

**KESİRLİ FAKTÖRİYEL DÜZEN VE TAGUCHI METOT
KULLANILARAK VERİ ZARFLAMA ANALİZİNDE GİRDİ VE
ÇIKTILARIN SEÇİMİ**

Merve DUMAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İSTATİSTİK**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSİTÜSÜ**

HAZİRAN 2012

ANKARA

**KESİRLİ FAKTÖRİYEL DÜZEN VE TAGUCHI METOT
KULLANILARAK VERİ ZARFLAMA ANALİZİNDE GİRDİ VE
ÇIKTILARIN SEÇİMİ**

Merve DUMAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İSTATİSTİK**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSİTÜSÜ**

HAZİRAN 2012

ANKARA

Merve DUMAN tarafından hazırlanan KESİRLİ FAKTÖRİYEL DÜZEN VE TAGUCHI METOT KULLANILARAK VERİ ZARFLAMA ANALİZİNDE GİRDİ VE ÇIKTILARIN SEÇİMİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Hülya OLMUŞ

.....

Tez Danışmanı, İstatistik

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile İstatistik Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Semra ORAL ERBAŞ

.....

İstatistik, Gazi Üniversitesi

Doç. Dr. Cemal ATAKAN

.....

İstatistik, Ankara Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Hülya OLMUŞ

.....

İstatistik, Gazi Üniversitesi

11/06/2012

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Merve DUMAN

**KESİRLİ FAKTÖRİYEL DÜZEN VE TAGUCHİ METOT
KULLANILARAK VERİ ZARFLAMA ANALİZİNDE GİRDİ VE
ÇIKTILARIN SEÇİMİ**

(Yüksek Lisans Tezi)

Merve DUMAN

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Haziran 2012

ÖZET

Veri Zarflama Analizi (VZA) gerek özel sektörde gerekse kamu sektöründe kullanılabilecek ve işletmelerin etkinliğini kendi arasında göreceli olarak ölçüp etkin olmayan işletmelerin zayıf yönlerini ortaya koyabilecek parametrik olmayan bir yöntemdir. Yöntemin pratikliği ve parametrik yöntemlere nazaran daha kullanışlı olmasından dolayı VZA günümüzde popüler araştırma yöntemlerinden biri haline gelmiştir.

VZA yöntemi kullanılarak yapılan etkinlik analizinde, karar birimlerinin kullandığı girdileri ve çıktıları belirlemek çok önemlidir. Seçilen girdi ve çıktıların değiştirilmesi, etkinlik sonuçlarının farklılaşmasına neden olacağından bu durum; illerin ulaşım performanslarını etkileyen çok sayıda girdi ve çıktı olması sebebiyle daha fazla önem taşımaktadır. Amaç, mümkün olan en az sayıda girdi ve çıktının kullanılması gerektiğidir.

Klasik deney tasarım yöntemlerinin kullanımı endüstriyel şartlar altında verimli olamamaktadır. Sistemi etkileyen faktörlerin sayısı arttıkça gerekli olan deney sayısı da hızlı bir şekilde artmakta, maliyetler yükselmekte, uygulamalar zorlaşmaktadır. Böyle durumlarda kesirli

faktöriyel tasarım olan Taguchi Metodu uygulanması daha verimli ve kolay olacaktır.

Çalışmada, Türkiye'deki 81 ilin 2008, 2009 ve 2010 yılı etkinlik ölçümleri yapılmıştır. Etkinlik ölçümünde deney düzenlerinden Kesirli Faktöriyel Düzen ve Taguchi Metot kullanılarak girdi ve çıktıların seçimine yer verilmiştir.

Bilim Kodu : 205.1.066

Anahtar Kelimeler : Kesirli faktöriyel düzenler, Taguchi Metot, Veri zarflama analizi, Etkinlik

Sayfa Adedi : 79

Tez Yöneticisi : Yrd. Doç. Dr. Hülya OLMUŞ

**SELECTING INPUTS AND OUTPUTS IN DATA ENVELOPMENT
ANALYSIS BY USING FRACTIONAL FACTORIAL DESIGN AND
TAGUCHI METHOD
(M.Sc. Thesis)**

Merve DUMAN

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
June 2012**

ABSTRACT

Data Envelopment Analysis (DEA) can be used both in the private sector and public sector and businesses to measure the effectiveness of their relatively inactive in the non-parametric method that reveals the weaknesses of businesses. The practicality of the method and parametric methods are more useful than the one of the methods of research has become so popular nowadays DEA.

Efficiency analysis using DEA method, used by decision makers is very important to determine inputs and outputs. Because the replacement of selected inputs and outputs, causes the differentiation of the results of the event. This situation affects the performance of the provinces of transport due to the large number of input and output becomes more important. The aim should use the least possible number of input and output.

Classical experimental design methods are inefficient under the conditions of industrial use. System increases the number of factors affecting the number of tests required to quickly increases, the costs are increasing, application is difficult. In such cases, the fractional

factorial design will be efficient and easy to implement than the Taguchi Method.

In this study, the 81 provinces in Turkey in 2008, 2009 and 2010 events were measured. Fractional factorial experiment designs measure of efficiency, layout and choice of inputs and outputs are given by using the Taguchi method.

Science Code	:205.1.066
Key Words	: Fractional factorial design, Taguchi method, Data envelopment analysis, Efficiency
Page Number	: 79
Adviser	:Assist. Prof. Dr. Hülya OLMUŞ

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren Hocam Yrd. Doç. Dr. Hülya OLMUŞ' a en içten teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Ayrıca tezimin her aşamasında maddi ve manevi destekleriyle bana güç veren aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xiv
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. DENEY TASARIMI YÖNTEMLERİ.....	5
2.1. Kesirli Faktöriyel Düzen.....	5
2.1.1. 2^k faktöriyel düzen.....	6
2.1.2. 3^k faktöriyel düzen.....	14
2.2. Taguchi Metodu.....	19
3. VERİ ZARFLAMA ANALİZİ.....	24
3.1. Verimlilik.....	25
3.2. Etkinlik.....	25
3.3. Veri Zarflama Analizi ve Karar Verme.....	25
3.4. Veri Zarflama Analizinde Yöntemler.....	26
3.4.1. CCR yöntemi.....	27

Sayfa

3.4.2. BCC yöntemi.....	29
3.4.3. Toplamsal yöntem.....	30
3.5. Veri Zarflama Analizinin Avantajları ve Dezavantajları.....	30
3.6. Veri Zarflama Analizi Süreci.....	31
3.7. Karar Noktalarının Seçimi.....	31
3.8. Girdi ve Çıktı Faktörlerinin Seçimi.....	32
3.9. Veri Zarflama Analizinin Uygulama Alanları.....	33
4. KESİRLİ FAKTÖRİYEL DÜZEN KULLANILARAK VERİ ZARFLAMA ANALİZİNDE GİRDİ VE ÇIKTI DEĞİŞKENLERİNİN SEÇİMİ.....	35
4.1. 2 ^k Faktöriyel Düzen Kullanarak Çıktı Değişkeninin Seçimi.....	35
4.2. 3 ^k Faktöriyel Düzen Kullanarak Çıktı Değişkeninin Seçimi.....	39
5. UYGULAMA.....	41
5.1. Amaç ve Veri.....	41
5.2. Analiz ve Bulgular.....	42
5.2.1. Kesirli faktöriyel düzen yardımıyla girdi ve çıktıların belirlenmesi.....	42
5.2.2. Taguchi metot yardımıyla girdi ve çıktıların belirlenmesi.....	49
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	62
KAYNAKLAR.....	64

	Sayfa
EKLER.....	66
EK-1 2010 yılı ulaştırma verileri.....	67
EK-2 2009 yılı ulaştırma verileri.....	71
EK-3 2008 yılı ulaştırma verileri.....	75
ÖZGEÇMİŞ.....	79

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Etkileşim dereceleri.....	6
Çizelge 2.2. 2^3 faktöriyel düzende deneme kombinasyonları	7
Çizelge 2.3. 2^3 faktöriyel düzen blokları.....	8
Çizelge 2.4. 2^{3-1} faktöriyel düzen için varyans analizi sonuç tablosu.....	8
Çizelge 2.5. Deneme kombinasyonlarının etki karışımı.....	9
Çizelge 2.6. $I = ABC$ ve $I = -ABC$ tanımlayıcı bağıntıları.....	9
Çizelge 2.7. 2^5 kesirli faktöriyel düzen etki karışımı tablosu.....	10
Çizelge 2.8. $I_1 = ABCDE$ ve $I_1 = -ABCDE$ tanımlayıcı bağıntıları.....	11
Çizelge 2.9. 2^5 kesirli faktöriyel düzen eşdeşleri.....	12
Çizelge 2.10. $I_2 = ACDE$ ve $I_2 = -ACDE$ tanımlayıcı bağıntıları.....	12
Çizelge 2.11. 3^k faktöriyel tasarım blokları.....	14
Çizelge 2.12. 3^3 faktöriyel düzende deneme kombinasyonları.....	16
Çizelge 2.13. 3^3 faktöriyel düzende bloklar.....	16
Çizelge 2.14. $I = AB^2C^2$ tanımlayıcı bağıntı blokları.....	17
Çizelge 2.15. $I = AB^2C^2$ tanımlayıcı bağıntı deneme kombinasyonları.....	17
Çizelge 2.16. 3^3 faktöriyel düzen eşdeşleri.....	18
Çizelge 2.17. 3^3 faktöriyel düzen grupları.....	18
Çizelge 2.18. 3^3 faktöriyel düzen.....	18
Çizelge 2.19. L_9 tasarım matrisi.....	23
Çizelge 4.1. 2^{5-2} deneme kombinasyonları.....	37
Çizelge 4.2. Varyans analizi tablosu.....	38

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.3. 3^{3-1} deneme kombinasyonları.....	39
Çizelge 4.4. Varyans analizi tablosu.....	39
Çizelge 5.1. 3^{12-9} kesirli faktöriyel düzen.....	43
Çizelge 5.2. Mahalanobis uzaklıkları hesaplanması.....	44
Çizelge 5.3. Seçilen girdi ve çıktı değişkenleri ve mahalanobis uzaklıkları...	47
Çizelge 5.4. Varyans analizi sonuç tablosu.....	48
Çizelge 5.5. Mahalanobis uzaklıklarına göre değişkenlerin seçimi.....	49
Çizelge 5.6. Taguchi metot serbestlik dereceleri.....	50
Çizelge 5.7. L_{27} tasarım matrisi.....	52
Çizelge 5.8. Taguchi metot girdi ve çıktı kombinasyonları.....	54
Çizelge 5.9. Etkinlik skorları.....	55
Çizelge 5.10. 2008, 2009 ve 2010 yıllarında etkin olan iller.....	60

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 5.1. 2008 Yılı Etkinlikleri.....	58
Şekil 5.2. 2009 Yılı Etkinlikleri.....	59
Şekil 5.3. 2010 Yılı Etkinlikleri.....	59
Şekil 5.4. 2008, 2009 ve 2010 Yılı Etkinlikleri.....	61

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Taguchi Ortogonal Dizi Seçim Tablosu.....	21

1.GİRİŞ

İşletmelerin performanslarının belirlenebilmesi, gerek işletme yönetimi gerekse yatırımcılar açısından önemlidir. Ancak, tek bir kriterle işletmelerin performanslarının ölçülmesi mümkün değildir. İşletmelerin farklı zaman periyotlarını içeren, dolayısıyla girdi çıktı kombinasyonları farklı olan görev ve hedefleri vardır. Kısa vadede karlılığı çok iyi olan bir işletme uzun dönemde yanlış pazarlama politikaları nedeniyle kötü bir performans sergileyebilmektedir. Yatırımların ya da satışların getirisi gibi finansal oranlar işletmelerin finansal performanslarını iyi yansıtsalar da, şirketin genel performansını göstermede yetersiz kalmaktadırlar [Ulucan 2000].

Performans değerlendirmesi, hedefleri tasarlama ve etkinlik için önemli bir işlemdir. Daha az girdiyle daha çok çıktı elde etmede birçok yöntem vardır. Çoklu girdi ve çoklu çıktıyla karar birimlerinin göreceli olarak etkinliğinin değerlendirilmesi için bir matematiksel programlama olan Veri Zarflama Analizi (VZA) oldukça yaygın bir metottur [Ulucan, 2000].

VZA veriye yönelik bir parametrik olmayan metottur. Bir üretim imkânları seti parametrik bir dönüşüm fonksiyonu varsayılmadığı yerde girdi ve çıktıları kullanan deneysel bir yapıdır. Bir üretim imkânları setinin etkinlik sınırı göreceli olarak etkinlik değerlemesine olanak tanır. VZA ölçek etkinliği konusunda da bilgi üretebilen bir tekniktir. Eğer ağırlıkların toplamı 1' e eşit olacak şekilde kısıtlanırsa, etkinlik sınırı ölçeğe göre azalan, artan ve sabit kalan getirileri içerecek şekilde bir "değişken getirili" özelliğe sahip olabilmektedir [Erdem, 2008].

Etkinlik skoru bir karar verme biriminin etkinlik sınırında veya üretim imkanları setinin içinde yer alıp almadığını saptayarak etkin ve etkin olmayan karar verme birimlerini ayırır. Ayrıca etkinlik skoru bir karar verme biriminin etkinlik sınırından ne kadar uzak olduğunu gösterir.

Etkinlik skoruna bağılı değerlendirme, girdi ve çıktı değerlerinden etkilenir. Bu yüzden girdi ve çıktılar karar verme birimlerinin performanslarını belirlemek amacıyla uygun bir şekilde seçilmelidir. Seçim bir kritere dayanabilir. Alternatif olarak uzman görüşleri veya kabul edilmiş uygulamalar değişkenleri belirlemede yararlı olabilir. Örneğin bankanın kar etkinliği belirlendiği zaman, çekirdek değişkenler olarak iki girdi (faiz gideri ve faizsiz gider) ve iki çıktı (faiz geliri ve faizsiz gelir) sık sık kullanılır. Fakat girdi ve çıktı olarak bir değişkeni kategorize ederken banka performansında pay sahipleri ölçümleri farklı açıklayabilirler. Bu durumun sebebi pay sahiplerinin çeşitli olmasından dolayıdır. Normalde değişkenlerden bahsederken istenen ve istenmeyen değişkenler olarak ele alınır. Örneğin; bir genel müdür bir organizasyonun yürütülmesinde daha az sayıda çalışanla ilgilenir. Oysaki bir şube müdürü daha fazla çalışanla şubeyi yürütebilir. Yani, çalışan sayısı genel müdür için istenmeyen bir durum iken şube müdürü için istenen bir durumdur.

Çok sayıda girdi ve çıktı karar verme birimlerinin görelî etkinliğini açıkça gösterirken az sayıdaki girdi ve çıktılar karar verme birimlerinin etkinliğini göstermez. Bu yüzden etkin ve etkin olmayan karar verme birimlerini ayırt edecek performans değerlemesi için girdi ve çıktı değişkenlerinin seçiminde bir matematiksel yaklaşım oluşturmak istenir [Morita ve Avkiran, 2008].

En fazla bilginin mümkün olan en düşük maliyetle sağlanabilmesi için deneysel verinin derlenmesi ile ilgili tasarımın belirlenmesi gereklidir. Araştırmacının gereksinim duyduğu veriyi elde edebilmesi, yani karşılaştığı sorunu çözebilmesi, araştırma hipotezlerinin gereği gibi oluşturulması ile mümkündür [Çömllekçi, 2003].

En iyi sonuçların elde edilebileceği şartları ortaya koyabilmek için öncelikle performans özelliği belirlenir ve bu özelliği etkileyen faktörler incelenir. Ardından bu faktörlerin performansını belirleyen özellik üzerindeki etkilerinin tespit edilmesi ve en uygun kombinasyonunun bulunması için kontrol edilemeyen faktörler dikkate alınarak deneyler yapılır. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen performans göstergesi değerlendirilerek en uygun

şartlar tespit edilir. Bu yaklaşım çerçevesinde yapılan deneyler, sisteme sorulan soru, deney sonuçları da sistemin verdiği cevap olarak algılanabilir. Kritik olan nokta ise doğru cevabı alabilmek için doğru sorunun sorulmasıdır [Scheffler, 1997].

Genelde soru sorma tekniği, her faktörü tek tek ele almak ve her faktörün sistem üzerindeki etkilerini ayrı ayrı tespit etmektir. Ancak böyle bir yaklaşımda faktörler arasındaki etkileşimler göz ardı edilmiş olacak ve bir faktörün etkisinin değerlendirilmesi sırasında diğer faktörlerin bulundukları düzeylerin sonuçlar üzerindeki etkisi yanıltıcı olacaktır. Tüm kombinasyonların denenmesi ise yüksek maliyet ve zaman kaybına yol açacak, çoğu zaman uygulanması olanaksız bir durum ortaya çıkaracaktır. Tüm bunların yanında sadece gerekli deneyleri gerçekleştirmek ve sonuçları değerlendirmek değil, sonuçların analizinde de uygun istatistiksel yöntemlerin kullanılması gereklidir. Doğal olarak gerçekleştirilecek her deney bir belirsizlik ve hata payı içerecektir [Scheffler, 1997].

Endüstride süreç gelişimi araştırmalarında yapılan deneyleri tasarlamak için, en çok bilgiyi en kısa sürede, en az maliyet ve işgücüyle elde eden çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Deney tasarımı için klasik sayılabilecek bazı yöntemlerin zorlukları, bu konuda yeni çalışmaların yapılmasına neden olmuştur. 1980 ve sonrası özellikle ürün geliştirmede kullanılan Taguchi yöntemi bu çalışmalardan biridir. Yapı olarak klasik kesirli yöntem ve Taguchi yöntemi birbirinden farklıdır. Bu farklılık 3^k sisteminde daha önem kazanmaktadır. Klasik kesirli faktöriyel tasarımda etkileşimlerin tümü ihmal edilmedikçe ana etkilerin tahminleri hakkında bilgi elde edilmesinin çok zor olduğu söylenmektedir [Montgomery,2001; Hicks,1973]. Fakat Taguchi tasarımında dikey dizinin görselliği, sapmanın hangi etkileşim bileşenlerinden kaynaklandığını gösterdiğinden, bazı tasarımlar için daha iyi tahminler elde edilebilmektedir.

