

BİYODİZEL TEDARİK ZİNCİRİ AĞ TASARIMI İÇİN ÇOK AMAÇLI KARMA TAM SAYILI DOĞRUSAL PROGRAMLAMA MODELİ ÖNERİSİ

*Berk AYVAZ**
*Ali Osman KUŞAKCI***
*Fatih ÖZTÜRK****
*Melike SIRAKAYA**

Alınma:27.08.2018; düzeltme: 13.12.2018; kabul:17.12.2018

Öz: Dünyadaki enerji ihtiyacını karşılayan en önemli kaynaklardan biri olan fosil yakıtların yanması sonucunda oluşan sera gazları hem çevre kirliliğine, hem de küresel ısınmaya sebep olmaktadır. Bu nedenle, çevre dostu olan yenilenebilir enerji kaynaklarına ilgi artış göstermektedir. Bu hızlı trendi takip eden Türkiye Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK), 2013 yılından itibaren benzine ve motorine yerli katkı olarak, oranları her yıl arttırılmak üzere biyodizel ve etanol ilave zorunluluğu getirmiştir. Bu gelişme de yenilenebilir enerji kaynakları için etkin ve optimal yeşil tedarik zinciri ağı tasarımı çalışmalarının yapılmasını gerekli kılmaktadır. Bu çalışmada, yenilmeyen hammadde kaynaklarından üretilen ikinci nesil biyodizel yakıtların üretimi için çok amaçlı ve çok dönemli tedarik zinciri ağ tasarımı problemi ele alınmıştır. Ele alınan problemi modellemek için çok amaçlı karma tam sayılı doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir. Önerilen model, biyodizel tedarik zincirinin toplam maliyet, çevresel etki ve sosyal etkisini çok amaçlı problemler için önerilen epsilon-kısıt yaklaşımı ile optimize etmektedir. Çalışmada ayrıca çevresel etki değerlendirme süreci, hem literatür çalışmalarıyla hem de Eco-indicator99, Recipe 2008, EDIP 2003, EPS 2000 gibi uluslararası değerlendirme metotlarıyla yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Biyodizel, ikinci nesil biyodizel tedarik zinciri, çok amaçlı optimizasyon, Epsilon-kısıt yöntemi

A Proposal on a Multi-Period Mixed Integer Linear Programming Model for Biodiesel Fuels Supply Chain Network Design

Abstract: The release of greenhouse gases resulting from the burning of fossil fuels, which are among the most vital sources to meet the energy demand in the World, causes both environmental pollution and global warming. Thus, significance of eco-friendly, renewable energy sources has gradually increased. Following this passionate trend, the Energy Market Regulatory Authority (EMRA) of Turkey has imposed new regulations on biodiesel and ethanol use as domestic additives to petroleum derivatives since 2013. This fact, in turn, necessitates an effective and optimal design of green supply chain networks for renewable energy sources. In this article, we study the problem of designing of a multi-purpose, and multi-period supply chain network for second-generation biodiesel produced from unpalatable raw material sources. To model the problem, a multi-objective mixed-integer linear program is developed. The proposed model aims at optimizing total cost, environmental impact and social impact of the biodiesel supply chain by taking advantage of epsilon-constraint method for multi-objective problems.

* İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Küçükyalı E5 Kavşağı Önü Cad. No: 4, Küçükyalı 34840, İstanbul

**İbn Haldun Üniversitesi, Yönetim Bilimleri Fakültesi, İşletme Bölümü, Ulubathı Hasan Cd. No:2 34494 Başakşehir/İstanbul

***İstanbul Medeniyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Dumlupınar Mahallesi, D-100 Karayolu No:98, 34000 Kadıköy/İstanbul

İletişim Yazarı: Berk AYVAZ (bayvaz@ticaret.edu.tr)

Furthermore, the environmental impact assessment process is conducted both with literature review and with international assessment methods such as Eco-indicator99, Recipe 2008, EDIP 2003, EPS 2000.

Keywords: Biodiesel, second generation biodiesel supply chain, multi-objective optimization, epsilon-constraint method

1. GİRİŞ

Nüfus artışına ve gelişen sanayiye bağlı olarak artan enerji ihtiyacının, fosil kaynaklı yakıtlar ile karşılanması nedeniyle oluşan çevresel etkiler göz ardı edilemeyecek kadar fazladır. Uluslararası Enerji Ajansı'ndan (UEA) edinilen verilerine göre dünya üzerindeki artan enerji talebini karşılayabilecek petrol rezervi 1,7 trilyon varil civarında olup bu miktar yaklaşık 51 yıllık tüketimi karşılayabilmektedir. Fosil kaynaklı yakıtların günden güne azalması, artan enerji ihtiyacının karşılanması konusunda sıkıntılara neden olmaya başlamıştır. Tüm bu sorunlara etkin çözümler bulmak alternatif yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmekle olacaktır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının tercih edilmesi, doğaya olan olumsuz etkilerin azaltılması yanında enerji kaynağının sürdürülebilir olması bakımından önem kazanmaktadır.

Çevresel etkisi daha az olan alternatif yenilenebilir enerji kaynakları elde edebilmek için enerji tarımına yönelmenin önemi son zamanlarda anlaşılmış ve enerji bitkileri olarak adlandırılan yağlı tohumlu yenilebilir ya da yenilemez bitkilerden enerji elde edilmeye başlanmıştır. Alternatif enerji kaynakları araştırıldığında Biyokütle enerjisinin önemi görülmektedir. Biyokütle (Biyoenjerji) sınıfında enerji elde edilebilecek birçok yakıt türü bulunmaktadır. Bunlar; biyoethanol, biyodizel, biyogaz, biyoalkoller vb.dir.

Bir tarım ülkesi olan ülkemizde biyoyakıt kullanımı enerji tüketiminde dışa bağımlılığı önemli ölçüde azaltacaktır. Biyoyakıtlar içerisinde biyodizel öncelikli seçeneğimizdir. Biyodizelin tarım kaynaklarımızla üretilmesiyle kırsal bölgede ekonomik yapı güçlenerek istihdam oranı da artacaktır.

Biyodizel yakıtlar kendi içerisinde de 3 nesilde sınıflandırılmaktadır. Birinci nesil biyodizel yakıtlar, yenilebilir gıda ile rekabet eden bitkilerin yağlı tohumlarından üretilen biyodizel yakıtlardır. Bu bitkilerin bazıları; palm yağları, soya yağı ve kolza yağıdır. İkinci nesil biyoyakıtlar, jatropha gibi gıda olarak tüketilmeyen bitkilerin yağlı tohumlarından üretilmektedir. Üçüncü nesil biyoyakıtlar ise karbondioksitin hammadde olarak kullanıldığı mikroalg, yosunlar ve siyano bakterilerdir. Ayrıca biyodizel üretiminde atık yağlar da kullanılabilen olup ülkemizdeki atık yağları değerlendirmek, bu yağların doğaya doğrudan karışması nedeniyle ortaya çıkan çevresel etkiyi ortadan kaldıracaktır.

Biyodizel üretiminde bitkisel yağlı tohumlar kullanılırken temel olarak karşılaşılabilecek muhtemel gıda krizlerinin önlenmesi amacıyla yenilemeyen bitki türlerinin kullanılması ve mevcut tarım alanlarına alternatif alanlarda ekim yapılması gereklidir.

Biyodizel; sürdürülebilir, çevreye zararlı olmayan ve saf olarak kullanılabilirdiği gibi belirli oranlarda dizel yakıtlarla karıştırılarak da kullanılabilen bir biyoyakıt türüdür. Karıştırılan biyodizel miktarına göre B5 (%5 biyodizel), B20 (%20 biyodizel), B50 (%50 biyodizel) ve B100 (%100 biyodizel) gibi farklı ürünler elde edilmektedir.

Biyodizel gibi yenilenebilir alternatif enerji kaynaklarının talebi dünya genelinde artmaktadır ve ilerleyen senelerde bu artışın devam edeceği görülmektedir. Dünya genelinde yenilenebilir alternatif enerji kaynaklarının kullanımını arttırmak amacıyla önemli teşvikler verilmektedir. Ülkemizde ise biyodizel kullanımının yaygınlaştırılması ve kullanılması için yapılan teşvik ve yatırımlar yok denilecek kadar azdır.

