



**DİNAMİK NETWORK VERİ ZARFLAMA ANALİZİ MODELLERİNDE
BOOTSTRAP YAKLAŞIMI**

Volkan Soner ÖZSOY

**DOKTORA TEZİ
İSTATİSTİK ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

EYLÜL 2019

Volkan Soner ÖZSOY tarafından hazırlanan “DİNAMİK NETWORK VERİ ZARFLAMA ANALİZİ MODELLERİNDE BOOTSTRAP YAKLAŞIMI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi İstatistik Ana Bilim Dalında DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Hasan BAL

İstatistik Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.



Başkan: Prof. Dr. Özgür YENİAY

İstatistik Ana Bilim Dalı, Hacettepe Üniversitesi

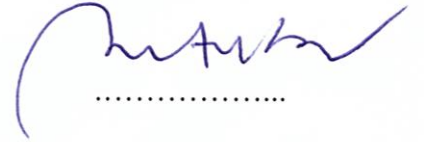
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.



Üye: Prof. Dr. Reşat KASAP

İstatistik Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.



Üye: Prof. Dr. Sibel ATAN

Ekonometri Ana Bilim Dalı, Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.



Üye: Prof. Dr. H. Hasan ÖRKÜ

İstatistik Araştırması Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.



Tez Savunma Tarihi: 27/09/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Doktora Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....
Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Volkan Soner ÖZSOY

27/09/2019

DİNAMİK NETWORK VERİ ZARFLAMA ANALİZİ MODELLERİNDE BOOTSTRAP YAKLAŞIMI

(Doktora Tezi)

Volkan Soner ÖZSOY

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Eylül 2019

ÖZET

Karar Verme Birimleri'nin (KVB) girdilerini ve çıktılarını kullanarak, görelî etkinliklerini ölçen Veri Zarflama Analizi (VZA) en önemli performans analizi yöntemlerinden biridir. Doğrusal programlama tabanlı parametrik olmayan bir yöntem olan VZA, KVB'lerini etkin ve etkin olmayan KVB'ler olarak iki sınıfa ayırmaktadır. Aynı zamanda, etkin olmayan KVB'lerinin girdilerini ya da çıktılarını nasıl iyileştirmesi gerektiği konusunda da öneriler sunmaktadır. Literatürdeki geleneksel VZA modellerinde girdileri çıktılara doğrudan dönüştürüldüğü varsayıldığı için bu dönüştürme işleminin hangi alt aşamalardan geçirildiği ihmal edilmektedir. Bu yüzden alt aşamaların etkinliklerini ölçen Network VZA modelleri literatüre kazandırılmıştır. Network VZA modelleri KVB'nin, kendi girdi(ler) ve çıktı(lar)'na sahip heterojen iç bölümlerden ya da alt aşamalardan oluşan karmaşık bir yapıya sahiptir. Geleneksel VZA modelleri ile elde edilen etkinlik tahmin edicilerinin yansızlık özelliğini sağlamaması daha sonra yapılacak analizlerde yanlış sonuçlar elde edilmesine sebep olmaktadır. Bu dezavantajları gidermek ve örnekleme sonuçlarının hassaslığının üstesinden gelmek için Bootstrap VZA önerilmiştir. Bootstrap VZA yöntemi, yansız etkinlik skorlarını, güven aralığını, yanlışlık ve varyans değerlerini elde etmektedir. Bu doktora tezinde geleneksel VZA modellerinde görülen dezavantajlar Network VZA modellerinde de görüldüğü için geleneksel VZA modellerinde kullanılan bootstrap yöntemi Network VZA modelleri için önerilmiştir. Önerilen bootstrap yöntemine dayalı Network VZA modellerinin literatürde sıklıkla kullanılan iki aşamalı VZA modeli için ayrıntılı bir şekilde ele alınmıştır. Önerilen modeller için hem statik hem de dinamik gerçek hayat problemleri için uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar önerilen model ile önceki modellerin birbiri ile yüksek korelasyona sahip olduğunu ve geçerli bir model olduğunu göstermektedir. Önerilen modeller sayesinde ağ şeklindeki bir üretim sürecinin genel ve alt aşama etkinlik tahmin edicilerine ilişkin istatistiksel çıkarımlar yapmak mümkün olmaktadır.

Bilim Kodu : 20517
Anahtar Kelimeler : Network Veri Zarflama Analizi, İki Aşamalı VZA, Bootstrap
Sayfa Adedi : 90
Danışman : Prof. Dr. Hasan BAL

BOOTSTRAP APPROACH FOR MODELS OF DYNAMIC NETWORK DATA
ENVELOPMENT ANALYSIS

(Ph. D. Thesis)

Volkan Soner ÖZSOY

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

September 2019

ABSTRACT

Data Envelopment Analysis (DEA) that measure the relative effectiveness of DMUs using the inputs and outputs of Decision Making Units (DMUs) is one of the most important performance analysis methods. DEA, a non-parametric method based on linear programming, divides DMUs into two classes as efficient and inefficient DMUs. Furthermore, it also provides recommendations on how inefficient DMUs should improve their input or output. In the traditional DEA models, since the inputs are assumed to produce outputs directly, it is neglected which sub-stages in this conversion process. Therefore, Network DEA models that measure the efficiency of the sub-stages were introduced to the literature. Network DEA models have a complex structure consisting of heterogeneous internal sections or sub-stages of the DMU with its own input(s) and output(s). Since the efficiency obtained from traditional DEA models does not provide the unbiased of the estimators, it leads to biased results in the subsequent analyzes. Bootstrap DEA has been proposed in order to overcome these drawbacks and overcome the accuracy of sampling results. Bootstrap DEA method provides unbiased efficiency scores, confidence interval, bias and variance values. In this dissertation, the bootstrap method used in traditional DEA models has been proposed for Network DEA models since the disadvantages seen in conventional DEA models are also seen in Network DEA models. The two-stage DEA model, which is frequently used in the literature of Network DEA models based on the proposed bootstrap method were discussed in detail. For the proposed models, both static and dynamic are applied for real life problems. The results showed that the proposed model and the previous models are highly correlated with each other and it is showed that a valid model. It is possible to make statistical inferences about the overall and sub stage efficiency estimators of a networked production process by means of the proposed models.

Science Code : 20517
Key Words : Network Data Envelopment Analysis, Two Stage DEA, Bootstrap
Page Number : 90
Supervisor : Prof. Dr. Hasan BAL

TEŞEKKÜR

Doktora eğitimim boyunca rehberliğini her zaman yanımda hissettiğim ve her yönden yetişmeme olanak sağlayan çok kıymetli büyüğüm değerli danışmanım Prof. Dr. Hasan BAL hocama sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Yüksek lisans eğitimimden beri her konudaki düşünceleri ile beni destekleyen ve yol gösteren değerli hocam Prof. Dr. İhsan ALP'e, tez konumun belirlenmesinden sonuçlanmasına kadar bütün akademik çalışmalarda engin bilgisi ve tecrübesi ile yoluma ışık tutan değerli hocam Prof. Dr. H. Hasan ÖRKÜ'ye, çalışmamın yürütülmesi sürecinde gösterdikleri ilgi ve sağladıkları değerli katkıları için Prof. Dr. Özgür YENİAY'a, Prof. Dr. Reşat KASAP'a ve Prof. Dr. Sibel ATAN'a en samimi duygularıyla teşekkürlerimi sunarım.

İsmi burada saymakta zorlandığım ancak üzerimde emeği olan bütün hocalarıma ve değerli aileme teşekkürü bir borç bilirim. Son olarak, tezimi her zaman yanımda olan ve tüm zorlukları benimle göğüsleyen hayatımın her anında bana yoldaş, sırdaş ve arkadaş olan sevgili eşime ve çok yakında aramıza katılacak olan kızıma adıyorum.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜRLER	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. VERİ ZARFLAMA ANALİZİ.....	7
2.1. VZA Kavramı	7
2.2. Geleneksel VZA Modelleri.....	8
2.2.1. Girdi yönlü CCR model.....	9
2.2.2. Çıktı yönlü CCR model	10
2.2.3. Girdi yönlü BCC model.....	12
2.2.4. Çıktı yönlü BCC model	13
2.2.5. Çapraz etkinlik modeli.....	14
3. NETWORK VERİ ZARFLAMA ANALİZİ MODELLERİ	17
3.1. İki Aşamalı VZA Modelleri	19
3.1.1. Çarpımsal iki aşamalı VZA modeli	20
3.1.2. Toplamsal iki aşamalı VZA modeli.....	23
3.1.3. İki aşamalı çapraz etkinlik	30
3.2. Dinamik Network VZA Modeli	31
4. VZA MODELLERİNDE BOOTSTRAP YAKLAŞIMI.....	37
4.1. Genel Tanımlar	37

	Sayfa
4.2. Geleneksel VZA Modellerinde Bootstrap Yaklaşımı	38
4.3. Algoritmanın Uygulanması.....	41
5. NETWORK VZA MODELLERİNDE BOOTSTRAP YAKLAŞIMI ...	47
5.1. İki Aşamalı Sistemlerde Bootstrap Algoritması	48
5.2. Dinamik İki Aşamalı Sistemlerde Bootstrap Algoritması	50
5.3. Önerilen Modelin Gerçek Hayat Problemlerine Uygulanması.....	52
5.3.1. PCB firmaları örneği	52
5.3.2. Sigorta firmaları örneği	56
5.3.3. Sigorta firmaları örneği (Dinamik veri seti)	60
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	65
KAYNAKLAR	69
EKLER.....	75
EK-1. Sigorta şirketlerine ait veri seti.....	76
EK-2. Ağırlıklı toplamsal model sonuçları	77
EK-3. PCB firmalarına ait veri seti.....	79
EK-4. Sigorta şirketlerinin 3 yıllık veri seti.....	80
EK-5. Önerilen modellere ait MATLAB kodları.....	82
ÖZGEÇMİŞ	87

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Sigorta şirketleri verileri için modellerin analiz sonuçları	29
Çizelge 4.1. Örnek veri seti.....	41
Çizelge 4.2. Örnek veri setinin algoritmaya uygulanışı.....	42
Çizelge 4.3. Bootstrap algoritmasının adımları	43
Çizelge 4.4. Rasgele seçimin yapılması.....	44
Çizelge 4.5. İlk Bootstrap örneklemeden yeniden girdi ve çıktı elde edilmesi	44
Çizelge 4.6. Bootstrap ekinlik skorları	45
Çizelge 5.1. PCB firmaları için çarpımsal ve çapraz etkinlik skorları.....	52
Çizelge 5.2. PCB firmaları için önerilen bootstrap yaklaşımı sonuçları.....	53
Çizelge 5.3. PCB firmaları için modeller arasındaki korelasyonlar	56
Çizelge 5.4. Sigorta şirketleri için çarpımsal ve çapraz etkinlik sonuçları	57
Çizelge 5.5. Sigorta şirketleri için önerilen bootstrap yaklaşımı sonuçları	57
Çizelge 5.6. Sigorta şirketleri için modellerin korelasyonları	60
Çizelge 5.7. Önerilen dinamik iki aşamalı bootstrap VZA modelinin sonuçları.....	61
Çizelge 5.8. Önerilen dinamik iki aşamalı bootstrap VZA modelinin karşılaştırılması	62
Çizelge 5.9. Önerilen modelin diğer modeller ile korelasyon analizi sonuçları	63

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Network VZA modelleri.....	17
Şekil 3.2. Genel hastane bölümlerinin ağ yapısı.....	18
Şekil 3.3. Elektrik şirketlerinin ağ yapısı.....	19
Şekil 3.4. İki aşamalı üretim sistemi.....	20
Şekil 3.5. Dinamik üretim sistemi.....	32
Şekil 3.6. Dinamik Network üretim sistemi.....	32
Şekil 3.7. Dinamik iki aşamalı üretim sistemi	33
Şekil 5.1. PCB firmaları için Önerilen Modelin sıralamalarının karşılaştırılması.....	55
Şekil 5.2. Sigorta şirketleri için Önerilen Modelin sıralamalarının karşılaştırılması	59

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Kısaltmalar	Açıklamalar
CRS	Ölçeğe göre sabit getiri varsayımı
DEA	Data Envelopment Analysis
DNVZA	Dinamik Network Veri Zarflama Analizi
KVB	Karar Verme Birimi
PCB	Baskılı Devre Kartı
SW	Simar Wilson Yöntemi
VRS	Ölçeğe göre değişken getiri varsayımı
VZA	Veri Zarflama Analizi

1. GİRİŞ

Firmalar belirlediği hedeflere ulaşmak için gerçekleştirdiği işlerin hedefleri ne ölçüde gerçekleştirdiği bilgisi performans yönetimi ile ölçülmektedir. Bu yüzden birbiri ile kıyaslanabilir birimlerin performans analizi sürekli gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Gerçekleştirilen analizler sayesinde firmalar verimli kullanmadıkları kaynaklarını tespit edip performansını artırmaya yönelik önlemler alacaktır. Ayrıca, firma çalışanlarının performansını da ölçerek gerekli iyileştirmeyi yapacaktır. Bu amaçlar için uygulanan performans ölçümü yöntemleri oran analizi, parametrik yöntemler ve parametrik olmayan yöntemler gibi yöntemlerdir.

Tek girdi ve tek çıktıya dayanan oran analizi çok fazla bilgi gerektirmeyen basit bir yöntemdir. Oran analizi, çoklu girdi ve çıktı olması durumunda ise kullanılamamaktadır. Parametrik yöntemlerde ise, regresyon analizi yönteminde ki gibi birçok girdi ile tek bir çıktı arasında ilişki kurarak üretim fonksiyonunun analitik bir yapıya sahip olduğu varsayımı mevcut olup bu fonksiyonun parametreleri tahmin edilir. İki'den fazla değişkenle değerlendirme yapabilen parametrik yöntemler ise üretim fonksiyonuna ihtiyaç duyması gibi dezavantajları vardır. Bu dezavantajı ortadan kaldırmak için üretim fonksiyonuna ait analitik bir formun varlığına ihtiyaç duymayan parametrik yöntemler geliştirilmesine rağmen çok girdi ve çok çıktı olması durumunda hala onlar uygun değildir. Bu yüzden doğrusal programlama tabanlı çok girdi ve çok çıktıya sahip birimlerin performanslarını değerlendirmek için parametrik olmayan yöntemler önerilmiştir. Girdilerin ve çıktıların birimlerinden bağımsız olarak uygulanabilen parametrik olmayan yöntemler, performans analizinin yapılabilmesine imkân sağlamaktadır. Her bir birimin göreceli etkinliği hesaplanırken amaç fonksiyonları ayrı ayrı en iyi konuma getirilir ve her bir birim için en uygun amaç kümesini belirlenir. Böyle yöntemlerde, gözlem kümesi etkin olan ve olmayan şeklinde iki ana gruba ayrılır. Etkin olmayan her bir birimin etkin hale dönüştürülebilmesi için ne gibi önlemler alınması gerektiğine ilişkin önemli bilgiler önerir.

Literatürde en çok tercih edilen parametrik olmayan performans analizi yöntemi Charnes, Cooper ve Rhodes (1978) tarafından geliştirilen doğrusal programlamaya dayalı Veri Zarflama Analizi (VZA) yöntemidir. VZA, Karar Verme Birim (KVB)'lerine ait çeşitli girdi ve çıktı değişkenlerinin gözlem değerlerini kullanarak KVB'lerinin göreceli etkinliğini ölçer. Burada bahsedilen KVB, birbirine benzeyen girdiler kullanılarak birbirine benzeyen çıktılar

üreten ve etkinliği incelenen herhangi bir süreçte girdisi ve/veya çıktısı olan birimlerdir. Performans değerlendirmesinde kullanılan popüler bir araç olan VZA ile yapılan bir etkinlik analizinde hangi KVB'lerinin ne derece etkin olduğu ve etkin olmayan KVB'lerinin etkin konuma gelebilmesi için hangi girdi ya da çıktıyı ne derece ve ne yönde değiştirmesi gerektiği konusunda öneriler yapılabilmektedir. Herhangi bir üretim fonksiyonuna bağlı olmaması ve girdi-çıkıtı arasında fonksiyonel bir ilişki aranmaması sebebiyle, çok geniş bir kullanım alanına sahip olan VZA alanda sıklıkla tercih edilmektedir. Bu yönüyle performans analizinin zorunlu hale geldiği bir piyasada işletmeler için pratik ve kullanışlı sonuçlar VZA tarafından üretilir. Ancak VZA tarafından elde edilen etkinlik tahmin edicilerinin yansızlık özelliğini sağlamaması, bu yöntemin dezavantajlarından birisi olarak gösterilmektedir. Ayrıca, elde edilen etkinlik skorunun göreceli (relative) olması özilişki (otokorelasyon) problemini de ortaya çıkarabilir. Böylece göreceli etkinlik skoru üzerinden yapılacak analizlerin de yanlış sonuçlar vermesi mümkündür. Bu dezavantajları gidermek için Bootstrap yöntemine dayalı VZA modeli önerilmiştir. Ayrıca, geleneksel VZA yönteminin diğer bir dezavantajı da KVB'lerinin girdilerini çıktılara dönüştürme işlemlerinin ihmal edilerek analizlerin gerçekleştirilmesidir. Bu dezavantajın üstesinden gelmek için ise literatürde Network VZA olarak isimlendirilen modeller önerilmiştir.

Etkinlik ölçerken geleneksel VZA bir bütün olarak sistemin etkinliğini ölçerken girdileri çıktılara dönüştüren alt aşamaların bireysel etkinliklerini ihmal etmektedir. Bu yüzden alt bileşenlerin etkinliğini de ölçmek üzere Färe (1991), Färe ve Grosskopf (2000, 2012) tarafından Network VZA geliştirilmiştir. VZA literatüründe son yıllarda sistemin bir ağ (network) ya da alt aşamalar şeklinde ifade edilerek etkinliklerin bulunarak farklı modellerin geliştirildiği gözlenmektedir. Bu modeller ile etkinlik ölçümü alt aşama yapısı içermeyen geleneksel etkinlik ölçümü modellerinden daha ayrıntılı bir şekilde bilgi sağlamaktadır. Örneğin bankacılık sisteminde süreç “alt yapı” ve “hizmet” olarak ikiye ayrılabilir ve bu sayede hem bankaların genel olarak performansı hem de sırasıyla birbirine bağlanarak süreci tamamlayan “alt yapı” ve “hizmet” aşamalarının da ayrı ayrı etkinlikleri ölçülebilir. Bu sayede alt aşamaların her birinin etkinliklerini geliştirici politikalar üretmek mümkündür. Kara kutu olarak isimlendirilen alt aşamaların etkinlikleri daha sonra birçok yazar tarafından incelenmiştir. Sexton ve Lewis (2003) tarafından önerilen iki aşamalı VZA modelinin bir genişlemesi olarak çok aşamalı VZA modeli aynı yazarlar tarafından Lewis ve Sexton (2004) önerilmiştir. Prieto ve Zofio (2007) bir girdi çıktı model içerisinde ağ etkinlik analizi uygulamışlardır. İki aşamalı üretim sistemlerine gerçek hayatta sıklıkla, girdilerin ilk işleme

dışarıdan tedarik edildiği, ardından ikinci işleme son çıktıları üretmek için bazı ara ürünlerin üretildiği seriye bağlanmış iki aşamalı sistemin olduğu yerlerde karşılaşılr. Bu tip iki aşamalı bir sistemin birçok uygulaması mevcuttur. Literatürde iki aşamalı VZA yaklaşımı ilk kez Charnes ve diğerleri (1986) tarafından ordu istihdamına yönelik iki aşamalı süreç konusunda yapılmıştır. Burada ilk aşamada reklamlar konusunda farkındalık oluşturmak, ikinci aşamada ise sözleşmeleri oluşturmaktır (Kao, 2014). Örneğin: Bangladeş'teki ticari bankalar (Akther, Fukuyama ve Weber, 2013), ABD'de otomobil üreticilerinin sürdürülebilir tasarım performansı (Chen, Zhu, Yu ve Noori, 2012), Çin'in sahil bölgelerinin gelişimi (Chiu, Huang ve Ma, 2011), ABD havayolu şirketleri (Lu, Wang, Hung ve Lu, 2012), ABD'de ortak geçinen aileler (Premachandra, Zhu, Watson ve Galagedera, 2012) örnek olarak verilebilir (Kao ve Hwang, 2014). Ayrıca 2014 yılından itibaren de network VZA modellerinin zaman periyodunda etkinlikleri ölçmek için kullanılan dinamik network VZA modelleri belirli bir zaman periyodunda ağ yapısı içeren sistemlerin etkinliklerinin ölçülmesinde kullanılmaktadır.

Geleneksel VZA modellerinin bazı dezavantajları gidermek için kullanılan Bootstrap yöntemi, yeniden örnekleme yöntemi olup karmaşık problemlerde sıklıkla kullanılmaktadır. Gözlemlerin bir örneği için veri üretme süreci az bilinen ya da hiç bilinmeyen durumlar için geliştirilmiştir. İstatistiksel çıkarsama yapmak için kullanılan verinin örneklem dağılımına bağlı ve iteratif bir yöntem olan Bootstrap yöntemi ilk kez Efron (1979, 1981) tarafından önerilmiştir. Efron ve Tibshirani (1994) tarafından ise güven aralığı gibi bazı istatistiksel çıkarımlar için geliştirilmiştir. Veri üretme süreci her bootstrap tekrarında çekilen örneklerin bir setini üretmek için orijinal veri setinden yeniden örnekleyerek ve daha sonra böyle bootstrap örneklerini orijinal tahmin edicilere uygulayarak deneysel olarak tahmin edebilir. Bootstrap yöntemi, VZA analizinin ana eksikliği olan örnekleme sonuçlarının hassaslığının üstesinden gelmek için Ferrier ve Hirschberg (1997) ile birlikte Simar ve Wilson (1998, 2000a) tarafından önerilen bootstrap VZA modellerinde kullanılmıştır. Bootstrap VZA yöntemi daha sonra Simar ve Wilson (1999, 2000b) tarafından etkinlik skorları arasındaki bağımlılığı kaldırmak ve bazı gözlenemeyen veri üretme sürecinden kaynaklanan parametrik olmayan etkinlik skorlarının istatistiksel özelliklerini değerlendirmek ve sonucunda da etkinlik skorlarının yanlılığını elde etmek için farklı çalışmalar ile yöntem geliştirilmiştir. Geleneksel VZA yönteminin istatistiksel kısıtlamaları olması sebebi ile bootstrap VZA yöntemi sıklıkla kullanılmaktadır. Orijinal verinin B kez tekrar etmesine dayanan bootstrap VZA yönteminde etkinlik skorları her tekrarda yeniden hesaplanır. Bu sayede hesaplanan

yansız etkinlik skorları, güven aralıkları, yanlılık ve varyans değerleri tahmin etmek gibi diğer istatistiksel özellikler elde edilebilir. Löthgren (1998) Monte Carlo simülasyon kullanarak VZA için tek periyotlu üç bootstrap algoritmasını karşılaştırmıştır. Bu algoritmalar Löthgren ve Tambour (1999) tarafından önerilen LT algoritması, Simar ve Wilson (1998) tarafından önerilen SW algoritması ve bu iki algoritmanın birleştirilmesi ile oluşturulan LSW algoritmasıdır. Hem ölçeğe göre sabit getiri (CRS) hem de ölçeğe göre değişken getiri (VRS) modelleri altında bootstrap güven aralıkları karşılaştırılmıştır. Boame (2004) Bootstrap VZA yöntemi ile 1990-1998 yılları arasında Kanada kentsel ulaşım sistemlerinin teknik etkinlik skorlarını hesaplamıştır. Wilson (2008) hem VZA tahminlerinin ölçeğe göre sabit, ölçeğe göre değişken ve artmayan teknik ve bütün etkinliklerini hem de Malmquist Index ve ölçek etkinlik ölçme hesaplamalarını bootstrap fikrine dayanan bir bilgisayar paketi geliştirmiştir. Diler (2011), VZA ve Malmquist Üretkenlik Endeksi'ni kullanarak 2007 küresel ekonomik krizinin Türk Bankacılık Sektörü üzerindeki etkilerini 2003-2010 dönemi boyunca incelemiştir. VZA etkinlik skorları arasındaki bağımlılık sebebiyle regresyon analizinin temel varsayımlarından biri olan örneklemin bağımsızlığı ihlalinin gidermek ve analizden geçerli istatistiksel çıkarımlar yapabilmek amacıyla analizde bootstrap yöntemi uygulanmıştır. Agasisti ve Wolszczak-Derlacz (2014) İtalya ve Polonya üniversitelerinin performanslarını bootstrap VZA yöntemini kullanarak karşılaştırmıştır. Parteka ve Wolszczak-Derlacz (2013) 2001-2005 yılları arasında yedi Avrupa birliği ülkesinde 266 yükseköğretim kuruluşunun bootstrap yöntemine dayalı olarak Malmquist index ve güven aralıkları elde edilmiştir.

Geleneksel VZA yönteminden elde edilen etkinlik değerleri yansız bir yapıda olmadığından, yansız etkinlik değerleri ve güven aralıkları ile ilgili çalışmalar VZA literatüründe önemli yer tutmaktadır. Bootstrap tekniği istatistiğin çok farklı problemlerinde kullanıldığı gibi VZA ile ilgili tahmin problemlerinde de başarıyla kullanılmaktadır. Literatürde bootstrap ve VZA ile ilgili çok sayıda çalışmaya rastlanmasına rağmen, Network VZA etkinlik değerlendirmesi için bir tahmin yaklaşımına ve dolayısıyla da bir tahmin edici yöntemine de rastlanmamıştır. Bu yüzden son yıllarda VZA alanında popüler olan dinamik network VZA modellerinden elde edilen etkinlik tahmin edicileri bootstrap yöntemine dayanan modeller ile elde edilmesi amaçlanmıştır. Önerilen modeller sayesinde ağ şeklindeki bir üretim sürecinin genel ve alt aşama etkinliklerine ilişkin güven aralıkları gibi istatistiksel çıkarımlar yapmak mümkün olmaktadır. Ayrıca belirli bir zaman periyodundaki etkinlik değişiminin incelenmesi için network VZA modellerinden elde edilen etkinlik değerlerinin istatistiksel

tahminlerini dinamik modellere genişletilmiştir. Bu sayede ağ ile alt aşamalar şeklinde ifade edilebilecek banka, hastane, havalimanı, iller, bölgeler ve ülkeler gibi sistemlerin etkinlikleri istatistiksel bir çerçevede incelenebilecektir. Önerilen tezin, bu konuda daha önceden yapılmış çalışmalardan farklı kılan yenilik ve metotlar, ağ yapısındaki sistemler için istatistiksel çerçevede etkinlik tahminlerini geleneksel VZA yönteminden doğru bir şekilde elde etmek ve tek bir zaman noktasında çalışan ağ VZA yapısındaki tahmin işlemlerini modelleyip belirli bir zaman periyoduna yani dinamik ağ VZA model yapısına genişletilmektedir.

Çalışmanın ikinci bölümünde geleneksel VZA yönteminden bahsedilmiştir. Aynı bölümde VZA modelleri detaylı bir şekilde verilmiştir. Üçüncü bölümde Network VZA modelleri ile literatürde önemli güncel modeller verilmiştir. Ardından dördüncü bölümde Simar ve Wilson tarafından önerilen bootstrap VZA yöntemi ve algoritması verilmiştir. Beşinci bölümde ise hem statik hem de dinamik veri yapıları için önerilen network modellerinin bootstrap yaklaşımı ve algoritması verilmiştir.

2. VERİ ZARFLAMA ANALİZİ

Literatüre *Data Envelopment Analysis (DEA)* olarak giren Veri Zarflama Analizi'nin tarihi William. W. Cooper danışmanlığında yürütülen Edwardo Rhodes'in Carneige Mellon Üniversitesinde yaptığı doktora tezine dayanmaktadır. Çalışmada Amerika'da devlet okullarına devam eden, çoğunlukla siyah ve İspanyol öğrencilere verilen bir eğitim programına katılan ve katılmayan okul gruplarının performansları karşılaştırılmıştır (Rhodes, 1978). Bu esnada Farrell'in 1957 yılında yaptığı ve ilk kez etkinlik ölçümünde doğrusal programlamayı kullanan "The Measurement of Productive Efficiency" başlıklı çalışması Cooper'ın dikkatini çeker ve çok girdili ve çok çıktılı bir yöntem olan VZA'ni 1978 yılında "European Journal of Operations Research" dergisinde yayımlanan makaleleri ile literatüre kazandırmışlardır (Farrell, 1957; Charnes, Cooper, and Rhodes, 1978; Cooper ve diğerleri, 2000; Sarıca, 2007).

