

Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ

&

TÜRKİYE

Etkiler . Sektörel Analizler . Sosyo-Ekonomik Boyutlar



İklim Değişikliği & Türkiye **Etkiler, Sektörel Analizler, Sosyo-Ekonomik Boyutlar**

Bu yayında yer alan görüpler katkıda bulunanların/yazarlarının görüpleri olup, katkıda bulunan/sponsor olan kurumların ve/veya ajansların görüplerini temsil etmek zorunda değildir.

Yayınlayan:

Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı (UNDP) Türkiye Ofisi
Baskı sayı: 500

Daha fazla bilgi ve yayına erişmek için:

Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı

Birlik Mahallesi, 2. Cadde, No: 11, 06610
Çankaya, Ankara, Türkiye

Tel: +90 312 454 1100
Faks: +90 312 496 1463
Web: <http://www.undp.org.tr>
E-posta: registry.tr@undp.org

© Tüm hakları saklıdır. Düğün kaynak göstermek kopuluyla kısa alıntılar yapılabilir.

Nisan 2007

Tasarım: Arif Cem Gündoğan
cem.gundogan@gmail.com

Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı

ÝKLÝM DEĐÝPÝKLÝĐÝ & TÜRKYÝE Etkiler . Sektörel Analizler . Sosyo-Ekonomik Boyutlar

Editör: Prof. Dr. Çağlar Güven





İÇİNDEKİLER

Önsözler.....	4
Yönetici Özeti.....	6
Kısaltmalar.....	8

BÖLÜM 1: ETKİLER & HASSASİYET ANALİZLERİ

Doğal Ekosistemler ve Sağlık Üzerine Modelleme Çalışmaları

Türkiye için İklim Değişikliği Senaryoları: Ön Çalışmalar.....	11
İklim Değişikliğinin Büyük Menderes ve Gediz Nehir Havzalarına olası etkileri.....	18
İklim Değişikliğinin Büyük Menderes Nehri Ekosistemine Etkileri.....	23
Sıcaklık ve Yağış Değişikliklerinin Leptospirosis Olgularıyla İlişkisi.....	26
Türkiye'deki Sıcaklık ve Yağış Değişiklikleri ve Sıtma Arasındaki Korelasyon.....	30

BÖLÜM 2: SEKTÖREL ANALİZLER VE OLASI AZALTIM ÖNLEMLERİ

Sera Gazları Envanter Analizleri ve Projeksiyonlar

Türkiye Demir Çelik Sanayisi'nde Karbondioksit Gaz Emisyonlarının Tahmini.....	33
Türkiye'de Taşımacılık Sektöründeki Sera Gazı Emisyonları.....	38
Türkiye'de Ulusal Ulaştırma Rehabilitasyonu.....	45

BÖLÜM 3: SOSYO-EKONOMİK BOYUTLAR

Fayda Maliyet Analizi ve Makro-Ekonomik Projeksiyonlar

Türkiye'de Çevre Politikasının Ekonomisi.....	53
Türkiye Çimento Sektöründe Enerji Verimliliğinin Artırılması ve Sera Gazı Emisyonlarının Azaltılması İle İlgili Fayda-Maliyet Analizleri.....	61

ÖNSÖZ

Bilimsel toplulukta, iklim değişikliğinin habitatlar, ekosistemler ve insan gelişimi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu konusunda artan bir fikir birliği mevcuttur. Aynı zamanda, yoksulların iklim değişikliğinden kaynaklanan toprak, hava ve su bozulmasından ve bunlara eşlik eden ekolojik fonksiyonların azalan esnekliğinden orantısız bir şekilde etkilendiği de genel olarak kabul edilmektedir.

Çevresel sürdürülebilirlik, su, enerji ve diğer hizmetlere emniyetli erişimin sağlanması Binyıl Kalkınma Hedeflerinin (MDG'lerin) elde edilmesinde anahtar rol oynamaktadır – bu hedefler, kilit kalkınma alanlarında hızlı bir gelişim sağlamak konusunda küresel bir taahhüdü temsil eden sekiz hedeften oluşmaktadır.

Bu yayın, ilgili bakanlıklar, özel sektör temsilcileri ve STK'ları ile yakın bir çalışma içinde olan araştırmacıların başkanlık ettiği çeşitli çalışma gruplarının bulgularını entegre etmekte ve bunların sentezini yapmaktadır. Rapor, Türkiye'nin Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Konvansiyonu (UNFCCC) Birinci Ulusal Bildiriminin (FNC) hazırlanmasını desteklemek üzere tamamlanmış olan araştırmaların kapsamlı bir derlemesini sunmaktadır. Okuyucular daha detaylı bilgi edinmeleri için ilgili referanslarla bağlantı kurmaya teşvik edilmektedir.

Bu yayın, bilgilerini, yaratıcılıklarını, zamanlarını ve şevklerini bu sürece katan 100'den fazla araştırmacının ve uzmanın sıradışı adanmışlığı olmadan mümkün olamazdı. Çevre ve Orman Bakanlığının liderlik ettiği ve UNDP/GEF proje ekibinin desteklediği İklim Değişikliği Koordinasyon Kurulunun sekiz Teknik Çalışma Grubuna şükranlarımızı ifade etmek isteriz.

UNDP/GEF proje ekibine FNC hazırlama süresi içerisinde ev sahipliği yapan Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı'na teşekkür etmek isteriz.

Küresel aile, iklim değişikliğinin neden olduğu tahribatlarla başa çıkma, iklim değişikliğini yavaşlatma ve harap ettiklerini tersine çevirme çabaları içerisinde kritik bir safhadadır. Bugün alınan karar gelecek nesiller üzerinde kalıcı bir etkiye sahip olacaktır. Bu yayının iklim değişikliği ile ilgili konular, sorunlar ile yerel, ulusal, bölgesel ve küresel seviyelerde verilen tepkiler hakkında artan bilince katkıda bulunmasını samimiyetle umut ediyorum.

UNDP adına, tüm ortaklarımıza Birinci Ulusal Bildirimi çevreleyen üretken ve sürekli diyalog için teşekkür etmek istiyorum. Aynı zamanda Türkiye'nin bu kritik önem taşıyan alanda gelecekte göstereceği çabaları desteklemek konusundaki istekliliğimizi ve taahhüdümüzü yeniden ifade etmek isterim.

Mahmood Ali Ayub

UN (BM) Mukim Koordinatörü

UNDP Mukim Temsilcisi

ÖNSÖZ

Küresel İklim Değişikliği ve bu değişiklikteki dalgalanmalar ekolojik, ekonomik ve sağlık boyutları ile hayatın her yönünü etkilemektedir. Bu nedenle, bu yayındaki çalışmalar sağlık, su kaynakları, tarım vs. üzerindeki etkilerle sınırlı değildir.

Fosil yakıtların yakılması ve bunun sonucunda karbon dioksit ve metan gibi sera gazlarının açığa çıkması, karbon bakımından zengin ormanların sürdürülemez imhası ve ısıyı tutan aerosollerin kullanımı, gelecek on yıllarda öngörülmeyen iklim değişikliklerine yol açabilecek olan iklim değişikliği olgusunun ardındaki nedenlerdir.

İklim değişikliğinin beklenen akisleri – deniz sularının yükselmesi, daha sık ve daha şiddetli görülen fırtınalar, türlerin tükenmesi, kötüleşen kuraklıklar ve ürün kıtlıkları – dünya üzerindeki tüm ulusları etkileyecektir.

İklim boyutunun altında yatan makroekonomik analiz, Türkiye'nin, küresel sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşması için, diğer ülkelerle eşitlik temelinde, emisyon katkısı açısından bu platformda yer alması gerektiği iddiasına dikkat çekmiştir. Araştırmacıların sonuçları temelinde, Türkiye'nin iklim bozulmasının artan hızına büyük katkıda bulunan ülkeler arasında yer almadığına şüphe yoktur. Bununla birlikte, hala, uluslararası sınırlarda ve çeşitli sektörlerde de dahil olmak üzere küresel tehdidin farkına varması ihtiyaç vardır.

Bu raporda verilen analizin Türkiye'ye politika hazırlama sürecinde, iklim değişikliğinin yavaşlatılmasına ve iklimin yeniden stabilize edilmesine yardımcı olmak açısından yol göstereceğine inanıyoruz. Bu çalışma aynı zamanda Türkiye'nin iklim değişikliklerine adapte olma kapasitesini de artıracaktır.

Evimize ve dünyamıza olan sorumluluğumuzu biliyoruz ve bunu yerine getireceğiz. İş toplumundakilerin çoğu önümüzde uzanan riskleri anlamaya başlamışlardır. Erken tedbir alınması ve yeni politikalar aracılığı ile, iş çevresi dünyanın değişikliğe adapte olma ve iklimin yeniden stabilize edilmesini sağlama kapasitesini artırabilir. Burada, Çevre ve Orman Bakanlığı ile Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı arasındaki bu verimli işbirliğinin gelecekteki ortaklıklar için bir diğer değerli katkı olarak kabul edileceği konusundaki samimi dileğimi ifade etmek isterim.

M. Rifat Hisarcıklıoğlu

TOBB Başkanı

YÖNETİCİ ÖZETİ

Bu yayında derlenen makeleler, küresel iklim değişikliğinin ilgili alanları ve Türkiye'de neden olduğu sorunlara dair yapılan araştırmaları yansıtan çalışmaların bir derlemesidir. Araştırmalar, Türkiye'nin Birinci İklim Değişikliği Ulusal Bildirim Raporu ve UNFCCC gerekliliklerine uygun olarak, bir bölümü iklim değişikliği politikalarının oluşturulması olmak üzere, bu alanda çalışan araştırmacı ve profesyonellerin meydana getirdiği ekipler tarafından 2005-2006 yıllarında yürütülmüştür. Yayında özet olarak yer verilen makalelerin tamamına erişim için ilgili yazarlarla irtibata geçilmesi önerilmektedir.

Dört bölümden oluşan yayın, I İklim ve Çevre, II Sağlık etkileri, III Sektörel politikalar ve IV Ekonomi başlıkları altında toplanan makaleleri içermektedir.

Bölüm I'deki ilk makale, "Türkiye için İklim Değişikliği Senaryoları" Dalfes, Karaca ve Şen tarafından yazılmış, raporlar 1951 yılından bu yana Türkiye'deki yağış ve sıcaklık trendleri hakkındadır. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nün 113 istasyonundan elde edilen veriler ışığında, yazarlar Türkiye'nin batısındaki kış yağışlarının önemli ölçüde düştüğünü, sonbahar yağışlarının Orta Anadolu'nun kuzey bölümlerinde arttığını gözlemlemektedir. Bu değişikliklerin arkasındaki neden yeterince anlaşılacak şekilde daha kapsamlı bir çalışmaya ihtiyaç duyulduğunu ortaya koymaktadır. Yazarlar, daha çok Türkiye'nin batı ve kuzeybatı bölümlerine ait yaz sıcaklıklarında bir artış meydana geldiğini ve bu arada kış sıcaklıklarında genel bir azalma eğilimi görüldüğünü bildirmektedir. Daha belirgin değişiklikler kıyı bölgelerinde yoğunlaşmaktadır. 1969'dan 1998'e kadar yapılan ölçümleri temel alan yağış verileri, batı ve güneybatı bölgelerinde azalan bir trende karşı, kuzeyde bir miktar artışa işaret etmektedir. Makalenin ikinci bölümü RegCM3 iklim modelinin kullanımına ilişkin sonuçları ve modellemenin kullanıldığı ölçek indirme çalışmalarını ve bunun yanı sıra istatistiksel teknikleri içermektedir. Model simülasyonları, senaryo oluşturma ve politika hazırlama için model kullanımının gözlemlerle desteklendiği tahminlerden bahsetmektedir. Yazarlar, yerel ölçekteki tahminlerde iyi çözümlülüklerin elde edilmesi gibi model kullanımına dair yapılması gereken çok iş olduğuna işaret etmektedirler.

Aşağıda yer alan iki makale, Batı Anadolu'nun iki önemli havzasının hidrolojisi ve ekosisteminde meydana gelen iklim değişikliği etkilerinin incelendiği çalışmalara dairdir. Harmancıoğlu, Özkul, Fıstıkoğlu, Barbaros, Onuşluel, Çetinkaya ve Dalkılıç tarafından hazırlanan "Gediz ve Büyük Menderes Havzalarında İklim Değişikliği Etkileri için Modelleme" çalışması bölgesel ölçekte olup bir önceki makaleninkine benzer bir yol takip etmektedir. Bu çalışmaların analizleri, dikkat çeken aşağı yönlü trendin gelecekte ciddi su problemlerine yol açacağına muhtemel olduğunu ve her bir havzadaki olası iklim değişikliği etkilerinin devam eden su kaynakları yetersizliği ve su temini sorunlarını artıracakları ortaya koymaktadır. Yazarlar, 2030 itibarıyla yıllık sıcaklıkta 1.2°C'lik bir artışı ve ortalama yıllık yağışta % 5'lik bir azalmayı ve, bu değerlerin 2050 itibarıyla 2°C'ye ve % 10'a yükselmesini öngörmektedir. Her ne kadar tüm aylar için yağışta azalmalar beklenmekteyse de, ilkbahar ve sonbahar ayları için tahmin edilen keskin düşüşler, bölgedeki yazların her zaman kurak olmasına bağlı olarak özel önem taşımaktadır. Bir su bilançosu modeline dair simülasyon sonuçları, 2030 itibarıyla yüzey sularında yaklaşık % 20'lik bir azalmanın gerçekleşeceğini ve bunun da su kullanıcıları arasında ciddi su sıkıntısına yol açacağını göstermektedir. Yazarlar, ayrıca tarım ürünlerinin artan evapotranspirasyonunun sulama suyu talebini çok fazla artıracaklarını bildirmektedirler.

Bölüm I'deki ikinci çalışma, Kazancı tarafından hazırlanan "Büyük Menderes Ekosistemi Üzerinde İklim Değişikliğinin Etkileri" makalesinin bulgularından çıkarılan temel patika senaryosu uyarınca, Büyük Menderes'in gelişkin omurgasız taksanomi kompozisyonundaki değişiklikleri incelemektedir.

Bölüm II'deki iki çalışma, iklim değişikliğinin sağlığa olan etkilerini hedef almaktadır. Polat, Turhan, Çalışkan ve Alan tarafından yürütülen "İstanbul'da Sıcaklık, Yağış ile Leptospiroz Arasındaki Korelasyon" başlıklı çalışma, sıcaklık ve yağışta artışlar görülürken, bunun yanında ekosistemde değişiklikler meydana gelmesinin metropolitan merkezlerde bile leptospirozun ortaya çıkmasında önemli faktörler olduğunu ortaya koymaktadır. Yazarlar, hastalığın ortaya çıkışı ve yeniden yayılması konusundaki belirleyiciler olarak iklimsel ve ekolojik değişiklikler arasındaki bağlantıların anlaşılması, önleyici stratejilerin optimize edilmesine yardımcı olacağını ortaya koymaktadır. Aynı zamanda yazarlar daha geniş bir çerçevede ve farklı bölgelerde benzer çalışmaların yapılmasının gerekli olduğuna işaret etmektedirler.

Ergönül tarafından hazırlanan "Türkiye'de Sıcaklık ve Yağış Değişiklikleri ile Sıtma Arasındaki Korelasyon" çalışması da benzer şekilde daha yüksek sıcaklıklar ve sıtma vakalarının görülmesi arasında bir ilişki olduğunu göstermektedir. Ancak, sonuçlar alınan önleyici tedbirlerden etkilendiği olarak daha fazla çalışma yapılmasını gerektirmektedir.

Bölüm III sanayiden ve hizmet sektöründen kaynaklı CO₂ emisyonlarının etkisinin azaltılması hakkında dört çalışmayı içermektedir. "Türk Demir ve Çelik Endüstrisinde Karbondioksit Emisyonlarının Tahmin Edilmesi" çalışmasında, Durlu, Übeyli, Tekin ve Sarıtaş ilk olarak spesifik enerji tüketimlerinin ve bunun yanı sıra 1990, 2004, 2010, 2015 ve 2020 yılları için CO₂ emisyonlarının belirlenmesi amaçlı bir inceleme hakkında rapor vermektedir. Bunların sonuçları, 1990 yılında, çelik üretiminde enerjinin direkt kullanımına bağlı CO₂ emisyonlarının 11.96 Mt olacağını tahmin edildiğini göstermektedir. Bunun yalnızca küçük bir bölümü elektrik ark ocakları teknolojisinden gelirken, geriye kalan bölümü entegre çelik tesislerinden kaynaklanmıştır. Üretim 2004 yılında 20.50 Mt ham çeliğe CO₂ emisyonları ise 15.2 Mt'a ulaşmış olup bunun % 13'ü ark ocaklarından, geriye kalan bölümü ise entegre tesislerden kaynaklanmıştır. Entegre tesislerde gözlemlenen izafi gelişmenin nedeni verimlilik tedbir ve yatırımları ile olanaklı kılınan özel enerji ihtiyaçlarındaki % 20 ila 25'lik azalmalardır. Ham çelik üretiminin 2010 yılında 28.37 Mt'a, 2015 yılında 32.36 Mt'a ve 2020 yılında 33.86 Mt'a yükselmesi beklenmektedir ve spesifik emisyon değerlerinde daha fazla azalma bu dönem içerisinde beklenebilir, 2010 yılındaki 1.91 ton CO₂/ton ham çelik değeri 2015 ve 2020 yıllarında 1.87 ton'a düşecektir. Sonuç olarak yazarlar daha düşük enerji tüketimi için yatırımların devam etmesi ve gelecek 15 yıl içerisinde daha düşük spesifik CO₂ emisyonlarının elde edilmesi için endüstrinin üretim kalitesi ve ton üretim başına daha az CO₂ üretilmesi açısından daha iyi durumda olacağını ifade etmektedir. "Türk Çimento Sanayisinde Enerji Verimliliğinin Artırılması ve Sera Gazı Emisyonlarının Azaltılması için Fayda-Maliye Analizleri" başlıklı, Ercan, Durmaz, Çürüksulu ve Daloğlu tarafından hazırlanan çalışma Türk çimento sanayisinin derinlemesine bir analizini sunmaktadır.

Enerji tasarrufu ve CO₂ azaltma potansiyellerini tanımlamakla birlikte, 2004'ten 2020'ye kadar fayda-maliyet analizleri temelinde gerekli tedbirleri içeren bir eylem planını vermektedir. Bu çalışma, aynı zamanda çimento üretimi için gerekli olan elektrik üretiminden kaynaklanan maliyet ve emisyonlarında dikkate alan kısmi denge tipi ayrıştırmış sanayi modelini temel alan azaltma politikaları nedeniyle de diğerlerinin önüne geçmektedir.

Benimsenecek olan teknolojik tedbirlerin düzeyine bağlı olarak farklı senaryolar tanımlanmış ve bunların herbirine ait yaklaşık maliyetler ve faydalar hesaplanmıştır. Sonuçlar, iki farklı azaltım oranına göre sunulmaktadır. Sektöre bağlı, 1990 yılında 20.59 milyon ton olan toplam CO₂ emisyonları, 2004 yılında 30.90 tona ve 2004'te 30.90 tona yükselmiştir. Üretimin 1990 teknolojisi kullanılarak gerçekleştirilmesi halinde, toplam emisyon 2004 yılında 33.29 milyon tona ulaşacaktır, bu da bu dönem içerisinde alınan gönüllü tedbirlerin bir sonucu olarak emisyonların % 7 azalacağını göstermektedir.



Yazarlar benzer şekilde, 2004 sonrasında hesaplanan enerji tasarruf tedbirlerinin uygulanması halinde, 2020 itibarıyla toplam CO₂ emisyonlarının % 12 faiz oranı için 50.90 milyon ton CO₂/yıl olacağını hesaplamaktadır, bu değer herhangi bir tedbir alınmışken 54.63 milyon ton-CO₂/yıl'dır. Spesifik enerji tüketimi ve emisyon seviyeleri de farklı politik varsayımlar uyarınca hesaplanmıştır. Bu çalışmada maliyet etkin azaltım politikalarına ilişkin kapsama işaret edilmekte ve bu çalışma daha detaylı analiz için yararlı bir başlangıç noktası olarak hizmet görmektedir.

"Türkiye'nin Ulaştırma Sektöründen Kaynaklı Sera Gazı Emisyonları" çalışmasında Soruşbay ve Ergeneman tüm modellerin ulaştırma faaliyetlerinin neden olduğu CO₂ emisyonlarını oldukça detaylı olarak hesaplamaktadır. Toplam emisyonlar 1990 yılındaki 25,954.63 Gg değerinden 2004 yılında 40,457.82 Gg'a veya % 55.8 yükselmiştir. Bu da 1990 yılındaki 0.46 ton CO₂/kişi değerinden 2004 yılında 0.57 ton/kişi değerine bir değişim göstermekte ve taşıt sahipliğinin artışı için daha fazla boşluk bulunduğu dikkate alındığında, toplam emisyonların yükselmesi beklenilmelidir. Yazarlar aynı zamanda sektörde 1990 yılında 0.17 kg CO₂/\$ olan değer 2004 yılında 0.14 kg CO₂/\$'a düştüğünü bildirmektedir, bu da enerji kullanımında daha yüksek verimlilikler sağlama amaçlı gelişmelere yer açmaktadır. Türkiye'de sürdürülebilir taşımacılık, Avrupa'nın geri kalanında olduğu gibi, mevcut taşıt ve motor teknolojilerinde gelişmelere ve yeni, daha az kirlenmeye neden olan yakıtların, motorların ve taşıtların geliştirilmesi yoluyla elde edilebilir anlamına gelmektedir. Taşıtlara ilişkin teknolojik gelişmeye aynı zamanda paralel olarak taşımacılık talebi, kirlenmeye neden olmayan veya daha az kirlenmeye neden olan trafik modları arasında yer alan toplu taşımacılık, demiryolu sistemleri, raylı sistemler, bisiklet veya kentsel alanlarda yaya alanları gibi modlara doğru kaydırılarak belirli bir kapsamda yönetilmeli ve azaltılmalıdır. Haluk Gerçek tarafından hazırlanan "Türkiye'de Ulusal Ulaştırmanın Rehabilitasyonu" Soruşbay ve Ergeneman'ın çalışmalarını temel almakta ve ilgili büyüme odaklı senaryosu etrafında projeksiyonlar sunmaktadır. 2005 ile 2020 arasındaki döneme ilişkin emisyon hesaplamaları hem filo hem de talep bazında olup karayolu taşımacılığından demiryolu taşımacılığına modsal geçişleri dikkate almaktadır. Yazar, filo bazlı projeksiyonların eski ve standart altı araçların erken hurdaya ayrılmasının teşvik edilmesi ile kontrol edilebileceğini belirtmektedir. Çok sayıda GHG için toplam emisyon projeksiyonları talep bazlı hesaplamalar ile elde edilmekte, CO₂ emisyonlarının 2005 yılındaki 44.89 Mt değerinden 2020 yılında 104.72 Mt değerine yükseleceği tahmin edilmektedir.

Filo bazlı projeksiyonlar kullanılarak elde edilen emisyon rakamları talep bazlı olanlardan çok daha yüksektir ve bu da daha fazla analiz yapılmasına duyulan ihtiyaca işaret etmektedir. Azaltım politikaları açısından, çalışmada taşıt-km başına enerji kullanımının azaltılmasını amaçlayan işletimsel, stratejik ve talep yönetim tedbirleri, yolcu başına toplam vasıta-km'sinin ve genel seyahat talebinin azaltılması amaçlı olarak vasıta kullanımının optimize edilmesi amacıyla listelenmektedir. Fiyatlandırma ve vergilendirmeyi ve diğer düzenlemeleri içeren bazı politika araçları listelenmiştir. Çalışmanın sonucunda, sorunların birlikte çözülebilemesi için politik talep ve kararlılığın olması ve AB politikalarına, ekonomik, çevresel, mali, sosyal ve finansal politikalara ve bunun yanı sıra şehir planlamacılığına uyulması şartıyla ulaştırma sektörünün sürdürülebilir gelişme şartlarını karşılayabileceği öngörüsü yapılmaktadır.

Telli, Voyvoda ve Yeldan tarafından hazırlanan ve Bölüm IV'ün bir parçasını oluşturan "İklim Değişikliği için Sektörel Emisyon Azaltım Politikalarının Ekonomik Değerlendirmesi için Genel Denge Analizi" başlıklı çalışmada, makro ekonomi içerisinde politik değerlendirme için entegre edici bir platform sağlanması amaçlanmaktadır. Bu, büyüme, istihdam ve emisyon limitleri gibi birbiriyle çelişen amaçlar arasındaki ödünlerin hedef alınabileceği bir çerçevenin belirlenmesine yönelik başlangıç niteliğinde ancak önemli bir çabadır.

Çok sektörlü, hesaplanabilir bir ekonomi genel denge modeli oluşturulmuş olup bu model emisyon üreten sektörleri ayırır ve emisyon vergileri ve enerji vergilendirmesi aracılığı ile kotaların uygulanması gibi emisyon kontrol tedbirlerinin değerlendirilmesi için kullanılır. Azaltım yatırımlarına ilişkin politikalar aynı zamanda, yaklaşık ve toplam olarak birlikte hedef alınmaktadır. Gerçekleştirilen analizler direkt emisyon kotaları uygulanmasının maliyetinin büyük olacağını ve başlangıca göre % 60'lık bir emisyon azaltımı elde etmek için 2006 ile 2020 arasındaki dönemde % 20 ile % 15 arasında bir karbon vergisinin gerekli olacağını göstermektedir. Bu tür bir senaryonun neden olacağı yıllık GDP kayıpları 2020 yılında % 30'u aşacaktır. Bunun aksine, sektörel üretimde enerji kullanımının vergilendirilmesi, % 20'lik bir enerji vergisi için dönüşte emisyonlarda % 25.8 azalma üretecek şekilde hesaplanmıştır ve bu da 2020 yılında % 8.8'lik bir genel GSMH kaybına yol açmaktadır. Yazarlar, enerji vergilendirmesinin istihdama son derece zarar verecek olan etkilerine işaret etmektedirler. Başka aktif azaltım politikalarının da uygulanması, önemli yatırım maliyetleri karşılığında gelen daha verimli üretim yöntemleri aracılığı ile üretimde enerji şiddetlerine yönelik daha fazla inisiyatif alınmasını gerektirecektir. Sonuçlar, emisyonlarda yalnızca % 5'lik bir azalma sağlanması için azaltım yatırımlarının yükünün yalnızca üretici sektörlerle bırakılmasının yıllık ortalama üzerinden GSMH'de % 5'lik bir azaltım biçiminde önemli olumsuz etkiler yaratacağını göstermektedir. Yazarlar aynı zamanda Kyoto protokolünün esnek mekanizmaları aracılığı ile sağlanabilecek olan yabancı finansmanın yanı sıra devlet yatırımlarının da göstergelerini tartışmaktadır. Bu sonuçlar ilk çalışmalar ve deneme niteliğindedir. Yatırım ihtiyaçları ve emisyondaki azalmalar arasındaki bağlantı hakkında toplu varsayımlara güvenmek yerine sektörel hafifletme politikaları ve makroekonomik analiz arasında nedensel bağlantıların denge çerçevesinde kurulması gibi çok fazla işin yapılması gerekmektedir. Bununla birlikte bu işlem başka ve daha detaylı modellemenin dayandırılabilirliği sağlam ve son derece faydalı bir temel sağlamaktadır.

KISALTMALAR

AB	Avrupa Birliği
BOF	Bazik Oksijen Fırını
CCA	Kanonik Uyum Analizi
CO	Kömür
ÇOB	T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı
DÇÜD	Türkiye Demir Çelik Üreticileri Derneği
DLH	Demiryolları Limanlar Havameydanları İnşaat Genel Müdürlüğü
DPT	Devlet Planlama Teşkilatı
EAF	Elektrik Ark Fırını
EİEİ	Elektrik İşleri Etüt İdaresi
EOF	Ampirik Ortogonal Fonksiyon
ETKB	T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
GCM	Küresel İklim Modelleri
GDP	Gayri Safi Yurt İçi Hasıla
Gg	Giga-ton
GHG	Sera Gazları
GSMH	Gayri Safi Milli Hasıla
GSYİH	Gayri Safi Yurt İçi Hasıla
GWH	Gigawatt-saat
HGD	Hesaplanabilir Genel Denge
IPCC	Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli
KWH	Kilowatt-saat
LDV	Hafif Hizmet Araçları
LPG	Sıvılaştırılmış Petrol Gazı
LTO	Kalkış-iniş sayısı
Mcal	Milyon kalori
Mt	Milyon ton
OECD	Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Teşkilatı
OPEC	Petrol İhraç Eden Ülkeler Teşkilatı
OSD	Türk Otomotiv İmalatçıları Birliği
PETDER	Türkiye Petrol Sanayi Derneği
PG	Petrol Gazı
PKM	Yolcu-km
RAMSAR	RAMSAR Uluslararası Sulak Alanlar Sözleşmesi
RP	Rafine Petrol
TCDD	Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları
TÇMB	Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği
TEM	Tasarruf Edilen Enerjinin Maliyeti
thç	Ton ham çelik
TKM	Ton-km
TOBB	Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği
TURKSTAT, TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
TÜBİTAK	Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
UNDP	Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı
UNFCCC	Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
VOC	Uçucu Organik Bileşikler
WHO	Dünya Sağlık Örgütü
YTL	Yeni Türk Lirası

Bölüm I:
ETKİLER & HASSASİYET ANALİZLERİ
Doğal Ekosistemler ve Sağlık Üzerine Modelleme Çalışması



TÜRKİYE İÇİN İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ SENARYOLARI: ÖN ÇALIŞMALAR

Prof. Dr. H. Nüzhet Dalfes
Prof. Dr. Mehmet Karaca
Doç. Dr. Ömer Lütfi Şen

Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü – İstanbul Teknik Üniversitesi

1. Giriş – Çalışmanın Kapsamı ve Bağlamları

Bu rapor Türkiye'de son yüzyıl içerisinde gerçekleşen iklim değişiklikleri ve iklim değişikliği projeksiyonlarındaki gelişmelerin sonuçları hakkında İstanbul Teknik Üniversitesinin Avrasya Yer Bilimleri ve Enformatik Enstitülerinde yapılan araştırmaların sonuçlarını içermektedir. Aynı zamanda bir TÜBİTAK (105G015) yardımı ile desteklenen devam etmekte olan ve daha uzun vadeli bir araştırma programının ilk safhası hakkında da rapor sunmaktayız.

Yağış ve sıcaklık gibi iklimsel değişkenlerin Türkiye'de geçmişte nasıl değiştiğini belgelendirmek için bir girişimde bulunulmuştur. Uzun vadeli yağış ve sıcaklık verilerini (günlük, aylık ve yıllık ortalamalar veya toplamlar) Türkiye Devlet Meteoroloji İşlerinden sağlamış ve veri setleri üzerinde kalite kontrol prosedürleri ve homojenleştirme testleri gerçekleştirmiş bulunmaktayız. Mann- Kendall testini kullanarak yağış ve sıcaklık (minimum, maksimum ve ortalama) serileri için trendleri üretiyoruz. Buna ek olarak, ortalama meydana gelme zamanı ve mevsimsellik indeksi açısından mevsimselliği karakterize etmek ve geçmişte Türkiye'de yağış mevsimselliğinin nasıl değiştiğini araştırmak için aylık yağış verileri konusunda dairesel bir yaklaşım uyguluyoruz.

Şu anki çabalarımızın son amacı su kaynakları, doğal ekosistemler, tarımsal üretim sistemleri, insan sağlığı vb konularda etki çalışmaları için anlamlı ölçeklerde iklim değişikliği projeksiyonlarının elde edilmesidir. Bu çalışmalar, mevcut bilgisayar teknolojisi ve alt- ızgara ölçekli parametrisasyonlar ile küresel sistem modellerinin üretebileceğinden çok daha ince ölçeklerde iklim bilgileri gerektirmektedir.

Proje içerisinde gerçekleştirilen işlerin büyük bölümünde küresel ölçekteki iklim sistemi modellerinin etki çalışmaları ile ilgili ölçeklere indirilmesi hedeflenmiştir. Daha sonra detayları verileceği üzere, bölgesel iklim modelleri kullanılarak gerçekleştirilecek olan ölçek indirme çabaları, başka şeylerin yanı sıra gözlemlenen verilere karşı model simülasyonu performansını değerlendirmelidir.

İstatistiksel ölçek düşürmenin ön cepesinde, çabalarımız mevcut geniş metodolojiler topluluğu içerisinde uygun araçların seçimi üzerinde yoğunlaşmıştır. Bu yöntemlerden ikisini uyguluyoruz: lineer regresyonlar ve kanonik korelasyon biçim analizleri.

Fiziksel olarak temellendirilmiş veya istatistiksel ölçek düşürme işlemi ile ilgili tüm belirsizlikler göz önüne alındığında, “projeksiyonlar” direkt olarak kullanılabilir ürünler olarak görülmemektedir. İşte burada senaryolar devreye girmektedir: “bir iklim senaryosu antropojenik iklim değişikliğinin potansiyel sonuçlarının araştırılmasında açık kullanım için oluşturulmuş gelecekteki bir makul iklime karşılık gelir” (IPCC, 2001).

Bu raporda Türkiye için olası deniz seviyesi yükselmesinin etkilerini kısaca açıklıyoruz. Ne yazık ki, zamansal ve alansal değişiklikleri kapsayan yeterli deniz seviyesi verisi mevcut değildir. Burada verilen yorumlar daha önceki çalışmaların derlemesine dayanmaktadır. Nihai olarak, raporda açıklanan çalışma, Türkiye ve bölgesi için iklim senaryolarının ana içeriğini oluşturmak üzere birleştirilecek kadar zengin bir iklim projeksiyonları grubuna yol açacaktır. Ekstrem olaylar gibi iklim özelliklerini içeren makul, tutarlı iklim parametresi gruplarını elde etmek amacıyla, iklim modellerinden ve istatistiksel olarak ölçüğü düşürülmüş iklim parametresi değişikliği tahminlerinden elde edilen projeksiyonların yanı sıra, iklim senaryolarında uzman bilgisi de dikkate alınır.

Tüm bu nedenlerle, yer sisteminin geleceğinin araştırılması için iklim modeli çıktularından çok değişiklik senaryolarından faydalanılması tercih edilir.

2. Veri kaynakları

Birçok uzun vadeli klimatolojik zaman serisinde, değişikliklerin ve trendlerin yalnızca havadaki ve iklimdeki değişikliklerden kaynaklanmadığı, aynı zamanda istasyonların yerinin değiştirilmesinin veya aletlerin, gözlem uygulamalarının veya istasyon çevresinin değiştirilmesinin de bunlara neden olduğu kabul edilmektedir. Dolayısıyla, iklim değişikliği hakkında bir çalışma veya istasyon verilerini kullanarak olası bir iklim değişikliği sinyaline ilişkin bir araştırma yapmadan önce, veri setleri üzerinde bir kalite kontrol ve düzeltme yapılması zorunludur. Türk istasyon verileri gerekli olan hallerde, herhangi bir iklim değişikliği sinyalinin algılanması için trend analizlerinde kullanılmadan önce, sıkı bir kalite kontrole ve homojenizasyona tabi tutulmuştur (Bozkurt ve Göktürk, 2006). İstasyon analizi ile ilgili süre 1951–2004 aralığı olarak alınmıştır ve bu kritere uygun olmayan istasyonlar veri setinden elimine edilmiştir. Aşağıdaki basamaklar hem yağış hem de sıcaklık için zaman serisindeki eksik değerlerle ilgili olarak takip edilmiş olan prosedürü açıklamaktadır.

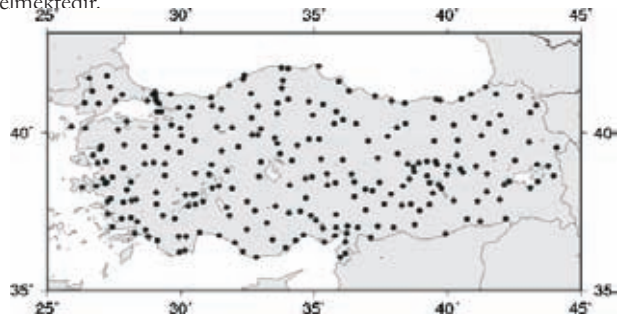
(i) Günlük gözlemlerdeki herhangi bir eksik değer, eksik olarak kaydedilmiştir.

(ii) Aylık ortalama günlük ortalamalardan hesaplanmış ve günlük ortalamaların % 20'si veya daha fazlası eksik olduğunda, kullanılabilir değil şeklinde belirtilmiştir.

(iii) % 10'dan az aylık eksik verisi olan istasyonlar için, her bir ayın klimatolojik ortalaması aylık serinin tamamlanması için kullanılmıştır.

(iv) Mevsimsel ve yıllık veriler aylık verilerden hesaplanmıştır.

Veri setleri daha sonra dışta kalan değerler için analiz edilmiş ve dışta kalan değerler olarak tanımlanan değerler Barnett ve Lewis'e göre önceden ayarlanmış bir eşik değerine indirilmiştir (1994). Son olarak, seriler istasyonların işletimi sırasında gerçekleşmiş olabilecek iklimsel olmayan olaylar açısından analiz edilmiş ve Hanssen- Bauer ve Forland (1994) tarafından geliştirilen bir prosedür takip edilerek bu tür homojen olmama durumlarının algılanması ve ayarlanması yapılmıştır. Nihai veri seti, dağılımları Şekil 1'de gösterilen 113 istasyondan meydana gelmektedir.



Şekil.1 Trend çalışmalarında kullanılan Türk iklim istasyonlarının dağılımı.

3. Gözlemlenen iklimsel değişiklikler

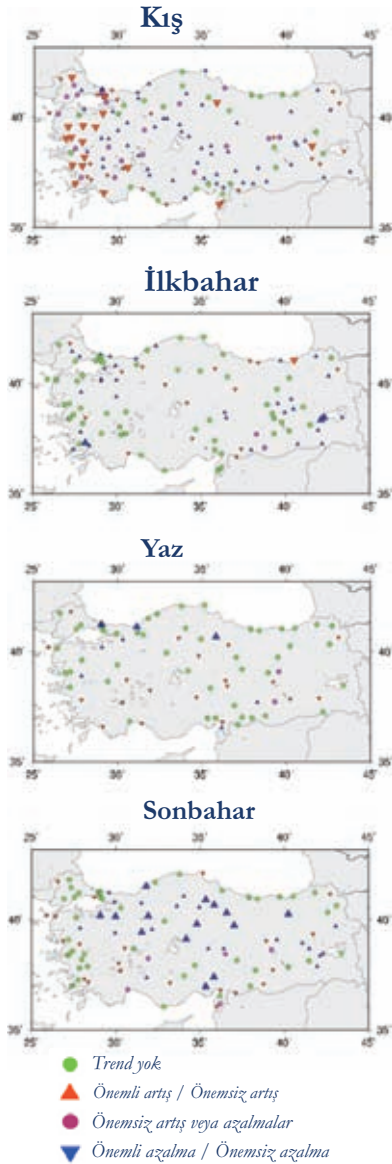
3.1 Trend analizi

3.1.1 Yağış

Yağış biçimlerinde veya şiddet, sıklık veya süre gibi yağış özelliklerinde meydana gelen herhangi bir sürekli değişikliği çevre üzerinde önemli sonuçlar yaratacağına şüphe yoktur. Dolayısıyla, küresel ısınma sonuçları bu önemli değişkene özel önem vermektedir. Bununla birlikte, yağış konusunda iklim değişikliği sinyallerinin tanımlanmasında zorluklar söz konusudur.

Bu zorluklardan bazıları verilerin kalitesi ile ilgilidir, çünkü yağış ölçümleri birçok hata türüne açıktır. Yağış verilerinin uzunluğu iklim değişikliği sinyalinin takip edilmesi konusunda bir diğer zorluğa neden olmaktadır, çünkü yağış zamansal olduğu kadar alansal olarak da yüksek değişkenlik gösteren bir parametredir. Bazı durumlarda “kısa” bir yağış zamanı serisinde, aslında uzun vadeli bir değişkenliğin bir parçası olabilecek bir trend algılanabilir. Bu nedenle, yağış verilerinin trend analizi yorumlanırken dikkat edilmelidir. Trend analizinde, genel olarak kullanılan parametrik olmayan Mann- Kendall yöntemini, kalite kontrolü yapılan istasyon verilerindeki belirgin trendleri tanımlamak için kullandık (örn. Karaca et al. 1995).

Şekil.2'de dört mevsim için Mann- Kendall testinin sonuçları gösterilmektedir. Yağıştaki önemli değişikliklerin uyumlu alanları hem kış hem de sonbahar mevsimlerinde görülebilir. Kış yağışları Türkiye'nin batıdaki illerinde son elli yıl içerisinde önemli ölçüde azalmıştır. Diğer taraftan sonbahardaki yağışlar çoğunlukla orta Anadolu'nun kuzey bölümlerinde yer alan istasyonlarda artmıştır. Bu değişikliklerin arkasındaki neden iyi anlaşılabilmiştir. Bunlar kesinlikle kapsamlı bir çalışma gerektirmektedir ve bu çalışmada aynı zamanda siklon izleri ve bu değişiklikler arasındaki bağlantı da incelenmelidir (Karaca et al., 2000). İlkbahar ve yazlarda, istatistiksel olarak anlamlı değişikliklerin görüldüğü birkaç istasyon vardır; bunlar da uyumlu bir bölgesel davranış göstermemektedir.

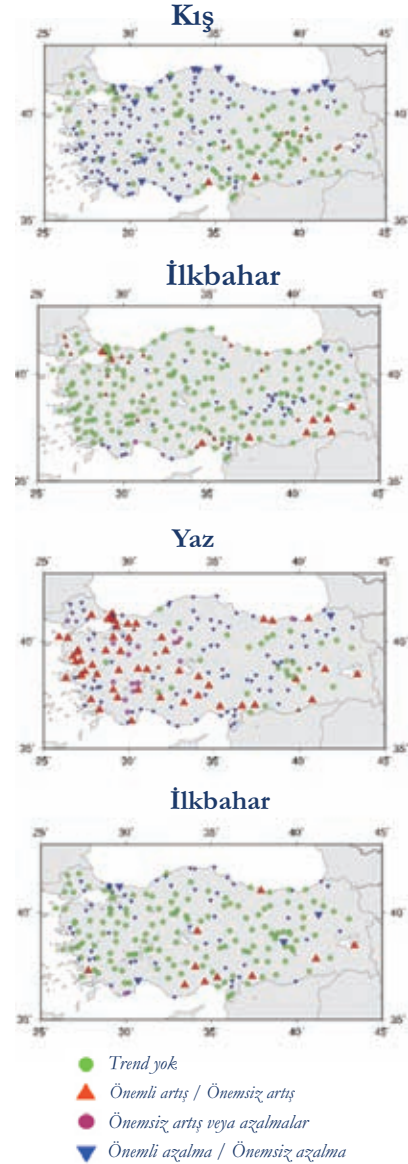


Şekil.2 1951-2004 dönemi için mevsimsel yağış trendleri.

3.1.2 Sıcaklık

Yağışla karşılaştırıldığında, sıcaklık meteoroloji istasyonlarında kolayca ve daha doğru bir biçimde ölçülebilecek bir değişkendir, bu nedenle ölçüm hatalarından kaynaklı belirsizlikler daha az önemlidir. Bununla birlikte, sıcaklıktaki iklim değişikliği sinyalleri genellikle şehirleşme etkileri ile kirlenir, çünkü Türkiye'de veya başka yerlerde yer alan istasyonların çoğu kademeli olarak şehrin yerleşim ve / veya ticari alanları ile çevrelenmektedir. Bu nedenle sıcaklık zaman serileri üzerindeki şehirleşme etkilerinden kaynaklı iklim değişikliği sinyalinin ayırt edilmesi zordur.

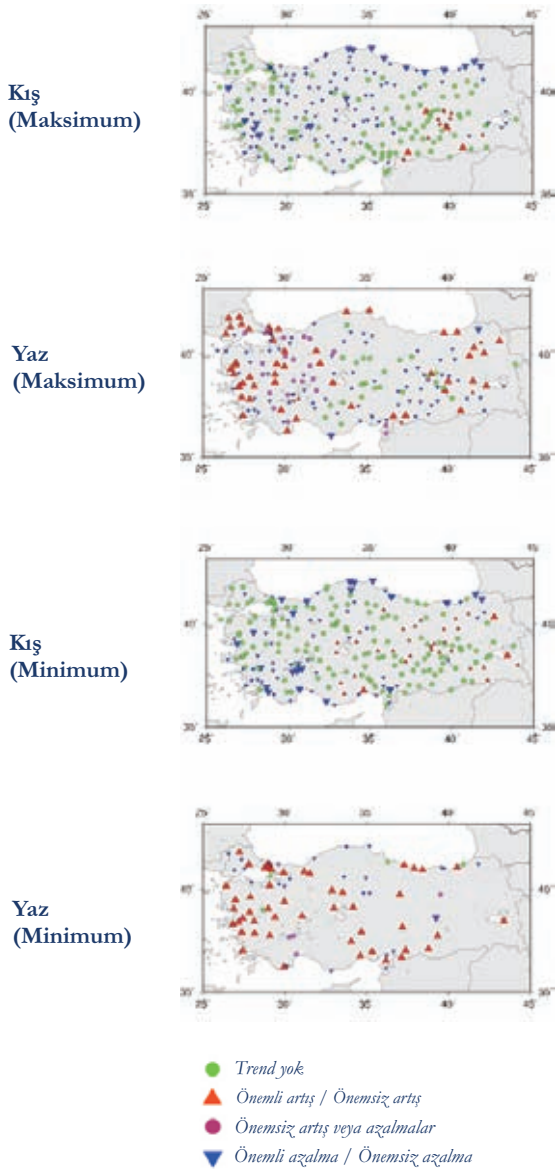
Şekil.3 1951 ve 2004 yılları arasında mevsimsel ortalama yıllık sıcaklık serisine uygulanan Mann- Kendall trend analizinin sonuçlarını göstermektedir. Gözlemlenebilecek en belirgin özellik yaz sıcaklıklarındaki yaygın artıştır. Yaz sıcaklıkları çoğunlukla Türkiye'nin batı ve güneybatı bölümlerinde artmaktadır. Kentsel ısı adası çalışmaları (örneğin Ezber et al., 2006, ve Karaca et al., 1995) şehirleşmenin bir sonucu olarak meydana gelen sıcaklık artışının en fazla yazın Akdeniz şehirlerinde, bölge yüksek basınç sistemlerinin etkisi altındayken fark edildiğini göstermektedir.



Şekil.3 1951-2004 dönemi için mevsimsel sıcaklık trendleri.

Dolayısıyla, Türkiye'nin batı istasyonlarındaki yaygın sıcaklık artışı, temel olarak bu olgu ile ilgili olabilir. Kış sıcaklıklarında genel bir azalma eğilimi göstermektedir. Daha önemli olanların sahil istasyonlarında yoğunlaştığı görülebilir. Geçiş mevsimlerinde, önemli eğilimlerin görüldüğü istasyonlar doğaları açısından genellikle seyrek ve bunlar tutarlı bir bölgesel davranış göstermezler.

Şekil.4 Kış ve yaz için mevsimsel maksimum ve minimum sıcaklık trendlerini göstermektedir. Kış için maksimum sıcaklıklar Karadeniz Bölgesinin sahil istasyonlarında aşağı yönlü trendler sergilemektedir ve orta Anadolu bölgesinde geniş bir azalma eğilimi gözlenmektedir (a). Bununla birlikte, yazın maksimum sıcaklıkların genel eğilimi özellikle de Türkiye'nin batısında artış yönündedir (b). Doğu Anadolu'daki birçok istasyon da maksimum sıcaklıkta önemli artışlar göstermektedir. Genel olarak, minimum sıcaklıklar hem kışın hem de yazın benzer dağılımlar göstermektedir. Kış minimumları yalnızca kuzey ve güney sahil bölgelerinde önemli azalmalar göstermektedir (c). Yaz minimumları çalışmada dikkate alınan dönem içerisinde gözlem yapan neredeyse tüm istasyonlarda önemli artış trendleri göstermektedir (d).



Şekil.4 1951-2004 arasındaki dönem için mevsimsel maksimum ve minimum sıcaklık eğilimleri.

3.1.3 Yüzeysel Akışları

Yüzeysel akışları, yağış ölçümleri ile karşılaştırıldığında, ölçümler açısından daha az belirsizlik göstermektedir. Bununla birlikte, debi ölçerlerde akış kayıtlarının nispeten kısa süreli alınması ve sulama ve içme suyu amaçlı olarak nehirlerden alınan su oranları ve su alanı özellikleri zaman içerisinde değişebileceğinden, bunların tümü trend analizinde kullanılacak olan akış verilerinin kalitesini ve homojenliğini etkiler. Bu nedenle, yağıştaki ile aynı kalite kontrol ve homojenlik prosedürlerini akış verilerine uyguluyoruz ve testleri geçemeyen tüm istasyonları elimine ediyoruz.

Şekil.5 1969 ve 1998 yılları arasında çeşitli akış ölçüm istasyonlarında ölçülen yıllık yüzeysel akışları için trend analizi sonuçlarını göstermektedir. Bu rakamdan, akışın Türkiye'nin batı ve güneybatı bölümlerinde azalma eğilimleri gösterdiği açık bir şekilde görülmektedir. Kuzey bölümlerde, akışın önemli artış gösterdiği birkaç istasyon mevcuttur. Bu dağılım tüm mevsimler için az çok aynıdır.



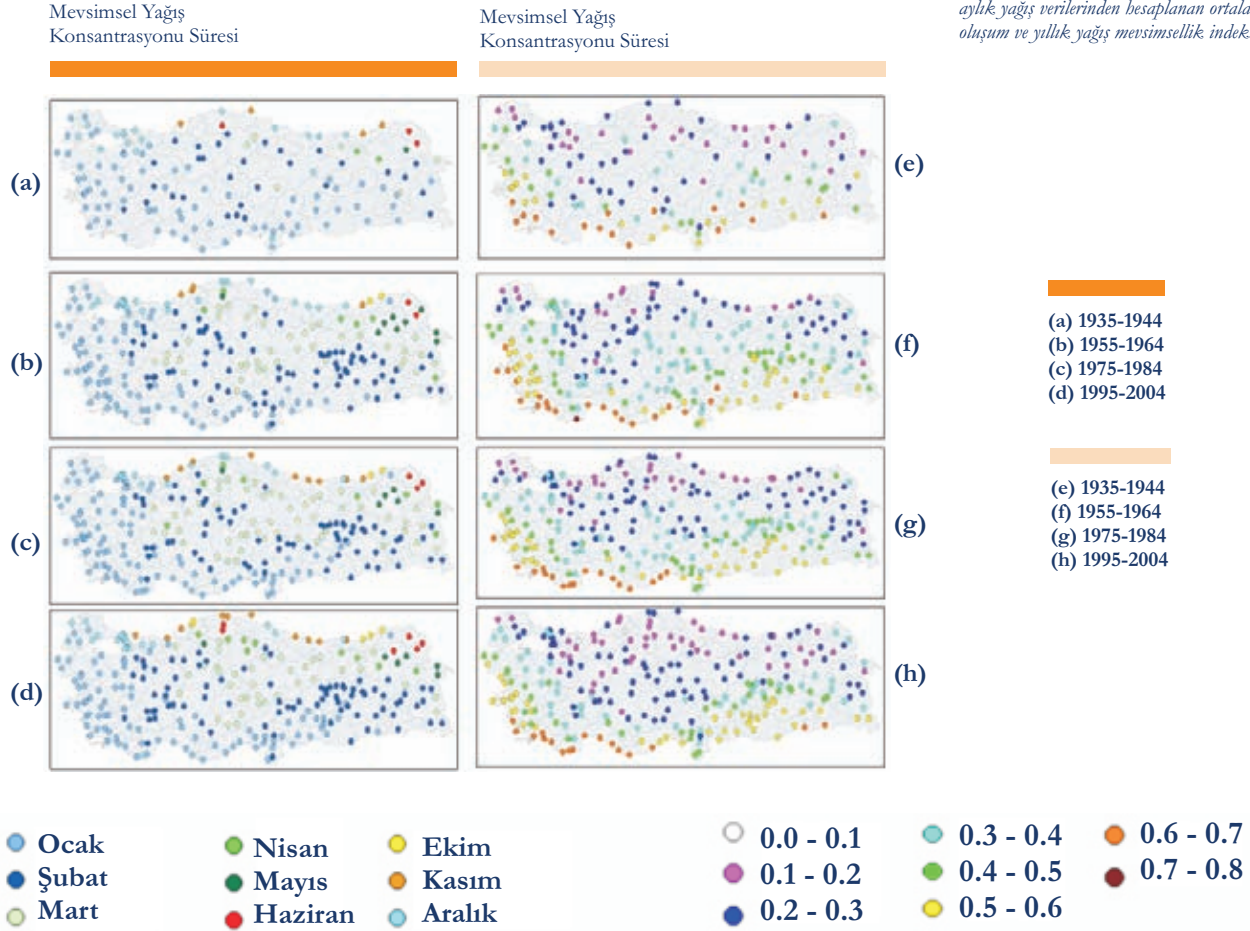
Şekil.5 Yıllık yüzeysel akışları için Mann- Kendall trend analizi.

3.2 Yağışın Mevsimsel Değişkenliği

Yağışın mevsimsel değişkenliği hidroklimatolojinin önemli bir yöndür, çünkü akış ve zemin suyunun yeniden şarj olması gibi diğer hidrolojik miktarların mevsimselliğini büyük ölçüde belirlemektedir (Dingman, 2002). Mevsimselliğin niceliksel olarak açıklanmasının yollarından biri Dingman (2002)'da tanımlandığı gibi mevsimselliğin dairesel istatistiklerle açıklanmasıdır. Mevsimselliğin ortalama meydana gelme zamanı ve mevsimsellik indeksi açısından karakterize edilmesi için aylık yağış verilerine dairesel istatistik yaklaşımını uyguluyoruz ve Türkiye'de yağış mevsimselliğinin geçmişte değişip değişmediğini araştırıyoruz. Şekil 6.10 yıllık süreler, yani 1935-1944, 1955-1964, 1975-1984 ve 1995-2004 için yağış konsantrasyonlarının hem süresini (a - d) hem de derecesini (e - h) göstermektedir.

Bu 10 yıllık mevsimsel haritalar 70 yıllık bir süre içerisinde yağışın mevsimselliğinde herhangi bir değişiklik meydana gelip gelmediğinin görülmesi için hazırlanmıştır. Şekil 6a, b, c ve d'den görülebileceği gibi, Türkiye genel olarak yağışının büyük bölümünü kışın almaktadır. Yağış, Türkiye'nin güney ve batı bölümlerinde Ocak ayında tepe noktasına varırken orta Anadolu'nun büyük bölümünde Şubat ve Martta, kuzey Marmara bölgesinde İstanbul da dahil olmak üzere Aralıkta, Karadeniz sahillerinde Ekim ve Kasım'da ve doğu bölgelerinde Mayıs ve Haziranda yağışta tepe noktaları gözlenmektedir.

Yağışın mevsimsel konsantrasyonunun derecesi Türkiye'nin Akdeniz ve Ege sahillerinde en yüksek noktadadır ve Karadeniz sahillerine doğru düşmektedir (Şekil 6e, f, g ve h). Bu çizimlerden, yağış mevsimselliğinin genel resminin son 70 yıl içerisinde sabit kaldığı görülmektedir. Bununla birlikte, istasyon seviyesine bakıldığında bazı değişiklikler fark edilebilir. Bu değişikliklerin çoğu bir ay ileriye veya geriye doğru kaymalar göstermektedir (a - d). Yağışın mevsimsel konsantrasyon derecesi Türkiye'nin orta bölümlerinde, bu analizde göz önüne alınan süre içerisinde düşmektedir (e - h).



Şekil.6 Dairesel istatistik yöntemleri kullanılarak aylık yağış verilerinden beslenen ortalama aylık oluşum ve yıllık yağış mevsimsellik indeksi.

4. Metodolojik yaklaşımlar

4.1 Dinamik ölçek düşürme

4.1.1 RegCM3'ün kullanıldığı çalışmalar

RegCM3, İtalya Trieste'de bulunan Uluslararası Teorik Fizik Merkezi tarafından geliştirilen bir bölgesel iklim modelinin üçüncü versiyonudur ve bu model aynı merkezde tutulmaktadır. RegCM orijinal olarak, 1980lerde, Pennsylvania Devlet Üniversitesi Ulusal Atmosferik Araştırma Merkezi (NCAR-PSU) Mesoscale Modeli versiyon MM4 temelinde oluşturulmuştur. O zamandan bu yana, modelin fiziğinde ve bunu iklim çalışmaları için popüler bir araç haline getiren ilgili yazılımda önemli gelişimler olmuştur.

RegCM3'ün kullanıldığı ölçek düşürme çalışmaları ekip üyelerimizden biri olan Barış Önal tarafından, Raleigh NC, ABD'de bulunan Kuzey Carolina Devlet Üniversitesi Deniz, Yer ve Atmosfer bilimleri Bölümünde gerçekleştirilmiştir.

Optimal bir yatay çözünürlüğün belirlenmesi için bir dizi test yapılmış ve 30 km'lik bir çözünürlük seçilmiştir. Bu biraz subjektif bir seçimdir; hesaplama kaynakları ve Türkiye'nin dağlık topografisi dikkate alınmalıdır. Gelecekte modeli daha küçük alanlar ve ilgili mevsimler için daha yüksek çözünürlüklerde kullanmayı ve böylece model sonuçları üzerinde topografinin etkisini değerlendirmeyi planlıyoruz. Aynı zamanda modelde kullanılan "fizik" için birçok opsiyon mevcuttur: Grell seması kümülüs parametrelerinin belirlenmesi için seçilmiş, Arakawa-Schubert ise kapanış seması olarak kullanılmıştır.

