T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ İLE AYAMAMA HAVZASININ TAŞKIN RİSK ANALİZİ

Cumhur İLTER

DANIŞMAN
Prof. Dr. Cevza Melek KAZEZYILMAZ ALHAN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

İnşaat Mühendisliği Programı

İSTANBUL-2022

Bu çalışma, 14.01.2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İnşaat Mühendisliği Programında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Prof. Dr. Cevza Melek KAZEZYILMAZ ALHAN (Danışman)
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

Doç. Dr. Cemil AKÇAY
İstanbul Üniversitesi
Mimarlık Fakültesi

Dr. Öğr. Üyesi Uğur BOYRAZ
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

20.04.2016 tarihli Resmi Gazete'de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa'nın abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

ÖNSÖZ

Çalışmam boyunca üzerimdeki yükü her zaman asgariye indirmek için gayret gösteren ve her zaman beni teşvik eden eşim Mina İLTER'e, enerji ve motivasyon kaynaklarım olan çocuklarım Amine Hüma İLTER ve Asım Hamza İLTER'e sonsuz sevgilerimi sunuyor, tezimi güzel aileme ithaf ediyorum.

16 yıl önce lisans hayatımın başlaması ile öğrenciliği şerefine nail olduğum, gerek öğrencilik yaşantımda, gerekse iş hayatımda desteğini sonuna kadar hissettiğim, tez çalışmamda da gece gündüz demeden değerli emekleri ile çalışmama ışık tutan kıymetli hocam Prof. Dr. Cevza Melek KAZEZYILMAZ ALHAN'a saygı, minnet ve şükranlarımı arz ediyorum.

Ocak 2022 Cumhur İLTER

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ ..... **iv**
İÇİNDEKİLER ..... **v**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **vii**
TABLO LİSTESİ ..... **ix**
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ ..... **xii**
ÖZET ..... **xiii**
SUMMARY ..... **xv**
1. GİRİŞ **1**
2. GENEL KISIMLAR **7**
2.1. TAŞKIN 7
2.1.1. Türkiye'de Yaşanan Taşkınlar 7
2.1.2. Taşkın Risk Analizi 13
2.2. ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME (ÇKKV) 13
2.3. ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME (ÇKKV) YÖNTEMLERİ 15
2.3.1. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) 20
2.3.2. Analitik Ağ Süreci (ANP) 24
2.3.3. VIKOR Yöntemi 30
2.3.4. TOPSIS Yöntemi 33
2.3.5. ELECTRE I Yöntemi 36
2.4. SUPER DECISIONS PROGRAMI 39
3. MALZEME VE YÖNTEM **43**
3.1. AYAMAMA HAVZASI 43
3.1.1. Ayamama Havzası 43
3.1.2. Taşkın Risk Değerlendirmesi için Seçilen Alt Havzalar 45
3.2. TAŞKIN RİSK ANALİZİ İÇİN SEÇİLMİŞ ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME KRİTERLERİ 47
3.2.1. Nüfus Yoğunluğu 49
3.2.2. Eğim 51
3.2.3. Yükseklik 52
3.2.4. Jeoloji 56

3.2.5. Arazi Kullanımı 59
3.2.6. Bakı 64
4. BULGULAR 68
4.1. ANALİTİK HİYERARŞİ SÜRECİ İLE SEÇİLMİŞ LOKASYONLARIN RİSK ANALİZİ 68
4.2. ANALİTİK AĞ SÜRECİ İLE SEÇİLMİŞ LOKASYONLARIN RİSK ANALİZİ 78
4.3. VIKOR YÖNTEMİ İLE SEÇİLMİŞ LOKASYONLARIN RİSK ANALİZİ 83
4.4. TOPSIS YÖNTEMİ İLE SEÇİLMİŞ LOKASYONLARIN RİSK ANALİZİ 89
4.5. ELECTRE I YÖNTEMİ İLE SEÇİLMİŞ LOKASYONLARIN RİSK ANALİZİ 93
5. TARTIŞMA VE SONUÇ 99
6. KAYNAKLAR 102
7. ÖZGEÇMİŞ ..... Hata! Yer işareti tanımlanmamış.

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: Batman İli İluh Deresi 2006 Taşkını (SYGM, 2017) 9

Şekil 2.2: Elazığ Şehir Merkezi 2007 Taşkını (SYGM, 2017) 10

Şekil 2.3: Ayamama Deresi 2009 Taşkını (SYGM, 2017) 11

Şekil 2.4: Konya Bozkır 2010 Taşkını (SYGM, 2017).....12

Şekil 2.5: Samsun Canik 2012 Taşkını (SYGM, 2017).....12

Şekil 2.6: Çok Kriterli Karar Verme Süreci.....17

Şekil 2.7: Analitik Hiyerarşi Süreci ve Analitik Ağ Sürecinin Yapısal Farklılığı (Chung, Lee ve Pearn, 2004).....26

Şekil 2.8: Kriter Kümeleri Arası İlişki Türlerine Göre Süpermatris Yapıları.....30

Şekil 2.9: SuperDecisions Programı Kriter-Alternatif Seçimi Arayüzü 40

Şekil 2.10: SuperDecisions Programı ile Etki Bağlantıları Oluşturma.....41

Şekil 2.11: SuperDecisions Programı ile Karar Matrisi Oluşturma.....41

Şekil 2.12: SuperDecisions Programı ile Limit Süpermatris Oluşturma 42

Şekil 3.1: Ayamama Havzası 44

Şekil 3.2: Ayamama Havzası'nda Seçilen Lokasyonlar 46

Şekil 3.3: Ayamama Havzası Nüfus Yoğunluğu Haritası.....50

Şekil 3.4: Ayamama Havzası Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) Haritası.....55

Şekil 3.5: Ayamama Havzası Jeoloji Haritası.....58

Şekil 3.6: Ayamama Havzası CORINE Arazi Örtüsü – Yeşil Alanlar.....62

Şekil 3.7: Ayamama Havzası CORINE Arazi Örtüsü – Spor ve Eğlence Alanları 62

Şekil 3.8: Ayamama Havzası CORINE Arazi Örtüsü – İnşaat Sahaları.....63

Şekil 3.9: Ayamama Havzası CORINE Arazi Örtüsü – Endüstriyel Alanlar.....63

Şekil 3.10: Ayamama Havzası CORINE Arazi Örtüsü – Sürekliliği Olmayan Kırsal Yerleşim Alanları 64

Şekil 3.11: Ayamama Havzası CORINE Arazi Örtüsü – Karayolları 64

Şekil 3.12: Ayamama Havzası Bakı Haritası 67

Şekil 4.1: ANP Ağ Yapısı 79

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 1.1: Dünyada Gözlenen Afet Türleri Tablosu (AFAD) 2

Tablo 2.1: Ülkemizde yaşanan sel felaketleri (DSİ, 2017).....9

Tablo 2.2: Çok Kriterli Karar Verme Problemleri ve Teknikleri (Ishizaka ve Nemery, 2013).....20

Tablo 2.3: Analitik Hiyerarşi Süreci Önem Ölçeği (Saaty ve Özdemir, 2005).....22

Tablo 2.4: Rastgele Değer İndeksi.....24

Tablo 2.5: Analitik Hiyerarşi Süreci Etki Matrisi 29

Tablo 2.6: Analitik Ağ Süreci Etki Matrisi 29

Tablo 3.1: Kriter ağırlıkları ve formülasyonları 48

Tablo 3.2: Ayamama Havzası'nda bulunan formasyonların geçirim tablosu (İBB, 2007) 59

