

VERİ ZARFLAMA ANALİZİ'NDEKİ AĞIRLIK KISITLAMALARININ BELİRLENMESİNDE ANALİTİK HİYERARŞİ SÜRECİNİN KULLANIMI

İpek DEVECİ KOCAKOÇ(*)

ÖZET

Veri Zarflama Analizi – VZA (Data Envelopment Analysis – DEA) son yıllarda yöneylem araştırması ve yönetim bilimlerinde çok yaygın olarak kullanılan bir metottur. VZA matematiksel programlama tekniklerini kullanarak çok sayıda girdi ve çok sayıda çıktıyı değerlendirir ve benzer Karar Birimleri'nin (Decision Making Unit – DMU) etkinlik (efficiency) analizini yapar. VZA'nin en önemli avantajı, klasik etkinlik yaklaşımlarından farklı olarak girdi ve çıktıların ağırlıklarının analizci tarafından belirlenmesidir. Bu çalışmada, VZA'daki ağırlıkların kısıtlanması için oluşturulacak kısıt koşullarının belirlenmesinde, uzman görüşünü dikkate alan Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) kullanılmıştır. Oluşturulan ağırlık kısıtlamalı VZA modeli deneysel bir veri seti üzerinde uygulanmış ve sonuçlar ağırlık kısıtlamasız modelin sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

***Anahtar Kelimeler:** Veri Zarflama Analizi, Ağırlık Kısıtlamaları, Analitik Hiyerarşi Süreci*

1. Giriş

Benzer karar birimlerinin etkinliklerini karşılaştırmaya yönelik olan Veri Zarflama Analizi – VZA, son yıllarda yöneylem araştırması ve yönetim bilimlerinde çok yaygın olarak kullanılan bir metottur. VZA, Farrell tarafından önerilen sınır (frontier) analizine dayanılarak Charnes, Cooper ve Rhodes tarafından geliştirilmiştir. Kar amaçlı olan ve olmayan pek çok kuruluşun etkinlik analizinde kullanılmıştır. VZA'nin klasik performans değerlendirme yaklaşımlarından en önemli farkı analiz için çok sayıda girdi ve çıktı kullanılabilmesi ve analizcinin bu

(*) Araş.Gör. D.E.Ü. İ.İ.B.F. Ekonometri Bölümü, Buca/Izmir, 35160 tel: 02324204180/2289,
email: ipek.deveci@deu.edu.tr

Bu makale bildiri olarak I.Kalite Fonksiyon Göçerimi Sempozyumunda (17-19 Nisan 2002, İzmir) sunulmuştur.

girdi ve çıktıların ağırlıklarını belirlemesini gerektirmemesidir. VZA' de karar birimlerine ait girdi ve çıktı verileri kullanılarak bir ampirik etkinlik yüzeyi oluşturulur ve her bir karar birimi bu yüzeye olan radyal uzaklığı açısından değerlendirilir. Yüzey üzerinde bulunan birimler etkin (efficient), diğerleri etkin olmayan (inefficient) olarak adlandırılır. Her bir karar birimi için bir doğrusal programlama setinin çözülmesi ile her karar biriminin göreceli etkinlik puanı, girdi ve çıktıların ağırlıkları ve etkin olmayan birimlerin hedef olarak alabilecekleri bir referans seti bulunur.

Bu çalışmada VZA'daki ağırlıkların kısıtlanması için oluşturulacak kısıt koşullarının belirlenmesinde, uzman görüşünü dikkate alan Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) kullanılmıştır. Oluşturulan ağırlık kısıtlayıcı VZA modeli bir veri seti üzerinde uygulanmış ve sonuçlar ağırlık kısıtlamasız modelin sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

