

# Tesis Atama Problemlerinde Mekansal ve İçsel Etkinlikler: Çok Amaçlı Tesis Atama (TAP/SDEA) Modeli

Tekiner KAYA\*

Tesis Atama Problemlerinde Mekansal ve İçsel Etkinlikler: Çok Amaçlı Tesis Atama (TAP/SDEA) Modeli

Locational and Internal Efficiencies on Facility Location Problems: Multi-Objective TAP/SDEA Model

## Özet

Stratejik olarak tesis yerleşim kararları, karar sürecinde içsel ve çevresel pek çok değişkeni gözönünde bulundurması durumunda başarılı çıktılar üretebilmektedir. Çalışma kapsamında, bir otomotiv üreticisinin, üretmeyi planladığı yeni bir modelini (Model A) hangi ülkedeki/ülkelerdeki mevcut tesisinde/tesislerinde üretmesinin daha rasyonel olacağı kararı ele alınmıştır. Karar sürecinde, arz talep noktaları arası taşıma maliyetleri, talep miktarları ve yeni araç için yapılması gereken yatırım maliyetleri değişkenleri yanında, alternatif mevcut üretim tesisleri etkinlikleri de göz önünde bulundurulmuştur. Çok amaçlı tesis atama/eşzamanlı veri zarflama analizi (TAP/EVZA) modeli ile elde edilen çözüm ve bulgular, tesis atama problemlerinde tesis iç dinamiklerinin de modele dahil edilmesinin, çözüm üzerinde belirgin bir etkisinin olduğunu göstermektedir.

## Abstract

Strategically, facility location decisions have ability to generate successful outputs when they take internal and external variables into account. In this study, decision making process which deals that a huge automotive maker which is planning to allocate a new model (Model A) to one or some of its current manufacturing facility in Europe is handled. In addition to criteria such as transportation costs among supply/demand points, demand amounts and investment cost to manufacture new model, facilities' internal input/output performance is also considered in decision making process. Multi-purpose product allocation problems/simultaneous data envelopment analysis (TAP/EVZA) model is used for optimal solution. Findings showed that when the facilities' internal performances are considered on product allocation decision process, it will be significant effect on facility assignment process.

*Anahtar Kelimeler:* Tesis Atama Problemleri, Eşzamanlı Veri Zarflama Analizi, Çok Amaçlı Tesis Atama Modeli

*Key Words:* Facility Allocation Problems, Simultaneous Data Envelopment Analysis, Multi-Objective Facility Allocation Model, Internal Efficiency

## 1. Giriş

Dağıtım sistemleri ile ilgili kararlar, hemen hemen tüm işletmeler için stratejik kararlardır. Tesis ve müşteri atama problemleri de, dağıtım sistemleri tasarımının ve problemlerinin ana bileşenle-

\*Tekiner KAYA, Dr.Öğr.Üyesi., Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Uluslararası Ticaret ve Lojistik Bölümü, tekiner.kaya@nevsehir.edu.tr, ORCID ID orcid.org / 0000-0001-6136-5028

rindendir. Endüstriyel üretim yapan firmalar, hem tesis içi yerleşimi hem de depolarını etkin şekilde yerleştirmelidirler. Ürün ve hizmetlerini etkin üretebilme ve pazarlama becerileri, tesis yerleşimlerini ne oranda etkin bir şekilde gerçekleştirdikleri ile doğrudan ilişkilidir.

Mekansal ya da coğrafik olan pek çok karar problemi, literatürde yerleşim problemleri olarak bilinmektedir. Yerleşim problemleri, günümüzde yöneylem araştırması ve yönetim bilimleri alanındaki temel uğraş alanlarından birisidir. Tesis atama, yerleşim bilimi ve yerleşim modelleri birbirleri yerine kullanılabilen terimlerdir. Bu çerçevede tesis atama modelleri, yeni bir tesisin yerleşimini ya da konumunu, pek çok alternatif arasından belirli bir noktaya, en az bir amaç fonksiyonu kullanarak (maliyet, kar, getiri, uzaklık, servis bekleme zamanı ve pazar payı gibi) belirleyen modellerdir. Tesis atama modelleri, kullanım alanı çok geniş olmakla birlikte, karmaşık lineerden, basit lineer modellere, tek bölümden, tek ürüne, kapasitesiz modellerden deterministik modellere, doğrusal olmayan modellerden stokastik modellere kadar çok geniş bir formülasyon yelpazesine sahiptir. Bu alanda kullanılan genel algoritmalar ise genellikle matematiksel programlama tabanlı yaklaşımlardır.

Farahani vd. (2010), her ne kadar tesis atama problemlerinin köklü bir geçmişi olsa da, bu modellerin giderek daha da yaygın bir kullanım alanı bulacağını belirtmektedir. Uygulama açısından bakıldığında tesis atama modelleri, kamu-özel sektör tesis yerleşimi, askeri uygulamalar, yönetim bilimleri, ulusal ve uluslararası pek çok alanda literatürde geniş yer tutmaktadır.

Tesis atama problemlerinde birden çok amaç bulunabilmektedir. Eiselt ve Laporte (1995), tesis atama modellerinde kullanılan amaçları şu şekilde sınıflandırmışlardır:

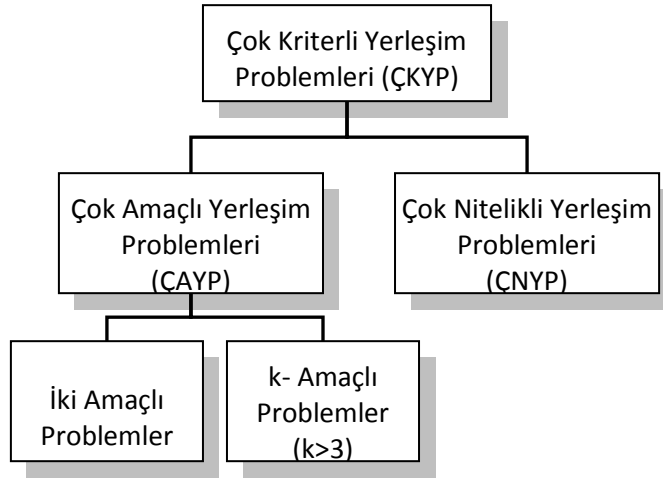
- Toplam hazırlık maliyeti minimizasyonu
- Mevcut tesisten en uzak mesafe minimizasyonu
- Sabit maliyet minimizasyonu
- Yıllık toplam faaliyet maliyeti minimizasyonu
- Hizmet maksimizasyonu
- Seyahat edilen ortalama zaman/uzaklık minimizasyonu
- Seyahat edilen maksimum zaman/uzaklık minimizasyonu
- Yerleştirilen tesis sayısının minimizasyonu

Son dönemde ise, enerji maliyetleri, alan kullanımı ve inşaat maliyetleri, gürültü, yaşam kalitesi, kirlilik, fosil yakıt kriz ve turizme bağlı çevresel ve sosyal amaçların da amaç fonksiyonunda yer aldığı görülmektedir (Farahani vd., 2010: 1691). Bu amaçlardaki zorluk ise, bu kriterlerin ölçüm yöntemlerinin nasıl olması gerektiğine dair verilmesi gereken kararlardır.

Bu çalışma kapsamında önce çok kriterli tesis atama problemleri incelenmiştir. 3. Bölümde, Model A atama problemi tanımına ve verilere yer verilmiştir. Yine aynı bölümde, tesis atama problemlerinde kullanılan tesis atama modelleri (TAP), tesis etkinliğini ölçmede kullanılan eşzamanlı veri zarflama analizi (EVZA) modeli ve hibrit model TAP/EVZA açıklanmıştır. Çözüm ve bulgular 4. bölümde detaylı şekilde ortaya konmuş, son bölümde ise elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

## 2. Çok Kriterli Tesis Atama Problemleri

Çok kriterli tesis atama problemleri alanında yapılan yayın sayısı geçmiş yıllarda çok fazla değilken, son 10 yılda önemli oranda artış göstermiş, tesis atama bilimine farklı iş alanlarında yeni bakış açıları kazandırılmıştır. Bu problemler de çok kriterli karar verme (ÇKKV) sınıflandırmasına benzer şekilde ele alınabilmektedir. Diğer bir deyişle, ÇKKV teknikleri tesis atama problemlerinin her tipi (tek tesis yerleşim, çoklu tesis atama, kuadratik atama problemleri, kapsama problemleri, merkez problemleri, hiyerarşik tesis atama problemleri, hub yerleşim problemleri, rekabetçi tesis yerleşim, depo yerleşim problemleri, dinamik tesis atama problemleri, tesis-rotalama problemleri, tesis-envanter, tesis-güvenilirlik ve tedarik zinciri yerleşim problemleri) için kullanılabilir.



Şekil 1. Çok Kriterli Atama Problemleri Sınıflandırması

Şekil 1’de, çok kriterli atama problemleri sınıflandırması görülmektedir. Kontrol sistemleri tasarımı, genellikle pek çok tasarım hedefi yer almaktadır. Bu hedefler çoğu zaman birbirleri ile çelişmekte ve hatta herhangi bir optimal tasarıma ulaşmamaktadır. Buna rağmen, tasarım hedefleri arasında ise kaçınılmaz bir denge kurma zorunluluğu söz konusudur. Çıktı performans-istikrar, maliyet-kalite performansı arasındaki denge gibi çelişen amaçlar, kontrol sistemleri için çok amaçlı optimizasyon yöntemlerinin kullanımını zorunlu kılmıştır. K- amaçlı atama problemleri de, aslında klasik atama problemlerinin genişletilmiş halidir. Bu problemler, iki amaçlı medyan, sırt çantası,

kuadratik, kısırsız, tesis atama, hub, hiyerarşik problemlerdir. Nickel (1997), yapmış olduğu çalışmada klasik 2 tesisli Weber problemini bölgesel kısıtlı iki amaçlı modele dönüştürmüştür. Bu alanda bilinen bir diğer önemli çalışma ise, Ohsawa (1999)'nın tek tesisli, kuadratik öklidyen uzaklık iki kriterli model çalışmasıdır. Bhattacharya vd. (1993) ise, incelemiş oldukları minsum (taşıma maliyeti) ve minmaks (mesafe) amaçlı çoklu tesis atama problemini, bulanık hedef programlama modeline dönüştürmüştür. Klamroth ve Wiecek (2002) de medyan yerleşim problemini bir hat engeli (nehirler, otoyollar, sınırlar, sıradağlar gibi) ile geliştirmiştir. Çok amaçlı modellerde yapılan çalışmaların bir kısmı da sırt çantası problemleri üzerine yapılmıştır. Harewood (2002), kuyruk olasılık yer set kapsama problemini, öklidyen mesafeler ve makssum ve minsum hedefler kullanarak ambulansların yerlerini belirlemek amacıyla geliştirmiştir. Galvao vd. (2006) bir kapasiteli model geliştirerek minsum hedefli (seyahat edilen mesafe ve yük dengesi) doğumhane yerlerinin belirlenmesi problemini incelemiştir. Villegas vd. (2006) ise, bir tedarik ağı modelleyerek, iki amaçlı kapasitesiz tesis atama problemini yine minsum ve makssum amaçları ile (maliyet ve kapsama) incelemiştir. Myung vd. (1997), bir kapasitesiz tesis atama problemini iki makssum amacı (net kar ve yatırım karlılığı) ile, bu modeli bir kesirli ve doğrusal amaçlı parametrik tamsayılı program olarak modellemişlerdir.

İlgili çalışmaların, pratik anlamda yoğun olarak kullanıldığı alanlardan biri de ağ üzerinde tesis yerleşimleridir. George ve Revelle (2003)'nin medyan altağaç yerleşim problemi (MSLP) üzerine yaptığı çalışma, alt ağaçların maliyetini minimize ederek aynı zamanda birbirine bağlı olmayan düğümleri bir tamsayı programı gibi ele almak sureti ile seyahat mesafelerini minimize etmiştir. Tersine lojistik alanında Du ve Evans (2008), tamir istasyonları için bir tersine lojistik ağını, minsum amacı (maliyet ve çevrim zamanındaki gecikme) ile iki amaçlı bir optimizasyon problemi olarak modellemiştir. Fernandez vd. (2007) iki amaçlı süpermarket tedarik zinciri tasarımı ve tesis atama problemi üzerine yaptıkları çalışmada, karı maksimize etmeyi ve yeni bir tesis sonrası pazar payındaki değişimi minimize etmeyi amaçlamışlardır. Bhaskaran ve Turnquist (1990), taşıma maliyetleri ve kapsama amaçları arasındaki ilişkiyi bir ağ çoklu tesis atama ağında incelemiştir. Karasakal ve Nadirler (2008) ve Medaglia vd. (2009) bir hastane atık yönetim sistemi için minsum amaçlı (maliyet ve uzaklık) tesis atama modeli önermişlerdir.

Literatürde yapılan ağ tesis atama problemlerinin genellikle çok amaçlı optimizasyon modellerine uyarlandığı görülmektedir. Çok kriterli ve çok amaçlı karar verme teknikleri geliştikçe, bu kavramlar tesis atama problemlerinde de uygulama alanı bulmuştur. Selim ve Özkarahan (2006) bir tedarik zinciri dağıtım ağı tasarım modeli sunarak, hizmet düzeyi ve çoklu kapasite düzeylerini maksimum kapsamayı bulanık çok amaçlı bir model yardımıyla sağlamışlardır. Stummer vd. (2004) bir hastane ağında, sağlık tesislerinin ölçeğini ve yerlerini belirlemiştir. Raisanen ve Whitaker (2005) çalışmasında ise, kablolu ağ arayüz konfigürasyonu ve yerleşimi önerilmiştir. Leung (2007) seyahat dağıtım problemi için bir çok amaçlı doğrusal olmayan matematiksel model ortaya koymuştur. Tersine lojistik alanında yapılan diğer bir çalışma ise Pati vd. (2008)'nin çalışmasıdır. Bu çalışmada,

bir kağıt geri dönüşüm sistemi kurmak için tesis yeri, rotalar ve farklı türdeki geri dönüştürülebilir atık kağıtların akışını belirleyen çok amaçlı bir model önerilmektedir.

Literatürde yer alan ve ikiden çok amaç içeren (K-Amaçlı Yerleşim Problemleri) modeller incelendiğinde, bu modellerin 4 farklı kategoride gruplandırılabilceği söylenebilir (Current vd., 1990): dağıtım maliyetleri, talep kapsam, kar maksimizasyonu ve çevresel konular. Klasik yerleşim problemlerinde olduğu gibi, Badri vd. (1999) de yangın istasyonlarının kapsama alanı problemini çok amaçlı bir model olarak önermiştir. Yine Araz vd. (2007)'nin çalışmasında, bir bulanık çok amaçlı kapsama bazlı model, acil servis kapsama yerleşim problemine çözüm üretmek amacıyla geliştirilmiştir. Chan vd. (2008) tarafından kapasiteli maksimum kapsama tesis atama probleminin geliştirilmesi ile elde edilen genelleştirilmiş arama-kurtarma (GSAR) problemi incelenmiştir. Yang vd. (2007), yangın istasyonlarının adedini ve nereye konuşlandırılması gerektiğini bulmak amacıyla bulanık çok amaçlı matematiksel bir model geliştirmişlerdir. Harewood (2002), ambulansların konumlandırılmasında çok amaçlı (maliyet minimizasyonu ve ulaşılabilir bölge maksimizasyonu) bir tesis atama modeli geliştirmiştir. Ohsawa vd. (2006) yeni bir çift kriterli tesis atama modeli geliştirerek konveks çokgen içerisinde yer alan tesis atama problemleri üzerinde çalışmıştır. Johnson (2006) ev projelerinin sübvansiyonlarında 2 amaçlı tek periyotlu tamsayı modeli, maxisum (maliyet ve değişken net kar arasında) ve maximin (dağılım) amaçları ile geliştirmiştir.

Tesis atama problemlerinin bir diğer türü de hem tesislerin mevcut lokasyonlarını, hem de tesis etkinliklerini atama sürecinde göz önünde bulunduran çok amaçlı tesis atama modelleridir. Tesis atama problemleri ve tesis etkinliklerini bir arada düşünerek eşzamanlı optimizasyona yönelik geliştirilen bu modellerin ilki Thomas vd.(2002) tarafından ortaya konan “çok alternatifli VZA modeli”dir. Bu model, tesis atama ve tesis etkinlik amaçlarını, tek bir çatı altında toplamakta ve iteratif bir algoritma ile çözmektedir. Klimberg ve Ratick (2008) tarafından yapılan çalışmada VZA ile tanımlanmış olan etkinlik konsepti, farklı potansiyel bölgelerdeki tesislerin performanslarını da göz önünde bulundurabilecek bir tesis atama modeli kullanılmıştır. Bu yolla geliştirilen yaklaşım, farklı yer şablonlarının mekansal etkinliklerini en düşük maliyet amacı güderek ve bu bölgelerdeki tesis etkinliklerini VZA mantığında optimize ederek, eşzamanlı etkileşimi sağlamaktadır. Bu alanda yapılan bir diğer önemli çalışma, Alizadeh vd.(2011) tarafından yapılmış olan ve çok kriterli VZA modelini, tesis atama modeline bulanık mantık yaklaşımı ile entegre eden çalışmadır.

VZA ile tesis etkinliklerini de tesis atama karar sürecine dahil eden etkileşimli çok amaçlı modeller, son yıllarda literatürde geniş yer bulmuştur. Bu modeller, eş zamanlı olarak maliyeti minimize etmek ve tesis etkinliklerini VZA modeli ile maksimize etmeyi amaçlamaktadır. Tesis atama problemlerinde yeni bir tesis atama yapısı, sağlık tesislerinin (sağlık ocakları) yerleşim yerlerinin belirlenmesi amacıyla Cho (1998) tarafından geliştirilmiştir. Eşitlik- etkinlik denge modeli olarak oluşturulan modele ek olarak, Klimberg ve Bennekorn (1997) dört farklı model daha sunmuşlardır. Bu modellerden 3'ü, satış sonrası tamir hizmetleri için çok amaçlı tesis atama problemlerine yöneliktir. Erkut vd. (2008) de atık bertaraf tesislerinin yerini belirlemek amacıyla yeni bir çok amaçlı model sunmuşlardır. Babazadeh vd. (2015) ise, tarıma uygun alanların belirlenmesi sürecinde dairesel olmayan VZA modelini kullanmıştır. Yine Babazadeh vd. (2016) bulanık VZA modeli ile

verimli tarım arazilerinin tahsisi üzerinde çalışmıştır. Khanjarpanah ve Jabbarzadeh (2019), rüzgar türbinleri için en uygun lokasyonların belirlenmesinde bulanık çapraz VZA modelini kullanmıştır. Tajbakhsh ve Shamsi (2019), çift yükleme VZA modeli ile enerji santralleri için en uygun lokasyonu, sürdürülebilir ve çevresel kriterler çerçevesinde belirlemiştir.

Bu kapsamda, çalışmada kullanılacak olan kavramlar, literatürde sıkça görülen çok amaçlı matematiksel model çerçevesinde, potansiyel tesislerin minimum maliyetli tesis atama amacını, yine potansiyel tesislerin girdi ve çıktılarına bağlı performanslarını en büyükecek etkileşimli ve eşzamanlı kavramlardır. Tesis atama modellerinde yer alan talep noktaları, potansiyel tesis yerleri, her bir talep noktasının karşılanması gereken talepleri, tesis/talep noktası çiftleri ve mesafe matrisleri ile her bir tesis/talep çiftine ilişkin girdi ve çıktı miktarlarına bağlı VZA etkinlikleri, geliştirilecek olan yaklaşımdaki temel değişkenler ve kavramlardır. Çalışma kapsamında, Türkiye’de faaliyet gösteren ve dünyanın en büyük otomotiv üreticileri arasında yer alan bir firmanın, Avrupa’da üretmeyi düşündüğü bir otomobil modeline ilişkin atama problemi modellenmiştir. Atama süreci, temelde bir tesis yerleşim problemi olmasa da, yapısal olarak bir ürünün mevcut tesisleri içerisinde en uygun olan tesise tahsisi problemidir. Model bir çok amaçlı etkinlik ve tesis atama problemidir. Avrupa’da mevcut üretim tesislerinden birinde üretilecek olan yeni modelin (Model A) temel atanma kriterleri, üretim tesisleri etkinlikleri (girdiyi çıktıya dönüştürebilme yetkinlikleri) ve lokasyona bağlı (Mekansal) kriterlerdir.

### 3. Model (A) Atama Problemi

Tesis atama problemlerinde optimal mekânsal etkinliği bulmaya yönelik kurulan modeller, aynı zamanda tesis etkinliğini de göz önünde bulundurarak hem mekânsal hem de tesis etkinliğini, optimize edilebilir mi? Bu kapsamda, ortaya konulacak yaklaşım, tesisler ve hizmet edilecek talep noktaları arasındaki mekânsal etkileşim ile seçilen yerlerdeki tesis performanslarını (etkinliklerini) eşzamanlı olarak optimize ederek (maliyeti minimize, tesis etkinliklerini maksimize ederek) daha iyi bir yer şablonu oluşturabilir mi? Bu çerçevede, bir otomotiv firmasının, üretmeyi planladığı yeni bir modelini (Model A) hangi ülkedeki mevcut tesisinde üretmesinin daha rasyonel olacağı kararı ele alınmıştır. Atanması planlanan aracın planlanan yıllık üretimi 120 bin adet olup, ilgili ülke ekonomisine ve ilgili tesise büyük katkı sağlaması beklenmektedir. Çözüm sürecinde, 5 farklı ülkede yer alan aday fabrikaların 5 farklı pazara olan uzaklıkları, yeni model için yapması gereken yatırım tutarları, talep noktalarının yıllık talep miktarları, potansiyel aday fabrikaların üretim kapasiteleri verileri yanında (mekânsal etkinliğe ilişkin veriler), aday fabrikaların kendi iç dinamikleri-performanslarının da (Tesis etkinliğine ilişkin veriler) göz önünde bulundurulması amaçlanmaktadır. Bu amaçlar çerçevesinde, yeni aracın (Model A) üretileceği tesis kararının, belirli kısıtlar ve öncelikler çerçevesinde verilmesi beklenmektedir.

#### 3.1. Veri

Uygulamada kullanılacak temel veriler, mesafe matrisleri, tesis girdi/çıkıtı miktarları, tesis yatırım maliyetleri, talep noktası talep miktarları ve birim taşıma maliyetleridir. Tesis-talep noktaları

arasında bir aracın km başı ortalama taşıma maliyeti 0.57 TL olarak belirlenmiştir. Bunun yanı sıra Model A üretimi için her bir aday tesisin yapması gereken yatırım miktarları Tablo 2’de; her bir talep noktasının yıllık Model A talepleri tablo 1’de; her bir potansiyel üretim tesislerinin performans göstergeleri (girdi ve çıktılar) tablo 4’de ve her bir üretim tesisi talep noktası arasındaki mesafeler (km) ise tablo 3’de görülmektedir. İlgili veriler, ilgili otomotiv firması ve lojistik servis sağlayıcı ile yapılan görüşmeler sonucunda elde edilen verilerdir.

Tablo 1. Talep Noktaları Yıllık Model A Talepleri

<i>Talep Noktaları (K)</i>	<i>Model A Talep (Araç/Yıl)</i>
UK	15,467
Fransa	11,283
Almanya	20,203
Doğu Avrupa	26,890
İskandinav Ülkeleri	9,855

Tablo 2. Aday Üretim Tesisleri Yatırım Miktarları

<i>Potansiyel Üretim Tesisleri (J)</i>	<i>Tesis Yatırım Tutarları (Milyon TL)</i>
UK	58,500,000
Fransa	56,000,000
Polonya	29,000,000
Çek Cum	41,175,000
Türkiye	35,000,000

Tablo 3. Üretim Tesisleri ve Talep Noktaları Arası Mesafeler (km)

<i>Talep Noktaları</i>	<i>UK</i>	<i>Fransa</i>	<i>Almanya</i>	<i>Doğu Avrupa</i>	<i>İskandinav Ülkeleri</i>
<i>Üretim Tesisleri</i>					
UK	182	680	1310	1937	2108
Fransa	680	211	850	1427	1660
Polonya	1595	1285	344	721	1422
Çek Cum	1320	1103	404	481	1482
Türkiye	3201	2887	2350	1480	3430

Tablo 4. Üretim Tesisleri Performans Göstergeleri (girdi ve çıktılar)

<i>Girdiler</i>			<i>Çıktılar</i>		
<u>Üretim Tesisleri</u>	<u>Üretim Verimliliği (%)</u>	<u>Çalışan Sayısı</u>	<u>İşgücü Maliyeti (€/hour)</u>	<u>Kalite Sonuçları (hata/100 araç)</u>	<u>Yıllık Üretim (Adet)</u>
UK	74	3800	28	35	140.000
Fransa	92	3732	21	30	150.000
Polonya	94	1920	8	50	100.000
Çek Cum	93	3200	9	42	240.000
Türkiye	96	5020	8	5	280.000

### 3.2. Yöntem

Çalışma kapsamında kullanılan matematiksel model, 2 farklı modelden (EVZA, TAP) oluşan bir çok amaçlı karar modelidir. Karar modelinde amaç, eşzamanlı olarak, hem aday tesislerin görece girdi-çıkıtı etkinliğini göz önünde bulundurabilecek, hem de optimum atama (aday noktalar arasından, en uygun noktalara, talebi en düşük maliyet/en yüksek kalite/en kısa zaman ile karşılayabilecek) sürecini gerçekleştirebilecek bir çözüme ulaşmaktır. Bu açıdan model, aday tesisleri sadece en uygun aday noktalara (en düşük maliyetli, en hızlı, en kaliteli vb.) atayarak talebi karşılayan bir model değil, bu atama sürecinde tesislerin içsel etkinliklerini de göz önünde bulundurabilecek bir modeldir. Bu bölümde önce tesis atama modelleri ve eşzamanlı veri zarflama analizi (EVZA) modeli incelenecek; ardından da hem tesis içi etkinliği hem de mekansal etkinliği eş zamanlı olarak modelleyebilen çok amaçlı TAP/EVZA yöntemi açıklanacaktır.

#### 3.2.1. Tesis atama Modelleri (TAP)

Bu problemlerde amaç, belirli talep noktalarına hizmet verebilecek farklı potansiyel noktalara, en uygun sayıda ve yerde arz noktalarının tespit edilmesidir. Çalışma kapsamında ele alınan problem ise, üretilmesi planlanan bir ürünün (Model A), potansiyel tesisler içerisinde en uygun olana atanması problemidir. Bu problem de aslında bir yeni ürünün, mevcut tesisler içerisinde uygun olan herhangi birine atanması problemidir ve yapı olarak tesis yerleşim problemleri ile aynı kapsamdadır. Tesis atama problemlerinde matematiksel programlama modellerinin ilk odak noktası, servis veren noktanın mekansal müsaitliğine bağlı olarak talebi karşılayabilmesidir. Klasik taşıma problemlerinde ise amaç, minimum taşıma maliyeti ile arz noktalarından belirli noktalardaki talebi karşılamaktır. Kapasite kısıtsız (UTAP) tesis atama problemlerinde ise model bir aşama geliştirilerek, farklı potansiyel noktalara arz noktalarının tahsisi gerçekleştirilmektedir. Kapasite kısıtsız model, her bir tesisin sonsuz kapasitede olduğunu varsayar ve sonuç olarak eğer bir tesis bir talep



noktasındaki talebi karşılıyorsa, bu talep noktasındaki talep tamamen karşılanmış demektir. Dolayısıyla ile sadece tek bir tesis belirli bir talep noktasındaki talebi karşılamak zorundadır.

Bu kapsamda ele alınan modeller sabit operasyonel maliyetler ile değişken sevkiyat maliyetlerini dengelemeyi amaçlar. Matematiksel olarak bir kapasite kısıtsız tesis atama problemi şu şekilde ifade edilmektedir (Daskin, 1995):

$$v(\text{UFLP}) = \min \sum_{k \in K} \sum_{j \in J} c_{kj} \text{dem}_k z_{kj} + \sum_{k \in K} f_j y_j \quad (1)$$

ş.k.g

$$\sum_{k \in K} z_{kj} = 1 \quad \forall j, \quad (2)$$

$$z_{kj} - y_j \leq 0 \quad \forall k \in K, j \in J, \quad (3)$$

$$0 \leq z_{kj} \leq 1, \quad 0 \leq y_j \leq 1 \quad \forall k \in K, j \in J, \quad (4)$$

$$z_{kj} \text{ ve } y_j = 0,1 \quad \forall j \in J, \forall k \in K \quad (5)$$

### Parametre ve Değişkenler

$c_{kj}$  : k talep noktasından, j tesisine 1 birim ürünü taşıma maliyeti

$\text{dem}_k$  : k talep noktasının talebi

$f_j$  : j tesisini açma/kullanma maliyeti (sabit maliyet)

$z_{kj}$  } : 1, tesis k, j talep noktasına hizmet götürüyorsa  
: 0, tesis k, j talep noktasına hizmet götürmüyorsa

$y_j$  } : 1, tesis j, açık (kullanılıyor) ise  
: 0, tesis j, kapalı (kullanılmıyor) ise,

Modeldeki amaç fonksiyonu (1) talebi karşılayacak minimum taşıma ve kurulum maliyetli yapıyı sağlamayı amaçlamaktadır. Toplam taşıma maliyeti,  $j$  arz noktasından,  $k$  talep noktasına gidecek olan ürün miktarı ile bir birim ürünü taşıma maliyetinin çarpımından oluşur. Buradaki tamsayı değişkeni  $z_{kj}$  ise, optimal çözümdeki  $k$  talep noktasındaki talebi karşılamak için seçilmiş  $j$  tesisini gösterir. ( $z_{kj} = 1$  ise,  $k$  noktasındaki talep,  $j$  noktasındaki tesis tarafından karşılanacaktır). Toplam sabit maliyet ise, her bir  $j$  tesisinin sabit yatırım/açılma maliyeti olan  $f_j$  ile, tamsayı değişkeni olan  $y_j$ 'nin çarpımından oluşur.  $y_j = 1$  ise,  $j$ . tesis, optimal çözümde seçilen tesis anlamına gelmektedir. Kısıt (2), her bir talep noktasındaki taleplerin karşılanması gerektiğini ifade eder. (3) numaralı kısıt ise, sadece açık tesislerin talepleri karşılayabileceğini belirtmektedir.

### 3.2.2. Eşzamanlı Veri Zarflama Analizi (EVZA)

VZA, ürettikleri mal veya hizmet açısından birbirlerine benzer ekonomik karar verme birimlerinin görelî etkinliklerinin ölçülmesi amacı ile geliştirilmiş olan parametresiz bir etkinlik yöntemidir. VZA, aslı itibarı ile doğrusal programlama temelli bir yöntemdir. EVZA ise, her bir karar değişkeni etkinliğinin ayrı birer modelde çözmek yerine tek bir modelde toplayan bir yapıya sahiptir. Bu özelliği ile etkinlik problemleri ile farklı amaçlar içeren matematiksel modelleri tek bir modelde bir araya getirebilme yetisine sahiptir. Klimberg ve Ratick (2008) bir EVZA modelini aşağıdaki biçimde matematiksel olarak formüle etmişlerdir.

$$\text{Max} \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L (1 - d_{kl}) = \sum_r (w_r) \quad (6)$$

Ş.k.g.

$$\sum_{i=1}^l (v_{ki} l_{ik}) = 1 \quad \forall k, \quad (7)$$

$$\sum_{j=1}^J (u_{kj} o_{jk}) + d_k = 1 \quad \forall k, \quad (8)$$

$$\sum_{j=1}^J (u_{kj} o_{jr}) - \sum_{i=1}^l (v_{ki} l_{ir}) \leq 0 \quad \forall k; \forall r; r \neq k \quad (9)$$

$$U_{kj}, v_{ki} \geq \varepsilon \quad \forall j, i, r$$

şeklinde. Modeldeki temel değişken ve parametreler ise aşağıdaki gibidir.

$w_r$ : r. karar birimi etkinliği

$u_{kj}$ : k karar birimi için j'nci çıktıya verilen ağırlık

$v_{ki}$ : k karar birimi için i'nci girdiye verilen ağırlık

$u_j$ : j. çıktıya verilen ağırlık

$v_i$ : i. girdiye verilen ağırlık

$O_{jk}$ : k. Karar birimine ait j. çıktı miktarı

$I_{ik}$ : k. Karar birimine ait i. girdi miktarı

EVZA modelinde bütün karar birimleri için eşzamanlı bir çözüme ulaşabilmek amacıyla, amaç fonksiyonu (6) etkinlikler toplamını maksimize etmektedir. Kısıt (7) her bir r karar birimi ağırlıklı girdileri toplamının 1'e eşit olması gerektiğini belirtmektedir. Kısıt (8) ise, etkinliği, her bir karar birimi ağırlıklandırılmış çıktıları toplamı olarak tanımlamaktadır. Bu kısıt da her bir karar birimi için yazılmaktadır. Kısıt (9), her bir çıktı seti toplamının, ilgili ağırlıklandırılmış girdi toplamından küçük olması gerektiğini ifade eder. (9) nolu kısıtta, (k-1) adet kısıt yazılmaktadır. Çünkü, her bir r, bütün diğer karar birimlerinin girdi/çıktı vektörleri ile test edilmek zorundadır.

### 3.2.3. TAP/EVZA Modeli

Mekânsal ve tesis içi etkinliği tek bir yapıda ve eşzamanlı olarak modelleyebilen TAP/EVZA modeli, çok amaçlı bir matematiksel model olup, amaç fonksiyonlarından ilki (10), tesis etkinliklerini en büyükmeye, diğeri ise (11) tesis-talep çiftlerinin belirlenmesi sürecinde maliyeti en küçükmeyi amaçlamaktadır.

Yukarıda verilen EVZA modeli ile TAP modelinin birleştirilmesi sonucu tesis kapasitelerini göz önünde bulundurmayan eşzamanlı **TAP/EVZA**, aşağıdaki gibi formüle edilmiştir (Klimberg ve Ratick, 2008);

$$\text{Maks.} \quad \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L (1 - d_{kl}) \quad (10)$$

$$\text{Min.} \quad \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L c_{kl} dem_l x_{kl} + \sum_{k=1}^K F_k Y_k \quad (11)$$

ş.k.g.

$$\sum_{k=1}^K x_{kl} = 1 \quad \forall l, \quad (12)$$

$$x_{kl} \leq y_k \quad \forall k, l, \quad (13)$$

$$\sum_{i=1}^I v_{kli} I_{ikl} = x_{kl} \quad \forall k, l, \quad (14)$$

$$\sum_{j=1}^J u_{klj} O_{jkl} + d_{kl} = x_{kl} \quad \forall k, l, \quad (15)$$

$$\sum_{j=1}^J u_{klj} O_{jrs} - \sum_{i=1}^I v_{kli} I_{irs} \leq 0 \quad \forall k, l; \forall r, s; (k \neq r \text{ ve } l \neq s) \quad (16)$$

$$u_{klj} \geq \epsilon x_{kl} \quad \forall k, l, j, \quad (17)$$

$$v_{kli} \geq \epsilon x_{kl} \quad \forall k, l, j, \quad (18)$$

$$u_{klj} O_{jkl} \leq x_{kl} \quad \forall k, l, j, \quad (19)$$

$$x_{kl}, y_k = \{0, 1\}$$

$$u_{klj}, v_{kli} \geq 0,$$

Burada ilk amaç fonksiyonu (10), optimal çözümde olması muhtemel tüm (k) tesisleri ve (l) talep noktalarının etkinliklerinin toplamını maksimize etmektedir. VZA etkinliği için değerlendirilen karar birimi k tesisi ve l talep noktası kombinasyonudur. Belirli bir tesis, pek çok talebe sahip olabilir ve bu her bir tesis/talep çifti belirli bir VZA etkinliğine sahip olabilir. (Bir tesis, birden fazla talep noktasına hizmet götürebilir. Ve her bir talep noktasına (l) götürdüğü hizmete ilişkin farklı etkinlik değerine sahip olabilir). Diğer amaç fonksiyonu (11) ile (12) ve (13) numaralı kısıtlar, TAP'de yer alan fonksiyonları yerine getirmektedir. (14) ve (15) nolu kısıtlar da EVZA modelinde yer alan (7) ve (8) nolu kısıtların benzerleridir. (16) nolu kısıt ise, EVZA modelindeki (9) nolu kısıt benzeridir. Kısıt

(17) ve (18), tesis (k), ta talep noktası olan (l)'ye hizmet götürdüğünde ( $x_{kl} = 1$  olduğunda), ilgili girdi ve çıktı ağırlıklarının  $\varepsilon$ 'dan büyük olmalarını güvence altına alır. (19) nolu kısıt ise, ağırlıklandırılmış çıktıların, her bir tesis, çıktı tipi ve talep noktası için 1 den küçük olması gerektiğini ifade eder. Diğer yandan, eğer tesis (k), (l) talep noktasına hizmet götürmez ise ( $x_{kl} = 0$  olduğunda), kısıt (17) ve kısıt (18) girdi ve çıktı ağırlıklarının pozitif olmasını zorunlu kılar. Ve kısıt (14) ve kısıt (19) bu değişkenleri 0 olmaya zorlamaktadır.

Eşzamanlı VZA modeli ile TAP modelini birleştirmek ve tesis atama modeli ile etkinlik arasında etkileşimi mümkün kılmak için, keyfi olarak seçilen bir tesisin girdi/çıkıtı vektöründeki çıktılarından bir tanesinin, talebi karşılamak amacıyla kullanıldığı varsayılmıştır. Bu çıktı miktarı, bir tesisin VZA etkinlik skorunu hesaplamak için o tesisin bir talebi karşılayıp karşılamadığına bakılmaksızın kullanılmıştır. Böylece, çıktı miktarları tesis atama şablonuna bağlı ve birer değişken olduğundan, VZA etkinlikleri, tesis atama şablonu değiştikçe dinamik olarak değişmektedir (optimallikte tüm tesisler karşılaştırılmamaktadır. Sadece açık olanlar mukayese edilir. VZA etkinlik skorları 0 olan tesisler, çözüme dahil edilmemektedir).

Modelde kullanılan temel değişkenler ve parametreler şunlardır;

- $c_{kl}$  : k tesisinden, l talep noktasına 1 birim ürünü taşıma maliyeti  
 $d_{ml}$  : l talep noktasının talebi  
 $F_k$  : k tesisini açma/kullanma maliyeti (sabit maliyet)  
 $u_j$  : j. çıktıya verilen ağırlık  
 $v_i$  : i. girdiye verilen ağırlık  
 $O_{jk}$  : k. Karar birimine ait j. çıktı miktarı  
 $L_{ik}$  : k. Karar birimine ait i. girdi miktarı  
 $d_{kl}$  : k tesisinin l talep noktasına hizmet etkinliği  
 $v_{kli}$  : k. tesisine ait i. girdinin l talep noktasındaki ağırlığı  
 $u_{kij}$  : k. tesisine ait j. çıktının l talep noktasındaki ağırlığı  
 $L_{kl}$  : k. Karar birimine ait i. girdinin l talep noktasına giden miktarı  
 $O_{jkl}$  : k. Karar birimine ait j. çıktının l talep noktasına giden miktarı  
 $O_{jrs}$  : r. Karar birimine ait j. çıktının s talep noktasına giden miktarı  
 $L_{irs}$  : r. Karar birimine ait i. girdinin s talep noktasına giden miktarı

$$X_{kl} = \begin{cases} 1, & \text{tesis } k, l \text{ talep noktasına hizmet götürüyorsa} \\ 0, & \text{tesis } k, l \text{ talep noktasına hizmet götürmüyorsa} \end{cases}$$

$$Y_k = \begin{cases} 1, & \text{tesis } k, \text{ açık (kullanılıyor) ise} \\ 0, & \text{tesis } k, \text{ kapalı (kullanılmıyor) ise,} \end{cases}$$

#### 4. Çözüm ve Bulgular

Bir TAP/EVZA modelinin çözümü, klasik VZA modeli çözüm yaklaşımının yeniden değerlendirilmesini ve değişiklik yapılmasını gerektirmektedir. Thomas vd (2002) bu tür matematiksel modeller için 2 farklı çözüm önerisi sunmuşlardır. Sunulan her iki yaklaşım da, öncelikle açılması gereken tesisleri belirlemektedir. İlk yaklaşım öncelikle tesis atama problemini çözmekte ve optimal tesis atama setini bulmaktadır. Daha sonra, optimal tesis setini, düzenlenmiş VZA (çok alternatifli VZA) modelinde girdi olarak kullanmaktadır. Bu model, eşzamanlı olarak, VZA modelini optimal p noktaları için bir doğrusal programlama modeli ile çözüme ulaştırmaktadır. VZA modelinin etkinlik skoru 1 ise, optimal sonuca ulaşılmış olacaktır. Aksi durumda, tesis atama modeli tekrar işletilecek (bir önceki modelde optimal olan atamalar, bir sonraki iterasyonda çıkarılacaktır) ve bu proses, VZA skoru 1 olduğunda ya da bütün potansiyel tesisler modelde kullanıldığında sona erecektir. Eğer problemde m potansiyel yer ve p adet tesis alternatifi var ise,  $\binom{m}{p}$  kadar iterasyon ile VZA skorlarını 1 yapacak bütün kombinasyonlar hesaplanmalıdır.

Thomas vd (2002)'in önerdiği 2. yaklaşım ise, VZA ve tesis atama modellerini tek bir doğrusal model çatısı altında toplayan yaklaşımdır. Bu modelde amaç fonksiyonu, açılacak olan p tesislerinin etkinliklerini maksimize etmektedir. Bu yaklaşımda, VZA ve tesis atama arasındaki çok kriterli denge bozular. Klimberg ve Ratick (2008) ise, tesis atama problemleri ile EVZA modelini tek bir model altında birleştirmek sureti ile çözüme ulaşabilmektedir. Çok amaçlı doğrusal bir model ile en uzlaşık çözüme ulaşabilen bu model, bölüm 3.2.3'de açıklanmıştır.

Diğer yandan çalışma kapsamında kullanılan TAP/EVZA modeli bir çok amaçlı karma matematiksel modeldir. Çözüm sürecinde çok amaçlı TAP/EVZA modelini tek amaçlı hale getirmek için, ağırlıklandırma yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde tek bir amaç fonksiyonu yer almakta ve bu fonksiyon, problemin amaçlarını temsil edebilecek fonksiyonların ağırlıklandırılmış toplamı olarak görev yapmaktadır. Diğer yandan modelde kullanılan girdi ve çıktılardan üretim verimliliği ve kalite

sonuçları, VZA girdi/çıkıtı maksimizasyonu modeline uyarlanarak normalize edilmiş ve TAP/EVZA modeline dahil edilmiştir.

Oluşturulan TAP/EVZA matematiksel modeli, Lingo 18 paket programı kullanılarak çözülmüştür. Çözüme ilişkin performans değerleri tablo 5’de görülmektedir. Çözüm sürecinde mekansal etkinliğe verilen ağırlık arttıkça, çözüm süresinin kısaldığı görülmektedir. Başka bir ifade ile çözüm daha da kolaylaşmaktadır. Modelin tesis etkinliğini gözardı etmesi durumunda (tesis etkinliği ağırlık=0) ise beklendiği üzere iterasyon sayısı en düşük seviyeye gelmektedir.

Tablo 5. TAP/EVZA Amaç Ağırlıklarına Bağlı Çözüm Değerleri

Mekansal Etkinlik Ağırlık	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1
Tesis Etkinliği Ağırlık	1	0.8	0.6	0.4	0.2	0
<u>Çözüme İlişkin Performans Değerleri</u>						
İterasyon Sayısı	60	67	66	66	71	35
Çözüm Süresi	2	2	2	1	1	1
Kısıt				481		
Değişken				182		

Çalışmada elde edilen bulgular, tablo 6’da özetlenmiştir. Çözümde amaç fonksiyonunda kullanılan ağırlıklara bağlı olarak amaç fonksiyonu değerlerinin (toplam sabit ve değişken maliyetler, açık tesis sayıları ve tesis etkinlik skorları) değişimi de bu tabloda görülebilmektedir. Elde edilen çözüme göre, sadece tesis etkinliği göz önünde bulundurulur ve tesis lokasyonları tamamen gözardı edilirse (Maks tesis etkinliği), bu durumda Model A’nın sadece tek bir tesiste (Türkiye) üretilmesi ve ilgili 5 ülkeye bu tesisten dağıtılması kararı çıkarken, tesis etkinliğine verilen ağırlık azaltıldıkça ve mekansal etkinliğe verilen önem arttırıldıkça, lokasyonların avantajları ortaya çıkmakta ve tesis sayısı 2’ye yükselmektedir.

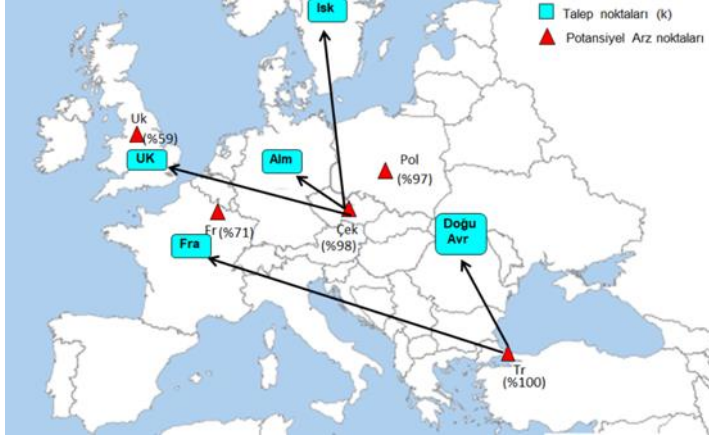
Tablo 6. Mekansal ve Tesis İçi Etkinlik Önceliklerine Göre Model A Atama Maliyetleri ve Diğer Çıktılar

<i>Ağırlıklar</i>	<i>Min Tesis Etkinliği</i>			<i>Maks Tesis Etkinliği</i>		
Mekansal Ağırlık	1	0.8	0.6	0.4	0.2	0
Tesis Etkinliği Ağırlık	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1
<i>Amaç Fonksiyonu Değerleri</i>						
Toplam Sabit Maliyet	76,175,000	76,175,000			35,000,000	
Toplam Taşıma Maliyeti	64,999,565	92,163,204			184,272,000	
Toplam Maliyet	141,174,56	168,338,20			219,272,000	
	5	4				
Açık Tesis Sayısı		2			1	
Açık Tesisler için Toplam Etkinlik Skoru		1.98			1	
Ortalama Etkinlik Skoru		98.30%			100%	

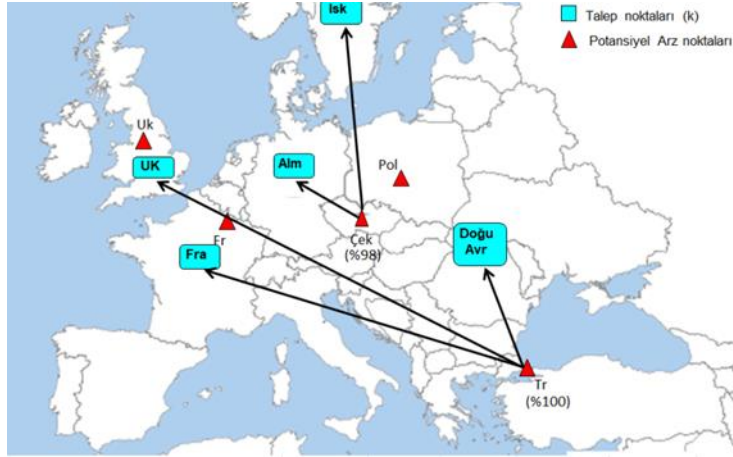
Bu kapsamda belirlenen 6 farklı ağırlık senaryosuna bağlı olarak 3 farklı üretim-dağıtım politikasının optimum olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu politikalardan ilki, sadece mekânsal etkinliği gözönünde bulunduran ve tesis etkinliğini gözardı eden yaklaşımdır (Min tesis etkinliği). Bu yaklaşımda incelenen firmanın Model A ürününü, 2 farklı ülkede üretmesinin optimum olacağı sonucuna ulaşılmaktadır. İkinci senaryoda ise, mekânsal etkinliğe %80 ve %60; tesis etkinliğine ise %20 ve %40 ağırlık verilmiştir. Mekansal etkinlikten, tesis etkinliğine doğru bir ağırlık kaymasında, Model A'nın yine 2 tesiste üretildiği; fakat bu kez de dağıtım sürecinde küçük bir değişikliğin olduğu görülmektedir. Dolayısı ile bu çözümde tesis açma maliyeti aynı kalmakta, fakat taşıma maliyetinde bir miktar artış görülmektedir. Çünkü model önceliği, taşıma maliyetinden, tesisin içsel etkinliğine-verimliliğine kaydırmaktadır. Başka bir ifade ile model sadece tesis lokasyonları ve talep noktaları arasındaki taşıma maliyetine değil, bu maliyetten feragat ederek, tesis iç etkinliğine önem vermeye başlamaktadır. Taşıma maliyeti artmakta fakat üretim daha etkin tesislere kaydırılmaktadır. Üçüncü senaryoda ise mekânsal önemin %40 ve daha düşük seviyelere gelmesi durumunda bir kırılma yaşanmakta ve tesis sayısı 2'den 1'e düşmektedir. Bu durumda Türkiye'de kurulu fabrikanın tesis etkinliği, tüm taşıma maliyetlerinin de önüne geçmektedir. Dolayısı ile tüm talep noktalarına bu tesisten dağıtımın gerçekleştirilmesi ideal olmaktadır.

Şekil 2,3 ve 4'de, tesis etkinliği ve mekânsal etkinliğe verilen önem çerçevesinde modelin ürettiği optimum çözümler görülebilmektedir.

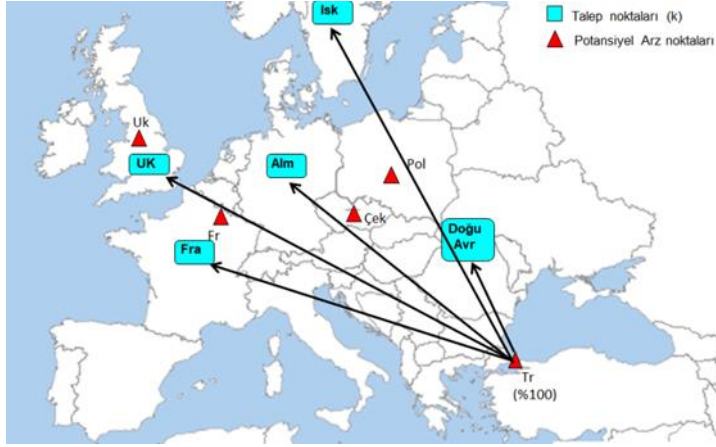




Şekil 2. Minimum Tesis Etkinliği (EVZA=0) ve Maksimum Mekânsal Ağırlık (TAP=1) Durumunda Model A Üretim Tesisleri ve Dağıtım Ağı



Şekil 3. Tesis Etkinliği %60, (EVZA=0,6) ve Mekânsal Ağırlık %40 (TAP=0,4) Durumunda Model A Üretim Tesisleri ve Dağıtım Ağı



Şekil 4. Maksimum Tesis Etkinliği (EVZA=1) ve Minimum Mekânsal Ağırlık (TAP=0) Durumunda Model A Üretim Tesisleri ve Dağıtım Ağı

Şekil 4’de Model A üretiminin hem Türkiye hem de Çek Cumhuriyeti mevcut tesislerinde gerçekleştirilmesinin optimum bir karar olduğu görülmektedir. Bu çözümde Çek Cumhuriyeti 3 pazarın talebini karşılamakla sorumlu iken Türkiye de Fransa ve Doğu Avrupa ülkeleri talebini karşılamaktadır. Tesis etkinliğine verilen ağırlık arttıkça, Türkiye’deki fabrika verimlilik göstergelerinin, diğer tesislere göre güçlü olmasının da etkisi ile (Tablo 4) üretim yavaş yavaş Türkiye’ye kaymaktadır. Tesis etkinlik ağırlığının %20 ve üzerine çıkması durumunda Türkiye 3 pazara, Çek Cumhuriyeti’nde yer alan tesis ise 2 pazara üretim yapmaktadır (Şekil4). Tesis etkinlik oranının %60 ve üzerine çıkması durumunda ise, Türkiye tek üretim tesisi olarak karşımıza çıkmaktadır. Fakat tablo 6’da da görüldüğü üzere bu durumda toplam maliyet (tesis yatırım ve taşıma) 141 Milyon Euro’dan 219 Milyon Euro seviyelerine yükselmektedir. Maliyetin artması her ne kadar dağıtım lojistiği açısından istenmeyen bir durum olsa da, ürün atama sürecinde, tesis etkinliğinin de önemli bir kriter olduğunun göstergesidir. Model, buradaki maliyet artışını, tesis etkinliğindeki (verimliliği) artış ve buradan elde edilmesi muhtemel kazanç ile kapatabilmektedir. Bu sonuç, işletmeler ve yatırımcılar için son derece önemlidir.

## 5. Sonuç

Gerek tesis yeri seçim problemleri olsun, gerekse de tesis atama problemleri olsun, çözüm için kurulan modeller ağırlıklı olarak ulaştırma ve ilk yatırım maliyetini en küçükleme amacı gütmektedirler. Tesis atama problemleri kapsamında verilen kararlar stratejik kararlar olup, karar süreçleri genellikle tesislerin iç dinamiklerini göz önünde bulundurmamaktadır. Bu, firmalara mekansal etkinlikte finansal bir avantaj sağlarken, ilgili tesisin iç dinamiklerini göz ardı etmesi sebebi ile bazı ek maliyetleri de beraberinde getirebilmektedir.

Hem tesislerin mekansal özelliklerini, hem de girdiyi çıktıya dönüştürebilme kabiliyetlerini eş-zamanlı olarak modelleyebilen TAP/EVZA modelleri, işletmelerin daha rasyonel karar vermelerine imkan tanıyabilmektedir. Amaçların önceliğine bağlı olarak karar vericiler, tesis etkinliklerine ya da mekansal etkinliklere farklı ağırlıklar verebilmekte, bu yolla en uygun arz-talep çiftlerini belirleyebilmektedirler. Model A'nın alternatif tesisler arasında en uygun olana/olanlara atanması sürecinde de, amaç önceliğine göre farklı kararlar ortaya çıkmıştır. Tesis etkinliklerine verilen önem arttıkça toplam maliyetlerde bir artış gerçekleşse de, tesis atamalarının, daha etkin tesislere doğru yapılmasından kaynaklı bir tasarruf da sağlanmaktadır. Burada kritik nokta, bu süreçte elde edilen tasarrufun, mekansal avantajdan elde edilen tasarruftan büyük olup olmadığıdır. Çalışma kapsamında elde edilen bulgular, tesis atama problemleri modellenirken tesislerin içsel kaynak kullanım performanslarının göz önünde bulundurulmasının, kurum karlılığında önemli farklar yaratabileceğini göstermektedir.

### **Kaynaklar**

- Alizadeh H.M., Rasouli S.M., Moghaddam Tavakkoli R., (2011).** The use of multi-criteria data envelopment analysis (MCDEA) for location-allocation problems in a fuzzy environment, Expert system with applications, 38, pp. 5687-5695.
- Araz, C., Selim, H., Ozkarahan, I., (2007).** A fuzzy multi-objective covering-based vehicle location model for emergency services, Comput. Oper. Res., 34, pp. 705–726.
- Babazadeh R, Razmi J, Pishvae MS, Rabbani M. A., (2015).** Non-radial DEA model for location optimization of *Jatropha curcas* L. Cultivation, Ind Crop Prod., 69, pp. 197-203
- Babazadeh, R., Razmi, J., Pishvae, M. S., (2016).** Sustainable cultivation location optimization of the *Jatropha curcas* L. under uncertainty: A unified fuzzy data envelopment analysis approach, Measurement, 89, pp. 252-260.
- Badri, M.A., (1999).** Combining the analytic hierarchy process and goal programming for global facility location–allocation problem, International Journal of Production Economics, 62, pp. 237–248.
- Bhaskaran, S., Turnquist, M.A., (1990).** Multiobjective transportation considerations in multiple facility location, Transportation Research, 24 (2), pp. 139–148.
- Bhattacharya P., Dey, S., Bhattacharya, B.C., (1993).** Indigenous ingredients for plant issue culture media, Invention intelligence, pp. 230-232.
- Chan, Y., Mahan, J.M., Chrissis, J.W. Drake, D.A. Wang, D., (2008).** Hierarchical maximal-coverage location–allocation: Case of generalized search-and-rescue, Comput. Oper. Res., 35, pp. 1886–1904.
- Cho, C.J., (1998).** An equity-efficiency trade-off model for the optimum location of medical care facilities, Socio-Econ. Plan. Sci., 32 (2), pp. 99–112.

- Current J., Min H., Schilling D., (1990).** Multiobjective analysis of facility location decisions. *European Journal of Operational Research*, 49, pp. 295–307.
- Daskin, M.S., (1995).** *Network and Discrete Location: Models, Algorithms, and Applications*, Wiley Interscience, New York.
- Du, F., Evans, G.W., (2008).** A bi-objective reverse logistics network analysis for post-sale service, *Computers & Operations Research*, 35, pp. 2617–2634.
- Eiselt, H. A., Gendreau, M., & Laporte, G., (1995).** Arc Routing Problems, Part I: The Chinese Postman Problem, *Operations Research*, 43(2), pp. 231-242.
- Erkut, E., Karagiannidis, A., Perkoulidis, G., Tjandra, S.A., (2008).** A multicriteria facility location model for municipal solid waste management in North Greece, *European Journal of Operation Research*, 187, pp. 1402–1421.
- Farahani, R., Steadie Seifi, M., Asgari, N., (2010).** Multiple Criteria Facility Location Problem: A Survey. *Apply Mathematical Modelling*, 34, pp. 1689 - 1709.
- Fernández, J., Pelegrín, B., Plastria, F., Tóth, B., (2007).** Planar location and design of a new facility with inner and outer competition: An interval lexicographicallike solution procedure, *Networks Spatial Econ.*, 7, pp. 19–44.
- Galvão, R. D., Espejo, L. G. A., Boffey, B., (2006).** Load balancing and capacity constraints in a hierarchical location model, *European Journal of Operation Research*, 172, pp. 631–646
- George, J.W., ReVelle, C.S., (2003).** Bi-objective median subtree location problems, *Annals of Operations Research*, 122, pp. 219–232.
- Harewood S.I., (2002).** Emergency Ambulance Deployment in Barbados: A Multi-Objective Approach, *The Journal of the Operational Research Society*, 53(2), pp. 185-192.
- Johnson M.P., (2006).** Single-period location models for subsidized housing: Project-based subsidies, [Socio-Economic Planning Sciences](#), 40(4), pp. 249-274.
- Karasakal, E., Nadirler, D., (2008).** An interactive solution approach for a bi-objective semi-desirable location problem, *Journal of Global Optimisation*, 42, pp. 177–199.
- Khanjarpanah, H., Jabbarzadeh, A., (2019).** Sustainable wind plant location optimization using fuzzy crossefficiency data envelopment analysis, *Energy*, 170, pp. 1004-1018.
- Klamroth, K., Wiecek, M.M., (2002).** A Bi-Objective Median Location Problem with a Line Barrier. *Operations Research*, 50, pp. 670-679.
- Klimberg, R.K., Van Bennekom, F.C., (1997).** Aggregate planning models for field service delivery, *Location Science*, 5(3), pp. 181-195.

- Klimberg, R. K., Ratick, S. J., (2008).** Modeling data envelopment analysis (DEA) efficient location/allocation decisions, *Computers and Operations Research*, 35(2), pp. 457-474.
- Leung, S.C.H., (2007).** A non-linear goal programming model and solution method for the multi-objective trip distribution problem in transportation engineering, *Optimization and Engineering*, 8, pp. 277–298.
- Medaglia, A.L. Villegas, J.G. Rodríguez-Coca D.M., (2009).** Hybrid bi-objective evolutionary algorithms for the design of a hospital waste management network, *J. Heuristics*, 15, pp. 153–176.
- Myung, V.S., Kim, H., Tcha, D., (1997).** A bi-objective uncapacitated facility location problem. *European Journal of Operation Research*, 100, pp. 608-616.
- Nickel. S., (1995).** *Discretization of Planar Location Problems*. Shaker.
- Ohsawa, Y., (1999).** A geometrical solution for quadratic bicriteria location models, *European Journal of Operations Research*, 114, pp. 380–388.
- Ohsawa Y., Plastria F, Tamura K., (2006).** Euclidean push–pull partial covering problems, [Computers & Operations Research](#), 33(12), pp. 3566-3582.
- Pati, R.K. Vrat, P., Kumar, P., (2008).** A goal programming model for paper recycling system, *Omega*, 36, pp. 405–417.
- Raisanen, L., Whitaker, R.M. (2005).** Comparison and evaluation of multiple objective genetic algorithms for the antenna placement problem, *Mobile Networks Applications*, 10, pp. 79–88.
- Selim, H., Ozkarahan, I., (2006).** Application of Fuzzy Multi-objective Programming Approach to Supply Chain Distribution Network Design Problem, *MICAI Advances in Artificial Intelligence*, Springer, Berlin/Heidelberg, pp. 415–425.
- Stummer, C., Doerner, K., Focke, A., Heidenberger, K., (2004).** Determining location and size of medical departments in a hospital network: A multiobjective decision support approach, *Health Care Management Science*, 7, pp. 63–71.
- Tajbakhsha, A., Shamsi, A., (2019).** A facility location problem for sustainability-conscious power generation decision makers, [Journal of Environmental Management](#) 230, pp. 319-334
- Thomas P, ChanY, Lehmkuhl L, Nixon W., (2002).** Obnoxious-facility location and data envelopment analysis: a combined distance-based formulation. *European Journal of Operation Research*, 141(3), pp. 495–514.
- Villegas, J. G., Palacios, F., Medaglia, A., (2006).** Solution methods for the bi-objective (costcoverage) unconstrained facility location problem with an illustrative example, *Annals of Operations Research* 147(1), pp. 109-141.

**Yang, L., Jones, B.F., Yang, S.H., (2007).** A fuzzy multi-objective programming for optimization of fire station locations through genetic algorithms, *European Journal of Operation Research*, 181, pp. 903–915.