Tablo 3.3: Seçilen noktaların tüm kriterlere göre aldığı değerler.....66

Tablo 4.1: AHP Eğim Kriteri Karşılaştırma Matrisi 68

Tablo 4.2: AHP Eğim Kriteri Normalize Edilmiş Karşılaştırma Matrisi 69

Tablo 4.3: AHP Eğim Kriteri Öncelikler Vektörü.....69

Tablo 4.4: AHP Eğim Kriteri Tüm Öncelikler Matrisi 70

Tablo 4.5: AHP Eğim Kriteri Özdeğer ve Tutarlılık Hesabı 70

Tablo 4.6: Wharton Rastgele Değer İndeksi (Önder, 2018).....71

Tablo 4.7: AHP Yükseklik Kriteri Karşılaştırma Matrisi.....72

Tablo 4.8: AHP Yükseklik Kriteri Normalize Edilmiş Matris 72

Tablo 4.9: AHP Yükseklik Kriteri Öncelikler Vektörü.....72

Tablo 4.10: AHP Yükseklik Kriteri Tüm Öncelikler Matrisi.....72

Tablo 4.11: AHP Yükseklik Kriteri Özdeğer ve Tutarlılık Hesabı 73

Tablo 4.12: AHP Jeoloji Kriteri Karşılaştırma Matrisi 73

Tablo 4.13: AHP Jeoloji Kriteri Normalize Edilmiş Matris 73
Tablo 4.14: AHP Jeoloji Kriteri Öncelikler Vektörü 74
Tablo 4.15: AHP Jeoloji Kriteri Tüm Öncelikler Matrisi 74
Tablo 4.16: AHP Jeoloji Kriteri Özdeğer ve Tutarlılık Hesabı 74
Tablo 4.17: AHP Arazi Kullanımı Kriteri Karşılaştırma Matrisi 75
Tablo 4.18: AHP Arazi Kullanımı Kriteri Normalize Edilmiş Matris 75
Tablo 4.19: AHP Arazi Kullanımı Kriteri Öncelikler Vektörü 75
Tablo 4.20: AHP Arazi Kullanımı Kriteri Tüm Öncelikler Matrisi 75
Tablo 4.21: AHP Arazi Kullanımı Kriteri Özdeğer ve Tutarlılık Hesabı 76
Tablo 4.22: AHP Bakı Kriteri Karşılaştırma Matrisi 76
Tablo 4.23: AHP Bakı Kriteri Normalize Edilmiş Matris 76
Tablo 4.24: AHP Bakı Kriteri Öncelikler Vektörü 77
Tablo 4.25: AHP Bakı Kriteri Tüm Öncelikler Matrisi 77
Tablo 4.26: AHP Bakı Kriteri Özdeğer ve Tutarlılık Hesabı 77
Tablo 4.27: AHP Tüm Kriterlerin Karşılaştırılması 78
Tablo 4.28: ANP Metodu Süpermatrisi 80
Tablo 4.29: ANP Metodu Ağırlıklandırılmış Süpermatris 81
Tablo 4.30: ANP Metodu Limit Süpermatris 82
Tablo 4.31: VIKOR Metodu Karar Matrisi 83
Tablo 4.32: VIKOR Metodu Normalizasyon Matrisi 84
Tablo 4.33: VIKOR Metodu Ağırlıklandırılmış Normalize Karar Matrisi 85
Tablo 4.34: VIKOR Metodu S_i , R_i , S^* , S^- , R^* , R^- , Q_i değerleri 85
Tablo 4.35: VIKOR Metodu Alternatiflerin Sıralanması ve Değerlendirilmesi 87
Tablo 4.36: TOPSIS Metodu Karar Matrisi 89
Tablo 4.37: TOPSIS Metodu Normalizasyon İşlemi 89
Tablo 4.38: TOPSIS Metodu Normalize Edilmiş Matris 90

Tablo 4.39: TOPSIS Metodu Ağırlıklandırılmış Normalize Karar Matrisi ile İdeal ve Negatif İdeal Çözüm Değerleri 91

Tablo 4.40: TOPSIS Metodu İdeal ve Negatif İdeal Uzaklıklar Tabloları.....92

Tablo 4.41: TOPSIS Metodu İdeal Çözüme Göreli Yakınlık Değeri Hesaplanması 92

Tablo 4.42: ELECTRE I Metodu Karar Matrisi.....93

Tablo 4.43: ELECTRE I Metodu Normalizasyon Matrisi 94

Tablo 4.44: ELECTRE I Metodu Ağırlıklandırılmış Normalizasyon Matrisi.....94

Tablo 4.45: ELECTRE I Metodu Uyum Seti 95

Tablo 4.46: ELECTRE I Metodu Uyumsuzluk Seti.....95

Tablo 4.47: ELECTRE I Metodu Uyum ve Uyumsuzluk Matrisleri 97

Tablo 4.48: ELECTRE I Metodu Uyumluluk ve Uyumsuzluk Üstünlük Matrisleri.....97

Tablo 4.49: ELECTRE I Metodu Uyumluluk ve Uyumsuzluk Üstünlük Değerlendirme Matrisi.....97

Tablo 4.50: ELECTRE I Metodu c_a ve d_a Değerlerinin Bulunması ve Sıralanması.....98

Tablo 5.1: Teknikler Arası Değerlerin Karşılaştırılması 100

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler **Açıklama**

λ_{max} : Özdeğer

w_i : Ağırlık katsayısı

Kısaltmalar **Açıklama**

ÇKKV : Çok Kriterli Karar Verme

AHP : Analitik Hiyerarşi Süreci

ANP : Analitik Ağ Süreci

CBS : Coğrafi Bilgi Sistemi

CI : Tutarlılık İndeksi

CR : Tutarlılık Oranı

RI : Rastgele Değer İndeksi

TÜİK : Türkiye İstatistik Kurumu

ha : Hektar

İBB : İstanbul Büyükşehir Belediyesi

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ İLE AYAMAMA HAVZASININ TAŞKIN RİSK ANALİZİ

Cumhur İLTER

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Cevza Melek KAZEZYILMAZ ALHAN

Dünyanın en büyük metropollerinden biri olan, yaklaşık 20 milyon kişinin yaşadığı, ticaret ve turizmin etkileriyle günlük insan dolaşımının oldukça fazla olduğu İstanbul, günümüze kadar deprem ve taşkın gibi doğal afetlerle karşı karşıya kalmaktadır. Her geçen gün afet bilincinin artması ve risklerin bilimsel araştırmalarla hesaplanması doğal afetler nedeniyle oluşan risklerin yönetilebilir hale gelmesinde önemli rol oynamaktadır. İstanbul'un taşkın açısından en fazla önem arz eden bölgelerinden biri Ayamama Havzası'dır. Ayamama Havzası'nda bugüne kadar birçok taşkın meydana gelmiş; nüfus ve hareketliliğin artması ile günümüzde taşkın riski daha da artmıştır. İstanbul'un yaşam, ulaşım, ticaret gibi birçok unsurunu barındırdığı Ayamama Havzası'nda daha önce yaşanmış taşkınlardan ders alarak risklerin farklı parametrelerle analizinin yapılabilmesi önemlidir. Bu nicel ve nitel parametreleri analiz edebilmek için kullanılabilecek yöntemlerden birisi "Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) Yöntemleri"dir. ÇKKV Yöntemleri yardımıyla birçok alternatif, farklı kriterler ile sentezlenerek bir öncelik sıralamasına tabi tutulmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında Ayamama Havzası taşkın risk analizi ÇKKV yöntemleri ile yapılmıştır. Tez kapsamında ÇKKV Yöntemlerinden Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP), Analitik Ağ Süreci (ANP), VIKOR, TOPSIS ve ELECTRE I teknikleri kullanılarak analizler yapılmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bahsedilen teknikler kullanılarak oluşturulan algoritmalar ile risk arz eden tüm bölgelerde öncelik tanımlaması yapılmıştır. Çalışma kapsamında oluşturulan ÇKKV yöntemlerini çözümleyen program, farklı lokasyonlar ve durumlara uygun olacak kriterler ve parametreleri tanımlayabilecek şekilde tasarlanmıştır. Bu sayede risk analizi yapılacak bölgede

hangi alanın diğerlerinden daha riskli alanda olabileceği hesap edilebilmektedir. Her bir teknik ile risk analizi tamamlandıktan sonra kullanılan tekniklerin birbirlerine olan üstünlüğü ve dezavantajları tartışılmış ve riskli bölgenin saptanmasında etkinlikleri belirlenmiştir. Sonuç olarak Ayamama Havzası'nda seçili bölgelerden sırasıyla en riskli bölge Çobançeşme olup Atatürk, Evren, İkitelli ve İnönü şeklinde birbirini takip ettiği ortaya konmuştur. Ayrıca ÇKKV yöntemlerinin taşkın risk analizi alanında etkinliği ortaya konulmuştur.

Ocak 2022, 126 sayfa.

Anahtar kelimeler: Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri, Taşkın Risk Analizi, Ayamama Havzası, ,

SUMMARY

M.Sc. THESIS

FLOOD RISK ANALYSIS OF AYAMAMA BASIN WITH MULTI-CRITERIA DECISION MAKING METHODS

Cumhur İLTER

Istanbul University-Cerrahpasa

Institute of Graduate Studies

Department of Civil Engineering

Supervisor : Prof. Dr. Cevza Melek KAZEZYILMAZ ALHAN

Istanbul is one of the largest metropolitans in the world, where approximately 20 million people live. With daily dense human activities due to the effects of trade and tourism, Istanbul is often facing with natural disasters such as earthquakes and floods. The increase in awareness of disasters and the research on risk calculation play an important role in managing the risks caused by natural disasters. One of the most important regions of Istanbul in terms of flooding is the Ayamama Basin. Many floods have occurred in the Ayamama Basin to date; with the increase in population and mobility, the risk of flooding has also increased . In the Ayamama Basin, which hosts many elements of Istanbul such as life, transportation and trade, it is important to be able to analyze the risks with different parameters by taking lessons from the floods that have been experienced before. One of the methods that can be used to analyze these quantitative and qualitative parameters is "Multi-Criteria Decision Making (MCDM) Methods". With the help of MCDM Methods, many alternatives are synthesized with different criteria and subjected to a priority order. Within the scope of this thesis, the flood risk analysis of the Ayamama Basin was carried out by MCDM methods. Within the scope of the thesis, analyzes were made using MCDM Methods of Analytical Hierarchy Process (AHP), Analytical Network Process (ANP), VIKOR, TOPSIS and ELECTRE I techniques and the results were compared. With the algorithms developed using the aforementioned techniques, priority definition was made for all risky regions. The program, which analyzes the MCDM methods developed within the scope of the study, is designed to define criteria and parameters that will

be suitable for different locations and situations. This way, high risk regions and moderate risk regions can be determined within the basin where risk analysis is performed. After completing the risk analysis with each technique, the advantages and disadvantages of the techniques were discussed and their effectiveness in determining the risky area was determined. As a result, it has been revealed that Çobançeşme is the most risky region among the selected regions in the Ayamama Basin, followed by Atatürk, Evren, İkitelli, and İnönü.

