

SÜRDÜRÜLEBİLİR TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİNDE KARBON SALINIMININ SOSYAL MALİYETİNİ DİKKATE ALAN BİR MODEL ÖNERİSİ: BİR MERMER İŞLETMESİ ÖRNEĞİ

Bilal ŞİŞMAN¹

Özet

Çalışma, tedarikçileri, üretim tesisi ve dağıtım merkezleri olan bir mermer işletmesinde sürdürülebilir tedarik zinciri ağında karbon salınımından kaynaklanan sosyal maliyeti ile işletim maliyetlerinin toplamını en küçüklemeyi dikkate alan stratejik bir karar verme modelinin geliştirilmesini amaçlamaktadır. İşletim maliyeti, malzeme satın alma, üretim ve ulaştırma maliyetlerini içerirken; sosyal maliyet, üretim ve ulaştırma faaliyetleri sonucu ortaya çıkan karbon salınımı ile ilgilidir. Çalışmada geliştirilen matematiksel model bir program sayesinde çözümlenerek karar vericiye en uygun ulaştırma senaryosu sunmuş olacaktır. Çalışmada, karbon salınımının sosyal maliyetinin tedarik zincirinde sürdürülebilirliğin sağlanması adına işletmelerin hesaplamaları gereken çok önemli bir fonksiyon olduğu ortaya çıkmıştır. Ayrıca uygulama her ne kadar mermer işletmesinde yapılsa da farklı sektörler içinde örnek teşkil etmektedir. Çalışmanın neticesinde, ortaya konulan yasal düzenlemelerin işletmeleri iş süreçlerinin sonucunda ortaya çıkan karbondioksit salınımının sosyal maliyetini üstlenmeleri yönünde zorladığı ve bu yönde daha fazla yatırım yapmaya teşvik ettiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Karbon Salınımı, Sosyal Maliyet, Sürdürülebilir Tedarik Zinciri Yönetimi

Jel Kodları: Q56, M10

A MODEL PROPOSITION CONSIDERING THE SOCIAL COST OF CARBON EMISSION FOR SUSTAINABLE SUPPLY CHAIN MANAGEMENT: A CASE STUDY IN A MARBLE FIRM

Abstract

This study aims to develop a strategic decision making model for a marble manufacturing firm which has suppliers, manufacturing plants and distribution centers by taking into account the minimization of sum of social and operational costs resulting from the sustainable supply chain network carbon emission. Operational costs include purchasing, production and transportation costs and on the other hand social costs are associated with the carbon emissions resulting from the production and transportation operations. The mathematical model developed in the study was solved by using software and it offered the most appropriate transportation scenarios for decision makers. In this study, the social cost of carbon emission was found to be a critical function that firms need to calculate in order to ensure sustainability in a supply chain. However, although the study has been made in a marble manufacturing firm, it may provide insights for different sectors. The result of the study showed that the legislations force firms to bear the social cost of carbon emissions resulting from operational activities and encourage them to invest more in this direction.

Key Words: Carbon Emission, Social Cost, Sustainable Supply Chain Management

Jel Codes: Q56, M10

¹ Arş. Grv. Dr. Afyon Kocatepe Üniversitesi, bsisman@aku.edu.tr, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi İşletme Bölümü

GİRİŞ

Küreselleşmenin etkisi ile modern ekonominin getirmiş olduğu bazı uygulamalar işletmeleri baskı altında tutmaktadır. Bu baskı müşteri memnuniyetini doğrudan etkileyen tedarik zinciri faaliyetleri başta olmak üzere işletmenin tüm faaliyetlerinde başarıyı yakalamada etkili olmaktadır (Stock-Boyer vd. 2010: 33). Günümüzde müşteriler sadece kaliteli ürün elde etme konusunda değil aynı zamanda hızlı olma, esnek davranma ve satış sonrası hizmet sunma konularında da taleplerinin yerine getirilmesini istemektedirler. Bu yüzden işletmeler en düşük maliyet ile iş süreçlerini yerine getirirken diğer taraftan müşteri beklentilerini karşılayacak hizmet seviyesini de artırmaları gerekmektedir. Dahası ülkenin hatta dünyanın her tarafına yayılmış müşteri gruplarına sahip işletmeler en uygun taşıma modları ile istenen zamanda ürünlerini ulaştırmak zorunda kalmaktadırlar. Böylesi karmaşık ve bir o kadar da maliyetli tedarik zincirlerine sahip olan kurumlar için üretim ve dağıtım planlama kararları hayati derecede önem teşkil etmektedir (Mota-Gomes vd. 2014: 1).

Son yıllarda iş süreçleri üzerinde yapılan metot iyileştirme çalışmaları özel bir atölyenin veya tesisin haricinde olup, tedarik zinciri boyunca uygulanan tüm faaliyetleri kapsamaktadır. Bir mal veya hizmet üretiminde bütün tedarik zinciri boyunca yapılan iyileştirme çalışmaları mümkün olan en düşük maliyet ile en yüksek değeri elde etme üzerine olmaktadır. Bu yaklaşım beraberinde tedarik zincirini maliyet odaklı düşünmekten değer odaklı düşünmeye yönlendirmektedir (Leenders-Blenkhorn, 1988: 198). İleriye tedarik zinciri ile müşteriden geri dönen ürünleri toplama, depolama, geri dönüşüm, yeniden imalat, yok etme gibi tersine tedarik zinciri faaliyetleri hammaddelerin, envanterlerin, bitmiş malların ve bunlar hakkındaki bilgilerin her iki yönlü olarak hareket etmesini sağlamakta, bu sayede ürün ekonomik değerini yitirene kadar ve çevreye zarar vermeyecek şekilde sürekli olarak değer kazanmakta ve üreticiler müşterilerin istekleri doğrultusunda paydaşları ile birlikte sürdürülebilirliğin ilk adımlarını atmaktadırlar.

Sürdürülebilir tedarik zinciri ürün tasarımı, ürün imalatı, paketleme, depolama, ulaştırma, yeniden imalat gibi tedarik zinciri yönetiminin ana faaliyetlerinin ötesinde sosyal ve çevresel konuları da dikkate almaktadır (Linton-Klassen vd., 2007: 1078). Sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi Seuring ve Müller (2008) tarafından *“ekonomik, çevresel ve sosyal yönden sürdürülebilir büyümeyi amaçları haline getiren tedarikçilerden müşterilere kadar bütün paydaşların isteklerini dikkate alarak tedarik zinciri boyunca kurumlar arası malzeme, bilgi ve sermaye akışının yönetimi”* olarak tanımlanmıştır. Bu tanım, stratejik seviyeden operasyonel seviyeye kadar bütün faaliyetlerin ekonomik, çevresel ve sosyal açıdan dengelenmesi şeklinde yorumlanmaktadır. Tanımda ayrıca, işletmelerin ilişki içerisinde olduğu gruplar sadece müşteriler ile sınırlandırılmayıp kâr amacı gütmeyen kurumlar, tedarikçiler, medya gibi işletmeleri doğrudan ilgilendiren diğer paydaşlar da yer almaktadır.

Sürdürülebilir tedarik zinciri alanında karşılaşılan büyük problemlerden biri iklim değişikliği konusudur (Marchant, 2010: 108). İklim değişiklikleri sıcaklıkta, nemde, yağış miktarında ve deniz seviyesinde meydana gelen farklılıklar ile doğrudan ilişki halindedir. İklim değişikliklerinin ana sebebinin küresel ısınmadan kaynaklandığı yönünde görüş birliği bulunmaktadır. Küresel ısınma ise sera gazı veya karbon salınım miktarlarının artması ile ortaya çıkmaktadır (Karl-Trenberth, 2003: 1720). Karbon salınım miktarı her geçen yıl artmakta ve dünyamıza zarar vermektedir. Son yıllarda bu zararın azaltılması yönünde Avrupa Birliği ülkelerinde uygulanan emisyon ticaret sistemi, Kyoto Protokolü benzeri emisyon anlaşmaları ve karbon vergileri gibi çeşitli çalışmalar yapılmaktadır (Andrew, 2008: 394). Aralarında Türkiye'nin de olduğu Kyoto Protokolü'ne göre sera gazlarının % 5,2'nin altında yer alması öngörülmektedir. Fakat Birleşmiş Milletler raporlarına göre 1990-2004 yılları arasında sera etkisi oluşturan gaz salınım artış oranlarında Türkiye 40 ülke arasından % 72,6 ile birinci sırada yer almaktadır. Ayrıca Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) Seragazı Emisyon Envanteri 2013 sonuçlarına göre, ülkemiz kişi başına ürettiği 5,85 tonluk karbon gazı miktarı ile 18. sırada yer bulunmaktadır. Bu rakamlar Türkiye'nin sera gazları ile mücadele konusunda daha hassas davranması gerektiğini göstermektedir.

Yukarıda ifade edildiği gibi düzeltilmesi zor pek çok tehlikeye sebep olan karbon salınımı beraberinde yüksek maliyetli büyük problemler getirmektedir. Karbon salınım miktarını önemsemeyen birçok üretici, toplumun katlanmak ve ödemek zorunda olduğu sosyal maliyetlere sebep olmaktadır. Tesislerin, araçların ve kaynakların büyüklüğü fark etmeksizin karbon salınımı yapan işletmeler herkesi olumsuz yönde etkilemektedir. Bu olumsuzlukları ve zararları azaltmak isteyen işletmeler bütün ekonomik faaliyetlerinde karbon salınımının sosyal maliyetini dikkate almak zorundadırlar. Dahası, üretim faaliyetleri sonucu çevreye verilen zararı azaltma yönünde büyük baskılara maruz kalan işletmeler kurumsal sosyal sorumluluk raporlarında karbon salınım oranlarını belirtmek zorunda kalmışlardır. Çevresel zorunluluklar ve küreselleşmenin etkisi ile birlikte tedarik zinciri dağıtım ağlarını etkin şekilde tasarlamak isteyen işletmeler optimizasyon tekniklerini kullanmayı tercih etmektedirler. Bu sayede iş süreçleri neticesinde oluşan çevresel etkiler azalırken beraberinde müşteri hizmet düzeylerinde artış görülebilmektedir. Çalışmanın amacı, tedarik zinciri yönetiminde sürdürülebilirliğin sağlanması amacıyla karbon salınımının sosyal maliyetini dikkate alan bir model önermektir. Önerilen modelde ayrıca işletim maliyeti de hesaplanmaktadır.

Çalışmanın ilerleyen bölümleri şu şekilde organize edilmiştir. Birinci bölümde sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi, karbon salınımı ve sosyal maliyet üzerine yapılmış çalışmalar incelenmiştir. İkinci bölümde sürdürülebilir tedarik zinciri modeli verilmiş ve örnek bir mermer işletmesinde modelin çözümü gerçekleştirilmiştir. Üçüncü bölümde ise sonuçlar, öneriler, sınırlılıklar ve gelecek çalışmalardan bahsedilmiştir.

I. LİTERATÜR TARAMASI

Çalışmanın bu bölümünde önce sürdürülebilir tedarik zinciri yönetiminden bahsedilecek daha sonra ise karbon salınımının sosyal maliyet üzerine yapılan çalışmalara değinilecektir.

I. I. Sürdürülebilir Tedarik Zinciri Yönetimi

Zhu-Sarkis (2004) sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi uygulamalarını genel olarak beş kategoride toplamışlardır. Birinci kategoride işletmenin stratejik yönelimi gösterilerek stratejik değeri ifade edilmektedir. Buna göre işletmelerin bir konuda karar vermeden önce Üçlü Sorumluluk Yaklaşımı (Triple Bottom Line) rehberliğinde sürdürülebilir stratejileri takip etmeleri gerekmektedir. Bu stratejiler işletmenin tedarik zinciri yönetimi politikalarını başarılı olması yönünde etkilemektedir. İkinci kategori tedarik zinciri ağının yapısı ile ilgilidir. Bunlar, tedarik zinciri üzerinde bulunan ortaklar arasında uzun dönem ilişkilerin kurulabilmesi, ortakların gelişebilmesi ve en uygun ortakların bulunup seçilmesi için yapılan faaliyetlerdir. Bu faaliyetler bir araya getirildiğinde tedarik zincirinde başarı sürekli hale gelmektedir. Üçüncü kategori iş süreçleri ile işletmenin yapısal görünümünü birbirine bağlayan işbirliğidir. İşletmenin yapısal kararları, tedarik zinciri ortakları arasındaki teknik ve lojistik bilgi paylaşımı ile ilgilidir. Dördüncü kategori paydaş baskılarının yönetimi, değerlendirilmesi, gözlenmesi ve işletmelerin uluslararası standartları uygulama ve sahip olduğu sertifikaların yönetimi konularını içeren risk yönetimi konularıdır. Son kategori ise, sürdürülebilir tedarik zincirinin devamı için yapılan ön faaliyetlerdir. Ortaklardan ve diğer kaynaklardan edinilen bilgilerin kullanımı, ürün yaşam süresinin belirlenme ve yenilikçi ürünlerin üretimi sürdürülebilir stratejilerin devamı için yapılan önemli ön faaliyetlerdir.

Araştırmacıların bazıları tedarik zincirinde sürdürülebilirliği ürün tasarımı, malzeme satın alma, tedarikçi seçimi, imalat, yeniden imalat, tersine tedarik zinciri, atık yönetimi gibi farklı açılardan incelemişlerdir. Örneğin Zsidisin-Siferd (2001) yeşil satın alma ile tedarik zincirinde sürdürülebilirliği ölçmeye çalışmışlardır. Roa-Holt (2005) çevresel tedarik zinciri yönetimi uygulamaları ile kurumsal performans yönetimi arasındaki ilişkiyi incelemişler ve ikisi arasında

pozitif ilişki olduğu sonucuna varmışlardır. Bai-Sarkis (2010) sürdürülebilir tedarikçilerin seçimi için ekonomik, sosyal ve çevresel faktörleri dikkate alan bir yaklaşım önermişlerdir. Liu-Kasturiratne vd (2012) ürün, özendirme, planlama, süreç, toplum ve proje boyutları altında sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimini ve yeşil pazarlamayı birbiri ile bütünleştiren model önermişlerdir. Govindon- Khodaverdi vd. (2013) üçlü sorumluluk yaklaşımı ile tedarikçilerin sürdürülebilir performansını ölçen bulanık çok kriterli karar verme modeli geliştirmişlerdir. Hasan (2013), sürdürülebilir tedarik zincirinde işletmeler tarafından üstlenilen çeşitli çevresel yönetim faaliyetlerini incelemiş ve bu faaliyetlerin işletmelerin çevresel ve operasyonel performansını nasıl etkilediğini araştırmıştır. Tedarik zinciri yönetiminde çevresel faaliyetlerin uygulanması işletmelerin operasyonel performansını pozitif yönde etkilemektedir. Wang-Sarkis (2013), Newsweek Dergisi'nin yayınladığı Yeşil Sıralama da ilk 500 işletmenin sürdürülebilir tedarik zinciri uygulamaları ile finansal performansları arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Çalışmada hangi tip sürdürülebilir tedarik zinciri uygulamalarının finansal performansları hangi düzeyde etkilediği araştırılmaktadır.

Küreselleşmenin etkisi ile tedarik zincirinde dağıtım noktaları arasındaki mesafeler önemli ölçüde büyümeye devam etmektedir. Uzun ulaştırma mesafeleri beraberinde araçların karbon salınım miktarının artmasına, bu da karbon ayak izinin büyümesine neden olmaktadır. Bu yüzden, kurumsal sosyal sorumluluk bilincinde olup çevresel ve sosyal şartları sağlayan etkin ve verimli sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi anlayışına gerek duyulmaktadır. Wu-Dunn (1995) tedarik zincirinde taşıma araçlarından bahsetmişler ve çevresel tehlikelere yol açan en büyük etkenlerin bunlar olduğunu savunmuşlardır. Bu durum Kanada'da yapılan ölçümler ile desteklenmeye çalışılmıştır. Örneğin Kanada'da tüm taşıma araçlarının % 4,2'sini oluşturan dizel motorlu araçlar sera gazı miktarının % 29,2'sini meydana getirmektedirler. Bu sebeple işletmeler ulaştırma için kullanmak istedikleri araçların tipini, kapasitelerini ve bir takım teknik özelliklerini bölgesel karbon ayak izinin küçültülmesi maksadıyla stratejik olarak seçmelidirler (Elhedhli-Merrick, 2012: 475).

Modern anlamda tedarik zinciri ağı tasarımı veya planlanması sürecinde verilecek olan ulaştırma kararları, çeşitli uygulamaları nedeniyle tedarik zincirinin çevresel performansı üzerinde büyük öneme sahiptir. Ayrıca ürünlerin müşterilere dağıtım neticesinde oluşan maliyetlerin tedarik zincirinin toplam maliyeti üzerinde de etkisi bulunmaktadır. Bu sebeplerden dolayı, pek çok büyük işletme için ürün dağıtım tasarımında karbon salınımı seviyesini düşürmek stratejik anlamda oldukça önemli iken, performanslarının değerlendirilmesinde ürün dağıtım kararlarının etkinliği yerel perakendecilerin başarılı olabilmeye faktörlerinden biri durumundadır (Lopez-Barreto vd. 2008: 368). Günümüzde çevresel ve sosyal sorumluluk bilincine sahip olan işletmeler sürdürülebilir tedarik zincirinin sağlanmasında karbon seviyesinin azaltılması yönünde örnek olabilecek bazı faaliyetlerde bulunmaktadır. Bunlar arasından en önemlisi, bireyin ve işletmelerin doğrudan veya dolaylı olarak kullandıkları ürünlerin üretimi esnasında çevreye verilen zararın ölçüsü olarak görülen karbon ayak izini azaltmaya yönelik faaliyetlerdir. Birleşmiş Milletler Çevre Programına göre doğal gaz, petrol ve kömür kullanımı, eğlence ve tatil mekânları, kamu hizmetleri ve elektrik sarfıyatı karbon ayak izini artıran en büyük etmenler arasındadır. Karbon salınımını azaltabilecek faaliyetler ise, doğru hammadde kaynaklarının seçimi, alternatif kaynakların bulunması, paketlemenin azaltılması, tersine tedarik zinciri faaliyetlerine daha fazla önem verilmesi ve dağıtım kanallarının tekrar tasarlanmasıdır (Alzaman, 2014: 23).

Tedarik zinciri problemleri genellikle toplam maliyetlerin en küçüklenmesi ve müşteri hizmet düzeyinin en büyüklenmesi üzerine odaklanmaktadır. Fakat son yıllarda yapılan bazı araştırmalar da karbon salınımının da dikkate alındığı görülmektedir. Örneğin Li- Liu vd. (2008), yeşil tedarik zinciri probleminde dağıtım merkezleri yeri seçimi için tam sayılı doğrusal programlama modeli önermişlerdir. Önerilen modelde taşıma modu ve karbon salınımı olmak üzere iki önemli faktör sunulmuştur. Sundarakani-de Souza vd. (2010) malzeme satın alma, imalat, depolama, içsel lojistik, dışsal lojistik gibi tedarik zinciri faaliyetlerinde ortaya çıkan karbon salınım miktarını tahmin etmek için Lagrange ulaştırma modeli geliştirmişlerdir. Paksoy-Özceylan vd. (2010)'nin yapmış oldukları çalışmada, bir işletmeye ait kapalı döngü tedarik zincirinde yeşil

etkiler dikkate alınmış, karbon salınım miktarı belli bir seviyede tutulmaya çalışılmış ve müşteriler geri dönüşüme uğrayan ürünleri alması yönünde cesaretlendirilmiştir. Çalışmada önerilen modelde tesisler arası taşımada oluşan karbon salınımına göre farklı ulaştırma araçları tercih edilmesi sağlanmaktadır. Lee (2011) otomobil imalatçılarının kullanımı için, tedarik zinciri yönetiminde karbon salınım miktarını gösteren bir sayaç kullanma önerisinde bulunmuştur. Chaabane-Ramudhin vd. (2012) karbon emisyonu ticaret sistemi koşulları altında sürdürülebilir tedarik zinciri ağı tasarımı için bir matematiksel model önermişlerdir. Elhedhli-Merrick (2012), karbon salınımının maliyetini içeren çok kademeli yeşil tedarik zinciri tasarımı modeli geliştirmişlerdir. Geliştirilen modelin amacı, dağıtım merkezlerinin yer seçimi kararları ile birlikte toplam lojistik maliyetlerinin ve karbon salınımının çevresel maliyetini en küçükmeye çalışmaktır.

I. II. Karbon Salınımının Sosyal Maliyeti

Kapp (1963) sosyal maliyeti, “bütün ekonomik faaliyetlerin neticesinde toplumun doğrudan veya dolaylı olarak katlanmak zorunda olduğu tüm olumlu veya olumsuz durumların maliyetidir” şeklinde tanımlamaktadır. Sosyal maliyetin olumsuzluğu, insan sağlığına verilen zarar, ekosistemin bozulması ve çevresel tahribat olabilmektedir. Sosyal maliyetin olumlu tarafları ise, ekonomik faaliyet neticesinde elde edilen kazançlardır. Karbon salınımının sosyal maliyeti ise Etchart-Sertyesilisik vd. (2012: 55) tarafından “salınan her fazladan bir ton karbonun çevreye verdiği zararın parasal değeri” olarak tanımlanmaktadır. Uyar-Cengiz (2011) *karbon sosyal maliyeti* olarak adlandırılan bir hesaplamadan bahsetmişler ve buna göre, 100 yıl veya daha fazlası için atmosfere salınan her fazladan bir ton karbonun iklim değişikliği üzerinde oluşturduğu etkinin net bugünkü değeri karbon sosyal maliyeti vermektedir. Bu maliyetin ortalama değeri 1 ton karbona karşılık 43 dolardır (Tunahan, 2010: 200).

Son yıllarda, karbon salınımları insanları fiziksel ve biyolojik açıdan olumsuz yönde etkilenmesi ile birlikte araştırmacılar karbon salınımlarının sosyal maliyetini tahmin etmeye yönelik çalışmalar yapmaya başlamışlardır. Bu çalışmalarda temel olarak iki yaklaşım kullanılmaktadır. Bunlar fayda-maliyet analizi yaklaşımı ve marjinal maliyet yaklaşımıdır. Fayda maliyet analizi yaklaşımında karbon salınımının sosyal maliyeti, Kyoto Protokolü'ne göre en uygun salınım seviyesinde kalabilmek için alınan karbon vergisi miktarı olarak ifade edilmektedir. Fayda maliyet analizinde karbon salınımının en uygun seviyesi hesaplanmaktadır. Karbon salınımı neticesinde sosyal maliyet değeri artma eğilimi gösterirse, salınım değerleri daha dikkatli incelenmektedir. Diğer bir ifade ile karbonun sosyal maliyeti ne kadar fazla olursa salınımı azaltmak için yapılacak yatırımların değeri de o kadar artmaktadır (Guo-Hepburn vd. 2006: 208). Marjinal maliyet yaklaşımı ise bir birim karbon salınımının çevreye verdiği zararı tahmin etmeye yöneliktir. Bu zarar, fazladan bir ton karbonun çevreye yayılması ile oluşmakta veya karbon salınımını azaltmak için uygulamaya konulan önlemler ile meydana gelmektedir (Anthoff-Hepburn vd. 2009: 845).

Literatürde karbon salınımının sosyal maliyetini tahmin etmeye yönelik yapılmış çalışmalar bulunmaktadır. Örneğin, Cline (1992) fayda maliyet analizi yaklaşımını kullanarak 2011-2020 yılları arasında karbon salınımının sosyal maliyetinin 3,6\$/tonCO₂ ile 68,5\$/tonCO₂ arasında olacağını tahmin etmişlerdir. Guo-Hepburn vd. (2006) İklim Değişikliği Paneli'nde yapmış oldukları grup çalışması ile hazırlanmış oldukları raporda karbon salınımının sosyal maliyetinin 1,6\$/tonCO₂ ile 43,6\$/tonCO₂ arasında olduğunu belirtmişlerdir. Son yıllarda ise Etchart-Sertyesilisik vd. (2012) daha önce bu alanda yapılmış olan çalışmaları incelemişler ve karbon salınımının sosyal maliyetinin 6\$/tonCO₂ ile 200\$/tonCO₂ arasında olduğu sonucuna varmışlardır. Yapılan çalışmalar incelendiğinde; tahmin edilen veya ortaya çıkan maliyet aralığının büyük olmasının iklim değişikliklerinden, sosyo ekonomik değişkenlerdeki belirsizlikten, her bir çalışmada kullanılan farklı parametrelerden ve küresel ısınma konusunda öngörülen farklı tahminlerden kaynaklanabilmektedir.

Çalışmada önerilen sürdürülebilir tedarik zinciri modeli, tedarikçileri ve üretim tesisleri ile halen faaliyet halinde bulunan bir mermer işletmesinde gerçek veriler ile uygulanarak ve karbon

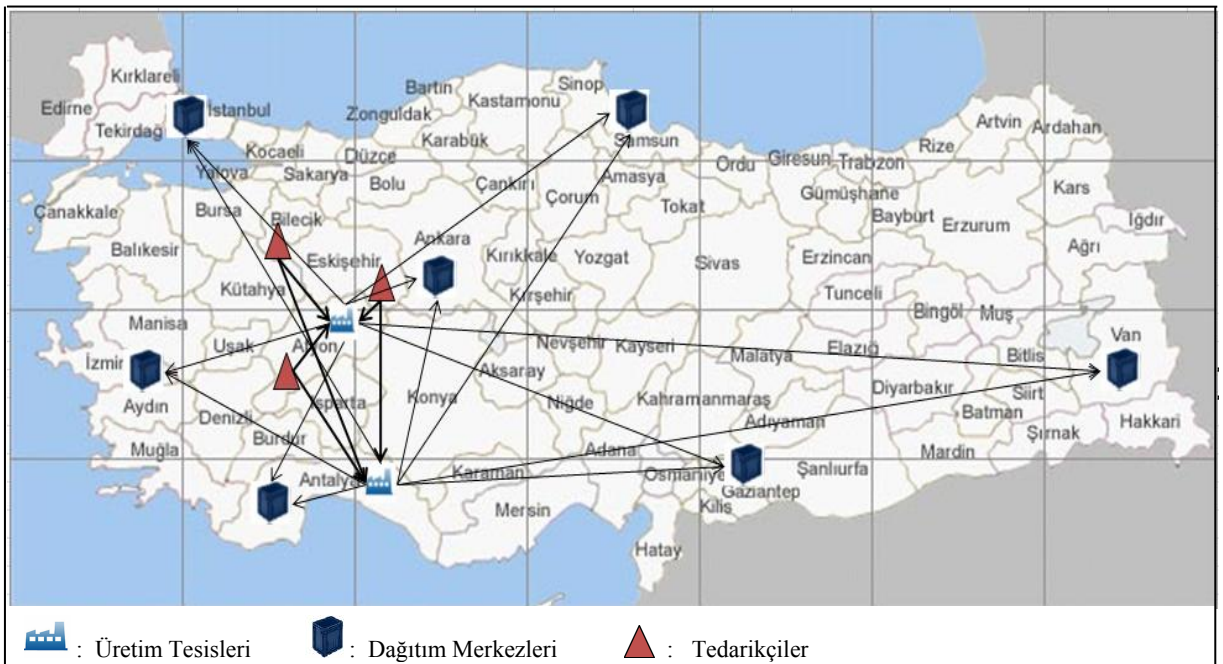
salınımının azaltılması yönünde yöneticilere veya karar vericilere farklı senaryolar altında destek olarak literatüre önemli katkılar sağlamaktadır. Ayrıca, ulusal ve uluslararası literatürde sürdürülebilir tedarik zinciri yönetiminde karbon salınımını dikkate alan sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır (Lee, 2011; Tseng-Hung, 2014).

II. SÜRDÜRÜLEBİLİR TEDARİK ZİNCİRİ MODELİ

Sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi kapsamında üretim, dağıtım ve depolama süreçlerinde çevresel ve ekonomik zararlar en aza indirilmeye çalışılmaktadır. Üreticiler daha az karbon salınımı konusunda teşvik edilmekte ve kısmen de olsa buna zorlanmaktadır. Bu bağlamda, uygulamanın yapıldığı işletme, erozyonla mücadele etmek ve doğal hayatı korumak amacıyla Tema Vakfı ile ortaklaşa fidan dikim projesi geliştirmektedir. Çalışmada sürdürülebilir tedarik zinciri yönetiminde üretim ve dağıtım faaliyetleri neticesinde oluşan işletim ve karbon salınımının sosyal maliyetini en küçüklemek üzere bir matematiksel model geliştirilmiştir. İşletim maliyetleri hammadde ve malzeme satın alma, üretim ve dağıtım maliyetlerinin toplamını içermektedir. Karbon salınımı ise üretim ve dağıtım işlemleri sırasında oluşan salınımların toplamıdır. Geliştirilen modelin amacı, işletim maliyetlerini ve karbon salınımının sosyal maliyetini dikkate alarak toplam maliyetleri en küçüklemek üzerinedir.

II. I. Problemin Modeli

Çalışmada geliştirilen matematiksel model bir mermer işletmesinde uygulanarak sürdürülebilir tedarik zinciri yönetiminde karbon salınımının azaltılması yönünde karar vericilere destek olabilecek niteliğe sahiptir. 1998 yılından beri Afyonkarahisar'da faaliyet gösteren bir mermer işletmesinden elde edilen bilgiler doğrultusunda sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi modeli Şekil 1'deki gibi oluşturulmuştur. Bu modelde üç tedarikçi, yedi dağıtım merkezi ve iki üretim tesisi bulunmaktadır. Çalışmada üretim tesislerinin ve dağıtım merkezlerinin yerleri ve kapasiteleri önceden bilinmektedir. Geliştirilen modelde her bir dağıtım merkezinin taleplerinin karşılanması gerekmektedir. Bu yüzden toplam maliyetler en küçüklenecek şekilde tedarikçilerden üretim tesislerine hammaddenin, üretim tesislerinde de dağıtım merkezlerine bitmiş ürün akışlarının dengelenmesi gerekmektedir.



Şekil 1: Örnek İşletmeye Ait Tedarik Zinciri Yönetim Modeli

Sürdürülebilir tedarik zinciri problemine ait geliştirilen doğrusal programlama modelinin notasyonları, parametreleri, karar değişkenleri, amaç fonksiyonları ve kısıtları şu şekildedir oluşturulmuştur.

Notasyonlar:

j	tedarikçiler seti j, \dots, J
k	üretim tesisleri seti k, \dots, K
l	dağıtım merkezleri seti l, \dots, L
r	ulaştırma modu seti r, \dots, R (tır ve tren)

Parametreler:

MC_{jkr} : j. tedarikçiden k. üretim tesisine r. ulaştırma modu ile satın alınan bir birim hammadde maliyeti

PC_k : k. üretim tesisinde birim ürün üretim maliyeti

TC_{klr} : k. üretim tesisinden l. dağıtım merkezine r. ulaştırma modu ile bir birim ürün gönderme maliyeti

TD_{jk} : j. tedarikçi ile k. üretim tesisi arası ulaştırma mesafesi

TM_{kl} : k. üretim tesisi ile l. dağıtım merkezi arası ulaştırma mesafesi

CO_{2k} : k. üretim tesisinde bir ürün başına salınan karbon dioksit miktarı

CO_{2r} : r. ulaştırma modu kullanıldığında birim ağırlık*birim mesafe için salınan karbon dioksit miktarı

SCV_{CO_2} : karbon salınımının sosyal maliyet değeri (₺)

SC_j : j. tedarikçinin kapasitesi

CP_k : k. üretim tesisinin kapasitesi

D_l : l. dağıtım merkezinin talebi

W : bir birim hammaddenin ağırlığı

Q : bir birim bitmiş ürün ağırlığı

Karar değişkenleri:

G_{jkr} : j. tedarikçiden k. üretim tesisine r. ulaştırma modu ile satın alınan bir birim hammadde miktarı

H_{klr} : k. üretim tesisinden l. dağıtım merkezine r. ulaştırma modu ile gönderilen bitmiş ürün miktarı

Amaç fonksiyonu ve kısıtlar:

$$Enk Z = \sum_j \sum_k \sum_r MC_{jkr} G_{jkr} + \sum_k \sum_l \sum_r PC_k H_{klr} + \sum_k \sum_l \sum_r TC_{klr} H_{klr} + \left[SCV_{CO_2} \left(\sum_k \sum_l \sum_r CO_{2k} H_{klr} + \sum_j \sum_k \sum_r CO_{2r} * W * TD_{jk} G_{jkr} + \sum_k \sum_l \sum_r CO_{2r} * Q * TM_{kl} H_{klr} \right) \right] \quad (1)$$

k.a

$$\sum_k H_{klr} \geq D_l \quad \forall_{l,r} \quad (2)$$

$$\sum_l H_{klr} \leq \sum_j G_{jkr} \quad \forall_{k,r} \quad (3)$$

$$\sum_k \sum_r G_{jkr} \leq SC_j \quad \forall_j \quad (4)$$

$$\sum_l \sum_r H_{klr} \leq CP_k \quad \forall_k \quad (5)$$

$$G_{jkr}, H_{klr} \geq 0 \quad (6)$$

Amaç fonksiyonu (1) toplam maliyeti en küçüklemek üzerinedir. Bu maliyet fonksiyonu satın alma, üretim, ulaştırma ve ürünlerin üretimi ve taşınması neticesinde oluşan karbon salınımının sosyal maliyetleri toplamından oluşmaktadır. Kısıt (2) her bir dağıtım merkezinin taleplerinin karşılanmasını garanti etmektedir. Kısıt (3) hammadde ve ürün akışlarını dengelemektedir. Kısıt (4) her bir tedarikçinin kapasitesinin aşılmamasını sağlamaktadır. Kısıt (5) üretim tesislerinin kapasitelerini göstermektedir. Kısıt (6) ise karar değişkenlerinin pozitif değerler almasını sağlamaktadır.

II. II. Problemin verileri

Çalışmada kullanılan veriler, işletme yöneticileri ile yapılan görüşmeler neticesinde elde edilmiştir. İşletmenin Bilecik, Afyonkarahisar ve Eskişehir’de olmak üzere hali hazırda çalışan üç adet mermer rezerv ocakları (kaynakları) bulunmaktadır. Bu ocaklardan çıkarılan mermer blokları Afyonkarahisar ve Antalya’daki üretim tesislerinde müşterilerin özel isteklerine uygun olarak işlenmekte ve % 80’i yurt dışı olmak üzere müşterilerine teslim edilmektedir. Afyonkarahisar’daki tesis yaklaşık 2 milyon m² yıllık üretim kapasitesine sahiptir.

Tablo 1: Her Bir Dağıtım Merkezinin Talepleri

Dağıtım Merkezleri	Talepler (ton)
DM1 - İstanbul	26.320
DM2 - İzmir	7.280

DM3 - Antalya	3.920
DM4 - Ankara	9.520
DM5 - Samsun	2.800
DM6 - Van	2.240
DM7 - Gaziantep	3.360

Tablo 2: Her Bir Tedarikçinin Hammadde Kapasiteleri

Tedarikçiler	Hammadde Kapasiteleri (ton)
T1 - Bilecik	200.000
T2 - Afyonkarahisar	40.000
T3 - Eskişehir	60.000

Çalışmada yıllık olarak işletmenin yurt içi müşteri talepleri dikkate alınmıştır. Türkiye'nin her bölgesinin en büyük illeri dağıtım merkezi olarak düşünülmüş ve her bir dağıtım merkezinden müşterilere ürünlerin dağıtımını gerçekleştireceği varsayılmıştır. Bu sebeple dağıtım merkezleri hipotetik olarak düşünülmüş ve İstanbul, İzmir, Antalya, Ankara, Samsun, Van ve Gaziantep olmak üzere yedi şehir olmasına karar verilmiştir. Bu merkezlerin talepleri Tablo 1'de gösterilmiştir. İşletmenin rezerv kaynağı olarak çalışan üç adet tedarikçisi bulunmaktadır. Tedarikçilerin hammadde kapasiteleri Tablo 2'de verilmektedir. Üretim tesislerinde kesim, baş kesme, yarma, parlatma ve ebatlama işlemleri gerçekleştirilmektedir. Her bir üretim tesisinin üretim kapasitesi, birim üretim maliyetleri ve birim üretim başına salınan karbon miktarı (kg) Tablo 3'te gösterilmektedir. Farklı ulaştırma araçları kullanılarak elde edilen mermer blokları, ulaştırma maliyetleri dâhil olmak üzere üretim tesisleri tarafından satın alma maliyetleri Tablo 4'de verilmiştir. Üretim tesislerinde işlenen blokların bitmiş ürün olarak dağıtım merkezlerine farklı ulaştırma araçları ile gönderme maliyeti ise Tablo 5'de verilmektedir.

Tablo 3: Her Bir Tesisin Üretim Kapasiteleri, Üretim Maliyetleri ve Karbon Salınımı

Üretim Tesisleri	Üretim Kapasiteleri (ton/yıl)	Üretim Maliyetleri* (tl/ton)	Karbon Salınımı** (m ² /ton)
Ü1 - Afyonkarahisar	180.000	250	200
Ü2 - Antalya	100.000	150	200

Kaynak: *Hedef Maliyetleme Sisteminin Mermer Sektöründe Uygulanması Yüksek Lisans Tezinden (Öğünç, 2010: 44)

**Türkiye İstatistik Kurumu CO₂ Emisyonları 1990-2010 (www.tuik.gov.tr)'den alınmıştır

Tablo 4: Tedarikçilerden Satın Alma Maliyeti (tl/ton)

Üretim Tesisleri	Ulaştırma Modu	Tedarikçiler		
		T1	T2	T3
Ü1	Tır	300	10	200
	Tren	130	5	100
Ü2	Tır	350	200	280
	Tren	145	110	120

Tablo 5: Dağıtım Merkezlerine Ürün Gönderme Maliyeti (tl/kg)

Dağıtım Merkezleri	Ulaştırma Modu	Üretim Tesisleri	
		Ü1	Ü2
DM1	Tır	500	600
	Tren	250	300
DM2	Tır	350	500
	Tren	180	250
DM3	Tır	400	100
	Tren	200	50
DM4	Tır	300	550
	Tren	150	270
DM5	Tır	580	600
	Tren	270	300
DM6	Tır	650	680
	Tren	330	370
DM7	Tır	600	630
	Tren	300	320

Mermer blokların tedarikçilerden üretim tesislerine ve işlenmiş ürünlerin üretim tesislerinden dağıtım merkezlerine ulaştırma mesafeleri Tablo 6 ve Tablo 7’de sırasıyla gösterilmektedir. Son olarak ulaştırma araçlarının (tır ve tren) çevreye yaymış oldukları karbon salınım miktarları için çeşitli kaynaklardaki bilgilerden faydalanılmıştır. Ekol Lojistik CO₂ Emisyonu Raporu’na göre 23 ton kapasiteli tırlar için 0,000918 ton/km’dir. Kumbaroğlu-Arıkan (2009)’ın vermiş oldukları bilgilere göre ise demiryollarında dizel yakıtlı yük trenleri için karbon salınım miktarı 0,000567 ton/km şeklindedir. Şensoy (2014)’ün doğaldekor.com internet sitesinden edinilen bilgilere göre mermerler ocaklardan blok halinde çıkarılmakta ve müşterilerin talepleri doğrultusunda belli kalınlıklara göre kesilmektedir. Örneğin mermerler 2 cm ile 3,5 cm lik levhalar halinde kesilebilmektedir. Hammadde olarak taşınan 1 m³ mermer bloğun ortalama ağırlığı 2,72 tondur. 1 m doğal taşın kalınlığı ortalama olarak 3 cm olduğu varsayımı ile hareket edildiğinde, nakliye için tırlara verilecek mermerin ağırlığı hesaplanacak olursa $1 \times 1 \times 0,03 \times 2.720 = 81,6$ kg’dır. Geliştirilen doğrusal programlama modelinin parametreleri yukarıda verildiği şekliyle kullanılmıştır.

Tablo 6: Tedarikçiler ile Üretim Tesisleri Arasındaki Mesafe (km)

Üretim Tesisleri	Tedarikçiler		
	T1	T2	T3
Ü1	209	25	136
Ü2	481	292	447

Tablo 7: Üretim Tesisleri ile Dağıtım Merkezleri Arasındaki Mesafe (km)

Dağıtım Merkezleri	Üretim Tesisleri	
	Ü1	Ü2
DM1	448	723
DM2	328	463
DM3	292	20

DM4	258	536
DM5	677	955
DM6	1456	1537
DM7	782	863

II. III. Problemin çözümü

Sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi modelinin çözümü aşamasında dokuz farklı senaryo geliştirilmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Birinci senaryoda tedarik zincirinde sadece üretim, satın alma ve ulaştırma maliyetleri dikkate alınmıştır. Diğer senaryolarda ise karbon salınımının birbirinden farklı sosyal maliyet değerleri olduğu düşünülerek tedarikçilerden (mermer ocakları) mermer blokları satın alma, üretim tesislerinde çeşitli aşamalardan geçirme ve dağıtım merkezlerine bitmiş ürün gönderme kararları en uygun şekliyle verilmeye çalışılmıştır. Çalışmada bütün tedarikçiler, üretim tesisleri ve dağıtım merkezleri çalışır durumdadır. Daha önce yapılmış olan çalışmalar (Guo vd., 2006; Etchart vd., 2012; Tseng ve Hung, 2014) dikkate alındığında, bu senaryolarda karbon salınım maliyetleri sırasıyla 25 t/tCO₂, 50 t/tCO₂, 100 t/tCO₂, 125 t/tCO₂, 150 t/tCO₂, 200 t/tCO₂, 300 t/tCO₂ ve 350 t/tCO₂ olduğu varsayılmıştır. Çalışmada önerilen modelin çözümü için GAMS 23.2 CPLEX çözücüsünden yararlanılmıştır.

Modelin çözümü ile Tablo 8’de farklı senaryolar altında tesisler arası yapılan taşıma miktarları görülmektedir. Örneğin 5. senaryoda 2. üretim tesisi 1. tedarikçiden 10.880 ton mermeri tren vasıtasıyla, 3. tedarikçiden 3.920 ton mermeri tır ve 27.760 ton mermeri tren vasıtasıyla satın almıştır. Aynı üretim tesisi 1. dağıtım merkezine 26.320 ton mermeri tren ile 3. dağıtım merkezine 3.920 ton mermeri tır ve 3.920 ton mermeri tren ile 5. dağıtım merkezine 2.800 ton mermeri tren ile 6. dağıtım merkezine 2.240 ton mermeri tren ile ve 7. dağıtım merkezine 3.360 ton mermeri tren ile göndermektedir. 1, 5 ve 9 numaralı senaryoların model gösterimleri Ek’te verilmiştir.

Tablo 8: 1., 5. ve 9. Senaryolardaki Taşıma Miktarları ve Kullanılan Ulaştırma Modları

		Üretim Tesisleri		Dağıtım Merkezleri								
Senaryolar	Tedarikçiler	1	2	Üretim Tesisleri								
					1	2	3	4	5	6	7	
1	1		10.880 (tren)	1	26.320 (tır)	7.280 (tır)		9.520 (tır)		2.240 (tır)	3.360 (tır)	
	2	40.000 (tır)		2	26.320 (tren)	7.280 (tren)	3.920 (tır)		2.800 (tır)	2.240 (tren)	3.360 (tren)	
	3	8.720 (tır)	6.720 (tır)									
		9.520 (tren)	35.040 (tren)									
		1	2		1	2	3	4	5	6	7	

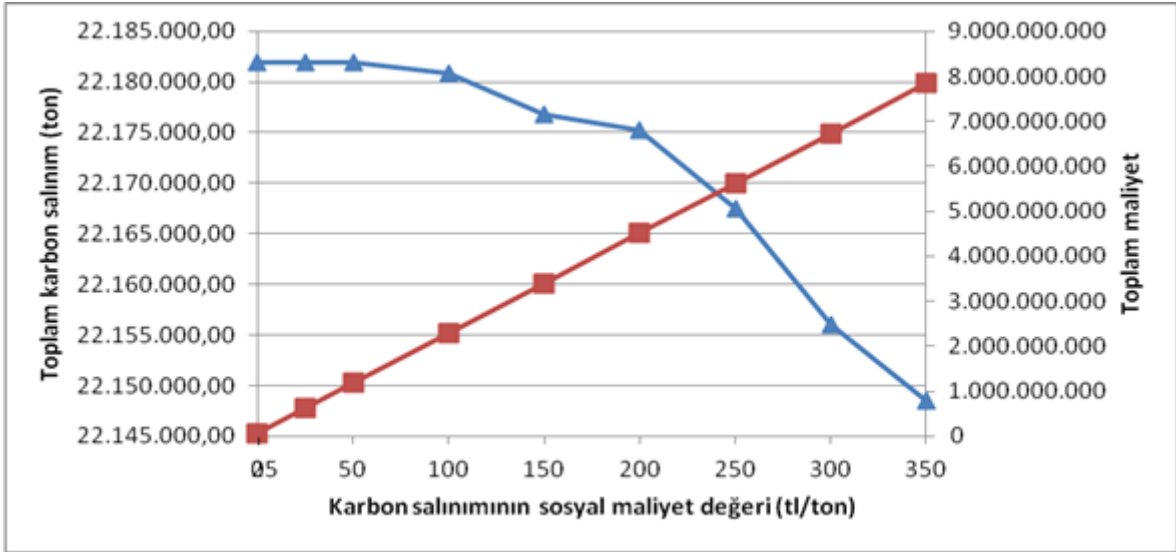
5	1		10.880 (tren)	1	26.320 (tır)	7.280 (tır) 7.280 (tren)		9.520 (tır) 9.520 (tren)	2.800 (tır)	2.240 (tır)	3.360 (tır)
	2	40.000 (tır)		2	26.320 (tren)		3.920 (tır) 3.920 (tren)		2.800 (tren)	2.240 (tren)	3.360 (tren)
	3	11.520 (tır) 16.800 (tren)	3.920 (tır) 27.760 (tren)								
		1	2		1	2	3	4	5	6	7
9	1		10.880 (tren)	1	26.320 (tır)	7.280 (tır) 7.280 (tren)		9.520 (tır) 9.520 (tren)	2.800 (tır)	2.240 (tır)	3.360 (tır) 3.360 (tren)
	2	40.000 (tır)		2	26.320 (tren)		3.920 (tır) 3.920 (tren)		2.800 (tren)	2.240 (tren)	
	3	11.520 (tır) 16.800 (tren)	3.920 (tır) 27.760 (tren)								

Dokuz farklı senaryodan elde edilen sonuçların karşılaştırmalı analizi Tablo 9'da görülmektedir. Buna göre toplam karbon salınım miktarları azaldıkça karbon salınımının sosyal maliyetinde artış olmaktadır. Bu durumda, eğer işletme tedarik zinciri faaliyetlerinden kaynaklanan karbon salınımının sosyal maliyetine katlanmak zorunda kalıyor ise karar verici düzeyindeki yöneticiler karbon salınımları ile işletim maliyetleri arasında en uygun stratejiyi seçmek durumunda kalmaktadırlar. Bu yüzden, karar vericiler imalat maliyetleri fazla olsa bile karbon gazı salınım değerleri daha az olan üretim tesisleri tercih ettikleri takdirde çevresel tahribatı azaltmış olacaklardır.

Tablo 9: Farklı Senaryolar Altındaki Sonuçların Karşılaştırılması

Senaryo	Sosyal Maliyet Değeri (₺/ton)	Karbon Salınım Miktarı (ton)	Karbon Salınımının Sosyal Maliyeti (₺)	İşletim Maliyeti (₺)	Toplam Maliyet (₺)
1	0	22.181.899,11	0,00	71.408.000,00	71.408.000,00
2	25	22.181.899,11	554.547.477,74	71.498.731,41	626.046.209,14
3	50	22.181.899,11	1.109.094.955,47	71.589.462,81	1.180.684.418,28
4	100	22.180.800,00	2.218.080.000,00	71.880.836,00	2.289.960.836,00
5	150	22.176.785,00	3.326.517.750,00	72.714.236,94	3.399.231.986,94
6	200	22.175.259,00	4.435.051.800,00	73.430.582,58	4.508.482.382,58
7	250	22.167.482,00	5.541.870.500,00	75.862.278,23	5.617.732.778,23
8	300	22.155.988,00	6.646.796.400,00	80.186.773,88	6.726.983.173,88
9	350	22.148.547,00	7.751.991.450,00	84.242.119,53	7.836.233.569,53

Çalışmada karbon salınımının farklı sosyal maliyetlerinde oluşan toplam karbon salınım miktarları ve toplam maliyet değerlerinin değişimi Şekil 2 yardımıyla verilmektedir.



Şekil 2: Karbon Salınımı Sosyal Maliyet Değerleri ile Toplam Karbon Salınımı ve Toplam Maliyet Karşılaştırılması

Şekil 2’de karbon salınımının sosyal maliyet değerleri 0 ile 350 ₺ /ton arasında değişmektedir. Bu değerler arttıkça toplam karbon salınımı değerleri düşüş fakat toplam maliyet değerleri artış göstermektedir. Sonuç olarak yöneticiler, grafikteki bu değişimleri dikkate alarak hangi düzeyde sosyal maliyete katlanacaklarına ve hangi tedarik zinciri ağı ile müşterilerine ürün göndereceklerine karar vermektedirler.

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Günümüzde küresel anlamda rekabet etmek isteyen pek çok kurum ve kuruluş küresel ısınmanın etkilerini azaltabilmek için paydaşlarının baskıları ile birlikte karbon salınımı değerlerini azaltmaya gitmektedirler. Bu konuyu dikkate alan işletmeler tedarik zinciri boyunca faaliyetlerinde çeşitli önlemler alarak karbon salınım değerlerini azaltmaya çalışmaktadırlar. Çalışmada karbon salınımının sosyal maliyetini ve işletim maliyetlerini dikkate alan bir mermer işletmesine ait sürdürülebilir tedarik zinciri yönetiminin sağlanmasına yardımcı olabilecek bir matematiksel model önerilmiştir. Geliştirilen bu model imalat, satın alma ve ulaştırma faaliyetleri neticesinde oluşan karbon salınımının sosyal maliyetini dikkate alması ile en uygun tedarik zinciri stratejilerinin belirlenmesinde karar vericiye yardımcı olma niteliği taşımaktadır. Ayrıca yasal düzenleyiciler, geliştirilen bu modeli referans olarak işletmelere hangi düzeyde sosyal maliyete katlanmak durumunda olduklarını gösteren kanunlar çıkartabileceklerdir. Bu sayede işletmeler ise tedarik zinciri uygulamalarından kaynaklanan karbon salınım miktarlarını azaltmak için hangi miktarda yatırım yapacaklarına karar vermiş olacaklardır.

Çalışmanın neticesinde işletmede bazı düzenlemelerin hayata geçirilebileceği tartışılmıştır. Özellikle yoğun enerji tüketen makinelerle özel sayaçların bağlanabileceği ve bu sayede salınan karbon miktarının ölçülebileceği düşünülmüştür. Bu miktarın kontrol altında tutulabilmesi adına çalışanlara eğitimler verilmesi ve teknolojik olarak makinelerin iyileştirilmesi veya enerji

verimliliklerinin yükseltilmesi planlanmaktadır. Bu bağlamda bir fayda-maliyet analizinin yapılması önem arz etmektedir. Diğer taraftan işletmenin üretim sürecinde aydınlatma amacıyla harcanan enerjinin fazla olduğu tespit edilmiştir. Aydınlatmada gün ışığından maksimum düzeyde yararlanacak şekilde üretim hattı tasarımı ve lambaların doğru konumlandırılması ile büyük oranda enerji tasarrufu elde edilebileceği görüşü ortaya çıkmıştır. Ayrıca, işletme yük taşıma işlemlerini kara yolu modundan tren yolu moduna dönüştürülmesi yönünde çalışmalar yapmaya başlamıştır. Bu sayede etkin yükleme ile maksimum taşıma, en uygun maliyet ve daha az karbon salınımı hedeflenmektedir. Son olarak ise, ambalajlamada mermerleri bir arada tutan parçaların geri dönüşüm ve daha az petrol içeren malzemelerden olması hedeflenmiştir.

Çalışmada sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi alanında geliştirilmiş olan matematiksel model, daha önceden de belirtildiği üzere, farklı yönleri ile literatüre katkı yapacağı bekleniyor olsa da, modelin bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Öncelikle karbon salınımının sosyal maliyeti verileri önceki çalışmaların bulguları kullanılarak modele eklenmiştir. İkinci olarak uygulama bir mermer imalatçısında gerçekleştirilmiştir. Aynı modelin KOBİ düzeyindeki tekstil, cam gibi farklı imalat sektörleri için de kullanımı sektörler incelenerek değerlendirilmelidir. Son olarak ise ekolojik denge üzerinde olumsuz etkiye sahip diğer sera gazları dikkate alınmamıştır. Bu yüzden ileriki çalışmalarda farklı endüstri sektörlerinde ve diğer gazların da etkisini ölçen araştırmalar gerçekleştirilebilir.

KAYNAKÇA

- Alzaman, C. (2014). Green supply chain modelling: literature review. *International Journal of Business Performance Supply Chain Model*, 6 (1), 16–39.
- Andrew, B. (2008). Market failure, government failure and externalities in climate change mitigation: The case for a carbon tax. *Public Administration Development*, 28 (5), 393-401.
- Anthoff, D., Hepburn, C., & Tol, R. S. J. (2009). Equity weighting and the marginal damage costs of climate change. *Ecological Economics*, 68 (3), 836-849.
- Bai, C., & Sarkis, J. (2010). Integrating sustainability into supplier selection with grey system and rough set methodologies. *International Journal of Production Economics*, 124 (1), 252-264.
- Chaabane, A., Ramudhin, A., & Paquet, M. (2012). Design of sustainable supply chains under the emission trading scheme. *International Journal of Production Economics*, 135 (1), 37-49.
- Elhedhli, S., & Merrick R. (2012). Green supply chain network design to reduce carbon emissions. *Transportation Research Part D*, 17, 370-379.
- Etchart, A., Sertyesilisik, B., & Mill, G. (2012). Environmental effects of shipping imports from China and their economic valuation: The case of metallic valve components. *Journal of Cleaner Production*, 21 (1), 51-61.
- Govindan, K., Khodaverdi, R., & Jafarian, A. (2013). A fuzzy multi criteria approach for measuring sustainability performance of a supplier based on triple bottom line approach. *Journal of Cleaner Production*, 47, 345-354.
- Guo, J., Hepburn, C., Tol, R. S. J., & Anthoff, D. (2006). Discounting and the social cost of carbon: A closer look at uncertainty. *Environment Scientific Pollution*, 9 (3), 205-216.
- Hasan, M. (2013). Sustainable supply chain management practices and operational performance. *American Journal of Industrial and Business Management*, 3, 42-48.

- Kapp, K. W. (1963). *The social costs of business enterprise*. (second ed.) Nottingham: Spokesman,
- Karl, T. R., & Trenberth, K. E. (2003). Modern global climate change. *Science*, 302 (5651), 1719-1723.
- Kumbaroğlu, G. ve Arıkan, Y. (2009). *Farkındalık ve fark yaratmak: Türkiye'nin CO₂ salımları*. İstanbul: Yelken Basım.
- Lee, K. H. (2011). Integrating carbon footprint into supply chain management: the case of Hyundai Motor Company (HMC) in the automobile industry. *Journal of Cleaner Production*, 19 (11), 1216-1223.
- Leenders, M. R. & Blenkhorn, D. L. (1988). *Reverse marketing: the new buyer-supplier relationship*. New York: Free Press.
- Li F., Liu T., Zhang, H., Cao R., Ding W., & Fasano, J. P. (2008). *Distribution center location for green supply chain*, IEEE International Conference On Service Operations and Logistics, and Informatics, Beijing, China, 12-15 October 2008.
- Linton, J. D., Klassen, R. & Jayaraman, V. (2007). Sustainable supply chain: An introduction. *Journal of Operations Management*, 25, 1075-1082.
- Liu, S., Kasturiratne, D., & Moizer, J. (2012). A hub-and-spoke model for multi dimensional integration of green marketing and sustainable supply chain management. *Industrial Marketing Management*, 41 (4), 581-588.
- Lopes, R. B., Barreto, S., Ferreira, C., & Santos, B. S. (2008). A decision-support tool for a capacitated location-routing problem. *Decision Support System*, 46 (1), 366-375.
- Marchant, R. (2010). Understanding complexity in savannas: Climate, biodiversity and people. *Curr. Opi. Environ. Sustain.*, 2 (1-2), 101-108.
- Mota B., Gomes M. I., Carvalho A. & Barbosa-Povoa A. P. (2014) Towards supply chain sustainability: Economic, environmental and social design and planning, *Journal of Cleaner Production*, (xxx), 1-14.
- Öğünç, H. (2010). *Hedef maliyetleme sisteminin mermer sektöründe uygulanması*. Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Isparta Türkiye.
- Paksoy, T., Özceylan, E. & Weber, G. W. (2010), *A multi-objective model for optimization of a green supply chain network*, Proceedings of PCO 2010, 3rd Global Conference on Power Control and Optimization, Gold Coast, Queensland, Australia, February 2-4.
- Rao, P. & Holt, D. (2005). Do green supply chains lead to competitiveness and economic performance?. *International Journal of Operations & Production Management*, 25 (9), 898-916.
- Seuring, S. & Müller, M. (2008). From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management. *Journal of Cleaner Production*, 16 (15), 1699-1710.
- Sundarakani, B., de Souza, R., Goh, M., Wagner, S. M., & Manikandan, M. (2010). Modeling carbon footprints across the supply chain. *International Journal of Production Economics*, 128 (1), 43-50.
- Stock, J., Boyer, S., & Harmon, T. (2010). Research opportunities in supply chain management. *Journal Academic Marketing Science*, 38, 32-41.
- Tseng, S. C. & Hung, S. W. (2014). A strategic decision making model considering the social costs of carbon dioxide emissions for sustainable supply chain management. *Journal of Environmental Management*. 133, 315-322.

- Tunahan, H. (2010). Küresel iklim değişikliğini azaltmanın bir yolu olarak karbon finansmanı. *Muhasebe ve Finansman Dergisi*, 46, 199-215.
- Uyar, S. & Cengiz, E. (2011). Karbon (sera gazı) muhasebesi, Retrived March 04, 2015 (de indirildi) from the world wide web:
<http://archive.ismmmo.org.tr/docs/malicozum/105malicozum/3%20s%C3%BCleyman%20uyar.pdf>
- Wang, Z., & Sarkis, J. (2013). Investigating the relationship of sustainable supply chain management with corporate financial performance. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 62 (8), 871–888.
- Wu, H. J., & Dunn, S. C. (1995). Environmentally responsible logistics systems. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 25 (2), 20-38.
- Zhu, Q., & Sarkis, J. (2004). An inter-sectoral comparison of green supply chain management in China: Drivers and practices. *Journal of Cleaner Production*, 14 (5), 472–486.
- Zsidisin, G. A., & Siferd, S. P. (2001). Environmental purchasing: A framework for theory development. *European Journal of Purchasing Supply Chain*, 7 (1), 61-73.

EK

Senarvo 1 model gösterimi

---- amaç1

$$\begin{aligned} \text{minz} = & - 300 * G(j1, k1, r1) - 130 * G(j1, k1, r2) - 350 * G(j1, k2, r1) - 145 * G(j1, k2, r2) - 10 * G(j2, k1, r1) - \\ & 5 * G(j2, k1, r2) - 200 * G(j2, k2, r1) - 110 * G(j2, k2, r2) - 200 * G(j3, k1, r1) - 100 * G(j3, k1, r2) - \\ & 280 * G(j3, k2, r1) - 120 * G(j3, k2, r2) - 750 * H(k1, l1, r1) - 500 * H(k1, l1, r2) - 600 * H(k1, l2, r1) - \\ & 430 * H(k1, l2, r2) - 650 * H(k1, l3, r1) - 450 * H(k1, l3, r2) - 550 * H(k1, l4, r1) - 400 * H(k1, l4, r2) - \\ & 830 * H(k1, l5, r1) - 520 * H(k1, l5, r2) - 900 * H(k1, l6, r1) - 580 * H(k1, l6, r2) - 850 * H(k1, l7, r1) - \\ & 550 * H(k1, l7, r2) - 750 * H(k2, l1, r1) - 450 * H(k2, l1, r2) - 650 * H(k2, l2, r1) - 400 * H(k2, l2, r2) - \\ & 250 * H(k2, l3, r1) - 200 * H(k2, l3, r2) - 700 * H(k2, l4, r1) - 420 * H(k2, l4, r2) - 750 * H(k2, l5, r1) - \\ & 450 * H(k2, l5, r2) - 830 * H(k2, l6, r1) - 520 * H(k2, l6, r2) - 780 * H(k2, l7, r1) - 470 * H(k2, l7, r2) \end{aligned}$$

---- kisit2

$$H(k1, l1, r1) + H(k2, l1, r1) = G = 26320$$

$$H(k1, l1, r2) + H(k2, l1, r2) = G = 26320$$

$$H(k1, l2, r1) + H(k2, l2, r1) = G = 7280$$

(KISIT 2'NİN KALANLARI BENZER ŞEKİLDE DÜZENLENMİŞTİR)

---- kisit3

$$- G(j1, k1, r1) - G(j2, k1, r1) - G(j3, k1, r1) + H(k1, l1, r1) + H(k1, l2, r1) + H(k1, l3, r1) + H(k1, l4, r1) + H(k1, l5, r1) + H(k1, l6, r1) + H(k1, l7, r1) = L = 0$$

$$- G(j1, k1, r2) - G(j2, k1, r2) - G(j3, k1, r2) + H(k1, l1, r2) + H(k1, l2, r2) + H(k1, l3, r2) + H(k1, l4, r2) + H(k1, l5, r2) + H(k1, l6, r2) + H(k1, l7, r2) = L = 0$$

$$- G(j1, k2, r1) - G(j2, k2, r1) - G(j3, k2, r1) + H(k2, l1, r1) + H(k2, l2, r1) + H(k2, l3, r1) + H(k2, l4, r1) + H(k2, l5, r1) + H(k2, l6, r1) + H(k2, l7, r1) = L = 0$$

(KISIT 3'ÜN KALANLARI BENZER ŞEKİLDE DÜZENLENMİŞTİR)

---- kisit4

$$G(j1, k1, r1) + G(j1, k1, r2) + G(j1, k2, r1) + G(j1, k2, r2) = L = 200000$$

$$G(j2,k1,r1) + G(j2,k1,r2) + G(j2,k2,r1) + G(j2,k2,r2) = L = 40000$$

$$G(j3,k1,r1) + G(j3,k1,r2) + G(j3,k2,r1) + G(j3,k2,r2) = L = 60000$$

---- kisit5

$$H(k1,l1,r1) + H(k1,l1,r2) + H(k1,l2,r1) + H(k1,l2,r2) + H(k1,l3,r1) + H(k1,l3,r2) + H(k1,l4,r1) + H(k1,l4,r2) + H(k1,l5,r1) + H(k1,l5,r2) + H(k1,l6,r1) + H(k1,l6,r2) + H(k1,l7,r1) + H(k1,l7,r2) = L = 180000$$

$$H(k2,l1,r1) + H(k2,l1,r2) + H(k2,l2,r1) + H(k2,l2,r2) + H(k2,l3,r1) + H(k2,l3,r2) + H(k2,l4,r1) + H(k2,l4,r2) + H(k2,l5,r1) + H(k2,l5,r2) + H(k2,l6,r1) + H(k2,l6,r2) + H(k2,l7,r1) + H(k2,l7,r2) = L = 100000$$

Senarvo 5 model gösterimi

---- amaç1

$$\begin{aligned} \text{minz} = & - 310.648341 * G(j1,k1,r1) - 136.5769165 * G(j1,k1,r2) - 374.506469 * G(j1,k2,r1) - \\ & 160.1363485 * G(j1,k2,r2) - 11.273725 * G(j2,k1,r1) - 5.7867125 * G(j2,k1,r2) - \\ & 214.877108 * G(j2,k2,r1) - 119.188802 * G(j2,k2,r2) - 206.929064 * G(j3,k1,r1) - \\ & 104.279716 * G(j3,k1,r2) - 302.774203 * G(j3,k2,r1) - 134.0664195 * G(j3,k2,r2) - \\ & 30755.03387136 * H(k1,l1,r1) - 30503.10915584 * H(k1,l1,r2) - 30603.68551296 * H(k1,l2,r1) - \\ & 30432.27634624 * H(k1,l2,r2) - 30653.28100544 * H(k1,l3,r1) - 30452.02650336 * H(k1,l3,r2) - \\ & 30552.89897056 * H(k1,l4,r1) - 30401.79054064 * H(k1,l4,r2) - 30837.60698864 * H(k1,l5,r1) - \\ & 30524.69843416 * H(k1,l5,r2) - 30916.36008192 * H(k1,l6,r1) - 30590.10475648 * H(k1,l6,r2) - \\ & 30858.78680224 * H(k1,l7,r1) - 30555.42714256 * H(k1,l7,r2) - 30758.12385936 * H(k2,l1,r1) - \\ & 30455.01767784 * H(k2,l1,r2) - 30655.20241616 * H(k2,l2,r1) - 30403.21325704 * H(k2,l2,r2) - \\ & 30250.2247264 * H(k2,l3,r1) - 30200.1388016 * H(k2,l3,r2) - 30706.02266752 * H(k2,l4,r1) - \\ & 30423.71988288 * H(k2,l4,r2) - 30760.7306856 * H(k2,l5,r1) - 30456.6277764 * H(k2,l5,r2) - \\ & 30847.27022384 * H(k2,l6,r1) - 30530.66690296 * H(k2,l6,r2) - 30789.69694416 * H(k2,l7,r1) - \\ & 30475.98928904 * H(k2,l7,r2) \end{aligned}$$

---- kisit2

$$H(k1,l1,r1) + H(k2,l1,r1) = G = 26320$$

$$H(k1,l1,r2) + H(k2,l1,r2) = G = 26320$$

$$H(k1,l2,r1) + H(k2,l2,r1) = G = 7280$$

(KISIT 2'NİN KALANLARI BENZER ŞEKİLDE DÜZENLENMİŞTİR)

---- kisit3

$$- G(j1,k1,r1) - G(j2,k1,r1) - G(j3,k1,r1) + H(k1,l1,r1) + H(k1,l2,r1) + H(k1,l3,r1) + H(k1,l4,r1) + H(k1,l5,r1) + H(k1,l6,r1) + H(k1,l7,r1) = L = 0$$

$$- G(j1,k1,r2) - G(j2,k1,r2) - G(j3,k1,r2) + H(k1,l1,r2) + H(k1,l2,r2) + H(k1,l3,r2) + H(k1,l4,r2) + H(k1,l5,r2) + H(k1,l6,r2) + H(k1,l7,r2) = L = 0$$

$$- G(j1,k2,r1) - G(j2,k2,r1) - G(j3,k2,r1) + H(k2,l1,r1) + H(k2,l2,r1) + H(k2,l3,r1) + H(k2,l4,r1) + H(k2,l5,r1) + H(k2,l6,r1) + H(k2,l7,r1) = L = 0$$

(KISIT 3'ÜN KALANLARI BENZER ŞEKİLDE DÜZENLENMİŞTİR)

---- kisit4

$$G(j1,k1,r1) + G(j1,k1,r2) + G(j1,k2,r1) + G(j1,k2,r2) = L = 200000$$

$$G(j2,k1,r1) + G(j2,k1,r2) + G(j2,k2,r1) + G(j2,k2,r2) = L = 40000$$

$$G(j3,k1,r1) + G(j3,k1,r2) + G(j3,k2,r1) + G(j3,k2,r2) = L = 60000$$

---- kisit5

$$H(k1,11,r1) + H(k1,11,r2) + H(k1,12,r1) + H(k1,12,r2) + H(k1,13,r1) + H(k1,13,r2) + H(k1,14,r1) + H(k1,14,r2) + H(k1,15,r1) + H(k1,15,r2) + H(k1,16,r1) + H(k1,16,r2) + H(k1,17,r1) + H(k1,17,r2) = L = 180000$$

$$H(k2,11,r1) + H(k2,11,r2) + H(k2,12,r1) + H(k2,12,r2) + H(k2,13,r1) + H(k2,13,r2) + H(k2,14,r1) + H(k2,14,r2) + H(k2,15,r1) + H(k2,15,r2) + H(k2,16,r1) + H(k2,16,r2) + H(k2,17,r1) + H(k2,17,r2) = L = 100000$$

Senaryo 9 model gösterimi

---- amaç1

$$\begin{aligned} \text{minz} = & - 324.846129 * G(j1,k1,r1) - 145.3461385 * G(j1,k1,r2) - 407.181761 * G(j1,k2,r1) - \\ & 180.3181465 * G(j1,k2,r2) - 12.972025 * G(j2,k1,r1) - 6.8356625 * G(j2,k1,r2) - \\ & 234.713252 * G(j2,k2,r1) - 131.440538 * G(j2,k2,r2) - 216.167816 * G(j3,k1,r1) - \\ & 109.986004 * G(j3,k1,r2) - 333.139807 * G(j3,k2,r1) - 152.8216455 * G(j3,k2,r2) - \\ & 70761.74569984 * H(k1,11,r1) - 70507.25469696 * H(k1,11,r2) - 70608.59953024 * H(k1,12,r1) - \\ & 70435.31147456 * H(k1,12,r2) - 70657.65567936 * H(k1,13,r1) - 70454.72850784 * H(k1,13,r2) - \\ & 70556.76426464 * H(k1,14,r1) - 70404.17792816 * H(k1,14,r2) - 70847.74964016 * H(k1,15,r1) - \\ & 70530.96301304 * H(k1,15,r2) - 70938.17352448 * H(k1,16,r1) - 70603.57776512 * H(k1,16,r2) - \\ & 70870.50253856 * H(k1,17,r1) - 70562.66333264 * H(k1,17,r2) - 70768.95567184 * H(k2,11,r1) - \\ & 70461.70791496 * H(k2,11,r2) - 70662.13897104 * H(k2,12,r1) - 70407.49759976 * H(k2,12,r2) - \\ & 70250.5243616 * H(k2,13,r1) - 70200.3238704 * H(k2,13,r2) - 70714.05289088 * H(k2,14,r1) - \\ & 70428.67972672 * H(k2,14,r2) - 70775.0382664 * H(k2,15,r1) - 70465.4648116 * H(k2,15,r2) - \\ & 70870.29718896 * H(k2,16,r1) - 70544.88944024 * H(k2,16,r2) - 70802.62620304 * H(k2,17,r1) - \\ & 70483.97500776 * H(k2,17,r2) \end{aligned}$$

---- kisit2

$$H(k1,11,r1) + H(k2,11,r1) = G = 26320$$

$$H(k1,11,r2) + H(k2,11,r2) = G = 26320$$

$$H(k1,12,r1) + H(k2,12,r1) = G = 7280$$

(KISIT 2'NİN KALANLARI BENZER ŞEKİLDE DÜZENLENMİŞTİR)

---- kisit3

$$- G(j1,k1,r1) - G(j2,k1,r1) - G(j3,k1,r1) + H(k1,11,r1) + H(k1,12,r1) + H(k1,13,r1) + H(k1,14,r1) + H(k1,15,r1) + H(k1,16,r1) + H(k1,17,r1) = L = 0$$

$$- G(j1,k1,r2) - G(j2,k1,r2) - G(j3,k1,r2) + H(k1,11,r2) + H(k1,12,r2) + H(k1,13,r2) + H(k1,14,r2) + H(k1,15,r2) + H(k1,16,r2) + H(k1,17,r2) = L = 0$$

$$- G(j1,k2,r1) - G(j2,k2,r1) - G(j3,k2,r1) + H(k2,11,r1) + H(k2,12,r1) + H(k2,13,r1) + H(k2,14,r1) + H(k2,15,r1) + H(k2,16,r1) + H(k2,17,r1) = L = 0$$

(KISIT 3'ÜN KALANLARI BENZER ŞEKİLDE DÜZENLENMİŞTİR)

---- kisit4

$$G(j1,k1,r1) + G(j1,k1,r2) + G(j1,k2,r1) + G(j1,k2,r2) = L = 200000$$

$$G(j2,k1,r1) + G(j2,k1,r2) + G(j2,k2,r1) + G(j2,k2,r2) = L = 40000$$

$$G(j3,k1,r1) + G(j3,k1,r2) + G(j3,k2,r1) + G(j3,k2,r2) = L = 60000$$

---- kisit5

$$H(k1,11,r1) + H(k1,11,r2) + H(k1,12,r1) + H(k1,12,r2) + H(k1,13,r1) + H(k1,13,r2) + H(k1,14,r1) + H(k1,14,r2) + H(k1,15,r1) + H(k1,15,r2) + H(k1,16,r1) + H(k1,16,r2) + H(k1,17,r1) + H(k1,17,r2) = L = 180000$$

$$H(k2,11,r1) + H(k2,11,r2) + H(k2,12,r1) + H(k2,12,r2) + H(k2,13,r1) + H(k2,13,r2) + H(k2,14,r1) + H(k2,14,r2) + H(k2,15,r1) + H(k2,15,r2) + H(k2,16,r1) + H(k2,16,r2) + H(k2,17,r1) + H(k2,17,r2) = L = 100000$$