

## **Türkiye’de Enerji Yoğun Sektörler Üzerine Uygulanan Karbon Vergilerinin Refah Üzerindeki Etkileri: Genel Denge Analizi**

**Doç. Dr. Mehmet MERCAN**  
Hakkâri Üniversitesi  
İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi  
Ekonomi ve Finans Bölümü  
mercan48@gmail.com

### **Özet**

Çalışmada, Kyoto sonrası dönemde olası emisyon yükümlülüğü durumunda Türkiye’nin uygulayacağı karbon vergilerinin etkisi Genel Denge Analizi ile incelenmiştir. Analiz TÜİK tarafından yayınlanan en son 2002 yılı Girdi-Çıktı tablosu baz alınarak enerji yoğun olan ve enerji yoğun olmayan sektörlerin toplulaştırılarak yapılmıştır. Analiz sonucunda karbon vergilerinin GSYİH üzerinde negatif etkisinin olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Enerji Sektörü, Karbon Vergisi, Genel Denge Analizi, Türkiye, GAMS.

### **The Wealth Effect Of Carbon Taxes On Energy Intense Sectors In Turkey: General Equilibrium Analysis**

#### **Abstract**

In this study, the effect of post-Kyoto carbon tax in the case of emissions liabilities of Turkey examined with General Equilibrium Analysis. Analysis carried out with the input-output table latest published by TUIK (2002) based on the in energy-intensive and non-energy intensive sectors are aggregated. As a result of the analysis it was found that carbon taxes was negative impact on GDP.

**Keywords:** Energy Sector, Carbon Tax, General Equilibrium Analsis, Turkey, GAMS.

#### **1. Genel Denge Teorisi ve Tarihçesi**

İktisat literatüründe ekonomik denge teorisi ile ilgili olarak, Alfred Marshall’ın öncülük ettiği kısmi denge yaklaşımı ve Leon Walras’ın çalışmalarına dayanan genel denge yaklaşımı olmak üzere iki önemli yaklaşım bulunmaktadır (Aydın, 2007: 8). Kısmi denge tek bir piyasanın incelendiği, bu piyasanın diğer piyasalarla olan ilişkisinin gözardı edildiği (ceteris paribus) bir analiz şeklidir (Ünlükaplan, 2006: 36). Genel denge analizinde ise ekonomideki mallar, üretim faktörleri, miktar ve fiyatların eşanlı olarak belirlenmesini amaç edinir. Genel denge analizinde, tüketici ve üreticilerin rasyonel davranacağını varsayarak ederek tüketicilerin maksimum fayda, üreticilerin maksimum kar elde ettiği ve arzın talebe eşit olduğu bir fiyat düzeyi olarak kabul edilir (Arrow, 1974: 258). Diğer bir ifadeyle Neoklasik maksimizasyon bağlamında genel denge, bütün tüketicilerin bütçe kısıtı altında en çok fayda elde ettikleri, bütün üreticilerin maksimum kar sağladıkları, üretim ve kaynaklarla talebin tamamen karşılandığı bir durum ve bu durumu gerçekleştiren bir fiyatlar seti olarak tanımlanmaktadır (Bulutay, 1979: 71 ). Genel denge analizi, eşanlı doğrusal olmayan denklem sistemlerinden oluşur. Genel denge modellerinde, ekonomideki kaynaklar atıl bırakılmaz ve kaynaklar etkin tahsis edilir (Scarf, 1990: 378).

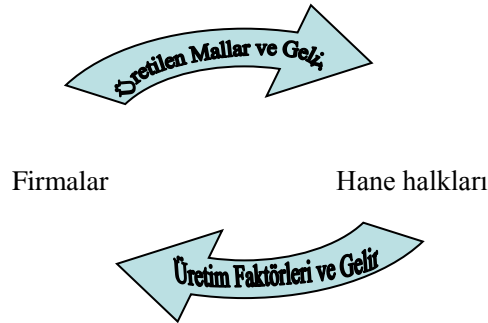
İktisat literatüründe genel denge analizinin temelleri Fizyokrasi’nin kurucusu Quesnay’a kadar dayanmakla birlikte genel dengeyi ekonominin tüm birimlerini içerecek şekilde ilk defa modelleyen Walras olmuştur. Walras, ekonomiyi, tüketicilerin mal taleplerinin üreticilerin arzına eşit olacak şekilde denge koşulunu ifade eden eşanlı denklem sistemleriyle ifade etmiştir ve ortaya çıkan bu eşanlı denklemler setinin çözümü üzerinde durmuştur. Genel dengenin varlığınının ispatlanabilmesi için öncelikle, sistemin tamamlanması için kaç tane denklem gerektiğini belirleyerek modeli bir denklem sistemi şeklinde ifade etmektir (Koutsoyiannis 1997: 535). Walras, eşanlı denklemler setinin çözümü için gerekli ama yeterli olmayan koşul; bilinmeyen sayısının denklem sayısına eşit olması ilkesinden yola çıkarak mallarda birinin fiyatının diğer bütün mal fiyatları cinsinden ifade edilebilecek bir ölçü

olarak kabul etmiş ve bunu “numeraire” olarak isimlendirmiştir. Böylece çözümün olabileceğini ortaya atmıştır.

Genel denge analizini, ilk kez 1874 yılında ortaya atan Leon Walras, genel dengenin varlığını kanıtlayamamıştır. Tüm piyasalarda arz ve talepleri eşitleyen bir fiyatlar bütünü varlığını kanıtlamak yaklaşık yüzyıl sürmüştür. Konunun iktisat teorisi çerçevesinde incelenmesi ve kanıtlanma konusunda önemli gelişmeler ve 1950’lerde Neuman (1946), K. J. Arrow ve G. Debreu (1954), Wald (1951), L.W. McKenzie (1954), D. Gale (1955)’in katkılarıyla olmuştur.

Çok sektörlü “Hesaplanabilir Genel Denge” (HGD) modelleri genel olarak, bir ekonominin üretim, tüketim, gelir dağılımı, yatırım ve dış ticaret ilişkilerini makro anlamda bütüncül olarak tasarlayan, Walrasgil eşanlı bir denge sistemi olarak tanımlanabilir (Derviş vd., 1982). Ekonominin temel yapısal özelliklerini yansıtan bu sistem, alternatif sosyo-ekonomik politikaların olası sonuçlarının analiz edileceği bir tür “iktisadi labratuvar” işlevi görerek, klasik girdi-çıktı ve makro-ekonomik modellere tamamlayıcı nitelikte bir model oluşturur (Köse ve Yeldan, 1996:59-60). Hesaplanabilir Genel Denge (HGD) Modeli Neo-Klasik mikroekonomik teorisinin geniş ve pratik uygulamasını temsil eder ve iklim değişikliği politikaları analizinde kullanılan “top-down” (tepeden aşağı) modelinin temel değişkenidir. HGD modeli 1980’lerden beri bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler ve özel matematik yazılımlarının programlamayı ve uygulamaları kolaylaştırması sayesinde geniş bir şekilde kullanılmakta ve kullanımı giderek artmaktadır. HGD modeli artık kişisel bilgisayarlarda uluslararası ekonomi, vergi ve kamu maliyesi, ekonomik kalkınma ve özellikle çevre politikaları analizlerinde kullanılabilir.

