



Papers Produced from Turkish Articles and PhD Theses Presented at  
Graduate School of Natural and Applied Sciences, Yıldız Technical University  
Yıldız Teknik Üniversitesi, Türkçe Makaleler ve Fen Bilimleri Enstitüsü  
Doktora Tezi Kapsamında Hazırlanan Yayın



**Research Article / Araştırma Makalesi**  
**WEIGHTING THE RISKS FOR NUCLEAR POWER PLANTS USING AHP  
AND ANP METHODOLOGIES**

**Yavuz ÖZDEMİR\*, Suat TÜYSÜZ, Hüseyin BAŞLIGİL**

*Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Yıldız-İSTANBUL*

**Received/Geliş: 12.07.2015 Accepted/Kabul: 16.05.2016**

**ABSTRACT**

Risk assessment and management of nuclear power plants is a difficult process. This process is pretty much the reason why it is difficult is that the number of the variable is unclear. To resolve this problem, in the sense of verbal and quantitative are not sufficient to implement the security management system security risk assessment is also essential in today's world has become. Criteria for the evaluation of nuclear facility security risk assessment instrument in our work, the Analytical Hierarchy Process (AHP) and Analytic Network Process (ANP) was established through preliminary evaluation in the evaluation methods through the use of the theory of. As a result of the finding obtained and comparisons were made between the results of the evaluation methods. Benefited from these methods and the evaluation indicator information item and the effects of a consistent estimate of the status of a nuclear power plant safety has become available for sustenance.

**Keywords:** AHP, ANP, Nuclear energy, Risk assessment.

**NÜKLEER ENERJİ SANTRALLERİ İÇİN AHP VE ANP YÖNTEMİ KULLANILARAK  
RİSKLERİN AĞIRLIKLANDIRILMASI**

**ÖZ**

Nükleer enerji santrallerinde risk değerlendirilmesi ve yönetimi oldukça zor bir süreçtir. Bu sürecin zor olma sebebi değişken sayısının oldukça fazla ve belirsizliğin olmasıdır. Bu problemi çözümlmek için sözel manada güvenlik yönetim sistemi uygulamak günümüz dünyasında yeterli olmamakta ve kantitatif güvenlik risk değerlendirilmesi de zaruri hal almıştır. Nükleer tesisi güvenlik risk değerlendirme gösterge kriterlerinin değerlendirilmesi yaptığımız çalışmada Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ve Analitik Network Prosesi (ANP) yöntemleri vasıtasıyla değerlendirme teorisinin ön değerlendirmede kullanılmasıyla kurulmuştur. Elde edilen bulgular sonucunda değerlendirme sonuçları elde edilmiş ve yöntemler arasında karşılaştırmalar yapılmıştır. Bu yöntemler değerlendirme gösterge bilgilerinden yararlanılması ve öğelerin etkin ve nükleer santral güvenlik durumunun tutarlı olarak tahminleştirilmesi için kullanılabilir hale gelmiştir.

**Anahtar Sözcükler:** AHP, ANP, Nükleer enerji, Risk değerlendirmesi.

\* Corresponding Author/Sorumlu Yazar: e-mail/e-ileti: yavuzytu@gmail.com, tel: (212) 383 29 23

## 1. GİRİŞ

Günümüz dünyası enerji gereksiniminin karşılanmasında büyük oranda fosil yakıtlara bağımlıdır. Dünya ölçeğinde toplam enerji tüketiminin % 62'si petrol ve doğal gazdan sağlanmaktadır [1]. Fosil yakıtlara olan bu bağımlılık iklim değişikliği ve ulusal güvenlik konularında ciddi endişe yaratmaktadır. Bu bağlamda alternatif çözümler arasından, sera gazları yaymayan yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş yapılması önem kazanmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları enerji arzının çeşitlendirilmesine yardımcı olabilir. Ayrıca enerji ithalatına bağımlılığın azaltılması; ekonomilerin uluslararası yakıt fiyatları dalgalanmaları ve kaynak kısıtlamaları sorunları ile karşılaşma risklerini azaltır [2]. Bundan başka, çoğu yenilenebilir kaynak fosil yakıtlara göre daha temiz olduğundan çevre ve insan sağlığına fayda sağlamaktadır. Belirtilen avantajlarına karşın yenilenebilir kaynakların geleneksel yakıtların yerini tamamen alması öngörülebilir gelecekte olası olmadığından; nükleer enerji birçok ülkede bir diğer seçenek olarak yeniden gündeme gelmektedir. Sınırlı fosil rezervlerine bağlı olmaması, yüksek miktarda enerji sağlaması, yakıt fiyatlarının enflasyondan daha az etkilenmesi ve santrallerin enerji üretimi sırasında sera gazları emisyonlarına katkı yapmaması nükleer enerjinin önemini artıran faktörlerdir. Risk yönetimi nükleer tesislerin genel yönetim faaliyetlerinin bir parçası olup, nükleer faaliyetlerinin tümüyle güvenli bir şekilde gerçekleşmesine katkı sağlayan usul ve uygulamaların bütünüdür. Bu problemin zor olma sebebi değişken sayısının oldukça fazla ve belirsizliğin olmasıdır. Bu problemi çözmek için sözel manada güvenlik yönetim sistemlerini uygulamak günümüz dünyasında yeterli olmamakta ve kantitatif güvenlik risk değerlendirilmesi de zorunlu bir hal almıştır.

Çok kriterli karar verme yöntemleri; karar vericinin belirsizlik, karmaşıklık ve birbiriyle çelişen amaçların olduğu hallerde uygun seçenekler oluşturarak daha iyi karar vermesine yardımcı olmaktadır [3]. Analitik Hiyerarşi Prosesi (Analytic Hierarchy Process-AHP) ve Analitik Network Prosesi (Analytic Network Process-ANP) de oldukça fazla kullanılan çok kriterli karar verme yöntemlerindedir. AHP çok kriterli ve çok seçenekli problemlerin sonuca ulaşmasında karar vericiye önemli yardımlar sağlamaktadır.