2. Veri Zarflama Analizi

Bir etkinlik/performans değerlendirme metodu olan VZA etkinlik değerlendirmesinde çıktıların ağırlıklı toplamının girdilerin ağırlıklı toplamına oranı şeklindeki mühendislik yaklaşımını kullanır:

$$j \text{ biriminin etkinliği} = \frac{\text{çiktıların ağırlıklı toplamı}}{\text{girdilerin ağırlıklı toplamı}} = \frac{u_1 y_{1j} + u_2 y_{2j} + \dots + u_s y_{sj}}{v_1 x_{1j} + v_2 x_{2j} + \dots + v_m x_{mj}}$$

Burada,

u_s : s. çıktının ağırlığı

v_m : m. girdinin ağırlığı

y_{sj} : j. birimin s. çıktısının miktarı
girdisinin miktarı

x_{mj} : j. birimin m.

Bu oranın hesaplanmasında her zaman tüm u ve v ağırlıklarının önceden analizci tarafından belirlenmesi mümkün olmamaktadır. VZA, veri setini kullanarak doğrusal programlama tekniği ile her bir karar birimi için farklı bir ağırlıklar setinin belirlenmesini sağlar. Her bir karar birimi, etkinliğini diğer karar birimleri karşısında maksimize edecek bir ağırlıklar seti ile değerlendirilir. Bu nedenle VZA ile yapılan değerlendirmeler göreceli değerlendirmelerdir. VZA'de kullanılan pek

Veri Zarflama Analizi

çok değişik model bulunmaktadır. Bu çalışmada en temel model olan CCR (Charnes, Cooper, Rhodes, 1978) modeli kullanılacaktır.

Herhangi bir hedef birimin etkinliği ařaęıdaki kesirli programlama modeli ile bulunabilir. ilgililenilen karar birimi “0” indisi ile gösterilsin:

$$\text{FP}_0 \max \quad \frac{u_1 y_{1o} + u_2 y_{2o} + \dots + u_s y_{so}}{v_1 x_{1o} + v_2 x_{2o} + \dots + v_m x_{mo}} \quad (1)$$

$$\text{Kısıtlar} \quad \frac{u_1 y_{1j} + u_2 y_{2j} + \dots + u_s y_{sj}}{v_1 x_{1j} + v_2 x_{2j} + \dots + v_m x_{mj}} \leq 1 \quad (j = 1, \dots, n) \quad (2)$$

$$\begin{aligned} v_1, v_2, \dots, v_m &\geq 0 \\ u_1, u_2, \dots, u_s &\geq 0 \end{aligned} \quad (3)$$

(1)’deki amaç fonksiyonu karar birimi 0’in etkinliğini maksimize edecek u ve v ağırlıkları setini bulmayı amaçlamaktadır. Kısıt koşulları ise her bir karar birimi için ağırlıklı çıktı/girdi oranının 1’i geçmemesini sağlamaktadır. Bu durumda etkinlik $[0,1]$ arasında değer alacaktır.

Kesirli programlama setinin çözülmesi daha güç olduęundan, bu problem bir doğrusal programlama problemi olarak ifade edilerek çözülebilir:

$$\begin{aligned} \text{LP}_0 \max \quad & u_1 y_{1o} + u_2 y_{2o} + \dots + u_s y_{so} \\ & v_1 x_{1o} + v_2 x_{2o} + \dots + v_m x_{mo} = 1 \\ \text{kısıtlar} \quad & u_1 y_{1j} + u_2 y_{2j} + \dots + u_s y_{sj} - (v_1 x_{1j} + v_2 x_{2j} + \dots + v_m x_{mj}) \leq 0 \quad (4) \\ & v_1, v_2, \dots, v_m \geq 0 \\ & u_1, u_2, \dots, u_s \geq 0 \end{aligned}$$

Yukarıdaki kesirli programlama problemi ile doğrusal programlama modeli birbirine denktir (Cooper ve diğerleri.,2000).