Basit bir HGD modelinin şeması ekonomide gelir akım döngüsüyle Şekil 1’de gösterilmiştir. Şekilden izlenebileceği gibi hane halkları üretim faktörlerini firmalara kiralar ve gelir elde eder. Firmalar da mal ve hizmet üretmek için bu üretim faktörlerini kullanır ve bu malları hane halkına satarak gelir elde ederler<sup>1</sup>. Ek olarak Şekil 1 ekonomideki fiziksel ve parasal akımları göstererek, basit bir ekonomideki denge kavramını gösterir. Bu ekonomide varsayımımız firmalar tarafından üretilen tüm mallar hane halkı tarafından tüketilmelidir.



**Şekil 1: Ekonomide Akım Döngüsü**

Üretilen malların miktarı tüketilen mallara eşit olmalıdır. Benzer şekilde hane halkı tarafından arz edilen tüm üretim faktörleri firmalar tarafından kiralanmalı ve kullanılmalıdır, kullanılmayan üretim faktörü dengeye konulmamalıdır.<sup>2</sup> Bu *piyasanın-dengelenmesi* (market-clearance) şartıdır ve piyasada toplam mal ve faktör arzının talebine eşit olduğunu ifade eden ekonomide genel bir terimdir. Aynı zamanda bu durum Şekil 1’de kapalı ekonomi için şunu ifade eder; firmaların mallarını satarak elde ettiği gelirin tamamını hane halkından üretim faktörleri temin etmek için harcarlar. Bu şekilde ekonomik sistemde

<sup>1</sup> HGD modelinde firmalar birçok farklı girdi kullanarak, birçok farklı mallar üretebilirler. Farklı tüketim tercihleri olan farklı ekonomik birimler olabilir ve bu birimler farklı üretim faktörleri sunabilir. Örneğin kamu vergi toplar, hizmet sunar ya da yabancı birim ithalat malı arz eder ve ihracat malları talep edebilir. İklim değişikliği bağlamında düşündüğümüz zaman atık döngüsü şöyle tasvir edilebilir: Çevreden, doğadan ham madde akımı vardır ve bunların atıkları tekrar doğaya döner.

<sup>2</sup> Uyarlanmış HGD modelinde iş piyasasındaki işsizlik gibi kullanılmayan üretim faktörleri modelde açıklanabilir.

değerler korunur ve kayıplar olmaz. Bu şart aynı zamanda “sıfır kar şartı” olarak bilinir ve ekonomideki tüm firmalar için geçerlidir. Benzer durumda hane halkıda gelirlerinin tamamını firmaların ürettiği malları almak için harcarlar fakat firmalar malların bir kısmını tasarruf edebilir. Bu şart “bütçe dengesi şartı”dır.

Ekonomideki tüm firmalar, hane halkları ve birimler için yukarıda bahsedilen üç şart sağlanırsa ekonomide *genel denge* olarak ifade edilir. HGD modeli fiyat çözümlemesi yapmak için bu üç şartı kullanır ve genel denge ile tutarlı olarak kaynakları tahsis eder.

HGD kullanımının faydası tutarlı olması, teori temelli yapıda olması ve değişik piyasalar arasındaki ekonomik ilişkiyi yakalayabilme yeteneği ve modelleyebilmesidir. Herhangi bir sektördeki firmanın üretim politikası piyasa dengesini, hem firma tarafından üretilen mal piyasasındaki dengeyi etkileyerek hem de diğer firmaların faktör talebini değiştirerek etkileyebilir. Sırasıyla talepteki ve çıktıdaki bu değişimler kademeli olarak diğer piyasalarda değişime sebep olur. Tek piyasaya yoğunlaşan kısmi denge yaklaşımında, bu bağlantılar kaybolduğu için tek firmanın üretim politikasının etkisi tamamıyla analiz edilemez.

İklim değişikliği politikalarının analizinde tüm birimleri ilgilendiren genel denge analizinin kullanılması özel bir öneme sahiptir. Ekonomide her tür faaliyette sera gazı emisyonu üretilir. Ayrıca büyük piyasa temelli iklim değişikliği politikalarının bazı sektörlerdeki ekonomik etkisi ekonomik etkisi daha çok olabilir. Verilen bir sektör üzerindeki etkisi doğrudan veya dolaylı olarak diğer sektörler ve ekonomideki diğer birimlere yayılabildiği için, kısmi denge modelinin HGD modeline göre kullanılabilirliğinin azalacağı aşıkardır.

Bununla birlikte HGD modelinin diğer modellere göre dezavantajları olabilir, fakat bu dezavantajları göz ardı ederek, birçok üstünlüğü de olduğu için analizimizde kullanacağız.

HGD modelinin en temel dezavantajı çözümlemede kalibrasyon sürecinin gerekliliğidir.<sup>3</sup> Öncelikle ekonomideki birimlerin teknolojileri ve üstünlükleri tanımlanarak fonksiyonel olarak ilişkilerinin genel formu tanımlanmalıdır. Çoğu HGD modelinde kısıtlanmış fonksiyon formu kullanıldığı için, elde edilen model sonuçlarını da sınırlayabilir (McKitrick, 1998).<sup>4</sup> HGD modelinde ekonomik birimlerin ilişkileri fonksiyonlar yardımıyla ifade edildiği için, bu ilişkiler sayısal olarak yazılmalıdır. Bu süreç her ikisi de model sonucunu etkileyebilen iki aşamalı bir süreçtir. Öncelikle modelin temelini oluşturan baz alınacak referans yılı veri seti alınmalıdır. Baz yılı ekonomide verilen yıldaki tüm işlemleri ve ekonomik ilişkileri modellemelidir. Referans yılının seçimi referans verileri fonksiyonel ilişkilerle bağlar. Bu referans veri seti ile modelin kurulumu tüm piyasalarda denge durumunu ifade ettiği varsayılır. Gerçekte ekonomi sürekli düzenlemeler ve uyum sürecindedir.

İkinci aşamada referans seçilen dengeden uzaklaşan ekonomik birimlerin esnekliğini ifade eden parametrelere kalibrasyon süreci gerekmektedir. Ampirik literatüre dayalı bu parametreler seçilirken, pratikte ampirik tahminler genelde uyarlanmış modele uyumlu değildir bu yüzden parametreler keyfi seçilebilir ve modelin sonuçlarına göre düzenlenebilir. Anahtar parametrelerin ampirik tahminleri mümkün olmasına rağmen, eski verilerden elde edilen benzer parametrelerin gelecekte de geçerliliğini koruyacağı garanti edilemez (Norton vd., 1998).

Kalibrasyona ilişkin konulara ek olarak özellikle iklim ve enerji politikaları bağlamında HGD modeli teknoloji ve teknolojideki değişimleri modelde nasıl temsil edeceği ile ilgili olarak eksik kalabilmektedir. HGD modelinde teknoloji üretim fonksiyonu aracılığıyla bir bütün ve standart olarak temsil edilir. Bu varsayım girdi ve çıktı arasındaki basit bir ilişkiyi ifade eder ve girdiler arasında ikame derecesini yakalamak için ikame esnekliğini kullanmak yerine belli teknoloji düzeyinin bir özetidir. Bu yaklaşımda birkaç sorun ortaya çıkabilir. İlk olarak, ekonomistler genellikle enerji ve iklim dışallıklarını çözüme konusunda ilk en iyi yaklaşım üzerinde hemfikir olmalarına rağmen, politik

<sup>3</sup> Bazı HGD modelleri kalibre edilmeden tahmin edilmektedir ve böylece eleştiri söz konusu olmamaktadır (McKitrick, 1998; Jorgenson and Wilcoxon, 1990). Bununla birlikte bu süreç modele uyarlanmış kalibrasyon sürecinden çok daha karmaşık yoğun veri çalışması gerektirmektedir.

