

T.C
ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

TÜRKİYE’DE KURULMASI PLANLANAN NÜKLEER SANTRALLER İÇİN
KURULUŞ YERİ SEÇİMİ

ASLI ÖZMEN

HAZİRAN-2007

T.C
ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI

TÜRKİYE’DE KURULMASI PLANLANAN NÜKLEER SANTRALLER İÇİN
KURULUŞ YERİ SEÇİMİ

Yüksek Lisans Tezi

Hazırlayan
Ash ÖZMEN

Danışman
Doç. Dr. İsmail EROL

Ortak Danışman
Doç. Dr. Nigar ÇAKAR

BOLU-2007

SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ'NE,

Aslı ÖZMEN'E ait, "Türkiye'de Kurulması Planlanan Nükleer Santraller İçin Kuruluş Yeri Seçimi" adlı çalışma jürimiz tarafından İşletme Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Üye (Tez Danışmanı) : Doç. Dr. İsmail EROL

Üye : Doç. Dr. Ramazan SARI

Üye : Yrd. Doç. Dr. Mehmet ERYİĞİT

Prof. Dr. Uğur ESER
Sosyal Bilimler Enstitüsü Müdürü

ÖZET**TÜRKİYE’DE KURULMASI PLANLANAN NÜKLEER SANTRALLER İÇİN
KURULUŞ YERİ SEÇİMİ****Ash ÖZMEN****Yüksek Lisans Tezi****İşletme Anabilim Dalı****Tez Danışmanı: Doç. Dr. İsmail EROL****Ortak Danışman: Nigar D. ÇAKAR****Haziran, 2007, 85 Sayfa**

Bu araştırmanın amacı; çok sayıda kriter dikkate alınarak ve birden fazla alternatif arasından tercih yapmayı gerektiren, bir karar verme problemi olan nükleer santral kuruluş yeri seçimi için bir uygulama metodu geliştirmektir. Yer seçimi uzun, riskli, birçok kriter ve alternatifi içeren zorlu bir karardır. Bu nedenle gerekli olan kriterlerin belirlenmesi ve amaca uygun olarak sınıflandırılması önem taşımaktadır. Kriterlerin belirlenmesinden sonraki ikinci güçlük bu kriterler dikkate alınarak seçilecek alternatiflerin belirlenmesidir. Alternatif ve kriterlerin belirlenmesinden sonra ÇKKV (Çok Kriterli Karar Verme) teknikleri kullanılarak uygun alternatiflerin seçim süreci tamamlanır.

Bu tez çalışmasında, nükleer santral kuruluş yeri seçimi probleminde ÇKKV yöntemlerinden Entropi ve Topsis (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) İdeal Çözüme Yakınlığına Göre Sıralama Yapma Yöntemi’nin kullanımı sergilenmiştir. Buna ek olarak araştırma kapsamında günümüzde ileri teknolojinin kullanıldığı nükleer santral gereksinimi, ülkemizde sanayileşme sürecinde enerjiye olan ihtiyaç talebi göz önüne alınarak kısaca değerlendirilecektir.

Araştırmanın verileri 1987 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi’ne bağlı Nükleer Araştırma Enstitüsü’nde hazırlanan doçentlik tezinden temin edilmiştir.

Araştırma kapsamındaki verileri temin etmek amacıyla Türkiye Atom Enerjisi Kurumu'na başvurulmuş fakat verilerin gizlilik prensibi taşıdığı gerekçesiyle olumsuz yanıt alınmıştır. Araştırma nükleer enerjinin yenilenebilir nitelikte olmaması, enerji üretimi sonucunda ortaya çıkan atıkların çok tehlikeli olması ve bu atıkların bertarafı için ileri teknoloji gereksinimi yanı sıra tüm canlılar için geri dönüşü olmayan riskleri de içermesi sebebiyle yaygın olarak tartışılmamaktadır.

Bu tez çalışmasında, kriterlerin önem derecelerinin belirlenmesi ve alternatiflerin ağırlıklarının hesaplanmasında sırasıyla Entropi ve Topsis yöntemleri kullanılmıştır.

Araştırma sonucunda, nükleer santral yer seçimi için belirlenen alternatiflerden Poliçe öncelikli bölge olarak tespit edilmiş; Çilingos, Kefken ve İnceburun yöreleri ise ikinci, üçüncü ve dördüncü sırayı almışlardır.

Nükleer santral yer seçimi problemi risk düzeyi en düşük bölgeyi belirlemeyi amaçlayan ve son derece kritik aşamalardan oluşan bir problemdir. Bu nedenle benzer problemlerin çözümünde bilimsel yöntemlerin kullanılması üzerinde hassasiyetle durulması gerekmektedir.

Bu çalışmanın temel katkısı ülkemizde yeterince üzerinde durulmayan nükleer santral yer seçimi probleminde karar kalitesini artıracak ÇKKV yöntemlerinden Entropi ve Topsis'in bütünleşik olarak kullanılmasıdır. Entropi ve Topsis yöntemleri, sahip oldukları özellikler nedeniyle bu ve benzer karar problemlerinin çözümünde karar vericiler için önemli bir fayda sağlamaktadır.

Tez çalışmamızın son bölümünde ise yeni araştırma fırsatları ortaya konularak konuyla ilgili çalışma yürüten bilim insanlarına önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Nükleer Enerji, Nükleer Santraller, Yer Seçimi, Topsis, Entropi, Çok Kriterli Karar Verme

ABSTRACT**NUCLEAR REACTOR SITE SELECTION PROBLEM FOR TURKEY****Ash ÖZMEN****Master Thesis****Department of Business Administration****Adviser: Associate Prof. İsmail EROL****Co-Adviser: Associate Prof. Nigar D. ÇAKAR****June, 2007, 85 Pages**

The goal of this research is to solve nuclear reactor site selection problem that have a set of criteria and alternatives. The site selection is a decision that includes lots of criteria and alternatives, is difficult takes long periods and risky. We use various criteria to evaluate alternatives thus it is important for site selection process criteria's classification and determination to suitable preferences. After determination of criteria the second difficulty is determination of alternatives. After determination both criteria and alternatives, we made a framework for decision making and multi criteria models are used to selection process of alternatives.

In this research we consider using integrated form of Topsis (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) and Entropi methods for nuclear reactor site selection methodology. Also in this research beside the methodology it is briefly evaluated using nuclear energy needs for Turkey in the process of industrialization at the present day as an example of advanced technology.

This study's datasets are got from associate professorship thesis studied in Istanbul Technical University's Nuclear Energy Institute in 1987. The present datasets could not be reached. An application was made in order to request them from Turkey Atomic Energy Authority by way of a petition but because of privacy

our request was refused. Research could not trash out commonly because it needs advanced technology, it is not renewable energy and nuclear energy wastes are hazardous materials for live things and humans nature.

In this research criterion's weight determined with Entropi method and ranked with Topsis method.

It was concluded that the most suitable areas were in order of their suitable; Poliçe, Çilingos, Kefken and İnceburun.

This research's substantial contribution is using integrated model which composes Topsis and Entropi in nuclear reactor site selection problem which is not point out importantly in our country. Entropi and Topsis methods are now finding wider and wider application in a broad range of decision making problems.

And the result part of the study gives some information about new research opportunity and overture proposal to researchers.

Keywords: Nuclear Energy, Nuclear Reactors, Site Selection, Topsis, Entropi, Multi Criteria Decision Making

Sevgili anneannem ve dedeme,

TEŞEKKÜR

Tez süresi boyunca benimle fikirlerini paylaşan, çalışmalarımda bana destek olan sayın tez danışmanlarım, değerli hocalarım başta İsmail EROL olmak üzere Nigar D. ÇAKAR ve tüm işletme bölümü hocalarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iii
ABSTRACT	v
İTHAF	vii
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	xii
TABLolar LİSTESİ.....	xiv
 I. BÖLÜM	
GİRİŞ.....	1
 II. BÖLÜM	
NÜKLEER ENERJİ, GENEL KAVRAMLAR TÜRKİYE’DEKİ VE DÜNYA’DAKİ MEVCUT DURUM.....	3
2.1 Nükleer Enerjinin Kısa Tarihçesi.....	3
2.2 Nükleer Enerji İle İlgili Tanımlar.....	4
2.3 Nükleer Santral Kuruluş Yeri Seçimi İle İlgili Önceden Yapılmış Çalışmalar.....	5
2.4 Yasal Mevzuat.....	7
 III. BÖLÜM	
NÜKLEER SANTRAL YER SEÇİM PROBLEMİ.....	8
3.1 Nükleer Santral Yer Seçim Probleminin Önemi.....	8
3.2 Nükleer Santral Yer Seçim Kriterleri.....	9
 IV. BÖLÜM	
ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME PROBLEMLERİ VE BU PROBLEMLERİN ÇÖZÜMÜNDE KULLANILAN YÖNTEMLER.....	20
4.1 ÇKKV Problemlerinin Genel Özellikleri.....	20
4.2 ÇKKV Yöntemlerinin Sınıflandırılması.....	24
4.3 Entropi.....	29

4.4 Topsis.....	30
BÖLÜM V	
METODOLOJİ.....	37
5.1 Yer Seçimi Probleminin Tanımlanması.....	37
5.2 Yer Seçimi Problemine İlişkin Verilerin Elde Edilmesi.....	38
5.3 Problemin Modellenmesi.....	38
BÖLÜM VI	
UYGULAMA VE SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	46
6.1 Problemin Tanımlanması.....	46
6.2 Probleme İlişkin Verilerin Toplanması.....	46
6.3 Matematiksel Modelin Formüle Edilmesi.....	53
6.4 Modelin Çözümü.....	55
6.5 Modelin Uygulanması ve Uygun Alternatifin Seçilmesi.....	55
BÖLÜM VII	
SONUÇ VE YENİ ARAŞTIRMA FIRSATLARI.....	62
KAYNAKÇA.....	63
EKLER.....	69
Ek-1: Atom Enerjisi Kurumundan Cevaben Alınan Dilekçe.....	69
Ek-2: Özgeçmiş.....	70

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1: Yer Seçimi İçin Çalışma Planı.....	10
Şekil 2: Çok Kriterli Karar Modellerinin Genel Sınıflandırılması.....	27
Şekil 3: Çok Kriterli Karar Modellerinin Bulanık Mantık İçeren Sınıflaması.....	28
Şekil 4: Topsis Diyagramı.....	31
Şekil 5: Problemde İzlenen Karar Aşamaları.....	36
Şekil 6: Nükleer Santral Yer Seçimi Model Yapısı.....	39

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ÇKKV (Çok Kriterli Karar Verme)

ÇKKP (Çok Kriterli Karar Problemleri)

ÇBKP (Çok Bileşenli Karar Problemleri)

ÇAKP (Çok Amaçlı Karar Problemleri)

KV (Karar Verici)

AEC (Atomic Energy Commission)

TAEK (Türkiye Atom Enerjisi Kurumu)

MTA (Maden Teknik Arama)

NRC (Nuclear Regularity Commission)

TEK (Türkiye Elektrik Kurumu)

A_i = i alternatifi

K = Karşılaştırma Kriterlerinin Kümesi

i = Karşılaştırılan Yer Alternatifleri

j = Karşılaştırma Kriterleri

A = Alternatiflerin Kümesi

x_{ij} = i alternatifinin j kriterine karşı aldığı değer

w_j = j kriterlerinin ağırlığı

W = Kriterlerin Kümesi

n = Kriterlerin Sayısı

m = Alternatiflerin Sayısı

r_{ij} = Topsis Metodunda Normalleştirilmiş Karar Matrisi Elemanlarını gösterir.

V_{ij} = Topsis Metodunda Ağırlıklandırılmış Karar Matrisi Elemanlarını gösterir.

NS_{ij} = Entropi Metodunda Normalleştirilmiş Karar Matrisi Elemanlarını gösterir.

E_j = Entropi Değerleri

d_j = Topsis Metodunda Kriterlerin Birbirlerine Göre Üstünlük Değerleri

A^* = Topsis Metodunda Pozitif İdeal Sonuçlar

A^- = Topsis Metodunda Negatif İdeal Sonuçlar

S^-_i = i Alternatifinin Negatif İdeal Çözümünden Uzaklığı

S^+_i = i Alternatifinin Pozitif İdeal Çözümünden Uzaklığı

C_i^* = Alternatiflerin Sıralama Değerleri

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1: Dört Bölge İçin Kriterlerle Karşılaştırma Kriterlerinin Durum Tablosu.....	19
Tablo 2: ÇKKV Problemlerinin Genel Gösterimi	23
Tablo 3: ÇAKP ve ÇKKP Arasındaki Farklar.....	25
Tablo 4: Tesis Yer Seçimi Karar Sürecinin Aşamaları.....	37
Tablo 5: Hwang ve Yoon Aralık Ölçeği.....	39
Tablo 6: Alternatif ve Kriterleri Gösteren Matris (Durum Tablosu).....	42
Tablo 7: Çalışmada Kullanılan Nüfus Durumu Verileri.....	47
Tablo 8: Çalışmada Kullanılan Deprem Verileri.....	48
Tablo 9: Çalışmada Kullanılan Coğrafi Veriler.....	49
Tablo 10: Çalışmada Kullanılan Meteorolojik Veriler.....	50
Tablo 11: Çalışmada Kullanılan Soğutma Suyu Özelliklerine İlişkin Veriler...50	
Tablo 12: Çalışmada Kullanılan Arazi Kullanım Özelliklerine İlişkin Veriler..51	
Tablo 13: Çalışmada Kullanılan Ekonomik Özelliklere İlişkin Veriler.....52	
Tablo 14: Sözel Verilerin Hwang ve Yoon Ölçeği ile Sayısal İfade Biçimine Dönüşümü ve Karar Matrisi.....	55
Tablo 15: Entropi Metodu İle Normalleştirilmiş Değerler.....	56
Tablo 16: Entropi Metodu E_j Değerleri.....	57
Tablo 17: Entropi Metodu d_j Değerleri.....	57
Tablo 18: Entropi Metodu w_j Değerleri (Kriter Ağırlıkları).....	58
Tablo 19: Topsis Metodu ile Verilerin Normalleştirilmiş Değerleri.....	59
Tablo 20 Topsis Metodu ile Ağırlıklandırılmış Normalleştirilmiş Değerler.....	59
Tablo 21: Topsis Metodu ile Belirlenen Pozitif İdeal Çözümünden Uzaklık Değerleri.....	60
Tablo 22: Topsis Metodu ile Belirlenen Negatif İdeal Çözümünden Uzaklık Değerleri.....	60

BÖLÜM I

GİRİŞ

Nükleer enerji, geri dönüşümü olmayan kalıntılar bırakması, insanlar üzerindeki olumsuz etkisi ve yüksek maliyetli bir yatırım özelliği taşıması nedeniyle önem derecesi yüksek bir karardır. Birden fazla alternatifin yine birden fazla kriterle değerlendirilmesi bu problemin zorluk derecesini artırmaktadır. Nükleer Santral yer seçimi problemi daha önce yapılan birkaç çalışmada ele alınmakla birlikte bu tez çalışmasında farklı bir yöntem izlenerek, teknik yazına katkıda bulunulmak istenmiştir.

Nükleer santral yer seçimi gibi birden fazla alternatif ve kriteri içeren problemler en uygun seçimin yapılmasını mümkün kılan bir dizi faaliyetten oluşmaktadır. Bu tür problemlerin çözümünde kullanılabilecek çok sayıda karar verme modeli bulunmakla birlikte bu modellerin en uygun olanını belirleme sürecinde problemin yapısını dikkate almak son derede önemlidir. Bu çalışmada Topsis ve Entropi yöntemlerinden oluşan bütünleşik bir model kullanılmış, sözel verilerle ifade edilen kriter ölçüleri Hwang ve Yoon'un¹ geliştirmiş olduğu ölçek ile sayısal veri haline dönüştürülmüştür.

Çalışmamız yedi ana bölümde sunulmuştur. Giriş bölümünden sonraki II. bölümde nükleer enerjinin üretilebilmesini sağlayan nükleer santraller ile ilgili temel kavramlar açıklanmış, daha önce yapılmış çalışmalar hakkında bilgi verilerek bu konudaki yasal mevzuat kısaca ortaya konulmuştur.

III. bölümde, nükleer santral yer seçimi probleminin önemi, yer seçimini etkileyen; nüfus, zelzele, coğrafi özellikler, arazi kullanımı, meteorolojik özellikler, ekonomik durum ve soğutma suyu olarak belirlenen yedi kriter ayrıntılarıyla anlatılmıştır.

¹ Ching-Lai Hwang - Kwangsun Yoon, *Multiple Attribute Decision Making: A state of the Art Survey*. New York: Springer-Verlag, 1981, s. 28

IV. bölümde çok kriterli karar problemleri, genel özellikleri ve bu problemlerin çözümünde kullanılan yöntemler ortaya konulmuştur.

V. bölümde bu çalışmada izlenen metodoloji açıklanarak Entropi ve Topsis tabanlı bütünleşik çok kriterli karar modeli sergilenmiştir.

VI. bölümde verilerin elde edilmesi, problemin modellenmesi, çözümü ve elde edilen sonuçların değerlendirilmesine ilişkin analizler sunulmuştur.

Son bölümde ise araştırma sonuçları ortaya konulmuş ve yeni araştırma fırsatları üzerinde durulmuştur.

BÖLÜM II

NÜKLEER ENERJİ, GENEL KAVRAMLAR, TÜRKİYE’DE VE DÜNYADA MEVCUT DURUM

2.1 Nükleer Enerjinin Kısa Tarihçesi

19.yy sonlarında radyoaktivite ve radyoaktif atomların keşfinden sonra bilim dünyasında bu keşfin radyasyonla ilgili süreçlerinin enerji kaynağı olarak kullanılıp kullanılamayacağı tartışma konusu olmuştur. 2 Aralık 1942 tarihinde, Chicago Üniversitesi’nde Enrico Fermi ve arkadaşlarının kurdukları uranyum düzeneğinde zincirleme tepkimeyi gerçekleştirip, enerjinin büyük miktarda, sürekli ve kontrollü bir şekilde ortaya çıkarılabileceğini göstermesiyle beraber “nükleer enerji” çağı başlamıştır.²

Kronolojik olarak nükleer enerji ile ilgili yaşanan gelişmelere aşağıda kısaca değinilmiştir.

- 1946 yılında ABD’de Manhattan Projesi altında nükleer çalışmalar askeri alanda yürütüldü. Sivil alanda çalışmaların yapılabilmesi için A.E.C (Atom Enerji Komisyonu) kuruldu.³
- 1951 yılında Arco’da ilk elektrik üreten reaktör açıldı.
- 1954 yılında Rusya’da (Obninsk’de) küçük bir nükleer santral çalıştırılmaya başlandı.
- 1955 yılında “Atom Enerjisinin Barışçıl Amaçlarla Kullanılması” amacıyla toplanan 1.Cenevre Konferansıyla Türkiye’de 1956 yılında Atom Enerji Komisyonu kuruldu.⁴
- 1962 yılında İstanbul’da Küçük Çekmece gölü kıyısında kurulan araştırma reaktörüyle araştırmalara Türkiye’de de başlandı.