Eğer çok sayıda parametre aynı anda incelenecekse, tam faktöriyel tasarım ile yapılması mümkün olmayacak kadar fazla sayıda deney yapmak gerekebilir. Örneğin, incelenecek parametre sayısı 11 ve her bir parametrenin düzeyi 3 alınırsa (3^{11}), yani 177147 adet deney yapmak gereklidir. Bu deney tasarımında, asıl etkiler hesaplanırken bazı bileşik etkilerin ihmal edilmesi söz konusu olabilir. İncelenen probleme bağlı olarak üç veya daha fazla düzeyli faktöriyel tasarım da kullanılabilir. Bir miktar bilgi kaybı olsa da, deneysel maliyetlerden sağlanan tasarruf miktarı ihmal edilemeyecek düzeylere ulaştığı için, genellikle, kesirli faktöriyel tasarım tam faktöriyel tasarıma tercih edilmektedir. Ayrıca kesirli faktöriyel tasarım kullanılarak, olayı etkileyen önemli parametreler belirlendikten sonra, istenirse, tam faktöriyel tasarım kullanılarak önemli olan parametrelerin daha ayrıntılı analizleri yapılabilir [Havuz, 2007].

Çalışmanın ikinci bölümünde deney tasarımı yöntemlerinden; Tam Faktöriyel Düzen, Kesirli Faktöriyel Düzen ve Taguchi Metot açıklanmıştır. Üçüncü bölümde Veri Zarflama Analizi ve yöntemlerinden bahsedilmiştir. Dördüncü bölümde Kesirli Faktöriyel Düzen Kullanılarak Veri Zarflama Analizinde Girdi ve Çıktı Değişkenlerinin Seçimi açıklanmıştır. Beşinci bölümde Ulaştırma verileri üzerine bir uygulama ele alınmıştır. Son bölümde ise sonuçlar tartışılarak yapılan çalışmanın detayları üzerinde durulmuştur.

2. DENEY TASARIMI YÖNTEMLERİ

Deney tasarım yöntemleri kullanıldığında varyans ve regresyon analizi sonuçları bazen etkin süreci ya da işlemi belirlemeyebilir. Örneğin regresyon analizi bir işlemin sonucu etkileyecek sıcaklığın etkisini tam olarak belirlemeyebilir. Bundan dolayı araştırmacı işlemin sonucunu iyileştirmek için bir sıcaklık ayarlaması yapmaz. İşlem sırasında sıcaklığın normal dalgalanmasından dolayı sapmalar meydana gelebilir. Bu dalgalanma istatistiksel olarak bulunabilecek büyüklükte değildir. Bu tür kısıtlar ve hatalar deney tasarımı yöntemi ile giderilir [Breyfogle, 2003].

Bu bölümde deney tasarımında sık kullanılan iki farklı yöntem kısaca açıklanmıştır. Bu yöntemler,

1. Kesirli faktöriyel düzen

2. Taguchi metodu

dır.

2.1. Kesirli Faktöriyel Düzen

Bir faktöriyel düzende göz önüne alınan faktörlerin sayısı arttıkça deneme kombinasyonlarının sayısı da hızlı bir biçimde artar. Bu durum 2^k faktöriyel düzende görülebilir. Burada k değişken sayısını göstermektedir. $k=5$ olduğunda bir tekrar için 32 deneme, $k=6$ için 64 deneme, $k=7$ için 128 deneme vb. gerekir. Deney sayısındaki bu artışla birlikte yüksek derecedeki etkileşimlerin sayısında da artış olur. Bu yüksek dereceli etkileşimlerin bazıları hata olarak kullanılabilir, ancak ikinci dereceden etkileşim önemli ise bunu açıklamak güç olacaktır. Bir tamamlanmış 2^k faktöriyel düzende deney yapılabilirse, aşağıdaki Çizelge 2.1 etkileşimlerin sayısı hakkında bir fikir verir.

Çizelge 2.1. Etkileşim dereceleri

		Ana Etki	Etkileşim Derecesi						
k	2 ^k		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
5	32	5	10	10	5	1			
6	64	6	15	20	15	6	1		
7	128	7	21	35	35	21	7	1	
8	256	8	28	56	70	56	28	8	1

Bloklama olmadığı varsayımı altında $k=7$ göz önüne alınırsa, 7 temel etki için 7 serbestlik derecesi, 21 birinci derece etkileşimi için 21 serbestlik derecesi, 35 ikinci derece etkileşimi için 35 serbestlik derecesi ve hata tahmini için geriye kalan, $35+21+7+1=64$ serbestlik derecesi olacaktır. Bu deneyde etkiler bloklarla karıştırılmış olsa bile hata kestirimi için yine büyük sayıda serbestlik derecesi kalacaktır. Böyle durumlarda 128 gözlemin tam tekrarını uygulamak ekonomik olmayabilir. Hemen hemen gözlemlerin yarısından gerekli bilgi elde edilebilir. Bir tekrarın yalnız bir kısmı uygulandığı zaman bu düzene kesirli tekrar ya da kesirli faktöriyel düzen denir [Erbaş ve Olmuş, 2005].

2.1.1. 2^k faktöriyel düzen

2³ faktöriyel düzen her biri iki düzeyli üç faktörden oluşan deney düzenidir. Bu düzende toplam 8 tane deneme kombinasyonu vardır. Bu deneme kombinasyonlarına ilişkin Çizelge aşağıda verilmiştir (Çizelge 2.2).

Çizelge 2.2. 2^3 Faktöriyel düzende deneme kombinasyonları

Deneme Kombinasyonu	Etki						
	A	B	AB	C	AC	BC	ABC
(1)	-	-	+	-	+	+	-
A	+	-	-	-	-	+	+
B	-	+	-	-	+	-	+
AB	+	+	+	-	-	-	-
C	-	-	+	+	-	-	+
AC	+	-	-	+	+	-	-
BC	-	+	-	+	-	+	-
ABC	+	+	+	+	+	+	+

Çizelge 2.2 incelendiğinde, ABC ile blokların karışımının bir sonucu olarak ABC'nin hep artı işaretli olduğuna dikkat edilir. Aynı zamanda A'nın ve BC 'nin etkilerinin;

$$A=+A-B-C+ABC \quad (2.1)$$

$$BC=+A-B-C+ABC \quad (2.2)$$

olduğu görülür, bu durumda A ve BC etkileri ayırt edilemez. Aynı sayısal değere sahip olan iki ya da daha çok etkiye eşdeğerler denir. Burada; B ile AC, C ile AB eşdeğerdir.

Bir araştırmacının her biri iki düzeyli üç faktör ile ilgilendiğini, ancak $2^3=8$ deney yapamadığını yalnız dört deney yapabileceği düşünölsün. Bu durum 2^3 faktöriyel düzenin yarısıdır. ABC etkileşiminin bloklar ile karıştırıldığı varsayölsün. Burada $I=ABC$ tanımlayıcı bağıntı olmak üzere iki blok aşağıdaki çizelgede verilmiştir (Çizelge 2.3).

Çizelge 2.3. 2^3 Faktöriyel düzen blokları

I=ABC				
Blok1	(1)	AB	BC	AC
Blok2	A	B	C	ABC

Deneyin yalnız bir kısmı uygulandığı zaman etki karışımı nedeniyle eşdeşleri denetlenmelidir ve böyle bir düzen uygun ise bu eşdeşlerin aynı anda bulunmadığından emin olunmalıdır. Bir 2^3 'ün yarı tekrarının çözümü Çizelge 2.3'de verilmiştir.

2^{3-1} Faktöriyel düzen için değişken ve eşdeşlerin serbestlik dereceleri Çizelge 2.4' de verilmiştir.

Çizelge 2.4. 2^{3-1} Faktöriyel düzen için varyans analizi sonuç tablosu

Kaynak	sd
A (ya da BC)	1
B (ya da AC)	1
C (ya da AB)	1
Toplam	3

Kareler toplamları ise;

$$KT_A = \frac{1}{n2^2} [Bağıntı_A]^2 \quad (2.3)$$

$$KT_B = \frac{1}{n2^2} [Bağıntı_B]^2 \quad (2.4)$$

$$KT = \frac{1}{n2^2} [Bağıntı_C]^2 \quad (2.5)$$

elde edilir. KT_A A değişkeni için kareler toplamını göstermektedir. Aynı şekilde KT_B ve KT_C de B ve C değişkenleri için kareler toplamlarını göstermektedir. Araştırmacı birinci derece etkileşimlerin önemli olmadığından emin olmadıkça ve A, B, C'yi test etmede kullanmak için hatanın dış

kaynağına ait bilgilere sahip olmadıkça pratik bir deney yapmış olamaz. Bu durumun gerçek yararı n değerlerinin büyük olduğu düzenlerde görülecektir.

2^k faktöriyel düzen deneyinin kesirli tekrarındaki bir etkinin eşdeğerlerini bulmanın kolay yolu tanımlayıcı bağıntıdaki terimler ile etkiyi 2 modülüne göre çarpmaktır. Her faktör 2 düzeyli olduğundan sonuçlar orijinal etkinin eşdeşleri olacaktır. Bu eşdeşler Çizelge 2.5’de verilmiştir.

Çizelge 2.5. Deneme kombinasyonlarının etki karışımı

$A(ABC)=BC$	$AC(ABC)=B$
$B(ABC)=AC$	$BC(ABC)=A$
$C(ABC)=AB$	$ABC(ABC)=(1)$
$AB(ABC)=C$	$(1)(ABC)=ABC$

Tanımlayıcı bağıntı olarak $I = ABC$ alındığı zaman değişkenlerle 2 modülüne göre çarpılması sonucu Çizelge 2.6 elde edilir.

Çizelge 2.6. $I = ABC$ ve $I = -ABC$ tanımlayıcı bağıntıları

$I = ABC$	$I = -ABC$
A	BC
B	AC
C	AB
ABC	(1)

Bu basit kural 2^k faktöriyel düzende her kesirli tekrar için geçerlidir. $k=5$ için 2^5 için bu kuralı uygulanırsa $I_1 = ABCDE$ tanımlayıcı bağıntısı için 2^5 kesirli faktöriyel düzen etki karışımı tablosu Çizelge 2.7’ de elde edilmiştir.

Çizelge 2.7. 2^5 Kesirli faktöriyel düzen etki karışımı tablosu

$A(ABCDE)=BCDE$	$ABD(ABCDE)=CE$
$B(ABCDE)=ACDE$	$ABE(ABCDE)=CD$
$C(ABCDE)=ABDE$	$ACD(ABCDE)=BE$
$D(ABCDE)=ABCE$	$ACE(ABCDE)=BD$
$E(ABCDE)=ABCD$	$ADE(ABCDE)=BC$
$AB(ABCDE)=CDE$	$BCD(ABCDE)=AE$
$AC(ABCDE)=BDE$	$BCE(ABCDE)=AD$
$AD(ABCDE)=BCE$	$BDE(ABCDE)=AC$
$AE(ABCDE)=BCD$	$CDE(ABCDE)=AB$
$BC(ABCDE)=ADE$	$ABCD(ABCDE)=E$
$BD(ABCDE)=ACE$	$ABCE(ABCDE)=D$
$BE(ABCDE)=ACD$	$ABDE(ABCDE)=C$
$CD(ABCDE)=ABE$	$BCDE(ABCDE)=A$
$CE(ABCDE)=ABD$	$ACDE(ABCDE)=B$
$DE(ABCDE)=ABC$	$ABCDE(ABCDE)=(1)$
$ABC(ABCDE)=DE$	$(1)(ABCDE)=ABCDE$

$I_1 = ABCDE$ ve $I_1 = - ABCDE$ tanımlayıcı bağıntıları Çizelge 2.8' da iki bloğa ayrılıp eşdeğerler gösterilmiştir.

Çizelge 2.8. $I_1 = ABCDE$ ve $I_1 = -ABCDE$ tanımlayıcı bağıntıları

$I_1 = ABCDE$	$I_1 = - ABCDE$
A	BCDE
B	ACDE
C	ABDE
D	ABCE
E	ABCD
AB	CDE
AC	BDE
AD	BCE
AE	BCD
BC	ADE
BD	ACE
BE	ACD
CD	ABE
CE	ABD
DE	ABC
ABCDE	(1)

İkinci adım olarak ikinci yarı tekrar için $I_2 = ACDE$ alırsak 2^5 kesirli faktöriyel düzen eşdeğerleri Çizelge 2.9' da elde edilmiştir.

Çizelge 2.9. 2^5 Kesirli faktöriyel düzen eşdeşleri

A=BCDE=CDE=AB	AE=BCD=CD=ABE
B=ACDE=ABCDE=(1)	BC=ADE=ABDE=C
C=ABDE=ADE=BC	BD=ACE=ABCE=D
D=ABCE=ACE=BD	BE=ACD=ABCD=E
E=ABCD=ACD=BE	CD=ABE=AE=BCD
AB=CDE=BCDE=A	CE=ABD=AD=BCE
AC=BDE=DE=ABC	DE=ABC=AC=BDE
AD=BCE=CE=ABD	ABCDE=(1)=B=ACDE

$I_2 = ACDE$ ve $I_2 = -ACDE$ tanımlayıcı bağıntılarının iki bloğa ayrılmış hali Çizelge 2.10' de verilmiştir.

Çizelge 2.10. $I_2 = ACDE$ ve $I_2 = -ACDE$ tanımlayıcı bağıntıları

$I_2 = ACDE$	$I_2 = -ACDE$
A	AB
C	BC
D	BD
E	BE
AC	DE
AD	CE
AE	CD
ABCDE	B

Bu durum, A,B,C,D,, J ve K faktörlerine sahip 2^k faktöriyel tasarım için aşağıdaki gibi genelleştirilir: Tanımlayıcı bağıntı ABC...K etkileşim etkisi olmak üzere, eşdeşler aşağıdaki gibi elde edilir.

$$A(ABC...K)=BC...K$$

$$B(ABC...K)=AC...K$$

$$C(ABC...K)=AB...K$$

.

$$AB(ABC...K)=C...K$$

.

.

$$ABC(ABC...K)=D...K$$

.

$$ABC...J(ABC...K)=K \quad (2.6)$$

Kareler toplamları ise;

$$SS_X = \frac{1}{n2^{k-1}} [Bağıntı_X]^2$$

(2.7)

dir. Burada X , 2^k faktöriyel tasarımda kullanılan faktörleri veya faktör etkileşimlerini göstermektedir. SS_X X değişkeni için kareler toplamını göstermektedir.

Faktöriyel tasarımlarda, hata genellikle önemli olmayan ya da daha az öneme sahip olduğu düşünülen faktöriyel etkilerin toplamı olarak ifade edilir. Hatayı belirlemenin çeşitli yolları vardır. Bunlardan biri, açıklama oranıdır. Açıklama oranı, etkinin kareler toplamının genel kareler toplamına oranıdır. Açıklama oranı düşük olan etkiler ihmal edilebilir olduklarından genellikle hata terimi olarak alınırlar. İhmal edilebilecek olan faktöriyel etkilere ait kareler toplamlarından SS_{HATA} elde edilir ve önemli olduğu düşünülen faktöriyel etkilerin aynı zamanda anlamlı olup olmadığını belirlemek için;

$$F = \frac{MS_X}{MS_{Hata}} \quad (2.8)$$

istatistiği kullanılır. Burada MS_X , X' e ait hata kareler ortalamasını ve MS_{Hata} hataya ait kareler ortalamasını gösterir.

2.1.2. 3^k faktöriyel düzen

En basit 3^k faktöriyel düzeni, tam bir faktöriyel düzen için dokuz deney gerektiren 3^2 faktöriyel düzendir. Bunların yalnız bir kısmı uygulanabilir ise, 3^2 faktöriyel düzenin üçte bir tekrarı düşünülebilir. Her bir faktör üç düzeyli olduğu için 3^k faktöriyel düzende blok sayısı üç ve bloklar arası serbestlik derecesi ikidir. Her iki faktör etkileşimi dört serbestlik derecesine sahip olur. Bu faktör etkileşimleri ikişer serbestlik dereceli iki bileşene ayrılabilir. Örneğin; AB etkileşiminin ikişer serbestlik dereceli bileşenleri AB ve AB^2 'dir. Her üç faktör etkileşimi sekiz serbestlik dereceli olup, bu etkileşimlerde ikişer serbestlik dereceli dört bileşene ayrılabilir. Örneğin; ABC etkileşiminin ikişer serbestlik dereceli bileşenleri ABC, AB^2C , ABC^2 , ABC^2 'dir. Önce AB ya da AB^2 üç blok ile karıştırılır. AB^2 'nin karıştırılması ile;

$$I = AB^2 \quad (2.9)$$

$$L = X_1 + 2X_2 \quad (2.10)$$

elde edilmiştir ve üç blok Çizelge 2.11'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.11. 3^k Faktöriyel tasarım blokları

L=0	L=1	L=2
00	10	20
11	21	01
22	02	12

Bu üç bloktan biri uygulanırsa eşdeşler,

$$A (AB^2) = A^2B^2 = A^4B^4 = AB \quad (2.11)$$

dir. $A^4B^4 = AB \pmod{3}$ elde etmek için A^2B^2 'nin karesi alınmıştır. Bununla birlikte B'nin eşdeşi

$$B[(AB^2)] = AB^3 = A \quad (2.12)$$

dir. Bu durumda A, B ve AB etkilerinin tümü eşdeştirler ve karşılıklı olarak etkileri karıştırılmıştır. Tanımlayıcı bağıntıyı kullanarak bir çarpımdan eşdeşlerin ikisini de elde etmek için;

$$A(AB^2)^2 = A(A^2B^4) = A^3B = B \quad (2.13)$$

elde edilir. Bu durumda $A=AB=B$ uygulanan blok içinde serbestlik derecelerinin her ikisi de A,B ve AB etkileri ile karıştırıldığı için bu deney yetersizdir. Buna ek olarak hata için serbestlik derecesi kalmamıştır. Bu örnek yalnız 3^k faktöriyel düzeni kesirli bir tekrar olarak uygulandığında eşdeşleri belirtmede ufak bir değişiklik gerektiğini göstermek için verilmiştir. Bu kesirli tekrarların değeri daha çok faktör söz konusu olduğu zaman görülür.

Her birinde dokuz deneme kombinasyonu olan üç bloklu bir 3^3 faktöriyel düzeni göz önüne alınsın. Bu model denklemi aşağıdaki gibidir;

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + AB_{ij} + C_k + AC_{ik} + BC_{jk} + ABC_{ijk} + \varepsilon_{ijkl} \quad (2.14)$$

Bu modelde her biri 3 düzeyli 3 faktör ele alındığı için 27 deneme kombinasyonu vardır. Bu deneme kombinasyonları Çizelge 2.12'de verilmiştir.