AHP, gruplara ve bireylere karar verme sürecindeki nitel ve nicel faktörleri birleştirme olanağı veren güçlü ve kolay anlaşılır bir yöntemdir. Analitik Network Prosesi, AHP'nin çok genel bir formu olup, AHP birimlerin tek yönlü ilişkilerine, ANP ise karar seviyeleri ve özellikleri için karmaşık ilişkilere izin vermektedir. Yaygın olarak kullanılan AHP, ANP'nin özel bir halidir. ANP'nin AHP'ye göre en önemli farklılığı, yukarıdan aşağıya doğru bir hiyerarşik yapı yerine etkileşimli bir hiyerarşik yapı kullanmasıdır. ANP yönteminde geri bildirim ve bağımlılık özellikleri bulunmaktadır. ANP yöntemi, karar verme problemlerinin daha etkili ve gerçekçi bir biçimde çözümlenmesini sağlamaktadır [4-5].

Toksarı [6], AHP metodu kullanarak Ege bölgesinde mobilya sektörü için pazar seçimine yönelik bir uygulama yapmıştır. Özyörük ve Özcan [7] çalışmalarında, tedarikçi seçimi probleminde Analitik Hiyerarşi Prosesinden (AHP) faydalanarak, otomotiv sektöründe faaliyet gösteren bir firmada, AHP kullanılarak bir uygulama gerçekleştirmişlerdir. Uygulamada AHP için bir program hazırlanarak tedarikçi seçim kararı verilmiştir.

Aytaç Özmen ve Birgün [8], Hava Kuvvetleri Komutanlığı ikmal sisteminin mevcut durumu göz önünde bulundurularak, olası bir RFID sistemi seçimi esnasında, en uygun RFID sistemini seçmek amacıyla önemli olan kriterler belirlenerek hiyerarşik bir model oluşturmuşlar ve bu model üzerinde Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemi kullanarak bir uygulama gerçekleştirmişlerdir. Ünal [9] çalışmasında, personel seçme sürecinde AHP kullanımının faydalı olduğu tespitinde bulunmuştur.

Ömürbek vd. [10] çalışmalarında, Isparta ilindeki 7 ilçenin 5 farklı kritere göre (konum, çevresel faktörler, işgücü, yatırım maliyetleri, yasalar) karşılaştırmasını AHP metodu kullanarak yapmışlar ve optimum kuruluş yerine karar vermişlerdir.

Özel vd. [11], Bartın Havzasında yapılacak yeni ağaçlandırma çalışmaları için uygun alan seçiminde AHP yöntemi kullanılarak, toplam 75 adet örnek ağaçlandırma alanında incelemelerde bulunmuşlar ve Bartın-Gözpınarı, Bartın-Karaçaydere, Bartın-Gürgenpınarı, Bartın-Akmanlar, Bartın-Yıldız Köyü, Bartın-Gürgenpınarı, Bartın-Çayırlar, Ulus-Apdipaşa, Kozcağız-Akçamescit ve Kozcağız-Bayırdüzü mevkilerinin kızılçam ve fıstıkçamı ağaçlandırma çalışmaları için her açıdan uygun koşullar taşıdığını belirlemişlerdir.

Çetin Demirel vd. [12], lojistik hizmet sağlayıcılarının değerlendirilmesi problemine ANP uygulayarak, üç farklı firma arasından en iyi lojistik hizmet sağlayıcı firmasını seçmişlerdir. Özdemir vd. [13], Türk Hava Yolları için uçak seçimi problemine ANP uygulamışlar ve üç farklı uçak tipi arasından firma için en uygun olan uçağa karar vermişlerdir. Görgülü vd. [14], optimal yatırım strateji seçimi problemini ele almışlar ve bu problemin çözümüne yönelik olarak ANP ve TOPSIS tabanlı bir yaklaşım önermişlerdir. Uygulama olarak bir gümüş firmasının verileri analiz edilerek en uygun yatırım stratejisi seçilmiştir.

Kök ve Aksu [15], işletmelerde kredili satış politikasının belirlenmesinde önemli faktörlerden biri olan müşteri kredi değerliliğinin belirlenmesi problemini ele almışlar, ANP yaklaşımıyla birlikte bir örnek firma uygulaması yaparak müşteri kredi değerlendirme modeli geliştirmişlerdir. Ömürbek ve Tunca [3], grup kararı verilmesinde AHP ve ANP yöntemlerini kullanarak ideal hazır beton firmasının belirlenmesine çalışmışlardır. Kalite, fiyat, ödeme koşulları, konum ve firma imajı olmak üzere beş kriteri göz önüne alarak dört alternatif firmayı değerlendirmişlerdir.

Yavaş vd. [16], müşterilerin otomobil seçim yaklaşımlarını incelemişler, satın almada dikkat edilen kriterleri tespit etmişler, AHP ve ANP yöntemleri ile kriterleri önceliklendirmişlerdir. ANP ve AHP yöntemlerinin farklılıklarını da ifade ederek, uygulamadaki sonuçları karşılaştırmışlardır. Yıldız [17] çalışmasında, üniversite tercihi yapacak bir öğrencinin en iyi üniversiteyi seçme probleminin çözümünde ANP yöntemi kullanarak, otomotiv mühendisliği bölümü bulunan alternatif on üç üniversite arasından en iyi üniversitenin seçimi problemini ele almış ve alternatif üniversiteleri sıralayarak en iyi üniversite seçimi yapmıştır.