²<http://www.ekimya.com/cekirdekkimyası/article.php>, (06.08.2005, saat 13: 23 itibariyle)

³<http://www.nrc.gov/about-nrc/emerg-preparedness/history.html>, (17.04.2007)

⁴<http://www.nukleer.web.tr>, (2007)

- 1970’li yılların başlarında nükleer santral sahası için fizibilite ve yer seçimi araştırmaları gerçekleştirildi. Bu çalışmalar kapsamında ortaya çıkan yer alternatifleri maliyet/fayda yaklaşımıyla değerlendirildi ve en uygun üç saha olarak Mersin-Akkuyu, Sinop-İnceburun ve Kırklareli-İğneada tespit edildi.

Günümüze gelindiğinde henüz faal durumda bulunan bir nükleer santral inşa edilemediğini görmekteyiz. Bu durumun meydana gelmesinde, teknolojik sebepler yanında 1986 yılında meydana gelen Çernobil nükleer santralindeki patlamanın ülkemizde de meydana getirdiği bir takım psikolojik ve sağlık sorunlarının ve o dönemde yaşanan ekonomik sıkıntıların da rolü olduğu bilinmektedir. Ülkemiz enerji politikalarında uzun yıllardan beri yer alması düşünülen nükleer santraller ile ilgili en son gerçekleştirilen yasa tasarılarıyla nükleer enerji konusu tekrar gündeme gelmiştir. Kasım-2006 tarihinde “Nükleer Güç Santrallerinin kurulması ve İşletilmesi ile Enerji Satışına İlişkin Kanun Tasarısı” Meclis’e sunulmuştur.⁵ Bu yasa 8 Mayıs 2007 tarihinde mecliste kabul edilmiş, ilk nükleer santralin Sinop’ta kurulacağı belirtilmiştir.

2.2 Nükleer Enerji ile İlgili Tanımlar

Bundan sonraki açıklamalarda sık kullanılacağı için bu bölümde nükleer enerji ile ilgili temel kavramlara yer verilecektir.

Nükleer Enerji; Atom çekirdeklerinin parçalanması sonucu ortaya çıkan enerjiye nükleer enerji veya çekirdek enerjisi adı verilir. Bu enerji fisyon ve füzyon tepkimeleri ile elde edilmektedir.⁶

Füzyon; Atom çekirdeğinde bulunan artı yüklerin birbirini itmesinden kaynaklanan kuvvetin yüksek sıcaklıkta sistemler ile yenilmesi sonucu ortaya çıkan tepkimedir. Hafif atom çekirdekleri ile sağlanır.⁷

Fisyon; Ağır atom çekirdeklerinin nötronlarla bombardımanı sonucunda ortaya çıkan enerji tepkimesine denir.⁸

⁵ http://www.fmo.org.tr/haberler/basindan_nukleer.htm, (28.05.2006)

⁶ http://www.taek.gov.tr/bilgi/bilgi_maddeler/nukleerenerji.html,

⁷ <http://www.taek.gov.tr>, a.g.b.

⁸ <http://www.taek.gov.tr>, a.g.b.

Nükleer Santral; Buharın ısı enerjisi türbininde mekanik enerjiye ve mekanik enerjinin de jeneratörlerde elektrik enerjisine dönüştürülmesini sağlayan mekanizmadır. Bu sistem atom çekirdeklerini parçalayarak enerji dönüşümünü sağlamaktadır.

Uranyum, Toryum: Nükleer enerjinin hammaddeleridir.

Kurum; Nükleer santrallerin yer seçimi ile ilgili kriterlerin belirlenmesinde yönetmeliklerin hazırlanmasında adı geçen kurum Atom Enerjisi Kurumudur.

2.3 Nükleer Santral Kuruluş Yeri Seçimi ile İlgili Önceden Yapılmış Çalışmalar

Türkiye’de nükleer enerji ile ilgili yer çalışmaları hükümetler tarafından yürütülen araştırmalar ve akademik çalışmalar olarak 2 grupta incelemek mümkündür. Akademik çalışmalar arasında, Bayülken’in 1976 yılında “Türkiye’nin Uzun Vadeli Güç Politikasının Tespitinde Çok Kriterli Seçim Metodlarının Kullanılması”⁹, 1982 yılında “Nükleer Santrallerin Güvenlikli Yer Seçimine Çok Kriterli Seçim Yöntemlerinin Katkısı”¹⁰, Boyacı’nın 1994 yılında yapmış olduğu Bulanık Karar Verme için Bir Bilgisayar Uygulaması (Nükleer Santral Yer Seçimi)¹¹ çalışmaları sayılabilir.

Bayülken (1976), çalışmasında 1973 yılında meydana gelen petrol krizinden sonra her yerde kullanılan elektrik enerjisini petrole bağımlı kalmadan nasıl ve ne biçim de elde edebiliriz sorusunun cevabını araştırmıştır. Devamlı olarak artan elektrik enerjisi ihtiyacını karşılamak için Türkiye’nin nükleer enerji gereksinmesine dikkati çekmiş ve nükleer reaktör tiplerini inceleyerek Türkiye’ye uygun reaktör tipini belirlemiştir. Sekiz çeşit reaktörü 14 kritere göre değerlendirmiştir. En iyi alternatifi seçim konusunda ÇKKV yöntemlerinden ağırlıklı ortalama metodu,

⁹ **Ahmet R., Bayülken,** “Türkiye’nin Uzun Vadeli Güç Politikasının Tespitinde Çok Kriterli Seçim Metodlarının Kullanılması”, İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Bülten No.29, 1976

*Bu çalışma yazarın Sorbonne-Panthéon Üniversitesinde yapmış olduğu doktora tezi esas alınarak hazırlanmıştır.

¹⁰ **Ahmet R. Bayülken,** *Nükleer Santrallerin Güvenlikli Yer Seçimine Çok Kriterli Seçim Yöntemlerinin Katkısı*, İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Nükleer Enerji Enstitüsü, 1982

¹¹ **Hakan Boyacı,** *Computer Implementation of Fuzzy Decision Making With an Application to Nuclear Power Plant Site Selection*, İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, 1994

mukayeseli sıra düşürme metodu ve Electre metotlarını incelemiş, en iyi çözüm Electre metodu ile belirlenmiştir.

Bayülken (1982) çalışmasında çok kriterli seçim yöntemlerini tek kriter yöntemleri, tek sıralama yöntemleri, ön varsayımlı yöntemler olarak 3 grupta incelemiştir. Bu ana başlıklar altında incelediği 8 yöntemle nükleer santral kuruluş yeri seçimi için 4 alternatif arasından seçim yapmaya çalışmış, kullanılan yöntemler için kullanışlı-kullanışsız olduğu durumlara göre değerlendirme yapmıştır. İncelenen yöntemler, ağırlıklı ortalama, ihtimalli ortalama, ağırlıklı sıralama, demokratik yöntem, ardışık permütasyonlar, ortalama sapmalar, genel kabul derecesi ve electre'den oluşmaktadır.

Atom Enerjisi Kurumu, Maden Teknik Arama ve Enerji Bakanlığı ekiplerince sürdürülen diğer çalışmalar arasında 1985 yılında Silifke-Akkuyu'da kurulması planlanan Nükleer santral çalışmaları¹², Akdeniz ve Trakya bölgelerinde yapılan öncelikli etütler(Sinop (İnceburun), Çilingos Çiftliği, Lizne Burnu, Tuzağazı Kefken(Adapazarı), Muda Burnu) sayılabilir.

1976 yılında Silifke'de nükleer santral kurulumu için yer çalışmaları yapılmıştır. Başbakanlığa bağlı TAEK'ten yer lisansı alınmıştır. Akkuyu ile ilgili olarak 1977 yılında üç İsviçreli ve bir Fransız firmasından oluşan konsorsiyum tarafından sağlanan müşavirlik hizmeti altında ülkemizdeki ilk nükleer santral için uluslararası ihaleye çıkılmıştır. Bu ihalenin sonucunda İsveç ASEA-ATOM, STAL-LAVAL firmaları ilk sırayı almışlardır. Söz konusu bu firmalar dış kredi ihtiyacının % 85 'ini karşılayacak şekilde kredi bulmalarına rağmen inşaat işlerinin dış finansman sorunları ve geriye kalan % 15'lik kredi de yaşanan sorunlar nedeniyle ihale sonuçsuz kalmıştır.¹³

Ülkemizdeki ikinci nükleer santral alanı olarak seçilen yer Sinop'tur. Buradaki ilk araştırmalar ise 1980 yılında başlamış, belirli bir süre devam ettirilmiş ancak henüz sonuçlandırılmamıştır. 8 Mayıs 2007'de kabul edilen yasa tasarısıyla da Türkiye'de kurulacak nükleer santral için Sinop öncelikli yer olarak görülmektedir.

¹² http://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/625abb8e458a797_ek.pdf,

¹³ <http://www.angelfire.com/scifi/nuclear220/sec222.htm>.

2.4 Yasal Mevzuat

Türkiye’de nükleer enerji tesisleri Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ile Atom Enerji Kurumu’nun faaliyet sahaları içindedir. Atom Enerji Kurumu’nun (TAEK) düzenleyip hazırladığı yönetmeliklerde nükleer santrallerin kuruluş yeri, güvenlik kriterleri, kalite temin yönetmeliği ve gerekli tüm düzenlemeler belirtilmektedir. Bu çalışmada yararlanılan yönetmelikler, nükleer güç tesislerinde yer seçimi ile ilgili genel güvenlik kuralları yönetmeliği, (25.0.2000/23975), nükleer güç tesislerinin yer seçimi ile ilgili etüt ve değerlendirme çalışmalarında kalite temini yönetmeliği, (26.05.2002/24766)¹⁴ ve Amerikan Nükleer Düzenleme Komisyonunun (NRC) yer seçimi kriterleri için belirlenmiş olduğu standart ölçüler dokümanlarıdır.¹⁵

¹⁴ http://www.atek.gov.tr/mevzuat/yonetmelikler/versecimi/versecimi_gk_von.html,

¹⁵ <http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/cfr/part100-appa.html>, (17.01.2007)

BÖLÜM III

NÜKLEER SANTRAL YER SEÇİMİ PROBLEMİNİN ÖNEMİ

Nükleer enerji, yenilebilir enerji kaynaklarına göre tehlike arz eden bir konumda bulunmaktadır. Yatırım maliyeti, yüksek teknolojiyi gerektirmesi, nitelikli insangücü ve eğitimi yanında, özellikle nükleer yakıt çevriminde ortaya çıkan atıkların çevre ve insanlar üzerinde kalıcı etkiler bırakması, (Çernobil ile Karadeniz Bölgesinde patlayan kanser vakaları yaşanmış bir örnek) ve çalışır durumdaki bir nükleer santralde meydana gelebilecek kazalar yer seçimine ilişkin önemli bileşenleri oluşturmaktadır. Bu nedenle, yer seçimi ile ilgili kriterler, kanun, tüzük ve yönetmeliklerle ilgili kurum ve kuruluşlar (Türkiye Atom Enerjisi Kurumu) tarafından belirlenmiştir.

Nükleer santral yer seçimi probleminde dikkate alınması gereken kriterlerin karmaşık ve çok sayıda olması nedeniyle bu kriterlerin tamamını, ülke gibi büyük bir coğrafi alana yayılan toprak parçasında bir sistematik oluşturmaktan göz önüne almak olanaksızdır. Bu nedenle rasyonel bir çözüm için böyle bir araştırma üç ana bölümde toplanabilir. Bölgesel çalışmalar, yöresel çalışmalar ve noktasal (yersel) çalışmalar.¹⁶

Bölgesel Çalışmalar

Bu evre ekip çalışması ve veri araştırması gerektirmektedir. İki aşamada incelenebilir:

1-Bölgenin temel özelliklerini belirlemek.

Bu aşamada yapılacak işlemler sadece nükleer reaktör seçimi için değil tüm yer seçimi çalışmalarında kullanılabilecek genel kriterlerdir. Bu aşamada kesin sınırlamalar ele alınmaktadır. Örneğin, askeri amaçla kullanım, nüfus yoğunluğu veya ulaşım gibi kısıtlayıcı koşullar.

2- Sonuçlar ışığında incelenen bölgeler arasında seçim yapmak.

¹⁶ Bayülken, a.g.t., 1982, s. 43

Bölgesel incelemenin bu bölümünde yoğun matematiksel modeller kullanılmakta, bu modellerin geliştirilmesi ve çözümü zaman almaktadır.

Yöresel Çalışmalar

Bir önceki aşamanın sonuçlanmasının ardından ülkenin hangi bölgesinin istenen durum için uygun olduğuna karar verildikten sonra, bu bölge içinde yapılan çalışmalardır. Örneğin Ege Bölgesi seçim için uygun bulunmuşsa İç Ege.

Yersel (Noktasal)

Bu bölümde teknik çalışmalar yapılmakta, karakteristiklerin kesin tespiti ve seçilen yerin saha çalışmalarına başlama aşamasından oluşmaktadır. Bu kısımda herhangi bir seçim aşaması söz konusu olmadığından bu çalışmanın konusu dışında kalmaktadır.

3.1 Nükleer Reaktör Yer Seçimi Kriterleri

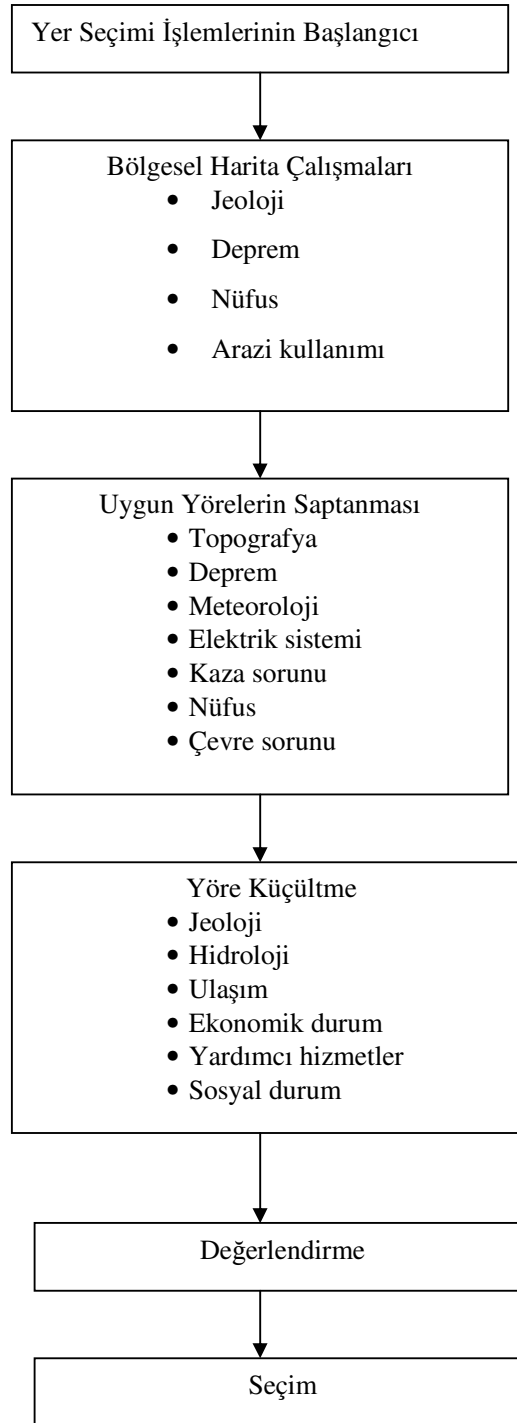
Nükleer santral yer seçimi, herhangi bir endüstri tesisi, turizm vs. amaçlı yer seçimi sürecinde ele alınması gerekli bazı genel kriterlere* ek olarak bazı özel kriterlerinde dikkate alınmasını gerektirmektedir.

Bir nükleer reaktör yer seçiminde kullanılabilecek kriterler şu şekildedir:

1. Bölgenin Nüfus Durumu
2. Bölgenin Deprem Durumu
3. Bölgenin Jeolojik Özellikleri
4. Bölgenin Ulaşım Özellikleri
5. Bölgenin Meteorolojik Özellikleri
6. Bölgede Kaza Olasılıkları
7. Bölgenin Başka Nedenlerle Kullanılabilme Durumu
8. Bölgenin Yardımcı Servis Olanakları Durumu
9. Sosyal Durum
10. Mali Durum

* Çalışmanın bu bölümünde uygulama verileri ve elde edilişi açıklanacaktır. Verilerin birincil elden temin edilememesi sebebiyle (bkz ek:1) bu tez çalışmasının verileri kullanılmıştır.

Nükleer santral yer seçiminde izlenen adımlar Şekil 1’de¹⁷ gösterilmiştir.



Şekil 1: Yer Seçimi İçin Çalışma Planı

¹⁷ Bayülken, a.g.t., 1982, s. 40

1-Bölgenin Nüfus Durumu

Nükleer santralin yer seçimini etkileyen en önemli kriterlerden biri çevredeki nüfus yoğunluğudur. Nükleer santralin kuruluşunu diğer büyük tesislerden ayıran en önemli etken olan radyasyon tehlikesi, her şeyden önce canlıları ve özellikle insanları etkileyeceğinden kurulacak olan tesiste oluşabilecek bir radyasyon kaçağının mümkün olan en az hasarla veya hasarsız atlatılabilmesi için bölgenin nüfus yoğunluğunun az olması istenir. Bu yoğunluk ölçümü, sadece seçim aşamasında değil bölgenin gelişim süreci de dikkate alınarak yapılmalıdır. On yıl sonra bölgenin nüfus yoğunluğunun artmaya başlaması istenen bir durum değildir. Bu nedenle tesisin kuruluş yeri için ömrü boyunca bakir ve bakir kalması muhtemel bölgeler seçilmelidir. Bu tip santrallerin sayısının artması bu kriterlere uygun bölgeler bulunmasını güçleştirecek olmakla birlikte bu sınırlamaların dışına çıkmamak esas olmalıdır.

Bu konuda yapılmış daha önceki çalışmalar sonucu kabul edilen bulgulara göre; bir kaza anında, asal gazların %100'ü, halojenlerin %10'u ve diğer fisyon ürünlerinin %1'i reaktör içinde dağılmakta, kalanlar ise ya kimyasal reaksiyon yapmakta ya da sıcak yakıtta kalmaktadır. Oluşan bu tanecikli veya gaz halindeki aktivite karışımının %10-50'sinin çevreye yayılabildiği öngörülmektedir. Bu kabuller neticesinde çevreye yayılma hesaplamalarının kolayca yapılması muhtemeldir. Kısaca radyasyondan gelen tehlikenin mesafe arttıkça azaldığı gözlemlenmektedir.¹⁸ Bu noktadan hareketle reaktör çevresini iki bölgeye ayırmak ve nüfus yoğunluğu kriterini iki bölgeye göre değerlendirmek daha doğru olmaktadır.

