

# YATIRIM PROJELERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİNDE AHP-VIKOR ENTEGRASYONU İLE BİR KARAR DESTEK SİSTEMİ ÖNERİSİ<sup>1</sup>

## A DECISION SUPPORT SYSTEM (DSS) PROPOSAL WITH AHP-VIKOR INTEGRATION IN THE EVALUATION OF INVESTMENT PROJECTS

Araş. Gör. Eda ÇEVİK, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir Meslek Yüksekokulu  
[eda.cevik@deu.edu.tr](mailto:eda.cevik@deu.edu.tr)

Doç. Dr. Yılmaz GÖKŞEN, Dokuz Eylül Üniversitesi, Yönetim Bilişim Sistemleri ABD  
[yilmaz.goksen@deu.edu.tr](mailto:yilmaz.goksen@deu.edu.tr)

### Öz

Her bir projenin, işletme için bir yatırımı ifade ettiği literatürde belirtilmektedir. Proje metodolojisi ile yaklaşılabilen yatırımlar, yatırım projeleri kavramı altında incelenmekte ve değerlemelerinin yapılması için ticari analizleri yoğun olarak kullanılmaktadır. Yatırımın karlılık oranı (YKO), sermayenin karlılık oranı (SKO), net bugünkü değer (NBD), iç karlılık oranı (İKO), geri ödeme süresi (GOS) ve fayda masraf oranı (F/M) teknikleri ticari karlılık analizleri içinde yer almaktadır. Bu analizlerin verdiği değerler sonucunda, birbirine alternatif olan yatırım projeleri için sıralamalar yapıldığında, yatırım projeleri farklı sıralama numarasını alabilirler. Çalışmanın problemini oluşturan bu farklı sıralamalar için optimal bir çözüm kümesi arayışı oldukça karmaşık bir yapıdadır denilebilir. Bu çalışmada AHP-VIKOR entegrasyonunu temel alan, PyQt4 kullanıcı grafik arayüzü kütüphanesi kullanılarak Python programlama dilinde, YKO, SKO, NBD, İKO, GOS ve F/M analiz sonuçlarını veri kabul eden bir arayüz hazırlanarak Karar Destek Sistemi önerisi olarak sunulmaya çalışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Yatırım Projesi, Analitik Hiyerarşi Prosesi, VIKOR, AHP-VIKOR Entegrasyonu, Karar Destek Sistemleri

### Abstract

Each project implies an investment for organizations. Investments which are approached by the Project methodology are examined under the title of investment projects and for evaluating them, some analysis methods are used. Opportunity cost, rate of return, payback period, net present value, internal rate of return, and benefit cost ratio are involved in profitability analysis. According to the values resulting from these analyses, and when a set of alternative projects are arranged in order, investment projects can get a different score for each analysis. These different scores which form the problem of the study can be a complex structure. This study aims to propose a Decision Support System as an interface with input data that are results of opportunity cost, rate of return, payback period, net present value,

<sup>1</sup> Bu çalışma aynı başlığı taşıyan yüksek lisans tezinden türetilmiştir.

internal rate of return, and benefit cost ratio, is based on AHP-VIKOR integration by using PyQt4 user graphical interface library and Python programming.

**Keywords:** *Investment Project, Analytic Hierarchy Process, VIKOR, Integrated AHP-VIKOR, Decision Support Systems.*

## 1. GİRİŞ

Ekonomik sistemin öğelerinden biri olan işletmeler, rakip işletmelere karşı varlığını sürdürmek zorundadır. Yoğun rekabetin yaşandığı ve belirsizliğin olduğu ekonomik sistem içinde, gelişen teknolojiye ayak uydurmak, doğru stratejileri oluşturmak, rekabetten üstün çıkmak gibi varlığını sürdürmesini sağlayacak eylemleri gerçekleştirebilmesi için, karar vericilerin aldıkları sorumluluklar oldukça fazla olabilmektedir. Alınan kararların etkin ve verimli bir şekilde uygulanması ise bir yönetim konusudur.

Teknoloji ile karmaşık bir yapıya bürünen organizasyonların yönetimlerini doğru olarak yapmayı hedefleyen birçok yeni kavram ortaya çıkmıştır. Bu kavramlardan biri ise proje yönetimidir. Belirli bir amaç doğrultusunda, belirli bir zamanda ve hedeflenen bir kalite düzeyinde sonuçların var olması için kullanılan proje yönetiminin ilk adımını oluşturan proje seçimi ise; yapısı gereği yöneticilerin tecrübelerine dayanan, yarı yapısal/yapısal olmayan bir karardır.

Belirli bir hedefe ulaşmak için birden fazla proje önerisi hazırlanabilir ve bu projeler kalite, zaman ve maliyet açısından uygun olabilir. Birden fazla alternatif projenin varlığı bir seçim ya da sıralama problemi oluşturabilir.

Projelerin seçme ya da sıralama işlemlerinde sayısal ve sayısal olmayan birçok farklı metot kullanılabilir. Seçme veya sıralama işleminde kullanılan metot, projenin yapısı ve hedefi ile yakından ilişkilidir denilebilir. Yatırım projeleri ise, hedefleri gereği, çoğunlukla karlılık analizleri ile değerlendirilebilmektedirler. Bu analizlerin sonuçlarına göre yapılan bir sıralama, tablo olarak sunulduktan sonra, karar işlemi karar vericilerin sübjektif görüşüne göre yapılabilmektedir. Bunun sebeplerinden biri ticari karlılık analizlerinin sonuçlarına göre yapılan sıralamalarda farklı projeler ilk sırada yer alabilir.

Karar almadaki yukarıda bahsedilen sübjektifliğin giderilebilmesi için çok kriterli karar tekniklerinden faydalanılabilir. Çok kriterli kararlar teknikleri, yapıları gereği oldukça karmaşık modelleri içeren geniş bir yelpazeye yayılmaktadırlar. Bu modeller, alınacak olan kararlarda, yöneticinin görüşünü de analiz içine alan yöntemleri de içinde barındırmaktadırlar. Özellikle taktik/stratejik kararlar da yöneticilerin bilgi ve deneyimlerinin karar alma eylemine katılım sağlaması istenebilmektedir. Çok kriterli karar yöntemleri ile, bu bilgi ve deneyimi karar verme sürecine dahil ederek, daha kuvvetli sonuçlar elde edilmesi sağlanabilir. Bu çalışmanın amacı, stratejik öneme sahip olan yatırım projesi seçiminde, ticari karlılık analizlerini birer kriter olarak değerlendirilip, çok kriterli karar tekniklerinin

entegrasyonundan faydalanan bir karar destek arayüzünün hazırlanmasına öneri sunmaya çalışmaktadır.