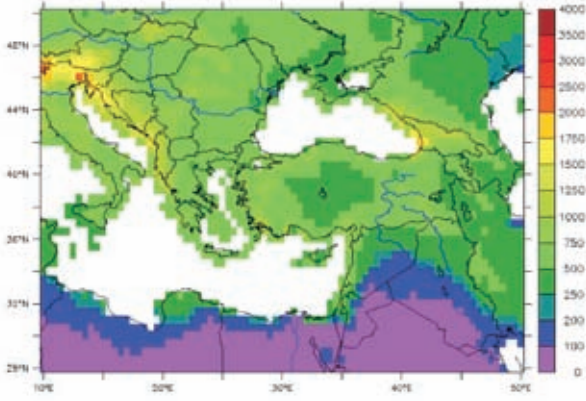
Şu anda iki simülasyon grubu gerçekleştirilmiştir: NCEP / NCAR yeniden analiz verileri ile sınırlarda gerçekleştirilen kontrol işlemleri ve A2 emisyon senaryosu ile NASA'nın Sonlu Hacim Genel Dolaşım Modelinden (fvGCM) zorlanan geleceğe yönelik simülasyonlar (Lin, 2004). Kontrol işlemleri "standart" 30 yıllık iklimsel dönemi, yani 1961-1990 dönemini kapsayacaktır. Geleceğe yönelik simülasyonlar 2071-2100 dönemini kapsayacaktır. Bu rapor yazılırken, her iki 30 yıllık simülasyon tamamlanmıştır ve analizler devam etmektedir.

Gözlemlerin (CRU TS 2.1 ızgaralı $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ veri seti, Mitchell, 2004) RegCM3 ölçek düşürme sonuçları ile karşılaştırılması sonucunda ortaya çıkan çarpıcı konulardan biri, modelin yağışı, özellikle Karadeniz ve Doğu Adriyatik Denizi sahillerinde fazla tahmin etmiş olmasıdır (bkz. Şekil.7). Çeşitli "fizik" seçenekleri ile gerçekleştirilen birçok deneme sonucunda, bu özelliğin devamlı olduğu görülmektedir. Bu fazla tahmin sorununun yanı sıra, yağışın genel biçimleri kontrol çalışmalarında iyi bir şekilde simüle edilmiştir.

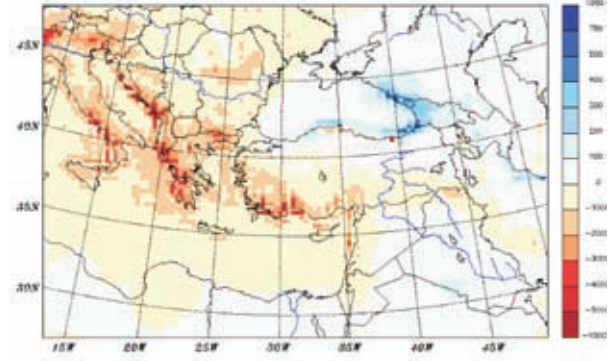
RegCM3 ile gerçekleştirilen geleceğe yönelik simülasyonlar SRES A2 emisyon senaryosu temelinde genel dolaşım yöntemi ile zorlanmıştır. RegCM3 CO₂, CH₄, N₂O, CFC11 ve CFC12'deki yıllık değişimleri dikkate almak üzere modifiye edilmiştir. Yatay çözünürlük yukarıda belirtildiği gibi 30 km'dir.

Bu simülasyonların sonuçlarından bazıları kontrol çalışmasından farklılıklar olarak Şekil.9 ve Şekil.10'da gösterilmiştir. Türkiye üzerinde odaklanıldığında, kışın tahmini sıcaklık artışının ülkenin doğu yarısında daha yüksek olduğu, yazın bu biçimin tersine döndüğü ve ülkenin batı yarısının, özellikle de Ege Bölgesinin 6°C'ye varan artışlar yaşadığı görülmektedir.

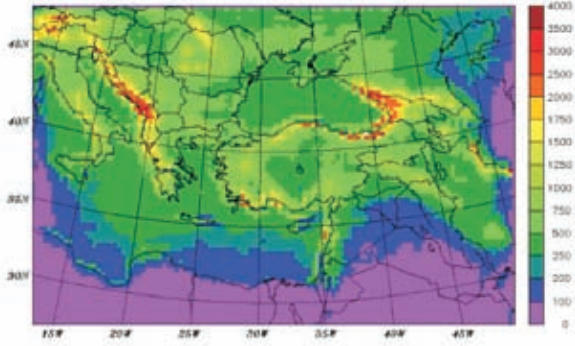
Yıllık Yağış CRU (1961 - 1970)



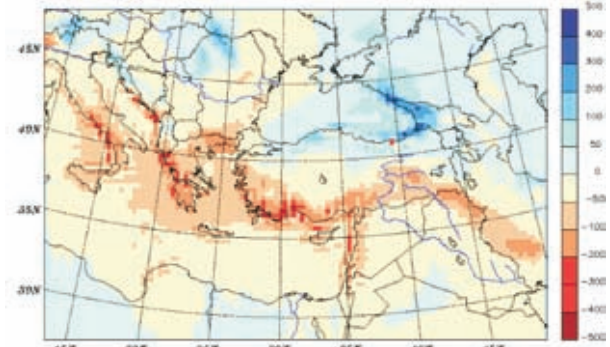
Yıllık Sıcaklık Farklılıkları (2071:2100 - 1961:1990 mm)



Yıllık Yağış Kontrolü (1961 - 1970)



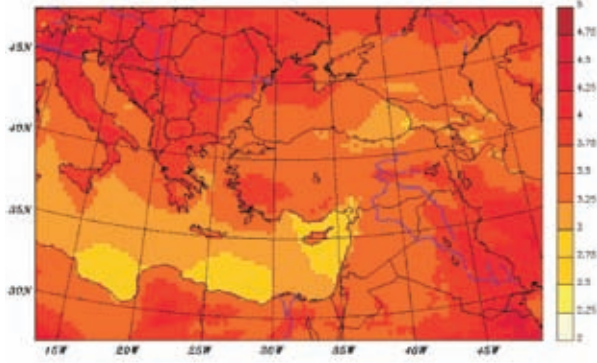
Kış Sıcaklık Farklılıkları (2071:2100 - 1961:1990 mm)



Şekil.7 Gözlemlenen ve modellenen toplam yıllık yağış karşılaştırılması.

Şekil.10 A2 çalışması (2071 - 2100) ve kontrol çalışması (1961 - 1990) arasında toplam yıllık yağışta ve kış yağışında görülen farklılıklar.

Yıllık Sıcaklık Farklılıkları (2071:2100 - 1961:1990 mm)



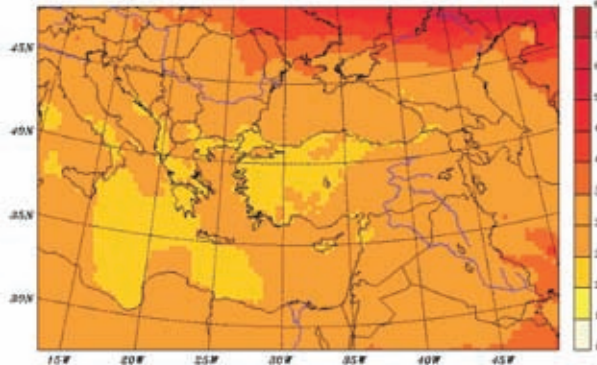
Yağıştaki farklılıklar Şekil.10'da gösterilmiştir. Genel olarak, Ege ve Akdeniz sahilleri boyunca yağış azalmakta ve Karadeniz Sahili boyunca artmaktadır. Orta Anadolu yağış konusunda ya çok az değişim göstermekte ya da hiç göstermemektedir. En şiddetli (mutlak) azalmalar güneybatı sahilinde gözlemlenecektir; bunun aksine, Kafkas sahili bölgesinin çok daha fazla yağış alması beklenmektedir. Bu gözlemler hem yıllık hem de kışa ait toplamlar için geçerlidir.

Şekil.11 kar suyu eşdeğerindeki değişikliği göstermektedir. Şekilden görülebileceği üzere, Doğu Anadolu'nun yüksek ovalarında ve Karadeniz dağlarının doğu bölümünde 200 mm'ye kadar azalma görülmektedir. Bu, Fırat- Dicle havzasındaki akışta bir azalma olması anlamına gelmektedir. Doğu Akdeniz bölgesinde önemli nedeniyle su kaynakları üzerinde çok sayıda çalışma gerçekleştirilmiştir, ancak bunların hiçbirisi gelecekteki iklim değişikliğinin rolü üzerinde odaklanmamıştır. Fırat ve Dicle gibi sınır ötesi akarsular yalnızca evsel ve endüstriyel kullanım için değil, aynı zamanda enerji için de bölgenin ana su kaynaklarıdır. Son 30 yıl içerisinde, Fırat- Dicle sistemi üzerinde, önemli arazi kullanımı değişikliklerine yol açan çok sayıda baraj ve sulama sistemi inşa edilmiştir. Bu nedenle, bu çalışmanın sonucu, bölgedeki su kaynakları ve dolayısıyla da su üretimi ve tarımsal verim için önemli etkilere sahip olabilir.

4.1.2 MM5'in kullanıldığı çalışmalar

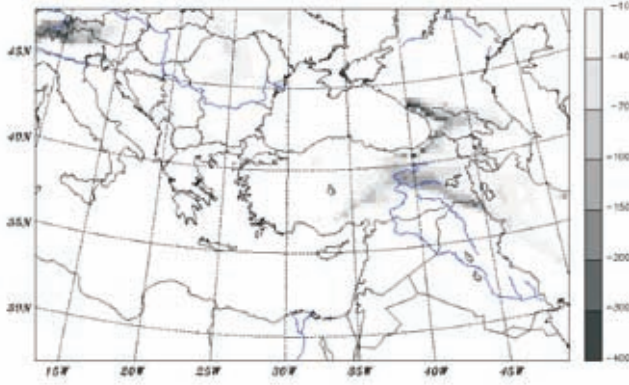
MM5 ölçek düşürme çalışmalarımız için ana araçtır. Her ne kadar orijinal olarak sınırlı alan, mezoskala hava tahmini görevleri için düşünülmüşse de, bölgesel iklim modelleme amaçları için geniş bir şekilde kullanılmıştır.

Kış Sıcaklık Değişimi (2071:2100 - 1961:1990 mm)



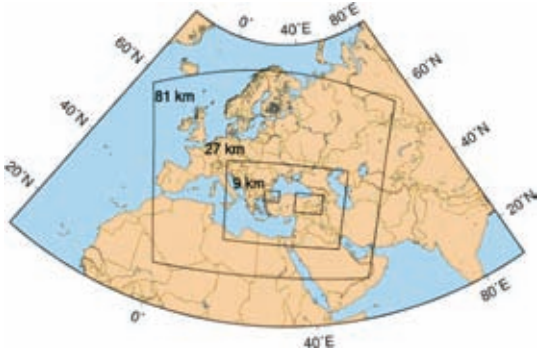
Şekil.9 A2 çalışması (2071 - 2100) ve kontrol çalışması (1961-1990) arasında yıllık sıcaklıklarda ve kış sıcaklıklarında görülen farklılıklar.

Kış Kar Kalınlığı Farklılıkları (A2 - Control)



Şekil.11 Türkiye için iklim değişikliği projeksiyonları: kar suyu eşdeğerindeki değişiklikler (mm cinsinden) (Önal ve Semazgi, 2006).

Mevcut MM5 tabanlı simülasyon serisi üç alan seviyesini içerecek şekilde tasarlanmıştır (bkz. Şekil.12): yatay çözünürlüğü 81 km olan bir kaba (ana) alan (D01) kullanılmıştır ve Doğu- Batı, Kuzey- Güney ve dikey yönlerde sırasıyla 75, 60, 23 ızgara aralıkları vardır. İkinci alanın (D02) ızgara aralığı 27 km olup tüm Türkiye'yi ve yakındaki denizleri ve ülkeleri kapsar. Doğu Batı, Kuzey- Güney ve dikey yönlerde sırasıyla 118, 79, 23 ızgara aralıklarından meydana gelir. Bununla birlikte iç alan (D03 ve D04) çözünürlükleri, özellikle alanın arazi kullanım türleri hakkında daha fazla detay yakalamak için 9 km olarak seçilmiştir. Üçüncü alan (D03) Türkiye'nin Marmara Bölgesinde 46, 34, 23 ızgara aralıkları ile yer alırken dördüncü alan (D04) Doğu Türkiye'de, Doğu-Batı, Kuzey- Güney ve dikey yönlerde, sırasıyla 82, 58, 23 ızgara aralıkları ile bulunmaktadır. Bu çalışmanın amaçları dahilinde, tüm alanlar aynı fizik konfigürasyonuna sahiptir.



Şekil.12 MM5'in kapsadığı simülasyon alanları

1961- 1990 arasındaki iklimsel referans dönemin simülasyonu halen devam etmektedir.

4.2 İstatistiksel ölçek düşürme

1980'lerin sonlarından bu yana, birçok çalışma kaba GCM simülasyon sonuçlarının etki çalışmaları için anlamlı ölçeklere istatistiksel olarak indirilmesi sorununu hedef almıştır. En basit lineer regresyon şemalarından suni nöral ağları içeren sofistike şemalara kadar çok sayıda metodoloji uygulanmıştır (örneğin bkz. Tatlı et al., 2004 ve Tatlı et al., 2005).

İstatistiksel ölçek düşürmenin özü ilk olarak geniş ölçekli atmosferik alanların istasyon ölçeğinde iklim parametreleri ile ilişkilendirilmesini sağlayan istatistiksel modellerin geliştirilmesi ve daha sonra bu modellerin bu parametrelerde “gelecekte” meydana gelecek değişikliklerin tahmin edilmesinde kullanılmasıdır.

Bu işlem aşağıdakiler hakkında kararları içerir:

- Tahmin amaçlı olarak kullanılacak olan 'Geniş ölçekli' atmosferik alanlar;
- Tahmin edilecek yerel iklim parametreleri için istasyon veya “küçük ölçekli” ızgara verileri (yani prediktanlar);
- Verilerin ve model yapısının ön işleme için matematiksel çerçeve.

Bu rapor kapsamındaki süre için, çabaların büyük bölümü, istatistiksel ölçek düşürme uygulamalarımız için ilk olarak dikkate alınacak olan uygun metodolojilerin seçimine dahil edilmiştir. Şu anda, bu tür iki yaklaşım uygulamaktayız:

Çoklu lineer regresyon (MLR):

Çoklu lineer regresyon temelindeki model (von Storch ve Zwiers, 1999), bağımlı bir değişken (prediktan) ve bir veya daha fazla bağımsız değişken (prediktör) arasında lineer bir ilişkinin oluşturulması amacıyla bir transfer fonksiyonu olarak kullanılır.

Kanonik Korelasyon Biçimleri (CCP):

İki tek değişkenli zaman serisi arasındaki korelasyon Pearson'un korelasyon katsayısı ile ifade edilir. CCA, iki tek değişkenli zaman serisi arasında korelasyon kurmak için kullanılabilir olan bir yöntemdir. Ampirik ortogonal fonksiyon (EOF) veya temel bileşen analizi ile analoji yoluyla anlaşılabilir.

EOF analizi tek bir çok boyutlu veri seti arasındaki biçimlerin bulunması için çaba gösterir; bu biçimler verilerdeki değişikliklerin büyük bölümünden sorumlu kabul edilmektedir. Değişkenler zaman serileri ise, bu biçimler aynı zamanda, zamandaki her bir gerçekleştirme için biçimin gücünü gösteren zaman sabitlerine sahiptir (temel bileşenler, burada bundan sonra PC'ler olarak anılacaktır). Diğer taraftan CCA, iki veri setinden her birindeki biçimleri bulmaya çalışır, böylece ilk veri setinin ilk biçimine ait zaman sabiti ve ikinci veri setinin ilk biçimi arasındaki korelasyon en yüksek değerdedir. İkinci en yüksek korelasyonun her bir veri setinin ikinci biçimleri arasında olduğu kabul edilir ve böyle devam eder. Sonunda, zaman sabitleri optimal korelasyona sahip olan bir biçim çifti bulunur, yani çiftler eş zamanlı olarak meydana gelme eğilimi gösterir (Barnett ve Preisendorfer, 1987; Xoplaki et al., 2002).

Bir biçim çifti kanonik korelasyon analizi çifti (burada bundan sonra CCA çifti) olarak adlandırılır. Biçimlerin zaman katsayıları kanonik korelasyon değişkenleri (CCV'ler) olarak adlandırılır. Kanonik korelasyon katsayısı, bu CCV'ler arasındaki Pearson'un korelasyon katsayısıdır. Kanonik biçimler yalnızca eş zamanlı olmaları nedeniyle değil aynı zamanda orijinal veri setlerinin değişiminin büyük bir bölümünü temsil etmeleri açısından da değerlidir.

5. Türkiye için Deniz Seviyesindeki Yükselme

Türk sahillerinin büyük bölümünde, genel olarak kabul edilen deniz seviyesi yükselmesi aralığında (1-2 mm/yıl) deniz seviyesi değişiklikleri görülecektir. Deniz seviyesi yükselmesinin 1-2 mm/yıldan daha az olduğu alanların (örneğin Samsun-Antalya) tektonik yükselme geçirdiği varsayılmaktadır, çok sayıda geniş nehir deltası küresel yükselmeden çok daha fazla deniz seviyesi yükselmeleri yaşamıştır. Bu alanların çökme geçirdiği varsayılmaktadır. Türkiye'deki deniz seviyesi değişikliklerinin uzun vadeli eğilimlerini konu alan çalışmalar için sistematik bir araştırma yapılmamıştır. Türkiye'de deniz seviyesi ölçümleri 1974 yılından beri yapılmakta olup en güvenilir seri 1986 yılında, Akdeniz'de Antalya'da, Ege Denizi'nde Bodrum'da, Marmara Denizinde Erdek'te ve Karadeniz'de Samsun'da başlatılmıştır (Karaca, 2001).

Son yüzyıl için küresel deniz seviyesi yükselmesinin 10 ve 20 cm arasında olduğu tahmin edilmiştir. Akdeniz ve Karadeniz bölgeleri için, deniz seviyesi yükselmesinin son yüzyıl içerisinde 12 cm civarında olmuştur. Her ne kadar sahil şehirleri Türkiye'nin toplam yüzey alanının % 5'inden azını kapsamaktaysa da, 30 milyondan fazla insan sahil alanlarında yaşamaktadır.

Türkiye'nin GSMH'nin % 60'tan fazlası Marmara Denizi'nin kuzey sahil hattı boyunca Tekirdağ'dan Kocaeli'ye uzanan sahil şeridinde üretilmektedir (DPT, 2001). Karaca'ya göre (2001), IPCC CZMS (1992) Ortak Metodolojisi, 1-m ASLR senaryosu kabul edilerek hem Türkiye hem de İstanbul şehri için uygulandığında, Türkiye düşük riskli ülkeler sınıfında yer almaktadır, ancak İstanbul yüksek risk değerlerine sahiptir. Zarara açıklık (Vulnerability) analizinin ön değerlendirmesi sermaye kaybı için GSMH'nin % 6 kadarını ve ülkenin koruma ve adaptasyon maliyetleri için de % 10 kadarını vermektedir.

6. Gelecekte yapılacak İşler

RegCM3 temelli çalışmalar devam edecek ve aşağıdakileri içerecektir:

(i) Kapsamlı temel çalışma analizleri (1961-1990):

Klimatolojik referans dönem 1961- 1990 için Model çıktısı ızgara yüzeyi sıcaklığı ve yağış verileri (CRU'dan – East Anglia Üniversitesi İklim Araştırma Birimi – İngiltere elde edilen) ile karşılaştırılacaktır.

(ii) FVGCM A2 senaryosunu temel alan çalışmaların kapsamlı analizi:

Uzun vadeli ortalama iklim, yıllar arası değişkenlik, atmosferik biçim indisleri (NAO – Kuzey Atlantik Osilasyon İndeksi gibi) iyice incelenecektir.

Farklı küresel iklim modelleri temelinde model seçimi aracılığı ile ikinci bir çalışma grubu henüz tamamlanmamıştır.

MM5 temelli çalışmalar geliştirilmektedir ve aşağıdakileri içerecektir:

(i) Tüm alanlar için taban (1961-1990) referans çalışmalarının tamamlanması;

(ii) En az iki küresel iklim modelinden elde edilen çıktılar temelinde geleceğe yönelik iklim simülasyonları

Bu simülasyonlar D1, D2 alanları için ve D3 seviyesindeki alanların bir seçimi için gerçekleştirilecektir. Seçim su kaynakları, ekosistemler, tarım vs. alanlarda etki değerlendirmesi hakkında çalışan ekiplerle koordinasyon içerisinde yapılacaktır. Geniş ölçekli özelliklerin lokal ölçekli parametrelerle bağlantılandırılması ve bu modellerin tarihsel verilerle kalibre edilmesi ve doğrulanması amacıyla istatistiksel modeller geliştirmeye devam etmeyi planlıyoruz. Bu modeller daha sonra dinamik ölçek düşürme için bölgesel iklim modellerine sınır koşullar olarak kullanılanla aynı küresel ölçekli iklim modeli çıktısına uygulanabilir.

Çalışmanın bu safhasında, iklim parametrelerinin ortalama değerleri ile ilgili değişiklik bilgilerini elde etmeyi planlıyoruz, ancak ekstrem değer istatistikleri için modellerin geliştirilmesine yönelik çabalar da gösterilecektir.

7. Teşekkürler

Bu raporun yazarları araştırma ekibi üyelerinin katkıları için teşekkür etmek istemektedirler. Katkıda bulunan isimler: Deniz Bozkurt, Tayfun Kindap, Barış Önel, Ozan Mert Göktürk, Ufuk Utku Turunçoğlu.

Bu proje boyunca Barış Önel'a Raleigh, Kuzey Caroline ABD'de bulunan Carolina Devlet Üniversitesinde Profesör Fredrick Semazzi ev sahipliği yapmış ve kısmi destek vermiştir.

Referanslar

- [1] Barnett T. P., Preisendorfer R. W. 1987: Origins and levels of monthly and seasonal forecast skill for United States air temperatures determined by canonical correlation analysis. Monthly Weather Review 115, 1825-1850.
- [2] Bozkurt, D. and Göktürk, O. M., "Homogenization of Turkish Precipitation and Streamflow Datasets", General Assembly of European Geophysical Union, Vienna, Austria, 2-7 April 2006.
- [3] Coppola E. and Giorgi, F., 2005: Climate change in tropical regions from high resolution time slice AGCM experiments, Quarterly Journal, accepted.
- [4] Dingman, S.L., 2002, "Physical Hydrology", 2nd ed., Prentice-Hall, 646 pp.
- [5] DPT (State Planning Organization), 2001, "Economic and Social Indicators", www.dpt.gov.tr.
- [6] Ezber, Y., Sen, O.L., Kindap, T., and Karaca, M., 2006, "Climatic Effects of Urbanization in Istanbul: A Statistical and Modeling Analysis", Int. J. of Climatol, accepted.
- [7] Hanssen-Bauer, L. and Forland, J., 1994, "Homogenizing long Norway precipitation series", J. Climate, 7, 1001-1013.
- [8] IPCC, 2001: Climate Change 2001: The Scientific Basis, Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK
- [9] IPCC CZMS, 1992, "Global Climate Change and the Rising Challenge of the Sea", Published for IPCC, Geneva, by Ministry of Transport, Public Works and Water Management, the Hague, Netherlands, 35p.
- [10] Karaca, M., Tayanç, M. and Toros, H., 1995, "Effects of Urbanization on Climate of Istanbul and Ankara: A First Study", Atmospheric Environment, Part B: Urban Atmosphere, 29, No: 23, 3411-3421.
- [11] Karaca, M., A. Deniz, and M. Tayanç, 2000, "Cyclone Track Variability over Turkey in Association with Regional Climate", Int. J. of Climatol., 20, 1225-1236.
- [12] Karaca, M., 2001, "Overview of Preliminary Accelerated Sea-Level Rise Studies on Turkey", Proceedings of SURVAS Overview Workshop on the Future of Vulnerability and Adaptation Studies" London, 28-30 June 2001, pp. 15-16.
- [13] Lin, S.-J., 2004: A vertically Lagrangian finite-volume dynamical core for global models. Mon. Wea. Rev., 132, 2293-2307.
- [14] Mitchell, T.D., 2004: An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high resolution grids. About to be submitted.
- [15] Tath, H., H. N. Dalfes and S. S. Menteş, 2004: A statistical downscaling method for monthly total precipitation over Turkey, Int. J. Climatol., 24, 161-180.
- [16] Tath, H., H. N. Dalfes and S. S. Menteş, 2005: Surface air temperature variability over Turkey and its connection to large scale upper air circulation via multivariate techniques, Int. J. Climatol., 25, 331-350.
- [17] von Storch, H., 1999: On the Use of "Inflation" in Statistical Downscaling, Journal of Climate, 12, 3505-3506.
- [18] von Storch H., Zwiers F. W. 1999: Statistical Analysis in Climate Research. Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK.
- [19] Wilks, D.S., 1995: Statistical methods in the atmospheric sciences. Academic Press, 467 pp.
- [20] Xoplaki E., Gonzalez-Rouco J. F., Luterbacher J. 2002: Mediterranean summer air temperature variability and its connection to the large scale atmospheric circulation and SSTs. Climate Dynamics, 20, 723-739.

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN BÜYÜK MENDERES VE GEDİZ NEHİR HAVZALARINA OLASI ETKİLERİ

Prof. Dr. Nilgün B. Harmancıoğlu
Assoc. Prof. Sevinç Özkul
Assist. Prof. Okan Fıstıkoğlu
Filiz Barbaros, Ph.D.
Gülay Onuşluel, Ph.D.
Cem P. Çetinkaya, Ph.D.
Yıldırım Dalkılıç, Ph.D.

Dokuz Eylül Üniversitesi Su Kaynakları Yönetimi ve Su Kaynaklı Doğal Afetlerin Kontrolü Araştırma ve Uygulama Merkezi (SUMER)

Giriş

Hidrolojik sistemlerin ve su kaynaklarının, olası bir iklim değişikliğinden önemli ölçüde etkilenmeleri beklenmektedir. Bu çalışma, söz konusu etkilerin akarsu havzası ölçeğinde ön değerlendirmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sürdürüldüğü bölge ise, Ege Bölgesinin iki önemli ve büyük akarsu havzası olan Gediz ve Büyük Menderes havzalarıdır.

Araştırma, iki bölümde ele alınmıştır:

1. Bir hidrolojik sistemin temel girdileri yağış ve sıcaklık olduğundan, Gediz ve Büyük Menderes havzalarında gözlenmiş yağış, sıcaklık ve akım dizileri üzerinde eğilim analizi yapılmıştır.

2. İkinci bölümde ise, yağış ve sıcaklıktaki değişimlerden etkilenen evapotranspirasyon ve akım gibi hidrolojik süreçlerdeki olası değişimler tahmin edilmiştir. Bu çalışmanın 3 adımı mevcuttur:

(i) İklim değişikliği senaryoları üretilerek, seçilen bölgede yağış ve sıcaklık değişimlerinin tahmin edilmesi (GCM senaryolarının üretilmesi);

(ii) Bu değişimlerin havza bazına indirgenmesi ve Gediz ile Büyük Menderes için kurulacak havza modellerine girdi olarak sunulması; böylelikle havzalarda evapotranspirasyon ve akım süreçlerindeki değişimlerin tahmin edilmesi (havza boyutuna indirgeme-downscaling-ve havza modellemesi);

(iii) Her bir havzada, evapotranspirasyon ve akım değişkenlerinin, yağış ve sıcaklıktaki değişimlere duyarlılıklarının belirlenmesi (duyarlılık analizi).

Gediz ve Büyük Menderes Havzaları Hakkında Genel Bilgi:

Çalışma, Batı Anadolu kesiminde Ege Denizi boyunca birbirine yakın bir şekilde yer alan iki büyük nehir havzası üzerinde odaklanmaktadır (Şekil.1). Bunlardan ilki İzmir yakınındaki Gediz Havzası olup, yaklaşık 18000 km²'lik toplam drenaj alanı ile bölgedeki ikinci en büyük havzadır. Gediz Havzası'nın en belirgin özelliği, artan talepler ve çevresel kirlilik nedeniyle yaşanan su kıtlığıdır. Havzada zaman zaman yaşanan kuraklığın ötesinde, yaklaşık 110 000 ha'lık toplam sulama alanı ile en büyük kullanıcı konumundaki tarım, hızla büyüyen kentler ve sanayi gibi çeşitli su kullanıcıları arasında büyük bir rekabet yaşanmaktadır. Havzada gerçekleştirilen son su bütçesi çalışmaları, çeşitli kullanımlar için tahsis edilen toplam suyun hemen hemen toplam talebe eşit olduğunu göstermektedir. Pratikte, bunun anlamı, Gediz Havzası'nda gelecekteki su tahsisleri için yeterli kaynak bulunamayacağıdır.

Dikkate alınan ikinci havza Büyük Menderes havzasıdır. Büyük Menderes Nehri Ege bölgesindeki en uzun nehirdir. Bu nehir birçok lagünden, geniş tuz steplerinden ve çamur bölgelerinden meydana gelen geniş bir deltayla – Türkiye'nin en büyük deltası – Ege Denizi'ne ulaşmadan önce batı Türkiye'de 584 km'lik bir mesafeyi mendereslenerek kat eder.



Şekil.1 Türkiye'nin Ege kıyılarında yer alan Gediz ve Büyük Menderes Havzaları

Büyük Menderes Deltası 9800 ha'lık alanı sahip önemli bir sulak alan olup, Gediz Deltası gibi bu delta da RAMSAR koruma alanı olarak ilan edilmiştir. Büyük Menderes Havzasının toplam drenaj alanı 24976 km²'dir. 3 km³'lük yıllık toplam akış hacmi ise Türkiye su potansiyeli'nin %1.6'sını oluşturmaktadır.

Havzada, 13 baraj ve çok sayıda sulama sisteminin de arasında yer aldığı pek çok su yapısı inşa edilmiş bulunmaktadır. Havzadaki toplam sulanan tarım alanı 88 000 ha'dan fazladır. Ana ürün pamuk olup, havza Türkiye'nin başlıca pamuk üretim alanlarından birisidir. Bölgedeki üç büyük ilde, yani Aydın, Denizli ve Muğla'da, 2.5 milyonun üzerindeki bir nüfus yaşamaktadır. Bölge yalnızca tarım açısından değil, aynı zamanda endüstri, özellikle de tekstil ve turizm açısından da zengindir. Bu faaliyetler, su konusunda önemli bir talep ve rekabet ortaya koymaktadır.

Eğilim Analizi

İki havzanın iklimsel değişkenlerindeki olası değişimlere yönelik bir ön araştırma olarak, gözlenmiş akış dizileri ile seçilen önemli istasyonlardaki yağış ve sıcaklıklara ait zaman serilerinin eğilim analizleri yapılmıştır. Parametrik (Pearson'un r istatistiği) ve parametrik olmayan (Spearman'ın Rho testi) yöntemler kullanılarak gerçekleştirilen bu analizlerde, gözlenmiş verilerle zaman arasında anlamlı düzeyde bir korelasyon olup olmadığı araştırılmıştır. Korelasyon katsayısının anlamlılığı, %5 anlamlılık düzeyinde Student-t istatistiği kullanılarak değerlendirilmiştir. Trend analizleri, seçilen gözlem istasyonlarında gözlenmiş meteorolojik (yağış ve sıcaklık) (Tablo.1) ve hidrolojik (Yüzeysel akış) (Tablo.2) verilere uygulanmıştır. Şekil.2'de Gediz ve Büyük Menderes havzalarında seçilen meteoroloji ve hidrometri istasyonlarının konumları verilmektedir.

Tablo.1 Seçilen meteoroloji istasyonları

Havza	İstasyon Adı	Değişken
Gediz Havzası	Menemen	Günlük yağış
	Manisa	Günlük yağış
Büyük Menderes Havzası	Uşak	Günlük yağış
	Aydın	Aylık yağış
	Denizli	Aylık yağış

Tablo.2 Seçilen akım gözlem istasyonları

Gediz Havzasındaki İstasyonlar		Büyük Menderes Havzasındaki İstasyonlar	
EIE509	EIE523	DSI714	EIE701
EIE514	EIE524	DSI730	EIE712
EIE515	EIE525	DSI737	EIE725
EIE522	EIE527	DSI771	EIE733



Şekil.2 Seçilen meteoroloji ve hidrometri istasyonlarının konumları

Gediz ve Büyük Menderes havzalarındaki akım istasyonlarında gözlenen akım verilerinin eğilim analizlerinde, menba akım düzenlemelerinin etkilerinin görülmediği temsil edici istasyonlar, tüm havzayı kapsayacak şekilde seçilmiştir. İstasyon seçimi sırasında, bütün mevcut su yapıları belirlenmiş ve mansap akımlarına etkilerini değerlendirebilmek için işletmeye alınış tarihleri incelenmiştir.

Eğilim analizleri sonucunda, incelenen gözlem süresi boyunca Gediz havzasındaki yağışların önemli ölçüde azaldığı, sıcaklıkların ise yine anlamlı düzeyde arttığı görülmüştür. Dolayısıyla, havzadaki akışların zamanla azalması beklenmektedir; çünkü bir yandan akışların ana girdisi yağışlar azalmakta, diğer yandan yüzeyel akışları azaltan en önemli kayıp, yani evapotranspirasyon sıcaklık artışına bağlı olarak artmaktadır. Bu beklenti, çalışmanın bu aşamasında gerçekleştirilen ve havza genelinde akım dizilerinde istatistiksel olarak anlamlı düzeyde azalma eğiliminin belirlendiği analizlerle de doğrulanmıştır. Büyük Menderes havzasında ise yağış değerlerinde zamanla azalan bir gidış gözlenirse de, istatistiksel olarak anlamlı bir azalma saptanamamış; sıcaklıkta da anlamlı değişimler izlenmemiştir. Bu durumda, akımlarda da istatistiksel olarak anlamlı bir azalma beklenmemektedir. Ancak, tarihsel akış serileri ile yapılan eğilim analizlerinin sonuçları, yağış ve sıcaklıkta istatistiksel açıdan anlamlı değişimler olmamasına karşın, akımlarda, havza genelinde, istatistiksel olarak önemli ölçüde azalmalar olduğunu ortaya koymaktadır. Beklentilerin dışında saptanan bu durum, meteorolojik verilerin havza genelindeki alansal dağılımı yeterince yansıtamadığı düşüncesiyle açıklanabilir.

Gediz ve Büyük Menderes Havzalarındaki toplam 16 akım gözlem istasyonunda gözlemlenen akım zaman serilerinin eğilim analizleri, akımların istatistiksel olarak anlamlı düzeyde azaldığını göstermektedir ki bu, gelecekte ciddi su arz/talep sorunlarına neden olabilir. Dolayısıyla, iklim değişikliğinin bölgesel ölçekteki olası etkisi, her bir havzada mevcut su kıtlığı ve su tahsis sorunlarının artması şeklinde olacaktır. Bunun sonucunda, her iki havzada da, halihazırda artan antropojenik faaliyetlerin bir sonucu olarak gözlemlenmekte olan su kullanıcıları arasındaki çatışmalar daha da kötüye gidecektir.

İklim Değişikliği Senaryolarının Üretilmesi

Gediz ve Büyük Menderes havzalarının ortalanmış yağış ve sıcaklık için iklim değişikliği senaryolarının üretilmesinde, NCAR – CRU (Ulusal Atmosferik Araştırma Merkezi – İklim Araştırması Birimi) tarafından geliştirilen MAGICC/SCENGEN modelinin içerdiği çok sayıda Küresel İklim Modeli (GCM) senaryoları incelenmiştir. SCENGEN, alansal iklim değişikliği senaryosu üreten bir modeldir. MAGICC ise basit bir iklim modeli olup, belirli sera gazları ve sülfür dioksit emisyon senaryoları için küresel ortalama hava sıcaklığını ve deniz seviyesindeki yükselmeleri hesaplayabilmektedir [1].

MAGICC modelinde yer alan 49 emisyon senaryosu incelenmiş ve çalışmada, daha bölgesel ve orta düzeyde değişimlerin öngörüldüğü A2 ve B2 gruplarından IPCC 3. Değerlendirme Raporunda kullanılan A2-ASF ve B2-MESSAGE emisyon senaryolarının uygulanmasına karar verilmiştir.

IPCC SRES B2 senaryosu, dünyada ortalama bir nüfus artışı, orta seviyede bir ekonomik gelişme ve teknolojik değişim olacağını varsaymaktadır. SCENGEN, 2030 itibarıyla 0.85°C, 2050 itibarıyla 1.33°C ve 2100 itibarıyla 2.48°C bir küresel ortalama sıcaklık artışı olacağını öngörmektedir. IPCC SRES A2 senaryosu ise, dünyada nüfus artışının yüksek, ekonomik gelişme ve teknolojik seviyesinin orta olacağını varsaymaktadır. SCENGEN 2030 itibarıyla 0.67 °C, 2050 itibarıyla 1.29°C ve 2100 itibarıyla 3.47°C'lik bir ortalama küresel sıcaklık artışı olacağını öngörmektedir.

Bir sonraki adımda, bölgesel tahminlerde kullanılacak GCM'leri belirlemek üzere hata analizleri yapılmıştır. Bu işlem sırasında, 17 GCM modelinin tümünün kullanılması durumundaki tahminlere ait toplam hata hesaplanmış ve daha sonra, sıcaklık ve yağış değişkenlerinin herbiri için, herbir dönemdeki (yıllık, mevsimsel veya aylık) tahminleri en az hata ile üreten GCM kombinasyonları belirlenmiştir. Daha sonra, bu kombinasyonlar araştırılan bölgelerdeki sıcaklık ve yağıştaki değişiklikleri üretmek için kullanılmıştır.

Son olarak, SCENGEN paketi ile, küresel ölçekte elde edilen bu değişim senaryolarının bölgesel ölçüğe dönüştürülmesi işlemi gerçekleştirilmiştir. Bölgesel analizlerde, yıllık, mevsimsel (4 adet) ve aylık (12 adet) sıcaklık ve yağış değişimleri ayrı ayrı ele alınmıştır. Bu işlemler her iki (A2-ASF ve B2-MESSAGE) emisyon senaryoları ve üç farklı projeksiyon yılı (2030, 2050 ve 2100) için tekrarlanmıştır. Sıcaklık ve yağıştaki tahmini değişimler Tablo. 3 ila Tablo.6'da özetlenmiştir.

Tablo.3 IPCC B2- MIES senaryosu altında sıcaklıkta üretilen değişimler

Dönem	Baz Senaryo			2030		2050		2100	
	Gözlemlenen		Modellenen	Değişim	Varyanstaki Değişim	Değişim	Varyanstaki Değişim	Değişim	Varyanstaki Değişim
	Ortalama	Ortalama	Std. Sapma						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	°C	°C	°C	°C	%	°C	%	°C	%
Yıllık	16.3	16.4	0.4	1.2	5.1	1.8	7.9	3.2	14.7
DJF	9.4	9.4	0.8	1.0	-2.5	1.5	-3.9	2.6	-7.2
MAM	14.4	14.4	0.6	1.1	2.7	1.7	4.1	2.9	7.7
JJA	23.4	23.5	0.6	1.6	3.8	2.4	5.9	4.1	10.9
SON	17.8	17.8	0.8	1.4	-2.0	2.0	-3.1	3.6	-5.7
Ocak	8.7	9.0	1.4	0.9	1.1	1.4	1.7	2.5	3.1
Şubat	9.2	9.3	1.2	0.9	5.6	1.3	8.8	2.4	16.4
Mart	10.9	10.9	1.0	0.8	-4.6	1.2	-7.2	2.1	-13.4
Nisan	14.2	14.3	0.8	1.1	0.6	1.6	0.9	2.7	1.8
Mayıs	18.0	17.9	0.9	1.4	7.1	2.1	11	3.7	20.5
Haziran	21.8	21.9	1.1	1.6	5.1	2.3	7.9	4.1	14.8
Temmuz	24.1	23.9	0.8	1.6	-0.5	2.3	-0.7	4.1	-1.3
Ağustos	24.4	24.4	0.8	1.7	-1.1	2.6	-1.6	4.5	-3.1
Eylül	21.7	21.6	0.8	1.5	1.5	2.2	2.3	3.8	4.3
Ekim	17.8	17.8	1.1	1.4	2.5	2.1	3.9	3.7	7.3
Kasım	14.0	13.8	1.1	1.1	0.4	1.6	0.6	2.7	1.1
Aralık	10.4	10.5	1.3	1.0	-3.2	1.5	-4.9	2.6	-9.2

- Sütun1: Gözlemlenen Baz. Bu, baz döneme ait gözlenmiş iklimsel veridir. SCENGEN, küresel olarak belirlenen CMAIP [2] yağış ve CRU [3] sıcaklık klimatolojilerini kullanmaktadır.
- Sütun2: Modellenen Baz: 1990 ikliminin model simülasyonu (baz).
- Sütun3: S.D.Baz: Bugünün ikliminin seçilen GCM/GCM'ler ile simüle edilmiş haliyle standart sapması (yıllar arası değişkenlik)
- Sütun 4-6 ve 8: Değişim: 1990 baz alındığında seçilen dönem için değışkenlikte değişim. Bu değerler, bölgesel ölçüğe indirgenmiş iklim senaryolarının hazırlanması için gözlemlenen iklim verilerine eklenebilir.
- Sütun 5-7 ve 9: S.D.Değişim: GCM'ler tarafından simüle edilen seçilen iklim değışkeninin standart sapmasındaki değışim yüzdesi.

Tablo.4 IPCC A2- ASF Senaryosu uyarınca üretilen sıcaklıktaki değışimler

Dönem	Baz Senaryo			2030		2050		2100	
	Gözlemlenen		Modellenen	Değişim	Varyanstaki Değişim	Değişim	Varyanstaki Değişim	Değişim	Varyanstaki Değişim
	Ortalama	Ortalama	Std. Sapma						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	°C	°C	°C	°C	%	°C	%	°C	%
Yıllık	16.3	16.4	0.4	1.2	4.0	2.0	7.7	4.4	20.6
DJF	9.4	9.4	0.8	1.0	-2.0	1.6	-3.8	3.5	-10.1
MAM	14.4	14.4	0.6	1.2	2.1	1.9	4.0	4.1	10.8
JJA	23.4	23.5	0.6	1.5	3.0	2.5	5.7	5.5	15.3
SON	17.8	17.8	0.8	1.2	-1.6	2.0	-3.0	4.7	-8.0
Ocak	8.7	9.0	1.4	1.0	0.8	1.6	1.6	3.6	4.3
Şubat	9.2	9.3	1.2	0.7	4.4	1.2	8.6	3.1	22.9
Mart	10.9	10.9	1.0	1.0	-3.6	1.6	-7.0	3.1	-18.8
Nisan	14.2	14.3	0.8	1.2	0.5	1.9	0.9	3.7	2.5
Mayıs	18.0	17.9	0.9	1.3	5.6	2.2	10.7	5.0	28.7
Haziran	21.8	21.9	1.1	1.5	4.0	2.5	7.7	5.5	20.7
Temmuz	24.1	23.9	0.8	1.5	-0.4	2.4	-0.7	5.4	-1.9
Ağustos	24.4	24.4	0.8	1.6	-0.8	2.7	-1.6	6.0	-4.3
Eylül	21.7	21.6	0.8	1.2	1.2	2.1	2.3	5.1	6.1
Ekim	17.8	17.8	1.1	1.3	2.0	2.1	3.8	4.9	10.2
Kasım	14.0	13.8	1.1	0.9	0.3	1.5	0.6	3.5	1.5
Aralık	10.4	10.5	1.3	1.2	-2.5	1.9	-4.8	3.5	-12.9

Tablo.5 IPCC B2 – MES Senaryosu uyarınca üretilen yağıştaki değişimler

Dönem	Baz Senaryo			2030				2050				2100	
	Gözlemlenen		Modellenen	Değişim	Varyanstaki		Değişim	Varyanstaki		Değişim	Gözlemlenen		
	Ortalama	Ortalama	Std. Sapma		Değişim	Değişim		Değişim	Değişim		Değişim	Değişim	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9				
Yıllık	1.7	1.7	0.2	-5.0	5.6	-8.0	8.7	-15.4	16.2				
DJF	3.3	3.1	0.7	-2.7	-2.6	-4.7	-4.0	-10.2	-7.5				
MAM	1.7	1.6	0.4	-5.1	-1.9	-7.9	-3.0	-14.4	-5.6				
JJA	0.3	0.3	0.1	-26.1	-5.5	-36.8	-8.5	-59.9	-15.9				
SON	1.5	1.5	0.4	-9.0	-1.6	-14.5	-2.5	-28.1	-4.6				
Ocak	3.2	3.2	1.1	-3.3	8.9	-5.5	13.8	-11.6	25.8				
Şubat	2.9	2.7	1.1	-0.7	-14.2	-2.6	-22.0	-7.9	-41.1				
Mart	2.4	2.2	0.9	-0.2	-3.2	-0.1	-4.9	-0.6	-9.2				
Nisan	1.5	1.5	0.5	-5.9	13.6	-9.3	21.1	-16.2	39.5				
Mayıs	1.0	1.0	0.4	-12.4	-10.0	-18.7	-15.6	-31.6	-29.2				
Haziran	0.5	0.5	0.3	-24.9	-0.6	-35.9	-1.0	-59.3	-1.8				
Temmuz	0.3	0.3	0.2	-35.2	-9.3	-47.6	-14.5	-73.0	-27.0				
Ağustos	0.2	0.2	0.1	-13.5	-16.1	-20.4	-25.1	-37.2	-46.8				
Eylül	0.4	0.4	0.3	-9.9	-6.8	-15.7	-10.6	-30.1	-19.8				
Ekim	1.3	1.3	0.8	-17.1	-10.5	-26.5	-16.3	-48.5	-30.4				
Kasım	2.9	2.8	1.0	-6.2	1.2	-10.5	1.9	-21.6	3.5				
Aralık	3.8	3.5	1.2	-4.4	3.2	-6.5	5.0	-12.1	9.3				

Tablo.6 IPCC A2 – ASF Senaryosu uyarınca üretilen yağıştaki değişimler

Süre	Baz Senaryo			2030				2050				2100	
	Gözlemlenen		Modellenen	Değişim	Varyanstaki		Değişim	Varyanstaki		Değişim	Varyanstaki		
	Ortalama	Ortalama	Std. Sapma		Değişim	Değişim		Değişim	Değişim		Değişim		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9				
Yıllık	1.7	1.7	0.2	-5.8	4.4	-10.2	8.5	-23.8	22.7				
DJF	3.3	3.1	0.7	-5.6	-2.0	-9.2	-3.9	-19.0	-10.5				
MAM	1.7	1.6	0.4	-7.4	-1.5	-11.5	-2.9	-21.9	-7.8				
JJA	0.3	0.3	0.1	-15.5	-4.3	-26.4	-8.3	-66.3	-22.3				
SON	1.5	1.5	0.4	-4.8	-1.3	-11.9	-2.4	-39.6	-6.5				
Ocak	3.2	3.2	1.1	-7.8	7.0	-11.9	13.5	-22.0	36.1				
Şubat	2.9	2.7	1.1	-1.2	-11.2	-4.5	-21.5	-16.3	-57.6				
Mart	2.4	2.2	0.9	-9.9	-2.5	-11.6	-4.8	-8.4	-12.8				
Nisan	1.5	1.5	0.5	0.3	10.7	-3.1	20.6	-17.4	55.2				
Mayıs	1.0	1.0	0.4	0.0	-7.9	-5.9	-15.3	-32.0	-40.8				
Haziran	0.5	0.5	0.3	-1.1	-0.5	-10.4	-1.0	-57.5	-2.6				
Temmuz	0.3	0.3	0.2	-3.7	-7.3	-11.5	-14.1	-59.7	-37.8				
Ağustos	0.2	0.2	0.1	-19.2	-12.7	-29.5	-24.5	-56.8	-65.5				
Eylül	0.4	0.4	0.3	-6.9	-5.4	-14.5	-10.3	-42.9	-27.7				
Ekim	1.3	1.3	0.8	-1.8	-8.2	-11.7	-15.9	-58.1	-42.6				
Kasım	2.9	2.8	1.0	-6.1	1.0	-12.6	1.8	-34.5	4.9				
Aralık	3.8	3.5	1.2	-7.2	2.5	-10.6	4.9	-19.3	13.0				

B2-MESSAGE ve A2-ASF senaryolarından elde edilen sonuçlara göre, 2030 yılı için yıllık ortalama sıcaklıkta 1.2°C'lik bir artış ve yıllık ortalama yağışta %5'lik bir azalma beklenebilir. 2050 yılında yıllık ortalama sıcaklık artışı 2°C, ve yıllık ortalama yağıştaki azalma yaklaşık %10 civarındadır. Diğer taraftan, GCM'lerde uygulanan varsayımlar nedeniyle, 2030 ve 2050 tahminlerine kıyasla, 2100 yılı sıcaklık ve yağış tahminlerinin çok daha fazla değişken olduğu görülmektedir. Bu nedenle, 2100 yılı tahminleriyle ilgili herhangi bir yorum yapmak riskli olacaktır.

Model tahminleri bağlamında, aylık sıcaklıklardaki artış, yazların daha sıcak, kışların ise daha ılık geçeceğini işaret etmektedir. Yağışlarda ayların tümü itibarıyla bir azalma beklenmektedir. Bölgede yazların zaten kurak geçmesi ve su kaynakları açısından önemli yağışların bahar aylarında oluşması nedeniyle, ilkbahar ve sonbahar yağışlarındaki düşüşler özellikle önemlidir. Bu dönem yağışlarındaki olası azalmaların, yüzeyel akışlarda azalmaya yol açması kuvvetle muhtemeldir.

İklim Değişikliğinin Su Kaynakları Üzerindeki Etkilerinin İrdelenmesi

Sera etkisi nedeniyle ortaya çıkan küresel ısınmanın hidrometeorolojik koşullarda değişikliklere neden olması kaçınılmaz bir sonuçtur [4]. Genel olarak, iklim değişikliği ve bunun neden olduğu hidrometeorolojik koşullardaki değişimlerin yağış, evapotranspirasyon ve akış gibi süreçlerin gerek büyüklüklerinde, gerekse zaman ve alansal dağılımlarında değişimlere neden olması beklenmektedir. Örneğin, sellerin nadir görüldüğü bölgeler daha sık ve şiddetli taşkınlarla karşılaşırken, sulak bölgelerde kuraklık ve su kıtlığı önemli sorunlar olarak ön plana çıkacaktır [5, 6]. Bu nedenle, iklim değişikliğinin hidroloji ve su kaynakları üzerindeki bölgesel ve yerel etkilerinin belirlenebilmesi için, Küresel İklim Modelleri (GCM) ve hidrolojik modeller bir arada kullanılarak irdelenmeleri gerekmektedir [7].

Bu bölüm, önceki bölümde belirlenen küresel iklim değişikliği senaryolarında ortaya çıkan sıcaklık ve yağış değişimlerinin, Gediz ve Büyük Menderes nehir havzalarının akışları üzerindeki olası etkilerinin parametrik bir su bütçesi simülasyonu modeli aracılığı ile belirlenmesi çalışmalarını kapsamaktadır. Aylık yağış (P) ve potansiyel evapotranspirasyon (PET) değerlerini girdi olarak alan parametrik model, modifiye Thornthwaite su bütçesi modeli olarak adlandırılmaktadır. Modelin kalibre edilecek parametreleri; maksimum toprak nemi SMAX (mm), yüzeyaltı akış katsayısı SSRC, yeraltı suyu akış katsayısı GWRC, ve yüzeyel akış katsayısı SRC'dir. Çıkış değişkenleri modellenmiş akışlar Q (mm) ve toprak nemidir S (mm). Bu modelde, potansiyel evapotranspirasyonu (PET) sıcaklığın üssel bir fonksiyonu olarak tanımlanmıştır (PET=Ae^{B_i}) ve A ve B potansiyel evapotranspirasyon parametreleridir.

Modelde her bir ay için, potansiyel evapotranspirasyonu (PET) sıcaklığın (T) bir fonksiyonu olarak hesaplanmaktadır. Yağışın (P), SRC x P kısmı hızlı yüzeyel akış olarak ayrılmaktadır ve potansiyel evapotranspirasyonu P-(SRC x P) ile karşılaştırılmaktadır. Bu miktarın potansiyel evapotranspirasyonu karşılamaması halinde, aradaki fark bir önceki ayın toprak neminden karşılanmaktadır. Bu durumda ise mevcut ayın zemin nemi azaltılmaktadır. Her hangi bir ayda zemin neminin maksimum tutma kapasitesini (SMAX) aşması durumunda fazla su SSRC parametresi ile yüzeyaltı akış olarak nehre yönlendirilmektedir. Geriye kalan bölümü ise yeraltı suyu depolamasına geçmektedir. Yeraltı suyu depolamasının nehir akımına katkısı, bir önceki ayın yeraltı suyu depolamasının GWRC kadarlık bir kısmı ile modellenmektedir. Bu durumda herhangi bir i ayına ait yüzeyel akış aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

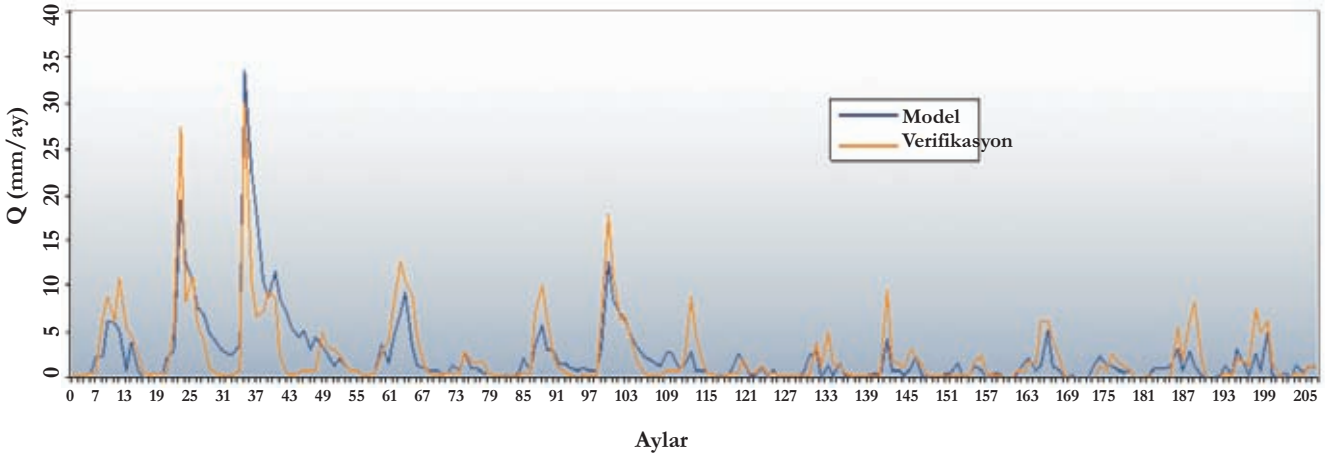
$$Q_i = SRC.P_i + SSRC.SSW_i + GWRC.GW_{i-1} \quad (1)$$

Burada, SRC yüzeyel akış katsayısı; P_i i'inci aydaki yağış (mm); SSRC, yüzeyaltı akış katsayısı; SSW_i i'inci ayda aşılacak yüzeyaltı depolaması (mm); GWRC, yeraltı suyu akış katsayısı; ve GW_{i-1}, i-1'inci aydaki yeraltı depolaması (mm) olmaktadır.

Modelin kalibrasyonu gözlemlenen ve modellenen akış değerleri arasındaki korelasyon esas alınarak gerçekleştirilmiştir. Bunun yanında, modellenen akış serilerinin istatistikleri ile gözlemlenen akış serilerinin istatistikleri model parametrelerinin uygunluğunun test edilmesinde dikkate alınmıştır. Kalibrasyon sürecinde belirlenen model parametreleri, verifikasyon dönemi için de denenerek doğrulanmıştır. Doğrulanmış model parametreleri 2030, 2050 ve 2100 yılları için iklim değişikliği senaryolarında kullanılmıştır. İki havzadaki nehir akışları büyük ölçüde su yapısının düzenleyici etkileri altında bulunduğu için, doğal akım gözlemlerine sahip sadece birkaç akım istasyonu mevcuttur. Bu nedenle, Gediz havzasının Medar kolundaki EIE509 (902 km³) ve Büyük Menderes'in Çine kolundaki EIE701 (948 km³) akım istasyonları model uygulamaları için temsili istasyonlar olarak ele alınmışlardır.

EIE509 istasyonuna ait akışlarının simülasyonu için, Gediz Havzasında yer alan Akhisar meteoroloji istasyonunun yağış ve sıcaklık kayıtları kullanılırken, Büyük Menderes havzasındaki EIE701 istasyonu için Yatağan meteoroloji istasyonunun kayıtlarından faydalanılmıştır. EIE509 ve EIE701 akışlarının kalibrasyonu, sırasıyla, 1962 – 1979 ve 1990 – 1995 yıllarına ait gözlemlenen akım serileri ile gerçekleştirilmektedir. Kalibre edilen parametreler iki istasyon için sırasıyla 1980-1996 ve 1996-2000 dönemlerine ilişkin olarak doğrulanmıştır.