1-Sıfır yoğunluklu bölge

Bu bölge santral binasını ve ek binaları çevreleyen bölgedir. Bu bölge içinde sadece santralde çalışacakların bulunması, herhangi bir yerleşim merkezinin olmaması istenir. Zorunlu olması durumunda, otoyol, tren yolu gibi ana ulaşım

¹⁸ "Eichholz, G. Geoffrey, **Power Plant Siting**. Atlanta: Georgia Institute of Technology." Aktaran Bayülken, R. Ahmet, **Nükleer Santrallerin Güvenlikli Yer Seçimine Çok Kriterli Seçim Yöntemlerinin Katkısı**, İstanbul: Nükleer Enerji Enstitüsü., 1982, s.

hatlarının bölgeden geçilmesine izin verilse bile, herhangi bir kaza durumunda bu yolların kontrolü için kesin önlemler alınmış olmalıdır. Bu durum ileri bir nükleer park teknolojisine sahip olunduğu zaman önem kazanmaktadır.

2-Düşük yoğunluklu bölge

Bu bölge sıfır yoğunluklu bölgeyi çevreler ve bazı küçük yerleşim bölgelerini kapsayabilir. Buradaki insan sayısının tahmininde bölge şartları önemli bir rol oynamakla birlikte bir kaza anında bölgeyi boşaltabilmenin mümkün olduğunca kolay olması gerekmektedir.

Düşük yoğunluklu bölgeye en yakın yerleşim merkezinin uzaklığı için, nüfusu 10.000 kişinin üzerinde olan yerleşim bölgesi veya bölgelerinin sıfır noktasından mümkün olduğunca uzak olması tercih edilir.

2-Bölgenin Deprem Durumu

Santral sahasının deprem özelliklerinin tespitinde mevcut faylara yakınlık, bölgenin geçmişte geçirdiği deprem durumu ve bölgenin sismik katsayıları kullanılmaktadır.

İncelenen yörelerin tamamında ortak olan fay Kuzey Anadolu fayıdır. Sismik katsayı için olasılık hesaplaması yapılmıştır. Sismik katsayı verileri maksimum yer ivmesinin 20, 50 ve 100 yılda bir kez oluşması ihtimallerini vermektedir. Sismik katsayı standartları ayrıntılarıyla NRC'in güvenlik kriterleriyle ilgili dokümanların da düzenlenmiştir.¹⁹

3-Bölgenin Jeolojik Özellikleri

Bölgenin toprak yapısı ve özellikleri yönünden incelenmesidir. İncelenen tüm bölgelerin bu özellik bakımından uygun bulunması gereklidir.

¹⁹“Reactor Site Criteria” Code of Federal Regulations, Title 10, Part 100
<http://www.nrc.gov>

4-Coğrafi Özellikler

Nükleer Santral kuruluş yeri seçiminde önemli kriterlerden biri olan coğrafi özellikler tesis kuruluşunu kısıtlayıcı olabilmektedir. Seçilen bölgenin ulaşım ve topografik kriterleri coğrafi kriterler başlığı altında incelenecektir. Nükleer enerji üretiminin gerektireceği ekipmanlar çok büyük ve karayoluyla taşınması imkânsız olması nedeniyle deniz taşımacılığı kullanılmak zorundadır. Bu nedenle seçilen kuruluş yerleri için deniz yolu ile ulaşım mümkün olmalıdır. Buna ek olarak güvenlik yönünden de ulaşım olanaklarının iyi olması ve herhangi bir kaza anında çevrenin kolayca boşaltılabilmesi için uygun bir yol şebekesinin var olması istenen bir özelliktir.

5-Meteorolojik Özellikler

Nükleer Santrallerin bilinen büyük tesislerden ayrılan en önemli özelliği radyasyon, radyoaktif atıklar ve bu atıkların dış çevreye yayılabilmeleridir. Radyoaktif atıkların oluşmasının önüne geçmek imkânsızdır. Kömür santrallerinde kül ve barajlarda çamur, enerji dönüşümlerinin birer sonucu olduğu gibi radyoaktif atıklar da fisyon ve füzyon tepkimelerinin doğal sonucudur. Bu atıkların en önemli ve tehlikeli tarafı insan sağlığı ve tüm canlılar üzerinde olan etkileridir. Çernobil’de yaşanan patlama sonucunda besin maddelerinin zarar görme olasılığı sebebiyle S.S.C.B’nin ticari ilişkiler içerisinde olduğu ülkeler mal alımını durdurmuşlardır. Katı ve sıvı atıkların taşınabilmeleri ve uzak yöreleri etkileyebilmelerinde yeraltı sularının önemi ne kadar büyük ise gaz atıkların taşınmasında da meteorolojik olaylar aynı öneme sahiptir.

Canlılar tarafından alınan doz, bir kaza anında etrafa yayılan (veya normal çalışma şartlarında bacadan atılan) gaz miktarına ve bulunulan uzaklığa bağlıdır. Fakat rüzgâr durumu, yağmur ve diğer meteorolojik büyüklükler bu yayılmayı ve dolayısıyla alınacak doz miktarını büyük ölçüde tetikler. Bu nedenlerle incelenen bölgelerin meteorolojik verilerinin bilinmesi büyük önem taşımaktadır.

Bu verilerin tayin edilmesi esnasında topografik verilerin de dikkate alınması gerekmektedir. Topografik özellikler seçim yapılacak yerin vadi, ova vb. yapısal

özelliklerini engebe durumunu incelemektedir. Meteorolojik verilerin alındığı yerler ile santralin kurulacağı yerin topografyası aynı olamayabilir. Bu durumda veriler gerçek değerlerden az çok uzak olacakları için inşaat bölgesinin özgül özelliklerinin bilinmesinde yarar vardır. Bu özellikler arasında meteorolojik verilerin birer alt kriteri olarak ele alabileceklerimiz şunlardır:

- 1.Senelik sıcaklık değişimleri
- 2.Rüzgârın yönü ve hızı
- 3.Yağmur durumu

6- Soğutma Suyu Olanakları

Nükleer santral soğutma suyunun açık devre olarak kurulması gerektiğinden tüm bölgeler deniz kıyısında bulunmak zorundadır. Bu durumda soğutma suyu sorunu iki alt kriter altında ele alınabilir. Kullanılacak suya uzaklık ve soğutma suyu kaynağının sıcaklığı olarak incelenen bu alt kriterlerin belirlenmesi gereklidir.

7- Arazi Kullanımı

Alternatif bölgelerin tamamı askeri bölgelerin ve sanayi bölgelerinin dışında kalmalı, bölgelerde yapılan incelemeler sonucunda maden yataklarının olmamasına da dikkat edilmelidir.

8-Ekonomik Durum

Santralin milli güç şebekesine(ülkenin her bölgesinin yararlanabileceği elektrik şebekesi) bağlanması gereği nedeni ile yapılan çalışmalarda, bu santralin batı bölgelerinde kurulmasının çok iyi olacağı görülmüştür. Böylece güç hattı maliyetlerinin düşürülmesi mümkün olacağı gibi, yük merkezinin bu bölgelerde olması nedeni ile de ekonomik ve kaliteli bir elektrik servisi sağlanmış olacaktır. Buna ek olarak yük kayıpları da azaltılmış olacaktır.

Soğutma sisteminin maliyetini ise denizden uzaklık ve yükseklik etkilemektedir. Belirli bir yükseklikten sonra suyu doğrudan denize vermek yerine bir türbinden geçirdikten sonra denize atmanın daha ekonomik olacağı saptanmıştır. Bu konu inşaata hazırlama maliyeti içinde değerlendirilmektedir.

Arazi alımı toprağın özel mülkiyet olup olmamasına bağlı olarak değerlendirilecektir.

Şimdiye kadar kısa tanımları verilmiş olan kriter ve alt kriterler aşağıda sergilenmektedir:

1-Bölgenin Nüfus Durumu

- a) 0–2 km. arasındaki mevcut yoğunluk
- b) 2–10 km arasındaki mevcut yoğunluk
- c) 10–20 km arasındaki mevcut yoğunluk
- d) En yakın yerleşim merkezine uzaklık

2-İnşaat Bölgesinin Deprem Durumu

- a) Mevcut faylara yakınlık
- b) Bölgenin sismik katsayısı
- c) Bölgeni deprem tarihçesi

3-Bölgenin jeolojik özellikleri

- a) Toprağın yapısı ve özellikleri
- b) Yeraltı sularının varlığı

4-Bölgenin coğrafi özellikleri

- a) Bölgenin topografyası
- b) Hava yolu ile ulaşım
- c) Kara yolu ile ulaşım

- d) Tren yolu ile ulaşım
- e) Deniz yolu ile ulaşım

5-Bölgenin meteorolojik özellikleri

- a) Senelik sıcaklık değişimleri
- b) Rüzgâr yönü ve hızı
- c) Yağmur durumu
- d) Mevsim özellikleri
- e) Atmosferik difüzyon
- f) Nem

6-Bölgedeki kaza olanakları

- a) Tabii afetler
- b) Uçak düşmesi
- c) Yanıcı ve patlayıcı madde kaynaklarına yakınlık
- d) Zehirli maddelere yakınlık

7-Soğutma suyu olanakları

- a) Suyun debi yönünden kullanılabilme durumu
- b) Suyun yapısı yönünden kullanılabilme durumu
- c) Kullanılacak suya uzaklık
- d) Su kaynağını ısınması

8-Kullanma suyu olanakları

- a) Kaynakların mevcudiyeti
- b) Kaynakların özellikleri
- c) Su miktarı
- d) Su dağıtım sistemi olanakları

9-Bölgenin başka nedenlerle kullanılabilme durumu

- a) Tarım alanı
- b) Yeşil saha
- c) Orman, milli park
- d) Turizme açık bölge
- e) Maden yatakları işletimi
- f) Sanayi bölgesi
- g) Askeri bölge

10-Yardımcı servisler

- a) Elektrik
- b) Gaz
- c) Kanalizasyon

11-Sosyal Durum

- a) İşçi sorunu
- b) Sosyal olanaklar
- c) Çevrede yaşayanların tepkisi

12-Ekonomik Durum

- a) Arazinin satın alınması
- b) İnşaata hazırlama maliyetleri
- c) Soğutma sistemi maliyetleri
- d) Güç hattı masrafları

Bir nükleer santralin güvenli çalışması için yer seçimi sürecinde en az 49 kriterin aynı anda göz önüne alınması gerekmektedir.²⁰

Bu çalışmada söz konusu olan nükleer santral yer alternatiflerine ilişkin kriter ve veriler aşağıda Tablo 1’de özet halinde verilmektedir.

²⁰ Bayülken., a.g.t, s.73

Tablo 1: 4 Bölge İçin Alternatifler İle Karşılaştırma Kriterlerinin Durum Tablosu

K A	1				2		3				4			5		6			7			
	1 kişi	2 kişi	3 kişi	4 km	1	2 km	1	2 km	3 km	4	1 C ⁰	2	3 mm/gün	1 m	2 C ⁰	1	2	3	1	2	3	4
P	0	1411	13498	9	1	70-80	Orta	25	110	İyi	17,3	Çok iyi	8,89	700	23	Var	Yok	Yok	İyi	İyi	Orta	İyi
Ç	0	1387	16448	9	2	70-80	Orta	15	85	İyi	17,3	İyi	5,90	1200	23	Var	Yok	Yok	İyi	İyi	İyi	İyi
K	0	7757	26795	3	4	40-50	İyi	5	120	İyi	17,3	Geçerli	5,84	500	23	Yok	Var	Var	Kötü	Orta	İyi	İyi
İ	0	4697	58932	5	3	100	Orta	10	160	orta	16,1	Orta	5,28	250	23,5	Yok	Var	Yok	Kötü	Orta	Çok iyi	Kötü

KAYNAK: Ahmet R. Bayülken, “Nükleer Santrallerin Güvenlikli Yer Seçimine Çok Kriterli Seçim Yöntemlerinin Katkısı”, İstanbul:

İstanbul Teknik Üniversitesi, Nükleer Enerji Enstitüsü, Doçentlik Tezi, Haziran 1982, s.85

I. Nüfus

1- 0-2 km arası

2- 2-10 km arası

3- 10-20 km arası

4- Yerleşim Merkezine Uzaklık

II. Deprem

1-Sismik Katsayı

2-Aktif Faya

Uzaklık

III. Coğrafi Özellikler

1-Deniz Yolu Olanakları

2-Kara Yolu Olanakları

3-Hava Limanı Uzaklığı

4-Topografya

IV. Meteorolojik Özel.

1-Sıcaklık Değişimi

2-Rüzgâr Durumu

3-Yağış Durumu

V. Soğutma Suyu

1-Uzaklık

2- Kaynağın Sıcaklığı

VI. Arazi Kullanımı

1-Orman

2-Tarım

3-Turizm

VII. Ekonomik Durum

1-Arazi alımı

2-İnşaat Masrafları

3-Soğutma Sistemi

4-Güç Hattı

BÖLÜM IV

ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ

Bu bölümde ÇKKV yöntemlerinin genel özellikleri ve bu problemlerin çözümünde kullanılan ÇKKV yöntemleri sergilenecek, ilgili teknik yazın analiz edilecektir. Teknik yazın analizi, bu araştırmada kullanılan Entropi ve Topsis yöntemleri üzerinde yoğunlaştırılacaktır.

4.1 Çok Kriterli Karar Verme Problemlerinin Genel Özellikleri

Karar vericiler için en iyi seçeneği seçmek oldukça zor bir iştir. Bu süreci zorlaştıran en önemli faktör karar vericilerin (KV) alternatifler arasından seçim yaparken değişik amaçları gerçekleştiren, bazen de birbiriyle çelişen seçenekler arasından en uygun olanı bulmak zorunda olmalarıdır. Bu nedenle birçok KV bu tür problemlerin çözümünde ÇKKV yöntemlerini kullanır. ‘ÇKKV’ birçok alternatif arasından öncelikli olanı seçmek, bir başka deyişle, değerlendirme, sıralama ve seçim olarak özetlenebilir.²¹

İster tek amaçlı ister çok amaçlı karar problemi olsun, karar verme sürecindeki temel unsurlar değişmez ve aşağıdaki gibi sıralanabilir.²²

- Karar verici (veya vericiler)
- Karar ortamı
- Amaç veya amaçlar (kriterler, hedefler)
- Alternatifler, seçenekler, stratejiler
- Kaynaklar
- Yöntemler (bilimsel anlamda karar verme durumunda)

²¹ Hwang ve Yoon, a.g.e., s.3

²² **Bülent Bölüt**, *Çok Amaçlı Karar Verme Yöntemleri Ve Uygulamaları*, İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2004, s.8.

Çok kriterli her karar probleminde çok sayıda alternatif ve birbirleriyle çelişen çok sayıda kriter söz konusudur. Kriterleri ifade eden ölçü birimleri sınırsızdır. Örneğin bazı değişkenler sözel verilerle ifade edilebilmektedir. Sonuçları açısından bakıldığında bazı problemlerde alternatifler belli ve bu alternatifler arasından en iyisini seçmek temel amaç olmakla birlikte bazı problemlerde ise alternatifler belli değildir, bu nedenle en iyi alternatifi tasarlamak amacıyla kurulurlar.

Çok kriterli karar verme problemleriyle günlük hayatta çeşitli şekillerde karşılaşılabilir. İş seçiminden savaş uçağı seçimine, robot seçiminden nükleer tesis yer seçimine ve yatırımların ekonomik analizine kadar çok farklı alanlarda uygulanmaktadır. Görüldüğü üzere problemler kişisel kararlardan oluşabileceği gibi işletmelerin verdikleri stratejik kararlara kadar çeşitlilik gösterebilmektedir.

Bu bölümde kullanım alanlarına göre yapılan çalışmalar literatürdeki uygulamalarıyla açıklanacaktır. Bu örnekler verilmeden önce karar vermenin etkisini analiz etmekte kolaylık sağlaması açısından ÇKKV yöntemleri ile ilgili temel kavramlara değinilecektir.

ÇKKV ile ilgili literatürde çok sık geçen, araştırmacılar tarafından değişik anlamlarda kullanılan dört temel kavram vardır. Birçok kaynakta belirtildiği gibi tartışmasız(evrensel) tanımları olmayan bu kavramlar:

- Bileşenler (Attributes)
- Alternatifler (Alternatives)
- Hedefler (Goals)
- Kriterler (Criteria)

Anlam kargaşasını önlemek ve kullanılış şekillerini açıklığa kavuşturmak için birkaç örnek verilecektir.

Genellikle karar bileşenleri ‘alternatiflerin temel özellikleri, *kaliteleri*, *verimlilikleri* veya *sıcaklık parametreleri*,...vb’ olarak tanımlanabilir. ÇKKV problemlerinde “kriter” ile “bileşen” eşanlamlı kullanılmaktadır.

Bileşenlerin yaratılmasında rol oynayan üç kavrama burada açıklama getirilecektir.

Birincisi '*kriterler arasındaki çelişkidir.*' Örneğin maliyet ve kar çelişen iki kritere örnek olarak verilebilir.

İkincisi ise '*kriter ağırlıkları*' olarak nitelendirilebilir. Kriter ağırlıkları ile ana amaç en azından N alternatifin 'önem' derecesine göre sıralanmasıdır.

Kriter ağırlıklarını hesaplamak için kullanılan yöntemler çok çeşitlidir. Kriterlerin ağırlıklarını belirlemek için kullanılan çeşitli yöntemlerden bazıları; Entropi, Linmap, özdeğer vektörü, en küçük kareler metodu ve analitik hiyerarşi sürecidir.

Üçüncüsü de '*karar matrisi veya değer tablosu*' bileşenleridir. Karar matrisi kriterleri ve ağırlıkları bir bütün halinde probleme veri haline dönüştüren matrise verilen addır.

Bileşen hem objektif hem de sübjektif olan, genel bir ifadeyi temsil etmektedir.²³ Bileşenler standart ve kabul edilebilir kriterlerden oluşabilir. Örneğin "sıcaklık 23C⁰ altında ise uygundur" ifadesi objektif bir bileşendir. Sıcaklık tek başına bir kriterdir ve bir kısıtı ifade eder. Bu nedenle sadece kriterleri belirtmek, problemin kısıtlarını belirlemek anlamına gelse de tek başına yeterli olmayacaktır, ilk bakışta bir eksiklik hissedilmektedir. Ancak alternatifler belirtildiğinde problem tam anlamıyla bir karar problemi haline gelir.

