçmesi ne kadar emisyonlar açısından katkı sağlasa da unutulmamalıdır ki, İstanbul'da 2.7 milyon özel araç bulunmaktadır.

Türkiye’de bulunan toplam özel araç sayısının 11 milyon olduğu göz önüne alındığı zaman, yaklaşık bütün özel araçların %23’ü İstanbul’dadır. Bu özel araçların da elektrikli sisteme geçişi sağlanmadıkça, kent içinde zararlı gazlardan arındırılmış bir hava elde edilmesi söz konusu değildir. Toplu taşıma araçlarının kademeli olarak elektrikli sisteme geçişinin akabinde özel araçların elektrikli sisteme geçişi başlatılmalıdır.

Bunun için bir özel aracın günde ortalama 70 km ve elektrikli aracın 50 kwh batarya ile 400 km yol kat ettiği kabul edilmiştir. Özel araçlardan kaynaklanan emisyonlar, bütün toplu taşıma araçlarından kaynaklanan emisyonlardan kat ve kat daha fazladır. Örneğin özel araçların yaydığı toplam CO miktarı bütün toplu taşıma sisteminde yayılan CO miktarından 3,7 kat daha fazladır. Aynı şekilde CO₂ miktarı 6,4 kat, PM miktarı 3,5 kat daha fazladır. Tablo 24’de özel araçlardan kaynaklı mevcut emisyonlar ve özel araçların tamamının elektrikli sisteme geçişi ile oluşacak kaynak emisyonları verilmiştir.

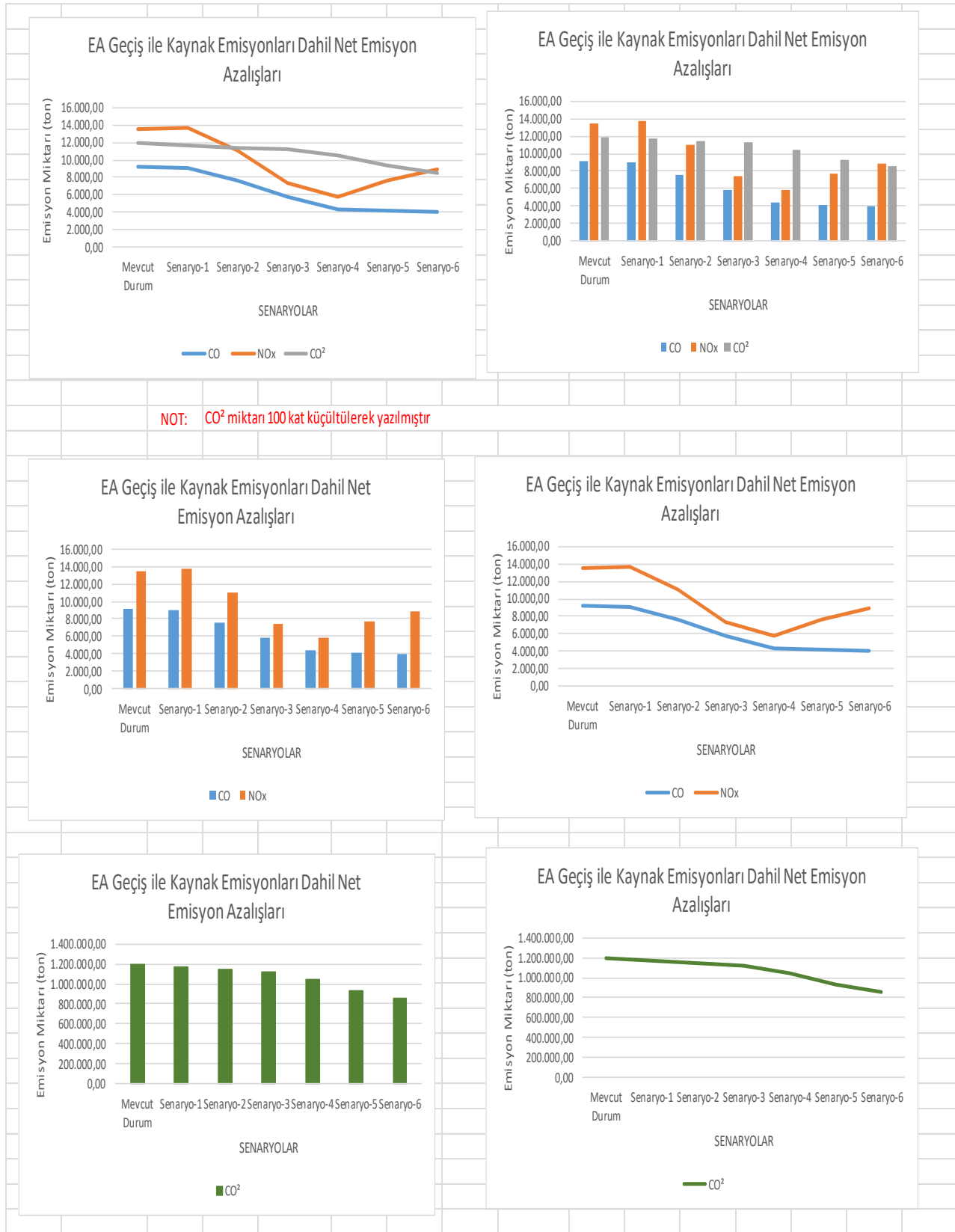
Tablo 24. Özel araçların elektrikli sisteme geçişi