## 2. YATIRIM PROJELERİ VE DEĞERLEME YÖNTEMLERİ

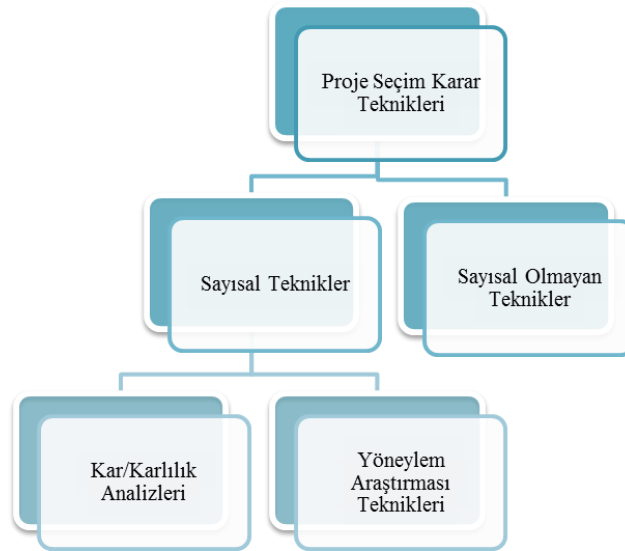
Gelecekte sağlanabilecek bir dizi faydanın beklentisi ile yatırım sahip olunan kaynakların belirli alanlara aktarılmasıdır. Yatırım kavramı; halk arasında, bir işi yapmak amacıyla belirli bir sermayenin o işe aktarılması şeklinde tanımlanırken işletme biliminde en geniş anlamıyla nakdi değerlerin tesis mallarına dönüşümüdür (Şenel, 2007:1). Yatırım, bir işletmenin ekonomik faaliyetleri çevresinde ihtiyaç duyacağı bütün somut malların sağlanması için harcadığı mali araçlar olmaktadır (Baraçlı ve İme; 2013:18).

Yatırım kavramı fiziksel yatırımlar ve finansal varlık yatırımları şeklinde iki başlık altında incelenebilir. Finansal varlık yatırımları ile kasıt tahvil, bono, hisse senedi gibi varlıkların alım, satım işlemlerini içerirken, fiziksel yatırımlar üretim temelli işlemlerin geliştirilmesi işlemlerini içerir. Bir başlama ve bir bitiş süresine sahip olan fiziksel yatırımlar taşıdıkları özellikler açısından proje kavramı ile örtüşmektedir denilebilir.

Okka'ya göre (2011:122), proje; ekonomik ve teknik yönden yapılabilirliği olan bir yatırımı ifade eder. Proje metodolojisi ile yaklaşılabilen yatırımlar 'yatırım projesi' olarak adlandırılırlar. Mali araçlardan sağlanan nakit akışlarının tesis mallarına dönüşümü sürecinin, kalite, maliyet ve zaman kısıtları altında formüle edilmesi ile oluşturulan yatırım projeleri, aynı hedefe ulaşabilmek için farklı yolları kullanan, birbirine alternatif olacak şekilde tasarlanabilirler. Alternatif yatırım projelerinin varlığı bir seçim problemini oluşturur.

Yatırım kararları, yani duran varlıklara yapılan yatırımlarla alakalı kararlar, şirketlerde önemli bir karar grubunu oluşturmaktadır. Finans literatürü incelendiğinde sermaye bütçelemesi olarak da karşılaşılan yatırım kararları; organizasyonların yeni duran varlık alımı, mevcut varlığın modernize edilmesi, kapasite arttırımı için yatırımların yapılması, yeni coğrafi alanlara veya yeni ürün pazarlarına girilmesi veya çevreyi koruyucu yeni yatırımların yapılması ile ilgili karar süreçlerini içermektedir (Tekbaş; 2014:90).

Ekonomik göstergeleri direk ya da dolaylı yoldan etkileyen yatırım projeleri içinden doğru olan projeyi ya da projeleri seçme işlemi oldukça önemli bir konudur denilebilir. Proje seçim işlemi ise bir karar verme problemi olarak tanımlanabilir. Karmaşık bir sorunun ya da bir amacın bazı durumlarda birden fazla çözümü olabilir. Belirli bir çıktıyı elde etmek ya da bir amaca ulaşmak için birden fazla proje tasarlanabilir. Böyle bir durumda tasarlanan projelerden birinin veya bir kaçının seçilmesi ya da projelerin belirli ölçütler dahilinde sıralanması istenebilir. Bu seçim ya da sıralama işleminde kullanılan teknikler Şekil 1'de verilmiştir.



### Şekil 1:Proje Seçim Karar Teknikleri

Proje seçim karar problemleri üzerinde kullanılan metotları sayısal ya da sayısal olmayan olmak üzere 2 grupta incelemek mümkündür. Sayısal olmayan modellere; kutsal inek yöntemi Q-Sort tekniği örnek olarak verilebilir. Bu çalışmanın konusunu oluşturan sayısal modeller kendi içlerinde karlılık analizleri ve yöneylem araştırması teknikleri olarak iki gruba ayrılır.

Karlılık analizleri, maliyet ve kar odaklı metotlardan oluşmaktadır ve mali araçların, duran varlıklara dönüşümü olarak tanımlanan yatırım projelerinin seçimi için finans literatüründe oldukça geniş bir yer kaplamaktadır. Basit karlılık oranları, geri ödeme süresi, net bugünkü değer, iç karlılık oranı ve fayda/masraf oranı gibi analizleri içine alan karlılık analizlerden bir ya da bir kaçının birlikte, birden fazla yatırım projesinin değerlendirilmesinde kullanılması, projeleri farklı avantaj sırasına yerleştirebilir. Geri ödeme süresi metoduna göre en avantajlı olan proje, net bugünkü değer metoduna göre daha az avantajlı bir konumda olabilir.

Yöneylem araştırmasında ise kar ve maliyet dışındaki faktörler de analizlere dahil edilebilmektedirler. Yöneylem araştırması kendi içinde çok farklı metotları barındırmakla birlikte, proje seçimi gibi birçok faktörün incelendiği seçim sıralama problemlerine yönelik, çok kriterli karar tekniklerini de içerir.

Bu çalışmada alternatif projelere ait karlılık analiz sonuçlarından, karar vericinin görüşünü de içerecek şekilde projelerin optimal sıralamasına ulaşmak istenmektedir. Karlılık analizlerinin birbirlerine göre üstünlük durumlarının, karar vericinin deneyimlerini de modele katarak, elde edebilmek amacı ile Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) kullanılırken, projelerin optimal sıralaması için ise VIKOR metodu, AHP metodu ile entegre edilmiştir.