Örnek olarak, Şekil.3'de Gediz havzasındaki EIE509 istasyonu için gözlemlenen ve modellenen akımların gidiş grafikleri verilmektedir. Tablo.7'de ise her iki istasyon için kalibrasyon ve verifikasyon dönemi istatistikleri verilmektedir.



Şekil.3 Gediz Havzasında EIE509 istasyonunun gözlemlenen ve modellenen akım serileri (1980-1996 verifikasyon)

Tablo.7 EIE509 ve EIE701 istasyonları için kalibrasyon ve verifikasyon kriterleri

EIE509	Kalibrasyon		Verifikasyon	
	Model	Gözlemlenen	Model	Gözlemlenen
Ortalama	4.0 mm/ay	4.1 mm/ay	2.2 mm/ay	2.5 mm/ay
Korelasyon	0.76		0.78	

EIE701	Kalibrasyon		Doğrulama	
	Model	Gözlemlenen	Model	Gözlemlenen
Ortalama	2.3 mm/ay	2.6 mm/ay	6.1 mm/ay	5.4 mm/ay
Korelasyon	0.78		0.80	

Tablo.8 Yağış ve sıcaklıktaki değişime karşı akımlardaki değişimler

ΔQ (%)	ΔP (%)				
	-10%	-5%	0%	+5%	+10%
+2	-52	-37	-20	-1	22
+1	-46	-29	-11	11	36
0	-38	-21	0	24	52
-1	-31	-12	12	37	70
-2	-23	-1	23	54	88

Tablo.9 Gediz ve Büyük Menderes Nehir Havzalarında 2030, 2050 ve 2100 yıllarındaki iklim koşulları altında akımlardaki değişimler

	2030		2050		2100	
	B2	A2	B2	A2	B2	A2
EIE509 Gediz Havzası	-%23	-%32	-%35	-%48	-%58	-%71
EIE701 B. Menderes Havzası	-%10	-%21	-%20	-%38	-%45	-%71

Tablo.10 Gediz ve Büyük Menderes havzalarında seçilen meteoroloji istasyonlarında potansiyel evapotranspirasyon (PET) ve su talebindeki ortalama artışlar

	2030				2050				2100			
	B2		A2		B2		A2		B2		A2	
	PET (%)	Talep (%)	PET (%)	Talep (%)	PET (%)	Talep (%)	PET (%)	Talep (%)	PET (%)	Talep (%)	PET (%)	Talep (%)
GEDİZ												
Menemen	12	13	10	11	16	20	17	19	27	36	36	47
Manisa	10	14	9	11	15	20	15	19	26	37	35	48
B.MENDERES												
Denizli	11	16	8	12	15	23	16	21	26	42	35	54
Nazilli	10	12	9	10	14	18	15	18	24	33	33	44

Model kalibrasyonundan sonraki aşamada, yağış ve sıcaklıkta öngörülen değişiklikler nedeniyle akımlardaki değişimlerin belirlenmesi amacıyla iklim değişikliği senaryoları altında su bütçesi modelinin çalıştırılması yoluyla duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma Gediz havzasındaki EIE509 istasyonu için yapılmıştır, çünkü bu istasyon yeterince uzun veri kayıtlarına sahiptir. Tablo 8'de, bu çalışmanın sonuçları, akım miktarına karşılık yağış ve sıcaklıktaki hipotetik değişiklikler olarak verilmektedir. Bu tabloya göre akımların, sıcaklıkta meydana gelen bir artışa paralel olarak %11 ila %20 oranında azaldığı; yağışta meydana gelen düşüşe bağlı olarak ise %21 ila %38 arasında azaldığı görülmektedir.

Modelleme çalışmasının son basamağında, su bütçesi modeli 2030, 2050 ve 2100 iklim koşullarının senaryoları altında işletilmiştir (IPCC SRES A2 ve B2). B2 ve A2 iklim değişikliği senaryolarındaki yağıştaki azalmalar ve sıcaklıktaki artışlar nedeniyle akımlarda meydana gelebilecek düşüşler Tablo 9'da verilmiştir. Buna göre su bütçesi modelinin öngörülen iklim değişikliği senaryoları altındaki simülasyon sonuçları, 2030 yılında yüzey sularının yaklaşık %20 azalacağını göstermektedir. 2050 ve 2100 yıllarında, akımlardaki azalma oranı sırasıyla yaklaşık %35'e ve %50'nin üzerine çıkmaktadır. Havzaların azalan yüzeyel su potansiyeli tarımsal, evsel ve endüstriyel su kullanıcıları arasında zaten varolan sorunların ciddi boyutlara ulaşmasına neden olacaktır.

Bu çalışmada ayrıca, B2 ve A2 iklim değişikliği senaryolarına göre havzaların bitki su ihtiyaçlarındaki değişimler de değerlendirilmiştir. Seçilen bitkilerin aylık potansiyel evapotranspirasyon (PET) değerleri, sulama planlamasında yaygın olarak kullanılan Blaney-Criddle formülü ile hesaplanmıştır. Çalışma sonuçları B2 ve A2 iklim değişikliği senaryolarına göre hesaplanan PET ve bitki su talebi değerlerinin 2100 yılı için önemli ölçüde artacağını göstermektedir. Her ne kadar hesaplanan PET değerlerindeki artışlar 2030, 2050 ve 2100 yılları için sırasıyla yaklaşık olarak %10, %15 ve %30 olsa da, iklim değişikliği senaryolarındaki etkin yağış değerlerindeki düşüşler nedeniyle sulama suyu ihtiyaçları daha da yüksek çıkacaktır (Tablo.10)

Sonuç

Bu çalışmada, Gediz ve Büyük Menderes Havzalarının 1960 ve 2000 yılları arasındaki gözlenmiş akım serileri üzerinde trend analizleri yapılmış ve doğal akımların bu süre içerisinde anlamlı ölçüde azaldığı gösterilmiştir. Sonuç olarak, Gediz ve Büyük Menderes havzalarında iklim değişikliğinin bölgesel ölçekte beklenen etkilerinin, havzalarda zaten mevcut olan su kıtlığı ve su tahsisi problemlerini kapsam ve boyut açısından daha da artıracığı söylenebilir. Bunun sonucunda, her iki havzadaki yoğun antropojenik faaliyet nedeniyle su kullanıcıları arasında halihazırda başlamış olan çatışmalar daha da artacaktır.

Çalışmada ayrıca, havzalarda farklı emisyon senaryoları göz önüne alınarak gerçekleştirilen geleceğe yönelik iklim projeksiyonları küresel iklim modelleri GCM'ler tarafından değerlendirilmiştir. B2 – MESSAGE ve A2 –ASF sonuçlarına göre, aylık sıcaklıklardaki artışlar ve yağışlardaki düşüşler belirlenmiştir. Senaryo sonuçları, havzalarda yazların daha kurak, kışların ise daha ılık geçeceğini göstermektedir.

Küresel İklim Modeli sonuçları her ne kadar tüm aylar için yağışta azalmalar öngörse de, ilkbahar ve sonbahar yağışlarındaki azalmalar özellikle önemli niteliktedir. Çünkü, bölgede yazlar halihazırda kurak geçerken, ilkbahar ve sonbahar yağışları önemli bir su potansiyeli niteliği taşımaktadır. Çalışmada gerçekleştirilen su bütçesi modelinin simülasyon sonuçları Gediz ve Büyük Menderes havzalarının yüzey suyu potansiyelinin, su kullanıcıları arasında ciddi su sorunları yaratacak kadar düşeceğini göstermiştir. Ayrıca, artan potansiyel evapotranspirasyon değerleri, sulama suyu talebinin büyük ölçüde artacağına işaret etmektedir.

Referanslar

- [1] Raper, S.C.B., Wigley, T.M.L. and Warrick, R.A. (1996) Global sea level rise: past and future, In: Sea-Level Rise and Coastal Subsidence: Causes, Consequences and Strategies (eds. J. Milliman and B.U. Haq), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 11-45.
- [2] Xie, P. and Arkin, P. (1997) Global precipitation: a 17-year analysis based on gauge observations, satellite estimations and numerical model outputs, Bull. Amer. Meteor. Soc., 78, 2539-2558.
- [3] New, M. G., M. Hulme, and Jones, P. D. (1999) Representing twentieth century space-time climate variability. Part I: Development of a 1961-1990 mean aily terrestrial climatology, Journal of Climate, 12, 829-856.
- [4] WMO/ICSU/UNEP (1989) The full range of responses to anticipated climate change, United Nations Environmental Programme: Global Environmental Monitoring System.
- [5] Miller, B.A. (1989) Global climate change—Implications of large water resource systems, Proceedings of the 1989 National Conference on Hydraulic Engineering, New Orleans, Louisiana.
- [6] Tegtart, W.J., Sheldon, G.W. and Griffiths, D.C. (eds) (1990) Climate Change: The IPCC Scientific Assessment Report, Australian Government Publishing Service, Canberra, Australia.
- [7] Kunz, R.P. (1993) Techniques to assess possible impacts of climate change in Southern Africa, Unpublished M.Sc. dissertation, Dept. of Agricultural Engine.

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN BÜYÜK MENDERES NEHRİ EKOSİSTEMİNE ETKİLERİ

Prof. Dr. Nilgün Kazancı

Hacettepe Üniversitesi, Biyoloji Bölümü

Özet

İklim değişikliğinin, Büyük Menderes Nehri'nin habitat kalitesinde ortaya çıkaracağı değişikliklere ilişkin öngörüler için bentik makroinvertebrat faunası ile fiziksel-kimyasal özellikler arasındaki ilişkiyi araştırmak için çoklu değişken yöntemleri kullanılmış ve canlıların dağılımı su kalitesi ile birlikte yorumlanmıştır. Bentik makroinvertebratların dağılımlarında ortaya çıkabilecek değişimlere ilişkin öngörüler nehrin gelecekteki habitat kalitesi hakkında da yorum yapılabilmesini sağlamıştır.

Giriş

Küresel iklim değişikliği ile 2100 yılına kadar dünyada sıcaklığın 1.5-5.8 °C arasında artması öngörülmektedir (Harrison vd. 2003). Dünyadaki bazı bölgeler iklim değişikliği sonucunda daha çok yağış alırken bir bölümünde kuraklık ortaya çıkacak ve tatlısu kaynaklarının dünyadaki dağılımı buna bağlı olarak da insanların yerleşim alanları değişecektir.

Tatlısu ekosistemleri (akarsu, göl, sulakalanlar, soğuk ve sıcak su kaynakları) iklim değişikliğinden önemli derecede etkilenecek ekosistemlerin başında gelmektedir.

Türkiye küresel ısınmanın belirlenen etkileri yönünden risk grubu ülkeler arasında kabul edilmektedir. Bunun en önemli nedeni, Akdeniz iklim özelliklerinin geniş bir alanda görülmesidir. Akdeniz ikliminin özellikleri olan yaz kuraklığı, ani yoğun yağışlar, seller, sert rüzgarlar bu iklimin hüküm sürdüğü bölgeleri iklim değişikliğine daha hassas hale getirmektedir (Blondel, Aronson 1999).

Türkiye'de, iklim değişikliğinin neden olduğu sıcaklık artışı ve sucul ekosistemler üzerine olumsuz etkileri açıkça görülmektedir. Yaz ve ilkbahar mevsimlerindeki sıcaklıklarda artma eğilimleri özellikle Akdeniz ikliminin hakim olduğu bölgelerde net olarak görülmektedir (Türkeş et al. 2002). Yıllık ortalama yağış miktarındaki azalma da özellikle batıda, güneyde ve Karadeniz Bölgesi'nde açıkça görülmektedir. Kahya ve Kalaycı (2003)'ya göre batı bölgelerimizdeki akarsuların taşıdıkları su miktarındaki azalma belirgindir. Ayrıca Akdeniz, İç Anadolu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerindeki akarsuların taşıdıkları su miktarındaki azalmalar da saptanmıştır.

İklim değişikliğinin sucul ekosistemlerde bozulmaya neden olacak önemli sonuçları, su sıcaklığının artması ve yağış miktarındaki değişikliklere bağlı olarak su miktarı ile akıntı hızındaki değişikliklerdir. Bu iki etmen sucul ekosistemlerde bir çok ekolojik süreci düzenlemektedir.

Çalışma alanının (Büyük Menderes Nehri) tanımı

Büyük Menderes Nehri, Güneybatı Anadolu'da (37° ve 38° K; 27° ve 29° D) yer alan Doğu Akdeniz'in önemli sulakalanlarını (Bafa Gölü vd.) içeren biyolojik çeşitlilik yönünden önemli bir akarsu havzasıdır (Şekil.1)



Şekil.1 Büyük Menderes Nehri Havzası

Drenaj alanı 24.000 km²'dir. İzmir'in 100 km güneyinden Ege Denizi'ne dökülür. Büyük Menderes Nehri'nin ve Bafa Gölü'nün fiziksel, kimyasal özellikleri, fauna, flora yapısı, ekosistemlerin karşılıklı etkileri ve korunmalarına yönelik öneriler Kazancı vd. (1999, 2000) ve Dügel, Kazancı (2004) tarafından ele alınmıştır.

Kullanılan Yöntemler

Bentik makroinvertebratlara ve fiziksel-kimyasal özelliklere ilişkin bilgiler, Büyük Menderes Nehri drenajındaki birinci ve beşinci nehir sırasındaki akarsu istasyonlarından elde edilmiştir. Bentik makroinvertebratlar ve fiziksel-kimyasal değişkenler arasındaki ilişki kanonik uyum analizi ile (CCA; Ter Braak 1988) saptanmıştır. İndikatör türler, iki yönlü indikatör tür analizi (TWINSPAN; Hill 1979) kullanılarak belirlenmiştir. Ortaya çıkan model, iklim değişikliğinin Büyük Menderes Nehri üzerine etkilerini öngörebilmek için yorumlanmıştır.

Bulgular ve Tartışma

Akarsularda, ekosistemin yapısı için akıntı hızı belirleyici en önemli faktörlerdendir. Büyük Menderes Nehri'nde de akıntı hızında ve su miktarında ortaya çıkacak değişiklikler, habitat kalitesinde düşüşe neden olacaktır. Yağışların aşırı artışı veya azalışı ile ortaya çıkacak sorunlar farklı olmakla beraber, akarsuların habitat kaliteleri üzerinde (su kalitesi ve buna bağlı olarak akarsudaki canlı grupları üzerinde) önemli derecede yıkıcı etkileri olacaktır.

Ayrıca, Akdeniz iklim bölgesindeki sucul ekosistemler, iklim değişikliğinin yanı sıra yaz döneminde ortaya çıkan (yaz döneminin sıcak ve kurak olması nedeniyle) kuraklık ve yağışlı dönemlerde görülen seller nedeniyle de ayrı bir tehdit altındadır. Akdeniz iklim bölgelerinde görülen kuraklık ve seller iklim değişikliğinin etkisi ile daha şiddetli ve sık olarak izlenecektir.

Sucul ekosistemlerin çevre kalitesi üzerine (akarsular, göller, sulakalanlar vd.) iklim değişikliğinin yarattığı etkileri görebilmek ve geleceğe yönelik olarak planlama yapabilmek için canlı kompozisyonunun yapısını ve ekolojik indikatör canlıları tesbit ederek değişimleri gözlemek, izlemek (monitoring) gereklidir. İzleme yöntemlerinin yalnızca suyun fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirleyecek şekilde kullanılması çoğu kez eksik hatta yanlış sonuçlara ulaşmaya neden olabilir. Bir ekosistemde çeşitli nedenlerle ortaya çıkacak değişimleri saptayarak korumak ve kullanım şekillerini belirlemek için o ekosistemin canlılarını göz önüne almak gereklidir. Çünkü, bu ekosistemler sonuçta içlerindeki canlılar korunduğu sürece sağlıklı demektir. Canlı kompozisyonundaki bozulmalar, daha ileri düzeyde bozulmalara ulaşmadan saptanırsa uyarıcı olur ve önlem alınabilir. Çeşitli canlı grupları değişik ekosistemler için bu amaçla (bozulmayı başlangıç döneminde iken belirleyebilmek için) kullanılabilir.

Akarsu ekosistemlerinde, çeşitli çevresel etkilerle ortaya çıkan değişiklikleri belirlemek ve izlemek için en kullanışlı canlılar bentik makroinvertebratlardır (Rosenberg and Resh 1993). Bu canlılar çok uzun süreli bir çok ülke tarafından su kalitesini izleme amacı ile kullanılmaktadır. Çünkü bentik omurgasızlar buldukları ortama vücut şekilleri, yaşama şekilleri, davranış özellikleri vd. ile çok iyi uyum sağlamışlardır. Habitatlarda ortaya çıkacak hafif değişiklikler dahi bu canlıların kompozisyonlarını ve indikatör canlıları etkileyecektir. Ancak, Türkiye'de bir ekosistemdeki canlıların uzun süreli izlenmesi ile elde edilen bilgi birikimi yoktur. Dünyada da iklim değişikliğinin bir ekosistem üzerine etkisini ortaya çıkaracak şekilde canlılara ilişkin uzun süreli veri birikimi oldukça sınırlıdır. Bu nedenle elde edilen bilgiler ile ileriye yönelik öngörülerde bulunmak olanaklıdır. Bu yöntemle elde edilecek sonuçlar bundan sonraki yorumlar için kullanılabilir.

Çevre kalitesine ilişkin çalışmalarda, canlılar ile elde edilen fizikokimyasal verilerin birlikte değerlendirilmesinde, çok değişkenli analiz yöntemlerinin kullanılması, sağlıklı sonuçlara ulaşmada en elverişli yöntemlerdendir. İklim değişikliğinin sucul habitatlardaki canlıların dağılımına etkisini öngörebilmek ve habitatların kalitesindeki değişimi bu yolla yorumlayabilmek için çok değişkenli analizlerle elde edilen sonuçlar kullanılabilir. Bu yöntemlerin, iklim değişikliğinin Simuliidae türlerinin ve bentik makroinvertebrat türlerinin dağılımına etkisini öngörebilmek için bir model oluşturmada kullanılmaları ile Türkiye faunasına da ilk uygulamalar yapılmıştır (Kazancı 2006, Kazancı, Dügel 2006).

Büyük Menderes Nehri'nde, iklim değişikliğinin ekosistemde ortaya çıkaracağı bozulmalardan olumsuz yönde etkilenecek ve daha az etkilenecek makroinvertebrat toplulukları ve ekolojik indikatör canlıların çoklu değişken yöntemleri kullanılarak belirlenmesi ile bir model oluşturulmuştur. İzleme çalışmaları ile komünitelerdeki değişiklik ve indikatör olarak belirlenen taksonların, ortadan kalkmaları veya yayılmaları ekosistemdeki bozulmaların hangi düzeye vardığını gösterecektir.

Kanonik Uyum Analizi

İklim değişikliği nedeni ile sıcaklık artışı nehir suyunun sıcaklığında da artışa neden olacaktır. Sucul organizmaların hayat döngüleri sıcaklık düzeyi ile yakından ilişkilidir. Artan sıcaklıkla bir çok tür ortadan kalkarken sıcaklığa, düşük oksijen seviyesine ve düşük akıntı hızına dayanıklı (bu değişkenler nitrit, nitrat, ortofosfat vd. değişkenleri de etkileyecektir) diğer az sayıda tür bütün ekosisteme hakim duruma geçecektir. Çoklu değişken yöntemlerinden olan kanonik uyum analizi ile (CCA) ortamın fiziksel kimyasal değişkenleri (nitrit, nitrat, klorür, ortofosfat, elektriksel iletkenlik, çözülmüş oksijen, amonyum, toplam alkalinite, denizden yükseklik, sıcaklık, akıntı hızı, drenaj alanı ve akış düzeni) ve bu ortamlarda bulunan canlılar ilişkilendirilip canlı topluluklarının hangi değişkenlerden etkileneceği belirlenmiştir (Şekil. 2).

Bu sonuçlara göre de ekosistemde iklim değişikliğinin ortaya çıkaracağı sonuçların, canlı birliklerini (komünitelerini) nasıl etkileyeceğini yorumlayarak bu canlıların fiziksel ve kimyasal verilerle birlikte izlenmesi ile ortamın değişimi için ön uyarılar elde edilmiş olacaktır. Şöyle ki:

1. Düşük sıcaklığı, yüksek çözülmüş oksijeni, yüksek akış hızını tercih eden bentik omurgasızlar şunlardır (Tablo.1):

Sucul böceklerden (Insecta) çözülmüş oksijeni, hızlı akıntıyı ve düşük sıcaklığı tercih eden Plecoptera takımından Taeniopterygidae, Nemouridae, Leuctridae; Ephemeroptera takımından Oligoneuriidae, Heptageniidae, Ephemerellidae familyaları; Odonata takımından Aeshnidae, Gomphidae; Trichoptera takımından Rhyacophilidae, Leptoceridae, Hydropsychidae'nin bazı türlerinin; Hemiptera'dan Gerridae, Notonectidae; Coleoptera takımından Elmidae, Lepidoptera'dan Pyraustidae; Diptera'dan Tipulidae, Athericidae üyelerinin iklim değişikliğinin ortamda yarattığı etkilerle ortadan kalkması beklenir (Tablo.1). Özellikle sıcaklığın düşük ve çözülmüş oksijenin yüksek konsantrasyonda olduğu akarsu bölgelerinde bulunan Ephemeroptera'dan (*Siphonurus lacustris*, *Oligoneuriella rbenana*, *Paraleptophlebi submarginata*, *Ecdyonurus spp.*, *Rhithrogena spp.*), Plecoptera'dan (*Brachyptera transcucasica turcica*, *Brachyptera berkii*, *Leuctra spp.*, *Capnia sp.*) öncelikle ortadan kalkacak türlerdendir. (Şekil. 2)

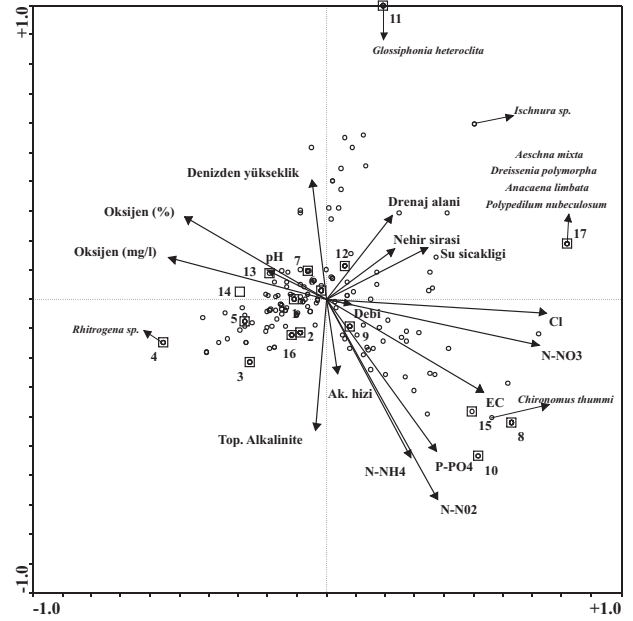
2. Yüksek sıcaklığa, düşük çözülmüş oksijene, düşük akış hızına tolerans gösterebilecek olan bentik omurgasızlar (Tablo.2) şunlardır:

Gastropoda sınıfından Prosobranchiata takımından Valvatidae, Bithyniidae, Planorbidae familyaları; Lamellibranchiata takımından Unionidae, Sphaeriidae;

sucul böceklerden Odonata takımından Coenagrionidae; Coleoptera'dan Dytiscidae; Annelida'dan Oligochaeta takımından Lumbricidae, Tubificidae, Naididae familyası; Annelida'dan Hirudinea takımından Glossiphoniidae familyası; sucul böceklerden (Insecta) Odonata takımından Platycnemididae, Calopterygidae familyası; Coleoptera'dan Dytiscidae familyası; Diptera takımından Sciomyzidae, Muscidae, Chironomidae familyası iklim değişikliğinden az etkilenecek bentik canlılardır (Şekil. 2).

Düzenli izleme çalışmaları (biyomonitöring=biyolojik izleme) ile iklim değişikliğinin sucul habitatları etkilemesi ile ortaya çıkardığı değişiklikler canlıların dağılımını şu şekilde değiştirecektir: birinci gruptaki canlıların sayılarının azalmaya ve yayılım alanlarının daralmaya başladığı, ikinci gruptakilerin ise sayılarının arttığı ve yayılım alanlarının genişlediği ve birinci gruptaki canlıların ortadan kalkması ile boşalan bölgelere ilerledikleri görülecektir. İzleme çalışmalarında ikinci grup canlıların yayılım alanları ve sayılarında artış belirlendiğinde ekosistemde bozulmanın da arttığı belirlenmiş olacaktır.

Büyük Menderes Nehri'nin su kalitesine biyolojik yöntemlerle değerlendirilerek bakıldığında 3. ve 4. su kalitesi sınıflarında olan bölgelerin akarsu boyunca ağırlıkta olduğu görülmektedir (Dügel, Kazancı 2004). Bu durum Büyük Menderes Nehri'nin su kalitesinin, iklim değişikliğinin etkilerine karşı çok hassas bir düzeyde olduğunu göstermektedir.



Şekil.2 Büyük Menderes için CCA diyagramı. Çevresel değişkenler oklarla belirtilmiştir; bentik makroinvertebratlar dairelerle gösterilmiştir.

Grup A	Grup B
Taeniopterygidae	Planorbidae
Nemouridae	Tubificidae
Leuctridae	Naididae
Oligoneuriidae	Glossiphoniidae
Heptageniidae	Calopterygidae
Ephemerellidae	Sciomyzidae
Aeshnidae	Gerridae
Gomphidae	Notonectidae
Rhyacophilidae	Muscidae
Hydropsychidae	Chrysomelidae
Leptoceridae	
Elmidae	
Athericidae	
Pyraustidae	
Tipulidae	

Tablo.1 CCA analizinde kullanılan makroinvertebrat grupları (Grup A ve B)

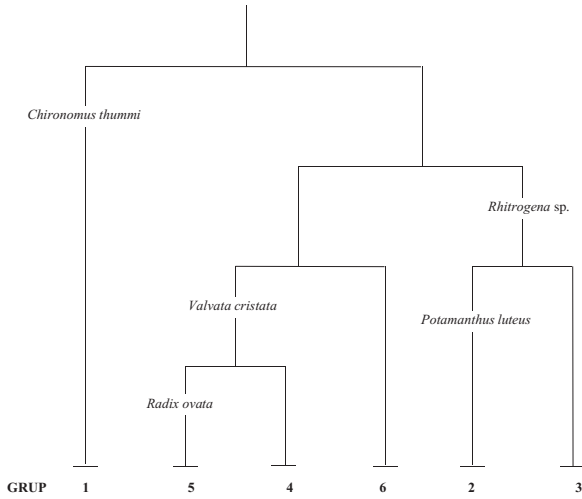
Tablo.2 CCA Analizinde kullanılan makroinvertebrat grupları (Grup C ve D)

Grup C	Grup D
Valvatidae	Planorbidae
Bithynidae	Sphaeriidae
Unionidae	Lumbricidae
Coenagrionidae	Glossiphoniidae
Dytiscidae	Platycnemididae
	Dytiscidae
	Limoniidae
	Chironomidae

İki yönlü indikatör tür analizi (TWINSPAN)

TWINSPAN analizi ile taban büyük omurgasızları kullanılarak Büyük Menderes Nehri'nin çevre kalitesine ilişkin bilgiler elde edilmiştir. Bu sınıflandırmada kirli ve az kirli bölgelerin indikatör canlıları belirlenerek değerlendirme yapılmıştır (Şekil.3).

İki yönlü indikatör tür analizi (TWINSPAN) ile Büyük Menderes için çalışılan dönemde ekolojik indikatör türler belirlenmiştir. Chironomus thummi 3. (betamezosaprobik=orta kirlilik) ve 4. sınıf (alfamezosaprobik=yoğun kirlilik) su kalitesindeki orta ve yoğun kirlilik olan bölgelerde kirlilik indikatörü olan bir türdür. Sıcaklık artışına, düşük oksijen konsantrasyonuna dayanıklıdır. Valvata cristata ve Radix ovata orta kirlilik düzeyinde olan yani 3. (betamezosaprobik) sınıf su kalitesine sahip olan bölgelerde bulunmuştur. Bu türler de orta kirlilik indikatörü olan ve sıcaklık artışına, oksijenin ve akıntı hızının azalmasına dayanıklı türlerdir. Rhithrogena sp. ve Potamanthus luteus türleri kirliliğin çok düşük düzeyde olduğu bölgelerin indikatörleridir. Bu nedenle sıcaklığın yükselmesine, oksijenin ve akıntı hızının azalmasına karşı hassas türlerdir. Aşağıdaki şekilde indikatör türler verilmiştir.



Şekil.3 TWINSPAN sınıflaması

Sonuç

Bu çalışmanın sonuçlarına göre, Büyük Menderes Nehri'nin su kalitesi genellikle düşüktür (3. ve 4. sınıf su kalitesi). Elde edilen ekolojik indikatör türler de bunu doğrulayacak şekilde kirlilik göstergesi olan türlerdir. Bu durumda Büyük Menderes Nehri çevre kalitesi yönünden oldukça kritik durumdadır. İklim değişikliğinin ortaya çıkaracağı sonuçlar (su miktarının azalması, akıntı hızının azalması, çözülmüş oksijen konsantrasyonunun düşmesi, su sıcaklığının artması ve bunların etkilediği nitrit, nitrat vd. değişkenler) su kalitesinin daha da düşmesine neden olacaktır.

İklim değişikliğinin etkisini azaltabilmek için Büyük Menderes Nehri'nin su kalitesinin sürekli olarak izlenmesi, akarsu habitatının yapısını bozan aktivitelerin saptanarak insan kökenli baskıların azaltılması ile ortaya çıkan değişikliklere uyum sağlanması gerekmektedir.

Böylece Büyük Menderes Nehri'nin, iklim değişikliğinin ortaya çıkaracağı olumsuzluklardan daha az etkilenmesi sağlanmış olacaktır.

Referanslar

- [1] Blondel, J., Aronson J. 1999. Biology and wildlife of the Mediterranean Region. Oxford University Press, New York.
- [2] Dügel, M., Kazancı N. 2004. Assessment of water quality of the Büyük Menderes river (Turkey) by using ordination and classification of macroinvertebrates and environmental variables. Journ. of Freshwater Ecology, 19, 4: 605-612.
- [3] Harrison, P., Berry P., Dawson T. 2003. Modelling natural resource responses to climate change (the MONARCH project): an introduction. J. Nat. Conserv. 11: 3-4.
- [4] Hill, M. O. 1979. TWINSPAN-a FORTRAN program for arranging multivariate data in an ordered two-way table by classification of the individuals and attributes, Ecology and Systematics, Cornell Univ. NY.
- [5] Kahya, E., Kalaycı S. 2004. Trend analysis of streamflow in Turkey. International Journal of Hydrology 289:128-144.
- [6] Kazancı, N., Dügel M., Girgin S., Oğuzkurt D., Mutlu B., Dere Ş., Barlas M., Özçelik M. 1999. Inland waters of Turkey Series IV: Limnology, Environmental quality and biodiversity of Köyceğiz, Beyşehir, Eğirdir, Akşehir, Eber, Çorak, Kovada, Yarıslı, Bafa, Salda, Karataş, Çavuşçu Lakes, Delta of Küçük and Büyük Menderes, Güllük and Karamuk Marshes (ed. N. Kazancı), İmaj Press, 372 p., Ankara.
- [7] Kazancı, N., S. Girgin, M. Dügel, B. Mutlu, Ş. Dere, M. Barlas, M. Özçelik (2000): (ed. N. Kazancı):TÜRKİYE GÖLLERİ: Köyceğiz, Beyşehir, Eğirdir, Akşehir, Eber, Çorak, Kovada, Yarıslı, Bafa, Salda, Karataş, Çavuşçu Gölleri, Küçük ve Büyük Menderes Deltası, Güllük Sazlığı, Karamuk Bataklığı'nın Limnolojisi, Çevre Kalitesi ve Biyolojik Çeşitliliği (CD-ROM).
- [8] Kazancı, N., M. Dügel 2006. Possible Climate Change Impacts on The Benthic Macroinvertebrate Fauna of Büyük Menderes River in the Mediterranean Climate Region. Meander. 2006. 13: 7-11.
- [9] Kazancı, N. 2006. Ordination of Simuliidae and climate change impact. Acta entomologica Serbica, Supplementum 69-76.
- [10] Rosenberg, D. and Resh V. 1993. Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates. Chapman&Hall. New York. 488 pp.
- [11] Ter Braak, C. J. F. 1987. CANOCO-a FORTRAN program for canonical community ordination by correspondence analysis, principal component analysis and redundancy analysis, Agricultural Mathematics Group, Wageningen, 95 pp.
- [12] Türkeş, M., Sümer U., Demir İ. 2002. Re-evaluation of trends and changes in mean, maximum and minimum temperatures of Turkey for the period 1929-1999. Int. Jour. Climatol. 22: 297-977.

SICAKLIK VE YAĞIŞ DEĞİŞİKLİKLERİNİN LEPTOSPIROSIS OLGULARIYLA İLİŞKİSİ

Doç. Dr. Erdal Polat

İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Tıp Fakültesi, Mikrobiyoloji ve Klinik Mikrobiyoloji Anabilim Dalı

Doç. Dr. Vedat Turhan

Gülhane Askeri Tıp Akademisi Haydarpaşa Eğitim Hastanesi Enfeksiyon Hastalıkları ve Klinik Mikrobiyoloji Bölümü

Uzman, Dr. Reyhan Çalışkan

İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Tıp Fakültesi, Mikrobiyoloji ve Klinik Mikrobiyoloji Anabilim Dalı

Uzman, Dr. M. Servet Alan

Haseki Eğitim ve Araştırma Hastanesi Enfeksiyon Hastalıkları ve Klinik Bakterioloji Bölümü

Giriş

Bazı enfeksiyon hastalıklarının görülme sıklığındaki artışın iklim değişiklikleri ile ilişkili olduğu bilinmektedir [2,3,4]. Yağış ve sıcaklık, leptospirosisin çoğalması ve yayılması üzerinde sinerjik etki oluşturur [5] Tüm dünyada yaygın olan leptospira birçok evcil ve yabani hayvan türünü enfekte etmektedir. İnsanlar tesadüfi “ölü uç” konakçı olmaktadır, çünkü insandan hayvana geçiş gerçekleşmemektedir. Bu hastalığın asıl kaynağı sığınlardır, ancak koyunlar, sığırlar, köpekler ve diğer ev hayvanları da kaynak olabilir. Vahşi doğada, tilkiler, rakunlar, kocarcalar, sorexler ve kirpiller de leptospira taşımaktadırlar [5-6].

Leptospirosisin küresel iklim değişikliğinden ciddi şekilde etkilenmesi olasıdır [5-18]. Patojen leptospiralar nemli toprakta, çamurda, pH'sı nötr olan tatlı sularda ve hayvanların iç organlarında uzun süre yaşayabilirler. Leptospirosis ile ilgili epidemiyolojik faktörler; yağmur sularının evlerde kullanım için toplanması, sığırlarla ve sığır idrarları ile temas veya hayvansal dokulara temas edilmesidir. Enfeksiyon genellikle leptospirali hayvanın idrarına direkt veya dolaylı olarak maruz kalınması sonucunda ortaya çıkar. Kirilenmiş su, çamur ve toprak aracılığı ile yüzücülerde ortak kaynaklı salgınlar, pirinç çiftçileri, şeker kamışı ve kanalizasyon işçileri, askeri personel gibi meslek gruplarında dolaylı bulaşma meydana gelebilir [5-11].

Çalışmamızda küresel iklim değişikliğinin leptospiraların çoğalması ve yayılması üzerindeki olası etkilerine ilişkin değerlendirmeler yapılmıştır. İstanbul'da, 2006 yılının ilk altı (Ocak-Haziran) ayında yağış ve sıcaklık artışının leptospirosis vakalarının artışı üzerindeki etkisine bakılmış ve yine aynı aylara ait 2004 ve 2005 yıllarında laboratuvarımıza gelen leptospirosis vakaları ile karşılaştırılmıştır. Bu şekilde İstanbul'da leptospirosis endemisinin belirlenmesine çalışılmıştır. Yukarıda belirttiğimiz risk altındaki meslek grupları dışında, genellikle uygun sıcaklıkta yağın yağmurlardan sonra leptospirosis vakalarında ciddi bir artışın olduğu tesbit edilmiştir.

Materyal ve Metot

Çalışmada; İstanbul Üniversitesi Tıp Fakültesi, Cerrahpaşa Tıp Fakültesi, Marmara Üniversitesi Tıp Fakültesi, Gülhane Askeri Tıp Akademisi Haydarpaşa Eğitim Hastanesi ve İstanbul'daki diğer hastanelerden leptospirosis öntanısı konan hastalardan Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Mikrobiyoloji ve Klinik Mikrobiyoloji Anabilim Dalı laboratuvarına gönderilen kan, idrar ve BOS örnekleri değerlendirilmiştir.

Leptospirosis tanı ve takip formu (GATA-TR 34) “olası leptospirosis” vakalarının belirlenmesi için kullanılmıştır. Standart veri girişi formu, demografik ve epidemiyolojik verilerin kaydedilmesi için kullanılmıştır (yaş, cinsiyet, meslek, adres, yağmura maruz kalma hikayesi, kirilenmiş sel suları veya derelerle temas, vb). Detaylı tıbbi hikayesi alınmış ve hastanın klinik durumu günlük olarak takip edilmiştir.

Analiz amaçlı veriler iki ana kaynaktan elde edilmiştir:

(i) Veriler temelde İstanbul'daki leptospirosis vakalarının sayısını içermektedir.

(ii) Türkiye Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden İstanbul'daki iklim verileri, temel olarak zamana bağlı sıcaklık ve yağış değişikliklerini (gün / hafta / ay / yıl) içeren verileri sağlamıştır. Şiddetli yağış zamanları ve süreleri de dökümanite edilmiştir.

Tanı kriterleri ve vaka sınıflandırması

Akut yüksek ateş (>38.5 °C) ve çoklu organ tutulumu (hepatik, renal/üriner, kas-iskelet, pulmoner, merkezi sinir sistemi veya kardiyovasküler sistemlerden en az iki organ) olan vakalar “şüpheli leptospirosis” olarak tanımlanmıştır. Leptospirosisin kardinal semptomları ve bulguları; i. yüksek ateş, ii. periorbital/frontal baş ağrısı, iii. miyalji/karın ağrısı/bel ağrısı, iv. konjunktival hiperemi, v. nezle/grip benzeri hastalık, vi. yorgunluk olarak belirlenmiştir. Bu semptomlar ve klinik bulgulardan en az üçünün varlığında “olası leptospirosis” olarak düşünülmüştür. Hastalığın laboratuvar bulguları; i. lökosit (>10 000/mm³)/ nötrofil, ii. artan ALT/ AST, iii. artan CPK/ LDH, iv. trombositopeni, v. artan üre/kreatinin, vi. idrar anormalliklerinden en az üçünün varlığında “olası leptospirosis” olarak değerlendirilmiştir. Olası leptospirosis grubundaki bir vaka, spesifik leptospirosis laboratuvar testlerinden (Leptospira kültürü, ELISA Ig M) birinin sonucu pozitif olduğunda “konfirme edilmiş leptospirosis” olarak tanımlanmıştır.

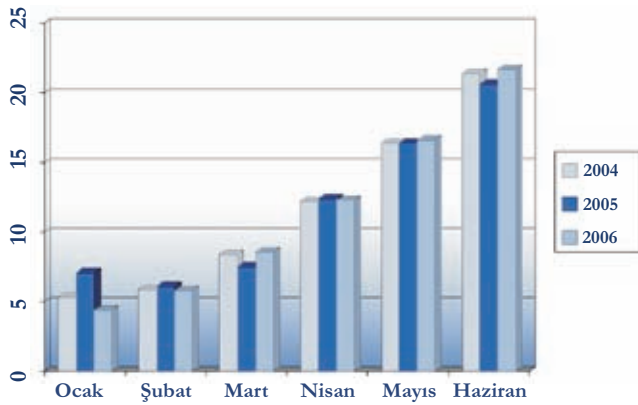
Bulgular

Çalışma süresince (Ocak-Haziran 2006) İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Mikrobiyoloji ve Klinik Mikrobiyoloji Anabilim Dalı laboratuvarında 78 vakada akut leptospirosis hastalığı belirlenmiştir. Yine aynı aylara ait 2004 ve 2005 yıllarında laboratuvarımızda saptanan leptospirosis vakaları çalışmaya alınmıştır. Aylık ve yıllık yağış ortalaması ve sıcaklık verileri (Ocak 2004'ten Haziran 2006'ya kadar) Türkiye Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından sağlanmıştır.

İklim ve leptospiroz olayı verileri aşağıdaki tablolarda ve grafiklerde verilmiştir.

Tablo.1 İstanbul'da son üç yıl içerisinde ilk altı ayda yıllık sıcaklık dağılımı

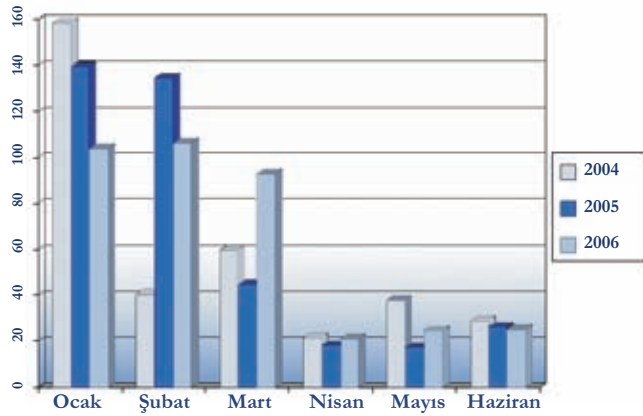
Yıllar/Aylar	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran
2004	5,3	5,9	8,4	12,2	16,4	21,4
2005	7,1	6,1	7,5	12,4	16,4	20,6
2006	4,4	5,8	8,6	12,3	16,6	21,7



Şekil.1* İstanbul'da son üç yılın ilk altı ayındaki yıllık sıcaklık dağılımları

Tablo.2* İstanbul'da yılın ilk altı ayı içerisinde yıllık yağış dağılımı

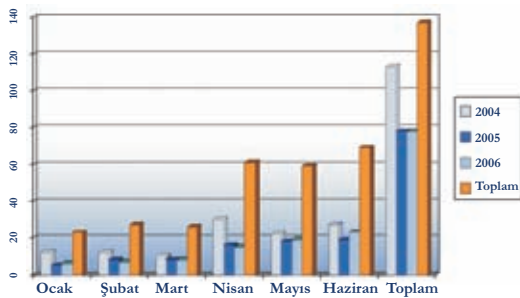
Yıllar/Aylar	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran
2004	158,5	40,6	59,7	21,6	37,7	28,8
2005	139,6	134,5	44,7	18,1	17,3	26,2
2006	103,7	106,3	93,0	21,1	24,7	25,2



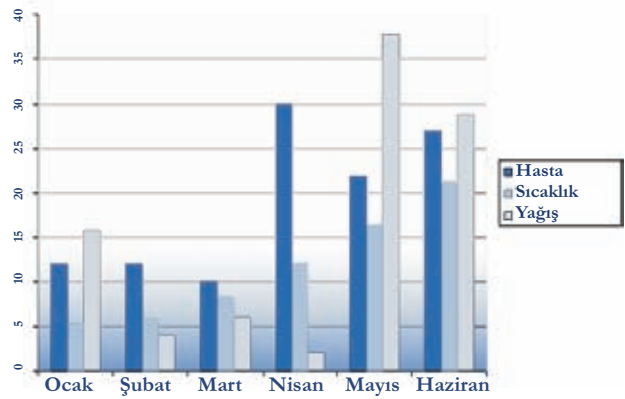
Şekil.2* İstanbul'da yılın ilk altı ayı içerisinde yağışın yıllık dağılımı

Tablo.3* İstanbul'da son üç yıl (2004-2006) içerisinde leptospirosis vakalarının yıllık ve aylık dağılımları

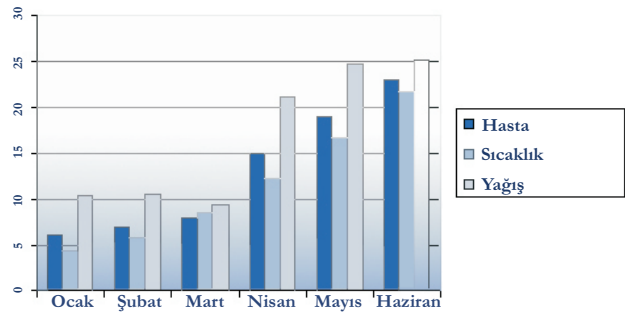
Yıllar/Aylar	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Toplam
2004	12	12	10	30	22	27	113
2005	5	8	8	16	18	19	78
2006	6	7	8	15	19	23	78
Total	23	27	26	61	59	69	137



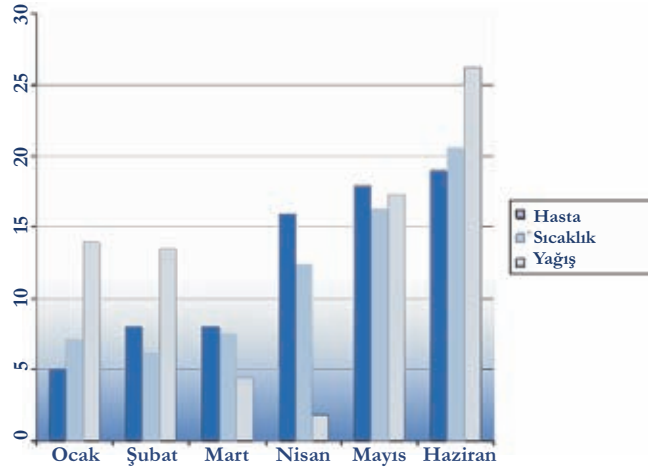
Şekil.3* Son üç yıl içerisinde İstanbul'da leptospirosis vakalarının yıllık ve aylık dağılımları



Şekil.4* 2004 yılında İstanbul'da Leptospirosis vakaları, sıcaklık ve yağışın aylık dağılımı



Şekil.5* 2005'te İstanbul'da Leptospirosis vakaları, ortalama sıcaklık ve yağışın aylık dağılımı



Şekil.6* 2006'da İstanbul'da Leptospirosis vakaları, ortalama sıcaklık ve yağışın aylık dağılımı

Tartışma

İnsanlar ile ilgili, biyolojik ve ekolojik belirleyicilerin yanı sıra, iklimsel faktörler de enfeksiyon hastalıklarının ortaya çıkışını ve yayılmasını etkiler. İklim değişiklikleri vektörün coğrafi alanını kaydırarak, üreme ve ısırma oranlarını artırır; enfeksiyona neden olan mikroorganizmaların kuluçka süresini kısaltarak hastalığın görülme sıklığını direkt olarak etkileyebilir. Deniz yüzey sıcaklığında iklimle ilgili olarak meydana gelen artışlar suyla taşınan enfeksiyon hastalıklarının görülme oranının yükselmesine neden olabilir. İnsan göçü ve yetersiz altyapı hastalığın yayılmasına dolaylı olarak katkıda bulunabilir. Enfeksiyon hastalıklarının ortaya çıkışında iklimin etkisinin belirlenmesinde; doktorlar, iklim bilimciler, biyologlar ve sosyal bilimciler arasında bir işbirliği gereklidir [17].

İklim değişiklikleri ve leptospirosis sıklığı hakkında ne ülkemizde ne de diğer Avrupa ülkelerinde yapılmış prospektif tasarımı bir çalışma yoktur. İstanbul, 13 milyon nüfusu ile Türkiye'nin bir metropol şehridir ve Avrupa ve Asya kıtalarının buluşma noktasıdır. Çalışmamız bu konuda gerçekleştirilen birkaç çalışmadan biri olması nedeniyle önemlidir.

Tropikal bir hastalık olan leptospirosis kent merkezlerinde de görülebilir. Altı ay kadar kısa bir süre içerisinde toplam 78 leptospirosis vakasının saptanmış olması, genel olarak zannedilen aksine, leptospirosisin İstanbul'da ve muhtemelen diğer Avrupa şehir merkezlerinde endemik olduğunun ve salgın hale gelebileceğinin düşünülmesine neden olmaktadır.

Tablo.1'de 2004-2005 ve 2006'nın Ocak ve Şubat aylarında ortalama sıcaklıklar arasında herhangi bir farkın olmadığı görülmektedir. Bununla birlikte Mart ayında, Ocak ve Şubat aylarına göre ortalama 2.3°C'lik bir sıcaklık artışı olmuştur. Mart ayını takip eden diğer aylarda 4°C'lik bir artışın olduğu tesbit edilmiştir (Nisan, Mayıs ve Haziran).

Tablo.2'de 2004-2005 ve 2006 Ocak ve Şubat aylarındaki yağış miktarı Mart ayı ile karşılaştırıldığında %100, Nisan, Mayıs ve Haziran ayları ile karşılaştırıldığında ise %400 daha fazla olduğu görülmektedir. 2004-2005 ve 2006 yıllarının Ocak, Şubat ve Mart aylarında görülen leptospirosis hastalarının sayısı hemen hemen aynıdır. Ancak Nisan ayında görülen leptospirosis hasta sayısında Ocak, Şubat ve Mart aylarına göre %50'lik bir artış olduğu görülmektedir. 2004, 2005 ve 2006 yıllarının Ocak (% 16.69), Şubat (% 19.71) ve Mart (% 18.98) aylarındaki hasta sayılarında pek artış olmadığı halde, Nisan (% 44.53), Mayıs (% 54.23) ve Haziran (% 69.14) aylarındaki hasta sayılarında ciddi bir artış ($X^2=3.9$, $P<0.001$) olmuştur. Ocak ve Şubat aylarında yağın fazla miktardaki yağışa rağmen leptospirosis vakalarının sayısının az olması; Nisan, Mayıs ve Haziran aylarında hasta sayısının önemli ölçüde artmasının nedeni sıcaklık artışının yağışla birlikte leptospirosisin artışında sinerjik etki oluşturmasındandır.

Patojen leptospiralar toprakta, çamurda, pH'sı nötr olan tatlı sularda ve hayvanların iç organlarında uzun süre canlı kalabilmelerine rağmen; tuzlu suda canlı kalma süreleri yalnızca birkaç dakikadır. Soğuğa ve kuruluğa direnç gösteremeyen leptospiralar yalnızca sıcakkanlı hayvanların iç organlarında bir sonraki yıla kadar canlı kalabilirler. Leptospiraların coğrafik dağılımı konakçı hayvanın dağılımına, yerel iklime ve toprağın özelliklerine göre değişir. Bu nedenle de vakalar sıklıkla, hava sıcaklığının 20°C'nin üzerinde seyrettiği yağışlı mevsimlerde görülür [5-7].

Ani bastıran şiddetli yağmurlardan sonra meydana gelen sel baskınları, kanalizasyon sistemindeki taşmalar dolayısı ile artan sayılarda leptospirosis vakası gözlemlendiği değişik araştırmacılar tarafından bildirilmiştir. Yetersiz altyapıya (kanalizasyon sistemi gibi) sahip alanlarda, görünürde önemsiz su birikintileri ideal çevre sıcaklığında leptospiraların hayatta kalması ve üremesi için uygun bir ortam oluşturur. Leptospiraların aynı zamanda su tanklarında, kuyularda, bodrumlarda ve nemli, alkali toprak gibi çamurlu çevrelerde sular çekildikten sonra bile yaşayabileceği hususu unutulmamalıdır. Su ve hayvan dışkıları ile bulaşabilecek 40'tan fazla hastalık olduğundan, eş-enfeksiyonlar (leptospiroz + enterik ateş vb.) da ortaya çıkabilir. Başka nedenlerle hastaneye kabul edilen hastalar da kanalizasyon taşmaları, kirlenmiş su kaynakları veya sele direkt maruz kalma nedeniyle leptospira tarafından enfekte edilmiş olabilir.

Leptospiroz ısrarcı bir hastalıktır ve yalnızca bulaşıcı bir salgın hastalık değildir. Birçok açıdan, aslında özellikle de az gelişmiş veya gelişmekte olan ülkelerde ortaya çıkan bir enfeksiyon hastalığı olarak görülebilir. Sağlık çalışanlarının ve yerel idarecilerin gelişmiş bölgelerde ve ülkelerde bile, özellikle suyla ilgili doğa olayları (tsunami, tayfun-siklon-tayfunlar, ağır yağmurlar ve sel, çamur kaymaları, toprak kaymaları vb.) sırasında, iklim değişikliği kapımıza geldiğinde, leptospiroza karşı hazırlıklı olmaları gerektiğine inanıyoruz.

Sonuç

Bu pilot çalışma sınırlı bir bölge içerisinde, sınırlı bir sürede gerçekleştirilmiş olup, hava sıcaklıklarında ve yağışta meydana gelen artışların leptospirozun ortaya çıkışındaki önemli faktörler olduğunu göstermektedir. Bu iki iklim parametresinden hava sıcaklıklarındaki artış korelasyonda daha önemli ve lineer bir rol oynar gibi görünmektedir. Ekosistemdeki değişikliklerle birlikte, küresel ısınma leptospirozun görülmesindeki baskınlık açısından ciddi bir risk oluşturmaktadır. Klimatolojik ve ekolojik değişiklik arasındaki bağlantıların hastalığın ortaya çıkışının ve yeniden dağılımının belirleyicileri olarak anlaşılması nihai olarak önleyici stratejilerin optimize edilmesine yardımcı olacaktır. Leptospiroz ve iklim parametreleri arasındaki korelasyonun benzer çalışmalarla daha geniş bir zaman çerçevesinde farklı bölgelerde gözlemlenmesi yararlı olacaktır.

Referanslar

- [1] IPCC 2001 Climate Change 2001: The third assessment report of the intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge.
- [2] Patz JA, Olson SH. Climate change and health: global to local influences on disease risk. *Ann Trop Med Parasitol.* 2006 Jul-Sep;100(5-6):535-49
- [3] McMichael AJ, Woodruff RE, Hales S. Climate change and human health: present and future risks. *Lancet.* 2006 Mar 11;367(9513):859-69. Review. Erratum in: *Lancet.* 2006 Sep.2;368(9538):842.
- [4] Khasnis AA, Nettleman MD. Global warming and infectious disease. *Arch Med Res.* 2005 Nov-Dec;36(6):689-96. Review (1-3).
- [5] Levett PN. Leptospirosis. *Clin Microbiol Rev.* April 1, 2001; 14(2): 296 – 326).
- [6] Koneman EW, Allen SD, Janda WM, Schreckenberger PC, Winn WC. 1997. *Leptospira*, Chapter 18, Spirochetal infections. p.971-973. *Diagnostic Microbiology.* Fifth edition, Philadelphia.
- [7] Kaufmann AF, Weyant RS. 1995. Leptospiraceae, p 621-625. In P. R. Murray, E. J. Baron, M. A. Pfaller, F.C. Tenover, R. H. Tenover (ed.), *Manual of Clinical Microbiology.* Sixth Edition, Washington.
- [8] Faine S. 1982. Guidelines for the Control of Leptospirosis. W.H.O. Offset publication no. 67. World Health Organisation, Geneva.
- [9] Çaşkurlu H, Öztürk R, Polat E, Bağdatlı Y. 1995. A Leptospirosis Case. *Turkish Journal of Infection* Volume: 9 Number 1-2 p: 223-224.
- [10] Palandüz A, Telhan L, Arapoğlu M, Polat E, Yıldırım Y, Memikoğlu N, Kayaalp N. 2003. Leptospirosis in Children: Report of 13 cases. *The Journal of the Child.* Volume: 3 Number: 4 p: 277-280
- [11] Turhan V, Polat E, Murat Atasoyu E, Özmen N, Kucukardali Y, Cavuslu S. Leptospirosis in İstanbul, Turkey: a wide spectrum in clinical course and complications. *Scand J Infect Dis.* 2006;38(10):845-52.
- [12] Polat E, Aygün G, Özdemir V, Özdemir S, Altaş K. 2004. Leptospirosis in Türkiye. Its diagnostic methods and challenges. *Journal of Klimik,* Volume: 17 Number: 2 p: 91 - 94.
- [13] Climate Change and Adaptation Strategies for Human Health, cCASH project, WHO EU, 2005
- [14] Health and Climate Change: the "now and how" A Policy Action Guide, CASH Project, WHO 2005.

[15] World Health Report data for all major diseases
<http://www.who.int/whr/en>

[16] UNFCCC Vulnerability and Adaptation Hand Book 2005
Chapter 8. Human Health.

[17] Patz JA, Epstein PR, Burke TA, Balbus JM. Global climate change
and emerging infectious diseases. JAMA. 1996 Jan 17;275(3):217–223.

[18] Pellizzer P, Todescato A, Benedetti P, Colussi P, Conz P, Cinco M.
Leptospirosis following a flood in the Veneto area, North-east Italy.
Ann Ig. 2006 Sep-Oct;18(5):453-6.

[19] Vinetz JM. Leptospirosis. Cur Opin Infect Dis 2001, 14: 527-538.

[20] Kupek E, de Sousa Santos Faversoni MC, de Souza Philippi JM.
The relationship between rainfall and human leptospirosis in
Florianopolis, Brazil, 1991-1996. Braz J Infect Dis 2000; 4: 131-134.

[21] Sehgal SC, Sugunan AP, Vijayachari P. Outbreak of leptospirosis
after the cyclone in Orissa. Natl Med J India. 2002; 15(1): 22-3.

[22] Karande S, Kulkarni H, Kulkarni M, De A, Varaiya A.
Leptospirosis in children in Mumbai slums. Indian J pediatr. 2002 Oct;
69 (10): 855-8.