VZA, etkin ve etkin olmayan KVB'ler olmak üzere iki sınıfa ayırır. Etkin olanların oluşturduğu doğrusal etkinlik sınırı, tüm gözlemlerin etrafını sarıp bir "zarf" oluşturmakta ve bu zarf eğrisine göre tüm gözlemlerin etkinlik skorları bulunmaktadır (Hollingsworth, 2003). Bir matematiksel programlama yöntemi olan bu analize, bu yüzden Veri Zarflama Analizi adı verilmiştir. İlk önceleri ölçeğe göre sabit getiri varsayımı (CRS) altında sadece teknik etkinliğin ölçümünde kullanılan VZA yaklaşımı daha sonra yapılan bazı değişikliklerle; Banker, Charnes ve Cooper (1984) tarafından ölçeğe göre değişken getiri varsayımı (VRS) altında ölçek etkinliğinin ölçülmesinde de kullanılmaya başlanmıştır.

2.1. VZA Kavramı

VZA, doğrusal programlama temeline dayanan, aynı tür girdileri kullanarak aynı tür çıktıları üreten ve aynı hedeflere sahip olan KVB'lerinin, birbirlerine göre göreceli etkinliklerini ölçen parametrik olmayan bir yöntemdir. VZA'da bir KVB'nin göreceli etkinliği, doğrusal programlama tarafından elde edilen girdi ve çıktı ağırlıkları kullanılarak ağırlıklandırılmış toplam çıktıların toplam girdilere oranı olarak tanımlanmaktadır. VZA tarafından girdi ve çıktılara verilen ağırlıklar negatif değer taşıyamaz ve hiç bir KVB'nin etkinliği 1'i aşamaz. Böylece, KVB'leri için seçilebilecek birçok ağırlık kümesi bulunmaktadır. Aslında, tüm birimlerin seçim yaptıkları ağırlık kümesi ortak amaçları doğrultusunda olacaktır. Genellikle KVB'leri en az kullandıkları girdilere ve en çok ürettikleri çıktılara en yüksek ağırlıklar

verme eğiliminde olacaktır. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, ağırlıkların fiyat ile ilişkili olmasının gerekmediği, fakat onların KVB'nin etkinliğini maksimize edecek karar değişkenlerini oluşturduğudur. Her bir KVB için kurulacak olan ve karar değişkenleri olarak girdi ve çıktı ağırlıklarını kabul eden kesirli matematiksel program, kolaylıkla denk bir doğrusal programlama modeline dönüştürülebilir. Çözüm, modelin ilgili olduğu KVB için ağırlıkların değerlerini ve bu KVB'nin göreceli etkinliğini verecektir. Analizin sonucunda etkin KVB'ler oldukça fazla olması durumunda etkin ve etkin olmayan birimler arasında ayırma gücü problemi ortaya çıkmaktadır. Bu problemi aşmak için ise literatürde “altın kural” olarak isimlendirilen seçilen girdi sayısı m ve çıktı sayısı s olmak üzere ya en az $m + s + 1$ tane ya da en az $3.(m + s)$ tane KVB'nin alınması araştırmanın güvenilirliği açısından önerilmektedir (Charnes ve diğerleri, 1978).

VZA tekniğinde KVB'leri, gözlem grubu içerisinde optimal girdi bileşimiyle elde edilebilecek en yüksek üretim miktarlarının oluşturduğu etkinlik sınırında yer alan KVB'lere göre değerlendirilmektedir. KVB'nin bir çıktı setini oluşturmak için kaynakları ne kadar etkin kullandığını ölçmeyi amaçlayan VZA' da en iyi performans gösteren KVB'nin etkinlik skoru 1 iken diğer KVB'lerin etkinlik skoru 0-1 arasında değişmektedir.

VZA yöntemi, birden fazla girdili ve birden fazla çıktılı KVB'leri fonksiyonel bir yapıya gerek duymadan aynı anda değerlendirebilir ve etkin KVB'leri etkin olmayan KVB'lerinden ayırabilir. Ayrıca etkin KVB'leri içerisinde etkin olmayan KVB'ler için referans kümeleri belirleyebilmektedir. Dolayısıyla VZA yönteminde etkinlik sınırı varsayılan bir durum değil, gerçekleşen bir durumdur. Eğer bir KVB etkin değilse, VZA yöntemi bu birimin etkinliğini artırabilmek için gerekli olan stratejileri etkin KVB'lerine referans vererek önerir. Bu bilgiler ışığında işletme yönetimi, etkin olmayan KVB'nin hangi girdileri gereğinden ne kadar fazla kullandığı, hangi çıktılar açısından ne ölçüde yetersiz üretim yaptığı ve etkin olması için hangi girdiyi azaltması veya hangi çıktıyı artırması gibi değerlendirme yapabilir.

2.2. Geleneksel VZA Modelleri

VZA yönteminin temel varsayımı olan CRS varsayımına dayanan geleneksel VZA modeli önerenlerin baş harfi (Charnes-Cooper-Rhodes) CCR ile anılmaktadır. Bu varsayım daha sonra Banker ve diğerleri (1984) tarafından değiştirilerek VRS varsayımına genişletilmiş olup BCC model olarak adlandırılmaktadır. VZA yönteminde kullanılan modeller girdiye

ve çıktıya yönelik olmak üzere iki şekilde kullanılabilir. Girdi yönlü (input-oriented) modellerde çıktıları sabit tutarak girdiyi minimize etmeye çalışılırken, çıktı yönlü (output-oriented) modellerde ise girdiler sabit kalmak üzere çıktı maksimum yapılmaya çalışılır. Modellerde etkinlik skoru $E_k^* = 1$ ise ve artık değişkenler sıfır ise bu k . KVB etkindir ancak $E_k^* \neq 1$ ve artık değişkenler de sıfırdan farklı ise k . KVB etkin değildir.

2.2.1. Girdi yönlü CCR model

VZA yönteminde etkinlik ölçümünde kullanılan çeşitli modeller, çıktıların ağırlıklı toplamının, girdilerin ağırlıklı toplamına oranı olarak ölçülen oran modelinden türetilir (Cooper ve diğerleri, 2000). X_{ij} , ($i = 1, 2, \dots, m$) ve Y_{rj} , ($r = 1, 2, \dots, s$) olarak j . KVB'nin i . girdisini ve r . çıktısını tanımlamak üzere m tane girdi ve s tane çıktı için VZA modelinin etkinlik ölçümü, k . birim için CRS varsayımı altında geleneksel CCR modeli Eş. 2.1'de gösterildiği gibidir. Model ağırlıklı (multiplier) ya da primal model olarak da bilinmektedir.

$$E_k = \max \frac{\sum_{r=1}^s u_r Y_{rk}}{\sum_{i=1}^m v_i X_{ik}} \quad (2.1)$$

$$\frac{\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i X_{ij}} \leq 1 \quad j = 1, \dots, n$$

$$u_r, v_i \geq \varepsilon \quad r = 1, \dots, s \quad i = 1, \dots, m$$

Burada u_r çıktı ağırlıklarını, v_i ise girdi ağırlıklarını ve ε ise arşimedyen olmayan çok küçük bir sayıyı göstermektedir. $\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj}$ ağırlıklandırılmış çıktı toplamını, $\sum_{i=1}^m v_i X_{ij}$ ağırlıklandırılmış girdi toplamını göstermektedir. Çıktı/girdi oranının 1 olması KVB'nin etkin olduğunu gösterir. Doğrusal olmayan bu model için Charnes ve Cooper (1962) dönüşümü uygulanırsa doğrusal hale getirilir. Etkinliği ölçülen KVB'nin ağırlıklı girdi toplamı $\sum_{i=1}^m v_i X_{ik}$ 1'e eşitlenir ise Eş. 2.2.'de gösterilen doğrusal hale getirilmiş olur (Charnes ve diğerleri, 1978; Charnes ve Cooper, 1984).

$$E_k = \max \sum_{r=1}^s u_r Y_{rk} \quad (2.2)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i X_{ij} \leq 0 \quad j = 1, \dots, n$$

$$\sum_{i=1}^m v_i X_{ik} = 1$$

$$u_r, v_i \geq \varepsilon \quad r = 1, \dots, s \quad i = 1, \dots, m$$

Her KVB, s çıktıyı üretebilmek için m girdiyi kullanmaktadır. Her bir k . KVB'nin göreceli etkinliğini E_k ile gösterilmektedir. Eğer $E_k = 1$ ise k . KVB etkin, $E_k < 1$ ise k . KVB etkin değildir. Eş. 2.2'de gösterilen modelin duali alınırsa Eş. 2.3'de gösterilen zarflama model elde edilir.

$$E_k = \min \theta - \varepsilon \left(\sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_i^+ \right)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j X_{ij} \leq \theta X_{i0} \rightarrow \sum_{j=1}^n \lambda_j X_{ij} + s_i^- = \theta X_{ik}$$

(2.3)

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j Y_{rj} \geq Y_{r0} \rightarrow \sum_{j=1}^n \lambda_j Y_{rj} - s_i^+ = Y_{rk}$$

$$\lambda_j, s_i^-, s_r^+ \geq 0 \quad j = 1, \dots, n \quad r = 1, \dots, s \quad i = 1, \dots, m$$

θ işaretçe serbest

Eş. 2.3'de s_i^+ , çıktılarıdaki fazlalıkları ve s_i^- ise girdilerdeki azlıkları göstermektedir.

2.2.2. Çıktı yönlü CCR model

Girdilerin sabit tutulurken çıktıları maksimize etmeye çalışan çıktı yönlü CCR model ise Eş. 2.4'de gösterilmiştir.

$$\frac{1}{E_k} = \min \frac{\sum_{i=1}^m v_i X_{ik}}{\sum_{r=1}^s u_r Y_{rk}} \quad (2.4)$$

$$\frac{\sum_{i=1}^m v_i X_{ij}}{\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj}} \geq 1 \quad j = 1, \dots, n$$

$$u_r, v_i \geq \varepsilon \quad r = 1, \dots, s \quad i = 1, \dots, m$$

Burada u_r ve v_i sırasıyla girdi ve çıktı ağırlıklarını göstermektedir. Önceki modele benzer şekilde doğrusal olmayan bu model için Charnes ve Cooper (1962) tarafından önerildiği gibi $\sum_{r=1}^s u_r Y_{rk}$ 1'e eşitlenir ise Eş. 2.5'de gösterildiği gibi doğrusal hale getirilir.

$$\begin{aligned} \frac{1}{E_k} &= \min \sum_{i=1}^m v_i X_{ik} \\ \sum_{i=1}^m v_i X_{ij} - \sum_{r=1}^s u_r Y_{rj} &\geq 0 \quad j = 1, \dots, n \\ \sum_{r=1}^s u_r Y_{rk} &= 1 \end{aligned} \tag{2.5}$$

$$\sum_{r=1}^s u_r Y_{rk} = 1$$

$$u_r, v_i \geq \varepsilon \quad r = 1, \dots, s \quad i = 1, \dots, m$$

Burada ε arşimedyan olmayan çok küçük bir sayıdır (Charnes ve diğerleri, 1978; Charnes ve Cooper, 1984). Modelin duali alınırsa zarflama model Eş. 2.6'da gösterildiği gibi elde edilir.

$$\begin{aligned} \frac{1}{E_k} &= \max \varphi + \varepsilon \left(\sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \right) \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j X_{ij} + s_i^- &= X_{ik} \quad i = 1, \dots, m \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j Y_{rj} - s_r^+ &= \varphi Y_{rk} \quad r = 1, \dots, s \end{aligned} \tag{2.6}$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j Y_{rj} - s_r^+ = \varphi Y_{rk} \quad r = 1, \dots, s$$

$$\lambda_j, s_i^-, s_r^+ \geq 0 \quad \varphi \text{ işaretçe serbest} \quad j = 1, \dots, n \quad r = 1, \dots, s \quad i = 1, \dots, m$$

2.2.3. Girdi yönlü BCC model

VZA yönteminin temel CRS varsayımı daha sonra Banker ve diğerleri (1984) tarafından VRS varsayımına genişletmişlerdir. Bu varsayıma göre geliştirilen VZA modeli ise BCC modeli olarak bilinmektedir. X_{ij} ($i = 1, 2, \dots, m$) ve Y_{rj} ($r = 1, 2, \dots, s$) olarak j . KVB'nin i . girdisini ve r . çıktısını tanımlamak üzere k . KVB'nin etkinliği için BCC oran modeli Eş. 2.7.'deki gibi tanımlanabilir.

$$E_k = \max \frac{\sum_{r=1}^s u_r Y_{rk} - U_k}{\sum_{i=1}^m v_i X_{ik}}$$

$$\frac{\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj} - U_k}{\sum_{i=1}^m v_i X_{ij}} \leq 1 \quad j = 1, \dots, n \quad (2.7)$$

$$u_r, v_i \geq \varepsilon$$

$$U_k \text{ işaretçe serbest } r = 1, \dots, s \quad i = 1, \dots, m$$

Burada u_r ve v_i sırasıyla çıktı ve girdi ağırlıklarını göstermektedir. Doğrusal olmayan bu model için Charnes ve Cooper (1962) dönüşümü uygulanırsa Eş. 2.8'de gösterildiği gibi doğrusal hale getirilir.

$$E_k = \max \sum_{r=1}^s u_r Y_{rk} - U_k$$

$$\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj} - U_k - \sum_{i=1}^m v_i X_{ij} \leq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (2.8)$$

$$\sum_{i=1}^m v_i X_{i0} = 1$$

$$u_r, v_i \geq \varepsilon \quad U_k \text{ işaretçe serbest } r = 1, \dots, s \quad i = 1, \dots, m$$

Girdi yönlü BCC modelinin duali alınırsa Eş. 2.9'da gösterildiği gibi zarflama model elde edilir.

$$\begin{aligned}
E_k &= \min \theta - \varepsilon \left(\sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_i^+ \right) \\
\sum_{j=1}^n \lambda_j X_{ij} + s_i^- &= \theta X_{ik} \\
\sum_{j=1}^n \lambda_j Y_{rj} - s_i^+ &= Y_{rk} \\
\sum_{j=1}^n \lambda_j &= 1
\end{aligned} \tag{2.9}$$

$$\lambda_j, s_i^-, s_r^+ \geq 0 \quad \theta \text{ işaretçe serbest} \quad j = 1, \dots, n \quad r = 1, \dots, s \quad i = 1, \dots, m$$

2.2.4. Çıktı yönlü BCC model

Çıktı yönlü modelin VRS varsayımına dayanan modeli ise Eş. 2.10'de gösterilmiştir.

$$\begin{aligned}
\frac{1}{E_k} &= \min \frac{\sum_{i=1}^m v_i X_{ik} + V_k}{\sum_{r=1}^s u_r Y_{rk}} \\
\frac{\sum_{i=1}^m v_i X_{ij} + V_k}{\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj}} &\geq 1 \quad j = 1, \dots, n
\end{aligned} \tag{2.10}$$

$$u_r, v_i \geq \varepsilon \quad V_0 \text{ işaretçe serbest} \quad r = 1, \dots, s \quad i = 1, \dots, m$$

Burada u_r ve v_i sırasıyla çıktı ve girdi ağırlıklarını göstermektedir. Doğrusal olmayan bu model için de Charnes ve Cooper (1962) dönüşümü uygulanırsa Eş. 2.11'de gösterildiği gibi doğrusal hale getirilir.

$$\begin{aligned}
\frac{1}{E_k} &= \min \sum_{i=1}^m v_i X_{ik} + V_k \\
\sum_{i=1}^m v_i X_{ij} + V_k - \sum_{r=1}^s u_r Y_{rj} &\geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n
\end{aligned} \tag{2.11}$$

$$\sum_{r=1}^s u_r Y_{rk} = 1$$

$$u_r, v_i \geq \varepsilon \quad V_0 \text{ işaretçe serbest } r = 1, \dots, s \quad i = 1, \dots, m$$

Çıktı yönlü BCC modelinin duali alınırsa zarflama model elde edilir.

$$\frac{1}{E_k} = \max \varphi + \varepsilon \left(\sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_i^+ \right)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j X_{ij} + s_i^- = X_{ik} \quad i = 1, \dots, m$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j Y_{rj} - s_i^+ = \varphi Y_{rk} \quad r = 1, \dots, s \quad (2.12)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$$

$$\lambda_j, s_i^-, s_r^+ \geq 0 \quad \varphi \text{ işaretçe serbest } j = 1, \dots, n$$

2.2.5. Çapraz etkinlik modeli

Geleneksel VZA modelleri için Sexton, Silkman ve Hogan (1986) tarafından Çapraz Etkinlik modeli önerilmiş olup Doyle ve Green (1994) tarafından geliştirilmiştir. VZA modelleri yalnızca ilgilenilen KVB'nin kendisini dikkate alırken çapraz etkinlik modelinde ise hem ilgilenilen KVB'nin kendisi hem de diğer KVB'leri de dikkate alınmaktadır. Çapraz etkinlik modelinde X_{ij} ve Y_{rj} sırasıyla j . KVB'nin girdi ve çıktıları temsil etmek üzere Eş. 2.13'de gösterilen model ile her KVB için farklı u_{rd}^* ve v_{id}^* çıktı ve girdi ağırlıkları elde edilir.

$$E_{dd} = \max \sum_{r=1}^s u_{rd} Y_{rd} \quad (2.13)$$

$$\sum_{r=1}^s u_{rd} Y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_{id} X_{ij} \leq 0 \quad j = 1, \dots, n$$

$$\sum_{i=1}^m v_{id} X_{id} = 1$$

$$u_{rd}, v_{id} \geq 0 \quad r = 1, \dots, s \quad i = 1, \dots, m$$

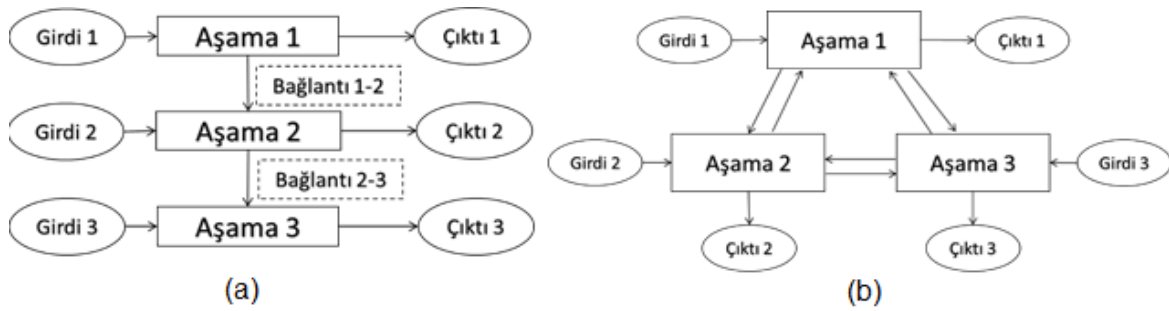
Elde edilen optimum ağırlıklar u_{rd}^* ve v_{id}^* Eş. 2.14 yardımı ile çapraz etkinlik matrisi oluşturulur.

$$E_{dk} = \frac{\sum_{r=1}^s u_{rd}^* Y_{rk}}{\sum_{i=1}^m v_{id}^* X_{ik}} \quad (2.14)$$

Oluşturulan çapraz etkinlik matrisin ortalaması alınarak $\bar{E}_k = \frac{1}{n} \sum_{d=1}^n E_{dk}$ her k . KVB için çapraz etkinlik skoru hesaplanmaktadır.

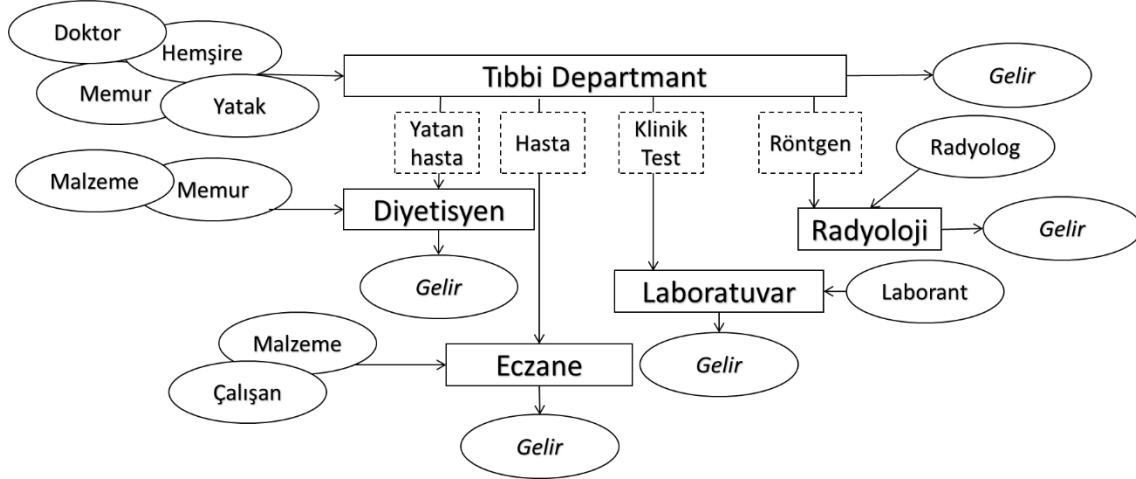
3. NETWORK VERİ ZARFLAMA ANALİZİ MODELLERİ

Geleneksel VZA modellerinde girdileri çıktılara doğrudan dönüştürüldüğü varsayılırken bu dönüştürme işleminde alt işlemlerden geçirildiği ihmal edildiği bilinmektedir. Bu yüzden bütün aşamaların etkinliğini ölçmek için Network VZA modelleri önerilmiştir. Network VZA modelinin temelinde bir KVB'nin, kendi girdi(ler) ve çıktı(lar)'na sahip heterojen iç bölümlerden ya da alt birimlerden oluşan karmaşık bir yapı vardır. Bu heterojen alt birimler bazı değişkenler ile birbirine bağlı olup bütün yapının etkinliğinin yanı sıra her bir alt birimlerin de etkinliği hesaplanabilir. Network VZA modelleri ilk kez Färe ve Grosskopf (2000) tarafından literatüre kazandırılmış olup Tone ve Tsutsui (2009) tarafından geliştirilmiştir. Genelde Şekil 3.1.(a) ile gösterilen sıralı aşamalı Network VZA modeli kullanılırken bunun yanında Şekil 3.1.(b) ile gösterilen karşılıklı Network VZA modelleri de bulunmaktadır.



Şekil 3.1. Network VZA modelleri

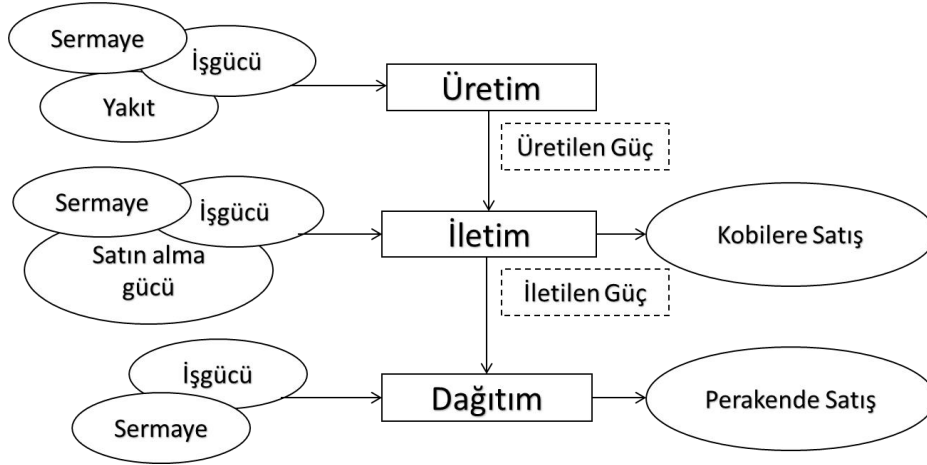
Literatürde gerçek problemlerin uygulanmasında çok fazla network VZA örneği bulunmaktadır. Örneğin, Tone ve Tsutsui (2009) Japonya'daki hastanelerinin standart yapısını tıbbi bölüm, klinik laboratuvar, radyoloji, eczacılık ve diyetetik bölümü gibi bölümlerden oluşacağını bildirmiştir. Şekil 3.2'de gösterildiği gibi her bölüm kendi işgücüne, malzemesine ve sermaye birikimine sahip olmaktadır. Örneğin, tıbbi bölümde muayene edilen hastaların bir kısmı radyoloji bir kısmı ilaç tedavisi için eczane bölümüne gönderilebilir. Böylece her bölüm iç bağlantılar ile birbirine bağlanmaktadır. Hastanelerin etkinliğini değerlendirmek için bu bölümleri ayrı ayrı değerlendirmenin yanında yapı bütün olarak da değerlendirilmelidir. Bu nedenle, bir Network VZA modeli bu amaç için uygundur.



Şekil 3.2. Genel hastane bölümlerinin ağ yapısı

Bir başka örnek ise Tone ve Tsutsui (2014) tarafından Şekil 3.3’de gösterildiği gibi elektrik şirketlerine uygulamıştır. Elektrik şirketleri üretim, iletim ve dağıtım alt bölümleri olmak üzere ağ yapısına sahiptir. Her bir alt bölümün ise kendi girdileri ve çıktıları bulunmaktadır. Üretim bölümünde sermaye, işgücü ve yakıt gibi girdileri kullanarak elektrik enerjisi üretilmektedir. Üretim bölümünün çıktısı olan elektrik enerjisi iletim bölümü için bir ara girdi haline almaktadır. İletim bölümünde, sermaye, işgücü ve satın alınan güç ise girdilerini kullanarak dağıtım hattından yararlanmayan büyük ölçekli müşterilere (kobilere) ve iletim bölümünün ara çıktısı olarak dağıtım bölümüne aktarılır. Dağıtım bölümü ise sermaye ve işgücü girdilerini ve iletim bölümünden gelen ara ürünü kullanarak küçük müşterilere (perakende) elektrik sağlamaktadır. Çalışmanın analiz aşamasında kullanılan girdi, çıktı ve ara ürünler şunlardır.

- Üretim bölümüne ait Girdi 1 = İşgücü girdisi (çalışan sayısı).
- İletim bölümüne ait Girdi 2 = İşgücü girdisi (çalışan sayısı) ve Çıktı 2 = Büyük müşterilere satılan elektrik gücü.
- Dağıtım bölümüne ait Girdi 3 = İşgücü girdisi (çalışan sayısı) ve Çıktı 3 = Küçük müşterilere satılan elektrik gücü
- Link (1-2) = Üretilen elektrik enerjisi (Üretim bölümünden çıkan ve iletim bölümüne giren)
- Link (2-3) = İletilen elektrik enerjisi (İletim bölümünden çıkan ve dağıtım bölümü'ne giren)

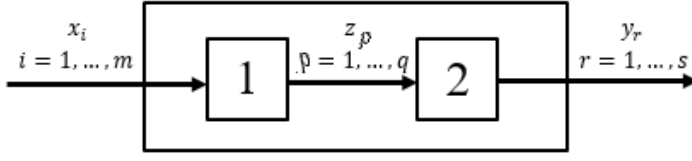


Şekil 3.3. Elektrik şirketlerinin ağ yapısı

Literatürde daha birçok Network VZA modelleri ve uygulamaları mevcuttur. Girdilerin doğrudan çıktıya dönüştürülmediği, ilk aşamada ara ürünlere ikinci aşamada ise nihai çıktılara dönüştürüldüğü iki aşamalı VZA modeli Network VZA modellerinin temelidir.

3.1. İki Aşamalı VZA Modelleri

Bazı üretim sistemlerinde girdilerden bazı ara ürünler ilk aşamada elde edilebilir. Elde edilen bu ara ürünler ise nihai çıktıları üretebildiği sisteme iki aşamalı sistemler adı verilmekte olup Şekil 3.4’de gösterilmiştir. Bu tip iki aşamalı sistemlerin literatürde birçok uygulaması mevcuttur. Bunlardan en yaygın olarak bilinenlerden biri Seiford ve Zhu (1999) tarafından ABD bankalarının karlılık ve pazarlanabilirliğini ölçen iki aşamalı sistemdir. İlk aşamada karlılığı ölçmek için girdi olarak kullanılan iş gücü ve varlıkları kar ve gelirleri üretmektedir. Pazarlanabilirliğin ölçüldüğü ikinci aşamada ise ilk aşamanın çıktıları olan kar ve gelir girdi olarak kullanılmış ve pazar değeri, hasılatlar ve hisse başına düşen kazanç gibi nihai çıktılar üretilmiştir. Bir başka iki aşamalı sistem uygulaması ise Chen ve Zhu (2004) tarafından ilk aşamada bankalar iş gücü ve varlıklarını girdi olarak kullanarak mevduatları ara ürün olarak üretilmektedir. Elde edilen mevduatları kullanarak da nihai çıktı olan kredi gelirleri elde edilmektedir.