#### 2.1. Ticari Karlılık Analizleri

İşletmelerin en temel varlık amacı kar etmektir. Yatırım projeleri değerlendirilirken masrafların ve faydaların birlikte ele alınmasının sebebinin de kar elde etme çabası olduğu

söylenilebilir. Kar edilmeyen bir yatırım projesi sonucu zarar kavramını gündeme getirebilir ve/veya işletmenin varlığını tehdit eden bir durum oluşturabilir.

Projeler başlangıçta ekonomideki sınırlı kaynakların yatırım için tahsis edilmesi biçiminde fedakarlık gerektirmekte ve bu kıt kaynakların kullanılması sayesinde gelecekte birçok fayda yaratmayı amaçlamaktadır. Proje değerlendirmede ise yatırım projesinin ortaya çıkaracağı faydalar ve maliyetler karlılık ölçütlerine dayalı olarak karşılaştırılır (Demirbugan; 2007:27).

Kar amacı ile hareket eden bir firma yatırım projelerini değerlendirirken ve karar alırken birçok faktörü hesaba katmak durumundadır. Bu nedenle, yatırım kararı son derece karmaşık bir karaktere sahiptir. Bir yatırım projesini değerlendiren ve yatırım kararı alacak olan firma için temel ilke sermaye malının maliyeti (arz fiyatı) ile ondan beklenen hasılatın karşılaştırılması ve beklenen hasılatın maliyetten büyük olmasıdır. Bu ilke mantık olarak doğru fakat her zaman yeterli değildir. Böyle bir kıyaslama ile yatırım kararı alabilmek için, öncelikle karşılaştırılacak hasılat ve maliyet değerlerinin türdeş yani aynı zaman dilimine ait olması gerekir (Şahin; 2006:97).

Bu durum göz önünde bulundurulduğunda paranın zaman değeri önem kazanmaktadır. Fakat uygulamada paranın zaman değerini dikkate almayan tekniklerinde kullanıldığı görülmektedir. Uygulamada veri olarak kullanılan paranın zaman değerini dikkate almayan yöntemleri şu şekilde listeleyebiliriz:

- Basit karlılık oranları: Rantabilite (Basit Karlılık Oranı), net hasılatın aktif sermayeye oranlanmasıyla hesaplanmaktadır. (Erkuş ve Diğerleri; 1996, Aktaran: Turan ve Yıldırım; 2000:55). Bu oran Sermayenin Karlılık Oranını (SKO) vermektedir. Sermayeye borçlar eklenerek yatırımın toplam tutarının bulunması sonucunda, net hasılatın yatırımın toplam tutarına oranlanması ile Yatırımın Karlılık Oranı (YKO) elde edilmektedir.

- Geri ödeme süresi yöntemi: yatırım projesinin toplam tutarını, yani başlangıç veya ilk maliyetini ne kadar yılda geri ödeyeceği net kara göre hesaplanır. Geri ödeme süresi yatırımcının göze aldığı yıl kadar veya az ise yatırım projesi kabul edilir (Emiroğlu; 2002:330).

Uygulamada veri olarak kullanılan paranın zaman değerini dikkate alan yöntemler ise aşağıdaki gibidir:

- Net bugünkü değer yöntemi: Firmanın yatırım için kullanacağı para miktarının bugünkü değeri ile yatırım projesinin ekonomik ömrü boyunca edilmesi beklenen nakit akışlarının bugünkü değeri arasındaki farkın hesaplanmasıdır (Jackson ve Diğerleri; 2009:283).

- İç karlılık oranı yöntemi: Yatırım projelerinin faydalı ömrü boyunca sağlayacağı gelirlerin bugünkü değerini, yapılan yatırıma eşit kılan iskonto haddi olarak tanımlanır (Öney; 1980:219).

- Fayda/Masraf oranı yöntemi: Yatırım projesinin ekonomik yaşamı boyunca kazanılan gelirlerin bugünkü değeri, yine aynı dönemde, yapılan giderlerin bugünkü değerine oranlanması ile elde edilmektedir (Türker'den aktaran Korkmaz; 2001:113).

Yukarı sayılan ticari karlılık analizleri birbirine alternatif projelerin seçim/sıralama işlemi için kullanılabilir. Tek bir projenin yapılabilirliği incelenirken tüm analizler benzer sonuçları verecektir, fakat birden fazla projenin incelenmesi durumunda analizlerde farklı sonuçlar elde edilebilir. Bir karar verici yatırım projesinin karlılık oranlarına göre uygulama kararı alırken başka bir karar verici geri ödemesi daha kısa olan yatırım projesini uygulamayı hedeflemiş olabilir. Karar vericilerin hedeflerine uygun optimal bir sıralama elde edilmesi çalışmanın problemini oluşturmaktadır.

Karlılık analizlerinin veri seti olarak kullanıldığı yatırım projesi seçim/sıralama probleminde, karar vericilerin deneyimleri ve hedeflerinin sayısallaştırılabilmesi Analitik Hiyerarşi Süreci ve Analitik Serim Süreci metotları ile mümkün olabilmektedir. Subjektif görüşü sayısal modele alma işleminde, çalışma problemi alt kriterlere sahip olmadığı için, Analitik Hiyerarşi Süreci metodunun uygun olduğu düşünülmektedir. Karlılık analizleri nicel veri seti birbirine zıt olan kriterleri içermektedir. SKO, YKO, NBD, F/M, İKO oranlarının maksimum değerinde olması seçim sebebi iken GÖS değerinin minimum olması tercih edilmektedir. VIKOR, zıtlık durumunda optimal çözüm kümesi önerisi sunabilen bir metottur. Uygulama probleminin çözümü için AHP ve VIKOR metotların entegrasyonu önerilen matematiksel model olarak sunulmaktadır.

## **2.2.AHP-VIKOR Entegrasyonu**

İnsanlar, erken yaşlardan itibaren, her gün birçok konuda seçim yapmak, karar vermek zorunda kalabilmektedirler. Zaman içinde bu kararlarının ya da seçimlerinin sonuçlarını yaşarlar ve deneyim kazanırlar. Kazanılan bu deneyim, yargılara dönüşerek, karşılaştıkları yeni sorunları çözmesinde kullanılabilecek önemli bir nesne haline alabilmektedir.