TÜRKİYE'DEKİ SICAKLIK VE YAĞIŞ DEĞİŞİKLİKLERİ VE SITMA ARASINDAKİ KORELASYON

Doç. Dr. Önder Ergönül

Marmara Üniversitesi Tıp Fakültesi

Dr. Alpay Azap

Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi

1. Giriş

Bu, Türkiye'deki sıcaklık ve yağış değişiklikleri ile sıtma olayları arasındaki ilişkinin incelenmesi hakkında bir ara rapordur. İklim değişikliği ve bazı bulaşıcı hastalıkların görülmesindeki artış ile olan ilişkisi daha önce incelenmiştir [1, 2, ve 3]. Sıtma iklim değişikliğinden etkilenen taşıyıcılar tarafından taşınan hastalıklardan biridir ve sıtmanın iletiminde sürücü bir güç olarak iklimin önemi araştırmanın ilk günlerinden beri bilinmektedir [4]. Sıcaklık ve yağış sıtmanın iletimi üzerinde sinerjik etkilere sahip olabilir ve bu nedenle, uzun süreli meteorolojik ve tıbbi veri serisi üzerinde eş zamanlı analizlerin yapılması iklimin sıtma vakaları üzerindeki etkilerinin gösterilmesi için gereklidir [5].

2. Metodoloji

Bu çalışmada veriler iki kaynaktan toplanmıştır:

(i) Sağlık Bakanlığı'ndan son 30 yıl içerisindeki sıtma vakalarının sayısı.

(ii) Türkiye Devlet Meteoroloji İşleri'nin araştırma biriminden son 70 yılda sıcaklık ve yağışta meydana gelen değişiklikler.

Türkiye için sıcaklık ve yağış değişiklikleri, günlük ortalama ve minimum sıcaklıkların aylık ortalamalarını içeren bir veri seti kullanılarak analiz edilmiştir.

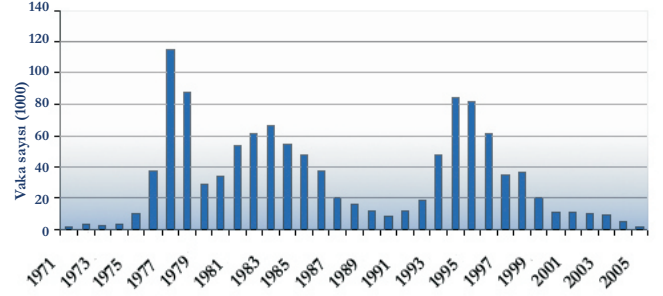
İlk olarak bir homojenlik analizi için parametrik olmayan Kruskal-Wallis (K-W) testi kullanılmıştır. Parametrik olmayan Mann-Kendall (M-K) sıra korelasyon testi daha sonra sıcaklık serilerindeki olası eğilimlerin algılanması ve bu eğilimlerin her ikisi de 0.05 seviyesinde olmak üzere istatistiksel olarak önemli olup olmadığının test edilmesi için kullanılmıştır. M-K testi istatistiği $u(t)$, bir serideki eğilimin yönünü ve istatistiksel büyüklüğünü gösteren bir değerdir. $u(t)$ değeri önemli olduğunda, bu durum pozitif veya negatif olmasına bağlı olarak artan veya azalan bir eğilime işaret eder.

Cramer testi verilen zamanlar arasında ve daha uzun sürelerde sıcaklık ve yağışta meydana gelen değişikliğin ve daha algılanması için kullanılmıştır.

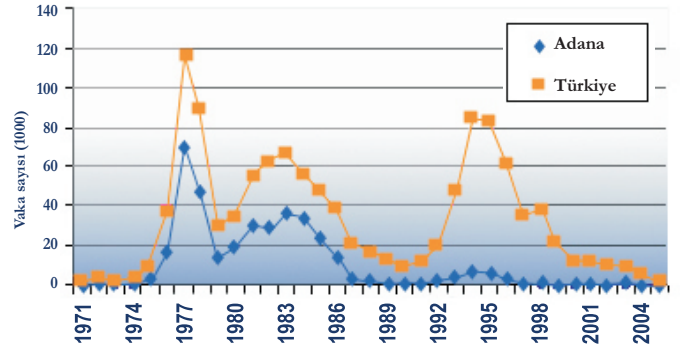
3. Sonuçlar [8]

Son 35 yıl içerisinde, Türkiye'de sıtma vakalarının sayısında iki önemli tepe noktası olmuştur, bunlardan biri 1977-1984 döneminde, diğer ise 1993-1999 döneminde gerçekleşmiştir (Şekil.1). Bununla birlikte, vakaların dağılımı çeşitli bölgelerde farklılık göstermektedir. Bu bulgu ilginçtir ve daha detaylı incelenmeye değerdir. 1993-1999 döneminde, güneydoğudaki illerde sıtma vakalarının sayısında önemli bir artış olmuştur. Bununla birlikte, Adana'da aynı dönemde sıtma vakalarının sayısı artmamıştır (Şekil.2).

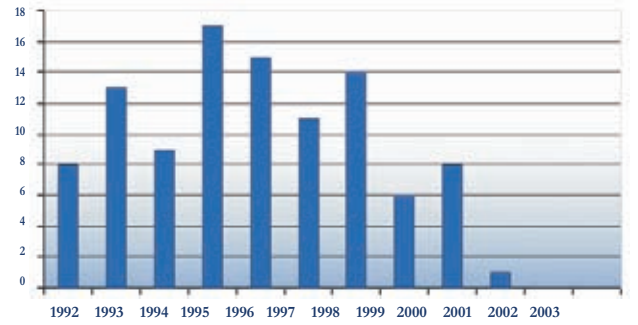
Bakanlıktan elde edilen sıtma vakalarının sayısı, önemli sayıda sıtma vakasının kabul edildiği kliniklerden elde edilen verilerle doğrulanmıştır. Bu kliniklerden biri Ankara Numune Eğitim ve Araştırma Hastanesi, diğeri ise Diyarbakır Askeri Hastanesidir. Her iki merkez de sıtma vakalarındaki azalmayı gösteren çalışmalar yapmışlardır. Numune Hastanesi araştırmacıları 1995 yılından bu yana sıtma vakalarında önemli bir azalma olduğunu belirtmiştir (Şekil.3, ref 10).



Şekil.1 1971 yılından bu yana Türkiye'de görülen sıtma vakalarının sayısı.



Şekil.2 Türkiye ve Adana'da 1971 yılından bu yana görülen sıtma vakaları



Şekil.3 1992 yılından bu yana Ankara Numune Eğitim ve Araştırma Hastanesine kabul edilen sıtma vakalarının sayısı.

Vivax sıtma için endemik bir alan olan Diyarbakır'daki Askeri Hastanede çalışma döneminde (1997-2004) 609 vaka kaydedilmiştir, bu da bölgedeki sıtma vakalarının sayısında önemli bir azalma olduğunu göstermektedir [11].

4. Alt dönemlerdeki iklim değişikliklerinin analizi

İklim değişikliği ve sıtma vakaları arasındaki ilişki, beş Güneydoğu Anadolu şehri ve Adana'dan meydana gelen iki bölge için, son 30 yılda görülen en yüksek sıtma vakası sayısına göre karakterize edilen iki döneme ilişkin olarak ayrı ayrı incelenmiştir.

Son 30 yıl içerisinde, yüksek sıtma vakası sayısı ile karakterize olan iki dönem mevcuttur. Bunlar 1977-1987 ve 1993-1998 dönemleridir. 1977-1987 döneminde ortalama sıcaklık Adana'da 1930 ve 2004 arasındaki ortalama sıcaklıktan çok daha yüksektir. Bu önemli bir sonuçtur ve yüksek sıcaklık ve sıtma vakaları arasında 1977-1987 döneminde bir paralellik olduğunu göstermektedir. Diğer taraftan, aynı süre içerisinde, güneydoğu şehirlerinde sıcaklıkta önemli bir artış yoktur, ancak sıtma vakalarının sayısı çok yüksektir.

Tablo 2. Güneydoğu Anadolu'daki şehirlerde ve Adana'da iki dönem içerisinde gerçekleşen iklim değişiklikleri.

	Sıcaklık	Yağış
1977-1987		
Güneydoğu şehirleri		
Diyarbakır (1930-2005)	0.75	0.30
Urfa (1937-2004)	-0.82	-0.73
Siirt (1993-2003)	0.07	-0.54
Mardin (1940-2003)	0.0	1.19
Batman	-1.70	-0.23
Adana (1930-2004)	3.88 (*)	0.41
1993-1998		
Güneydoğu şehirleri		
Diyarbakır (1930-2005)	-0.42	0.39
Urfa (1937-2004)	2.18 (*)	0.64
Siirt (1993-2003)	1.02	0.88
Mardin (1940-2003)	2.38 (*)	-0.37
Batman	1.72	1.16
Adana (1930-2004)	1.58	0.65

(*) Toplam süreyle karşılaştırmalı olarak bu dönem içerisindeki önemi gösterir.
 (-) İşareti azalmayı gösterirken, pozitifliği ve dolayısıyla da artışı gösteren bir işaret yoktur.

1993-1998 döneminde, Urfa ve Mardin'in ortalama sıcaklığının tüm dönemin ortalama sıcaklıklarından çok daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu, bölgedeki sıtma vakalarının yüksek sayısı ile ilişkilendirilebilir. Bu sonucun yanı sıra, bu süre içerisinde, Adana'daki sıtma vakalarının sayısı azalmıştır ve Adana'da ortalama sıcaklıkta önemli bir artış olmamıştır.

Sıtma vakalarının sayısı diğer birçok faktörle de ilişkilidir. Bu faktörlerden biri, eninde sonunda kırsal nüfusta bir azalmaya neden olan göçtür. Bir diğer faktör sıtma kontrol programlarının eş zamanlı olarak uygulanmasıdır. Türk hükümeti ve yerel sağlık mercileri sıtmaya karşı mücadele amaçlı eğitim programları gerçekleştirmiştir. 1998 yılında, Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) Sıtma Engelleme kampanyasının bir parçası olarak, "Türkiye'de Sıtma Birimlerinin Ulusal Kapasitesinin Artırılması" adı altında bir eğitim projesi UNDP ve WHO ile işbirliği içerisinde başlatılmıştır. Anadolu'daki proje kentlerindeki yerel sıtma birimlerinin teknik kapasitesi yükseltilmiş ve bu birimlerin 110 personeli tanı, tedavi, larvayla mücadele, böcek ilaçları vb. gibi konuları içeren sıtma ile mücadelenin değişik yönleri hakkında eğitilmiştir [12]. Bunlar ve benzer çabalar Türkiye'de sıtma kontrolünde büyük bir rol oynamıştır.

5. Sonuç

Belirli zaman aralıklarında sıcaklık değişikliklerinin analizinin yükselen sıcaklık ve sıtma vakalarının sayısı arasında bir paralellik olduğunu ortaya koyar görünmektedir. Her ne kadar iklim değişikliği sıtmanın görülmesi üzerinde bir miktar rol oynasa da, sıtmanın kontrol edilmesine yönelik önleyici çabaların önemli bir etki yarattığı vurgulanmalıdır. Sıtma vakaları belirli süreler içerisinde ortalama sıcaklıktaki artışa paralel olarak artmıştır. Bununla birlikte, sıtma vakaları Türkiye'de önemli ölçüde azalmıştır. Bunun birincil açıklaması kontrol tedbirlerinin uygulanmasıdır.

Referanslar

- [1] Sutherst RW. Global change and human vulnerability to vector-borne diseases. Clin Microbiol Rev 2004; 17: 136-73.
- [2] Hay SI, Cox J, Rogers DJ, Randolph SE, Stern DI, Shanks GD, Myers MF, Snow RW. Climate change and the resurgence of malaria in the east African highlands. Nature 2002; 415: 905-909.
- [3] Gubler DJ, Reiter P, Ebi KL, Yap W, Nasci R, Patz JA. Climate Variability and Change in the United States: Potential Impacts on Vector- and Rodent-Borne Diseases. Environ Health Perspect 2001; 109: 223-233.
- [4] Hoshen MB, Morse AP. A weather-driven model of malaria transmission. Malaria J 2004; 3: 32.
- [5] Zhou G, Minakawa N, Githeko AK, Yan G. Association between climate variability and malaria epidemic in the East African highlands. Proc Nat Acad Sci 2004; 101: 2375-2380.
- [6] Climate Change and Adaptation Strategies for Human Health, cCASHh project, WHO EU, 2005
- [7] Health and Climate Change: the "now and how" A Policy Action Guide, CASH Project, WHO 2005.
- [8] Turkish State Meteorological Service, Research Unit, Ankara, Turkey.
- [9] Statistics on Malaria. Ministry of Health of Turkey.
- [10] Aysel Çelikbaş, Önder Ergönül, Nurcan Baykam, Şebnem Eren, Tümer Güven, Başak Dokuzoğuz. Malaria in Turkey and 14 years of clinical experience. Microbiology Bulletin 2006 (in press)
- [11] Ardic N, Tanyuksel M, Ozyurt M, Araz E. Is the incidence of malaria decreasing in endemic area of Turkey? New Microbiol. 2005 Jul;28(3):277-80.
- [12] <http://www.gap.gov.tr/Turkish/Ggbilgi/Saglik/tamprj.html>



Bölüm II:

SEKTÖREL ANALİZLER VE OLASI AZALTIM ÖNLEMLERİ

Sera Gazları Envanter Analizleri ve Projeksiyonlar

TÜRKİYE DEMİR ÇELİK SANAYİSİ'NDE KARBONDİOKSİT GAZ EMİSYONLARININ TAHMİNİ

Prof. Dr. Nuri DURLU

TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi

Doç. Dr. Mustafa ÜBEYLİ

TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi

Prof. Dr. Erdoğan TEKİN

Danışman

Prof. Dr. Süleyman SARITAŞ

TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi

1. Giriş

Bu çalışmanın amacı 1990-2020 seneleri arasında Türkiye Demir Çelik Sanayisi'nde çelik üretiminden kaynaklanan CO₂ emisyon değerlerinin belirlenmesidir. Proje, Ocak 2006'da başlamış ve 30 Haziran 2006 tarihinde tamamlanmıştır. Proje Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği (TOBB), Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİEİ), Demir Çelik Üreticileri Derneği (DÇÜD), ve Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı (UNDP) tarafından İklim Değişikliği 1. Ulusal Bildirimine Hazırlık Projesi kapsamında desteklenmiştir. Bahar 2006'da Türkiye Demir Çelik Sanayisi'ne yönelik olarak bir anket çalışması yapılmıştır. Anket çalışmasının değerlendirilmesi sonucunda, 1990-2020 seneleri arasındaki ton ham çelik başına özgül enerji tüketimi, ton ham çelik başına özgül CO₂ emisyon değerleri, toplam ham çelik üretimi ve toplam CO₂ emisyon değerleri belirlenmiştir.

2. Karbondioksit Emisyonları ve Çelik Sanayisi

Dünya'daki temel enerji kaynağı fosil yakıtlardır. Gelişmiş ülkelerdeki enerjinin %84'ü, gelişmekte olan ülkelerdeki enerjinin %75'i fosil yakıtlardan temin edilmektedir [1] Enerji üretimi ve enerjinin yakıt yakılması ile tüketimi dünyadaki sera gazı emisyonlarının temel kaynağıdır. Küresel ısınma açısından en önemli sera gazı CO₂'dir. Atmosferdeki CO₂ miktarı son 150 yılda önemli miktarda artarak hacimsel olarak milyonda 375 partikül değerine ulaşmıştır [1] Enerji üretimi ve tüketiminde yapılacak olan enerji verimliliği çalışmaları ve yenilikler ile bu artışın önlenmesi veya kontrol edilebilir bir düzeyde tutulması günümüzde önemli önceliklerden ve amaçlardan biri olarak ortaya çıkmaktadır. Kyoto Protokolü bu amaca yönelik olarak uygulanmaya çalışılmaktadır.

Demir ve çelik sanayisi dünyada en fazla enerji tüketen sanayi alanlarından biridir. Demir ve çelik üretimi esnasında enerji, kömür, doğal gaz, elektrik ve yakıt yağı kullanılarak doğrudan tüketilir. Demir ve çelik sanayisinde doğrudan enerji tüketiminden kaynaklanan CO₂ emisyonları, küresel CO₂ emisyonlarının %7'sini oluşturduğu tahmin edilmiştir [2,3]. Demir ve çeliğin üretiminde kullanılan, kömür, demir cevheri ve kireç gibi ham maddelerin çıkarılması ile taşınmasında ve hurda demirin taşınmasında tüketilen enerjide dikkate alındığında, demir ve çelik sanayisinden kaynaklanan küresel CO₂ emisyonlarının %10 civarında olduğu öngörülmüştür [3]. 1990 ve 2004 senelerinde dünyadaki toplam CO₂ emisyonları 20.736 milyon ton (Mt) ve 24.983 Mt olarak tahmin edilmiştir [1]. Dolayısı ile 1990 senesinde çelik üretiminde doğrudan kullanılan enerjiden kaynaklanan CO₂ emisyonları yaklaşık olarak 1450 Mt, 2004 senesinde ise 1750 Mt olarak verilebilir. Çelik üretimi tümleşik çelik tesislerinde veya elektrik ark fırınlarında yapılmaktadır. Tümleşik çelik tesislerinde çelik üretimi 5 aşamada gerçekleşir: ham maddelerin işlenmesi, pik demir üretimi, çelik üretimi, döküm, haddeleme ve nihai işlemler [2]. Tümleşik çelik tesislerinde pik demir yüksek fırınlarda üretildikten sonra bazik oksijen fırını veya Siemens Martin fırınlarında çeliğe dönüştürülür.

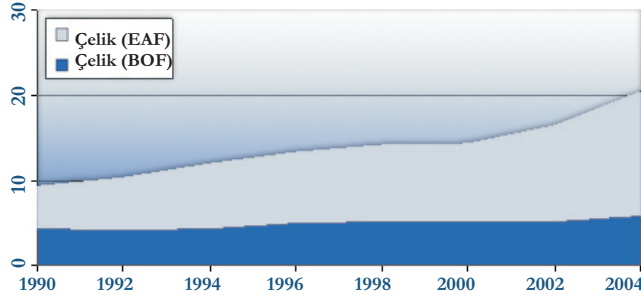
Çelik sanayisindeki CO₂ emisyonlarının önemli bir bölümü pik demirin yüksek fırında üretimi esnasında gerçekleşir. Pik demirin üretimi esnasında kullanılan kömür ve kok, çelik sanayisindeki CO₂ emisyonlarının %75'inden sorumludur. Bazik oksijen fırnında üretilen çeliğin enerji tüketimi, Siemens Martin fırnında üretilen çeliğin enerji tüketimine kıyasla daha azdır. Bu nedenle, dünyada Siemens Martin fırınları ile çelik üreten tümleşik çelik tesis sayısı çok azdır. Günümüzde, tümleşik çelik tesislerinde üretilen çeliğin çok büyük bir bölümü bazik oksijen fırınlarında üretilmektedir [3].

Elektrik ark fırınlarında çelik üretimi 3 aşamada gerçekleşir: ham madde olarak hurda demirin kullanıldığı çelik üretimi, döküm, haddeleme ve nihai işlemler. Günümüzde elektrik ark fırınlarında, ham madde olarak hurda demir yerine, demir cevherinin karbon ve doğal gaz kullanılarak doğrudan indirgenmesi ile üretilen, doğrudan indirgenmiş demir de (sünger demir) kullanılmaktadır. Bu teknoloji yeni olup 2004 senesinde dünya çelik üretiminin %5'ine karşılık gelmektedir. Elektrik ark fırınları ile çelik üretimi, tümleşik çelik tesislerinde üretilen çeliğe kıyasla gerek enerji maliyetleri, gerekse de CO₂ emisyonları açısından daha avantajlıdır.

Demir ve çelik üretiminden kaynaklanan CO₂ emisyon miktarları, çeliğin üretim sürecine yakından bağlıdır. Tümleşik çelik tesislerinde bazik oksijen fırını ile üretilen çelikte, özgül CO₂ emisyon değeri 2,5 ton/ton ham çelik iken, elektrik ark fırınlarında hurda demir veya doğrudan indirgenmiş demir kullanılarak üretilen çelikteki özgül emisyon değeri 0,6-1,2 ton/ton ham çelik olarak verilmiştir [3]. Bu değerler ortalama değerler olup ülkeden ülkeye değişiklik göstermektedir. Özgül CO₂ emisyon değerleri arasındaki farklılık demir ve çeliğin üretiminde kullanılan özgül enerji tüketim değerinden kaynaklanmaktadır. Avrupa ve Amerika Birleşik Devletleri'nde 1995 senesinde bazik oksijen fırnında üretilen 1 ton ham çelik 2,0 ton CO₂ emisyonuna, Japonya ve Çin'de ise 1 ton ham çelik 2,5 ile 3,9 ton CO₂ emisyonuna yol açmıştır [3]. Çin'de 1995 senesinde gözlenen yüksek emisyon değeri 3,9 ton CO₂/ton ham çelik, çelik üretim teknolojisinin eski olmasından kaynaklanmaktadır.

Dünya'da 1990 senesinde toplam 733,4 Mt çelik üretilmiştir. Toplam çelik üretimi 2004 senesinde bir milyar tonu aşarak 1035,6 Mt ulaşmıştır [4]. Çin 2004 senesinde dünya çelik üretiminin %27'sine karşılık gelen 280,5 Mt çelik üretmiş, dünyadaki ikinci büyük çelik üreticisi olan Japonya ise toplam çelik üretiminin %11'ine karşılık gelen 114 Mt çelik üretmiştir. 2004 senesinde dünyada üretilen çeliğin %63'ü tümleşik çelik tesislerindeki bazik oksijen fırınlarında, %34'ü elektrik ark fırınlarında, %3'ü ise Siemens Martin fırınlarında üretilmiştir [5].

Türkiye'de 1990 senesinde toplam 9,32 Mt çelik üretilmiştir (Şekil 1). Üretilen çeliğin %53'ü elektrik ark fırınlarında, %47'si ise tümleşik çelik tesislerinde üretilmiştir. Tümleşik çelik tesislerinde üretilen çeliğin %86'sı bazik oksijen fırını ile, %14'ü ise Siemens Martin fırını ile üretilmiştir. Türkiye'deki toplam çelik üretimi 14 sene içinde %100 artarak 20,50 Mt ulaşmıştır. Bu değer dünyadaki çelik üretiminin %2'sine karşılık gelmektedir [6]. 1990'lı yıllardan 2004 yılına gelindiğinde, elektrik ark fırınlarının toplam çelik üretimindeki payı artarak %71,5 olmuş, tümleşik çelik tesislerinde üretilen ham çeliğin toplam çelik üretimindeki payı %28,5'e düşmüştür (Şekil 1). Elektrik ark fırınlarında gerçekleştirilen çelik üretimi daha düşük özgül CO₂ emisyon değerleri verdiğinden, Türkiye'de yüksek olan elektrik ark fırını çelik üretimi/tümleşik çelik tesisi çelik üretimi oranı, (2004 senesi için bu oran dünyada 0,54, Türkiye'de ise 2,5!), çelik üretiminden kaynaklanan düşük CO₂ emisyon değerleri ve Kyoto Protokolü hedeflerine ulaşma açısından Türkiye'yi oldukça avantajlı bir duruma getirmektedir. Burada vurgulanması gereken bir önemli nokta, elektrik ark fırınlarında kullanılan elektriğin birim maliyetlerinin de düşük olması, gerek rekabet gerekse de düşük CO₂ emisyonları açısından ayrıca bir önem arz etmektedir.



Şekil.1 Türkiye'de 1990-2004 yılları arasında tümleşik çelik tesislerinde bazık oksijen fırında (BOF) ve elektrik ark fırınlarında (EAF) üretilen çelik miktarı (6).

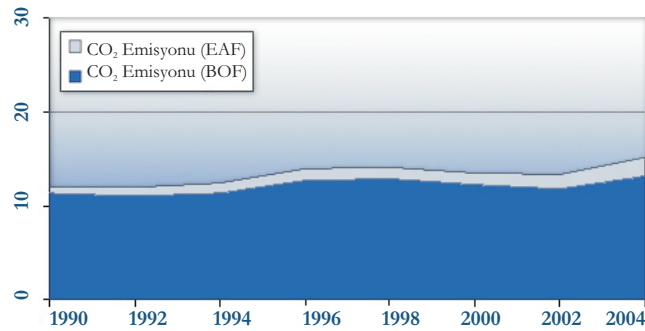
3. Türkiye Demir Çelik Sanayisi ve Karbondioksit Emisyonları

Türkiye'deki çelik üretimi tümleşik çelik tesislerindeki bazık oksijen fırınlarında ve elektrik ark fırınlarında yapılmaktadır. Türkiye'de çelik üretimi yapan toplam 21 şirket vardır. Bu şirketlerden üçü Erdemir, İsdemir ve Kardemir tümleşik çelik tesislerinde bazık oksijen fırını ile çelik üretimi, diğer 18'i ise elektrik ark fırınlarında çelik üretimi yapmaktadır. Türkiye demir çelik sektöründeki şirketlerin tamamı özel sektöre aittir. Devlete ait olan ve elektrik ark fırını ile üretim yapan tek bir şirket vardır (60 000 ton/yıl).

Anket sonuçlarına göre, 1990 senesinde tümleşik çelik tesislerinden 11,28 Mt CO₂ emisyonu, elektrik ark fırınlarından ise 0,743 Mt CO₂ emisyonu gerçekleşmiştir [6]. Şekil.2'de gösterildiği gibi, 2004 senesindeki toplam CO₂ emisyonu 15,2 Mt yükselmiştir. Bu miktarın %87'si tümleşik çelik tesislerindeki çelik üretimi, %13'ü ise elektrik ark fırınlarındaki çelik üretiminden kaynaklanmıştır [6]. Türkiye'de 2020 senesinde çelik üretiminden kaynaklanan tahmini CO₂ miktarı 29,2 Mt olup, bunun yaklaşık olarak %91'i tümleşik çelik tesislerindeki çelik üretiminden ileri gelecektir [6].

Şekil.2 Türkiye'de 1990-2004 yılları arasında tümleşik çelik tesislerinde bazık oksijen fırında (BOF) ve elektrik ark fırınlarında (EAF) üretilen ham çelikten kaynaklanan CO₂ emisyon miktarları (kaynak [6]'dan düzenlenmiştir).

Raporun bundan sonraki bölümünde, Türkiye'deki üç tümleşik çelik tesisinin (Ereğli Demir Çelik Fabrikaları, İskenderun Demir Çelik Fabrikaları ve Karabük Demir Çelik Fabrikaları), ton ham çelik başına özgül enerji tüketimi ve ton ham çelik başına özgül CO₂ emisyon değerleri ile 1990-2020 döneminde yapılan ve yapılması planlanan enerji verimliliği çalışmaları verilecektir.



Şekil.2 Türkiye'de 1990-2004 yılları arasında tümleşik çelik tesislerinde bazık oksijen fırında (BOF) ve elektrik ark fırınlarında (EAF) üretilen ham çelikten kaynaklanan CO₂ emisyon miktarları (kaynak [6]'dan düzenlenmiştir).

3.1 Türkiye'nin Tümleşik Çelik Tesislerindeki Özgül Enerji Tüketimi ve Özgül Karbondioksit Emisyonu

Dünyada tümleşik çelik tesislerinde üretilen çeliğin, ton ham çelik başına özgül enerji tüketimi 4550-10750 Mcal/ton ham çelik (thç) arasında değişmektedir [2]. Çeliğin özgül enerji tüketimindeki bu değişim, teknoloji, yakıt kullanımı, ve işletme verimliliğindeki farklılıklardan ileri gelmektedir. 1990'lı yıllarda tümleşik tesislerdeki çelik üretimi bazık oksijen fırını ve Siemens Martin fırınlarında yapılmıştır. Her iki üretim yöntemi içinde ton ham çelik başına özgül enerji tüketimi, bazık oksijen fırında 4550-9550 Mcal/thç, Siemens Martin fırınlarında ise 7160-10.750 Mcal/thç olarak verilmiştir [2]. Dolayısı ile bazık oksijen fırınında üretilen çelik Siemens Martin fırınında üretilen çeliğe kıyasla daha verimli bir şekilde üretilmektedir. 1990'lı yıllarda tümleşik çelik tesislerindeki en iyi özgül enerji tüketimine yönelik olarak çeşitli tahminler yapılmıştır. Bu tahminlerden ilki değer olarak 5250 Mcal/thç, ikincisi ise 6210 Mcal/thç değerini vermiştir [2]. İkinci özgül enerji tüketim değeri 1995 senesinde Almanya, Japonya ve A.B.D. ulaşılan ortalama değerdir [2].

Tablo.1 1990-2020 yılları arasında Erdemir, İsdemir ve Kardemir tümleşik çelik tesislerindeki tahmini ton ham çelik başına özgül enerji tüketim ve özgül CO₂ emisyon değerleri.

Tümleşik Çelik Tesisi	Özgül Enerji Tüketimi (Mcal/ton ham çelik)				
	1990	2004	2010	2015	2020
Erdemir	6665	5125	4977	5614	5683
İsdemir	8340	6420	5300	5000	4800
Kardemir	8950 ¹	7347 ²	5750 ³	5250 ²	5000 ³
Tümleşik Çelik Tesisi	Özgül CO ₂ Emisyonu (ton CO ₂ /ton ham çelik)				
	1990	2004	2010	2015	2020
Erdemir	2,16	2,09	2,12	2,07	2,08
İsdemir	2,70	2,51	1,79	1,66	1,65
Kardemir	3,6 ³	1,97 ⁴	1,97 ⁵	1,97	1,97

¹ Kardemir için 1990 senesine ait özgül enerji tüketim değerine ulaşamamıştır. Siemens Martin fırınlarında yapılan çelik üretimi için bu değer 7150-10750 Mcal/thç olarak verilmiştir [2]. Bu raporda bu iki değer ortalama olan 8950 Mcal/thç değeri alınmıştır.

² Kardemir, Hakan Özyiğit, kişisel görüşme, 13.07.2006.

³ Kardemir için 1990 senesine ait özgül CO₂ emisyon değerine ulaşamamıştır. 1990 senesinde Kardemir'de çelik Siemens Martin fırınları ile üretildiğinden, bu değer 3,6 ton CO₂/thç olarak varsayılmıştır.

⁴ Kardemir, Hakan Özyiğit, kişisel görüşme, 13.07.2006.

⁵ Kardemir'in 2010-2020 yılları arasında ait özgül CO₂ emisyon değerlerine ulaşamamıştır. Bu değer 1,97 ton CO₂/thç olarak alınmıştır. Ancak, 2010 senesinde bu değerde, bazık oksijen fırın gazı geri kazanım ünitesinin 2007 senesinde devreye alınması ile birlikte bir azalma beklenmektedir. Hakan Özyiğit, kişisel görüşme, 13.07.2006.

1990 senesinde tümleşik çelik tesislerindeki çelik üretimi Erdemir ve İsdemir'de bazık oksijen fırını ile, Kardemir'de ise Siemens Martin fırınlarında gerçekleştirilmiştir. Tablo.1'de tümleşik tesislerde üretilen çeliğin özgül enerji tüketim değerleri verilmiştir.

1990 yılından sonra yan ürün gazlarının kullanımının artırılmasına yönelik yapılan yatırımlar ise: buhar kazanlarının (iki adet) daha fazla yan ürün gazlarını yakacak şekilde değiştirilmesi, yan ürün gaz yakıtı yeni bir buhar kazanı yapılması, çelikخانه gazı toplama sistemi ve deposu, çelikخانه gazı + yüksek fırın gazı karıştırma sistemi, yeni yüksek fırın gazı ve kok gazı depoları, turbo jeneratör/motor üfleme (blower) tesisi (25MW), ve çelikخانه gazının yüksek fırın sobalarında kullanılmasıdır.

1990'lı yıllarda, çelik üretimindeki özgül enerji tüketim değerini azaltmak amacı ile iki önemli yatırım yapılmıştır. Bu yatırımlardan ilki kömür püskürtme tesisinin kurulması ile yüksek fırınlara kok yerine kömür enjeksiyonunun yapılmasıdır. Sistem kömürün toz haline getirilmesini ve üfleçlerden yüksek basınç ile yüksek fırınlara püskürtülmesini içermektedir. Yüksek fırında kullanılan ve daha pahalı olan kokun yerine toz haldeki kömürün kullanımı, kok üretimi esnasındaki enerji kayıplarını düşürmektedir [7]. Erdemir'de yapılan ikinci yatırım, çelik üretimi esnasında bazik oksijen fırınında kullanılan gazın geri kazanımı ile ilgilidir. Geri kazanılan bu gaz yakıt olarak kullanılır. Her iki yatırımda özgül enerji tüketim değerlerinde ve özgül CO₂ emisyon değerlerinde azalmalara yol açmıştır. 2004 senesi için bu iki yatırımdan sağlanan CO₂ emisyon tasarrufu, toplam CO₂ emisyonunun %3,4'üne karşılık gelen, 200 000 ton olarak hesaplanmıştır. Tablo 1'de, 1990 senesinde Erdemir için özgül CO₂ emisyon değeri 2,16 ton CO₂/ton ham çelik olarak verilmiştir. Bu değer Avrupa ülkeleri ve A.B.D için verilen 2,0 ton CO₂/ton ham çelik değerinden daha yüksek olmakla birlikte, Japonyada üretilen çelik için verilen 2,50 ton CO₂/ton ham çelik değerinden daha iyidir [3]. 1990'lı yıllar boyunca yapılan çalışmalar ve yatırımlar neticesinde, 2004 senesinde Erdemir'de ulaşılan emisyon değeri 2,08 ton CO₂/ton ham çelik olarak tahmin edilmiştir.

Öte yandan, 1990 senesinde İsdemir ve Kardemir için verilen özgül enerji tüketim değerleri Erdemir'e kıyasla daha yüksektir (Tablo.1). İsdemir'de 1990 yılından bu yana yapılan enerji verimliliğini artırıcı çalışmaları: Kok kuru söndürme sistemi iyileştirmeleri, turbo üfleçlerde kok kuru söndürme buharının kullanılması, sinter fırınlarında yapılan iyileştirmeler, yüksek fırın üfleme havası hattı yalıtımı, yüksek fırın sobalarında yapılan iyileştirmeler, sürekli dökümde kütük makinalarının kapatılarak doğrudan kütük üretilmesi, tel çubuk fırını modernizasyonu, kuvvet santrali kazanlarında yapılan iyileştirmeler ile yakıt-yağı kullanımının azaltılması (%65) ve yan ürün gazları kullanımının artırılması, soğutma kuleleri ve buhar kapalarında yapılan iyileştirmelerdir.

1990 senesinde Erdemir'de üretilen çelik için özgül enerji tüketim değeri 6665 Mcal/thç olarak verilmiştir. Bu değer, 1995 senesinde Almanya, Japonya ve A.B.D'de yukarıda verilen ortalama değere, 6210 Mcal/thç, oldukça yakındır. Erdemir'de 1990'lı yıllarda özgül enerji tüketim değerini azaltmak amacı ile çeşitli yatırımlar ve enerji verimliliği çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalar neticesinde özgül enerji tüketim değerlerinde düşme sağlanmış, ve 2004 yılında 5125 Mcal/thç değerine ulaşılmıştır. Bu değer yukarıda verilen ve 1990'lı yıllarda ulaşılan ve en iyi özgül enerji tüketim değerine, 5250 Mcal/thç, oldukça yakındır.

Erdemir'de 1990 yılından bu yana yapılan enerji verimliliğini artırıcı çalışmalar iki ana başlıkta incelenebilir. Bunlardan ilki; enerji tasarrufu alanında yapılan çalışma ve yatırımlar, ikincisi ise; yan ürün gazlarının kullanımının artırılmasına yönelik yapılan çalışma ve yatırımlardır. Enerji tasarrufu alanında yapılan başlıca çalışmalar: kömür püskürtme tesisinin kurulması ile yüksek fırınlara kok yerine kömür püskürtme, yüksek fırın sobalarında yüksek fırın baca gazı atık ısısının kullanılması, yassı ürün fırınlarında kok gazı kullanımının artırılması ve yakıt yağı yerine doğal gaz kullanımı, ve bu alandaki çalışmaların yürütüldüğü ve takip edildiği Enerji Yönetim Merkezi'nin kurulmasıdır.

Yapılan bu çalışmalar neticesinde 2004 senesinde özgül enerji tüketim değerlerinde %23, özgül CO₂ emisyon değerlerinde ise %7 civarında bir tasarruf sağlanmıştır (Tablo. 1). İsdemir'de üretim kapasitesini arttırmaya yönelik çalışmalar devam etmektedir. Bu yatırımların tamamlanması ile birlikte 2010 yılından sonra, enerji tüketimi ve CO₂ emisyon değerlerinde önemli bir azalma beklenmektedir (Tablo.1).

1990 senesinde Kardemir'deki yüksek özgül enerji tüketim ve yüksek CO₂ emisyon değerlerinin nedeni, çelik üretiminde kullanılan ve eski bir teknoloji olan Siemens Martin fırınlarıdır. Kardemir, 1999 senesinde çelik üretim teknolojisini yenilemiş ve çelik üretimini bazik oksijen fırınlarında sürekli döküm tekniği kullanarak gerçekleştirmeye başlamıştır. Kardemir'de çelik üretiminde gerçekleştirilen her iki teknolojik yenilikte, 2000'li yıllarda ton ham çelik başına daha düşük özgül enerji tüketim ve özgül CO₂ emisyon değerlerine ulaşılmıştır (Tablo.1). Bazik oksijen fırın gaz geri kazanım ünitesinin 2007 senesinde devreye girmesi ile, Kardemir'de 2010-2020 yılları arasında gerek çelik üretiminde kullanılan enerjide gerekse de CO₂ emisyon değerlerinde üretim maliyetleri ve çevre açısından daha iyi bir koşullar beklenmektedir.

Tablo.2 Türkiye'deki tümleşik çelik tesislerinde, 1990 ve 2004 yıllarında gerçekleşen 2010, 2015 ve 2020 yıllarında gerçekleşmesi öngörülen ham çelik üretimi, ham çelik üretiminden kaynaklanan CO₂ emisyon miktarı ve özgül CO₂ emisyon değerleri.

Tümleşik Çelik Tesisi	Ham Çelik üretimi (milyon ton ham çelik)				
	1990	2004	2010	2015	2020
Erdemir	1,94	3,03	3,15	5,91	5,91
İsdemir	1,82	2,09	6,25	6,25	6,25
Kardemir	0,605	0,828	1,22 ¹	1,25 ¹	2,00 ¹
Toplam çelik üretimi	4,36	5,95	10,62	13,41	14,16
Tümleşik Çelik Tesisi	CO ₂ emisyonu (Mt/yıl)				
	1990	2004	2010	2015	2020
Erdemir	4,19	6,33	6,68	12,23	12,29
İsdemir	4,91	5,25	11,19	10,37	10,31
Kardemir	2,18 ²	1,63	2,40 ³	2,46	3,94
Toplam CO₂ Emisyonu (Mt/yıl)	11,28	13,21	20,27	25,06	26,54
Tümleşik Tesislerdeki CO ₂ Emisyonu (ton CO ₂ /thç)	2,59	2,22	1,91	1,87	1,87

¹ 2010-2020 yıllarına ait ham çelik üretim değerlerine ulaşılamamıştır. Anket sonuçlarında sadece pik demir üretim değerleri verilmiştir. 2010-2020 yılları için bu değerler alınmıştır.

² Kardemir için özgül CO₂ emisyon değerine ulaşılamamıştır. 1990 senesinde Kardemir'de ham çelik üretiminde Siemens Martin fırınları kullanılmıştır. Ham çeliğin Siemens Martin fırınlarında üretimi için özgül CO₂ emisyon değeri 3,6 ton CO₂/thç olarak kabul edilmiştir. 1990 senesine ait CO₂ emisyon değeri, bu değer esas alınarak hesaplanmıştır.

³ 2010-2020 yıllarına ait özgül CO₂ emisyon değerlerine ulaşılamamıştır. Bu değer 1,97 ton CO₂/thç olarak kabul edilmiştir. Ancak, 2007 yılında devreye alınacak bazik oksijen fırını gaz geri kazanım biriminin devreye alınması ile, bu değerde daha da düşme beklenmektedir.

3.2 Türkiye'nin Tümüleşik Çelik Tesislerindeki Ham Çelik Üretimi ve Karbondioksit Emisyonu

Tablo.1'de verilen özgül CO₂ emisyon değerleri ve 1990-2020 yılları arasındaki toplam ham çelik üretim değerleri kullanılarak, Erdemir, İsdemir ve Kardemir tümleşik çelik tesislerinde 1990-2020 yıllarındaki toplam CO₂ emisyon değerleri hesaplanmıştır. Sonuçlar Tablo.2'de verilmiştir

1990 senesinde, Türkiye'deki üç tümleşik çelik tesisinde toplam 4,36 Mt çelik üretilmiştir. Tümüleşik çelik tesislerinde üretilen ham çelik miktarına karşılık gelen tahmini CO₂ emisyon değeri 11,28 Mt'dur. 2004 senesinde, tümleşik çelik tesislerinde üretilen ham çelik miktarı 1990 yılına kıyasla %36,5 artarak 5,95 Mt olmuştur. 2004 yılında ham çelik üretiminden kaynaklanan CO₂ emisyon miktarı 13,21 Mt olarak tahmin edilmiştir. Bu değer 1990 yılındaki CO₂ emisyonuna göre %17 oranında daha fazladır. 1990 senesinde tümleşik çelik tesislerinde üretilen ham çeliğin özgül CO₂ emisyon değeri 2,59 ton CO₂/thç, 2004 senesinde tümleşik çelik tesislerinde üretilen ham çeliğin özgül CO₂ emisyon değeri 2,22 CO₂/thç olarak tahmin edilmiştir (Tablo.2). Yukarıda değinildiği gibi, 1990-2004 döneminde yapılan yatırımlar, çalışmalar ve teknoloji yenileme çalışmaları sonucunda çelik üretimindeki özgül enerji tüketim değerinde düşüş sağlanmıştır. Bu düşüşe bağlı olarak özgül CO₂ emisyon değerlerinde de düşüş sağlanarak sektörde önemli oranda CO₂ emisyonlarında tasarruf sağlanmıştır.

Yapılan öngörülere göre, tümleşik çelik tesislerinde üretilen ham çelik miktarı 2010 yılında 10,62 Mt, 2015 yılında 13,41 Mt, 2020 yılında ise 14,16 Mt olarak gerçekleşecektir (Tablo.2). Bu artışa bağlı olarak, önümüzdeki dönemde Türkiye'de çelik üretiminden kaynaklanan CO₂ miktarında bir artış olacaktır. Tablo.2'de, 2010, 2015 ve 2020 yılları için tümleşik çelik tesislerinde, ham çelik üretiminde bağlı olarak gerçekleşmesi öngörülen tahmini CO₂ miktarları, 20,27 Mt, 25,06 Mt ve 26,54 Mt olarak verilmiştir.

Erdemir, İsdemir ve Kardemir'de halen devam eden yatırımlar ile, önümüzdeki dönemde mevcut kapasite arttırılacak ve enerji tüketim maliyetleri düşürülecektir. Bu gelişmelere bağlı olarak 2010-2020 yılları arasında özgül CO₂ emisyon değerlerinde azalma beklenmektedir (Tablo.2).

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, Türkiye Demir Çelik sektöründe çelik üretiminde doğrudan kullanılan enerjiye bağlı olarak gerçekleşen CO₂ emisyon değerleri incelenmiştir. Sektörde yapılan anket çalışmaları sonucunda 1990, 2004, 2010, 2015 ve 2020 yılları için ton ham çelik başına özgül enerji tüketim değerleri ve özgül CO₂ emisyon değerleri belirlenmiştir. Toplam çelik üretim miktarı ve özgül CO₂ emisyon değerleri kullanılarak, çelik üretimi ile ilgili toplam CO₂ emisyon miktarı belirlenmiştir. Sonuçların bir özeti Tablo 3'te verilmiştir. Tablo.3'teki verilerin bir bölümü Türkiye Demir Çelik Üreticileri Derneğinden sağlanmıştır. [6]. Tablo.3'te verilen değerlerin analizi Türkiye'de demir ve çelik sektöründen kaynaklanan CO₂ emisyonları ile ilgili olarak 3 temel sonuç vermektedir.

(i) 1990-2004 yılları arasında Türkiye'de üretilen ham çelik miktarı 9,31 Mt'dan 20,5 Mt'a yükselmiştir. 1990 senesinde ham çeliğin %53'ü elektrik ark fırınlarında %47'si ise tümleşik çelik tesislerinde üretilmiştir. 1990-2004 yılları arasında elektrik ark fırınları ile üretilen ham çeliğin toplam üretim içindeki payı artarak %71,5'e ulaşmıştır. 1990 senesinde Türkiye'de elektrik ark fırınlarında üretilen ham çelikten kaynaklanan özgül CO₂ emisyon değeri 0,150 ton CO₂/thç olarak tahmin edilmiştir [6]. Bu değer Batı Avrupa'da elektrik ark fırınlarında üretilen ham çeliğin özgül CO₂ emisyon değerinden, 0,2 ton CO₂/thç, daha iyi bir değerdir. Elektrik ark fırınları ile ham çelik üretimi, doğrudan CO₂ emisyonları açısından, tümleşik tesislerde üretilen çeliğe kıyasla çok daha azdır (bkz Bölüm 2).

Ayrıca, bu değer tümleşik çelik tesislerinde üretilen CO₂ emisyon değerlerinden, 2004 yılı için 2,22 ton CO₂/thç, daha düşüktür (Tablo.3). 2004 senesinde, dünyada 1035,6 Mt çelik üretilmiştir. Toplam çelik üretiminin %34'ü elektrik ark fırınlarında yapılmıştır. Dolayısı ile, Türkiye'de ham çelik üretiminin büyük bir bölümünün elektrik ark fırınlarında üretimi ve bu tesislerdeki düşük özgül CO₂ emisyon değeri, demir çelik sektöründen kaynaklanan CO₂ emisyonları açısından, Türkiye Demir ve Çelik Sanayisine Kyoto Protokolü hedeflerine ulaşma açısından ciddi bir avantaj sağlamaktadır.

Tablo.3 Türkiye'de elektrik ark fırınları ve tümleşik çelik tesislerinde 1990 ve 2004 yıllarında gerçekleşen, ve 2010-2020 yılları arasında olması beklenen, toplam ham çelik üretimi, ham çelik üretimi ile ilgili CO₂ emisyonları ve özgül CO₂ emisyon değerleri.

Ham Çelik Üretimi (Mt thç)	1990	2004	2010	2015	2020
Tümüleşik Çelik Tesisleri	4,36	5,95	10,62 ¹	13,41 ¹	14,16 ¹
Elektrik Ark Fırınları	4,95	14,65	17,75 ²	18,95 ²	19,70 ²
Toplam	9,31	20,5	28,37	32,36	33,86
CO ₂ Emisyonu (Mt CO ₂)	1990	2004	2010	2015	2020
Tümüleşik Çelik Tesisleri	11,29	13,22	20,25	25,06	26,54
Elektrik Ark Fırınları	0,74	1,98	2,4	2,56	2,66
Toplam	11,96	15,2	22,65	27,62	29,2
Özgül CO ₂ Emisyonu (ton CO ₂ /thç)	1990	2004	2010	2015	2020
Tümüleşik Çelik Tesisleri	2,59	2,22	1,91	1,87	1,87
Elektrik Ark Fırınları ³	0,150	0,135	0,135	0,135	0,135

* Mt thç - milyon ton ham çelik

¹ Bu değerler Erdemir, İsdemir ve Kardemir'den alınmıştır. 2010-2020 yılları için Kardemir'e ait ham çelik değerlerine ulaşamamıştır. Bu dönem için verilen değerler, tahmini bir değer alınarak hesaplanmıştır.

² Kaynak [6]'da verilen verilerden tahmin edilmiştir.

³ Elektrik ark fırınları için verilen özgül CO₂ emisyon değerleri Demir Çelik Üreticileri Derneği'nin hazırladığı "Inventory Study of CO₂ Gas Emissions for Iron and Steel Industry" çalışmadan alınmıştır [6].

(ii) Tümüleşik çelik tesislerinde 1990 ve 2004 yıllarına ait tahmini CO₂ emisyon değerlerinin karşılaştırılması, bu değerlerin 2,59 ton CO₂/thç'ten 2,22 ton CO₂/thç değerine düştüğünün göstermektedir. Özgül CO₂ emisyon değerindeki bu azalma yaklaşık olarak %14'tür. Bu azalmanın nedeni, Bölüm 3.1 ve Bölüm 3.2'de açıklandığı gibi, konu edilen dönemde tümleşik çelik tesislerinde ham çelik başına enerji tüketim maliyetlerini düşürmek için yapılan yatırımlar ve çalışmalar, ile çelik üretim teknolojisinde yapılan değişikliklerdir. 2004 senesinde bu yatırımlara bağlı olarak tümleşik çelik tesislerinde tasarruf edilen CO₂ miktarı yaklaşık olarak 2,2 Mt olarak tahmin edilmiştir.

(iii) Tümüleşik çelik tesislerinde 2004 ve 2010-2020 yıllarına ait özgül CO₂ emisyon değerleri incelendiğinde önümüzdeki dönemde ham çelik başına gerçekleşen CO₂ emisyon miktarının 2,22 ton CO₂/thç değerinden, 1,87 ton CO₂/thç değerine azalacağı görülmektedir.

Bunun anlamı, önümüzdeki 14 yıllık dönemde tümleşik çelik tesislerinde üretilen ham çeliğin özgül enerji tüketim değerlerinin daha düşük olacağı ve buna bağlı olarak ton ham çelik başına CO₂ emisyon miktarının daha az olacağıdır. Ancak, bu dönemde tümleşik çelik tesislerinde üretilen çeliğin miktarındaki artışa bağlı olarak, toplam CO₂ emisyon değerlerinde de bir artış olacaktır (Tablo.3). Türkiye'deki üç tümleşik çelik tesisinde enerji verimliliği ve kapasite arttırmaya yönelik yatırımlar devam etmektedir. Dolayısı ile, son 10-15 senede Türkiye Demir Çelik Sanayisi'nin dünyadaki gelişmelere bağlı olarak yeni yatırımlarla kendisini yeniden yapılandırıldığını ve önümüzdeki 10-15 senelik süre içinde dünyada bu alandaki yoğun rekabete bağlı olarak enerji tüketim maliyetlerini daha da azaltarak yüksek kaliteli ve düşük maliyetli çelik üretimi ile ülkemizin gelişmesine çok önemli katkıları olacaktır.

Referanslar

- [1] CO2 Emissions From Fuel Combustion, 1971-2003, International Energy Agency (IEA) Statistics, OECD/IEA, France, 2005.
- [2] J.W. Bode, J. De Beer, K. Blok and J. Ellis, An Initial View on Methodologies for Emission Baselines : Iron And Steel Case Study, OECD, 2001.
- [3] O. Maestad, Environmental Policy In The Steel Industry : Using Economic Instruments, OECD, 2003.
- [4] www.worldsteel.org, Steel Production Statistics, June 2006.
- [5] T.K. Roy, The Coke - Will it be 'The Cause', IIM Metal News, vol.9 No.1 February 2006.
- [6] Demir Çelik Üreticileri Derneği, Haziran 2006, Ankara, Türkiye.
- [7] J. De Beer, D. Phylipsen, and J. Bates, Economic Evaluation of Carbon Dioxide and Nitrous Oxide Emission Reductions in Industry in the EU Bottom-Up Analysis, 2001.



TÜRKİYE'DE TAŞIMACILIK SEKTÖRÜNDEKİ SERA GAZI EMİSYONLARI - ENVANTER ANALİZİ VE PROJEKSİYONLAR

Prof. Dr. Cem Soruşbay & Prof. Dr. Metin Ergeneman

İstanbul Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Fakültesi
Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Maslak – İstanbul

1. Giriş

Bu çalışmanın amacı 1990 – 2004 arasındaki dönem için Türkiye'de Taşımacılık Sektöründen kaynaklanan sera gazı (GHG) emisyonlarına ilişkin verilerin toplanması ve sunulması ve GHG emisyonlarının azaltılması için gelecekte yapılabilecek iyileştirmelerin yöntem ve olanaklarının analiz edilmesidir.

Ulusal taşımacılık envanteri bazlı GHG'ler, revize edilmiş Ulusal Sera Gazı Envanterleri IPCC Kılavuz Hükümleri (IPCC 1997) ve IPCC Ulusal Sera Gazı Envanterlerinde İyi Uygulama Kılavuzu ve Belirsizlik Yönetimi (IPCC 2000) ile uyumlu olarak, emisyon tahminlerinin doğru, şeffaf ve diğer ülkelerinkiler ile karşılaştırılabilir olmalarının sağlanması amacıyla derlenmiştir. Zaman içerisinde tutarlılık da doğruluğun korunması için hedef alınmıştır. Envanter verileri için belirsizlik aralığı da tahmin edilmiştir.

IPCC Aşama 1 yaklaşımına göre, taşımacılık bazlı GHG'ler, örneğin karbon CO₂, metan (CH₄) ve azot oksit (N₂O) bir enerji tüketimi temelinde derlenmiştir. Karbon monoksit (CO), azot oksitler (NO_x) ve metan dışındaki uçucu organik bileşenler (NMVOC) gibi indirekt GHG emisyonları da tahmin edilmiştir. Araç teknolojileri ve işletme koşulları emisyonlar üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğundan, IPCC Aşama 2/3 yaklaşımı, karayolu araçları, havacılık ve demiryollarının rafine edilmesi için benimsenmiştir.

Rapor aynı zamanda Türkiye'nin UNFCCC Ek 1 ve Kyoto Protokolü Ek B ülkelerine ilişkin olarak CO₂/kişi, CO₂/GSMH tüketimi açısından, taşımacılık sektörü için mevcut ve geçmişteki durumuna ilişkin bir karşılaştırma da içermektedir.

3. Emisyonların Tahmin Edilmesine İlişkin Metodoloji

Üç direkt sera gazının (CO₂, CH₄ ve N₂O) taşımacılık sektöründe enerji tüketiminden kaynaklanan emisyonları ve aynı zamanda CO, NO_x, NMVOC ve SO₂ gibi indirekt GHG emisyonları envanter kapsamında yer almaktadır.

Taşımacılık, karayolu taşımacılığından, yerli sivil havacılıktan, demiryollarından ve ulusal seyrüseferlerden meydana gelmektedir. Uluslar arası havacılıktan kaynaklanan emisyonlar ulusal envantere tahsis edilemez ve genellikle tahsis edilmeyen emisyonlar olarak ayrıca rapor edilir. Bu çalışmada, havacılıkla ilgili yakıt tüketim verileri yalnızca yerli tüketim için sağlanmıştır. Bu nedenle, bu raporda uluslar arası havacılıktan kaynaklanan tahsis edilmemiş emisyonlar için herhangi bir sonuç verilmemiştir.

Raporun aşağıdaki bölümleri envanterin veri kaynakları ve karayolu taşımacılığı, yerli havacılık ve demiryolu taşımacılığı için GHG emisyonlarının enerji bazlı olarak ve hem Aşama 1 hem de Aşama 2/3 yaklaşımları kullanılarak hesaplanması için bilgi sağlamaktadır. Veri sınırlılığı Aşama 1 dışında bir metodoloji kullanılarak denizcilik sektörü için herhangi bir tahminde bulunulmasına olanak vermemektedir.

Hesaplama yöntemleri IPCC önerilerini temel almaktadır. Aşağıdaki bölümlerde (Bölüm 3.2) detaylı olarak açıklanan ülkeye özel koşullara göre karayolu taşımacılığı için bazı modifikasyonlar yapılmıştır. İlgili veriler tüm faaliyetler için mercilerden istenmiştir. Alınan veriler doğrulanmış ve tutarlılık ve anormallikler açısından incelenmiş, ve diğer kaynaklardan elde edilen eşdeğer verilerle çapraz kontrole tabi tutulmuştur.

Veriler GHG emisyonu tahminleri için işlenmiş ve sonuçlar seri tutarlılığı için, ilgili zaman aralığındaki ulusal ekonomik koşullardan etkilenen yakıt tüketimi ile birlikte kontrol edilmiştir.

Bu çalışmada işlenen veriler, istatistiksel analize tabi tutulmamıştır; bu nedenle tutarlılıklar ve zaman serisi eğilimleri için belirsizlikler kontrol edilmiştir. Dizel yakıt tüketimi de analiz edilmiş ve notlar belirsizlikler hakkındaki ayrı bir bölümde sunulmuştur.

3.1 Veri Kaynakları

Yakıt bazlı yaklaşım GHG emisyonlarının tahmin edilmesi için kullanılmıştır. IPCC Aşama 1 yaklaşımında kullanılan emisyon faktörleri kullanılan yakıtın ısı içeriğini, yakma işlemi sırasında oksitlenen yakıttaki karbon oranını ve karbon içeriği katsayısını temel almaktadır. Yakma verimliliğinin birçok durumda, kullanılan yakıtta bağlı olarak % 99 olduğu varsayılmıştır.

Farklı yakıt türleri için emisyon faktörleri IPCC yaklaşımında belirtilen varsayılan değerlere göre kullanılmıştır. Karbon emisyonları için, emisyonu gerçekleşen karbon kütlesi tüketilen yakıtın kütlesi ile orantılıdır. Bu nedenle, yakıt bazlı CO₂ emisyonları, tüketilen yakıtta emisyon faktörlerinin uygulanması ile direkt olarak elde edilir. GHG'ler için, IPCC varsayılan değerlerine göre uygun emisyon faktörleri kullanılır.