January 2022, 126 pages.

Keywords: Multi-Criteria Decision Making Techniques, Flood Risk Analysis, Ayamama Watershed

1. GİRİŞ

Dünyanın oluşumundan bu zamana geçen sürede gerek doğal yaşantının bir getirisi olarak, gerekse doğal düzenin bozulması sonucu afetler meydana gelmiştir ve gelmeye devam etmektedir. İnsanoğlu tabiatı itibariyle afetlerden sonuçlar çıkararak önlemler almaya başlamışlardır. Doğal afetler, başta sanayi gelişimleri ile doğal düzenin bozulması sonucu tetiklenmeye başlamış, sonraları gelişen yapılaşma ve teknolojiyle birlikte ortaya çıkan afetler de afet türlerini arttırmıştır.

Jeolojik Afetler	**Klimatik Afetler**	**Biyolojik Afetler**	**Sosyal Afetler**	**Teknolojik Afetler**
Deprem	Sıcak Dalgası	Erozyon	Yangınlar	Maden Kazaları
Heyelan	Soğuk Dalgası, Kuraklık, Dolu, Sel, Hortum, Yıldırım	Orman Yangınları	Savaşlar	Biyolojik, Nükleer, Kimyasal Silahlar
Kaya Düşmesi	Kasırga, Tipi, Çığ	Salgınlar	Terör Saldırıları	Sanayi Kazaları
Volkanik Patlamalar	Tayfun, Asit Yağmurları	Böcek İstilası	Göçler	Ulaşım Kazaları
Çamur Akıntıları	Sis, Buzlanma			
Tsunami	Tornado, Orman Yangınları			
	Aşırı Kar Yağışları			
	Siklonlar, Hava Kirliliği			

Tablo 1.1: Dünyada Gözlenen Afet Türleri Tablosu (AFAD)

Taşkınlar, dünyada görece fazla rastlanan, doğal olduğu kadar insanoğlunun doğal sürece müdahale etmesiyle de artışların gözlemlendiği, yüksek sayıda ölümün, ekonomik ve sosyolojik yıkımların meydana gelmesine sebep olan önemli afet türlerindendir. Ağıralioğlu'na (2007) göre taşkın, yağış rejiminin normalin üstünde seyretmesi yahut karların normal seyrinden hızlı erimesi sonucu oluşan akıştır.

Taşkınların oluşma nedenleri incelendiğinde, doğal meteorolojik şartlar, jeomorfolojik şartlar, insan müdahalesi ve sosyal faktörler ana başlığı altında toplandığı görülürken, altyapı ve deşarj sistemlerinin yetersizliği ile akarsu yataklarının dolu olması unsurları görece daha ön plana çıkmaktadır (Onuşluel ve Harmancıoğlu, 2002). Görcelioğlu'na (2003) göre ise taşkınlar, akarsu yatağına erişen su akışının ivmeli biçimde artmasıyla debinin önemli ölçüde yükselerek ana akarsu yatağından çıkmasından kaynaklanmaktadır. Akarsu akışına etki eden faktörler iklim, mevki ve jeoloji olarak üç ana başlıkta ele alınabilir (Özcan, 2017). Taşkın riski olan bölgelerde artan nüfus yerleşimi, bu yerleşimlerin artışına mukabil oluşturulan yeni ulaşım ağları, sanayileşmenin artması neticesinde yeni fabrika ve üretim tesislerinin kurulması gibi nedenlerle arazi yapısı doğal seyrinin dışına çıkmakta, tarım alanlarının düzgün kullanılmaması ile alanlar kendi haline bırakılmamakta, yeşil alanlar sayılı sebeplerle azaltılmakta ve netice olarak şiddet, etki ve nicelik bakımından daha çok taşkına sebebiyet vermektedir.

İstanbul'un birçok bölgesinde altyapı ve drenaj çalışmaları, yapılaşma ve nüfus artışından sonra başladığından yetersiz drenaj ağı akarsu havzalarındaki akış hızını ve debiyi de etkilemiştir. Yapılan altyapı çalışmaları yerleşik yapılaşmanın artış hızıyla doğru orantılı gidiyor bile olsa drenaj akışı yetersiz olan bölgelerin telafisini beraberinde getirmekten geri kalmaktadır. Ayamama Havzası'nın bulunduğu ilçeler olan Bağcılar, Küçükçekmece, Bahçelievler ve Bakırköy'ün nüfus yoğunluklarına bakıldığında kilometrekare başına düşen kişi sayısının 35 binlere ulaştığını görmek mümkündür (https://www.aa.com.tr/tr/turkiye/istanbulda-kilometrekareye-gungorende-41-bin-348-silede-47-kisi-dusuyor/1730385). Dünyanın en büyük nüfusuna sahip ülkesi olan Çin'in başkenti Pekin'in nüfus yoğunluğuna bakıldığında kilometrekare başına 4.659 kişi, en büyük nüfusa sahip ikinci ülkesi olan Hindistan'ın başkenti Delhi'ye bakıldığında ise 14.272 kişinin kilometrekare başına düştüğünü görmek mümkündür (https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_largest_cities). Ayamama Havzası'nın önemini ve barındırdığı riskin ne kadar büyük olduğunu ortalama nüfus yoğunluğu verileriyle de

görebilmekteyiz. Risk analizi, risk yönetiminde karar vermeye yönelik bir araç olup, yönetim prosesinin önemli bir parçasıdır. Risk analizi yapılabilmesi için riskin tanımlanması yani teşhis edilmesi gerekir. Zira doğru tanımlanmamış risk, temeli düzgün oluşturulmamış bir yapı gibidir. Teşhis edilen riskin analiz edilmesi ve akabinde karar verilmesi gerekmektedir. Risk tanımlanırken belirsizliklerin olabildiğince ortadan kaldırılması gerekir. Hava Kuvvetleri Komutanlığı Risk Yönetim Yönergesi'ne (2000) bakıldığında riskin tanımlanması prosesi (1) konu analizi, (2) tehlikelerin belirlenmesi, (3) tehlike sebeplerinin belirlenmesi olarak işletilmektedir.

Risk analiz edilirken bazı zamanlarda kantitatif verilerin de işlenmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Kalitatif veriler analiz edilirken kullanılabilen rasyonel yöntemler, kantitatif verilerde doğrudan işe yaramamaktadır. Öte yandan risk analizi yaparken birden fazla kriter ya da birden fazla amaç da güdülebilir. Bu tarz analizlerde çok kriterli karar verme, çok ölçütlü karar verme ya da çok amaçlı karar verme teknikleri adı verilen tekniklerin kullanılması gerekmektedir. Teknikler incelendiğinde Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP), TOPSIS, DEMATEL, VIKOR, ELECTRE, PROMETHEE, COPRAS, Gri İlişkisel Analiz, ARAS, MAUT, OCRA, Analitik Ağ Süreci (ANP), MOORA, MACBETH, UTA, PAPRIKA, SWARA, EATWIOS, WASPAS, Oyun Teorisi, Hedef Programlama, Veri Zarflama Analizi gibi çok farklı yaklaşımın var olduğu görülmektedir.

Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) Teknikleri ile ilgili farklı dallarda pek çok araştırma yapılmıştır. Zira sadece risk yönetimi ile alakalı değil, birçok karar verme probleminde ÇKVV Teknikleri kullanılmaktadır. Örneğin Özcan (2017), Ayamama Havzası'nın taşkın tespiti ile alakalı Analitik Hiyerarşi Prosesi, Bilgi Difüzyonu, Hidrolojik Taşkın Modellemesi ve Eğri Numarası yöntemlerini mukayese etmiş ve yöntemler arasında orantılı sonuçlar çıktığını ortaya koymuştur. Aynı zamanda çalışmasında havza içerisinde kalan çok fazla etkilenebilir alan olduğunu da Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) tabanlı olarak göstermiştir.

Kazezyılmaz-Alhan vd. (2019), Ayamama Havzası'nda 2009 senesinde meydana gelen trajedinin sonuçlarını EPA SWMM modeli ile ele almış, oluşturulan hidrodinamik model ile taşkın derinliği ve hacmini hesap ederek Havza Modelleme Sistemi (WMS) kullanarak havzanın taşkın tehlike haritasını oluşturmuşlardır. Oluşturulan taşkın tehlike haritası, havzada taşkın yönetiminin doğru oluşturulması ve oluşabilecek riskleri değerlendirebilmek amacıyla ortaya konulmuştur.