Çizelge 2.12. 3^3 Faktöriyel düzende deneme kombinasyonları

Faktör B	Faktör C	Faktör A		
		0	1	2
0	0	000	100	200
	1	001	101	201
	2	002	102	202
1	0	010	110	210
	1	011	111	211
	2	012	112	212
2	0	020	120	220
	1	021	121	221
	2	022	122	222

Etkiler, 2 serbestlik dereceli 13 parçaya ayrılabilirler: A, B, C, AB, AB^2 , AC, AC^2 , BC, BC^2 , ABC, ABC^2 , AB^2C , AB^2C^2 'dir. ABC^2 üç blok ile karıştırılarak,

$$I=ABC^2 \quad (2.15)$$

$$L=X_1 + X_2 + 2X_3 \quad (2.16)$$

elde edilir ve bloklar aşağıdaki çizelgede verilmiştir (Çizelge 2.13).

Çizelge 2.13. 3^3 Faktöriyel düzende bloklar

L=0	000	011	022	101	112	120	210	221	202
L=1	100	111	122	201	212	220	010	021	002
L=2	200	211	222	001	012	020	110	121	102

Bu blokların nasıl elde edileceği aşağıda gösterilmiştir;

$I=AB^2C^2$ tanımlayıcı bağıntıya karşılık gelen doğrusal bağıntı,

$$u=X_1 + 2X_2 + 2X_3 \quad (2.17)$$

ile verilir. Buna göre, 3^3 faktöriyel düzende bloklar mod3' e göre incelendiğinde elde edilen bloklar Çizelge 2.14'de verilmiştir.

Çizelge 2.14. $I = AB^2C^2$ tanımlayıcı bağıntı blokları

L=0	L=1	L=2
000	002	001
012	011	010
021	020	022
122	100	102
101	121	111
110	112	120
202	201	200
211	210	212
220	222	221

Tanımlayıcı bağıntı bloklarından Çizelge 2.15' da değişkenlerin deneme kombinasyonlarına geçilmiştir.

Çizelge 2.15. $I = AB^2C^2$ tanımlayıcı bağıntı deneme kombinasyonları

1	2	3
(1)	C^2	C
BC^2	BC	B
B^2C	B^2	B^2C^2
AB^2C^2	A	AC^2
AC	AB^2C	ABC
AB	ABC^2	AB^2
A^2C^2	A^2C	A^2
A^2BC	A^2B	A^2BC^2
A^2B^2	$A^2B^2C^2$	A^2B^2C

$I=AB^2C^2$ olduğundan eşdeğerler Çizelge 2.16' de verilmiştir.

Çizelge 2.16. 3^3 faktöriyel düzen eşdeğerleri

$(1)(AB^2C^2)=AB^2C^2$	$AB(AB^2C^2)=A^2C^2$
$BC^2(AB^2C^2)=AC$	$A^2C^2(AB^2C^2)=B^2C$
$B^2C(AB^2C^2)=AB$	$A^2BC(AB^2C^2)=(1)$
$AB^2C^2(AB^2C^2)=ABC$	$A^2B^2(AB^2C^2)=BC^2$
$AC(AB^2C^2)=A^2B^2$	

Çizelge 2.17' de 3^3 faktöriyel düzen eşdeğerleri gruplara ayrılmıştır.

Çizelge 2.17. 3^3 faktöriyel düzen grupları

1.GRUP için	2.GRUP için	3.GRUP için
$(1)=AB^2C^2=A^2BC$	$C^2=AB^2C=A^2B$	$C=AB^2=A^2BC^2$
$BC^2=AC=A^2B^2$	$BC=A=A^2B^2C^2$	$B=AC^2=A^2B^2C$
$B^2C=AB=A^2C^2$	$B^2=ABC^2=A^2C$	$B^2C^2=ABC=A^2$

Buradan her gruptan alınan 3'er değerle Çizelge 2.18 elde edilir.

Çizelge 2.18. 3^3 faktöriyel düzen

L=0	000	011	022	101	112	120	210	221	202
L=1	100	111	122	201	212	220	010	021	002
L=2	200	211	222	001	012	020	110	121	102

Örneğin;

1. Gruptan $(1) \rightarrow (000)$, $A^2C^2 \rightarrow (202)$, $AC \rightarrow (101)$ alınmıştır.

2.Gruptan $A^2B \rightarrow (210)$, $BC \rightarrow (011)$, $ABC^2 \rightarrow (112)$ alınmıştır.

3.Gruptan $AB^2 \rightarrow (120)$, $A^2B^2C \rightarrow (221)$, $B^2C^2 \rightarrow (022)$ alınmıştır.

Bu şekilde 1. satır elde edilmiş olur benzer şekilde 2. ve 3. satırlar da elde edilir.

2.2. Taguchi Metodu

Taguchi Yöntemi, parametre tasarımı, sistem tasarımı ve tolerans tasarımı üzerine kurulmuş bir deney tasarım ve optimizasyon yöntemidir. En yaygın olarak, kalite güvence sistemleri kapsamında toplanan verilerin, istatistiksel analizinde kullanılmaktadır. Taguchi'nin deney tasarım yöntemi, farklı parametrelerin, farklı düzeyleri arasından optimum kombinasyonu saptamak adına oldukça yararlı bir yöntemdir [Hamzaçebi, 2003].

Genichi Taguchi, kendi adıyla anılan yaklaşımı ile deneylerin gerçekleştirilmesi ve değerlendirilmesindeki verimliliği arttıracak bir çözüm getirmiştir [Ross, 1996]. Böylece deney öncesi yapılan çalışmalar sonucunda deney sayılarında önemli derecede azalma gözlenmiştir.

Her bir parametrenin, her bir düzeyini içeren tüm kombinasyonlar için oldukça fazla deneysel çalışma yapılması gereken durumlarda, Taguchi Yöntemi kullanılarak, çok daha az sayıda deneysel çalışma ile sonuca ulaşmak mümkün olmaktadır. Taguchi deneysel tasarım metodunda geliştirilen metodoloji üç temel kavramdan oluşur bunlar; sistem tasarımı, parametre tasarımı ve tolerans tasarımıdır [Hamzaçebi, 2003].

Sistem tasarımı: Sistem tasarımı bu metodun ilk adımıdır. Bu adımda eldeki bütün materyaller değerlendirilerek, aynı zamanda mevcut teknolojik yenilikler araştırılır ve sistemde kullanılabilirliği üzerine fizibilitesi yapılır. Bu adımda amaç en az maliyetle en iyi ürün tasarımı ve maksimum müşteri memnuniyetidir.

Parametre tasarımı: Süreç yenilemesi ve iyileştirmesinin en önemli adımı parametre tasarımıdır. Bu adımda üretilecek olan ürünün ya da geliştirilecek olan ürünün özelliklerinin en iyi düzeye getirilebilmesi için üretimde kullanılan parametrelerin iyileştirilmesi sağlanır. Parametrelere en iyi düzeyler seçilir.

Üretim esnasında ürünün kalitesini olumsuz etkileyecek kontrol edilemeyen etkiler belirlenir. Bunlara kontrol edilemeyen parametre adı verilir bu parametrelerin etkileri minimize edilir.

Bu adımda parametreler bloklanırken Taguchi'nin geliştirmiş olduğu ortogonal diziler kullanılır. Aynı zamanda gürültü oranı (S/N - Signal/Noise) analizi ile hesaplama yapılabilir.

Parametreler belirlendikten sonra Taguchi ortogonal dizisinden bir dizi seçmek gerekmektedir. Resim 2.1' de Taguchi ortogonal dizi seçim tablosu görülmektedir. Bu tabloya göre, bir araştırmacı 7 parametreye sahipse ve her bir parametrenin 2 düzeyi olduğu kabul edilirse L_8 dizisi en uygun dizi olarak seçilir. Resim 2.1' de L_{16} ve L_{32} dizileri 4 düzeyli deneyler için kullanılmaktadır. Aşağıda verilen tablonun dışında kalan parametre ve düzeyler için deney şartları daha zor olduğundan parametre ya da düzey küçülterek uygun diziye getirilmesi tavsiye edilmektedir.

Seviye Sayısı									
Parametre Sayısı	2		3		4		5		
	P = 2, S = 2	L4	P = 2, S = 3	L9	P = 2, S = 4	L'16	P = 2, S = 5	L25	L50
	P = 3, S = 2		P = 3, S = 3		P = 3, S = 4		P = 3, S = 5		
	P = 4, S = 2	L8	P = 4, S = 3	L18	P = 4, S = 4	L'32	P = 4, S = 5		
	P = 5, S = 2		P = 5, S = 3		P = 5, S = 4		P = 5, S = 5		
	P = 6, S = 2		P = 6, S = 3		P = 6, S = 4		P = 6, S = 5		
	P = 7, S = 2	L11	P = 7, S = 3	L27	P = 7, S = 4		P = 7, S = 5		
	P = 8, S = 2		P = 8, S = 3		P = 8, S = 4		P = 8, S = 5		
	P = 9, S = 2		P = 9, S = 3		P = 9, S = 4		P = 9, S = 5		
	P = 10, S = 2	L16	P = 10, S = 3	L36	P = 10, S = 4		P = 10, S = 5		
	P = 11, S = 2		P = 11, S = 3				P = 11, S = 5		
	P = 12, S = 2	L32	P = 12, S = 3				P = 12, S = 5		
	P = 13, S = 2		P = 13, S = 3						
	P = 14, S = 2		P = 14, S = 3						
	P = 15, S = 2	L32	P = 15, S = 3						
	P = 16, S = 2		P = 16, S = 3						
	P = 17, S = 2		P = 17, S = 3						
	P = 18, S = 2		P = 18, S = 3						
	P = 19, S = 2		P = 19, S = 3						
	P = 20, S = 2		P = 20, S = 3						
	P = 21, S = 2		P = 21, S = 3						
	P = 22, S = 2		P = 22, S = 3						
	P = 23, S = 2		P = 23, S = 3						
	P = 24, S = 2								
	P = 25, S = 2								
	P = 26, S = 2								
	P = 27, S = 2								
	P = 28, S = 2								
	P = 29, S = 2								
	P = 30, S = 2								
	P = 31, S = 2								

Resim 2.1. Taguchi ortogonal dizi seçim tablosu

Tolerans tasarımı: Tolerans tasarımında parametre belirleme çalışmaları sonucu istenilen hedefe ulaşamadığı durumda yapılan ilave çalışmalardan ibarettir. Bu aşamada gözlenen değerlerden faydalanılarak ürünün hedef değerden sapma göstermesinin getirdiği kayıplar bulunur ve bu sapmalar azaltılır.

Ortogonal dizinin kullanımı sadece Taguchi'ye mahsus değildir. Ancak Taguchi, kullanımları basitleştirmiştir. Ortogonal dizinin ilk kullanılması, 1930'lu yıllarda, İngiltere'de Fisher tarafından olmuştur. Ortogonal dizi, dengelenmiş dizi anlamında kullanılmaktadır [Hamzaçebi ve Kutay, 2003].

Taguchi, çok sayıda deneysel durumu açıklamak için ortogonal dizileri oluşturmuştur. Ortogonal dizinin en önemli özelliği, birçok faktörün en az sayıda test edilmesi ve faktör düzeylerini eş zamanlı olarak değiştirme yapmaya olanak sağlamasıdır. Ortogonal diziler problemin özelliğine göre, 2 kademeli, 3 kademeli, 2 ve 3 kademeli olarak belirlenmektedir. Ortogonal dizilere tasarım matrisi de denilmektedir. Genel gösterimi;

d: Toplam deney sayısı,

a: Faktörlerin düzey sayısı

k: Faktör sayısı

L: Ortogonal dizi

olmak üzere,

$$L_d(a)_k \text{ ya da } L_d \quad (2.18)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Genel olarak kullanılan diziler 2 düzeyliler için L_4 , L_8 , L_{16} ve L_{32} ve 3 düzeyliler için L_9 , L_{18} ve L_{27} dizileri olmaktadır. Dizilerin seçimi düzey sayısı ve toplam serbestlik derecesine göre yapılmaktadır.

Ortogonal dizi, ürün ortalaması ve varyansında etkili olan birçok faktörle aynı anda ve daha kısa sürede çalışmayı sağlamaktadır. L_9 tasarım matrisi örnek olarak Çizelge 2.19' de verilmiştir.

Çizelge 2.19. L₉ tasarım matrisi

	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

Ortogonal Dizinler tam faktöriyel tasarım gereği (2^k veya 3^k) çok sayıda yapılması gereken denemeleri büyük oranda azaltmaktadır. Çizelge 2.19 için, tam faktöriyel tasarıma göre $3^4=81$ adet deneme yapılması gerekirken, ortogonal dizinler sayesinde deneme sayısı 9'a düşmektedir.

Ortogonal dizinin seçiminde faktör gurubunun toplam serbestlik derecesine bakılır. Faktör gurubunun serbestlik derecesi, tüm faktör ve etkileşimlerin serbestlik dereceleri toplamına eşittir. Toplam serbestlik derecesi dizilerden hangisine uygunsa o tercih edilir. Toplam serbestlik derecesine 1 eklendiğinde deneme sayısına eşit oluyorsa uygunluk sağlanır. Toplam serbestlik derecesi deneme sayısından büyük veya eşitse bir üst dizi uygundur.

Faktör ve/veya etkileşimlerin seçilen ortogonal düzene göre kolonlara atanmasında, Dr. Taguchi tarafından geliştirilen doğrusal grafikler ve üçgensel tablolar kullanılmaktadır.

Doğrusal grafikler, faktörlerin atanacağı sütunları ve hangi sütunların bu faktörlerin etkileşimini kullanılacağını göstermektedir. Üçgensel tablolar ise faktörler arasında gerçekleşen tüm etkileşimleri içermektedir.

3. VERİ ZARFLAMA ANALİZİ

İstatistiki analizlerde kullanılan Veri Zarflama Analizi (VZA) tekniği parametrik olmayan, doğrusal programlama prensiplerine dayanan görelî etkinlik kıyaslaması yapan bir yöntemdir. Literatürde Karar Verme Birimleri(KVB) olarak geçen birbiri ile aynı girdi kullanarak benzer çıktıları üreten kurum ve kuruluşları karşılaştırarak görelî verimliliğini ölçebilen ve etkinlik analizi yapabilen firmalar arası karşılaştırma modeli olarak da bilinen bir analiz yöntemidir. Veri Zarflama Analizi (VZA) Karar Verme Birimleri (KVB) arasında relatif etkinlik tahmini için doğrusal programlama tabanlı bir analizdir. Bu KVB'ler farklı miktarlarda ama aynı girdi ve çıktıyı kullanan okul, banka, lokanta, otel vb.dir. Bir KVB'nin relatif etkinlik skoru ağırlıklandırılmış çıktı toplamının ağırlıklandırılmış girdi toplamına oranı olarak tanımlanmıştır. İlk olarak VZA 1978'de Charnes ve arkadaşları tarafından kuruldu. VZA birçok farklı sektöre uygulanabilir analitik olmayan bir yöntemdir. Bu yöntemin uygulanabilirliğini artırmakla beraber ulaşılabilir bilgi olmayınca bu bilgileri içeren bileşenin modelin dışına itilmesi bazen normal olmayan etkinlik skorlarının ortaya çıkmasına sebep olabilmektedir. Ancak yine de eksik verilerle de olsa etkinlik ölçümünün yapılması bir işletmeye sonraki yıllarda planlayacağı stratejik hedeflerin belirlenmesinde önemli yol gösterici olur.

VZA dünyada yaygın olarak kullanımına rağmen, ülkemizde genelde bilgilere kolay ulaşılabilen sağlık ve bankacılık alanları ile İMKB şirketleri alanı ile sınırlı kalmıştır. Bunun başlıca sebepleri ise yönetimin karmaşık görünümü, uygulama yapılabilmesi için gerekli olan bilgilerle ulaşma güçlüğü, kamu için düzenli veri toplanmaması ve performans ölçümüne karşı dirençlerin aşılabilmesinden kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte son yıllarda bilgisayar programlarının uygulamayı kolaylaştırması bu yöntemin kullanımını yaygınlaştırmaktadır.

3.1. Verimlilik

Verimlilik, üretim süreci sonunda elde edilen çıktılar ile üretim sürecinde kullanılan girdi kaynaklarının oranı şeklinde tanımlanabilir. Mevcut girdi ile üretilebilecek maksimum çıktı elde edilmeye çalışılır. Bu aşamada sistemin bu üretimi sağlayıp sağlamadığı ve sağlıyorsa ne ölçüde sağladığı tartışması, verimlilik kavramını ortaya çıkarır.

3.2. Etkinlik

Etkinlik, yapılan üretimde kullanılan kaynakların ne kadar iyi kullanıldığını tanımlar. Etkinlik verimliliğin tamamlayıcı unsurudur. Etkinlik ve verimlilik arasında fark yok gibi görünmektedir. Ancak etkinlik çıktılarla verimlilik girdilerle ilgilenmektedir.

3.3. Veri Zarflama Analizi ve Karar Verme

Bir karar verici için birden çok karar noktası varsa, bu karar noktalarının etkinliklerini tahminlemek ve kararını bu etkinlikler ölçüsünde şekillendirmek önem taşır. Gerçektende karar noktalarının etkinlik sıralaması karar verici açısından önemlidir. Karar verici diğerlerine nazaran daha az etkin olan karar noktalarının etkinliklerinin artırılmasını sağlayacak senaryoların, kararın bütününe etkinliğini nasıl değiştireceğini bilmek ister.

Bu noktada Veri Zarflama Analizi, benzer girdiler kullanarak çıktı ya da çıktılar ortaya koymakla sorumlu karar noktalarının göreceli etkinliklerini değerlendirmek için kullanılan ve doğrusal programlama tabanlı bir yöntem olarak tanımlanabilir. Veri Zarflama Analizini benzer amaçlı diğer yöntemlerden ayıran temel özellik, çok sayıda girdi ve çıktının olduğu durumlarda değerlendirme yapılabilmesini sağlamasıdır. Analiz sonucunda, her karar noktasının etkinlik değeri, etkin olmayan karar noktalarının hangi girdi/çıktı oranlarında etkinliklerinin nasıl arttırılabileceği ve referans olarak kullanılabilecek karar noktalarına ilişkin bilgiler elde edilir.

Veri Zarflama Analizi ilk kez 1957 yılında Farrell tarafından Ortalama Performans ölçütüne karşılık ortaya atılan Sınır Üretim Fonksiyonu önerisi ile şekillenmiş Charnes, Cooper, Banker, ve Rhodes'in çalışmalarıyla bugünkü haline gelmiştir.