GHG envanteri başlangıçta IPCC Aşama 1 yaklaşımına göre, Enerji Bakanlığı tarafından sağlanan yakıt tüketimi verileri kullanılarak derlenmiştir [3].

GHG emisyonlarının anahtar kaynağı olan karayolu taşımacılığı sektöründe, farklı kaynaklardan elde edilen veriler arasında kesin bir tutarsızlık vardır. Dolayısıyla, farklı kaynaklardan elde edilen yakıt tüketimi verileri doğrulama amaçlı olarak analiz edilmiştir. Enerji bakanlığından elde edilen yakıt tüketim verilerinin [3] en doğru veriler olduğu kabul edilmiş ve bu veriler GHG emisyonlarının tahmini amaçlı hesaplamalarda kullanılmıştır. Türk Otomotiv Sanayicileri Derneği (OSD)'den elde edilen diğer bilgiler ve Türkiye Petrol Sanayicileri Derneğinden (PETDER) [4] elde edilen veriler bu değerlerle karşılaştırılmıştır.

Mevcut verilerde, dizel yakıt tüketimi karayolu araçları, tarım makineleri, inşaat ve hizmet araçları / makineleri ve güç jeneratörleri gibi her bir tüketici türü için belirtilmemiştir. Jeneratör birimlerinin ve kayıtlı hizmet araçlarının sayısı için veriler mevcut değildir. Bu konu doğruluk analizinde tartışılmıştır, ancak bu kaynakların toplam emisyonlara katkısı son derece sınırlı olduğundan, yalnızca kayıtlı karayolu araçları dikkate alınmıştır. Türkiye'deki karayolu araçları tarafından tüketilen toplam dizel yakıt aynı zamanda ülkeye temel olarak ülkenin güneydoğu bölümündeki sınırdan giren kayıtlı olmayan bir miktar yakıtı da içermektedir. Bu düşük kaliteli kayıtsız yakıt PETDER tarafından, toplam araç sayısındaki değişiklikler, toplam yakıt ihtiyacı ve yıllara göre toplam yakıt satışları üzerinde yapılan bir analiz sonrasında bildirilmiştir [5]. Bu analiz Bölüm 4'te tartışılmıştır.

Çeşitli yol aracı kategorileri için filo nüfusu Türkiye İstatistik Enstitüsü (TURKSTAT, TÜİK) tarafından sağlanmıştır [6]. Araç filosunun her bir takvim yılındaki teknolojik sınıflandırması için, Türk Otomotiv İmalatçıları Birliğinden (OSD) egzoz emisyonu mevzuatı ile ilgili olarak alınan veriler kullanılmıştır [7]. Dizelle çalışan araçların araç-km değerleri makul varsayımlarla, mevcut istatistiksel sonuçlara göre elde edilmiştir.

Demiryolları için TCDD (Türkiye Devlet Demiryolları) Araştırma, Planlama ve Koordinasyon Departmanından ek yakıt tüketim verileri sağlanmış ve bu veriler 2000-2004 zaman serisi için kullanılmıştır. Her ne kadar bu veriler Enerji Bakanlığı tarafından sağlanan verilerle [1] uyumlu değilse de, eğilimler uyumludur ve 2000 ile 2004 arasındaki dönem için veriler kullanılmıştır.

Enerji Bakanlığı tarafından havacılık için sağlanan verilerde, yerli ve uluslar arası uçuşlar için bir ayırım mevcut değildir. Başlangıçta, GHG emisyonları IPCC Aşama 1 yaklaşımına göre toplam yakıt tüketimi verileri kullanılarak tahmin edilmiştir. Bu hesaplamalar daha sonra GHG emisyonlarının ayrı ayrı tahmin edilmesi için ve IPCC Aşama 2 yaklaşımına göre (uluslararası havacılık dahil olmadan) yalnızca ulusal envanterdeki yerli emisyonları içerecek şekilde rafine edilmiştir. Türkiye'deki her bir havaalanı için, 1990-2004 zaman serisine ilişkin iniş ve kalkış (LTO) değerleri kullanılmıştır. Yerli ve uluslar arası uçuşların yüzdesi de LTO için tüketilen yakıt miktarının ve yalnızca yerli amaçlar için seyrüsefer tüketiminin hesaplanmasında dikkate alınmıştır.[9] Her ne kadar listedeki tüm uçak türleri için emisyon faktörleri mevcut değilse de, yakıt tüketim değerlerinin genliği Enerji Bakanlığı tarafından sağlanan verilerin yalnızca yerli havacılık için olduğunu ortaya koymuştur. Bu analizin sonuçları hem Aşama 1 hem de Aşama 2 yaklaşımlarda yerli havacılığın GHG emisyonu tahminine yol açmıştır.

3.2 Karayolu Taşımacılığı

İçten yanmalı motorlardan güç alan karayolu araçları CO, yakılmamış HC'lar, NO_x ve parçacıklı madde (PM) gibi yürürlükteki emisyon mevzuatı ile kontrol edilen kirletici emisyonlarının ana kaynağıdır. CO₂ de yanmanın birincil bir ürünüdür ve üretimi araç tarafından tüketilen yakıt miktarı ile direkt olarak ilişkilidir. Bu envanterde rapor edilen diğer GHG gazları, örneğin CH₄ ve N₂O da yanma işlemi ile yayılır. CH₄ yanma odasına indüklenen yakıtın tam olarak yanmamasından kaynaklanan bir hidrokarbondur. N₂O havada mevcut olan azotun motordaki yanma işlemi sırasında kısmi olarak oksitlenmesinden kaynaklanan bir üründür. N₂O aynı zamanda katalitik dönüştürücülere sahip binek arabalarının egzoz sisteminde de üretilir.

Mevcut envanter çalışmasında, karayolu taşımacılığında kaynaklanan GHG emisyonları yakıt tüketim verilerinden, şartnamelere ve bu alt sektörde kullanılan çeşitli yakıt miktarlarına göre hesaplanır. IPCC Aşama 1 yaklaşımı ile ilgili rafine etme işlemleri CO₂ ve SO₂ dışında kalan ve yakıtın yanmasından direkt olarak elde edilen emisyonlar için çeşitli teknoloji gruplarına yönelik olarak karayolu trafik verileri ve emisyon faktörleri dikkate alınmak suretiyle modifikasyonların uygulanması yoluyla gerçekleştirilmiştir. CO₂ emisyonları benzin, dizel ve LPG yakıtlarının yıllık tüketimi kullanılarak tahmin edilmiştir ve hesaplamalar her bir yakıtın karbon içeriğini temel almaktadır.

Doğal gazla çalışan araçlardan kaynaklanan emisyonlar bu envantere dahil edilmemiştir, çünkü bu araçların sayısı çok düşüktür ve katkıları ihmal edilebilir seviyededir.

SO₂ emisyonları da yakıt tüketimi verilerinden ve Türkiye'deki yakıtların tahmini sülfür içeriklerinden, IPCC Aşama 1 yakıt bazlı emisyon yaklaşımına göre hesaplanmıştır.

NO_x, NMVOC'ler, CO, CH₄ ve N₂O gibi kirleticilerin emisyonları aşağıdakilere bağlıdır,

- (i) Motor türü, boyutu, uygulanan emisyon kontrol teknolojisi gibi araç özellikleri,
- (ii) Yakıt türü ve özellikleri (benzin, dizel yakıt, LPG, doğal gaz),
- (iii) Trafikle ilgili sürüş koşulları ve biçimleri.

IPCC Aşama 2/3 metodolojisi bu projede daha önce açıklanan Aşama 1 yaklaşımına ek olarak karayolu taşımacılığında kaynaklanan emisyonların rafine edilmesi için kullanılmıştır. Trafik temelli emisyonların tahmini için, her bir kategorideki filo boyutu açısından araç verileri, yakıt türlerine ve araç özelliklerine göre emisyon faktörleri, her bir kategorideki araç başına kat edilen mesafe kullanılmıştır (bkz. Tablo 3.1 ile Tablo 3.8).

Bu yöntem CO₂ emisyonlarının yeniden hesaplanması ve bunların Aşama 1 yaklaşımının sonuçları ile karşılaştırılması yoluyla doğrulanmıştır.

Araç filosunun boyut ve yakıt türü açısından oluşumu aşağıdaki gibi verilmektedir,

- (i) Binek arabaları - benzin
- (ii) Binek arabaları - LPG
- (iii) Binek arabaları - dizel
- (iv) Otobüsler ve minibüsler (dizel)
- (v) Hafif hizmet ve ağır hizmet kamyonları (dizel)
- (vi) Motosikletler (iki zamanlı motorlar, benzin)

Karayolu araçlarının sayısı ve dağılımı ile ilgili veriler Türkiye İstatistik Enstitüsü (TÜİK) tarafından sağlanmıştır. Karayolu taşımacılığı sektörü için yakıt tüketimi verileri Enerji Bakanlığından elde edilmiştir. Buna ek olarak, OSD tarafından yerli imalattan kaynaklı yeni araç tescillerine ilişkin yıllık veriler sağlanmıştır. Kullanılan teknolojiye göre araç dağılımı (kirletici emisyonu düzenlemeleri) her bir yıl için OSD tarafından sağlanan bilgiler aracılığı ile hesaplanmıştır (Tablo 3.1 – Tablo 3.3).

Binek arabası filosu kompozisyonu benzinli araçlar ve dizel motorlara, 2004 yılı dizel motor yüzdesi kullanılarak ayrılmıştır. Daha önceki yıllara ait dizel yüzdesinin, dizelleşme eğiliminin yalnızca çok yakın zamanda büyüdüğü gerçeği nedeniyle çok daha düşük değerlerde olacağı tahmin edilmektedir.

Binek arabası filosu için, yeni tesciller ve sicillerden silme işlemleri de dahil olmak üzere, doğru veriler, yalnızca 1995 sonrası için mevcuttur. Bu nedenle, 1995, taban yıl olarak kabul edilmektedir ve Trafik Sicil ve Kontrol Bölümündeki sicillere girilen veya bu sicillerden silinen binek arabaları, araç yaşına, teknolojisine ve yakıt türüne göre binek arabası filosunun alt bölümlerinin elde edilmesi için kullanılmıştır.

Araçlar için mil hesabına göre mesafe, her bir teknoloji grubu için IPCC Aşama 2/3'e göre bilinen toplam yıllık yakıt tüketimi verilerinden ve varsayılan birim yakıt tüketimi (litre/100 km) verilerinden elde edilmiştir.

LPG ile çalışan araçlardan kaynaklanan emisyonlar, LPG ile çalıştığı tescil edilmiş olan binek arabalarının sayısı ve Enerji Bakanlığı tarafından sağlanan yakıt tüketim değerleri kullanılarak tahmin edilmiştir. LPG kullanılan arabaların gerçek sayısının bu resmi değer üzerinde olduğuna inanılmaktadır, çünkü dönüşümlerin tümü tescil edilmemektedir ve otogaz haricindeki taşımacılık amaçlı olmayan bazı yakıtlar bu araçlarda tüketilmektedir.

Gerçek dizel yakıt tüketimi de Enerji Bakanlığı tarafından sağlanan resmi değerlerden daha yüksektir. Ülkeye sınırdan giren kayıtsız yakıtın gözlemlenen farklılıkların kaynağı olduğuna inanılmaktadır.

Hesaplamalar IPCC'de verilen varsayılan emisyon faktörleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir; ülkeye özel emisyon faktörleri kullanılmamıştır, çünkü şu anda yerel koşulların karakterizasyonu için herhangi bir sürüş döngüsü kullanılmamaktadır.

3.3 Yerli Havacılık

Benzin ve jet yakıtından kaynaklanan yerli havacılık emisyonları, envanter içerisinde Enerji Bakanlığından elde edilen yakıt tüketimi verilerine göre tahmin edilmiştir.

Türkiye'deki her bir havaalanı için iniş ve kalkışların sayısı (LTO), tüm uçak türleri için Ulaştırma Bakanlığı, DLH Departmanı tarafından sağlanmıştır [9]. Yerli uçuşların uluslararası uçuşlara oranı da küresel olarak verilmiştir. Bu oran yerli LTO sayılarının, bu küresel değerlerin tüm koşullar için uygulanabilir olduğu varsayılarak tahmin edilmesinde kullanılmıştır. IPCC varsayılan değerlerinin ve motora özel emisyon faktörlerinin kullanılması ile, GHG emisyonları Aşama 2 yaklaşımıyla elde edilmiştir. Özellikleri mevcut olmayan uçak türleri için, IPCC varsayılan değerleri kullanılmıştır.

Tablo 3.9 Türkiye'de 1990-2004 arasında araç parkındaki değişiklikler

Yıllar	Binek Arabası	Kamyon	Pikap	Minibüs	Otobüs	Çiftlik Traktörü	Toplam
1990	1.649.879	257.353	263.407	125.399	63.700	692.454	3.052.192
1991	1.864.344	273.409	280.891	133.632	68.973	704.373	3.325.622
1992	2.181.388	379.410	308.180	145.312	75.592	828.580	3.918.462
1993	2.619.852	406.398	354.290	159.900	84.254	870.559	4.495.253
1994	2.861.640	419.374	374.473	166.424	87.545	895.506	4.804.962
1995	3.058.511	432.216	397.743	173.051	90.197	937.528	5.089.246
1996	3.274.156	453.796	442.788	182.694	94.978	988.142	5.436.554
1997	3.570.105	489.071	529.838	197.057	101.896	1.053.381	5.941.348
1998	3.838.631	519.749	626.004	211.495	108.361	1.107.157	6.411.397
1999	4.072.326	531.690	692.935	221.683	112.186	1.131.626	6.762.446
2000	4.422.180	557.295	794.459	235.885	118.454	1.159.070	7.287.343
2001	4.534.803	562.063	833.175	239.381	119.306	1.179.068	7.467.796
2002	4.600.140	567.152	875.381	241.700	120.097	1.180.127	7.584.597
2003	4.700.343	579.010	973.457	245.394	123.500	1.184.256	7.805.960
2004	5.400.440	647.420	1.259.867	318.954	152.712	1.210.283	8.989.676

Aşama 2 yöntemine göre, her bir havaalanı ve varsayılan yakıt tüketimi için LTO değerlerinin sayısı, LTO safhasında tüketilen yakıtın hesaplanması için kullanılmıştır. Bu daha sonra toplam yakıt tüketiminden, seyrüsefer safhasında tüketilen yakıtın elde edilmesi için çıkartılmıştır. Bunlar daha sonra emisyonların tahmin edilmesinde kullanılmıştır.

3.4 Demiryolu Taşımacılığı

Türkiye'de lokomotifler birincil olarak dizel motorlardan güç almaktadır. Dizel yakıttan kaynaklanan demiryolu taşımacılığı emisyonları, Enerji Bakanlığından elde edilen yakıt tüketim verilerine göre, SO₂ dışındaki GHG emisyonları için IPCC Aşama 2 yaklaşımı kullanılarak, envantere rapor edilmiştir.

TCDD'den 2000'den 2004'e kadar olan dönem için elde edilen rafine edilmiş veriler, bu yıllar için Enerji Bakanlığı verilerinin yerine kullanılmıştır.[8]

3.5 Ulusal Seyrüsefer

Dizel yakıttan ve akaryakıttan kaynaklanan ulusal seyrüsefer emisyonları envantere Enerji Bakanlığından elde edilen yakıt tüketim verilerine göre, IPCC Aşama 1 yaklaşımının yakıt bazlı hesaplamalara göre kullanılması yolu ile bildirilmiştir.

4. Belirsizlikler

Hesaplamalarda ortalama emisyon faktörünün uygulanması, dikkate alınan temel faaliyetlerdeki belirsizlikler ve temel faaliyetlerin bilimsel olarak anlaşılmasında kendiliğinden var olan belirsizlikler nedeniyle GHG emisyonların herhangi bir sektörel tahmininde belirsizlikler olması kaçınılmazdır. Bu çalışmada kullanılan IPCC metodolojisi tahminlerdeki belirsizliklerin seviyesinin minimize edilmesini amaçlamaktadır.

Hesaplamalar, çoğu zaman ülkeye özel değerler yerine IPCC varsayılan emisyon faktörlerinin uygulandığı IPCC Aşama 1 ve Aşama 2/3 yaklaşımlarını kapsamaktadır. Bu nedenle, herhangi bir istatistiksel veri kullanılmamıştır.

Havacılık sektörü için varsayılan IPCC belirsizlikleri hem emisyon faktörleri hem de faaliyet verileri için kullanılmıştır. Havacılık için toplam % 10 belirsizlik elde edilmiş olup, emisyon faktörleri ve faaliyet verileri için varsayılan belirsizlik % 7'dir.

Diğer taşımacılık sektörleri için, genellikle IPCC varsayılan değerlerinden daha yüksek belirsizlikler geçerlidir.

Demiryollarında ve seyrüsefer alt sektörlerinde, emisyon faktörleri ve faaliyet verileri (temel olarak yakıt tüketimi) için emisyon faktörlerine yönelik olarak % 7 olarak kabul edilen IPCC varsayılan değerleri % 50 artırılmış ve % 10.5'e ulaşmıştır. Bu durumda, belirsizlikler toplam olarak % 15'lik bir değere ulaşır.

Karayolu taşımacılığı için özellikle 2003 ve 2004 yılları ile ilgili olarak % 20'ye ulaşan daha yüksek toplam belirsizlikler tahmin edilmiştir. Bunun nedeni, taşımacılık amaçlı dizel yakıt tüketimindeki belirsizliklerdir. Enerji bakanlığı tarafından sağlanan yakıt tüketimi verileri hesaplamalarda kullanılmıştır.[3] Bu verilerin PETDER verileri ile karşılaştırılması, dizel yakıt ve LPG tüketimlerinde hem ulusal toplam hem de bölgesel tüketim rakamları için % 50 kadar bir değişiklik olduğunu göstermektedir.[4] Bunun nedeni kısmen dizelin taşımacılık dışındaki amaçlar, örneğin elektrik üretimi, ısınma ve hane halkı ihtiyaçları için tüketildiği gerçeğidir. Bu, toplam tüketimin % 25'ini oluşturabilir.

Dizel tüketimindeki bir diğer belirsizlik kaynağı, sınırdan önemli miktarda dizel yakıtın getirildiği gerçeğidir. Bunun miktarı PETDER raporunda belirtildiği gibi 2003 yılında 1.5 Mtonu ve 2004 yılında 0.9 Mtonu bulmaktadır.[5] Benzer şekilde ülkeye aynı yollarla getirilen benzin miktarı 2003 ve 2004 yıllarında, aynı rapora göre yılda 1 Mton aralığındadır. Bu aynı zamanda yalnızca yakıt tüketimini temel alan Aşama 1 yaklaşıma göre, ve filodaki araç sayısını, yılda kat edilen mesafeyi ve aracın teknoloji seviyesine göre emisyon faktörlerini dikkate alan Aşama 2/3 yaklaşıma göre CO₂ tahminlerinde meydana gelen farklılıktan da gözlemlenebilir.

6. Sonuçlar

Bu envanter çalışması iki ardıl safhada gerçekleştirilmiştir. Başlangıç olarak tüm alt sektörler için, enerji temelli IPCC Aşama 1 metodolojisi kullanılmıştır. İkinci safha IPCC Aşama 2/3 metodolojisinin karayolu taşımacılığı, havacılık ve demiryolları için uygulanması ile Aşama 1 sonuçların rafine edilmesini içermektedir.

Temel olarak CO₂'deki ve taşımacılık sektöründe kullanılan fosil yakıtların yakılmasından kaynaklanan diğer GHG emisyonlarındaki trendler ekonomik koşullardan ve yakıt fiyatlarından yıllık temelde etkilenmektedir. Ekonomik krizin etkisi açık bir şekilde gözlemlenmektedir ve bu dönemlerde toplam yakıt tüketimi büyük ölçüde azalmaktadır. Ekonomik kriz aynı zamanda bu yıllarda yeni tescil edilen araçların sayısını da etkilemektedir. Bununla birlikte, genel olarak araçların, özellikle de binek arabalarının toplam sayısı artmaktadır. Nüfustaki ve GSMH'daki artış bu trendi etkileyen ana faktörlerdir ve bunların yanı sıra diğer sosyal ve ekonomik koşullar da etkilidir.

Uzun vadeli GHG emisyonu trendleri aşağıdakilerden etkilenmektedir,

- (i) Yıllar içerisinde araçların sayısındaki artış,
- (ii) Kat edilen birim mesafe başına yakıt tüketimini azaltan teknolojik gelişmelere göre araç verimliliğindeki gelişmeler,
- (iii) Kamu taşımacılığı, kısa mesafelerin yürünmesi veya döngü vs. gibi taşımacılık modunda değişikliklere neden olan tüketici davranışındaki gelişmeler.
- (iv) Trafik akış biçimlerindeki ve koşullarındaki değişiklikler.

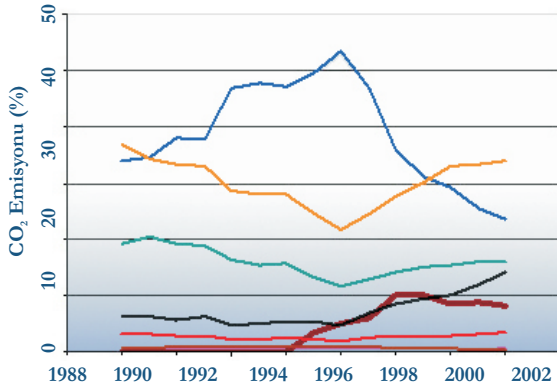
Türkiye'nin araç mülkiyeti konusundaki mevcut konumu, Avrupa ülkeleri ve endüstrileşmiş dünya ile karşılaştırıldığında, araçların sayısında açık bir artış potansiyeline işaret etmektedir (Şekil 6.1). Beklenen trend binek arabalarında, doyumluğa ulaşıncaya dek, artışın devam etmesidir.

Bu durum, doğru yönetilmemesi halinde, taşımacılıkla ilgili yakıt tüketiminde ve GHG emisyonlarında bir artış potansiyelini göstermektedir.

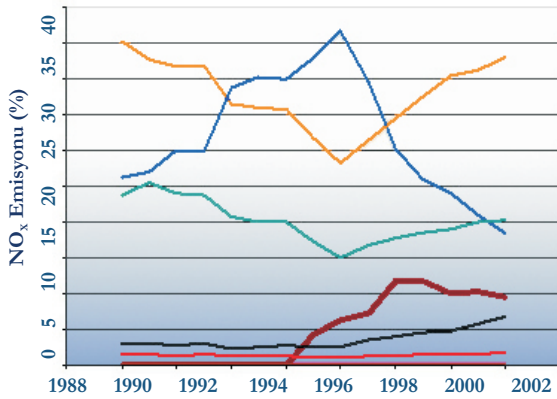
Türkiye'nin nüfusu 1990 ile 2003 yılları arasında % 1.8'lik bir ortalama hızla artmaktadır. Nüfus, aynı artış hızı korunduğu takdirde, 2010 yılında yaklaşık olarak 80 000 000'a ulaşacaktır.

Tablo 6.1 Son yıllarda nüfustaki değişiklik

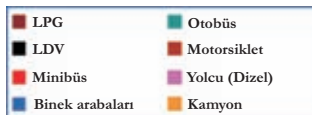
Nüfus Sayım Yılı	Nüfus
1975	40,347,719
1980	44,736,957
1985	50,664,458
1990	56,473,035
2000	67,803,927
2003	70,700,000



Şekil 6.2 Araç sınıflarının CO₂ emisyonuna katkıları



Şekil 6.3 Araç sınıflarının NO_x emisyonuna katkıları



Düşük karbon içeriğine sahip alternatif yakıt kullanımı da CO₂ emisyonunu azaltmaktadır. Dizel yakıtlı ve LPG yakıtlı binek arabaları GHG emisyonlarında, elde edilen daha yüksek verim ve istenen yakıt özellikleri nedeniyle bir azalma göstermektedir. Doğal gazın karayolu araçlarında kullanımı Türkiye'de son derece sınırlıdır, tek uygulama İstanbul ve Ankara'nın belirli ilçelerindeki bir şehirlerarası otobüs filosundadır; dolayısıyla, kirletici emisyonlarına katkısı ihmal edilebilir seviyededir. Kısa vadeli GHG emisyonu azalması, vergi avantajları gibi yasal tedbirlerin alınması halinde doğal gazla çalışan araçların sayısının artmasından fayda görülebilir.

Dizelleşme Türkiye'de yükselen bir trenddir. Dizelle çalışan araçlar eşdeğer benzinle çalışan araçlardan daha verimlidir ve CO₂ emisyonları kat edilen birim mesafe başına daha düşüktür. Bu nedenle, dizelin tüm binek arabası filosuna oranında bir artış olması, emisyonların azaltılması konusunda fayda sağlayacaktır.

Şekil 6.2 Araç kategorilerinin CO₂ emisyonuna katkısını göstermektedir. CO₂ emisyonlarının yaklaşık % 75'i binek arabalarından, kamyonlardan ve otobüslerden kaynaklanmaktadır. Hafif hizmet araçlarının (LDV) ve kamyonların katkısındaki açık artış şekilden görülebilmektedir. Aynı trend NO_x gibi diğer emisyonlar için de Şekil 6.3'te gösterildiği gibi gözlemlenebilir.

Motorlarda ve araçlardaki teknolojik gelişmeler taşımacılıktan kaynaklanan GHG emisyonlarını etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Son yıllarda, 1994'ten başlamış üzere, EURO I emisyon yönetmelikleri Türkiye'de CO, yanmamış HC ve NO_x emisyonlarının azaltılması için yürürlüğe konmuştur. Bu araçlarda kullanılan ileri teknolojiler aynı zamanda yakıt tüketimini ve dolayısıyla da CO₂ emisyonlarını azaltmıştır.

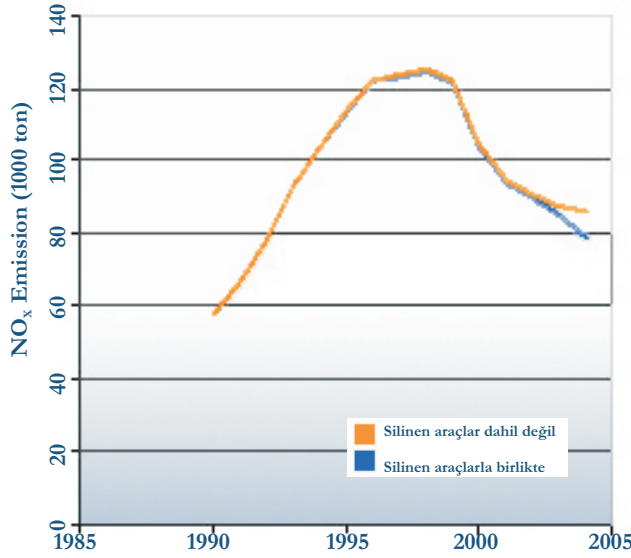
Tablo 6.2 farklı emisyon kategorilerindeki benzin motorlu binek arabalarının sayısını göstermektedir. Şu anda, emisyon kontrolü olmayan ve 15.04 sınıfı olan arabalar halen toplam sayının % 60'ını oluşturmaktadır. IPCC'nin NO_x emisyonu için, bu sınıflarla ilgili olarak varsayılan emisyon faktörleri, Euro III safhasının neredeyse 4.5 katıdır. Bu nedenle, benzinli araçların NO_x emisyonunun yaklaşık % 87'sinin bu kategoriden kaynaklanması beklenmektedir. Benzer şekilde, CO₂'nin yaklaşık % 75'i, CH₄'ün % 80'i, NMVOC'nin % 95'i ve CO'nun % 95'i bu arabalar tarafından yayılmaktadır. (Şekil 6.4).

Tablo 6.2 Her bir teknoloji kategorisindeki benzinli araçların sayısı

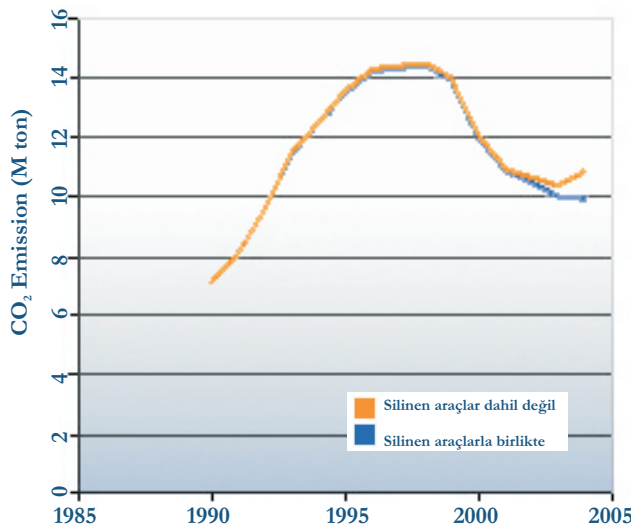
Yıllar	Binek arabalarının sayısı (Benzin + LPG)	Araç sayısı (Euro III)	Araç sayısı (Euro I)	Araç sayısı (Kontrolsüz +15.04)
2004	4761312	707816	1198204	2855293
2003	4615474	275903	1198204	3141367
2002	4516428	181759	1198204	3136465
2001	4454285	114822	1198204	3141259
2000	4347429	0	1091460	3255970
1999	4007411	0	742846	3264565
1998	3777970	0	511547	3266423
1997	3514574	0	304979	3209595
1996	3219035	0	128761	3090274
1995	3009453	0	54170	2952583
1994	2818488	0	28185	2790303
1993	2583954	0	0	2583954
1992	2154259	0	0	2154259
1991	1843556	0	0	1843556
1990	1633380	0	0	1633380

Eski arabaların sicillerden çıkarılması hem CO₂ emisyonlarında hem de diğer emisyonlarda önemli bir iyileşme sağlayacaktır. Aslında, CO₂ emisyonlarında bu araçların tüketicilere vergi yardımlarının sağlanması yoluyla emekliye ayrılması nedeniyle sağlanacak olan azalmanın % 4.87 aralığında olacağı hesaplanmıştır. 2003 ve 2004 yıllarında, vergi yardımı emekliye ayrılan binek arabalarına 325,481 araç eklenmesine neden olmuştur. Düzenli yıllarda emekliye ayrılan araçların sayısı ile karşılaştırıldığında, neredeyse 320,000 aracın sağlanan vergi yardımı nedeniyle emekliye ayrıldığı görülmektedir, bu da bu iki yıl içerisinde binek arabalarının CO₂ emisyonlarında % 4.87'lik bir azalmaya karşılık gelmektedir. Kontrolsüz emisyon teknolojisine sahip binek arabalarının sayısı, benzer bir uygulamanın kullanımı yoluyla daha fazla bir kazanç potansiyeli sağlamaktadır ve bu durum 2,500,000 kadar araba bu yöntemle silininceye dek devam edecektir.

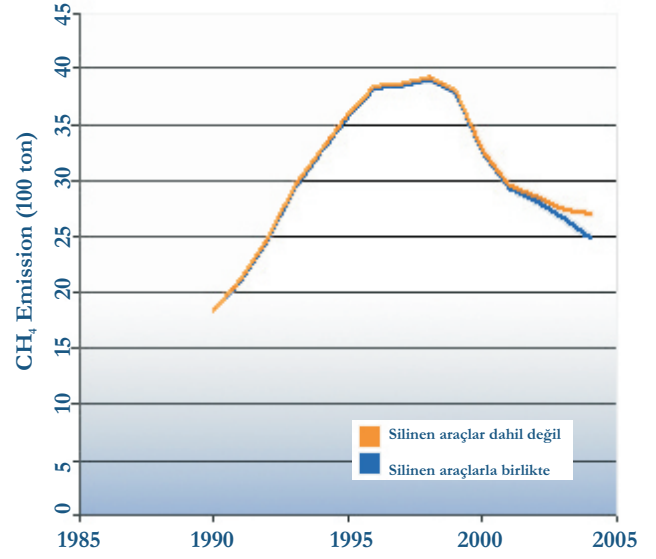
Yalnızca 15 yaşın üzerindeki araçlar dikkate alındığında, bu sayı 1,500,000 olmaktadır. Bu nedenle, bu araçların sicillerden kısa vadede silinmesi yoluyla % 20-25'lik bir emisyon azalması sağlanması mümkündür.



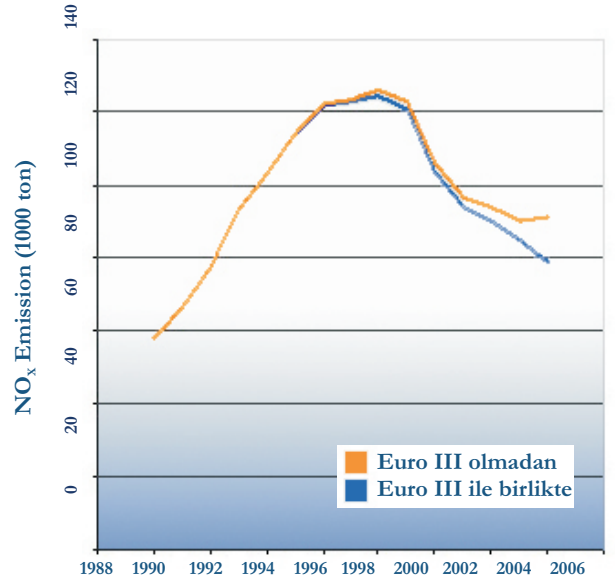
Şekil 6.5 Yeni teknolojinin NO_x emisyonu üzerindeki etkisi



Şekil 6.6 Yeni teknolojinin CO₂ emisyonu üzerindeki etkisi



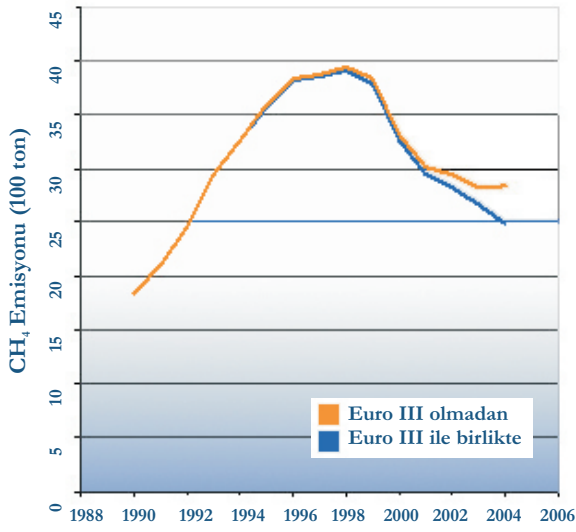
Şekil 6.7 Yeni teknolojinin NMVOC emisyonu üzerindeki etkisi



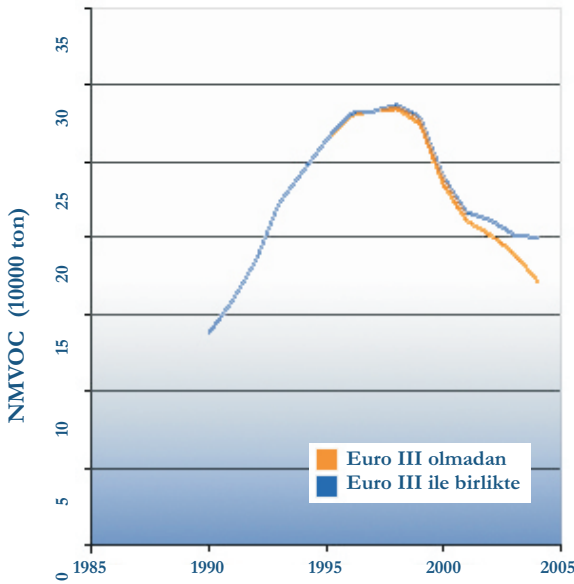
Şekil 6.8 Yeni teknolojinin NO_x emisyonu üzerindeki etkisi

İleri teknoloji ürünü araçların gelişi CO₂ haricindeki GHG emisyonlarını azaltır. Her ne kadar 1994 ile 2000 yılları arasında ileri emisyon kontrol sistemleri kısmen zorunluysa da, tüm yeni benzimli binek arabalarının EURO III limitlerine uygun hale geldiği 2001 yılından başlayarak fark edilebilir bir etki görülebilecektir. CO₂ emisyonları bu durumda, daha düşük emisyon limitlerini karşılamak amaçlı daha yüksek yakıt tüketimleri nedeniyle hafifçe artacaktır.

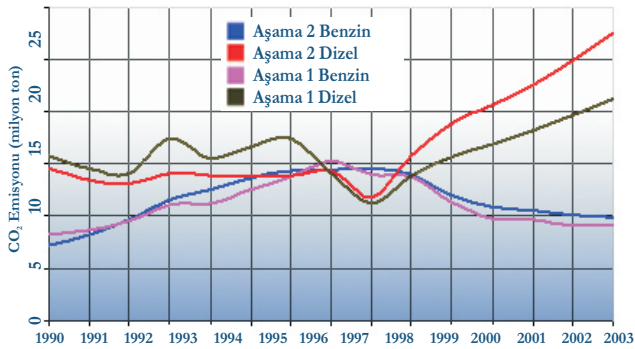
Şekil 6.11 karayolu taşımacılığından kaynaklanan ve Aşama 1 ve Aşama 2/3 yaklaşımları ile tahmin edilen CO₂ emisyonlarını göstermektedir. Aşama 2/3 yaklaşımında, IPCC varsayılan yakıt tüketimi değerleri ve araç sınıflarının tahmini yıllık seyahat mesafeleri kullanılmıştır. İki yaklaşım arasında uyum olması yıllık seyahat mesafesi tahminlerinin (Şekil 6.12) yapılmasında kullanılan varsayımların gerçekçi olduğunu ortaya koymaktadır. Varsayılan emisyon faktörleri ve ulusal özel emisyon faktörleri arasındaki fark, özellikle son yıllarda gözlemlenen sapmalara neden olan bir faktördür.



Şekil 6.9 Yeni teknolojinin CH₄ emisyonu üzerindeki etkisi



Şekil 6.10 Yeni teknolojinin NMVOC emisyonu üzerindeki etkisi



Şekil 6.11 Aşama 1 ve Aşama 2/3 yaklaşımları ile elde edilen karayolu taşımacılığında kaynaklı CO₂ emisyonları

Aşama 1 ve Aşama 2/3 yaklaşımları arasında, CO₂ emisyonlarında görülen ve dizel yakıtla çalışan araçlardan kaynaklanan sapmalar aynı zamanda sınırdan piyasaya sağlanan ekstra yakıtın bir sonucudur ve resmi rakamlarda yer almamaktadır. Bu trend 1999 sonrasında açık bir şekilde gözlemlenmektedir. Rakamlardan, EURO III emisyon kontrol sistemlerine sahip olmayan araçlardan kaynaklı emisyonlardaki seviyelerin 2003 sonrasında korunması eğilimi olduğu görülmektedir. Bunun nedeni, uygun kalitede dizel yakıt olmaması nedeniyle yeni emisyon limitlerini karşılamayan dizel araçların artan sayısıdır. 2007 sonrasında, düşük sülfürlü dizel yakıtın bulunabileceği ve bu resmin değişeceği belirtilmelidir. Bunun yanı sıra, 2003 sonrasında emisyonlardaki bağıl artış Euro III ve Euro IV seviyelerinde benzinli araçların getirilmesi ile telafi edilecektir.

Bir projeksiyon, toplam hafif ve ağır görev ticari araçların sayısının 2010 yılında 2,550,000 birime ulaşacağını göstermektedir (Şekil 6.13). Bu, 2004 değerlerine göre % 21.5'lik bir artışa karşılık gelmektedir ve bunun anlamı, mevcut CO₂ emisyonu seviyelerinin korunması için bu araçların ortalama % 21.5 daha az yakıt tüketmesinin gerekli olacaktır. Ancak yakıt tüketiminde bu seviyede bir iyileştirme beklenmemektedir. Binek arabalarının sayısı, dizel araçlar da dahil olmak üzere, 2010 yılında, Şekil 6.13'te gösterilen projeksiyona göre 5,700,000'e ulaşacaktır; bu da 2004 rakamlarına göre % 17'lik bir artış demektir. Araç filosu boyutundaki bu artışın yakıt tüketim teknolojisindeki ilerleme ile telafi edilmesi mümkün görünmektedir.

7. Sonuçlar

Türkiye'de taşımacılık sektöründen kaynaklanan GHG emisyonları, 1990 referans yılı ile karşılaştırıldığında yükselen bir trend göstermektedir. Nüfusta meydana gelen artış ve ekonomik koşullardaki değişiklikler enerji tüketiminde bir artışa neden olan önemli faktörlerdir ve enerji tüketimindeki artış da GHG emisyonlarının artmasına neden olmaktadır.

1990 yılı ile karşılaştırıldığında, toplam taşımacılık temelli CO₂ emisyonları 2004 yılında % 55.8'lik bir artışla 25954.63 Gg'den 40457.82 Gg'ye değişmiştir. Bu, 1990 yılında 0.46 ton CO₂/kişiden 2004 yılında 0.57 ton CO₂/kişiyeye bir değişikliğe karşılık gelmektedir.

Taşımacılık sektöründen kaynaklanan CO₂ emisyonları aynı zamanda 1990 yılında 0.17 kg CO₂/\$'dan 2004 yılında 0.14 kg CO₂/\$ 'a değişmiştir. in 2004. Bu gelişme sektördeki verimli enerji tüketimi eğilimini göstermektedir.

Türkiye'de sürdürülebilir taşımacılık, Avrupa'nın geriye kalan bölümünde olduğu gibi, mevcut araç ve motor teknolojilerinde gelişmelerle sonuçlanan teknolojik değişiklikler ve yeni, düşük kirletici yayan yakıtların, motorların ve araçların geliştirilmesi ile sağlanabilir. Araçlar için teknolojik gelişmelere paralel olarak, taşımacılık talebi de yönetilmeli ve trafiğin kirletici olmayan veya düşük kirletici yayan kamu taşımacılığı, demiryolu sistemleri, kentsel alanda bisiklet veya yürüme gibi modlara doğru modifiye edilmesi ile belirli bir ölçüde düşürülmelidir.

Taşımacılıkla ilgili enerji tüketiminin, konvansiyonel sistemlerle karşılaştırıldığında yakıt açısından verimli motorların kullanılması ile azaltılması için yolcu taşıma sistemlerinde bir değişiklik yapılması gerekmektedir. Uzun vadede, melez-elektrikli araçlar ve yakıt hücrelerinden güç alan elektrikli motorlar mevcut sorunlar için teknolojik çözümlerdir, ancak kısa vadede elde edilecek başarılar daha etkin kamu taşımacılığı sistemlerinin geliştirilmesini gerektirecektir.

Motorlu olmayan kısa mesafe yolculuklarının destekleyici altyapı ile birlikte daha fazla kullanılması da hem düşük GHG emisyonları hem de sürdürülebilir taşımacılık için hayati önem taşımaktadır. Bilgi teknolojisinin iletişim için kullanılması da enerji tüketiminin ve GHG emisyonlarının sınırlandırılması için kişisel taşımacılık gereğini azaltacaktır.



8. Teşekkürler

Bn. Macide Altaş (Enerji Bakanlığı), Bn. Ülkü Koçer (Ulaştırma Bakanlığı), Bay Ali Can (Türkiye İstatistik Enstitüsü), Dr. Ercan Tezer ve Bn. Hülya Ercan (OSD), Bay Erol Metin (PETDER) ve UNDP – Türkiye'nin katkıları için çok teşekkür ederiz.

Referanslar

- [1] Revised 1996 Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, IPCC, 1997.
- [2] IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories, IPCC, 2000.
- [3] Energy Balance Tables, Fuel consumption values for transport, Ministry of Energy, Turkey, 2005-2006.
- [4] Fuel consumption for road transportation, Petroleum Manufacturers Association of Turkey (PETDER), 2005.
- [5] Unregistered Fuel Consumption – Presentation by PETDER, Petroleum Manufacturers Association of Turkey, 2004.
- [6] Road vehicle fleet in Turkey, The Republic of Turkey Prime Ministry, Turkish Statistical Institute (TURKSTAT, TÜİK), 2006.
- [7] Exhaust emission legislations and directives for road vehicles in Turkey, OSD
- [8] Annual Report, Turkish State Railways Research Planning and Coordination Department, Ankara, 2005.
- [9] Aviation statistics for 1990 – 2003, The Ministry of Transportation, DLH Department, 2005.

TÜRKİYE'DE ULUSAL ULAŞTIRMA REHABİLİTASYONU

Prof. Dr. Haluk GERÇEK
İstanbul Teknik Üniversitesi

1. Giriş

Bu çalışmanın amacı, Türkiye'de kara ulaştırmasından kaynaklanan sera gazlarının (GHG'ler) uzun dönemde, daha etkin ve daha az kirlenici ulaştırma türlerine geçişin teşvik edilmesi yoluyla nasıl azaltılacağına araştırılmasıdır. Ulaştırma sektörü CO₂, CH₄, N₂O şeklindeki GHG emisyonlarının ve O₃'ün oluşmasından sorumlu olan NO_x ve VOC'ler gibi gazların artmasına neden olur. Karbon dioksit emisyonları ulaştırmada fosil yakıt kullanımı ile doğrudan bağlantılı olduğundan, GHG'ler daha az enerji-yoğun ve sıfır emisyonlu ulaştırma türleri teşvik edildikçe azaltılabilir.

Bu raporda, Soruşbay ve Ergeneman (2006) tarafından hazırlanan metodoloji ve emisyon oranları kullanılarak, kısa ve uzun dönemli senaryolar için, projeksiyonların ayrıntılı analizi ve sonuçta ortaya çıkacak emisyon tahminleri verilmiştir.

2004 yılında Türkiye'deki yolcu taşımacılığının % 98'i ve yük taşımacılığının neredeyse % 100'ü karayolu ve demiryolu ile gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle, GHG emisyon tahminleri 2005 ve 2020 yılları arasındaki dönemde, karayolu ve demiryolu taşımacılığı için yapılmıştır. Karayolu taşımacılığında kaynaklanan emisyonların tahmin edilmesi için iki ayrı yaklaşım kullanılmıştır:

- Motorlu araç filo büyüklüğüne göre emisyonların tahmin edilmesi (Filo bazlı tahmin).
- Karayolundan demiryoluna türel geçiş öngörülerek trafik talebine göre emisyonların tahmin edilmesi (Talep bazlı tahmin).

2. Senaryoların Geliştirilmesi

Ulusal ölçekte, emisyon azalıklarını kestirebilmek için ulaştırma türlerinin gelecekteki trafik taleplerini öngörecektir senaryolar geliştirmek gereklidir. Senaryolar niteliksel ya da niceliksel olabilirler. Geleceğe ilişkin belirsizlikler çok olduğundan, farklı eğilimleri yansıtan tekil senaryolar geliştirmek daha uygundur. Örneğin, bir senaryo daha güçlü ekonomik değerleri vurgularken, bir senaryo artan küreselleşmeyi ve bir diğeri ise artan bölgeselleşmeyi öngörebilir.

Emisyonların azalmasını öngören "sürdürülebilir gelişme" senaryolarının genel belirleyici özellikleri artan işbirliği ve politik katılımıdır; birçokları genel olarak çevre ile kalkınma ve özel olarak da iklim değişikliği arasında güçlü bir uluslararası anlaşma olduğunu varsayar. Çevre kalitesi ve eşitlik artmaktadır. Nüfus artmaya devam etmektedir, ancak artış hızı daha düşüktür ve nispeten düşük düzeylerde stabilize olmaktadır. Bu senaryoların çoğunda, enerji verimliliği, enerjinin korunması ve alternatif enerji teknolojileri emisyonun azaltılması konusunda anahtar öneme sahiptir.

Emisyon senaryolarında gelecekteki GHG emisyonları ve hafifletme politikaları için potansiyel olarak önemli olan niteliksel konuların dikkate alınması önemlidir. Niteliksel boyutların niceliksel senaryolara dahil edilmesinin bir yolu, gelecekteki dünyanın niteliksel tanımlamalarına bağlı olarak, anahtar değişkenlerin sayısal öngörülerinin geliştirilmesidir.

2.1. Nüfus Projeksiyonu

Yaklaşık 73 milyon nüfus ve cari fiyatlarla 215 milyar €'luk bir GSYİH (gayrisafi yurtiçi hasıla) ile, Türkiye dünyadaki en büyük 20 ekonomi arasındadır.

Buna ek olarak, hızlı gelişen tüketici mallarından ileri teknoloji ürünlerine kadar bir yelpazeyi kapsayan neredeyse tüm tüketim malları kategorisinde, doymamış bir piyasa söz konusudur. Demografik dönüşüm süreci de yüksek büyüme potansiyeline katkıda bulunmaktadır. Ham doğurganlık oranı yaklaşık 2/1000 değerindeki bir faktöre hızlı bir şekilde düşmüş ve sonuç olarak nüfus artış hızı gelişmiş ülkelerin nüfus artış hızına yaklaşmaya başlamıştır. Bağımlı nüfusun (yaşlı ve çocuklar dahil) oranı düşerken, potansiyel olarak aktif işgücünün (15-64 yaş) gelecek yirmi yıl içerisinde % 60'tan % 69'a yükselmesi beklenmektedir ve bu da ekonominin büyüme potansiyelini hızlandırmaktadır. İstenen demografik dönüşüm, ihracatla sürdürülen bir ekonomi, hızlı bir şekilde gelişen bilgi toplumu ve azalan bütçe açıkları dikkate alındığında, potansiyel yıllık büyüme hızının orta ve uzun dönemde % 6'nın altına düşmemesi beklenmelidir.

Tablo 1, TÜİK tarafından 2005 ve 2020 yılları arasındaki dönem için yapılan nüfus projeksiyonunu vermektedir.

	Nüfus	Yıl	Nüfus
1990	56,473,035	2006	72,974,000
1991	57,606,124	2007	73,875,000
1992	58,739,213	2008	74,766,000
1993	59,872,303	2009	75,643,000
1994	61,005,392	2010	76,505,000
1995	62,138,481	2011	77,340,000
1996	63,271,570	2012	78,156,000
1997	64,404,659	2013	78,957,000
1998	65,537,749	2014	79,746,000
1999	66,670,838	2015	80,524,000
2000	67,803,927	2016	81,304,000
2001	68,937,016	2017	82,072,000
2002	70,070,105	2018	82,828,000
2003	71,203,194	2019	83,571,000
2004	72,336,283	2020	84,301,000
2005	73,469,372		

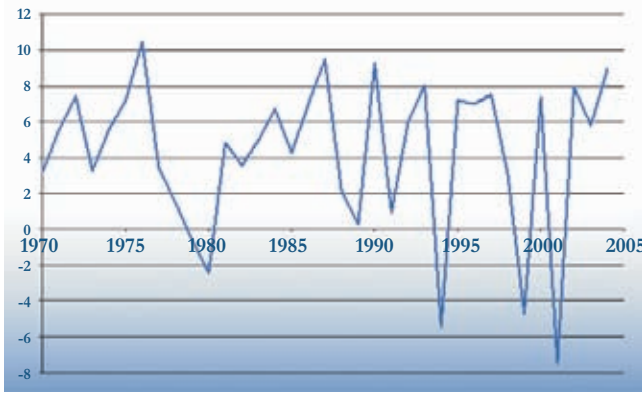
2.2. Ekonomik Büyüme Senaryoları

Türkiye, özellikle son yirmi yıl içerisinde bir pazar ekonomisine geçmiştir. 1996'da AB ile gümrük birliğinin getirilmesi sonrasında, her ne kadar belirli yapısal sorunlar var olmaya devam etmekteyse de, ekonominin uluslararası rekabet konusunda önemli bir dayanım kapasitesine sahip olduğu görülmektedir.

Türkiye, AB'ye tam üye olmak için gerekli ekonomik reformları kapsayan kabul öncesi mali inceleme sürecinin iki önemli direğinden birini oluşturan kabul öncesi ekonomik program ve üyelik sonrasında ekonomik ve parasal birliğe kabul için gerekli olan ekonomik politikaları, yapısal reformları ve kurumsal kapasiteyi hazırlamaktadır. Türkiye aynı zamanda makro-ekonomik dengesizliklerini azaltarak da gelişme kaydetmiştir ve yapısal reformlara doğru daha fazla adım atabilmesi halinde, birlik içerisindeki rekabetçi baskı ve pazar güçleri ile başa çıkabilecektir.

Son yıllarda Türkiye'nin GSYİH'sı doksantı yıllardakinden daha yüksek bir hızla, 2004 yılında yaklaşık % 10, 2003 yılında % 5.9 ve 2002 yılında % 7.8 artmıştır (Şekil 3). 1970 ile 2004 arasındaki dönemde, ortalama yıllık büyüme hızı % 4.2 olmuştur. Bu çalışmada, 2005 ile 2020 arasındaki dönem için, % 6'lık daha yüksek bir büyüme hızı kabul edilmiştir. Bu, TINA Türkiye Projesindeki "referans senaryoda" kabul edilen büyüme hızıdır¹. Bu senaryo aynı zamanda, geçen beş yıllık kısa dönemdeki eğilimleri temel alan ve dünya ticaretinde yakın geçmişte gözlemlenen eğilimlerdeki kesilmelerden doğrudan etkilenen "yeni eğilim senaryosu" olarak da adlandırılır.

¹Türkiye için TINA, Ara Rapor 2, TINA Türkiye Ortak Girişimi, Mayıs 2006.



Şekil.3 Türkiye'de GSYİH Değişimi (Kaynak: TÜİK, Ekonomik Göstergeler.)

3. Karayolu ve Demiryolu Taşımacılığında Kaynaklanan Emisyonların Tahmin Edilmesi İçin Kullanılan Yöntem

2004 yılında, Türkiye'de yolcu taşımacılığının % 98'i ve yük taşımacılığının neredeyse % 100'ü karayolu ve demiryolu ile gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle, karayolu ve demiryolu taşımacılığı için 2005 ve 2020 arasındaki döneme ilişkin GHG emisyonu tahminleri, (a) filo bazlı ve (b) talep bazlı tahminler kullanılarak yapılmıştır.

Demiryolu taşımacılığı için, talep bazlı tahmin metodolojisinde, Soruşbay ve Ergeneman (2006)'da kabul edilen emisyon faktörleri kullanılmıştır.

3.1. Karayolu Taşımacılığında Kaynaklanacak Emisyonların Filo Bazında Tahmini

Şu anda, yolcu taşımacılığının % 95'i ve yük taşımacılığının % 94'ü karayolu ile gerçekleştirilmekte ve bu durum ulaştırma sektöründe önemli miktarda GHG emisyonuna yol açmaktadır. Şu anda Türkiye'nin karayollarında 5.4 milyon otomobil mevcuttur ve motorlu araçlar için yerel talep büyümeye devam etmektedir. Türk Otomotiv Endüstrisi Birliğine göre, 2004 yılında 750,000 araç satılmıştır ve bunun 450,000'i otomobildir. Yakın zamandaki güçlü ekonomik büyüme, özel tüketimdeki keskin artışa ve buna eşlik eden çevresel sonuçlara yol açmıştır.

Türkiye'de 1992-2005 yılları arasındaki dönemde motorlu araç sayısı Tablo.2'de verilmiştir. Araç sahipliği (1000 kişi başına araç sayısı) 1992 yılında 78'den 2005 yılında 143'e yükselmiştir (Şekil.4). Otomobil sahipliği aynı dönem içerisinde 37'den 75'e yükselmiştir. Genel olarak, kişi başına GSYİH ile araç sahipliği arasında güçlü bir ilişki vardır (Şekil. 5).

Tablo.2 Türkiye'deki motorlu araç sayısı (Kaynak:TÜİK, Motorlu araç istatistikleri.)