Sun vd. (2020) tarafından, Yangtze Nehri Havzası'nın taşkın risk analizini çok kriterli karar verme yöntemleri kullanarak yapılan çalışmada üç farklı yöntem kullanmış ve Yangtze Nehri'nin geçtiği dört idari birimi (Şanghay, Jiangsu, Zhejiang, Anhui Eyaletleri) birbiriyle mukayese etmiştir. Kriter olarak bitki örtüsü, 15 yaş ve üstü okuryazar olmayan nüfusun oranı, drenaj yoğunluğu, ekilen alan oranı ve bina yoğunluğu seçilerek analiz yapılmış ve çalışmanın nihayetinde bir duyarlılık analizi yapılmıştır.

Zhu vd. (2017), geleneksel ÇKKV yöntemlerini, rezervuar taşkın kontrol işlemi için stokastik ortamlara genişletmek amacıyla stokastik çok kriterli kabul edilebilirlik analizi (SMAA) teorisi ile geleneksel çok kriterli karar verme tekniklerini mukayese etmiştir. Kriter ağırlık değerlerini ve kriter içi değerleri stokastik belirsizlikleri nicelleştirme yöntemleri ile tartışmış ve etkinliğini ve avantajını göstermek için önerilen metodolojiyi Monte Carlo simülasyonu aracılığıyla bir vaka çalışmasına uyarlamışlardır.

Yang vd. (2021), geleneksel olmayan su kaynakları üzerinde yapılan risk analizinde yöneticilerin ve karar vericilerin çeşitli belirsizliklerle karşı karşıya kaldığından hareketle belirsiz kriter ağırlıkları ve kriter içi değerlerin daha etkin kullanılabilmesi ve reel sonuçlar ortaya koyulabilmesi amacıyla değiştirilmiş gri ilişkisel analize (GRA) ve çift yönlü projeksiyona (BP) dayalı yeni stokastik çok kriterli kabul edilebilirlik analizi (SMAA) modeli, niteliksel kriterlerin ele alınması için SMAA-Ordinal (SMAA-O) modeli, çoklu kriterlerin çakışmasını uzlaştırmak ve potansiyel belirsizliği simüle etmek için koordineli kriter ağırlıkları ve risk analizi endeksi ile karar verme risk ölçümü modeli kullanılarak entegre stokastik çok kriterli karar verme tekniklerinin çerçevesini genişletmeyi amaçlamıştır.

Akay vd. (2020), geleneksel çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılarak Akçay Havzası'ndaki alt havzaların ani taşkın potansiyeli önceliklendirilmesi amacıyla yaptığı çalışmada, geleneksel yöntemlerin ve ÇKKV yaklaşımlarının sonuçlarını doğrulamak için Kendall tau ve Spearman korelasyon katsayısı testleri ve alıcı işletim özellikleri analizi yapılmıştır. Çalışmanın AHP yönteminin daha yüksek taşkın potansiyeline sahip alt havzaları iyi tahmin edebileceğini ortaya koyulurken, çalışmada benimsenen metodoloji çok kriterli karar verme yöntemlerinde ANP yönteminden elde edilen kriter ağırlıklarını belirlemek için bu yaklaşımların, özellikle VIKOR'un tahmin kabiliyetini geliştirdiği ortaya koyulmuştur. Geleneksel yöntemler ile çok kriterli karar verme yöntemleri mukayese edildiğinde, ÇKKV yöntemleri ile yapılan taşkın risk analizinin daha verimli olduğu gösterilmiştir.

Mishra vd. (2020), Hindistan'da muson yağışlarından kaynaklanan taşkın riskini analiz etmek amacıyla Kosi megafanında bulunan Kosi Nehri Havzası'nda jeomorfolojik, hidrolojik ve sosyo-ekonomik veriler ışığında 105 nokta için Analitik Hiyerarşi Prosesi kullanarak CBS tabanına işlemiştir.

Öztürk (2009), yaptığı CBS tabanlı ÇKKV Teknikleri ile sel ve taşkın duyarlılığı ile alakalı çalışmasında, Güney Marmara Havzası örneği ile altı farklı kriter kullanarak arayüz geliştirmiş; geliştirdiği arayüz ile sel ve taşkın duyarlılığının belirlenmesinde klasik yöntemlere önemli bir alternatif geliştirmeyi önceliklemiştir.

Saral (2010), çalışmasında ÇKKV Tekniklerini kullanarak taşkın risk analizi yazılımı ile Ayamama Havzası'nı CBS tabanlı olarak modellemiş, çalışması esnasında Analitik Hiyerarşi Süreci ve Bilgi Difüzyonu tekniklerini kullanarak TRA yazılımını ortaya koymuştur. Çalışma kapsamında eğim, bakı, yükseklik, jeoloji ve arazi kullanımı kriterleri değerlemeye alınmıştır.

Hajkowicz ve Collins (2007), 34 ülkeden 113 adet yayımlanmış su yönetimi ile ilgili ÇKKV çalışmasını gözden geçirerek yazdıkları makalelerinde ÇKKV Tekniklerinin su politikası değerlendirmesi, stratejik planlama ve altyapı seçimi için yoğun olarak kullanıldığını ortaya koymuş, su yönetimi ve taşkın problemlerinde ÇKKV tekniklerinin benimsenmesi için motivasyonları incelemiş ve ileride kullanılmak üzere araştırma yönlerini dikkate almışlardır.

Dinç (2019), İstanbul'da yaşanmış su baskını, sel ve taşkınların geçmişi ile riskleri yekten ele alarak arazi kullanımının dere sistemleri üzerindeki etkilerini yasal zeminini de inceleyerek teknik, planlama ve idari olarak değerlendirmiş ve arazilerin kullanım amaçlarına uygun kullanılmaması durumunda oluşacak risklerin altını çizmiştir.

Girayhan (2015), taşkın risk değerlendirmesinin nicel metotlarla hasar modellemesi üzerine yaptığı çalışmada, risklerin doğru belirlenerek taşkının ortaya çıkaracağı ekonomik yıkıntıların sayısal modelleme ile AB ülkelerindeki uygulamalar da dikkate alınarak Türkiye'ye uyarlanması sağlanmıştır. Geliştirdiği metot ile hidrolik ve hidrojeolojik modellemeden ekonomik değerlemeye kadar birçok kıstas ve başlık ele alınmıştır.

Kallen vd. (2009), taşkın yönetiminde risk ve karar analizi ile alakalı geniş çaplı bir çalışma yaparak, taşkın risk yönetimine farklı bakış açıları getirmiştir.

Oğuz (2015), coğrafi bilgi sistemleri tabanı ile Artvin özelinde yaptığı çalışma ile taşkın risk alanlarını çok kriterli karar verme tekniği ile değerlendirmiş; kriterlerin ağırlıklarının risk analizi üzerindeki etkilerini değerlendirmiştir. Keza Özcan (2017), benzer değerlendirme yöntemi ile Ayamama Havzasını değerlendirmiştir. Özcan vd. (2011), bilgi difüzyonu teorisi ile coğrafi bilgi sistemi değerlendirmesi yapmışlardır. Şahin (2012) ise benzer bir çalışmayı Trabzon özelinde heyelan riski üzerinde yapmıştır.

Şen (2015), Ayamama Havzası'nda hidrometeorolojik veriler ışığında taşkın yönetim modeli ortaya koymuş, taşkın öncesi, taşkın esnası ve taşkın sonrası için mukayeseler yaparak modellemelerde bulunmuştur.

Yapılan çalışmalar incelendiğinde, çok kriterli karar verme tekniklerinin risk analizinde kullanıldığı ve mukayese edildiği geniş çaplı bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu tez kapsamında literatürde yapılmış olan çalışmalara katkıda bulunmak amacıyla ÇKKV Yöntemlerinin taşkın risk analizine uygulanabilirliği değerlendirilmiştir. Çalışma alanı olarak sıkça büyük taşkınların görüldüğü Ayamama Havzası seçilmiştir. Ayamama Havzası içerisinde seçilmiş olan 5 farklı lokasyon için 5 farklı ÇKKV yöntemi ile taşkın risk analizi yapılmıştır. Analizlerde 5 farklı kriter dikkate alınmıştır. Elde edilen sonuçlar kıyaslamalı olarak tartışılmış ve ÇKKV'nin taşkın risk analizi konusunda yeterliği değerlendirilmiştir.

2. GENEL KISIMLAR

Tez kapsamında ele alınan taşkın ve unsurları ile taşkın risk analizi için toplanan verilerin analiz edilmesinde kullanılan Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) Yöntemlerinin prensipleri ve uygulama biçimleri ile Analitik Ağ Süreci'nde (ANP) kullanılan Super Decisions uygulaması bu kısımda anlatılmıştır.