Bu çalışmada grup kararı verilmesinde çok kriterli karar verme yöntemlerinden olan AHP ve ANP yöntemleri nükleer tesis risk gösterge kriterlerinin değerlendirmesinde kullanılmıştır. Ayrıca grup kararı verilmesinde gösterge sisteminin beşeri faktörler, tesis ve ekipman faktörleri, çevresel faktörler olarak ilk üç seviye ve alt elemanları vasıtasıyla çalışmamızın şablonu oluşturulmuştur. Çalışmanın ikinci bölümünde kullanılan yöntemler ve aşamaları sunulmuş, üçüncü bölümde nükleer enerji tesisi risk gösterge kriterlerinin değerlendirilme uygulaması verilmiş ve dördüncü bölümde ise sonuçlar özetlenerek değerlendirme yapılmıştır.

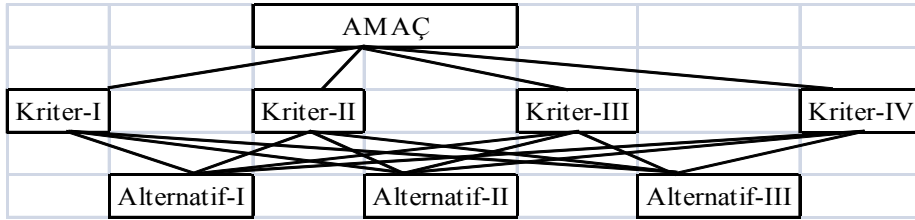
## **2. ÇALIŞMADA KULLANILAN YÖNTEMLER**

Nükleer tesis güvenlik risk kriterlerinin değerlendirilmesinde AHP ve ANP yöntemleri kullanılmıştır. Bu yöntemlerin genel yapıları aşağıda anlatılmaktadır.

### **2.1. Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)**

Karar verme tüm yönetim fonksiyonlarının temelini oluşturmaktadır. Karışık, anlaşılması güç veya yapılaşmamış sorunlar için Çok Kriterli Karar Verme yöntemleri kullanılmaktadır. Her sorun için amaç, kriter, olası alt kriter seviyeleri ve seçeneklerden oluşan bir hiyerarşi modeli kullanır. Bu hiyerarşik yapıyı barındıran modele Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) denilmektedir. AHP, ilk olarak 1968 yılında Myers ve Alpert ikilisi tarafından ortaya atılmış ve 1977 yılında ise Thomas Lorie Saaty tarafından bir model olarak geliştirilerek karar verme çözümünde kullanılabilir hale getirilmiştir [18]. Thomas Lorie Saaty, ABD savunma bakanlığı silahsızlanma, Orta Doğu sorunu, sudan ulaştırma sisteminin geliştirilmesi gibi karmaşık problemlerin üzerinde çalışmıştır. Yöneylem araştırmasına ve matematik alanına birçok teorik katkıda bulunan Profesör Saaty, giderek karmaşıklaşan modelleme yaklaşımlarının karar problemlerinin çözümünde

beklenen etkiyi yapmadığını görmüş ve karmaşık karar problemlerinin çözümünde kullanılmak üzere matematiksel sadeliği sebebiyle kolay anlaşılabilir ve uygulanan bir yöntem geliştirme uğraşına girmiştir. Çalışmalarının sonucunda bugün AHP adı ile anılan yöntemi geliştirmiştir. AHP yöntemi karar vericilerin çok farklı alanlardaki karar problemlerini yapılandırma ve analiz etme sürecine büyük başarı ile hizmet etmiş ve yoğun olarak uygulaması yapılmıştır. Yöntem genel tanımıyla, çoklu kriter ve önem düzeylerinin belirlenmesinde yapısal bir yaklaşım sağlamaktadır. Karar verme sürecinde objektif ve subjektif faktörleri birleştirme olanağı sağlayan birçok kriterli karar verme yöntemidir [19]. Yöntem problemi açıklamak için kriter hiyerarşi formunu oluşturmakta ve bu yapıya göre uygulanmaktadır. Genel AHP hiyerarşik yapısı Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Analitik Hiyerarşi Prosesi Genel Yapısı

Hiyerarşinin en üstünde açıkça ifade edilen bir amaç, amacın altında amaca direkt olarak etki edecek kriterler, en alta da seçim yapılacak olan alternatifler bulunmalıdır. Geniş kapsamlı kriterler, alt kriterlere ayrıştırılarak hiyerarşiye yerleştirilmektedir. Hiyerarşinin her seviyesindeki kriterlerin önem dereceleri, bir üst seviyede bulunan kritere göre ikili karşılaştırmalar sonucunda elde edilir. Problemin karmaşıklığına bağlı olarak da hiyerarşideki seviye sayısı artırılabilir.

### 2.1.1. AHP Aşamaları

AHP karar probleminin çözümü 4 adımda gerçekleşir;

**1. Aşama:** Karar verme problemi tanımlanır. Karar sürecinin öğelerini oluşturan ve birbiriyle ilişkili elemanlar hiyerarşik yapıda sıralanır.

**2. Aşama:** Karar sürecine ait elemanlar için ikili karşılaştırma matrisi oluşturulur.

**3. Aşama:** İkili karşılaştırma matrisinde her sütunun sütun toplamı alınır ve matristeki elemanlar ilgili sütun toplamına bölünerek matris normalize edilir.

**4. Aşama:** Normalize edilmiş matriste satır toplamı alınır ve öncelik değerleri bulunmuş olur.

**5. Aşama:** Öncelik değerleri, ikili karşılaştırma matrisinde bulunan sütundaki tüm elemanlarla çarpılır ve ağırlıklandırılmış matris elde edilir.