ÖZEL OTOMOBİLLERİN TOPLAM EMİSYONLARI (Ton)					
	CO	HC	NO _x	PM	CO ₂
Toplam Emisyon:	34.492,50	3.449,25	17.246,25	344,93	7.588.350,00
Kaynak Emisyonları:	15.975,89		35.694,58		3.410.377,39
Azalma Miktarı:	18.516,61		-18.448,33		4.177.972,61
Azalma Oranı:	%53,68		%-106,97		%55,06

2,7 milyon özel otomobilin elektrikli olması ile yaklaşık 18 bin ton daha az CO ve 4,2 milyon ton daha az CO₂ emisyonu oluşacaktır. Bu durum toplu taşıma araçlarının tamamının elektrikli sisteme geçişinden yaklaşık 4 kat daha fazla CO ve yaklaşık 5 kat daha fazla CO₂ emisyonu azaltılması demektir. Ancak kaynakta elektrik üretiminden kaynaklı kirlilik oranı NO_x için %100 artacaktır. İncelenen Senaryolara ilişkin sonuç diyagramları Şekil 4’de toplu halde verilmektedir. Bütün özel araçların tamamının elektrikli sisteme geçişi ile 8.100 gwh saat ilave elektrik enerjisi ihtiyacı duyulacaktır. İlerde yapımı tamamlanacak nükleer santrallerden bu enerjinin temin edildiği düşünülür ise, kaynak emisyonlarının da büyük oranda azalacağı kabul edilebilir.

4. Sonuçlar

İstanbul’da elektrikli araç kullanımının kademeli olarak artması ve uzun dönemde tamamen etkin olması hava kirliliğinin azalması açısından önemli fayda sağlayacaktır. Kent içinde toplu taşıma araçlarının elektrik kullanımına geçişi, kent içi emisyonlarda büyük azalma meydana getirecektir. Bununla ilgili yapılan inceleme sonucuna göre; yaklaşık olarak CO emisyon miktarı kaynak emisyonları dahil 3.991 ton (%56), HC emisyon miktarı kaynak emisyonları hariç 1.945 ton, NO_x emisyon miktarı kaynak emisyonları dahil 8.918 ton (%33), PM miktarı kaynak emisyonları hariç 98 ton CO₂ emisyon miktarı kaynak emisyonları dahil 852 bin ton (%28) kadar azalacaktır. Ancak ulaşım kaynaklı emisyonları kent içinde fark edilir şekilde azaltmanın en etkili çözümü özel araçların da elektrikli sisteme geçişini sağlamaktır. Böylece CO emisyon miktarı kaynak emisyonları dahil 18.516 ton (%53), HC emisyon miktarı kaynak emisyonları hariç 3.449 ton azalacak, NO_x emisyon miktarı kaynak emisyonları dahil 18.428 ton (%106) artacak, PM miktarı kaynak emisyonları hariç 344 ton, CO₂ emisyon miktarı kaynak emisyonları dahil 4.1 Milyon ton (%51) azalacaktır.