Yıl	Toplam	Otomobil	Minibüs	Otobüs	LDV	Kamyon	Motosiklet	Diğer	Tarım
1992	4,584,717	2,181,388	145,312	75,592	308,18	379,41	655,347	10 908	828,58
1993	5,250,622	2,619,852	159,9	84,254	354,29	406,398	743,32	12 049	870,559
1994	5,606,712	2,861,640	166,424	87,545	374,473	419,374	788,786	12 964	895,506
1995	5,922,859	3,058,511	173,051	90,197	397,743	432,216	819,922	13 691	937,528
1996	6,305,707	3,274,156	182,694	94,978	442,788	453,796	854,15	15 003	988,142
1997	6,863,462	3,570,105	197,057	101,896	529,838	489,071	905,121	16 993	1,053,381
1998	7,371,241	3,838,288	211,495	108,361	626,004	519,749	940,935	19 252	1,107,157
1999	7,758,511	4,072,326	221,683	112,186	692,935	531,69	975,746	20 319	1,131,626
2000	8,320,449	4,422,180	235,885	118,454	794,459	557,295	1,011,284	21 822	1,159,070
2001	8,521,956	4,534,803	239,381	119,306	833,175	562,063	1,031,221	22 939	1,179,068
2002	8,655,170	4,600,140	241,7	120,097	875,381	567,152	1,046,907	23 666	1,180,127
2003	8,903,843	4,700,343	245,394	123,5	973,457	579,01	1,073,415	24 468	1,184,256
2004	10,236,358	5,400,714	318,957	152,38	1,260,009	647,295	1,218,710	27,979	1,210,314
2005	10,283,260	5,421,921	320,294	153,024	1,274,001	648,768	1,224,412	28,063	1,212,777

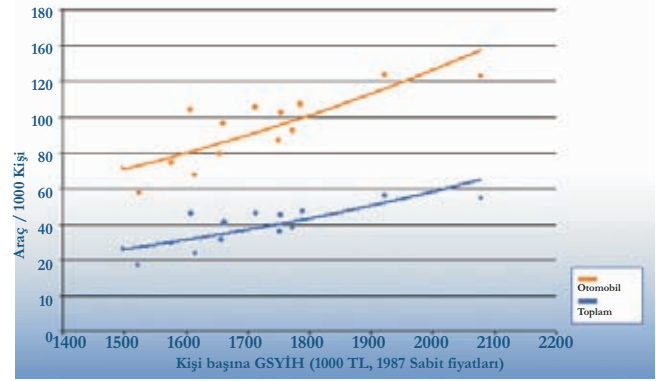
1992-2005 dönemine ait veriler kullanılarak yapılan regresyon analizleri sonucunda, otomobil ve motorlu araç sahipliği konusunda aşağıdaki logaritmik doğrusal bağıntılar elde edilmiştir:

$$\ln(AO) = -23.385 + 1.912 \ln(GSYİH) \quad r^2=0.637$$

(-3.91) (4.59)

$$\ln(MO) = -19.943 + 1.718 \ln(GSYİH) \quad r^2=0.676$$

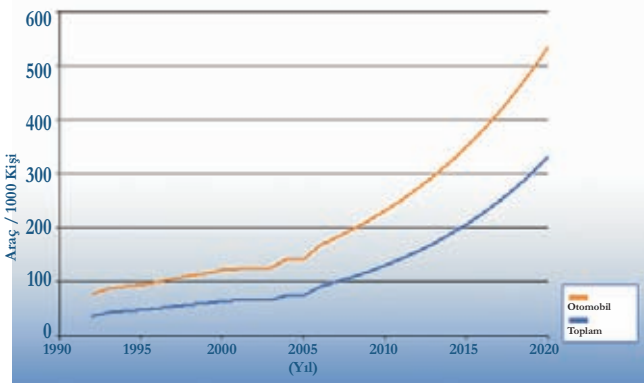
(-4.05) (5.00)



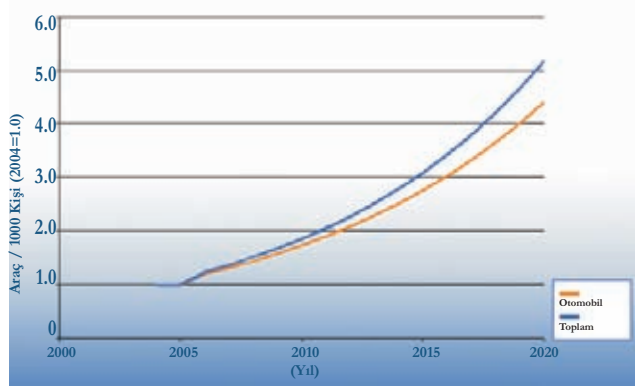
Şekil.5 Türkiye'de Kişi Başına GSYİH- Motorlu Araç Sahipliği İlişkisi

Burada, AO 1000 kişi başına otomobil sahipliği ve MO da 1000 kişi başına motorlu araç sahipliğidir. Kişi başına GSYİH, 1987 sabit fiyatlarıyla (YTL) verilmiştir. Parantez içerisinde verilen rakamlar katsayıların t istatistikleridir.

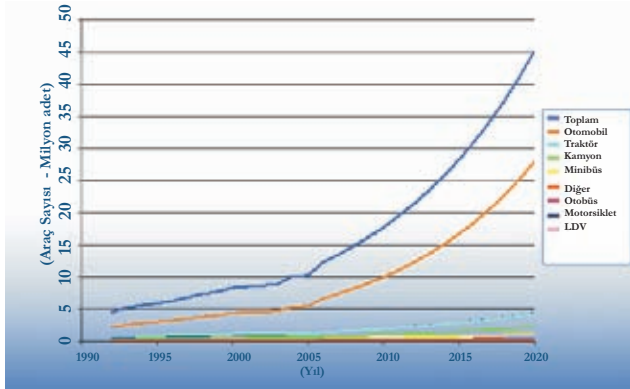
GSYİH'da % 6'lık bir ortalama büyüme hızı olacağı kabul edilerek ve Tablo.1'de verilen nüfus projeksiyonları dikkate alınarak, motorlu araç sahipliği projeksiyonlarının Şekil.6'da gösterildiği gibi olacağı tahmin edilmektedir. Otomobil ve motorlu araç sahipliğinin 2020 yılında, sırasıyla, 332 ve 535'e yükseleceği tahmin edilmektedir. Şekil.7'de gösterildiği gibi, 2005-2020 döneminde Türkiye'deki otomobil sayısının 4.4 katına ve motorlu araç sayısının 5.2 katına çıkacağı tahmin edilmektedir. 2005-2020 dönemi için tahmin edilen motorlu araç sayısı Tablo.3 ve Şekil.8'de gösterilmiştir.



Şekil.6 Türkiye'de Motorlu Araç Sahipliği Projeksiyonları



Şekil.7 2005-2020 Döneminde Motorlu Araç Sahipliği Büyüme İndeksi (2000=1.00)



Şekil.8 Türkiye'de Motorlu Araç Sayısı Projeksiyonları

Tablo.3 Türkiye'de Motorlu Araç Sayısı Projeksiyonları

Yıl	Toplam	Otomobil	Minibüs	Otobüs	LDV	Kamyon	Motosiklete	Diğer	Tarım Traktörü
2005	10,283,260	5,421,921	320,294	153,024	1,274,001	648,768	1,224,412	28,063	1,212,777
2006	12,325,378	6,705,324	370,696	177,098	1,464,400	752,295	1,416,402	32,518	1,406,644
2007	13,503,746	7,412,271	401,791	191,954	1,587,237	815,399	1,535,212	35,245	1,524,636
2008	14,797,774	8,195,865	435,459	208,038	1,720,239	883,726	1,663,856	38,199	1,652,393
2009	16,219,615	9,065,001	471,915	225,455	1,864,256	957,71	1,803,152	41,397	1,790,729
2010	17,782,294	10,029,328	511,382	244,31	2,020,167	1,037,805	1,953,952	44,859	1,940,491
2011	19,502,196	11,101,060	554,135	264,735	2,189,058	1,124,569	2,117,308	48,609	2,102,721
2012	21,393,972	12,291,350	600,405	286,84	2,371,843	1,218,469	2,294,101	52,668	2,278,297
2013	23,474,297	13,612,979	650,448	310,748	2,569,534	1,320,027	2,485,313	57,058	2,468,191
2014	25,761,599	15,080,201	704,54	336,59	2,783,219	1,429,802	2,691,994	61,802	2,673,448
2015	28,276,534	16,709,137	762,98	364,51	3,014,081	1,548,401	2,915,289	66,929	2,895,205
2016	31,038,518	18,515,190	826,033	394,633	3,263,165	1,676,362	3,156,209	72,46	3,134,465
2017	34,076,116	20,520,914	894,095	427,149	3,532,038	1,814,487	3,416,269	78,43	3,392,733
2018	37,417,237	22,748,739	967,528	462,231	3,822,126	1,963,512	3,696,849	84,872	3,671,380
2019	41,092,999	25,223,921	1,046,718	500,064	4,134,957	2,124,221	3,999,427	91,818	3,971,874
2020	45,137,419	27,974,369	1,132,067	540,839	4,472,124	2,297,431	4,325,542	99,305	4,295,742

Soruşbay ve Ergeneman'da (2006) açıklandığı üzere, yakıt temelli yaklaşım gelecekte karayolu araçlarından kaynaklanacak GHG emisyonlarının tahmin edilmesi için kullanılmıştır. IPCC Tier 1 yaklaşımında kullanılan emisyon faktörleri, kullanılan yakıtın ısı içeriğini, yanma işlemi sırasında oksitlenen yakıtta karbon oranını ve karbon içeriği katsayılarını temel almaktadır. Yanma veriminin birçok durumda, kullanılan yakıtla bağlı olarak % 99 olduğu varsayılmaktadır. Her bir araç kategorisi tarafından kat edilen ortalama yıllık mesafe Soruşbay ve Ergeneman'da verildiği gibidir (2006).

2005-2020 döneminde her bir araç kategorisi için yıllık araç-km tahminleri Tablo.4'te verilmiştir. Aynı dönemdeki GHG emisyonu tahminleri Tablo.5'te verilmiştir.

Tablo.4 Türkiye'de Araç-km Projeksiyonları

Yıl	Araç-Km (Milyon)					
	Otomobil	Minibüs	Otobüs	LDV	Kamyon	Motosiklet
2005	66,556	6,406	10,253	24,843	22,707	2,449
2010	121,355	10,228	16,369	39,393	36,323	3,908
2015	190,484	15,26	24,422	58,775	54,194	5,831
2020	299,326	22,641	36,236	87,206	80,41	8,651

Tablo.5 Türkiye'de Motorlu Araçlardan Kaynaklanacak Emisyonların Tahmini

Yıl	CO2 (Mt)	NOx (t)	CH4 (t)	NMVOG	CO (t)	N2O (t)
2005	49.82	501,838	4,790.34	361,477.48	2,245,411.04	2,350.26
2010	82.47	811,014	7,970.18	582,839.28	3,596,770.49	4,328.50
2015	123.60	1,149,906	11,200.04	722,197.33	4,232,315.31	8,317.68
2020	184.55	1,608,295	15,505.68	830,523.60	4,424,120.69	15,441.73

Belirtmek gerekir ki eski araçlar ya da eskimiş ya da bozuk kirlenme kontrollerine sahip olan araçlar, aşağıdaki çeşitli nedenlerle, Türkiye'de önemli birer emisyon kaynağıdır:

(i) Araç şasisinin paslanmadan yıllarca dayanmasına olanak veren iklim koşulları,

(ii) Standart altı araçların değerini arttıran ve bu tür araçların gelişmiş ülkelerdeki araçlara göre daha uzun süre kullanılmalarını sağlayan ekonomik koşullar.

Türkiye'de hava kirliliğine orantısız ölçüde katkı sağlayan, büyük bir kontrolsüz araç filosu vardır. Türkiye'deki kamyonların 1/3'ü 20 yaşın üzerindedir (Tablo.6).

Eski araçlar sorununu çözmek için çok sayıda strateji düşünülebilir. Bunlar "İnceleme ve bakım", "Uyarılama", "Hızlandırılmış hurdaya ayırma", "İthalat sınırlamaları" ve "Alternatif yakıt dönüşümleri" kategorileri içinde yer alır. Soruşbay ve Ergeneman (2006), 2003 ve 2004 yıllarında tüketicilere vergi avantajları sağlanarak 320,000 kadar eski motorlu araçtan trafikten çıkarılmasının CO₂ emisyonunda % 4.87 azalma sağladığını tahmin etmiştir.



3.2. Karayolundan Demiryoluna Talep Kaymasına Dayanan Emisyon Tahminleri

Türkiye'deki kentler yaklaşık olarak 65,000 km uzunluğundaki iyi bir karayolu ağı ile birbirine bağlanmıştır. 1950 yılından bu yana, ulaştırma yatırımlarında, karayollarının ve belirli bir ölçüde limanların gelişimini destekleyen açık bir kayma oluşmuştur. Trans-Avrupa Otoyolu (TEM) projesinin bir bölümü olarak, son yirmi yıl içerisinde 1851 km otoyol inşa edilmiştir. Otoyol sisteminin geliştirilmesi amaçlıyan yatırımlar yük ve yolcu taşımacılığında karayollarının baskın hale gelmesine yol açmıştır. Karayollarının ve demiryollarının gelişimindeki orantısızlık, yani demiryollarına yetersiz yatırım yapılması, demiryolu taşımacılığındaki yetersizliğin sürmesine ve demiryolu trafiğinde büyük bir azalmaya neden olmuştur.

Türkiye'deki ulaştırma talebi son elli yıl içerisinde önemli ölçüde büyümüştür. Genel olarak, yolcu talebi (yolcu-kilometre olarak) 1970 ve 2004 yılları arasında % 4.20'lik bir yıllık hızla artarken yük talebi (ton-kilometre olarak) yıllık % 5.3'lük bir hızla yükselmiştir. 1950'lerden bu yana, demiryolu pazar payları sürekli olarak düşmüştür. Altyapıya önemli yatırım yapılmadığı ya da demiryolu hizmetlerinde büyük değişiklikler yapılmadığı sürece, çok fazla yeni trafiğin demiryollarına çekilmesi mümkün görülmemektedir.

2005 yılında, karayolları, Türkiye'deki yük taşımacılığı pazarının % 94'ünü ve yolcu taşımacılığı pazarının % 95'ini temsil etmektedir. Her ne kadar Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryollarının (TCDD) trafik pazarındaki payı önemli ölçüde düşmüşse de, genel demiryolu trafiği az çok sabit kalmıştır.

Stratejik ve talep bazlı çözümler genellikle kullanıcı davranışlarının etkilenmesine dayanır ve bunun için çok çeşitli yöntemler kullanılabilir. Veriler, genellikle, bu "teknik olmayan" türdeki önlemlerin maliyet etkinliklerinin tahmin edilmesine olanak vermeyecek ölçüde yetersizdir. Bununla birlikte, Türkiye gibi ülkelerde kitle taşımacılığı türleri ve talep yönetim stratejileri, aşağıdaki üç faktör nedeniyle, teknolojik çözümlerin tamamlanması açısından önemlidir:

- (i) Küresel araç piyasalarında uygun ulaştırma teknolojilerinin gelişimini etkileyecek araçların olmaması,
- (ii) Daha eski ve daha kirletici araçların göreceli olarak daha önemli sayıda olması ve bunun yanında daha yavaş stok dönüşü,
- (iii) Altyapıdaki gelişmenin hızlı motorlaşmayı karşılamaya yetmemesi.

Ulaştırma istatistikleri hem yolcu hem de yük talebinde sürekli bir artış eğilimini açık bir şekilde göstermektedir. Geçmişte talep ile GSYİH ve gelirdeki büyüme arasında güçlü bir ilişki vardır ve bu ilişkinin daha yakından incelenmesi önemlidir. Ulaştırma talebini etkileyen etmenlerin daha iyi anlaşılması, gelir büyümesinden ulaştırma büyümesinin ayrılmasını sağlayabilecek yollara olanak verir. Bu açıdan, "teknik olmayan", stratejik ve talep bazlı çözümlerin daha uzun dönemde önemli olması olasıdır.

Yolcu araç- kilometrelerindeki ana artışın, insanların daha sık seyahat etmesinden değil, daha uzağa seyahat etmesinden ve özel araçlarını daha fazla kullanmasından kaynaklandığı görülmektedir. Bazı Avrupa ülkelerinde yakın zamanda yapılan araştırmalar yük trafiğindeki artışın yarısının ekonomik büyüme ile açıklanabileceğini ve geriye kalanın da mekansal coğrafya ve lojistik sistemlerindeki değişiklikler nedeniyle meydana geldiğini ortaya koymaktadır. Örneğin, üretim ve dağıtım tesislerinin konsantrasyonu, hem ulusal düzeyde hem de Avrupa düzeyinde pazardaki genişleme ve genellikle kısa mesafelerde taşınan kitlesel mallardan uzun taşıma süreleri gerektiren daha yüksek değerli mallara doğru kayma.

Bu çalışmada, gelecekteki trafik talebine bağlı olarak emisyonların tahmini aşağıdaki basamaklarla gerçekleştirilmiştir:

- (i) Toplam ulaştırma talebi ve GSYİH arasındaki ilişkinin, 1970-2004 dönemine ait verilere göre, analiz edilmesi.
- (ii) Karayolu ve demiryolu ile ulaştırma için gelecekteki talebin tahmin edilmesi.
- (iii) Ulaştırma talebi ve karayolu ve demiryolu taşımacılığında kaynaklanan emisyonlar arasındaki ilişkinin analiz edilmesi.
- (iv) 2005-2020 arasındaki dönem için karayolu ve demiryolu taşımacılığında kaynaklanacak emisyonların tahmin edilmesi.

3.2.1. Türkiye'de Ulaştırma Talebi ve GSYİH'daki Büyüme Arasındaki İlişki

1970-2004 döneminde, ulaştırma talebi ile Türkiye'deki GSYİH büyümesi arasında güçlü bir ilişki vardır. Yolcu talebi (yolcu-kilometre) yıllık % 4.20 hızla, yük talebi ise (ton-kilometre) yıllık % 5.31 hızla büyürken GSYİH (1987 sabit fiyatları ile) yıllık % 4.20 hızla büyümüştür. Şekil 9'da bu dönemde Türkiye'de ekonomik büyüme ve ulaştırma talebi arasındaki log-doğrusal ilişki gösterilmiştir.

1970-2004 dönemindeki verilerle gerçekleştirilen regresyon analizleri yolcu ve yük taşımacılığı talebi için aşağıdaki log-doğrusal eşitlikleri vermektedir:

$$\ln(\text{PKM}) = -7.239 + 1.0437 \ln(\text{GSYİH})$$

$$(-12.08) \quad (31.48) \quad r^2=0.968$$

$$\ln(\text{TKM}) = -15.799 + 1.493 \ln(\text{GSYİH})$$

$$(-18.12) \quad (30.95) \quad r^2=0.967$$

Burada, PKM yolcu - km; TKM ton - km; ve GSYİH 1987 sabit fiyatlarıyla (YTL) kişi başına gayri safi yurtiçi hasıladır. Parantez içindeki değerler katsayıların t istatistikleridir.

3.2.2. Gelecekteki Karayolu ve Demiryolu Taşımacılığı Talebi

Türkiye'nin demiryolları ağı nispeten az gelişmiştir. Altyapı ve yönetim, son teknolojinin ve yönetim tekniklerinin gerisinde kalmıştır. Mevcut demiryolu ağı birkaç ana güzergah üzerinde yoğunlaşmıştır. Bu durum demiryolu ile taşımacılığı yalnızca belirli alanlarda ve belirli kentler arasında mümkün kılmaktadır. Demiryolu ağı eskidir ve on yıllardır yetersiz yatırım sıkıntısı yaşamaktadır. Bu sektöre yapılan yatırımın amacı standartların geliştirilmesi ve böylece taşımacılığın karayolu ve hava taşımacılığına rekabetçi bir seçenek haline gelmesidir.

Türkiyenin ulaştırma politikasının birincil amaçlarından biri demiryollarının yeniden yapılandırılmasıdır. 2008 itibarıyla demiryolu sektörünün yeniden yapılandırılması için kapsamlı bir Demiryolu Taşımacılığı Eylem Planı kabul edilmiştir. Bu planda, tüm demiryolu sektörünün, demiryolu yönetiminin yeniden organizasyonu da dahil olmak üzere, yeniden yapılandırılmasına özel önem verilmiştir. AB politikaları ile aynı hızı yakalamak için tasarlanmış olan plan, TCDD yönetimine otonomi sağlanmasını, ulaştırma hizmetlerinin daha verimli bir şekilde gerçekleştirilmesi için yönetimin birimler temelinde organize edilmesini, dikey yapının elimine edilmesini ve özel sektöre erişimin sağlanmasını gerektirmektedir. Demiryolu işletmelerine ödenen yardımların bir kamu sektörü yükümlülüğü açısından tanımlanması ve bir kamu sektörü sözleşmesi kapsamına alınması gerekmektedir. Aynı zamanda demiryolu altyapısının modernizasyonuna da özel önem verilmektedir.

2005 yılında, demiryolu pazar payları yolcu ve yük taşımacılığı için, sırasıyla, % 3 ve % 6 olmuştur. Bu çalışmada, demiryolu taşımacılığının pazar payının Tablo.7'de gösterilen şekilde artıracığı varsayılmaktadır.

Tablo.7 Türkiye'de Karayolu ve Demiryolunun Öngörülen Pazar Payları (2010-2020)

Yıl	Demiryolları		Karayolları	
	Yolcu-Km	Ton-Km	Yolcu-Km	Ton-Km
2010	0.05	0.08	0.92	0.90
2015	0.07	0.12	0.89	0.85
2020	0.09	0.15	0.86	0.80

Gelecekte yıllık ortalama % 6'lık bir GSYİH büyümesi ve karayolundan demiryoluna Tablo 7'de verilen türel dağılım kaymalarının gerçekleşeceği varsayılarak, karayolu ve demiryolu ile yolcu ve yük taşımacılığı talebi tahmin edilmiş ve Tablo 8 ile Şekil 10 ve 11'de gösterilmiştir.

Tablo.8 Karayolu ve Demiryolu Ulaştırma Talebi Öngörülleri

Yıl	Yolcu-Km (Milyon)			Ton-Km (Milyon)		
	Demiryolları	Karayolları	Toplam	Demiryolları	Karayolları	Toplam
1990	6,410	134,991	142,73	8,031	65,710	81,082
1995	5,797	155,202	163,72	8,632	112,515	121,654
2000	5,833	185,681	195,09	9,895	161,552	179,657
2005	6,972	233,060	243,32	11,712	195,080	207,192
2010	16,490	303,409	329,79	21,135	237,764	264,182
2015	29,128	370,339	416,11	48,792	345,610	406,600
2020	50,704	484,505	563,37	93,869	500,634	625,793

3.2.3. Emisyonlar ve Ulaştırma Talebi Arasındaki İlişki

1990-2004 yılları arasında karayolu taşımacılığında kaynaklanan emisyonlar Soruşbay ve Ergeneman'da (2006) IPCC Tier 1 yaklaşımında kullanılan emisyon faktörleri kullanılarak tahmin edilmiştir.

Tablo.9 ve Tablo.10 sırasıyla karayolu ve demiryolu taşımacılığı ile ilgili ulaştırma talebini (yolcu-km ve ton-m olarak) ve bunlardan kaynaklı emisyonları göstermektedir.

Tablo.9 ve Tablo.10'da verilen veriler kullanılarak, karayolu taşımacılığı için emisyonlar ve ulaştırma talebi arasındaki ilişkinin belirlenmesi için regresyon analizleri gerçekleştirilmiştir. Regresyon analizlerinin sonuçları Tablo.11'de gösterilmiştir.

Tablo.10 Demiryolu Ulaştırma Talebi ve Emisyon Öngörülleri

Yıl	Yolcu-Km	Ton-Km	Yakıt (Lt)	Yakıt (Ton)	CO2 (Mt)	NOx (t)	CH4 (t)	NM VOC	CO (t)	N2O (t)
1990	6,41	8,031	190,661,176	162,062	0.517	12,041	40.5	891	4,230	13.0
1991	6,048	8,093	194,117,647	165,000	0.526	12,259	41.2	907	4,306	13.2
1992	6,259	8,383	183,529,412	156,000	0.497	11,591	39.0	858	4,072	12.5
1993	7,147	8,511	215,294,118	183,000	0.583	13,597	45.8	1,007	4,776	14.6
1994	6,335	8,338	228,235,294	194,000	0.618	14,414	48.5	1,067	5,063	15.5
1995	5,797	8,632	228,235,294	194,000	0.618	14,414	48.5	1,067	5,063	15.5
1996	5,229	9,018	233,294,118	198,300	0.632	14,734	49.6	1,091	5,176	15.9
1997	5,84	9,716	232,941,176	198,000	0.631	14,711	49.5	1,089	5,168	15.9
1998	6,16	8,466	235,294,118	200,000	0.638	14,860	100	1,100	5,220	16.0
1999	6,146	8,446	235,294,118	200,000	0.638	14,860	100	1,100	5,220	16.0
2000	5,833	9,895	176,295,000	149,851	0.478	11,134	37.5	824	3,911	12.0
2001	5,568	7,562	139,288,000	118,395	0.377	8,797	29.6	651	3,090	9.5
2002	5,204	7,224	140,053,000	119,045	0.380	8,845	29.8	655	3,107	9.5
2003	5,878	8,669	145,614,000	123,772	0.395	9,196	30.9	681	3,230	9.9
2004	5,237	9,417	138,116,000	117,399	0.374	8,723	29.3	646	3,064	9.4

Tablo.11 Emisyonlar ve Karayolu Ulaştırma Talebi Arasındaki İlişki İçin Lineer Regresyon Katsayıları

	Katsayılar					
	CO2 (Mt)	NOx (t)	CH4 (t)	NM VOC (t)	CO (t)	N2O (t)
PKM	0.00012355	1.310.819.857	0.023804436	1.758.322.839	1.440.027.381	0.0018285
TKM	7,98E-01	0.739819474	0.007415774	0.252770134	-1.685.239.549	0.0063967
R 2	0.991	0.989	0.987	0.976	0.969	0.961
Standart	03.Eyl	34,076.50	589.87	53,034.10	405,521.36	240.73

Tablo.9 Karayolu Ulaştırma Talebi ve Emisyon Öngörülleri

	Yolcu-Km (M)	Ton-Km (M)	CO2 (Mt)	NOx (t)	CH4 (t)	NM VOC (t)	CO (t)	N2O (t)
1990	134,991	65,71	22.71	238,413.03	3,233.85	208,090.27	1,499,833.46	796.34
1991	131,029	61,969	21.45	223,729.57	3,135.67	205,089.93	1,452,805.36	748.01
1992	142,172	67,704	21.98	227,037.64	3,426.78	230,268.23	1,617,451.86	742.42
1993	146,029	97,843	26.55	273,186.96	4,091.63	274,174.06	1,937,961.51	904.71
1994	140,743	95,02	28.39	286,607.94	4,948.39	340,032.55	2,420,536.79	904.08
1995	155,202	112,515	30.40	306,766.78	5,434.96	373,918.54	2,588,099.30	971.49
1996	167,871	135,781	32.78	332,834.80	5,850.09	398,825.36	2,697,910.83	1,068.58
1997	180,967	139,789	30.78	306,657.93	5,794.54	401,689.78	2,730,020.14	979.60
1998	186,159	152,21	28.84	283,448.78	5,735.12	400,925.03	2,707,076.67	912.35
1999	175,236	150,947	31.55	313,718.08	5,727.33	391,659.80	2,570,564.72	1,092.11
2000	185,681	161,552	32.28	327,744.42	5,127.33	335,095.29	2,189,338.57	1,208.70.20
2001	168,211	151,421	32.26	331,834.28	4,725.42	299,961.01	1,918,439.95	1,265.10
2002	163,327	150,912	33.63	348,251.84	4,680.01	290,427.08	1,851,551.89	1,366.29
2003	164,311	152,163	35.80	368,445.50	4,621.52	280,537.62	1,749,873.25	1,539.98
2004	174,312	156,853	39.09	394,434.76	4,648.26	272,841.25	1,645,523.87	1,905.15

Benzer şekilde, demiryollarında yakıt tüketimi (ton olarak) ve ulaştırma talebi arasındaki ilişkinin belirlenmesi için bir doğrusal regresyon analizi yapılmış ve aşağıdaki eşitlik elde edilmiştir:

$$\text{Yakıt (ton)} = 18.898 \text{ PKM} + 6.236 \text{ TKM} \quad r^2=0.972$$

(1.76) (0.84)

Burada, PKM demiryolu ile taşınan yolcu-km (milyon) ve TKM demiryolu ile taşınan ton-km'dir (milyon). Parantez içindeki değerler katsayıların t istatistikleridir.

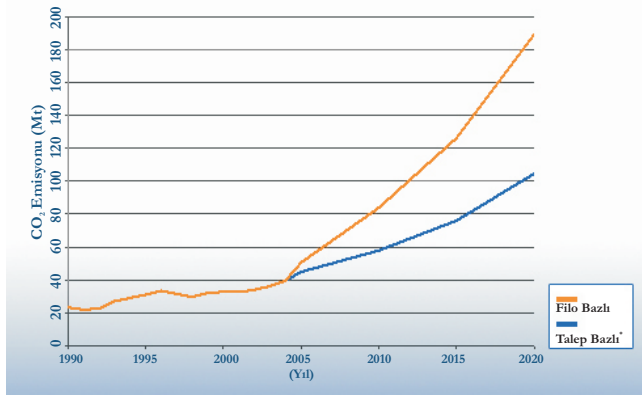
3.2.4. Karayolu ve Demiryolundan Kaynaklanacak Emisyonların Talep Bazlı Tahminlerinin Sonuçları

Her bir emisyon kategorisi için, karayolu taşımacılığında kaynaklanan emisyonlar gelecekteki ulaştırma talebinin Tablo 11'de verilen katsayılarla çarpılması yoluyla hesaplanmıştır.

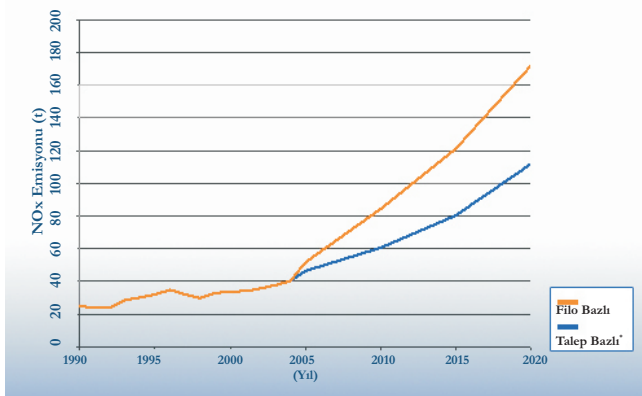
Demiryolu taşımacılığında kaynaklanan emisyonların tahmin edilmesi için, Sorsuşbay ve Ergeneman'da (2006) verilen emisyon faktörleri, Bölüm 3.2.3'teki doğrusal regresyon eşitliğinden elde edilen yakıt tüketimleri ile çarpılmıştır. 2005-2020 döneminde % 6'lık bir yıllık GSYİH artışı varsayılarak, Tablo.12'de karayolu ve demiryolu taşımacılığında kaynaklanan ve talep bazlı yaklaşımla tahmin edilen toplam emisyonlar özetlenmektedir.

Tablo.12 Emisyonların Talep Bazlı Tahminlerinin Sonuçları

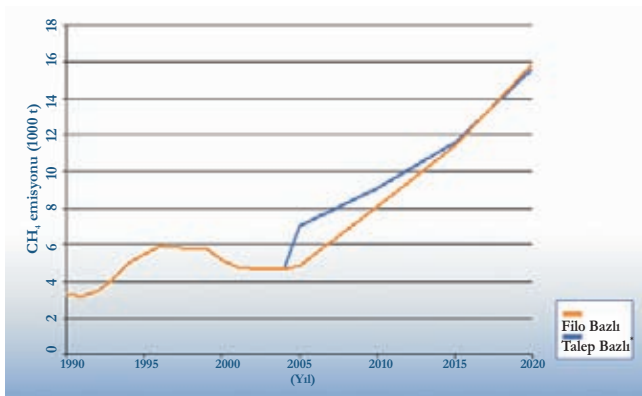
Yıl	CO ₂ (Mt)	NO _x (t)	CH ₄ (t)	NM ₁₀ OC (t)	CO (t)	N ₂ O (t)
2005	44.89	463,729.40	7,021.93	458,473.43	3,018,316.98	1,688.56
2010	57.87	606,562.57	9,096.53	596,028.90	3,980,051.72	2,111.15
2015	76.05	804,642.66	11,592.35	743,236.12	4,772,853.49	2,956.28
2020	104.72	1,120,165.56	15,631.85	986,951.21	6,173,602.16	4,211.78



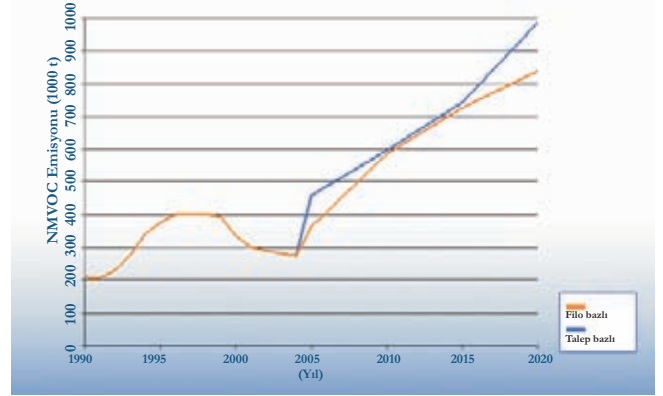
Şekil.12 Karayolu ve Demiryolundan Kaynaklanacak Tahmini CO₂ Emisyonları



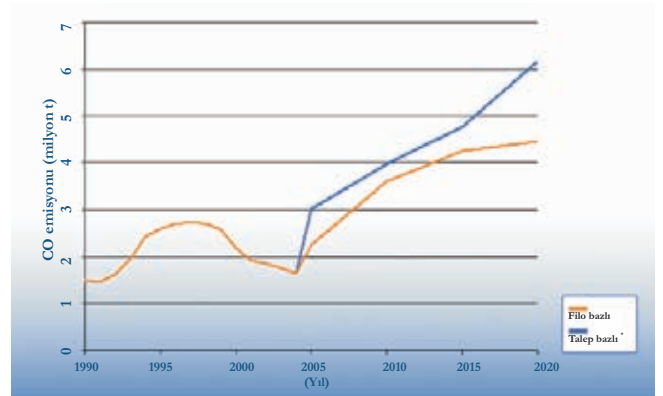
Şekil.12 Karayolu ve Demiryolundan Kaynaklanacak Tahmini NO_x Emisyonları



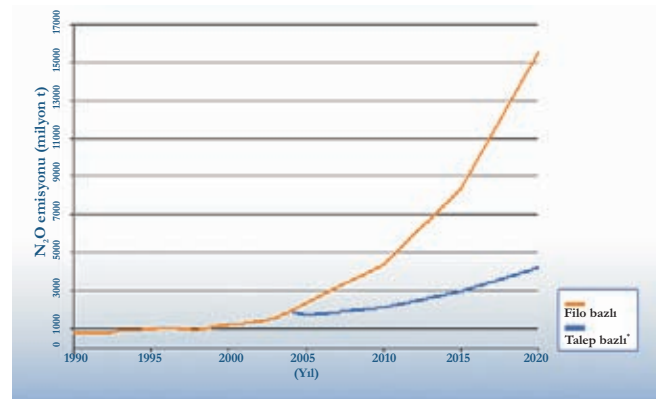
Şekil.14 Karayolu ve Demiryolundan Kaynaklanacak Tahmini CH₄ Emisyonları



Şekil.15 Karayolu ve Demiryolundan Kaynaklanacak Tahmini NMVOC Emisyonları



Şekil.16 Karayolu ve Demiryolundan Kaynaklanacak Tahmini CO Emisyonları



Şekil.17 Karayolu ve Demiryolundan Kaynaklanacak Tahmini N₂O Emisyonları

Filo bazlı ve talep bazlı yaklaşımlarla tahmin edilen ve sonuçta ortaya çıkan emisyonlar Şekil.12 - 17'de gösterilmektedir. Filo bazlı ve talep bazlı emisyonlar arasındaki farklılık birkaç nedenden ileri gelmektedir:

(i) Filo bazlı yaklaşımda, geçmişteki yakıt tüketimlerinde göre tahmin edilmiş olan, her bir araç kategorisine ait yıllık ortalama km değerleri kullanılmıştır. Sorsuşbay ve Ergeneman (2006) tarafından belirtildiği üzere, Türkiye'ye önemli miktarda kaçak yakıt girmektedir ve bu da yıllık ortalama kilometrenin tahmin edilmesinde belirsizliklere yol açmaktadır. Ülkeye kaçak sokulan dizel yakıtının 2003 yılında 1.5 M ton, 2004 yılında ise 0.9 M ton olduğu tahmin edilmektedir. Benzer şekilde, 2003 ve 2004 yıllarında 1M ton benzinin Türkiye'ye kaçak sokulduğu tahmin edilmektedir.

(ii) Karayolundan demiryoluna küçük bir talep kaymasının bile toplam emisyonları % 9 - 12 oranında azaltacağı tahmin edilmiştir. Bu çalışmada, 2005-2020 arasındaki dönemde, karayolu taşımacılığının yolcu payını % 9-12, yük payını ise % 14 kaybedeceği varsayılmıştır. 2020'de bu türel kaynakların toplam emisyonları CO₂ için % 9, NO_x için % 5, CH₄ için % 9.6, NMVOC için % 10, CO için % 8.6 ve N₂O için % 12.1 azaltacağı tahmin edilmektedir.

(iii) Son olarak, belirtmelidir ki ulaştırma sisteminin çıktı değişkenlerinin (motorlu araç filo boyutu, seyahat edilen karayolu araç-km'si, yolcu-km'si ve ton-km'si gibi) GSYİH'ya göre tahmin edilen esneklikleri ve aynı zamanda emisyonların ulaştırma sistemi çıktı değişkenlerine göre tahmin edilen esneklikleri sonuçta ortaya çıkan emisyon tahminlerinin ana belirleyicileridir. Tablo.13'te kullanılan ana değişkenlerdeki değişikliklere bağlı olarak yukarıdaki iki yaklaşımla tahmin edilen emisyonlarda meydana gelen değişiklikleri özetlenmektedir.

Tablo.13 Değişkenlerdeki ve Emisyonlardaki Değişiklikler

Değişkenler	(%)	
GSYİH	139.7	
Motorlu Araç sayısı	338.9	
Yol Araç-Km	301.2	
Yolcu-Km	131.5	
Ton-Km	202.0	
Emisyonlar	Filo Bazlı	Talep Bazlı
CO ₂	270.5	133.3
NO _x	220.5	141.6
CH ₄	223.7	122.6
NMVOC	129.8	115.3
CO ₂	97.0	104.5
N ₂ O	557.0	149.4

4. Sonuçlar

Ulaştırmadan kaynaklanan GHG emisyonlarının azaltılmasının üç yolu vardır:

- (i) İşletimsel - araç-km başına enerji tüketiminin ve emisyonların azaltılması.
- (ii) Stratejik- araç kullanımının optimizasyonu, yolcu-km veya ton-km başına toplam araç-km'nin azaltılması.
- (iii) Taleple ilgili- genel ulaştırma talebinin azaltılması (yolcu-km veya ton-km)

Bu üç kategoride önlemlerin uygulanması için bazı politika araçları kullanılabilir, bunlar aşağıdakileri içermektedir:

Fiyatlandırma politikaları ve teşvikler, vergilendirme, düzenleme, altyapı, bilgilendirme ve kamu bilinci inisiyatifleri, gönüllü anlaşmalar, ve kurumsal çerçeveler.

Türkiye'de ulaştırma politikası bir kavşak noktasındadır. Gelecek, karayolu ulaştırmasının akılcı biçimde kullanılmasına, karayolundan demiryoluna (ve deniz yoluna) rekabetçi nitelikleri, verimi, hızı veya konforu kaybetmeksizin geçilmesine, farklı türlerin bir karışımını içeren daha fazla seyahat yapılmasına ve ulaştırmadan kaynaklanan kirliliğin azaltılmasına bağlıdır.

Ulaştırma kesimi sürdürülebilir gelişmeyi yalnızca belirli koşullar altında karşılayabilir:

- Sorunların birlikte çözülmesi için politik istek ve kararlılık;
- Özel araçların akılcı kullanımı için kapsamlı ve yeni bir kentsel ulaştırma yaklaşımı;
- Mobilitenin yükselen maliyetini karşılamak üzere hizmet kalitesinin geliştirilmesi;
- Altyapının finansmanı için uygun yöntemler ve darboğazları ortadan kaldırmak;
- AB'nin ulaştırma politikası ve ekonomik, çevresel, mali, sosyal ve bütçeyle ilgili politikaları gibi diğer anahtar politikaları ile ve kent ve ülke planlaması arasında uyum.

Referanslar

- [1] Climate Change (2001) : Mitigation.
- [2] European Commission (2005). Assessment of the contribution of the TEN and other transport policy measures to the mid-term implementation of the White Paper on the European Transport Policy for 2010. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.
- [3] European Commission (2001). European transport polic for 2010: time to decide. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.
- [4] Eurostat (2004). Energy and Transport in Figures. Luxembourg: Eurostat.
- [5] Gerçek, H. (2006) National Transport Rehabilitation in Turkey, 2nd Progress Report. ITU (2004) National Transportation Plan Strategy, Ministry of Transportation, Turkey.
- [6] Bates, J. et al. (2001), Economic Evaluation of Emissions Reductions in the Transport Sector of the EU: Bottom-Up Analysis, Final Report.
- [7] Nakicenovic, N. (ed.) et al (2000), Global Greenhouse Gas Emissions Scenarios: Five Modelling Approaches, Technological Forecasting and Social Change, 63 (1-2), pp.105-371.
- [8] OECD, UNEP (1999), Older Gasoline Vehicles, In Developing Countries and Economies in Transition: Their Importance and the Policy Options for Addressing Them.
- [9] Soruşbay, C. and Ergeneman, M. (2006), GHG Emissions Resulting From Transport Sector in Turkey, Inventory Analysis and Projections, Final Report.



Bölüm III:

SOSYO-EKONOMİK BOYUTLAR

Fayda-Maliyet Analizi ve Makro-Ekonomik Projeksiyonlar

TÜRKİYE'DE ÇEVRE POLİTİKASININ EKONOMİSİ

İklim Değişikliği Sektörel Emisyon Azaltma Politikalarının Ekonomik Değerlendirmesi için Bir Genel Denge Analizi¹

Dr. Çağatay Telli,
Devlet Planlama Teşkilatı, Ankara

Yar. Doç. Dr. Ebru Voyvoda,
Orta Doğu Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Erinç Yeldan
Bilkent Üniversitesi

Çevresel dönüşüm hakkındaki araştırmalar küresel ölçekte, küresel ısınmanın maliyetleri hakkındaki kanıtlar birikmeye devam ederken yoğunlaşmaktadır. Örneğin Financial Times'da (31 Ekim, 2006) çıkan özel bir rapor, dünyanın atmosferine milyon başına 550 birim (ppm) CO₂ salınmasının küresel sıcaklıkların endüstri öncesi seviyelerin 2 °C'den daha fazla üzerine çıkması konusunda yüksek bir olasılık oluşturacağını altını çizmektedir – bu, gezegenimizin iklimi için emniyet bölgesi olarak kabul edilen üst limitir. İklim değişikliğinin engellenmesi amaçlı olası etkin tedbirlerin maliyet ve fayda analitiği Sir Nicholas Stern tarafından yakın zamanda hazırlanan bir raporda da ele alınmıştır.² Stern raporunda, 2050 itibarıyla sera gazı konsantrasyonlarının 450 ila 550 ppm arasında stabilize edilmesi yolundaki çabaların küresel ekonomik çıktının yalnızca % 1'ine karşılık bir maliyet yaratacağı ileri sürülmüştür (651 milyar ABD Doları eşdeğeri). Aynı zamanda bu raporda, derhal tedbir alınmamasının gelecek iki yüzyıl içerisinde dünya üretimini yüzde 5 ila 20 oranında küçülterek küresel ekonominin geleceğini riske atacağı uyarısı da yapılmaktadır. Bu maliyet, çalışan insanların üretkenliğindeki olası kesintiler, yeni bakteri biçimlerinin yayılması ve hayatın güzel yönlerinin kaybına bağlı olarak ortaya çıkacaktır.

Temel olarak bu kanıtlar ve bulgular karşısında, Avrupa Birliği 2006 sonlarında iklim değişikliğinin engellenmesi için en istekli hedef olarak adlandırılacak olan sera gazı emisyonlarının 2020 itibarıyla 1990 seviyesinin % 20'nin altına çekilmesi hedefini belirlemiştir. AB ayrıca daha da ileri gitmek konusundaki planlarını açıklamış ve gelişmiş ekonomilerin geriye kalanını ve gelişmekte olan dünyayı Kyoto Protokolü'nde yer almaya davet etmek amaçlı pazarlığının bir bölümü olarak kendi azaltım hedeflerini 2020 itibarıyla 1990 seviyelerinin % 30 altına çekeceğini beyan etmiştir.

Bu durum karşısında, Türk çevre politikası bir kavşak noktasındadır. Avrupa Birliği'ne tam üyelik çabalarının bir bölümü olarak Türkiye, CO₂ ve diğer sera gazı emisyonlarının gelecek altı yıl içerisinde azaltılması için Kyoto Protokolü'nün koşullarını tanımak konusunda önemli bir baskı altındadır.

¹ Yazarların isimleri alfabetik sırayla verilmiştir ve yazarlık konusunda yetkinliği göstermesi gerekmez. Bu çalışma için proje desteği Türkiye Hükümeti ve UNDP-GEF Projesi altında, Birleşmiş Milletler Politika Yapma için Ekonomik Değerlendirme hakkında Geliştirme Programı tarafından sağlanmıştır: UNDP ve Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve Orman Bakanlığı için hazırlanan "Türkiye'nin UNFCCC ile İlk Ulusal Bildiriminin Hazırlanması Amaçlı Yetkilendirme Faaliyetleri". Yazarlar Bengisu Vural ve Çağacan Değer'in araştırma konusundaki büyük yardımları ve Yasemin Örcü, Katalin Zaim ve Çevre Bakanlığının Bn. Günay Apak başkanlığındaki "İklim Değişikliği Ekibi" tarafından yapılan değerli öneriler için şükranla teşekkür ederler. Çalışmada ifade edilen görüşler ve politika önerileri yalnızca yazarlara aittir ve hiçbir şekilde yukarıda adı geçen kurumları ve yönetim mercilerini temsil etmemektedir. Tüm genel ifadeler geçerlidir.

Şu anda, gelişmekte olan – bir pazar ekonomisi olarak Türkiye'de ne GSMH'sinin bir oranı olarak ne de kişi başına düzeyde enerji kullanımı ve sera gazı emisyonları bir stabilite kazanamamıştır. Türkiye ekonomisi ayrıca enerji kaynaklarının endüstriyel kullanımı konusunda en hızlı gelişme gösteren 25 ülke arasında yer almaktadır (OECD (2004). Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verileri, örneğin kişi başına temelde, Türkiye'de elektrik enerjisi tüketiminin 1980'den 2005'e altı kat yükseldiğini göstermektedir. TÜİK, 2004 itibarıyla 223.4 Gg olan fosil yakıt yakmadan kaynaklı toplam CO₂ emisyonlarının 2010 itibarıyla 343 Gg'ye ve 2020 itibarıyla de 615 Gg'ye ulaşacağını tahmin etmektedir. Bu durum, 2005 yılında 0.632 milyon ton/milyar YTL olan toplam CO₂ emisyonlarının GSMH'ye oranının 2020 yılında 0.689 milyon ton/milyar YTL'ye yükseleceğini ortaya koymaktadır.

Temel olarak bu istikrarsızlıklar nedeniyle, Türkiye'nin uluslararası azaltma şartları ile ilgili küresel konumu da bir çelişki konusudur, çünkü Türkiye Birleşmiş Milletler Rio Zirvesi listesinin Ek-I belgesinde görülen tek ülkedir ve henüz CO₂ emisyonlarının azaltılması için resmi bir hedef belirlemediği. Dolayısıyla, AB ile yaptığı kabul görüşmelerinin bir parçası olarak, Türkiye'nin emisyon hedefleri ve ilgili azaltma politikalarının yanı sıra iklim değişikliği ile ilgili ulusal planını sunması yolunda da önemli baskılarla karşılaşması muhtemeldir.

Türk çevre politikası araçlarının mevcut araçları çoğunlukla enerji vergileri, çevresel etki değerlendirmeleri ve kirletme cezaları ile sınırlıdır. Şu anda, bu araçların daha aktif bir çevresel politika tasarımı altında yeterli olamayacağı ve ek kirletme vergileri, emisyon ticareti ve izinleri ve azaltılan enerji yoğunluklarına yönelik azaltıcı yatırımlar gibi diğer politika tedbirleri biçimlerini de içerecek şekilde genişletilmelerinin gerekeceği açık bir şekilde kabul edilen bir gerçektir. Bununla birlikte, Türkiye'de çevresel politika analizi için yeterli bir kantitatif modelleme paradigmasının şu anda bulunmaması dikkate alındığında, söz konusu politika müdahalelerinin etkinliği ve bunların çevresel etkileri henüz iyi bilinmemektedir. Dolayısıyla, çevre politikası analizi için analitik modellerin oluşturulmasına ve kullanılmasına güçlü bir şekilde ihtiyaç duyulmaktadır.³

Bu çalışmanın amacı bu boşluğu doldurmak ve Türkiye'deki teknolojik gelişmeyi ve teknoloji kullanımını hızlandırmak için tasarlanmış geniş, piyasa temelli teşvikleri içerebilecek olan ek tedbirlerle yanıt verebilmeleri konusunda politika hazırlayıcılarına kılavuzluk etmektir. Temel hedefi Türkiye'nin sürdürülebilir kalkınma prensiplerini hem makro ekonomik hem de sektörel düzeyde ulusal kalkınma planlaması ve çevre politikası amaçlarının uygulanmasına entegre etmesine olanak sağlamak amaçlı analitik bir girişimdir. Bu noktada, hem mal hem de faktör piyasalarında çevresel ve makroekonomik politika etkileşimleri üzerinde ve çeşitli politikaların çevre ve azaltma üzerindeki etkileri hakkında çalışmak için hesaplanabilir genel denge (HGD) paradigması geleneğinde dinamik, çok sektörlü bir makroekonomik model oluşturulmasını öneriyoruz.

I. Türkiye'nin Anahtar Çevresel Göstergeleri

Bu çalışmada temel olarak, çevresel kirlenmenin anahtar göstergesi olarak CO₂ emisyonları üzerinde odaklanılmaktadır. Türkiye dünya ve OECD ortalamaları ile karşılaştırıldığında emisyon katsayıları açısından daha düşük göstergelere sahiptir. 2002 itibarıyla, 2.8 tonluk kişi başına CO₂ emisyonu ile, Türkiye 11.0 tonluk OECD ortalamasının oldukça altındadır ve kişi başına 3.9 tonluk dünya ortalamasının da altında yer almaktadır. 1990 yılında bu değerler Türkiye için 2.3 ton, OECD için 10.6 ton ve dünya için 4.0 ton olmuştur.

² "İklim Değişikliğinin Ekonomisi", çevrim içi olarak şu adreste bulunabilir: www.hm-treasury.gov.uk

³ Her ne kadar Türkiye için nadir olsa da, çevresel politika analizi için modellerin oluşturulması literatürde oldukça genel bir uygulamadır. Goulder ve Pizer (2006), politika hazırlayıcılarına kılavuzluk sağlamak için teorik bakışları ve ampirik bulguları da içeren, iklim değişikliği ekonomisi hakkında kısa bir özet sağlamaktadır.

Türkiye'nin emisyonları, \$ GSYİH başına karşılaştırma yapıldığında bu kadar düşük değildir. 2002 yılında, Türkiye'nin \$ GSYİH başına CO₂ emisyonları (1995 sabit fiyatları ile ölçüldüğünde) 0.94 kg'dır. Aynı oran OECD için 0.44, dünya içinse 0.68'dir.

1990 değerleri ile karşılaştırıldığında hem dünya hem de OECD için \$ GSYİH başına CO₂ emisyonu ortalamalarında düşüş gözlenmektedir; Türkiye içinse 0.89'dan 0.94'e hafif bir artış olmuştur.

TÜİK verileri fosil yakıtların yakılmasından kaynaklanan toplam CO₂ emisyonlarının 2004 için 223.4 Gg olduğunu göstermektedir. TÜİK, enerji üretiminden kaynaklanan CO₂ emisyonlarının 2010 yılında 343 Gg'ye 2020 yılında ise 615 Gg'ye ulaşacağını tahmin etmektedir. Verilere göre, CO₂ emisyonlarının büyük bir bölümü elektrik üretiminden kaynaklanmaktadır. Kişi başına temelde, Türkiye'deki elektrik tüketimi 1980'den 2005'e kadar altı katına çıkmıştır ve 2010 yılında kişi başına 400 kWh'ye yükselmesi beklenmektedir.

Artan üretim kapasitesi ve artan tüketim talebi ile Türkiye'deki enerji yoğunluğunun yükseleceği öngörülmektedir. Bu gerçek ülkenin elektrik üretimine gittikçe daha fazla dayanması ile açık bir şekilde ortaya çıkmıştır. Brüt elektrik üretiminin 1995 yılındaki 86,247 GWh değerinden 2004 yılında 149,982 GWh değerine ulaşarak neredeyse iki katına çıktığı görülmektedir. Bu hızlı genişleme bahsi geçen süre içerisinde yıllık ortalama % 7.2'lik bir büyüme hızı vermektedir.

Enerji tüketiminin sektörel dökümü ve birincil kaynak üretimi, toplam enerji talebinin yerli olarak temin edilen bölümünün 1990 yılında % 48.1 iken 2004 yılında % 27.8'e düşmüş olması nedeniyle ulusal dengesizliklerin arttığına işaret etmektedir. Gelecek on yıl içerisinde nihai enerji talebinde son derece önemli bir artış olacağı yolundaki beklentiler göz önüne alındığında, tüm bunlar yerli açığın devam edeceğini ortaya koymaktadır. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) tahminleri Türkiye'deki toplam enerji talebinin 135,302 bin TOE'ye ulaşacağını ve kişi başına enerjinin 2005 yılındaki 1,276 kgpe değerinden 2013 yılında 1,663 kgpe'ye yükseleceğini göstermektedir. Bu geniş kaymalar Türkiye'nin enerji talebini henüz stabilize edemediğinin ve yeni endüstrileşen bir ekonominin baskılarının hissedilmeye devam ettiğinin altını çizmektedir.⁵

Enerji kullanımı için sınırlı alternatif olanakları ve üretim faaliyetlerinin istikrarsız/dinamik karakteri dikkate alındığında, mevcut azaltma politikaları mөнüsü hakkında yaşatılabilir kılavuz hükümlerin sunulması zorlaşmaktadır.

II. Model

Yukarıdaki ekonomik ve politik dünyaya genel bakışı dikkate aldığımızda, artık analitik HGD modelimizi Türkiye için, sera gazı emisyonu azaltma ve bunun ekonomik etkileri hakkında çalışmak üzere geliştiriyoruz. Her ne kadar Türkiye için çeşitli HGD modelleme uygulamaları varsa da, çevresel HGD uygulamaları nispeten yeni ve nadirdir. Roe ve Yeldan (1996), Boratav, Türel ve Yeldan (1996), Şahin (2001) ve Kumbaroğlu (2003) bu açıdan gerçekleşen birkaç katkı arasındadır.⁶

Sunduğumuz modelin 2006-2020 yılları arasındaki dönem için bir "temel patika" oluşturmanın ilk adımı olarak görülmesi gerekir, bu temel yol karşısında alternatif politika senaryolarının sosyo-ekonomik etkileri araştırılacaktır.

Üretim Yapısı, Faktör Nitelikleri

Şekil.1 modelin genel üretim yapısını göstermektedir.⁷ Sektörel üretim iki safhali üretim teknolojisi ile modellenmektedir ve ikinci safhada brüt çıktı, sermayeyi (K), işgücünü (L), ara girdileri-üretim faktörleri olarak enerji girdileri (ID) ve birincil enerji kompozit (ENG) hariç - içeren bir teknoloji aracılığı ile üretilmektedir:

$$XS_t = XS_t(K, L, LD, ENG) \quad (1)$$

$I = AG, CO, PG, RP, EL, CE, PA, IS, TR, OE$

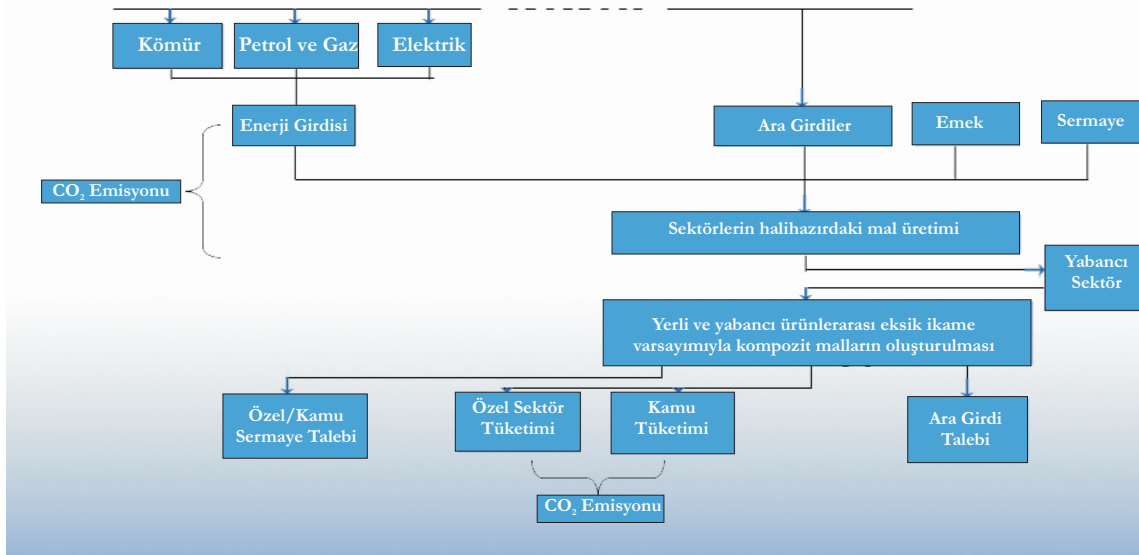
$J = AG, RP, CE, PA, IS, TR, OE$

⁴ Veriler ağırlıklı olarak yıllık ortalama % 17 kaybı olduğunu göstermektedir. Bu durum ülkeyi 2003 yılında 111,766 GWh 2004 yılında 118,050 GWh net tüketim konumuna getirmektedir.

⁵ ETKB aynı zamanda artan endüstrileşme hızının ve yeni tüketim ihtiyaçlarının karşılanması için gerekli yatırım ihtiyaçlarına ilişkin tahminleri de yapmaktadır. Buna göre, Türkiye'nin 2005-2020 yılları arasında toplam 233,339 milyon ABD Doları yatırım yapması gerekecektir. Bu toplamın 5,109 milyon ABD Doları'nın kömür arama ve üretimine 104,765 milyon ABD Doları'nın (yaklaşık % 43) ise elektrik üretimine harcanması beklenmektedir.