O halde alternatifleri '*kriterleri belirleyici ve karar vericinin arzuları dışında önceden tanımlanmış bir küme*' olarak tanımlayabiliriz.

Alternatiflerin ortaya konabilmesi için kriterler girdi işlevini yerine getirmektedir.

Genel olarak ÇKKV probleminin yapısını (karar matrisi, kriterler, ağırlıklar, alternatifler) Tablo 2 özetlemektedir.

²³Evren R. Ve Ülengin F., *Yönetimde Çok Amaçlı Karar Verme*, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, İstanbul, 1996, s.6

Tablo 2: ÇKKV Problemlerinin Genel Gösterimi

		K R İ T E R L E R (K)			
		k_1	k_2	k_j	k_n
(A) A L T E N A T İ F L E R	a_1	x_{11}	$x_{12}.....$	$x_{1j}.....x_{1n}$	
	a_2	x_{21}	x_{22}	$x_{2j}.....x_{2n}$	
	.	.	.	.	.
	.	.	.	.	.
	.	.	.	.	.
	.	.	.	.	.
	a_i	x_{i1}	x_{i2}	$x_{ij}.....x_{in}$	
	.	.	.	.	.
	.	.	.	.	.
	.	.	.	.	.
	a_m	x_{m1}	x_{m2}	$x_{mj}.....x_{mn}$	
Kriter Ağırlıkları (W)		w_1	w_2	$w_j.....w_n$	

Tablo 2 ışığında hangi kriterler altında hangi alternatiflerin incelenip sıralamaya sokulacağı görülmektedir. Buna göre elimizde A ve K verileri vardır. A ve K verilerinden oluşan Tablo 2 karar matrisini temsil etmektedir ve (AxK) matrisi olarak ifade edilir.

Tablo 2'yi oluşturan (AxK) matrisi elemanları arasındaki ilişkiler ve ifadeleri şöyledir:

$$a_i \in A \wedge i = (1.....m) \mapsto a_i = i \text{ alternatifinin değerini}$$

$$A = \text{alternatiflerin kümesi}$$

$$k_j \in K \wedge j = (1.....n) \mapsto k_j = j \text{ kriterinin değerini}$$

$$K = \text{kriterler kümesi}$$

$w_j \in W \wedge j = (1.....n) \mapsto w_j = j \text{ kriterinin ağırlığı}$

$W = \text{ağırlıklar kümesi}$

$x_{ij} = i \text{ alternatifinin } j \text{ kriterine göre aldığı değer}$

Son olarak KV problemin yapısına uygun olarak belirlediği ÇKKV yöntemleri ile alternatiflerden yüksek değerli olanı seçecek veya sıralayacaktır. Böylelikle ÇKKV yöntemlerinin temel amacının '*alternatiflerin sıralanması veya seçimi*' olduğu söylenebilir.

4.2.1 ÇKKV Yöntemlerinin Sınıflandırılması

ÇKKV yöntemlerinin temel öğelerinin açıklanmasından sonra bu bölümde ÇKKV yöntemleri kullanılan bilginin türüne, bilginin modelde uygulanma zamanına, kazanç faktörüne, karar vermede kullanılan sisteme ve model kriterlerinin yapısına göre çeşitli yaklaşımlara göre sınıflandırılacaktır.

Hwang ve Yoon karar problemlerini alternatiflerin sonlu sayıda ve sonsuz sayıda olmalarına göre iki gruba ayırmıştır. Genel olarak, Çok Kriterli Karar Problemi (ÇKKP) adı verilen grubu Çok Bileşenli Karar Problemleri (ÇBKP) ve Çok Amaçlı Karar Problemleri (ÇAKP) olarak sınıflamıştır.²⁴ Bu çalışma da genel de kullanıldığı biçim de ÇBKP'leri ifadesi yerine ÇKKP'leri ifadesi tercih edilmiştir. ÇKKV problemleri seçim değerlendirme ve sıralama işlemlerini içerirken, ÇAKP'ler en iyi alternatifin tasarlanması amacını taşımaktadır.

Tablo 3'de literatürde en çok kabul gören ÇKKV ve ÇAKV problemleri arasındaki farklar ortaya konulmuştur. Bu ayrımı Zanakis²⁵(1998) Saw (Simple Additive Weighting), Electre, Ahp, Multiplicative Exponential Weighting (Mew) ve Topsisi yöntemlerinin sonuçlarını karşılaştırırken, burs için öğrenci seçimi probleminde Saw, Wp (Weighted Product) ve Topsisi yöntemlerini kullanan Yeh

²⁴ Hwang -Yoon, a.g.e., s.2

²⁵ Stelios H.Zanakis, Anthony Solomon, Nicole Wishart, Sandipa Dublsh "Multi-Attribute decision making:A simulation comparison of select methods", European Journal of Operational Research, C.107/3, (1998), s.508

(2002)²⁶, yazılım seçimi probleminde Electre ve Topsisı kullanan Janko ve Bernroider (2005)²⁷ ve Endüstriyel robot seçimi kararında Topsisı kullanan Alcaraz (2006)²⁸ çalışmalarında göstermişlerdir. Bu ayırımın yapılmış olmasına rağmen literatürde bu tanımlar birbirinin yerine kullanılabilir. ²⁹

Tablo 3: ÇAKP ve ÇKKP arasındaki farklar

	ÇKKP	ÇAKP
Kriter (tanımlanma şekli)	Bileşenler	Amaçlar
Amaç	Net Değil	Net (Belirgin)
Bileşenler	Açık (Belirgin)	Net Değil
Kısıtlar	Çözümde Etkin Değil	Çözümde Etkin
Alternatifler	Sonlu	Sonsuz (Sayıda)
Kullanım	Seçim, Değerlendirme	Tasarım

Kaynak: Ching L. Hwang; Kwangs Yoon “Multiple Attribute Decision Making: A state of the Art Survey”, Newyork: Springer-Verlag, 1981, s.4

Bu çalışmada kullanılacak metot ÇKKV grubunda yer almaktadır. ÇKKV yöntemlerini kullanılan bilginin türüne göre deterministik, stokastik ve bulanık olarak sınıflayabiliriz. ³⁰

Sıralama yöntemleri ÇKKV probleminde karar vericinin önceliklerine dayanarak çeşitli alternatiflerin sıralanması için kullanılır. Çok kriterli karar vermede sıralama yöntemlerinin kullanılmasını ilk defa Benyouen önermiştir. Electre, Oreste, Promethee, Ocra ve Melchior gibi yöntemler bu grupta ele alınabilir. Bu yöntemlerin avantajları, basitlik, açıklık ve kararlılıktır.

ÇKKV yöntemleri Hwang ve Yoon (1981) tarafından kullanılan bilginin modelde uygulama zamanına göre sınıflandırılmıştır. Şekil 2 ÇKKV yöntemleri için literatürde yer alan en temel sınıflandırmayı göstermektedir. ³¹

²⁶ Chung H.Yeh, “A Problem-based selection of multi-attribute-decision-making methods”, C.9, International Transactions In Operational Research, (2002), ss. 169–181

²⁷ Wolfgang Janko - Edward Bernroider, “Multi-Criteria Decision Making An Application study of ELECTRE & TOPSIS”, Wirtschaftsuniversität Wien Abteilung für Informationswirtschaft, January, (2005), s.7

²⁸ Jorge L.G. Alcaraz, Salvador A.N. Morales, Juan J.D. Nunez “Análisis Comparativo de Técnicas Multicriterio Para Justificación de Inversiones en Robots”, Ciencia Ergo Sum, C.13/01, (2006), s.69

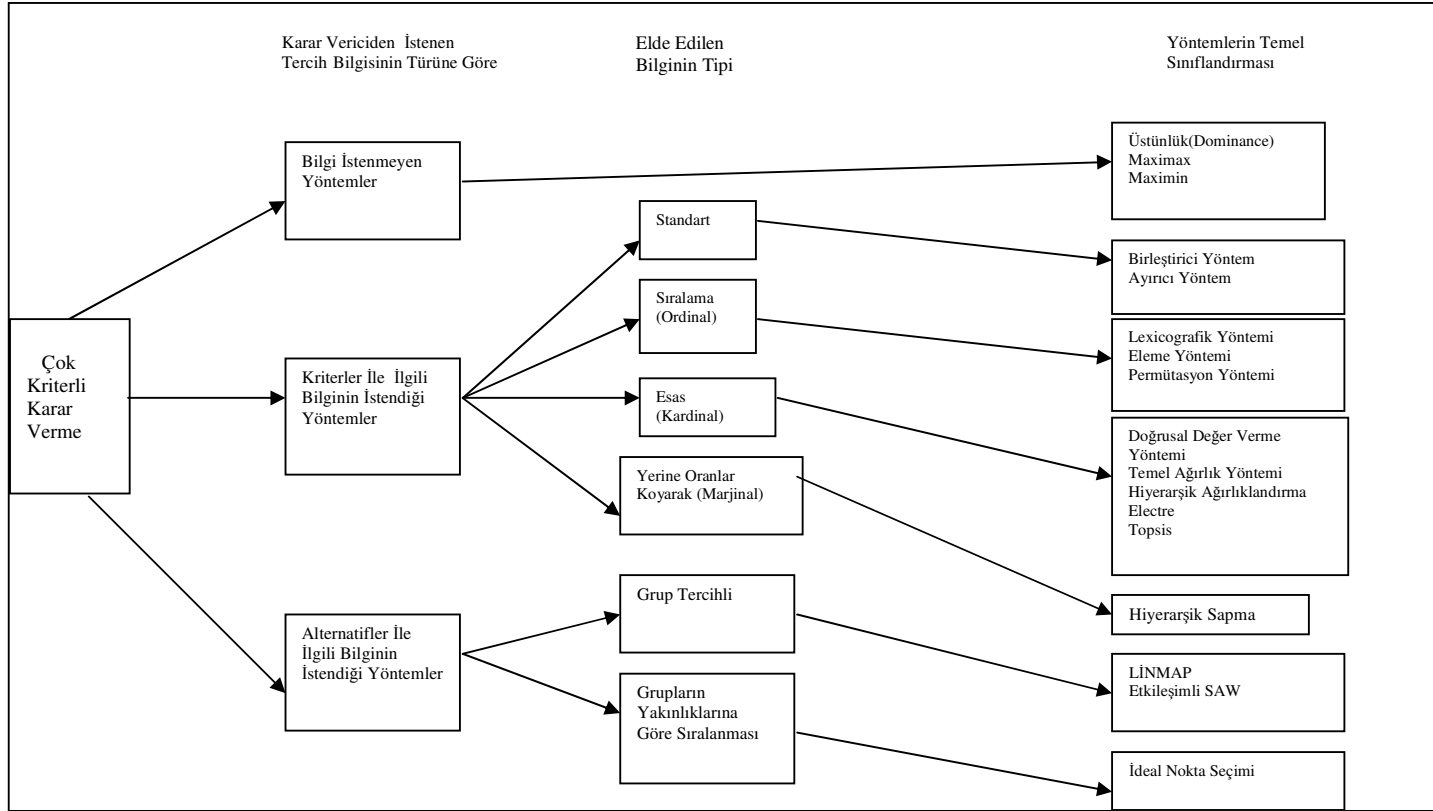
²⁹ Ülengin-Evren, a.g.e., s.3

³⁰ Janko-Bernroider, a.g. m., s.9

Bir diğ er sınıflandırma ise Böl at, yapmış oldu ğ u çalışmada ÇKKV yöntemlerinin bulanık mantık içeren sınıflamasını şekil 3'te gösterildi ğ i gibi ortaya koymuştur.³²

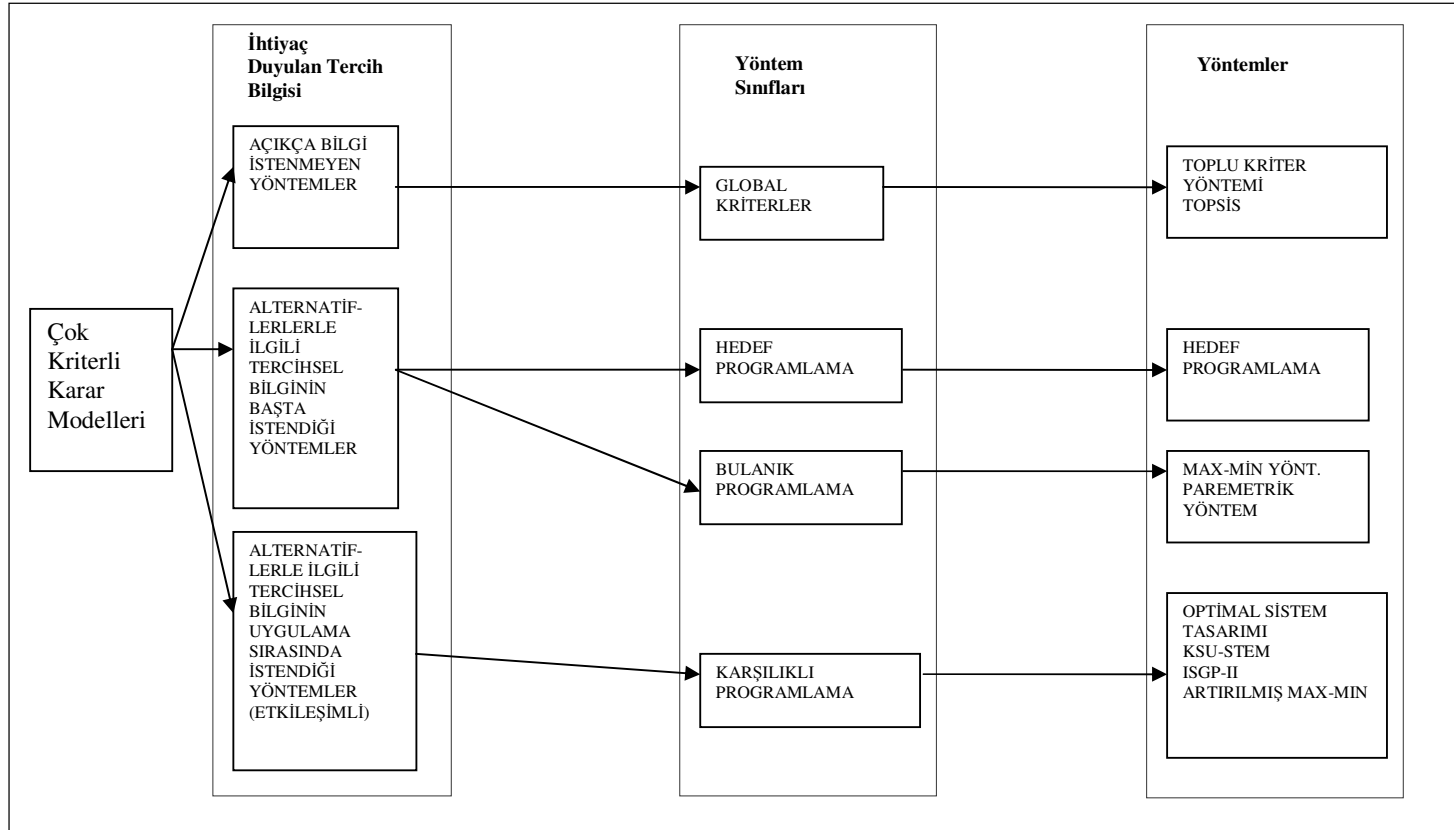
³¹ Hwang ve Kwangsun, a.g.e., s 6.

³² Böl at, a.g. t., s. 27



Şekil 2: Çok Kriterli Karar Modellerinin Genel Sınıflandırılması

Kaynak: Kaynak: Ching L. Hwang; Kwangs Yoon “Multiple Attribute Decision Making: A state of the Art Survey”, Newyork: Springer-Verlag, 1981, s.6



Şekil 3: Çok Kriterli Karar Modellerinin Bulanık Mantık İçeren Sınıflaması

Kaynak: Bülent Bölüt "Çok Amaçlı Karar Verme Yöntemleri ve Uygulamaları", İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2004, s.27

Şekil 2’de verilen yöntemlerin tamamını incelemek yerine izleyen bölümde, bu tez çalışmasında yararlanılan iki ÇKKV yöntemi üzerinde durulmuştur.

4.3 Entropi

Çok kriterli karar modellerinde kriterlerin ağırlıklarını belirlemek için kullanılan çok sayıda model vardır. Yoon ve Kwangsun(1981) dört çeşit model önermişlerdir.³³ Entropi ölçümü de kriterlerin birbirlerine göre göreceli önem derecelerini belirtmek amacıyla kullanılmaktadır. Entropi ölçümünde tespit edilen kriter ağırlıkları kümesinin toplamı 1 olmak zorundadır.³⁴

$$W = (w_1, w_2, \dots, w_j, \dots, w_n)$$

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

Kriter ağırlıklarını belirlemede AHP (Analitik Hiyerarşi Süreci) vb. birçok yöntem kullanılmaktadır.³⁵ Entropinin bu yöntemlerden farkı ve avantajlı yanı kriterlerin değerleri bilinmekte ve bu değerleri içeren karar matrisi oluşturulabilmektedir. Kriterlerin ağırlıkları karar vericilerin sübjektif görüşlerinin yanı sıra kriterlerin objektif özelliklerini de yansıtır.³⁶ Entropi metodu alternatiflerin değerlendirilmesin de kullanılamamaktadır.³⁷ Ma vd.(1999) kriter ağırlıklarını belirlemede kullanılan yöntemleri objektif ve sübjektif olarak iki grupta incelemişler, entropi metodunu objektif olarak belirtmişlerdir.³⁸ Sübjektif görüşler karar vericinin tecrübeleri, bilgisi ve algılaması sonucunda ağırlıkların atanması sonucu çıkar. AHP’ de bu sistematik geçerlidir. Kriter ağırlıklarını belirleme ile ilgili kapsamlı çalışmalar Barron ve Barrett³⁹(1996), Hobbs⁴⁰(1978) ve Schocmaker ve Waid⁴¹(1982)

³³ Hwang ve Kwangsun, a.g.e., s.41

³⁴ Hwang ve Kwangsun, a.g.e., s.41.

³⁵ Sheng-Hsiung Tsaur, Te-Yi Chang, Chang-Hua Yen, “The Evaluation of Airline Service Quality by Fuzzy MCDM” Tourism Management, C.23, 2002, s.112

³⁶ Hepu Deng, Chung-Hsing Yeh, Robert J. Willis, “Inter-Company Comparison Using Modified Topsis with Objective Weights”, Computers & Operational Research, C. 27, 1998, s.965

³⁷ Hwang ve Kwangsun, a.g.e., s.41.