**6. Aşama:** Ağırlıklandırılmış matristeki satır değerleri, öncelik matrisi satır değerlerine bölünür ve  $(n \times 1)$  boyutundaki son matris değerlerin aritmetik ortalaması alınır ve  $\lambda_{\max}$  değeri hesaplanır.

**7. Aşama:** Öncelik değerleri ile ikili karşılaştırmalar sonucu elde edilen kriter öncelikleri, her alternatif ile çarpılarak son öncelik değerleri hesaplanır. Sonuçlara ulaşılır.

Önem derecesi ise Çizelge 1'deki ölçüğe göre belirlenir.

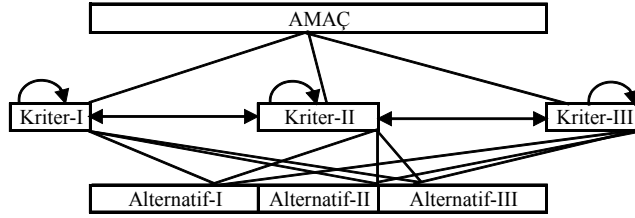
**Çizelge 1. Önem Derecesi Ölçeği**

Önem Değerleri	Değer Tanımları	Açıklama
1	Her iki faktörün eşit öneme sahip olması durumu	İki faaliyette eşit düzeyde katkı bulunuyor.
3	1. Faktörün 2. faktörden daha önemli olması durumu	Tecrübe ve yargı bir faaliyeti diğerine az derecede tercih ettiriyor.
5	1. Faktörün 2. faktörden çok önemli olması durumu	Tecrübe ve yargı bir faaliyeti diğerine kuvvetli bir şekilde tercih ettiriyor.
7	1. Faktörün 2. faktöre nazaran çok güçlü bir öneme sahip olması durumu	Bir faaliyet güçlü bir şekilde tercih ediliyor ve baskınlığı uygulamada rahatlıkla görülüyor.
9	1. Faktörün 2. faktöre nazaran mutlak üstün bir öneme sahip olması durumu	Bir faaliyetin diğerine tercih edilmesine ilişkin kanıtlar çok büyük bir doğruluğa sahip
2,4,6,8	Ara değerler	Uzlaşma gerektiğinde kullanmak üzere iki ardışık yargı açısına düşen değerler

## 2.2. Analitik Network Prosesi (ANP)

Son yıllarda önemi gittikçe artan ve kullanımı yaygınlaşan çok kriterli karar destek yöntemlerinden birisi de Analitik Network Prosesidir. Analitik Network Prosesi de, Thomas L. Saaty tarafından geliştirilmiş olup AHP'nin genelleştirilmiş halidir. Thomas L. Saaty, AHP'yi kapsamına alan ve AHP'den farklı olarak modellemede şebeke yapısını kullanan ANP'yi ise "The Analytic Network Process" adlı kitabında ayrıntılı biçimde ele alarak literatüre kazandırmıştır. ANP, karar problemindeki faktörlerin birbiri ile bağımlılıklarını dikkate alan bir yaklaşımdır. Etki, bağımlılık ve geribildirim ANP'nin odak noktasıdır. ANP, AHP üzerine kurulmuştur [20]. ANP yöntemi; problemleri, bileşenler arasındaki ilişkileri ve yönlerini belirleyerek bunların bir ağ biçiminde gösterilmesinden oluşmaktadır. Bu yapı sayesinde doğrudan ilişkilendirilmemiş ana ve ara yapılar arasındaki oluşabilecek dolaylı etkileşimler ve geribildirimler hesaplanmaktadır [21]. AHP, karar verme problemlerini hiyerarşik bir yapıda tek yönlü olarak değerlendirmekte ve en iyi kararın verilmesine etki eden kriterleri sistematik bir şekilde değerlendirerek, kriterlere ilişkin öncelik sıralarını hesaplamaktadır. ANP yönteminde ise karar düzeyleri ve özellikler arasında daha karmaşık ilişkiler yer almaktadır. Bu süreçte AHP'nin en önemli varsayımlarından biri aynı seviyede bulunan kriterlerin birbirlerinden bağımsız olması ve kriterlerin birbirlerine olan etkilerinin yok sayılarak hesaplanmamasıdır. Fakat gerçek hayatta karar verme problemlerini etkileyen birçok kriter birbirine etki etmektedir. En iyi kararın verilmesi için kriterler arasındaki bu ilişkilere dikkat edilmektedir [22]. ANP bağımlılığı mümkün kılarak AHP'nin ötesine geçer, bununla birlikte bağımsızlığı yani AHP'yi özel bir durum olarak içerebilir. ANP bir elemanlar kümesinin içindeki bağımlılık ve farklı elemanlardan oluşan kümelerin arasındaki bağımlılık ile ilgilidir. ANP'nin ağ yapısı bir karar sorununun, hiyerarşik yapıda olduğu gibi neyin önce gelip neyin sonra geldiği ile ilgilenilmeden kolaylıkla gösterilmesini sağlar [23].

ANP yönteminde geri bildirim ve bağımlılık özellikleri bulunmaktadır. Bu özellikler nedeniyle, kriterler diğer kriterlere bağlı olabildikleri gibi kendi içlerinde de bağımlı olabilmektedirler [24]. Kriter kümeleri arasındaki bağımlılığa dış bağımlılık, kriterin kendi kümesi içindeki bağımlılığa iç bağımlılık denir [25]. İçsel bağımlılıkları ve kriterler arasındaki karşılıklı etkileşimleri içerebilmesi nedeniyle ANP yöntemi, karar verme problemlerinin daha etkili ve gerçekçi bir biçimde çözümlenmesini sağlamaktadır [26]. Şekil 2'de Analitik Network Prosesi yapısı görülmektedir.