Şekil 4. Senaryolara ilişkin sonuç diyagramları.

Elektrikli sisteme geçiş birden fazla organizasyonun uyumu ile gerçekleşebilir. Elektrikli araçlar insanların kullanımı için daha cazip hale getirilmelidir. Elektrikli araç üreticileri üretimdeki elektrikli araçlarını insanların tercihine göre çeşitlendirmeli ve kısa şarj süresi, uzun menzil beklentilerine karşılık vermeye çalışmalıdırlar. Kent içinde yeterince elektrikli araç şarj istasyonları kurulmalı ve erişim kolaylığı sağlanmalıdır. Elektrik enerjisi daha çevreci kaynaklardan

sağlanmalıdır. Ancak bu şartlarda elektrikli araçların kentiçi trafikten oluşan çevresel etkileri minimize etmesi ve hem kent içinde hem de kaynakta oluşan emisyonların istenilen düzeyde azaltması sağlanmış olur.

Özel araçların elektrik enerjisine geçişi kolay olmamakla birlikte insanların alışkanlıklarını değiştirmeleri ile olacaktır. Elektrikli araçların daha avantajlı görünmesini sağlamak için elektrikli araçlara vergi indirimleri uygulanabilir, elektrikli araç üreticileri ücretsiz sarj istasyonu tedarigi yapabilir, sadece elektrikli araçların kullanabileceği otopark alanları oluşturulabilir, elektrikli araçlara köprü, tünel ve otoyollardan ücretsiz veya indirimli geçiş imkanı verilebilir. Kent içinde sadece elektrikli araçların girebileceği sıfır emisyon bölgeleri oluşturulabilir. Avantajları ön plana çıkan elektrikli araçların kullanım yaygınlığı da kendiliğinden gelecektir.

Tabiki araç üreticileri açısından da elektrikli sisteme geçiş ile ilgili düzenlemeler yapmak gerekmektedir. Üreticiler elektrikli araç modellerini yaygınlaştırmalı kullanıcıların ihtiyaçlarına göre elektrikli araç çeşitliliği artırılmalı dizel ve benzinli araç modelleri kademeli olarak üretimden kaldırılmalıdır. Bu uzun soluklu bir süreçtir, ne araç üreticilerinin bu geçişe kısa sürede uyum sağlayabilmesi ne de kullanıcıların elektrikli araca hemen alışması beklenilmemelidir.

Tüm araçların elektrikli sisteme geçmesi ile enerji ihtiyacı da artacaktır, toplu taşıma araçlarının elektrikli sisteme geçişi için yaptığımız kabuller çerçevesinde 2.023 gwh saat elektrik ihtiyacı oluşacaktır. Bu enerjinin temini konusunda mevcut yöntemde kullanılan elektrik enerjisi üretim tesislerinin aynen kullanımına devam edilmesi durumunda, kaynak emisyonlarımız da azımsanamayacak boyutlarda olacaktır. Bunun için elektrik enerjisi üretimimizi mümkün oldukça yenilenebilir kaynaklardan yapmamız gerekir. Sonuç olarak elektrikli sisteme geçiş kurumların uyumlu çalışması ile gerçekleştirilebilir.