2.1.TAŞKIN

Taşkın, çeşitli nedenlerle akarsu yataklarını sular altında bırakmak suretiyle çevredeki arazilere, yerleşim yerlerine, altyapıya ve canlılara zarar vererek bu bölgedeki ekonomik ve sosyal faaliyetleri bozan bir doğa olayıdır. Taşkınlar her yıl önemli sosyal ve ekonomik hasarlara yol açmakla kalmayıp, can kayıplarına neden olmaktadır. Son yıllarda küresel iklim değişikliğinin etkileri ve yanlış arazi kullanımı nedeniyle taşkınların sayısı ve etkisi önemli ölçüde artmıştır.

Taşkınlar en yaygın meteorolojik doğal afetlerden biridir; tüm dünyada olduğu gibi Türkiye'de de her yıl büyük ekonomik hasara ve can kaybına neden olan doğal afetlerdir. İstatistiki verilere göre Türkiye'de depremden sonra en önemli zarar taşkın olaylarında yaşanmaktadır. Su basan alanın bitki örtüsü, jeolojik ve topografik özellikleri ile morfolojik yapısı güçlü değişikliklere tabidir. İklim değişikliği, yanlış arazi kullanımı ve sanayinin gelişmesi ile gelecekte sel olaylarının artacağı tahmin edilmektedir. Alınacak önlemler ve stratejik planlama ile taşkınların yol açtığı tahribatı en aza indirmek, toplumsal yapı üzerindeki etkiyi azaltmak mümkündür.

Havzanın büyüklüğü, eğimi, şekli, jeomorfolojik yapısı, bitki örtüsü, toprak yapısı ve yağış akış dengesi, taşkın oluşumunda çok önemli rol oynamaktadır. Taşkınları şiddetlendiren başlıca faktörler ve etkileri; iklim değişikliği, akarsu havzalarındaki değişiklikler ve bozulmalar, dere yataklarında ve taşkın koruma sistemlerinde olumsuz müdahaleler, sele eğilimli alanların çeşitli amaçlarla kullanılması, plansız kentleşme, karayolu ve demiryolu ağları ve kötü tasarlanmış mühendislik yapıları olarak kısaca özetlenebilir. (SYGM, 2017)

2.1.1. Türkiye'de Yaşanan Taşkınlar

Depremsellik açısından önemli zararlar yaşayan ülkemiz, afetlerin sayıları ve etkileri göz önünde bulundurulduğunda ikincil olarak taşkın felaketleri ile karşı karşıya kalmaktadır (Tablo 2.1). Vahşi sulama alışkanlıklarının, plansız kentleşmelerin ve akarsu yataklarının

bozulmasının meydana getirdiği sağlıksız akarsu rejimleri sonucunda ciddi taşkın felaketleri yaşanılmıştır. Bu minvalde önlemler alınsa da kent içerisinde bulunan akarsuların etkilerini çözmek ekonomik ve sosyal olarak zorlayıcı durumlardandır.

YIL	TAŞKIN SAYISI	CAN KAYBI	SU ALTINDA KALAN ALAN (ha)
1975	62	8	36.714
1976	29	5	22.536
1977	27	11	3.317
1978	21	0	13.850
1979	21	61	40.966
1980	44	6	83.016
1981	16	2	58.413
1982	10	0	784
1983	14	33	2.113
1984	12	0	29.140
1985	7	0	2.318
1986	8	4	679
1987	7	0	564
1988	24	17	3.910
1989	10	1	9.500
1990	26	57	7.450
1991	23	23	15.770
1992	14	1	690
1993	2	0	60
1994	9	4	1.680
1995	20	164	201.100
1996	4	1	11.000
1997	1	0	1.390
1998	2	57	7.000
1999	1	3	
2000	4	0	8.066
2001	42	8	43.297
2002	27	27	510
2003	21	7	64.200
2004	23	3	25.750
2005	25	14	13.855
2006	24	45	85.810
2007	22	11	1.050
2008	10	2	10
2009	84	59	3.250
2010	110	25	44.279
2011	56	13	202
2012	69	23	19.685
2013	38	7	17.569
2014	118	9	4.455
2015	122	9	7.985
TOPLAM	**1.209**	**720**	**893.933**

Tablo 2.1: Ülkemizde yaşanan sel felaketleri (DSİ, 2017)

1998 yılında Karadeniz'in batı illerinde etkili olan taşkın 2 milyondan fazla kişiyi etkilemiş, 30'dan fazla can kaybına sebebiyet vermiştir. 5 ilde 151 akarsu taşmış, 478 ev sular altında kalarak kullanılamaz hale gelmiştir. Bölgesel nüfus yoğunluğunun daha fazla olduğu İzmir'de 1995 senesinde ani ve kuvvetli yağışlara bağlı olarak yaşanan taşkında ise 61 kişi hayatını kaybetmiş, yüzlerce konut ve işyeri sular altında kalmıştır.

2006 senesinde Batman'da bulunan İluh Deresi yağışın etkisi ile oluşan taşkında 10 kişi hayatını kaybetmiş, 13 kişi yaralanmıştır.



Şekil 2.1: Batman İli İluh Deresi 2006 Taşkını (SYGM, 2017)

2007 senesinde Elazığ'da şiddetli yağışın etkisi ile, yanlış biçimde ıslah edilmiş dere yatakları kapalı sistem menfezlerin darlığı sebebiyle şişerek taşmış ve şehir merkezinde ciddi zararlara sebep olmuştur.



Şekil 2.2: Elazığ Şehir Merkezi 2007 Taşkını (SYGM, 2017)

Çalışmanın ana lokasyonunu oluşturan Ayamama Deresi, tarih içerisinde birçok kez taşkın felaketi ile karşı karşıya kalmış olsa da 2009 yılında en önemli taşkın hadiselerinden biri ile karşı karşıya kalmıştır. 1957 Ankara taşkını ve 1995 İzmir taşkınından sonra en fazla can kaybının yaşandığı taşkın olan 2009 Ayamama Deresi taşkınında 32 can kaybı olmuş, 5000'den fazla yerleşim alanı ve işyeri hasar görmüştür.



Şekil 2.3: Ayamama Deresi 2009 Taşkını (SYGM, 2017)

Ayamama'da yaşanan son taşkından bir sene sonra, 2010 senesinde, Konya'nın Bozkır İlçesi sınırlarında yer alan Çarşamba Deresi taşmış, akarsu üzerinde yer alan 13 köprüden 5'i yıkılmış, 8'i ise ciddi hasar görmüştür. 120 yerleşim yeri ve işyerinde hasar meydana gelmiş, atık su ve içme suyu hatları da zarar görmüştür. 485 dekar tarım arazisi de sular altında kalmıştır.



Şekil 2.4: Konya Bozkır 2010 Taşkını (SYGM, 2017)

2012 senesinde Samsun ili Canik ilçesinde bulunan 3 dere, aşırı yağış dolayısıyla taşkına sebebiyet vermiştir. Şiddetli yağışın toprağı doygun hale getirmesi, dere yataklarına yapılan müdahaleler ve dolayısıyla dere mansap koşulunun sağlanamaması neticesinde ortaya çıkan taşkın 14 kişinin canına mal olmuş, 3000'den fazla bağımsız bölümün sular altında kalmasına neden olmuştur.



Şekil 2.5: Samsun Canik 2012 Taşkını (SYGM, 2017)

2.1.2. Taşkın Risk Analizi

Taşkın risk analizi, tehlike ve risk haritalarının değerlendirilerek taşkın yönetiminin taşkın öncesi önleyici ve düzenleyici bir metodolojisidir. Risk analizi yapılırken halihazırda bulunan ya da kolaylıkla ulaşılabilecek veriler ışığında hareket edilmelidir. Risk analizinin temel dayanak noktası, daha önce yaşanmış taşkın felaketlerinin sonuçları ile mevcut durumun sentezlenmesidir; nitekim taşkına sebebiyet veren ya da taşkının değişkenleri arasında yer alan parametrelerin değişkenliklerine göre analiz farklılaşacaktır.

Taşkın risk analizi yapılırken ulaşılmak istenen sonuç, hangi durumda hangi bölgenin ne kadar hasar alacağının belirlenmesi değildir. Analizin asıl amacı, risk taşıyan bölgelerin birbirleri arasında önceliklenmesi durumudur. Riskin neticeleri, parametrelerdeki anlık değişimlere göre farklılaşabilir. Her parametrenin her riskli bölge için anlık takip edilmesi ya mümkün değildir ya da ekonomik verimliliği oldukça düşüktür. Taşkın durumunda risk analizi yapılırken, öncelikli bölgeler sıralamasına göre müdahale planları oluşturmak amaçlanmaktadır.