Biyodizel yakıtlar için üretim ve işleme tesislerinin lokasyonlarını ve bunlar arasındaki akışları belirleyen tedarik zinciri ağ tasarımı çok önemlidir. Çünkü ağ tasarımında alınacak olan stratejik ve taktik kararlar ekonomik, çevresel ve sosyal amaçları direkt olarak etkilemektedir.

Literatürde biyodizel tedarik zinciri ağ tasarımı (BTZAT) ile ilgili yeterli sayıda çalışma bulunmaması, hal-i hazırda bu alanda önemli bir açık olduğunu göstermektedir. Aşağıda

BTZAT konusundaki yazın çalışmalarından bazıları detaylandırılmış ve bu çalışmanın katkısı ifade edilmiştir.

Hugo ve Pistikopoulos (2005) biyodizel tedarik zinciri tasarımı için bir karma tam sayılı doğrusal programlama modeli sunmuştur. Riemke vd. (2011) küçük çiftçileri dikkate alarak BTZAT problemi için bir matematiksel model geliştirmiştir. Önerilen modelin Brezilya'da uygulaması yapılmıştır. Andersen vd. (2012), Arjantin için farklı hammadde kaynaklarını ve arazi rekabet koşullarını dikkate alan BTZAT problemi için karma tam sayılı doğrusal programlama modeli önermiştir. Avami (2012) İran için sürdürülebilir bir biyodizel tedarik zinciri ağı tasarlamıştır. Marufuzzaman vd. (2014) BTZAT için iki aşamalı stokastik programlama modeli geliştirmiştir. Modelin amacı maliyetleri ve karbon emisyonunu minimize etmektir. Çözümde lagrange ve L-shaped algoritmaları kullanılmıştır. Azadeh vd., (2014), çalışmalarında stokastik doğrusal programlama modeli önermişlerdir. Rincón vd. (2015) teknolojik amaçlı BTZAT problemini ele almıştır. Balaman ve Selim (2016), Türkiye için yaptıkları çalışmayla biyokütle bazlı yenilenebilir tedarik zincirinin ve bölgesel ısıtma sistemlerinin sürdürülebilir tasarımı için kapsamlı bir karar modeli geliştirmişlerdir. Model biyokütle arzı, malzeme akışı, kapasite, talep ve teknik kısıtlamalar için maliyet ve hizmet seviyesi hedeflerini içermektedir. Bu çalışmada problem, birden fazla biyokütle türü ve sistem belirsizliği içeren bulanık karmaşık tamsayı doğrusal programlama modeli olarak formülize edilmiştir.

Bu alandaki literatüre ciddi katkılar sunan Babazadeh vd. (2015), veri zarflama analizine dayalı bir matematiksel programlama modeli kullanarak BTZAT problemini ele almıştır. Babazadeh vd. (2016) risk altında ikinci nesil sürdürülebilir biyodizel tedarik zinciri ağı tasarımı için çok amaçlı olasılıksal programlama model tasarımı sunmuştur. Babazadeh (2016), İran için çok aşamalı ve çok ürünlü biyodizel tedarik zinciri ağı tasarlamıştır. Model, bölge seçimi, fabrika kapasiteleri, uygun ulaştırma modeli, biyorafine için uygun teknoloji seçimi konularını bütünleşik olarak ele almaktadır.

Azadeh ve Arani (2016), İran'da biyodizel yakıtlar için tedarik zinciri ağı tasarımı çalışmalarını yürütmüşlerdir. Açık döngü olarak tasarlanan ağı tek amaçlı ve karma tam sayılı doğrusal programlamaya göre modellenmiştir. Önerilen model GAMS yazılımının CPLEX çözücüsü ile çözülmüştür. Mohseni vd. (2016) iki aşamalı planlama modeli önermiştir. İlk aşamasında biyodizel üretim tesisleri kurmak için en uygun aday yerler coğrafi bilgi sistemi ve AHP yöntemleri kullanılarak belirlenmiş, ikinci aşamada ise gürbüz (robust) bir karma tam sayılı doğrusal programlama modeli önerilmiştir. Jiang ve Zhang (2016) BTZAT için atık yemek yağlarının hammadde olarak kullanılmasına odaklanarak karma tam sayılı programlama modeli önermiştir. Çalışmada ekonomik ve çevresel amaçlar ele alınmıştır. Zhang vd. (2016) genel maliyetleri minimize etmek için biyoyakıt tedarik zincirinin tasarlanmasına odaklanmıştır. Bunun için coğrafi bilgi sistemi teknolojisi; simülasyon ve optimizasyon modelleme metodlarını entegre ederek yeni bir metodoloji uygulamıştır.

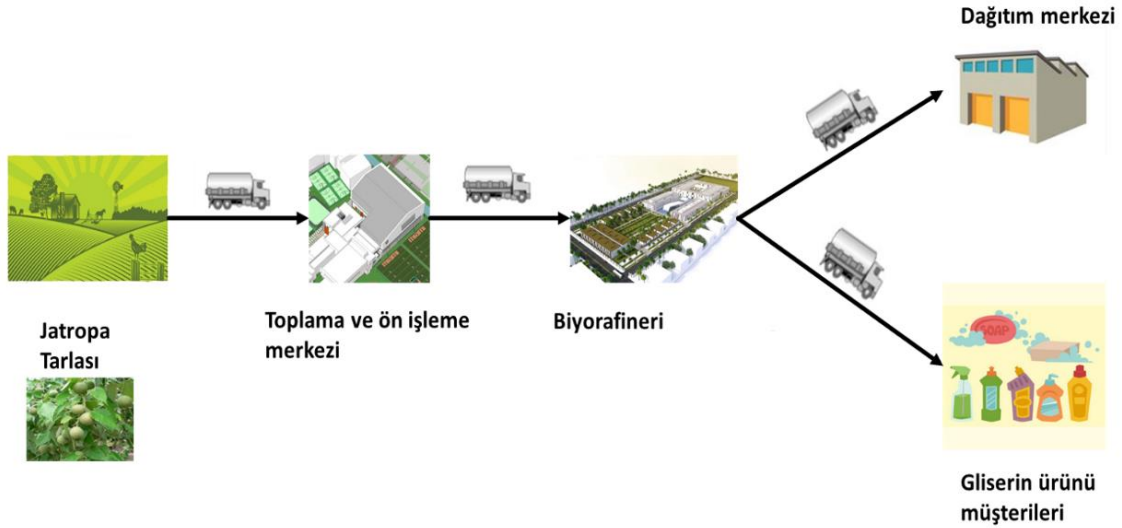
Elinizdeki bu çalışmada, biyodizel yakıtlar için çok amaçlı bir tedarik zinciri için ağı tasarımı problemi ele alınmıştır. Çalışma literatüre birkaç yönden katkı sağlamaktadır. İlk olarak, ülkemizde biyodizel tedarik zinciri ile ilgili yapılmış ilk çalışmalardan birisidir. İkinci olarak, önerilen model sürdürülebilirlik kavramını içeren çok amaçlı bir modeldir. Sosyal amaç göç miktarını minimize etmeyi hedeflemekte olup, bildiğimiz kadarıyla literatürde bu konuya eğilen ilk çalışmadır. Son olarak da geliştirilen model, Türkiye ölçeğinde uygulanmış; gerçek verilerle çözümler elde edilmiştir.

2. PROBLEM TANIMI VE MODEL FORMÜLASYONU

Bu çalışmada, ham madde arz merkezlerinden biyodizel ve yan ürün gliserinin dağıtılmasına kadar tüm aşamaları içeren çok dönemli, çok modlu ve çok amaçlı bir biyodizel tedarik zinciri ağı tasarlanmıştır. Önerilen modelde, jatropha tohumları (JCL) çiftliklerden hasat

edilmekte, daha sonra bu tohumlar yağ ekstraksiyonu merkezlerine sevk edilmektedir. Çıkarılan yağlar, toplama ve ön işleme merkezlerinden kimyasal olarak işlem görmek üzere biyorafineriye aktarılmaktadır. Biyorafineriden çıkan biyodizel ilgili distribütörlere, yan ürün gliserin ise temizlik maddesi üreten fabrikalara gönderilmektedir. Çalışmada kullanılan JCL, gıda bitkileri ile rekabet etmeyen ve sadece biyodizel üretimi için kullanılan bir bitkidir. Bu nedenle üretilen biyodizel ikinci nesil biyodizeldir. JCL'nin her bir şehrin kurak ve yarı kurak bölgelerinde nadasa bırakılan topraklarda yetiştirildiği ve diğer verimli toprakların ise gıda yetiştiriciliği için kullandığı varsayılmaktadır. Problemin akış şeması Şekil 1'de gösterilmektedir.

Modeldeki birinci amaç tesis açma, işletme, ürün taşıma maliyetlerini minimize etmeyi amaçlamaktadır. Modeldeki ikinci amaç ise çevresel etkinin minimize edilmesidir. Tesis açma ve taşıma kararlarının her birinde çevresel etki değerleri hesaplanmıştır. Modelin son amacı ise sosyal etki amaçlıdır. Sosyal anlamda ülkemizde en çok bilinen problemlerden biri olan göç için tesis açılan bölgelerde istihdam sağlanarak, modelde göçün minimize edilmesi amaçlanmaktadır.



Şekil 1:
Biyodizel tedarik zinciri akış şeması

Modelin Formülasyonu

Bu çalışmada ele alınan JCL tabanlı biyodizel tedarik zinciri şebekesi için kurulan modeldeki temel kümeler ve bunlara ait indisler aşağıda verilmiştir.

İndisler

- f : JCL yetiştirme merkezi için aday yerler
- i : JCL toplanması ve yağ çıkartılması için aday yerler
- j : Biyorafineri kurulumu için aday yerler
- k : Biyodizel depolama ve dağıtım merkezleri için aday yerler
- n : Gliserin müşteri merkezleri
- l : Taşıma modu
- t : Zaman periyodu

Parametreler

$verim_{f,t}$: t periyodunda f bölgesindeki JCL tarlalarındaki verim miktarı (ton/hektar)

α	: Tohumların JCL yağına dönüştürülme faktörü (%)
β	: JCL yağını biyodizele dönüştürme faktörü (%)
ε_1	: Çevresel amaç için yazılan epsilon kısıtı sağ taraf değeri [0,1]
ε_2	: Sosyal amaç için yazılan epsilon kısıtı sağ taraf değeri [0,1]
$LA_{f,t}$: t periyodunda f konumunda JCL yetiştiriciliği için ayrılmış minimum arazi (ha)
$UA_{f,t}$: t periyodunda f konumunda JCL yetiştiriciliği için ayrılmış maksimum arazi (ha)
$UC_{i,t}$: t periyodunda i bölgesinde JCL toplama ve yağ çıkartma merkezi kapasitesi (ton)
$UB_{j,t}$: t periyodunda j bölgesindeki biyorafinerinin kapasitesi (ton)
$US_{k,t}$: t periyodunda k bölgesindeki depolama ve dağıtım merkezinin kapasitesi (ton)
$USN_{n,t}$: t periyodunda n gliserin müşterisinin kapasitesi (ton)
$Minx$: Açılması gereken minimum JCL tarlası
$Minu$: Toplama ve yağ çıkartma merkezi açılması gereken minimum yer sayısı
$Minv$: Biyorafineri merkezi için açılması gereken minimum yer sayısı
$Minw$: Biyodizel depolama ve dağıtım merkezi açılması gereken minimum yer sayısı
$DisJT_{f,l,i}$: l taşıma modunda f merkezi ile i merkezi arasındaki mesafe
$DisOT_{i,l,j}$: l taşıma modunda i merkezi ile j merkezi arasındaki mesafe
$DisBT_{j,l,k}$: l taşıma modunda j merkezi ile k merkezi arasındaki mesafe
$DisGT_{j,l,n}$: l taşıma modunda j merkezi ile n merkezi arasındaki mesafe

Maliyet Parametreleri

$FCJ_{f,t}$: t periyodunda f bölgesindeki JCL yetiştiririnin sabit maliyeti
$FCC_{i,t}$: t periyodunda i bölgesinde JCL yağ çıkartmanın sabit maliyeti
$FCB_{j,t}$: t periyodunda j merkezindeki biyorafineri açmanın sabit maliyeti
$FCS_{k,t}$: t periyodunda k merkezinde dağıtım merkezi açmanın sabit maliyeti
$JCT_{l,t,f,i}$: t periyodunda l moduyla f merkezinden i merkezine taşıma maliyeti
$OCT_{l,t,i,j}$: t periyodunda l moduyla i merkezinden j merkezine taşıma maliyeti
$BCT_{l,t,j,k}$: t periyodunda l moduyla j merkezindeki biyodizelin k merkezine taşıma maliyeti
$GCT_{l,t,j,n}$: t periyodunda l moduyla j merkezindeki gliserinin n merkezine taşıma maliyeti

Çevresel Parametreler

CE_f	: f bölgesinde 1 ton JCL hasat etmenin çevresel etkisi
CEV_i	: i bölgesinde periyotlar için 1 ton kapasiteli tesis kurmanın çevresel etkisi
$CBio_j$: j bölgesinde periyotlar için 1 ton kapasiteli biyorafineri kurmanın çevresel etkisi
Cew_k	: k bölgesinde planlanan süre için 1 ton kapasiteli tesis kurmanın çevresel etkisi
CET_l	: l taşıma moduyla 1 ton JCL taşımanın km başına açığa çıkardığı CO ₂ etkisi

Sosyal Parametreler

$GOCF_{f,t}$: f bölgesinden t döneminde göç eden birey sayısı
$GOCl_{i,t}$: i bölgesinden t döneminde göç eden birey sayısı
$GOcJ_{j,t}$: j bölgesinden t döneminde göç eden birey sayısı
$GOcK_{k,t}$: k bölgesinden t döneminde göç eden birey sayısı

0-1 Karar Değişkenleri

$x_{f,t}$: t periyodunda f lokasyonu JCL yetiştirmek için seçilmeli ise 1; değilse 0
-----------	---------------------------------------------------------------------------------

- $u_{i,t}$: t periyodunda i lokasyonunda JCL toplama ve yağ çıkarma merkezi açılmalı ise 1; değilse 0
 $v_{j,t}$: t periyodunda j lokasyonu biyorafineri açmak için seçilmeli ise 1; değilse 0
 $w_{k,t}$: t periyodunda k lokasyonu depolama ve dağıtım merkezi için seçilmeli ise 1; değilse 0

Sürekli Karar Değişkenleri

- $QJK_{j,l,k,t}$: t periyodunda l taşıma moduyla biyorafineri j 'den toplama ve dağıtım merkezi k 'ya taşınan biyodizel miktarı
 $QJM_{j,l,n,t}$: t periyodunda l taşıma moduyla biyorafineri j 'den gliserin müşteri merkezi n 'ye taşınan gliserin miktarı
 $QFI_{f,l,i,t}$: t periyodunda l taşıma moduyla yetiştirme merkezi f 'den toplama ve yağ çıkarma merkezi i 'ye taşınan tohum miktarı
 $QIJ_{i,l,j,t}$: t periyodunda l taşıma moduyla toplama ve yağ çıkartma merkezi i 'den biyorafineri j 'ye taşınan yağ miktarı

Amaç Fonksiyonu 1: Maliyet Minimizasyonu **Tesis Açma Maliyeti**

$$\sum_{f,t} FCJ_{f,t} * x_{f,t} + \sum_{i,t} FCC_{i,t} * u_{i,t} + \sum_{k,t} FCS_{k,t} * w_{k,t} + \sum_{j,t} FCB_{j,t} * v_{j,t} \quad (1)$$

Maliyet amaç fonksiyonunun ilk bölümü olan tesis açma maliyetlerinde her bir periyoda ait tesis açma kapama kararı ve tesis açmak için geçerli olan sabit maliyetler ele alınmıştır.

Taşıma Maliyetleri

$$\sum_{f,l,i,t} JCT_{l,t,f,i} * QFI_{f,l,i,t} * DisJT_{f,l,i} + \sum_{i,l,j,t} OCT_{l,t,i,j} * QIJ_{i,l,j,t} * DisOT_{i,l,j} + \sum_{j,l,k,t} BCT_{l,t,j,k} * QJK_{j,l,k,t} * DisBT_{j,l,k} + \sum_{j,l,n,t} GCT_{l,t,j,n} * QJM_{j,l,n,t} * DisGT_{j,l,n} \quad (2)$$

Maliyet amaç fonksiyonunun ikinci bölümü olan taşıma maliyeti ise; her bir firmaya ait taşımanın ton başına maliyetlerinin, taşınan miktarlar ve tesisler arası mesafelerle çarpılmasıyla hesaplanmıştır.

Amaç Fonksiyonu 2: Çevresel Etki Minimizasyonu

$$\sum_{f,t} CE_f * x_{f,t} * UA_{f,t} + \sum_{i,t} CEV_i * u_{i,t} * UC_{i,t} + \sum_{j,t} CBio_j * v_{j,t} * UB_{j,t} + \sum_{t,k} Cew_k * w_{k,t} * US_{k,t} + \sum_{f,l,i,t} CET_l * DisJT_{f,l,i} * QFI_{f,l,i,t} + \sum_{i,l,j,t} CET_l * DisOT_{i,l,j} * QIJ_{i,l,j,t} + \sum_{j,l,k,t} CET_l * DisBT_{j,l,k} * QJK_{j,l,k,t} + \sum_{j,l,n,t} CET_l * DisGT_{j,l,n} * QJM_{j,l,n,t} \quad (3)$$

Çevresel amaç fonksiyonunda ise her bir tesise ait bir tonluk miktar için oluşan çevresel etki değerinin aynı tesise ait açma kapama kararlarının maksimum kapasite değerleri ile çarpılmasıyla hesaplanmaktadır.

Amaç Fonksiyonu 3: Sosyal Fayda Maksimizasyonu

$$\sum_{f,t} GOCF_{f,t} - (x_{f,t} * 90) + \sum_{i,t} GOCl_{i,t} - (u_{i,t} * 90) + \sum_{j,t} GOCJ_{j,t} - (v_{j,t} * 90) + \sum_{k,t} GOCK_{k,t} - (w_{k,t} * 90) \quad (4)$$

Problemin üçüncü amacı olan sosyal fayda amaç fonksiyonunda ise her bir bölgeye ait ve yıllara bağlı olarak 24-35 yaş arası göç eden iş gücü dikkate alınarak, açılan her bir tesiste kapasitesinden bağımsız olarak 90 kişinin istihdam edilmesiyle toplam göç eden kişi sayısının minimize edilmesi amaçlanmıştır.

Kısıtlar

Denge Kısıtları

$$\sum_{l,i} QFI_{f,l,i,t} = verim_{f,t} * LA_{f,t} * x_{f,t} \quad \forall_{f,t} \quad (5)$$

$$\alpha * \sum_{f,l} QFI_{f,l,i,t} = \sum_{l,j} QIJ_{i,l,j,t} \quad \forall_{i,t} \quad (6)$$

$$\beta * \sum_{i,l} QIJ_{i,l,j,t} = \sum_{l,k} QJK_{j,l,k,t} \quad \forall_{j,t} \quad (7)$$

$$(1 - \beta) * \sum_{i,l} QIJ_{i,l,j,t} = \sum_{l,n} QJM_{j,l,n,t} \quad \forall_{j,t} \quad (8)$$

(5)-(8) arasında gösterilen kısıtlar tesisler arası taşınan miktarlar ile açılan tesislere ait çıktılarını birbirlerine eşit olmasını ifade eden kısıtlardır.

Kapasite Kısıtları

$$\sum_{f,l} QFI_{f,l,i,t} \leq UC_{i,t} * u_{i,t} \quad \forall_{i,t} \quad (9)$$

$$\sum_{i,l} QIJ_{i,l,j,t} \leq UB_{j,t} * v_{j,t} \quad \forall_{j,t} \quad (10)$$

$$\sum_{j,l} QJK_{j,l,k,t} \leq US_{k,t} * w_{k,t} \quad \forall_{k,t} \quad (11)$$

$$\sum_{j,l} QJM_{j,l,n,t} \leq USN_{n,t} \quad \forall_{n,t} \quad (12)$$

(9)-(12) arası kısıtlar tesisler arası taşınan tohum, yağ, biyodizel ve gliserin gibi miktarların açılan tesislere ait kapasitelerden daha fazla olmamasını sağlamak için yazılmıştır.

Tesis Sayısı Kısıtları

$$\sum_f x_{f,t} \geq Minx \quad \forall_t \quad (13)$$

$$\sum_i u_{i,t} \geq Minu \quad \forall_t \quad (14)$$

$$\sum_j v_{j,t} \geq Minv \quad \forall_t \quad (15)$$

$$\sum_k w_{k,t} \geq Minw \quad \forall_t \quad (16)$$

(13)-(16) arasında gösterilen kısıtlar her periyotta açılması gereken tarla, tesis, depolama ya da müşteri merkezi sayılarına ait minimum değerleri belirlemek için yazılmıştır.

$$\sum_t x_{f,t} \leq 1 \quad \forall_f \quad (17)$$

$$\sum_t u_{i,t} \leq 1 \quad \forall_i \quad (18)$$

$$\sum_t v_{j,t} \leq 1 \quad \forall_j \quad (19)$$

$$\sum_t w_{k,t} \leq 1 \quad \forall_k \quad (20)$$

(17)- (20) arasında gösterilen kısıtlar her bir periyotta açılan tarla, tesis, depolama ya da müşteri merkezi için aynı yerin diğer periyotlarda tekrar açılmasını engelleyen kısıtlardır. Her bir periyotta açılan tarla, tesis, depolama ya da müşteri merkezi için aynı yerin diğer periyotlarda tekrar açılması, tekrar kurulum maliyeti gerektirecek olduğundan fazladan maliyet çıkmasına neden olacaktır. Bu amaçla aynı yere tekrar yatırım yapılmasını engellemek amacıyla bu kısıtlar eklenmiştir.

Önerilen çok amaçlı modelin çözümünde epsilon kısıtı yöntemi kullanılmış ve denklem (21)-(22)'de belirtilen epsilon kısıtlar eklenilerek çözüm yapılmıştır. Yöntemin teorik arka planı sonraki alt bölümde verilecektir.

Epsilon Kısıtları

$$\sum_{f,t} CE_f * x_{f,t} * UA_{f,t} + \sum_{i,t} CEV_i * u_{i,t} * UC_{i,t} + \sum_{j,t} CBio_j * v_{j,t} * UB_{j,t} + \sum_{t,k} Cew_k * w_{k,t} * US_{k,t} + \sum_{f,l,i,t} CET_l * DisJT_{f,l,i} * QFI_{f,l,i,t} + \sum_{i,l,j,t} CET_l * DisOT_{i,l,j} * QIJ_{i,l,j,t} + \sum_{j,l,k,t} CET_l * DisBT_{j,l,k} * QJK_{j,l,k,t} + \sum_{j,l,n,t} CET_l * DisGT_{j,l,n} * QJM_{j,l,n,t} \leq 1.57405E + 11 * \epsilon_1 \quad (21)$$

$$\sum_{f,t} GOCF_{f,t} * (x_{f,t} * 90) + \sum_{i,t} GOCl_{i,t} - (u_{i,t} * 90) + \sum_{j,t} GOCJ_{j,t} - (v_{j,t} * 90) + \sum_{k,t} GOCK_{k,t} - (w_{k,t} * 90) \leq 2.439575E + 7 * \epsilon_2 \quad (22)$$

(21) ve (22) numaralı kısıtlar çok amaçlı modelin tüm amaçları aynı anda çözüldüğünde elde edilen değerleri bulmak için yazılmıştır. Epsilon değerleri tek başına çözüm yapılırken elde edilen sonuç değerlerinden, tümü beraber çözüldürken ne kadar sapılabileceğine ait yüzdelik değeri ifade etmektedir.

3. EPSİLON-KISITI YÖNTEMİ

Önceki bölümde tanımlanan çok amaçlı matematiksel modellerin tanımında açıklanan baskın noktaların bulunabilmesi için uygulanan bir diğer yöntem *epsilon-kısıtı yöntemidir*. Bu yöntemde, kriterlerden biri ana amaç fonksiyonu olarak seçilirken diğer kriterler için alt sınır koyan kısıtlar eklenmektedir. Matematiksel olarak göstermek istersek;

(P^{ϵ_j})

Maksimum $z_j(x)$

Kısıtlar

$$z_k(x) \geq \epsilon_k \quad k = 1, \dots, p_k \neq j$$

$x \in X$

Amaç fonksiyonunda diğer kriterlerin bulunmaması nedeniyle, bu yöntem ile baskın olmayan zayıf baskın noktalar da saptanabilmektedir. Bunun önüne geçmek amacıyla *yeniden geliştirilmiş epsilon-kısıt* yöntemi kullanılır:

(P^{ϵ_j})

$$\text{Maksimum } z_j(x) + \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq j}}^p p_k z_k(x)$$

Kısıtlar

$$z_k(x) \geq \epsilon_k \quad k = 1, \dots, p_k \neq j$$

$x \in X$

Bu modifiye edilmiş yöntemde $p_k > 0$, baskın olmayan zayıf baskın noktaların bulunmasını engellemek amacıyla yeterince küçük pozitif bir sabit sayı olarak seçilir (Steuer, 1986: 429-430).

$X_E \in X$ ve $Z_B \in Z$ sırasıyla tüm geçerli çözümlerin ve baskın noktaların kümesini temsil etmektedir. Özellikle çok amaçlı tedarik zinciri problemlerinde, farklı geçerli çözümlerin, kriterler uzayında aynı baskın noktaya karşılık gelmesi durumlarıyla karşılaşılabilir. Bu sebepten dolayı, bu iki kümenin eleman sayısı arasında $|X_E| \geq |Z_B|$ ilişkisi bulunmaktadır.

Farklı amaç fonksiyonlarının birlikte değerlendirilmesi ve karşılaştırılması için tüm amaç fonksiyonlarındaki baskın noktalardan alabileceği en iyi ve en kötü değerleri bulmak gerekmektedir.

Tüm amaç fonksiyonlarının sırasıyla optimum seviyeye getirildiği tek amaçlı problemler çözülerek *ideal nokta* bulunmaktadır. Buna karşılık, etkin çözümler üzerinde en kötü değerlere karşılık gelen *nadir noktayı* bulmak çok daha zordur.

Tanım 1: Herhangi $x_1, x_2 \in X$ çözümü için, $z_j(x_1) \leq z_j(x_2)$ $j = 1, \dots, p$ en az bir amaç fonksiyonunda $z_j(x_1) < z_j(x_2)$ koşullarını sağlıyorsa, x_2 çözümünün x_1 çözümünü baskıladığı (domine ettiği) söylenmektedir. Böyle bir x_2 çözümü mevcut değilse, x_1 çözümüne etkin çözüm ve $z(x_1)$ noktasına da baskın nokta denir.

Tanım 2: Herhangi $x_1, x_2 \in X$ çözümü için, $z_j(x_1) < z_j(x_2)$ $j = 1, \dots, p$ koşulu sağlanıyorsa, x_2 çözümünün x_1 çözümünü tam baskıladığı söylenmektedir. Eğer böyle bir x_2 çözümü yoksa x_2 çözümüne zayıf etkin çözüm ve $z(x_1)$ noktasına zayıf baskın nokta denir.

Tanım 3: Tüm amaç fonksiyonlarının alabileceği en iyi değerleri gösteren noktaya *ideal nokta* denir. İdeal nokta, $z^I = (z_1^I, \dots, z_p^I)$ ile gösterilir ve $z_j^I = \max_{x \in X} z_j(x)$, $j = 1, \dots, p$ 'dir.

Tanım 4: Tüm amaç fonksiyonlarının etkin çözümler içerisinde alabileceği en kötü değerleri gösteren noktaya *nadir nokta* denir. Nadir nokta, $z^N = (z_1^N, \dots, z_p^N)$ ile gösterilir ve $z_j^N = \min_{x \in X} z_j(x)$, $j = 1, \dots, p$ 'dir.

Tüm amaç fonksiyonlarının sırasıyla optimum seviyeye getirildiği tek amaçlı problemler çözülerek *ideal nokta* bulunmaktadır. Buna karşılık, etkin çözümler üzerinde en kötü değerlere karşılık gelen *nadir noktayı* bulmak çok daha zordur. Son yapılan çalışmalarda bunun için geliştirilmiş özel algoritmalar görülmektedir. İdeal ve nadir noktalara çok amaçlı tam sayılı programlama problemleri için tasarlanmış birçok algoritmada, amaç fonksiyonlarının ölçeklendirilmesinde ihtiyaç duyulur.

4. UYGULAMA

4.1. Veri Toplama ve Vakanın Detayları

Bu çalışmadaki BTZAT probleminde yağlı bitki tohumları için jatropha yağlı tohumlu bitkisi, jatropha tarlaları aday yerleri için son 4 yıllık Türkiye yağış ortalamasına göre 10 aday il, jatropha toplama ve ön işleme merkezleri için 5 aday il, biyorafineriler için 7 aday il, biyodizel müşteri dağıtım merkezleri için petrol firmalarının ana terminallerine göre 6 aday il, gliserin müşteri merkezleri için Türkiye'nin önemli hijyenik ürün üreticisi firmalarının bulunduğu konuma göre 2 aday yer, ulaşım içinse firmaların artık dış kaynak kullandıkları göz önünde bulundurularak 2 farklı firma belirlenmiştir. Aday tarla bölgeleri Türkiye'nin yağış değerleri yağlı bitki tarımına elverişli ve her bölgeden olmasına özen gösterilerek belirlenmiştir. Modelde tarlalar için gerekli minimum ve maksimum arazi alanı TÜİK verilerinden nadasa bırakılan arazilerin %10'luk kısmının hesaplanmasından oluşturulmuştur (TÜİK, 2018). Toplama ve ön işleme merkezlerinin alt ve üst kapasite sınırları [1397150.003, 4961285.385] ton, biyorafinerilerin alt ve üst kapasite sınırları [313867.1491, 1312996] ton, biyodizel müşteri dağıtım merkezlerinin alt ve üst kapasitesi [43618, 3205009] ton, gliserin müşteri merkezinin alt ve üst kapasitesi ise; [10000, 26576] ton olarak alınmıştır.

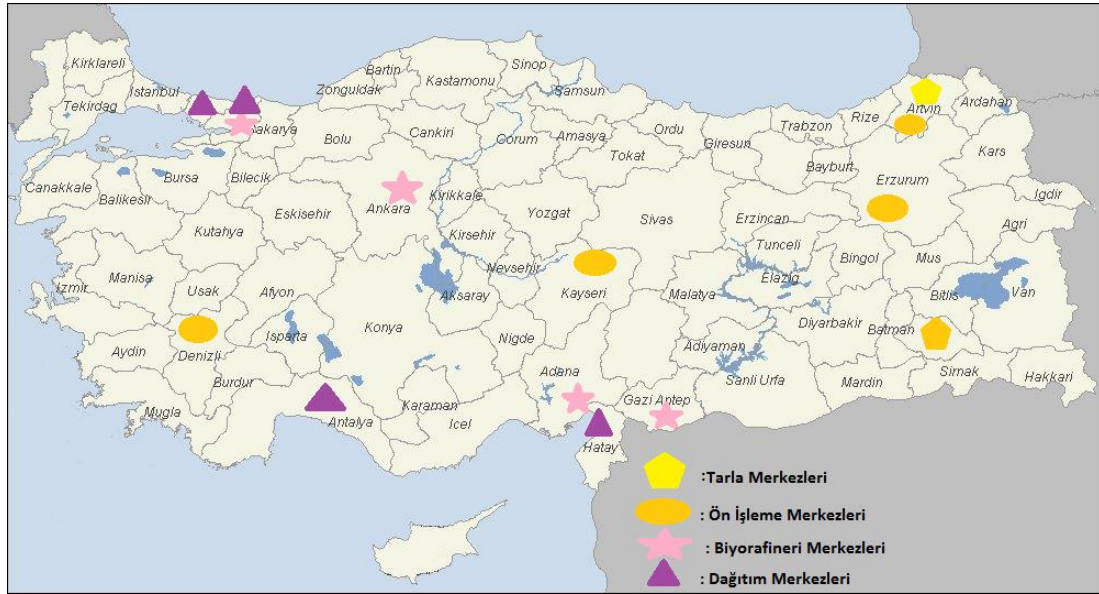
Lokasyonlar arası ulaştırma maliyet verileri için ise 2 farklı lojistik firmasına ait kilometre başına maliyetler baz alınmıştır. İlk firmaya ait veriler sırasıyla km başına ilk yıl 0.43 ve 0.55 kr olarak alınarak her yıl taşıma maliyetleri yükseltmiştir. Bunun yanında iller arası mesafeler

Karayolları Genel Müdürlüğü'nün yayınladığı iller arası mesafe matrisinden yararlanılarak kullanılmıştır.

4.2. Bulgular

Bu veriler ışığında geliştirilen model çok amaçlı yapıda olması nedeniyle tüm amaçlar önce tek tek GAMS programının CPLEX çözücüsü yardımıyla çözümlenmiştir. Modeldeki amaç fonksiyonları tek tek çözüldüğünde tedarik zinciri ağının önümüzdeki 4 yıl için kümülatif maliyeti $5.980161E+7$ TL olarak, çevresel etki değeri $1.57405E+11$ olarak, minimize edilmiş sosyal etki amacının sonucu ise $2.439575E+7$ olarak hesaplanmıştır.

Ardından epsilon kısıtı metodu ile tüm amaç fonksiyonları aynı anda yine GAMS programı CPLEX çözücüsünde optimize edilmiştir. Epsilon kısıt yöntemi çözüm yapıldığında yeni maliyet değerleri $6.790466E+7$ TL, çevresel etki değeri $1.59097E+11$ ve sosyal etki amacı ise $2.439539E+7$ göç eden toplam kişi olduğu görülmüştür. Ayrıca tesis açılan bölgeler Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2:

Tarla, ön işleme merkezi, biyorafineri ve dağıtım merkezi açılan iller

4.3. Duyarlılık Analizi

Bu bölümde bazı parametrelerdeki değişimin amaç fonksiyonu değeri üzerindeki etkisini gözlemlenmesi amacıyla bir takım duyarlılık analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu maksatla tesis kapasiteleri, verimlilik vb. bazı parametrelerin amaç fonksiyonundaki etkilerini görmek için aşağıdaki analizler yapılmıştır. Açılan tarlaların verimliliği üzerinde yapılan duyarlılık analizleri sonucunda tarlaların daha verimli olması daha fazla miktarda ürün çıkmasını sağlayarak üretimi arttırmış ve maliyetleri de dolayısıyla fazla miktarda etkilemiştir. Tablo 1'de verildiği gibi verimliliğin artırılması konusundan en çok etkilenen maliyet amacı olmuştur. Buradan yola çıkarak maliyet amacı hassas değişiklikler konusunda çok fazla duyarlı bir amaç fonksiyonudur. Bunun yanında verimlilik değerlerinin artmasıyla üretim miktarları arttığında ton başına taşımının ortaya çıkarttığı çevresel etki değerleri çevresel etki değerlendirme amaç fonksiyonunda, maliyet amacına oranla daha küçük değişiklikler olmuştur. Yani verimlilik

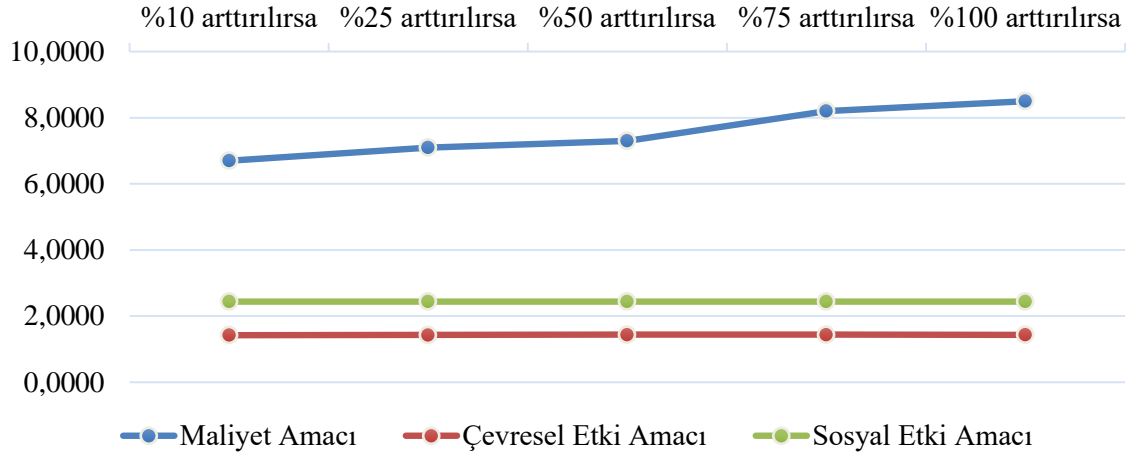
konusundaki değişikliklere çevresel etki amaç fonksiyonu çok daha az duyarlıdır. Tüm bunların yanında sosyal etki amacı sadece açılan tesis kararları ile bağlantılı olduğu için verimlilik miktarındaki değişiklikler sosyal etki amaç fonksiyonunda bir değişikliğe neden olmamıştır. Bu da gösteriyor ki modeldeki sosyal etki değerlendirme amacı, verimlilik konusundaki değişikliklere duyarlı değildir.

Aşağıdaki çizelgede epsilon kısıt yöntemi kullanılarak çözülmüş amaç fonksiyon değerleri paylaşılmıştır. Bu sonuçlardan yola çıkarak çalışmanın ilerleyen safhalarında daha derinleştirilerek tüm amaç fonksiyonlarının, çıkan ürün miktarına göre hesaplanması yapılabilecektir.

Tablo 1. Verimlilik için duyarlılık analizi sonuçları

Verimlilik artışı oranı	Maliyet amacı	Çevresel etki amacı	Sosyal etki amacı
%10	6.721356E+7	1.42116E+11	2.439539E+7
%25	7.182917E+7	1.42617E+11	2.439539E+7
%50	7.313841E+7	1.43451E+11	2.439539E+7
%75	8.245952E+7	1.43589E+11	2.439539E+7
%100	8.535073E+7	1.43891E+11	2.439539E+7

Şekil 3'te bu değerlere hem uzaktan bakabilmek hem de değerler hakkında detaylı yorum yapabilmek amacıyla grafiklere dönüştürdük ve sonuçlardaki değişiklikleri gözlemledik. Şekle göre sosyal ve çevresel etki amaçlarının bu değişiklikten etkilenmediği, maliyet amacının ise verimliliklerde oluşan değişikliklere karşı oldukça duyarlı davrandığı açıkça görülmektedir.



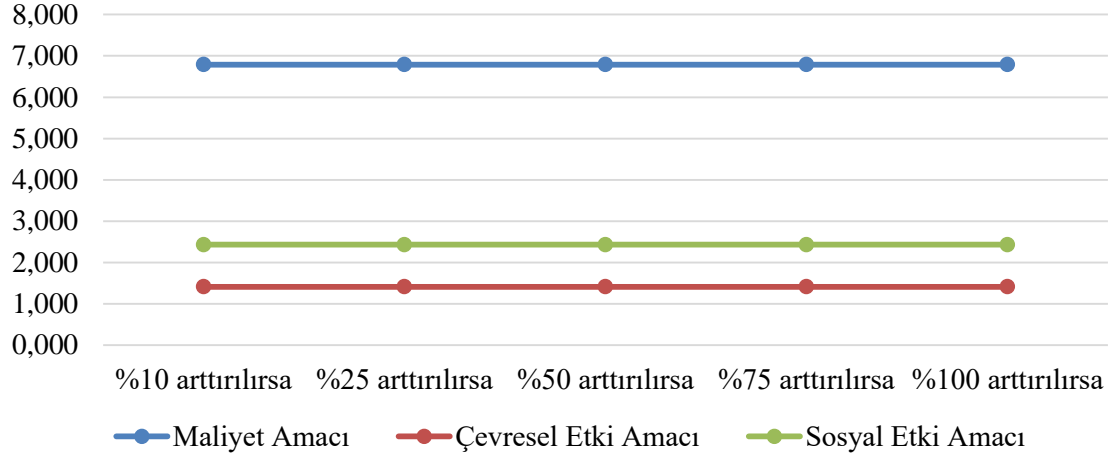
Şekil 3:

Verimlilik değerlerine ait yapılan duyarlılık analizi grafiği

Tablo 2. Kapasite değerlerine ait duyarlılık analizi sonuçları

Kapasitedeki Artış Oranı	Maliyet amacı	Çevresel etki amacı	Sosyal etki amacı
%10	6.790466E+7	1.41782E+11	2439539E+7
%25	6.790466E+7	1.41782E+11	2439539E+7
%50	6.790466E+7	1.41782E+11	2439539E+7
%75	6.790466E+7	1.41782E+11	2439539E+7
%100	6.790466E+7	1.41782E+11	2439539E+7

Duyarlılık analizi yaptığımız diğer parametre tesislere ait kapasitelerdir. Yapılan analizler sonucunda amaç fonksiyonlarının kapasite değişikliklerine duyarlı olmadığı görülmüştür (Bkz. Tablo 2). Bunun sebebi talebin ancak karşılanması tesis kapasitelerinin hali hazırda tam dolu olarak kullanılmamasıdır. İstihdam mevcut modelde tesis kapasitesi göre değişmemektedir. Bu kabul değiştirilecek kapasitenin sosyal amaca etkisi görülebilir. Şekil 4'te kapasite değişimlerinin etkisi görselleştirilmiştir.



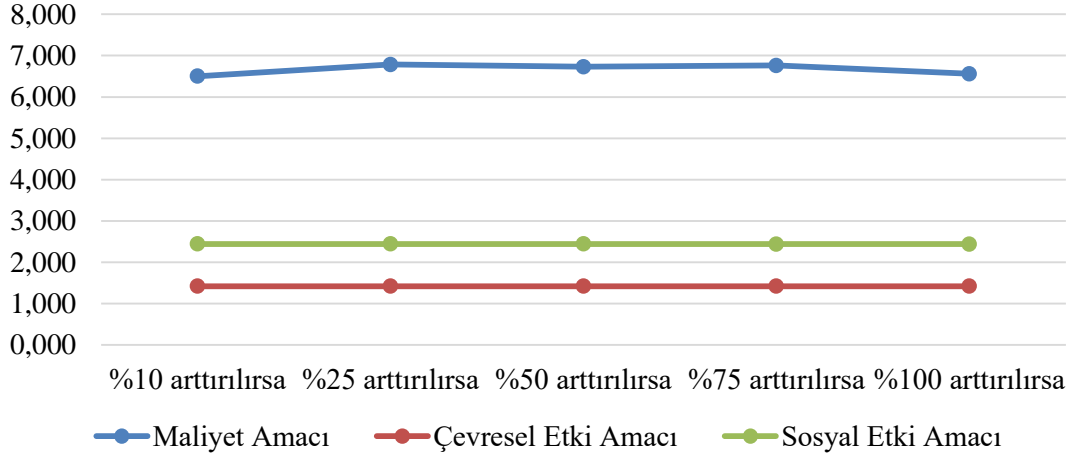
Şekil 4:
Kapasite değerlerine ait yapılan duyarlılık analizi grafiği

Son olarak çok amaçlı matematiksel modelin çözümü amacıyla eklenen iki adet epsilon kısıtında duyarlılık analizleri gerçekleştirilmiştir (Bkz. Tablo 3). Birinci epsilon değeri belirli yüzdelik değerlere göre değiştirildiğinde maliyet amacının öncelikle arttığı, sonrasında doyum noktasına ulaşmış maliyet değerinin tekrar düşmeye başladığı görülmüştür. Çevresel etki amacının ise epsilon değerinin iki katına ulaşmadan değişmediği açıkça gözlenmiştir. Sosyal etki amacında ise belirli bir orandan sonra değerde ufak azalmalar görülmüştür. Sonuçlara ait değerler tabloda görülmektedir.

Tablo 3. ϵ_1 değerine ait duyarlılık analizi sonuçları

Epsilon1 artış oranı	Maliyet Amacı	Çevresel Etki Amacı	Sosyal Etki Amacı
%10	6.502434E+7	1.41782E+11	2.439539E+7
%25	6.786668E+7	1.41782E+11	2.439539E+7
%50	6.730272E+7	1.41782E+11	2.439530E+7
%75	6.761367E+7	1.41782E+11	2.439521E+7
%100	6.560410E+7	1.42052E+11	2.439521E+7

Şekil 5'te görüldüğü gibi maliyet amacı önce artmış sonra neredeyse sabit kalarak azalmaya başlamıştır. Bunun yanında çevresel etki amacındaki çok ufak değişiklik değişim miktarı çok büyük olduğunda gerçekleşmekte ve sosyal anlamda açılan tesis sayısı değişmediği için göç eden kişi sayısında değişiklik yaşanmadığı görülmektedir.

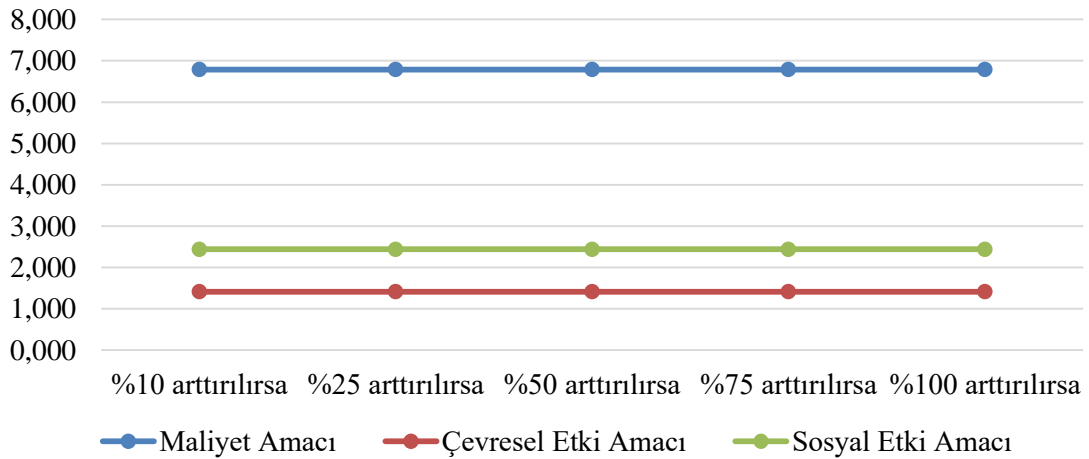


Şekil 5:
ε₁ değerlerine ait yapılan duyarlılık analizi grafiği

Tablo 4’te ve Şekil 6’da ε₂ parametresine ilişkin duyarlılık analizinin sonuçları verilmiştir. Buna göre maliyet, çevresel etki ve sosyal etki amaç fonksiyonlarında değişiklik görülmemektedir.

Tablo 4. ε₂ parametresine ilişkin duyarlılık analizi sonuçları

Epsilon2 Değeri artış oranı	Maliyet Amacı	Çevresel Etki Amacı	Sosyal Etki Amacı
%10	6.790466E+7	1.41782E+11	2.439539E+7
%25	6.790466E+7	1.41782E+11	2.439539E+7
%50	6.790466E+7	1.41782E+11	2.439539E+7
%75	6.790466E+7	1.41782E+11	2.439539E+7
%100	6.790466E+7	1.41782E+11	2.439539E+7



Şekil 6:
ε₂ parametresine ait yapılan duyarlılık analizi grafiği

Tüm bu sonuçlardan yola çıkarak genel bir duyarlılık analizi değerlendirilmesi yapıldığında ise maliyet amaç fonksiyonununun değişikliklere karşı daha hassas, çevresel amaç fonksiyonunun

daha büyük değişikliklere duyarlı sosyal amaç fonksiyonunun ise değişikliklere çok fazla duyarlı olmadığı çıkarımını yapabiliriz.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Alternatif yakıtların çevresel etkileri elde edilmiş yöntemine ve kullanılan taşıta göre değişkenlik göstermesine rağmen negatif etkileri, diğer petrol kökenli yakıtlara göre daha azdır. Dizel yakıtlarla benzer özellikler gösteren biyodizel yakıtlar, dizel araç motorlarında bazı değişiklikler ve ayarlamalar yapılarak kullanılabilir. Biyodizel yakıtlar, direk motorin yerine kullanılabilir gibi, mevcut motorin yakıtıyla belirli oranlarda karıştırılarak da kullanılabilir. Biyodizel yakıtlar, petrol kaynaklı yakıtlara göre daha az emisyon değerine sahip olmakla beraber kükürt içermemektedir.

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında dizel yakıtlara en yakın özelliklere sahip çevreci yakıtlar biyodizel yakıtlardır. Biyodizel yakıtların ulaşılabilir ekonomik özellikte olmaları için etkin bir tedarik zinciri ağ tasarımı modeli tasarlanmasının zorunluluğu literatürde yapılmış araştırmalar sonucunda da açıkça görülmüştür.

Bu çalışmada Türkiye için gerçek veriler kullanılarak çok amaçlı, çok dönemli bir biyodizel tedarik zinciri ağ tasarımı problemi ele alınmıştır. Önerilen probleme ait model; kuruluş, taşıma ve dağıtım maliyetlerini minimize ederken, tüm değişkenlerin çevresel etkilerini optimize etmekte, bunları yaparken de ülkemizdeki en büyük sorunlardan biri olan de-lokalizasyon ve göçü asgari düzeye indirmektedir.