Veri zarflama analizinde temel etkinlik ölçütü, çıktıların ağırlıklı toplamlarının girdilerin ağırlıklı toplamlarına bölümüdür. Diğer bir deyişle herhangi bir karar noktasının etkinlik ölçütü (j. karar noktası)

$$\frac{u_1y_1+u_2y_2+\dots+u_ny_n}{v_1x_1+v_2x_2+\dots+v_mx_m} \quad (3.1)$$

biçiminde ifade edilir.

Yukarıda yer alan formül için n adet çıktı ve m adet girdi vardır. Burada u_n n. çıktının ağırlığını, y_n n. çıktının miktarını, v_m m. girdinin ağırlığını ve x_m m. girdinin miktarını göstermektedir.

Veri Zarflama Analizinde kullanılan yöntemler, girdi ya da çıktı odaklı olarak çözülebilir. Burada girdi odaklılık, çıktı miktarının sabit tutularak girdi miktarında meydana gelecek değişimlerin incelenmesi, çıktı odaklılık ise girdi miktarının sabit tutularak çıktı miktarında meydana gelecek değişimlerin incelenmesi olarak tanımlanmıştır.

Yukarıdaki formülden de görüleceği gibi Veri Zarflama Analizi bir kesirli programlama sürecini içermektedir. Ancak kesirli programlamanın çözümü güçtür. Bu nedenle kesirli programlama seti yukarıdaki formülün paydasının 1'e eşit olacağı ana varsayımı ile doğrusal programlama setine dönüştürülebilir ve çözülebilir.

3.4. Veri Zarflama Analizinde Yöntemler

Kullanım alanlarına ve varsayımlara göre pek çok Veri Zarflama Analizi modeli kurulabilir. Hangi modelin seçileceği ya da nasıl bir model kurulacağı

girdi ve çıktıların kontrol edilip edilmediğine bağlıdır. Eğer girdiler üzerinde kontrol azsa, çıktı odaklı bir model; eğer çıktılar üzerinde kontrol azsa, girdi odaklı bir model kurulmalıdır. Her şeye rağmen bir odak oluşturulamıyorsa toplamsal modelleri kullanmak uygun olacaktır.

Eğer karar verici, karar noktalarının etkinlik durumuyla ilgileniyor ve etkinlik türünü önemsemiyorsa tüm modeller kullanılabilir. Ancak karar verici etkinlik türünü önemseiyorsa toplamsal modeller kullanılmamalıdır. Bu tür modeller karma etkinliği verir ve etkinliklerin türlerine göre ayrışımı incelenemeyeceğinden,

Temel olarak kullanılan 3 yöntem;

- Charnes-Cooper-Rhodes(CCR) Yöntemi
- Banker-Chaenes-Cooper (BCC) Yöntemi
- Toplamsal Yöntem

dir.

3.4.1. CCR yöntemi

CCR Yöntemi ölçeğe göre sabit getiri varsayımına dayanır. Eğer j. Karar biriminin etkinliği h_j ise amaç, bu değerin maksimizasyonu olmalıdır. Bu durumda amaç fonksiyonu girdi odaklılık varsayımı altında

$$Enb\ h_j = \frac{\sum_{r=1}^n u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \quad (3.2)$$

formülü ile ifade edilir [Tarım, 2001].

Kısıtlar ise;

$$\begin{aligned}\frac{\sum_{r=1}^n u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} &\leq 1 \\ u_r &\geq 0 \\ v_i &\geq 0\end{aligned}\tag{3.3}$$

biçimindedir.

Doğrusal programlama mantığıyla ifade edersek;

$$\begin{aligned}Enb\ h_j &= \sum_{r=1}^n u_r y_{rj} \\ \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} &= 1 \\ \sum_{r=1}^n u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} &\geq 0 \\ u_r, v_i &\geq 0\end{aligned}\tag{3.4}$$

Eğer çıktı odaklılık durumu için CCR Yöntemi uygulanacaksa bu durumda doğrusal programlama modeli;

$$Enk\ g_j = \sum_{i=1}^m v_i x_{ij}\tag{3.5}$$

$$\begin{aligned}\sum_{r=1}^n u_r y_{rj} &= 1 \\ -\sum_{r=1}^n u_r y_{rj} + \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} &\geq 0\end{aligned}$$

$$u_r, v_i \geq 0\tag{3.6}$$

biçiminde olur.

Modelde kullanılan semboller;

x_{ij} : j'inci karar verme biriminin kullandığı i'inci girdi miktarı,

y_{rj} : j'inci karar verme biriminin kullandığı r'inci çıktı miktarı,

u_r : karar verme birimi tarafından r'inci çıktıya verilen faktör ağırlığı,

v_i : karar birimi tarafından i'inci girdiye verilen faktör ağırlığı,

şeklinde tanımlanır.

İster girdi odaklı, ister çıktı odaklı düşünölsün, bir karar verici karar noktalarının etkinliklerine CCR yöntemiyle karar vermek istiyorsa yukarıda tanımlanan modeli bütün karar noktaları için uygulamalıdır. Kurulan model her bir karar noktası için çözüldüğünde, her bir karar noktası için toplam etkinlik ölçütleri elde edilecektir. Bu ölçütlerin 1'e eşit olması karar noktaları için etkinliği, 1'den küçük olmaları ise karar noktalarının etkinsizliğini gösterir.

3.4.2. BCC yöntemi

CCR yönteminin varsayımlarında değışiklik yapılarak elde edilmiş bir modeldir. Bu model temelde ölçeğe göre değışken getiri varsayımına dayanır. BCC sınırı her zaman CCR sınırının altında yer alır. Bu yüzden CCR etkinlik skoru BCC etkinlik skorundan küçük veya ona eşit olacaktır.

BCC modelinin CCR modelinden tek farkı, ölçeğe göre değışken getiri varsayımı altında her bir karar birimi için çözülecek doğrusal program sonucu elde edilecek δ (etkin olmayan bir karar noktası için etkin olası girdi çıktı bileşimi oluşturmak için gereken bilgiyi sağlayan değır) değırlerinin toplamının 1'e eşit olmasıdır. BCC yönteminin modeli;

Amaç fonksiyonu;

$$Enk \theta_k$$

Kısıtlar;

$$\sum_{j=1}^N y_{rj} \delta_{jk} \geq y_{rk}$$

$$\theta_k x_{ik} - \sum_{j=1}^N x_{ij} \delta_{jk} \geq 0$$

$$\sum_{j=1}^N \delta_j = 1 \quad (3.7)$$

biçimindedir.

3.4.3. Toplamsal yöntem

CCR ve BCC modelleri girdiye ve çıktıya odaklı olarak değerlendirmektedir. Eğer bir model, bu iki çeşit odaklanmayı da beraber değerlendiriyorsa toplamsal modeldir. Burada asıl amaç, girdi fazlası ve çıktı eksikliğini eş zamanlı olarak ele alıp, etkinlik sınırı üzerinde etkinsiz karar birimine en uzaktaki noktaya ulaşmaya çalışmaktır. Etkinsizlik ise (1- Etkinlik) ile bulunur. Bu model sonucunda bir etkinlik skoru değeri elde edilmez. Karar birimlerinin etkin olup olmadıkları aylak değişken değerlerine bakılarak belirlenir. Eğer her iki aylak değişkenin değeri de sıfır ise o karar birimi bu modele göre etkin olacaktır.

3.5. Veri Zarflama Analizinin Avantajları, Dezavantajları

Veri Zarflama Analizi doğru şekilde kullanıldığı zaman çok etkin bir araçtır. Veri Zarflama Analizinin avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Çok girdi ve çok çıktıyı işleyecek niteliktedir.
- Doğrusal form dışında girdi ve çıktıları ilişkilendiren bir fonksiyonel forma ihtiyaç duymaz.
- Veri Zarflama Analizi ile etkinlikleri hesaplanan karar birimleri göreceli olarak tam etkinliğe sahip olanlarla kıyaslanır.

-Girdiler ve çıktılar çok farklı birimlere sahip olabilirler. Bu durumda, aynı biçimde ölçebilmek için çeşitli varsayımlar kullanmaya, dönüşümler yapmaya gerek yoktur.

Dezavantajları;

- Ölçüm hatasına karşı çok duyarlıdır.
- Karar noktalarının performansını ölçmek açısından yeterlidir, fakat bu değerlendirmenin mutlak etkinlik bazındaki yorumu ile ilgili ipucu vermez.
- Parametrik olmayan bir teknik olduğu için, sonuçlara istatistiksel hipotez testlerinin uygulanması zordur.
- Veri Zarflama Analizi, statik bir analiz şeklindedir, bir tek dönemdeki karar noktası verileri arasında bir kesit analizi yapar. Analiz sonucunda her karar noktası için tek bir etkinlik tahminleyicisi elde edilmektedir ve bu tahminleyicinin istatistiksel özelliklerinin elde edilmesi çok zordur.
- Her karar noktası için ayrı bir doğrusal programlama modelinin çözümü gerektiğinden, büyük boyutlu problemlerin Veri Zarflama Analizi ile çözümü hesaplama açısından zaman alıcı olabilir.

3.6. Veri Zarflama Analizi Süreci

Veri zarflama analizi için gerekli adımlar aşağıdaki gibidir.

- Karar noktalarının seçimi
- Girdi ve çıktı faktörlerinin seçimi
- Modelin seçimi
- Sonuçların yorumlanması

3.7. Karar Noktalarının Seçimi

Bu aşama Veri Zarflama Analizinin sonuçlarının geçerliliği açısından çok önemlidir. Veri Zarflama Analizi karşılaştırmalı bir analiz olduğu için yanlış

karar birimleri analize alınacak olursa tüm analiz sonuçları bundan etkilenecektir.

Bu aşamada dikkat edilmesi gereken hususlar;

- Karar noktaları, kullandıkları girdiler ve ürettikleri çıktılar açısından benzer olmalıdır. Diğer bir deyişle karar noktaları, aynı girdi ve çıktı kombinasyonları değerlendirilebilir olmalıdır.
- Tüm karar noktaları için benzer bir kaynaklar seti olmalıdır.
- Tüm karar noktaları benzer çevre şartlarında çalışıyor olmalıdır. Dış çevre işletmenin etkinliği üzerinde önemlidir.

3.8. Girdi ve Çıktı Faktörlerinin Seçimi

Aynı girdileri kullanarak benzer çıktılar üreten karşılaştırılabilir birimler arasında VZA ile etkinlik analizi yapılabilir. Her bir birime karar verme birimi (KVB) adı verilir ve bunlar arasında performansta farklılıklar vardır. Performansı karakterize edecek girdi ve çıktıların aynı olurken yoğunluk ve büyüklükleri farklı olabilecektir. KVB seçiminde iki şeye dikkat çekmiştir. Birisi, her bir KVB kullandığı kaynaklarla ürettiği çıktılarından sorumlu herhangi bir birim olarak tanımlanmış olmalıdır. Diğer, etkinlik sınır ölçümü sonucunun anlamlı çıkabilmesi için üzerinde çalışılan KVB'lerin sayısı yeterince büyük olmalıdır.

VZA'da kullanılan girdi ve çıktılar çalışmadaki karar birimlerini karşılaştırmanın temelini oluşturdukları için büyük bir dikkatle belirlenmelidir. Her ne kadar fonksiyonel bir varsayım bulunmasa da, aynı karar birimi için farklı girdi ve çıktı grupları farklı verimlilik oranları alacağından, üretim sürecine nedensel olarak bağlı girdi ve çıktı değişkenleri seçilmelidir [Aydemir, 2002]. Yani VZA ile güvenilir biçimde ölçüm yapılabilmesi için, sistemi ya da sektörü en iyi şekilde ifade edebilecek girdi ve çıktı kümeleri seçilmelidir [Özden, 2008].

Modele çok fazla girdi ve çıktı eklenmesi, VZA'nın verimli ve verimsiz birimleri birbirinden ayırıştırma yeteneğini düşürmektedir. Sharman, (1984)'ten aktaran Özok'a göre "Girdi ve çıktı sayılarının artabilmesi için, karar verme birimlerinin de artması gerekmektedir. N = gözlem sayısı, M =girdi sayısı, S =çıkıtı sayısı iken, $N > M + S$ olmalıdır [Özok, 2006].

Girdi ve çıktı sayıları yukarıda belirtildiği gibi KVB sayısı ile ilişkilendirildiği için bu girdi çıktı sayılarının artırılabilmesi için, karar verme birimlerinin sayısının da artırılması gerekmektedir [Sherman,1984].

Seçilecek olan girdi çıktı kümesi;

- Tüm karar noktaları için ortak faktörler olmalıdır.
- İncelenmek istenen tüm faaliyet düzeyleri ve performans ölçütlerini kapsamalıdır.
- Ölçülebilir, fiziksel ve ekonomik kaynakların tümünü içermelidir.

Veri Zarflama Analizinde girdi sayısı ile çıktı sayısının çarpımı kadar boyut oluşur ve en az boyut sayısı kadar da etkin karar birimi olacaktır. Girdi ve çıktı sayısı arttıkça ayırt edicilik özelliği azalır.

En az karar birimi sayısı = $2 \times \text{Girdi Sayısı} \times \text{Çıkıtı Sayısı}$

Bu bir genel kural olmakla beraber, girdi ve çıktılar arasında bir korelasyonun da mevcut olmasının gerekliliği unutulmamalıdır.

Veri Zarflama Analizinde dikkat edilmesi gereken bir diğer nokta ise girdilerin artmasının etkinlikte azalışa, çıktıların artmasının etkinlikte artışa neden olmasıdır.

3.9. Veri Zarflama Analizinin Uygulama Alanları

Veri Zarflama Analizinin uygulama alanına, üretim, hizmet ve finans sektörlerinden iç ve dış rekabet koşullarında bulunan her ünite girer. Klasik

verimlilik analizindeki tekli girdi-tekli çıktıdan farklı olarak çoklu girdi-çoklu çıktı temelinde harekete eden VZA, hızlı kuramsal gelişimi yanında uygulamada da hızlı bir süreç izlemiştir. Hastanelerde, postanelerde, bankacılıkta, mahkemelerde, eczanelerde, taşımacılıkta, polis karakollarında ve eğitim kurumları gibi pek çok kamu hizmet alanlarında binlerce çalışma yapılmıştır [Gülcü, 2004]. Başlangıçta kâr amacı gütmeyen kamu kuruluşlarında karşılaştırmalı verimliliği ölçen VZA, sonraları kâr amaçlı üretim ve hizmet sektörlerinde işletmeler arası teknik verimliliğin ölçülmesinde de yaygın biçimde kullanılmaya başlanmıştır.

4. KESİRLİ FAKTÖRİYEL DÜZEN KULLANILARAK VERİ ZARFLAMA

ANALİZİNDE GİRDİ VE ÇIKTI DEĞİŞKENLERİNİN SEÇİMİ

Çalışmanın bu kısmında 2^k ve 3^k faktöriyel düzenler için girdi ve çıktı değişkenlerinin seçiminden ve bu seçim sırasında izlenecek olan adımlardan bahsedilecektir. Değişken seçiminde aşağıdaki adımlar kullanılır.

Adım 1. Mümkün girdi çıktı değişkenleri listelenir.

Adım 2. Değişkenler yüksek ve düşük performanslarına göre iki gruba ayrılır.

Adım 3. Deneyde kullanılacak değişken kombinasyonuna karar verilir.

Adım 4. Etkinlik skorları hesaplanır ve seçilen değişkenler kullanılarak iki grup arasındaki Mahalanobis uzaklıkları hesaplanır.

Adım 5. Varyans analizi sonuçlarına göre uygun girdi çıktı değişkenlerine karar verilir.

Adım 6. Mahalanobis uzaklıkları kullanılarak girdi ya da çıktı olarak değişkenlerden istatistiksel olarak anlamlı olanlar belirlenir [Morita ve Avkiran, 2008].

Burada yapılmak istenen yüksek performans gösteren karar verme birimleri ile düşük performans gösteren karar verme birimlerinden elde ettiğimiz en yüksek Mahalanobis uzaklığına göre uygun bir girdi ve çıktı kombinasyonu elde etmektir.

4.1. 2^k Faktöriyel Düzen Kullanarak Çıktı Değişkeninin Seçimi

Tasarım yaparken deneyden elde edilecek veriler ile harcanan maliyet ve zaman arasındaki bağıntı çok önemlidir. Maliyetten ve zamandan kazanmak için deney sayısı orantılı olarak azaltarak kesirli faktöriyel deney tasarımı elde edilir. Örneğin 7 parametrelili ve 2^7 şer düzeyli bir deney tam faktöriyel olarak yapıldığında $2^7 = 128$ deney yapılması gerekir bunun 1/2 kesiri yani 64 deney

ya da 1/4 yani 32 yada 1/8 yani 16 deney ile yapılabilir. Deney sayısını kesirli olarak azaltmak tamamen araştırmacıların elindedir. Deney sayısı azaldıkça uygun olan girdi ve çıktı kombinasyonlarının belirlenmesi için uygulanacak olan adım sayısı da azalacak ve bu sayede maliyet ve zaman etkinliği de sağlanmış olacaktır.

2^k Faktöriyel Düzen kullanarak çıktı değişkeninin seçiminde etkinlik skorlarına göre düşük ve yüksek performans olarak iki gruba ayırmak için uygun çıktı değişkenleri seçilir. İki grup arasındaki uzaklık Mahalanobis uzaklığı ile bulunur. Mahalanobis uzaklığı başta istatistik olmak üzere aralarında bilgisayar bilimlerinin de bulunduğu pek çok alanda kullanılan bir uzaklık ölçüsüdür. Diğer uzaklık ölçülerinden en belirgin farkı, uzaklık ayırımı elipsel bir düzlem üzerinde yapmasıdır. Mahalanobis uzaklığı,

$$D_M(x) = \sqrt{(x - \mu)^T S^{-1} (x - \mu)} \quad (4.1)$$

eşitliği biçiminde tanımlanır. Burada

$$x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ x_n \end{bmatrix} \quad n \text{ adet değişkenden oluşan değer vektörünün ortalama değerleri}$$

$$\text{için } \mu = \begin{bmatrix} \mu_1 \\ \mu_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \mu_n \end{bmatrix} \text{ gösterimi kullanılır. Ayrıca kovaryans matrisi olarak S gösterimi}$$

kullanılır.