VZA’de güncel olan konulardan birisi de model tarafından belirlenen ağırlıkların kısıtlanmasıdır. Ağırlıkların tamamen esnek olması ve model tarafından belirlenmesi bazen gerçekçi olmayan etkinlik tahminlerinin elde edilmesine neden olmaktadır (Thanassoulis&Allen, 1998). Bazı uygulamalarda çözüm sonucunda bazı karar birimleri için önemli girdi ve çıktılarının ağırlıklarının düşük olduğu, bu yüzden de diğer bazı karar birimlerinin çok önemli olmayan girdi ve çıktılardaki üstünlükleri nedeniyle daha etkin olarak görüldükleri durumlar ortaya çıkabilmektedir. Bu problemi önlemek için ağırlık kısıtlamaları uygulanmaktadır.

Ağırlık kısıtlamalarının belirlenmesinde değer yargıları (value judgements) kullanılmaktadır. VZA literatüründe değer yargısının kesin bir tanımı olmamakla birlikte “Etkinliğin değerlendirilmesi sürecinde karar vericinin tercihlerini yansıtan mantıksal yapılar” (Allen ve diğerleri., 1997) olarak ele alınmaktadır.

VZA’de ağırlık kısıtlamalarıyla ilgili ilk çalışma Thomson ve diğerleri tarafından 1986’ da Texas’ta yeni kurulacak bir nükleer fizik laboratuvarı için yer seçimini desteklemek üzere yapılmıştır. Dyson ve Thanassoulis (1988), üst yönetimin bakış açısıyla girdi ve çıktı ağırlıklarını kısıtlamışlardır. Beasley (1990), 52 üniversitenin kimya bölümlerini değerlendirirken girdi ve çıktıları önem seviyesine göre kısıtlamıştır. Wong ve Beasley (1990), oransal ağırlık kısıtlamalarını önermişlerdir. Sorrarico ve Dyson (2000), BCG (Boston Consulting Group) matrisi sonuçlarını kullanarak oransal ağırlık kısıtlamaları yardımıyla UK üniversitelerinde performans ölçümüne yeni bir yaklaşımda bulunmuşlardır. Bu konudaki diğer çalışmalar için Allen ve diğerleri (1997) incelenebilir.

VZA’de ağırlık kısıtlamaları için güven bölgesi (assurance region) metodu, Koni-Oranı (Cone-Ratio) metodu ve mutlak ağırlık kısıtlamaları gibi çeşitli metotlar geliştirilmiştir. Bu çalışmada girdi ve çıktıların göreceli ilişkilerini modele dahil eden güven bölgesi metodu kullanılmaktadır.

Ağırlık kısıtlamaları modelin çözümünü değiştirmektedir. Bu durumun mutlak ağırlık kısıtlaması modellerinde yan etkileri olduğu gösterilmiştir (Podinovski, 1999 ve Podinovski& Athanassopoulos, 1998). Diğer ağırlık kısıtlaması modellerinin dezavantajları ile ilgili çalışmalar devam etmektedir.

3. Güven Bölgesi Metodu için Ağırlık Kısıtlamalarının Belirlenmesi

Kısıtlamaların (ya da ağırlıkların göreceli ilişkilerinin) belirlenmesi için kesin kabul görmüş tek bir metot bulunmamaktadır. Bazı uygulamalarda sadece uzman görüşüne (örneğin Beasley, 1990) ya da fiyat, maliyet gibi somut bilgilerin sonucunda elde edilen yargılara (örneğin Thompson ve diğerleri., 1986) yer verilmiştir. Diğer bir yaklaşım da gözlemlenmeyen karar birimlerini kullanarak ağırlık kısıtlamalarını belirlemektir (Allen&Thanassoulis,1998).

Son yıllarda AHP (Analitik Hiyerarşi Sureci) ve Delphi gibi tekniklerin de ağırlık kısıtlamalarının belirlenmesi için kullanılması önerilmektedir (Seiford& Zhu, 1998; Cooper ve diğerleri, 2000; Tone,1989; Shang ve diğerleri, 1995).