5. Kaynaklar

- [1] T.C İstanbul Valiliği, İstanbulun yerleşkesi ve yapısı [2016/09 Bülten], 2016.
- [2] Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, İstatistikler, DEM-TMK Ankara, 2016.
- [3] Öztürk, Z., 'Motorlu Araçlardan Oluşan Kirlilik ve Egzos Emisyon Regülasyonları', II. Ulaşım ve Trafik Kongresi Sergisi, 2006.
- [4] Erel, A., 'Ulaştırma ve Enerji' Sosyal ve Ekonomik Gelişmemizde Ulaştırma Sempozyumu, TÜBİTAK Mühendislik Araştırma Grubu İTÜ Ulaştırma ve Ulaşım Araçları UYG-AR Merkezi, 1986.
- [5] Tünay, O., Alp, K, Hava Kirlenmesi Kontrolü, İstanbul Ticaret Odası, 1996.
- [6] Öztürk, Z., Ulaştırmanın Çevresel Etkileri, Ders Notları, 2017.
- [7] Samur, H., Küresel İklim Değişiminin Etkileri ve Uluslararası Alandaki Mücadele Stratejileri, Selçuk Üniversitesi, İİBF Kamu Yönetimi, Konya, 2011.
- [8] Kozak M., Kozak Ş., Enerji Depolama Yöntemleri. SDU International Technologic Science, November, Vol. 4, no 2, 2012.
- [9] Yıldız Teknik Üniversitesi, Türkiye Hibrit&Elektrikli Araçlar Çalıştay İstanbul: YTÜ, 2011.
- [10] Ünlü, N., Karahan, Ş., Tür, O., Uçarol, H., Özsu, E., Yazar, A., Turhan, L., Akgün, F., Tırıs, M. Elektrikli Araçlar, TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Enerji Sistemleri ve Çevre Araştırma Enstitüsü, Gebze, 2003.
- [11] Öztürk, T., Asenkron motor ile sürülen elektrikli aracın modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, FBE, Karabük, 2013.
- [12] Hızır, G., Aras, M., Elektrikli Otomobil, Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 2010.
- [13] Kerem A., Elektrikli Araç Teknolojisinin Gelişimi ve Gelecek Beklentileri, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 2014, 5 (1): sf 1-13.
- [14] Dülger, Z., Özdemir, E., Fotovoltaik Batarya Şarj Sistemi Gelişimi le Hibrit Elektrikli

- Araçlarda Enerji Verimliliği, Kocaeli Üniversitesi, sf 270-271, 2010.
- [15] Aydemir, T., Elektrikli Araçların Çevresel Etkilerinin ve Yakıt Avantajlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2014.
- [16] Özel Tüketim Vergisi Kanunu, T.C. Resmi Gazete, 26 Şubat, 2011, 4760,
- [17] Polat, Ö., Yumak, K., Sezgin, M.S., Yumurtacı G., Gül, Ö., Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Türkiye'deki Güncel Durumu, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2009.
- [18] Koç, E., Şenel, M. C., Dünyada ve Türkiye'de Enerji Durumu- Genel Değerlendirme, Mühendis ve Makina, 2013, cilt 54, sayı 639, sf. 32-44.
- [19] Avınç, A., Değişik Enerji Kaynakları ve Çevreye Etkileri, Çev-kor, cilt 7, sayı 27, sf 19-23. 1998.
- [20] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Dünya ve Türkiye Enerji ve Tabii Kaynaklar Görünümü, T.C Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Ankara, 2017.
- [21] Çukurçayır M. A., Sağır H., Enerji Sorunu Çevre ve Alternatif Enerji Kaynakları, Selçuk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Konya, 2013.
- [22] <<http://www.enerjiatlası.com>>, erişim tarihi 19.09.2017.
- [23] Türkiye İstatistik Kurumu, Ulusal Seragazi Emisyon Envanteri Raporu, TÜİK Ankara, 2012.
- [24] Öztürk O. Öztürk Z., 'Investigation of the environmental effects of Ro-Ro Port on Sample Zone' ECJSE; El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 2018, Vol 5, No 1:80-95.