Şekil 2. Analitik Network Prosesi Genel Yapısı

ANP, karar verme sürecini etkileyen kriterler ve alt kriterler arasındaki her türlü bağımlılık ve geri besleme ilişkilerini sistematik olarak ortaya koyma olanağı veren bir metodolojidir. ANP yönteminde ilk önce model kurulur ve problem formüle edilir. Problemi optimize edecek kriterler arasında ikili karşılaştırma matrisleri oluşturularak karar vericiden Saaty puan skalasına göre karşılaştırma yapılması istenir. Karşılaştırılan kriterler matris haline getirilir. Ağırlıklar matrisin her elemanının sütun toplamına bölünmesiyle elde edildikten sonra süper matris oluşturulur [27].

### 2.2.1. ANP Aşamaları

ANP karar probleminin çözümü de 4 adımda gerçekleşir;

**1. Aşama:** Bu adımda kriterler ve alternatifler belirlenmektedir. Birbiriyle ilişkili kriterler aynı küme içinde yer alacak şekilde oluşturulduktan sonra aynı işlemler alternatifler için uygulanmaktadır. Daha sonra kümeler arasındaki etkileşim ve bağımlılık belirlenerek ağ yapısı oluşturulmaktadır.

**2. Aşama:** Kriterler ve alternatifler, etkileşimli kriterlerle ve alternatiflerle ikili karşılaştırmalar yapılmaktadır. ANP yönteminde ikili karşılaştırmalar yapılırken AHP yönteminde de kullanılan 1-9 skalası kullanılmaktadır. İkili karşılaştırmalarda hesaplanan tutarlılık oranı  $0.10^n$ 'un altında ise yapılan değerlendirmelerin yeterli olduğu kabul edilmektedir. Herhangi bir kriterle etkileşim içinde bulunmayan kriterlerin katkısı matriste sıfır değeri almaktadır. Böylece öz vektör hesaplanabilmektedir. Öz vektörler ise oluşturulan matrisin sütunlarına yerleştirilerek ağırlıklandırılmamış süpermatris meydana gelmektedir.

**3. Aşama:** Ağırlıklandırılmamış süpermatristeki değerlerin ait oldukları kümenin ağırlıklarıyla çarpılması sonucu yeni bir matris oluşturulmaktadır. Bu matris ağırlıklandırılmış süpermatris olarak ifade edilmektedir. Ağırlıklandırılmış süpermatrisin sütunları toplamı bire eşit olmaması durumunda sütunların toplamı bire eşit olacak şekilde normalleştirme işlemi yapılması gerekmektedir. Önceliklerin bir noktada eşitlenmesi için süpermatrisin büyük dereceden kuvveti alınmaktadır. Elde edilen yeni matris limit süpermatrisidir.

**4. Aşama:** Bu adımda alternatiflerin ve kriterlerin nihai öncelikleri hesaplanmaktadır. Nihai öncelikler, her bir kümenin normalize edilmesiyle bulunmaktadır. Böylelikle hem kriterlerin hem de alternatiflerin öncelikleri belirlenmektedir.

## 3. NÜKLEER ENERJİ TESİSİ RİSK GÖSTERGE KRİTERLERİNİN DEĞERLENDİRMESİ: UYGULAMA

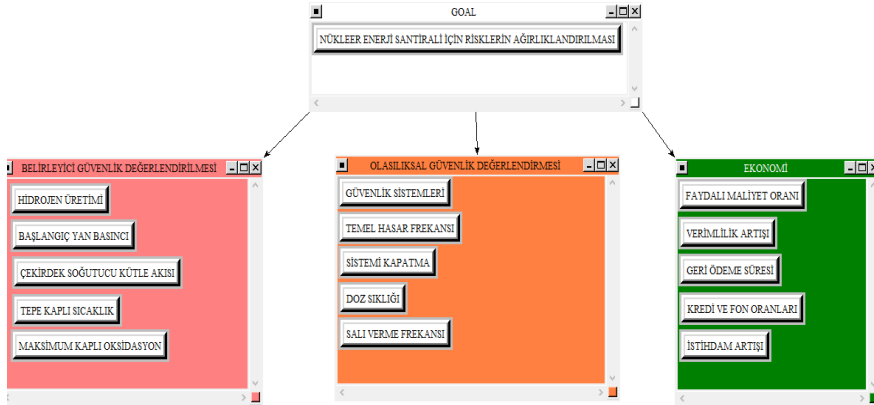
Bu çalışmada Nükleer Tesis risk gösterge kriterleri AHP ve ANP yöntemleri ile değerlendirilmiş ve bulunan sonuçlar arasında karşılaştırmalar yapılarak önem sıraları belirlenmiştir. Nükleer güvenlik risk gösterge sistemi Çizelge 2'de gösterilmektedir. Bu göstergelerin genel amaç nükleer tesise risk değerlendirmesine etkileri bulunmaya çalışılmıştır. Uygulamada nükleer risk değerlendirmesi konusunda uzman 3 kişinin değerlendirmeleri kullanılmıştır.

**Çizelge 2.** Nükleer Tesis güvenlik risk gösterge sistemi

Gösterge seti	Göstergeler
<b>Belirleyici Güvenlik Değerlendirmesi</b>	Hidrojen üretimi Başlangıç yan basıncı Tepe kaplı sıcaklık Çekirdek soğutucu kütle akışı Maksimum kaplı oksidasyon
<b>Olasılıksal Güvenlik Değerlendirmesi</b>	Güvenlik sistemleri Temel hasar frekansı Sistemi kapatma Doz sıklığı Salı verme frekansı
<b>Ekonomi</b>	Faydalı maliyet oranı Verimlilik artışı Geri ödeme süresi Kredi ve fon oranları İstihdam artışı

### 3.1. AHP Uygulaması

AHP yöntemi uygulamasında kullandığımız hiyerarşik yapı Şekil 3'te gösterilmiştir.