³⁸ Jian Ma, Zhi-Ping Fan, Li-Hua Huang, “A Subjective and Objective Integrated Approach to Determine Attribute Weights” European Journal of Operational Research, C.112, 1999, s.398

³⁹ F.H Barron, B.E Baret, “Decision Quality Using Ranked Attribute Weights”, Management Science, C.42, 1996, ss.1515-1523

⁴⁰ B.F Hobbs, “A Comparison of Weighting in Power Plant Citing”, Decision Science, C.11, 1978, ss.725-737

tarafından yapılmış ve hiçbir metodun çok kesin bir sonucu garanti etmediği ortaya konulmuştur. Karar verici farklı metotlarla farklı ağırlıklar elde edebilir.

Sosyal bilimlerde sıkça kullanılmakta olan entropi yöntemi fen bilimlerinde de sıklıkla kullanılmaktadır. Fen bilimlerinde kullanım şekli karar verme yöntemlerinden farklı olarak istatistiksel olarak geliştirilmiştir. Entropi bilgi teorisinde(fen bilimlerinde), kesikli bir olasılık dağılımı, p_i tarafından temsil edilen belirsizliğin ölçütü olarak kullanılmaktadır. Belirsizliğin bu ölçüsü Shannon tarafından aşağıdaki formülle belirtilmiştir.⁴²

$$S(P_1, P_2, \dots, P_n) = -k \sum_{j=1}^n p_j \ln p_j \quad (3)$$

3 numaralı denklemde;

Her verilen i değeri için P_i değerleri birbirine eşit ise $P_i = 1/n$, $S(P_1, \dots, P_n)$ maximum değeri alır.

P_i = olasılık dağılımının entropi değerleri

$j = 1, \dots, n$ kriterlerin aldığı değerleri gösterir.

$\ln_j = j$ kriterinin aldığı değer ve logaritmasının çarpımını gösterir.

Bu çalışmada yukarıda (3) numaralı denklemle verilen istatistiksel bir olasılık dağılımını temsil eden Shannon'un entropi yöntemi kullanılmayacaktır. Çalışma da Hwang ve Yoon tarafından geliştirilen karar verme yöntemlerinde karar matrisi oluşturularak uygulanan ve kriter ağırlıklarını belirlemek için kullanılan entropi yöntemi kullanılmıştır.

Bu çalışmada ki kullanımına benzer olarak Erol⁴³ çok kriterli karar metotlarıyla seçim çalışmasında ağırlıkları entropi ölçümüyle belirlemiştir. Satapathy vd⁴⁴(2004) ve Cheng⁴⁵(1996) ağırlıkları belirlerken bulanık matematik ve entropi yöntemini kullanmışlardır.

⁴¹ P.J.H Schoemaker, C.D Waid, "An Experimental Comparison of Different Approaches to Determining Weights in Additive Utility Models", Management Science, C.28, 1982, ss.182-196

⁴² Hwang ve Kwangsun, a.g.e., s.52

⁴³ İsmail Erol, "Bulanık Topsis ve Entropi Yöntemlerinin Matematiksel Programlama Modelleriyle Bütünleştirilmesi ve Bir Firma Uygulaması", İktisat İşletme ve Finans , C.90, 2006, ss.1-18

⁴⁴ Bhabani K. Satapathy, J.Bijwe, "Wear Data Analysis of Friction Materials to Investigate The Simultaneous Influence of Operating Parameters and Compositions", WEAR, C.256, 2004, s.803

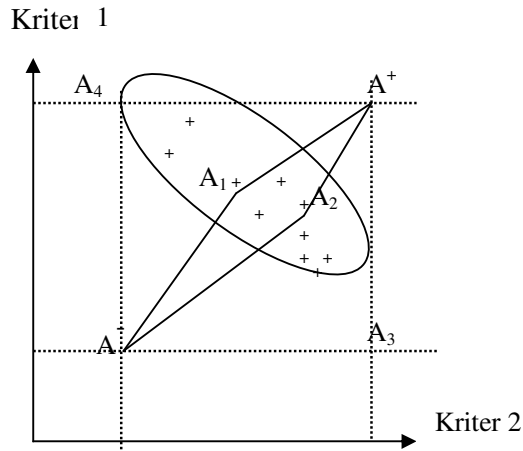
⁴⁵ Ching-Hsue Cheng, "Evaluating Naval Tactical Missile Systems by FuzzyAHP based on the Grade Value of Membership Function ", European Journal of Operational Research, C.96, 1996, ss.343-350

Entropi ölçümünde, kriterlere ilişkin gerçek değerlerin kullanılabilmesi, kriter ağırlıklarının hesaplanmasında entropi metodunu çekici kılmaktadır.⁴⁶

Topsis

Topsis (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) ilk olarak Hwang ve Yoon tarafından kullanılmıştır⁴⁷. Topsis'in mantığı ideal ve negatif ideal çözümü bulmak ve arasından seçim yapılacak alternatiflerin hem ideal çözüme olan yakınlığını hem de negatif çözüme uzaklığını aynı anda değerlendirmektedir. İdeal çözüm, yüksek olmasını istediğimiz değerleri maksimum ve düşük olmasını istediğimiz değerleri minimum yapan alternatifken, negatif ideal çözüm ise tam tersi olan, yani yüksek olmasını istediğimiz değerleri minimum, düşük olmasını istediğimiz değerleri maksimum yapan alternatiftir.

Yüksek olmasını istediğimiz iki kriterle ait diyagram Şekil 4'deki gibi olsun.



Şekil 4: Topsis Diyagramı

Kaynak: Kaynak: Ching L. Hwang; Kwangs Yoon "Multiple Attribute Decision Making: A state of the Art Survey", Newyork: Springer-Verlag, 1981, s.129

⁴⁶ Kathrin Fischer, Andreas Kleine, "A Measure of Risk and a Decision-Making Model Based on Expected Utility and Entropy" European Journal of Operational Research, C.182, 2007, s.470

⁴⁷ Hwang ve Kwangsun, a.g.e., s 128.

Burada A^+ değeri ideal çözüm, A^- değeri negatif ideal çözümdür. A_1, A_2, A_3, A_4 ve diğer noktalar ise herhangi bir çözümdür. Görüldüğü üzere A^- 'den daha düşük, A^+ 'den daha büyük değerlere sahip çözümler mevcut değildir. Kriter 1'in düşük değere sahip olmasını ve Kriter 2'nin yüksek bir değere sahip olmasını istediğimizi düşündüğümüzde $A_3=A^+$ ve $A_4=A^-$ olacağı açıktır. Bu grafikte yalnızca iki kriterle göre seçim düşünülmüştür. Fakat yer seçiminin analizinde; çok sayıda yüksek olmasını istediğimiz özelliğin yanında düşük olmasını istediğimiz özelliklerin de mevcudiyeti ve buna ek olarak nicel bir biçimde ölçülmesi oldukça güç özelliklerin de bulunması analizi karmaşıktırmaktadır.

Topsis analizi ile ideal çözüme göreceli olarak yakınlık sıralaması yapılır. İdeal çözüme en yakın olan alternatif isteyen özellikleri en iyi taşıyan alternatiftir.

Topsis analizinde hangi kriterlerin kullanılacağını belirleme, yeni ölçütleri ekleme, silme ve kriterlerin ağırlıklarını değiştirme işlemlerini gerçekleştirmek mümkündür.

Topsis diğer sıralama modellerinden ayıran özelliği normalleştirme süreci ve normalleştirilmiş karar matrisinin ağırlıklandırma sürecidir.⁴⁸ Normalleştirme sürecinin yapılma amacı, oran ölçüsü sağlamaktır.⁴⁹ Modelde ele alınması gereken bir dizi kriter vardır ve normalleştirme işlemi kriterlerin aynı birimden ifade edilmelerini sağlar.

Topsis yöntemi farklı araştırmacılar tarafından çok kriterli seçim problemlerinde kullanılmıştır. Aşağıda bu kullanımlara ilişkin çalışmalardan aşağıda örnekler verilecektir.

Robot seçiminde Yurdakul ve diğ.⁵⁰ , Chu ve Lin⁵¹ bulanık yöntemlerle birlikte, Agrawal ve diğerleri⁵² uzman sistemlerle birlikte kullanarak

⁴⁸ Chung-Hsing Yeh, "A Problem-Based Selection of Multi-Attribute Decision-Making Methods", International Transactions In Operational Research, C.9, 2002, s.169–181

⁴⁹ Murat Köksalan -Stanley Zionts, Multiple Criteria Decision Making in the New Millennium Proceedings of the Fifteenth International Conference on Multiple Criteria Decision Making, Ankara, Türkiye, July 10-14, 2000 Series: Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, Vol.507, 2001, s.18

⁵⁰ 11. Ulusal Makine Teorisi Sempozyumu "Topsis Yöntemi İle Robot Seçimi", ed. Mustafa Yurdakul, Soner Mutlu, Yusuf Tansel İç, Ankara: Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, 2003, s.56

⁵¹ T.-C. Chu, Y.-C.Lim, "A Fuzzy Topsis Method for Robot Selection" The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, C.21, 2003, ss.284–290

⁵² V.P. Agrawal, V. Kohli, S.Gupta, "Computer Aided Robot Selection: The Multiattribute Decision Making Approach " International Journal of Production Research", C.29,1991, ss.1629–1644

uygulamışlardır. Yurdakul ve İpek⁵³ malzeme destek sistemlerinin seçiminde, Tsaur ve diğ⁵⁴ havayolu servis kalitesinin değerlendirilmesinde AHP (Analitik Hiyerarşi Yöntemi) ve bulanık yöntemlerle birlikte kullanmışlardır. Üretim süreci seçiminde, Parkan ve Wu⁵⁵ , Ölçer ve Odabaşı⁵⁶, kullanmışlardır.

Yurdakul ve İpek (2005) AHP (Analitik Hiyerarşi Süreci) ve Topsis yöntemlerini bütünleşik bir halde malzeme taşıma sistemi seçimi probleminde uygulamışlardır. AHP metodu ile farklı karar vericilerin görüşleri doğrultusunda sistemleri göreceli önem dereceleri hesaplanmış, Topsis yöntemiyle en uygun tasarım sistemi seçilmiştir.

Ölçer ve Odabaşı (2005), çalışmasında üçgen bulanık sayılar ve topsis yöntemini kullanmıştır. Topsis yönteminin zayıf yönü olan kriter ağırlıklarını belirleme aşamasında, üçgen bulanık sayıları kullanarak, sözel değişkenler için 1–13 arasında geliştirilmiş bir ölçek kullanmışlardır. Bu sayede sübjektif katkı dezavantajı ortadan kalmaktadır. Problem verileri Karaköy-Haydarpaşa-Karaköy seferlerini gerçekleştiren feribotların manevra sistemleri seçimi için yapılmış gerçek bir alan araştırmasından elde edilmiştir. 3 alternatif sistem 7 kritere göre değerlendirilmiştir. Farklı bir çok alanında uzman karar vericiye 1-13 arasında hazırlanan ölçek ile alternatif sistemler için kullanılan sözel değişkenlerdeki değerlemeleri alınmıştır. Bu ifadeler üçgen bulanık sayılar kullanılarak sistemlerin sıralanmasında kullanılmıştır.

Chu ve Lim (2003), üretim firmalarının ürün kalitesi ve verimliliğini artırmak sebebiyle robot seçimi problemi üzerinde çalışmışlardır. Kriterleri objektif ve sübjektif olarak 2 grupta sınıflandırmışlardır. 6 adet kritere sahip 3 robotu 4 karar vericinin görüşleri ile test etmişlerdir. Karar vericilerin sözel veriler ile belirttikleri kriter özelliklerini üçgen bulanık sayılarla sayısal verilere dönüştürmüşlerdir. Chu and Lim, (Liang ve Wang) metodunun eksiklerini üçgen bulanık sayılarla bütünleşik Topsis metodunu kullanarak robot seçim işlemini tamamlamışlardır. Bu metodun

⁵³ **Mustafa Yurdakul, Ahmet Özgür İpek**, “Malzeme Taşıma Sistemlerinin Taşınmasına Yönelik Bir Karar Destek Sistemi Geliştirilmesi”, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, C.20, 2003, ss.171–181

⁵⁴ **Sheng-Hsiung Tsaur, Te-Yi Chang, Chang-Hua Yen**, “The Evaluation of Airline Service Quality by Fuzzy MCDM” Tourism Management, C.23, 2002, ss.107–115

⁵⁵ **Çelik Parkan, Ming-Lu Wu**, “Process Selection with Multiple Objective and Subjective attributes”, Production Planning & Control C.9/2, ss.189–200

⁵⁶ **A.İ.Ölçer, A.Y.Odabaşı**, “A New Fuzzy Multiple Attribute Group Decision Making Methodology and Its Application to Propulsion/Manoeuvring System Selection Problem” European Journal of Operational Research, C.166, 2005, ss.93–104

eksik yönü çok sayıda sübjektif kritere sahip alternatiflerin önem derecelerini belirleme sürecinden kaynaklanmaktadır. Liang ve Wang metodu bulanık sayılara sahip kendine özgü bir karar algoritmasına sahiptir.

Yurdakul vd.(2003) çalışmasında bir firma için programlandığında belirli görevleri yapabilecek belirli eşikte nitel ve nicel koşulları sağlayan özellikteki robotu seçmek için Topsis yönteminden yararlanmıştır. 17 çeşit robot 5 kritere göre ile değerlendirilmiştir. Uzman değerlendirmelerinde Hwang ve Yoon'un 10 puan ölçeğinden yararlanılmıştır. Her bir kriterin seçiminde etkili olan ağırlıkları beş kişilik bir uzman grubu tarafından belirlendiği farz edilmiştir. Kriter ağırlıkları uzman grubun verdiği 1–10 arası puanların her bir kriter için ortalamalarının en yakın tam sayı değeri alınarak belirlenmiştir.

Tsaur (2002) çalışmasında 5 ana kriter altında toplam 15 kritere göre üç hava yolu arasında hizmet kalitesini belirlemeye çalışmıştır. 29 lisanlı tur acentesine gönderilen 450 anket sonucu AHS ile kriterlerin ve alt kriterlerinin göreceli ağırlıkları belirlenmiştir. Hizmet kalitesi değerlendirme sürecinde kişilerin memnuniyet derecelerini ölçmek için bulanık matematik yöntemlerinden biri olan üçgen bulanık sayılar 0–100 ölçeği arasında kullanılmıştır.

Parkan ve Wu (1998) Üretim sektöründe çalışan firmalar için süreç seçimi problemi konusunda çalışmış ve seçim sürecinde alternatiflerin değerlendirilmesini ve birbirlerine kıyasla göreceli üstünlüklerinin ölçülmesini Ocr (Operational Competitiveness Rating) ve Topsis metotlarını birlikte kullanarak yapmıştır. Parkan ve Wu Ocr yönteminin de en iyi çözüme ve en kötü çözüme uzaklık değerlerini aynı anda bularak çözüm elde edildiği için bu iki yöntemin birlikte iyi sonuç verdiğini açıklamışlardır. Önce robot seçimi için metodolojiyi uygulamışlardır. Yöntemde kullanılan metodoloji de kriterler objektif ve sübjektif kriterler olarak iki grupta ele alınmışlar, ayrıca kriterleri girdi veya maliyet kriterleri olarak bir grupta, çıktı veya fayda kriterleri olarak bir diğer grupta toplamışlardır. Örneğin Kalite ve fiyat bir ürünün satın alınmasında, müşteri memnuniyetinde etkili olan iki kilit faktör olarak belirlemişler ve Kalite çıktı veya fayda kriterleri grubunda yâda sübjektif kriterler grubunda fiyat ise girdi veya maliyet kriterleri grubunda yâda objektif kriterler grubunda uygulamada değerlemeye alınmıştır. Saati'nin ölçeğinden yararlanarak uzman değerlendirmeleri ile verileri sayısal hale dönüştürmüşlerdir. 6 robot, 4

objektif (hız, tekrarlanabilirlik, maliyet ve yük kapasitesi)ve 2 sübjektif kriter (servis kalitesi ve programlanabilme esnekliği) esas alınarak seçim işlemi yapılmıştır. Ocra yöntemini kriterlerin göreceli üstünlüğünü belirlemede kullanmışlardır. Wu ve Parkan Topsis yönteminin bilgisayar uygulamalarının kullanıcı dostu olduğunu belirtmişlerdir. Bu nedenle Topsis yöntemini çok sık kullanılan karar modelleri arasında göstermişlerdir.

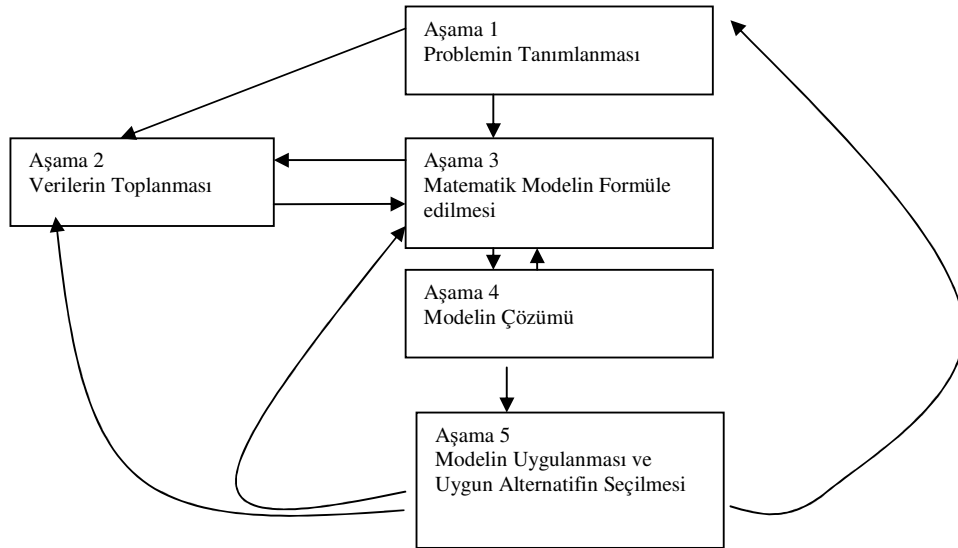
Agrawal vd. (1991) esnek üretim sistemlerini değerlendirilmesinde bilgisayar programlarıyla kullanılabilmesi kolay olması sebebiyle seçim sürecinde Topsis yönteminden yararlanmıştır.

BÖLÜM V

METODOLOJİ

Nükleer reaktör yer seçimi kararı her alternatif yer için, bir dizi kriterden seçim yapılmasını gerektirir. Bu kriterler alternatif seçimi yapılacak tüm bölgeler için uygulanacak olup bazıları sayısal verilerle ifade edilebilirken bazıları sözel verilerle ifade edilebilir nitelik taşımaktadırlar. Bu nedenle öncelikle tüm verileri problemin çözümü için uygun hale getirmek gereklidir.

Bu tez çalışmasında kullanılan karar aşamaları aşağıda Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5: Problemde İzlenen Karar Aşamaları

Buna göre öncelikle problem tanımlanacak ve ilgili veriler toplanarak problem formüle edilecektir. Sonra gerçek problemin esaslarını özetleyen bilimsel matematik model kurulacak ve son adımda ise model uygulanacak, uygun seçenekler arasında karar verilecek mevcut amaçlar üzerindeki etkisi ile bu kararın gelecekteki etkisi ortaya konulacaktır.