Bir boyutlu değişkenler için bu uzaklık Welch istatistiği ile bulunur. Welch istatistiği;

$$d = \frac{\overline{Q_h} - \overline{Q_l}}{\sqrt{\frac{V_h + V_l}{n_h + n_l}}} \quad (4.2)$$

formülü ile elde edilir. Burada $\overline{Q_h}, \overline{Q_l}$ sırasıyla yüksek ve düşük performansların ortalamalarıdır. V_h, V_l de yine aynı şekilde sırasıyla yüksek ve düşük performansların varyanslarıdır.

Amaç en büyük uzaklık değerini veren çıktı değişkeni kombinasyonlarını bulmaktır. Çizelge 4.1' de kombinasyonların toplamı 2^k 'dir. k tane değişkenin her birinin 2 düzeyi olduğu için Çizelge 4.1' de 2^{k-p} kesirli faktöriyel düzeni kullanılmıştır. Çizelge 4.1 k=5 ve p=2 olan bir kesirli faktöriyel düzeni göstermektedir. Çizelge 4.1' deki '+'ların anlamları değişkenin çıktı olarak seçildiğini ve '-'lerin anlamları değişkenin çıktı olarak seçilmediğini anlatmaktadır [Morita ve Avkiran, 2008].

Çizelge 4.1. 2^{5-2} deneme kombinasyonları

<i>Denemeler</i>	<i>x1</i>	<i>x2</i>	<i>x3</i>	<i>x4</i>	<i>x5</i>	<i>Seçilen çıktılar</i>	<i>Mahalanobis Uzaklığı</i>
1	+	+	+	+	+	x1,x2,x3,x4,x5	d1
2	+	+	-	-	-	x1,x2	d2
3	+	-	+	+	-	x1,x3,x4	d3
4	+	-	-	-	+	x1,x5	d4
5	-	+	+	-	-	x2,x3	d5
6	-	+	-	+	+	x2,x4,x5	d6
7	-	-	+	-	+	x3,x5	d7
8	-	-	-	+	-	x4	d8

Çizelge 4.1' de deneme kombinasyonları belirlendikten sonra kareler toplamaları

$$S_T = \sum_{i=1}^8 (d_i - \bar{d})^2 \quad (4.3)$$

$$S_i = 2\{\bar{d}(x_i +) - \bar{d}(x_i -)\}^2 \quad (4.4)$$

$$S_E = S_T - (S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5) \quad (4.5)$$

olarak elde edilir.

Toplam serbestlik derecesi 7'dir. Her kareler toplamının serbestlik derecesi $\phi_i = 1$ 'dir. Hata serbestlik derecesi ise

$$\phi_E = \phi_T - (\phi_1 + \phi_2 + \phi_3 + \phi_4 + \phi_5) = 2 \quad (4.6)$$

biçiminde elde edilir.

F istatistik değeri ise;

$$F = \frac{S_i/\phi_i}{S_E/\phi_E} \quad (4.7)$$

dir. Değişkenlerin belirlenmesi için kullanılan hipotezler

H_0 : Değişken çıktı olarak bir etkiye sahip değildir.

H_1 : Değişken çıktı olarak bir etkiye sahiptir.

olarak elde edilir.

F testi kullanılarak değişkenin bir çıktı olarak etkisinin olup olmadığı test edilir.

Çizelge 4.2. Varyans analizi tablosu

<i>Değişkenler</i>	<i>Kareler Toplamı</i>	<i>Serbestlik Derecesi</i>	<i>Kareler Ortalaması</i>	<i>F istatistiği</i>
x1	S_1	$\phi_1 = 1$	$V_1 = S_1/\phi_1$	V_1/V_E
x2	S_2	$\phi_2 = 1$	$V_2 = S_2/\phi_2$	V_2/V_E
x3	S_3	$\phi_3 = 1$	$V_3 = S_3/\phi_3$	V_3/V_E
x4	S_4	$\phi_4 = 1$	$V_4 = S_4/\phi_4$	V_4/V_E
x5	S_5	$\phi_5 = 1$	$V_5 = S_5/\phi_5$	V_5/V_E
Hata	S_E	$\phi_E = 2$	$V_E = S_E/\phi_E$	
Toplam	S_T	$\phi_T = 1$		

Varyans analizi sonuç tablosuna göre değişkenin bir çıktı olarak etkisinin olup olmadığına karar verilip analizler bu değişkenlere göre yapılır.

4.2. 3^k Faktöriyel Düzen Kullanarak Çıktı Değişkeninin Seçimi

Veri zarflama analizinde değişkenlerin girdi olarak mı çıktı olarak mı seçileceği büyük önem taşımaktadır. Bu kısımda 3^k faktöriyel düzenlerde girdi ve çıktı değişkenleri belirlenmeye çalışılacaktır.

Çizelge 4.3. 3^{3-1} deneme kombinasyonları

<i>Denemeler</i>	<i>x1</i>	<i>x2</i>	<i>x3</i>	<i>Seçilen Girdiler</i>	<i>Seçilen çıktılar</i>	<i>Mahalanobis Uzaklığı</i>
1	1	1	1	x1,x2,x3	-	d1
2	1	2	2	x1	x2,x3	d2
3	1	3	3	x1	-	d3
4	2	1	3	x2	x1	d4
5	2	2	1	x3	x1,x2	d5
6	2	3	2	-	x1,x3	d6
7	3	1	2	x2	x3	d7
8	3	2	3	-	x2	d8
9	3	3	1	x3	-	d9

Çizelge 4.3 k=3 ve p=1 iken elde edilmiş olan kesirli faktöriyel düzeni göstermektedir. Burada her bir değişkenin üç boyutu vardır. Bu boyutlardan '1'in anlamı değişkenin girdi olarak seçilmesidir, '2'nin anlamı değişkenin çıktı olarak seçilmesi ve '3'ün anlamı değişkenin hiç seçilmemiş olmasıdır. Kesirli faktöriyel düzenden Mahalanobis uzaklıklarının yardımıyla elde edilen Varyans analizi sonuç tablosu Çizelge 4.4' de verilmiştir

Çizelge 4.4. Varyans analizi tablosu

<i>Değişkenler</i>	<i>Kareler Toplamı</i>	<i>Serbestlik Derecesi</i>	<i>Kareler Ortalaması</i>	<i>F İstatistiği</i>
x1	S_1	$\phi_1 = 1$	$V_1 = S_1/\phi_1$	V_1/V_E
x2	S_2	$\phi_2 = 1$	$V_2 = S_2/\phi_2$	V_2/V_E
x3	S_3	$\phi_3 = 1$	$V_3 = S_3/\phi_3$	V_3/V_E
Hata	S_E	$\phi_E = 2$	$V_E = S_E/\phi_E$	
Toplam	S_T	$\phi_T = 1$		

Çizelge 4.3' de deneme kombinasyonları belirlendikten sonra kareler toplamaları

$$S_T = \sum_{i=1}^9 (d_i - \bar{d})^2, \phi_T = 8 \quad (4.8)$$

$$S_i = 3\{\bar{d}^2(x_i = 1) + \bar{d}^2(x_i = 2) + \bar{d}^2(x_i = 3)\} - 9\bar{d}^2, \phi_i = 2 \quad (4.9)$$

$$S_E = S_T - (S_1 + S_2 + S_3), \phi_E = \phi_T - (\phi_1 + \phi_2 + \phi_3) = 2 \quad (4.10)$$

biçiminde elde edilir.

Bu bilgilere dayanarak kareler toplamındaki $\bar{d}(x_i = 1)$ değeri maksimum ise değişken bir girdi olmalı, eğer $\bar{d}(x_i = 2)$ değeri maksimum ise değişken bir çıktı olmalıdır. Diğer yandan $\bar{d}(x_i = 3)$ değeri maksimum ise değişken girdi ya da çıktı olmamalıdır. Bu sonuçlar en uygun girdi ve çıktı değişkenlerini verecektir. [Morita ve Avkiran, 2008]

5. UYGULAMA

5.1.Amaç ve Veri

XX. yüzyılda ön plana çıkan karayolları taşımacılığı, İkinci Dünya Savaşı sonrası hızlı bir şekilde artış eğilimine girmiş ve diğer ulaşım sistemleriyle rekabet edebilir hale gelmiştir. 1970'li yıllarda yaşanan enerji krizinin aşılmasından sonra, 1980'li yıllarda karayolu ile taşımacılık artan eğilimini sürdürmüş ve 2000'li yıllarda pek çok gelişmiş ve gelişmekte olan ülkede hakim ulaşım sistemi haline gelmiştir. Ülkemizde mevcut durum itibarıyla, yolcu taşımacılığının %97'si, yük taşımacılığının ise %89'u karayoluyla gerçekleştirilmektedir.

2000'li yıllara gelindiğinde ise bölünmüş yol çalışmalarına ağırlık verilmiş ve yolların standardı yükseltilmeye çalışılmıştır. Bu dönemde önceki dönemlerdeki plansız uygulamaların doğal bir sonucu olarak, ulaştırma türleri arasında ciddi dengesizlikler oluşmuş, karayolu taşımacılığı gerek yükte, gerekse yolcuda çok belirgin şekilde öne çıkmıştır.[Barış, Çetin ve Saroğlu, 2011]

Çalışmanın amacı kullanılan on iki değişken ile illerin ulaştırma performanslarının değerlendirilmesi için gerekli olan girdi ve çıktıların Kesirli faktöriyel düzenler ve Taguchi metot yardımıyla belirlenmesidir. Girdi ve çıktılar belirlendikten sonra 81 il için ulaştırma performanslarının belirlenebilmesi için 2008, 2009 ve 2010 yıllarındaki 81 ilin ulaştırma verileri kullanılmıştır. Performans değişkenliklerinin belirlenmesi için WinQSB paket programı ve Taguchi metot da tasarım matrisinin oluşturulması için DOE++ programı kullanılmıştır.

Bu çalışmada 2008, 2009 ve 2010 yılına ait Türkiye'deki 81 ilin ulaştırma verileri ele alınmıştır. Veriler www.tuik.gov.tr adresinden alınmıştır.

5.2. Analiz ve Bulgular

5.2.1. Kesirli faktöriyel düzen yardımıyla girdi ve çıktıların belirlenmesi

İlk adım olarak analizde yer alacak olan değişkenler belirlenmiştir. Belirlenen değişkenler aşağıda verilmiştir. Ayrıca, seçilen değişkenlerin her birine karşılık gelen harfler aşağıda gösterilmiştir. Uygulama süresince bu harfler kullanılacaktır.

- (A) Kaza Sayısı
- (B) Ölü Sayısı
- (C) Yaralı Sayısı
- (D) Otomobil
- (E) Minibüs
- (F) Otobüs
- (G) Kamyonet
- (H) Kamyon
- (İ) Özel Amaçlı Taşıtlar
- (J) Traktör
- (K) Motosiklet
- (L) İl ve Devlet Yolu(km)

İkinci adımda analize girecek olan değişkenler yüksek ve düşük performans olarak iki gruba ayrılmış ve yer alan 81 il için ilk 41 il yüksek performans ve son 40 il düşük performans olarak belirlenmiştir.

Üçüncü adımda 3^{12-9} kesirli faktöriyel düzen oluşturulup 27 adet deneme düzeni oluşturulmuştur. Çizelge 5.1 bu deneme düzenini göstermektedir.

Çizelge 5.1. 3^{12-9} kesirli faktöriyel düzen

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2
3	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3
4	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	3	3
5	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	1	1
6	1	2	2	2	3	3	3	1	1	1	2	2
7	1	3	3	3	1	1	1	3	3	3	2	2
8	1	3	3	3	2	2	2	1	1	1	3	3
9	1	3	3	3	3	3	3	2	2	2	1	1
10	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
11	2	1	2	3	2	3	1	2	3	1	2	3
12	2	1	2	3	3	1	2	3	1	2	3	1
13	2	2	3	1	1	2	3	2	3	1	3	1
14	2	2	3	1	2	3	1	3	1	2	1	2
15	2	2	3	1	3	1	2	1	2	3	2	3
16	2	3	1	2	1	2	3	3	1	2	2	3
17	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3	3	1
18	2	3	1	2	3	1	2	2	3	1	1	2
19	3	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3
20	3	1	3	2	2	1	3	2	1	3	2	1
21	3	1	3	2	3	2	1	3	2	1	3	2
22	3	2	1	3	1	3	2	2	1	3	3	2
23	3	2	1	3	2	1	3	3	2	1	1	3
24	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2	2	1
25	3	3	2	1	1	3	2	3	2	1	2	1
26	3	3	2	1	2	1	3	1	3	2	3	2
27	3	3	2	1	3	2	1	2	1	3	1	3

Çizelge 5.1’ de kesirli faktöriyel düzen yardımıyla seçilen girdi ve çıktı değişkenlerinin belirlenmesi aşamasında Çizelge 5.1’ de yer alan 1 değeri değişkenin girdi olarak seçildiğini, 2 değeri değişkenin çıktı olarak seçildiğini ve 3 değeri değişkenin seçilmediği durumları göstermektedir. Dördüncü adımda her bir deneme için Mahalanobis uzaklıkları hesaplanmıştır.

Çizelge 5.2. Mahalanobis uzaklıkları hesaplanması

No	Yüksek Performans Ortalama ve Standart sapması	Düşük Performans Ortalama ve Standart sapması	Mahalanobis Uzaklığı
1	Ort1=0,3070 Ss1=0,1942	Ort2=0,5892 Ss2=0,2970	$d_1 = \frac{0,3070 - 0,5892}{\sqrt{\frac{0,1942}{41} + \frac{0,2970}{40}}}$
2	Ort1=0,8597 Ss1=0,1425	Ort1=0,8655 Ss1=0,1396	$d_2 = \frac{0,8597 - 0,8655}{\sqrt{\frac{0,1425}{41} + \frac{0,1396}{40}}}$
3	Ort1=0,1507 Ss1=0,1032	Ort1=0,3911 Ss1=0,2835	$d_3 = \frac{0,1507 - 0,3911}{\sqrt{\frac{0,1032}{41} + \frac{0,2835}{40}}}$
4	Ort1=0,9237 Ss1=0,0773	Ort1=0,9415 Ss1=0,0702	$d_4 = \frac{0,9237 - 0,9415}{\sqrt{\frac{0,0773}{41} + \frac{0,0702}{40}}}$
5	Ort1=0,9042 Ss1=0,0665	Ort1=0,9046 Ss1=0,0898	$d_5 = \frac{0,9042 - 0,9046}{\sqrt{\frac{0,0665}{41} + \frac{0,0898}{40}}}$
6	Ort1=0,9673 Ss1=0,0459	Ort1=0,9595 Ss1=0,0690	$d_6 = \frac{0,9673 - 0,9595}{\sqrt{\frac{0,0459}{41} + \frac{0,0690}{40}}}$
7	Ort1=0,5319 Ss1=0,2410	Ort1=0,5279 Ss1=0,2496	$d_7 = \frac{0,9673 - 0,9595}{\sqrt{\frac{0,0459}{41} + \frac{0,0690}{40}}}$
8	Ort1=0,7483 Ss1=0,1784	Ort1=0,7174 Ss1=0,1723	$d_8 = \frac{0,7483 - 0,7174}{\sqrt{\frac{0,1784}{41} + \frac{0,1723}{40}}}$

Çizelge 5.2. (Devam) Mahalanobis uzaklıkları hesaplanması

9	Ort1=0,7888 Ss1=0,1451	Ort1=0,7978 Ss1=0,1407	$d_9 = \frac{0,7888 - 0,7978}{\sqrt{\frac{0,1451}{41} + \frac{0,1407}{40}}}$
10	Ort1=0,8856 Ss1=0,1312	Ort1=0,8015 Ss1=0,1702	$d_{10} = \frac{0,8856 - 0,8015}{\sqrt{\frac{0,1312}{41} + \frac{0,1702}{40}}}$
11	Ort1=0,7089 Ss1=0,1683	Ort1=0,8249 Ss1=0,1558	$d_{11} = \frac{0,7089 - 0,8249}{\sqrt{\frac{0,1683}{41} + \frac{0,1558}{40}}}$
12	Ort1=0,9037 Ss1=0,1125	Ort1=0,8996 Ss1=0,1151	$d_{12} = \frac{0,9037 - 0,8996}{\sqrt{\frac{0,1125}{41} + \frac{0,1151}{40}}}$
13	Ort1=0,8705 Ss1=0,1317	Ort1=0,8073 Ss1=0,1491	$d_{13} = \frac{0,8705 - 0,8073}{\sqrt{\frac{0,1317}{41} + \frac{0,1491}{40}}}$
14	Ort1=0,8500 Ss1=0,1248	Ort1=0,8997 Ss1=0,1133	$d_{14} = \frac{0,8500 - 0,8997}{\sqrt{\frac{0,1248}{41} + \frac{0,1133}{40}}}$
15	Ort1=0,7337 Ss1=0,1381	Ort1=0,8522 Ss1=0,1475	$d_{15} = \frac{0,7337 - 0,8522}{\sqrt{\frac{0,1381}{41} + \frac{0,1475}{40}}}$
16	Ort1=0,9381 Ss1=0,0690	Ort1=0,7863 Ss1=0,0967	$d_{16} = \frac{0,9381 - 0,7863}{\sqrt{\frac{0,0690}{41} + \frac{0,0967}{40}}}$
17	Ort1=0,9326 Ss1=0,0570	Ort1=0,9331 Ss1=0,0769	$d_{17} = \frac{0,9326 - 0,9331}{\sqrt{\frac{0,0570}{41} + \frac{0,0769}{40}}}$
18	Ort1=0,9176 Ss1=0,0533	Ort1=0,9335 Ss1=0,0742	$d_{18} = \frac{0,9176 - 0,9335}{\sqrt{\frac{0,0533}{41} + \frac{0,0742}{40}}}$
19	Ort1=0,8984 Ss1=0,1381	Ort1=0,8525 Ss1=0,1522	$d_{19} = \frac{0,8984 - 0,8525}{\sqrt{\frac{0,1381}{41} + \frac{0,1522}{40}}}$

Çizelge 5.2. (Devam) Mahalanobis uzaklıkları hesaplanması

20	Ort1=0,8345 Ss1=0,1439	Ort1=0,7842 Ss1=0,1853	$d_{20} = \frac{0,8345 - 0,7842}{\sqrt{\frac{0,1439}{41} + \frac{0,1853}{40}}}$
21	Ort1=0,7722 Ss1=0,1510	Ort1=0,7198 Ss1=0,1864	$d_{21} = \frac{0,7722 - 0,7198}{\sqrt{\frac{0,1510}{41} + \frac{0,1864}{40}}}$
22	Ort1=0,8478 Ss1=0,1314	Ort1=0,8422 Ss1=0,1457	$d_{22} = \frac{0,8478 - 0,8422}{\sqrt{\frac{0,1314}{41} + \frac{0,1457}{40}}}$
23	Ort1=0,5430 Ss1=0,1271	Ort1=0,7159 Ss1=0,2002	$d_{23} = \frac{0,5430 - 0,7159}{\sqrt{\frac{0,1271}{41} + \frac{0,2002}{40}}}$
24	Ort1=0,8962 Ss1=0,1366	Ort1=0,7717 Ss1=0,2030	$d_{24} = \frac{0,8962 - 0,7717}{\sqrt{\frac{0,1366}{41} + \frac{0,2030}{40}}}$
25	Ort1=0,9205 Ss1=0,0930	Ort1=0,8527 Ss1=0,1210	$d_{25} = \frac{0,9205 - 0,8527}{\sqrt{\frac{0,0930}{41} + \frac{0,1210}{40}}}$
26	Ort1=0,4716 Ss1=0,1478	Ort1=0,7276 Ss1=0,2022	$d_{26} = \frac{0,4716 - 0,7276}{\sqrt{\frac{0,1478}{41} + \frac{0,2022}{40}}}$
27	Ort1=0,8204 Ss1=0,1316	Ort1=0,8037 Ss1=0,1640	$d_{27} = \frac{0,8204 - 0,8037}{\sqrt{\frac{0,1316}{41} + \frac{0,1640}{40}}}$

Çizelge 5.2 Eş. 4.1 yardımıyla yüksek ve düşük performansların ortalama ve standart sapmaları hesaplanarak bulunmuştur. Çizelge 5.2' de yer alan Ort1 yüksek performans gösteren değerlerin ortalamasını gösterirken Ort2 düşük performans gösteren değerlerin ortalamasını göstermektedir. Aynı şekilde Ss1 ve Ss2' de yüksek ve düşük performans gösteren değerlerin standart sapmalarını göstermektedir.