Bireyin yargısı, karar süreçlerinde göz önüne alındığında karar vermenin etkinliğinin arttığı söylenebilir. Her birey için aynı karar probleminin kriterlerine ait önem düzeyi ve karar alternatiflerinin değerlendirilmesinde kullanılan yargılar değişiklik gösterebilmektedir. Bu tarz karar problemlerinin çözümünde AHP kullanılması daha etkin karar verme olanağı sağlayabilmektedir (Dündar ve Ecer; 2008:198).

Thomas L. Saaty tarafından 1970'lerde geliştirilen Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), birden fazla kriter içeren karmaşık problemleri sonuca ulaştırmak için kullanılan çok kriterli karar verme metotlarından biridir. AHP, karmaşık problemlerin, probleme ait ana hedef, kriterler, alt kriterler ve seçenekler arasındaki ilişkiyi gösteren hiyerarşik yapının modellenmesine olanak verir (Kuruüzüm ve Atsan; 2001:84). AHP sonucunda kriterler için birer ağırlık üretilmektedir. Üretilen bu ağırlıklar başka sayısal metotlar için girdi değer olarak kullanılabilir. AHP uygulama adımları aşağıda verilmiştir (Yaralıoğlu; 2010:42/49, Önder, G. ve Önder, E.; 2014:24/26):

Adım 1: Karar problemi tanımlanır.

Adım 2: n faktör sayısı olmak üzere, nxn boyutlu, birinci faktör için ikili karşılaştırma matrisi köşegeni üzerindeki bileşenleri 1 olacak şekilde, Tablo 1'de verilen önem skalası kullanılarak

hazırlanır. İkili karşılaştırmalar köşegenin üst kısmında kalan kısım için yapılır. Köşegenin alt kısmını oluşturmak için  $a_{ij}=1/a_{ji}$  denkleminde faydalanılır. Sonuç olarak aşağıda gösterilen A matrisi gibi bir matris elde edilir.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

**Tablo 1: AHP Önem Skalası**

Önem Değerleri	Değer Tanımları
1	Her iki faktörün eşit öneme sahip olması
3	1. faktörün, 2. faktörden daha önemli olması
5	1. faktörün, 2. faktöre nazaran çok önemli olması
7	1. faktörün, 2. faktöre nazaran çok güçlü öneme sahip olması
9	1. faktörün, 2. faktöre nazaran mutlak üstünlük göstermesi
2, 4, 6, 8	Ara değerler

Adım 3:  $b_{ij} = a_{ij} / \sum_{i=1}^n a_{ij}$  denklemi kullanılarak faktör sayısı (n) kadar  $b_{ij}$  sütun vektörleri

oluşturulur.  $b_{ij}$ 'ler bir araya getirilerek normalize matris olarak anılan, nxn boyutlu bir C matrisi elde edilir.

Adım 4: C matrisinin satırlarının ortalamaları alınır ve öncelik vektörü olarak adlandırılan W vektörü oluşturulur.

Adım 5: A matrisi ve W öncelik vektörü çarpılarak D sütun vektörü elde edilir.  $E_i = d_i/w_i$

formülü uygulanır. Sırası ile, önce  $\lambda = \sum_{i=1}^n E_i/n$ , daha sonra  $CI = \lambda - n/n - 1$  formülleri uygulanır.

Adım 6: Tablo 2'de verilen faktör sayısına karşılık gelen RI değerleri kullanılarak tutarlılık değeri (CR) =  $CI/RI$  formülasyonu ile hesaplanır. CR değeri 0,1'den büyük olması hesaplamada hatayı ya da karar vericinin karşılaştırmada tutarsızlığını gösterir. CR değeri 0,1'in altında ise W vektörü, kriterlerin önem derecelerini göstermektedir.

AHP metodu ile elde edilen W vektörü, karar vericiden ağırlık vektörü talep eden yöntemlerde kullanılabilir. Çok kriterli karar verme yöntemlerinden olan VIKOR, Electre, Topsis, Promethee gibi metotlar karar vericiden ağırlık vektörü isteyen metotlardır ve karar vericinin ağırlık vektörü oluşturmasında, AHP metodunda olduğu gibi (Önem Skalası) bir

rehber sağlamazlar. Bu metotlar kullanılırken AHP, ağırlık vektörünün oluşturulmasında rehber işlevi görebilir.

**Tablo 2: RI Değerleri**

N	RI	N	RI
1	0	7	1,41
2	0	8	1,45
3	0,58	9	1,49
4	0,90	10	1,51
5	1,12	11	1,48
6	1,24	12	1,56

Zıt kriterlerin mevcut olduğu karar problemlerinde, maksimum grup faydası ve minimum bireysel pişmanlığı hedefleyerek bir uzlaşık çözüm kümesi sunmak üzere Serafim Opricovic ve Gwo-Hshiung Tzeng (2004) tarafından tasarlanan VIKOR yöntemi de karar vericiden ağırlık vektörü talep eden çok kriterli karar analiz metotlarından bir tanesidir. VIKOR (The ViseKriterjumska Optimizacija I Kompromisno Resenje) metodu kompleks sistemlerin optimizasyonu için geliştirilmiştir (Tzeng ve Huang; 2011:71). Nicel verilere uygulanabilen VIKOR metodu adımları aşağıdaki gibidir (Kuzu, 2014:117-132, Jahan ve Diğerleri; 2010:1215-1221).

Adım 1: Satırlar alternatifleri (m), sütunlar kriterleri (n) göstermek üzere karar matrisi oluşturulur.

$$\text{Karar Matrisi} = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix}$$

Adım 2: En iyi ve en kötü kriter değerleri belirlenir. Kriter fayda özelliğine sahip ise en iyi kriter  $f_j^* = \max_i x_{ij}$ , en kötü kriter  $f_j^- = \min_i x_{ij}$ 'dir. Kriter maliyet özelliğine sahip ise en iyi kriter  $f_j^* = \min_i x_{ij}$ , en kötü kriter  $f_j^- = \max_i x_{ij}$ 'dir.

Adım 3: mxn boyutlu C normalizasyon matrisi elemanları  $c_{ij} = (f_i^* - x_{ij}) / (f_j^* - f_i^-)$  formülasyonu ile hesaplanır.

Adım 4:  $w_j$  karar vericiden alınan ağırlık değerlerini göstermek üzere  $v_{ij} = c_{ij} * w_j$  eşitiliğinden V matrisi oluşturulur.

Adım 5: i. alternatif için ortalama skor  $S_i = \sum_{j=1}^n v_{ij}$  ve en kötü grup skoru  $R_i = \max_j v_{ij}$  hesaplanır.