Şekil 3.4. İki aşamalı üretim sistemi

Şekil 3.4’de iki aşamalı bir üretim sürecinin gösterimi yer almaktadır. n tane KVB’nin bulunduğu ve her bir KVB_j ($j = 1, \dots, n$) için birinci aşamada (k . KVB için) m tane girdiye X_{ik} , ($i = 1, \dots, m$) , ve q tane çıktıya Z_{pk} , ($p = 1, \dots, q$) sahiptir. Birinci aşamanın çıktısı olan bu q tane ara ürün, ikinci aşamanın girdisi olarak kullanılmakta ve Y_{rk} , ($r = 1, \dots, s$) ikinci aşamanın nihai çıktısı üretilmektedir. İki aşamalı üretim sistemlerinin etkinliklerinin ölçümlerine yönelik farklı yöntemler geliştirilmiş olup en önemli yöntemler sunulmuştur.

3.1.1. Çarpımsal iki aşamalı VZA modeli

Kao ve Hwang (2008) tarafından iki aşamalı üretim sistemlerinin alt aşamaları birbirinden bağımsız düşünüp her alt aşama için geleneksel CCR modeli ile etkinlik skorlarının hesaplanmasına dayanan bağımsız model adını verdiği model ve alt aşamaların etkinlik skorlarının çarpımı genel etkinlik skorunu verdiği çarpımsal model adını verdiği model önerilmiştir. Şekil 3.4’de gösterilen iki aşamalı üretim sürecinin k . KVB’nin ilk aşamasının etkinlik skorunu E_k^1 ile ikinci aşamanın etkinlik skorunu ise E_k^2 ile gösterilmektedir. Geleneksel CCR modelin yaklaşımı kullanılarak birinci aşamanın etkinlik skoru (E_k^1) ilk aşamanın ağırlıklı çıktıların ağırlıklı girdilerine oranı olarak tanımlanmaktadır (Eş. 3.1).

$$E_k^1 = \max \sum_{p=1}^q w_p Z_{pk} / \sum_{i=1}^m v_i X_{ik}$$

$$\sum_{p=1}^q w_p Z_{pj} / \sum_{i=1}^m v_i X_{ij} \leq 1 \quad j = 1, \dots, n \quad (3.1)$$

$$w_p, v_i \geq \varepsilon, i = 1, \dots, m \quad p = 1, \dots, q$$

Benzer yaklaşım ile ikinci aşamanın etkinlik skoru (E_k^2) ise ikinci aşamanın ağırlıklı çıktıların ağırlıklı girdilerine oranı olarak ifade edilmektedir.

$$\begin{aligned}
E_k^2 &= \max \sum_{r=1}^s u_r Y_{rk} / \sum_{p=1}^q w_p Z_{pk} \\
\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj} / \sum_{p=1}^q w_p Z_{pj} &\leq 1 \quad j = 1, \dots, n \\
u_r, w_p &\geq \varepsilon, \quad r = 1, \dots, s \quad p = 1, \dots, q
\end{aligned} \tag{3.2}$$

Sürecin genel etkinlik skorunu hesaplamak için ise benzer yaklaşımla oluşturulan modele Eş. 3.1 ve Eş. 3.2 modellerinin kısıtları eklenerek Eş. 3.3’de gösterilen model elde edilir. E_k ile gösterilen genel etkinlik skoru alt aşamaların çarpımı şeklinde $E_k = E_k^1 \times E_k^2$ ifade edilmektedir.

$$\begin{aligned}
E_k &= \max \sum_{r=1}^s u_r Y_{rk} / \sum_{i=1}^m v_i X_{ik} \\
\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj} / \sum_{i=1}^m v_i X_{ij} &\leq 1 \quad j = 1, \dots, n \\
\sum_{p=1}^q w_p Z_{pj} / \sum_{i=1}^m v_i X_{ij} &\leq 1 \quad j = 1, \dots, n \\
\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj} / \sum_{p=1}^q w_p Z_{pj} &\leq 1 \quad j = 1, \dots, n \\
u_r, v_i, w_p &\geq \varepsilon, \quad i = 1, \dots, m \quad r = 1, \dots, s \quad p = 1, \dots, q
\end{aligned} \tag{3.3}$$

Eş. 3.3. ile gösterilen model C-C dönüşümü (Charnes ve Cooper, 1962) yardımı ile doğrusal modele dönüştürülmektedir.

$$\begin{aligned}
E_k &= \max \sum_{r=1}^s u_r Y_{rk} \\
\sum_{i=1}^m v_i X_{ik} &= 1
\end{aligned} \tag{3.4}$$

$$\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i X_{ij} \leq 0 \quad j = 1, \dots, n$$

$$\sum_{p=1}^q w_p Z_{pj} - \sum_{i=1}^m v_i X_{ij} \leq 0 \quad j = 1, \dots, n$$

$$\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj} - \sum_{p=1}^q w_p Z_{pj} \leq 0 \quad j = 1, \dots, n$$

$$u_r, v_i, w_p \geq \varepsilon, \quad i = 1, \dots, m \quad r = 1, \dots, s \quad p = 1, \dots, q$$

Eş.3.4’de gösterilen modelden elde edilen ağırlıklar Eş.3.5’de kullanılarak bütün sürecin etkinlik skorunu ve alt aşamaların etkinlik skorları hesaplanmaktadır.

$$E_k = \sum_{r=1}^s u_r^* Y_{rk} / \sum_{i=1}^m v_i^* X_{ik}$$

$$E_k^1 = \sum_{p=1}^q w_p^* Z_{pk} / \sum_{i=1}^m v_i^* X_{ik} \quad (3.5)$$

$$E_k^2 = \sum_{r=1}^s u_r^* Y_{rk} / \sum_{p=1}^q w_p^* Z_{pk}$$

İlk aşama modeline de C-C dönüşümü uygulanarak doğrusal hale getirilmektedir.

$$E_k^1 = \max \sum_{p=1}^q w_p Z_{pk}$$

$$\sum_{i=1}^m v_i X_{ik} = 1 \quad (3.6)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r Y_{rk} - E_k \sum_{i=1}^m v_i X_{ik} = 0$$

$$\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i X_{ij} \leq 0 \quad j = 1, \dots, n$$

$$\sum_{p=1}^q w_p Z_{pj} - \sum_{i=1}^m v_i X_{ij} \leq 0 \quad j = 1, \dots, n$$

$$\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj} - \sum_{p=1}^q w_p Z_{pj} \leq 0 \quad j = 1, \dots, n$$

$$u_r, v_i, w_p \geq \varepsilon, \quad i = 1, \dots, m \quad r = 1, \dots, s \quad p = 1, \dots, q$$

E_k ile gösterilen genel etkinlik skoru alt aşamaların çarpımı şeklinde $E_k = E_k^1 \times E_k^2$ ifade edildiği için Eş. 3.6 ile gösterilen modelinden E_k^1 hesaplandıktan sonra ikinci aşamanın etkinlik skoru $E_k^2 = E_k / E_k^1$ ile hesaplanabilir.

3.1.2. Toplamsal iki aşamalı VZA modeli

Kao ve Hwang (2008) tarafından geliştirilen çarpımsal model yalnızca ölçeğe göre sabit getiri varsayımına göre uygulandığı için Chen, Cook, Li ve Zhu (2009) tarafından hem CRS hem de VRS varsayımında uygulanabilen toplamsal model önerilmiştir. Önerilen modele alt aşamalar β_1 ve β_2 ağırlıkları ile ağırlıklandırılıp toplanarak genel etkinlik skoru elde edildiği için toplamsal model adı verilmektedir. Önerilen toplamsal model önceki bölümdeki çarpımsal modele benzer bir yaklaşım ile Eş. 3.7’de gösterilmektedir. Eş.3.5’de fazla $\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i X_{ij} \leq 0$ kısıtı diğer kısıtlar tarafından sağlandığı için modelden çıkartılmıştır.

$$E_k = \max \left(\beta_1 \cdot \frac{\sum_{p=1}^q w_p Z_{pk}}{\sum_{i=1}^m v_i X_{ik}} + \beta_2 \cdot \frac{\sum_{r=1}^s u_r Y_{rk}}{\sum_{p=1}^q w_p Z_{pk}} \right)$$

$$\sum_{p=1}^q w_p Z_{pj} / \sum_{i=1}^m v_i X_{ij} \leq 1 \quad j = 1, \dots, n \quad (3.7)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj} / \sum_{p=1}^q w_p Z_{pj} \leq 1 \quad j = 1, \dots, n$$

$$u_r, v_i, w_p \geq \varepsilon, \quad i = 1, \dots, m \quad r = 1, \dots, s \quad p = 1, \dots, q$$

Eş. 3.7’de gösterilen model doğrusal olmayan bir model olduğu için bazı dönüşümler

uygulanarak doğrusal hale getirmek mümkündür. $\beta_1 = \frac{\sum_{i=1}^m v_i X_{ik}}{\sum_{i=1}^m v_i X_{ik} + \sum_{p=1}^q w_p Z_{pk}}$ ve $\beta_2 =$

$\frac{\sum_{i=1}^m v_i X_{ik}}{\sum_{i=1}^m v_i X_{ik} + \sum_{p=1}^q w_p Z_{pk}}$ olduğu varsayılırsa Eş. 3.8’de gösterilen model elde edilir.

$$E_k = \max \frac{\sum_{p=1}^q w_p Z_{pk} + \sum_{r=1}^s u_r Y_{rk}}{\sum_{i=1}^m v_i X_{ik} + \sum_{p=1}^q w_p Z_{pk}}$$

$$\sum_{p=1}^q w_p Z_{pj} \bigg/ \sum_{i=1}^m v_i X_{ij} \leq 1 \quad j = 1, \dots, n \quad (3.8)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj} \bigg/ \sum_{p=1}^q w_p Z_{pj} \leq 1 \quad j = 1, \dots, n$$

$$u_r, v_i, w_p \geq \varepsilon, \quad i = 1, \dots, m \quad r = 1, \dots, s \quad p = 1, \dots, q$$

Eş. 3.8 ile gösterilen modele de C-C dönüşümü uygulanarak Eş. 3.9’de gösterilen model elde edilir.

$$E_k = \max \sum_{p=1}^q w_p Z_{pk} + \sum_{r=1}^s u_r Y_{rk}$$

$$\sum_{p=1}^q w_p Z_{pj} - \sum_{i=1}^m v_i X_{ij} \leq 0 \quad j = 1, \dots, n$$

$$\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj} - \sum_{p=1}^q w_p Z_{pj} \leq 0 \quad j = 1, \dots, n \quad (3.9)$$

$$\sum_{i=1}^m v_i X_{ik} + \sum_{p=1}^q w_p Z_{pk} = 1$$

$$u_r, v_i, w_p \geq \varepsilon, \quad i = 1, \dots, m \quad r = 1, \dots, s \quad p = 1, \dots, q$$

İkinci aşamanın modeli çarpımsal model yaklaşımına oldukça benzemektedir. Eş. 3.10'da gösterilen modelin son kısıtı Eş. 3.9'da gösterilen genel modeldeki genel etkinlik skorunu korumasını sağlamaktadır.

$$\begin{aligned}
 E_k^{2*} &= \max \sum_{r=1}^s u_r Y_{rk} / \sum_{p=1}^q w_p Z_{pk} \\
 \sum_{p=1}^q w_p Z_{pj} / \sum_{i=1}^m v_i X_{ij} &\leq 1 \quad j = 1, 2, \dots, n \\
 \sum_{r=1}^s u_r Y_{rj} / \sum_{p=1}^q w_p Z_{pj} &\leq 1 \quad j = 1, 2, \dots, n \\
 \frac{\sum_{p=1}^q w_p Z_{pk} + \sum_{r=1}^s u_r Y_{rk}}{\sum_{i=1}^m v_i X_{ik} + \sum_{p=1}^q w_p Z_{pk}} &= E_k \\
 u_r, v_i, w_p &\geq \varepsilon, \quad i = 1, \dots, m \quad r = 1, \dots, s \quad p = 1, \dots, q
 \end{aligned} \tag{3.10}$$

İkinci aşamanın modeline de benzer şekilde C-C dönüşüm uygulanarak Eş. 3.11'de gösterilen model elde edilmektedir.

$$\begin{aligned}
 E_k^{2*} &= \max \sum_{r=1}^s u_r Y_{rk} \\
 \sum_{p=1}^q w_p Z_{pj} - \sum_{i=1}^m v_i X_{ij} &\leq 0 \quad j = 1, \dots, n \\
 \sum_{r=1}^s u_r Y_{rj} - \sum_{p=1}^q w_p Z_{pj} &\leq 0 \quad j = 1, \dots, n \\
 \sum_{p=1}^q w_p Z_{pk} + \sum_{r=1}^s u_r Y_{rk} - E_k \sum_{i=1}^m v_i X_{ik} &= E_k
 \end{aligned} \tag{3.11}$$

$$\sum_{p=1}^q w_p Z_{pk} = 1$$

$$u_r, v_i, w_p \geq \varepsilon, \quad i = 1, \dots, m \quad r = 1, \dots, s \quad p = 1, \dots, q$$

E_k^2 ve E_k kullanılarak $E_k^1 = \frac{E_k - \beta_2^* E_k^2}{\beta_1^*}$ eşitliği ile E_k^1 etkinlik skorunu elde etmek mümkündür.

Ölçeğe göre değişen getiri (VRS) varsayımı altında iki aşamalı VZA modeli ise Eş. 3.12-3.16. gösterildiği gibi elde edilir.

$$E_k^1 = \max \frac{\sum_{p=1}^q w_p Z_{pk} + u^A}{\sum_{i=1}^m v_i X_{ik}}$$

$$\frac{\sum_{p=1}^q w_p Z_{pj} + u^A}{\sum_{i=1}^m v_i X_{ij}} \leq 1 \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$E_k^2 = \max \frac{\sum_{r=1}^s u_r Y_{rk} + u^B}{\sum_{p=1}^q w_p Z_{pk}} \quad (3.12)$$

$$\frac{\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj} + u^B}{\sum_{p=1}^q w_p Z_{pj}} \leq 1 \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$u_r, v_i, w_p \geq 0 \quad u^A, u^B \text{ işaretçe serbest}$$

$$E_k = \max \frac{\sum_{p=1}^q w_p Z_{pk} + u^A + \sum_{r=1}^s u_r Y_{rk} + u^B}{\sum_{i=1}^m v_i X_{ik} + \sum_{p=1}^q w_p Z_{pk}}$$

$$\frac{\sum_{p=1}^q w_p Z_{pj} + u^A}{\sum_{i=1}^m v_i X_{ij}} \leq 1 \quad j = 1, 2, \dots, n$$

(3.13)

$$\frac{\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj} + u^B}{\sum_{p=1}^q w_p Z_{pj}} \leq 1 \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$u_r, v_i, w_p \geq 0 \quad u^A, u^B \text{ işaretçe serbest}$$

CRS modelinde yapılan dönüşümler uygulandıktan sonra doğrusal model elde etmek mümkündür.

$$\begin{aligned}
E_k &= \max \sum_{r=1}^S u_r Y_{rk} + u^A + \sum_{p=1}^q w_p Z_{pk} + u^B \\
\sum_{p=1}^q w_p Z_{pj} - \sum_{i=1}^m v_i X_{ij} + u^A &\leq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n \\
\sum_{r=1}^S u_r Y_{rj} - \sum_{p=1}^q w_p Z_{pj} + u^B &\leq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n \\
\sum_{i=1}^m v_i X_{ik} + \sum_{p=1}^q w_p Z_{pk} &= 1
\end{aligned} \tag{3.14}$$

$u_r, v_i, w_p \geq 0, u^A, u^B$ işaretçe serbest

$$\begin{aligned}
E_k^{1*} &= \max \sum_{p=1}^q w_p Z_{pk} + u^A \\
\sum_{p=1}^q w_p Z_{pj} + u^A - \sum_{i=1}^m v_i X_{ij} &\leq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n \\
\sum_{r=1}^S u_r Y_{rj} + u^B - \sum_{p=1}^q w_p Z_{pj} &\leq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n \\
\sum_{r=1}^S u_r Y_{rk} + (1 - E_k) \sum_{p=1}^q w_p Z_{pk} + u^A + u^B &= E_k \\
\sum_{p=1}^q w_p Z_{pk} &= 1
\end{aligned} \tag{3.15}$$

$u_r, v_i, w_p \geq 0, u^A, u^B$ işaretçe serbest

$$\begin{aligned}
E_k^{2*} &= \max \sum_{r=1}^S u_r Y_{rk} + u^B \\
\sum_{p=1}^q w_p Z_{pj} + u^A - \sum_{i=1}^m v_i X_{ij} &\leq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n \\
\sum_{r=1}^S u_r Y_{rj} + u^B - \sum_{p=1}^q w_p Z_{pj} &\leq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n \\
\sum_{p=1}^q w_p Z_{pk} + \sum_{r=1}^S u_r Y_{rk} - E_k \sum_{i=1}^m v_i X_{ik} + u^A + u^B &= E_k \\
\sum_{p=1}^q w_p Z_{pk} &= 1
\end{aligned} \tag{3.16}$$

$$u_r, v_i, w_p \geq 0, u^A, u^B \text{ işaretçe serbest}$$

Hem çarpımsal hem de toplamsal model için Ek-1’de verilen ve literatürde sıklıkla kullanılan Tayvan sigorta şirketleri veri seti uygulanarak analiz sonuçlar Çizelge 3.1’de sunulmuştur. Eş. 3.9 ile ifade edilen toplamsal modelin genel etkinlik skorları çizelgenin ikinci sütununda verilmiştir. Altıncı sütunda ise toplamsal model kullanılarak ikinci aşama etkinlik skorları sunulmuştur. Elde edilen β_1 ve β_2 değerleri yerine konularak beşinci sütunda gösterilen ilk aşama etkinlik skorları da elde edilmiştir.

Eş. 3.5’de sunulan çarpımsal modelin genel etkinlik skoru yedinci sütunda bulunmaktadır. Ayrıca çarpımsal modelin ilk aşama etkinlik skorları ise sekizinci sütunda gösterilmiştir. Çizelgenin dokuzuncu sütunda gösterilen ikinci aşama etkinlik skorları ise basit dönüşüm ile elde edilir. Çizelgenin son üç sütunlarda verilen bağımsız sonuçlar ise ilk ve ikinci aşamayı birbirinden bağımsız olarak düşünüp Eş. 2.2’de gösterilen geleneksel CCR modelin aşamalara ayrı ayrı uygulanması ile elde edilmiştir.

Çizelge 3.1. Sigorta şirketleri verileri için modellerin analiz sonuçları

KVB	Toplamsal Model					Çarpımsal Model					
						İlişkili			Bağımsız		
	E^0	β_1	β_2	E^1	E^2	E^0	E^1	E^2	E^0	E^1	E^2
1	0,849	0,502	0,498	0,993	0,704	0,699	0,993	0,704	0,984	0,993	0,713
2	0,812	0,500	0,500	0,998	0,626	0,625	0,998	0,626	1,000	0,998	0,627
3	0,817	0,592	0,408	0,690	1	0,690	0,690	1,000	0,988	0,690	1,000
4	0,596	0,580	0,420	0,724	0,420	0,304	0,724	0,420	0,488	0,724	0,432
5	0,873	0,546	0,454	0,831	0,923	0,767	0,831	0,923	1,000	0,838	1,000
6	0,689	0,510	0,490	0,961	0,406	0,390	0,961	0,406	0,594	0,964	0,406
7	0,580	0,571	0,429	0,752	0,352	0,277	0,671	0,412	0,470	0,752	0,538
8	0,579	0,580	0,420	0,726	0,378	0,275	0,663	0,415	0,415	0,726	0,511
9	0,612	0,500	0,500	1	0,223	0,223	1,0 - ε	0,223	0,327	1,000	0,292
10	0,713	0,537	0,463	0,862	0,541	0,466	0,862	0,541	0,781	0,862	0,674
11	0,509	0,578	0,422	0,729	0,207	0,164	0,647	0,253	0,283	0,741	0,327
12	0,880	0,500	0,500	1	0,760	0,760	1,000	0,760	1,000	1,000	0,760
13	0,557	0,552	0,448	0,811	0,243	0,208	0,672	0,309	0,353	0,811	0,543
14	0,577	0,580	0,420	0,725	0,374	0,289	0,670	0,431	0,470	0,725	0,518
15	0,807	0,500	0,500	1	0,614	0,614	1,000	0,614	0,979	1,000	0,705
16	0,639	0,530	0,470	0,886	0,362	0,320	0,886	0,362	0,472	0,907	0,385
17	0,613	0,580	0,420	0,723	0,460	0,360	0,628	0,574	0,635	0,723	1,000
18	0,587	0,558	0,442	0,794	0,326	0,259	0,794	0,326	0,427	0,794	0,374
19	0,706	0,500	0,500	1	0,411	0,411	1,000	0,411	0,822	1,000	0,416
20	0,765	0,517	0,483	0,933	0,586	0,547	0,933	0,586	0,935	0,933	0,901
21	0,541	0,571	0,429	0,751	0,262	0,201	0,732	0,274	0,333	0,751	0,280
22	0,742	0,629	0,371	0,590	1	0,590	0,590	1,000	1,000	0,590	1,000
23	0,685	0,543	0,457	0,843	0,499	0,420	0,843	0,499	0,599	0,851	0,560
24	0,544	0,500	0,500	1	0,087	0,135	0,429	0,314	0,257	1,000	0,335

Toplamsal modelde alt aşamaların ağırlığı model tarafından belirlenmekte ve her KVB için alt aşamaların ağırlıkları farklı olabilmektedir. Bu yüzden bazı çalışmalar bütün KVB'ler için aşama ağırlıklarının aynı olması gerektiği önermektedir (Guo, Shureshjani, Foroughi ve Zhu, 2017). Toplamsal modelin aşamaların ağırlıkları β_1 ve β_2 Guo ve diğerleri (2017)

tarafından tek değişken ile $\alpha = \beta_1$, $1 - \alpha = \beta_2$ ile gösterilmiştir. $E_k^1 = \frac{\sum_{p=1}^q w_p Z_{pk}}{\sum_{i=1}^m v_i X_{ik}}$ ve $E_k^2 =$

$\frac{\sum_{r=1}^S u_r Y_{rk}}{\sum_{p=1}^q w_p Z_{pk}}$ olmak üzere $E_k = \alpha E_k^1 + (1 - \alpha) E_k^2$ olarak genel etkinlik skoru

hesaplanmaktadır. Bu yüzden Eş. 3.7'de gösterilen modelin amaç fonksiyonu

$E_k = \max \left(\alpha \frac{\sum_{p=1}^q w_p Z_{pk}}{\sum_{i=1}^m v_i X_{ik}} + (1 - \alpha) \frac{\sum_{r=1}^s u_r Y_{rk}}{\sum_{p=1}^q w_p Z_{pk}} \right)$ olmaktadır ve ilgili dönüşümler yapıldıktan sonra Çizelge 3.1’de sonuçları verilen Tayvan sigorta şirketleri veri seti için $\alpha = 0.1, 0.2, \dots, 0.9$ durumları incelenmiş ve sonuçlar Ek-2’de gösterilmiştir. Sonuçlara göre örneğin KVB 3 için α değerine göre değişen etkinlik skorlarında genel etkinlik skoru azalırken ilk ve ikinci aşamanın etkinlik skorunun değişmediği gözlemlenmiştir.

3.1.3. İki aşamalı çapraz etkinlik

Literatürde sıkça uygulanan ve hala geliştirilmeye devam eden çapraz etkinlik modelleri iki aşamalı sistemler için de Kao ve Liu (2019) tarafından yeni bir model olarak önerilmiştir. Önerilen iki aşamalı çapraz etkinlik modelinde Kao ve Hwang (2008) tarafından önerilen çarpımsal iki aşamalı VZA modeli ile optimum ağırlıklar kullanılmaktadır.

$$\begin{aligned}
 E_{dd} &= \max \sum_{r=1}^s u_{rd} Y_{rd} \\
 \sum_{i=1}^m v_{id} X_{id} &= 1 \\
 \sum_{r=1}^s u_{rd} Y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_{id} X_{ij} &\leq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n \\
 \sum_{p=1}^q w_{pd} Z_{pj} - \sum_{i=1}^m v_{id} X_{ij} &\leq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n \\
 \sum_{r=1}^s u_{rd} Y_{rj} - \sum_{p=1}^q w_{pd} Z_{pj} &\leq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n \\
 u_r, v_i, w_p &\geq \varepsilon, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad r = 1, 2, \dots, s \quad p = 1, 2, \dots, q
 \end{aligned} \tag{3.17}$$

Eş. 3.17 ile gösterilen modelin çözümünden elde edilen E_{dd} kullanılarak Eş. 3.18’de gösterilen model optimize edilerek optimum ağırlıklar elde edilir.

$$E = \max \frac{\sum_{j=1, j \neq d}^n \sum_{r=1}^s u_{rd} Y_{rj}}{\sum_{j=1, j \neq d}^n \sum_{i=1}^m v_{id} X_{ij}}$$

$$\sum_{r=1}^s u_{rd} Y_{rd} = E_{dd} \sum_{i=1}^m v_{id} X_{id}$$

$$\sum_{p=1}^q w_{pd} Z_{pj} - \sum_{i=1}^m v_{id} X_{ij} \leq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (3.18)$$

$$\sum_{r=1}^s u_{rd} Y_{rj} - \sum_{p=1}^q w_{pd} Z_{pj} \leq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n$$

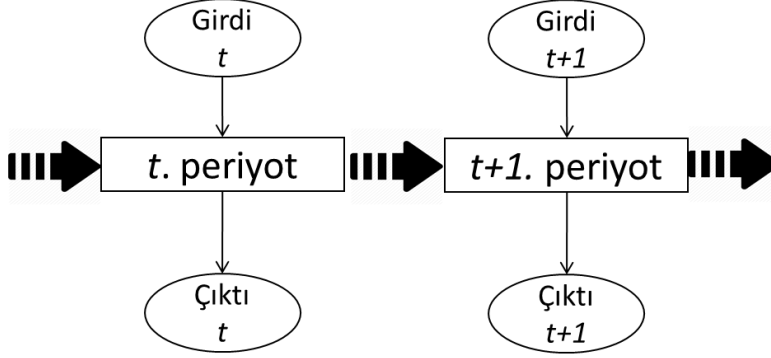
$$u_r, v_i, w_p \geq \varepsilon, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad r = 1, 2, \dots, s \quad p = 1, 2, \dots, q$$

u_{rd}^*, v_{id}^* ve w_{pd}^* ağırlıklar sayesinde genel çapraz etkinlik matrisi $E_{dk}^0 = \frac{\sum_{r=1}^s u_{rd}^* Y_{rk}}{\sum_{i=1}^m v_{id}^* X_{ik}}$, ilk aşamanın çapraz etkinlik matrisi $E_{dk}^1 = \frac{\sum_{p=1}^q w_{pd}^* Z_{pd}}{\sum_{i=1}^m v_{id}^* X_{ik}}$ ve ikinci aşamanın çapraz etkinlik matrisi $E_{dk}^2 = \frac{\sum_{r=1}^s u_{rd}^* Y_{rk}}{\sum_{p=1}^q w_{pd}^* Z_{pd}}$ ile oluşturulur. Klasik çapraz etkinlik modelinde aritmetik ortalama alınırken iki aşamalı sistemde geometrik ortalama ile çapraz etkinlik skorları $\hat{E}_k^0 = \sqrt[n]{\prod_{d=1}^n E_{dk}^0}$, $\hat{E}_k^1 = \sqrt[n]{\prod_{d=1}^n E_{dk}^1}$ ve $\hat{E}_k^2 = \sqrt[n]{\prod_{d=1}^n E_{dk}^2}$ bulunmaktadır.

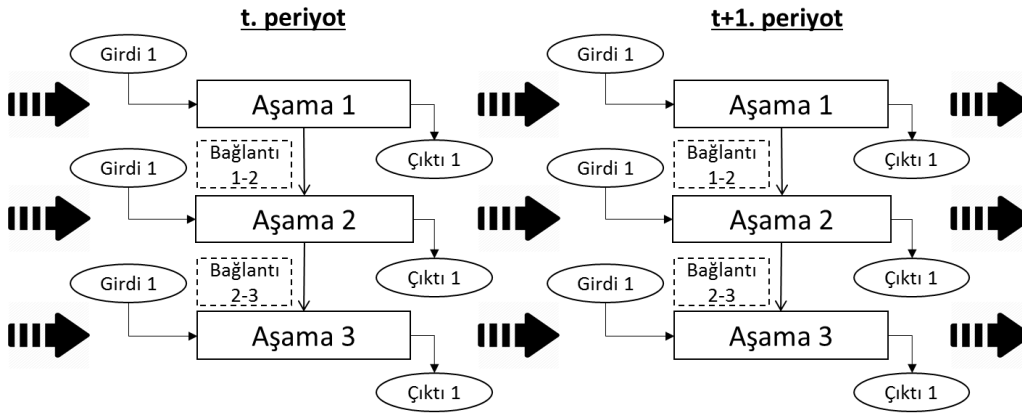
3.2. Dinamik Network VZA Modeli

Panel verilerin zaman boyunca etkinlik değişiminin ölçülmesi için Klopp (1985) tarafından önerilen Window analizi bu amaca yönelik ilk yaklaşım olmuştur. Daha sonra Färe, Grosskopf, Norris ve Zhang (1994) tarafından Malmquist indeks önerilmiştir. Şekil 3.5’de gösterilen dinamik model Färe ve Grosskopf (1996, 1997) tarafından geliştirilen birbirine bağlı faaliyetlerle uğraşan ilk yenilikçi model olmuştur. Daha sonra Dinamik VZA Nemoto ve Goto (1999); (2003), Sueyoshi ve Sekitani (2005), Chen (2009), Park ve Park (2009), ve Chang, Choy, Cooper ve Ruefli (2009) tarafından geliştirilmiştir. Tone (2001) ve Pastor, Ruiz ve Sirvent (1999) tarafından önerilen modelleri Tone ve Tsutsui (2010) aylak tabanlı ölçme çerçevesinde genişletmişlerdir. Network VZA modellerinin sıklıkla kullanılması ile Dinamik Network VZA (DNVZA) modelleri Window analizi ve Malmquist indeks’in yerini almıştır. Şekil 3.6 ile gösterilen DNVZA modelleri bir zaman diliminden diğer bir zaman

dilimine sürekli olarak değişen panel veriler kullanılarak her bir alt birimin ya da bütün yapının etkinliğini hesaplamak için geliştirilmiştir.

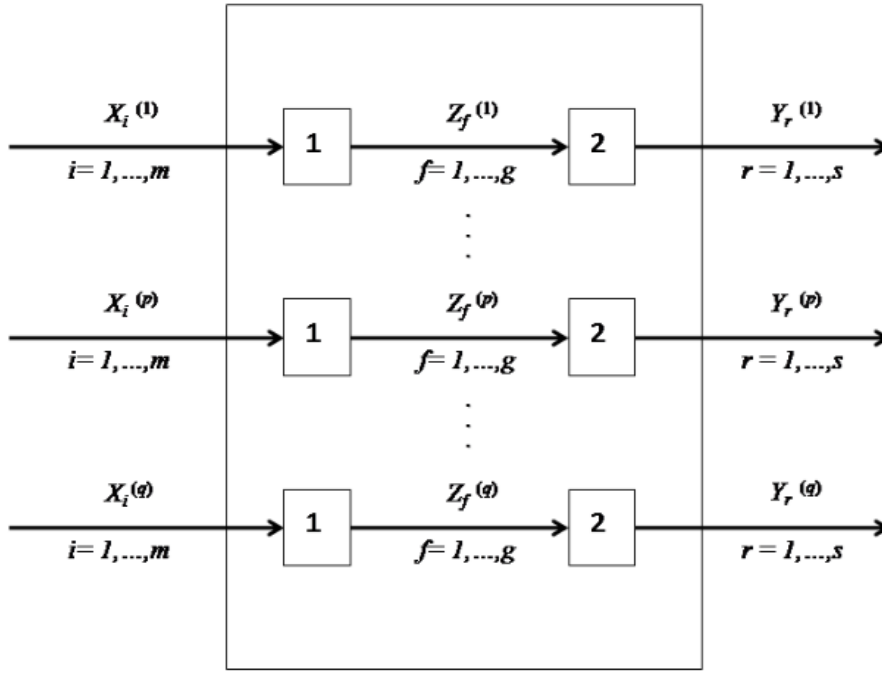


Şekil 3.5. Dinamik üretim sistemi



Şekil 3.6. Dinamik Network üretim sistemi

Dinamik Network VZA modelinin özel yapısı olan dinamik iki aşamalı model Şekil 3.7’de gösterildiği gibi geliştirilmiştir. q periyotlu iki aşama üretim sistemine sahip n KVB’nin etkinliğini hesaplamak için bir zaman genişliği varsayılın. $X_{ij}^{(p)}$, $Z_{ij}^{(p)}$ ve $Y_{ij}^{(p)}$, p periyodundaki j . KVB’nin sırasıyla girdileri, ara ürünleri ve çıktıları olsun. Bunların toplamaları $X_{ij} = \sum_{p=1}^q X_{ij}^{(p)}$, $Z_{fj} = \sum_{p=1}^q Z_{fj}^{(p)}$ ve $Y_{rj} = \sum_{p=1}^q Y_{rj}^{(p)}$ olmak üzere, Şekil 3.7 bu tür sistemlerin grafiksel bir gösterimini sunmaktadır.



Şekil 3.7. Dinamik iki aşamalı üretim sistemi

İki aşamalı sistemler için k . KVB'nin skorunu ve toplam skoru ölçmek için Kao ve Hwang (2008) çalışmalarında genel VZA modeline toplam çıktının toplam girdiden küçük veya eşit olmasını gerektiren kısıtı eklemiştirler. $\hat{E}_k^S$, $\hat{E}_k^I$ ve $\hat{E}_k^{II}$ skorları tüm q periyotlarındaki girdilerin, ara ürünlerin ve çıktıların toplamından hesaplandığı için onlar genel performans temsil eder. Aslında onlar birbirinden ayrı periyotların skorlarının toplamıdır. Böylece tüm performans üzerindeki en etkili periyot belirlenebilir (Kao ve Hwang, 2014).

$X_{ij}^{(t)}$, t . periyottaki j . KVB'nin girdilerini, $Z_{pj}^{(t)}$, t . periyottaki j . KVB'nin ara ürünlerini, ve $Y_{rj}^{(t)}$, t . periyottaki j . KVB'nin çıktıları ayrıca $X_{ij} = \sum_{t=1}^T X_{ij}^{(t)}$, $Z_{pj} = \sum_{t=1}^T Z_{pj}^{(t)}$ ve $Y_{rj} = \sum_{t=1}^T Y_{rj}^{(t)}$ göstermek üzere her periyot için Eş. 3.5'de gösterilen modele $\sum_{r=1}^S u_r Y_{rj}^{(t)} - \sum_{i=1}^m v_i X_{ij}^{(t)} \leq 0$, $\sum_{p=1}^q w_p Z_{pj}^{(t)} - \sum_{i=1}^m v_i X_{ij}^{(t)} \leq 0$ ve $\sum_{r=1}^S u_r Y_{rj}^{(t)} - \sum_{p=1}^q w_p Z_{pj}^{(t)} \leq 0$ kısıtları eklenerek Eş 3.19'da gösterilen dinamik iki aşamalı model oluşturulur.

$$E_k = \max \sum_{r=1}^s u_r Y_{rk}$$

$$\sum_{i=1}^m v_i X_{ik} = 1$$

$$\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i X_{ij} \leq 0 \quad j = 1, \dots, n$$

$$\sum_{p=1}^q w_p Z_{pj} - \sum_{i=1}^m v_i X_{ij} \leq 0 \quad j = 1, \dots, n$$

$$\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj} - \sum_{p=1}^q w_p Z_{pj} \leq 0 \quad j = 1, \dots, n \quad (3.19)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj}^{(t)} - \sum_{i=1}^m v_i X_{ij}^{(t)} \leq 0$$

$$\sum_{p=1}^q w_p Z_{pj}^{(t)} - \sum_{i=1}^m v_i X_{ij}^{(t)} \leq 0$$

$$\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj}^{(t)} - \sum_{p=1}^q w_p Z_{pj}^{(t)} \leq 0$$

$$u_r, v_i, w_p \geq \varepsilon, \quad i = 1, \dots, m \quad r = 1, 2, \dots, s \quad p = 1, 2, \dots, q$$

Eş. 3.19 ile gösterilen dinamik iki aşamalı VZA modelinde periyotlu kısıtlar olduğu için ilk üç kısıt kaldırılabilir. Eş. 3.19'un çözümü ile elde edilen ağırlıklar sayesinde sistemin T periyotlardaki genel skoru E_k ile süreçleri ise E_k^1 ve E_k^2 ile elde edilirken t. periyottaki genel skoru $E_k^{(t)}$ ile süreçleri ise $E_k^{1(t)}$ ve $E_k^{2(t)}$ ile elde edilmektedir.

$$\begin{aligned}
E_k &= \sum_{r=1}^S u_r^* Y_{rk} \Big/ \sum_{i=1}^m v_i^* X_{ik} \\
E_k^1 &= \sum_{p=1}^q w_p^* Z_{pk} \Big/ \sum_{i=1}^m v_i^* X_{ik} \\
E_k^2 &= \sum_{r=1}^S u_r^* Y_{rk} \Big/ \sum_{p=1}^q w_p^* Z_{pk} \\
E_k^{(t)} &= \sum_{r=1}^S u_r^* Y_{rk}^{(t)} \Big/ \sum_{i=1}^m v_i^* X_{ik}^{(t)} \\
E_k^{1(t)} &= \sum_{p=1}^q w_p^* Z_{pk}^{(t)} \Big/ \sum_{i=1}^m v_i^* X_{ik}^{(t)} \\
E_k^{2(t)} &= \sum_{r=1}^S u_r^* Y_{rk}^{(t)} \Big/ \sum_{p=1}^q w_p^* Z_{pk}^{(t)}
\end{aligned} \tag{3.20}$$

Eş. 3.20’de gösterilen $E_k = E_k^1 \times E_k^2$ olduğu bilinmektedir. Benzer durumda $E_k^{(t)} = E_k^{1(t)} \times E_k^{2(t)}$ olarak ifade edilmektedir.

4. VZA MODELLERİNDE BOOTSTRAP YAKLAŞIMI

4.1. Genel Tanımlar

Bir tahmin edicinin örnekleme dağılımı asimptotik teori ile elde etmek zor ya da mümkün değilse ayrıca gözlemlerin veri üretme sürecine ait bilgi yeterli değilse istatistiksel yeniden örnekleme yöntemi olan Bootstrap yöntemi kullanılmaktadır. Efron (1979) tarafından önerilen bu yöntem karmaşık problemlerde sıklıkla kullanılmaktadır. Bu yöntemde temel düşünce eldeki örnekleme, yığın olarak varsayıp buradan belirli sayıda tekrarlı örnekleme yaparak ilgilenilen tahmin edicinin suni bir örnekleme dağılımını oluşturmaktır. Örneklem dağılımı ile ilgili bazı çıkarımlarda bulunmak için kullanılan Bootstrap yöntemi daha sonra Efron ve Tibshirani (1994) tarafından güven aralığı gibi bazı istatistiksel çıkarımlar için geliştirilmiştir. Veri üretme süreci bootstrap her tekrarında çekilen örneklerin bir setini üretmek için orijinal veri setinden yeniden örnekleyerek ve daha sonra böyle bootstrap örneklerini orijinal tahmin edicilere uygulayarak deneysel olarak tahmin edebilir. Böylece bootstrap yöntemiyle oluşturulan örneklem, ana örneklemin istatistiksel özelliklerini yansıtacaktır (Smeekes, 2009).

Bootstrap VZA yöntemi ise Ferrier ve Hirschberg (1997) ile birlikte Simar ve Wilson (1998) tarafından temel VZA analizinin ana eksikliğini yani örnekleme sonuçlarının hassaslığının üstesinden gelmek için VZA etkinlik skorlarının güven aralıklarının oluşturulması ile ortaya çıkmıştır. Bootstrap VZA yöntemi daha sonra Simar ve Wilson (1999, 2000a, 2000b) tarafından geliştirilmiştir. Bu çalışmalarda etkinlik skorları arasındaki bağımlılığı kaldırmak ve bazı gözlenemeyen veri üretme sürecinden kaynaklanan parametrik olmayan etkinlik skorlarının istatistiksel özelliklerini değerlendirmek ve sonucunda da VZA etkinlik skorlarının yanlılığını elde etmek için farklı çalışmalar ile yöntemi geliştirilmişlerdir. VZA yönteminin istatistiksel kısıtlamaları olması sebebi ile bootstrap VZA yöntemi sıklıkla kullanılmaktadır. Orijinal verinin B kez tekrar etmesine dayanan bu yöntemde VZA etkinlik skorları her tekrarda yeniden hesaplanır. Bu sayede VZA aracılığı ile hesaplanan etkinlik skorlarının (yansız skorlar ile birlikte) güven aralığı, yanlılık ve varyans gibi diğer istatistiksel özellikler elde edilebilir.

4.2. Geleneksel VZA Modellerinde Bootstrap Yaklaşımı

Bootstrap VZA algoritmalarından en önemlisi olan Simar Wilson (SW) algoritmasına göre öncelikle (x_i, y_i) girdi ve çıktılar kullanılarak orijinal etkinlik skorları $\{\hat{\delta}_i, i = 1, 2, \dots, n\}$ elde edilir. Elde edilen n boyutlu etkinlik skorları içinden etkin olmayan M birimin etkinlik skoru $\{\hat{\delta}_1, \hat{\delta}_2, \dots, \hat{\delta}_M\}$ için Silverman (1986) tarafından önerilen yansıma yöntemi uygulanmaktadır. Bu yansıma yöntemine göre etkinlik skorları 1'in etrafında simetrik olarak konumlanan bir küme oluşturur. $M < n$ olmak üzere her etkin olmayan $i = 1, 2, \dots, M$ birim için $2m$ yansıma kümesi $\{2 - \hat{\delta}_1, 2 - \hat{\delta}_2, \dots, 2 - \hat{\delta}_M, \hat{\delta}_1, \hat{\delta}_2, \dots, \hat{\delta}_M\}$ elde edilir. Elde edilen yansıma kümesinin standart sapması std_{2M} ile çeyreklikler arası açıklığı ise IQR_{2M} ile gösterilmektedir. Simar ve Wilson (2006) bootstrap algoritmasında kullanılan bant genişliğini (h) elde etmek için Silverman (1986) tarafından önerilen ve literatürde normal referans kuralı olarak bilinen Eş. 4.1'deki formül kullanılmaktadır.

$$h = 1.06 \min \left(std_{2M}, \frac{IQR_{2M}}{1.34} \right) (2M)^{-1/5} \left(\frac{2M}{n} \right) \left(\frac{std_n}{std_{2M}} \right) \quad (4.1)$$

Eş. 4.1'de std_n , orijinal etkinlik skorlarına $\{\hat{\delta}_i, i = 1, 2, \dots, n\}$ ait standart sapmayı, n KVB sayısını ve M ise etkin olmayan KVB sayısını göstermektedir.

Algoritmanın Adımları

1. (x_i, y_i) girdiler ve çıktılar kullanılarak orijinal etkinlik skorları $\{\hat{\delta}_i, i = 1, 2, \dots, n\}$ elde edilir.
2. Orijinal etkinlik skorlarının $2n$ boyutlu $\{2 - \hat{\delta}_1, 2 - \hat{\delta}_2, \dots, 2 - \hat{\delta}_n, \hat{\delta}_1, \hat{\delta}_2, \dots, \hat{\delta}_n\}$ yansıma kümesinden yerine koyarak n boyutlu rasgele örnek çekilerek $\{\tilde{\delta}_i^*; i = 1, 2, \dots, n\}$ elde edilir.
3. Bant genişliği (h) ile bağımsız ve aynı dağılımlı standart normal dağılımdan çekilen bir rasgele değişken olan ε_i (çekirdek yoğunluktan üretilen rasgele gürültü) çarpılarak önceki adımda rasgele örnek çekilerek elde edilen $\tilde{\delta}_i^*$ skorlarının $i = 1, 2, \dots, n$ her birine Eş. 4.2'de gösterildiği gibi ilave edilerek düzgünleştirme işlemi gerçekleştirilir.

$$\tilde{\delta}_i^* = \delta_i^* + h\varepsilon_i, i = 1, 2, \dots, n \quad (4.2)$$

Düzgünleştirme işleminde kullanılan ε_i değerinin standart normal dağılıma sahip olması gerektiği Silverman (1986), Scott (1992) ve Simonoff (1996) tarafından önerilmiştir.

4. Yeniden örnekleme ile algoritmanın ikinci adımında çekilen n boyutlu $\tilde{\delta}_i^*$ değerlerinin ortalaması $\bar{\delta}^* = \frac{\sum_{i=1}^n \tilde{\delta}_i^*}{n}$ ve varyansı s^{*2} kullanılarak Efron ve Tibshirani (1994) tarafından önerilen Eş. 4.3'te gösterilen düzeltme işlemi uygulanarak δ_i^{**} elde edilmektedir.

$$\delta_i^{**} = \bar{\delta}^* + \frac{\tilde{\delta}_i^* - \bar{\delta}^*}{\sqrt{1 + h^2/s^{*2}}}, i = 1, 2, \dots, n \quad (4.3)$$

5. Son olarak, etkinlik skoru 1'den daha küçük olan değerleri Eş. 4.4'de gösterilen yansıtma işlemi gerçekleştirerek 1'den büyük değer alması sağlanır.

$$\delta_i^* = \begin{cases} 2 - \delta_i^{**}, & \delta_i^{**} < 1 \\ \delta_i^{**}, & \text{diğer durumlar} \end{cases} \quad (4.4)$$

6. $\mathcal{X}^*$ bootstrap örneğini elde etmek için önceki adımda elde edilen skorların (δ_i^*) orijinal etkinlik skorlarına ($\hat{\delta}_i$) bölünmesi ile elde edilen $\left(\frac{\delta_i^*}{\hat{\delta}_i}\right)$ katsayı girdi yönlü modellerde Eş. 4.5 ile gösterilen girdi değişkenleri ile çarpılarak ve çıktı yönlü modellerde ise Eş. 4.6 ile gösterilen çıktı değişkenleri ile çarpılarak $\mathcal{X}^* = (X_i^*, Y_i^*)$ bootstrap girdi ve çıktı değerleri elde edilir.

$$\mathcal{X}^* = \left\{ (X_i^*, Y_i^*) | Y_i^* = Y_i \text{ ve } X_i^* = \frac{\delta_i^*}{\hat{\delta}_i} X_i, i = 1, 2, \dots, n \right\} \quad (4.5)$$

$$\mathcal{X}^* = \left\{ (X_i^*, Y_i^*) | Y_i^* = \frac{\delta_i^*}{\hat{\delta}_i} Y_i \text{ ve } X_i^* = X_i, i = 1, 2, \dots, n \right\} \quad (4.6)$$

Algoritmanın 2-6 adımları B kez tekrar edilerek $\mathcal{X}_B^*$ bootstrap örneği elde edilir. Her bootstrap örneğinde elde edilen $\mathcal{X}^* = \{(X_i^*, Y_i^*)\}$ arzu edilen VZA modeli yardımı ile B kez çalıştırılarak $\hat{\delta}_{ib}^*$ ($b = 1, \dots, B$) elde edilir. Eş. 4.7'de bootstrap örneklerinde kullanılacak girdi yönlü CCR model gösterilmiştir.

$$E_k = \min \theta - \varepsilon \left(\sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_i^+ \right)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j \mathbf{X}_{ij}^* \leq \theta X_{ik} \rightarrow \sum_{j=1}^n \lambda_j \mathbf{X}_{ij}^* + s_i^- = \theta X_{ik}$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j \mathbf{Y}_{rj}^* \geq Y_{rk} \rightarrow \sum_{j=1}^n \lambda_j \mathbf{Y}_{rj}^* - s_i^+ = Y_{rk}$$

(4.7)

$$\lambda_j, s_i^-, s_r^+ \geq 0$$

θ işaretçe serbest $j = 1, \dots, n$ $r = 1, \dots, s$ $i = 1, \dots, m$

Simar ve Wilson tarafından tekrar sayısı B=2000 olarak önerilmektedir. Tekrarlardan elde edilen $\hat{\delta}_{ib}^*$ yardımı ile yanlılık ve Bootstrap etkinlik skorları Eş. 4.8.'de gösterildiği gibi edilir.

$$Bias(\hat{\delta}_i^*) = E(\hat{\delta}_{ib}^*) - \hat{\delta}_i = B^{-1} \sum_{b=1}^B \hat{\delta}_{ib}^* - \hat{\delta}_i$$

(4.8)

$$\delta_i^{**} = \hat{\delta}_i - Bias(\hat{\delta}_i^*) = 2\hat{\delta}_i - B^{-1} \sum_{b=1}^B \hat{\delta}_{kb}^*$$

Eğer $\hat{\delta}_i(X, Y) - \delta(X, Y)$ 'nın dağılımı biliniyorsa güven aralığı Eş. 4.9'da gösterildiği gibi bulunabilir.

$$Prob(-a_\alpha \leq \hat{\delta}_i(X, Y) - \delta(X, Y) \leq -b_\alpha) = 1 - \alpha$$

(4.9)

Ancak $\hat{\delta}_i(X, Y) - \delta(X, Y)$ 'nın dağılımının bulunamadığı durumda ise $[\hat{\delta}_i(X, Y) - \delta(X, Y)] \mathfrak{P} \sim [\hat{\delta}_{ib}^*(X, Y) - \hat{\delta}_i(X, Y)] \widehat{\mathfrak{P}}$ olduğu için bootstrap örnekleminde yararlanarak güven aralığı Eş. 4.10.'da gösterildiği şekilde bulunur.

$$Prob(-a_\alpha^* \leq \hat{\delta}_{ib}^*(X, Y) - \hat{\delta}_i(X, Y) \leq -b_\alpha^* | \mathcal{X}_B^*) = 1 - \alpha$$

(4.10)

$$\hat{\delta}_i(X, Y) + a_\alpha^* \leq \delta(X, Y) \leq \hat{\delta}_i(X, Y) + b_\alpha^*$$

4.3. Algoritmanın Uygulanması

Önceki bölümde ayrıntılı bir şekilde algoritması verilen yöntemin uygulanışını göstermek için X_1 ve X_2 olmak üzere iki girdi değişkeni ve yalnızca Y_1 çıktı değişkenine sahip 11 KVB'nin Çizelge 4.1'de gösterilen veri seti için; örneğin ikinci KVB için girdi yönlü CCR modeli aşağıdaki gibi oluşturulur.

$$\delta_2 = \min \theta$$

$$5\lambda_1 + 16\lambda_2 + 16\lambda_3 + 17\lambda_4 + 18\lambda_5 + 23\lambda_6 + 25\lambda_7 + 27\lambda_8 + 37\lambda_9 + 42\lambda_{10} + 5\lambda_{11} \leq 16\theta$$

$$13\lambda_1 + 12\lambda_2 + 26\lambda_3 + 15\lambda_4 + 14\lambda_5 + 6\lambda_6 + 10\lambda_7 + 22\lambda_8 + 14\lambda_9 + 25\lambda_{10} + 17\lambda_{11} \leq 12\theta$$

$$12\lambda_1 + 14\lambda_2 + 25\lambda_3 + 26\lambda_4 + 8\lambda_5 + 9\lambda_6 + 27\lambda_7 + 30\lambda_8 + 31\lambda_9 + 26,5\lambda_{10} + 12\lambda_{11} \geq 14$$

$$\lambda_j \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n$$

Modelin çözülmesi ile $\delta_2 = 0,62229$ olarak elde edilir. $\forall j = 1, \dots, n$ için $\{\hat{\delta}_1, \hat{\delta}_2, \dots, \hat{\delta}_{11}\}$ elde edilen sonuçlar ise Çizelge 4.2'de gösterilmiştir. Elde edilen $\{\hat{\delta}_1, \hat{\delta}_2, \dots, \hat{\delta}_{11}\}$ skorlarının standart sapması ise $std_n = 0,6712$ olarak bulunmuştur. Yalnızca etkin olmayan $\{\hat{\delta}_2, \hat{\delta}_3, \hat{\delta}_5, \hat{\delta}_6, \hat{\delta}_8, \hat{\delta}_9, \hat{\delta}_{10}\}$ birimler kullanılarak Silverman (1986) tarafından önerilen yansıma yöntemi ile elde edilen $\{2 - \hat{\delta}_2, 2 - \hat{\delta}_3, \dots, 2 - \hat{\delta}_{10}, \hat{\delta}_2, \hat{\delta}_3, \dots, \hat{\delta}_{10}\}$ yansıma kümesi Çizelge 4.2'nin son sütununda gösterilmiştir. Elde edilen yansıma kümesinin standart sapması, $std_{2m} = 0,4278$ ve çeyreklikler arası açıklığı ise $IQR_{2m} = 0,7554$ elde edilmektedir.

Çizelge 4.1. Örnek veri seti

KVB	X_1	X_2	Y_1
1	5	13	12
2	16	12	14
3	16	26	25
4	17	15	26
5	18	14	8
6	23	6	9
7	25	10	27
8	27	22	30
9	37	14	31
10	42	25	26,5
11	5	17	12

Çizelge 4.2. Örnek veri setinin algoritmaya uygulanışı

KVB	$\hat{\delta}_i$	Etkin Olmayan KVB'leri		Yansıtılmış 2m Küme
		$\hat{\delta}_i$	$2 - \hat{\delta}_i$	
1	1	-	-	1,3777
2	0,62229	0,62229	1,37771	1,1801
3	0,819856	0,819856	1,180144	1,6896
4	1	-	-	1,4444
5	0,310371	0,310371	1,689629	1,2423
6	0,555556	0,555556	1,444444	1,1799
7	1	-	-	1,5
8	0,757669	0,757669	1,242331	0,6223
9	0,820106	0,820106	1,179894	0,8199
10	0,5	0,5	1,5	0,3104
11	1	-	-	0,5556
				0,7577
				0,8201
				0,5

SW algoritmasında kullanılmak üzere Eş. 4.1. ile gösterilen bant genişliği elde edilir.

$$h = 1.06 \min \left(std_{2m}, \frac{IQR_{2m}}{1.34} \right) (2m)^{-1/5} \left(\frac{2m}{n} \right) \left(\frac{std_n}{std_{2m}} \right)$$

$$h = 1.06 \min \left(0.4278, \frac{0.7554}{1.34} \right) (2m)^{-1/5} \left(\frac{2m}{n} \right) \left(\frac{std_n}{std_{2m}} \right)$$

$$h = 1.06 \times 0.4278 \times (14)^{-1/5} \times \left(\frac{14}{11} \right) \times \left(\frac{0.6712}{0.4278} \right) = 0.4404$$

1. (x_i, y_i) girdi ve çıktılar kullanılarak orijinal etkinlik skorları $\{\hat{\delta}_1, \hat{\delta}_2, \dots, \hat{\delta}_{11}\}$ elde edilerek Çizelge 4.3'ün ilk sütunda gösterilmiştir.
2. Orijinal etkinlik skorlarının $2n$ boyutlu $\{2 - \hat{\delta}_1, 2 - \hat{\delta}_2, \dots, 2 - \hat{\delta}_{10}, \hat{\delta}_1, \hat{\delta}_2, \dots, \hat{\delta}_{10}\}$ yansıma kümesi Çizelge 4.3'ün üçüncü ve dördüncü sütununda gösterilmiştir. Eğer girdi yönlü model ise etkinlik skorları 1'den küçük çıkacaktır. Bu yüzden yansıma kümesi 1'in etrafında olması gerektiği için skorların $1/\hat{\delta}_i$ şeklinde kullanılması gerekmektedir. Çıktı yönlü modelde ise etkinlik skorları zaten 1'in üzerinde çıktığı için bu işleme gerek kalmamaktadır. Çizelge 4.3'ün son iki sütununda gösterilen $2n$ boyutlu yansıma

kümesinden yerine koyarak rasgele n boyutlu skorlar seçilmektedir. Seçilen skorların indisleri Çizelge 4.4'ün ikinci sütununda gösterilmekte olup skorları ise üçüncü sütununda gösterilmiştir.

3. Eş. 4.2'de gösterilen bant genişliği (h) ile rasgele gürültü $\varepsilon_i \sim N(0,1)$ çarpılarak rasgele örnek çekilerek elde edilen $\{\tilde{\delta}_8^*, \tilde{\delta}_{10}^*, \tilde{\delta}_{12}^*, \tilde{\delta}_6^*, \tilde{\delta}_6^*, \tilde{\delta}_{20}^*, \tilde{\delta}_{22}^*, \tilde{\delta}_7^*, \tilde{\delta}_5^*, \tilde{\delta}_{15}^*, \tilde{\delta}_{18}^*\}$ küme skorları ile toplanarak $\tilde{\delta}_i^*$ elde edilir. Elde edilen $\tilde{\delta}_i^*$ ise Çizelge 4.4 dördüncü sütunda gösterilmiştir.
4. Yeniden örnekleme ile çekilen n boyutlu $\tilde{\delta}_i^*$ değerlerinin ortalaması $\bar{\delta}^* = \frac{\sum_{i=1}^n \tilde{\delta}_i^*}{n}$ ve varyansı s^{*2} kullanılarak Eş. 4.3'de gösterilen düzeltme işlemi uygulanarak δ_i^{**} elde edilir. Elde edilen değerler Çizelge 4.4'ün beşinci sütunda gösterilmiştir.
5. Çizelge 4.4'ün beşinci sütundaki etkinlik skoru 1'den küçük olan 2. ve 7. satırdaki 0,79096 ve 0,38779 değerleri Eş. 4.4'de gösterilen formül yardımıyla Çizelge 4.4'ün son sütundaki δ_i^* değerleri elde edilir.
6. $\mathcal{X}^*$ bootstrap örneğini elde etmek için önceki adımda elde edilen skorların $\left(\frac{\delta_i^*}{\delta_i}\right)$ katsayı Eş. 4.5 ile gösterilen girdi değişkenleri ile çarpılarak $\mathcal{X}^* = (X_i^*, Y_i^*)$ bootstrap örneği elde edilir. Elde edilen X_i^*, Y_i^* değerleri Çizelge 4.5'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. Bootstrap algoritmasının adımları

KVB	$\hat{\delta}_i$	$1/\hat{\delta}_i$	$2 - 1/\hat{\delta}_i$
1	1	1	1
2	0,62229	1,606969	0,39303
3	0,819856	1,219726	0,78027
4	1	1	1
5	0,310371	3,221951	-1,222
6	0,555556	1,8	0,2
7	1	1	1
8	0,757669	1,319837	0,68016
9	0,820106	1,219355	0,78065
10	0,5	2	0
11	1	1	1

Çizelge 4.4. Rasgele seçimin yapılması

KVB	Rasgele Sıra No	$\tilde{\delta}_i^*$	$\tilde{\delta}_i^*$	δ_i^{**}	δ_i^*
1	8	1,319837	0,96330	1,02038	1,020378
2	10	2	0,70323	0,79096	1,209042
3	12	1	1,63352	1,61159	1,611589
4	6	1,8	1,94323	1,88479	1,884792
5	6	1,8	1,46750	1,46514	1,465143
6	20	0,780645	1,38418	1,39164	1,391639
7	22	1	0,24619	0,38779	1,612212
8	7	1	0,95497	1,01303	1,013025
9	5	3,221951	3,11561	2,91898	2,918982
10	15	1	1,14059	1,17677	1,176766
11	18	1	1,1378	1,1743	1,1743

Çizelge 4.5. İlk Bootstrap örnekleminden yeniden girdi ve çıktı elde edilmesi

KVB	$\frac{\delta_i^*}{\delta_i}$	Orijinal Girdi ve Çıktı			Bootstrap Girdi ve Çıktı		
		X_1	X_2	Y_1	$X_1^* = \frac{\delta_i^*}{\delta_i} X_1$	$X_2^* = \frac{\delta_i^*}{\delta_i} X_2$	Y_1
1	1,020378	5	13	12	5,101888	13,26491	12
2	0,752374	16	12	14	12,03799	9,028494	14
3	1,321271	16	26	25	21,14034	34,35305	25
4	1,884792	17	15	26	32,04147	28,27188	26
5	0,454738	18	14	8	8,185282	6,36633	8
6	0,773133	23	6	9	17,78205	4,638797	9
7	1,612212	25	10	27	40,3053	16,12212	27
8	0,767537	27	22	30	20,72351	16,88582	30
9	2,393874	37	14	31	88,57334	33,51423	31
10	0,588383	42	25	26,5	24,71209	14,70958	26,5
11	1,1743	5	17	12	5,8715	19,9631	12

Algoritmanın 2-6 adımlarının ilk tekrarında elde edilen $\mathcal{X}_B^*$ bootstrap örneği Eş. 4.7’de gösterilen model oluşturularak çözülmektedir. Örneğin ilk KVB için girdi yönlü CCR modeli aşağıdaki gibi oluşturulmaktadır.

$$\delta_1 = \min \theta$$

$$5,101888\lambda_1 + 12,03799\lambda_2 + 21,14034\lambda_3 + 32,04147\lambda_4 + 8,185282\lambda_5 + 17,78205\lambda_6 \\ + 40,3053\lambda_7 + 20,72351\lambda_8 + 88,57334\lambda_9 + 24,71209\lambda_{10} + 5,8715\lambda_{11} \leq 5\theta$$

$$\begin{aligned}
& 13,26491\lambda_1 + 9,028494\lambda_2 + 34,35305\lambda_3 + 28,27188\lambda_4 + 6,36633\lambda_5 + 4,638797\lambda_6 \\
& + 16,12212\lambda_7 + 16,88582\lambda_8 + 33,51423\lambda_9 + 14,70958\lambda_{10} + 19,9631\lambda_{11} \\
& \leq 13\theta \\
& 12\lambda_1 + 14\lambda_2 + 25\lambda_3 + 26\lambda_4 + 8\lambda_5 + 9\lambda_6 + 27\lambda_7 + 30\lambda_8 + 31\lambda_9 + 26,5\lambda_{10} + 12\lambda_{11} \geq 12 \\
& \lambda_j \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n
\end{aligned}$$

Model çözüldüğünde $\delta_1 = 1,020378$ olarak bulunmaktadır. Diğer KVB'ler için sonuçlar Çizelge 4.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.6. Bootstrap etkinlik skorları

KVB	Bootstrap Etkinlik Skoru
1	1,020378
2	0,65422
3	0,840913
4	1,032097
5	0,320972
6	0,773133
7	1,454352
8	0,767537
9	1,186991
10	0,587243
11	1,020378

Çizelge 4.6'da elde edilen etkinlik skorları SW algoritmasının 2-6 adımlarının B kez tekrar edilmesi ile elde edilen $\hat{\delta}_{ib}^*$ Eş. 4.8 ve Eş. 4.10 kullanılarak yanlışlık miktarı ve güven aralığı elde edilir.

5. NETWORK VZA MODELLERİNDE BOOTSTRAP YAKLAŞIMI

VZA yönteminden elde edilen etkinlik skorları yanı sıra olduğu için bootstrap VZA modelleri yansız etkinlik skorları elde etmek için önerilmiştir. Literatürde geleneksel VZA modelleri için bootstrap yaklaşımı ile ilgili çok sayıda çalışmaya rastlanmasına rağmen, Network VZA modelleri için herhangi bir gelişme sağlanamamıştır. Bu yüzden son yıllarda VZA alanında popüler olan dinamik network VZA modellerinden elde edilen etkinlik skorları bootstrap yöntemine dayanan modeller ile elde edilmesi amaçlanmıştır. Önerilen modeller sayesinde ağ şeklindeki bir üretim sürecinin genel ve alt aşama etkinliklerine ilişkin güven aralıkları gibi istatistiksel çıkarımlar yapmak mümkün olmaktadır. Önerilen tezin, bu konuda daha önceden yapılmış çalışmalardan farklı kılan yenilik ise ağ yapısındaki sistemler için istatistiksel çerçevede etkinlik tahminlerini elde etmektir.

Girdilerin doğrudan çıktıya dönüştürülemediği, ilk aşamada ara ürünlere daha sonraki aşamada ise nihai çıktılara dönüştürüldüğü iki aşamalı VZA modelleri üçüncü bölümde detaylı bir şekilde verilmiştir. n tane KVB ve her bir KVB_j ($j = 1, \dots, n$) birinci aşama için m tane girdiye X_{ik} , ($i = 1, \dots, m$), ve q tane çıktıya Z_{pk} , ($p = 1, \dots, q$) sahiptir. Bu q tane ara ürünler, ikinci aşama için girdi olmaktadır. İkinci aşamanın s tane nihai çıktısı ise Y_{rk} , ($r = 1, \dots, s$) ile gösterilmektedir.

Bu çalışmada geleneksel tek aşamalı VZA modellerinde uygulanan SW algoritmasını literatürde yaygın olarak kullanılan ve network VZA modellerinin temelini oluşturan iki aşamalı VZA modellerine göre genişletilerek yeni bir model önerilmiştir. (x_i, z_i, y_i) girdiler, ara ürünler ve çıktılar kullanılarak orijinal genel etkinlik skorları $\{\hat{\delta}_i, i = 1, 2, \dots, n\}$ elde edilir. Elde edilen n boyutlu etkinlik skorları içinden etkin olmayan M birimin etkinlik skoru $\{\hat{\delta}_1, \hat{\delta}_2, \dots, \hat{\delta}_M\}$ Silverman (1986)'ın yansıma yöntemi sayesinde 1'in etrafında simetrik bir küme oluşturur. $M < n$ olmak üzere her $i = 1, 2, \dots, M$ için $\hat{\delta}_i > 1$ ise $2M$ yansıma kümesi $\{2 - \hat{\delta}_1, 2 - \hat{\delta}_2, \dots, 2 - \hat{\delta}_M, \hat{\delta}_1, \hat{\delta}_2, \dots, \hat{\delta}_M\}$ elde edilir. Elde edilen yansıma kümesinin standart sapmasını std_{2M} ile çeyreklikler arası açıklığını ise $IQRr_{2M}$ ile gösterilmektedir. Simar ve Wilson (2006) algoritmasında kullanılan bant genişliğini elde etmek için ise normal referans kuralı olarak bilinen Eş. 5.1'de gösterilen formül kullanılır.

$$h = 1.06 \min \left(std_{2M}, \frac{IQR_{2M}}{1.34} \right) (2M)^{-0.2} \left(\frac{2M}{n} \right) \left(\frac{std_n}{std_{2M}} \right) \quad (5.1)$$

Eş. 5.1’de std_n , orijinal genel etkinlik skorlarının standart sapmasını, n KVB sayısını ve M ise etkin olmayan KVB sayısını göstermektedir.

5.1. İki Aşamalı Sistemlerde Bootstrap Algoritması

1. (x_i, z_i, y_i) girdiler, ara ürünler ve çıktılar kullanılarak orijinal genel etkinlik skorları $\{\hat{\delta}_i, i = 1, \dots, n\}$ elde edilir.
2. Orijinal genel etkinlik skorlarının $2n$ boyutlu $\{2 - \hat{\delta}_1, 2 - \hat{\delta}_2, \dots, 2 - \hat{\delta}_n, \hat{\delta}_1, \hat{\delta}_2, \dots, \hat{\delta}_n\}$ yansıma kümesinden yerine koyarak n boyutlu rasgele örnek çekilerek $\{\tilde{\delta}_i^*; i = 1, \dots, n\}$ elde edilir.
3. Bant genişliği h ile Silverman (1986), Scott (1992) ve Simonoff (1996) tarafından standart normal dağılıma sahip olan ε_i rasgele gürültü çarpılarak bootstrap yeniden örnekleme $\tilde{\delta}_i^*$ ’ya Eş. 5.2’de gösterildiği gibi ilave edilerek düzgünleştirme işlemi gerçekleştirilir.

$$\tilde{\delta}_i^* = \tilde{\delta}_i^* + h\varepsilon_i, i = 1, 2, \dots, n \quad (5.2)$$

4. Algoritmanın ikinci adımında yeniden örnekleme ile çekilen n boyutlu $\tilde{\delta}_i^*$ değerlerinin ortalaması $\bar{\delta}^*$ ve varyansı s^{*2} kullanılarak daha detaylı düzeltme işlemi Eş. 5.3’de gösterildiği gibi gerçekleştirilmektedir.

$$\delta_i^{**} = \bar{\delta}^* + \frac{\tilde{\delta}_i^* - \bar{\delta}^*}{\sqrt{1 + h^2/s^{*2}}}, i = 1, 2, \dots, n \quad (5.3)$$

5. Son düzeltme işleminden sonra etkinlik skoru 1’den küçük olan skorları Eş. 5.4’de ki yansıtma işlemi gerçekleştirilerek 1’den büyük değer alması sağlanır.

$$\delta_i^* = \begin{cases} 2 - \delta_i^{**}, & \delta_i^{**} < 1 \\ \delta_i^{**}, & \text{diğer durumlar} \end{cases} \quad (5.4)$$

6. $\mathcal{X}^*$ bootstrap örneğini elde etmek için algoritmanın 5. adımında elde edilen skorların (δ_i^*) orijinal etkinlik skorlarına ($\hat{\delta}_i$) bölünmesi ile elde edilen $\left(\frac{\delta_i^*}{\hat{\delta}_i}\right)$ katsayı girdi yönlü modellerde Eş. 5.5. ile gösterilen girdi değişkenleri ile çıktı yönlü modellerde ise Eş. 5.6. ile gösterilen çıktı değişkenleri ile çarpılarak $\mathcal{X}_i^* = (X_i^*, Z_i^*, Y_i^*)$ değerleri elde edilir.

$$\mathcal{X}^* = \left\{ (X_i^*, Z_i^*, Y_i^*) \mid X_i^* = \frac{\delta_i^*}{\hat{\delta}_i} X_i, Z_i^* = \frac{\delta_i^*}{\hat{\delta}_i} Z_i, Y_i^* = Y_i, i = 1, 2, \dots, n \right\} \quad (5.5)$$

$$\mathcal{X}^* = \left\{ (X_i^*, Z_i^*, Y_i^*) \mid X_i^* = X_i, Z_i^* = \frac{\delta_i^*}{\hat{\delta}_i} Z_i, Y_i^* = \frac{\delta_i^*}{\hat{\delta}_i} Y_i, i = 1, 2, \dots, n \right\} \quad (5.6)$$

Algoritmanın 2-6 adımları B kez tekrar edilerek $\mathcal{X}_B^*$ bootstrap örneği elde edilir. Elde edilen örneklerin güven aralıkları ise Eş. 5.8'de gösterildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$Bias(\widehat{E}_{0i}^*) = E(\widehat{E}_{0ib}^*) - \widehat{E}_{0i} = B^{-1} \sum_{b=1}^B \widehat{E}_{0ib}^* - \widehat{E}_{0i} \quad (5.7)$$

$$E_{0i}^{**} = \widehat{E}_{0i} - Bias(\widehat{E}_{0i}^*) = 2\widehat{E}_{0i} - B^{-1} \sum_{b=1}^B \widehat{E}_{0ib}^*$$

$$Prob(-a_\alpha^* \leq \widehat{E}_{0ib}^*(X, Y) - \widehat{E}_{0i}(X, Y) \leq -b_\alpha^* \mid \mathcal{X}_B^*) = 1 - \alpha \quad (5.8)$$

$$\widehat{E}_{0i}(X, Y) + a_\alpha^* \leq E_0(X, Y) \leq \widehat{E}_{0i}(X, Y) + b_\alpha^*$$

Her bootstrap örneğinde elde edilen $\mathcal{X}^* = \{(X_i^*, Z_i^*, Y_i^*)\}$ ikinci bölümde detaylı olarak verilen network VZA modelleri B kez çalıştırılarak $\hat{\delta}_{ib}^*$ ($b = 1, \dots, B$) elde edilir. Örneğin çarpımsal iki aşamalı VZA modeli bootstrap yaklaşımı Eş. 5.9'da gösterildiği gibidir.

$$E_k = \max \sum_{r=1}^S u_r Y_{rk} \quad (5.9)$$

$$\sum_{i=1}^m v_i X_{ik} = 1$$

$$\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj}^* - \sum_{i=1}^m v_i X_{ij}^* \leq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$\sum_{p=1}^q w_p Z_{pj}^* - \sum_{i=1}^m v_i X_{ij}^* \leq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj}^* - \sum_{p=1}^q w_p Z_{pj}^* \leq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$u_r, v_i, w_p \geq \varepsilon, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad r = 1, 2, \dots, s \quad p = 1, 2, \dots, q$$

Modelin çözülmesi ile elde edilen ağırlıklar sayesinde genel etkinlik skoru, birinci aşama ve ikinci aşama etkinlik skoru ise Eş. 5.10 ile elde edilir.

$$\begin{aligned} E_k^0 &= \sum_{r=1}^s u_r^* Y_{rk} / \sum_{i=1}^m v_i^* X_{ik} \\ E_k^1 &= \sum_{p=1}^q w_p^* Z_{pk} / \sum_{i=1}^m v_i^* X_{ik} \\ E_k^2 &= \sum_{r=1}^s u_r^* Y_{rk} / \sum_{p=1}^q w_p^* Z_{pk} \end{aligned} \tag{5.10}$$

Simar ve Wilson tarafından önerilen B=2000 tekrardan elde edilen $\widehat{E}_{ib}^{0*}$ yardımı ile yanlılık ve Bootstrap etkinlik skorları Eş. 5.7’de ve güven aralığı ise Eş. 5.8’de gösterildiği gibi elde edilir.

5.2. Dinamik İki Aşamalı Sistemlerde Bootstrap Algoritması

Kao ve Hwang (2014) iki aşamalı Dinamik Network VZA modeli için çarpımsal model yaklaşımını önermiştir. Bölüm 3’de detaylı olarak ifade edilen $X_{ij}^{(t)}$, t. periyottaki j. KVB’nin girdilerini, $Z_{pj}^{(t)}$, t. periyottaki j. KVB’nin ara ürünlerini, ve $Y_{rj}^{(t)}$, t. periyottaki j. KVB’nin çıktılarını ayrıca $X_{ij} = \sum_{t=1}^T X_{ij}^{(t)}$, $Z_{pj} = \sum_{t=1}^T Z_{pj}^{(t)}$ ve $Y_{rj} = \sum_{t=1}^T Y_{rj}^{(t)}$ göstermek üzere

çarpımsal iki aşamalı Dinamik VZA modeli bootstrap yaklaşımı Eş. 5.11’de gösterildiği gibidir.

$$\begin{aligned}
E_k &= \max \sum_{r=1}^s u_r Y_{rk} \\
\sum_{i=1}^m v_i X_{ik} &= 1 \\
\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj}^{*(t)} - \sum_{i=1}^m v_i X_{ij}^{*(t)} &\leq 0 \\
\sum_{p=1}^q w_p Z_{pj}^{*(t)} - \sum_{i=1}^m v_i X_{ij}^{*(t)} &\leq 0 \\
\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj}^{*(t)} - \sum_{p=1}^q w_p Z_{pj}^{*(t)} &\leq 0 \\
u_r, v_i, w_p &\geq \varepsilon, \quad i = 1, \dots, m \quad r = 1, 2, \dots, s \quad p = 1, 2, \dots, q
\end{aligned} \tag{5.11}$$

Eş. 5.11’in çözümü ile elde edilen ağırlıklar sayesinde sistemin Eş. 5.12 yardımı ile T periyotlardaki genel skoru E_k ile süreçleri ise E_k^1 ve E_k^2 ile elde edilirken t. periyottaki genel skoru $E_k^{(t)}$ ile süreçleri ise $E_k^{1(t)}$ ve $E_k^{2(t)}$ ile elde edilmektedir. Simar ve Wilson tarafından önerilen B=2000 tekrardan elde edilen $\widehat{E}_{ib}^{0*}$ yardımı ile yanlılık ve Bootstrap etkinlik skorları önceki bölümde gösterildiği gibi elde edilir.

$$\begin{aligned}
E_k &= \sum_{r=1}^s u_r^* Y_{rk} / \sum_{i=1}^m v_i^* X_{ik} & E_k^{(t)} &= \sum_{r=1}^s u_r^* Y_{rk}^{(t)} / \sum_{i=1}^m v_i^* X_{ik}^{(t)} \\
E_k^1 &= \sum_{p=1}^q w_p^* Z_{pk} / \sum_{i=1}^m v_i^* X_{ik} & E_k^{1(t)} &= \sum_{p=1}^q w_p^* Z_{pk}^{(t)} / \sum_{i=1}^m v_i^* X_{ik}^{(t)} \\
E_k^2 &= \sum_{r=1}^s u_r^* Y_{rk} / \sum_{p=1}^q w_p^* Z_{pk} & E_k^{2(t)} &= \sum_{r=1}^s u_r^* Y_{rk}^{(t)} / \sum_{p=1}^q w_p^* Z_{pk}^{(t)}
\end{aligned} \tag{5.12}$$

5.3. Önerilen Modelin Gerçek Hayat Problemlerine Uygulanması

Önerilen iki aşamalı üretim sistemleri için bootstrap yaklaşımı hem statik veri setlerine hem de dinamik veri setlerine uygulanabilmektedir. Önerilen modelin literatürde yaygın olarak uygulanan modeller ile karşılaştırılması için gerçek hayat problemlerine uygulanmıştır.

5.3.1. PCB firmaları örneği

Tayvan baskılı devre kartı (PCB) üreten firmalarının üretim süreçleri iki alt sürece (üretim ve kar kazançları) ayrılarak performansı Liu ve Wang (2009) tarafından incelenmiştir. Tayvan’da faaliyet gösteren 17 firmanın ilk aşamasına ait girdiler: çalışan sayısı (X1), işletme maliyeti (X2) ve Ar-Ge maliyeti (X3) ayrıca bu aşamanın çıktıları (ikinci aşamanın girdileri) üretilen toplam ürün miktarı (Z1) ve satış tutarı (Z2)’dir. İkinci aşamanın tek nihai çıktısı ise işletme geliri (Y1)’dir. Çalışmada kullanılan firmalara ait veri seti Ek-3’de gösterilmiştir.

Önerilen bootstrap modelinin karşılaştırılması için literatürde sıklıkla uygulanan Kao ve Hwang (2008) tarafından önerilen çarpımsal modeli (Eş. 3.5) ile Kao ve Liu (2019) tarafından önerilen iki aşamalı çapraz etkinlik modeli (Eş. 3.17) Tayvan PCB veri setine uygulanarak etkinlik skorları ve sıralamalar Çizelge 5.1’de verilmiştir. Geleneksel VZA modellerinde uygulandığı gibi iki aşamalı VZA modellerinde de bootstrap algoritması her bootstrap tekrarı $b = 1, \dots, B$ için n kez uygulanır. Önerilen bootstrap algoritmasının $B=2000$ kez tekrar edilmesi ile Çizelge 5.2’de gösterilen genel etkinlik skorları ve güven aralıkları elde edilmiştir.

Çizelge 5.1. PCB firmaları için çarpımsal ve çapraz etkinlik skorları

Firma	Eş. 3.5 Modeli			Eş.3.17 Modeli		
	E0 Skor (Sıra)	E1 Skor (Sıra)	E2 Skor (Sıra)	E0 Skor (Sıra)	E1 Skor (Sıra)	E2 Skor (Sıra)
1	0,2177 (12)	0,9659 (7)	0,2254 (12)	0,1782 (12)	0,8612 (8)	0,2069 (11)
2	0,1950 (13)	1,0000 (4)	0,1950 (14)	0,1700 (13)	0,9529 (4)	0,1784 (14)
3	0,4672 (6)	0,8614 (11)	0,5424 (5)	0,3938 (5)	0,7715 (11)	0,5105 (5)
4	0,5495 (4)	0,9039 (9)	0,6079 (4)	0,3223 (7)	0,6270 (15)	0,5141 (4)
5	0,9642 (1)	0,9642 (8)	1,0000 (1)	0,7395 (2)	0,8238 (9)	0,8977 (1)
6	0,4591 (7)	1,0000 (3)	0,4591 (7)	0,3824 (6)	0,9292 (5)	0,4115 (7)
7	0,1123 (15)	0,6978 (15)	0,1609 (15)	0,1014 (15)	0,7059 (13)	0,1437 (15)
8	0,0319 (17)	0,5649 (17)	0,0565 (16)	0,0224 (17)	0,4428 (17)	0,0507 (16)

Çizelge 5.1. (devam) PCB firmaları için çarpımsal ve çapraz etkinlik skorları

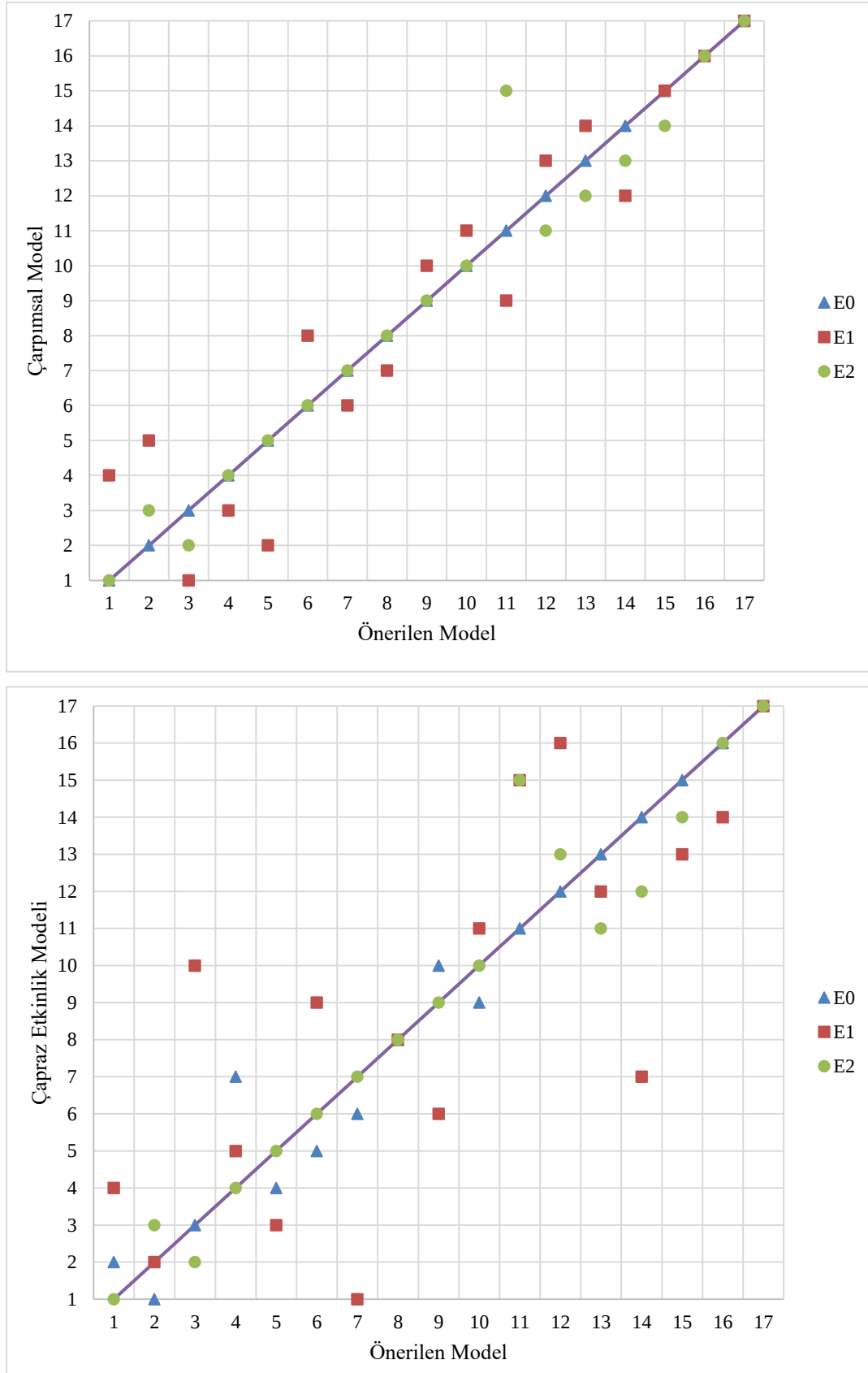
Firma	Eş. 3.5 Modeli			Eş.3.17 Modeli		
	E0 Skor (Sıra)	E1 Skor (Sıra)	E2 Skor (Sıra)	E0 Skor (Sıra)	E1 Skor (Sıra)	E2 Skor (Sıra)
9	0,3186 (9)	0,7597 (13)	0,4194 (8)	0,2277 (10)	0,6051 (16)	0,3763 (8)
10	0,6689 (3)	0,7539 (14)	0,8871 (2)	0,5662 (3)	0,7636 (12)	0,7414 (2)
11	0,3503 (8)	1,0000 (5)	0,3503 (9)	0,3063 (8)	1,1258 (2)	0,2721 (9)
12	0,2523 (10)	0,9780 (6)	0,2580 (11)	0,2299 (9)	1,1683 (1)	0,1968 (13)
13	0,1431 (14)	0,6430 (16)	0,2226 (13)	0,1275 (14)	0,6386 (14)	0,1996 (12)
14	0,0519 (16)	1,0000 (1)	0,0519 (17)	0,0323 (16)	0,7718 (10)	0,0418 (17)
15	0,7917 (2)	1,0000 (2)	0,7917 (3)	0,7703 (1)	1,1229 (3)	0,6860 (3)
16	0,2308 (11)	0,7738 (12)	0,2983 (10)	0,2182 (11)	0,8786 (7)	0,2484 (10)
17	0,4747 (5)	0,8798 (10)	0,5396 (6)	0,4044 (4)	0,8841 (6)	0,4574 (6)

Çizelge 5.2. PCB firmaları için önerilen bootstrap yaklaşımı sonuçları

KVB	Genel Etkinlik (E0)		Birinci Aşama (E1)		İkinci Aşama (E2)	
	Skor (Sıra)	Güven Aralığı	Skor (Sıra)	Güven Aralığı	Skor (Sıra)	Güven Aralığı
1	0,2094 (12)	[0,1451 - 0,4733]	0,9607 (8)	[0,9485 - 1,1191]	0,2188 (13)	[0,1510 - 0,4990]
2	0,1907 (13)	[0,1316 - 0,4261]	1,0051 (1)	[1,0000 - 1,0000]	0,1900 (15)	[0,1306 - 0,4261]
3	0,4526 (6)	[0,3139 - 1,0218]	0,8610 (10)	[0,8479 - 0,9022]	0,5279 (5)	[0,3635 - 1,2018]
4	0,5049 (4)	[0,3600 - 1,1536]	0,8421 (11)	[0,8247 - 0,9039]	0,6005 (4)	[0,4063 - 1,9339]
5	0,9126 (1)	[0,6419 - 2,0643]	0,9788 (6)	[0,9642 - 1,1298]	0,9372 (1)	[0,6589 - 2,1408]
6	0,4190 (7)	[0,3002 - 0,9455]	1,0005 (4)	[1,0000 - 1,0000]	0,4189 (7)	[0,2996 - 0,9455]
7	0,1077 (15)	[0,0742 - 0,2415]	0,7070 (15)	[0,6953 - 0,8037]	0,2849 (11)	[0,1060 - 0,3473]
8	0,0295 (17)	[0,0210 - 0,0685]	0,5701 (17)	[0,5649 - 0,6054]	0,0554 (16)	[0,0368 - 0,1214]
9	0,3005 (9)	[0,2111 - 0,6821]	0,7847 (12)	[0,7597 - 0,9210]	0,3862 (8)	[0,2742 - 0,8979]
10	0,6550 (3)	[0,4540 - 1,4799]	0,7578 (13)	[0,7539 - 0,7686]	0,8653 (3)	[0,5996 - 1,9629]
11	0,3435 (8)	[0,2382 - 0,7750]	1,0029 (2)	[1,0000 - 1,0380]	0,3426 (9)	[0,2382 - 0,7750]
12	0,2471 (10)	[0,1713 - 0,5582]	0,9767 (7)	[0,9569 - 1,0202]	0,2530 (12)	[0,1756 - 0,5707]
13	0,1349 (14)	[0,0943 - 0,3053]	0,6572 (16)	[0,6395 - 0,7254]	0,2065 (14)	[0,1462 - 0,4775]
14	0,0507 (16)	[0,0352 - 0,1149]	1,0019 (3)	[1,0000 - 1,0282]	0,0506 (17)	[0,0352 - 0,1149]
15	0,7362 (2)	[0,5186 - 1,6354]	1,0003 (5)	[1,0000 - 1,0000]	0,8937 (2)	[0,5186 - 1,6354]
16	0,2162 (11)	[0,1525 - 0,4954]	0,7114 (14)	[0,6746 - 0,8515]	0,3079 (10)	[0,2033 - 1,1692]
17	0,4574 (5)	[0,3185 - 1,0349]	0,8846 (9)	[0,8756 - 0,9452]	0,5177 (6)	[0,3618 - 1,1763]

Çizelge 5.2’de genel ve alt aşamaların etkinlik skorları Çizelge 5.1’de gösterilen çarpımsal ve çapraz etkinlik skorları ile hem skorlar açısından hem de sıralamalar açısından oldukça benzer olduğu gözlemlenmektedir. Önerilen modelinin genel etkinlik sıralamaları çarpımsal model ile sıralamaları ile aynı olup çapraz etkinlik modeli ile sıralamalarında ise yalnızca 8 firma için değişiklik gösterdiği ancak bu sıralamaların birer sıra ilerlemesi ya da gerilemesi

şeklinde olmuştur. Önerilen modelin hem çarpımsal model ile hem de çapraz etkinlik modeli ile arasındaki ilişkiyi göstermek için Şekil 5.1. verilmiştir. Buna göre çarpımsal model ile önerilen modelin genel etkinlik ve alt aşamalar için sıralaması oldukça birbirine yakın olduğu gözlemlenirken, çapraz etkinlik modeli ile önerilen modelinin yalnızca birinci aşamasına ait sıralamalarda bazı KVB'lerin sıralamasının farklılaştığı görülmektedir.



Şekil 5.1. PCB firmaları için önerilen modelin sıralamalarının karşılaştırılması

Önerilen bootstrap modelinin sağlamlığını doğrulamak için Spearman'ın sıra korelasyon testi uygulanmış olup korelasyon katsayıları ve p-değerleri Çizelge 5.3'de yer almaktadır. Korelasyon katsayıları 0.77 ile 0.99 arasında değişmektedir ve bu da % 0.1 anlamlılık düzeyinde bile modeller arasında güçlü bir pozitif ilişki olduğunu göstermektedir.

Çizelge 5.3. PCB firmaları için modeller arasındaki korelasyonlar

<i>Genel Etkinlik (E0)</i>	<i>Çarpımsal Model</i>	<i>Çapraz Etkinlik</i>	<i>Önerilen Model</i>
Çarpımsal Model		0,980** (0,000)	1,000** (0,000)
Çapraz Etkinlik	0,980** (0,000)		0,980** (0,000)
Önerilen Model	1,000** (0,000)	0,980** (0,000)	
<i>Birinci Aşama (E1)</i>	<i>Çarpımsal Model</i>	<i>Çapraz Etkinlik</i>	<i>Önerilen Model</i>
Çarpımsal Model		0,777** (0,000)	0,965** (0,000)
Çapraz Etkinlik	0,777** (0,000)		0,745** (0,001)
Önerilen Model	0,965** (0,000)	0,745** (0,001)	
<i>İkinci Aşama (E2)</i>	<i>Çarpımsal Model</i>	<i>Çapraz Etkinlik</i>	<i>Önerilen Model</i>
Çarpımsal Model		0,993** (0,000)	0,973** (0,000)
Çapraz Etkinlik	0,993** (0,000)		0,966** (0,000)
Önerilen Model	0,973** (0,000)	0,966** (0,000)	

** % 1 düzeyinde korelasyon anlamlıdır.

5.3.2. Sigorta firmaları örneği

Sigorta endüstrisinin çoğunluğu tüm üretim süreci prim edinimi ve kar üretimi olmak üzere iki alt sürece ayrılabilir. Birinci aşamadaki etkinlik, sigorta hizmetinin pazarlanmasındaki performansı ölçerken, ikinci aşamadaki etkinlik ise primlerden kar elde etmedeki performansı ölçmektedir. Kao ve Hwang (2008) tarafından ve literatürde bir çok çalışmada da sıklıkla uygulanan Tayvan'daki 24 sigorta şirketinin değişkenleri şöyledir: ilk aşamada kullanılan girdiler işletme giderleri (X1) ve sigorta giderleri (X2) olmak üzere çıktılar doğrudan yazılı primler (Z1) (sigortalı müşterilerden alınan primler) ve reasürans primleri (Z2) (şirketlerden alınan primler)'dir. Birinci aşamanın çıktıları aynı zamanda ikinci aşamanın girdisi olarak ikinci aşamanın etkinliğinin hesaplanmasında kullanılmaktadır. İkinci aşamanın nihai çıktıları ise sigortacılıktan kazanılan kar (Y1) ve yatırım portföyünden kazanılan kar (Y2)'dir. Şirketlere ait veriler Ek-1'de gösterilmiştir. Bu gerçek hayat problemi için de çarpımsal model (Eş. 3.5) ve çapraz etkinlik modeli (Eş. 3.17) uygulanarak sonuçlar Çizelge 5.4'de verilmiştir. Önerilen bootstrap iki aşamalı modelin sonuçları ise Çizelge 5.5'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.4. Sigorta şirketleri için çarpımsal ve çapraz etkinlik sonuçları

Firma	Eş 3.5 Modeli			Eş 3.17 Modeli		
	E0 Skor (Sıra)	E1 Skor (Sıra)	E2 Skor (Sıra)	E0 Skor (Sıra)	E1 Skor (Sıra)	E2 Skor (Sıra)
1	0,6992 (3)	0,9926 (6)	0,7045 (5)	0,5820 (2)	0,9010 (3)	0,6450 (6)
2	0,6248 (5)	0,9985 (5)	0,6257 (6)	0,4320 (7)	0,8160 (6)	0,5290 (10)
3	0,6900 (4)	0,6900 (16)	1,0000 (1)	0,5450 (4)	0,6260 (16)	0,8700 (3)
4	0,3042 (15)	0,7243 (15)	0,4200 (13)	0,2080 (19)	0,5330 (24)	0,3910 (13)
5	0,7670 (1)	0,8307 (12)	0,9233 (3)	0,6460 (1)	0,7320 (11)	0,8830 (2)
6	0,3897 (12)	0,9606 (7)	0,4057 (17)	0,2980 (12)	0,8010 (8)	0,3720 (15)
7	0,2766 (17)	0,6706 (18)	0,4124 (15)	0,2440 (15)	0,6000 (17)	0,4070 (12)
8	0,2752 (18)	0,6630 (20)	0,4150 (14)	0,2420 (16)	0,6450 (14)	0,3750 (14)
9	0,2233 (20)	1,0000 (1)	0,2233 (24)	0,1940 (20)	0,8830 (4)	0,2200 (22)
10	0,4660 (9)	0,8615 (10)	0,5408 (10)	0,3380 (9)	0,5690 (21)	0,5930 (7)
11	0,1639 (23)	0,6468 (21)	0,2534 (23)	0,0730 (24)	0,6710 (13)	0,1090 (24)
12	0,7596 (2)	1,0000 (1)	0,7596 (4)	0,5680 (3)	0,8210 (5)	0,6920 (5)
13	0,2078 (21)	0,6720 (17)	0,3093 (21)	0,1780 (21)	0,7190 (12)	0,2480 (21)
14	0,2886 (16)	0,6699 (19)	0,4309 (12)	0,2530 (14)	0,5990 (19)	0,4220 (11)
15	0,6138 (6)	1,0000 (1)	0,6138 (7)	0,4900 (6)	0,9050 (2)	0,5410 (9)
16	0,3202 (14)	0,8856 (9)	0,3615 (18)	0,2670 (13)	0,8160 (7)	0,3270 (16)
17	0,3600 (13)	0,6276 (22)	0,5736 (9)	0,3240 (10)	0,5570 (22)	0,5810 (8)
18	0,2588 (19)	0,7935 (13)	0,3262 (19)	0,2270 (17)	0,7470 (10)	0,3030 (18)
19	0,4112 (11)	1,0000 (1)	0,4112 (16)	0,3120 (11)	0,9770 (1)	0,3190 (17)
20	0,5465 (8)	0,9332 (8)	0,5857 (8)	0,4250 (8)	0,5960 (20)	0,7140 (4)
21	0,2008 (22)	0,7321 (14)	0,2743 (22)	0,1590 (22)	0,5990 (18)	0,2660 (20)
22	0,5895 (7)	0,5895 (23)	1,0000 (1)	0,5270 (5)	0,5430 (23)	0,9690 (1)
23	0,4203 (10)	0,8426 (11)	0,4989 (11)	0,2260 (18)	0,7800 (9)	0,2890 (19)
24	0,1348 (24)	0,4287 (24)	0,3145 (20)	0,0840 (23)	0,6310 (15)	0,1340 (23)

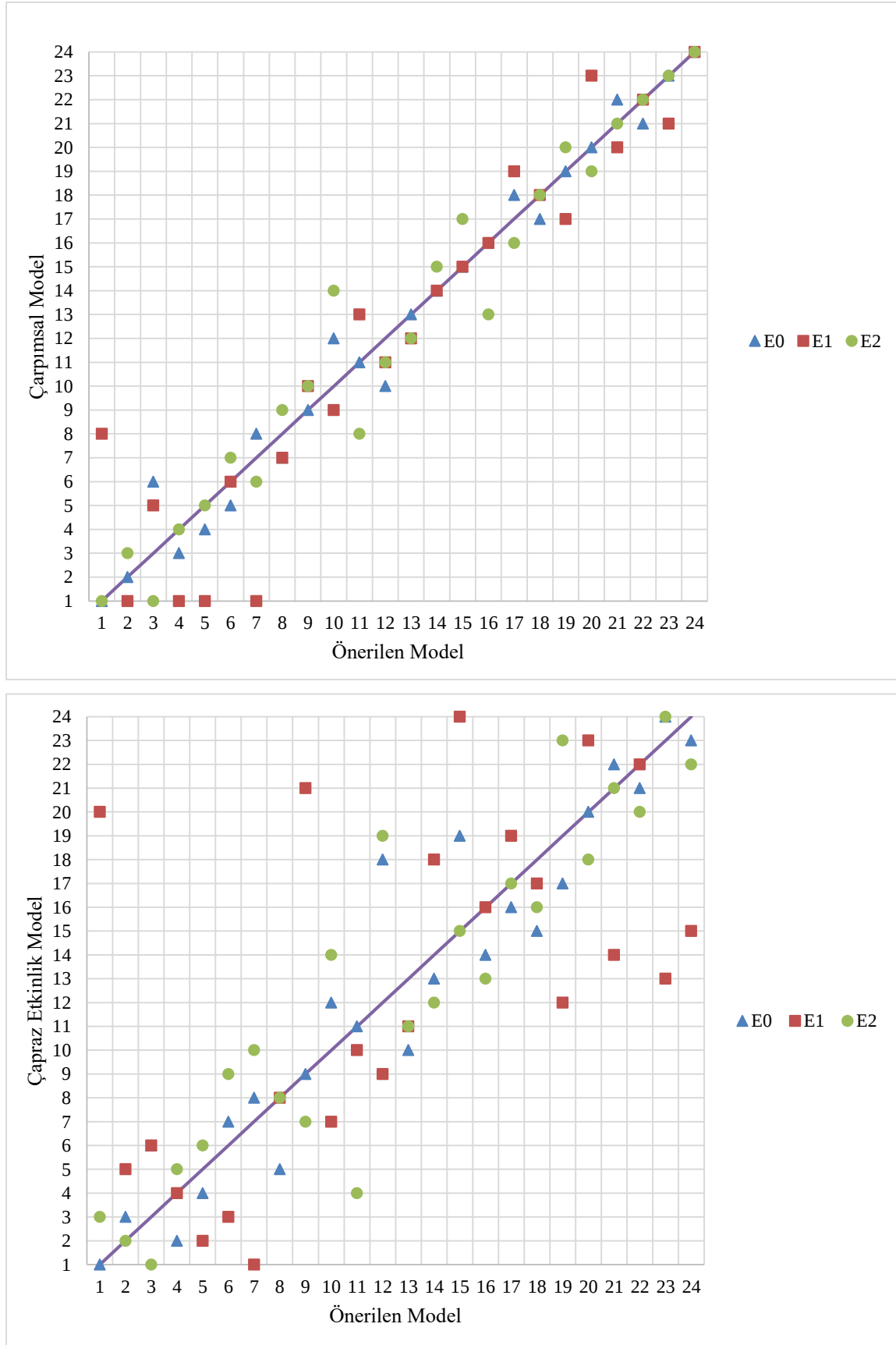
Çizelge 5.5. Sigorta şirketleri için önerilen bootstrap yaklaşımı sonuçları

KVB	Genel Etkinlik (E0)		Birinci Aşama (E1)		İkinci Aşama (E2)	
	Skor (Sıra)	Güven Aralığı	Skor (Sıra)	Güven Aralığı	Skor (Sıra)	Güven Aralığı
1	0,7094 (4)	[0,5329 - 1,0615]	1,0050 (6)	[0,9926 - 1,1075]	0,7130 (5)	[0,5329 - 1,0695]
2	0,6417 (6)	[0,4872 - 0,9572]	1,0154 (3)	[0,9985 - 1,1216]	0,6370 (7)	[0,4796 - 0,9427]
3	0,6718 (5)	[0,5122 - 1,0635]	0,7004 (16)	[0,6900 - 0,7669]	0,9723 (1)	[0,7362 - 1,5413]
4	0,3123 (15)	[0,2373 - 0,4684]	0,7441 (15)	[0,7243 - 0,8848]	0,4241 (16)	[0,3188 - 0,6366]
5	0,7896 (1)	[0,5925 - 1,1405]	0,8393 (13)	[0,8239 - 0,9968]	0,9514 (2)	[0,6968 - 1,3730]
6	0,4365 (10)	[0,3130 - 0,7392]	0,9827 (8)	[0,9576 - 1,0159]	0,4456 (15)	[0,3230 - 0,6928]
7	0,2869 (18)	[0,2190 - 0,4003]	0,6398 (18)	[0,6051 - 0,7021]	0,4569 (14)	[0,3287 - 0,7259]

Çizelge 5.5. (devam) Sigorta şirketleri için önerilen bootstrap yaklaşımı sonuçları

KVB	Genel Etkinlik (E0)		Birinci Aşama (E1)		İkinci Aşama (E2)	
	Skor (Sıra)	Güven Aralığı	Skor (Sıra)	Güven Aralığı	Skor (Sıra)	Güven Aralığı
8	0,2971 (17)	[0,2175 - 0,4594]	0,6236 (21)	[0,6104 - 0,7138]	0,4897 (10)	[0,3338 - 0,8581]
9	0,2412 (20)	[0,1788 - 0,3721]	1,0128 (4)	[1,0000 - 1,2745]	0,2399 (24)	[0,1753 - 0,3721]
10	0,4916 (9)	[0,3715 - 0,7059]	0,9049 (9)	[0,8615 - 1,2207]	0,5476 (9)	[0,4119 - 0,7877]
11	0,1641 (23)	[0,1134 - 0,3938]	0,6010 (23)	[0,5741 - 0,6468]	0,2780 (23)	[0,1828 - 0,6413]
12	0,7842 (2)	[0,5824 - 1,1665]	1,0383 (2)	[1,0000 - 1,1167]	0,7626 (4)	[0,5718 - 1,1533]
13	0,1943 (22)	[0,1403 - 0,4393]	0,6310 (19)	[0,5738 - 0,9518]	0,3078 (21)	[0,2129 - 0,6592]
14	0,3024 (16)	[0,2300 - 0,4278]	0,6477 (17)	[0,6229 - 0,6820]	0,4740 (13)	[0,3436 - 0,7357]
15	0,7146 (3)	[0,4958 - 1,2778]	1,0107 (5)	[1,0000 - 1,1536]	0,7118 (6)	[0,4897 - 1,2778]
16	0,3580 (14)	[0,2577 - 0,5979]	0,8807 (10)	[0,8650 - 0,9823]	0,4122 (18)	[0,2883 - 0,7148]
17	0,3698 (13)	[0,2688 - 0,5688]	0,6105 (22)	[0,5543 - 0,8359]	0,6088 (8)	[0,4239 - 1,2189]
18	0,2692 (19)	[0,2052 - 0,3783]	0,8742 (11)	[0,7935 - 0,9867]	0,3116 (20)	[0,2444 - 0,4345]
19	0,4155 (11)	[0,2943 - 0,7999]	1,0004 (7)	[1,0000 - 1,0000]	0,4108 (17)	[0,2941 - 0,7999]
20	0,5529 (7)	[0,3893 - 1,1262]	1,4059 (1)	[0,9332 - 3,2296]	0,4811 (11)	[0,3655 - 0,9802]
21	0,2277 (21)	[0,1570 - 0,5206]	0,8082 (14)	[0,7146 - 1,0958]	0,2794 (22)	[0,2052 - 0,4638]
22	0,5204 (8)	[0,3843 - 1,4039]	0,6265 (20)	[0,5895 - 0,8516]	0,8442 (3)	[0,6365 - 2,3814]
23	0,4100 (12)	[0,3122 - 0,6479]	0,8580 (12)	[0,8352 - 1,1041]	0,4848 (12)	[0,3657 - 0,7689]
24	0,1431 (24)	[0,1025 - 0,2339]	0,3908 (24)	[0,2930 - 0,4636]	0,3983 (19)	[0,2432 - 1,9425]

Çizelge 5.4 ve 5.5’den önerilen model ile çarpımsal ve çapraz etkinlik modelinin hem skorları hem de sıralamaları oldukça benzer olduğu gözlemlenmektedir. Önerilen modelinin genel etkinlik sıralamaları Kao ve Hwang (2008) çarpımsal modeli ve Kao ve Liu (2019) çapraz etkinlik modeli ile sıralamaları ile benzerdir. Önerilen modelin hem çarpımsal model ile hem de çapraz etkinlik modeli ile arasındaki ilişkiyi göstermek için Şekil 5.2. verilmiştir. Buna göre çarpımsal model ile önerilen modelin genel etkinlik ve alt aşamalar için sıralaması oldukça birbirine yakın olduğu gözlemlenirken, çapraz etkinlik modeli ile önerilen modelinin yalnızca birinci aşamasına ait sıralamalarda bazı KVB’lerin sıralamasının farklılaştığı görülmektedir.



Şekil 5.2. Sigorta şirketleri için önerilen modelin sıralamalarının karşılaştırılması

Önerilen bootstrap modelinin sağlamlığını doğrulamak için Spearman'ın sıra korelasyon testi uygulanmıştır. Çizelge 5.6'da korelasyon katsayıları ve p-değerleriyle (parantez içerisinde) test sonuçlarını yer almaktadır. % 1 anlamlılık düzeyinde korelasyon katsayıları 0.56 ile 0.99 arasında değişmektedir ve bu da modeller arasında güçlü bir pozitif ilişki olduğunu göstermektedir.

Çizelge 5.6. Sigorta şirketleri için modellerin korelasyonları

<i>Genel Etkinlik (E0)</i>	<i>Çarpımsal Model</i>	<i>Çapraz Etkinlik</i>	<i>Önerilen Model</i>
Çarpımsal Model		0,949** (0,000)	0,989** (0,000)
Çapraz Etkinlik	0,949** (0,000)		0,950** (0,000)
Önerilen Model	0,989** (0,000)	0,950** (0,000)	
<i>Birinci Aşama (E1)</i>	<i>Çarpımsal Model</i>	<i>Çapraz Etkinlik</i>	<i>Önerilen Modeli</i>
Çarpımsal Model		0,731** (0,000)	0,951** (0,000)
Çapraz Etkinlik	0,731** (0,000)		0,565** (0,004)
Önerilen Model	0,951** (0,000)	0,565** (0,004)	
<i>İkinci Aşama (E2)</i>	<i>Çarpımsal Model</i>	<i>Çapraz Etkinlik</i>	<i>Önerilen Modeli</i>
Çarpımsal Model		0,933** (0,000)	0,973** (0,000)
Çapraz Etkinlik	0,933** (0,000)		0,903** (0,000)
Önerilen Model	0,973** (0,000)	0,903** (0,000)	

** % 1 düzeyinde korelasyon anlamlıdır.

5.3.3. Sigorta firmaları örneği (Dinamik veri kümesi)

Kao ve Hwang (2014) tarafından ve literatürde bir çok çalışmada da sıklıkla uygulanan Tayvan'daki 21 sigorta şirketinin değişkenleri şöyledir: ilk aşamada kullanılan girdiler işletme giderleri (X1) ve sigorta giderleri (X2) olmak üzere çıktılar doğrudan yazılı primler (Z1) (sigortalı müşterilerden alınan primler) ve reasürans primleri (Z2) (şirketlerden alınan primler)'dir. Birinci aşamanın çıktıları aynı zamanda ikinci aşamanın girdisi olarak ikinci aşamanın etkinliğinin hesaplanmasında kullanılmaktadır. İkinci aşamanın nihai çıktıları ise sigortacılıktan kazanılan kar (Y1) ve yatırım portföyünden kazanılan kar (Y2)'dir. 2000-2002 yılları arasında dinamik iki aşamalı model için kullanılan veriler Ek-4'de gösterilmiştir. Her KVB'nin yıllara göre verileri ayrı ayrı satırlarda gösterilmiştir. Ayrıca Kao ve Hwang (2014) tarafından iki farklı model önerilmiştir. Bunlardan birisi "Aggregate Model" diğeri ise "Multi-period Model" olarak isimlendirilmektedir. Karşılaştırma çizelgelerinde bu modellerin isimleri sırası ile Model A ve Model MP olarak isimlendirilmiştir.

Çizelge 5.7. Önerilen dinamik iki aşamalı bootstrap VZA modelinin sonuçları

No,	Yıl	[Periyot]	E0	E1	E2
		[t – h]			
1	2000	[00–01]	0,3825	0,8395	0,4551
1	2001	[01–02]	0,4795	0,8979	0,5335
1	2002	[00–02]	0,5404	0,9920	0,5444
2	2000	[00–01]	0,9331	0,7670	1,2088
2	2001	[01–02]	0,6689	0,8783	0,7476
2	2002	[00–02]	0,4590	0,9676	0,4686
3	2000	[00–01]	0,8188	0,7455	1,0979
3	2001	[01–02]	0,6977	0,7522	0,9274
3	2002	[00–02]	0,4512	0,8178	0,5514
4	2000	[00–01]	0,2934	0,7311	0,3994
4	2001	[01–02]	0,3990	0,8441	0,4709
4	2002	[00–02]	0,1448	0,8372	0,1723
5	2000	[00–01]	0,3650	0,7026	0,5860
5	2001	[01–02]	0,2881	0,5892	0,4924
5	2002	[00–02]	0,1447	0,6515	0,2245
6	2000	[00–01]	0,2320	0,7143	0,3243
6	2001	[01–02]	0,2565	0,6792	0,3772
6	2002	[00–02]	0,1769	0,6981	0,2528
7	2000	[00–01]	0,1530	0,6259	0,2310
7	2001	[01–02]	0,3759	0,9113	0,4074
7	2002	[00–02]	0,5440	1,0055	0,5440
8	2000	[00–01]	0,3207	0,7288	0,4325
8	2001	[01–02]	0,3077	0,8420	0,3560
8	2002	[00–02]	0,5312	0,8535	0,6066
9	2000	[00–01]	0,0640	0,4401	0,2408
9	2001	[01–02]	0,0371	0,3712	0,1026
9	2002	[00–02]	0,0784	0,3815	0,4014
10	2000	[00–01]	0,7960	1,0072	0,7891
10	2001	[01–02]	0,6266	0,9759	0,6418
10	2002	[00–02]	0,4476	0,9098	0,4909
11	2000	[00–01]	0,1100	0,7523	0,1470
11	2001	[01–02]	0,4042	0,7554	0,5324
11	2002	[00–02]	0,8460	0,7695	0,1090
12	2000	[00–01]	0,3970	0,6665	0,6290
12	2001	[01–02]	0,2463	0,5931	0,4190
12	2002	[00–02]	0,2061	0,6614	0,3111
13	2000	[00–01]	0,7189	1,0119	0,6421
13	2001	[01–02]	0,6192	0,8807	0,7016
13	2002	[00–02]	0,2823	1,0048	0,2807
14	2000	[00–01]	0,1789	0,7730	0,2300
14	2001	[01–02]	0,2961	0,7988	0,3699

Çizelge 5.7. (devam) Önerilen dinamik iki aşamalı bootstrap VZA modelinin sonuçları

No,	Yıl	[Periyot]	E0	E1	E2
		[t – h]			
14	2002	[00–02]	0,1874	0,9190	0,2045
15	2000	[00–01]	0,1019	0,5171	0,2381
15	2001	[01–02]	0,3472	0,5821	0,6072
15	2002	[00–02]	0,2249	0,5713	0,4033
16	2000	[00–01]	0,2174	0,7659	0,2816
16	2001	[01–02]	0,2127	0,6991	0,3040
16	2002	[00–02]	0,1852	0,8916	0,2057
17	2000	[00–01]	0,6558	0,6283	1,1254
17	2001	[01–02]	0,4223	0,7627	0,5731
17	2002	[00–02]	0,2800	1,0000	0,2800
18	2000	[00–01]	0,2961	0,8430	0,3481
18	2001	[01–02]	0,3566	0,6332	0,5635
18	2002	[00–02]	0,3764	0,6931	0,5429
19	2000	[00–01]	0,3856	0,5329	0,6928
19	2001	[01–02]	0,3849	0,5226	0,6962
19	2002	[00–02]	0,8776	0,6796	1,2792
20	2000	[00–01]	0,5004	1,0311	0,4933
20	2001	[01–02]	0,4049	0,9289	0,4382
20	2002	[00–02]	0,2465	0,7268	0,3388
21	2000	[00–01]	0,1172	0,1861	1,7869
21	2001	[01–02]	0,1355	0,3147	0,8420
21	2002	[00–02]	0,1078	0,3839	0,4366

Çizelge 5.8. Önerilen dinamik iki aşamalı bootstrap VZA modelinin karşılaştırılması

KVB	Önerilen Model			Model A			Model MP		
	E0	E1	E2	E0	E1	E2	E0	E1	E2
1	0,4681	0,9110	0,5134	0,6633	0,9676	0,6855	0,4174	0,9014	0,4631
2	0,6934	0,8683	0,7932	0,8469	0,9883	0,8570	0,5199	0,8478	0,6132
3	0,6523	0,7726	0,8438	0,9481	0,9481	1,0000	0,5959	0,7889	0,7553
4	0,2773	0,7958	0,3445	0,3618	0,8637	0,4189	0,2313	0,7738	0,2989
5	0,1459	0,6472	0,2334	0,2464	0,7797	0,3160	0,1365	0,6451	0,2115
6	0,2201	0,6970	0,3154	0,3009	0,7710	0,3903	0,1817	0,6914	0,2629
7	0,1180	0,8270	0,1318	0,1840	1,0000	0,1840	0,1078	0,8194	0,1315
8	0,3886	0,8097	0,4689	0,4826	0,8751	0,5515	0,2897	0,7402	0,3914
9	0,0605	0,3981	0,2526	0,2217	0,6805	0,3259	0,0539	0,5067	0,1063
10	0,6012	0,9576	0,6265	0,7897	0,9199	0,8585	0,5445	0,9374	0,5809
11	0,1336	0,7596	0,1745	0,3083	0,5684	0,5423	0,1382	0,7497	0,1844
12	0,1481	0,6414	0,2362	0,2491	0,7634	0,3263	0,1387	0,6370	0,2177
13	0,5278	0,9651	0,5237	0,6219	0,9438	0,6589	0,2921	0,9571	0,3052

Çizelge 5.8. (devam) Önerilen dinamik iki aşamalı bootstrap VZA modelinin karşılaştırılması

KVB	Önerilen Model			Model A			Model MP		
	E0	E1	E2	E0	E1	E2	E0	E1	E2
14	0,2215	0,8317	0,2654	0,3000	0,8374	0,3583	0,1818	0,8253	0,2202
15	0,2238	0,5575	0,4120	0,3395	0,7336	0,4628	0,1768	0,5792	0,3052
16	0,2034	0,7897	0,2562	0,2894	0,7948	0,3641	0,1695	0,7414	0,2286
17	0,4224	0,8295	0,5423	0,5340	1,0000	0,5340	0,2995	0,8436	0,3551
18	0,3431	0,7228	0,4725	0,6109	1,0000	0,6109	0,2801	0,6785	0,4128
19	0,5130	0,5669	0,8632	0,5874	0,5874	1,0000	0,3093	0,5388	0,5740
20	0,3722	0,8818	0,4239	0,5266	0,7394	0,7122	0,3333	0,8492	0,3925
21	0,1191	0,3109	0,8260	0,1869	0,4192	0,4459	0,0934	0,3493	0,2675

Önerilen dinamik iki aşamalı VZA modeli ile Kao ve Hwang (2014) tarafından önerilen iki modelin sonuçları korelasyon analizi ile karşılaştırılmış sonuçları Çizelge 5.9’da gösterilmiştir. % 0.1 anlamlılık düzeyinde korelasyon katsayıları 0,62 ile 0,96 arasında değişmektedir ve bu da modeller arasında güçlü bir pozitif ilişki olduğunu göstermektedir.

Çizelge 5.9. Önerilen modelin diğer modeller ile korelasyon analizi sonuçları

<i>Genel Etkinlik (E0)</i>	<i>Model A</i>	<i>Model MP</i>	<i>Önerilen Model</i>
Model A		0,944** (0,000)	0,955** (0,000)
Model MP	0,944** (0,000)		0,965** (0,000)
Önerilen Model	0,955** (0,000)	0,965** (0,000)	
<i>Birinci Aşama (E1)</i>	<i>Model A</i>	<i>Model MP</i>	<i>Önerilen Model</i>
Model A		0,622** (0,003)	0,636** (0,002)
Model MP	0,622** (0,003)		0,977** (0,000)
Önerilen Model	0,636** (0,002)	0,977** (0,000)	
<i>İkinci Aşama (E2)</i>	<i>Model A</i>	<i>Model MP</i>	<i>Önerilen Model</i>
Model A		0,911** (0,000)	0,816** (0,000)
Model MP	0,911** (0,000)		0,868** (0,000)
Önerilen Model	0,816** (0,000)	0,868** (0,000)	

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Geleneksel VZA modelleri kara kutu adı verilen girdiler kullanılarak çıktıların üretildiği sistemleri için kullanılmaktadır. Ancak gerçek hayatta kara kutu adı verilen KVB'leri oldukça azdır. Genellikle karmaşık bir iç yapıya sahip olan KVB'nin nihai çıktıları üretmek için gerçekleşen alt işlem ya da süreçler dikkate alınmalıdır. Bu yüzden bütün alt süreçlerin ya da aşamaların etkinliğini ölçmek için Network VZA modelleri önerilmiştir. Network VZA modelinin temelinde bir KVB'nin, kendi girdi(ler) ve çıktı(lar)'na sahip heterojen iç bölümlerden ya da alt birimlerden oluşan karmaşık bir yapı vardır. Bu heterojen alt birimler bazı değişkenler ile birbirine bağlı olup bütün yapının etkinliğinin yanı sıra her bir alt aşamaların da etkinliği hesaplanabilir.

Network VZA modelleri için çarpımsal ve çapraz etkinlik yaklaşımı olmak üzere iki farklı yöntem sunulmaktadır. Çarpımsal model, Kao ve Hwang (2008) tarafından geliştirilen alt aşamaların etkinlik skorlarının çarpımı genel etkinlik skorunu verdiği model olup çapraz etkinlik modeli ise Sexton ve diğerleri'nin (1986) çapraz etkinlik modeline dayanan Kao ve Liu (2019) tarafından önerilen modeldir. Kao ve Hwang (2008) tarafından geliştirilen çarpımsal model küçük örneklerde ayırma gücü problemi ile karşı karşıya kalmaktadır. Ayrıca modelin yapısı yansız etkinlik skorlarını da elde edememektedir. Kao ve Liu (2019) tarafından önerilen çapraz etkinlik modeli ise hem ilgilenilen KVB'nin kendisi hem de diğer KVB'leri de dikkate alarak hem genel etkinlik skorunu hem de alt aşamaların etkinlik skorunu elde etmektedir. Çapraz etkinlik modeli Kao ve Hwang (2008) tarafından önerilen çarpımsal modele göre ayırma gücü problemlerinde alternatif bir çözüm olmaktadır. Fakat çapraz etkinlik modeli de yanlış etkinlik skorları elde etmektedir. Gerek çarpımsal model gerekse çapraz etkinlik modelleri ağ yapısına sahip üretim sistemlerin hem genel etkinlik skorunu hem de alt aşamaların etkinlik skorunu dezavantajlarına rağmen doğru bir şekilde tahmin ettiği için bu tez çalışmasında ilgili yaklaşımlar kullanılmıştır.

Bu tezde literatürde en yaygın uygulanan ve geliştirilen Network VZA modellerinden biri olan iki aşamalı üretim sistemlerinin aşamalarına ait etkinlik skorları arasındaki bağımlılığı ortadan kaldırmak ve ayırma gücü problemini de çözmek için hem statik hem de dinamik modeller için bootstrap'a dayalı yeni Network VZA modelleri önerilmiştir.

Tez çalışmasında bootstrap'a dayalı olarak önerilen ağ modellerinin uyumlu sonuç verip vermediğini çarpımsal ve çapraz etkinlik modelleri ile karşılaştırmak için gerçek hayat problemleri kullanılmıştır. Problemlerden ilki Tayvan baskılı devre kartı üreten firmalarının üretim süreçleri üretim ve kar kazançları olmak üzere iki alt sürece ayrılarak performansı Liu ve Wang (2009) tarafından incelenmiştir. İncelenen 17 firmanın çalışan sayısı, işletme maliyeti ve Ar-Ge maliyeti ilk aşamanın girdileridir. Firmada üretilen toplam ürün miktarı ve satış tutarları ise ilk aşamanın çıktıları olan ara ürünlerdir. İşletme gelirleri ise ikinci aşamanın çıktısı olmak üzere firmaların performansları önerilen bootstrap modeli ölçülmüştür. Kao ve Hwang (2008) tarafından önerilen çarpımsal model ve Kao ve Liu (2019) tarafından önerilen iki aşamalı çapraz etkinlik modeli ile uygulanan modelin karşılaştırması yapılmıştır. Çizelge 5.2'de sunulan önerilen modelin genel ve alt aşamaların etkinlik skorları ile Çizelge 5.1'de sunulan çarpımsal ve çapraz etkinlik skorları hem skorlar açısından hem de sıralamalar açısından oldukça benzer olduğu gözlemlenmektedir. Önerilen bootstrap modelinin diğer modeller ile ilişkisini test etmek için Spearman'ın sıra korelasyon testi uygulanmıştır. Çizelge 5.3'de sunulan sonuçlara göre önerilen model ile çapraz etkinlik modelinin genel etkinlik skorları arasında %5 anlamlılık düzeyinde 0,98 ilk aşama için 0,74 ikinci aşama için 0,96 korelasyon katsayısına sahiptir. Benzer şekilde önerilen model ile çarpımsal modelinin genel etkinlik skorları arasında %1 anlamlılık düzeyinde 1,00 ilk aşama için 0,96 ikinci aşama için 0,97 korelasyon katsayısına sahiptir. Bu durum modeller arasında güçlü bir pozitif ilişki olduğunu göstermektedir. Problemlerden diğeri Kao ve Hwang (2008) tarafından verileri paylaşılan literatürde birçok çalışmada da sıklıkla uygulanan Tayvan'daki 24 sigorta şirketinin üretim süreci, prim edinimi ve kar üretimi olmak üzere iki alt aşamaya ayrılmıştır. Şirketlerin işletme ve sigorta giderleri ilk aşamanın girdisi olmak üzere doğrudan yazılı primler ve reasürans primleri ise ilk aşamanın çıktıları olan ara ürünlerdir. Sigortacılıktan kazanılan kar ve yatırım portföyünden kazanılan kar ise ikinci aşamanın nihai çıktıları olmak üzere olmak üzere firmaların performansları önerilen bootstrap modeli ölçülmüştür. Kao ve Hwang (2008) tarafından önerilen çarpımsal model ve Kao ve Liu (2019) tarafından önerilen iki aşamalı çapraz etkinlik modeli ile uygulanan modelin karşılaştırması yapılmıştır. Çizelge 5.5'de sunulan önerilen modelin genel ve alt aşamaların etkinlik skorları ile Çizelge 5.4'de sunulan çarpımsal ve çapraz etkinlik skorları hem skorlar açısından hem de sıralamalar açısından oldukça benzer olduğu gözlemlenmektedir. Önerilen bootstrap modelinin diğer modeller ile ilişkisini test etmek için Spearman'ın sıra korelasyon testi uygulanmıştır. Çizelge 5.6'de sunulan sonuçlara göre önerilen model ile çapraz etkinlik modelinin genel etkinlik skorları arasında %5 anlamlılık düzeyinde 0,95 ilk aşama için 0,57

ikinci aşama için 0,90 korelasyon katsayısına sahiptir. Benzer şekilde önerilen model ile çarpımsal modelinin genel etkinlik skorları arasında %1 anlamlılık düzeyinde 0,99 ilk aşama için 0,95 ikinci aşama için 0,97 korelasyon katsayısına sahiptir. Bu durum modeller arasında güçlü bir pozitif ilişki olduğunu göstermektedir. Dinamik veri kümesi için ise Kao ve Hwang (2014) tarafından uygulanan Tayvan'daki 21 sigorta şirketinin performansı karşılaştırılmıştır. Analiz aşamasında kullanılan değişkenler önceki örnek ile aynı şirketlerin 2000-2002 yılları arasındaki verileri kullanılmıştır. Kao ve Hwang (2014) tarafından önerilen Model A ve Model MP ile uygulanan modelin karşılaştırması yapılmıştır. Önerilen bootstrap modelinin diğer modeller ile ilişkisini test etmek için Spearman'ın sıra korelasyon testi uygulanmıştır. Çizelge 5.9'da sunulan sonuçlara göre önerilen model ile Model A'nın genel etkinlik skorları arasında %5 anlamlılık düzeyinde 0,95 ilk aşama için 0,64 ikinci aşama için 0,82 korelasyon katsayısına sahiptir. Benzer şekilde önerilen model ile Model MP'nin genel etkinlik skorları arasında %1 anlamlılık düzeyinde 0,97 ilk aşama için 0,98 ikinci aşama için 0,87 korelasyon katsayısına sahiptir. Bu durum modeller arasında güçlü bir pozitif ilişki olduğunu göstermektedir.

Etkinlik tahmin edicilerinin yansızlık özelliğini sağlamaması gibi dezavantajları gidermek ve örnekleme sonuçlarının hassaslığının üstesinden gelmek için önerilen Network Bootstrap VZA modelleri gerçek hayat problemleri için geçerli bir model olduğu uygulamalardan görülmektedir. Önerilen modeller sayesinde ağ şeklindeki bir üretim sürecinin hem statik hem de dinamik veri kümeleri için genel ve alt aşama etkinlik skorları için başarı ile kullanılabileceği sonucuna varılabilir. Ayrıca önerilen modellere ait tamamen ayrı fonksiyonlar halinde sunulan MATLAB kodları da Ek-5'de okuyuculara sunulmuş olup karar vericiler tarafından gerçek hayat problemlerine uygulanabilir. Gelecek çalışmalar için ölçeğe göre değişen getiri varsayımına dayanan modellerin yanı sıra toplamsal model tabanlı bootstrap Network VZA modelleri önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Agasisti, T., Wolszczak-Derlacz, J. (2014). Exploring universities' efficiency differentials between countries in a multi-year perspective: an application of bootstrap DEA and Malmquist index to Italy and Poland 2001-2011. *IRLE Working Paper*, 113-1.
- Akther, S., Fukuyama, H., and Weber, W. L. (2013). Estimating two-stage network slacks-based inefficiency: An application to Bangladesh banking. *Omega*, 41(1), 88-96.
- Banker, R. D., Charnes, A., and Cooper, W. W. (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management Science*, 30(9), 1078-1092.
- Boame, A. K. (2004). The technical efficiency of Canadian urban transit systems. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 40(5), 401-416.
- Chang, H., Choy, H. L., Cooper, W. W., and Ruefli, T. W. (2009). Using Malmquist indexes to measure changes in the productivity and efficiency of US accounting firms before and after the Sarbanes–Oxley Act. *Omega*, 37(5), 951-960.
- Charnes, A., & Cooper, W. W. (1962). Programming with linear fractional functionals. *Naval Research logistics quarterly*, 9(3-4), 181-186.
- Charnes, A., and Cooper, W. W. (1984). The non-Archimedean CCR ratio for efficiency analysis: A rejoinder to Boyd and Färe. *European Journal of Operational Research*, 15(3), 333-334.
- Charnes, A., Cooper, W. W., and Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2(6), 429-444.
- Charnes, A., Cooper, W. W., Golany, B., Halek, R., Klopp, G., Schmitz, E., and Thomas, D. (1986). Two phase data envelopment analysis approaches to policy evaluation and management of army recruiting activities: Tradeoffs between joint services and army advertising. Research Report CCS #532. *Center for Cybernetic Studies*, University of Texas-Austin, Austin, Texas.
- Chen, C. M. (2009). A network-DEA model with new efficiency measures to incorporate the dynamic effect in production networks. *European Journal of Operational Research*, 194(3), 687-699.
- Chen, C., Zhu, J., Yu, J. Y., and Noori, H. (2012). A new methodology for evaluating sustainable product design performance with two-stage network data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, 221(2), 348-359.
- Chen, Y., and Zhu, J. (2004). Measuring information technology's indirect impact on firm performance. *Information Technology and Management*, 5(1-2), 9-22.
- Chen, Y., Cook, W. D., Li, N., and Zhu, J. (2009). Additive efficiency decomposition in twostage DEA. *European Journal of Operational Research*, 196, 1170–1176

- Chiu, Y. H., Huang, C. W., and Ma, C. M. (2011). Assessment of China transit and economic efficiencies in a modified value-chains DEA model. *European Journal of Operational Research*, 209(2), 95-103.
- Diler, M. (2011). Efficiency, productivity and risk analysis in Turkish banks: A bootstrap DEA approach. *Journal of BRSA Banking and Financial Markets*, 5(2), 71-134.
- Efron, B. (1979). Bootstrap methods: another look at the jackknife. *The annals of Statistics*, 1-26.
- Efron, B. (Mart, 1981). *The jackknife, the bootstrap and other resampling plans*. Philadelphia, Society for Industrial and Applied Mathematics.
- Efron, B., and Tibshirani, R. J. (1994). *An introduction to the bootstrap*. London, Chapman and Hall/CRC.
- Färe, R. (1991). Measuring Farrell efficiency for a firm with intermediate inputs. *Academia Economic Papers*, 19(2), 329-340.
- Färe, R., and Grosskopf, S. (1996). Productivity and intermediate products: A frontier approach. *Economics Letters*, 50(1), 65-70.
- Färe, R., and Grosskopf, S. (1997). Intertemporal production frontiers: with dynamic DEA. *Journal of the Operational Research Society*, 48(6), 656-656.
- Färe, R., and Grosskopf, S. (2000). Network DEA. *Socio-Economic Planning Sciences*, 34(1), 35-49.
- Färe, R., and Grosskopf, S. (2012). *Intertemporal production frontiers: with dynamic DEA*. Boston, Kluwer Academic Publishers.
- Färe, R., Grosskopf, S., Norris, M., and Zhang, Z. (1994). Productivity growth, technical progress, and efficiency change in industrialized countries. *The American economic review*, 66-83.
- Farrell, M. J. (1957). The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)*, 253-290.
- Ferrier, G. D., and Hirschberg, J. G. (1997). Bootstrapping confidence intervals for linear programming efficiency scores: With an illustration using Italian banking data. *Journal of Productivity Analysis*, 8(1), 19-33.
- Guo, C., Shureshjani, R. A., Foroughi, A. A., and Zhu, J. (2017). Decomposition weights and overall efficiency in two-stage additive network DEA. *European Journal of Operational Research*, 257(3), 896-906.
- Hollingsworth, B. (2003). Non-parametric and parametric applications measuring efficiency in health care. *Health care management science*, 6(4), 203-218.
- Kao, C. (2014). Network data envelopment analysis: A review. *European Journal of Operational Research*, 239(1), 1-16.

- Kao, C., and Hwang, S. N. (2008). Efficiency decomposition in two-stage data envelopment analysis: An application to non-life insurance companies in Taiwan. *European Journal of Operational Research*, 185(1), 418-429.
- Kao, C., and Hwang, S. N. (2014). Multi-period efficiency and Malmquist productivity index in two-stage production systems. *European Journal of Operational Research*, 232(3), 512-521.
- Kao, C., and Liu, S. T. (2019). Cross efficiency measurement and decomposition in two basic network systems. *Omega*, 83, 70–79.
- Klopp, G.A. (1985). *The analysis of the efficiency of production system with multiple inputs and outputs*. PhD dissertation. University of Illinois, Industrial and System Engineering College, Chicago.
- Lewis, H. F., and Sexton, T. R. (2004). Network DEA: efficiency analysis of organizations with complex internal structure. *Computers & Operations Research*, 31(9), 1365-1410.
- Liu, S. T., and Wang, R. T. (2009). Efficiency measures of PCB manufacturing firms using relational two-stage data envelopment analysis. *Expert Systems with Applications*, 36(3), 4935-4939.
- Lu, W. M., Wang, W. K., Hung, S. W., and Lu, E. T. (2012). The effects of corporate governance on airline performance: Production and marketing efficiency perspectives. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 48(2), 529-544.
- Nemoto, J., and Goto, M. (1999). Dynamic data envelopment analysis: modeling intertemporal behavior of a firm in the presence of productive inefficiencies. *Economics Letters*, 64(1), 51-56.
- Nemoto, J., and Goto, M. (2003). Measurement of dynamic efficiency in production: an application of data envelopment analysis to Japanese electric utilities. *Journal of Productivity analysis*, 19(2-3), 191-210.
- Park, K. S., and Park, K. (2009). Measurement of multiperiod aggregative efficiency. *European Journal of Operational Research*, 193(2), 567-580.
- Parteka, A., and Wolszczak-Derlacz, J. (2013). Dynamics of productivity in higher education: cross-european evidence based on bootstrapped Malmquist indices. *Journal of Productivity Analysis*, 40(1), 67-82.
- Pastor, J. T., Ruiz, J. L., and Sirvent, I. (1999). An enhanced DEA Russell graph efficiency measure. *European Journal of Operational Research*, 115(3), 596-607.
- Premachandra, I. M., Zhu, J., Watson, J., and Galagedera, D. U. (2012). Best-performing US mutual fund families from 1993 to 2008: Evidence from a novel two-stage DEA model for efficiency decomposition. *Journal of Banking & Finance*, 36(12), 3302-3317.

- Prieto, A. M., and Zofío, J. L. (2007). Network DEA efficiency in input–output models: with an application to OECD countries. *European Journal of Operational Research*, 178(1), 292-304.
- Rhodes, E. (1978). *Data Envelopment Analysis and Related Approaches for Measuring the Efficiency of Decision Making Unit with an Application to Program Follow Through in U.S. Education*, Ph.D. thesis, Carnegie Mellon University School of Urban and Public Affairs, Pittsburgh.
- Scott D.W. (1992), *Multivariate Density Estimation, Theory, Practice and Visualization*, , New York, John Wiley and Sons.
- Sexton, T. R., and Lewis, H. F. (2003). Two-stage DEA: An application to major league baseball. *Journal of Productivity Analysis*, 19(2-3), 227-249.
- Sexton, T. R., Silkman, R. H., and Hogan, A. J. (1986). Data envelopment analysis: Critique and extensions. *New Directions for Evaluation*, 1986 (32), 73–105.
- Silverman, B.W. (1986). *Density Estimation for Statistics and Data Analysis*, London, Chapman and Hall.
- Simar, L., Wilson, P.W. (2006). *Statistical Inference in Nonparametric Frontier Models: recent Developments and Perspectives*, 2nd Edition The Measurement of Productive Efficiency, London, Oxford University Press.
- Simar, L., and Wilson, P. W. (1998). Sensitivity analysis of efficiency scores: How to bootstrap in nonparametric frontier models. *Management science*, 44(1), 49-61.
- Simar, L., and Wilson, P. W. (1999). Estimating and bootstrapping Malmquist indices. *European Journal of Operational Research*, 115(3), 459-471.
- Simar, L., and Wilson, P. W. (2000a). A general methodology for bootstrapping in non-parametric frontier models. *Journal of Applied Statistics*, 27(6), 779-802.
- Simar, L., and Wilson, P. W. (2000b). Statistical inference in nonparametric frontier models: The state of the art. *Journal of Productivity Analysis*, 13(1), 49-78.
- Simar, L., and Wilson, P. W. (2002). Non-parametric tests of returns to scale. *European Journal of Operational Research*, 139(1), 115-132.
- Simonoff J.S., (1996), *Smoothing methods in statistics*, New York, Springer series in Statistics.
- Smeeke, S. (2009). *Bootstrapping nonstationary time series*. Maastricht: Universitaire Pers Maastricht.
- Sueyoshi, T., and Sekitani, K. (2005). Returns to scale in dynamic DEA. *European Journal of Operational Research*, 161(2), 536-544.
- Tone, K. (2001). A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, 130(3), 498-509.

- Tone, K., and Tsutsui, M. (2009). Network DEA: A slacks-based measure approach. *European Journal of Operational Research*, 197(1), 243-252.-49.
- Tone, K., and Tsutsui, M. (2010). Dynamic DEA: A slacks-based measure approach. *Omega*, 38(3), 145-156.
- Tone, K., and Tsutsui, M. (2014). Dynamic DEA with network structure: A slacks-based measure approach. *Omega*, 42(1), 124-131.
- Wilson, P. W. (2008). FEAR: A software package for frontier efficiency analysis with R. *Socio-Economic Planning Sciences*, 42(4), 247-254.

EKLER

EK-1. Sigorta şirketlerine ait veri kümesi

KVB	Operasyon masrafları (X1)	Sigorta giderleri (X2)	Doğrudan yazılı primler (Z1)	Reasürans primleri (Z2)	Sigorta karı (Y1)	Yatırım karı (Y2)
1	1178744	673512	7451757	856735	984143	681687
2	1381822	1352755	10020274	1812894	1228502	834754
3	1177494	592790	4776548	560244	293613	658428
4	601320	594259	3174851	371863	248709	177331
5	6699063	3531614	37392862	1753794	7851229	3925272
6	2627707	668363	9747908	952326	1713598	415058
7	1942833	1443100	10685457	643412	2239593	439039
8	3789001	1873530	17267266	1134600	3899530	622868
9	1567746	950432	11473162	546337	1043778	264098
10	1303249	1298470	8210389	504528	1697941	554806
11	1962448	672414	7222378	643178	1486014	18259
12	2592790	650952	9434406	1118489	1574191	909295
13	2609941	1368802	13921464	811343	3609236	223047
14	1396002	988888	7396396	465509	1401200	332283
15	2184944	651063	10422297	749893	3355197	555482
16	1211716	415071	5606013	402881	854054	197947
17	1453797	1085019	7695461	342489	3144484	371984
18	757515	547997	3631484	995620	692731	163927
19	159422	182338	1141951	483291	519121	46857
20	145442	53518	316829	131920	355624	26537
21	84171	26224	225888	40542	51950	6491
22	15993	10502	52063	14574	82141	4181
23	54693	28408	245910	49864	0.1	18980
24	163297	235094	476419	644816	142370	16976

EK-2. Ağırlıklı toplamsal model sonuçları

	$\alpha = 0.1$			$\alpha = 0.2$			$\alpha = 0.3$			$\alpha = 0.4$			$\alpha = 0.5$		
KVB	E^0	E^1	E^2	E^0	E^1	E^2	E^0	E^1	E^2	E^0	E^1	E^2	E^0	E^1	E^2
1	0.74	0.93	0.71	0.76	0.99	0.7	0.79	0.99	0.7	0.82	0.99	0.7	0.85	0.99	0.7
2	0.66	0.99	0.63	0.7	1	0.63	0.74	1	0.63	0.78	1	0.63	0.81	1	0.63
3	0.97	0.69	1	0.94	0.69	1	0.91	0.69	1	0.88	0.69	1	0.85	0.69	1
4	0.45	0.72	0.42	0.48	0.72	0.42	0.51	0.72	0.42	0.54	0.72	0.42	0.57	0.72	0.42
5	0.97	0.74	1	0.95	0.74	1	0.92	0.74	1	0.9	0.74	1	0.88	0.83	0.92
6	0.46	0.96	0.41	0.52	0.96	0.41	0.57	0.96	0.41	0.63	0.96	0.41	0.68	0.96	0.41
7	0.51	0.3	0.54	0.49	0.3	0.54	0.49	0.58	0.45	0.52	0.67	0.41	0.55	0.75	0.35
8	0.5	0.39	0.51	0.49	0.39	0.51	0.49	0.66	0.42	0.52	0.73	0.38	0.55	0.73	0.38
9	0.31	0.44	0.29	0.38	1	0.22	0.46	1	0.22	0.53	1	0.22	0.61	1	0.22
10	0.65	0.52	0.66	0.63	0.52	0.66	0.62	0.52	0.66	0.67	0.86	0.54	0.7	0.86	0.54
11	0.34	0.47	0.33	0.36	0.47	0.33	0.37	0.65	0.25	0.42	0.73	0.21	0.47	0.73	0.21
12	0.78	1	0.76	0.81	1	0.76	0.83	1	0.76	0.86	1	0.76	0.88	1	0.76
13	0.52	0.34	0.54	0.5	0.34	0.54	0.41	0.81	0.24	0.47	0.81	0.24	0.53	0.81	0.24
14	0.5	0.31	0.52	0.49	0.58	0.47	0.5	0.58	0.47	0.53	0.67	0.43	0.55	0.67	0.43
15	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.73	0.88	0.66	0.77	1	0.61	0.81	1	0.61
16	0.42	0.87	0.37	0.47	0.89	0.36	0.52	0.89	0.36	0.57	0.89	0.36	0.62	0.89	0.36
17	0.93	0.25	1	0.85	0.25	1	0.78	0.25	1	0.6	0.53	0.65	0.6	0.63	0.57
18	0.4	0.66	0.37	0.43	0.66	0.37	0.47	0.79	0.33	0.51	0.79	0.33	0.56	0.79	0.33
19	0.47	0.98	0.42	0.53	1	0.41	0.59	1	0.41	0.65	1	0.41	0.71	1	0.41
20	0.85	0.41	0.9	0.8	0.41	0.9	0.7	0.82	0.66	0.73	0.93	0.59	0.76	0.93	0.59
21	0.32	0.69	0.28	0.37	0.73	0.27	0.41	0.73	0.27	0.46	0.75	0.26	0.51	0.75	0.26
22	0.96	0.59	1	0.92	0.59	1	0.88	0.59	1	0.84	0.59	1	0.8	0.59	1
23	0.57	0.68	0.56	0.58	0.68	0.56	0.6	0.84	0.5	0.64	0.84	0.5	0.67	0.84	0.5
24	0.34	0.4	0.34	0.35	0.4	0.34	0.36	1	0.09	0.45	1	0.09	0.54	1	0.09

EK-2. (devam) Ağırlıklı toplamsal model sonuçları

	$\alpha = 0.6$			$\alpha = 0.7$			$\alpha = 0.8$			$\alpha = 0.9$		
KVB	E^0	E^1	E^2	E^0	E^1	E^2	E^0	E^1	E^2	E^0	E^1	E^2
1	0.88	0.99	0.7	0.91	0.99	0.7	0.94	0.99	0.7	0.96	0.99	0.7
2	0.85	1	0.63	0.89	1	0.63	0.92	1	0.63	0.96	1	0.63
3	0.81	0.69	1	0.78	0.69	1	0.75	0.69	1	0.72	0.69	1
4	0.6	0.72	0.42	0.63	0.72	0.42	0.66	0.72	0.42	0.69	0.72	0.42
5	0.87	0.83	0.92	0.86	0.83	0.92	0.85	0.83	0.92	0.84	0.83	0.92
6	0.74	0.96	0.41	0.8	0.96	0.4	0.85	0.96	0.4	0.91	0.96	0.4
7	0.59	0.75	0.35	0.63	0.75	0.35	0.67	0.75	0.35	0.71	0.75	0.35
8	0.59	0.73	0.38	0.62	0.73	0.38	0.66	0.73	0.38	0.69	0.73	0.38
9	0.69	1	0.22	0.77	1	0.22	0.85	1	0.22	0.92	1	0.22
10	0.73	0.86	0.54	0.77	0.86	0.54	0.8	0.86	0.54	0.83	0.86	0.54
11	0.52	0.73	0.21	0.57	0.73	0.21	0.63	0.74	0.17	0.68	0.74	0.17
12	0.9	1	0.76	0.93	1	0.76	0.95	1	0.76	0.98	1	0.76
13	0.58	0.81	0.24	0.64	0.81	0.24	0.7	0.81	0.24	0.75	0.81	0.24
14	0.58	0.73	0.37	0.62	0.73	0.37	0.65	0.73	0.37	0.69	0.73	0.37
15	0.85	1	0.61	0.88	1	0.61	0.92	1	0.61	0.96	1	0.61
16	0.68	0.91	0.34	0.74	0.91	0.34	0.79	0.91	0.34	0.85	0.91	0.34
17	0.62	0.72	0.46	0.64	0.72	0.46	0.67	0.72	0.46	0.7	0.72	0.46
18	0.61	0.79	0.33	0.65	0.79	0.33	0.7	0.79	0.33	0.75	0.79	0.33
19	0.76	1	0.41	0.82	1	0.41	0.88	1	0.41	0.94	1	0.41
20	0.79	0.93	0.59	0.83	0.93	0.59	0.86	0.93	0.59	0.9	0.93	0.59
21	0.56	0.75	0.26	0.6	0.75	0.26	0.65	0.75	0.26	0.7	0.75	0.26
22	0.75	0.59	1	0.71	0.59	1	0.67	0.59	1	0.63	0.59	1
23	0.71	0.84	0.5	0.74	0.84	0.5	0.77	0.84	0.5	0.81	0.85	0.45
24	0.64	1	0.09	0.73	1	0.09	0.82	1	0.09	0.91	1	0.09

EK-3. PCB firmalarına ait veri seti

Firma	Çalışan Sayısı (X1)	İşletme Maliyeti (\$000) (X2)	AR-GE Maliyeti (\$000) (X3)	Üretilen Miktar (Z1)	Satış Tutarı (\$000) (Z2)	İşletme Geliri (\$000) (Y)
1	4183	756090	146092	8408000	15440539	512057
2	3000	401059	48629	4543000	9283600	263359
3	2715	465372	77507	2995980	8650485	688227
4	1893	858696	207128	11663363	9535196	855515
5	4578	1065000	331238	15318200	20817313	3072695
6	2134	781780	74154	8888590	11891722	805816
7	1059	261071	32324	5034254	3213303	83753
8	937	325130	78685	2346822	2857752	24067
9	701	190321	62251	2121270	2621901	163756
10	418	74445	13173	1728000	1190986	158142
11	582	92077	12805	4620185	1971958	105173
12	380	65696	7691	3472150	1342532	52973
13	2190	576821	68126	5588146	6812709	226023
14	523	79801	3673	1954550	1038792	8139
15	373	89923	6321	881038	1836709	200129
16	383	70581	5432	2134779	1040018	49248
17	736	97700	9356	2937134	1751369	147000

EK-4. Sigorta şirketlerinin 3 yıllık veri seti

No	Yıllar	Operasyon masrafları (X1)	Sigorta giderleri (X2)	Doğrudan yazılı primler (Z1)	Reasürans primleri (Z2)	Sigorta karı (Y1)	Yatırım karı (Y2)
1	2000	648,688	322,01	3214,996	447,423	508,904	243,952
1	2001	564,644	321,646	3386,667	383,885	516,094	298,338
1	2002	614,1	351,866	4065,09	472,85	468,049	383,349
2	2000	734,359	705,129	4491,141	983,114	988,507	742,213
2	2001	702,273	711,591	4821,776	923,288	681,452	498,089
2	2002	679,549	641,164	5198,498	889,606	547,05	336,665
3	2000	3221,215	1706,974	16527,959	1113,943	3642,615	2894,615
3	2001	3287,374	1728,368	17414,956	888,637	3490,349	2472,629
3	2002	3411,689	1803,246	19977,906	865,157	4360,88	1452,643
4	2000	1280,1	627,564	4497,393	1122,762	1314,479	322,078
4	2001	1301,796	304,614	4509,821	523,776	905,664	325,261
4	2002	1325,911	363,749	5238,087	428,55	807,934	89,797
5	2000	969,553	649,516	4933,341	566,895	1250,013	0
5	2001	966,906	701,246	4938,001	297,892	951,187	311,786
5	2002	975,927	741,854	5747,456	345,52	1288,406	127,253
6	2000	1858,573	806,908	8046,425	588,59	1678,739	320,782
6	2001	1901,036	857,973	8125,085	518,916	1628,5	385,301
6	2002	1887,965	1015,557	9142,181	615,684	2271,03	237,567
7	2000	821,638	751,983	5128,953	478,535	325,88	0
7	2001	839,531	469,232	5478,492	252,408	200,583	330,516
7	2002	728,215	481,2	5994,67	293,929	843,195	0
8	2000	627,82	571,393	3529,849	295,875	795,777	207,377
8	2001	643,203	646,221	4003,584	227,592	631,973	198,834
8	2002	660,046	652,249	4206,805	276,936	1065,968	355,972
9	2000	901,468	377,888	3893,435	429,18	710,416	0
9	2001	965,86	312,894	3453,317	298,354	598,207	39,004
9	2002	996,588	359,52	3769,061	344,824	887,807	0
10	2000	1135,958	260,229	4035,343	486,559	990,618	549,858
10	2001	1192,209	275,161	4040,666	535,189	637,12	477,648
10	2002	1400,581	375,791	5393,74	583,3	937,071	431,647
11	2000	1163,314	596,476	5865,555	432,573	1956,891	0
11	2001	1335,321	621,355	6476,792	413,115	1821,296	365,543
11	2002	1274,62	747,447	7444,672	398,228	1787,94	0
12	2000	705,312	538,161	3542,552	553,847	1033,094	0
12	2001	655,503	498,841	3436,948	247,223	573,139	191,11
12	2002	740,499	490,047	3959,448	218,286	828,061	141,173

EK-4. (devam) Sigorta şirketlerinin 3 yıllık veri seti

No	Yıllar	Operasyon masrafları (X1)	Sigorta giderleri (X2)	Doğrudan yazılı primler (Z1)	Reasürans primleri (Z2)	Sigorta karı (Y1)	Yatırım karı (Y2)
13	2000	1038,11	280,49	4548,166	465,921	1838,44	16,773
13	2001	1029,37	315,008	4628,822	359,811	1452,394	426,805
13	2002	1155,574	336,055	5793,475	390,082	1902,803	128,677
14	2000	578,172	191,396	2134,172	267,34	438,746	59,69
14	2001	613,606	202,728	2475,627	234,925	289,183	136,805
14	2002	598,11	212,343	3130,386	167,956	564,871	61,142
15	2000	608,385	586,806	3676,968	181,16	1323,015	12,579
15	2001	662,692	489,291	3459,789	175,208	1146,263	232,465
15	2002	791,105	595,728	4235,672	167,281	1998,221	139,519
16	2000	283,891	172,635	1106,634	320,015	294,058	54,491
16	2001	348,262	279,373	1510,742	478,769	284,062	94,149
16	2002	409,253	268,624	2120,742	516,851	408,669	69,778
17	2000	56,827	64,851	288,007	164,88	80,829	32,393
17	2001	66,592	74,837	408,32	201,171	121,784	25,949
17	2002	92,83	107,501	733,63	282,12	397,337	20,908
18	2000	83,794	22,959	222,933	73,865	73,305	13,988
18	2001	67,685	28,553	152,011	63,434	188,194	12,13
18	2002	77,757	24,965	164,818	68,486	167,43	14,407
19	2000	7,887	5,988	27,471	6,946	2,076	2,616
19	2001	9,185	6,538	32,2	6,406	1,899	2,738
19	2002	6,808	3,964	19,863	8,168	80,242	1,443
20	2000	26,947	8,666	88,661	36,554	0	11,162
20	2001	28,251	13,394	121,601	34,016	2,511	11,614
20	2002	26,442	15,014	124,309	15,848	0	7,366
21	2000	56,314	71,678	78,44	253,285	152,442	5,106
21	2001	70,673	102,44	183,277	250,178	54,931	8,067
21	2002	92,624	132,654	293,142	394,638	87,439	8,909

EK-5. Önerilen modellere ait MATLAB kodları

```

function
[bootstrapEff,Yansitilmi,GuvenAraligi,Varyans,W,effBoot] = ...
BootstrapMultiplicativeTSFunction(X,Y,Z,Model,Period,Orientati
on,B,alpha)
[~,m] = size(X); [~,d] = size(Z); [n,s] = size(Y);
if Model=="Static"
[E0,E1,E2] = MultiplicativeFunc(X,Z,Y,X,Z,Y,Period,'Basic');
elseif Model=="Dynamic"
[E0,E1,E2,W1,W2] =
DynamicMultiplicativeFunc(X,Z,Y,X,Z,Y,Period,'Basic');
end
EffScores.OV=E0; EffScores.Stage1=E1; EffScores.Stage2=E2;
switch(Orientation)
case {'io','input'}
orient='io';
EffScoresDonusum.OV=1./EffScores.OV;
EffScoresDonusum.Stage1=1./EffScores.Stage1;
EffScoresDonusum.Stage2=1./EffScores.Stage2;
case {'oo','output'}
orient = 'oo';
EffScoresDonusum = EffScores;
end
EffN.OV=EffScores.OV(EffScoresDonusum.OV>1);
Yansitilmi.OV=[2-EffN.OV;EffN.OV];
h.OV=(1.06*min([std(Yansitilmi.OV),iqr(Yansitilmi.OV)./1.3
4])*(length(Yansitilmi.OV))^(1/5)).*((length(Yansitilmi.OV)./length(EffScores.OV)))^(1/5)
)*(std(EffScoresDonusum.OV)./std(Yansitilmi.OV)));
effBoot.OV=nan(n,B);
for i=1:B
EffScoresDonusumBoot=EffScoresDonusum;
Yansitilmi.OV=[2-
EffScoresDonusumBoot.OV;EffScoresDonusumBoot.OV];
RasgeleSecilen=datasample(1:size(Yansitilmi.OV,1),n);
EffN.OV=Yansitilmi.OV(RasgeleSecilen);
effn_yildiz.OV=EffN.OV+h.OV.*randn(n,1);
eff_yildiz.OV=mean(EffN.OV)+(effn_yildiz.OV-
mean(EffN.OV))./(sqrt(1+h.OV^2./var(Yansitilmi.OV)));
eff_yildizz=eff_yildiz;
eff_yildizz.OV(eff_yildiz.OV<1)=2-
eff_yildiz.OV(eff_yildiz.OV<1);
if strcmp(orient,'io')
eff_yildizz.OV=1./eff_yildizz.OV;
end
X_Don = []; Z_Don = []; Y_Don = [];
switch(orient)
case 'io'
X_Don.OV= repmat(EffScores.OV./eff_yildizz.OV,1,m).*X;

```

EK-5. (devam) Önerilen modellere ait MATLAB kodları

```

Y_Don.OV=Y;
Z_Don.OV= repmat(EffScores.OV./eff_yildizz.OV,1,d).*Z;
case 'oo'
X_Don.OV=X.OV;
Y_Don.OV= repmat(EffScores.OV./eff_yildizz.OV,1,s).*Y.OV;
Z_Don.OV= repmat(EffScores.OV./eff_yildizz.OV,1,d).*Z.OV;
end
if Model=="Static"
[EE0,EE1,EE2] =
MultiplicativeFunc(X,Z,Y,X_Don.OV,Z_Don.OV,Y_Don.OV,Period,'
Boot');
elseif Model=="Dynamic"
[EE0,EE1,EE2,WW1,WW2] =
DynamicMultiplicativeFunc(X,Z,Y,X_Don.OV,Z_Don.OV,Y_Don.OV,P
eriod,'Boot');
End
W1(:,i)=WW1; W2(:,i)=WW2;
effBoot.OV(:,i)=EE0;effBoot.Stage1(:,i)=EE1;effBoot.Stage2(
,i)=EE2;W1(:, i) = WW1;
end
W.W1=mean(W1,2);
W.W2=mean(W2,2);
if strcmp(orient, 'io')
effBoot.OV=1./effBoot.OV;
effBoot.Stage1=1./effBoot.Stage1;
effBoot.Stage2=1./effBoot.Stage2;
end
Yanlilik.OV=mean(effBoot.OV,2)-EffScoresDonusum.OV;
Yanlilik.Stage1=mean(effBoot.Stage1,2)-
EffScoresDonusum.Stage1;
Yanlilik.Stage2=mean(effBoot.Stage2,2)-
EffScoresDonusum.Stage2;
bootstrapEff.OV=EffScoresDonusum.OV-Yanlilik.OV;
bootstrapEff.Stage1=EffScoresDonusum.Stage1-Yanlilik.Stage1;
bootstrapEff.Stage2=EffScoresDonusum.Stage2-Yanlilik.Stage2;
GuyenAraligi.OV=repelem(EffScoresDonusum.OV,1,2)+quantile(re
pmat(EffScoresDonusum.OV,1,B)-effBoot.OV,[0.5*alpha,1-
0.5*alpha],2);
GuyenAraligi.Stage1=repelem(EffScoresDonusum.Stage1,1,2)+qua
ntile(repmat(EffScoresDonusum.Stage1,1,B)-
effBoot.Stage1,[0.5*alpha,1-0.5*alpha],2);
GuyenAraligi.Stage2=repelem(EffScoresDonusum.Stage2,1,2)+qua
ntile(repmat(EffScoresDonusum.Stage2,1,B)-
effBoot.Stage2,[0.5*alpha,1-0.5*alpha],2);
if strcmp(orient, 'io')
effBoot.OV=1./effBoot.OV;
effBoot.Stage1=1./effBoot.Stage1;
effBoot.Stage2=1./effBoot.Stage2;

```

EK-5. (devam) Önerilen modellere ait MATLAB kodları

```

bootstrapEff.OV=1./bootstrapEff.OV;
bootstrapEff.Stage1=1./bootstrapEff.Stage1;
bootstrapEff.Stage2=1./bootstrapEff.Stage2;
Yanlilik.OV=EffScores.OV-bootstrapEff.OV;
Yanlilik.Stage1=EffScores.Stage1-bootstrapEff.Stage1;
Yanlilik.Stage2=EffScores.Stage2-bootstrapEff.Stage2;
GuyenAraligi.OV=1./GuyenAraligi.OV;
GuyenAraligi.Stage1=1./GuyenAraligi.Stage1;
GuyenAraligi.Stage2=1./GuyenAraligi.Stage2;
GuyenAraligi.OV=GuyenAraligi.OV(:, [2,1]);
GuyenAraligi.Stage1=GuyenAraligi.Stage1(:, [2,1]);
GuyenAraligi.Stage2=GuyenAraligi.Stage2(:, [2,1]);
end
Varyans.OV=var(effBoot.OV,0,2);
Varyans.Stage1=var(effBoot.Stage1,0,2);
Varyans.Stage2=var(effBoot.Stage2,0,2);
end
function [E0,E1,E2] =
MultiplicativeFunc(orzX,orzZ,orzY,bootX,bootZ,bootY,Mode)
[~,m] = size(orzX); [~,d] = size(orzZ); [n,s] = size(orzY);
options = optimoptions('linprog','Algorithm','interior-
point-legacy','Display','off','MaxIterations',500);
E0=zeros(n,1); E1=zeros(n,1); E2=zeros(n,1);
for k = 1:n
f=-[orzY(k,:) zeros(1,d+m)];
switch(Mode)
case 'Boot'
A=[bootY zeros(n,d) -bootX;
zeros(n,s) bootZ -bootX;
bootY -bootZ zeros(n,m)];
case 'Basic'
A=[orzY zeros(n,d) -orzX;
zeros(n,s) orzZ -orzX;
orzY -orzZ zeros(n,m)];
end
Aeq=[zeros(1,s+d) orzX(k,:)];
[sol, eff] =
linprog(f,A,zeros(3*n,1),Aeq,1,zeros(1,size(Aeq,2)),[],[],op
tions);
if ~isempty(eff)
u=sol(1:s); w=sol(s+1:s+d); v=sol(s+d+1:s+m+d);
E0(k,1)=orzY(k,:)*u; E1(k,1)=(orzZ(k,:)*w)./(orzX(k,:)*v);
E2(k,1)= (orzY(k,:)*u)./(orzZ(k,:)*w);
end
end
end
end

```

EK-5. (devam) Önerilen modellere ait MATLAB kodları

```

function [E0,E1,E2,W1,W2] =
DynamicMultiplicativeFunc(orzXper,orzZper,orzYper,bootXper,b
ootZper,bootYper,Period,Mode)
[~,m] = size(orzXper); [~,d] = size(orzZper); [n,s] =
size(orzYper); n=n/Period;
top=Period+1;
for p=1:Period
j=1;
for i=p:Period:n*Period
orzX{p}(j,:)=orzXper(i,:);
orzZ{p}(j,:)=orzZper(i,:);
orzY{p}(j,:)=orzYper(i,:);
j=j+1;
end
end
j=1;
for i=1:Period:n*Period
orzX{top}(j,:)=sum(orzXper(i:i+2,:));
orzZ{top}(j,:)=sum(orzZper(i:i+2,:));
orzY{top}(j,:)=sum(orzYper(i:i+2,:));
j=j+1;
end
for p=1:Period
j=1;
for i=p:Period:n*Period
bootX{p}(j,:)=bootXper(i,:);
bootZ{p}(j,:)=bootZper(i,:);
bootY{p}(j,:)=bootYper(i,:);
j=j+1;
end
end
options = optimoptions('linprog','Algorithm','interior-
point-legacy','Display','off','MaxIterations',500);
E0=[]; E1=[]; E2=[]; W1=[]; W2=[];
for k = 1:n
f=-[orzY{top}(k,:) zeros(1,d+m)];
switch(Mode)
case 'Boot'
A=[];
for p=1:Period
temp=[bootY{p} zeros(n,d) -bootX{p};
zeros(n,s) bootZ{p} -bootX{p};
bootY{p} -bootZ{p} zeros(n,m)];
A=[A;temp];
end
case 'Basic'
A=[];
for p=1:Period

```

EK-5. (devam) Önerilen modellere ait MATLAB kodları

```

temp=[orjY{p} zeros(n,d) -orjX{p};
zeros(n,s) orjZ{p} -orjX{p};
orjY{p} -orjZ{p} zeros(n,m)];
A=[A;temp];
end
end
Aeq=[zeros(1,s+d) orjX{top}(k,:)];
[sol, eff] =
linprog(f,A,zeros(length(A),1),Aeq,1,zeros(1,size(Aeq,2)),[],
[],options);
if ~isempty(eff)
u=sol(1:s);
w=sol(s+1:s+d);
v=sol(s+d+1:s+m+d);
for p=1:Period
E0=[E0; (orjY{p}(k,:)*u)./(orjX{p}(k,:)*v)];
E1=[E1; (orjZ{p}(k,:)*w)./(orjX{p}(k,:)*v)];
E2=[E2; (orjY{p}(k,:)*u)./(orjZ{p}(k,:)*w)];
W1 =[W1;(orjX{p}(k,:)*v)./(orjX{top}(k,:)*v)];
W2 =[W2;(orjZ{p}(k,:)*w)./(orjZ{top}(k,:)*w)];
end
end
end
end

```

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ÖZSOY, Volkan Soner
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 11.03.1988, Aksaray
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (312) 202 15 49
 Faks : 0 (312) 202 37 10
 e-mail : volkansoner@gazi.edu.tr
 volkansoner1@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Doktora	Gazi Üniversitesi F.B.E. İstatistik Ana Bilim Dalı	Devam ediyor
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi F.B.E. İstatistik Ana Bilim Dalı	2012
Lisans	Karadeniz Teknik Üniversitesi İstatistik ve Bilgisayar Bilimleri	2010
Lise	Aksaray Lisesi	2005

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2014 - Halen	Gazi Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2013 - 2014	Niğde Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

A. Uluslararası Hakemli Dergilerde Yayımlanan Makaleler

- Örkcü, H. H., Özsoy, V.S., Örkcü, M., Bal, H. (2019). A neutral cross efficiency approach for basic two stage production systems. *Expert Systems with Applications*, 125, 333-344.
- Küçük, A., Özsoy, V.S., Balkan, D. (2019). Assessment of technical efficiency of public hospitals in Turkey. *European Journal of Public Health*, (in press).
- Örkcü, M., Özsoy, V.S., Örkcü, H.H., (2019). An Optimistic-Pessimistic DEA Model Based on Game Cross Efficiency Approach. *RAIRO – Operations Research*, (in press).
- Alp, İ., Özsoy, V.S. (2019). A New Robust Bootstrap Algorithm for the Assessment of Common Set of Weights in Performance Analysis. *Iranian Journal of Management Studies*, 12(2), 175-189.
- Yavuzaslanoglu, E., Sönmezoğlu, O., Genç, N., Akar, Z., Ocal, A., Karaca, M., Elekcioglu, I., Özsoy, V.S., Aydoğdu, M. (2019). Occurrence and abundance of nematodes on onion in Turkey and their relationship with soil physicochemical properties, *Nematology*, 1-17.
- Özsoy, V.S., Örkcü, H.H., Bal, H. (2018). Particle Swarm Optimization Applied to Parameter Estimation of the Four-Parameter Burr III Distribution. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions A: Science*, 42(2), 895-909.
- Alp, İ., Özsoy, V.S. (2017). Two Stage Approach for the Performances of Teams in Football Using Data Envelopment Analysis. *Gazi University Journal of Science*, 30(3), 195-208.
- Özsoy, V.S., Örkcü, H. H. (2016). Estimating the Parameters of Nonlinear Regression Models Through Particle Swarm Optimization. *Gazi University Journal of Science*, 29(1), 187-199.
- Örkcü, H. H., Özsoy, V.S., Aksoy, E., Doğan, M. I. (2015). Estimating the parameters of 3-p Weibull distribution using particle swarm optimization: A comprehensive experimental comparison. *Applied Mathematics and Computation*, 268, 201-226.

B. Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında (proceedings) basılan bildiriler

- Özsoy, V.S., Bal, H., (2019, June). *Two Stage Data Envelopment Analysis Models: Multiplicative and Additive Model*. 10th International Conference of Strategic Research on Scientific Studies and Education (ICoSReSSE), Rome, Italy.
- Bal, H., Özsoy, V. S., Gölcükcü, A., (2018, November). *Comparison of DEA Models for The Performance Evaluation of the World's Top R&D Investing Companies in The Automobiles Industry*. 4th International Congress on Social and Economic Sciences (ICSES), Budapest, Hungary.

- Özsoy, V. S., Örkücü, H.H, Bal, H. (2018, October). *RTM: Interactive estimation tool for modelling real-time wind speed*. 5th International Conference on Management Information Systems (IMISC 2018), Ankara, Turkey.
- Özsoy, V. S., Koçak, E. (2017, December). *Evaluation of the Life Index Based on Data Envelopment Analysis: Quality of Life Indexes of Turkey*, 10th International Statistics Congress, Ankara, Turkey.
- Özsoy, V. S., Bal, H., (2017, November). *A New Variable Selection Method for Data Envelopment Analysis Through Bootstrap Approach*, International Conference on Computational and Statistical Methods in Applied Sciences, Samsun, Turkey.
- Bal, H., Özsoy, V. S., (2016, October). *Selecting DEA Model Specifications and Ranking Units via Principal Component Analysis: A Application of Economic Performance of Cities*, International Conference on Economics, Business Management and Social Sciences (ICEBSS 2016), Sarajevo, Bosnia-Herzegovina.
- Gölcükcü, A., Özsoy, V. S., Bal, H., (2016, September). *Matrix Model for Multiple Group Comparison with Malmquist Data Envelopment Analysis: A Basketball League Example*, Operational Research Society Annual Conference (OR58), University of Portsmouth, United Kingdom.
- Özsoy, V. S., and Bal, H. (2016, June). *Küresel Rekabetçilik Endeksinin Veri Zarflama Analizi ile Ölçülmesi ve Bootstrap Veri Zarflama Analizi Uygulaması*, 17th International Symposium on Econometrics, Operations Research and Statistics, Sivas, Turkey.
- Özsoy, V.S. (2016, June). *Yapay Arı Kolonisi ile Doğrusal Olmayan Regresyon Modellerinin Parametre Tahmini*, 17th International Symposium on Econometrics, Operations Research and Statistics, Sivas, Turkey.
- Özsoy, V. S., Bal H., Tüzüner, Z. (2016, May). *Evaluation of Performance of the Highways of the European Union Countries using Bootstrap Data Envelopment Analysis*, 2nd International Researchers, Statisticians and Young Statisticians Congress (IRSYSC 2016), Ankara, Turkey.
- Özsoy, V.S., Alp, İ. (2013, June). *Turkish Decision Support System for Performance Analysis with C# Programming Language*, 11th International Conference of Data Envelopment Analysis and Performance Measurement (DEA2013), Samsun, Turkey.
- Özsoy, V. S., Alp, İ. (2012, November). *New Decision Support System for Performance Analysis*, 10th International Conference on Knowledge, Economy and Management & 11th International Conference of Asia Chapter of The AHRD & 2nd International Conference of MENA Chapter of Academy of Human Resource Development, İstanbul, Turkey.

C. Yazılan ulusal/uluslararası kitaplar veya kitaplardaki bölümler

- Özsoy, V.S. (2018). Network Data Envelopment Analysis. Türe, H. and Koçak, D. (Eds.) *Current Topics in Quantitative Decision Methods: Theory and Practice*, Ankara, Gazi Kitabevi, 15-28.

D. Ulusal hakemli dergilerde yayımlanan makaleler

Bal, H., Özsoy, V.S. (2016). Selecting DEA model specifications and ranking units via principal component analysis: an application of the economic performance of cities. *Dumlupınar University Journal of Social Science*, ICEBSS S.I. 125-135.

E. Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan bildiriler

Özsoy, V.S., Bal, H. (2015, Eylül). *Etkinlik Analizi Yöntemi ile Ülkelerin İklim Risk Endeksinin Ölçülmesi*. 35. Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği Kongresi, Ankara.

Özsoy, V. S., and Alp, İ. (2012, 26 Nisan). *Performans Analizi için Yeni Karar Destek Sistemi*, 5. Mühendislik ve Teknoloji Sempozyumu, Ankara.



GAZİ GELECEKTİR..