Çizelge 5.3. Seçilen girdi ve çıktı değişkenleri ve Mahalanobis uzaklıkları

No	Girdiler	Çıktılar	d
1	A,B,C,D,E,F,G,H,I,J,K,L	Yok	-5,048
2	A,B,C,D	E,F,G,H,I,J,K,L	-0,1851
3	A,B,C,D	Yok	-5,0504
4	A,E,F,G	B,C,D,H,I,J	-1,0854
5	A,K,L	B,C,D,E,F,G	-0,0227
6	A,H,I,J	B,C,D,K,L	0,6
7	A,E,F,G	K,L	0,0734
8	A,H,I,J	E,F,G	0,7943
9	A,K,L	H,I,J	-0,283
10	B,E,H,K	A,C,F,I,L	2,48817
11	B,G,J	A,C,E,H,K	-3,2222
12	B,F,I,L	A,C,G,J	0,1621
13	D,E,J,L	A,B,F,H	2,0192
14	D,G,I,K	A,B,E,J,L	-1,8755
15	D,F,H	A,B,G,I,K	-3,7311
16	C,E,I	A,D,F,J,K	8,1176
17	C,G,H,L	A,D,E,I	-0,0332
18	C,F,J,K	A,D,G,H,L	-1,1057
19	B,E,H,K	D,G,J	1,4201
20	B,F,I,L	D,E,H,K	1,3631
21	B,G,J	D,F,I,L	1,3894
22	C,E,I	B,G,H,L	0,1812
23	C,F,J,K	B,E,I	-4,623
24	C,G,H,L	B,F,J,K	3,2338
25	D,E,J,L	C,G,I,K	2,825
26	D,F,H	C,E,J,L	-6,4918
27	D,G,I,K	C,F,H	0,5036

Çizelge 5.3' de yer alan seçilen girdi ve çıktı değişkenleri ve Mahalanobis uzaklıkları Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2 yardımıyla elde edilmiştir. Örneğin Çizelge 5.3'ün 3. sırasında yer alan A,B,C ve D değişkeni girdi olarak seçilmesine karşın çıktı olarak hiçbir değişken yer almamıştır. Bu durumda çıktı olarak analizde 1 değerleri alınmıştır.

Çizelge 5.4. Varyans analizi sonuç tablosu

Değişkenler	Kareler Toplamı	Serbestlik Dereceleri	Kareler Ortalaması	F istatistiği	p değeri
A	10,3320	2	5,166	1,9702	0,581
D	42,855	2	21,4275	8,1719	0,099
E	36,0393	2	18,0197	6,8722	0,147
F	85,1542	2	42,5771	16,2378	0,006
I	10,887	2	5,4435	2,0760	0,579
K	22,450	2	11,225	4,2809	0,315
Hata	36,7092	14	2,6221		
Toplam	244,4267	26			

Çizelge 5.4 Varyans Analizi Sonuç Tablosunu göstermektedir. Çizelge 5.3'de yer alan Mahalanobis uzaklıkları kullanılarak elde edilmiştir. Beşinci adımda önemsiz değişkenler hatada birleştirilerek A,D,E,F,I ve K değişkenleri Çizelge 5.4'de yer almıştır. %10 anlam seviyesi için D ve F değişkenleri analizde yer alırken A,E,I ve K değişkenlerinin de p değerleri çok yüksek olmadığı için analizde yer almışlardır.

Çizelge 5.5. Mahalanobis uzaklıklarına göre değişkenlerin seçimi

Mahalanobis Uzaklıkları			
Değişkenler	Girdi Olarak Seçilen	Çıktı Olarak Seçilen	Seçilmeyen
A	-1,1341	0,3133	-0,0221
D	-1,8927	1,1826	-0,1328
E	1,2213	-1,5885	-0,4757
F	-2,2763	2,0376	-0,6042
I	0,5331	-0,3598	-1,0163
K	-0,9496	1,0083	-0,9016

Altıncı adım Mahalanobis uzaklıklarına göre değişkenin belirlenmesi aşamasıdır. Analize giren değişken girdi olarak seçildiğinde, çıktı olarak seçildiğinde veya hiçbir şekilde seçilmediğinde maksimum yapan değere göre değişkenin girdi, çıktı yada hiçbir şekilde seçilmediğine karar verilmiştir. Çizelge 5.5' e göre analize giren değişkenlerden E ve I değişkeni girdi, A,D,F ve K değişkenlerinin çıktı olması gerektiğine karar verilmiştir.

5.2.2. Taguchi metot yardımıyla girdi ve çıktıların belirlenmesi

Probleme uygun ortogonal dizinler serbestlik derecelerine göre belirlenir. Her faktörün serbestlik derecesi faktör düzey sayısının bir eksigidir. Bu durumda toplam serbestlik derecesi Çizelge 5.6' daki gibi bulunmaktadır.

Çizelge 5.6. Taguchi metot serbestlik dereceleri

Faktör	Serbestlik Derecesi
A	$3-1 = 2$
B	$3-1 = 2$
C	$3-1 = 2$
D	$3-1 = 2$
E	$3-1 = 2$
F	$3-1 = 2$
G	$3-1 = 2$
H	$3-1 = 2$
I	$3-1 = 2$
J	$3-1 = 2$
K	$3-1 = 2$
L	$3-1 = 2$
Toplam Serbestlik Derecesi	24

Toplam serbestlik derecesi, deneme sayısından büyük veya eşitse bir üst dizi uygundur. Toplam serbestlik derecesi, maksimum seçilecek ortogonal dizinin deneme sayısından bir eksik olacaktır. Bu durumda en küçük ortogonal dizin $L_{27}(3^{13})$ seçilecektir.

Deneyler sırasında incelenecek faktörlerin ve düzeylerinin belirlenmesinden sonra yapılacak deneylerin belirlenmesi aşaması gelmektedir. Taguchi Metot'a göre seçilecek dik düzenin belirlenmesi için tespit edilecek ilk veri, toplam serbestlik derecesidir. Serbestlik derecesi kısaca, hangi düzeyin en iyi sonucu vereceğini belirlemek için tasarım parametreleri arasında yapılması gereken karşılaştırma sayısıdır.

Üç düzeyli bir faktör için serbestlik derecesinin 2 olması dolayısı ile seçilecek tasarımın sağladığı serbestlik derecesi, 12 faktör için ihtiyaç duyulan 27 serbestlik derecesidir.

27 deneyli Taguchi L_{27} deneyi, çalışma için uygun olan tasarımlardan biridir. 27 deneyin imkân verdiği en büyük serbestlik derecesi 26' dır. Çalışma çerçevesinde gerek duyulan 26 serbestlik derecesi dışında kalan serbestlik dereceleri ise hata değerinin hesaplanmasında kullanılmaktadır. Çizelge 5.7' de Taguchi L_{27} deney tasarımı gösterilmektedir. Bu L_{27} tasarım matrisinin oluşturulmasında DOE++ paket programı kullanılmıştır.

Çizelge 5.7. L_{27} tasarım matrisi

Faktör ve Düzeyleri												
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2
3	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3
4	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	3	3
5	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	1	1
6	1	2	2	2	3	3	3	1	1	1	2	2
7	1	3	3	3	1	1	1	3	3	3	2	2
8	1	3	3	3	2	2	2	1	1	1	3	3
9	1	3	3	3	3	3	3	2	2	2	1	1
10	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
11	2	1	2	3	2	3	1	2	3	1	2	3
12	2	1	2	3	3	1	2	3	1	2	3	1
13	2	2	3	1	1	2	3	2	3	1	3	1
14	2	2	3	1	2	3	1	3	1	2	1	2
15	2	2	3	1	3	1	2	1	2	3	2	3
16	2	3	1	2	1	2	3	3	1	2	2	3
17	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3	3	1
18	2	3	1	2	3	1	2	2	3	1	1	2
19	3	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3
20	3	1	3	2	2	1	3	2	1	3	2	1
21	3	1	3	2	3	2	1	3	2	1	3	2
22	3	2	1	3	1	3	2	2	1	3	3	2
23	3	2	1	3	2	1	3	3	2	1	1	3
24	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2	2	1
25	3	3	2	1	1	3	2	3	2	1	2	1
26	3	3	2	1	2	1	3	1	3	2	3	2
27	3	3	2	1	3	2	1	2	1	3	1	3

Seçilen girdi ve çıktı değişkenlerinin belirlenmesi aşamasında Çizelge 5.7' de yer alan 1 değeri değişkenin girdi olarak seçildiğini, 2 değeri değişkenin çıktı olarak seçildiğini ve 3 değeri değişkenin seçilmediği durumları göstermektedir. Buna göre Taguchi metod ile belirlenen girdi ve çıktı kombinasyonları Çizelge 5.8' de verildiği gibidir.

Çizelge 5.8. Taguchi metot girdi ve çıktı kombinasyonları

No	Girdiler	Çıktılar
1	A,B,C,D,E,F,G,H,I,J,K,L	Yok
2	A,B,C,D	E,F,G,H,I,J,K,L
3	A,B,C,D	Yok
4	A,E,F,G	B,C,D,H,I,J
5	A,K,L	B,C,D,E,F,G
6	A,H,I,J	B,C,D,K,L
7	A,E,F,G	K,L
8	A,H,I,J	E,F,G
9	A,K,L	H,I,J
10	B,E,H,K	A,C,F,I,L
11	B,G,J	A,C,E,H,K
12	B,F,I,L	A,C,G,J
13	D,E,J,L	A,B,F,H
14	D,G,I,K	A,B,E,J,L
15	D,F,H	A,B,G,I,K
16	C,E,I	A,D,F,J,K
17	C,G,H,L	A,D,E,I
18	C,F,J,K	A,D,G,H,L
19	B,E,H,K	D,G,J
20	B,F,I,L	D,E,H,K
21	B,G,J	D,F,I,L
22	C,E,I	B,G,H,L
23	C,F,J,K	B,E,I
24	C,G,H,L	B,F,J,K
25	D,E,J,L	C,G,I,K
26	D,F,H	C,E,J,L
27	D,G,I,K	C,F,H

Çizelge 5.8' e bakılacak olursa elde edilmiş olan girdi ve çıktı kombinasyonlarının Kesirli faktöriyel düzen ile elde edilmiş olan girdi ve çıktı kombinasyonları ile aynı olduğu görülmektedir. Dolayısıyla, illerin performanslarının değerlendirilmesinde de bir farklılıktan söz edilemeyecektir. Tam faktöriyel düzeni yapmak ekonomik, kolay ve uygulanabilir olmadığı durumlarda daha az deneyin yapıldığı bir deney stratejisi olan Kesirli faktöriyel düzen ve Taguchi metot tercih edilmektedir. Deneylerin yapılması için harcanan zaman göz önüne alındığında Taguchi'nin geliştirdiği, deney sayısında azalma sağlayan yöntem sonuca daha kolay ve hızlı ulaşmayı sağlamaktadır.

Son olarak elde edilen girdi ve çıktılar ile 81 il için 2008, 2009 ve 2010 yılları için etkinlik değerleri Çizelge 5.9' da hesaplanmıştır. Bu aşamada yapılmak istenen 81 ilin 3 yıl içerisindeki etkinliklerinde meydana gelen değişimlerin görülmek istenmesidir.

Çizelge 5.9. Etkinlik skorları

	2008	2009	2010
İzmir	1	1	1
Bursa	1	1	1
Eskişehir	1	1	1
Bilecik	1	1	0,8991
Kocaeli	1	1	1
Yalova	1	0,9085	0,8671
Ankara	1	1	1
Çankırı	1	1	1
Tunceli	1	0,2986	0,376
Bitlis	1	0,4854	0,5336
Hakkari	1	0,2518	0,2557
Şırnak	1	0,4529	0,4349
Trabzon	0,9784	0,4938	0,5601
Burdur	0,9603	1	1
Erzurum	0,9437	0,582	0,7482
İstanbul	0,9413	0,8694	0,9319
Bingöl	0,8981	0,351	0,4891
Kırklareli	0,8978	0,8481	0,8257

Çizelge 5.9. (Devam) Etkinlik skorları

Çanakkale	0,8924	1	1
Kars	0,8892	0,3661	0,4693
Bolu	0,8791	0,8301	0,9165
Mersin	0,8641	1	1
Kırıkkale	0,8625	0,8406	0,8998
Aksaray	0,8588	0,7744	0,9028
Balıkesir	0,8568	0,9662	0,9429
Isparta	0,8413	0,8327	0,8025
Sivas	0,8307	0,6502	0,6686
Edirne	0,8283	0,8587	0,8775
Tekirdağ	0,7989	0,8376	0,8362
Kayseri	0,7949	0,7573	0,9357
Düzce	0,7558	0,8655	1
Sakarya	0,7549	0,6951	0,6843
Muş	0,7503	0,3283	0,4561
Yozgat	0,7457	0,5578	0,5316
Manisa	0,7372	1	1
Ağrı	0,7267	0,5991	0,672
Rize	0,7195	0,5001	0,5482
Konya	0,7007	0,7069	0,7752
Antalya	0,6915	1	1
Niğde	0,6818	0,7545	0,7761
Gümüşhane	0,6813	0,5219	0,6191
Bayburt	0,6531	0,3968	0,503
Adana	0,6437	0,7686	0,8834
Kırşehir	0,6433	0,9621	0,8408
Zonguldak	0,6369	0,5874	0,5849
Uşak	0,6158	0,6156	0,7195
Çorum	0,6042	0,7608	0,7457
Ardahan	0,5815	0,4207	0,5149
Karaman	0,5722	0,6766	0,7198
Karabük	0,5576	0,4871	0,5963
Elazığ	0,5558	0,4199	0,4751
Kütahya	0,5496	0,5256	0,58
Siirt	0,5437	0,3985	0,4694
Diyarbakır	0,5415	0,7442	0,7161
Denizli	0,5343	0,713	0,7819
Malatya	0,5309	0,5784	0,6677
Kastamonu	0,5287	0,4264	0,5266
Iğdır	0,5269	0,4967	0,5308
Afyonkarahisar	0,5098	0,8207	0,897
Batman	0,4853	0,2901	0,3719
Van	0,4811	0,4593	0,5108
Şanlıurfa	0,4788	0,6765	0,7364

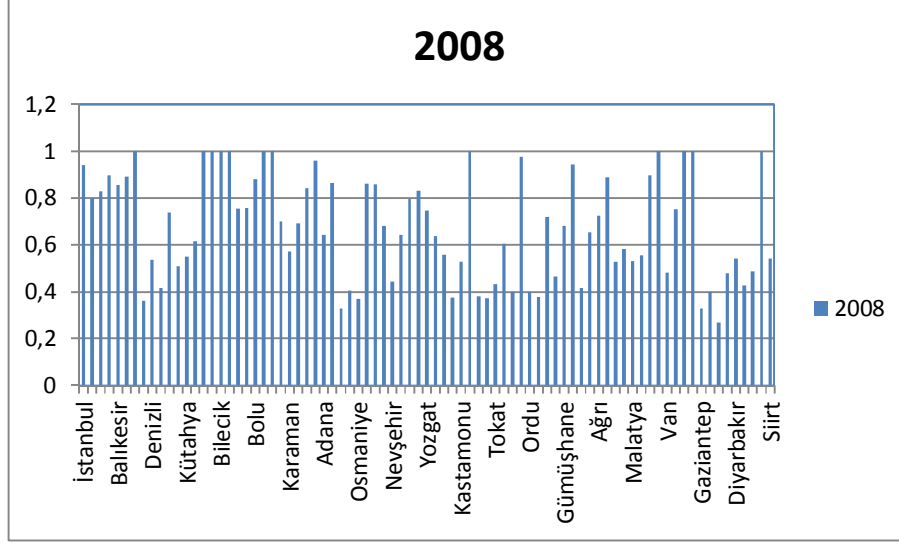
Çizelge 5.9. (Devam) Etkinlik skorları

Artvin	0,4672	0,465	0,3857
Nevşehir	0,442	0,479	0,5942
Tokat	0,4325	0,5085	0,5707
Mardin	0,4274	0,4718	0,5749
Erzincan	0,4146	0,5865	0,6361
Muğla	0,4136	0,7085	0,7339
Kahramanmaraş	0,4052	0,6035	0,6492
Amasya	0,4001	0,6793	0,7064
Adıyaman	0,3991	0,4065	0,4592
Ordu	0,3987	0,6834	0,618
Sinop	0,3817	0,5012	0,5212
Giresun	0,3786	0,6211	0,6116
Bartın	0,3762	0,789	0,7534
Samsun	0,3733	0,7763	0,9305
Osmaniye	0,3682	0,8504	0,8197
Aydın	0,3597	0,7495	0,8128
Gaziantep	0,3295	0,8367	0,8851
Hatay	0,3271	0,9899	0,9927
Kilis	0,2673	1	1

2008, 2009 ve 2010 yılları için 81 ilin etkinlik skorları göz önüne alındığında İstanbul, İzmir, Bursa, Eskişehir, Bilecik, Kocaeli, Yalova, Ankara, Çankırı, Burdur, Çanakkale, Mersin illerinin ulaştırmada yaşadıkları olumsuzluklar yönünden yüksek performansa sahip oldukları görülmektedir. Bu illerden İzmir, Bursa, Eskişehir, Kocaeli, Ankara ve Çankırı illerinin her 3 yılda da yaşadıkları problemler açısından etkin birimler olduğu tespit edilmiştir. Bilecik ili 2008 ve 2009' da ulaştırmada yaşadığı olumsuzluklar yönünden etkin olmasına karşın 2010 yılında daha düşük performans göstererek yaşadığı olumsuzluklar yönünden iyileşme göstermiştir. Benzer şekilde Yalova ili de 2008'de ulaştırmada yaşadığı olumsuzluklar yönünden etkin olmasına karşın 2009 ve 2010 yıllarında daha düşük performans göstererek yaşadığı olumsuzluklar yönünden iyileşme göstermiştir.