4. Uygulama

Bu çalışmada Beasley'in 1990'da 52 üniversitenin kimya bölümlerini karşılaştırmak için kullandığı veri seti kullanılacaktır. Veri seti Tablo1'de görülen 3 girdi ve 8 çıktıdan oluşmaktadır:

Tablo1: Girdi ve Çıktılar

Girdiler	Çıktılar
I1 – Genel harcamalar	O1 - Lisanstaki öğrenci sayısı
I2 – Ekipman harcamaları	O2 - Ders veren lisansüstü öğrenci sayısı
I3 – Araştırma geliri	O3 - Araştırma yapan lisans üstü öğrenci sayısı
	O4 - Araştırma geliri
	O5 - Bolumun araştırma notu (yıldız)
	O6 - Bolumun araştırma notu (A+)
	O7 - Bolumun araştırma notu (A)
	O8 - Bolumun araştırma notu (A-)

Parasal girdi sağlaması ve bir değerlendirme kriteri olması nedeniyle araştırma geliri hem girdi hem de çıktılarda yer almaktadır. Bölümlerin araştırma notları UGC (University Grants Committee) tarafından verilmiştir.

Beasley makalesinde girdi ve çıktılara ağırlık vererek bölümlerin değerlendirmesini yapmıştır, fakat ağırlıkların belirlenmesi için herhangi bir metot önermemiştir. Bu çalışmada ise aynı veri seti üzerinde Saaty'nin (1980) AHP önceliklendirme matrisi kullanılarak ağırlıkların belirlenmesi önerilmektedir.

Ağırlıklandırma için kullanılacak önceliklendirme matrisini oluştururken ölçek seçiminde dikkatli olunması gerekmektedir. Önceliklendirme matrisi için Tablo2'de görülen 1-9 arasındaki ölçek tavsiye edilmektedir (Saaty, 1980). Fakat ağırlıklandırma yapabilmek için sayısal olarak anlamlı olan bir ölçeğe ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yüzden 1-9 arası ölçeklendirmenin burada kullanılması doğru sonuç vermeyecektir.

Tablo 2: 1-9 Arası Ölçeklendirme

Önem derecesi	Tanım
1	Eşit önem
3	Orta dereceli önem
5	Güçlü önem
7	Çok güçlü önem
9	Mutlak önem
2,4,6,8	Aradaki değerler

Kaynak: Saaty (1980)

Bu çalışmada 1 ile 10 arasında bir sürekli ölçek kullanılmıştır. Her karşılaştırma için verilebilecek en düşük puan 1 ve en yüksek puan 10'dur. Puan yükseldikçe göreceli öncelik artmaktadır.

University of Wyoming, USA'den üniversite değerlendirmesi konusundaki 3 uzman fikir birliğine vararak girdiler ve çıktılar için ayrı birer önceliklendirme matrisi oluşturmuşlardır. Elde edilen matrisler Şekil 1 ve 2'de görülmektedir. Matrislerdeki değerler "en az" önem derecesini göstermektedir. Örneğin I1 ve I2'nin karşılaştırılması sonucu elde edilen 7, birinci girdiyle ikinci girdinin önem

Veri Zarflama Analizi

oranının en az 7 olduğunu göstermektedir. Çıktılar önceliklendirilirken, araştırma notunu gösteren O5-O8 çıktıları kendi aralarında değerlendirilmemişlerdir.

	I1	I2	I3
I1	1	7	3
I2	1/7	1	1/7
I3	1/3	7	1

Sekil 1 : Girdiler için Önceliklendirme Matrisi

	O1	O2	O3	O4	O5	O6	O7	O8
O1	1	7	5	1	1	1	1	1
O2	1/7	1	1/3	1/9	1/9	1/9	1/9	1/9
O3	1/5	3	1	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3
O4	1	9	3	1	1/3	1/3	1/3	1/3
O5	1	9	3	3	1	0	0	0
O6	1	9	3	3	0	1	0	0
O7	1	9	3	3	0	0	1	0
O8	1	9	3	3	0	0	0	1