⁶ HGD uygulamalarından ayrı olarak, aynı zamanda Türkiye için enerji-çevre-ekonomi konularında çalışılmasına ilişkin çok boyutlu ihtiyaç açığını doldurmaya çalışan nispeten az sayıda çalışma mevcuttur. Karakaya ve Özçag (2001) iklim değişikliği altında sürdürülebilir gelişme için kullanımla ilgili olabilecek bir dizi ekonomik aracı analiz etmektedir. Ediger ve Huvaz (2006), ayrıştırma analizi yardımı ile, Türk ekonomisinde sektörel enerji kullanımı tahminleri sunmaktadır. Lise (2006) Türkiye için 1980-2003 yılları arasındaki CO₂ emisyonlarının ayrışmasını açıklayan faktörleri açığa çıkarmaya çalışmaktadır.

⁷ Aşağıda modele kuşbakışı bir yaklaşım sağlıyor ve ilgili okuyucuyu, modelin cebirsel yapısı hakkında daha fazla dokümantasyon elde etmek üzere direkt olarak bizimle temasa geçmeye davet ediyoruz.



Şekil.1 Malların, faktörlerin ve emisyonların model içerisindeki akışı

Her bir sektörde, üretim teknolojisinin başlangıç safhasında, birincil enerji kompoziti enerji girdileri kömür, petrol ve gaz ve elektrik kullanılarak, üretim fonksiyonunun sabit esnekliği boyunca üretilir:

$$ENG_t = ENG_t(IDCO_b, IDPG_b, IDEL_t) \quad (2)$$

Böylece, tanımlanan şekilde ekonominin on sektöründen her birinde, birincil enerji kompoziti, diğer üretim girdileri ile birlikte (sermaye, işgücü, ara girdiler) gayri safi milli hasılaya katkıda bulunur. Yabancı malların yerel olarak üretilen mallar için eksik ikame olarak görülmesi ile, ekonomideki nihai mallar piyasasına ithal ve yerel malları temsil edici nitelikte kompozit bir mal sağlanır. Nihai mallar özel sektör ve kamu sektörü tarafından tüketim için talep edilebilir veya ara girdiler olarak üretim sürecine yeniden katılabilir (Bkz. Şekil 1).

Çevresel Emisyonlar ve Vergilendirme

Şekil 1'de gösterildiği üzere, CO₂ emisyonlarının üç temel kaynağı model içerisinde ayrırt edilmiştir:

- (i) enerji kullanımı (birincil ve ikincil) nedeniyle,
- (ii) endüstriyel işlemler nedeniyle ve
- (iii) hane halklarının nihai talebi nedeniyle.

Ekonomideki toplam CO₂ Emisyonu tüm bu kaynaklardan gelenlerin toplamıdır. Gunther (1992)'e göre, endüstriyel işlemlerden kaynaklanan emisyonların endüstriyel faaliyetin seviyesine bağlı olduğu ve gayri safi hasıla ile orantılı olduğu kabul edilir. Diğer taraftan, enerji kullanımı nedeniyle toplam emisyonlar iki kaynaktan gelmektedir: enerji yakıtının yakılması nedeniyle ortaya çıkan sektörel emisyonlar (kömür ve petrol ve gaz), ve enerji yakıtının yakılması nedeniyle ortaya çıkan sektörel emisyonlar (rafine petrol). Her iki kaynak altında da emisyon mekanizması her bir sektörde CO₂ yayan girdilerin seviyesine bağlıdır (birincil ve ikincil seviyelerde enerji girdisi). Emisyonların model içerisindeki bir başka kaynağı hanehalkları tarafından enerji kullanımından kaynaklı CO₂ emisyonlarıdır.

Karbon vergisi, üretim, ara girdi kullanımı ve tüketim için yayılan karbon dioksit tonu başına sırasıyla CO₂P, CO₂N_i ve CO₂C_i oranlarında uygulanır. Gelirler direkt olarak devlet bütçesinin gelir havuzuna eklenir.

Genel Denge ve Dinamik

Genel model, mal piyasalarının ve hesap ödemeleri dengesinin temizlenmesi için ürün fiyatlarının içsel ayarlaması ile dengeye getirilir. Her bir dönemde reel ücretler sabitlenerek, işgücü piyasasındaki denge, istihdam ayarlamaları aracılığı ile korunur.

Model, dışsal olarak belirlenmiş değişkenlerin ve politika değişkenlerinin yıllık değerlerini ekonominin 2006-2020 büyüme çizgisinin karakterize edilmesi amaçlı bir girişimde güncellemektedir. Ara dönemlerde, ilk olarak sermaye stoklarını amortisman çıkıldıktan sonra kalan yeni yatırım harcamaları ile güncelliyoruz. İşgücü nitelikleri nüfus artış hızı ile artmaktadır. Benzer şekilde, teknoloji faktörü üretkenlik oranları bir Hicks-nötr biçiminde belirtilmektedir.

III. 2003-2020 için Kalibrasyon ve Temel Yol

Tüm politika senaryoları bir temel referans senaryoya göre oluşturulmuştur. Parametre değerleri kalibre edildikten sonra, 2003-2020 arasındaki dönem için, aşağıdaki varsayımlarla bir "referans" ekonomisi oluşturuyoruz:

- (i) Herhangi bir belirli çevre politikası/tehdiri/vergilendirmesi/kotası yok (alışlagelmiş politika);

- (ii) Ortalama % 2 yıllık toplam faktör üretkenlik büyüme hızı (tarım ve endüstri sektörleri için farklı)

- (iii) Dışsal yabancı sermaye akışları

- (iv) Mevcut ödemeler dengesi kısıtı altında içsel (esnek) reel döviz kuru

- (v) Dışsal sabit reel ücret oranı

- (vi) Hedeflenen faiz dışı fazla kuralına göre düzenlenmiş mali politika.

Şekil.2 temel referans model altında reel GSMH için olası patikayı göstermektedir. Gözleendiği üzere, yıllık reel GSMH büyüme hızı 2003-2020 dönemi boyunca % 6 civarında kalmaktadır ve reel GSMH 2020 yılında 952.7 milyar YTL değerine ulaşmaktadır. Diğer taraftan, Şekil 4 TÜİK tarafından aynı değışkene ilişkin yapılan nokta tahminleri ile karşılaştırmalı olarak enerjiden (yakıtların yakılması) kaynaklanan CO₂ emisyonlarını göstermektedir. Şeklin de açık bir şekilde gösterdiği gibi, değerler TÜİK değerleri ile karşılaştırılabilir ve 2020 itibariyle toplam CO₂ emisyonlarının 615.4 mton'a ulaşacağı öngörülmektedir. Lise'nin ayrışma analizinin gösterdiği üzere, diğer herhangi bir hızlı gelişen ekonomide olduğu gibi, Türkiye'deki CO₂ emisyonlarına en büyük katkı ekonominin genişlemesinden gelmektedir (ölçek etkisi). OECD'nin yakın zamandaki tahminleri Türkiye'nin % 7'nin üzerinde bir yıllık büyüme potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir (OECD, 2004). UNDP ve Dünya Bankası (2003), 2025 yılında, 1990 seviyesi ile karşılaştırıldığında sera gazı emisyonlarında altı katlık bir artış olacağı tahmininde bulunmaktadır. Çalışma, nihai enerji tüketiminde yıllık % 5.9'luk bir artış olacağını öngörmektedir⁸. Büyüme yollarının farklı projeksiyonları belirli bir kapsamda dikkate alındığında, taban değerlerin TÜİK ve uluslararası kurumlar tarafından bildirilen aralıklarda olacağını gözlemekteyiz.

Bu büyüme patikası altında, üretim teknolojisi parametrelerinin sabit alınması ile, reel GSMH başına CO₂ emisyonları da 2020 yılında, 2003 değeri ile karşılaştırıldığında neredeyse % 10'luk bir hızla artan bir eğilim göstermektedir.

IV. Alternatif Çevre Politikası Senaryolarının HGD Analizi

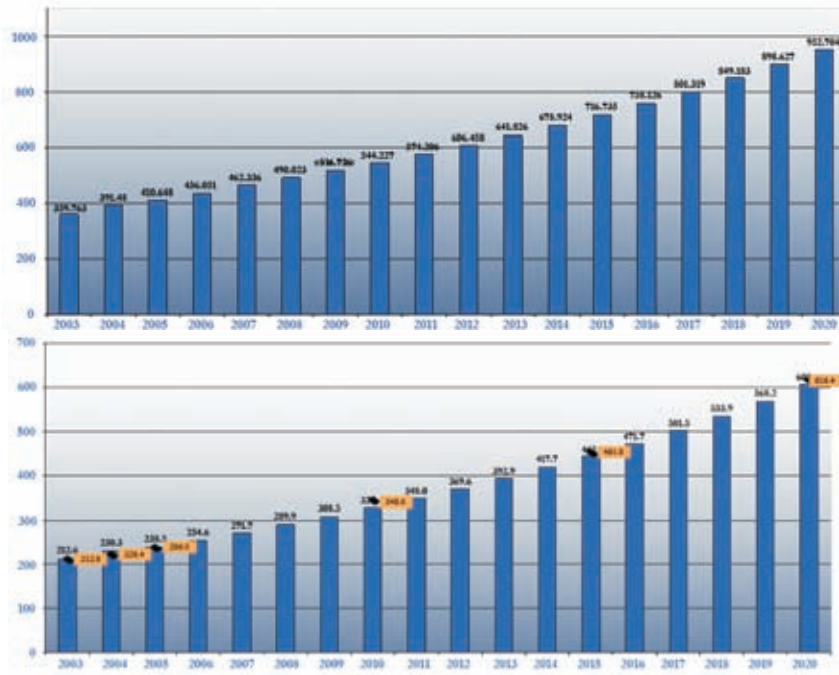
Şimdi modelleme çerçvemizi kullanarak alternatif çevre politikası senaryolarının uygulanmasına dönüyoruz. Burada, politika müdahalelerimizi iki geniş kategori içerisinde gruplandıracağız: ilk olarak, ek bir "azaltım" yatırımı olmaksızın vergi ve kota temelli araçlar kullanacağız. Yani ekonominin üretim-emisyon yapısı var olduğu gibi kalacaktır. Çevre vergisi gelirleri enerji kullanımında veya ekonominin üretim yapısında bir değışiklik yapmak için başka yatırım yapılmaksızın merkezi mali bütçe aracılığı ile yönetilecektir. İkinci kategori altında, daha aktif bir politik duruş alınacak ve uygulanan politika araçları aktif bir "azaltım" yatırımı politikası ile tamamlanacaktır. "Azaltım" yatırımı ya çevresel vergi gelirlerinden ya da diğer kaynaklardan, örneğin yabancı kredilerden ve/veya ulusal tasarruflardan finanse edilecektir.

İlk olarak direkt bir soru soruyoruz: "Türk ekonomisi için toplamda daha düşük CO₂ emisyonlarının hedeflenmesinin ekonomik etkileri ne olacaktır?"

IV-1. Ek Azaltım Yatırımı Olmaksızın Kota ve Vergi Temelli Araçlar

Türkiye ekonomisi sektörleri üzerine üretim vergileri ile tamamlanmak üzere direkt bir kota uygulanırsa ne olur? 2005-2020 döneminde toplam CO₂ emisyonları üzerindeki direkt kotaların ekonomik değışkenlere etkileri ne olur? Bu tür kotaların üretim vergileri ile birlikte uygulandığı varsayılırsa, vergi yükü ne olur? Bu yük üreticileri ve yatırımcıları üretim planları açısından nasıl etkiler? Son olarak, böyle bir politika çerçvesinin devletin mali dengeleri, ticari denge ve işsizlik üzerindeki net etkisi ne olur?

⁸ Bu tür bir büyüme patikasının 2020 yılında 656.4 m tonluk bir toplam CO₂ emisyon seviyesi üretmesi beklenmektedir.



Şekil.2 "Referans patika" Reel GSMH (milyar TRY, sabit 2003 fiyatları).

Şekil.3 "Referans patika" Enerjiden Kaynaklanan Toplam CO₂ Emisyonları (milyon ton)

İlk senaryo grubunda ele almak istediğimiz sorular bunlardır. Bu noktada, Türkiye ekonomisinin 2005-2020 arasındaki büyüme yolunda üç alternatif seviyede direkt bir kota uyguluyoruz: (i) % 90 kota; (ii) % 80 kota; ve (iii) % 60 kota. Kotaları uygulamak için, bir üretim vergisi sistemi aktif hale getirilir. Vergiler, "kırleten öder" prensibine göre ödenecek ve mali otorite tarafından direkt olarak toplanacaktır. Emisyon azaltım yatırımları veya herhangi bir para yardımı gibi diğer çevre politikaları için bu tür fonların kullanımı olasılığı öngörülmemiştir. Dolayısıyla, bir yapıçerisinde, bu senaryo CO₂ emisyonu hedeflerine ulaşmak konusunda son derece temel, direkt bir yaklaşım vermektedir. Bu senaryonun basitliği istenen bir özelliktir, çünkü sonuçları bize CO₂ hedeflerine en direkt şekilde ulaşmak için son derece açık bir politika aracının en direkt ve basit sonuçlarını sağlayacaktır. Daha sonra bu basit çerçeve üzerinde yapılandırma yapacak ve daha kompleks politika paketlerine ulaşacağız; şu anda her bir seviyede bu basit çerçeveden elde edilen sonuçlar bir kılavuz ve bir referans nokta olarak kullanılacaktır.

İkinci bir senaryo grubu olarak, CO₂ emisyonlarının azaltılması için enerji vergilendirmesi politikası üzerinde odaklanıyoruz. Model çerçevesi üç enerji girdisi kaynağını kabul etmektedir: kömür, petrol ve gaz ve elektrik. Enerji kaynakları ve faktör kullanımı (sermaye ve işgücü) arasındaki ikame olanakları dikkate alındığında, maliyeti minimuma düşürme prosedürleri üreticilerin enerji kullanımından tasarruf yapması ve böylece de CO₂ emisyonunu azaltması işaretini verecektir. Enerji vergilendirme politikasını iki seviyede gerçekleştiriyoruz: % 10 vergi ve % 20 vergi.

Tablo.1'de farklı kota ve vergi politikaları altında bir dizi anahtar değişken gösterilmektedir. Örneğin, % 90 kota öngörülmesi halinde, GSMH'deki büyüme hızı düşer ve toplam GSMH, 2020 temel değerine göre % 7.1 azalır. Bunun aksine, kota temel patikadaki toplam emisyonların % 60'ı olarak belirlenirse, 2020 GSMH değerinin 602 milyar YTL'ye düştüğü gözlemlenmektedir. Bu durum da GSMH'de % 36.8'lik reel bir azalmaya işaret eder.

Sonuçlarımız CO₂ kotalarının ekonomiyi lineer olmayan bir biçimde etkilediğini göstermektedir. Daha yüksek CO₂ sınırlaması oranları, daha sonraki üretim kayıpları açısından gittikçe yükselen bir yüke sahiptir.

Emisyon kazançlarının GSMH kayıplarına göre genel esnekliği -1.1'dir, yani CO₂ emisyonlarında doğrudan doğruya uygulanan bir kota aracılığı ile % 40'lık bir azalma olması GSMH'de % 36.8'lik bir kayıp olması ile ilgilidir. Bu durumda, analiz edilen tüm süreyi göz önünde bulundurursak, 2006-2020 dönemi için GSMH miktarlarındaki birikimli kayıp 1,145 milyar 2003 YTL'ye karşılık gelmektedir.

Tablo.1 CO₂ Emisyon Kotaları ve Enerji Girdisi Üzerindeki Vergilere İlişkin Durum

	Baz senaryo	% 90 Kota Altında	% 80 Kota Altında	% 60 Kota Altında	% 10 Enerji Vergisi Altında	% 20 Enerji Vergisi Altında	Tüketim Vergisi
Reel GSMH (2003 Fiyatları, Milyar TRY)							
2006	436,051	412,656	387,652	328,629	2328,629	427,372	437,045
2008	490,023	461,451	430,94	359,3	483,061	476,332	490,966
2012	606,458	565,996	522,894	422,468	591,978	578,398	606,325
2020	952,704	876,495	795,75	608,88	908,29	868,182	943,503
Toplam CO₂ Emisyonları (mton)							
2006	276,953	249,258	221,562	166,172	243,775	217,507	0,507259
2008	315,187	283,668	252,15	189,112	276,557	246,014	296,445
2012	401,368	361,231	321,094	240,821	349,44	308,568	379,029
2020	656,399	590,759	525,119	393,839	559,679	484,719	620,373
GSMH'ye Oranla Toplam CO₂ Emisyonları (milyon ton / milyar YTL)							
2006	0,635	0,604	0,572	0,506	0,5	0,509	0,594
2008	0,643	0,615	0,585	0,526	0,573	0,516	0,604
2012	0,662	0,638	0,614	0,57	0,59	0,533	0,625
2020	0,689	0,674	0,616	0,647	0,616	0,558	0,658
GSMH'ye Oranla CO₂ Vergisi Gelirleri(%)							
2006		4,131	8,597	18,349	0,47	0,849	0,998
2008		3,815	7,941	16,928	0,471	0,852	0,985
2012		3,203	6,66	14,061	0,474	0,856	0,961
2020		2,057	4,218	8,169	0,478	0,863	0,911

Kota senaryosuna emisyon kotalarının uygulanması için bir CO₂ vergisi eşlik etmektedir. CO₂ vergi gelirlerinin GSMH'nin bir oranı olarak toplam etkisinin % 90 kota hedefi için marjinal olduğunu görüyoruz. % 80'lik bir kota uygulamak için, gerekli vergi yükü neredeyse % 10'dur ve öngörülen dönemin 2006 sonrası için % 5'in üzerinde kalmaktadır. % 60'lık bir kotanın öngörülmesi halinde, vergi yükü GSMH'nin % 20'sidir ve 2020'de yalnızca % 12'ye düşmektedir.

Dolayısıyla, model 2020'de toplam emisyonlarda % 40'ı bulan bir azalmaya karşılık gelen bir geri dönüş için GSMH'nin % 12'si olan bir verginin uygulanması gerektiğini ortaya koymaktadır. Hiç şüphesiz bu ekonomiye yapılan önemli bir müdahaledir ve sonuçlarımız CO₂ emisyonlarının yolunun yalnızca mali tedbirler alınarak sınırlandırılmasının çok yüksek bir vergi etkisi gerektireceğini göstermektedir. Diğer bir deyişle, üretim birimlerinin mali vergi gelirine hassasiyeti son derece düşüktür ve büyüyen bir ekonomide CO₂ emisyonlarının sınırlandırılması son derece maliyetlidir ve uygulanması zordur.

% 10'luk enerji vergilendirmesi toplam CO₂ emisyonlarının 2020 itibarıyla % 14.2 azalması ile sonuçlanmaktadır. Vergi oranının % 20'nin üzerinde tutulması halinde, azalım oranı % 25.3'e varmaktadır.

Dolayısıyla, enerji vergilendirmesi, genel emisyonların vergilendirilmesinin (üretim vergisi) aksine, CO₂ kirlenmesine karşı mücadelede daha yüksek bir verime sahip görünmektedir. CO₂ kirlenmelerinin ana kaynağı enerji kullanımı olduğundan, enerji yoğunluklarının ekonomik hale getirilmesi amacını taşıyan bir vergilendirme politikasının bu açıdan daha verimli sonuçlar ürettiği görülmektedir.

Mevcut politikanın genel vergi yükü bu noktayı daha iyi göstermektedir. Model sonuçları % 10'luk bir enerji vergisinden elde edilen mali vergi gelirlerinin GSMH'nin yalnızca % 0.48'ine ulaştığını ve % 20'lik bir vergi uygulamasının da GSMH'nin % 0.85'i olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla, daha önceki senaryolarda karşılaşılan önemli miktardaki genel karbon vergileri yükünün aksine, enerji vergilendirmesinin yerli ekonomide daha az bozulmaya neden olacağı görülmektedir.

GSMH'de % 20 enerji vergisi nedeniyle meydana gelen kayıp, taban işlem (genel iş) ile karşılaştırıldığında 2020 yılında % 7.4'tür. Dolayısıyla özetlersek, model % 20 enerji vergilendirmesinin CO₂ emisyonlarını % 25.3 azalttığını ve 2020 itibarıyla temel durum üzerinden % 8.8'lik bir toplam GSMH kaybına neden olduğunu göstermektedir. Bunun aksine, % 10'luk enerji vergisi dönüşünden sağlanan CO₂ azaltma oranı % 14.2, 2020 itibarıyla GSMH seviyesinde meydana gelen kayıp ise % 3.9'dur.

Bu sonuçların, istihdam seviyeleri ile ilgili mevcut politikanın olumsuz etkileri ile de karşılaştırılması gerekmektedir. Sonuçlar vergilendirme rejimleri altında önemli işsizlik oranlarına işaret etmektedir. Açık işsizlik oranının enerji kullanımı üzerinde % 10 vergi oranı ile % 15'e ve % 20 vergi oranı ile % 19'a ulaştığı gözlemlenmektedir. Bunun aksine, modellenen dönemin büyük bölümü için baz patika % 10 civarında bir işsizlik oranı ortaya koymaktadır. (Şekil 4).

Bu senaryo altında işsizlikte meydana gelen yükselmenin nedeni girdi vergileri getirerek maliyetin azaltılmasında neden olunan bozulmalardır. İşgücü enerji kullanımını tamamlayıcı olduğundan, enerji kullanımı maliyetlerinde meydana gelen artış işgücüne olan talepte bir azalmaya neden olmaktadır. Orta vadede faktör kullanımında sınırlı alternatif olanakları olması nedeniyle, üreticiler artan enerji maliyetlerini yalnızca enerji kullanımına olan talepten değil, aynı zamanda işgücü istihdamına olan talepten de kesinti yaparak karşılayacaktır.

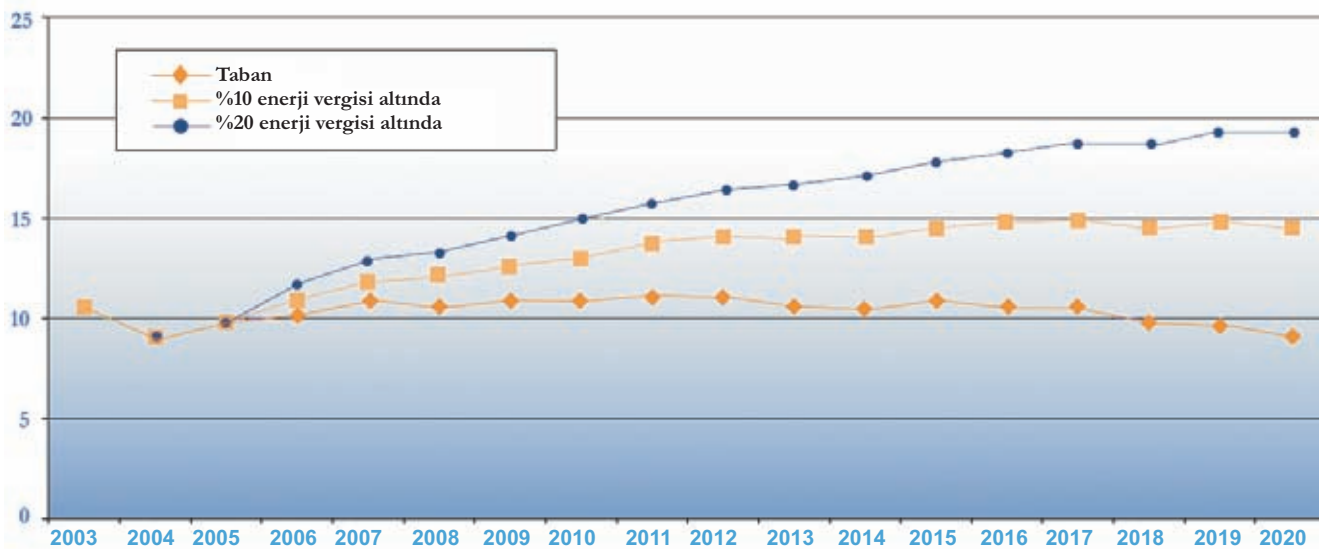
Bu sonuçlar çevre vergilendirmesinde uygun bir karışımın istihdam vergilerinde yapılacak indirimler ve/veya istihdam için teşviklerin artırılması ile birlikte uygulanması gerektiğini göstermektedir. Bu tür bir politika karışımının hem CO₂ azaltma hedeflerine ulaşmak hem de sektörler arasında istihdam oranlarını korumak açısından üstün bir politika olduğu görülmektedir. Buna ek olarak, enerji yoğunluklarının azaltılması ve mevcut kirlenme teknolojilerinin geliştirilmesi için direkt azaltım yatırımları ile birlikte piyasa tabanlı teşviklerin desteklenmesi için de açık bir ihtiyaç gözlenmektedir.

IV-2. Azaltım Yatırımları ile Birlikte Çevre Politikası Araçları

Sera gazı emisyonlarının azaltılması için politikaların geliştirilmesinde önemli bir konu, emisyonlarda azaltma yaratabilmek ve enerji tasarrufu teknolojilerine yatırım yapmak için "uygun" bir politika grubunun belirlenmesidir. Bu politikaların emisyonların azaltılmasında hem maliyetlerinin hem de etkinliğinin belirlenmesi son derece önemli ve çözümü zor bir konudur⁹.

Türkiye ekonomisi için, özellikle enerji tasarrufu, emisyonların azaltılması ve maliyet etkin teknolojik değişiklik konularında üreticiler için çekici olabilecek yatırımlar yapılmasına ilişkin "akla yatkın" politikaların maliyetlerinin tahmini ile ilgili konuları hedef alacak bir çalışma yapılmalıdır. Bu tür yatırımların kesin teknolojik maliyet-fayda tahminleri olmadan, bu bölümde yapmaya çalıştığımız şey ekonomi içerisindeki farklı gruplar arasında yükün paylaşılması alternatiflerinin referans bir azaltım-yatırım senaryosu uyarınca karşılaştırılmasıdır.

⁹ Projeksiyon, Atina Ulusal Teknik Üniversitesi, Ecofys ve AEA Teknolojisi tarafından geliştirilmiş ve GENESIS veritabanı ile analiz edilmiştir. Farklı sektörler için en az maliyet hedefinin AB çapında tahsis edilmesini temel almaktadır. Örneğin, AB ülkeleri için gerçekleştirilen "İklim Değişikliği için Sektörel Emisyon Azaltma Hedeflerinin Ekonomik Değerlendirmesi" hakkında yakın zamanda yapılan bir çalışma, AB ülkeleri için tCO₂ başına 1999 € olarak 20-25 kadar düşük bir marjinal maliyet göstermektedir. Bu kadar marjinal bir maliyetin protokolün ilk bütçe döneminde yıllık olarak €99 3.7 milyar oluşturması beklenmektedir ve bu da 2010 yılında AB'nin gayri safi milli hasılasının yaklaşık olarak % 0.06'sıdır.



Şekil 4. Alternatif Enerji Vergisi Senaryoları Altında İşsizlik

Özellikle referans azaltım-yatırım senaryosunda, Devlet Planlama Teşkilatı tahminlerini takip ediyor ve 2006-2020 döneminde GSMH'nin % 1.5'ine karşılık gelen enerji tasarrufu (CO₂ emisyonunun azaltılması) azaltım-yatırımlarını uyguluyoruz. DPT'nin tahmini bu tür yatırımların enerji girdisi ile ilgili emisyon katsayılarının % 5 azaltılmasına yardımcı olacağı yolundadır. Azaltma yatırım senaryolarının modellenmesinde bu varsayma bağlı kalacağız.

Bu analizde sorduğumuz soru şudur: “Birincil enerji girdilerinin emisyon katsayılarında % 5'lik bir azalma elde etmek için hem kamu hem de özel sektör tarafından toplam azaltım yatırımlarının (2006-2020 döneminde yıllık olarak GSMH'nin % 1.5'i civarında bir maliyete sahip olacağı tahmin edilen) taahhüt edilmesi halinde ne olur?” Maliyet tamamen ekonomi sektörlerinin yatırımları ile taahhüt edildiğinden, azaltma yatırımlarının fonların bir bölümünü fiziksel sermaye birikiminden emmesi gerekeceği açıktır. Dolayısıyla, temel işlem ile karşılaştırıldığında, toplam sermaye stokunun söz konusu azaltma yatırımları kapsamında azalması beklenmektedir.

Tablo.2 Azaltım Yatırımlarının Etkisi

	Baz patika	Sermaye Birikimini Etkileyen Azaltım Yatırımı Altında	Enerji Vergileriyle Finanse Edilen Azaltım Yatırımı Altında	Dış Yardımla Finanse Edilen Azaltım Yatırımı Altında
Gerçek GSMH (2003 Fiyatları, Milyar YTL)				
2006	436,051	429,929	418,168	436,051
2008	490,023	478,235	461,035	490,023
2012	606,458	579,218	544,509	606,458
2020	952,704	868,749	755,019	952,704
Toplam CO2 Emisyonları (mton)				
2006	276,953	272,201	238,617	272,201
2008	315,187	304,734	266,294	312,063
2012	401,368	375,168	322,941	392,084
2020	656,399	571,459	460,917	624,091
GSMH'ye Oranla Toplam CO2 Emisyonları (milyon ton / milyar YTL)				
2006	0,635	0,633	0,571	0,633
2008	0,643	0,637	0,578	0,637
2012	0,662	0,648	0,593	0,647
2020	0,689	0,658	0,61	0,655

Burada, GSMH büyümesinin yavaşlamasına neden olan fiziksel sermaye yatırımlarının yavaşlamasıdır¹⁰. Senaryodaki reel GSMH'nin, baz senaryo değerinden ortalama % 5 daha düşük olduğu bulunmuştur. Dolayısıyla, GSMH büyüme hızı da daha düşüktür. Bu daha düşük büyüme performansı sermaye birikiminin hızındaki yavaşlamanın bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır, çünkü yatırımın bir bölümü artık enerji tasarrufu, emisyon azaltım amaçlı teknolojik değişikliğe tahsis edilmiştir.

Yatırımlar enerji girdilerinin daha etkin bir şekilde kullanımını sağladığından ve birincil enerji kullanımına ilişkin emisyon katsayıları etkin bir şekilde azaltıldığından, toplam CO₂ emisyonları da azalır. Böyle bir uygulama 2003-2020 döneminde 549.3 milyon ton CO₂ tutarında bir toplam “kazanç” sağlar. Bu değer, temel işlemin toplam emisyon seviyesinin neredeyse % 7.2'sine eşittir. Yıllık azaltım değerleri dönem içerisinde % 7.2'lik bir ortalama artış eder, ancak azaltım teknolojisi oturdukça, emisyonlardan gelen kazançlar 2020 yılında baz değerinin % 15'i kadar bir seviyeye ulaşarak daha görünür hale gelir. (bkz. Tablo.2).

Fonların azaltım yatırımlarına tahsis edilmesindeki (potansiyel) ödün etkilerini gözlemledikten sonra ve sermaye yatırımlarından ayrı olarak (GSMH'de azalmaya neden olan), bir sonraki adımda azaltım yatırımlarının finansmanına ilişkin alternatifleri arıyoruz.

Alternatiflerden biri devletin gerekli yatırım harcamalarını gerçekleştirmesidir (2006-2020 arasındaki dönemde yıllık olarak GSMH'nin % 1.5'ine karşılık gelir), bunun için, yatırım projelerinin finanse edilmesi amacıyla üretim sektörlerinde kirletici enerji girdilerinin (birincil ve ikincil) kullanımına ek vergiler getirilir.

Bu çalışmada araştırdığımız diğer alternatif Kyoto protokolünün “esnek” mekanizmalarından esinlenmektedir: Ek I tarafların kendi Kyoto hedeflerinin karşılanması için kullanılabilir olan ortak uygulama (Joint Implementation-JI) mekanizması¹¹. JI mekanizmasının gelişmiş ülkelerin (Ek II) emisyonların azaltılması amaçlı projelerde aktif bir şekilde rol alması için teşvik sağlayacağını varsayıyoruz. Bu nedenle, bu senaryoda azaltma yatırımlarının bir tür dış yardımla finanse edileceğini varsayıyoruz.

Enerji kullanım vergisi politikası, üretim sektörlerinde rafine petrol (RP), petrol ve gaz (PG) ve kömür (CO) kullanımı üzerinde % 23 oranında bir vergiyle sonuçlanmaktadır. Bu tür politikaların hem CO₂ emisyonları (toplam ve sektörel dağılım) hem de ekonominin genel ekonomik performansı üzerindeki etkilerini hem baz senaryo hem de buradaki ilk senaryo ile karşılaştırmalı olarak sermaye birikimini etkileyen azaltım yatırımları altında sunmaktayız.

Azaltım yatırımlarının sermaye birikimine yatırım yapan üreticiler (özel sektör ve kamu sektörü) tarafından finanse edilmesi ve bunun yanı sıra enerji girdilerinin vergilendirilmesine dayanılması ekonomik faaliyet hızını hem baz patikaya hem de dış yardım senaryosuna göre yavaşlatmaktadır. Diğer taraftan, azaltım yatırımlarının üretim birimlerinden finanse edilmesine ilişkin her iki senaryodan da daha düşük CO₂ emisyonu seviyeleri elde edilmektedir. Bunun nedeni genel ekonomi içerisinde üretim faaliyetlerinin yavaşlamasıdır. Dış yardım senaryosu diğer iki duruma göre çok daha istenir büyüme hızları üretmektedir, bununla birlikte ekonomik faaliyet daha yüksek olduğundan, CO₂ emisyonları da artmaktadır. Azaltım yatırımları (emisyon azaltmada etkin olduğunu düşündüklerimiz) halen baz senaryo ile karşılaştırıldığında toplam CO₂ emisyonlarında % 3'lük bir azalma sağlamaktadır.

Dış yardım senaryosu üretim sektörlerinin çıktı/yatırım/girdi talebi kararları üzerinde herhangi bir direkt etkiye sahip değildir, ancak azaltım yatırımlarının finanse edilmesi için fonlar sağlayarak, ekonominin sektörel ve toplam CO₂ emisyonlarında orantılı bir azalma üretmektedir.

V. Sonuç

Bu çalışmada Türkiye için, amaçlanan Kyoto Protokolü'ne uyum politika senaryolarının ekonomik etkileri üzerinde çalışmak amacıyla hesaplanabilir bir genel denge modeli kullandık. Türkiye, Rio Zirvesinin Ek I listesinde yer alan, ancak henüz CO₂ emisyon azaltımı için herhangi bir resmi hedef belirlemediği tek ülkedir. Dolayısıyla, AB'ye kabul görüşmelerinin bir parçası olarak, özel emisyon hedefleri ve ilgili azaltma politikaları ile birlikte iklim değişikliği hakkındaki ulusal planını sunmak konusunda önemli baskılarla karşılaşması muhtemeldir. Bu motivasyon dikkate alındığında, 2006-2020 arasındaki dönem için Türkiye'de çeşitli olası çevresel azaltma politikalarının genel denge etkileri hakkında bir rapor sunuyoruz.

¹⁰ Toplam faktör üretkenliği büyümesinde % 2'lik bir değişiklik için pozitif bir büyüme hızını koruduğumuz için, teknolojinin gelişme hızında daha fazla ilerleme sağlanması amaçlı azaltma yatırımlarının herhangi bir ek etkisi (ad hoc) olmayacağını varsaydık.

¹¹ JI mekanizmasının temel prensipleri protokolün 6. Maddesinde tanımlanmıştır: “Taahhütlerini karşılamak amacıyla... Ek I'de yer alan herhangi bir taraf, antropojenik emisyonların azaltılmasını amaçlayan projelerden elde edilen kaynaklarda emisyon azaltma birimlerini veya ekonominin herhangi bir sektöründeki GHGler tarafından antropojenik giderme amacıyla sağlanan birimleri, yine Ek I'de yer alan diğer bir taraftan sağlayabilir veya böyle bir tarafa aktarabilir, ancak bunun için belirli koşulların yerine getirilmesi gerekir.

Analizimizden çok sayıda politika sonucu çıkmaktadır:

Modelleme sonuçlarımız, direkt karbon emisyonu kotalarının getirilmesinin yükünün oldukça büyük olacağını göstermektedir. Bu yük üreticilere CO₂ kotalarının uygulanması için önemli miktarda vergi uygulanmasını gerektirecektir. Sonuçlarımıza göre, CO₂ kotasının % 60 seviyesinde uygulanması 2006-2020 arasındaki dönemde temel işlemden % 20 ile % 15 arasında bir karbon vergisi gerektirmektedir. Bu senaryoya göre gerçekleşen GSMH kaybı 2020 itibarıyla % 30'un üzerindedir.

Bu tür bir vergi yükünün vergi kaçırma uygulamalarına yol açması ve kayıt dışı ekonomiyi teşvik etmesi olasıdır. Dolayısıyla, üretim faaliyetlerinin artan şekilde kayıt dışı hale gelmesine yol açacaktır. Halihazırda yüksek olan üretici vergisi etkileri, ek karbon vergilendirmesi olanaklarının etkinliğini önemli miktarda azaltmaktadır.

Direkt bir "CO₂ kota-ve-karbon vergisi" politikasıyla karşılaştırıldığında, sektörel üretimde enerji kullanımının vergilendirilmesinin daha katlanılabilir sonuçlar ürettiği görülmektedir. Üreticiler için % 20'lik bir enerji vergisi sonucunda, toplam CO₂ emisyonları 2020 itibarıyla % 25.8 azalmakta ve bunun karşılığında GSMH'de % 8.8'lik bir kayıp ortaya çıkmaktadır. Bununla birlikte, enerji vergilendirme politikası son derece olumsuz istihdam etkileri nedeniyle problemli. İşsizlik oranları getirilen enerji vergilerinin bir sonucu olarak önemli ölçüde yükselmektedir. İşgücü ve enerji girdileri arasında girdi ikamesi konusunda sınırlı olanaklarla, üreticiler artan enerji maliyetleri ile karşı karşıya kaldıklarından, işgücü istihdamından kesinti yapmak zorunda kalacaklardır.

Vergilendirme politikaları, yeni çevre vergilerine yapılacak olası müdahalelerin istihdam ya da sektörel çıktı düzeyleri üzerinde direkt bir olumsuz sonuç yaratacağını son derece açık bir biçimde ortaya koymaktadır. Bir en iyi politika üreticiler üzerindeki mevcut vergi yükünün bir başka yerden azaltılmasını ve eş zamanlı olarak çevre vergilerinin getirilmesini gerektirmektedir. İstihdam vergilerinin azaltılması enerji kullanımını vergisinin getirilmesi ile birlikte öngörülebilir. Bu tür bir politika istihdam teşvikleri ile birlikte CO₂ azaltma hedeflerine ulaşılmasında yardımcı olabilir. Çeşitli çalışmalar, istihdam, üretim veya satış üzerinde halihazırda mevcut olan (ve çoğunlukla yıkıcı) vergilerin azaltılmasını finanse etmek için bu tür vergi gelirlerinin kullanılmasının daha az maliyetle çevresel hedeflere ulaşılması konusunda daha üstün sonuçlar verebileceğini, hatta pozitif net bir kazanç sağlayabileceğini göstermektedir (örneğin bkz., Goulder et al, 1999; Perry et al, 1999; ve Parry and Oates, 2000).

Bununla birlikte, genel olarak, bir optimal çevre politikasının üretimdeki enerji yoğunluğunu daha etkin üretim yöntemleri ile azaltmaya yönelik daha fazla teşvik sağlaması gerekmektedir. Kendi başına bu kolay bir görev değildir ve kesinlikle büyük bir yatırım maliyeti gerektirmektedir. HGD modellemesi azaltım yatırımı yükünün yalnızca üretim sektörlerine bırakılmasının genel ekonomik performans açısından oldukça olumsuz etkiler yarattığını göstermektedir. Sonuçlarımıza göre, yıllık olarak GSMH'nin % 1.5'ine karşılık gelen azaltım yatırımları enerji (birincil ve ikincil) girdisi kullanımı için % 23'lük bir vergi oranı gerektirmektedir.

Üretim sektörlerine daha fazla dolaylı vergi uygulanması muhtemelen üretim ve istihdam konularında istenmeyen bir dinamiği tetikleyecektir. Üretimdeki azalmaya paralel olarak, ekonomideki halihazırda yüksek olan işsizlik oranları üzerinde olumsuz etkiler gözlenecektir.

Azaltım yatırımları için dış yardımla üretilmesi olası olan avantajlı çevre, CO₂ emisyonlarındaki azalma ile birlikte yüksek ekonomik büyüme elde edilmesini sağlayabilir.

GSMH'nin bir yüzdesi olarak yıllık % 1.5 oranında olan ve "mevcut en iyi teknolojilerin" benimsenmesi için azaltım yatırımlarının maliyetlerini kapsayacak şekilde tasarlanan bir yıllık dış yardım/kredi akışı Türkiye'deki CO₂ emisyonlarının 2020 itibarıyla % 4.9 azalmasını sağlamaktadır ve bu, analiz edilen sürenin tümü içerisinde 199.1 milyon ton kümülatif değere karşılık gelmektedir. Bir uyarı yoluyla, bu tür bir uluslararası yardım/kredi sisteminin gelişmekte olan ülkelere azaltım yatırımlarına yönelik çabalarında yardımcı olmak amacıyla tasarlanmasının hiçbir şekilde kolay bir iş olmadığı ve gerekli olmakla birlikte, uluslararası koordinasyon ve işbirliğinin elde edilmesinin zor olabileceği açıklanmalıdır. Protokol, kendi başına uluslararası bir girişim olarak, son derece bürokratik ve hantal olan mekanizmaların tanımlanması açısından eleştirilmiştir. Örneğin Aldy et al (2003), küresel ölçekte mevcut kurumsal çerçevedeki belirsizliklere işaret etmekte ve uluslararası karbon vergilendirmesi ve uluslararası teknoloji standartları ile ilgili bir düzineden fazla alternatif yaklaşım tanımlamaktadır.

İkinci bir uyarı modelleme paradigmanızın sınırları ile ilgilidir. HGD modeli, temel patikanın simülasyon egzersizleri ile karakterize edilen şekilde, "iyi tanımlanmış" ve "düzgün" bir genel denge sistemini, herhangi bir katılık ve/veya yapısal darboğaz yokluğunda tüketici ve üretici optimizasyonu temelinde yansıttığı bir teknik laboratuvar cihazıdır. Dolayısıyla, model ekonomisinin çeşitli politika şoklarına tepki olarak gerçekleştirilen ayarlamaları gerçek ekonominin küresel stabilite özelliklerinin bir ölçütü olarak değil, daha çok bir makroekonomik simülasyonlar grubunun laboratuvar özelliklerinin direkt bir sonucu olarak görülmelidir. Bu nedenlerle, sonuçlarımızın, üretim, istihdam, mevcut hesap, sermaye birikimi ve tüketici refahı hakkındaki çevre ve yatırım politikalarının uzun vadeli denge etkilerinin kaba yaklaşımları olarak kabul edilmesi gerekir.

Son olarak, modelin azalan CO₂ emisyonlarından elde edilen refah faydalarını ve olası üretkenlik kazançlarını tanımlamadığına dikkat edilmelidir. Örneğin, kirleticilerdeki azalmaların sağlık koşullarının gelişmesine ve bu sayede işgücü üretkenliğinde artışlar sağlanmasına yol açması muhtemeldir. Benzer şekilde, emisyonlardaki azalmaların örneğin tarım ve gıdanın kullanılabilirliğinde, gelişen iklim koşullarına bağlı olarak daha büyük üretkenlik kazançları sağlaması muhtemeldir. CO₂ emisyonlarının mikro bir seviyede azaltılmasına ilişkin detaylı bir maliyet-fayda analizinin eksikliğinde, azaltım yatırımlarının bu tür istenen harici etkileri hakkında ad hoc (konuya özel) varsayımlar yapmaktan kaçınmamız gerekmektedir.

Referanslar

- [1] Aldy, Joseph E., Scott Barrett and Robert N. Stavins (2003) "Thirteen Plus One: A Comparison of Alternative Climate Policy Architectures", *Climate Policy*, 3(4): 373-397.
- [2] Blok Kornelis, David de la Jager and Chris Hendriks (2001) "Economic Evaluation of Sectoral Emission Reduction Objectives for Climate Change: Comparison of Top-Down and Bottom-Up Analysis of Emission Reduction Opportunities for CO₂ in European Union", memorandum.
- [3] Boratav, Korkut., Oktar Türel, and Erinc Yeldan (1996) "Dilemmas of Structural Adjustment and Environmental Policies under Instability: Post-1980 Turkey", *World Development*, 24(2): 373-393.
- [4] Bovenberg, Lans and Lawrence Goulder (2001) "Neutralizing the Adverse Industry Impacts of CO₂ Abatement Policies: What Does It Cost?" in C. Carraro and G. Metcalf (eds.) *Behavioral and Distributional Effects of Environmental Policies*, University of Chicago Press.

[5] Devarajan, S., J. Lewis and S. Robinson (1995) *Getting the Model Right: The General Equilibrium Approach to Adjustment Policy*, Cambridge University Press, Chps. 2 and 3.

[6] Ediger, Volkan Ş. and Özkan Huvaz (2006) "Examining the Sectoral Energy Use in Turkish Economy (1980-2001) with the Help of Decomposition Analysis" *Energy Conservation and Management*, 47: 732-745.

[7] Goulder, Lawrence and Wiliam Pizer (2006) "The Economics of Climate Change" NBER Working paper No 11923. <http://www.nber.org/papers/w11923>

[8] Goulder, Lawrence, Ian Parry, Robertson Williams and Dallas Burtraw (1999) "The Cost Effectiveness of Alternative Instruments for Environmental Protection in a Second-Best Setting" *Journal of Public Economics* 72(3): 329-360.

[9] Kumbaroğlu, Selçuk G. (2003) "Environmental Taxation and Economic Effects: A Computable General Equilibrium Analysis for Turkey", *Journal of Policy Modeling*, 25: 795-810.

[10] Lise, Wietze (2006) "Decomposition of CO₂ Emissions over 1980-2003 in Turkey", *Energy Policy*, 34: 1841-1852.

[11] Mansur, Ahsan and John Whalley (1984) "Numerical Specification of Applied General Equilibrium Models: Estimation, Calibration and Data" in *Applied General Equilibrium Analysis*, H.E. Scarf and J.B. Shoven (eds.), Cambridge University Press, Cambridge.

[12] OECD (2004) *Economic Survey: Turkey*, <http://www.oecd.org/dataoecd/42/47/33821199.pdf>

[13] Karakaya, Ethem and Mustafa Özçağ (2001) "Sürdürülebilir Kalkınma ve İklim Değişikliği: Uygulanabilecek İktisadi Araçların Analizi", *Ist Conference and Fiscal Policy in Transition Economies*, Manas University.

[14] Parry, Ian, R Robertson Williams and Lawrence Goulder (1999) "When Can Carbon Abatement Policies Increase Welfare? The Fundamental Role of Distorted Factor Markets" *Journal of Environmental Economics and Management* 37(1): 52-84.

[15] Parry, Ian and Wallace Oates (2000) "Policy Analysis in the Presence of Distorting taxes" *Journal of Policy Analysis and Management* 19: 603-614.

[16] Roe, Terry L. and Erinc Yeldan (1996) "How Doctor's Prescriptions May Fail: Environmental Policy Analysis under Alternative Market Structures", *METU Studies in Development*, 23(4): 577-600.

[17] Sahin, Sebnem (2004) "An Economic Policy Discussion of the GHG Emission Problem in Turkey from a Sustainable Development Perspective within a Regional General Equilibrium Model: TURCO", *Université Paris I Panthéon – Sorbonne*.

[18] UNCTAD (2003) *Trade and Development Report*, New York and Geneva.

[19] UNCTAD (2001) *Trade and Development Report*, New York and Geneva.

[20] UNDP and World Bank (2003) *Energy and Environment Review: Synthesis Report Turkey*, Washington, ESM273, 273/03, Energy Sector Management Assistant Programme.

[21] Weitzman, Martin, L. (1974) "Prices vs. Quantities", *Review of Economic Studies*, 41 (4), 477-491.

TÜRKİYE ÇİMENTO SEKTÖRÜNDE ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN ARTIRILMASI VE SERA GAZI EMİSYONLARININ AZALTIILMASI İLE İLGİLİ FAYDA-MALİYET ANALİZLERİ

Prof. Dr. Yücel ERCAN
Prof. Dr. Ali Durmaz
Murat ÇÜRÜKSULU
Şehnaz DALOĞLU

Ankara, Mayıs 2006

TEŞEKKÜR

Proje ekibi olarak Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğüne, Çimento Sektörü Benchmarking çalışması sonuçlarını sağlayan, anket formlarının doldurulması ve sektörel verilerin temininde yardımcı olan Sayın Erdal Çalikoğlu ve Sayın Bora Omurtay'a teşekkür ederiz.

Bu raporun hazırlanması sırasında değerli görüşleriyle katkıda bulunan, üç kuruluşları tarafından anket formlarının doldurulmasını sağlayan ve teknik konularda görüş veren Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği'ne ve özellikle Sayın Zeki Necipoğlu ve Sabit Uslu'teşekkür ederiz. İlgili kamu kuruluşlarının, çimento üreticilerinin ve Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği İklim Değişikliği Daimi Komitesinin katkıları ve yapıcı eleştirilerinin minnetle anıyoruz.

Ayrıca sağladıkları destek için Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği'ne ve TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesine de teşekkür ederiz.

Çalışma sırasında bize yol gösteren ve koordinasyonu sağlayan UNDP İklim Değişikliği Projesi Yönetiminden Sayın Günay Apak ve Bahar Ubay'a da teşekkür borçluyuz.

1. GİRİŞ

Türkiye, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesine 24 Mayıs 2004 tarihinde taraf oldu ve 2005 yılında da Avrupa Birliği ile katılım müzakerelerine başladı. Sürdürülebilir kalkınmayı gerçekleştirmek ve uluslararası sözleşmeler ve AB direktiflerinin gerektirdiği sorumlulukları yerine getirmek için Türkiye, bütün ekonomik sektörlerde ve özellikle de enerji yoğun sanayi dallarında enerji verimliliğini artırmak ve çevresel etkileri azaltıcı önlemler almak zorundadır. Birleşmiş Milletlere verilecek Birinci Ulusal Bildirim Raporunda çevresel etkileri büyük ve enerji yoğun iki sektör olan çimento ve demir çelik sanayileri ile ilgili ayrıntılı önlemlere yer verilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, Türk Çimento Sektörü'nün ayrıntılı bir analizi yapılmakta, enerji tasarrufu ve karbon dioksit emisyonunu azaltma potansiyelleri belirlenmekte, bu potansiyellerin kazanımı için alınabilecek önlemlerin fayda-maliyet analizine dayalı bir uygulama planı geliştirilmektedir.

Türkiye'de 2004 yılı itibarı ile 41 entegre çimento üretim fabrikası ve 17 çimento öğütme tesisi bulunmaktadır. 2004 yılı itibarı ile Türkiye'nin klinker üretim kapasitesi 39,0 milyon ton-klınker/yıl, fiili üretim ise 32,8 milyon ton-klınker/yıl'dır. Aynı yıl için çimento öğütme kapasitesi 66,0 milyon ton-çimento/yıl, fiili üretim ise 38,8 milyon ton-çimento/yıl olmuştur.

Bu çalışmanın esas amacı, Türk Çimento Sektörü'nde 2004-2020 yılları arasında rehabilitasyon ve enerji tasarrufuna yönelik olarak alınması gereken önlem önerilerinin ve bunların gerektirdiği yatırımların belirlenerek, bir yandan rekabet avantajının nasıl sürdürülebileceğinin, diğer yandan da CO₂ emisyonu sınımlarının uluslararası sözleşmelerde öngörülen koşullarda ve boyutlarda nasıl gerçekleştirilebileceğinin belirlenmesidir.

2. TÜRKİYE ÇİMENTO SEKTÖRÜ İÇİN KÜMELENMİŞ ENERJİ KULLANIM VE CO₂ EMİSYON MODELİ GELİŞTİRİLMESİ

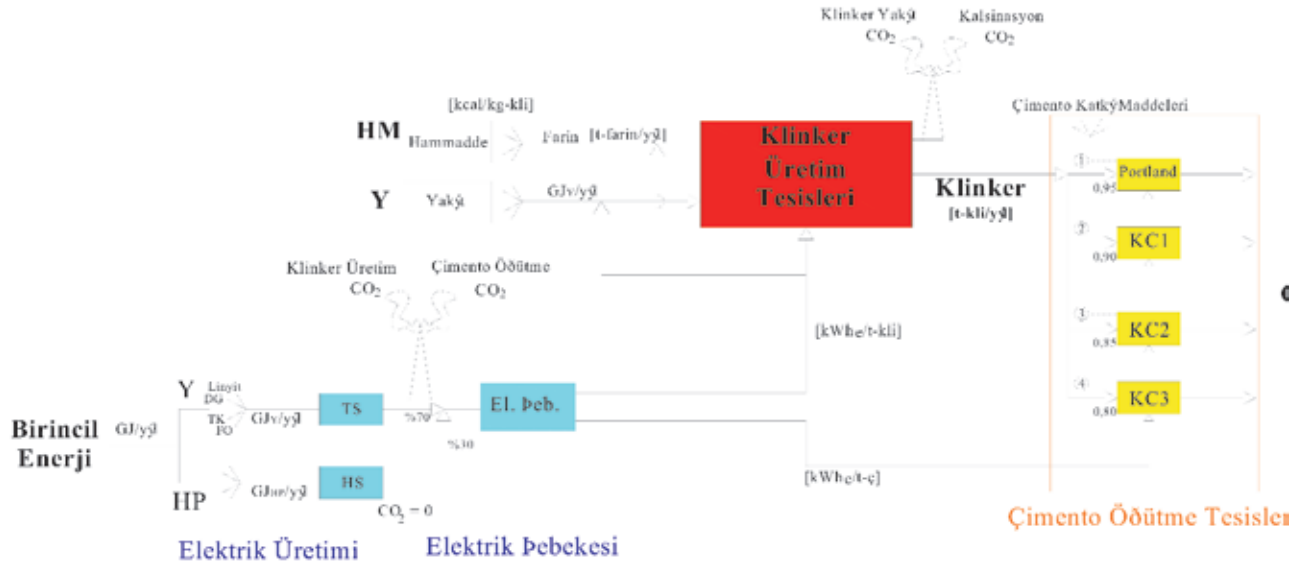
Bu çalışmada, Türkiye çimento sektörünün enerji kullanımı ve CO₂ salınımını tanımlayan ve analizine imkan veren, kümelenebilir (yakıt ve elektrik cinsinden) enerji tüketimi ve klinker üretiminin kimyasal süreçler neticesinde salınan CO₂ emisyon modeli geliştirilmiştir (Şekil 2.1). Geliştirilen model enerji verimliliği ve CO₂ salınım senaryolarını Kümesel model geliştirme yaklaşımında, Türkiye'deki mevcut entegre çimento fabrikalarında bulunan toplam 41 adet klinker üretim tesisinin enerji kullanımı ve emisyon davranışı özellikleri, bu özellikleri yansıtabilen, eşdeğer davranışta kümelenebilir tek bir klinker üretim tesisi yardımıyla modelde temsil edilmiştir. Entegre çimento fabrikaları ve çimento öğütme tesislerinde bulunan toplam 58 adet çimento öğütme tesisinin enerji ve emisyon davranışları, klinker üretme tesislerinde olduğu gibi, yine eşdeğer davranışta kümelenebilir tek bir çimento öğütme tesisi olarak modelde temsil edilmiştir. Benzer biçimde Türkiye'de mevcut tüm termik santrallerin yerine modelde eşdeğer davranışta kümelenebilir bir termik santral, tüm hidrolik santrallerin yerine ise kümelenebilir eşdeğer davranışta bir hidrolik santral geliştirilen modelde kullanılmıştır. Karmaşık özellikteki elektrik iletim ve dağıtım şebekesinin enerji davranışı, öngörülen bir verimdeki eşdeğer elektrik şebekesi ile tanımlanmıştır. Bu modelin birincil enerji girdileri; kümelenebilir klinker üretim tesisi için yakıt karışımı, kümelenebilir elektrik üretim santrali için birincil enerji (yakıtlar, hidrolik potansiyeller) karışımından oluşmaktadır. Modeldeki klinker üretim tesisinin hammadde girdisi kümelenebilir hammadde karışımından, çimento öğütme tesisinin hammadde girdisi ise kümelenebilir katkı maddesinden oluşmaktadır.

Çimento sektöründe oluşan CO₂ emisyonları da modelde kümelenebilir bir biçimde ele alınmaktadır. CO₂ emisyonları klinker hammaddesi (farin) kalsinasyonundan, klinker ve elektrik üretiminde kullanılan yakıtlardan da kaynaklanır.

Çimento endüstrisinin geçmiş ve gelecek durumunu, geleceğe yönelik eğilimlerini belirlemek için bir anket çalışması yapılmıştır. Sistem karakteristikleri, imalat kapasiteleri, ham madde ve ürün özellikleri, ve enerji verimliliğini artırıcı önlemler elde edilmiştir. Anketlere sektördeki entegre çimento fabrikalarının %60'ını temsil eden 24 firma katılmıştır. Bu bilgiler modelde girdi olarak kullanılmıştır. İlave girdi bilgilerinin eldesinde Gazi Üniversitesi Enerji Çevre Sistemleri ve Endüstriyel Rehabilitasyon (GEÇER) Araştırma Merkezi arşiv verilerinden, Türkiye'deki bazı çimento fabrikalarında yapılan örnek enerji verimliliği çalışmalarının verilerinden, yurtdışı Çimento sektörü ile ilgili enerji verimliliği ve CO₂ emisyonu sınımlarına ilişkin literatürden, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği (TÇMB)'de düzenlenen çimento fabrikaları üst düzey yöneticileri ile yapılan toplantıda elde edilen verilerden, ziyaret edilen bazı çimento fabrikalarında yapılan incelemeler sonucu elde edilen verilerden yararlanılmıştır.