Belirli bir bölgenin taşkın risk analizi yapılırken aynı bölgede daha önce yaşanmış taşkın felaketlerini incelemek, analizin daha doğru sonuçlar vermesini sağlayacaktır. Daha önce yaşanan hadiselerin insan sağlığı, ekonomi, çevre ve kültürel miras üzerindeki sonuçlarını harmanlayıp değerlendirerek, ileriye yönelik risk haritalarının çıkarılması yerinde olacaktır. İklim değişikliği, nüfus yoğunluğu, arazi kullanımındaki değişiklikler, akarsu yataklarının bozulması, yerleşim durumlarının değişmesi, alüvyal birikintilerin varlığı gibi kriterler, geçmiş taşkınlarla bir arada değerlendirilmelidir.

2.2.ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME (ÇKKV)

Bir problemin ya da tercihin elde edilmesinde tek bir kriterin girdi olarak ele alınmasıyla bir karar verme süreci oluşturuluyorsa buna “Tek Kriterli Karar Verme Tekniği” denir. Fakat karar verirken birden fazla ve birbiriyle ilişkili olmayan kriterler ortaya konularak bir analiz, tercih ya da sıralama yapmak isteniyorsa bu durumda “Çok Kriterli Karar Verme” ortaya çıkar. Rasyonel olarak düşünüldüğünde sayılabilir ve mukayese edilebilir kriterlerle karar vermenin basit olabileceği düşünülebilir. Örneğin, bir ev alırken kriterlerin bütçe ve konum olması durumunda karar verme işlemi kolay olarak görülebilir. Birçok kriterin yine birçok alternatif ile kombine edilerek karar verilmesi gereken durumlarda ise belirli ve bilişsel karar verme oldukça zorlaşmaktadır.

Çok kriterli karar verme, yönetim biliminin bir alt dalı olmakla beraber, karar teorisinin de en çok kullanılan araçlarından birisidir. ÇKKV, karar analizi yapılırken çok sayıda kriterin avantaj ve dezavantajlarını, olumlu ve olumsuz yönlerini, ideallerini ve negatif ideallerini hesaba katarak analitik bir sistematik içerisinde doğruya ulaştırmayı hedefler.

Çok kriterli karar verme problemlerinde, kriterler, volatil karar parametreleri ve alternatiflerden oluşan kümeye göre karar verilmektedir (Özdemir, 2004). Çok kriterli karar verme teknikleri, karar vericiye, mevcut donelere göre en iyi alternatifi kendi belirlediği kriterlere ve karar parametrelerine göre seçme imkânı sunmaktadır. Karar verici ilgili parametreleri kullanarak alacağı kararda şunları amaçlamaktadır (Jablonsky ve Urban, 1998):

- En iyi alternatifin seçilmesi,
- Alternatiflerin sıralanması,
- Alternatiflerin sınıflandırılması,
- Tercih edilebilir alternatiflerin alt kümelerinin belirlenmesi.

Çok kriterli karar verme problemleri; seçim, sınıflama ve sıralama problemleri olmak üzere üç ana başlıkta incelenmektedir. Seçim problemlerinde temel eğilim, birbirine görece yakın ve tercih edilmesi zor alternatifler içerisinden en iyisinin seçilmesini sağlamaktır. Örneğin, araba alırken birden çok benzer özelliklere ve fiyatlara sahip alternatifin içerisinden en iyisini tercih etmeyi hedeflemek, seçim problemlerine örnek olabilir.

Sınıflama problemleri ise, çoklu kriterler vasıtasıyla alternatiflerin bir amaç doğrultusunda sıralanmasını sağlamaktır. Bir şantiyede kullanılacak malzemelere dayanım, ekonomik ömür, temin edilebilirlik, fiyat, bakım süresi gibi kriterlere göre sıralanarak temin etmeye karar verilmesini sınıflandırma problemi olarak ele almak mümkündür. Bu gibi sınıflamalar, kullanılacak malzemenin olumlu, değerlendirilebilir ve olumsuz olarak tasnif edilebilmesini beraberinde getirir.

Karar verme problemlerinin sonuncusu olan sıralama problemleri de değerleme yapılan alternatiflerin kendi içlerinde belli kriterler doğrultusunda önceliklenmesidir.

2.3. ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME (ÇKKV) YÖNTEMLERİ

Tek kriterli ya da kriterler arası tercih opsiyonlarının açık olduğu problemlerde karar vericinin alternatifi belirlemesi, karmaşık problemler ve tercih skalalarına göre nispeten kolaydır. Fakat kriterlerin ve alternatiflerin nicelikleri ya da niteliklerinin girift olması, tercih yapılırken ortaya konulan verilerin kantitatif olması, çok fazla ya da kademeli tercihlerin var olması, kriter ağırlıklarının öznel veriye dayanması gibi kompozisyonlarda karar verme oldukça güçleşebilmektedir. Bu tarz çok kriterli problemlerin çözümü için farklı sayısal yöntemler geliştirilmiştir.

20. yüzyılın ortalarından itibaren geliştirilmeye başlanan bu yöntemler farklı yaklaşımlarla daha stabil ve verimli sonuçlar elde edebilmek üzere geliştirilmiştir. Günümüzde birçok alan ve sektörde kullanılan bu teknikler, ihtiyaç halinde revize edilerek karar verme sürecinde karar vericinin farklı alternatifler arasından belirli kıstaslara göre hedefe en yakın olanı tercih edilebilmesini sağlamaktadır.

Karar verme problemlerinin sınıflarına göre ÇKKV tekniklerini değerlendirmek mümkündür. Zira teknikler, problem sistematiğinin varlığına çözüm amacıyla ortaya çıkarıldıklarından, tasnif edilmiş problemlerin karşılığında bulunan tekniklerin aynı sınıfın çözümü olduğundan da söz edilebilir.

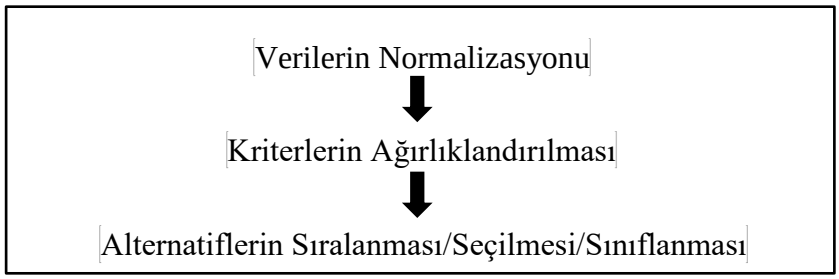
Çok kriterli karar verme tekniklerinin bir diğer sınıflandırma şekli ise, Çok Nitelikli Karar Verme ve Çok Amaçlı Karar Verme alt başlıklarında incelenmektir (Triantaphyllou, 2000). Demir'e (2020) göre, çok nitelikli karar verme tekniklerinde alternatifler sınırlı sayıda olup bu teknikler seçme ve değerlendirme ile ilgili problemlerin neticelendirilmesinde kullanılırken, çok amaçlı karar verme tekniklerinde alternatifler sınırsız sayıda olup bu teknikler tasarım ile ilgili problemlerin çözümünde kullanılır. ÇKKV Teknikleri, veri tipine göre deterministik, stokastik ve bulanık yöntemler olarak; karar prosesine iştirak eden karar vericilerin sayısına göre de tek ya da grup karar vericili olarak sınıflandırılabilmektedir (Demir, Özyalçın ve Bircan, 2021).

Geliştirilen çok sayıda tekniğin kendine has özellikleri olmasına karşın, bu tekniklerin genel ortak çalışma prensipleri mevcuttur. Bu prensipler şu şekildedir:

- ***Kriterlerin seçimi:*** Seçilen kriterler kararla tutarlı, birbirinden bağımsız, aynı ölçekte temsil edilen, ölçülebilir ve alternatiflerden bağımsız olmalıdır.
- ***Alternatiflerin seçimi:*** Seçilen alternatifler mevcutta var olan, karşılaştırılabilir, ideal, nesnel ve makul olmalıdır.
- ***Önem düzeyini gösterecek ağırlıklandırmanın yapılması:*** Ağırlıklandırma yöntemleri telafi edici ya da derecelendirilebilir olmalıdır.
- ***Birleştirme metodu:*** Ürün, ortalama ve işlev gibi verilerin bir karar matrisi içerisinde toplanmasıdır. Bu birleştirmenin sonucu aslında en iyi alternatifi mevcut seçeneklerden ayrıştıracaktır (Majumder, 2015).

Çok kriterli karar analizine ilişkin literatürün çoğu, "verilen problem" tutumunu benimsemekte, yani iyi tanımlanmış bir dizi alternatif ve kriteri başlangıç noktası olarak almakta ve değerlendirmeye odaklanmaktadır. Çok kriterli karar analizinde, pratikte mevcut problemlere uygun olarak problem yapılandırma, model oluşturma ve modeli bilgilendirmek için kullanma süreci aşamaları planlanmalıdır. Bu plan, örneğin belirli bir seçimi uygulamak, bir tavsiyede bulunmak, performansı izlemek için bir prosedür oluşturmak veya basitçe bir durum hakkında bir izleme özeti tutmak gibi birçok biçim alabilir. Kısaca, problem tanımlama ve yapılandırma, model oluşturma ve kullanma ve eylem planlarının geliştirilmesi olarak üç aşamalı şekilde yöntem planlanır (Belton ve Stewart, 2002).