Sekil 2 : Çıktılar için Önceliklendirme Matrisi

Güven bölgesi metodunda birinci girdinin ağırlığı v_1 , ikinci girdinin ağırlığı v_2 olmak üzere;

$$\frac{v_1}{v_2} \geq 7 \Rightarrow v_1 \geq 7v_2 \Rightarrow v_1 - 7v_2 \geq 0$$

şeklinde ağırlık kısıtlamaları oluşturulur ve (4)'teki temel CCR modeline eklenerek çözüm yapılır. Çıktı ağırlıkları için de aynı işlem uygulanır. Bu matrisler kullanılarak girdi ve çıktı ağırlıkları için belirlenen tüm ağırlık kısıtlamaları (5)'te görülmektedir.

GIRDILER	ÇIKTILAR				
$v_1 - 7v_2 \geq 0$	$u_1 - 7u_2 \geq 0$	$3u_2 - u_3 \geq 0$	$3u_3 - u_4 \geq 0$	$3u_4 - u_5 \geq 0$	
$v_1 - 3v_3 \geq 0$	$u_1 - 5u_3 \geq 0$	$9u_2 - u_4 \geq 0$	$3u_3 - u_5 \geq 0$	$3u_4 - u_6 \geq 0$	
$7v_2 - v_3 \geq 0$	$u_1 - u_4 \geq 0$	$9u_2 - u_5 \geq 0$	$3u_3 - u_6 \geq 0$	$3u_4 - u_7 \geq 0$	
	$u_1 - u_5 \geq 0$	$9u_2 - u_6 \geq 0$	$3u_3 - u_7 \geq 0$	$3u_4 - u_8 \geq 0$	
	$u_1 - u_6 \geq 0$	$9u_2 - u_7 \geq 0$	$3u_3 - u_8 \geq 0$		
	$u_1 - u_7 \geq 0$	$9u_2 - u_8 \geq 0$			
	$u_1 - u_8 \geq 0$				

(5)

Temel CCR modeli ile ağırlık kısıtlamalı modelin çözümü Holger Scheel tarafından geliştirilmiş EMS V1.3 programı ile yapılmış ve Tablo 3'teki sonuçlar elde edilmiştir. Ağırlık kısıtlamasız modelin sonuçlarından da görülebileceği gibi, 50 nolu üniversite dışındaki tüm üniversiteler etkin olarak bulunmuştur. Bu durumda VZA etkinlik analizi açısından bir fayda sağlamamaktadır. Ağırlıklı model sonucunda ise sadece 39 ve 41. üniversiteler etkin olarak bulunmuştur.

Tablo3'te her iki model için etkinlik değerleri, etkin olmayan üniversiteler için referans setleri, etkin üniversiteler için ise kaç etkin olmayan üniversiteye referans olduklarını gösteren bir skor görülmektedir. Referans setinde etkin olmayan üniversiteler için referans olabilecek üniversiteler ve referans olma oranları bulunmaktadır. Örneğin kısıtlamalı modelde 6 nolu üniversitenin etkinliği %86.13'tur ve 39 nolu üniversite 6 nolu üniversiteye referans olabilmektedir.

5. Sonuç ve Tartışma

Uygulama sonuçlarında da görüleceği üzere, ağırlık kısıtlamaları VZA'nin göreceli etkinlikleri daha seçici bir şekilde belirlemesini sağlar. Ağırlık kısıtlamaları henüz üstünde fikir birliğine varılmamış bir konu olduğu için kısıtlamaların belirlenmesinde ve analiz sonuçlarının yorumlanmasında dikkatli olunmalıdır. Ağırlıklarla ilgili sayısal veriler bulunmadığı durumlarda, kısıtlamaların belirlenmesi için AHP önceliklendirme matrisinin kullanılması uzman görüşünün analize dahil edilmesini sağlamaktadır.