**Şekil 3.** Problem Hiyerarşisi-AHP

Kriterlerin karşılaştırılması sonucu ağırlıklandırılmamış süper matris ve ağırlıklandırılmış süper matris hesaplanarak her eleman bir satırda ve aynı sıradaki bir sütunda gösterilir. Alt seviyedeki elemanların üst seviyedeki elemana göre hesaplanan özvektörü üst seviyedeki elemanın temsil edildiği sütuna ve alt seviyedeki elemanların temsil edildiği satırlara yerleştirilir. Oluşturulan süpermatristeki herhangi bir sütunun sütun toplamı 1'den büyükse (bir taneden fazla özvektör varsa), o sütun normalize edilmelidir. Bu şekilde oluşturulan yeni süpermatrise ağırlıklı süpermatris denilir. Yakınsak veya sabit değerler elde etmek için ağırlıklı süpermatris önemli ölçüde büyük bir üsse yükseltilir. Bu limit matristeki değerler, karar ağındaki elemanların amaca göre öncelikleridir.

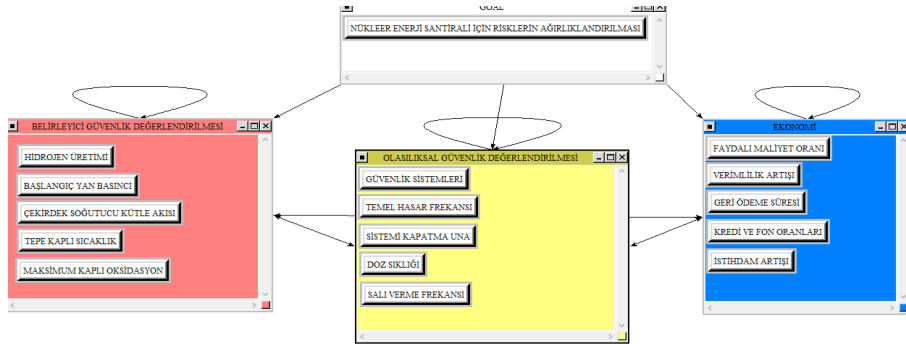
Tüm bu aşamalardan sonra elde edilecek sonuç her bir kriterin önceliklerinin bulunmasıdır. Bu da Çizelge 3'te gösterilmiştir.

Çizelge 3. Öncelik Tablosu-AHP

GÖSTERGE	Normalize Değer	LİMİT
Hidrojen üretimi	0,5160	0,1720
Başlangıç yan basıncı	0,1183	0,0394
Tepe kaplı sıcaklık	0,0337	0,0112
Çekirdek soğutucu kütle akışı	0,2634	0,0878
Maksimum kaplı oksidasyon	0,0683	0,0227
Güvenlik sistemleri	0,5128	0,1709
Temel hasar frekansı	0,1289	0,0429
Sistemi kapatma	0,2615	0,0871
Doz sıklığı	0,0633	0,0211
Salı verme frekansı	0,0333	0,0111
Faydalı maliyet oranı	0,2615	0,0871
Geri ödeme süresi	0,2632	0,0877
İstihdam artışı	0,0306	0,0102

### 3.2. ANP Uygulaması

ANP yöntemi uygulamasında kullandığımız ağ yapısı Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Problem Hiyerarşisi-ANP

Kriterlerin kendi kategorilerinde karşılaştırılması ve AHP'den farklı olarak birbirleriyle olan korelasyonlarının da sonucu olarak ağırlıklandırılmamış süper matris, ağırlıklandırılmış süper matris ve limit matris elde edildikten sonra elde edilecek sonuç her bir kriterin önceliklerinin bulunmasıdır. Bu da Çizelge 4'te gösterilmiştir.



**Çizelge 4.** Öncelik Tablosu-ANP

<b>GÖSTERGE</b>	<b>Normalize Değer</b>	<b>LİMİT</b>
Hidrojen üretimi	<b>0,7893</b>	<b>0,0926</b>
Başlangıç yan basıncı	<b>0,1328</b>	<b>0,0155</b>
Tepe kaplı sıcaklık	<b>0,0432</b>	<b>0,0050</b>
Çekirdek soğutucu kütle akışı	<b>0,0282</b>	<b>0,0033</b>
Maksimum kaplı oksidasyon	<b>0,0062</b>	<b>0,0007</b>
Güvenlik sistemleri	<b>0,6646</b>	<b>0,1128</b>
Temel hasar frekansı	<b>0,2272</b>	<b>0,0385</b>
Sistemi kapatma	<b>0,0420</b>	<b>0,0071</b>
Doz sıklığı	<b>0,0429</b>	<b>0,0072</b>
Salı verme frekansı	<b>0,0231</b>	<b>0,0039</b>
Faydalı maliyet oranı	<b>0,3860</b>	<b>0,2751</b>
Geri ödeme süresi	<b>0,3334</b>	<b>0,2376</b>
İstihdam artışı	<b>0,0234</b>	<b>0,0167</b>