Çok kriterli karar verme tekniklerini alışılagelmiş problemlerde uygularken çoğu zaman karşımıza nitel veriler çıkmakla beraber, sayısal olmayan bu verileri sayısal verilere çevirmemiz gerekmektedir. Prosesin ilk adımı olan bu sayısallaştırma işlemine normalizasyon adı verilmektedir. Normalizasyon yapıldıktan sonra tercih edilen kriterler ağırlıklandırılır ve son olarak alternatifler sıralanır, seçilir ya da sınıflanır (Şekil 2.6).



Şekil 2.6: Çok Kriterli Karar Verme Süreci

Çok kriterli karar verme için, genellikle sürecin başlangıcından önce bir karar matrisi oluşturulması gereklidir. Karar matrisinde, sütun bazında niteliklerin derecelendirmeleri veya puantajlarını, sıra bazında ise rekabetçi alternatifleri içerir. Normalleştirme, bu puanların bir norm veya standarda uygun hale getirilmesi veya indirgenmesi işlemidir. Her bir öznitelik üzerindeki alternatifleri karşılaştırmak için normalleştirilmiş işlem genellikle sütun bazında yapılır ve normalleştirilmiş değer 0 ile 1 arasında pozitif bir değer alır. Bu şekilde, karar matrisindeki farklı ölçümlerden kaynaklanan hesaplama sorunları ortadan kalkar. Normalleştirme işlemi, vektör normalizasyonu, lineer normalizasyon ve monoton olmayan normalizasyon olmak üzere üçe ayrılır (Shih, Shyur ve Lee, 2007).

Karar matrisi oluşturulurken Majumder'in (2015) çalışmasında ifade ettiği ortak değişkenler olan alternatiflerin, kriterlerin ve mukayeseli ağırlıkların matris içerisinde yerleştirilmesi gerekir. Bu değişkenler;

A_i : i. alternatifin değeri, $i = 1, 2, \dots, m$

C_j : j. kriterin değeri, $j = 1, 2, \dots, n$

x_{ij} : i. alternatif için j. kriterin değeri olarak ifade edilmektedir.

Bu prensiplerle oluşturulan karar matrisi (2.1) numaralı denklemde gösterilmiştir.

$$D = \begin{array}{c} \\ A_1 \\ A_2 \\ \\ A_m \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{ccccc} C_1 & C_2 & C_3 & \dots & C_n \end{array} \\ \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & x_{13} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & x_{23} & \dots & x_{2n} \\ & & & & \\ x_{m1} & x_{m2} & x_{m3} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \end{array} \quad (2.1)$$

Vektör normalizasyonu, Denklem (2.2) ile gösterilmiştir.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} x_{ij}^2}}, \; i = 1, 2, \dots, m \text{ ve } j = 1, 2, \dots, n \quad (2.2)$$

Lineer normalizasyonun ilk hali (2.3) ve (2.4) numaralı denklemler ile verilmiştir.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_j^*}, \; i = 1, 2, \ldots, m \text{ ve } j = 1, 2, \ldots, n \tag{2.3}$$

x_j^* : $\max_i (x_{ij})$ yani maksimum olması beklenen kriterdir.

$$r_{ij} = \frac{x_j^-}{x_{ij}}, \; i = 1, 2, \ldots, m \text{ ve } j = 1, 2, \ldots, n \tag{2.4}$$

x_j^- : $\min_i (x_{ij})$ yani minimum olması beklenen kriterdir.

Lineer normalizasyonun üç farklı hali daha mevcuttur. (2.5) ve (2.6) numaralı denklemler ile ikinci hali gösterilmiştir.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_j^*}, \; i = 1, 2, \ldots, m \text{ ve } j = 1, 2, \ldots, n \tag{2.5}$$

x_j^* : $\max_i (x_{ij})$ yani maksimum olması beklenen kriterdir.

$$r_{ij} = 1 - \frac{x_{ij}}{x_j^-}, \; i = 1, 2, \ldots, m \text{ ve } j = 1, 2, \ldots, n \tag{2.6}$$

x_j^- : $\min_i (x_{ij})$ yani minimum olması beklenen kriterdir.

Üçüncü lineer normalizasyon denklemi ise (2.7) ve (2.8) numaralı denklemler ile verilmiştir.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - x_j^-}{x_j^* - x_j^-}, \; i = 1, 2, \ldots, m \text{ ve } j = 1, 2, \ldots, n \tag{2.7}$$

x_j^* : $\max_i (x_{ij})$ yani maksimum olması beklenen kriterdir. Bu kriter, fayda kriteridir.

$$r_{ij} = \frac{-x_{ij} + x_j^*}{x_j^* - x_j^-}, \; i = 1, 2, \ldots, m \text{ ve } j = 1, 2, \ldots, n \tag{2.8}$$

x_j^- : $\min_i (x_{ij})$ yani minimum olması beklenen kriterdir. Bu kriter, maliyet kriteridir.

Lineer normalizasyonun son hali ise (2.9) numaralı denklem ile verilmiştir.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^{m} x_{ij}}, \; i = 1, 2, \ldots, m \text{ ve } j = 1, 2, \ldots, n \tag{2.9}$$

Son normalizasyon çeşidi olan monoton normalizasyona ait eşitlik (2.10) numaralı denklem ile verilmiştir.

$$e^{\frac{-z^2}{2}}, z = \frac{x_{ij} - x_j^0}{\sigma_j} \quad (2.10)$$

x_j^0: j. kritere ait optimum değer

σ_j: j kriterine ait değerlerin standart sapması

Farklı eşitliklerle gösterilen normalizasyon işlemleriyle karar matrisinde değerleri girilmiş elemanlar, normalize edilmiş karar matrisini oluşturmak üzere normalize edilirler (Hwang ve Yoon, 1981).

Çok kriterli karar verme sürecine bakıldığında, normalizasyondan sonra gelen adım kriterlerin ağırlıklandırılmasıdır. Kriterler, birbirleri ile mukayese edilerek verilen önem derecesine göre ağırlıklandırılırlar. Kriter ağırlıklarının toplamı 1'e (%100) eşit olmalıdır.

Literatürde çok sayıda çok kriterli karar verme tekniği ve buna istinaden çok sayıda ağırlıklandırma tekniği bulunmaktadır. Karar vericinin kendi iradesiyle oluşturduğu ağırlıklandırma normuna subjektif yöntem denir. SMART, Swing, SIMOS, AHP, Delphi, ANP, FARE, LBWA, DEMATEL, SWARA, SIR gibi ağırlıklandırma yöntemleri, subjektif ağırlıklandırma yöntemlerini esas almaktadır. Subjektif ağırlıklandırma metodu ekseriyetle karar vericinin sorumlululuğunda olan durumlarda ya da kantitatif verilerin ağırlıklandırılmasında kullanılmaktadır. Geneli esas alan, sayısal verilerin ışığında alınması gereken bir karar durumunda ya da bir karar vericinin takdirine gerek olmayan hallerde ise objektif ağırlıklandırma metodu kullanılmaktadır. Objektif ağırlıklandırma yapılırken ise ENTROPY, CRITIC, FANMA, CILOS, IDOCRIW, LINMAP, CCSD gibi metodlar uygulanır. Diğer metodların sayısal senteziyle ortaya çıkan ağırlıklandırma metodu ise karma ağırlıklandırma yöntemidir (Zardari, Ahmed, Shirazi ve Yusop, 2015).

Karar verme problemlerindeki son adım, amaca uygun alternatiflerin tercihidir. Genellikle bir limit matris oluşturularak alternatiflerin tercih edilebilir bir sistematiğe oturtulmasını sağlayan teknikler, Tablo 2.1'de verildiği şekilde seçim, sınıflama ve sıralama metodlarına göre

ayrılabilir. Alternatiflere, kriterlere ve problemin özüne göre karar verilerek problem neticelendirilir.

Seçim Problemleri	**Sınıflama Problemleri**	**Sıralama Problemleri**
AHP	AHP	AHPSort
ANP	ANP	UTADIS
MAUT/UTA	MAUT/UTA	FlowSort
MACBETH	MACBETH	ELECTRE-Tri
PROMETHEE	PROMETHEE	
ELECTRE I	ELECTRE III	
TOPSIS	TOPSIS	
Hedef Programlama		

Tablo 2.2: Çok Kriterli Karar Verme Problemleri ve Teknikleri (Ishizaka ve Nemery, 2013)

2.3.1. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP)

Çok kriterli karar verme problemlerinin tüm çeşitlerinde kullanılabilmesi dolayısıyla literatürde ve pratikte sıklıkla kullanılan bir teknik olan Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP), 1970'li yılların sonlarına doğru Thomas L. Saaty tarafından, belirli kriterleri temel alarak değerlendirilen alternatiflerin içerisinden en makul olanı tercih edebilmek için ortaya koyulmuştur (Keskin, 2016). Saaty, Analitik Hiyerarşi Süreci'ni, statik ve tek yönlü korelasyonu bulunan çok sayıda kriterden oluşan hiyerarşik bir karar problemini modelleyen karşılaştırma metodu olarak geliştirmiştir (Kaymaz, Kızılkan ve Birinci, 2020). Analitik Hiyerarşi Süreci esasen hiyerarşinin kurulması ve üstünlüklerin belirlenmesi için hem mantık tabanlı hem de niceliksel tutarlılık esasına dayanmaktadır (Wind ve Saaty, 1980).