Adım 6:  $S^* = \min_i S_i$ ,  $S^- = \max_i S_i$ ,  $R^* = \min_i R_i$  ve  $R^- = \max_i R_i$  değerleri  $Q_i$  değerlerini hesaplayabilmek için belirlenir. q parametresi maksimum grup faydasını göstermek üzere  $q > 0,5$  çoğunluk oyunu,  $q = 0,5$  konsensusu ve  $q < 0,5$  vetoyu temsil etmektedir. (1-q) değeri ise bireysel pişmanlık parametresidir. Bu bilgiler ışığında  $S^*$ ,  $S^-$ ,  $R^*$ ,  $R^-$



değerleri kullanılarak  $Q_i = [q * (S_i - S^*) / (S^- - S^*)] + [(1 - q) * (R_i - R^*) / (R^- - R^*)]$  formülasyonu ile  $Q_i$  değerleri hesaplanır.

Adım 7: Koşulların kontrolü yapılır.

- Kabul Edilebilir Avantaj Koşulu (Koşul 1):  $DQ = 1/m - 1$  ve  $Q(A^1) - Q(A^2) \geq DQ$  olmak üzere ilk sırada yer alan  $A^1$  alternatifi ve ikinci sırada yer alan  $A^2$  alternatifi “Kabul edilebilir avantaj” kümesini oluşturur.
- Kabul Edilebilir İstikrar Koşulu (Koşul 2):  $Q_i$  değerleri en küçükten en büyüğe doğru sıralandığında,  $A^1$  alternatifi,  $S_i$  ve/veya  $R_i$  değerlerine göre de yapılan sıralamada minimum değere sahip en iyi alternatif ise karar verme istikrarlıdır.
- Yukarıdaki koşullar sağlanmıyor ise en iyi alternatif minimum  $Q_i$  değerine sahip olan alternatiftir (Koşul 3)

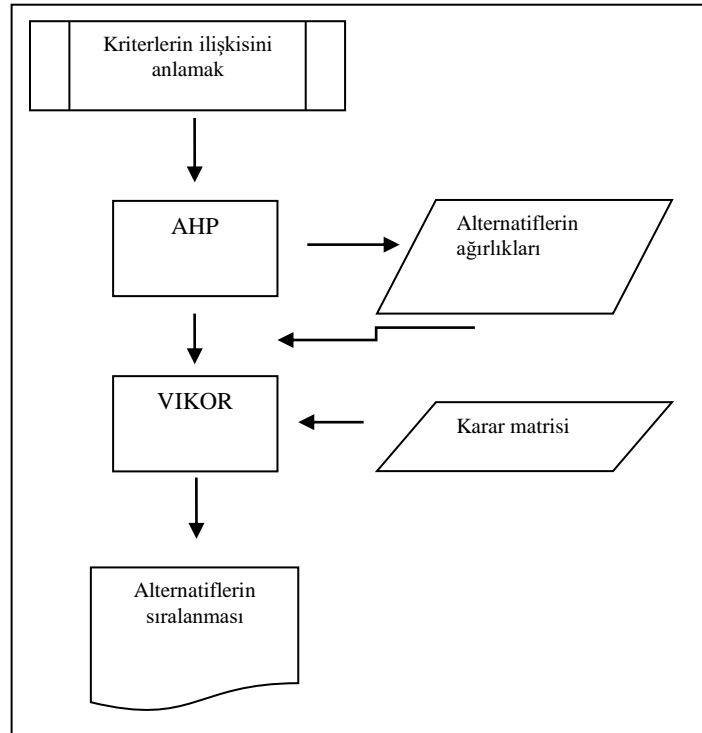
“AHP” ve “VIKOR” anahtar kelimeleri ile sınırlandırılan literatür araştırmasında genellikle “bulanık AHP” ve VIKOR entegrasyonuna ait çalışmalara rastlanmış olsa bile AHP-VIKOR entegrasyonu ile yapılan çalışmalardan bazılarında ulaşılmıştır.

Zhu ve Diğerleri (2015) tarafından yapılan AHP-VIKOR entegrasyonu ile belirsizliğin yoğun olduğu ve tamamen uzman görüşüne dayalı, “ürün tasarımı”nın ilk aşamalarından olan “tasarım konseptini belirleme” adımına uygulamışlardır. Jagadish ve Ray (2014), daha sürdürülebilir bir üretim için, kesme sıvısı seçme işleminde, Büyüközkan ve Görener (2015) ise ürün geliştirme ortağı değerlendirmesinde AHP-VIKOR entegrasyonunu kullanmışlardır. Moghaddam ve Diğerleri (2011) tesis yeri seçiminde entegre metodu tercih etmişlerdir. Dokuz Eylül Üniversitesi’nin üye olduğu veritabanları üzerinde AHP-VIKOR entegrasyonunun yatırım projelerinin seçme/sıralama işlemine uygulandığı bir çalışmaya ulaşılamamıştır.

AHP ve VIKOR metodlarının entegrasyonu için Jagadish ve Ray (2014:455) aşağıdaki adımları önermiştir:

- Tüm amaçlar, kriterler, alt kriterler ve farklı alternatifler tanımlanır ve ikili karşılaştırma matrisi hazırlanır.
- Normalize matris (C) oluşturulur.
- AHP’den elde edilen, öncelik vektörünü (W) oluşturan  $w_j$ ’ler, dikkate alınan kriter için, ağırlık olarak VIKOR yönteminde kullanılır.
- Her kriter için, en iyi ( $f_i^*$ ) ve en kötü ( $f_i^-$ ) değerleri tanımlanır.
- $S_i$ ,  $R_i$  ve  $Q_i$  değerleri hesaplanır.
- değeri hesaplanır.
- $Q_i$  değerleri artan sırayla düzenlenir. En küçük  $Q_i$  değeri en iyi alternatife karşılık gelir.

Özetle, CR değeri 0,1’in altında hesaplanan AHP metodunun öncelik vektörü (W), VIKOR metodunun ağırlık vektörü olarak işleme alınarak AHP-VIKOR entegrasyonu gerçekleştirilebilir.



**Şekil 2: AHP-VIKOR Entegrasyonu İşlemleri**

**Kaynak:** Khezrian, M., Kadir, W. M. N. W., Ibrahim, S. ve Kalantari, A. (2012). "A Hybrid Approach for Web Service Selection". *International Journal Of Computational Engineering Research*. 2(1):190-198

### 3. MATEMATİKSEL MODELİN KARAR DESTEK ARAYÜZÜ OLARAK UYGULANMASI

Karar Destek Sistemleri diğer bilgi sistemleri ile birlikte, daha büyük bir bütün içinde yer alan bir bilgisayara dayalı bilgi sistemidir. Diğer tüm bilgi sistemleri gibi veriyi çeşitli analizler ile dönüşüme uğratarak, çeşitli raporlama tekniklerine tabi tutulan bir çıktı olarak kullanıcıya sunmaktadır.