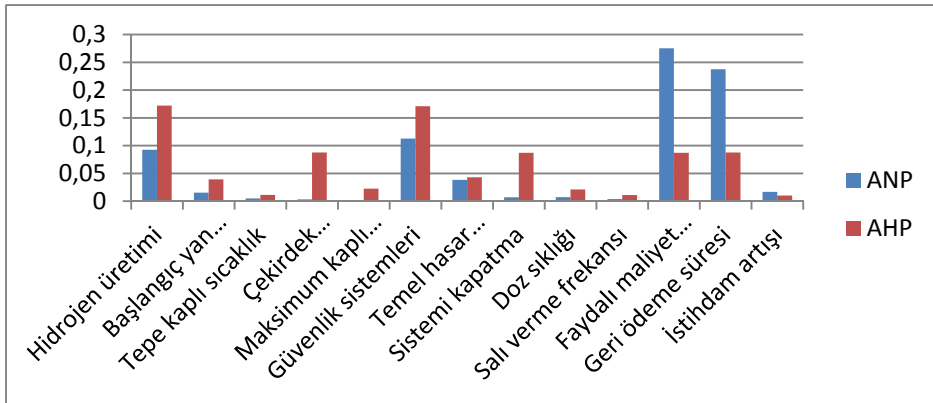
#### 4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada genel Nükleer Tesis güvenlik risk değerlendirme modeli oluşturulmuş ve güvenlik yönetimi için bu kriterlerin önemi üzerinde çalışılmıştır. Geçmişte yapılan nitel çalışmalardan çok kantitatif güvenlik yönetim modellemesine dayalı Nükleer Tesis güvenlik risk değerlendirmesi modellemesi oluşturmanın gerekliliği üzerinde uygulamalı bir şekilde durulmuştur. Daha kapsamlı bir çalışmayla bölgesel bazlı Nükleer Tesisler arasında ANP ve AHP yöntemlerini kullanarak risk gösterge değerlendirmesinde karşılaştırmalar yapılabilir ve daha kapsamlı ve güvenilir sonuçlar elde edilebilir. Yapılan ikili karşılaştırmalar sayesinde değerlendirmeler titizlikle gerçekleşmiş olacak ve sayısal verilere dayalı karşılaştırmaların yanı sıra karar vericinin görüşlerine de çözümde yer verilmiş olacaktır.

Yapılan çalışmada Nükleer Tesis Güvenlik Risk Kriter Öncelik Sıralaması toplamda 13 alt kriter ve 3 ana kriter ile birlikte AHP ve ANP yöntemleriyle Super Decisions paket programı kullanılarak uygulanmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 5'te ve Şekil 5'te her bir kriterin öncelik değerine göre kıyaslanmıştır.

**Çizelge 5.** ANP ve AHP Nükleer Tesis Güvenlik Risk Kriter Öncelik Değerleri

<b>GÖSTERGE</b>	<b>ANP</b>	<b>Önem Sırası</b>	<b>AHP</b>	<b>Önem Sırası</b>
Hidrojen üretimi	<b>0,0926</b>	4	<b>0,172</b>	1
Başlangıç yan basıncı	<b>0,0155</b>	7	<b>0,0394</b>	8
Tepe kaplı sıcaklık	<b>0,005</b>	10	<b>0,0112</b>	11
Çekirdek soğutucu kütle akışı	<b>0,0033</b>	12	<b>0,0878</b>	3
Maksimum kaplı oksidasyon	<b>0,0007</b>	13	<b>0,0227</b>	9
Güvenlik sistemleri	<b>0,1128</b>	3	<b>0,1709</b>	2
Temel hasar frekansı	<b>0,0385</b>	5	<b>0,0429</b>	7
Sistemi kapatma	<b>0,0071</b>	9	<b>0,0871</b>	5
Doz sıklığı	<b>0,0072</b>	8	<b>0,0211</b>	10
Salı verme frekansı	<b>0,0039</b>	11	<b>0,0111</b>	12
Faydalı maliyet oranı	<b>0,2751</b>	1	<b>0,0871</b>	6
Geri ödeme süresi	<b>0,2376</b>	2	<b>0,0877</b>	4
İstihdam artışı	<b>0,0167</b>	6	<b>0,0102</b>	13



**Şekil 5.** ANP ve AHP Nükleer Tesis Güvenlik Risk Kriter Öncelikler Kıyaslaması

Kriterler arası bağımlılığı göz önüne alarak ağ (network) yapısı kurarak çözüme ulaşan ve dolayısı ile kullanım alanı ve sonuçların güvenilirliği konularında günlük hayata daha uygun olan Analitik Network Prosesi (ANP) ile elde edilen sonuçlara göre Nükleer Tesis Güvenlik Risk Kriterlerinin en önemlileri sırası ile Faydalı Maliyet Oranı, Geri Ödeme Süresi ve Güvenlik Sistemleri olarak bulunmuştur. Kriterler arası bağımlılığı göz önüne almadan hiyerarşik bir yapıda çözüme ulaşan Analitik Hiyerarşi Prosesi ile bulunan en önemli kriterler ise Hidrojen Üretimi, Güvenlik Sistemleri ve Çekirdek Soğutucu Kütle Akışı'dır.

Elde edilen sonuçlara göre en büyük farklılık Hidrojen Üretimi kriterinde görülmektedir. Bu kriter AHP'de yüksek değerde öneme sahipken ANP'de daha düşük bir değer almıştır. Dolayısı ile bu çalışmada, problemin yapısı kriterlerin birbirini etkilemediği hiyerarşik düzeyde modellendiğinde daha çok üretime yönelik kriterler önem kazanırken; problem yapısı, kriterler arası etkileşimi de göz önünde bulunduran ağ (network) şeklinde modellendiğinde ve günlük hayata daha uygun hale getirildiğinde ekonomik kriterler önem kazanmaktadır.