Problemin sistematığı belirlendikten sonra karar verici problemin niteliğini açıklamak olanağına kavuşur.

Bu çalışmada kuruluş yeri seçimi için karar verilecektir. Tanımlanan problem yer seçimi konusu ile ilgilidir. Yer seçimi karar aşamaları⁵⁷ Tablo 4’de özetlenmektedir.

Tablo 4: Tesis Yer Seçimi Karar Sürecinin Aşamaları

1. Yer seçimiyle ilgili amaçların, karar ölçütünün ve temel gereklerin belirlenmesi.
2. Muhtemel kuruluş yerlerini, amaçları karşılayan birkaç alternatifte indirgemek için politik, sosyal ve ekonomik verilerin kullanılması.
3. Temel ihtiyaçlar karşısında alternatiflerin değerlendirilmesi ve kabul edilemez nitelikteki alternatiflerin elenmesi.
4. Maliyet-hacim, doğrusal programlama, ağırlık merkezi, yük mesafe, analitik hiyerarşi süreci veya diğer uygun modeller kullanılarak, alternatiflerin sayısal temele göre karşılaştırılması.
5. Daha az somut faktörlerin göz önüne alınması için faktör sıralama yöntemi veya diğer sübjektif yöntemler kullanılarak alternatiflerin sayısal olmayan temele göre karşılaştırılması
6. Bir ağırlıklı puan oluşturularak veya grup karar süreci kullanılarak kantitatif ve kalitatif ölçütler açısından en iyi kuruluş yerinin seçilmesi

Kaynak: Joseph G. Monks “*Schaum’s Serisinden İşlemler Yönetimi*”, çev. Sevinç Üreten, Ankara: Nobel Yayınları, 1996, s.83.

5.1 Yer Seçimi Probleminin Tanımlanması

Yer seçimi karar sürecinde; bölge seçimi, konum seçimi aşamalarına genel bir örnek Tablo 4’de belirtilen sistematığe bağlı olarak belirlenir. Bu belirlendikten sonra kuruluş yeri için alternatifler incelenmelidir. Yer seçimi geri dönüşü olmayan maliyetli bir karardır. Dikkate alınması gereken çok sayıda faktöre sahiptir. Bu

⁵⁷ Joseph G. Monks, Ph. D, *Schaum’s Serisinden İşlemler Yönetimi*, çev. Sevinç Üreten, Ankara: Nobel Yayınları, s.83.

faktörler yer alternatifleri başta olmak üzere seçim sürecinde göz önüne alınması gerekli olan kriterlerden oluşmaktadır. Yer seçimi sürecinde ihtiyaçlara göre farklı özellikteki yer alternatiflerini ve kriterleri değerlendirir. Örneğin yer seçimi bir ticaret işletmesi için yapılacaksa, işletmenin pazarlarına yakınlık, nüfusun kalabalık olduğu yerleşim bölgeleri tercihi kriterleri ön planda olurken, nükleer santral için yer seçimi yapılırken nüfusun az yoğun olduğu bölgeler tercih edilmektedir.

5.2 Yer Seçimi Problemine İlişkin Verilerin Elde Edilmesi

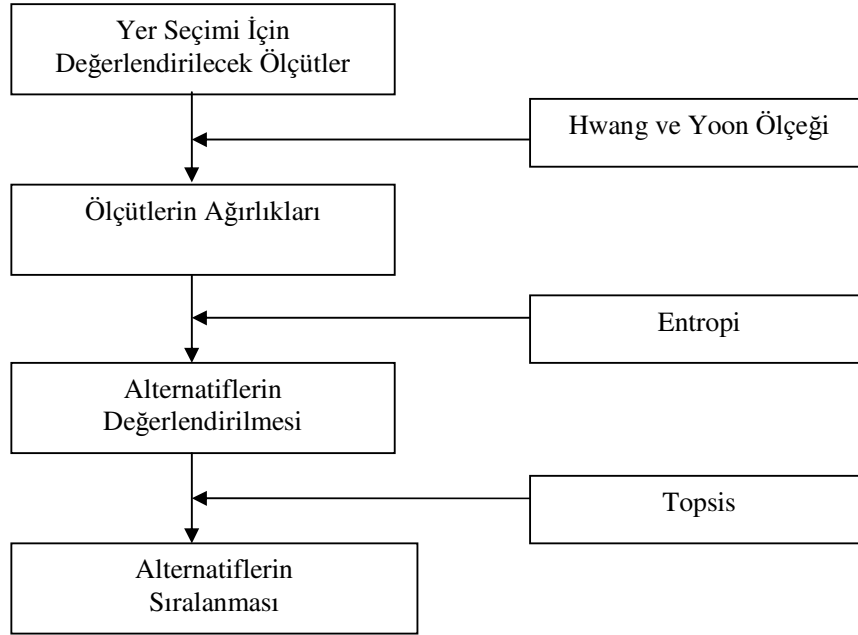
Yer seçimi problemleri, özellikleri gereği çok sayıda verinin kullanılmasını gerektirmektedir. Nükleer santral yer seçimi problemi, sadece tesis yerinin değerlendirilmesini içermemekte, uranyum atıklarının kirletici özelliği ve kimyasal madde atıklarının yanı sıra, bazı büyük kazaların olabileceği de hesaba katılarak bunların çevreye tehlikeli ölçüde zarar verilebileceğinin unutulmaması gerekmektedir. Bu nedenle sadece bölgenin özellikleri değil, nükleer santralin inşa edilmesinin getirdiği özel kısıtlayıcı bir takım kriterleri de göz önüne almak gerekir.

Örneğin, sadece nükleer santral inşası için gereken ekipman, malzeme ve işgücü özellikleri yönünden bölge seçiminde genelde kullanılan maliyet ölçütünü, maksimum kar sağlama veya verimlilik ölçütünü⁵⁸ değil, tesisin gerektireceği ekipmanların çok büyük ebatlarda olması, bu ekipmanların taşınmasının sadece deniz yoluyla mümkün olması vb. nedenler önemli kısıtlayıcılar olmaktadır ve yukarıda bahsedilen bütün kriterlere ek olarak değerlendirilmektedir. Bu değerlendirme işlemi tüm alternatifler ve kriterlerin karşılaştırılmalı olarak puanlanıp, hepsinin bir arada göreceli üstünlük veya dezavantajları dikkate alınarak yapılır.

5.3 Problemin Modellenmesi

Problemin modelleme aşaması Şekil 6'da gösterilen birkaç aşamadan oluşmaktadır.

⁵⁸ **Nihan Çetin**, *Endüstride Fabrika Yeri Seçimi*, İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1994, s. 64.



Şekil 6: Nükleer Santral Yeri Problemi Model Yapısı

İlk olarak tesis yeri seçimi için belirlenen kriterlerden sayısal olarak ifade edilemeyen verileri modele uygun ölçüm yapılabilecek duruma getirebilmek amacıyla Tablo 5’te verilen Hwang ve Yoon’un aralık ölçeği kullanılmıştır.

Tablo 5: Hwang ve Yoon’un Aralık Ölçeği

Kriter Değerlendirme	Değer
En iyi	10
Çok iyi	9
İyi	7
Orta	5
Geçerli	3
Kötü	1
Çok kötü	0

Kaynak: Ching L. Hwang; Kwangs Yoon “Multiple Attribute Decision Making: A state of the Art Survey”, Newyork: Springer-Verlag, 1981, s.28

Kriterler çözüme uygun olarak sıralandıktan sonra, entropi metodunu kullanarak ölçütlerin ağırlıkları hesaplanmış son aşamada ise Topsis metodu kullanılarak her bir alternatif için kriterler değerlendirilerek en elverişli yer sıralaması elde edilmiştir.

Durum tablosunu (karar matrisi) oluşturabilmek için kriterleri karşılaştırılabilir hale getirmek gereklidir. Sayısal olmayan verileri sayısal hale getirmek için Hwang ve Yoon'un aralık ölçeğinden yararlanılacaktır.⁵⁹ Ölçek, (0-10) arasındaki değerlerden oluşmaktadır. Pozitif olması gereken durumlar da 10 puan gerçekleşebilir en yüksek durumu göstermekte, negatif olmaması gereken durumlarda ise 1 puan gerçekleşebilir en düşük durumu ifade etmektedir. Ölçek; çok iyi, iyi, orta, geçerli, kötü durumlarını 9,7,5,3,1 değerleri ile temsil etmektedir.

Verilerin değerlendirme için hazır hale geldiği aşamada (uygulama bölümü Tablo 14) Topsis metodu uygulanarak seçim alternatifleri değerlendirilecek ve seçim yapılacaktır.

İzleyen bölümde Entropi ve Topsis yönteminin ayrıntılarına ilişkin aşamalar ayrıntılarıyla sunulmuştur.

ENTROPİ METODU

1.AŞAMA : Karar matrisinin oluşturulması

$$D = \begin{matrix} & K_1 & K_2 & \dots & K_n \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} & \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{pmatrix} \end{matrix} \quad (4)$$

⁵⁹ Hwang ve Yoon, a.g.e, s.28

Alternatifler: $A = \{A_m \mid i= 1,2,\dots,m \}$

Kriterler : $K= \{K_n \mid j= 1,2,\dots,n \}$

x_{ij} = i alternatifin j kriterine göre sahip olduğu değer

2.AŞAMA :

Karar matrisini oluşturan x_{ij} değerleri formül 5 ile normalleştirilmiştir. Formül 5'in formül 4 ile oluşturulan x_{ij} değerlerine uygulanması sonrasında aşağıda NS_{ij} değerlerine dönüşmüşlerdir.

$$NS_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad (5)$$

3.AŞAMA: *j kriterinin entropi değerinin hesaplanması*

$$E_j = -k \sum_{i=1}^n NS_{ij} \ln NS_{ij}, \forall_j \quad (6)$$

$0 < E_j < 1$ olması garanti edilir. 6. formülde k bir sabiti temsil eder ve

$$k = \frac{1}{\ln(m)} \text{ formülü ile hesaplanır.}$$

m = alternatif sayısı

4.AŞAMA: *j ölçütünün sonuçları tarafından sağlanan ve bilgi farklılığının derecesini gösteren d_j değerlerinin hesaplanması*

$$d_j = 1 - E_j, \forall_j \quad (7)$$

Eğer karar matrisi, bir kriteri diğerine göre üstün kılmiyorsa her iki kriterde eşit ölçüde tercih edilir.

5.AŞAMA: *j* kriter ağırlıklarının hesaplanması

j kriter ağırlıkları $0 \leq w_j \leq 1$ durumunu garanti eder. Aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j}, \forall_j \quad (8)$$

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1 \quad (9)$$

TOPSİS METODU

AŞAMA 1: *Karar Matrisinin Oluşturulması*

Karar matrisi Tablo 6'daki gibi oluşturulur. Burada:

$A = \{a_i = i \in (1, \dots, m)\}$ Sıralanacak alternatifleri

$K = \{k_j = j \in (1, \dots, n)\}$ Sıralamaya yardımcı kriterleri göstermektedir.

m = alternatif yer sayısını

n = değerlendirmeyi sağlayacak kriter sayısını göstermektedir.

$W = \{w_j = j \in (1, \dots, n)\}$ Ağırlıklar kümesi temsil etmektedir.

A \ K	K				
	k_1	k_2	$k_3 \dots k_j \dots$	k_n	
a_1					
a_2					
a_i					
a_{m-1}					
a_m					
W	w_1	w_2	$w_3 \dots w_j \dots$	w_n	

(10)

Tablo 6: : $[A \times K]$ Matrisi veya Durum tablosu

AŞAMA 2: Karar Matrisinin Normalizasyonu

Normalleştirilmiş karar matrisi R ile ifade edilmiştir. Formül 10’da belirtildiği şekilde karar matrisi oluşturulduktan sonra elde edilen x_{ij} değerleri ile R’nin bir parçası olan r_{ij} (normalleştirilmiş karar matrisi) değerleri aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad (11)$$

AŞAMA 3: Ağırlıklı Normalleştirilmiş Karar Matrisinin Oluşturulması

$W = (w_1, w_2, \dots, w_n)$, $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ olacak şekilde kriter ağırlıkları

belirlenir. Ağırlıklar Entropi metodu ile belirlendikten sonra hesaplama adımlarına dahil edilecektir. Ağırlıklı normalleştirilmiş karar matrisi, R matrisinin her sütunu ile karşılık gelen w_j (kriter ağırlıkları) değerinin çarpılması ile hesaplanır. Bu durumda matris V aşağıdaki şekilde gösterilecektir.

$$V = \begin{pmatrix} V_{11} & V_{12} & \dots & V_{1j} & \dots & V_{1n} \\ \cdot & \cdot & & \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & \cdot & & \cdot \\ V_{i1} & V_{i2} & \dots & V_{ij} & \dots & V_{in} \\ \cdot & \cdot & & \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & \cdot & & \cdot \\ V_{m1} & V_{m2} & \dots & V_{mj} & \dots & V_{mn} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \dots & w_j r_{1j} & \dots & w_n r_{1n} \\ \cdot & \cdot & & \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & \cdot & & \cdot \\ w_1 r_{i1} & w_2 r_{i2} & \dots & w_j r_{ij} & \dots & w_n r_{in} \\ \cdot & \cdot & & \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & \cdot & & \cdot \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & \dots & w_j r_{mj} & \dots & w_n r_{mn} \end{pmatrix} \quad (12)$$

Kriter ağırlıkları belirlendikten sonra topsis yönteminin ideal çözüm sonuçlarını belirlemek izleyen basamakta hesaplanmaktadır.

AŞAMA 4: İdeal ve Negatif İdeal Sonuçların Belirlenmesi

Aşama 3'te hesaplanan v_{ij} değerleri ile yapay alternatif değişkeni olarak isimlendirilen A^* ve A^- hesaplanır.

$$A^* = \{v_1^*, v_2^*, \dots, v_j^*, \dots, v_n^*\} \quad (13)$$

$$= \{ (\max_i v_{ij} \mid j \in J), (\min_i v_{ij} \mid j \in J') \mid i = 1, 2, \dots, m \}$$

$$A^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_j^-, \dots, v_n^-\} \quad (14)$$

$$= \{ (\min_i v_{ij} \mid j \in J), (\max_i v_{ij} \mid j \in J') \mid i = 1, 2, \dots, n \}$$

Burada, daha önce $K = \{1, \dots, j, \dots, n\}$ ile gösterilen kriterler kümesi fayda kriterleri ve maliyet kriterleri olarak iki gruba ayrılmıştır.

$J' = \{1, \dots, j, \dots, n\}$ maliyet kriterlerini gösteren küme

$J = \{1, \dots, j, \dots, n\}$ fayda kriterlerini gösteren küme

A^* = en uygun alternatifi (ideal çözümü) gösteren küme

A^- = en az tercih edilen alternatif (negatif ideal çözümü) gösteren küme

AŞAMA 5: Ayırma Ölçümünün Hesaplanması

Alternatifler arasındaki mesafe ölçülür. Her alternatifin pozitif ideal çözümünden olan uzaklığı :

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2} \quad i=1, 2, \dots, m \text{ formülü kullanılarak hesaplanır.} \quad (15)$$

Her alternatifin negatif ideal çözümünden olan uzaklığı ise :

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad i = 1, 2, \dots, m \text{ formülü kullanılarak hesaplanır.} \quad (16)$$

S_i^* = i alternatifinin pozitif ideal çözümünden uzaklığını gösterir.

S_i^- = i alternatifinin negatif ideal çözümünden uzaklığını gösterir.

AŞAMA 6: *İdeal Çözüme Göreli Yakınlığın Hesaplanması*

Her bir yer alternatifinin "A_i" pozitif ideal çözüme "A*" olan göreceli yakınlığı, aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir.

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-}, 0 < C_i^* < 1, i=1,2,\dots,n \quad (17)$$

AŞAMA 7: *Tercih Sıralamasının Yapılması*

Formül 17 ile elde edilen C_i^* değerleri kullanılarak alternatifler azalan şekilde sıralanır. Yöntemin adımları sonuç bölümünde verileri içeren tablolarla gösterilmektedir.

BÖLÜM VI

UYGULAMA VE SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Problemin Tanımlanması

Bu çalışmada Türkiye’de kurulması planlanan olası bir nükleer santral için yer seçimi yapılmıştır. Problem 49 alt kritere ve 12 ana kritere sahip bir yer seçimi problemidir. İncelen bazı kriterler alternatifler için farksız ve uygun bulunmuştur. Bu kriterler çözüme dahil edilmemiş 21 alt kriter ve 7 ana kriter değerlendirmeye alınmıştır.

Verilerin Toplanması

Bölüm V’te verilerin elde edilme şeklini açıklamıştık. Elde edilen veriler uygulamada kullanılış biçimleriyle aşağıda tek tek gösterilmiştir. Seçim sürecinde bölgelerin özellikleri bakımından farklı nitelik taşımamaları ve modelde kullanımının zorunlu olmaması nedeniyle daha önce bahsi geçen kriterlerin hepsi ayrıntılandırılmamıştır.

Nüfus Durumu

Sıfır yoğunluklu bölge (0-2 km arasındaki mevcut yoğunluk) ve düşük yoğunluklu (2-10 km, 10-20 km arasındaki mevcut yoğunluk) bölgenin belirlenmesi için izlenmesi gereken süreç karmaşık ve zaman alıcıdır. Bu çalışmada bu kapsamdaki veriler hesaplanmış olarak alınmıştır. Hesaplama yöntemi için “Rüzgâr Gülü” adı verilen yöntem izlenmiştir.⁶⁰ Bu çalışmada santral kurulması düşünülen yerin çevresine eş merkezli daireler çizilerek ve bu daireler 22,5 derecelik açılarla 16 eşit parçaya ayrılır. Ve eş merkezli dairelerin 0-2, 2-10, ve 10-20 km’lik bölgeleri

⁶⁰ a.g.t., 1982, s.44

taranması sonucunda veriler elde edilmiştir. Nüfus durumu için bölgelerin 1990 nüfus sayımı tahminlerinden hareket edilmiştir. Bölgeye en yakın önemli yerleşim merkezinin uzaklığı da nüfus kriteri içinde ele alınmış ve Tablo 7’de gösterilen sonuçlar elde edilmiştir:

- 0–2 km içerisindeki mevcut yoğunluk
- 2–10 km içerisindeki mevcut yoğunluk
- 10–20 km içerisindeki mevcut yoğunluk
- En yakın yerleşme merkezine uzaklık

Uygulama kısmında 0-2 km arasındaki nüfus yoğunluğu tüm bölgeler için aynı özellikte olduğu için bu kısım problemin çözümüne dahil edilmemiştir.