Halen ülkemizde yaş sistemle çalışan düşük kapasiteli sadece iki fırın üretimine devam etmektedir. Bu nedenle, bu çalışmada özellikle kuru yöntem klinker üretim süreci incelenmiştir. 1963'ten sonra işletmeye alınan tüm klinker pişirme fırınları kuru sistem olarak kurulmuştur. OPEC'in kurulmasının ardından meydana gelen yoğun petrol krizi ile birlikte fuel-oille çalışan tüm çimento fabrikalarında kömüre dönüşüm başlatılmış ve kısa süre içinde tamamlanmıştır. Bu nedenle, bu çalışmada özellikle kömüre dayalı kuru yöntem klinker üretim süreci incelenmiştir.

Modelle her enerji tasarruf önlemi için tasarruf edilen enerjinin maliyeti (TEM) hesaplanmıştır. Yıllara göre hesaplanan TEM'ler (\$/GJ), her yıla ait olan ve dışardan satın alınarak kullanılan birincil enerji maliyetleri (KEM, \$/GJ) ile karşılaştırılmıştır.



Bekil 4.1. Türkiye Çimento Sektörü'nün Kümelenmiş Enerji Kullanım ve CO₂ Emisyon Modeli

Tasarruf edilen (TEM) ve kullanılan enerji maliyeti (KEM) ile ilgili TEM<KEM kriterinin geçerli olduğu tasarruf önlemlerinin uygulamaya konulmasını gösteren, enerji verimliliği çalışmalarının sürekli ve dinamik biçimde yapılmasını olanaklı kılan "Türkiye Çimento Sektörü Enerji Tasarrufu Sağlama Eğrisi" oluşturulmuştur. Bu eğriler yardımıyla her bir enerji tasarrufu önleminin sağladığı enerji tasarrufu, uygulama yılı, uygulama ve lojistik olanakları, gerekli yatırım vb. hususlar çok önceden sistematik ve sağlıklı bir biçimde belirlenebilir.

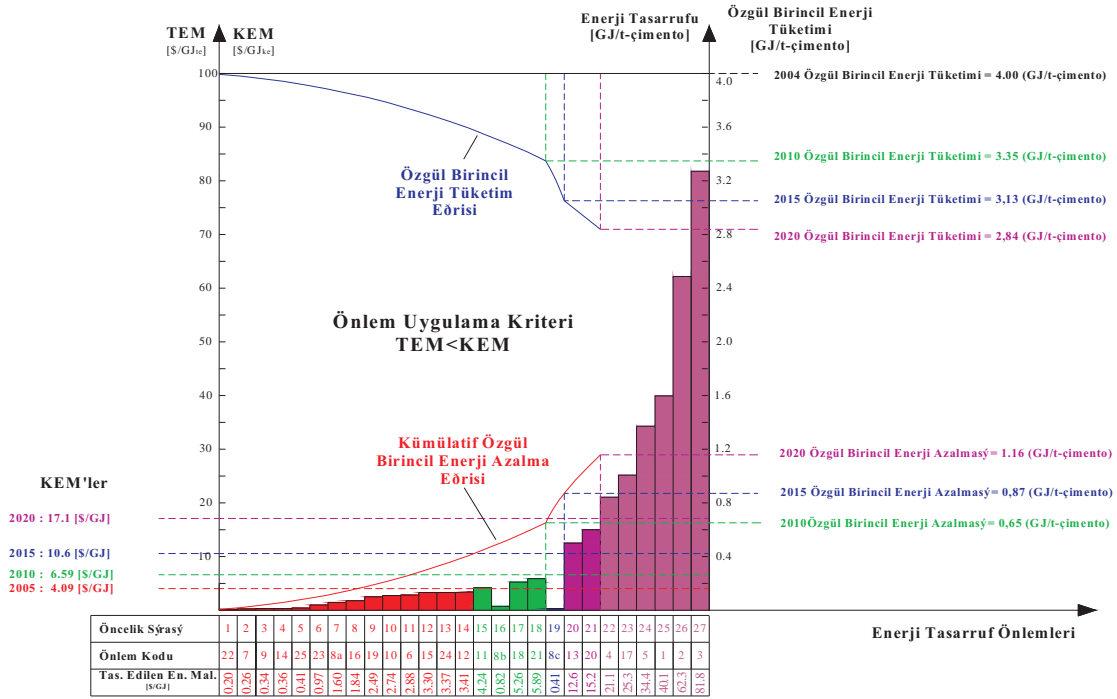
Yukarıda geliştirilen kümesel model, uygun girdilerin kullanılması durumunda, çimento fabrikalarının bireysel olarak enerji verimliliğinin artırılması ve CO₂ emisyonu azaltılması çalışmalarında da kullanılabilir.

3. ÇİMENTO SEKTÖRÜNDE ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN ARTIRILMASI

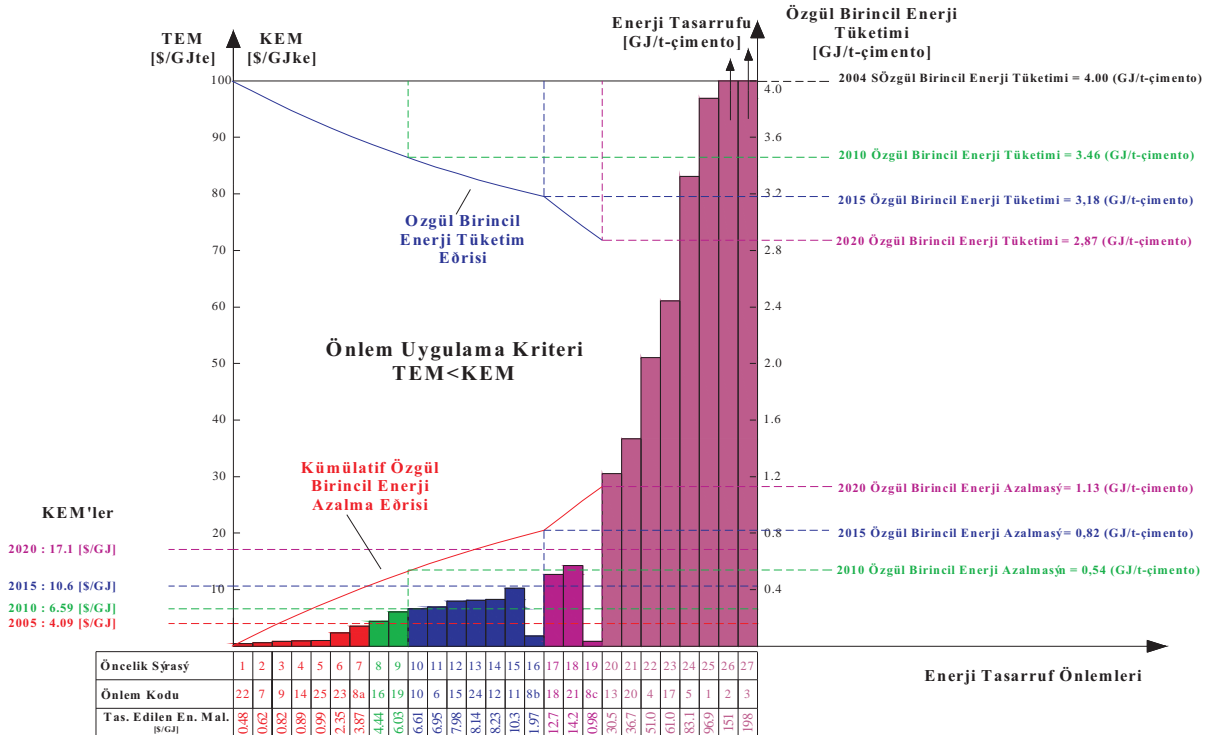
Türk çimento sektöründe alınması mümkün olan enerji tasarruf önlemleri gruplandırılarak, özgül ısı ve elektrik tasarrufları, özgül yatırımlar ve Türkiye'nin toplam kapasitesine uygulanabilme oranlarıyla birlikte Tablo 3.1'de verilmiştir. Kümelenmiş model kullanılarak her bir önlem analiz yapılmış, tasarruf edilen birincil enerji birim maliyetleri (TEM) bulunmuş, artan TEM değerlerine göre önlemler sıralanarak "Türkiye Çimento Sektörü Enerji Tasarrufu Sağlama Eğrisi" %12 ve %30 faiz oranları için elde edilmiştir (Şekil 3.1, Şekil 3.2 ve Tablo 3.2).

Tablo 3.1. Çimento Sektöründe Alınabilecek Enerji Tasarruf Önlemleri

Önlem Kodu	Önlem	Ortalama Özgül Isı Tasarrufu (GJ/t)	Ortalama Özgül El. Tasarrufu (kWh./t)	Ortalama Özgül Yatırım (\$/ton-kapasite)		Uygulanabilirlik Oranı (%)
				1994	2004	
FARIN HAZIRLAMA İLE İLGİLİ ÖNLEMLER						
1	Verimli Nakil Sistemleri Uygulanması	0	2,25	5,36	6,61	31
2	Verimli Homojenizasyon Sistemleri Uygulanması	0	1,79	6,61	8,16	40
3	Verimli Sürekli Homojenizasyon Sistemleri Uygulanması	0	0,5		3	53
4	Eziçi Pres ve Valsli Değirmen Kullanımı	0	7,55	9,46	11,68	52
5	Yüksek Verimde Separatör Kullanımı (Kuru Proses)	0	1,75	3,57	4,41	46
KLİNKER ÜRETİMİ İLE İLGİLİ YÖNTEMLER						
6	Döner Fırın Yakma Sistemindeki İyileştirmeler	0,052	0	0,98	1,21	30
7	Döner Fırın Yüzey Isı Kaybının Azaltılması	0,15	0	0,25	0,31	25
8a (%3 atık)	Atıkların Yakıt Olarak Kullanımı	0,10	0	1	1,23	50
8b (%6 atık)		0,21	0	1	1,23	50
8c (%12 atık)		0,42	0	1	1,23	50
9	Modern İzgaralı Klinker Soğutucuya Dönüşüm	0,3	-3	0,6	0,74	19
10	Güç Üretimi İçin Isı Geri Kazanımı (Sadece Yaş Proses-Uzun Fırın İçin)	0	20	3,25		
11	Yaş Procesten Çoklu Kademeli Ön kalsinasyonlu Kuru Procesten Dönüşüm	2,8	-10	75	92,59	1,36
12	Kuru Procesten Çoklu Kademeli Ön ısıtıcı Sisteme Dönüşüm	0,9	0	20	24,69	0
13	Düşük Basınç Kayıplı, Akışkanlaşmış, Çoklu Siklon Ön ısıtıcı Kullanımı	0	4	3	3,70	100
14	İzgaralı Klinker Soğutucularında Isı Geri Kazanımı Optimizasyonu	0,08	0	0,2	0,25	40
15	Uzun Döner Fırınlardan Çoklu Kademeli Ön ısıtıcı ve Ön Kalsinasyonlu Fırına Dönüşümü (Kuru Proses)	1,3	0	28	34,57	0
16	Kuru Prosesli Ön ısıtıcı Döner Fırına Ön Kalsinatör Eklenmesi	0,4	0	4,79	5,92	24
ÇİMENTO ÖĞÜTME İLE İLGİLİ ÖNLEMLER						
17	Daha Verimli Nakil Sistemlerinin Kullanılması	0	2	3	3,70	47
18	Bilyeli Değirmen Önünde Eziçi Presli Ön Öğütme Sistemi Kullanılması	0	8	2,5	3,09	41
19	Bilyeli Değirmenden Dikey ve Yatay (Horomill) Valsli Değirmenlere Dönüşüm	0	27	4	4,94	50
20	Yüksek Verimli Separatör Kullanımı	0	2,5	2,25	2,78	13
21	Değirmenlerin İç Yapısının İyileştirilmesi	0	2	0,7	0,86	91
GENEL ENERJİ TASARRUF ÖNLEMLERİ						
22	Önleyici Bakım Uygulamaları (Yalıtım, Basınçlı Hava Kayıpları, Planlı Bakım vb.)	0,05	3	0,1	0,12	100
23	Enerji Yönetimi ve Kontrol Uygulamaları	0,2	4	1,5	1,85	17
24	Yüksek Verimli Motor Kullanımı	0	1	0,2	0,25	100
25	Hız Kontrollü Yüksek Verimli Fan Uygulanması	0	4	0,10	0,12	46



Şekil 3.1. "Türkiye Çimento Sektörü Enerji Tasarrufu Sağlama Eğrisi" ve Enerji Tasarruf Önlemlerinin Uygulanmaya Geçirilebileceği Yıllar (%12 Faiz Oranı ve Atık Yakılma Durumu).



Şekil 3.2. "Türkiye Çimento Sektörü Enerji Tasarrufu Sağlama Eğrisi" ve Enerji Tasarruf Önlemlerinin Uygulanmaya Geçirilebileceği Yıllar (%30 Faiz Oranı ve Atık Yakılma Durumu).

Tablo 3.2. Enerji Tasarruf Önlemlerinin Tasarruf Edilen Birim Enerji Maliyetine (TEM) Göre Sıralanması.

Önlemin Uygulama Önceliği	Önlemin Kodu	TEM (\$/GJ) (%12 faiz)	TEM (\$/GJ) (%30 faiz)
1	22	0,198	0,479
2	7	0,255	0,618
3	9	0,337	0,815
4	14	0,367	0,886
5	25	0,409	0,989
6	23	0,972	2,351
7	8a	1,602	3,873
8	16	1,836	4,439
9	19	2,494	6,030
10	10	2,736	6,614
11	6	2,875	6,949
12	15	3,301	7,980
13	24	3,367	8,140
14	12	3,406	8,234
15	11	4,243	10,258
16	8b	0,815	1,970
17	18	5,261	12,719
18	21	5,893	14,245
19	8c	0,407	0,985
20	13	12,627	30,526
21	20	15,165	36,660
22	4	21,105	51,020
23	17	25,254	61,051
24	5	34,359	83,063
25	1	40,086	96,906
26	2	62,293	150,593
27	3	81,823	197,805

Tablo 3.2'de görüldüğü gibi 22 kod no.lu enerji tasarruf önlemi en avantajlı ve ilk öncelikle uygulanması gereken önlemdir. 3 kod no.lu enerji tasarruf önlemi ise TEM değeri en büyük ve son uygulanması gereken önlemdir. Şekil 3.1 ve 3.2'de 8a, 8b ve 8c önlemleri TEM sırasına uymadan yerleştirilmiştir. Bunun nedeni, yasal ve teknik sebepler dolayısıyla atık yakma oranının 2010 yılında %3, 2015 yılında %6, 2020 yılında %12 olarak ve toplam kapasitenin %50'sine uygulanacak biçimde modele zorlanmış olmasıdır.

Düşük faiz oranlarında önlemlerin uygulamaya konulması daha yakın zamanda olmasına karşılık, yüksek faiz oranlarında önlemlerin uygulamaya geçirilmesi daha ileri yıllara kaymaktadır. TEM artış hızlarının, KEM artış hızlarına kıyasla 3-5 kat daha az olması (Şekil 3.1, Şekil 3.2), KEM>TEM kriteri uyarınca uygulama olanağı doğan enerji verimliliği önlemlerinin uygulanabilirliğini ve önemini ilerleyen yıllarda daha da artırmaktadır.

2010, 2015, 2020 yılları için hesaplanan birincil enerji birim maliyetleri KEM (\$/GJ) enerji tasarruf eğrilerinde (Şekil 3.1 ve Şekil 3.2) yatay doğrularla gösterilmiştir. İlgili enerji tasarruf önlemlerinin uygulamaya konması kriteri, "Tasarruf Edilen Birincil Enerji Birim Maliyeti TEM (\$/GJ) < Çimento Sektöründe Kullanılan Birincil Enerji Birim Maliyeti KEM (\$/GJ)", biçiminde tanımlanır. Diğer bir anlatımla belli bir yıl için verilen KEM'in altında kalan enerji tasarruf önlemlerinin uygulamaya konulması ekonomik yönden uygun olur. Şekil 3.1 ve Şekil 3.2'de verilen enerji tasarruf eğrilerinde hangi kod no.lu tasarruf önlemlerinin, 2005, 2010, 2015 ve 2020 yıllarında veya daha önce uygulamaya konacağı kolayca görülmektedir. Bu şekillerde ayrıca 2004 yılından başlayarak çimento üretimindeki özgül birincil enerji tüketimindeki azalma da (GJ/t-çimento) gösterilmiştir. 2004 için özgül birincil enerji tüketim 4 GJ/ton-çimento iken, bu değer alınan tasarruf önlemleri sonucunda 2020 yılında faiz oranı %12 olduğunda 2,84 GJ/ton-çimento'ya, faiz oranı %30 olduğunda ise 2,87 GJ/ton-çimento'ya düşmektedir. Buradan görüldüğü gibi, 2004 – 2020 yılları arasında %12 faiz oranı için %29, %30 faiz oranı için ise %28 oranında bir özgül enerji tasarrufu sağlanmaktadır.

3.2. Senaryo Çalışmaları

Çimento sektöründe enerji tasarrufu uygulamalarıyla ilgili olarak üç senaryo incelenmiştir.

Bu senaryolar aşağıdaki üretim alternatiflerini değerlendirmeye imkan tanımaktadır: (i) 1990 teknolojisinin kullanılması, (ii) 2004 teknolojisinin kullanılması, (iii) 2004 yılından sonra enerji tasarrufu önlemlerinin uygulanması.

3.2.1. Senaryo 1: Üretim 1990 Yılı Teknolojisiyle Gerçekleştirilmesi
Üretim 1990 yılı teknolojisine gerçekleştirilmesi durumunda 1990-2020 yılları arasında Türkiye Çimento Sektörü'nde kullanılan toplam birincil enerji PJ/yıl (Peta Juule = 1015 Juule) cinsinden Tablo 3.3'de gösterilmiştir. Bu değerler hesaplanırken mevcut klinker üretim kapasitesi kullanılmaya kadar eski tesislerin olduğu gibi kullanıldığı ve 1990 yılı özgül enerji kullanımının (4,35 GJ/t-çimento) geçerli olduğu kabul edilmiştir. Yıllar ilerledikçe üretim miktarı mevcut kapasiteyi aştığında, kapasite açığı öncelikle ön kalsinasyon sistemi olmayan fabrikalara ön kalsinasyon tesisi ekleyerek sağlanmaktadır. Bu şekilde yaratılan ek kapasiteyle yapılan üretimin enerji kullanımı hesaplanırken, ön kalsinasyonun sağladığı enerji tasarrufu da dikkate alınmaktadır. Ancak 2015 yılından itibaren mevcut fabrikalara ön kalsinasyon tesisi eklenmesi de yeterli olmamakta ve üretimin gerçekleştirilmesi için yeni fabrikalar kurulması gerekmektedir. Yeni kurulan bu fabrikaların o günün ekonomik koşullarının elverdiği önlemlerle kurulacağı kabul edilmiştir. Dolayısıyla faiz oranlarının %12 ve %30 olması halinde, kurulacak yeni fabrikaların teknik özellikleri, yani bu fabrikalarda uygulanacak tasarruf önlemleri birbirinden farklı olabilmektedir. Tablo 3.2'de 2015 ve 2020 yıllarında %12 ve %30 faiz oranları için verilen değerler arasındaki farklılıklar bundan ileri gelmektedir. Türkiye çimento endüstrisinin 2020 yılındaki toplam birincil enerji tüketiminin 1990 yılına göre %268 daha fazla olması beklenmektedir.

Tablo 3.3. Üretim 1990 Yılı Teknolojisiyle Gerçekleştirilene Toplam Birincil Enerji Tüketimleri. (Not: 1 PJ = 1015 Juule)

Yıllar	1990	2004	2010	2015	2020
Toplam Enerji Tüketimi (PJ/yıl) (%12 faiz)	88,02	142,47	189,91	210,81	235,66
Toplam Enerji Tüketimi (PJ/yıl) (%30 faiz)	88,02	142,47	189,91	210,84	235,98

3.2.2. Senaryo 2: Üretim 2004 Yılı Teknolojisiyle Gerçekleştirilmesi

Bu senaryoda 2004 sonrasında üretimin 2004 yılı teknolojisine yapılabileceği kabul edilmiştir. Dolayısıyla özgül enerji kullanımı 1990 ile 2004 arasında 4,35 GJ/t-çimento, 2004 yılına takip eden yıllar için ise, yeni kurulan tesisler ve ön kalsinasyon sistemleri haricinde, 4,00 GJ/t-çimento olarak alınmıştır. Üretim kapasitesinin artırılması ile ilgili kabuller Senaryo 1 için yapılan kabullerin aynısıdır.

Senaryo 2 ile ilgili toplam birincil enerji tüketimleri Tablo 3.4'de gösterilmiştir. Bu senaryoya göre Türkiye çimento endüstrisinin 2020 yılındaki toplam birincil enerji tüketiminin %12 ve %30 faiz oranları için sırasıyla 218,7 PJ/yıl ve 219,0 PJ/yıl olarak, 1990 yılına göre %248 daha fazla olması beklenmektedir.

Tablo 3.4. Üretim 2004 Yılı Teknolojisiyle Gerçekleştirilene Toplam Birincil Enerji Tüketimleri

Yıllar	1990	2004	2010	2015	2020
Toplam Enerji Tüketimi (PJ/yıl) (%12 faiz)	88,02	131,06	174,55	193,83	218,68
Toplam Enerji Tüketimi (PJ/yıl) (%30 faiz)	88,02	131,06	174,55	193,86	219,00

3.2.3. Senaryo 3: Üretimin 2004 Yılı İtibariyle Tasarruf Önlemleri Alınarak Gerçekleştirilmesi

Bu senaryoda 2004 yılından itibaren ekonomik yönden uygun olan enerji tasarruf önlemlerinin enerji tasarruf eğrilerine (Şekil 3.1, Şekil 3.2 ve Tablo 3.2) göre alınması durumu incelenmiş ve hesaplama sonuçları Senaryo 1 ve Senaryo 2'nin sonuçlarıyla birlikte %12 faiz oranı için Tablo 3.5'de gösterilmiştir.

Tablo 3.5. Yapılan Birimci Enerji Tüketimi (%12 Faiz Oranı).

Yıllar	1990	2004	2010	2015	2020
Senaryo 1: 1990 Teknolojisine Göre Toplam Enerji Tüketimi (PJ/yıl)	88,02	142,47	189,91	210,81	235,66
Senaryo 2: 2004 Teknolojisine Göre Toplam Enerji Tüketimi (PJ/yıl)	88,02	131,06	174,55	193,83	218,68
Senaryo 3: Önlem Programının Uygulanmasına Göre Toplam Enerji Tüketimi (PJ/yıl)	88,02	131,06	148,02	155,15	165,96

4. ÇİMENTO SEKTÖRÜNDEN CO₂ EMİSYONLARININ HESAPLANMASI VE EMİSYON SENARYOLARI

Türkiye çimento sektöründen atmosfere salınan CO₂ emisyonlarının modellemesi de 2. Bölümde sunulan Türkiye Çimento Sektörü için geliştirilen, kümelenmiş enerji kullanım ve CO₂ emisyon modeli yardımı ile yapılmıştır. CO₂ emisyonlarına yol açan kaynaklar Şekil 3.1'de görülebilir. CO₂ emisyonları klinker üretme tesisleri bacasından ve fosil yakıt yakan termik santrallerin bacalarından salınmaktadır. Modelle, çimento üretimi sırasında aşağıdaki kaynaklardan yayılan CO₂ emisyonları hesaplanmıştır.

Kalsinasyon Kaynaklı CO₂ Emisyonları

Türkiye Çimento Sektörü'nde üretilen klinkerin içerisinde % 0.1 – 4 MgO ve % 60-67 oranında CaO bulunurken hammadde içindeki serbest CaO ve MgO değerleri ihmal edilecek boyuttadır. Bu veriler kullanılarak ortalama kalsinasyon kaynaklı CO₂ emisyon 520 kg-CO₂/ton-klinker olarak belirlenmiştir.

Klinker Üretiminde Kullanılan Yakıtlardan Kaynaklanan CO₂ Emisyonları

Hesaplarda Türkiye Çimento Sektörü'nde kullanılan yakıt türleri ve ısı bazda ortalama kullanım oranları kullanılmıştır. Yakıt ısı temelli CO₂ emisyon faktörleri için, Sürdürülebilir Kalkınma İçin Dünya İş Konseyi (WBCSD) tarafından önerilen emisyon faktörleri (kg-CO₂/yakıt/ton-klinker) kullanılmıştır. Yakıt kompozisyonu ve emisyon faktörlerinin hesaplama dönemi boyunca değişmeyeceği kabul edilmiştir. Yakıt emisyon faktörleri, kullanılan yakıt kompozisyonu, yakıtların ısı değerleri ve klinker özgül ısı tüketimi verildiğinde, ilgili yılda birim klinker başına atmosfere salınan toplam bileşik emisyon faktörü (kg-CO₂-yakıtkarşımı/ton-klinker) hesaplanabilir. Örneğin 2004 yılı için bu hesap yapıldığında emisyon faktörü 335.7 kg-CO₂-yakıtkarşımı/ton-klinker olarak elde edilmiştir.

Klinker için Gerekli Termik Elektrik Üretiminden Kaynaklanan CO₂ Emisyonları

Modelde termik-hidrolik oranı, santral verimleri, elektrik iletim ve dağıtım verimlerinin sabit kalacağı kabul edilmiştir. 1990-2004 yılları arasında gerçekleşmiş yakıt karışım oranları kullanılmıştır. 2004'den sonra ise yakıt karışım oranının 2004'deki gibi olduğu kabul edilmiştir.

Ortalama emisyon faktörleri, yakıt kompozisyonu, ısı değerleri ve klinker özgül elektrik tüketiminin yıllara göre değişimi dikkate alınarak hesaplanmıştır. Örneğin 2004 yılı için bu varsayımlar kullanılarak ve birim klinker üretimi başına elektrik tüketiminin 75,06 kWh/ton-klinker olduğu dikkate alınarak hesaplanan emisyon faktörü 49,9 kg-CO₂-TS.yakıt/ton-klinker kadardır.

Çimento Öğütme için Gerekli Termik Elektrik Üretiminden Kaynaklanan CO₂ Emisyonları

Ortalama birleştirilmiş emisyonlar, emisyon faktörleri, yakıt kompozisyonu, yakıt ısı enerjileri ve çimento öğütmede kullanılan özgül elektrik tüketimleri dikkate alınarak hesaplanmıştır. Örneğin 2004 yılı için emisyon 30,95 kg-CO₂-TS.yakıt/ton-çimento olarak hesaplanmıştır.

4.2 Senaryo Çalışmaları

Türkiye çimento sektörü için geliştirilen kümelenmiş enerji kullanım ve CO₂ emisyonu salınım modeli yardımıyla ve veri girdilerinde değişik kabuller yaparak farklı CO₂ emisyon senaryolarını incelemek mümkündür. Bölüm 3.2'dekilere paralel olarak oluşturulan senaryolar aşağıda incelenmiştir.

4.2.1. Senaryo 1: Üretimin 1990 Yılı Teknolojisiyle Gerçekleştirilmesi Durumunda CO₂ Emisyonları

Senaryo 1 için elde edilen sonuçlar %12 ve %30 faiz oranları için aşağıda Tablo 4.1-4.3'de verilmiştir.

Tablo 4.1. Üretimin 1990 Yılı Teknolojisiyle Gerçekleştirilmesi Durumunda CO₂ Emisyonları (%12 Faiz Oranı).

Yıllar	1990	2004	2010	2015	2020
Kalsinasyon Kaynaklı CO ₂ Emisyonu (milyon ton-CO ₂ /yıl)	10,54	17,06	22,99	25,88	30,43
Klinker-Yakıt Kaynaklı CO ₂ Emisyonu (milyon ton-CO ₂ /yıl)	7,61	12,31	16,59	18,59	21,07
Klinker-El. Tük. Kaynaklı CO ₂ Emisyonu (milyon ton-CO ₂ /yıl)	1,40	2,26	3,05	3,41	3,79
Çimento Öğüt.-El. Tük. Kaynaklı CO ₂ Emisyonu (milyon ton-CO ₂ /yıl)	1,05	1,66	2,27	2,66	3,01
Toplam CO ₂ Emisyonu (milyon ton-CO ₂ /yıl)	20,59	33,29	44,89	50,53	58,29

Tablo 4.2. Üretimin 1990 Yılı Teknolojisiyle Gerçekleştirilmesi Durumunda CO₂ Emisyonları (%30 Faiz Oranı).

Yıllar	1990	2004	2010	2015	2020
Kalsinasyon Kaynaklı CO ₂ Emisyonu (milyon ton-CO ₂ /yıl)	10,54	17,06	22,99	25,88	30,43
Klinker-Yakıt Kaynaklı CO ₂ Emisyonu (milyon ton-CO ₂ /yıl)	7,61	12,31	16,59	18,59	21,07
Klinker-El. Tük. Kaynaklı CO ₂ Emisyonu (milyon ton-CO ₂ /yıl)	1,40	2,26	3,05	3,41	3,81
Çimento Öğüt.-El. Tük. Kaynaklı CO ₂ Emisyonu (milyon ton-CO ₂ /yıl)	1,05	1,66	2,27	2,66	3,01
Toplam CO ₂ Emisyonu (milyon ton-CO ₂ /yıl)	20,59	33,29	44,89	50,54	58,32

Tablo 4.3. Üretimin 1990 Yılı Teknolojisiyle Gerçekleştirilmesi Durumunda Toplam CO₂ Emisyonları.

Yıllar	1990	2004	2010	2015	2020
Toplam CO ₂ Emisyonu (%12 Faiz Oranı) (milyon ton-CO ₂ /yıl)	20,59	33,29	44,89	50,53	58,29
Toplam CO ₂ Emisyonu (%30 Faiz Oranı) (milyon ton-CO ₂ /yıl)	20,59	33,29	44,89	50,54	58,32

4.2.2. Senaryo 2: Üretimin 2004 Yılı Teknolojisiyle Gerçekleştirilmesi Durumunda CO₂ Emisyonları

Senaryo 2 için elde edilen sonuçlar %12 ve %30 faiz oranları için aşağıda Tablo 4.4-4.6'da verilmiştir.

Tablo 4.4. Üretimin 2004 Yılı Teknolojisiyle Gerçekleştirilmesi Durumunda CO₂ Emisyonları (%12 Faiz Oranı).

Yıllar	1990	2004	2010	2015	2020
Kalsinasyon Kaynaklı CO ₂ Emisyonu (milyon ton-CO ₂ /yıl)	10,54	17,06	22,99	25,88	30,43
Klinker-Yakıt Kaynaklı CO ₂ Emisyonu (milyon ton-CO ₂ /yıl)	7,61	11,00	14,83	16,64	19,12
Klinker-Elektrik Tüket. Kaynaklı CO ₂ Emisyonu (milyon ton-CO ₂ /yıl)	1,40	1,63	2,20	2,47	2,85
Çimento Öğütme-Elekt. Kaynaklı CO ₂ Emisyonu (milyon ton-CO ₂ /yıl)	1,05	1,20	1,64	1,92	2,23
TOPLAM CO ₂ Emisyonu (milyon ton-CO ₂ /yıl)	20,59	30,90	41,66	46,92	54,63

Tablo 4.5. Üretimin 2004 Yılı Teknolojisiyle Gerçekleştirilmesi Durumunda CO₂ Emisyonları (%30 Faiz Oranı).

Yıllar	1990	2004	2010	2015	2020
Kalsinasyon Kaynaklı CO ₂ Emisyonu (milyon ton-CO ₂ /yıl)	10,54	17,06	22,99	25,88	30,43
Klinker-Yakıt Kaynaklı CO ₂ Emisyonu (milyon ton-CO ₂ /yıl)	7,61	11,00	14,83	16,64	19,12
Klinker-Elektrik Tüket. Kaynaklı CO ₂ Emisyonu (milyon ton-CO ₂ /yıl)	1,40	1,63	2,20	2,48	2,88
Çimento Öğütme-Elekt. Kaynaklı CO ₂ Emisyonu (milyon ton-CO ₂ /yıl)	1,05	1,20	1,64	1,92	2,23
TOPLAM CO ₂ Emisyonu (milyon ton-CO ₂ /yıl)	20,59	30,90	41,66	46,92	54,66

Tablo 4.6. Üretimin 2004 Yılı Teknolojisiyle Gerçekleştirilmesi Durumunda Toplam CO₂ Emisyonları

Yıllar	1990	2004	2010	2015	2020
Toplam CO ₂ Emisyonu (milyon ton-CO ₂ /yıl) (%12 faiz için)	20,59	30,90	41,66	46,92	54,63
Toplam CO ₂ Emisyonu (milyon ton-CO ₂ /yıl) (%30 faiz için)	20,59	30,90	41,66	46,92	54,66

4.2.3. Senaryo 3: Üretimin 2004 Yılı İtibariyle Tasarruf Önlemleri Alınarak Gerçekleştirilmesi Durumunda CO₂ Emisyonları

Bu senaryoda Türkiye çimento sektörü enerji tasarrufu sağlama eğrisinde (Şekil 3.1 ve Şekil 3.2) gösterilen enerji tasarruf önlemlerinin uygulamaya konulduğu kabul edilmiştir. Elde edilen CO₂ emisyonları Tablo 6.7-4.9'da verilmiştir. Üç senaryodan elde edilen CO₂ emisyonları ise Tablo 4.10-4.11'de birbirine karşılaştırılmıştır.

Tablo 4.7. Üretimin 2004 Yılı İtibariyle Tasarruf Önlemleri Alınarak Gerçekleştirilmesi Durumunda CO₂ Emisyonları (%12 Faiz Oranı).

Yıllar	1990	2004	2010	2015	2020
Kalsinasyon Kaynaklı CO ₂ Emisyonu (milyon ton-CO ₂ /yıl)	10,54	17,06	22,99	25,88	30,43
Yakıt Kaynaklı CO ₂ Emisyonu (milyon ton-CO ₂ /yıl)	7,61	11,00	13,09	14,51	16,54
Klinker El. Tük. Kaynaklı CO ₂ Emisyonu (milyon ton-CO ₂ /yıl)	1,40	1,63	2,02	2,28	2,52
Çimento El. Tük. Kaynaklı CO ₂ Emisyonu (milyon ton-CO ₂ /yıl)	1,05	1,20	0,99	1,16	1,40
TOPLAM CO ₂ Emisyonu (milyon ton-CO ₂ /yıl)	20,59	30,90	39,09	43,82	50,90

Tablo 4.8. Üretimin 2004 Yılı İtibariyle Tasarruf Önlemleri Alınarak Gerçekleştirilmesi Durumunda CO₂ Emisyonları (%30 Faiz Oranı).

Yıllar	1990	2004	2010	2015	2020
Kalsinasyon Kaynaklı CO ₂ Emisyonu (milyon ton-CO ₂ /yıl)	10,54	17,06	22,99	25,88	30,43
Yakıt Kaynaklı CO ₂ Emisyonu (milyon ton-CO ₂ /yıl)	7,61	11,00	13,32	14,51	16,54
Klinker El. Tük. Kaynaklı CO ₂ Emisyonu (milyon ton-CO ₂ /yıl)	1,40	1,63	2,06	2,28	2,68
Çimento Öğütme-El. Tük. Kaynaklı CO ₂ Emisyonu (milyon ton-CO ₂ /yıl)	1,05	1,20	1,16	1,37	1,41
TOPLAM CO ₂ Emisyonu (milyon ton-CO ₂ /yıl)	20,59	30,90	39,53	44,03	51,07

Tablo 4.9. Üretimin 2004 Yılı İtibariyle Tasarruf Önlemleri Alınarak Gerçekleştirilmesi Durumunda Toplam CO₂ Emisyonları

Yıllar	1990	2004	2010	2015	2020
Toplam CO ₂ Emisyonu (milyon ton-CO ₂ /yıl) (%12 faiz için)	20,59	30,90	39,09	43,82	50,90
Toplam CO ₂ Emisyonu (milyon ton-CO ₂ /yıl) (%30 faiz için)	20,59	30,90	39,53	44,03	51,07

Tablo 4.10. İncelenen Senaryolar İçin CO₂ Emisyonlarının Karşılaştırılması (%12 Faiz Oranı).

Yıllar	1990	2004	2010	2015	2020
1990'dan Sonra Önemli (Senaryo 1) (milyon ton-CO ₂ /yıl)	20,59	33,29	44,89	50,53	58,29
2004'ten Sonra Önemli (Senaryo 2) (milyon ton-CO ₂ /yıl)	20,59	30,90	41,66	46,92	54,63
2004'ten Sonra Önemli (Senaryo 3) (milyon ton-CO ₂ /yıl)	20,59	30,90	39,09	43,82	50,90

Tablo 4.11. İncelenen Senaryolar İçin CO₂ Emisyonlarının Karşılaştırılması (%30 Faiz Oranı).

Yıllar	1990	2004	2010	2015	2020
1990'dan Sonra Önemli (Senaryo 1) (milyon ton-CO ₂ /yıl)	20,59	33,29	44,89	50,54	58,32
2004'ten Sonra Önemli (Senaryo 2) (milyon ton-CO ₂ /yıl)	20,59	30,90	41,66	46,92	54,66
2004'ten Sonra Önemli (Senaryo 3) (milyon ton-CO ₂ /yıl)	20,59	30,90	39,53	44,03	51,07

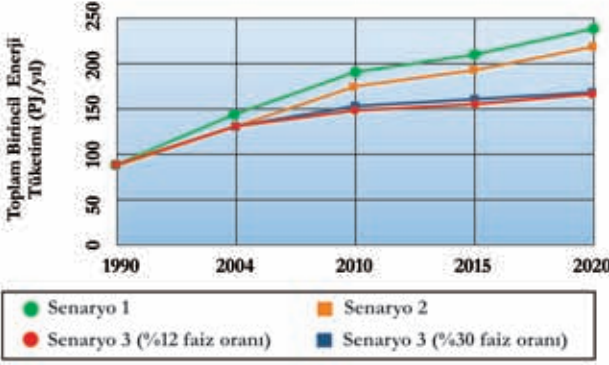
5. SONUÇ

Bu çalışmada, Türk Çimento Sektörü'nün ayrıntılı bir analizi yapılmış, enerji tasarrufu ve emisyon azaltma potansiyelleri belirlenmiş, bu potansiyellerin kazanımı için alınabilecek önlemlerin fayda-maliyet analizine dayalı bir uygulama planı geliştirilmiştir. Çalışmada Türkiye çimento sektörünün enerji kullanımı ve CO₂ emisyonu salınım davranışlarını tanımlayan ve analizine imkan veren bir kümelendirilmiş enerji kullanımı ve CO₂ emisyon modelinden yararlanılmıştır (Şekil 2.1). Klinker üretim tesisleri, çimento öğütme tesisleri, çimento üretimi için elektrik üreten santraller, elektrik iletim ve dağıtım şebekesi geliştirilen modelde eşdeğer davranış kümelendirilmiş tesisler olarak ele alınmış, kapasiteleri Türkiye'nin toplam kapasitesine, özellikleri ise Türkiye'deki tesislerin ortalama özelliklerine eşit kabul edilmiştir.

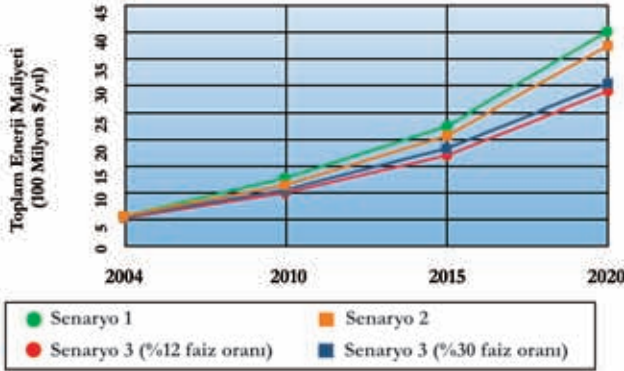
Bu model yardımı ile, sektörde uygulanması söz konusu olabilecek enerji tasarruf önlemlerinin ekonomik analizleri yapılarak, her önlem için tasarruf edilen enerji maliyeti hesaplanmıştır. (Bölüm 3) Daha sonra bu tasarruf maliyetleri yıllar itibarıyla birincil enerji fiyatları ile mukayese edilerek enerji tasarrufu sağlayan önlemlerin 2004 - 2020 dönemi için uygulama planı elde edilmiştir.

Bölüm 3'te anlatıldığı gibi enerji tasarrufu sağlama eğrileri kullanılarak %12 ve %30 faiz değerlerinde üç senaryo çalışması yapılmıştır.

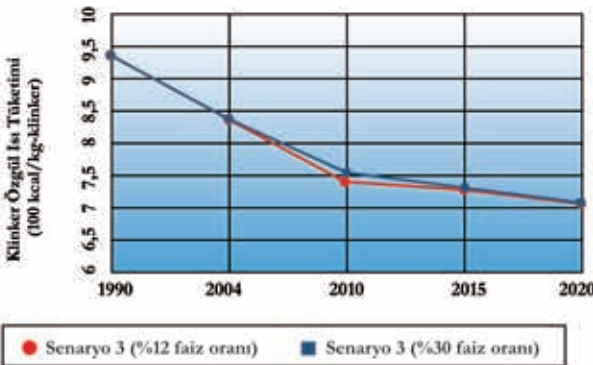
İncelenen senaryolar için, Türkiye çimento sektöründe tüketilen toplam birincil enerjilerin yıllara göre değişimi Şekil 5.1'de, tüketilen enerjinin maliyetinin yıllara göre değişimi Şekil 5.2'de, özgül ısı ve özgül elektrik tüketimlerinin yıllara göre değişimleri ise sırasıyla Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'te verilmiştir.



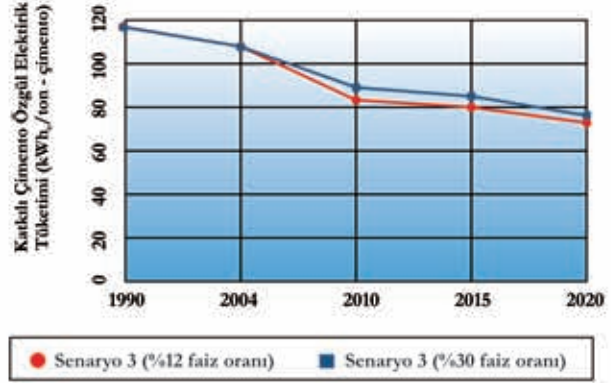
Şekil 5.1. İncelenen Senaryolar İçin Türkiye Çimento Sektöründe Tüketilen Toplam Birincil Enerjinin Yıllara Göre Değişimi.



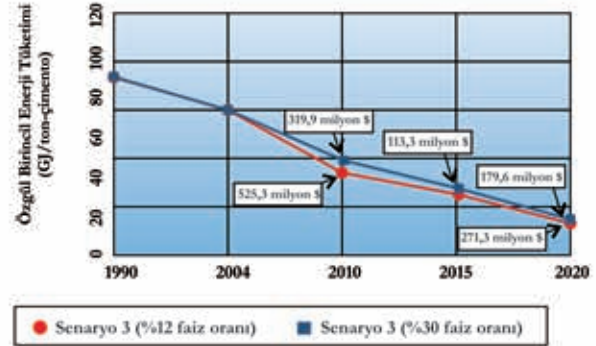
Şekil 5.2. İncelenen Senaryolar İçin Türkiye Çimento Sektöründe Tüketilen Toplam Enerjinin Maliyetinin Yıllara Göre Değişimi.



Şekil 5.3. 2004 Yılından Sonra Önlemler Alınması Türkiye Çimento Sektöründe Klinker Özgül Isı Tüketiminin Yıllara Göre Değişimi.



Şekil 5.4. 2004 Yılından Sonra Önlemler Alınması Türkiye Çimento Sektöründe Klinker Özgül Elektrik Tüketiminin Yıllara Göre Değişimi.



Şekil 5.5. 2004 Yılından Sonra Önlemler Alınması Klinker Özgül Birincil Enerji Tüketiminin Yıllara Göre Değişimi ve Gerçek Yatırımlar.

Bu şekillerden görüldüğü gibi Türkiye çimento sektörü 1990-2004 yılları arasında gönüllü olarak aldığı çeşitli iyileştirme önlemleriyle önemli miktarlarda enerji tasarrufu sağlamış ve bu amaçla yatırımlar yapmıştır. Bu faaliyetler sonucunda 1990 yılına kıyasla 2004 için elde edilen enerji ve maliyet tasarrufu Tablo 5.1'de özetlenmiştir.

Tablo 5.1 Türkiye Çimento Endüstrisinin 1990 ve 2004 Yılları Arasında Aldığı Önlemlerle Sağladığı Tasarruflar

Özellik	1990 Yılına Göre 2004 Yılında Sağlanan Azalma	
	Mutlak Azalma	Azalma Oranı
Toplam Birincil Enerji Tüketimi	11,41 PJ/yıl	8%
Toplam Enerji Maliyeti	46,71 milyon \$/yıl	8%
Klinker Özgül Isı Tüketimi	99,3 kcal/kg-klinker	10,6%
Çimento Özgül Elektrik Tüketimi	10,81 kWh _e /ton-çimento	9,1%

2004 yılı itibarıyla önlemler alındığı takdirde (Senaryo 3) birincil enerji tüketim seviyeleri ve bunlar için gereken yatırım maliyetlerinin yıllar itibarıyla değişimi Şekil 5.5'de verilmiştir.

Faiz oranı %12 faiz olduğunda 2004-2010 yılları arasında daha fazla sayıda enerji tasarruf önlemi alınabilmekte, buna karşın 2010-2015 yılları arasında atık yakma dışında hiçbir tasarruf önlemi alınmamaktadır. Atık yakıt kullanım oranı toplam tesis kapasitesinin %50'sine uygulanmak kaydıyla 2010, 2015 ve 2020 yılları için sırasıyla %3, %6 ve %12 olarak kabul edilmiştir. Faiz oranı %30 olarak alındığında ise 2004-2010 yılları arasındaki tasarruf önlemi sayısı azalmakta, tasarruf önlemleri 2010-2015 yıllarına kaymaktadır.

Şekil 5.5'ten görüldüğü gibi faiz oranı %12 alındığında özgül birincil enerji tüketimi 2004 yılında 4,00 GJ/t-çimento değerinden, 2020 yılında 2,84 GJ/t-çimento'ya inmektedir. Bu azalmanın gerçekleştirilebilmesi için 2010 yılında 525,3 milyon dolar, 2020 yılında ise 271,3 milyon dolar yatırım yapılması gerekmektedir. Bu yatırım maliyetleri anılan yılların doları cinsinden olup, maliyetlere finansman giderleri dahil değildir.

Faiz oranı %30 alındığında ise özgül birincil enerji tüketimi 2004 yılında 4,00 GJ/t-çimento iken, 2020 yılında 2,87 GJ/t-çimento'ya düşmektedir. Bunu sağlamak için 2010 yılında 319,9 milyon dolar, 2015 yılında 113,3 milyon dolar, 2020 yılında ise 179,6 milyon dolar yatırım yapılması gerekmektedir.

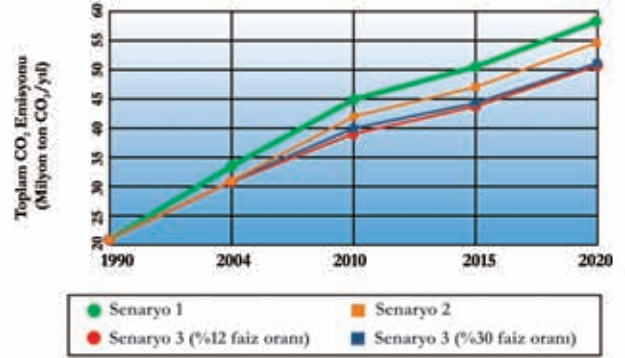
Faiz oranı %12 alındığında, kümelenmiş enerji kullanımı ve CO₂ emisyon salınım modeli ile yapılan enerji tasarrufu hesaplamalarına dayanarak, 2004-2020 yılları arasında klinker özgül ısı tüketiminin 836,6 kcal/kg-klinker'den 705,07 kcal/kg-klinkere, yani %16 oranında düşürülebileceği (Şekil 5.3) gösterilmiştir. Benzer biçimde katkılı çimento özgül elektrik tüketimi de 107,86 kWh/ton-çimento'dan 73,12 kWh/ton-çimento değerine düşürülerek %32,2 oranında bir tasarruf sağlanabilmektedir (Şekil 5.4). Eğer atık yakıt kullanılmazsa 2020 yılındaki klinker özgül ısı tüketimi 750,07 kcal/kg-klinker olmaktadır. Atık yakıt kullanılması halinde ve %30 faiz oranına göre klinker özgül ısı tüketimi 2004 yılı seviyesi olan 836,6 kcal/kg-klinkerden, %16 oranında azalmayla 2020'de 705,07 kcal/kg-klinkere düşmektedir. Bu durumda katkılı çimento özgül enerji tüketimi de 2004 yılına göre %29,3 azalarak 76,25 kWh/ton-çimento değerine düşürülebilmektedir (Şekil 5.4).

Görüldüğü gibi, özgül birincil enerji tüketimi, özgül ısı tüketimi ve özgül elektrik tüketimi değerlerinde 2004 ve 2020 yılları arasında sağlanan azalmaların miktarları faiz oranından bağımsızdır. Faiz oranının değeri 2020 yılında ulaşılan son değerleri fazla etkilememekte, buna karşılık önlemlerin ne zaman alınacağını belirlemektedir.

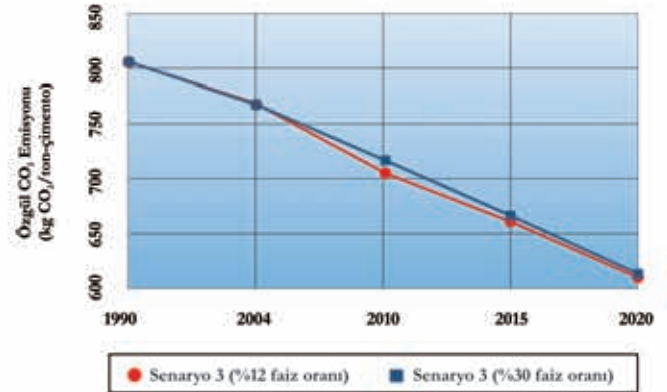
CO₂ emisyonu analizleri de aynı senaryolar uyarınca yapılmıştır (Bölüm 4). İncelenen senaryolar için Türkiye çimento sektöründen atmosfere salınan toplam CO₂ emisyonlarının yıllara göre değişimi Şekil 5.6'da gösterilmiştir. 1990 yılındaki toplam CO₂ emisyonu 20,59 milyon ton-CO₂/yıl kadardır. Eğer üretime 1990 yılının teknolojisi kullanılarak devam edilseydi 2004 yılındaki toplam CO₂ emisyonu 33,29 milyon ton-CO₂/yıl olacaktı.

Bu şekilden görüldüğü gibi çimento sektöründe 1990-2004 yılları arasında alınan gönüllü enerji tasarrufu önlemleri sayesinde, 1990 yılı referans alınarak 2004 yılı itibarıyla atmosfere salınan toplam CO₂ emisyonlarında 2,39 milyon ton-CO₂/yıl (2004 yılındaki Senaryo 1 değeri ile Senaryo 2 değeri arasındaki fark) ya da %7 azalma sağlanmıştır. 2020 yılındaki toplam CO₂ emisyonu, üretim 1990 yılı teknolojisi kullanılarak yapılacak olursa 58,29 milyon ton-CO₂/yıl; üretim 2004 yılı teknolojisi kullanılarak yapılacak olursa 54,63 milyon ton-CO₂/yıl olacaktı. Buna karşılık 2004 yılından itibaren enerji tasarrufu önlemleri alındığında toplam CO₂ emisyonları %12 faiz oranı için 50,90 milyon ton-CO₂/yıl, %30 faiz oranı için ise 51,07 milyon ton-CO₂/yıl olmaktadır. Uygun önlemler alınarak 2020 yılında Senaryo 1'e göre sağlanan CO₂ emisyon azalması %12 ve %30 faiz oranları için sırasıyla 7,4 milyon ton-CO₂/yıl ve 7,2 milyon ton-CO₂/yıl ya da %12,7 ve %12,4 kadardır.

Katkılı çimento için özgül CO₂ emisyonlarının yıllara göre değişimi %12 ve %30 faiz oranları için Şekil 5.7'de verilmiştir. Bu şekilden görüldüğü gibi, 2004 yılında 770,66 kg-CO₂/ton-çimento olan özgül CO₂ emisyonu, %12 faiz oranı için 2020 yılında 610,94 kg-CO₂/ton-çimento'ya ya da %21 oranında, %30 faiz oranı için ise 613,02 kg-CO₂/ton-çimento'ya ya da %20 oranında düşmektedir. 1990 yılında özgül CO₂ emisyonu 809,42 kg-CO₂/ton-çimento kadardı. Dolayısıyla 1990 yılı ile 2020 yılı arasında özgül CO₂ emisyonunda %12 faiz oranı için %24,5, %30 faiz oranı için ise %24,3 azalma sağlanmaktadır.



Şekil 5.6. İncelenen Senaryolar İçin Türkiye Çimento Endüstrisinin Toplam CO₂ Emisyonlarının Yıllara Göre Değişimi.



Şekil 5.7. 2004 Yılından Sonra Önlemler Alınırça Katkılı Çimento Özgül CO₂ Emisyonlarının Yıllara Göre Değişimi.

Referanslar

- [1] Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Taş ve Toprağa Dayalı Ürünler Sanayi Özel İhtisas Komisyonu Raporu (Çimento ve Hazır Beton), DPT 2505 - ÖİK 525, Ankara 2000.
- [2] Dokuzuncu Kalkınma Planı (2007-2013), Taş ve Toprağa Dayalı Sanayiler (Çimento Sanayi) Özel İhtisas Komisyonu Raporu Taslağı, (DPT tarafından hazırlanmıştır).
- [3] Türkiye Çimento Sektörü İçin Yapılan Anket Çalışması ve Sonuçları, Ankara, 2006.
- [4] Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliğitarafından sağlanan bilgiler, Ankara, 2006.
- [5] Erkovan, I., Klinker Üretim Tekniği, Türkiye Çimento ve Toprak Sanayi T.A.Ş, 1990.
- [6] Omurtay, B., 2004 Yılı Benchmarking Değerlendirmeleri (Çimento Sektörü), EİE-UEFM, Şubat 2006.
- [7] GEÇER (Gazi Üniversitesi Enerji-Çevre Sistemleri ve Endüstriyel Rehabilitasyon) Araştırma Merkezi Endüstriyel Enerji Verimliliği ve Emisyon Kontrol Çalışmaları, www.gecer.gazi.edu.tr.
- [8] Martin, N., Worrell, E., Price, L., Energy Efficiency and Carbon Dioxide Emissions Reduction Opportunities in the U.S. Cement Industry, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, LBNL--44182, September 1999.
- [9] Energy Consumption Benchmark Guide, Cement Clinker Production, CIPEC, Natural Resources and Energy Efficiency Department, Cat. No. M27-01-1464E, Canada, 2001.
- [10] The Cement Sustainability Initiative, World Business Council for Sustainable Development, July 2002.
- [11] The Cement CO₂ Protocol CO₂ Accounting and Reporting Standard for the Cement Industry, WBCSD, Cement Sustainability Initiative Climate Protection Task Force, Protocol Guidance Document, Version 2.0, May 20, 2005.
- [12] Cembureau, Best Available Techniques for the Cement Industry, Brussels, Cembureau, 1997.
- [13] COWIconsult, March Consulting Group and MAIN, 1993, Energy Technology in the Cement Industrial Sector, Report prepared for CEC-DG-XVII, Brussels, April 1992.
- [14] Birch, E., Energy Savings in Cement Kilm Systems, Energy Efficiency in the Cement Industry (Ed. J. Sirchis), London, England, Elsevier Applied Science, 1990.
- [15] Buzzi, S., Sassone, G., Optimization of Clinker Cooler Operation, Proc. VDZ Kongress 1993, Verfahrenstechnik der Zementherstellung, Bauverlag, Wiesbaden, Germany, 1993.
- [16] World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), Cement Sustainability Initiative CO₂ Emission Inventory Protocol, Version 2.0, Cenevre, Switzerland, www.wbcsd.org.
- [17] Endüstriyel Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği, Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara, 2004.



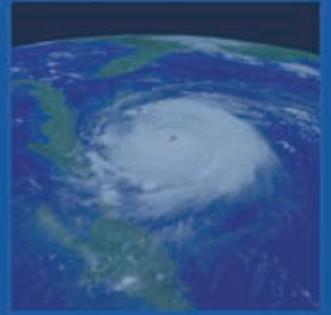
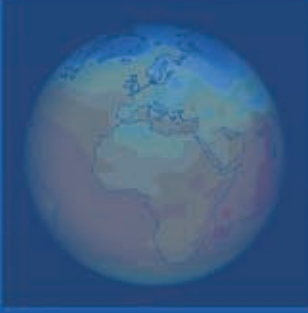
NOTLAR

A series of horizontal dotted lines for taking notes.



NOTLAR

A series of horizontal dotted lines for taking notes.



UNDP Türkiye

Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı
Birlik Mahallesi, 2. Cadde, No: 11, 06610
Çankaya, Ankara / Türkiye

Tel: +90 312 454 1100

Faks: +90 312 496 1463

E-posta: registry.tr@undp.org

www.undp.org.tr