<sup>4</sup> Kısıtlanmış fonksiyon formu olarak Cobb- Douglas fonksiyonu düşünülürse emek ve sermaye girdileri arasındaki ikame esnekliği 1’e eşit olmalıdır.

zorunluluklar genellikle karar vericileri sübvansiyon veya resmi yetki gibi teknoloji tabanlı politikalara zorlar. Bunun gibi politikaları üretim fonksiyonunu kullanarak ifade etmek zordur. İkinci olarak üretim fonksiyonu girdi miktarı ve nispi fiyatları arası ilişkiyi basitçe ifade eder. Bunlar nispi fiyat değişiminden kaynaklanan ani artışları yakalamada başarısızdır. Örnek olarak bir teknolojinin rekabete dayalı olmanın ötesinde “taşma noktası” na ulaşması gibi. Üçüncü olarak üretim fonksiyonu ekonomist olmayanlar için daima şeffaf değildir. Bu durum da model detaylarını politika yapıcılara anlatmayı zorlaştırır. Artan bu zorluklar HGD çalışanları teknoloji değişkeninin modelden ayrı tutmaya itmiştir (Böhringer, 1998).

Bu konuların yanı sıra bir başka zor konu HGD modellerinin karmaşık oluşudur. Ekonomik birimler ve çeşitli piyasalar arasındaki bağlantıları tam olarak tespit etmek ve sonuçlarını yorumlamak zor olabilmektedir. Bu yüzden HGD modelini eleştirenler modeli “kara kutu” (black boxes) olarak adlandırmışlardır. HGD modelini ve özelliklerini tespit etmenin zaman alıcı olduğunu belirtmiş, bilgisayar teknolojisindeki gelişmelerin sonuca ulaşmayı kolaylaştırırsa da çözümlenemeyen kısımların kara kutu olarak kaldığını ve yazarın sonuçları sezgisel olarak çoğu zaman açıklayamayacağını belirtmiştir (Sue-Wing, 2004’den aktaran Panagariya and Duttagupta, 2001).

Genel dengenin aksine, kısmi denge modelinde bazı değişkenlerdeki değişimin sebep olduğu sonuçlar kolayca tanımlanabilir, çünkü analiz edilen piyasa zaten diğer piyasalardan izoledir ve başlangıç denge koşulları sadece dışsal şoklarla bozulabilir. Bu bilgiler ifade eder ki sayede birbiriyle ilişkili piyasaların birbirleriyle olan gerçek bağlantılarını analiz etmek HGD modelinin bir güçlüğüdür. Bu yüzden HGD sonuçlarını yorumlarken bu zayıflıkları göz önünde tutmak gerekli olacaktır.

İlerleyen bölümde HGD modelinin bu zorluklarını daha iyi analiz etmek ve “kara kutu” olarak adlandırılan HGD’yi aydınlatılabilmek için iki sektörlü, iki mal üretilen basit bir ekonomide HGD analizi yapılacaktır. Bu basit ekonomi analizi sayesinde hem HGD analizi daha kolay anlaşılacak hem de ileride yapılacak çok sektörlü analiz için bir model olacaktır.

HGD anlatımında önce ekonomik birimlerin (firmalar ve hanehalkları) davranışları analiz edilecek ve ekonomik birimlerin davranışları toplam ekonominin genel dengesini nasıl etkilediği incelenecektir. Daha sonra modelimiz referans (Benchmark) dataya göre kalibre edilecek ve uyguladığımız ekonomik politika/senaryo sonuçları yorumlanacaktır.

## 2. Hesaplanabilir Genel Denge Modelinin Analizi ve İşlemleri<sup>5</sup>

Bu kısımda firmalar üretim için hangi girdileri seçtiği, tüketicilerin tüketmek için hangi malları seçtiğinin cebirsel hesaplamaları yapılacaktır. Hesaplamalar yapılırken birbirleriyle ilişkili olan firmaların, tüketicilerin ve piyasaların davranışlarına ilişkin varsayımlar verilecektir.

Analizlerimizde firmaların ve tüketicilerin seçim yaparken rasyonel davrandığını varsayıyoruz. Tüketicilerin tercihleri bütçe kısıtı altında hem faydalarını maksimum yapacak malları seçecek şekilde tamamlayıcıdır, hem de geçişkendir. Yani X malını Y malına, Y malını Z malına tercih ediyorsa, X malını Z malına tercih eder. Firmalarda karının maksimum yapacak şekilde girdi ve çıktı seçimi yaparlar (Mas-Colell vd., 1995). Tüketiciler daima bir üst fayda dilimini tercih etme eğiliminde olacaktır. Tüketicilerin gelirlerinde ve fiyatlarda aynı oranlarda artış olduğu zaman talebi değiştirmeyecektir (sıfır dereceden homojenlik şartı). İkinci varsayımımız piyasalar rekabetçidir yani her bir farklı malda tek bir fiyat geçerlidir ve tüketiciler ve üreticiler fiyatları sabit kabul eder. Üçüncü olarak firmalar ölçeğe göre sabit getiri ile üretim yapar. Yani girdiler iki kat artarsa çıktılar da iki kat artacaktır.

Sonraki kısımda ise basit bir HGD modeli kullanılarak, HGD modelinin oluşturulması kalibrasyonu ve çözümü yapılacaktır. Model HGD modellerinin anlaşılabilmesi amacıyla özellikle iki temsili üretici (firma) ve tüketici (hane halkı) seçilerek yapılmıştır. Analizde firmanın enerji yoğun ve enerji yoğun olmayan şekilde üretim yapması tanımlayarak, karbon vergisi uygulamalarının basit modellenmesi yapılacaktır. Kullandığımız basit model HGD’yi anlayabilmek için birçok kaynakta anlatılan giriş niteliğinde somut bir örneklem olup birçok denklem ve notasyon gerektiren HGD’nin minimize edilmiş şeklindedir.

<sup>5</sup> 2x2’lik modelin çözümlemesi Rivers (2011) ve Sayan (1994)’ten faydalanılarak yazarlar tarafından yapılmıştır.

## 2.1. Firmalar (Üreticiler)

Modelde firmalar hane halkının tüketeceği kadar girdileri ürüne dönüştüren ekonomik birimlerdir. Gerçek dünyada firmalar üretim için keyfi sayıda üretim faktörleri ve keyfi miktarlarda ara girdi kullanmakta ve nihai malı üretmektedir. Modelde her bir firmanın tek girdi ve üretim faktörü kullanarak tek mal ürettiği varsayılacaktır (Bu geleneksel HGD modellerinde de bu şekilde varsayılır). Analizimizde özel olarak firmanın üretim için işgücü ve sermaye kullandığını varsayıyoruz. Firmaların üretim miktarı ve üretim faktörleri arasındaki ilişkiyi Cobb–Douglas fonksiyonu yardımıyla tanımlarsak:

$$Q_X = T_X K_X^{\alpha_X} L_X^{1-\alpha_X} \quad (1.1)$$

Denklemden Q temsili X firmasının üretim miktarını,  $K_X$  firmanın kullandığı sermaye miktarını,  $L_X$  ise firmanın kullandığı işgücü miktarını vermektedir<sup>6</sup> ve denklemden  $\alpha_X$  ise parametredir. Analizimizde iki firma olduğunu ve farklı mallar ürettiğini varsayıyoruz. İkinci firma olan Y firması içinde üretim fonksiyonunu benzer şekilde yazabiliriz:

$$Q_Y = T_Y K_Y^{\alpha_Y} L_Y^{1-\alpha_Y} \quad (1.2)$$

Her bir firmanın girdi ve üretim miktarını belirlerken kar maksimizasyonu yaptığını varsayıyoruz. Ayrıca firmalarımız hiçbir girdi ve çıktı fiyatlarından etkilenmeyen çok sayıda küçük firmayı temsil etmektedir ve piyasa fiyatını değiştirememektedir yani fiyatı veri olarak almaktadır. Verilen bu varsayımlar altında firmaların talep edeceği girdi miktarını belirlemek mümkündür. X firmasının karı için gelirlerinden maliyetlerini çıkararak kar maksimizasyonunu yazarsak:

$$\pi = P_X Q_X - (w \cdot L_X + r \cdot K_X) \quad (1.3)$$

Burada  $P_X$ ; firmanın X malının fiyatını,  $w$  firmaların işgücüne ödenen ücreti,  $r$  firmaların sermaye kullanımı için ödediği kira miktarını belirtir. Denklem (1.3)’te  $Q_X$  yerine denklem (1.1)’deki değeri yazılırsa:

$$\pi = P_X T_X K_X^{\alpha_X} L_X^{1-\alpha_X} - (w \cdot L_X + r \cdot K_X) \quad (1.4)$$

Denklemin elde edilir. Kar maksimizasyonu için firmanın kar denkleminin  $K_X$  ve  $L_X$ ’e göre türevleri alınarak sıfıra (0) eşitlenirse:

$$\frac{\partial \pi}{\partial K_X} = \alpha_X P_X T_X K_X^{\alpha_X - 1} L_X^{1-\alpha_X} - r = 0 \quad (1.5)$$

Denklem (1.5)’in her iki tarafı  $K_X$  ile çarpılıp bölünürse ve  $r$  denklemden elde edilirse:

$$\frac{\alpha_X P_X T_X K_X^{\alpha_X} L_X^{1-\alpha_X}}{K_X} = r \quad (1.6)$$

bulunur. Benzer şekilde denklem (1.4)’ün  $L_X$ ’e göre türevi alınarak sıfıra eşitlenirse:

$$\frac{\partial \pi}{\partial L_X} = (1 - \alpha_X) P_X T_X K_X^{\alpha_X} L_X^{-\alpha_X} - w = 0 \quad (1.7)$$

Denklem (1.7)’in her iki tarafı  $L_X$  ile çarpılıp bölünürse ve  $w$  denklemden elde edilirse:

$$\frac{(1 - \alpha_X) P_X T_X K_X^{\alpha_X} L_X^{1-\alpha_X}}{L_X} = w \quad (1.8)$$

bulunur. Denklem (1.6) ve (1.8) oranlanırsa:

$$\frac{\alpha_X L_X}{(1 - \alpha_X) K_X} = \frac{r}{w} \quad (1.9)$$

bulunur ve bu oran işgücü ve sermaye arasındaki Marjinal Teknik İkame Oranı –MTİO- (Marginal Rate of Technical Substitution – MRTS) verir ve bu oran girdi fiyatlarını oranına eşittir. Denklem (1.1)’i  $Q_X = T_X K_X^{\alpha_X} \frac{L_X}{L_X^{\alpha_X}}$  şeklinde ifade eder ve işgücünün sermayeye oranı bulunursa:

$$\left( \frac{L_X}{K_X} \right)^{\alpha_X} = \frac{T_X L_X}{Q_X} \quad (1.10)$$

bulunur ve bu ifade denklem (1.9)’da yazılırsa:

$$K_X = \frac{Q_X}{T_X \left( \frac{r(1-\alpha_X)}{w\alpha} \right)^{1-\alpha_X}} \quad (1.11)$$

bulunur ve bu ifade firmanın sermaye talebidir. Benzer şekilde firmanın işgücü talebi elde edilirse:

$$L_X = \frac{Q_X}{T_X \left( \frac{w\alpha}{r(1-\alpha_X)} \right)^{\alpha_X}} \quad (1.12)$$

elde edilebilir. Aynı yöntem uygulanarak Y firmasının da işgücü ve sermaye talebi de elde edilebilir.

<sup>6</sup>  $L_X$  VE  $K_X$  firmaların kar maksimizasyonu için seçtiği üretim faktörleridir.

## 2.2. Hane Halkı (Tüketiciler)

Modelde hane halkı firmaların ürettiği iki farklı malı tercih ederek faydasını maksimize eden ekonomik birimdir. Hane halkının fayda fonksiyonunu iki mal bileşimi ile CES (constant elasticity of substitution) fonksiyonu yardımıyla ifade edersek:

$$U = (\gamma Q_X^\beta + (1 - \gamma)Q_Y^\beta)^{\frac{1}{\beta}} \quad (1.13)$$

Denklemden  $\gamma$  paylaştırma/dağıtma parametresidir.  $Q_X$  ve  $Q_Y$  hane halkının tüketeceği iki malın miktarıdır.  $\sigma = 1/(1-\beta)$  eşitliği X ve Y mallarının tüketiminin ikame esnekliğidir. Hane halkının verilen B bütçe kısıtı altında iki malı seçerek faydasını maksimize edeceği varsayılır. Bütçe denklemini yazarsak:

$$P_X Q_X + P_Y Q_Y = B \quad (1.14)$$

Burada  $P_X$  ve  $P_Y$  sırasıyla  $Q_X$  ve  $Q_Y$  malının fiyatını ifade etmektedir. Denklem (1.14)'ten  $Q_Y$  çekilirse:  $Q_Y = \frac{B - P_X Q_X}{P_Y}$  elde edilir. Bu ifade fayda fonksiyonunda (denklem (1.13)) yazılırsa:

$$U = (\gamma Q_X^\beta + (1 - \gamma) \left( \frac{B - P_X Q_X}{P_Y} \right)^\beta)^{\frac{1}{\beta}} \quad (1.15)$$

Elde edilir. Fayda maksimizasyonu için fayda fonksiyonunun türevi alınarak sıfıra eşitlenerek işlemler yapılırsa:

$$\frac{\gamma Q_Y^{\frac{1}{\sigma}}}{(1-\gamma)Q_X^{\frac{1}{\sigma}}} = \frac{P_X}{P_Y} \quad (1.16)$$

bulunur ve bu oran hane halkının tükettiği iki malın Marjinal İkame Oranını –MİO- (Marginal Rate of Substitution – MRS) verir ve bu oran malların fiyatları oranına eşittir. Denklem (1.14) ve (1.16) kullanılarak hane halkının X ve Y malına olan talepleri elde edilebilir.

$$Q_X = \frac{B}{P_X + P_Y \left[ \frac{\gamma P_Y}{(1-\gamma)P_X} \right]^{\frac{1}{\sigma-1}}} \quad (1.17)$$

$$Q_Y = \frac{B}{P_Y + P_X \left[ \frac{(1-\gamma)P_X}{\gamma P_Y} \right]^{\frac{1}{\sigma-1}}} \quad (1.18)$$

## 3. HGD Denklemlerinin Topluca Yazılması ve Varsayımlar

Ekonominin tümünün modellenmesi ve ekonomide genel denge kavramının ifade edilebilmesi için oluşturulan denklemler bir araya getirilerek çözülmelidir. Şimdiye kadar firmalar ve hane halkları için denklemleri elde ettik. Fayda ve kar maksimizasyonları şartlarıyla denge için her bir piyasada arz edilen miktar talep edilen miktara eşit olmalıdır.