Bu çalışmada sadece temel CCR modeli ele alınmış olmasına rağmen, ağırlık kısıtlamaları diğer VZA modellerine de uygulanabilir. Ağırlıkların güven

Veri Zarflama Analizi

bölgesi metodu ile kısıtlanmasının yan etkileri bundan sonraki araştırmalara konu olabilir.

Tablo 3: Ağırlık Kısıtlamasız ve Kısıtlı Modelin Sonuçları

Karar Birimi	Kısıtlamasız Model		Kısıtlı Model	
	Etkinlik	Referans Seti	Etkinlik	Referans Seti
Universite1	100.00%	21	65.80%	39 (0.24) 41 (0.12)
Universite2	100.00%	21	88.23%	39 (0.24) 41 (0.95)
Universite3	100.00%	21	69.17%	41 (2.63)
Universite4	100.00%	21	65.95%	41 (1.04)
Universite5	100.00%	21	66.47%	39 (1.34)
Universite6	100.00%	21	86.13%	39 (0.60)
Universite7	100.00%	21	63.00%	39 (1.36) 41 (0.02)
Universite8	100.00%	20	64.37%	39 (0.44)
Universite9	100.00%	20	77.53%	39 (0.80)
Universite10	100.00%	21	62.37%	39 (0.70)
Universite11	100.00%	21	95.41%	39 (0.62)
Universite12	100.00%	21	73.29%	41 (1.91)
Universite13	100.00%	21	70.50%	39 (0.61)
Universite14	100.00%	20	63.09%	39 (0.27)
Universite15	100.00%	21	75.90%	41 (1.35)
Universite16	100.00%	20	59.83%	39 (0.16) 41 (0.63)
Universite17	100.00%	20	56.58%	39 (0.79) 41 (1.57)
Universite18	100.00%	21	81.42%	39 (0.45) 41 (0.80)
Universite19	100.00%	20	68.63%	39 (0.57) 41 (0.73)
Universite20	100.00%	21	36.05%	39 (0.17) 41 (0.20)
Universite21	100.00%	21	67.92%	39 (1.22)
Universite22	100.00%	20	68.58%	39 (0.48) 41 (1.44)
Universite23	100.00%	20	64.70%	39 (0.52) 41 (0.49)
Universite24	100.00%	20	56.70%	41 (1.42)
Universite25	100.00%	20	58.63%	39 (0.68) 41 (0.02)
Universite26	100.00%	20	60.24%	39 (0.43) 41 (0.73)
Universite27	100.00%	20	62.38%	39 (0.42) 41 (2.00)
Universite28	100.00%	21	78.01%	39 (1.40)
Universite29	100.00%	20	62.18%	39 (0.72)
Universite30	100.00%	21	82.02%	39 (0.38) 41 (2.07)
Universite31	100.00%	21	89.04%	39 (1.98) 41 (2.88)
Universite32	100.00%	20	76.68%	39 (0.27) 41 (1.13)

Universite33	100.00%	20	56.18%	39 (0.80)
Universite34	100.00%	21	74.44%	41 (2.61)
Universite35	100.00%	21	82.23%	39 (1.41)
Universite36	100.00%	20	79.01%	39 (0.55)
Universite37	100.00%	21	66.68%	39 (0.72) 41 (0.35)
Universite38	100.00%	20	69.33%	39 (0.39) 41 (0.66)
Universite39	100.00%	21	100.00%	43
Universite40	100.00%	21	68.09%	39 (0.06) 41 (0.51)
Universite41	100.00%	21	100.00%	34
Universite42	100.00%	21	82.55%	39 (0.08) 41 (1.64)
Universite43	100.00%	20	74.48%	39 (0.34) 41 (0.60)
Universite44	100.00%	20	76.40%	39 (0.14) 41 (0.77)
Universite45	100.00%	20	69.35%	39 (0.41) 41 (0.78)
Universite46	100.00%	21	52.66%	39 (0.09) 41 (0.59)
Universite47	100.00%	21	87.84%	39 (1.03) 41 (0.57)
Universite48	100.00%	21	71.07%	41 (4.13)
Universite49	100.00%	21	78.95%	39 (0.32) 41 (0.74)
Universite50	100.00%	1(0.04) 6(0.54) 11(0.14) 41(0.12)	78.37%	39 (0.55)
Universite51	100.00%	21	60.71%	39 (0.07) 41 (0.48)
Universite52	100.00%	21	74.03%	39 (1.25)

