



## BİYOYAKIT TEDARİK ZİNCİRİ AĞ TASARIMI ÇALIŞMALARINI İÇİN ÖZ DÜZENLEYİCİ HARİTALAR

Fatih ÖZTÜRK<sup>1\*</sup>, Ali Osman KUŞAKÇI<sup>2</sup>, Berk AYVAZ<sup>3</sup>, Melike SIRAKAYA KARAKOÇ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>İstanbul Medeniyet Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

<sup>2</sup>İbn Haldun Üniversitesi, Yönetim Bilimleri Fakültesi, İşletme Bölümü, İstanbul, Türkiye

<sup>3</sup>İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

Tedarik Zinciri Ağ Tasarımı,  
Biyoyakıt,  
Yenilenebilir Enerji,  
Karar Verme.

### Öz

Son yıllarda çevre dostu yenilenebilir enerji kaynaklarına ilgi artmaktadır. Ülkemizde Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) tarafından, 2013 yılından itibaren benzine ve motorine yerli katkı olarak, oranları her yıl arttırılmak üzere biyodizel ve etanol ilave zorunluluğu getirilmiştir. Bu da yenilenebilir enerji kaynakları için etkin ve optimal yeşil tedarik zinciri ağı tasarımı çalışmalarının yapılmasını gerekli kılmaktadır. Bu bağlamda karar vericiler, ekonomik gelişme sağlayan, çevre hassasiyeti olan ve sosyal refahı sağlayan sürdürülebilir çözümler üretmek için biyoenerji, rüzgâr, güneş, dalga, gelgit vs. gibi yenilenebilir enerjilere odaklanılmışlardır. Bu çalışmada biyoyakıtların tedarik zinciri ağ tasarımları ile ilgili yapılmış geçmiş çalışmalara yer verilmiş ve çalışmalar; amaçları, karar değişkenleri, kısıtları, kullanılan optimizasyon metodu ve sonuçları açısından analiz edilerek değerlendirilmiştir. İncelenen çalışmalar, yapay sinir ağlarının özel bir çeşidi olan öz düzenleyici haritalar (Self Organizing Maps-SOM) yöntemi kullanılarak kümelenmiş ve literatürdeki boşluklar tartışılmıştır. Literatürün incelemesi ve çalışmaların kümelenmesini içeren bu makale, biyoyakıt tedarik zinciri ağ tasarımı ile ilgili çalışma yapacak araştırmacılar için yol gösterici niteliktedir.

## SELF ORGANISING MAPS FOR BIOFUEL SUPPLY CHAIN NETWORK DESIGN STUDIES

### Keywords

Supply Chain Network  
Design,  
Biofuels,  
Renewable Energy,  
Decision Making.

### Abstract

Interest in environmentally friendly, renewable energy sources has been increasing. Energy Market Regulatory Authority (EPDK) has been obliged to add biodiesel and ethanol as domestic additives to petrol. This makes it necessary to make efficient and optimal green supply chain network design studies for renewable energy sources. In this context, decision makers have focused on renewable energies to produce sustainable solutions that provide economic development, environmental sensitivity and social welfare. In this study, previous studies on biofuel supply chain network designs were analyzed in terms of their work, objectives, decision variables, constraints, optimization method used and results. The studies were clustered using a special type of artificial neural networks Self Organizing Maps method and the densities of the features were shown in the study. This article, which includes a review of the literature and a cluster of studies, is a guide for researchers working on biofuel supply chain network design.

### Alıntı / Cite

Öztürk, F., Kuşakçı, A. O., Ayvaz, B., Karakoç Sırakaya, M., (2020). Biyoyakıt Tedarik Zinciri Ağ Tasarımı Çalışmaları İçin Öz Düzenleyici Haritalar, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 8(2), 345-356.

### Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

F. Öztürk, 0000-0003-4113-055X  
A. O. Kuşakçı, 0000-0003-1411-0369  
B. Ayvaz, 0000-0002-8098-3611  
M. Sırakaya Karakoç, 0000-0002-3389

### Makale Süreci / Article Process

<b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b>	07.01.2019
<b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>	26.03.2020
<b>Yayın Tarihi / Published Date</b>	25.06.2020

\* İlgili yazar / Corresponding author: fatih.ozturk@medeniyet.edu.tr, +90-216-280-3333

## 1. Giriş (Introduction)

Son yıllarda küresel ısınma, hava kirliliğinin artması, iklim değişiklikleri, değişkenlik gösteren akaryakıt fiyatlarının yanı sıra tabii kaynakların hızla tükenmesi ve sanayileşme ile paralel bir şekilde gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin yüksek enerji talepleri, yenilenebilir ve temiz enerji kaynaklarına olan ilginin gittikçe artmasına sebep olmuştur. Bu gelişme de yenilenebilir enerji kaynakları için etkin ve optimal yeşil tedarik zinciri ağı tasarımı çalışmalarının yapılmasını gerekli kılmaktadır (Ayvaz vd., 2018a).

Bu bağlamda karar vericiler, ekonomik gelişme sağlayan, çevre hassasiyeti olan ve sosyal refahı sağlayan sürdürülebilir çözümler üretmek için biyoenerji, rüzgâr, güneş, dalga, gelgit vs. gibi yenilenebilir enerjilere odaklanmışlardır. Özellikle biyoenerji üretim sistemleri, çevresel sorunlara da bağlı olarak, hızla tükenmekte olan ve yenilenemeyen geleneksel enerji üretim sistemleri yerine ikame olabileceği için son yıllarda büyük ilgi görmektedir. Biyoenerji sınıfında biyokütle, biyoethanol, biyodizel, biyogaz, biyoalkoller vb. yakıt türleri bulunmaktadır. Etkin bir biyoyakıt tedarik zincirinin tasarımı, biyoyakıtların fosil yakıtlara karşı yeterliliğinin artırılmasında önemli bir role sahiptir. Bir biyoyakıt tedarik zinciri ağını en iyi şekilde tasarlamak için, birçok araştırmacı tarafından matematiksel programlama, simülasyon ve coğrafi bilgi sistemi vb. farklı metodolojiler uygulanmıştır. Ülkemizde biyodizel kullanımı ile ilgili olarak Resmi Gazete’de yayımlanan 27 Eylül 2011 tarih ve 28067 sayılı “Motorin Türlerine İlişkin Değişiklik Yapılmasına Dair Tebliğ”e göre piyasaya arz edilen motorin türlerinin, yerli tarım ürünlerinden üretilmiş yağ asidi metil esteri(biyodizel) içeriğinin; 01/01/2014 tarihi itibarıyla en az %0,1, 01/01/2015 tarihi itibarıyla en az %0,2, 01/01/2016 tarihi itibarıyla en az %0,3 ve 16/07/2017tarihi itibarıyla %0,5 oranında olması zorunlu hale getirilmiştir (Ayvaz vd., 2018b). Ayrıca biyodizel üretimi için kullanılan yağlı tohumlar kurak bölgelerde de yetiştirilebileceği için tarıma elverişli olmayan bölgelerde de bu alanda istihdam artacak ve sosyal yönden de katkısı olacaktır.

Bu çalışmada biyoyakıtlar için tedarik zinciri ağı tasarımı çalışmaları sistemli yorumlamalar yapabilmesi amacıyla yapay sinir ağlarının bir çeşidi olan öz düzenleyici haritalar (Self Organizing Maps-SOM) yöntemiyle amaçları, karar değişkenleri, kısıtları, kullanılan optimizasyon metodu ve sonuçları dikkate alınarak incelenmiş ve kümelendirilmiştir. Karar vericilere destek olmak ve daha güvenilir değerlendirmeler yapabilmek adına, Karar Verme yöntemlerinin kullanılması bir çok araştırmacı tarafından önerilmiştir (Kuşakçı vd., 2019; Ozturk ve Kaya, 2020).

Çalışmanın bundan sonraki bölümünde literatür taraması yapılırken kullanılan metodoloji hakkında bilgi verilmiştir. Üçüncü bölümde incelenen çalışmalar için SOM yöntemi ile analizler ve değerlendirmeler yapılmıştır. Sonuç bölümünde ise genel değerlendirme ve literatürdeki açıklar ele alınmıştır.

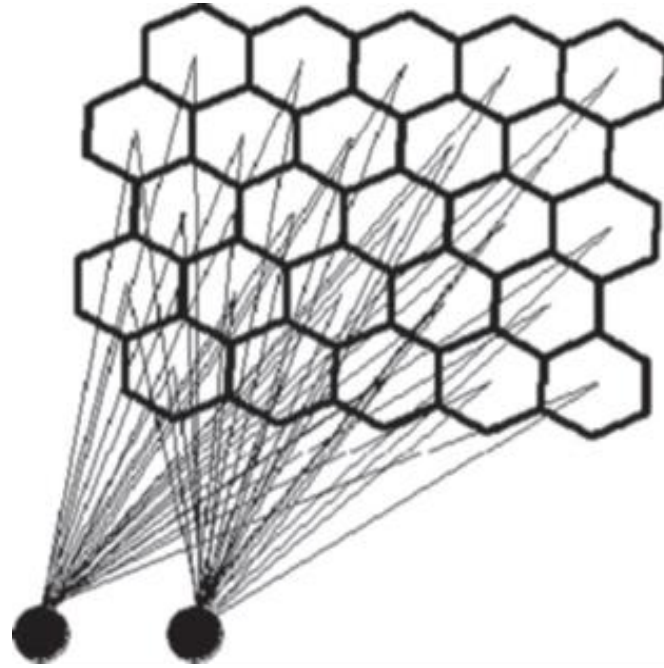
## 2. Metodoloji (Methodology)

### 2.1. Kümeleme Analizi (Cluster Analysis)

Kümeleme analizi, incelenen birimleri ortak özelliklerine göre belirli sayıda gruplara ayırarak, bu gruplar hakkında genel tanımlamalar yapmaya olanak veren çok değişkenli istatistiksel bir yöntemdir (Kaufman ve Rousseeuw, 1990). Kullanıcının amacı ve kullanım alanları düşünülerek farklı kümeleme analizleri mevcuttur. Bu istatistiksel analiz yöntemlerinin en yaygın olanları; k-ortalamlar yöntemi (MacQueen, 1967), bulanık c-ortalamlar yöntemi (Höppner, 2002) ve öz düzenleyici haritalar (Kohonen, 1982) yöntemidir.

### 2.2. Öz düzenleyici Haritalar (Self Organizing Maps-SOM)

Öz düzenleyici haritalar, özel bir çeşit yapay sinir ağı olan veri kümeleme ve görüntüleme yöntemidir. Öz düzenleyici haritalar ilk olarak Kohonen tarafından 1982 yılında geliştirilmiştir ve Kohonen ağları olarak da adlandırılmaktadır (Kohonen, 1982). Öz düzenleyici haritalar geniş verilere ait gruplamanın bilinmediği durumlarda, verilerin sistematik kümelendirilmesini amaçlamaktadır (Oğuzlar, 2005). Literatürde SOM yöntemi, su kaynaklarının gruplanması (Kalteh vd., 2008), renklerin tüketici davranışları üzerindeki etkisinin incelenmesi (Mostafa M. M., 2009), kış aylarındaki aşırı iklim değişikliklerinin incelenmesi (Cavazos, 2000), araç rotalama çalışmaları (Schwardt ve Dethloff, 2005), kağıt hamuru ve kağıt şirketlerine ait sektörel değişimlerin ve finansal performansın eş zamanlı karşılaştırılması (Länsiluoto vd., 2004), akademik kütüphanelerde yüksek kaynak ve hizmet kullanımı ile ilişkilendirilebilecek veri noktalarını tanımlanması (Ennis vd., 2013) gibi bir çok farklı alanda uygulanmıştır.



Şekil 1. Tipik bir SOM ağ yapısı (A typical SOM network structure)

Öz düzenleyici haritalarda diğer yapay sinir ağlarından farklı olarak, çıkış katmanındaki nöronların dizilimi çok önemlidir. Bu dizilim doğrusal, dikdörtgensel, altıgen veya küp şeklinde olabilir. Görselleştirme açısından dikdörtgensel ve altıgen şeklindeki dizilimler tercih edilmektedir. Şekil 1 de tipik bir SOM ağ yapısı gösterilmektedir (Kalteh vd., 2008).

Öz düzenleyici haritalar yönteminde kümeleme analizinde  $m$  tane değişken,  $n$  tane gruplama olduğu varsayılırsa her bir girdinin her bir düğüme olan uzaklığına bakılmaktadır. Kümeler oluşturulurken ilk olarak her düğümün ağırlık vektörü ( $w$ ) ile girdi vektörü ( $x$ ) arasındaki uzaklığı Eşitlik 1’de gösterilen Öklid bağıntısından yararlanılarak hesaplanabilir (Haykin, 2009).

$$d_i = \sqrt{\sum_{j=1}^m (x_j - w_{ij})^2} \quad (1)$$

Öz düzenleyici haritalara ait kümeleme sürecinin adımları Tablo 1’de yer almaktadır:

**Tablo 1.** SOM kümeleme sürecinin algoritması (Algorithm of the SOM clustering process)

<b>A1</b>	Ağırlık vektörüne 0 ile 1 arasında rasgele başlangıç değerleri ver.
<b>A2</b>	Her girdi ile ağırlık vektörü arasındaki uzaklığı Denklem 1 yardımı ile hesapla.
<b>A3</b>	Hesaplanan uzaklıklar arasındaki en küçük uzaklığa sahip olan düğümü (nöron) seç. Seçilen düğümü kazanan düğüm (winner node) olarak adlandır.
<b>A4</b>	Kazanan düğüm ve öğrenme parametresi ( $\alpha$ ) yardımıyla ağırlıkları aşağıdaki formülü kullanarak güncelle. Öğrenme parametresi $\alpha$ ’nın 0 ile 1 arasında, genellikle 0’a daha yakın, bir değer aldığı varsayılmaktadır (Alpaydın, 1998). $w_j(\text{yeni}) = w_j(\text{mevcut}) + \alpha[x - w_j(\text{mevcut})]$
<b>A5</b>	Durma kriteri sağlanıncaya kadar Adım 3 ve Adım 4 tekrarla.

SOM haritalar yöntemi ile çok boyutlu bir veri seti iki boyuta indirgenilebilir. Bu sayede veri seti karar vericiler tarafından kolayca değerlendirilebilmektedir (Özçalıcı, 2016).

Öz düzenleyici haritalarda kümeleme sonuçları elde edildikten sonra, verinin gerçek yapısını temsil edip etmediğini doğrulamak gerekmektedir. Kümeleme algoritmasından elde edilen küme bölünmelerinin uygunluğunu değerlendirmek için Dunn indeksini de (DI) içeren farklı küme geçerlilik indeksleri kullanılmaktadır (Azar vd., 2013). Bu çalışmada farklı kümeleme alternatiflerinden en uygun olanı belirlemek için her bir alternatifin DI değeri hesaplanacak ve karşılaştırılacaktır.

DI'de optimal kümelemeyi belirlemek için kullanılan ölçüt Eşitlik (2)'de verilmiştir.

$$DI = \min_{1 \leq i \leq n} \left\{ \min_{1 \leq j \leq n} \left\{ \frac{d(c_i, c_j)}{\max_{1 \leq k \leq n} \{d'(c_k)\}} \right\} \right\} \quad i \neq j \quad (2)$$

Eşitlik (2) 'de yer alan  $d(c_i, c_j)$  ifadesi,  $i$  ve  $j$  kümeleri arasındaki uzaklığı,  $\max_{1 \leq k \leq n} \{d'(c_k)\}$  ise  $k$  kümesi içindeki elemanlar arasındaki en büyük mesafeyi göstermektedir. DI değerinin temel amacı kümeler arasındaki mesafeyi en aza indirmek, küme içi uzaklıkları ise en büyükmektir. En büyük DI değerine sahip olan kümeleme en iyi gruplandırmayı verecektir.

### 2.3. SOM Yöntemi ile Kümeleme (Clustering with the SOM Method)

Bu çalışma yapılırken tedarik zinciri ağ tasarımı, biyodizel gibi anahtar kelimeler aratılmış ve matamatiksel modeli olan 28 makale incelenmiştir.

**Tablo 2.** Değişkenlerin alacağı değerler (Values that variables will take)

<b>Değişken</b>	Alabileceği Değerler
<b>Ağ Yapısı</b>	Açık Döngü Tedarik Zinciri (ADTZ) Kapalı Döngü Tedarik Zinciri (KDTZ)
<b>Model</b>	Doğrusal Programlama (DP), Doğrusal Olmayan Programlama (DOP), Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama (KTDP), Karma Tamsayılı Doğrusal Olmayan Programlama (KTROP)
<b>Amaç Fonksiyonu</b>	Tek Amaçlı Çok Amaçlı
<b>Belirsizliği ele alma Yöntemi</b>	Duyarlılık Analizi (DA) Senaryo Analizi (SA) Stokastik Optimizasyon Simülasyon Analizi Bulanık
<b>Çözüm Metodu</b>	Kesin Yöntemler Sezgisel Yöntemler Meta Sezgisel Yöntemler

**Tablo 3.** Değişkenlerin gösterim şekli (How variables are displayed)

Ağ Yapısı		Model				Amaç Fonksiyonu		Belirsizlikleri Giderecek Yöntemler					Çözüm Yöntemi		
ADTZ	KDTZ	DP	DOP	KTDP	KTROP	Tek	Çok	Duyarlılık Analizi	Senaryo Analizi	Simülasyon Analizi	Stokastik	Bulanık	Kesin	Sezgisel	Yarı Sezgisel
1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0

Makalelerde kullanılan ağ tasarımı yaklaşımlarının temel karakteristiğini yansıtacak şekilde bazı değişkenler belirlendi. Kümeleme yöntemi için dikkate alınan değişkenler şu şekildedir: "Ağ yapısı", "Model", "Amaç Fonksiyonu", "Belirsizliği ele alma yöntemi" ve "Çözüm yöntemi". Bu değişkenlerin alacağı değerler de Tablo 2'de gösterilmiştir. Buna göre her bir çalışma Tablo 2'de verilen ayırt edici başlıklara göre incelenmiş ve çalışmada kullanılan yöntemle göre değişken değerleri saptanmıştır. Burada değişkenlerin alabileceği değerlerin karşılıklı dışlayan değerler olmadığını; yani, bir çalışmanın örneğin „Belirsizliği Ele Alma Yöntemi“ açısından hem simülasyon hem senaryo analizi kullanabilmesinin mümkün olduğunu belirtmeliyiz.

Çalışmada kullanılan değişkenler kategorik değerler aldığı için her bir değişkenin değeri 0-1 ikili değişkenlerinden biri ile tanımlanmıştır. Örneğin, KDTZ "1" değerini alıyorsa "problemin ağ yapısı kapalı döngü tedarik zinciri olarak tasarlanmıştır" anlamına gelecektir.

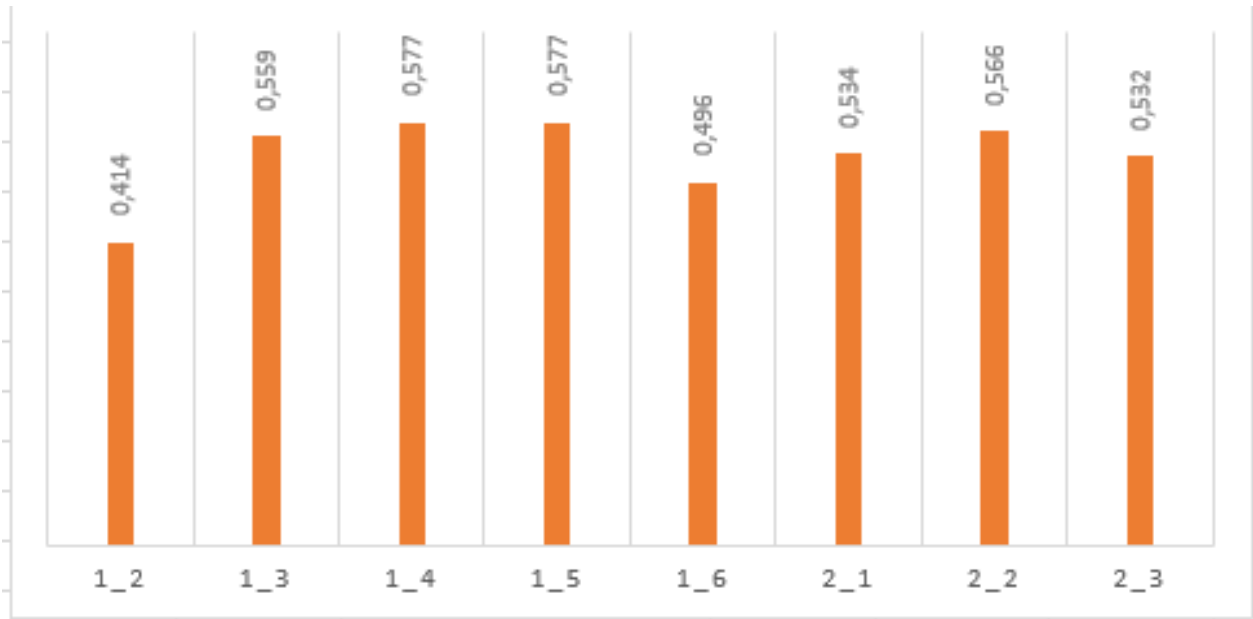
İncelenen çalışmalardan yola çıkarak değişkenlerin gösterimine çizelge yardımıyla bir örnek verirsek; Azadeh ve Arani (2016) İran'da biyodizel yakıtlar için tedarik zinciri ağ tasarımı çalışmasını gerçekleştirmiştir. Açık döngü olarak tasarlanan ağ tek amaçlı ve karma tamsayılı doğrusal programlamaya (KTDP) göre modellenmiştir. Kurulan model deterministik olduğu için çözümde kesin (exact) yöntemler kullanılmıştır ve GAMS yazılımının CPLEX çözücüsü ile çözülmüştür.

Buna göre Azadeh ve Arani (2016) çalışmasında kullanılan değişkenler, verilen bilgiler doğrultusunda Tablo 3'de gösterilen değerleri alacaktır.

Çalışmada biyoyakıt tedarik zinciri ağ tasarımı konusunda yayınlanan 28 makaleden yararlanılmıştır. Kümeleme analizinde küme sayısı ile ilgili farklı yaklaşımlar mevcuttur. Değerlendirdiğimiz 28 makale için bir yalaşıma göre 2,8 civarında ( $28\% \cdot 10$ ), diğer bir yaklaşıma göre 5,2 civarında (veri sayısının karakökü kadar) küme olması beklenmektedir (Ercan ve Kayakutlu, 2015).

Bu amaçla, küme sayıları 2 ile 6 arasında olacak biçimde iki boyutlu topolojiler denenmiş, içerisinde boş küme bulundurmayan 1x2, 1x3, 1x4, 1x5, 1x6, 2x1 ve 2x2, 2x3 topolojileri dikkate alınmıştır. Dikkate alınan topolojiler için ise gruplamaların geçerliliği hakkında yorum yapabilmek için DI hesaplanmıştır. Öz düzenleyici haritalarda rassal etkileri ortadan kaldırmak için 30 bağımsız deneme yapılmıştır.

Bu denemeler sonucunda 1x4 ve 1x5 boyutlarındaki topolojilerin 0,577 ile en yüksek ortalama DI değerlerini verdiği görülmüştür. Elimizde bulunan makale sayısı dikkate alınarak kümeleme işlemi için 1x4 topolojisi seçilmiştir. Analizi gerçekleştirmek ve şekilleri çizmek için MATLAB programı kullanılmıştır.



Şekil 2. Topolojilerin ortalama Dunn İndex değerleri (Average Dunn Index values of topologies)

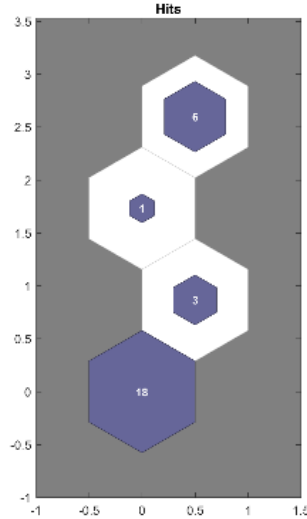
Yapılan literatür taraması sonucu, biyoyakıtların "Tedarik zinciri ağ tasarımı" problemlerine ilişkin ele alınan 28 çalışmaya ait detaylı bilgiler Tablo 4'te verilmiştir.

**Tablo 4.** Biyoyakıtların tedarik zinciri ağ tasarımı üzerine literatür taraması özeti (Literature review on supply chain network design of biofuels)

Çözüm Yöntemi	Ağ Yapısı		Modelleme Tekniği											Çözüm Yöntemi					
	ADTZ	KDTZ	Model				Amaç Fonksiyonu		Belirsizliği Gidermek İçin Kullanılan Yöntemler							Kesin	Sezgisel	Meta-Sezgisel	
			DP	DOP	KTDP	KTDOP	Tek	Çok	D.A	S.A	Stokastik	Simülasyon	Bulamık						
Babazadeh vd.	✓					✓		✓		✓							✓		
Babazadeh	✓				✓		✓		✓								✓		
Azadeh ve Arani	✓				✓		✓		✓								✓		
Mohseni vd.	✓				✓		✓		✓								✓		
Rincón vd.	✓			✓				✓			✓						✓		
Jiang ve Zhang	✓				✓			✓		✓								✓	
Marufuzzaman vd.	✓				✓		✓				✓		✓				✓		
Babazadeh vd.	✓		✓				✓										✓		
Andersen vd.	✓				✓		✓		✓	✓							✓		
Avami	✓			✓			✓				✓						✓		
Moncada vd.	✓																		
Leão vd.	✓																		
Hombach vd.	✓						✓		✓			✓		✓		✓	✓		
Leão vd.	✓				✓		✓		✓	✓							✓		
Hombach vd.	✓				✓		✓		✓								✓		
Mohseni ve Pishvae	✓			✓			✓		✓								✓		
Yılmaz Balaman ve Selim	✓				✓			✓		✓						✓	✓		
Ivanov ve Stoyanov	✓				✓			✓				✓					✓		
Duarte vd.	✓				✓		✓		✓	✓							✓		
Najmi vd.	✓			✓			✓				✓						✓		
Bai vd.	✓				✓		✓		✓	✓							✓	✓	
Zhang vd.	✓				✓		✓				✓	✓					✓		
Cáceres vd.	✓			✓	✓		✓		✓								✓		
Meyer vd.	✓		✓		✓			✓	✓								✓		
Ren vd.	✓		✓				✓										✓		
Gonela vd.	✓						✓						✓						
Pasandideh vd.	✓							✓						✓					
Azadeh vd.	✓			✓				✓			✓	✓		✓				✓	
Liu vd.	✓					✓			✓	✓	✓							✓	
Li ve Hu	✓					✓		✓						✓				✓	

### 3. İncelenen Çalışmaların Kümelere Göre Değerlendirilmesi (Evaluation of the Reviewed Studies According to Clusters)

Öz düzenleyici haritalar yöntemi kullanılarak yapılmış kümeleme analizi sonucunda 1x4 topolojisinde yer alan kümelemenin, incelenenler arasında en iyi kümeleme olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Şekil 3'de en iyi gruplama sonucunu gösteren topoloji ve her küme içerisinde yer alan çalışma sayısına yer verilmiştir.



**Şekil 3.** 1x4 topoloji yapısı ve kümelerin eleman sayıları (1x4 topology structure and number of elements of sets)

Her grupta bilimsel çalışmalara ait yazar ve çalışmaların yapıldığı yıl bilgisi Tablo 5'te verilmektedir. Tablo 6, en iyi kümelemeyi veren topolojiye göre her bir kümenin, değişkenler temelinde ortalama değerlerini göstermektedir. Bu değerler incelenerek kümelerin gösterdiği özellikler için yorumda bulunmak mümkündür.

Birinci kümede ele alınan çalışmaların tamamı açık döngü tedarik zinciri olarak tasarlanmıştır ve modeller karmaşık tam sayılı doğrusal programlama olarak gruplandırılmıştır. Az sayıda çalışmada ise model olarak lineer ve lineer olmayan programlamadan yararlanılmıştır. Bu kümedeki çalışmaların tamamı tek amaçlı olarak kurulan modellerin çözümünde kesin çözüm yöntemleri kullanılmış, meta-sezgisel yöntemler ise hiç kullanılmamıştır. Modeldeki belirsizliklerin giderilmesi için çalışmaların neredeyse tamamında duyarlılık analizlerine yer verilmiştir. Duyarlılık analizlerinin yanı sıra az sayıda çalışmada ise senaryo ve simülasyon analizinden yararlanılmıştır.

İkinci kümede ele alınan çalışmalarda açık döngü tedarik zinciri olarak, tek ve çok amaçlı modeller tasarlanmıştır. Kümedeki tüm modeller lineer olmayan programlama olarak modellenmiş ve çalışmalar kesin yöntemler ile çözümlenmiştir. Kümedeki çalışmalarda belirsizlikler senaryo analizi yapılmıştır.

**Tablo 5.** 1x4 topolojisindeki kümelerin elemanları (Elements of sets in 1x4 topology)

Küme 1	
Yazar	Yıl
Babazadeh	2017
Azadeh ve Arani	2016
Mohseni vd.	2016
Marufuzzaman vd.	2014
Babazadeh vd.	2015
Andersen vd.	2012
Moncada vd.	2017
Leão vd.	2011
Hombach vd.	2016
Mohseni ve Pishvae	2016
Bai vd.	2016
Zhang vd.	2016
Cáceres vd.	2015
Duarte vd.	2016
Ren vd.	2015

Tablo 5. Devamı (Continued)

Yazar	Yıl
Gonela vd.	2015
Azadeh vd.	2014
Li ve Hu	2014
<b>Küme 2</b>	
Yazar	Yıl
Avami	2012
Rincón vd.	2015
Najmi vd.	2016
<b>Küme 3</b>	
Yazar	Yıl
Pasandideh vd.	2015
<b>Küme 4</b>	
Yazar	Yıl
Jiang ve Zhang	2016
Yılmaz Balaman ve Selim	2016
Ivanov ve Stoyanov	2016
Meyer vd.	2015
Liu vd.	2014
Babazadeh vd.	2017

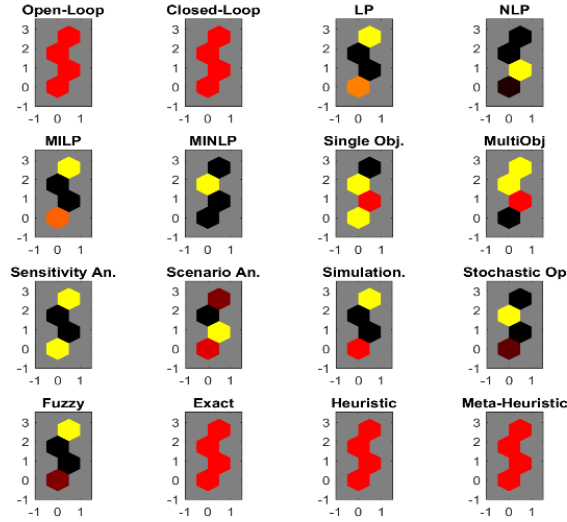
Üçüncü kümede de ele alınan çalışma açık döngü tedarik zinciri olarak tasarlanmış olup, karma tamsayı doğrusal olmayan programlamaya göre modellenmiştir. Bu kümedeki çalışmayı diğer kümelerden ayıran özellik ise modelin çözümünde sezgisel yöntemlerin kullanılmasıdır. Belirsizliklerin giderilmesinde ise stokastik optimizasyon analizlerinden yararlanılmaktadır.

**Tablo 6.** 1x4 topolojisine göre her küme için değişkenlerin ortalama değeri (Average value of variables for each cluster based on 1x4 topology)

NODE	Ağ Yapısı		Model				Amaç Fonksiyonu		Belirsizlikleri Giderecek Yöntemler					Çözüm Yöntemi		
	ADTZ	KDTZ	DP	DOP	KTDP	KTDP	Tek	Çok	Duyarlılık Analizi	Senaryo Analizi	Stokastik	Simülasyon	Bulamık	Kesin	Sezgisel	Yarı Sezgisel
<b>NODE (1,1)</b>	1	0	0,16	0,1	0,72	0	1	0	0,72	0,38	0,11	0,22	0,05	1	0,05	0
<b>NODE (1,2)</b>	1	0	0	1	0	0	0,66	0,33	0	1	0	0	0	1	0	0
<b>NODE (1,3)</b>	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0
<b>NODE (1,4)</b>	1	0	0,33	0	0,66	0,16	0,16	0,83	0,83	0,16	0,16	0,16	0,16	0,84	0,16	0

Dördüncü kümede de ele alınan çalışmalar açık döngü tedarik zinciri olarak tasarlanmış olup, çoğunlukla karma tamsayı doğrusal programlamaya göre modellenmiş olup az sayıda da olsa lineer ve karma tamsayı doğrusal olmayan programlama ile modellenmiş ve tamamına yakını kesin yöntemler ile çözümlenmiştir. Bu kümedeki çalışmalara çoğunlukla belirsizliği gidermek için duyarlılık analizi uygulanmıştır.





Şekil 4. 1x4 topolojisine göre elde edilen kümeler için girdilerin ağırlıkları (Weights of inputs for sets obtained according to 1x4 topology)

Şekil 4, girdi vektörünün tüm üyeleri için bir ağırlık düzlemini göstermektedir. Burada küme kompozisyonunda etkisi olmayan değişkenlerin ağırlıklarını temsil eden bağlantılar siyah renkle, yüksek derecede etkisi olan güçlü pozitif bağlantılar ise kırmızı renkle gösterilmiştir. Bu görsel bize her bir kümenin bu şekilde oluşmasında hangi değişkenin ne kadar öneme sahip olduğu hakkında fikir vermektedir.

#### 4. Araştırma Bulguları (Research Findings)

##### 4.1. Sonuçlar (Results)

Birinci kümeyi diğer kümelerden ayıran en belirgin özelliği tüm çalışmaların tek amaçlı olarak modellenmesi ve kesin yöntemlerle çözülmesidir. Çalışmalarda kesin yöntemlerin yanında iki aşamalı olarak hem kesin hem de sezgisel yöntemlerle çözümlenmeler de yapılmıştır (Bai vd., 2016). Çalışmalarda ayrıca belirsizlikler altında aralıklı doğrusal programlama ile açık döngü bir tedarik zinciri modellenmiş ve tek amaçlı olarak modellenmiş, belirsizliği gidermek için yaşam döngüsü analizleri gerçekleştirilmiştir (Ren vd., 2015).

Çalışmalar genellikle karma tamsayılı doğrusal programlama ile modellenmiş bunun yanı sıra doğrusal programlama (Babazadeh, 2017), (Ren vd., 2015), (Azadeh vd., 2014) ve doğrusal olmayan programlama (Mohseni ve Pishvae, 2016), (Cáceres vd., 2015) ile modellemeler de yapılmıştır.

İkinci kümede ele alınan çalışmaların tamamı lineer olmayan programlama ile modellenmiş olup, tüm çalışmalarda belirsizliği gidermek için senaryo analizlerine yer verilmiştir. İncelenen çalışmalarda çok amaçlı (Rincón vd., 2015) ve tek amaçlı çalışmalara (Avami, 2012), (Najmi vd., 2016) yer verilmiştir.

Üçüncü kümede yer alan çalışma açık döngü tedarik zinciri olarak tasarlanarak, karma tamsayılı doğrusal olmayan programlamaya göre modellenmiştir. Bu kümedeki çalışmayı diğer kümelerden ayıran özelliği ise modelin çözümünde sezgisel yöntemlerin kullanılmasıdır.

Dördüncü kümede yer alan çalışmalarda görülen en belirgin ortak özellik tamamına yakınının çok amaçlı olarak tasarlanması ve büyük çoğunluğunda duyarlılık analizleri uygulanmasıdır. Bunun yanında (Azadeh vd., 2014) İran'da yaptığı çalışmalarında belirsizlikleri gidermek için duyarlılık, senaryo ve stokastik analizleri yapılmıştır. Kümedeki çalışmalarda benzer olarak (Yılmaz Balaman ve Selim, 2016) Türkiye'de yaptıkları çalışmada belirsizlikleri gidermek için duyarlılık analizi ve bulanık optimizasyon metotlarıyla birden fazla yöntem kullanmışlardır. Kümedeki çalışmaların neredeyse tamamı kesin çözümlerle çözülmüştür. Kümede bulunan diğer bir çalışma (Jiang ve Zhang, 2016) Çin'de yaptıkları çalışmadır ve genetik algoritma kullanarak sezgisel bir yöntemle çözümlenmiştir.

Nüfus artışına ve gelişen sanayiye bağlı olarak artan enerji ihtiyacının, fosil kaynaklı yakıtlar ile karşılanması nedeniyle oluşan çevresel etkiler son zamanlarda daha çok gündeme gelmiş olup, yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi artmıştır. Enerjinin büyük çoğunluğunun araç yakıtlarında kullanıldığının bilinmesi alternatif yakıt

arayışını arttırmış olup; çalışmaların odağına çevreye duyarlı olması açısından da çok önemli olan biyoyakıtları almıştır. Bu çalışmada yeşil ve yenilenebilir enerji kaynağı olan biyoyakıtlar için tedarik zinciri ağ tasarımı konusu ile ilgili yapılmış çalışmalar ele alınmıştır. Ele alınan 28 bilimsel araştırma 2011-2016 yılları arasında yapılmış olup; ağ yapısı, model, amaç fonksiyonu, belirsizliği ele alış yöntemleri ve kullanılan çözüm yöntemleri açısından değerlendirilmiş ve kümeleme çalışması yapılmıştır.

Öz düzenleyici haritalar yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen gruplandırma işlemi ile şimdiye kadar biyoyakıtlar için gerçekleştirilmiş tedarik zinciri ağ tasarımı çalışmalarının yoğunlukları açıkça gösterilmiştir. Kümeleme çalışmasında ortaya çıkan en önemli yorum biyoyakıt tedarik zinciri problemlerinin genellikle açık döngüsel tedarik zinciri olması ve maliyet minimizasyonunu hedeflemesidir. İncelenen çalışmaların büyük çoğunluğunda tek amaç belirlenip bazısında çevresel amaçlar ve sosyal amaçlar da ele alınmıştır.

Kümelemeler yapılırken ağ tasarımı olarak açık döngüsel tedarik zinciri; model olarak doğrusal, doğrusal olmayan, karma tamsayılı doğrusal ve karma tamsayılı doğrusal olmayan programlama modelleri; amaç fonksiyonu olarak tek amaçlı model ve çok amaçlı model; belirsizlikleri giderecek yöntemler için duyarlılık analizi, senaryo, simülasyon, stokastik ve bulanık; çözüm yöntemi olarak ise kesin (exact), sezgisel ve yarı-sezgisel yöntemler ele alınmıştır. Model olarak en fazla karma tamsayılı doğrusal programlama uygulamarın kullanıldığı, doğrusal olmayan karma tamsayılı programlama ile ilgili ise çok az çalışma yapıldığı çalışma sonucunda açıkça görülmüştür. Ayrıca lineer ve lineer olmayan programlamanın kullanıldığı çalışmalar da yapılmıştır. Ele alınan çalışmaların büyük çoğunluğu tek amaçlı olarak modellenmiş olup nispeten az sayıda çok amaçlı modeller de kullanılmıştır. Belirsizliklerin giderilmesinde ise çoğunlukta duyarlılık analizi kullanılırken, senaryo analizleri ikinci en çok kullanılan yöntemdir. Ayrıca modellerde belirsizliklerin giderilmesi için simülasyon analizi, stokastik optimizasyon ve bulanık optimizasyon çalışmalarına da yer verilmiştir.

Çözüm yöntemlerinde ise kesin yöntemler sıklıkla kullanılmış, sezgisel yöntemler yok denilecek kadar az tercih edilmiştir.

### **Teşekkür (Acknowledgement)**

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

### **Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)**

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

### **Kaynaklar (References)**

- Andersen, F., Iturmendi, F., Espinosa, S., Diaz, M.S., 2012. Optimal Design and Planning of Biodiesel Supply Chain with Land Competition. *Computers & Chemical Engineering*, 47, 170-182. DOI: 10.1016/j.compchemeng.2012.06.044.
- Avami, A., 2012. A Model for Biodiesel Supply Chain: A Case Study in Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(6), 4196-4203. DOI: 10.1016/j.rser.2012.03.023.
- Ayvaz, B., Kuşakçı, A. O., Öztürk, F., Sırakaya, M., (2018a). Biyodizel Tedarik Zinciri Ağ Tasarımı İçin Çok Amaçlı Karma Tam Sayılı Doğrusal Programlama Modeli Önerisi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 23(4), 55-70.
- Ayvaz, B., Kuşakçı, A. O., Öztürk, F., Karakoç, E., (2018b). Biyodizel Yakıtlar İçin Çok Dönemli Tedarik Zinciri Ağ Tasarımı: Türkiye Örneği. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 6 (4), 862-876. DOI: 10.29109/gujsc.411873
- Azadeh, A., Arani, H. V., 2016. Biodiesel Supply Chain Optimization Via a Hybrid System Dynamics-Mathematical Programming Approach. *Renewable Energy*, 93, 383-403. DOI: 10.1016/j.renene.2016.02.070
- 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.
- Azar, A. T., El-Said, S. A., Hassanien, A. E., 2013. Fuzzy and Hard Clustering Analysis for Thyroid Disease. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*. 111(1), 1-16, DOI: 10.1016/j.cmpb.2013.01.002.
- Babazadeh, R., 2017. Optimal Design and Planning of Biodiesel Supply Chain Considering Nonedible Feedstock. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75, 1089-1100. DOI: 10.1016/j.rser.2016.11.088.
- Babazadeh, R., Razmi, J., Pishvae, M.S., Rabbani, M., 2017. A Sustainable Second Generation Biodiesel Supply Chain Network Design Problem Under Risk. *Omega*, 66(B), 258-277, DOI: 10.1016/j.omega.2015.12.010.
- Babazadeh, R., Razmi, J., Rabbani, M., Pishvae, M. S., 2015. An Integrated Data Envelopment Analysis Mathematical Programming Approach to Strategic Biodiesel Supply Chain Network Design Problem. *Journal of Cleaner Production*, 147, 694-707. DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.09.038.
- Bai, Y., Ouyang, Y., ShiPang, J., 2016. Enhanced Models and Improved Solution for Competitive Biofuel Supply Chain Design Under Land Use Constraints. *European Journal of Operational Research*, 249(1), 281-297. DOI: 10.1016/j.ejor.2015.08.027.

- Cáceres, R. G. G., Avella, M. E.M., Gómez, F. P., 2015. Tactical Optimization of the Oil Palm Agribusiness Supply Chain. *Applied Mathematical Modelling*, 39(20), 6375-6395. DOI:10.1016/j.apm.2015.01.031.
- Cavazos, T., 2000. Using Self-Organizing Maps to Investigate Extreme Climate Events: An Application to Wintertime Precipitation in the Balkans. *Journal of Climate*, 13(10), 1718-1732. DOI: 10.1175/1520-0442(2000)013<1718:USOMTI>2.0.CO;2.
- Duarte, A., Sarache, W., Costa, Y., 2016. Biofuel Supply Chain Design From Coffee Cut Stem Under Environmental Analysis. *Energy*, 100(C), 321-331. DOI: 10.1016/j.energy.2016.01.076.
- Ennis, D., Medaille, A., Lambert, T., Kelley, R., Harris, F. C., 2013. A Comparison of Academic Libraries: An Analysis Using a Self-Organizing Map, *Performance Measurement and Metrics*, Vol. 14(2), 118-131. DOI: 10.1108/PMM-07-2012-0026.
- Ercan, S., Kayakutlu, G. 2015. Scheduling in Energy Systems. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences-Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 33, 679-690.
- Gonela, V., Zhang, J., Osman, A., Onyeaghala, R., 2015. Stochastic Optimization of Sustainable Hybrid Generation Bioethanol Supply Chains. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 77,1 -28. DOI: 10.1016/j.tre.2015.02.008.
- Haykin, S. S. 2009. *Neural networks and learning machines*. Upper Saddle River, NJ: Pearson Education, New Jersey.
- Hombach, L. E., Cambero, C., Sowlati, T., Walther, G., 2016. Optimal Design of Supply Chains for Second Generation Biofuels Incorporating European Biofuel Regulations. *Journal of Cleaner Production*, 133(1), 565-575. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.05.107.
- Höppner, F., 2002. Speeding Up Fuzzy C-Means: Using A Hierarchical Data Organisation to Control the Precision of Membership Calculation. *Fuzzy Sets and Systems*, 128(3), 365-376. DOI: 10.1016/S0165-0114(01)00204-4.
- Ivanov, B., Stoyanov, S., 2016. A mathematical model formulation for the design of an integrated biodiesel-petroleum diesel blends system. *Energy*, 99, 221-236. DOI: 10.1016/j.energy.2016.01.038.
- Jiang, Y., Zhang, Y., 2016. Supply Chain Optimization of Biodiesel Produced from Waste Cooking Oil. *Transportation Research Procedia*, 12, 938-949. DOI: 10.1016/j.trpro.2016.02.045.
- Kalteh, A.M., Hjorth, P., Berndtsson, R., 2008. Review of The Self-Organizing Map (SOM) Approach in Water Resources: Analysis, Modelling and Application. *Environmental Modelling & Software*, 23(7), 835-845. DOI: 10.1016/j.envsoft.2007.10.001.
- Kaufman, L., Rousseeuw, P. J., 1990. *Finding Groups in Data: An Introduction to Cluster Analysis*. Wiley Publication. New York.
- Kohonen, T., 1982. Self-Organized Formation of Topologically Correct Feature Maps. *Biological Cybernetics*, 43(1), 59-69. DOI: doi.org/10.1007/BF00337288.
- Kuşakçı, A., Ayvaz, B., Öztürk, F., Sofu, F. (2019) Bulanık MULTIMOORA ile Personel Seçimi: Havacılık Sektöründe Bir Uygulama. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8 (1), 96-110. DOI: 10.28948/ngumuh.516835
- Lämsiluoto, A., Eklund, T., Back, B., Vanharanta, H., Visa, A., 2004. Industry-Specific Cycles and Companies' Financial Performance Comparison Using Self-Organizing Maps, *Benchmarking: An International Journal*, 11(3), 267-286. DOI: 10.1007/BF00337288.
- Leão, R.R.C.C., Hamacher, S., Oliveira, F., 2011. Optimization of Biodiesel Supply Chains Based On Small Farmers: A Case Study in Brazil. *Bioresour Technol*, 102(19), 8958-8963. DOI:10.1016/j.biortech.2011.07.002.
- Li, Q., Hu, G., 2014. Supply Chain Design Under Uncertainty for Advanced Biofuel Production Based On Bio-Oil Gasification. *Energy*, 74(1), 576-584. DOI: 10.1016/j.energy.2014.07.023.
- Liu, Z., Qiu, T., Chen, B., 2014. A study of the LCA based biofuel supply chain multi-objective optimization model with multi-conversion paths in China. *Applied Energy*, 126(C), 221-234 DOI:10.1016/j.apenergy.2014.04.001.
- MacQueen, J., 1967. Some Methods for Classification and Analysis of Multivariate Observations. *Proceedings of the 5th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability*, 1, 281-297.
- Marufuzzaman, M., Eksioğlu, S. D., Huang, Y. E., 2014. Two-Stage Stochastic Programming Supply Chain Model for Biodiesel Production Via Wastewater Treatment. *Computers & Operations Research*, 49, 1-17. DOI: 10.1016/j.cor.2014.03.010.
- Meyer, A., Cattrysse, D., Orshoven, J.V., 2015. A Generic Mathematical Model to Optimise Strategic and Tactical Decisions in Biomass-Based Supply Chains(OPTIMASS). *European Journal of Operational Research*, 245(1), 247-264. DOI: 10.1016/j.ejor.2015.02.045.
- 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.
- 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(C), 736-755. DOI: 10.1016/j.energy.2016.06.025.
- Moncada, J.A., Lukszo, Z., Junginger, M., Faaij, A., Weijnen, M., 2017. A Conceptual Framework for The Analysis of The Effect Of Institutions On Biofuel Supply Chains. *Applied Energy*, 185(1), 895-915. DOI: 10.1016/j.apenergy.2016.10.070.
- Mostafa, M. M., 2009. Shades of green: A Psychographic Segmentation of the Green Consumer in Kuwait Using Self-Organizing Maps. *Expert Systems with Applications*, 36(8), 11030-11038. DOI: 10.1016/j.eswa.2009.02.088.
- Najmi, A., Shakouri, G. H., Nazari, S., 2016. An Integrated Supply Chain: A Large Scale Complementarity Model for the Biofuel Markets. *Biomass and Bioenergy*, 86, 88-104. DOI: 10.1016/j.biombioe.2016.01.010.
- Oğuzlar A., 2005. Kümeleme Analizinde Yeni Bir Yaklaşım: Kendini Düzenleyen Haritalar (Kohonen Ağları). *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 19 (2), 93-107.
- Özçalıcı, M., 2016. Clustering Stocks with Self-Organizing Maps: An Application On Stocks Listed in BIST50 Index. *Istanbul University Journal of the School of Business*, 45(1), 22-33.
- Ozturk, F., Kaya, G. K. (2020). Personnel selection with fuzzy VIKOR: an application in automotive supply industry. *Gazi University Science Journal: Part C Design and Technology*, 8(1), ss. 94-108. DOI: 10.29109/gujsc.595288
- Pasandideh, S.H. R., Niaki, S. T. A., Asadi, K., 2015. Bi-Objective Optimization of a Multi-Product Multi-Period Three-Echelon Supply Chain Problem Under Uncertain Environments: NSGA-II and NREGA. *Information Sciences*, 292, 57-74. DOI: 10.1016/j.ins.2014.08.068.

- 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, 6-13. DOI: 10.1016/j.biortech.2015.03.083.
- 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 Economics*, 47, 154-167. DOI: 10.1016/j.eneco.2014.10.018.
- Schwardt, M., Dethloff, J., 2005. Solving A Continuous Location-Routing Problem by Use of a Self-Organizing Map. *Int J. Physical Distribution & Logistics Management* 35(6), 390-408. DOI: 10.1108/09600030510611639.
- Yılmaz 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
- 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. *Renewable Energy*, 85, 740-748. DOI: 10.1016/j.renene.2015.07.041.