Örnek modelimizde dengeye ulaşması gereken dört piyasa vardır. Bunlar: X malı piyasası, Y malı piyasası, işgücü ve sermaye piyasasıdır. X malı için piyasası için arz denklemi (1.1) ve talep denklemi (1.17)'dir. Y malı piyasası için arz denklemi (1.2) ve talep denklemi (1.18)'dir.

Modelimizde işgücü arzının sabit ve L olduğunu varsayıyoruz. İşgücü piyasası için “market clearance” (piyasanın dengelenmesi)  $L = L_X + L_Y$  ile ifade edilebilir. Burada  $L_X$  ve  $L_Y$  denklem (1.12)'de tanımlanan işgücü arzıdır (firmaların işgücü talebidir). Benzer şekilde sermaye arzının sabit ve K olduğunu varsayıyoruz. Sermaye piyasası için “market clearance” (piyasanın dengelenmesi)  $K = K_X + K_Y$  ile ifade edilebilir. Burada  $K_X$  ve  $K_Y$  denklem (1.11)'de tanımlanan sermaye arzıdır (firmaların sermaye talebidir).

Ekonomide denge için firmaların sıfır kar şartı sağlanmalıdır (Hiçbir sektör pozitif kar elde etmemelidir). Eğer bir sektör pozitif kar elde ederse, başka firmalar hemen bu sektöre girecek, üretimi arttıracak, fiyatları aşağı çekecek ve sıfır kar şartı sağlanacaktır.<sup>7</sup>

İki sektörlü modelimizde X ve Y sektörleri sıfır kar şartının sağlamalıdır. Kar firmaların gelirlerinden maliyetlerinin çıkarılmasıyla elde edilir. Pozitif olmayan kar maliyetlerin en azından gelirler kadar olmasıdır. Her bir sektör için maliyetleri denklem (1.11) ve (1.12)'de verilen sermaye ve işgücü maliyetleri ve üretim maliyetleri, gelirleri ise toplam üretim ve üretimden elde edilen gelirler oluşturur.

<sup>7</sup> Market clearance (piyasaların dengelenmesi) şartı aslında burada ifade edilen sıfır kar şartı'dır.

Modelimizde ayrıca tüketiciler denge şartı için bütçelerinin tümünü firmaların ürettiği malları almak için harcamalıdır. Denklem (1.14)’te hane halkının bütçe denklemi verilmişti. Hane halkının firmalar işgücü ve sermaye verdiği düşünülerek bütçe denklemi şu şekilde tekrar yazılabilir:

$$B = r.K + w.L \quad (1.19)$$

Modelimizde dengeyi iki özelliği önemlidir. Öncelikle denklem sistemi fiyatlara göre lineer (doğrusal) ve homojendir. Genel denge modeli çözümünde fiyatlar referans dataya (Benchmark) göre sabittir ve çeşitli simülasyonlarla fiyat değişimlerinin genel denge üzerindeki etkisi bu fiyatlar baz alınarak izlenebilir. Değişkenlerden herhangi biride modelde sabit alınabilir, örneğin hane halkının geliri sabit alınabilir. Modelde  $P_X$  olarak elektrik kullanılmadan üretilen mal fiyatı olarak alınmıştır ve sabittir. Aşağıdaki denklemlerde  $P_X$  fiyatı şapka işareti ile belirtilmiştir.

Aşağıda modelde kullanılan tüm denklemler verilmiştir. Modelde 6 (altı) denklem ve 6 bilinmeyen vardır. Diğer bölümde modelin kalibrasyonu ve çözümü yapılacaktır.

İşgücü için Piyasanın Dengelenmesi (market clearance) ( $w$ )

$$L \geq \frac{Q_X}{T_X \left( \frac{w\alpha_X}{r(1-\alpha_X)} \right)^{\alpha_X}} + \frac{Q_Y}{T_Y \left( \frac{w\alpha_Y}{r(1-\alpha_Y)} \right)^{\alpha_Y}}$$

Sermaye için Piyasanın Dengelenmesi (market clearance) ( $r$ )

$$K \geq \frac{Q_X}{T_X \left( \frac{r(1-\alpha_X)}{w\alpha_X} \right)^{1-\alpha_X}} + \frac{Q_Y}{T_Y \left( \frac{r(1-\alpha_Y)}{w\alpha_Y} \right)^{1-\alpha_Y}}$$

Y malı için Piyasanın Dengelenmesi (market clearance) ( $P_Y$ )

$$Q_Y \geq \frac{B}{P_Y + \hat{P}_X \left[ \frac{\gamma P_Y}{(1-\gamma)\hat{P}_X} \right]^{\sigma-1}}$$

X malı için sıfır kar şartı (X)

$$\hat{P}_X \leq \frac{w}{T_X \left( \frac{w\alpha_X}{r(1-\alpha_X)} \right)^{\alpha_X}} + \frac{r}{T_X \left( \frac{r(1-\alpha_X)}{w\alpha_X} \right)^{1-\alpha_X}}$$

Y malı için sıfır kar şartı (Y)

$$P_Y \leq \frac{w}{T_Y \left( \frac{w\alpha_Y}{r(1-\alpha_Y)} \right)^{\alpha_Y}} + \frac{r}{T_Y \left( \frac{r(1-\alpha_Y)}{w\alpha_Y} \right)^{1-\alpha_Y}}$$

Tüketicinin geliri

$$B = rK + wL$$

Modelde bilinmeyenler:  $Q_X, Q_Y, P_Y, w, r, B$

#### 4. HGD Modelinin Kalibrasyonu

Ekonomideki farklı birimlerin davranışlarını analiz etmeye yardımcı olan denklemler uygulamalı politika analizinde kullanılmadan önce, ilk olarak parametre şeklinde ifade edilmelidir. Modelin parametreleştirilmesi genellikle ekonomide dengeyi temsil ettiği varsayılan referans (Benchmark) data setine göre yapılır. Sosyal Hesaplamalar Matrisi (SHM) (Social Accounting Matrix SAM), HGD modelinin temelini oluşturan datayı tanımlamada oldukça kolaylık sağlar. Tablo 1’de modelimizdeki sektör sayılarıyla uyumlu bir SHM verilmiştir. Tablodaki değerler 2002 yılı Türkiye’deki değerleri temsil etmektedir. Tablo 1’de Y enerji yoğun sektörleri, X diğer tüm sektörleri ve H tüm nihai talebi temsil etmektedir.

**Tablo 1: Model İçin Benchmark (Referans) Sosyal Hesaplamalar Matrisi**

	$Q_X$	$Q_Y$	H
$Q_X$	-	-	235,999,827
$Q_Y$	-	-	79,867,277
K	165,243,883	58,192,128	-
L	70,755,944	21,675,149	-

**Not:** Tablodaki değerler bin TL cinsindedir.

SHM’nin sütun girdileri, sütundaki değerlerin satırdaki değerlere (sektörlere) ödendiğini, satırları ise sütundaki değerlerden satırdakilerin kazanımlarını temsil eder. SHM’nin ilk satırı, referans alınan yılda (Benchmark) hane halkının 235,999,827 bin TL X malına harcama yaptığını ve ikinci satır ise hane halkının 79,867,277 bin TL Y malına harcama yaptığını gösterir. Üçüncü satırda X sektörünün 165,243,883 bin TL sermaye malı kullandığını Y sektörünün ise 58,192,128 bin TL sermaye malı

kullandığını gösterir. Son satırda ise X sektörünün 70,755,944 bin TL değerinde işgücü kullandığını Y sektörünün ise 21,675,149 bin TL değerinde işgücü kullandığını gösterir.

SHM ekonominin denge durumundaki belirlenmiş arz talep dengesini sağlar. SHM'nden ilk olarak her malın talebi arzına eşit olduğu görülebilir. Örnek olarak 235,999,827 bin TL X malı üretilmiştir ve aynı miktar X malı tüketilmiştir.<sup>8</sup> İkinci olarak dengede her sektör sıfır kardadır. Örneğin Y sektörü 79,867,277 bin TL gelir üretmiştir ve bu gelirin tamamını sermaye ve işgücü için harcamıştır. Son olarak hane halkının bütçesi dengededir yani sermaye ve işgücünden elde ettiği gelir gelir 315,867,104 bin TL'dir ve bu miktar toplam harcamasına eşittir.

SHM'ndeki girdi miktarları fiyatıyla çarpılarak değeri elde edilir. HGD modelinin kalibrasyonu, miktarların ayrı ayrı tanımlanabilmesi için her bir mala ait fiyat seçmeyi gerektirir. Kullandığımız gibi basit bir ekonomik modelde (vergiler olmaksızın) tüm fiyatlar benchmark data setinde isteğe bağlı olarak bire (1) eşitlenebilir. Referans (Benchmark) fiyat seçimi model çözümünü değiştirmez. Fiyatı bire (1) eşitlemek SHM'ndeki girdilerin hem değer hem de miktar ile uyumlu olduğunu gösterir. Örneğin hane halkı birimi bir TL olan X malının (1TL) 235,999,827 birimi tüketmiştir.

Verilen referans (benchmark) miktar ve fiyatlar ile denklemlerdeki bilinmeyen parametreler bulunabilir. Modelimizin ilk şartı olan firmaların kar maksimizasyonunu ifade eden denklem (1.9) kullanılarak  $\alpha$  parametresi bulunabilir. Örnek olarak X sektöründeki referans (benchmark)

$$\frac{\alpha_X L_X}{(1-\alpha_X)K_X} = \frac{r}{w} \Rightarrow \frac{70,755,944 \alpha_X}{165,243,883 (1-\alpha_X)} = 1 \quad (1.20)$$

Denklem çözülürse  $\alpha_X=0.700$  bulunur. Bu değer denklem (1.1)'de yazılırsa

$$Q_X = T_X K_X^{\alpha_X} L_X^{1-\alpha_X} \Rightarrow 235,999,827 = T_X 165,243,883^{0.700} 70,755,944^{1-0.700} \quad \text{denklem çözülürse}$$

$T_X=3.530$  bulunur. Aynı hesaplamalar Y sektörü içinde yapılırsa  $\alpha_Y=0.728$  ve  $T_Y=4.343$  elde edilir.

Hane halkı için ikame esnekliği belirlenmelidir. Modelimizde firmaların teknolojileri için ikame esnekliği Cobb – Douglas fonksiyonu formuyla belirlenmiştir. Genel olarak ikame esnekliği literatüre paralel olarak seçilir. Modelimizde  $\sigma=0.5$  ve  $\sigma=1/(1-\beta)$  eşitliğinden  $\beta=-1$  elde edilir. Denklem (1.16) kullanılarak  $\gamma$  değeri hesaplanırsa

$$\frac{\gamma Y^{\frac{1}{\sigma}}}{(1-\gamma)X^{\frac{1}{\sigma}}} = \frac{P_X}{P_Y} \Rightarrow \frac{\gamma 79,867,277^{\frac{1}{0.5}}}{(1-\gamma)235,999,827^{\frac{1}{0.5}}} = \frac{P_X}{P_Y}$$

Denklemi çözülürse  $\gamma = 0.897$  elde edilir. Bulduğumuz ikame esnekliklerini ve referans (benchmark) toplam işgücü talebi  $L=92,431,093$  ve toplam sermaye talebi  $K=223,436,010$  değerlerini kullanırsak, ekonominin tüm davranışlarını aşağıdaki denklem sistemi ile parametreler yardımıyla yansıtabiliriz.

İşgücü için Piyasanın Dengelenmesi (market clearance) (w)

$$92,431,093 \geq \frac{Q_X}{3.530 \left(\frac{0.700w}{0.300r}\right)^{0.700}} + \frac{Q_Y}{4.343 \left(\frac{0.728w}{0.272r}\right)^{0.728}}$$

Sermaye için Piyasanın Dengelenmesi (market clearance) (r)

$$223,436,010 \geq \frac{Q_X}{3.530 \left(\frac{0.300r}{0.700w}\right)^{0.300}} + \frac{Q_Y}{4.343 \left(\frac{0.272r}{0.728w}\right)^{0.272}}$$

Y malı için Piyasanın Dengelenmesi (market clearance) ( $P_Y$ )

$$Q_Y \geq \frac{B}{P_Y + \hat{P}_X \left[ \frac{0.897 P_Y}{(0.103 \hat{P}_X)} \right]^{0.845}}$$

X malı için sıfır kar şartı (X)

$$\hat{P}_X \leq \frac{w}{3.530 \left(\frac{0.700w}{0.300r}\right)^{0.700}} + \frac{r}{3.530 \left(\frac{0.300r}{0.700w}\right)^{0.300}}$$

Y malı için sıfır kar şartı (Y)

$$P_Y \leq \frac{w}{4.343 \left(\frac{0.728w}{0.272r}\right)^{0.728}} + \frac{r}{4.343 \left(\frac{0.272r}{0.728w}\right)^{0.272}}$$

<sup>8</sup> Firma X malı için  $K+L=165,243,883+70,755,944=235,999,827$  bin TL faktör kullanır ve hane halkının X malı nihai, talebi 235,999,827 bin TL'dir.



Tüketicinin geliri (B)

$$B = 223,436,010r + 92,431,093w$$

### 5. HGD Modelinin Çözümü

Modelimiz basit ve sadece iki sektörlü olmasına rağmen analitik çözüm gerektirir, çok sektörlü ve daha karmaşık modellerde nümerik çözümlene gerekmektedir. Modelin çözümlenmesi şu şekilde yapılır: ilk olarak değişkenlerin her biri için başlangıç değeri seçilmelidir. İkinci olarak her bir piyasa için talep fazlası belirlenmelidir. X, Y, K, L olmak üzere dört piyasamız vardır ve talep fazlası bu piyasaların her birindeki arz edilen miktardan talep edilen miktar çıkarılarak bulunur. Örnek olarak Y malı için talep fazlası fonksiyonu:

$$\Delta P_Y = \frac{B}{P_Y + \hat{P}_X \left[ \frac{0.897P_Y}{0.103\hat{P}_X} \right]^{0.845}} - Q_Y \quad (1.20)$$

Talep fazlası fonksiyonuna ek olarak aşırı kar fonksiyonu belirlenmelidir. Aşırı kar durumu olabilecek iki firma vardır. Aşırı kar bir birimlik gelirin maliyeti aşması olarak tanımlanabilir. X firması için aşırı kar fonksiyonu:

$$\Delta Q_X = \hat{P}_X - \frac{w}{3.530 \left( \frac{0.700w}{0.300r} \right)^{0.700}} - \frac{r}{3.530 \left( \frac{0.300r}{0.700w} \right)^{0.300}} \quad (1.21)$$

Son olarak; müşterilerin (hane halkının) aşırı gelirleri faktör gelirlerinden harcamalarının çıkarılmasıyla bulunabilir, bunu denklem olarak ifade edersek;

$$\Delta B = 92,431,093w + 223,436,010r - B \quad (1.22)$$

Ekonomi denge durumunda iken, mallar için aşırı talep yoktur, aşırı kar ve tüketiciler için aşırı gelir yoktur. Bu yüzden genel denge modelinin çözümünde denklem (1.20), (1.21), (1.22) için minimizasyon sağlanmalıdır. Denklemlerde aşırı kar, aşırı talep, aşırı gelir  $\Delta$  sembolü ile belirtilmiştir. Minimizasyon problemi fiyatlar ( $p=[P_Y, w, r]$ ), üretim düzeyi ( $q=[Q_X, Q_Y]$ ) veya gelirden ( $\Delta(p, q, B)=0$ ) herhangi biri seçilerek ifade edilebilir.