Bilgisayara dayalı bilgi sistemlerinin organizasyonlarda kullanılması ile etkin ve verimli bilgi akışının, karar almada, rasyonel bir zemin hazırlanması sonucunda, organizasyonlar hızlı ve esnek bir hal almışlardır. Karar almadaki hız ve doğruluk rekabet savaşında stratejik bir rol oynar.

İş dünyasında rekabet kavramının değişimi, varlıklarını sürdürmek ve rekabet üstünlüğü kazanmak isteyen işletmeleri bilgi yönetimi disiplini ile ilgilenmeye zorlarken, ekonomik faaliyetlerde ağırlığı bilgi odaklı işlemlerin almaya başlamasıyla iş gücünün yapısında da değişime neden olmuştur. Bu değişim süreci bilgi işçileri denilen yeni bir sınıfa doğurmuştur (Özer ve Diğerleri; 2004:255).

Bilgi işçileri, organizasyon içinde yarı yapısal ve yapısal olmayan kararların alındığı, orta ve üst kademe çalışanları kapsayan bir sınıftır. Bu kararlar doğası gereği belirsizliğin yoğun olduğu ortamlarda alınır. Belirsizlik ortamında bilgi işçilerinin karar alabilmesi için başvurduğu uygulamalar karar destek uygulamaları olarak adlandırılabilir.

Karar vermede zaman ve çabayı azaltmak için, bilgi işçileri çeşitli türlerde karar destek uygulamaları kullanılır. Bu uygulamalardan biri olan Karar Destek Sistemleri (KDS), bir probleme uygulanabilecek birçok alternatif çözümden birini seçmek için bilgi işçileri yardım edecek şekilde tasarlanan bilgisayar tabanlı bilgi sistemleridir (Oz; 2009:345).

### **3.1. Uygulamanın Amacı**

Ankara ve İngiltere’de ofisleri bulunan, 2006 yılında SMMM Ramazan Alkan tarafından İzmir’de kurulan Pareto Denetim, Türkiye’de faaliyet gösteren ulusal ve uluslararası firmalara profesyonel olarak vergi, muhasebe, denetim ve danışmanlık hizmetleri sunmaktadır (<http://www.paretodenetim.com/tr/kurumsal.html>).

Danışmanlık hizmetlerinden biri yatırım projelerinin değerlendirilmesi ve danışanlarına projeler ile ilgili ticari karlılık analiz raporu hazırlamaktır. Ticari karlılık analizlerinden olan SKO, YKO, GÖS, NBD, IKO VE F/M analizlerinin sonuçlarının tablo olarak sunulduğu rapor, birbirine alternatif olan yatırım projelerinden birinin seçiminde kullanılmaktadır.

Raporda her bir analizin sonucunda projelerin 6 farklı sıralaması elde edilmektedir ve uygulanacak proje karar vericilerin sübjektif görüşleri ile seçilmektedir. Bu analizlerden elde edilen sıralama sonuçlarında her zaman tek bir proje ilk sırada yer almayabilir. Projelerden biri NBD, IKO ve GÖS analizlerinde en avantajlı iken diğer analizlerde sıralamanın sonunda yer alabilir.

Aralarında seçim yapılacak proje sayısı arttıkça karar verme daha da zorlaşmaktadır. Birbirine alternatif olan projelerden, ticari karlılık analizlerinden elde edilen sonuçlar kullanılarak, işletmenin hedeflerine uygun, optimal bir sıralama elde edilmesi bu çalışmanın amacını oluşturmaktadır.

Karar destek sistemini önerisi olarak hazırlanan karar destek arayüzü hazırlanırken programlama dili olarak Python 2.7, geliştirme ortamı olarak IDLE Python GUI ve kullanıcı arayüz tasarımı nesnelerini sağlayan PyQt4 kütüphanesi kullanılmıştır. Python programlama dili özellikle matematiksel modellerin kodlanmasında oldukça sade bir kullanım sunmakla birlikte, ücretsiz geliştirme ortamları ve kütüphanelere sahip, yüksek seviyeli bir programlama dilidir.

### **3.2. Uygulama Verileri ve Karar Destek Arayüzünün Sunduğu Tablolar**

Uygulamada, 2010 yılında Pareto tarafından danışmanlık hizmeti verdiği bir firma için hazırlanan 8 farklı proje için sunduğu sıralama raporunun sonuçları veri seti olarak

kullanılmıştır. Karar destek arayüzünün arka planında işleyen matematiksel model olarak AHP-VIKOR entegrasyonundan faydalanılmıştır.

Pareto çalışanları tarafından, danışanları için hazırlanan ticari karlılık analiz sonuç tablosu (Tablo 3), aynı zamanda önerilen matematiksel modeli arka işleten karar destek arayüzü verilerini oluşturmaktadır. NBD değerleri Türk Lirası cinsinden, GÖS ise ay olarak ifade edilmektedir.

**Tablo 3: Ticari Karlılık Analiz Sonuç Tablosu**

Projeler	YKO	SKO	İKO	NBD	GÖS	F/M
<b>PROJE 1</b>	2,72	1,83	0,91	61.308,75	32,43	1,381
<b>PROJE 2</b>	0,51	0,38	0,18	889.621,49	6,1	0,73
<b>PROJE 3</b>	0,586	1,464	0,728	45.981,56	4	0,898
<b>PROJE 4</b>	0,674	1,372	0,773	34.486,17	12	0,828
<b>PROJE 5</b>	2,312	1,683	0,889	306.543,74	8,1	1,105
<b>PROJE 6</b>	2,284	0,608	0,864	756.178,27	7,2	1,174
<b>PROJE 7</b>	2,627	0,638	0,764	622.735,04	11	0,788
<b>PROJE 8</b>	1,348	1,14	0,72	711.697,19	7,6	1,243

Ticari karlılık analizleri ile hazırlanan sonuç tablosundaki verilere göre her bir analiz için sıralama yapıldığında projelerin sıralarının analizlere göre farklılık gösterdiği Analizlere Göre Sıralama Tablosu'nda ( Tablo 4) görülebilir.