Tablo 7: Çalışmada kullanılacak olan nüfus durumu verileri

<i>Bölge</i>	0–2 km arası Nüfus	2–10 km arası Nüfus	10–20 km arası Nüfus	En yakın yerleşim merkezine uzaklık
Polіçe	0 kişi	1411 kişi	13498 kişi	9 km
Çilingos	0 kişi	1387 kişi	16448 kişi	9 km
Kefken	0 kişi	7757 kişi	26795 kişi	3 km
İnceburun	0 kişi	4697 kişi	58932 kişi	5 km

KAYNAK: Ahmet R. Bayülken, “Nükleer Santrallerin Güvenlikli Yer Seçimine Çok Kriterli Seçim Yöntemlerinin Katkısı”, İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Nükleer Enerji Enstitüsü, Doçentlik Tezi, Haziran 1982, s.76

Deprem Durumu

Bu kriteri ilgilendiren 2 adet alt kriterin varlığından 3.bölümde bahsedilmişti. Bu bölümde yapılan hesaplamalar ortaya konulmayacaktır. Jeotektonik haritalar,

şiddet ölçekleri ve diğer jeolojik hesaplamalar ayrıntılı olarak yapılmış ve aşağıda Tablo 8’de gösterilen veriler elde edilmiştir.⁶¹

Aktif faya uzaklık verileri aralık halinde düzenlendiği için uygulamada ortalamaları alınarak modele dahil edilmişlerdir. Tablo 14’te modelde ele alınan veriler düzenlenmiştir.

Tablo 8: Çalışmada kullanılacak olan deprem durumu verileri

<i>Bölge</i>	Sismik katsayı sıralaması	Aktif faya uzaklık
Poliçe	1.	70–80 km
Çilingos	2.	70–80 km
Kefken	4.	40–50 km
İnceburun	3.	100 km

KAYNAK: Ahmet R. Bayülken, “Nükleer Santrallerin Güvenlikli Yer Seçimine Çok Kriterli Seçim Yöntemlerinin Katkısı”, İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Nükleer Enerji Enstitüsü, Doçentlik Tezi, Haziran 1982, s.77

Jeolojik Özellikler

Yapılan incelemeler sonucu tüm bölgelerin bu özellik bakımından yeterli olması sebebiyle jeolojik kriterlerin verileri uygulamada dikkate alınmayacaktır. Bu nedenle veriler gösterilmemektedir.

Coğrafi Özellikler

Tüm büyük sanayi işletmelerin de olduğu gibi nükleer santraller için ulaşım çok önemli bir konudur. Bölgeye ulaşımın özellikle inşaat aşamasında sorunlu olmaması gerekmektedir. Normal çalışma zamanı içerisinde yakıt ikmali için yakıt taşınması ve gerektiğinde kullanılmış yakıtların nakli için ulaşım şebekesinin çok uygun olmasına dikkat edilmesi gerekmektedir.

⁶¹ “Türkiye Elektrik Kurumu, **Nükleer Santrallerin Kuruluş Yerlerinin Seçiminde Araştırılacak Konuların Genel Tanımlanması**, TEK_NED” Aktaran Bayülken, R. Ahmet, **Nükleer Santrallerin Güvenlikli Yer Seçimine Çok Kriterli Seçim Yöntemlerinin Katkısı**, İstanbul: Nükleer Enerji Enstitüsü.

Bölgelerin hepsi deniz kenarında bulundukları için deniz yoluyla ulaşım mümkündür. Bölgelere en yakın hava limanları İstanbul ve Samsun dur. Tren yolu ile ulaşım olanağı yoktur. Kara yolu bağlantıları açısından ise her yöre için belirli uzunlukta yol yapımı gerekmektedir.

Topografya açısından bölgelerin ova ya da vadi niteliğinde olması farklı sonuçlar doğuracaktır. Örneğin bir radyoaktif bulut oluşması halinde bölgenin çevresinin tepeli olup olmaması çok önemlidir. Bulutun dağılması bu tepelerin durum ve yüksekliğine bağlıdır. Nükleer santral kuruluş yerinin düzlük yerlerde etrafı yüksek tepelerle çevreli olmayan bölgeler kurulmasına dikkat etmek gerekmektedir. İncelemeler sonucunda bölgeler arasında görülen farklar da Tablo 9’da gösterilmektedir.

Tablo 9: Çalışmada kullanılacak olan coğrafi özellikler ile ilgili veriler

<i>Bölge</i>	Deniz Yolu Olanağı	Kara Yolu Olanağı	Hava Limanı Uzaklığı	Topografya
Polıçe	Orta	25 km	110 km	İyi
Çilingos	Orta	15 km	85 km	İyi
Kefken	İyi	5 km	120 km	İyi
İnceburun	Orta	10 km	160 km	Orta

KAYNAK: Ahmet R. Bayülken, “Nükleer Santrallerin Güvenlikli Yer Seçimine Çok Kriterli Seçim Yöntemlerinin Katkısı”, İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Nükleer Enerji Enstitüsü, Doçentlik Tezi, Haziran 1982, s.80

Meteorolojik Özellikler

Meteorolojik veriler her bölgeye özgün olarak temin edilebilen nitelikte verilerdir. Tablo 10’da görülen yağış durumu, ortalama yağışlı gün başına ortalama yağış miktarı olarak (mm/gün) verilmiştir.

Sıcaklık değişimi için senelik olarak alınan veriler en sıcak ay ortalaması ve en soğuk ay ortalaması farkı göz önüne alınarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamaların sebebi daha önce kriterlerin açıklanması bölümü de belirtilmiştir. Ama önemi bir kez daha vurgulanırsa alınan doz miktarı herhangi bir sızıntı halinde canlıları hayati

biçimde etkilediği için ve sızıntının yağmur, sıcaklık(vb.) hava olaylarıyla taşınmasının mümkün olması sebebiyle sıcaklık değişimin mümkün olduğunca az olması istenir.

Tablo 10: Meteorolojik Özellikler

<i>Bölge</i>	Sıcaklık Değişimi	Rüzgâr Durumu	Yağış Durumu
Poliçe	17,3 °C	Çok iyi	8,89 mm/gün
Çilingos	17,3 °C	İyi	5,90mm/gün
Kefken	17,3 °C	Geçerli	5,84 mm/gün
İnceburun	16,1°C	Orta	5,28 mm/gün

KAYNAK: Ahmet R. Bayülken, “Nükleer Santrallerin Güvenlikli Yer Seçimine Çok Kriterli Seçim Yöntemlerinin Katkısı”, İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Nükleer Enerji Enstitüsü, Doçentlik Tezi, Haziran 1982, s.81

Soğutma Suyu Olanakları

Soğutma suyu sorunu iki alt kriter yardımıyla ele alınabilir. Kullanılacak suya uzaklık ve soğutma suyu kaynağının sıcaklığı olarak incelenen bu alt kriterlerin sonuçları da Tablo 11’de verilmektedir.

Tablo 11: Soğutma suyu özellikleri

<i>Bölge</i>	Uzaklık	Kaynağın Sıcaklığı (en sıcak ay)
Poliçe	700 m	23°C
Çilingos	1200 m	23°C
Kefken	500 m	23°C
İnceburun	250 m	23,5°C

KAYNAK: Ahmet R. Bayülken, “Nükleer Santrallerin Güvenlikli Yer Seçimine Çok Kriterli Seçim Yöntemlerinin Katkısı”, İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Nükleer Enerji Enstitüsü, Doçentlik Tezi, Haziran 1982, s.81

Arazi Kullanımı

İncelenen yörelerin hepsi askeri bölgelerin ve sanayi bölgelerinin dışında kalmaktadır. Bölgelerde yapılan incelemelerde maden yataklarına da rastlanmamıştır. Sonuç Tablo 12’de sunulmaktadır.

Tablo 12: Arazi Kullanımı

<i>Bölge</i>	Orman	Tarım Alanı	Turizm
Polіçe	Var	Yok	Yok
Çilingos	Var	Yok	Yok
Kefken	Yok	Var	Var
İnceburun	Yok	Var	Var

KAYNAK: Ahmet R. Bayülken, “Nükleer Santrallerin Güvenlikli Yer Seçimine Çok Kriterli Seçim Yöntemlerinin Katkısı”, İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Nükleer Enerji Enstitüsü, Doçentlik Tezi, Haziran 1982, s.83

Ekonomik Özellikler

İnşaat bölgesini ilk olarak ilgilendiren kriter gerekli arazinin satın alınmasıdır. Gerekli arazinin bir devlet arazisi olması, özel mülkiyete ait olması değişik fiyatların ortaya çıkmasına sebep olacaktır. Bu değişik fiyatların da kara vermede önemli bir etken olduğu açıktır.

Arazinin temininden sonra gelen en önemli adım, şantiyelerin kurulması ve tüm diğer inşaat hazırlıklarını yapılmasıdır. İnşaat bölgesinin uzaklığı çevredeki engebeler gibi nedenler bu hazırlık masraflarını artırıcı rol oynamaktadır.

Soğutma suyunun, nükleer santralin en önemli teknik gereksinimlerinden bir olduğundan daha önce bahsetmiştik. Santralin soğutma suyuna mümkün olduğunca yakın olması kurulması gerekecek soğutma sistemi masraflarının düşmesini sağlayacağı için tercih edilmektedir.

Bir nükleer santralin, diğer enerji üreten santrallerde olduğu gibi büyük sanayi bölgelerine hiç olmasa enterkonnekte şebekelere yakın olması güç nakil

hatlarına yapılacak yatırımın daha düşük olmasını sağlayacaktır. Tablo 13’de yer alternatiflerine göre bu değerlendirme sonuçları özetlenmektedir.

Tablo 13: Ekonomik Özellikler

<i>Bölge</i>	Arazi	İnşaat	Soğutma Sistemi	Güç Hattı
Polıçe	İyi	İyi	Orta	İyi
Çilingos	İyi	İyi	İyi	İyi
Kefken	Kötü	Orta	İyi	İyi
İnceburun	Kötü	Orta	Çok İyi	Kötü

KAYNAK: Ahmet R. Bayülken, “Nükleer Santrallerin Güvenlikli Yer Seçimine Çok Kriterli Seçim Yöntemlerinin Katkısı”, İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Nükleer Enerji Enstitüsü, Doçentlik Tezi, Haziran 1982, s.84

Kriter ağırlıklarını belirlemede ve çok kriterle seçim yapma yöntemlerinde çok sayıda geliştirilmiş modellere rastlanmaktadır. Kullanılan yöntemlere göre farklı sonuçlar elde edilebilmektedir. Bu çalışma ile ÇKKV metotlarından Hwang ve Yoon’un geliştirdiği Topsis yöntemin bir yer seçimi problemine uygulanabilirliği gösterilmek istenmiştir. Kriter ağırlıklarını belirlenmesi için problemin çözümüne entropi metodu dahil edilmiştir. Topsis metodu ile entropi metodunun birlikte kullanımı güvenilirliği artıracaktır.

İncelenen yörelerden Polıçe ve Çilingos Trakya’da Kırklareli sınırında bulunmaktadır. Kefken Kocaeli sınırları içindedir. İnceburun ise Sinop ili sınırları içinde olup coğrafi konumları aşağıdaki gibidir:

Polıçe : (P) 41⁰44’ K - 28⁰02’ D

Çilingos: (Ç) 41⁰32’ K - 28⁰12’ D

Kefken: (K) $41^0 12' K - 30^0 19' D$

İnceburun: (S) $42^0 05' K - 34^0 58' D$

KAYNAK: Ahmet R. Bayülken, “Nükleer Santrallerin Güvenlikli Yer Seçimine Çok Kriterli Seçim Yöntemlerinin Katkısı”, İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Nükleer Enerji Enstitüsü, Doçentlik Tezi, Haziran 1982, s.75

Matematiksel Modelin Formüle Edilmesi

Modelin formülasyonun da önce kriterler tanımlanarak Tablo 14 ile gösterilen karar matrisi oluşturulmuş, Hwang ve Yoon’un ölçeği kullanılarak sözel kriterler sayısal biçime dönüştürülmüştür. İzleyen aşamada Entropi metodu ile kriterlerin ağırlıkları belirlenmiştir. Son aşamada Topsis metodu kullanılarak belirlenen yer alternatifleri arasında sıralama yapılmıştır.

Formül 4’te belirtildiği şekilde karar matrisi düzenlenmiş aşağıda Tablo 14 de sergilenmiştir:

Aşağıda Tablo 14’ü oluşturan karar matrisi elemanları açıklanmıştır ve Tablo 1’de açık olarak verilen kriterler ve alternatifleri gösteren durum tablosundan elde edilmiştir.

Alternatifler:

Poliçe (P) = a_1

Çilingos (Ç) = a_2

Kefken (K) = a_3

İnceburun (İ) = a_4

Kriterler:

I. Deprem

2-10 km arası kişi = k_1

10-20 km arası kişi = k_2

Yerleşim Merkezine Uzaklık = k_3

II. Deprem

Sismik Katsayı = k_4

Aktif Faya Uzaklık = k_5

III. Coğrafi Özellikler

Deniz Yolu Olanağı = k_6

Kara Yolu İhtiyacı = k_7

Hava Limanı Uzaklığı = k_8

Topografya = k_9

IV. Meteorolojik Özellikler

Sıcaklık Değişimi = k_{10}

Rüzgar Durumu = k_{11}

Yağış Durumu = k_{12}

V. Soğutma Suyu

Uzaklık = k_{13}

Kaynağın Sıcaklığı = k_{14}

VI. Arazi Kullanımı

Orman = k_{15}

Tarım = k_{16}

Turizm = k_{17}

VII. Ekonomik Durum

Arazi Alımı = k_{18}

İnşaat Masrafları = k_{19}

Soğutma Sistemi = k_{20}

Güç Hattı = k_{21}

Tablo 14: Verilerin Hwang ve Yoon ölçeği ile sayısal ifade biçimine dönüştürülmesi ve formül 4 ile gösterilen karar matrisi

AxK Karar Matrisi

K \ A	k ₁	k ₂	k ₃	k ₄	k ₅	k ₆	k ₇	k ₈	k ₉	k ₁₀	k ₁₁	k ₁₂	k ₁₃	k ₁₄	k ₁₅	k ₁₆	k ₁₇	k ₁₈	k ₁₉	k ₂₀	k ₂₁
a ₁	1411	13498	9	1	75	5	25	110	7	17,3	9	8,89	700	23	1	9	9	7	7	5	7
a ₂	1387	16448	9	2	75	5	15	85	7	17,3	7	5,90	1200	23	1	9	9	7	7	7	7
a ₃	7757	26795	3	4	45	7	5	120	7	17,3	3	5,84	500	23	9	1	1	1	5	7	7
a ₄	4697	58932	5	3	100	5	10	160	5	16,1	5	5,28	250	23,5	9	1	9	1	5	9	1

Modelin Çözümü

Tablo 14'deki veriler Microsoft Office Excel 2003 programı kullanılarak çözülmüştür. Tablo 14 formül 4 ve formül 10 ile gösterilen AxK karar matrisini temsil etmektedir. Entropi metodu adımları, formül 5,6,7,8 ve 9 kullanılarak kriter ağırlıkları hesaplanmıştır. Son olarak Tablo 14'de oluşturulan karar matrisine Topsis metodu adımları formül 11,12,13,14,15,16 ve 17'de belirtildiği biçimde uygulanarak seçim süreci tamamlanmıştır.

Modelin Uygulanması ve Uygun Alternatifin Seçilmesi

Modelin çözümü aşağıda ilgili Tablolara referans verilerek sıra ile gösterilmiştir.

Entropi Değerleri

Tablo 14'deki karar matrisine formül 5 uygulanmış ve elde edilen normalleştirilmiş NS_{ij} değerleri Tablo 15'de sergilenmiştir.

Tablo 15: Normalleştirilmiş (NS_{ij}) Entropi Değerleri

	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7
a_1	0,0925	0,1167	0,3462	0,1	0,2542	0,2273	0,4545
a_2	0,0909	0,1422	0,3462	0,2	0,2542	0,2273	0,2727
a_3	0,5086	0,2316	0,1154	0,4	0,1526	0,3181	0,0910
a_4	0,3080	0,5095	0,1922	0,3	0,3390	0,2273	0,1818

	k_8	k_9	k_{10}	k_{11}	k_{12}	k_{13}	k_{14}
a_1	0,2316	0,2692	0,2544	0,3750	0,3431	0,2642	0,2486
a_2	0,1789	0,2692	0,2544	0,2917	0,2277	0,4528	0,2486
a_3	0,2526	0,2692	0,2544	0,1250	0,2254	0,1887	0,2486
a_4	0,3369	0,1924	0,2368	0,2083	0,2038	0,0943	0,2542

	k_{15}	k_{16}	k_{17}	k_{18}	k_{19}	k_{20}	k_{21}
a_1	0,0500	0,45	0,3214	0,4375	0,2917	0,1786	0,3182
a_2	0,0500	0,45	0,3214	0,4375	0,2917	0,2500	0,3182
a_3	0,4500	0,05	0,0358	0,0625	0,2083	0,2500	0,3182
a_4	0,4500	0,05	0,3214	0,0625	0,2083	0,3214	0,0454

Formül 6 kullanılarak E_{ij} değerleri hesaplanmış aşağıda Tablo 16'da gösterilmiştir.

Tablo 16: E_j Değerleri

E_1	0,8257
E_2	0,8731
E_3	0,9382
E_4	0,9232
E_5	0,9737
E_6	0,9915
E_7	0,8950
E_8	0,9816
E_9	0,9932
E_{10}	0,9997
E_{11}	0,9478
E_{12}	0,9839

E_{13}	0,9001
E_{14}	0,9999
E_{15}	0,7345
E_{16}	0,7345
E_{17}	0,8753
E_{18}	0,7718
E_{19}	0,9899
E_{20}	0,9851
E_{21}	0,8898

Formül 7 yardımıyla “ d_j ” değerleri hesaplanmış Tablo 17’de gösterilmiştir.

Tablo 17: “ d_j ” değerleri

d_1	0,1743
d_2	0,1269
d_3	0,0619
d_4	0,0768
d_5	0,0263
d_6	0,0085
d_7	0,1050
d_8	0,0185
d_9	0,0068
d_{10}	0,0003
d_{11}	0,0523
d_{12}	0,0162

d_{13}	0,0999
d_{14}	0,0001
d_{15}	0,2656
d_{16}	0,2656
d_{17}	0,1246
d_{18}	0,2283
d_{19}	0,0101
d_{20}	0,0150
d_{21}	0,1103

Formül 8 kullanılarak w_j değerleri hesaplanmış ve Tablo 18’de gösterilmiştir.