Bu minimizasyon problemi matematik tabanlı programlar yardımıyla çözülebilir. Çözümde süreci fiyatlar ile aşırı talep arasında, üretim düzeyi ve aşırı kar arasında tamamlayıcılık ilişkisi gerektirdiği için sınır çözümlenmesi yapılmalıdır. Örnek olarak fiyatlar ve aşırı talep arasındaki tamamlayıcılık ilişkisi şunu ifade eder; fiyatlar pozitif iken aşırı talep sıfır olmalıdır fakat fiyatlar sıfır iken aşırı talep negatif olmalıdır. Bu problemin çözümü için GAMS (General Algebraic Modeling System) programı ve Rutherford (1995) tarafından geliştirilen ve bu programın alt sistemi olan ve MPSGE (*Mathematical Programming System For General Equilibrium Analysis*) kullanılacaktır.

### 6. Politika (Senaryo) Analizi Örneği

HGD modelini yorumlamak ve senaryo uygulaması için çalıştığımız basit modeli kullanacağız. Senaryo uygulaması olarak Y malı (enerji kullanılan sektör) üzerine vergi koyalım. Tüketicinin Y malına ödediği ücret ile üreticinin aldığı fiyat arasında vergi koyalım. Sonuç olarak denklem üzerinde biraz manipülasyon yaparak vergiyi uygulayabiliriz. Öncelikle üreticiler için Y malının fiyatı  $P_Y$ , tüketiciler için ise fiyatın  $P_Y(1+D_Y)$  olduğunu varsayalım. Burada  $D_Y$  vergi oranıdır. Tüketici fiyatları Y malının talebini belirlemede kullanılır. Devlet (modelde açıkça belirtilmemiştir.) tarafından toplanan vergi uygulayarak geliri arttırdığı ve artan geliri tüketicilere iade ettiğini varsayalım. Sonuç olarak tüketicilerin gelir fonksiyonu  $P_Y Q_Y D_Y$  miktarında geliri içerecek şekilde düzenlenmelidir. Denklemlerdeki bu düzenlemeler aşağıda verilmiştir.

İşgücü için Piyasanın Dengelenmesi (market clearance) (w)

$$92,431,093 \geq \frac{Q_X}{3.530 \left( \frac{0.700w}{0.300r} \right)^{0.700}} + \frac{Q_Y}{4.343 \left( \frac{0.728w}{0.272r} \right)^{0.728}}$$

Sermaye için Piyasanın Dengelenmesi (market clearance) (r)

$$223,436,010 \geq \frac{Q_X}{3.530 \left( \frac{0.300r}{0.700w} \right)^{0.300}} + \frac{Q_Y}{4.343 \left( \frac{0.272r}{0.728w} \right)^{0.272}}$$

Y malı için Piyasanın Dengelenmesi (market clearance) ( $P_Y$ )

$$Q_Y \geq \frac{B}{P_Y(1 + D_Y) + \hat{P}_X \left[ \frac{0.897P_Y(1 + D_Y)}{(0.103\hat{P}_X)} \right]^{0.845}}$$

$$X \text{ malı için sıfır kar şartı (X)} \quad \hat{P}_X \leq \frac{w}{3.530 \left( \frac{0.700w}{0.300r} \right)^{0.700}} + \frac{r}{3.530 \left( \frac{0.300r}{0.700w} \right)^{0.300}}$$

$$Y \text{ malı için sıfır kar şartı (Y)} \quad P_Y \leq \frac{w}{4.343 \left( \frac{0.728w}{0.272r} \right)^{0.728}} + \frac{r}{4.343 \left( \frac{0.272r}{0.728w} \right)^{0.272}}$$

$$\text{Tüketicinin geliri (B)} \quad B = 223,436,010r + 92,431,093w + D_Y P_Y Q_Y$$

Modelde kullanılan GAMS kodları genellikle kullandığımız denklemlerin programa uyarlamasıdır ve kolayca yorumlanabilir. Model yazıldığı zaman tamamlayıcı değişkenler her bir denkleme karşılık gelen tamamlayıcı değişkenler takip eden periyotlarda listelenir.

Enerji kullanılan Y malının tüketiminde vergi uygulaması senaryomuzda modellenmiştir. Sekiz farklı vergi oranı ve verginin kullanılmadığı durumun sonuçları Tablo 2.'de gösterilmiştir. Beklenildiği gibi Y malının tüketim üzerindeki vergi uygulaması hem Y malının üretimini azaltmış hem de refahı azaltmıştır. Örnek olarak % 25'lik vergi uygulaması Y malının üretimini 210,710,000'dan 194,120,000'a düşürmüştür, refahta da yüzde 0.248'lik azalma olmuştur. Y malının tüketiminde, vergi oranlarındaki artışların etkisi yüksek vergi oranlarında nispeten daha az olmuştur. Çünkü Y malının marjinal faydası, daha düşük tüketim düzeyinde daha fazladır.

**Tablo 2: 2X2 HGD Modelinin Sonuçları**

Vergi Oranı (%)	Q <sub>X</sub>	Q <sub>Y</sub>	w/r	Refah Kaybı (%)	B (Bütçe)
0	438.880.000	210.710.000	1.000	0	605.820.000
10	444.580.000	203.520.000	0.997	-0.045	621.930.000
20	449.680.000	197.090.000	0.998	-0.165	637.030.000
25	452.030.000	194.120.000	0.998	-0.248	644.250.000
30	454.270.000	191.300.000	0.999	-0.297	651.260.000
40	458.440.000	186.030.000	1.000	-0.399	664.740.000
50	462.250.000	181.220.000	1.001	-0.571	677.570.000
60	465.750.000	176.800.000	1.002	-0.281	689.820.000
70	468.990.000	172.710.000	1.003	-0.583	701.550.000

**Not:** w/r işgücü ücretinin sermaye ücretine oranıdır. Refah kaybı CES fonksiyonu kullanılarak hesaplanmıştır.

Tablo 2'den izlenebileceği gibi, vergi uygulamasıyla birlikte Y malının tüketimindeki azalmalar X malının nispi fiyatı Y malına göre daha düşük kaldığı için X malının tüketimindeki artışlar ile dengelenmiştir. Vergi oranının %70 olduğu senaryoda, üretiminde enerjinin yoğun kullanıldığı Y malının tüketimindeki yaklaşık %22'lik azalış (210,710,000'dan 172,710,000'e düşmüştür) ve % 0.583'lük refah kaybına sebep olmuştur. Senaryo uyguladığımız model 2x2 olmasına rağmen analiz bakımından diğer modellerle benzerdir. Son olarak Tablo 2.'den ücret oranlarındaki değişimler modelde sermaye artışı olarak dönüyor. Vergiler seviyesi arttıkça ücret oranı artmakta ve bu artış sermayeye yansımaktadır. Tablo 2'den Y sektörünün X sektörüne göre sermaye yoğun mal olduğu, Y malındaki vergi artışının üretimini azalttığı ve böylece sermaye talebinin azaldığı görülmüştür. Üretim faktörlerinin nispi gelirleri verginin etkisini belirlemede önemlidir. Benzer tüketim örnekleri uygulayarak enerji tüketimindeki vergilerin sonucu olarak sermaye sahiplerin işçilere göre daha fazla etkilenme eğiliminde olduğu söylenebilir. Bu çalışmamızdaki önemli sonuçlardan biridir.