**Tablo 4: Analizlere Göre Sıralama Tablosu**

Projeler	YKO	SKO	İKO	NBD	GÖS	F/M
<b>PROJE 1</b>	1	1	1	6	8	1
<b>PROJE 2</b>	8	8	8	1	2	8
<b>PROJE 3</b>	7	3	6	7	1	5
<b>PROJE 4</b>	6	4	4	8	7	6
<b>PROJE 5</b>	3	2	2	5	5	4
<b>PROJE 6</b>	4	7	3	2	3	3
<b>PROJE 7</b>	2	6	5	4	6	7
<b>PROJE 8</b>	5	5	7	3	4	2

Tablo 4 incelendiğinde karlılık Proje 1 YKO, SKO, İKO ve F/M analizlerine göre avantajlı olan proje iken NBD ve GÖS analizlerine göre sıralama skoru oldukça düşüktür. Optimal bir sıralama elde edebilmek amacı ile firmanın projeyi gerçekleştirme hedefi ve mali durumu yöneticiler tarafından değerlendirilmiş hangi karlılık analizin kararı daha çok etkileyeceği konusunda görüşleri alınmıştır. İlk olarak karar vericilerin görüşlerinin analize dahil edilebilmesi için AHP ikili karşılaştırma matrisinin oluşturulması gerekmektedir. AHP ikili karşılaştırmalarının değerleri Tablo 5'de verilmektedir.

**Tablo 5: AHP ikili karşılaştırma matrisi**

	YKO	SKO	İKO	GÖS	NBD	F/M
YKO	1	1/2	1/7	1/5	1/3	1/3
SKO	2	1	1/5	1/3	1/2	1/2
İKO	7	5	1	2	5	5
GÖS	5	3	1/2	1	4	4
NBD	3	2	1/5	1/4	1	1
F/M	3	2	1/5	1/4	1	1

Karar destek arayüzü tarafından AHP tutarlılık oranı 0,064902 olarak hesaplanmış ve sonuç 0,1'den küçük olduğu için program akışına devam etmiştir. Önerilen model tabanlı KDS için oluşturulan karar destek arayüzüne girilen veriler sonucunda PROJE 6 karar vericiler için avantaj çözüm olarak elde edilmiştir. Karar destek arayüzünün sunduğu tablolar Tablo 6, Tablo 7 ve Tablo 8'de verilmiştir.

**Tablo 6: Si, Ri ve Qi Değerleri**

	Si	Ri	q =0	q=0,25	q =0,5	q =0,75	q=1
PROJE 1	0,366	0,267	0,585	0,540	0,496	0,451	0,406
PROJE 2	0,650	0,415	1	1	1	1	1
PROJE 3	0,338	0,103	0,123	0,179	0,235	0,291	0,347
PROJE 4	0,402	0,101	0,118	0,209	0,300	0,391	0,482
PROJE 5	0,177	0,069	0,027	0,023	0,019	0,015	0,011
PROJE 6	0,172	0,059	0	0	0	0	0
PROJE 7	0,333	0,092	0,092	0,153	0,214	0,275	0,336
PROJE 8	0,244	0,108	0,135	0,139	0,143	0,147	0,151

Karar destek arayüzünün çıktısı olan Tablo 6 üzerinde  $Q_i$  değerleri açıkça sunulmakta ve karar alternatifleri arasındaki farkın boyutlarını göstermektedir.

**Tablo 7: Si, Ri ve Qi Değerleri Sıralaması**

	Si	Ri	q =0	q=0,25	q =0,5	q =0,75	q=1
PROJE 1	6	7	7	7	7	7	6
PROJE 2	8	8	8	8	8	8	8
PROJE 3	5	5	5	5	5	5	5
PROJE 4	7	4	4	6	6	6	7
PROJE 5	2	2	2	2	2	2	2
PROJE 6	1	1	1	1	1	1	1
PROJE 7	4	3	3	4	4	4	4
PROJE 8	3	6	6	3	3	3	3

Tablo 7 incelendiğinde karar destek arayüzünün maksimum grup faydasını temsil eden 5 farklı  $q$  değerini hesaplamaya dahil ederek, karar vericilerin değişik uzlaşma koşulları altında nasıl çıktı elde edeceklerini göstermektedir.

**Tablo 8: Koşulların kontrolü**

	$q=0$	$q=0,25$	$q=0,5$	$q=0,75$	$q=1$
<b>Q(A1)</b>	0	0	0	0	0
<b>Q(A2)</b>	0	0	0,01933	0,015386	0,011442
<b>Q(A2-A1)</b>	0	0	0,01933	0,015386	0,011442
<b>Q(AX-A1)</b>	1	1	1	1	1
<b>DQ</b>	0,142857	0,142857	0,142857	0,142857	0,142857
<b>KOŞUL 1:</b>	DOĞRU	DOĞRU	DOĞRU	DOĞRU	DOĞRU
<b>KOŞUL 2:</b>	DOĞRU	DOĞRU	DOĞRU	DOĞRU	DOĞRU
<b>KOŞUL 3:</b>	Qi sıralaması				

Tablo 8 ise karar vericilerin değişik uzlaşma şartları altında alacakları kararların VIKOR metodu koşullarını sağlayıp sağlamadığı karar destek arayüzü tarafından sunulmaktadır. Böylece alınan kararın VIKOR metoduna uygunluğu karar vericiler tarafından net olarak görülebilecektir.

#### 4.SONUÇ

Sıralama tablosu ve kontrol tablosuna göre karar vericilerin seçeceği bütün Q stratejilerinde PROJE 6 “kabul edilebilir avantaj”, Proje 5 kabul edilebilir istikrar koşullarını sağlar. PROJE 2 ise tüm Q stratejilerinde en son sırada yer almaktadır.

2010 yılında Pareto Danışmanlık tarafından hazırlanan ve yukarı adı geçen ticari karlılık analizlerini içeren raporun sonucunda, firma yöneticileri uygulama kararını PROJE 5’ten yana kullanmışlardır. Karar destek arayüzü sonuçlarına göre PROJE 5 uzlaşma çözüm kümesi içinde kabul edilebilir istikrar koşulunu sağlayarak, sıralamada en iyi ikinci projeyi yansıtır ve çözüm kümesi içindedir. PROJE 6 ise kabul edilebilir avantaj koşulunu sağlayarak sıralamada en iyi birinci projeyi yansıtmaktadır.

Hazırlanan karar destek arayüzü AHP-VIKOR entegrasyonunu sorunsuz olarak çalıştırabilmektedir. Arayüz, sunduğu uzlaşma çözüm kümesi ile karar vericiler için farklı ticari karlılık analizi sıralama skorlarına sahip projeler arasından seçim yapmaya destek olabilecek raporların üretilmesinde kullanılabilir.

Pareto Danışmanlık tarafından sunulan proje değerlendirme raporuna ek bilgi sağlayabilecek ve yatırım projeleri gibi önemli kararlara çözüm önerisi sunabilecek bu arayüz, temelinde “çok kriterli bir karar” metodları olan AHP ve VIKOR’un entegrasyonunu barındırmaktadır.