Tablo 18: Kriter Ağırlıkları “ w_j ” değerleri

w_1	0,0972	w_{11}	0,0291
w_2	0,0708	w_{12}	0,0090
w_3	0,0345	w_{13}	0,0558
w_4	0,0428	w_{14}	0,0001
w_5	0,0147	w_{15}	0,1481
w_6	0,0047	w_{16}	0,1481
w_7	0,0586	w_{17}	0,0696
w_8	0,0103	w_{18}	0,1273
w_9	0,0038	w_{19}	0,0056
w_{10}	0,0002	w_{20}	0,0083
		w_{21}	0,0615

Topsis Değerleri

Formül 11 yardımıyla veriler normalleştirilmiş ve x_{ij} değerleri aşağıdaki Tablo 19’da sergilenmiştir.

Tablo 19: Topsis metodu ile verilerin normalleştirilmesi

	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7	k_8
a_1	0,1520	0,1981	0,6429	0,1826	0,4916	0,4490	0,8006	0,4516
a_2	0,1494	0,2414	0,6429	0,3651	0,4916	0,4490	0,4804	0,3490
a_3	0,8357	0,3932	0,2143	0,7303	0,2950	0,6286	0,1601	0,4927
a_4	0,5061	0,8648	0,3571	0,5477	0,6555	0,4490	0,3203	0,6569

	k_9	k_{10}	k_{11}	k_{12}	k_{13}	k_{14}	k_{15}
a_1	0,5337	0,5086	0,7028	0,6704	0,4674	0,4973	0,0781
a_2	0,5337	0,5086	0,5466	0,4449	0,8013	0,4973	0,0781
a_3	0,5337	0,5086	0,2343	0,4404	0,3339	0,4973	0,7028
a_4	0,3812	0,4733	0,3904	0,3982	0,1669	0,5081	0,7028

	k ₁₆	k ₁₇	k ₁₈	k ₁₉	k ₂₀	k ₂₁
a ₁	0,7028	0,5762	0,7000	0,5754	0,3501	0,5754
a ₂	0,7028	0,5762	0,7000	0,5754	0,4901	0,5754
a ₃	0,0781	0,0640	0,1000	0,4110	0,4901	0,5754
a ₄	0,0781	0,5762	0,1000	0,4110	0,6301	0,0822

Formül 12 kullanılarak, formül 9 sonucu elde edilen kriter ağırlıkları kullanılarak ağırlıklı normalleştirilmiş karar matrisi hesaplanmış ve aşağıda Tablo 20’de gösterilmiştir.

Tablo 20: Ağırlıklı Normalleştirilmiş Karar Matrisi

	k ₁	k ₂	k ₃	k ₄	k ₅	k ₆
a ₁	0,0148	0,0140	0,0222	0,0078	0,0072	0,0021
a ₂	0,0145	0,0171	0,0222	0,0156	0,0072	0,0021
a ₃	0,0812	0,0278	0,0074	0,0313	0,0043	0,0030
a ₄	0,0492	0,0612	0,0123	0,0234	0,0096	0,0021

	k ₇	k ₈	k ₉	k ₁₀	k ₁₁	k ₁₂	k ₁₃	k ₁₄
a ₁	0,0469	0,0047	0,0020	0,0001	0,0205	0,0060	0,0261	0,00004
a ₂	0,0282	0,0036	0,0020	0,0001	0,0159	0,0040	0,0447	0,00004
a ₃	0,0094	0,0051	0,0020	0,0001	0,0068	0,0040	0,0186	0,00004
a ₄	0,0188	0,0068	0,0014	0,0001	0,0114	0,0036	0,0093	0,00005

	k ₁₅	k ₁₆	k ₁₇	k ₁₈	k ₁₉	k ₂₀	k ₂₁
a ₁	0,0116	0,1041	0,0401	0,0891	0,0032	0,0029	0,0354
a ₂	0,0116	0,1041	0,0401	0,0891	0,0032	0,0041	0,0354
a ₃	0,1041	0,0116	0,0045	0,0127	0,0023	0,0041	0,0354
a ₄	0,1041	0,0116	0,0401	0,0127	0,0023	0,0052	0,0051

Formül 13 ve formül 14 kullanılarak ideal ve negatif ideal sonuçlar aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$J' = \{1, \dots, j, \dots, n\}$ maliyet kriterlerini gösteren küme

$J = \{1, \dots, j, \dots, n\}$ fayda kriterlerini gösteren küme, ideal ve negatif ideal sonuçlar için belirlenmelidir.

$J' = \{k_1, k_2, k_4\}$

$J = \{k_3, k_5, k_6, k_7, k_8, k_9, k_{10}, k_{11}, k_{12}, k_{13}, k_{14}, k_{15}, k_{16}, k_{17}, k_{18}, k_{19}, k_{20}, k_{21}\}$

$$A^* = (\min_{i1}, \min_{i2}, \max_{i3}, \min_{i4}, \max_{i5}, \max_{i6}, \max_{i7}, \max_{i8}, \max_{i9}, \max_{i10}, \max_{i11}, \max_{i12}, \max_{i13}, \max_{i14}, \max_{i15}, \max_{i16}, \max_{i17}, \max_{i18}, \max_{i19}, \max_{i20}, \max_{i21})$$

$$A^* = (0,0145, 0,0140, 0,0222, 0,0078, 0,0096, 0,0030, 0,0469, 0,0068, 0,0020, 0,0001, 0,0205, 0,0060, 0,0447, 0,0001, 0,1041, 0,1041, 0,0401, 0,0891, 0,0032, 0,0052, 0,0354)$$

$$A^- = (\max_{i1}, \max_{i2}, \min_{i3}, \max_{i4}, \min_{i5}, \min_{i6}, \min_{i7}, \min_{i8}, \min_{i9}, \min_{i10}, \min_{i11}, \min_{i12}, \min_{i13}, \min_{i14}, \min_{i15}, \min_{i16}, \min_{i17}, \min_{i18}, \min_{i19}, \min_{i20}, \min_{i21})$$

$$A^- = (0,0812, 0,0612, 0,0074, 0,0313, 0,0043, 0,0021, 0,0094, 0,0036, 0,0014, 0,0001, 0,0068, 0,0036, 0,0093, 0,00004, 0,0116, 0,0116, 0,0045, 0,0127, 0,0023, 0,0029, 0,0051)$$

Formül 15, 16 kullanılarak alternatiflerin pozitif ideal çözüme olan mesafeleri ve negatif ideal çözüme olan mesafeleri hesaplanmış ve bulgular aşağıda Tablo 21 ve 22’de gösterilmiştir.

Tablo 21: Pozitif Ayırma Ölçüleri (S_i^+ Değerleri)

S_1^+	0,0945
S_2^+	0,0950
S_3^+	0,1529
S_4^+	0,1457

Tablo: 22 Negatif Ayırma Ölçüleri (S_i^- Değerleri)

S_1^-	0,1609
S_2^-	0,1586
S_3^-	0,1034
S_4^-	0,1053

Formül 17 kullanılarak alternatiflerin ideal çözüme göreceli olarak yakınlık mesafeleri hesaplanmış ve sıralama değerleri aşağıdaki gibi elde edilmiştir:

İdeal Çözüme Göreli Yakınlıklar ve Sıralama Sonucu

$$C1 = 0,6301$$

$$C2 = 0,6254$$

$$C3 = 0,4033$$

$$C4 = 0,4196$$

Çalışmamızın bu bölümünde çok kriterli seçim yöntemlerinden Topsis ve Entropi tabanlı bütünleşik bir yöntem kullanılarak nükleer santral yer seçimi üzerine bir uygulama yapılmıştır. Topsis yöntemi sonucunda seçim yapılan bölgelerden Poliçe en uygun yer olarak seçilmiş, Sonra Çilingos, İnceburun ve Kefken ise II. III. ve IV. en iyi alternatif olarak belirlenmiştir.

BÖLÜM VII

SONUÇ VE YENİ ARAŞTIRMA FIRSATLARI

Bu tez çalışmasında Türkiye’de kurulması planlanan bir nükleer santralin kuruluş yerinin belirlenmesinde kullanılacak bir rehber geliştirilmiştir. Kuruluş yeri seçimi problemi birden fazla kriter ve alternatifi bir arada değerlendirmeyi gerektirmektedir. Bu nedenle önerilen rehber, problemin tanımlanması, verilerin toplanması, matematiksel modelin formüle edilmesi, modelin çözümü, modelin uygulanması ve uygun alternatifin seçilmesi bölümlerinden meydana gelen beş aşamayı içermektedir.

Bu çalışmada ele alınan nükleer santral kuruluş yeri seçimi problemi 21 kriteri içermekte ve bu kriterler dikkate alınarak yapılacak analiz dört yer alternatifi üzerinde yoğunlaşmaktadır.

Çalışmamızda önerilen matematiksel model Topsis ve Entropi tabanlı bütünleşik bir yapıda geliştirilmiş ve bu ÇKKV yöntemlerinin literatürde belirtilen avantajlarından yararlanmak hedeflenmiştir. Entropi yöntemi kullanılan kriterlerin ağırlıklarının hesaplanmasında, Topsis yöntemi ise alternatiflerin seçimi sürecinde kullanılmıştır.

Bu çalışmanın uygulama sürecindeki nesnellik düzeyini artırmak amacıyla kriterlerin ağırlıklarının hesaplanmasında ve alternatiflerin değerlendirilmesinde bulanık matematikten yararlanmak mümkündür. Örneğin bu çalışmada değerlendirmeye alınan 21 kriterin 10 tanesi sözel değişkenler ile ifade edilmektedir. Sözel değişkenlerin sayısal verilere dönüştürülmesinde güvenilirlik derecesini artırmak amacıyla bulanık matematik kullanılabilir.

KAYNAKÇA

Agrawal, V.P.; Kohli, V; Gupta, S. “Computer Aided Robot Selection: The Multiattribute Decision Making Approach ” International Journal of Production Research”, C.29,1991

Alcaraz, J. L. G.; Morales, S. A. N.; Nunez, J. J. D. ”Analisis Comparativo de Technicas Multicriterio Para Justification de Inversiones en Robots”, Ciencia Ergo Sum, Cilt: 13, Sayı: 1, 2006

Barron, F.H.; Baret, B.E. ”Decision Quality Using Ranked Attribute Weights” Management Science, Cilt: 42, 1996

Bayülken, R. A. Nükleer Santrallerin Güvenlikli Yer Seçimine Çok Kriterli Seçim Yöntemlerinin Katkısı, İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Nükleer Enerji Enstitüsü, 1982

Bayülken, R. A. Türkiye’nin Uzun Vadeli Güç Politikasının Tespitinde Çok Kriterli Seçim Metotlarının Kullanılması, İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Bülten No.29, 1976

Boyacı, H. Computer Implementation of Fuzzy Decision Making (With an Application to Nuclear Power Plant Site Selection), İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Nükleer Enerji Enstitüsü, 1994

Bölat, B. Çok Amaçlı Karar Verme Yöntemleri ve Uygulamaları, İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2004

Cheng, H. C. “Evaluating Naval Tactical Misilse Systems by Fuzzy Ahp base on the Grade Value of Membership Function” European Journal of Operational Research, Cilt: 96, 1996

Cheng, H. C. “A Problem based Selection of Multi-Attribute Decision Making Methods” International Transactions In Operational Research, Cilt: 9, 2002

Chu, T. C.; Lim, C. Y. “A Fuzzy Topsis Method for Robot Selection” The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Cilt: 21, 2003

Code of Federal Regulations. Title10, Part100, Reactor Site Criteria, <http://www.nrc.gov>

Çetin, N. Endüstride Fabrika Yeri Seçimi, İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1994

Deng, H.; Yeh, C.H.; Wilis, R.J. ”Inter-Company Comparison Using Modified Topsis with Objective Weights” Computer & Operational Research, Cilt: 27, 1998

Eichholz, G.G. “Power Plant Siting. Atlanta: Georgia Institute of Technology.” Çev. Bayülken, R. Ahmet, Nükleer Santrallerin Güvenlikli Yer Seçimine Çok Kriterli Seçim Yöntemlerinin Katkısı, İstanbul: Nükleer Enerji Enstitüsü.

Erol, İ. “Bulanık Topsis ve Entropi Yöntemlerinin Matematiksel Programlama Modelleriyle Bütünleştirilmesi ve Bir Firma Uygulaması,” İktisat, İşletme ve Finans, Cilt: 90, 2006

Evren, R.; Ülengin, F. Yönetimde Çok Amaçlı Karar Verme, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, İstanbul, 1996

Fischer, K.; Kleina, A. “A Measure of Risk and a Decision Making Model based on Expected Utility and Entropy ” European Journal of Operational Research, Cilt: 182, 2007

Hobbs, B. F. ”A Comparison of Weighting in Power Plant Citing” Decision Science, Cilt: 11, 1978

Hwang, C. L.; Yoon, K. Multiple Attribute Decision Making: A State of the Art Survey, New York: Springer-Verlag, 1981

İnol, U. Türkiye'nin Enerji Sorunu ve Nükleer Enerji, Jeoloji Mühendisliği Dergisi Ekim 1978 www.jmo.org.

Janko, W.; Bernroider, E. "Multicriteria Decision Making An Application Study of Electre&Topsis" Wirtschaftsuniversität Wien Abteilung für Informationswirtschaft, Ocak 2005.

Köksalan, M.; Zionts S. "Multiple Criteria Decision Making Series: Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems" Fifteenth International Conference on Multiple Criteria Decision Making, Ankara C.507, Temmuz 2001

Ma, J.; Fan, Z. P.; Huang, L. H. "A Subjective and Objective Integrated Approach to Determine Attribute Weights" European Journal of Operational Research, Cilt: 112, 1999

Monks, G. J. Schaum's Serisinden İşlemler Yönetimi, çev. Sevinç Üreten, Ankara: Nobel Yayınları,c1996

Ölçer, A.İ.; Odabaşı A.Y. "A New Fuzzy Multiple Attribute Group Decision Making Methodology and Its Application tok Propulsion/Manoeuvring System Selection Problem" European Journal of Operational Research, Cilt: 166, 2005

Parkan, Ç.; Wu, L.C. "Process Selection with Multiple Objective and Subjective attributes", Production Planning& Control Cilt: 9 Sayı: 2, 1998

Satapathy, K. B.; Bijwe, J. "Wear Data Analysis of Friction Meterials to Investigate The Simultaneous Influence of Operating Parameters and Compositions" WEAR, C.256, 2004

Schoemaker, P. J. H.; Waid, C. D. "An Experimental Comparison of Different Approaches to Determining Weights in Additive Utility Models " Management Science, C: 28, 1982

Tsaur, H. S.; Chang, T.Y.; Yen C. H. "The Evaluation of Airline Service Quality by Fuzzy MCDM" Tourism Management, Cilt: 23, 2002

Türkiye Elektrik Kurumu, "Nükleer Santrallerin Kuruluş Yerlerinin Seçiminde Araştırılacak Konuların Genel Tanımlanması, Tek_Ned." Yay. Ahmet R. Bayülken İstanbul: Nükleer Enerji Enstitüsü Basımevi. 1982

Türkmeneli, L. Nükleer Enerjinin Tarihçesi,
<http://www.ekimya.com/cekirdekkimyası/article.php>., Erişim Tarihi: 06.08.2005.

Yeh, H. C., "A Problem Based-Selection of Multi Attribute Decision Making Methods" International Transactions in Operational Research, Cilt: 9, 2002

Yurdakul, M.; İpek, A. Ö. "Malzeme Taşıma Sistemlerinin Taşınmasına Yönelik Bir Karar Destek Sistemi Geliştirilmesi", Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt: 20, 2003

Yurdakul, M.; Mutlu, S.; İç, Y. T. "Topsis Yöntemi ile Robot Seçimi" Ulusal Makine Teorisi Sempozyumu, Gazi Üniversitesi Ankara, 2003

Zanakis, S. H.; Solomon, A.; Wishart, N.; Duplish, S., "Multi-Attribute Decision Making: A Simulation Comparison "

Nükleer Santrallerin Türkiye'deki Gelişim Süreci
<http://www.angelfire.com/scifi/nuclear220/sec222.htm>., Erişim Tarihi: 2007

Nuclear Regularity Commission, www.nrc.gov., Erişim Tarihi: 17.04.2007

Türkiye’de Nükleer Enerjinin Tarihçesi www.nukleer.web., Erişim Tarihi: 2007

Fizik Mühendisleri Odası, www.fmo.org., Erişim Tarihi: 25.05.2006

Atom Enerjisi Kurumu, www.taek.gov., Erişim Tarihi : 2007

EKLER**EK:1**

T.C.
ENERJİ VE TABİİ KAYNAKLAR BAKANLIĞI
Türkiye Atom Enerjisi Kurumu

SAYI : B.02.1.TAE.0.73.00.13 / 3
 KONU : Nükleer Santrallerin yer seçimi

24/01/2007

0912

Sayın Aslı ÖZMEN

Abant İzzet Baysal Üniversitesi

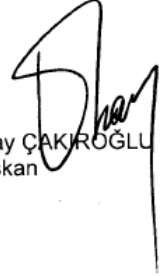
Gölköy Kampüsü-İ.İ.B.F. İşletme Bölümü Ofis No: 324

BOLU

İlgi: 29.12.2006 tarihli başvurunuz.

İlgide kayıtlı başvurunuzla istenilen nükleer santrallerin yer seçimi ile ilgili talebiniz incelenmiştir. İstenilen bilgilerin 4982 sayılı Bilgi Edinme Hakkı Kanununa göre verilmesi mümkün değildir.

Bilgilerinizi rica ederim.


 Okay ÇAKIROĞLU
 Başkan

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Aslı ÖZMEN

Sürekli Adresi : Kalıcı Konutlar 20. Ada 18.Blok No:9 Merkez/ Bolu

Doğum Yeri ve Yılı : Bolu 13.07.1983

Yabancı Dili : İngilizce

İlköğretim : Dumlupınar İlköğretim Okulu, MARDİN

Ortaöğretim : Kızılcahamam Anadolu Lisesi, ANKARA

Lisans : Abant İzzet Baysal Üniversitesi, (2005), BOLU

Anabilim Dalı : İşletme

Bilim Dalı : Sayısal Yöntemler

Yayımları : Erol, İ., Özmen,A. (2007) "Sürdürülebilirliğin Ölçümünde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerine Dayalı Endekslerin Kullanımı", Dokuz Eylül Üniversitesi, YA/EM Kongresi (Kabul Edilmiş Bildiri)

Cop, R., Özmen, A., Kapusuzoğlu, A., vd. (2007) “Termal Turizm Pazarlaması: Bolu İlindeki Kaplıcalardan Hizmet Alan Tüketicilerin Beklentileri Üzerine Bir Araştırma” Pazarlama Dünyası, Eylül (Yayına Kabul Edildi)

Çalışma Hayatı : Abant İzzet Baysal Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü Araştırma Görevlisi, 2005Aralık (Devam Ediyor)