Geliştirilen çok amaçlı model, her amaç için önce tek tek GAMS yazılımının CPLEX çözücüsü yardımıyla çözümlenmiştir. Önerilen çok amaçlı modelin çözümünde epsilon kısıtı metodu kullanılmıştır. Yapılan analiz neticesinde kurulan tedarik zinciri ağının önümüzdeki 4 yıl için, maliyeti $5.980161E+7$ TL olarak, çevresel etki değeri $1.57405E+11$ olarak, minimize edilmiş sosyal etki amacı optimum değeri ise $2.439575E+7$ olarak hesaplanmıştır. Epsilon kısıt yöntemi ile üç amaç eşzamanlı olarak çözüldüğünde, yeni maliyet değerleri $6.314543E+7$ TL, çevresel etki değeri $1.59097E+11$ ve sosyal etki değeri ise $2.439539E+7$ kişi olarak bulunmuştur.

Ele alınan vakada maliyet değerlerinin yüksek çıkması her periyotta nadasa bırakılan arazilerin farklı bölgede olması ve başlangıç maliyetlerine, tesis açma maliyetlerine katlanılmak zorunda olunmasındandır. Gıda krizleri nedeniyle biyodizel yapılan eleştiriler, nadasa bırakılan arazilerin kullanılmasını en büyük alternatifimiz haline getirmiş ve maliyetlerimizin artmasına neden olmuştur.

Gelecekte, potansiyel tesis yeri seçimleri için çok kriterli karar verme teknikleri kullanılarak elde edilen sonuçlar modele girdi olarak verilebilir. Bunun yanında belirsizlikleri ele alma konusunda stokastik programlama, bulanık programlama ve robust programlama kullanılabilir. Ayrıca biyodizel üretiminde hammadde kaynağı olarak sadece tarımı yapılan bitkileri değil, atık yağlar gibi farklı kaynakları da dikkate alan bir model kurulabilir.

KAYNAKLAR

1. Akman, S., (2015) Türkiye Biyodizel Piyasası İncelemesi, Düzenlemesi ve 2020 Projeksiyonu, *Yüksek Lisans Tezi*, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Ankara.
2. Alptekin, E., Çanakçı M., (2014) Biyodizel ve Türkiye'deki Durumu, *Mühendis ve Makina Dergisi*, 47, 561.
3. Andersen, F., Iturmendi, F., Espinosa, S., Diaz, M.S., (2012) Optimal design and planning of biodiesel supply chain with land competition, *Comput. Chem. Eng.* 47, 170–182. doi:10.1016/j.compchemeng.2012.06.044.

4. Avami, A., (2012) A model for biodiesel supply chain: A case study in Iran, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 16, 4196–4203. doi:10.1016/j.rser.2012.03.023.
5. Aysal, E., Aksoy F., Şahin, A., Aksoy, L., Yıldırım, H., (2014) Hardal Yağından Biyodizel Üretiminin Optimizasyonu ve Motor Performans Testleri, *Afyon Kocatepe Üniversitesi ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14, 1-9. doi: :10.5578/fmbd.7669
6. Bn Azadeh A., Arani H. V., Dashti H., (2014) A Stochastic Programming Approach Towards Optimization of Biofuel Supply Chain, *Energy*, 76. 513-525. doi: 10.1016/j.energy.2014.08.048
7. Azadeh, A., Arani, H.V., (2016) Biodiesel supply chain optimization via a hybrid system dynamics- mathematical programming approach, *Renew. Energy* 93, 383–403. doi:10.1016/j.renene.2016.02.070
8. Babazadeh, R., (2016) Optimal design and planning of biodiesel supply chain considering non- edible feedstock. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 1–12. doi:10.1016/j.rser.2016.11.088
9. Babazadeh, R., Razmi, J., Rabbani, M., Saman, M., (2015) An integrated data envelopment analysis e mathematical programming approach to strategic biodiesel supply chain network design problem, *J. Clean. Prod.* doi:10.1016/j.jclepro.2015.09.038
10. Babazadeh, R., Razmi, J., Saman, M., Rabbani, M., (2016) A sustainable second-generation biodiesel supply chain network design problem under risk. *Omega* 1–20. doi:10.1016/j.omega.2015.12.010
11. 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. 281–29. doi: 10.1016/j.ejor.2015.08.027
12. Balaman Ş., Selim H., (2016) Sustainable Design Of Renewable Energy Supply Chains Integrated With District Heating Systems: A Fuzzy Optimization Approach, *Journal of Cleaner Production*. 133. 863-885. doi: 10.1016/j.jclepro.2016.06.001
13. Banos R., Gomez J. ve diğerleri, (2011) Optimization Methods Applied To Renewable And Sustainable Energy: A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 15(4). 1753-1766. doi: 10.1016/j.rser.2010.12.008
14. Erel, F., (2014) Biyodizel Üretiminde Ters Lojistik Uygulamaları'', *Yüksek Lisans Tezi*, Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ.
15. Gold S., Seuring S., (2011) Supply Chain and Logistics Issues of Bio-Energy Production, *Journal of Cleaner Production*, 19(1). 32–42. doi: 10.1016/j.jclepro.2010.08.009
16. 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. 112–120. doi: 10.1016/j.bcab.2016.08.014
17. Hoekman S. K., Broch A., Robbins C., Ceniceros E., Natarajan M., (2012) Review of biodiesel Composition, properties, and specifications, *Renewable Sustainable Energy Reviews*, 16. 143-69. doi: 10.1016/j.rser.2011.07.143
18. Hugo, A., Pistikopoulos, E.N., (2005) Environmentally conscious long-range planning and design of supply chain networks 13. doi:10.1016/j.jclepro.2005.04.011
19. Jiang, Y., Zhang, Y., (2016) Supply chain optimization of biodiesel produced from waste cooking oil 12, 938–949. doi:10.1016/j.trpro.2016.02.045

20. Kaya, C., (2006) Bitkisel Yağlardan Biyodizel Üretimi, *Yüksek Lisans Tezi*, Dicle Üniversitesi, Diyarbakır.
21. Marufuzzaman, M., Eksioğlu, S.D., Eric, Y., (2014) Computers & Operations Research Two-stage stochastic programming supply chain model for biodiesel production via wastewater treatment, *Comput. Oper. Res.* 49, 1–17. doi:10.1016/j.cor.2014.03.010
22. Mohseni S., Pishvae M. S., (2016) A robust programming approach towards design and optimization of microalgae-based biofuel supply chain, *Computers & Industrial Engineering* 100. 58-71. doi: 10.1016/j.cie.2016.08.003
23. Mohseni, S., Pishvae, M.S., Sahebi, H., (2016) Robust design and planning of microalgae biomass-to-biodiesel supply chain: A case study in Iran, *Energy* 111, 736–755. doi:10.1016/j.energy.2016.06.025
24. Riemke, R., Cesar, D.C., Hamacher, S., Oliveira, F., (2011) Bioresource Technology Optimization of biodiesel supply chains based on small farmers : A case study in Brazil, *Biotech*, 102, 8958–8963. doi:10.1016/j.biortech.2011.07.002
25. Rincón, L.E., Valencia, M.J., Hernández, V., Matallana, L.G., Cardona, C.A., (2015) Optimization of the Colombian biodiesel supply chain from oil palm crop based on techno-economical and environmental criteria, *Energy Econ*, 47, 154–167. doi:10.1016/j.eneco.2014.10.018
26. Sajjadi B., AbdulRaman A.A., Arandiyani H., (2006) A comprehensive review on properties of edible and non-edible vegetable oil-based biodiesel: composition, specifications and prediction models, *Renewable Sustainable Energy Reviews*, 63. 62-92. doi: 10.1016/j.rser.2016.05.035
27. Steuer, R. E. (1986) Multiple Criteria Optimization: Theory, Computation, and Application, *John Wiley & Sons, Inc.*, New York, NY.
28. Şener, B., Çakar A., (2008) Biyodizel, *Alan Eğitiminde Araştırma Projesi*, YTÜ, İstanbul.
29. Zhang, F., Johnson, D., Johnson, M., Watkins, D., Froese, R., Wang, J., (2016) Decision support system integrating GIS with simulation and optimisation for a biofuel supply chain, *Renew. Energy*, 85, 740–748. doi:10.1016/j.renene.2015.07.041