Projelerin yatırım tutarları ve net akış değerleri gibi veriler firma tarafından gizli tutulduğu için karar destek arayüzü sadece AHP-VIKOR entegrasyonunu çalıştıracak şekilde tasarlanmıştır. Bu karar destek arayüzü, ticari karlılık analizlerini de hesaplayacak ve önerilen matematiksel modele verilerini hazırlayacak şekilde geliştirilebilir ve karar vericilere rasyonel karar alma odağında destek olabilecek bir Model Tabanlı KDS olarak kullanılabilir.

## KAYNAKÇA

- Baraçlı, H. ve İme, M. (2013). “*Kurumsal İşletmelerde Finansal Yönetim*”. İstanbul, Alfa Basım Yayım Dağıtım
- Büyüközkan, G. ve Görener, A. (2015). “Evaluation Of Product Development Partners Using An Integrated AHP-VIKOR Model”. *Kybernetes*. 44(2):220-237
- Demirbugan, M. A. (2007). “Madencilik Yatırım Projelerinin Gelir Etkisi Açısından Değerlendirilmesi”. *Madencilik Dergisi* 46(2):27-34
- Dündar, S ve Ecer, F. (2008). “Öğrencilerin GSM Operatörü Tercihinin Analitik Hiyerarşı Süreci Yöntemiyle Belirlenmesi”. *Yönetim ve Ekonomi*. 15(1):195-205
- Emiroğlu, A. (2002). “*Ticari Açıdan Yatırım Projeleri*”. Bursa, Ekin Kitapevi
- Erkuş, A., Eliçin, A., Özçelik, A., Turan, A., Tanrıvermiş, H. ve Gündoğmuş, E. (1996). “*Tekirdağ İli Tarım İşletmelerinde İthal ve Kültür Melezi Süt Sığırıcılığı ile Üretim Yapan İşletmelerde Süt Sığırıcılığı Faaliyetlerinin Karşılaştırılmalı Ekonomik Analizi*”. Ankara, Ziraat Yüksek Mühendisleri Birliği ve Vakfı Yayınları No: 14. Aktaran: Turan, N. Yıldırım, İ. (2000). “Adilcevaz Aygır Gölü Yağmurlama-Sulama Projesi Kapsamında Faaliyette Bulunan Tarım İşletmelerinin Ekonomik Açıdan Değerlendirmesi”. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Bilimleri Dergisi (J. Agric, Sci.)*, 10(1):53-60 <http://www.paretodenetim.com/tr/kurumsal.html> (08.08.2015)
- Jackson, S. R. Sawyers, R. B. Jenkins, J. G. (2009). “*Managerial Accounting: A Focus On Ethical Decision Making*”. Kanada, Nelson Education Ltd.
- Jagadish, B. Ray, A. (2014). “Cutting Fluid Selection for Sustainable Design for Manufacturing: An Integrated Theory”. *Procedia Materials Science*. 6: 450 – 459
- Jahan, A., Mustapha, F., Ismail, M. Y., Sapuan, S. M., Bahraminasab, M. (2011). “A comprehensive VIKOR method for material selection”. *Materials & Design*, 32(3):1215-1221.

- Khezrian, M., Kadir, W. M. N. W., Ibrahim, S. ve Kalantari, A. (2012). "A Hybrid Approach for Web Service Selection". *International Journal Of Computational Engineering Research*. 2(1):190-198
- Kuruüzüm, A. Atsan, N. (2001). "Analitik Hiyerarşi Yöntemi Ve İşletmecilik Alanındaki Uygulamaları". *Akdeniz İ.İ.B.F. Dergisi* 1: 83-105
- Kuzu, S. (2014). "VIKOR" "Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri" (ss. 117-132) Editörler: Yıldırım, B. F., Önder E. Bursa, Dora Yayıncılık
- Moghaddam, R. T. Mousavi, S. M. Heydar, M. (2011). "An Integrated AHP-VIKOR Methodology For Plant Location Selection". *IJE Transactions B: Applications*, 24(2):127-137
- Okka, O. (2011). "İşletme Finansmanı". Ankara, Nobel Yayın Dağıtım
- Önder, G., Önder, E. (2014). "Analitik Hiyerarşi Süreci" "Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri" (ss. 21-64) Editörler: Yıldırım, B. F., Önder E. Bursa, Dora Yayıncılık
- Öney, E. (1980). "İktisadi Planlama". Ankara, Ankara Üniversitesi Siyasal Bilgiler Fakültesi Yayınları
- Opricovic, S. TzengG. H. (2004). "Compromise Solution by MCDM Methods: A Comparative Analysis of VIKOR and TOPSIS". *European Journal of Operational Research*. 156: 445-455
- Oz, E. (2009). "Management Information Systems". USA, Cengage Learning
- Özer, P. S. Özmen, Ö. Saatçioğlu, Ö. (2004). "Bilgi Yönetiminin Etkinliğinde Kilit Bir Faktör Olarak Bilgi İşçileri ve İnsan Kaynakları Yönetiminin Farklılaşan Özellikleri". *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*. 6(1):254-275
- Şahin, H. (2006). "Makro İktisat". Bursa, Ezgi Kitapevi Yayınları
- Şenel, S. A. (2007). "Turizm Sektöründe Yatırım Kararları". *Selçuk Üniversitesi Karaman İ.İ.B.F Dergisi* 12:1-12
- Tekbaş, M. Ş., Köse, A., Sarıkovanlık, V., Sarıoğlu, S. E., Baş, N. K. ve Özdemir, A. K.(2014). "Temel Finans Matematiği ve Değerleme Yöntemleri". Sermaye Piyasası Lisanslama ve Eğitim Kuruluşu
- Türker, M.F. (2000). "Orman İşletmeciliği Ders Notu". KTÜ Orman Fakültesi Ders Notları Yayın No: 59, Trabzon. Aktaran: Korkmaz, M. (2001). "Orman Kaynaklarında Doğa Turizmi Etkinliklerinin Ekonomik Çözümlenmeleri". *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*A(2): 111-134



Tzeng, G. H., Huang, J. J. (2011). “*Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*”. USA, CRC Press

Yaralıoğlu, K. (2010). *Karar Verme Yöntemleri*, Ankara, Detay Yayıncılık

Zhu, G. N. Hu, J. Gu, C. C. Peng, Y. H. (2015). “An Integrated AHP and VIKOR for Design Concept Evaluation Based on Rough Number”. *Advanced Engineering Informatics*. 29: 408–418