## SONUÇ

Bu çalışmada, Türkiye'de enerji yoğun sektörler üzerine uygulanan karbon vergilerinin GSYİH üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla, TÜİK tarafından en son yayınlanan ve 59 sektörden oluşan 2002 yılı Girdi-Çıktı tablosu kullanılarak sektörler, enerji yoğun olan ve enerji yoğun olmayan sektörler olarak sınıflandırılmıştır. Karbon vergilerinin etkileri Genel Denge analizi yardımıyla incelenmiş ve analiz GAMS programı yardımıyla yapılmıştır.

Analiz sonuçlarına göre enerji yoğun sektörler üzerine uygulanan karbon vergilerinin GSYİH üzerinde olumsuz etkisinin olduğu görülmüştür. Örnek olarak %10'luk vergi uygulaması %0.045 oranında refah kaybına sebep olurken, %25'lik vergi uygulaması %0.248 oranında refah kaybına sebep olmaktadır. Sırasıyla %30, %40 ve %50'lik vergi oranlarının refah üzerindeki azaltıcı etkileri, %0,297, %0,399 ve %0.571'dir. Karbon vergisi uygulamalarının GSYİH üzerinde negatif etkilerinin olduğu dikkate alınır,

emisyona azaltımında emisyon ticareti gibi farklı araçların kullanılması refah kaybını daha düşük seviyelere çekebilecektir.

Analizde ayrıca vergi uygulamaların, vergi uygulanan sektörün ürünlerine olan talebi azalttığı, diğer sektöre olan talebi ise arttırdığı görülmüştür. Vergi uygulamasının refah üzerindeki etkileri, vergi oranının yüksek olduğu durumda daha az, vergi oranının düşük olduğu durumda ise nispeten daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu sonuca göre vergi uygulanan sektörün ürünlerinin marjinal faydasının, daha düşük tüketim düzeyinde daha fazla olduğu ifade edilebilir.

Analizde, Genel Denge analizinin bir uygulaması olarak 59 sektör olarak sınıflandırılan Türkiye Ekonomisi, enerji yoğun olan ve enerji yoğun olmayan sektörler olmak üzere incelenmiştir. Analizin daha sağlıklı sonuçlar vermesi için daha sonraki çalışmalarda sektör sayısı artırılarak yeni analizler yapılması daha uygun olacaktır.

#### **KAYNAKÇA**

Arrow, K. J. (1974), “General Economic Equilibrium: Purpose, Analytic Techniques, Collective Choice,” *The American Economic Review*, June 1974, 253-272.

Arrow, K. J, G. Debreu (1954), “Existence of An Equilibrium for A Competitive Economy,” *Econometrica* 22, 265-290.

Aydın, L. (2007), “Enerji Politikalarının Türkiye Ekonomisi Üzerine Etkileri: Türkiye İçin Genel Denge Analizi”, Ankara Üniversitesi Sosyal Bil. Ens. Yayınlanmamış Doktora Tezi, Ankara, 8-13.

Böhringer, C. (1998), “The Synthesis of Bottom-up and Top-down in Energy Policy Modeling”, *Energy Economics*, 20(3), 233-248.

Bulutay, T. (1979), Genel Denge Kuramı, Ankara: Ankara Üniversitesi Siyasal Bilgiler Fakültesi Yayınları No:434.

Derviş, K., J. De Melo ve S. Robinson (1982), *General Equilibrium Models for Development Policy*, Cambridge University Press, Cambridge.

Gale, D. (1955) “The Law of Supply And Demand,” *Mathematica Scandivica*, Vol: 3, ss: 155-169.

Jorgenson, D. and P. Wilcoxon (1990), “Environmental Regulation and Us Economic Growth”, *The Rand Journal of Economics*, 21(2), 314-340.

Koutsoyiannis, A. (1997), *Modern Mikro İktisat*, Gazi Kitabevi, Çev: Muzaffer Sarımeşeli, Ankara.

Köse, A. H. ve E. Yeldan (1996), “Çok Sektörlü Hesaplanabilir Genel Denge Modellerinin Veri Tabanı Üzerine Notlar: Türkiye 1990 Sosyal Hesaplamalar Matrisi”, *ODTÜ Gelişme Dergisi*, 23(1), 59-60.

Mas-Colell, A., M. Whinston, and J. Green (1995), *Microeconomic Theory*, Oxford University Press New York.

McKenzie, L. (1954) “On Equilibrium in Graham’s Model of World Trade And Other Competitive Systems,” *Econometrica*, 22, 147-161.

McKittrick, R. (1998), “The Econometric Critique of Computable General Equilibrium Modelling: The Role of Functional Forms”, *Economic Modelling*, 15(4), 543-573.

Neumann, J. V. (1946) “A Model of General Economic Equilibrium,” *Review of Economic Studies*, Vol: 13, ss: 1-9.

- Norton, B., R. Costanza, and R. Bishop (1998), "The Evolution of Preferences: Why Sovereign' preferences May Not Lead to Sustainable Policies and What to Do About It", *Ecological Economics*, 24(2-3), 193-211.
- Panagariya, A. and R. Dutttagupta R (2001) "The Gains From Preferential Trade Liberalization In The CGE Models", *Regionalism and Globalization: Theory Andpractice*, 39.
- Rivers, N. (2011), "Modelling Climate Change Policy: Adderssing the Challanges of Policy Effectiveness and Political Acceptability", Simon Fraser University, Ph. D. Thesis, 29 March 2011, 20-42.
- Rutherford, T.(1995), "Extension of Gams for Complementarity Problems Arising in Applied Economic Analysis", *Journal of Economic Dynamics and Control*, 19(8), 1299-1324.
- Sayan, S. (1994), "An Analysis of the Effect of Changes in Saving Rates Using Neoclasical CGE Models:Lessons From Analytical Solutions To Simple Two-Sector Models with Endogenous Interest Rates", Bilkent University Discussion Paper, No:94-11, 1-16.
- Scarf, H. (1990), "Mathematical Programming and Economic Theory," Cowles Foundation Paper, 763, 377-385.
- Sue-Wing, I. (2004), "Computable General Equilibrium Models And Their Use In Economy-Wide Policy Analysis", Technical Report 6, MIT Joint Program on Science and Policy of Global Change.
- Ünlükaplan, İ. (2006), "Kamu Borçlanması ve Nesiller Arası Yük Sorunu", Çukurova Üniversitesi Sosyal Bil. Ens. Yayınlanmamış Doktora Tezi, Adana, 37-69.
- Wald, A. (1951) "On Some Systems of Equations of Mathematical Economics," *Econometrica*, Volume: 19(4), ss.368-403.
- [http://www.tuik.gov.tr/AltKategori.do?ust\\_id=16](http://www.tuik.gov.tr/AltKategori.do?ust_id=16), (Erişim: 03.010.2012).