ABSTRACT

Data Envelopment Analysis (DEA) has become one of the most widely used methods in operations research and management science. DEA uses mathematical programming techniques to evaluate multi input-multi output data and finds the relative efficiency scores of similar Decision Making Units (DMUs). On the contrary to classical efficiency approaches, the most important feature of DEA is that the determination of weights for inputs and outputs by the analyzer is not required. In this study, Analytic Hierarchy Process is used to determine the constraints for weight restrictions. The weight-restricted model is then applied to a data set, and the results are compared to that of the unrestricted model.

Keywords: Data Envelopment Analysis, Weight Restrictions, Analytic Hierarchy Process

KAYNAKÇA

- Allen, R., Athanassopoulos, A., Dyson, R.G., Thanassoulis, E., (1997), Weights Restrictions and Value Judgements in Data Envelopment Analysis: Evolution, Development and Future Directions, *Annals of Operations Research*, 73, 13-34.
- Beasley, J.E. , (1990), Comparing University Departments, *OMEGA*, Vol.18, No.2, 171-183.
- Charnes, A., Cooper, W.W., Rhodes, E., (1978), Measuring the Efficiency of Decision Making Units, *European Journal of Operations Research*, 2, 429-444.
- Cooper, W.W., Seiford, L.M., Tone, K., (2000), *Data Envelopment Analysis*, Kluwer Academic Publishers.
- Dyson, R.G., Thanassoulis, E., (1988), Reducing Weight Flexibility in Data Envelopment Analysis, *Journal of the Operational Research Society*, vol.39, No.6, 563-576.
- Podinovski, V.V., (1999), Side Effects of Absolute Weight Bounds in DEA Models, *European Journal of Operations Research*, 115, 583-595.
- Podinovski, V.V., Athanassopoulos, A.D., (1998), Assessing the Relative Efficiency of Decision Making Units Using DEA Models with Weight Restrictions, *Journal of the Operational Research Society*, vol.49, 500-508.
- Saaty, T.L., (1980), *Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill.
- Seiford, L.M., Zhu, J., (1988), Identifying Excesses and Deficits in Chinese "industrial Productivity(1953-1990): a Weighted Data Envelopment Analysis Approach, *OMEGA*, Vol.26, No.2, 279-296.
- Shang, J., Sueyoshi, T.A., (1995), A Unified Framework for the Selection of a Flexible Manufacturing System, *European Journal of Operations Research*, 2, 429-444.

- Sorracio, C.S., Dyson, R.G., (2000), Using DEA for Planning in UK Universities-an Institutional Perspective, , Journal of the Operational Research Society, Vol.51, 789-800.
- Thanassoulis, E., Allen, R., (1998), Simulating Weights Restrictions in Data Envelopment Analysis by Means of Unobserved DMUs, Management Science, Vol.44, No.2, 586-594.
- Thompson, R.G., Singleton, F.D., Thrall, R.M., Smith, B.A., (1986), Comparative Site Evaluations for Locating a High-Energy Physics Lab in Texas, Interfaces, 16:6, 35-49.
- Tone, K.A., (1989), A Comparative Study on AHP and DEA, International Journal of Policy and Information, 13, 57-63.
- Wong, Y.H., Beasley, J.E., (1990), Restricting Weight Flexibility in Data Envelopment Analysis, Journal of the Operational Research Society, Vol.41, No.9, 829-835.