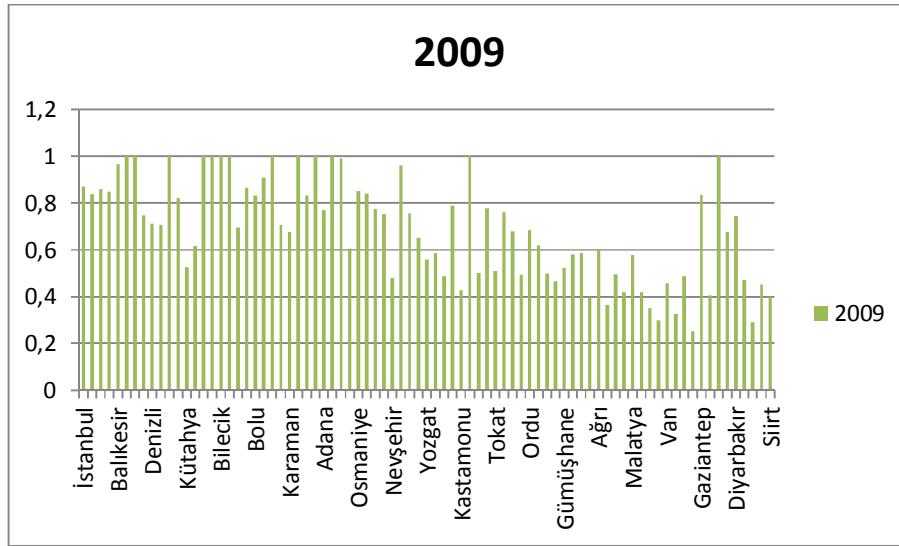
Tunceli, Bitlis Hakkari ve Şırnak illeri 2008'de ulaştırmada yaşadığı olumsuzluklar yönünden etkin olmasına karşın 2009 ve 2010 yıllarında oldukça düşük performans değerlerine sahip olarak yaşadıkları olumsuzluklar yönünden oldukça fazla ilerleme göstermişlerdir. Buna karşın Kilis ili ise 2008

yılında oldukça düşük performans değerine sahip olmasına karşın 2009 ve 2010 yıllarında etkin olarak ulaştırmada yaşadığı olumsuzluklar yönünden en fazla gerileme gösteren il olmuştur. Manisa ve Antalya illeri de 2008 ve 2009’ da etkin olarak 2008 yılına göre gerileme göstermişlerdir.



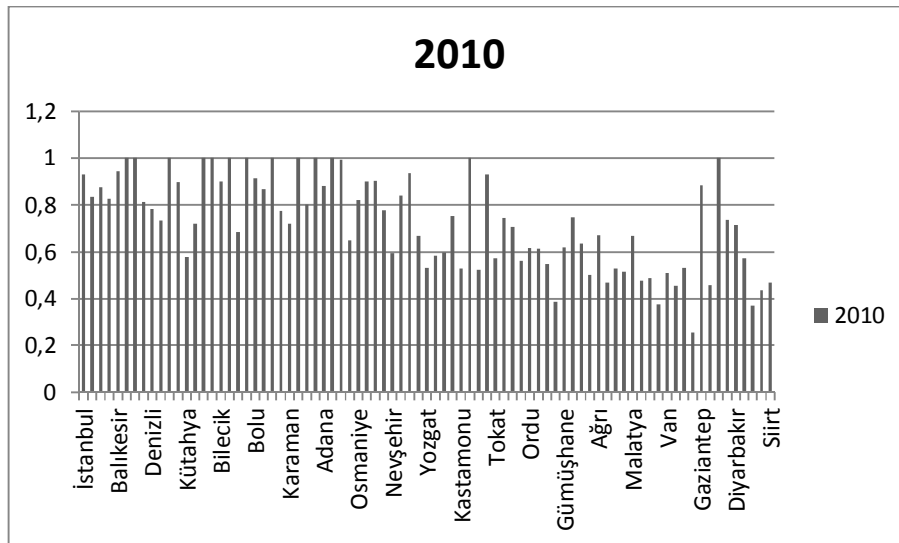
Şekil 5.1. 2008 yılı etkinlikleri

2008 yılı için illerin etkinlik değerleri Şekil 5.1’ de verilmiştir. Yıl bazında etkin illere bakılırsa 2008 yılında ulaştırmada yaşadığı olumsuzluklar yönünden etkin olan iller İzmir, Bursa, Eskişehir, Bilecik, Kocaeli, Yalova, Ankara, Çankırı, Tunceli, Bitlis, Hakkari ve Şırnak’ dır.



Şekil 5.2. 2009 yılı etkinlikleri

2009 yılında ulaştırmada yaşadığı olumsuzluklar yönünden etkin olan iller Çanakkale, İzmir, Manisa, Bursa, Eskişehir, Bilecik, Kocaeli, Ankara, Antalya, Burdur, Mersin, Çankırı ve Kilis' dir.



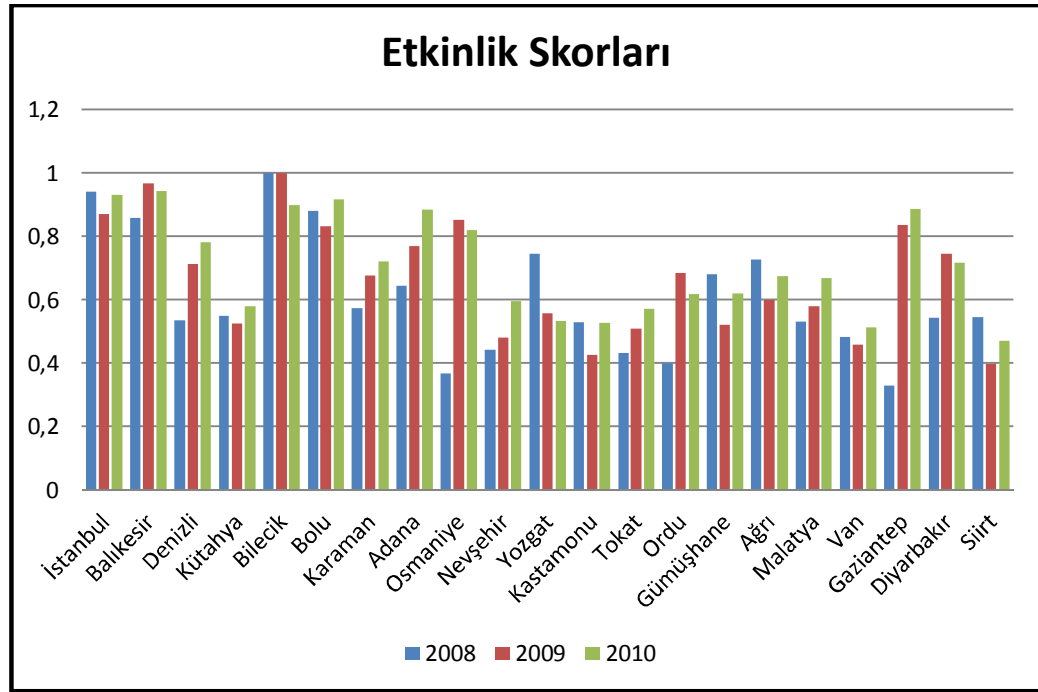
Şekil 5.3. 2010 yılı etkinlikleri

2010 yılında ulaştırmada yaşadığı olumsuzluklar yönünden etkin olan iller Çanakkale, İzmir, Manisa, Bursa, Eskişehir, Kocaeli, Düzce, Ankara, Antalya, Burdur, Mersin, Çankırı ve Kilis' dir.

Çizelge 5.10. 2008, 2009 ve 2010 yıllarında etkin olan iller

	2008		2009		2010
İzmir	1	Çanakkale	1	Çanakkale	1
Bursa	1	İzmir	1	İzmir	1
Eskişehir	1	Manisa	1	Manisa	1
Bilecik	1	Bursa	1	Bursa	1
Kocaeli	1	Eskişehir	1	Eskişehir	1
Yalova	1	Bilecik	1	Kocaeli	1
Ankara	1	Kocaeli	1	Düzce	1
Çankırı	1	Ankara	1	Ankara	1
Tunceli	1	Antalya	1	Antalya	1
Bitlis	1	Burdur	1	Burdur	1
Hakkari	1	Mersin	1	Mersin	1
Şırnak	1	Çankırı	1	Çankırı	1
Trabzon	0,9784	Kilis	1	Kilis	1

Görüldüğü gibi 2008 yılında ulaştırmada yaşanan olumsuzluklar yönünden 12 il etkin olmasına karşın 2009 ve 2010 yıllarında 13 il etkin olmuştur.



Şekil 5.4. 2008, 2009 ve 2010 yılı etkinlikleri

2008, 2009 ve 2010 yılları için her bölgeden belirlenen iller için etkinlik skorlarına bakılacak olursa yıllar arasında belirgin bir azalış ya da artıştan söz edilemez. Çünkü bazı iller için etkinlik skorları yıllar içerisinde artış gösterirken bazıları için ise azalış göstermektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ulaştırma sektörü, üretim-dağıtım-tüketim sürecinin çok önemli bir parçasını oluşturmakta ve sektörün gerektirdiği altyapı yatırımları ekonomide önemli etkiler meydana getirmektedir [Gerçek, 2001]. Ulaştırma türü tercihini birçok faktör etkilemektedir. Şehirlerarası yük ve yolcu taşımacılığı bağlamında ulaşım ihtiyacının karşılanmasını sağlamak için ulaşım sistemi seçiminde ekonomik etkinlik önemli faktörlerden biridir. Ulaştırma hizmetleri ve yatırımları birçok ülkede kamu hizmeti ve sosyal politika aracı olarak görüldüğünden bu hizmetlerin planlanması ve fiyatlandırmasında ekonomik etkinlik kıstasları dikkate alınmamaktadır. Bu anlayışın hâkim olduğu uygulamalar; kaynak israfına, ulaşım hizmetleri için finansman yetersizliğine, ulaşım alt sistemlerinin seçiminde çarpıklıklara ve negatif dışsallıklara yol açmaktadır [Zeybek, 2003].

Klasik deney tasarım yöntemlerinin kullanımı endüstriyel şartlar altında verimli olamamaktadır. Sistemi etkileyen faktörlerin sayısı arttıkça gerekli olan deney sayısı da hızlı bir şekilde artmakta, maliyetler yükselmekte, uygulamalar zorlaşmaktadır. Böyle durumlarda kesirli faktöriyel tasarım olan Taguchi Metodu uygulanması daha verimli ve kolay olacaktır. Karar vermeyi gerektiren birçok durumda da Taguchi Metodu başarı ile uygulanabilmektedir.

Bu tez çalışmasında, deney tasarımında kullanılan kesirli faktöriyel düzen ve Taguchi yöntemleri ele alınmıştır. VZA'da girdi ve çıktıların seçiminde Taguchi metot ve Kesirli faktöriyel düzende sonuçlar aynı çıktığı için maliyet ve deney sayısı göz önüne alındığında Taguchi metodun kullanılması önerilmiştir. Girdi ve çıktı değişkenlerinin belirlenmesi aşamasında Kesirli Faktöriyel Düzen ve Taguchi Metot' un farkı incelenmiştir.

Çalışmanın amacı 2008, 2009 ve 2010 yılları için iller bazında ulaşım performanslarının belirlenebilmesi için uygun olan girdi ve çıktı performanslarının belirlenmesi ve belirlenen girdi ve çıktılar ile illerin

ulaştırma performanslarının yıllar içindeki değişiminin incelenmesidir. Değerlendirmede girdi odaklı CCR yöntemi uygulamaya konulmuştur.

Araştırma çalışmasının sonucu itibariyle belirlenen girdi ve çıktı kombinasyonu Kesirli Faktöriyel Tasarım ve Taguchi Metot' da bir farklılık göstermediği belirtilmiştir. Belirlenmiş olan 12 değişkenden uygun olan girdi ve çıktı kombinasyonu; E ve I değişkenlerinin girdi A, D, F ve K değişkenlerinin ise çıktı olmasıdır. Bu kombinasyon doğrultusunda 2008, 2009 ve 2010 yılları için illerin etkinlik skorları arasında düzenli bir artış ya da azalıştan söz edilemeyeceği görölmüştür. Bazı iller için yıllar arasında etkinlik skorlarında iyileşmeler görölrken bazıları için gerilemeler görölmüştür.

KAYNAKLAR

Aydemir, Z. C., “Bölgesel rekabet edebilirlik kapsamında illerin kaynak kullanım görece verimlilikleri: veri zarflama analizi uygulaması” Yayınlanmamış Uzmanlık Tezi, **Devlet Planlama Teşkilatı**, Ankara, 89 (2002).

Breyfogle, F.W., “Implementing six sigma: smarter solutions using statistical methods 2th ed.”, **John Wiley & Sons**, 549-570 (2003).

Barış, S., Çetin, B., Saroğlu, S., “Türkiye’de karayollarının gelişimine tarihsel bir bakış”, **Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi**, Çankırı, 124-126 (2011).

Çömlekçi, N., “Deney tasarımı ilke ve teknikleri”, **Alfa Yayınları Ders Kitapları**, 468 (2003).

Erdem, D., “Sivil toplum kuruluşlarında etkinlik ölçümü: Türkiye örneği”, Yüksek Lisans Tezi, **Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü**, İzmir, 1-163 (2008).

Erbaş, S., Olmuş, H., “Deney Düzenleri ve İstatistik Analizler 1th ed.”, **Ankara**, 225-268 (2006).

Gerçek, H., “Otoyolların Mali ve Ekonomik Değerlendirilmesi. 5. Ulaştırma Kongresi Bildiriler Kitabı”, **TMMOB, İnşaat Mühendisleri Odası, İstanbul Şubesi**, İstanbul, 89–100 (2001).

Gülcü, A., “Özel hastanelerin 1998–1999 yıllarına ait veri zarflama analizi yöntemiyle görece verimlilik analizi”, **Verimlilik Dergisi, Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları**, Ankara, 49–88 (2004).

Hamzaçebi, C., Kutay, F., “Taguchi metodu bir uygulama”, **Gazi Üniversitesi Teknoloji Dergisi**, 3(4): 7-17 (2003).

Havuz, T., “Anod çamurundaki kurşunun sodyum karbonatlı ortamda giderilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Erzurum, 20 (2007).

Hicks, C., “ Deney düzenlemede istatistiksel yöntemler”, (Çev.Muluk,F.Z., Toktamış,Ö., Karaağaoğlu,E., Kurt,S.), **Akademi Matbaası**, Ankara, 225 (1973).

Montgomery, D.C., “Design and analysis of experiments 5th ed.”, **USA**, 218-387 (2001).

Morita, H., Avkiran, N., "Selecting inputs and outputs in data envelopment analysis by designing statistical experiments", **Journal of the Operations Research Society of Japan**, 52(2):163-173 (2008).

Özden, H.Ü., "Veri zarflama analizi (VZA) ile Türkiye'deki vakıf üniversitelerinin etkinliğinin ölçülmesi", **İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi**, İstanbul,37(2): 167-185 (2008).

Özok, U., "Veri zarflama analizi ve malmquist toplam faktör verimliliği endeksi ile Türkiye'deki illerin tarım etkinliklerinin incelenmesi", Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 22 (2006).

Ross, P.J., "Taguchi techniques for quality engineering", **McGrow– Hill International Book Company**, 1-73 (1996).

Scheffler, E., "Statistische versuchsplanung und -auswertung, eine einföhrung in die praxisder statistischen versuchsplanung", **Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie Stuttgart**, 1-50 (1997).

Sherman, H.D., "Data envelopment analysis as a new manegerial audit methodology- test and evaluation", Auditing: **A Journal of Practice and Theory**, 35-53 (1984).

Tarım, A., "Veri zarflama analizi matematiksel programlama tabanlı görelî etkinlik ölçümü yaklaşımı", **Sayıştay Yayın İşleri Müdürlüğü Araştırma İnceleme Çeviri Dizisi: 15**, Ankara, 1 (2001).

Ulucan, A., "ISO500 şirketlerinin etkinliklerinin ölçülmesinde veri zarflama analizi yaklaşımı: farklı girdi çıktı bileşenleri ve ölçöge göre getiriyaklaşımları ile değerdendirmeler", **Ankara Üniversitesi SBF Dergisi**, 57(2) 185-202 (2000).

Zeybek, H., "Sürdürülebilir Kalkınmanın Geliştirilmesinde Ulaştırma Sektöründe Fiyatlandırmanın Önemi". **Ulaştırma Politikaları Kongresi**, Ankara, 213–231 (2003).

EKLER

EK-1 2010 yılı ulaştırma verileri

YIL	BÖLGEADİ	Kaza sayısı	Ölü sayısı	Yaralı sayısı	Otomobil	Minibüs	Otobüs	Kamyonet	Kamyon	Özel amaçlı taşıtlar	Traktör	Motosiklet	İl ve devlet yolu (km)
2010	İstanbul	11934	265	18335	1821694	58982	53444	530105	125197	6408	23317	175089	511
2010	Tekirdağ	1188	47	2237	72850	3895	3623	23628	6861	373	24613	18698	639
2010	Edirne	641	20	1119	41043	1670	1642	12621	3770	206	26661	19675	690
2010	Kırklareli	542	45	1014	33798	1411	1308	9474	3445	199	16783	16845	542
2010	Balıkesir	2361	98	4241	125149	4581	3842	43665	10626	644	50506	81818	1241
2010	Çanakkale	987	57	1740	50672	1866	1810	18945	4782	335	25902	41901	1064
2010	İzmir	6827	140	10316	509117	14114	15783	172686	35816	1794	49340	172716	1286
2010	Aydın	1951	72	3185	108268	8934	2596	41237	7478	510	33966	86399	709
2010	Denizli	1914	56	3538	118296	6601	3589	38273	9584	532	37058	54482	826
2010	Muğla	2473	80	4020	121934	9691	2710	44559	7482	684	23766	107913	906
2010	Manisa	2732	125	4906	126724	6294	5143	43807	13075	566	68823	140953	1099
2010	Afyonkarahisar	1484	85	3000	54033	4042	1525	19378	8985	314	33171	30569	1033
2010	Kütahya	956	46	1847	68921	3929	1785	16529	6753	391	27093	23640	949
2010	Uşak	747	34	1491	39292	2033	1132	10838	3067	200	14615	19189	470
2010	Bursa	4205	114	6748	271160	8314	10528	110284	22342	972	51019	63979	1113
2010	Eskişehir	1721	65	3046	100886	2830	2628	28183	9695	320	18059	23615	848
2010	Bilecik	480	37	944	17551	873	753	6871	2804	155	8728	5756	467
2010	Kocaeli	2638	84	4820	130033	6373	7386	46876	17317	601	12960	18670	398
2010	Sakarya	1641	66	2962	78654	4190	3027	28769	9917	495	29064	21353	569
2010	Düzce	856	29	1607	29680	2069	1750	10376	3583	170	8096	11131	174
2010	Bolu	898	52	1924	31708	1415	923	10184	5231	252	17143	9499	627

EK-1 (Devam) 2010 yılı ulaştırma verileri

2010	Yalova	371	18	645	17210	1151	1107	6980	1478	105	1965	3640	126
2010	Ankara	9490	206	15957	924360	24718	16979	179160	62098	3520	41985	32841	1659
2010	Konya	4167	146	7476	214970	9603	4153	69042	32491	1029	64626	92712	3093
2010	Karaman	503	15	929	23479	1535	497	6764	2307	144	7965	23333	653
2010	Antalya	5290	181	8422	290980	12002	8404	112986	19155	1087	37814	218850	1732
2010	Isparta	950	32	1785	52315	2062	1215	15258	4337	267	17110	31683	711
2010	Burdur	672	34	1255	35981	1145	719	8630	4920	165	17086	27447	552
2010	Adana	3619	98	5982	196083	8673	4577	68304	16905	805	40785	112221	956
2010	Mersin	3387	89	5643	152247	6265	5120	65315	22892	753	27387	122285	1185
2010	Hatay	1940	35	3418	113105	9421	3061	37561	16060	509	16813	125847	636
2010	Kahramanmaraş	1536	40	2962	71752	5787	1620	20093	6298	441	14314	22282	931
2010	Osmaniye	820	33	1544	43161	3342	687	10803	2821	202	11904	32129	285
2010	Kırıkkale	692	16	1502	25206	1427	690	4667	2019	143	7451	3326	372
2010	Aksaray	772	37	1554	34572	1326	992	8014	5278	188	13697	10235	487
2010	Niğde	589	33	1181	23962	1422	801	8938	5489	145	12656	13467	474
2010	Nevşehir	641	37	1328	29341	2860	690	9891	5258	202	17016	10284	490
2010	Kırşehir	511	14	1081	22443	1112	469	4333	1947	113	8152	3335	511
2010	Kayseri	2400	56	4642	147497	5240	3485	38996	14635	500	21276	14203	1158
2010	Sivas	1333	68	2944	48990	3193	1087	13522	4798	382	23691	5449	2083
2010	Yozgat	847	26	1958	31955	2523	580	6370	4583	309	25266	2667	1023
2010	Zonguldak	791	32	1710	61571	4684	2004	19381	6195	356	8530	7061	448
2010	Karabük	426	19	859	27070	1926	520	6050	2737	144	4802	2360	389
2010	Bartın	389	7	813	18191	1509	575	5191	1355	96	4142	3376	299
2010	Kastamonu	776	39	1783	39636	2771	954	8933	5034	274	23341	7286	1306

EK-1 (Devam) 2010 yılı ulaştırma verileri

2010	Çankırı	554	19	1435	11473	706	347	3640	1528	130	10350	3170	609
2010	Sinop	370	13	696	19110	1847	291	4946	1657	132	6845	3913	568
2010	Samsun	2172	82	4268	97909	11053	1331	42018	8359	434	43500	25578	805
2010	Tokat	1041	45	2171	46593	3759	1273	14648	4085	340	33931	15107	700
2010	Çorum	1148	49	2596	51672	2693	977	12139	5199	287	32199	16999	1043
2010	Amasya	756	36	1713	32991	2710	557	10024	2938	199	15527	9649	494
2010	Trabzon	1087	36	2072	53144	7415	1801	32639	9333	367	155	3324	843
2010	Ordu	1007	44	1934	41763	9294	564	19341	4694	303	1851	3866	916
2010	Giresun	625	36	1305	23130	6638	303	15182	3883	190	2343	2221	750
2010	Rize	513	31	1039	18655	3165	503	17206	4878	174	39	1492	398
2010	Artvin	251	14	472	9359	1933	162	7672	2861	121	786	1091	620
2010	Gümüşhane	293	22	624	5625	1167	114	2834	1193	88	2843	861	585
2010	Erzurum	1183	65	2476	39419	2982	1047	16303	5622	294	12252	2230	1670
2010	Erzincan	650	27	1309	17176	1773	367	5662	1571	190	5472	7324	828
2010	Bayburt	157	6	314	3681	506	95	1355	603	59	2241	707	268
2010	Ağrı	459	13	1237	8832	2665	246	4852	2482	127	6594	682	567
2010	Kars	318	11	795	8247	1619	379	4414	1833	126	12987	916	729
2010	Iğdır	232	3	436	4437	1156	477	2943	3872	87	2576	2997	206
2010	Ardahan	144	7	332	2298	756	49	1303	481	52	5567	199	347
2010	Malatya	1167	49	2266	51414	3835	1237	18395	4341	325	17664	8675	1117
2010	Elazığ	810	42	1601	39367	3141	653	13485	3875	317	7296	6732	828
2010	Bingöl	300	16	726	4616	933	215	2785	823	124	822	584	613
2010	Tunceli	156	5	294	1901	539	108	1012	368	102	842	411	615
2010	Van	728	37	1681	23558	6732	506	16076	7415	265	6675	2176	1121

□

EK-1 (Devam) 2010 yılı ulaştırma verileri

2010	Muş	287	25	642	6427	1177	163	3990	1521	117	7492	605	630
2010	Bitlis	353	45	1014	6168	1157	107	3341	1662	123	2308	239	639
2010	Hakkâri	165	25	450	2799	1075	79	2692	1625	120	636	177	575
2010	Gaziantep	2369	68	4128	127324	11108	2906	46619	14382	546	20677	96470	514
2010	Adıyaman	628	20	1281	28669	3380	411	7891	2905	257	10599	10850	764
2010	Kilis	212	7	352	6352	756	117	1530	720	47	3340	15595	148
2010	şanlıurfa	1527	89	2979	75330	5856	1240	17375	14824	410	26120	53038	1148
2010	Diyarbakır	1452	56	3104	40486	6037	1056	16570	6183	377	17650	7913	1064
2010	Mardin	606	40	1293	16305	3010	427	9391	10162	196	7011	4789	761
2010	Batman	388	9	773	12246	2197	277	8000	2663	194	4225	4579	357
2010	şırnak	353	15	699	3515	1182	103	5064	16012	171	1401	1027	686
2010	Siiirt	255	10	576	5340	1217	109	3231	906	101	1599	1093	539

EK-2 2009 yılı ulaştırma verileri

YIL	BÖLGE ADI	Kaza sayısı	Otomobil	Minibüs	Otobüs	Özel amaçlı taşıtlar	Motosiklet
2009	İstanbul	12181	1775335	61764	52216	6167	164021
2009	Tekirdağ	1175	63945	3734	3420	359	17881
2009	Edirne	667	38434	1720	1614	204	18785
2009	Kırklareli	539	31365	1400	1277	203	16090
2009	Balıkesir	2303	115243	4493	3782	593	78902
2009	Çanakkale	926	46517	1943	1736	299	39499
2009	İzmir	6581	485152	14121	15387	1612	163744
2009	Aydın	1782	101314	8835	2502	495	82363
2009	Denizli	1690	110650	6534	3503	517	52600
2009	Muğla	2310	114297	9356	2577	633	103170
2009	Manisa	2655	115481	6158	4916	527	139438
2009	Afyonkarahisar	1427	49634	3956	1491	304	29248
2009	Kütahya	963	63671	3921	1725	371	23395
2009	Uşak	663	35911	2016	1052	204	18427
2009	Bursa	4132	255155	8328	10326	947	61898
2009	Eskişehir	1589	94139	2771	2556	271	23359
2009	Bilecik	483	16152	775	735	150	5523
2009	Kocaeli	2670	117974	6246	7082	601	17818
2009	Sakarya	1614	72121	4122	2955	495	20595
2009	Düzce	767	26954	2058	1722	182	10621
2009	Bolu	802	28725	1446	903	248	9496
2009	Yalova	374	15344	1077	1114	105	3368

EK-2 (Devam) 2009 yılı ulaştırma verileri

2009	Ankara	9450	887703	24911	16248	3677	31600
2009	Konya	3792	196835	9387	4047	1022	90096
2009	Karaman	445	21349	1500	466	142	22884
2009	Antalya	5047	274252	11973	7875	981	212717
2009	Isparta	960	49258	1984	1210	252	30806
2009	Burdur	652	33238	1120	712	151	26348
2009	Adana	3204	182393	8751	4347	831	108074
2009	Mersin	3271	140732	6131	5074	748	117837
2009	Hatay	1675	103459	9256	2831	471	122634
2009	Kahramanmaraş	1378	64418	5632	1582	394	23978
2009	Osmaniye	815	39295	3460	515	181	32186
2009	Kırıkkale	685	19866	1403	653	142	3232
2009	Aksaray	628	31097	1325	832	186	9835
2009	Niğde	603	21509	1359	761	155	12895
2009	Nevşehir	600	26391	2666	636	215	9705
2009	Kırşehir	622	20216	1123	461	111	3256
2009	Kayseri	2091	137053	5461	3212	521	14346
2009	Sivas	1264	44611	3172	1073	368	5329
2009	Yozgat	762	28290	2463	551	233	2631
2009	Zonguldak	814	58110	4759	2059	336	6825
2009	Karabük	429	25548	1925	512	151	2335
2009	Bartın	322	16361	1529	539	71	3311
2009	Kastamonu	655	35725	2731	863	262	7138
2009	Çankırı	516	8924	637	305	132	3071

□

EK-2 (Devam) 2009 yılı ulaştırma verileri

2009	Sinop	335	16841	1768	288	114	3806
2009	Samsun	2071	92222	10710	1316	455	24846
2009	Tokat	873	43105	3738	1227	296	15038
2009	Çorum	1093	46885	2671	926	246	17070
2009	Amasya	697	29749	2629	540	175	9496
2009	Trabzon	1077	49370	7371	1621	372	3152
2009	Ordu	1102	39181	8796	546	275	3661
2009	Giresun	641	21269	6507	283	176	2063
2009	Rize	475	17029	3060	467	162	1370
2009	Artvin	289	8646	1868	156	106	1036
2009	Gümüşhane	254	5242	1116	123	83	798
2009	Erzurum	976	36046	2953	1020	286	2174
2009	Erzincan	564	15866	1873	291	164	7457
2009	Bayburt	128	3444	491	89	67	622
2009	Ağrı	404	8225	2539	247	115	646
2009	Kars	264	7469	1556	367	123	882
2009	İğdır	167	3972	1061	481	85	2827
2009	Ardahan	111	2031	682	39	45	171
2009	Malatya	1092	47325	3806	1132	322	8609
2009	Elazığ	719	36216	3105	620	292	6876
2009	Bingöl	213	4044	930	193	125	597
2009	Tunceli	121	1593	540	88	97	397
2009	Van	676	22358	6315	484	251	2062
2009	Muş	206	5870	1129	163	107	567

□

EK-2 (Devam) 2009 yılı ulaştırma verileri

2009	Bitlis	321	5707	1128	106	117	227
2009	Hakkâri	140	2616	903	67	106	172
2009	Gaziantep	2226	116564	11105	2611	512	91836
2009	Adıyaman	565	25746	3259	398	241	10485
2009	Kilis	174	5213	750	120	43	14777
2009	şanlıurfa	1325	66889	5230	1247	366	48428
2009	Diyarbakır	1453	34271	5880	1016	333	7805
2009	Mardin	545	13970	2887	402	197	4354
2009	Batman	296	10715	2097	251	174	3671
2009	şırnak	319	3304	1020	69	155	922
2009	Siirt	236	4825	1148	84	101	1051

EK-3 2008 yılı ulaştırma verileri

YIL	BÖLGE ADI	Kaza sayısı	Otomobil	Minibüs	Otobüs	Özel amaçlı taşıtlar	Motosiklet
2008	İstanbul	12409	1758745	65119	52454	151524	6884
2008	Tekirdağ	1172	57130	3652	3547	16793	350
2008	Edirne	604	36239	1731	1549	17585	213
2008	Kırklareli	557	29161	1386	1302	15051	202
2008	Balıkesir	2304	109934	4623	3853	74922	576
2008	Çanakkale	937	43344	1946	1670	36373	286
2008	İzmir	6402	477763	14653	15734	155136	1564
2008	Aydın	1668	98207	9080	2512	78077	498
2008	Denizli	1668	107970	6838	3614	50312	499
2008	Muğla	2380	110508	9376	2551	97969	592
2008	Manisa	2477	109216	6126	4874	133944	523
2008	Afyonkarahisar	1383	45619	3848	1472	27520	320
2008	Kütahya	929	59805	4014	1664	22346	377
2008	Uşak	631	33838	1994	1044	17447	198
2008	Bursa	3879	246405	8391	10428	58854	900
2008	Eskişehir	1611	89898	2742	2588	22829	345
2008	Bilecik	443	15406	755	721	5231	143
2008	Kocaeli	2603	109056	5942	7287	16798	653
2008	Sakarya	1575	67855	4056	2961	19637	488
2008	Düzce	803	25398	2012	1665	10306	180
2008	Bolu	746	26687	1413	940	9209	239
2008	Yalova	350	14232	913	1124	3136	108
2008	Ankara	8963	854691	25638	15621	30387	3901

EK-3 (Devam) 2008 yılı ulaştırma verileri

2008	Konya	3376	183698	9211	4002	85419	1061
2008	Karaman	447	19534	1438	450	21751	157
2008	Antalya	4892	262835	12068	7973	203360	943
2008	Isparta	772	46339	1877	1206	29303	249
2008	Burdur	621	31442	1092	703	24619	152
2008	Adana	2947	173316	8906	4324	102540	872
2008	Mersin	3108	132201	6067	5157	111546	743
2008	Hatay	1438	97570	9530	2752	116201	433
2008	Kahramanmaraş	1128	58488	5500	1594	23182	390
2008	Osmaniye	829	35966	3492	476	31290	196
2008	Kırkkale	580	15857	1380	622	3133	149
2008	Aksaray	624	28017	1282	756	9016	195
2008	Niğde	539	19835	1335	755	12075	171
2008	Nevşehir	483	24293	2503	625	9095	219
2008	Kırşehir	386	18092	1128	453	3152	119
2008	Kayseri	1802	127915	5574	2995	13427	572
2008	Sivas	1099	41336	3167	1053	5001	365
2008	Yozgat	662	25341	2432	517	2537	233
2008	Zonguldak	784	55720	4727	2042	6470	357
2008	Karabük	356	23924	1922	526	2228	169
2008	Bartın	250	14811	1601	455	3127	68
2008	Kastamonu	634	32573	2668	794	6799	257
2008	Çankırı	481	7237	573	302	3003	135
2008	Sinop	237	15064	1638	276	3626	112

□

EK-3 (Devam) 2008 yılı ulaştırma verileri

2008	Samsun	1898	87164	10500	1309	23332	480
2008	Tokat	810	40373	3681	1188	14371	278
2008	Çorum	1005	43373	2669	949	16650	251
2008	Amasya	561	27595	2592	483	9088	171
2008	Trabzon	1033	46567	7359	1469	2898	372
2008	Ordu	1015	37097	8522	535	3490	285
2008	Giresun	611	19699	6333	253	1908	172
2008	Rize	439	15973	3023	462	1240	159
2008	Artvin	234	8141	1790	148	955	112
2008	Gümüşhane	238	4926	1064	124	668	81
2008	Erzurum	797	33441	2904	986	2027	300
2008	Erzincan	450	14711	1847	263	7276	160
2008	Bayburt	103	3209	498	90	545	52
2008	Ağrı	337	7835	2064	222	587	127
2008	Kars	234	7100	1527	347	755	102
2008	İğdır	164	3769	1005	502	2485	72
2008	Ardahan	79	1888	679	37	128	42
2008	Malatya	943	44423	3741	1086	8179	338
2008	Elazığ	700	33477	3026	617	6627	311
2008	Bingöl	174	3668	896	181	586	127
2008	Tunceli	87	1432	492	85	379	94
2008	Van	650	21850	5746	468	1873	211
2008	Muş	181	5469	1097	156	461	104
2008	Bitlis	303	5360	1068	107	204	115

□

EK-3 (Devam) 2008 yılı ulaştırma verileri

2008	Hakkâri	159	2560	805	57	170	97
2008	Gaziantep	2045	107756	11018	2464	87663	547
2008	Adıyaman	526	23425	3055	351	9985	244
2008	Kilis	134	4655	721	114	14199	33
2008	şanlıurfa	1125	60333	4512	1223	43604	364
2008	Dişarbakır	1184	31058	5466	901	7362	331
2008	Mardin	393	12598	2692	407	3787	197
2008	Batman	270	9556	1951	222	2917	180
2008	şırnak	215	3140	820	60	752	140
2008	Siirt	146	4497	1026	85	946	95

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : DUMAN, Merve
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 21.03.1987 Alanya
Medeni hali : Bekar
Telefon : 05367982514
e-mail : m.e.r.v.e.duman@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Selçuk Üniversitesi /İstatistik Bölümü	2009
Lise	A. Feyzi Alaettinoğlu Lisesi	2005

Yabancı Dil

İngilizce