## REFERENCES / KAYNAKLAR

- [1] Tietenberg T., Lewis L., (2009) *Environmental & Natural Resource Economics*. Pearson Education Inc., New York, USA.
- [2] Kara Y., Köne A., (2009) Nükleer ve Yenilenebilir Güç Santrallerinin AHP Yöntemi ile Karşılaştırılması: Türkiye Örneği, *X. Ulusal Nükleer Bilimler ve Teknolojileri Kongresi*, Ekim 2009, 367-375.
- [3] Ömürbek N., Tunca M., (2013) Analitik Hiyerarşi Prosesi ve Analitik Network Prosesi yöntemlerinde grup kararı verilmesi aşamasına ilişkin bir örnek uygulama, *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi* 18(3), 47-70.
- [4] Saaty T.L., (2001) *Decision Making with Dependence and Feedback The Analytic Network Process*. RWS Publications, USA.
- [5] Saaty T.L., (2005) *Theory and Applications of the Analytic Network Process*. RWS Publications, USA.
- [6] Toksarı M., (2007) Analitik Hiyerarşi Prosesi Yaklaşımı Kullanılarak Mobilya Sektörü İçin Ege Bölgesi'nde Hedef Pazarın Belirlenmesi, *Yönetim ve Ekonomi* 14(1), 171-180.
- [7] Özyörük B., Özcan E. C., (2008) Analitik Hiyerarşi Sürecinin Tedarikçi Seçiminde Uygulanması: Otomotiv Sektöründen Bir Örnek, *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi* 13(1), 133-144.

- [8] Aytaç Özmen G., Birgün S., (2011) Radyo Frekansı İle Tanımlama Sistemi Seçiminde Analitik Hiyerarşi Prosesi Uygulaması, *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi* 5(1), 81-88.
- [9] Ünal Ö. F., (2011) Analitik Hiyerarşi Prosesi Ve Personel Seçimi Alanında Uygulamaları, *Akdeniz Üniversitesi Uluslararası Alanya İşletme Fakültesi Dergisi* 3(2), 18-38.
- [10] Ömürbek N., Üstündağ S., Helvacıoğlu Ö. C., (2013) Kuruluş Yeri Seçiminde Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) Kullanımı: Isparta Bölgesi'nde Bir Uygulama, *Yönetim Bilimleri Dergisi* 11(21), 101-116.
- [11] Özel H. B., Karayılmazlar S., Demirci, A., (2014) Bartın Havzasında Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) Yöntemiyle Akdeniz Çam Türleri (*Pinus brutia* Ten. ve *Pinus pinea* L.) Kullanılarak Yapılacak Ağaçlandırma Çalışmaları İçin Yer Seçimi, *II. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu "Akdeniz ormanlarının geleceği: Sürdürülebilir toplum ve çevre"*, 22-24 Ekim 2014, Isparta, Türkiye.
- [12] Cetin Demirel N., Demirel T., Ozdemir Y., (2009) Selection of Logistics Service Provider Using Analytic Network Process Approach, *VII. International Logistics & Supply Chain Congress*, 5-6 Kasım 2009, İstanbul, Türkiye.
- [13] Ozdemir Y., Basligil H., Karaca M., (2011) Aircraft Selection Using Analytic Network Process: A Case for Turkish Airlines, *The World Congress on Engineering 2011*, 6-8 Temmuz 2011, Londra, İngiltere.
- [14] Görgülü İ., Korkmaz M., Eren T., (2013) Analitik Ağ Prosesi ve TOPSIS Yöntemleri İle Optimal Yatırım Stratejisi Seçimi, *Sigma Dergisi* 31, 203-213.
- [15] Kök D., Aksu G., (2013) Müşteri Kredi Değerliliğinin Belirlenmesinde Analitik Ağ Süreci Kullanımı: Bir Model Önerisi, *Muhasebe ve Finansman Dergisi*, 167-186.
- [16] Yavaş M., Ersöz T., Kabak M., Ersöz F., (2014) Otomobil Seçimine Çok Kriterli Yaklaşım Önerisi, *İşletme ve İktisat Çalışmaları Dergisi* 2(4), 110-118.
- [17] Yıldız A., (2014) En İyi Üniversite Seçiminde Analitik Ağ Prosesinin Kullanımı, *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi* 3(2), 108-119.
- [18] Yaralıoğlu K., (2001) Performans Değerlendirmede Analitik Hiyerarşi Prosesi, *Dokuz Eylül Üniversitesi İ.İ.B.F. Dergisi* 16(1), 129-142.
- [19] Aydın Ö., Öznehir S., Akçalı E., (2009) Ankara için optimal hastane yeri seçiminin Analitik Hiyerarşi Süreci ile modellenmesi, *Süleyman Demirel Üniversitesi İİBF Dergisi* 14, 69-86.
- [20] Jharkharia S., Shankar R., (2007) Selection of Logistics Service Provider: An Analytic Network Process (ANP) Approach, *Omega* 35, 274-289.
- [21] Karsak E. E., Sozer S., Alptekin S. E., (2002) Product Planning in Quality Function Deployment Using A Combined Analytic Network Process and Goal Programming Approach, *Computers & Industrial Engineering* 44(1), 171-190.
- [22] Dağdeviren M., Dönmez N., Kurt M., (2006) Bir İşletmede Tedarikçi Değerlendirme Süreci İçin Yeni Bir Model Tasarımı ve Uygulaması, *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi* 21(2), 247-255.
- [23] Oğuz O., (2014) ANP (Analytic Network Process). Available from: <http://www.slideshare.net/oguzzhanoguzz/anp-sunum>.
- [24] Kocakalay Ş., Sağır Özdemir M., Işık A., (2004) Analitik Serim Süreci İle Pazar Payı Tahmini, *YA/EM XXIV. Ulusal Kongresi*, Haziran 2004, Adana, Türkiye.
- [25] Niemira M. P., Saaty T. L., (2004) An Analytical Network Process Model for Financial-Crisis Forecasting, *International Journal of Forecasting* 20, 573-587.
- [26] Görener A., (2009) Kesici takım tedarikçisi seçiminde Analitik Network Prosesinin kullanımı, *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi* 4(1), 99-110.
- [27] Aytürk S., (2006) Askeri Savunma Sistemlerinde Analitik Hiyerarşi ve Analitik Şebeke Prosesi İle Hafif Makineli Tüfek Seçimi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye.