



## Biyodizel Yakıtlar için Çok Önemli Tedarik Zinciri Ağ Tasarımı: Türkiye Örneği

Enis Barış KARAKOÇ<sup>1</sup>, Berk AYVAZ<sup>2,\*</sup>, Ali Osman KUŞAKÇI<sup>3</sup>, Fatih ÖZTÜRK<sup>4</sup>

<sup>1</sup>*İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 34854 Maltepe/İSTANBUL*

<sup>2</sup>*İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 34854 Maltepe/İSTANBUL*

<sup>3</sup>*İbn Haldun Üniversitesi, Yönetim Bilimleri Fakültesi, İşletme Bölümü, 34480 Başakşehir/İSTANBUL*

<sup>4</sup>*İstanbul Medeniyet Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 34700 Üsküdar/İSTANBUL*

### Öz

Dünya üzerindeki tüketilmekte olan enerjinin büyük çoğunluğu yenilenemez enerji kaynaklarından olan fosil yakıtlardan elde edilmektedir. Uluslararası Enerji Ajansı'nın(UEA) verilerine göre dünya üzerindeki artan petrol talebini karşılayabilecek petrol rezervi 1,7 trilyon varil civarında olup bu miktar yaklaşık 51 yıllık tüketimi karşılayabilmektedir. Tüm fosil yakıtlar gibi petrolün de yanma esnasında açığa çıkardığı zararlı gazların etkisiyle çevre kirliliğine ve küresel ısınmaya yol açtığı bilinen bir gerçektir. Bu nedenle alternatif enerji kaynakları yakın gelecekte daha büyük önem kazanacaktır. Alternatif enerji kaynakları araştırıldığında Biyokütle enerjisinin öneminin büyüklüğü görülmektedir. Biyodizel, fosil yakıtlar için olabilecek en iyi ikame yakıt türü olmasından dolayı en çok kullanılan sıvı biyoyakıtlardandır. Biyoyakıtların üretilmesi ve yenilenebilir enerjiler arasında önemli bir yere sahip olabilmesi için ilk aşamada maliyet etkin bir tedarik zinciri tasarlanması gerekmektedir. Bu çalışmada biyodizel tedarik zinciri ağ tasarımı için maliyet minimizasyonu amaçlayan bir çok periyotlu karma tamsayılı doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen model; tesis lokasyon seçimi, biyorafineride kullanılacak uygun teknoloji ve malzeme akış miktarı gibi karar değişkenlerini içermektedir. Bu çalışmanın en önemli özgül katkısı mevcut yazın taramamıza göre konu ile ilgili Türkiye'de uygulaması yapılmış ilk çalışma olmasıdır. Geliştirilen modelin geçerliliğini test etmek için Türkiye'de biyodizel tedarik zinciri ağ tasarımı probleminin gerçek veriler kullanılarak çözümü yapılmıştır.

### Makale Bilgisi

Başvuru: 02/04/2018

Düzeltilme: 01/06/2018

Kabul: 07/08/2018

### Anahtar Kelimeler

Biyodizel,  
Tedarik zinciri ağ  
tasarımı,  
Optimizasyon

### Keywords

Biodiesel,  
Supply chain network  
design,  
Optimization

## A Multi-Period Supply Chain Network Design for Biodiesel Fuels: The Case of Turkey

### Abstract

A major portion of energy consumed worldwide is derived from non-renewable energy sources. According to the International Energy Agency (IEA), the oil reserves that can meet the rising global oil demand around 1.7 trillion barrels, which may last about 51 years. Like all fossil fuels, petroleum is a well-known cause of pollution and global warming due to the harmful gases it releases. At this point, biomass energy emerges as a promising alternative energy source. Among alternative biomass products, biodiesel is the most widely used liquid biofuel as substitute fuel type for fossil fuels. Obviously, designing a cost effective supply chain is an essential component of a sustainable energy policy that aims to successfully substitute biodiesel for fossil fuels. In this study, we develop a mixed integer linear programming model minimizing the cost of supply chain network of biodiesel. The proposed model optimizes locations of processing facilities, technology to be used in bioprocessing, and amount of material flow. The main contribution of this work is that it will be the first study dealing with the Turkish Biodiesel supply chain, to the best of our knowledge. To prove the validity of the model, a country-wide supply chain network for biodiesel is designed using real data collected from Turkish market.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Nüfus artışına, ciddi bir ivme ile artan araç sayılarına ve gelişen sanayiye bağlı olarak artan enerji ihtiyacının, fosil kaynaklı yakıtlar ile karşılanması nedeniyle oluşan çevresel etkiler göz ardı edilemeyecek kadar fazladır. Petrol rezervlerinin de azalması nedeniyle çevreye daha az zararlı, yenilenebilir ve yeşil enerji kaynaklarına olan ilgi daha da artmaktadır. Alternatif enerji kaynaklarının son yıllarda ülkemizde kullanım zorunluluğunun da başlaması ile biyoyakıtlara olan ilgi artış göstermiştir. Biyodizel, fosil yakıtlar için olabilecek en iyi ikame yakıt türü olmasından ve dizel yakıtlar ile her oranda karşıtılarak kullanılabilmesinden dolayı en çok kullanılan sıvı biyoyakıtlardandır.

Biyodizel yakıtlarla ilgili ülkemizde bir takım düzenlemeler yapılmıştır. Biyodizel kullanımı ile ilgili olarak Resmi Gazete'de 27 Eylül 2011 tarih ve 28067 sayılı "Motorin Türlerine İlişkin Değişiklik Yapılmasına Dair Tebliğ" yayınlanmış ve bu tebliğe göre piyasada kullanılan motorin türlerinin, yerli tarım ürünlerinden üretilmiş biyodizel içeriğinin; 01/01/2014 tarihinden itibaren en az %0,1, 01/01/2015 tarihinden itibaren en az %0,2, 01/01/2016 tarihinden itibaren en az %0,3 ve 16/07/2017 tarihi itibarıyla ise en az %0,5 oranında olması zorunlu hale getirilmiştir.

Yenilenebilir kaynaklardan türetilen, biyolojik olarak parçalanabilen, toksik olmayan ayrıca petrol türevlerine kıyasla daha elverişli bir yanma emisyon profiline sahip olan biyodizel, bitkisel veya hayvansal kaynaklı olarak üretilen bir yakıt türüdür.

Bitkisel yağlardan üretilen biyodizel yakıtlar yenilenebilir ve yenilemeyen bitkilerden üretilmektedir. Dünya üzerinde büyük bir gıda krizine neden olmamak için yenilemeyen bitkilerin yağlı tohumlarının biyodizel yapımında kullanılması tercih edilmelidir. Yenilemeyen bitki sınıfına giren; jatropha, karanj tohumu, hint fıstığı ve mahua ile atık yağlar kullanılarak yapılan biyodizel üretiminde dünya nüfusunun herhangi bir gıda krizi ile karşı karşıya gelmemesi açısından daha çok tercih edilmektedir. Biyodizel üretimi esnasında yan ürün olarak açığa çıkan gliserin ise temizlik, tıp, eczacılık ve kozmetik sektörlerinde kullanılmaktadır.

Biyodizelin üretilmesi ve yenilenebilir enerjiler arasında önemli bir yere sahip olabilmesi için ilk olarak maliyet etkin bir tedarik zinciri ağının tasarlanması gerekmektedir.

Tedarik zinciri ağı; üretici, tedarikçi, nakliyecisi, dağıtım merkezleri, perakendeci ve tüketici gibi tedarik zincirini oluşturan sistemler, alt sistemler, operasyonlar ve bunlar arasındaki ilişkileri inceleyen kompleks bir yapıdır (Paksoy, 2005).

Bu çalışmada maliyet minimizasyonunu hedefleyen, biyodizel yakıtların tedarik zinciri ağ tasarımı için entegre bir çok periyotlu karmaşık tamsayı doğrusal programlama (MIP) modeli geliştirilmiştir. Önerilen model; optimum yer, biyorafineride kullanılacak uygun teknoloji, malzeme akışı gibi karar değişkenlerini içermektedir. Model, enerji bitkisi tarlaları, toplama ve ön işleme merkezleri, biyorafineriler, dağıtım merkezleri ve müşteri bölgeleri dahil olmak üzere beş kademedir oluşmaktadır. Modelin uygulaması, 4 yıllık planlamayla Türkiye'de gerçek veriler toplanarak yapılmıştır. Geliştirilen model ülkemizde jatropha bitkisi kullanılarak yapılmış ilk biyodizel tedarik zinciri ağ tasarımı olma özelliği göstermektedir.

Çalışmanın bundan sonraki bölümünde literatür taraması yapılırken kullanılan metodoloji hakkında bilgi verilmiştir. Üçüncü bölümde problem tanımı ve formülasyonuna yer verilmiştir. Dördüncü bölümde modelin Türkiye uygulaması hakkında bilgilendirmede bulunulmuştur. Son bölümde ise sonuç ve değerlendirmeler aktarılmıştır.

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI (LİTERATURE SEARCH)

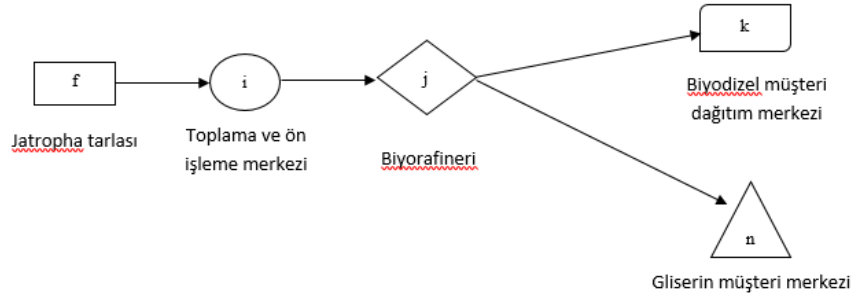
Bu bölümde biyoyakıt tedarik zinciri ağ tasarımı optimizasyonu ile ilgili en son yapılan çalışmalar gözden geçirilmiştir.

Yue vd. (2014) biyoyakıt tedarik zincirlerinin modellenmesi ve optimizasyonundaki temel zorlukları ve fırsatları gözden geçirmiş ve tanımlamışlardır. Biyoyakıt tedarik zincirlerinde operasyonel stratejik ve taktiksel kararların gözden geçirilmesine ek olarak, mevcut biyoatıkların fosil yakıt rafinerileriyle entegrasyonu ile ilgili çalışmalarda bulunmuşlardır. Ayrıca sürdürülebilirlik konuları yani biyoyakıtların ekonomik, çevresel, sosyal yönleri ve biyoyakıt tedarik zincirinin belirsizliği ile ilgili yaklaşımlarda da bulunmuşlardır. Banos vd. (2011), matematiksel programlama yöntemleri, yaklaşık yöntemler, yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji alanında uygulanan sezgisel ve meta-sezgisel yöntemleri içeren farklı optimizasyon yöntemlerini incelemişlerdir. Hoekman vd. (2012) bitkisel ve hayvansal yağlardan üretilen farklı biyodizel türlerinin özelliklerini ve bileşimlerini incelemişlerdir. Mohseni v.d. (2016), çalışmalarında mikroalg tabanlı tedarik zincirinin dizaynı ve planlaması için 2 aşamalı model önermişlerdir. Bu modelde biyodizel üretim tesisleri kurulabilmesi için en uygun aday yerleri belirleyebilmek amacıyla CBS(Coğrafi Bilgi Sistemi) ve AHP(Analitik Hiyerarşik Proses) kullanmışlardır. İkinci aşamada ise; biyodizel tedarik zinciri için robust(gürbüz) programlama modeli önermişlerdir. Önerilen modelin İran'da gerçek verilerle uygulaması yapılmıştır. Sajjadi vd. (2016), yenilebilir ve yenilemeyen bitkisel yağlı tohumlardan üretilen biyodizelin özellikleri hakkında kapsamlı bir çalışma yürütmüşlerdir. J. Gupta, M. Agarwal v.d. (2016), çalışmalarında düşük ve yüksek serbest yağ asidi(FFA) içeren yenilebilir ve yenilemeyen bitkisel yağların karışımından elde edilen biyodizel yakıtlar için araştırmalar yapmışlardır. Rincon v.d. (2014), çalışmalarında biyodizel tedarik zincirinin en uygun koşullarını tekno-ekonomik ve çevresel analiz yoluyla incelemişlerdir. Lojistik kısıtlamaların kullanımı, çevresel değerlendirme ve maliyet minimizasyonu yapılan çalışmada tahmin edilmiştir. Azadeh ve Arani (2016), İran'da biyodizel yakıtlar için tedarik zinciri ağ tasarımı çalışmasını gerçekleştirmişlerdir. Açık döngü olarak tasarlanan ağ tek amaçlı ve karma tamsayılı doğrusal programlamaya (KTDP) göre modellenmiştir. Kurulan model deterministik olduğu için çözümde kesin (exact) yöntemler kullanılmıştır ve GAMS yazılımının CPLEX çözücüsü ile çözülmüştür. Bai vd. (2015), çalışmalarında iki aşamalı olarak hem kesin hem de sezgisel yöntemlerle çözümlemeler kullanmışlardır. Ren vd. (2015), çalışmalarında belirsizlikler altında aralıklı doğrusal programlama ile açık döngü bir tedarik zinciri modellemiş ve tek amaçlı olarak modellenmiş, belirsizliği gidermek için yaşam döngüsü analizleri gerçekleştirmişlerdir. Pasandideh vd., (2014) çalışmalarında açık döngü, tedarik zinciri olarak tasarlanmış, karma tamsayılı doğrusal olmayan programlamaya göre modellenmiştir. Bu kümedeki çalışmayı diğer kümelerden ayıran özelliği ise modelin çözümünde sezgisel yöntemlerin kullanılmasıdır. Azadeh vd. (2014) çalışmalarında belirsizlikleri gidermek için duyarlılık, senaryo ve stokastik analizleri yapmışlardır. Kümedeki çalışmalarda benzer olarak Balaman ve Selim (2016) Türkiye'de gerçekleştirdikleri çalışmalarında belirsizlikleri gidermek için duyarlılık analizi ve bulanık optimizasyon metodlarıyla birden fazla yöntem kullanmışlardır. Jiang ve Zhang (2016) çalışmalarında, genetik algoritma kullanarak sezgisel bir yöntemle çözümleme yapılmıştır.

## 3. PROBLEMİN TANIMI VE FORMÜLASYONU (PROBLEM DESCRIPTION AND FORMULATION)

Bu çalışmada, genel bir biyodizel tedarik zinciri ağ tasarımı problemi ele alınmıştır. Dikkate alınan biyodizel tedarik zinciri beş aşamalı ve çok periyotlu bir ağdır. Tarlalar, toplama ve ön işleme merkezleri, biyorafineriler, dağıtım merkezleri ve müşteri merkezleri ele alınan ağı oluşturmaktadır. Bu ağda ilk olarak, yağ oranı yüksek bir yenilemeyen bitki türü olan jatropha bitkisi tohumları tarlalardan toplanmaktadır. Jatropha biyodizel üretiminde kullanılmakta olan diğer bitkiler arasında en yüksek yağ oranına sahip bitkidir. Jatrophanın üretilen biyodizelin, soya fasulyesi yağından üretilenle kıyaslandığında düşük asitlik ve iyi oksidasyon yeteneğine, hint yağı ile kıyaslandığında düşük viskoziteye ve palm yağı ile karşılaştırıldığında daha iyi soğutma özelliklerine sahip olduğu belirlenmiştir (Babazadeh, 2017). Modelde tarladan toplanan jatropha tohumları toplama ve ön işleme merkezlerinde ön işlemden geçirilmektedir. Burada ekstre edilmiş jatropha tohumu yağı biyorafinerilere taşınır. Biyorafineriler farklı teknoloji ve kapasiteye sahip olabilmektedir. Biyorafineride çeşitli işlemlere tabi

tutulan jatropha tohumu yağı biyodizel ve gliserine dönüştürülür. Daha sonra ürün, müşteri dağıtım merkezine gönderilir. Gliserin ise gliserin talep notlarına gönderilir. Önerilen modele ait akış şeması Şekil 1'de gösterilmiştir.



**Şekil 1.** Biyodizel Tedarik Zinciri Akış Şeması

Çalışmada kullanılan tüm parametreler deterministiktir. Modelde biyodizel üretiminde 2 farklı teknolojiyle biyodizel üretimi yapabilmek mümkündür. Bunlardan ilki vakumlu damıtma içeren sürekli bir işlem sistemine sahip BDX1000 teknolojisi, bir diğeri tam otomatik biyodizel üretim imkanı tanıyan CPU1000 teknolojisidir. İlk teknoloji diğer teknolojiye göre daha düşük sabit maliyete sahiptir. Önerilen model bu iki teknolojiden, her bir biyorafineri için uygun olanını kendi seçecektir. Jatropha bitkilerinin yetişebildiği en uygun alanların kurak ve yarı kurak alanlar olmasından dolayı modelde Türkiye için en uygun 10 il ülkemizin son 4 yıllık yağış ortalaması hesaplanarak seçilmiştir. Modelde 4 yıllık bir zaman dilimi için hesaplama yapılmıştır. Stratejik açıdan bakıldığında, önerilen modelin yukarıdaki varsayımlar altında ele alacağı kararlar arasında; jatropha tarlaları, jatropha tohumu toplama ve ön işleme merkezleri, biyorafineriler ve biyodizel müşteri dağıtım merkezleri ile gliserin müşteri merkezlerinin optimum sayıları, konumları ve kapasitelerinin belirlenmesi yer almaktadır. Ayrıca kurulan her biyorafineride uygun teknoloji seçeneğinin belirlenmesi de kara değişkenlerinden birisidir. Taktiksel olarak; üretim miktarları, envanter seviyeleri, ağ düğümleri arasındaki toplam malzeme akışı kararları verilecektir. Ayrıca önerilen modelde ek değişken maliyetlerden kaçınmak için tesislerin kapasitesi sürekli karar değişkenleri ile belirlenmektedir.

### 3.1. Önerilen Matematiksel Modelin Formülasyonu (Recommended Mathematical Model Formulation)

Kısaca önerilen modele ait biyodizel tedarik zinciri ağ tasarımı modelinin detayları aşağıda gösterilmiştir. Burada amaç fonksiyonu toplam maliyetlerin net bugünkü değerini en küçükleyecektir.

#### İndisler (Sets)

f: jatropha tarlası (f= Kırklareli, Sakarya, Muğla, Denizli, Artvin, Samsun, **K**ayseri, Bitlis, Muş, Siirt)

i: toplama ve ön işleme merkezi (i= Sakarya, Muğla, Samsun, Kayseri, Siirt)

j: biyorafineri (j= Gaziantep, Ankara, İzmir, Kocaeli, Mersin)

r: biyorafineride kullanılacak teknoloji (r= CPU1000, BDX1000)

k: biyodizel müşteri dağıtım merkezi (k= Kırıkkale, İzmir, Antalya, Tekirdağ, Giresun, Mersin, Kocaeli)

n: gliserin müşteri merkezi (n= Gliserin1, Gliserin2)

t: periyot (t= 1, 2, 3, 4)

**Parametreler (Parameters)**

- $Dk_t$ : t. dönemde k. biyodizel dağıtım merkezi talebi  
 $DEn_t$ : t. dönemde n. gliserin müşteri merkezinin talebi  
 $LA_f$ : f konumundaki JCL hammadde merkezi için min. arazi alanı  
 $UA_f$ : f konumundaki JCL hammadde merkezi için max. arazi alanı  
 $LC_i$ : i konumundaki JCL toplama ve ön işleme merkezi kapasite alt sınırı  
 $UC_i$ : i konumundaki JCL toplama ve ön işleme merkezi kapasite üst sınırı  
 $LB_j$ : j konumundaki biyorafinerinin kapasite alt sınırı  
 $UB_j$ : j konumundaki biyorafinerinin kapasite üst sınırı  
 $LS_k$ : k konumundaki biyodizel dağıtım merkezinin kapasite alt sınırı  
 $US_k$ : k konumundaki biyodizel dağıtım merkezinin kapasite üst sınırı  
 $\lambda_{f,t}$ : t döneminde f konumundaki jatropha hammadde merkezinin hektar başına verim faktörü  
 $\alpha$ : Jatropha tohumunun yağa dönüşüm faktörü  
 $\gamma$ : Jatropha yağının biyodizele dönüşüm faktörü  
 $FCJ_f$ : f konumunda jatropha yetiştirme merkezi açmanın sabit maliyeti  
 $FCC_i$ : i konumunda jatropha toplama ve ön işleme merkezi açmanın sabit maliyeti  
 $LSN_n$ : n konumundaki biyodizel dağıtım merkezinin kapasite alt sınırı  
 $USN_n$ : n konumundaki biyodizel dağıtım merkezinin kapasite üst sınırı  
 $FCB_j$ : j konumunda r teknolojili biyorafineri açmanın sabit maliyeti  
 $FCS_k$ : k konumunda biyodizel dağıtım merkezi açmanın sabit maliyeti  
 $VCJ_f$ : f konumunda hektar başına jatropha ekiminin değişken maliyeti  
 $VCC_{i,t}$ : t döneminde i konumundaki JCL toplama ve ön işleme merkezinin kurulumunun birim kapasite başına değişken maliyeti  
 $VCB_{j,t}^r$ : t döneminde j konumundaki r teknolojili biyorafinerinin kurulumunun birim kapasite başına değişken maliyeti  
 $VCS_{k,t}$ : t döneminde k konumundaki biyodizel dağıtım merkezi kurulumunun birim kapasite başına değişken maliyeti  
 $PCJ_{f,t}$ : t döneminde f konumunda jatropha birim üretim maliyeti  
 $PCB_{j,t}$ : t döneminde j konumundaki biyorafineriden biyodizel birim üretim maliyeti  
 $PCG_{j,t}$ : t döneminde j konumundaki biyorafineriden birim gliserin üretim maliyeti  
 $PCO_{i,t}$ : t döneminde i konumundaki JCL toplama ve ön işleme merkezinin birim yağ çıkarma maliyeti  
 $ICJ_{i,t}$ : t döneminde i konumundaki JCL toplama ve ön işleme merkezinin JCL birim stok tutma maliyeti  
 $ICB_{j,t}$ : t döneminde j konumundaki biyorafinerinin biyodizel birim stok tutma maliyeti  
 $ICG_{j,t}$ : t döneminde j konumundaki biyorafinerinin gliserin birim stok tutma maliyeti  
 $ICS_{k,t}$ : t döneminde k konumundaki biyodizel dağıtım merkezinin biyodizel birim stok tutma maliyeti  
 $JCT_{f,i,t}$ : t döneminde f tarlasındaki JCL tohumlarının i konumundaki JCL toplama ve ön işleme merkezine taşıma maliyeti  
  
 $OCT_{i,j,t}$ : t döneminde i konumundaki JCL yağının j konumundaki biyorafineriye taşıma maliyeti  
 $BCT_{j,k,t}$ : t döneminde j konumundaki biyorafineriden k konumundaki biyodizel dağıtım merkezine biyodizel taşıma maliyeti  
 $GCT_{j,n,t}$ : t döneminde j konumundaki biyorafineriden n. gliserin müşterisine gliserin taşıma maliyeti

### İkili Karar Değişkenleri (Binary Variables)

- $x_f$ : f konumunda JCL ekim merkezi açılma durumu  
 $u_i$ : i konumunda JCL toplama ve ön işleme merkezi açılma durumu  
 $v_j^r$ : j konumunda r teknolojilibiyorafineri açılma durumu  
 $w_k$ : k konumunda biyodizel dağıtım merkezi açılma durumu

### Karar Değişkenleri (Variables)

- $I_{i,t}$ : t periyodunda i konumundaki toplama ve ön işleme merkezinin JCL stok düzeyi  
 $IB_{j,t}^r$ : t periyodunda j konumundaki r teknolojilibiyorafinerinin biyodizel stok düzeyi  
 $IG_{j,t}^r$ : t periyodunda j konumundaki r teknolojilibiyorafinerinin gliserin stok düzeyi  
 $IS_{k,t}$ : t periyodunda k konumundaki biyodizel dağıtım merkezinin biyodizel stok düzeyi  
 $PJ_{f,t}$ : t periyodunda f konumundaki üretim merkezinde üretilebilen JCL miktarı  
 $PB_{j,t}^r$ : t periyodunda j konumunda r teknolojiyle üretilebilen biyodizel miktarı  
 $PG_{j,t}^r$ : t periyodunda j konumunda r teknolojiyle üretilebilen gliserin miktarı  
 $PO_{i,t}$ : t periyodunda i konumundaki toplama ve ön işleme merkezinde üretilebilen JCL yağ miktarı  
 $JT_{f,i,t}$ : t döneminde f konumundan i konumundaki toplama merkezine taşınan JCL tohumu miktarı  
 $OT_{i,j,t}^r$ : t döneminde i konumundaki toplama merkezinden j konumundaki r teknolojili biyorafineriye taşınan JCL yağı miktarı  
 $BT_{j,k,t}^r$ : t döneminde j konumundaki r teknolojilibiyorafineriden k konumundaki dağıtım merkezine taşınan biyodizel miktarı  
 $GT_{j,n,t}^r$ : t döneminde j konumundaki r teknolojili biyorafineriden k konumundaki dağıtım merkezine taşınan gliserin miktarı  
 $CJ_f$ : f konumundaki JCL ekili alan miktarı (hektar)  
 $CC_{i,t}$ : t döneminde i konumundaki JCL toplama ve ön işleme merkezinin gerekli kapasitesi  
 $CB_{j,t}^r$ : t döneminde j konumundaki r teknolojili biyorafinerinin gerekli kapasitesi  
 $CS_{k,t}$ : t döneminde k konumundaki biyodizel dağıtım merkezinin gerekli kapasitesi  
 $CSN_{n,t}$ : t periyodunda n konumundaki gliserin müşteri merkezinin gerekli kapasitesi  
 $CEC_{i,t}$ : t periyodunda i konumundaki jatropha toplama ve ön işleme merkezinin kapasite genişletme miktarı  
 $CEB_{j,t}^r$ : t periyodunda r teknolojili j konumundaki biyorafinerinin kapasite genişletme miktarı  
 $CES_{k,t}$ : t periyodunda k konumundaki biyodizel müşteri dağıtım merkezinin kapasite genişletme miktarı  
 $CESN_{n,t}$ : t periyodunda n konumundaki gliserin müşteri merkezinin kapasite genişletme miktarı  
 $ISN_{n,t}$ : t periyodunda n konumundaki gliserin müşteri merkezinin gliserin stok düzeyi

### 3.2. Amaç Fonksiyonu (Objective Function)

Önerilen modele ait amaç fonksiyonu aşağıdaki maliyet kalemlerini içeren fonksiyonların toplam maliyetini en aza indirir: Sabit Açılış Maliyetleri: Bu maliyetler jatropha tarlası, jatropha toplama ve ön işleme merkezi, biyorafineri, biyodizel müşteri dağıtım merkezi ve gliserin müşteri merkezlerinin açılış maliyetlerini içermektedir.

$$\sum_f FCJ_f * x_f + \sum_i FCC_i * u_i + \sum_j FCB_j^r * v_j^r + \sum_k FCS_k * w_k \quad (1)$$

Değişken Açılış Maliyetleri: Bu maliyetler jatropha tarlası, jatropha toplama ve ön işleme merkezi, biyorafineri, biyodizel müşteri dağıtım merkezi ve gliserin müşteri merkezlerinin değişken maliyetlerini içermektedir.

$$\sum_f VCJ_f * CJ_f + \sum_i \sum_t VCC_{i,t} * CC_{i,t} + \sum_j \sum_t VCB_{j,t}^r * CB_{j,t}^r + \sum_k \sum_t VCS_{k,t} * CS_{k,t} \quad (2)$$

Üretim Maliyetleri: Bu maliyetler jatropha tohumlarının toplam üretim maliyetlerini, jatropha tohumlarının toplama ve ön işleme merkezlerinde işlenmesi maliyetlerinin, biyodizel üretim maliyetlerinin ve gliserin üretim maliyetlerinin hesaplar.

$$\sum_f \sum_t PCJ_{f,t} * PJ_{f,t} + \sum_i \sum_t PCO_{i,t} * PO_{i,t} + \sum_j \sum_t PCB_{j,t} * PB_{j,t} + \sum_k \sum_t PCG_{j,t} * PG_{j,t} \quad (3)$$

Stok Tutma Maliyetleri: Bu maliyetler, sırasıyla, jatropha tarlalarının, jatropha toplama ve ön işleme merkezlerinin, biyorafinerilerin ve biyodizel müşteri dağıtım merkezlerinin stok tutma maliyetlerini hesaplar.

$$\sum_i \sum_t ICJ_{i,t} * IJ_{i,t} + \sum_j \sum_t ICB_{j,t} * IB_{j,t} + \sum_k \sum_t ICG_{j,t} * IG_{j,t} + \sum_k \sum_t ICS_{k,t} * IS_{k,t} \quad (4)$$

Taşımacılık(Nakliye) Maliyetleri: Bu maliyetler, farklı dönemlerde indisler arası malzeme taşıma maliyetlerini hesaplar.

$$\sum_f \sum_i \sum_t JCT_{f,i,t} * JT_{f,i,t} + \sum_i \sum_j \sum_r \sum_t OCT_{i,j,t} * OT_{i,j,t}^r + \sum_j \sum_r \sum_k \sum_t BCT_{j,k,t} * BT_{j,k,t}^r + \sum_j \sum_r \sum_n \sum_t GCT_{j,n,t} * GT_{j,n,t}^r \quad (5)$$

### 3.3. Arz-Talep Kısıtları (Demand and Supply Satisfaction Constraints)

(6) ve (7) numaralı kısıtlar, her bir dönem için farklı şehirlerdeki biyodizel ve gliserin talebinin karşılanması gerektiğini belirtmektedir. (8) numaralı kısıt herhangi bir dönemde toplama ve ön işleme merkezine taşınan jatropha miktarının jatropha tarlasında üretilebilen jatropha miktarına eşit olması gerektiğini belirtmektedir.

$$\sum_j \sum_r BT_{j,k,t}^r = D_{k,t} \quad (6)$$

$$\sum_j \sum_r GT_{j,n,t}^r = DE_{n,t} \quad (7)$$

$$\sum_i JT_{f,i,t} = PJ_{f,t} \quad (8)$$

### 3.4. Üretim Dengesi Kısıtları (Production Balance Constraints)

(9) numaralı kısıt her bir ekili tarladaki jatropha verimini hesaplar. Kısıt (10) her bir dönemde toplama ve ön işleme merkezinde üretilen yağ miktarını hesaplar. (11) numaralı kısıt her bir dönemde farklı teknolojili biyorafineride üretilen biyodizel miktarını hesaplar. (12) numaralı kısıt her bir dönemde farklı teknolojili biyorafineride üretilen gliserin miktarını hesaplar.

$$PJ_{f,t} \leq \lambda_{f,t} * CJ_f \quad (9)$$

$$PO_{i,t} = \alpha * \sum_f JT_{f,i,t} \quad (10)$$

$$PB_{j,t}^r = \gamma * \sum_i OT_{i,j,t}^r \quad (11)$$

$$PG_{j,t}^r = (1-\gamma) * \sum_i OT_{i,j,t}^r \quad (12)$$

### 3.5. Stok Dengesi Kısıtları (Inventory Balance Equations)

(13) numaralı kısıt jatropha tohumlarına ait toplama ve ön işleme merkezindeki stok dengesi kısıtlamasıdır. (14) ve (15) numaralı kısıtlar sırasıyla biyodizel ve gliserin için biyorafinerinin stok dengesi kısıtlamasıdır. (16) numaralı kısıt biyodizel müşteri dağıtım merkezine ait stok dengesi kısıtlamasıdır. (17) numaralı kısıt gliserin müşteri merkezine ait stok dengesi kısıtlamasıdır.

$$IJ_{i,t} = IJ_{i,(t-1)} + \sum_f JT_{f,i,t} - \left(\frac{1}{\alpha}\right) * \sum_j \sum_r OT_{i,j,t}^r \quad (13)$$

$$IB_{j,t}^r = IB_{j,(t-1)}^r + PB_{j,t}^r - \sum_k BT_{j,k,t}^r \quad (14)$$

$$IG_{j,t}^r = IG_{j,(t-1)}^r + PG_{j,t}^r - \sum_k GT_{j,n,t}^r \quad (15)$$

$$IS_{k,t} = IS_{k,t-1} + \sum_j \sum_r BT_{j,k,t}^r - D_{k,t} \quad (16)$$

$$ISN_{n,t} = ISN_{n,t-1} + \sum_j \sum_r GT_{j,n,t}^r - DE_{n,t} \quad (17)$$

### 3.6. Kapasite Genişletme Kısıtlamaları (Capacity Expansion Constraints)

(18) numaralı kısıt jatropha yetiştirmek için belirlenen tarlaların kapasite alt ve üst sınırının kısıtlamasıdır. (19) ve (20) numaralı kısıtlar jatropha toplama ve ön işleme merkezleri için belirlenen yerlerin kapasite alt ve üst sınırının kısıtlamasıdır. (21) ve (22) numaralı kısıtlar farklı teknolojideki biyorafineriler için belirlenen yerlerin kapasite alt ve üst sınırlarının kısıtlamalarıdır. (23) numaralı kısıt belirli bir lokasyonda biyorafineri açmak için en fazla bir teknoloji alternatifini kullanılabileceğini belirtmek için kullanılmaktadır. (24) ve (25) numaralı kısıtlar biyodizel müşteri dağıtım merkezinin kapasite alt ve üst sınırlarının kısıtlamasıdır. (26) ve (27) numaralı kısıtlar gliserin müşteri merkezinin kapasite alt ve üst sınırının kısıtlamasıdır.

$$x_f * LA_f \leq CJ_f \leq x_f * UA_f \quad (18)$$

$$CC_{i,t} = CC_{i,t-1} + CEC_{i,t} \quad (19)$$

$$u_i * LC_i \leq CC_{i,t} \leq u_i * UC_i \quad (20)$$

$$CB_{j,t}^r = CB_{j,t-1}^r + CEB_{j,t}^r \quad (21)$$

$$v_j^r * LB_j \leq CB_{j,t}^r \leq v_j^r * UB_j \quad (22)$$

$$\sum_r v_j^r \leq 1 \quad (23)$$

$$CS_{k,t} = CS_{k,t-1} + CES_{k,t} \quad (24)$$

$$w_k * LS_k \leq CS_{k,t} \leq w_k * US_k \quad (25)$$



$$CSN_{n,t} = CSN_{n,t-1} + CESN_{n,t} \quad (26)$$

$$LSN_n \leq CSN_{n,t} \leq USN_n \quad (27)$$

### 3.7. Üretim ve Stok Kapasitesi Kısıtlamaları (Production and Inventory Capacity Constraints)

(28), (29) ve (30) numaralı kısıtlar bir tesisten diğerine taşınan malzeme miktarının o tesisteki ilgili kapasiteyi aşmaması gerektiğini belirten kısıtlamadır. (31), (32), (33) ve (34) numaralı kısıtlar tesislerde stok tutmaya yönelik kapasite kısıtlamalarıdır.

$$\sum_f JT_{f,i,t} \leq CC_{i,t} \quad (28)$$

$$\sum_i OT_{i,j,t}^r \leq CB_{j,t}^r \quad (29)$$

$$\sum_j BT_{j,k,t}^r \leq CS_{k,t} \quad (30)$$

$$IJ_{i,t} \leq CC_{i,t} \quad (31)$$

$$IB_{j,t}^r \leq CB_{j,t}^r \quad (32)$$

$$IS_{k,t} \leq CS_{k,t} \quad (33)$$

$$ISN_{n,t} \leq CSN_{n,t} \quad (34)$$

## 4. UYGULAMA (IMPLEMENTATION)

Bu bölümde, önerilen biyodizel tedarik zinciri ağ tasarımı modelinin uygulanabilirliği ve verimliliğini test edebilmek için Türkiye’de gerçek bir duruma modelin uygulaması yapılmıştır.

### 4.1. Türkiye’de Biyodizel (Biodiesel in Turkey)

Türkiye’de biyoyakıtlar ile ilgili gelişmeler 2000’li yıllardan itibaren yapılmaya başlanmıştır (Karaosmanoğlu, 2008). Biyoyakıtlar ile ilgili yaşanan gelişmelere ülkemiz de yanıtız kalamamış başta biyodizel yakıtlar ile ilgili olmak üzere gün geçtikçe yapılmış çalışmalarda artış yaşanmıştır.

Ülkemizde 2014 yılından itibaren her yıl farklı oranlarda dizel yakıtlara biyodizel yakıt harmanlama zorunluluğu getirilmiştir. Tam bir tarım cenneti olan ülkemizde biyodizel yakıtların hammaddesini oluşturan yağlı tohumlu bitkilerin yetiştirilebileceği çok fazla miktarda alan bulunmaktadır. Biyodizel üretimle ülkemiz için sağlanması muhtemel avantajlar arasında; kırsal kalkınma, enerji arzına sağlanacak katkı, atık yağların değerlendirilebilmesi, sera etkisinin azalması ve şehirlere göç oranlarının asgari düzeye düşürülmesi sayılabilir.

### 4.2. Veri ve Vakamın Detayları (Details of Data and Covenant)

Bu çalışmadaki biyodizel tedarik zinciri ağ tasarımı probleminde jatropha tarlaları için son 4 yıllık Türkiye yağış ortalamasına göre 10 aday il, jatropha toplama ve ön işleme merkezleri için 5 aday il, biyorafineriler için 5 aday il, biyodizel müşteri dağıtım merkezleri için petrol firmalarının ana terminallerine göre 7 aday il, gliserin müşteri merkezleri için Türkiye’nin önemli gliserin üreticisi firmalarının bulunduğu konuma göre 2 aday yer, teknoloji içinde 2 farklı teknoloji belirlenmiştir (Şekil 2).



**Şekil 2.** Tarla ve tesisler için aday iller

Modelde 4 yıllık bir planlama öngörülmüştür. Biyodizel talebi; EPDK'nın (Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu) 2014 yılından itibaren başlattığı dizel yakıtlara her yıl için sırasıyla %0,1, %0,2, %0,3 ve %0,4 biyodizel harmanlama zorunluluğu göz önünde bulundurularak, toplam dizel taleplerinin ilgili yıla ait harmanlama oranı ile çarpılmasıyla her bir yıl için hesaplanmıştır. Her bir ilin biyodizel talebini bulmak için toplam talep miktarı illerin nüfusuna göre oranlanarak dağıtılmıştır (Çizelge 1). Gliserin talebi ise; Uysal (2006) çalışmasındaki verilere göre Türkiye için toplam 20.000 ton olarak alınmıştır. Geriye kalan yıllar için gliserin talebi her yıl %5 arttırılmıştır (Çizelge 2).

**Çizelge 1.** Yıllara göre biyodizel müşteri dağıtım merkezlerinin biyodizel talebi(ton)

İl/Periyot	1	2	3	4
Kırıkkale	616.385	1424.46	2319.32	3347.7
İzmir	9421.63	21773.32	35451.5	51171.3
Antalya	5166.39	11939.5	19439.9	28060
Tekirdağ	2145.92	4959.21	8074.6	11655
Giresun	975.87	2255.24	3672	5300.2
Mersin	3951.85	9132.70	14869.9	21463.5
Kocaeli	4051	9361.83	15243	22002

**Çizelge 2.** Yıllara göre gliserin müşteri merkezinin gliserin talebi(ton)

Gliserin Firması/Periyot	1	2	3	4
Gliserin1	10000	10500	11025	11576
Gliserin2	10000	10500	11025	11576

Modeldeki hesaplamalarda kullanılan dönüşüm faktörü parametreleri Çizelge 3'te gösterilmektedir.

**Çizelge 3.** Dönüşüm faktörü

Dönüşüm Faktörü	Açıklaması	Değeri	Kaynak
Alfa	Jatropha tohumlarının yağa dönüşüm faktörü	0.35	(Achten vd., 2007)
Gama	Jatropha yağının biyodizele dönüşüm faktörü	0.83	(Achten vd., 2007)

Modelde tarlalar için gerekli minimum ve maksimum arazi alanı TÜİK verilerinden yararlanılarak hesaplanmıştır (TÜİK, 2018). Toplama ve ön işleme merkezlerinin kapasite sınırları [224732.1,380984.3] ton, biyorafinerilerin kapasite sınırları [48702.98,176741.1] ton, biyodizel müşteri dağıtım merkezlerinin kapasitesi [7707.92,147817.8] ton, gliserin müşteri merkezinin kapasitesi ise; [7707.92,147817.8] ton olarak alınmıştır.

Lokasyonlar arası ulaştırma maliyetleri hesaplanırken 2,2 lt motor hacmine sahip bir dizel kamyonetin yakıt tüketimi baz alınarak, km başına maliyetler şehir içi 54 kuruş ve şehirlerarası 42 kuruş olarak alınmıştır. Modelde tarla satın alınmanın, toplama ve ön işleme merkezi, biyorafineri ile biyodizel müşteri dağıtım merkezi açmanın sabit maliyeti Çizelge 4,5,6 ve 7’de gösterilmiştir.

**Çizelge 4. Tarla açmanın hektar başına sabit maliyeti**

İL	SABİT MALİYET (TL)
Kırklareli	9000000
Sakarya	3900000
Muğla	5700000
Denizli	3900000
Artvin	9000000
Samsun	6300000
Kayseri	6300000
Bitlis	6600000
Muş	8700000
Siirt	5100000

**Çizelge 5. Toplama ve ön işleme merkezi açmanın sabit maliyeti**

İL	SABİT MALİYET (TL)
Sakarya	960000
Muğla	475000
Samsun	250000
Kayseri	770000
Siirt	395000

**Çizelge 6. Biyodizel müşteri dağıtım merkezi açmanın sabit maliyeti**

İL	SABİT MALİYET (TL)
Kırıkkale	340000
İzmir	750000
Antalya	795000
Tekirdağ	405000
Giresun	450000
Mersin	1000000
Kocaeli	620000

**Çizelge 7. Farklı teknolojiye biyorafineri açmanın sabit maliyeti**

İL	SABİT MALİYET (TL)(CPU1000)	SABİT MALİYET (TL) (BDX1000)
Gaziantep	3487500	674250
Ankara	3487500	674250
İzmir	3487500	674250
Kocaeli	3487500	674250
Mersin	3487500	674250

Değişken maliyetler sabit maliyetlerin %10'u alınarak hesaplanmış ve stok maliyetleri sabit maliyetin %26'sı alınarak hesaplanmıştır.

### 4.3. Uygulama Sonuçları (Implementation Results)

Önerilen Tam Sayılı Doğrusal Programlama modelinin çözümü için GAMS yazılımının CPLEX çözücüsü kullanılmıştır. Optimum çözüm 0,375 sn sonra elde edilmiştir. Elde edilen optimum sonuca göre toplam maliyet 2,60072E+11 TL'dir. Jatropha yetiştirilecek 10 aday tarla içerisinde Sakarya ve Denizli seçilmiştir. Jatropha toplama ve ön işleme merkezi olmaya aday 5 il içerisinde Samsun seçilmiştir. Biorafineri olmaya aday 5 il içerisinde Kocaeli ve Mersin seçilmiştir. Ayrıca bu illerin her ikisinde de BDX1000 tipi teknolojiye tesis kurulmasına karar verilmiştir. Biyodizel müşteri dağıtım merkezi olarak İzmir, Kocaeli, Mersin, Kırıkkale, Antalya, Tekirdağ ve Giresun illerinin seçilmesine karar verilmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Model tarafından açılmasına karar verilen tarla ve tesisler

Önerilen biyodizel tedarik zinciri ağ tasarımına göre periyotlara göre tarlalarda üretilen jatropha tohumu miktarı Çizelge 8'de gösterilmiştir. Her bir periyot için farklı teknolojilere ait üretilen biyodizel ve gliserin miktarı Çizelge 9'da gösterilmiştir. Her bir periyot için toplama ve ön işleme merkezlerinde üretilen jatropha yağı miktarı Çizelge 10'da gösterilmiştir.

Çizelge 8. Periyotlara göre tarlalarda üretilen jatropha miktarı(ton)

İl/Periyot	1	2	3	4
Sakarya	18309.51	91562.6	366250.4	366250.4
Denizli	72324.04	218678.9	0	0

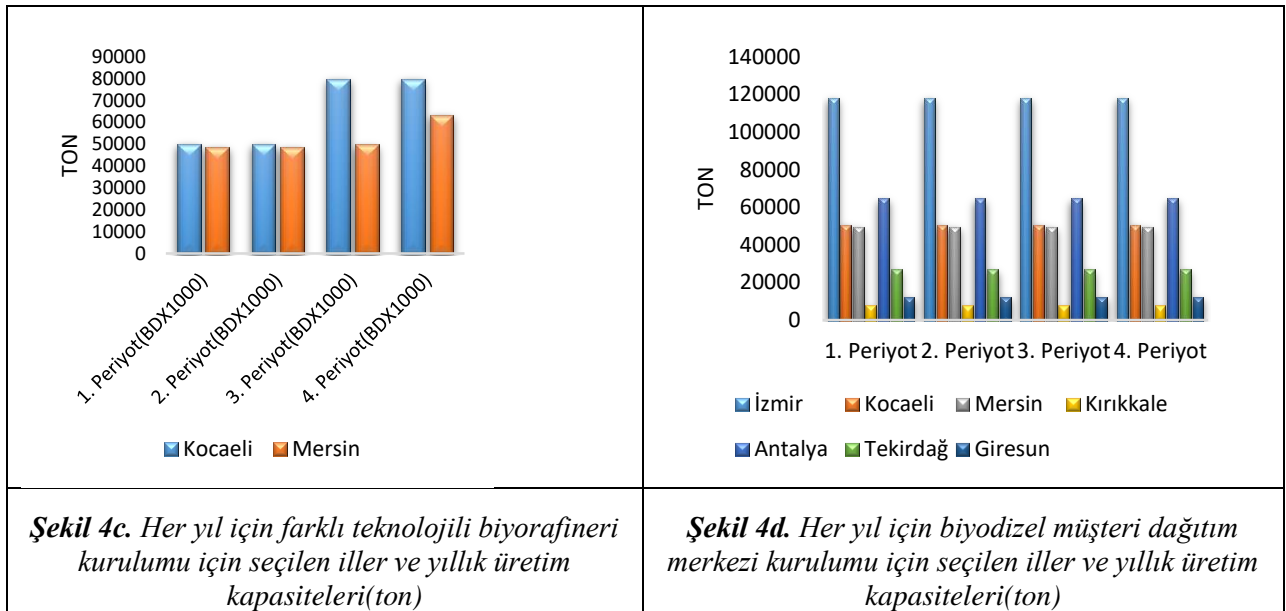
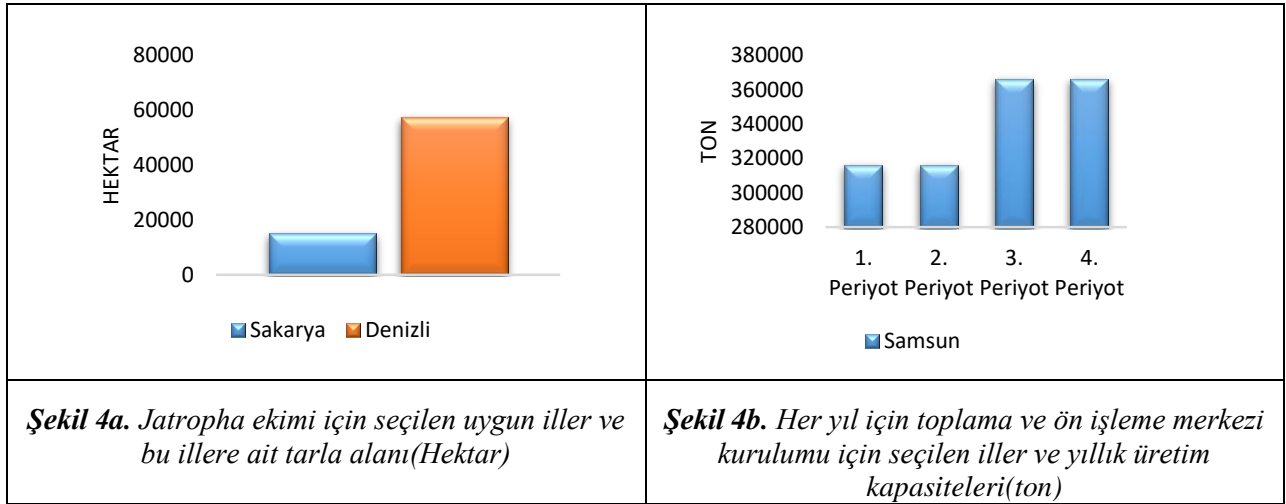
Çizelge 9. Periyotlara göre BDX1000 teknolojiye biyoraşinerilerde üretilen ürün miktarı(ton)

İl.Periyot/Ürün	Biyodizel	Gliserin
Kocaeli.1	22377.2	4583.28
Kocaeli.2	41437.61	8487.22
Kocaeli.3	66337.61	13587.22
Kocaeli.4	66337.61	13587.2
Mersin.1	3951.85	809.415
Mersin.2	34860.41	7140
Mersin.3	41318.27	8462.77
Mersin.4	52625.13	10778.64

**Çizelge 10.** Periyotlara göre toplama ve ön işleme merkezlerinde üretilen jatropha yağı miktarı

İl/Periyot	1	2	3	4
Samsun	31721.74	108584.5	128187.6	128187.6

Önerilen modele göre sırasıyla; hektar cinsinden jatropha ekimi yapılabilecek en iyi tarla alanı, her bir periyotta toplama ve ön işleme merkezleri, farklı teknolojiye sahip biyorafineriler ve biyodizel müşteri dağıtım merkezlerine ait en iyi yerler ve kurulu kapasiteler Şekil 4a, Şekil 4b, Şekil 4c ve Şekil 4d'de gösterilmiştir.



Şekil 4a, 4b, 4c ve 4d önerilen modelin biyodizel tedarik zinciri ağı tasarımındaki verimliliğini ve uygulanabilirliğini göstermektedir. Önerilen modelde biyodizel tedarik zinciri ağı tasarımı problemi dinamik şartlar altında değerlendirilerek, gereksiz dönemlerde tesislerin açılmasını engellemiş bu sayede yatırım maliyetlerinden tasarruf sağlamıştır.

## 5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER (RESULTS AND EVALUATIONS)

Gıda krizleri, enerji güvenliği ve sera gazı etkisi gibi problemlere sürdürülebilir ve uygulanabilir çözümler bulmak, gelecek vaat eden çözümlerden biri olan yenilemeyen hammaddeden ikinci nesil biyoyakıt üretimini başlatmıştır. Biyoyakıt tedarik zinciri ağının entegre bir şekilde tasarlanması, biyoyakıtların ticari açıdan canlılığını önemli ölçüde etkilemektedir. Bu çalışmada ilk olarak biyodizel tedarik zinciri ağ tasarımıyla ilgili literatürde daha önceden yapılmış çalışmalar incelenmiş ve sistematik bir şekilde kategorize edilmiştir. Ardından literatürdeki boşluklardan hareketle Türkiye için entegre bir biyodizel tedarik zinciri ağ tasarımı modeli geliştirilmiştir. Önerilen model stratejik ve taktiksel kararları birleştiren çok dönemli bir tedarik zinciri ağ tasarımı modelidir. Önerilen modelin performansını arttırabilmek için Türkiye’de gerçek verilerden faydalanılmıştır. Sonuçlar biyodizel tedarik zinciri ağının dinamik şartlar altında değerlendirilmesiyle gereksiz kuruluş maliyetlerinden kaçınılacağını göstermektedir.

Gelecekte bu konuda yapılması muhtemel çalışmalarda birinci nesil biyodizel tedarik zinciri modeli ile ilgili çalışma yapmak yerine ikinci nesil biyodizel tedarik zinciri modeline odaklanmalıdır. Bu bağlamda tarlalardan müşterilere kadar ilgili tüm elemanlar optimizasyonda dikkate alınmalıdır. Ayrıca tüm önemli stratejik ve taktiksel kararlar en uygun koşullarda belirlenerek dikkate alınmalıdır. Ayrıca bundan sonraki çalışmalar sürdürülebilirlik üzerine yoğunlaşmalıdır. Kısacası biyodizel yakıtlar ile ilgili bundan sonra yapılacak çalışmalar ağı çevresel ve sosyal yönden de inceleyebilecek çok amaçlı bir yapıya sahip olmalıdır.

## TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Bu çalışma 14-2017/19 karar no ile onaylanan ‘Biyodizel Tedarik Zinciri Ağ Tasarımı’ projesi ile İstanbul Ticaret Üniversitesi tarafından desteklenmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] An H, Wilhelm WE, Searcy SW. Biofuel and petroleum-based fuel supply chain research: a literature review. *Biomass- Bioenergy* 2011;35:3763–74.
- [2] Yue D, You F, Snyder SW. Biomass-to-biofuel supply chain optimization: overview, key issues and challenges. *Comput Chem Eng* 2014;66:36–56.
- [3] Banos R, Manzano-Agugliaro F, Montoya FG, Gil C, Alcayde A, Gomez J. Optimization methods applied to renewable and sustainable energy: a review. *Renew Sustain Energy Rev* 2011;15:1753–66.
- [4] Hoekman SK, Broch A, Robbins C, Cenicerros E, Natarajan M. Review of biodiesel Composition, properties, and specifications. *Renew Sustain Energy Rev* 2012;16:143–69.
- [5] Sajjadi B, Abdul Raman AA, Arandiyan H. A comprehensive review on properties of edible and nonedible vegetable oil-based biodiesel: composition, specifications and prediction models. *Renew Sustain Energy Rev* 2016;63:62–92.
- [6] Datta A, Mandal BK. A comprehensive review of biodiesel as an alternative fuel for compression ignition engine. *Renew Sustain Energy Rev* 2016;57:799–821.
- [7] Verma P, Sharma MP. Review of process parameters for biodiesel production from different feedstocks. *Renew Sustain Energy Rev* 2016;62:1063–71.
- [8] Gold S, Seuring S. Supply chain and logistics issues of bio-energy production. *J Clean Prod* 2011;19:32–42.
- [9] Tapanes NCO, Aranda DAG, Carneiro JWM, Antunes OAC. Transesterification of *Jatropha curcas* oil glycerides: theoretical and experimental studies of biodiesel reaction. *Fuel* 2008;87:2286–95.

- [10] Silitonga AS, Atabani AE, Mahlia TMI, Masjuki HH, Badruddin IA, Mekhilef SA. Review on prospect of *Jatropha curcas* for biodiesel in Indonesia. *Renew Sustain Energy Rev* 2011;15(8):3733–56.
- [11] Juan JC, Kartika DA, Wu TY, Hin TY. Biodiesel production from *jatropha* oil by catalytic and noncatalytic approaches: an overview. *Bioresour Technol* 2011;102(2):452–60.
- [12] Kumar S, Chaube A, Jain SK. Sustainability issues for promotion of *Jatropha* biodiesel in Indian scenario: a review. *Renew Sustain Energy Rev* 2012;16(2):1089–98.
- [13] Gold S, Seuring S. Supply chain and logistics issues of bio-energy production. *J Clean Prod* 2011;19:32–42.
- [14] Mohseni, S., Pishvae, M. S., (2016). A robust programming approach towards design and optimization of microalgae-based biofuel supply chain. *Energy* 111 (2016) 736-755.
- [15] Azadeh A., Arani H.V., 2016. Biodiesel supply chain optimization via a hybrid system Dynamicsmathematical programming approach. *Energy* 76 (2014) 513-525.
- [16] Rincón L. E., Valencia M. J., Hernández V., Matallana L. G, Cardona C. A., 2014. Optimization of the Colombian biodiesel supply chain from oil palm crop based on techno-economical and environmental criteria.
- [17] Gupta J., Agarwal M., Dalai A.K. (2016). Optimization of biodiesel production from mixture of edible and nonedible vegetable oils. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology* 8 (2016) 112-120.
- [18] Paksoy T., (2005). Tedarik Zinciri Yönetiminde Dağıtım Ağlarının Tasarımı Ve Optimizasyonu: Malzeme İhtiyaç Kısıtı Altında Stratejik Bir Üretim-Dağıtım Modeli (makale)
- [19] Azadeh A., Arani H. V., Dashti H., 2014. A stochastic programming approach towards optimization of biofuel supply chain. *Energy* 76 (2014) 513-525.
- [20] Uysal B. Z., Biyodizel prosesi yan ürünü gliserin. *Biyoyakıtlar ve Biyoyakıt Teknolojileri Sempozyumu.* (2007) 177-226.
- [21] Jiang Y., Zhang Y., 2016. Supply chain optimization of biodiesel produced from waste cooking oil. *Transportation Research Procedia* 12 (2016) 938 – 949.
- [22] Azadeh A., Arani H. V., 2016. Biodiesel supply chain optimization via a hybrid system Dynamicsmathematical programming approach. *Renewable Energy* 93 (2016) 383-403.
- [23] Bai Y., Ouyang Y., ShiPang J., 2015. Enhanced models and improved solution for competitive biofuel supply chain design under land use constraints. *European Journal of Operational Research* 249 (2016) 281–297.
- [24] Ren J., Dong L., Sun L., Goodsite M. E., Tan S., Dong L., 2015. Life cycle cost optimization of biofuel supply chains under uncertainties based on interval linear programming. *Bioresource Technology* 187 (2015) 6–13.
- [25] Pasandideh S.H. R., Niaki S. T. A., Asadi K., 2014. Bi-objective optimization of a multi-product multi-period three-echelon supply chain problem under uncertain environments: NSGA-II and NPGA. *Information Sciences* 292 (2015) 57–74.
- [26] Babazadeh R, Razmi J, Pishvae MS, Rabbani M. A sustainable second-generation biodiesel supply chain network design problem under risk. *Omega.* 66 (2017) 258-277