Analitik Hiyerarşi Süreci tekniği, çift taraflı mukayeseleri yönetebilir bir düzeyde sabit kılma ve sonrasında eşitliğe dökülmüş stratejilerin temelini oluşturmaya müsaade etmektedir. Başka bir ifadeyle Analitik Hiyerarşi Süreci, kesin prensiplerle ortaya çıkarılan iyi tasvir edilmiş bir

yöntem bilimin yapısını, deneyim ve algı kabiliyetine istinat etmiş karar verme süreci için ortaya konmuş bilimsel bir yoldur (Bhushan ve Rai, 2004). Karar vericilerin deneyim ve uzmanlıkları AHP ile karar verme sürecinde yer alabilir (Ecer ve Küçük, 2008). Bu sebepten ötürü, karar matrisi oluşturulurken ve ağırlıklandırma yapılırken bu deneyim ve uzmanlıklar, kullanılan veriler kadar önem ihtiva eder (Vargas ve Roura, 1989).

Çok kriterli bir problemin çözümünde birden fazla karar verici olması mümkündür. Analitik Hiyerarşi Süreci sayesinde farklı deneyim ve uzmanlıkların sürece katılımı sağlanarak karar vericiler grubunun kararlarının birleştirilmesi ile bir ortak sonuca ulaşılması mümkündür (Saaty, 2008).

Analitik Hiyerarşi Süreci, kriterlerin ve alt kriterlerin ağırlıklarını belirleyerek çok ölçülü problemin tek ölçüye indirgenmesiyle karar verme sürecini kolaylaştırmaktadır. Karar verilmesi beklenen birçok alternatif için karar matrislerini bir vektöre indirgeyerek öncelik vektörü oluşturur. Bu öncelikler vektörü bir tutarlılık analizinden geçirilerek değerlendirilir ve karar verilir.

Analitik Hiyerarşi Süreci ile karar verilirken süreç aşağıdaki gibidir (Nurhayati, Gautama ve Naseer, 2017):

- ***Birinci Basamak:*** Problem, hedef, kriterler, alt kriterler ve alternatiflerden oluşan bir hiyerarşiye ayrıştırılır. Bu aşamada karar vericiler ulaşmak istedikleri hedefi açık bir biçimde ortaya koymalıdırlar.
- ***İkinci Basamak:*** Niteliksel bir ölçekte alternatiflerin ikili karşılaştırmasında, hiyerarşik yapıya karşılık gelen uzmanlardan veya karar vericilerden veriler toplanır. Kriterlerin ve alternatiflerin belirlenerek oluşturulduğu hiyerarşik yapı tek yönlüdür.
- ***Üçüncü Basamak:*** İkinci basamakta oluşturulan çeşitli kriterlerin ikili karşılaştırmaları bir kare matris halinde düzenlenir. İkili karşılaştırma yapılırken Saaty (1980) tarafından ortaya konulan Analitik Hiyerarşi Süreci Önem Ölçeği dikkate alınarak, Tablo 2.2'de verilen düzeylere göre ağırlıklandırma yapılır.

ANALİTİK HİYERARŞİ SÜRECİ ÖNEM SKALASI	
1	Eşit önem
3	Diğerine karşı orta derece önem
5	Güçlü ya da temel önem
7	Çok güçlü ya da kanıtlanmış önem
9	Aşırı önem
2,4,6,8	Ara değerler

Tablo 2.3: Analitik Hiyerarşi Süreci Önem Ölçeği (Saaty ve Özdemir, 2005)

Karşılaştırmalar sıralı şekilde satır elemanının sütun elemanlarına olan ikili mukayeselerine dayanmaktadır. Tabiiyetiyle ikili karşılaştırmalarda satır ve sütunlardaki elemanların tam tersi karşılaştırılırken, ilk mukayesenin bire bölünmüş hali olmalıdır.

- ***Dördüncü Basamak:*** Karşılaştırma matrisinin temel özdeğeri ve karşılık gelen normalleştirilmiş sağ özvektörü, karşılaştırılan çeşitli kriterlerin göreceli önemini verir.
- ***Beşinci Basamak:*** *n* mertebesindeki matrisin tutarlılığı değerlendirilir. Tutarlılık değerlendirilirken, Tutarlılık İndeksi (CI) ve Tutarlılık Oranı (CR) hesap edilir.
- ***Altıncı Basamak:*** Her bir alternatifin derecelendirmesi, alt kriterlerin ağırlıkları ile çarpılır ve her bir kritere göre yerel derecelendirmeler elde etmek için toplanır. Analitik Hiyerarşi Süreci'nin son basamağı karar aşamasıdır. Amaç doğrultusunda tüm alternatiflerin önem değerleri gözden geçirilerek en büyük değere sahip alternatif tercih edilir.

Kriterler $a_1, a_2, \ldots, a_n$ ve ağırlıkları $w_1, w_2, \ldots, w_n$ olacak biçimde önem ağırlıklarına göre ikili mukayese yapılmak istenirse matrisin genel yapısı (2.11) numaralı matristeki gibi olacaktır:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \ldots & a_{1j} & \ldots & a_{1n} \\ a_{i1} & \ldots & a_{ij} & \ldots & a_{in} \\ a_{n1} & \ldots & a_{nj} & \ldots & a_{nn} \end{bmatrix} \qquad (2.11)$$

Karşılaştırma matrisinin yapısal mantığına göre $a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}$ ve $a_{ij} = \frac{a_{ik}}{a_{jk}}$ olmalıdır; çünkü *i.* kriterin *j.* kritere göre olan ağırlığı, *j.* kriterin *i.* kritere göre olan ağırlığının çarpımsal tersidir.

Olağan karar verme problemlerinde ekseriyetle $\frac{w_i}{w_j}$ oranı bilinmemektedir. Bu nedenle Analitik Hiyerarşi Sürecinde aslında a_{ij} değerinin $\frac{w_i}{w_j}$ oranına yakınsamasını sağlamak gerekir (Tzeng ve Huang, 2011).

Ağırlık matrisi ise (2.12) numaralı matriste gösterildiği gibidir:

$$W = \begin{array}{c} \\ w_1 \\ w_i \\ w_n \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccccc} w_1 & \dots & w_i & \dots & w_n \end{array} \\ \begin{bmatrix} w_1/w_1 & \dots & w_1/w_j & \dots & w_1/w_n \\ w_i/w_1 & \dots & w_i/w_j & \dots & w_i/w_1 \\ w_n/w_1 & \dots & w_n/w_j & \dots & w_n/w_n \end{bmatrix} \end{array} \quad (2.12)$$

W ağırlık matrisi ile w özvektörü çarpılarak özdeğer bulunur. İzafi ağırlıkları $Aw=\lambda_{max}w$ eşitliğini sağlayan λ_{max} değeri esas alınarak bulunan w özvektörü ile hesaplanır. λ_{max}, A karar matrisinin en büyük özdeğeridir.

Analitik Hiyerarşi Süreci'nde, sezgisel kontroller olduğu kadar matematiksel kontroller de yapılmaktadır. Zira kriterler ağırlıklandırılırken kriterler arası izafi değerlerin doğruluğunu kontrol etmek gerekir. Öznel algıların devrede olduğu önem derecelerinin tutarlılığını hesap etmek için Tutarlılık İndeksi (CI) ve Tutarlılık Oranı (CR) katsayıları kullanılır. Tutarlılık İndeksi, (2.13) numaralı eşitlik ile hesaplanmaktadır:

$$CI = \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n-1)} \quad (2.13)$$

λ_{max}, *A* karar matrisinin en büyük özdeğeri, *n* ise toplam kriter sayısıdır. Ortaya çıkan sonucun yanıltıcı olmaması adına tutarlılık indeksinin (CI) 0,1'den küçük olması gerekir. Tutarlılık oranı (CR) ise $\frac{CI}{RI}$ denklemiyle bulunur. Denklemdeki *RI*, Rastgele Değer İndeksi'dir (Tablo 2.4) (Tzeng vd., 2011).

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Rastgele Değer İndeksi	0	0	0.52	0.89	1.11	1.25	1.35	1.40	1.45

Tablo 2.4: Rastgele Değer İndeksi

Analitik Hiyerarşi Süreci Saaty (1980) tarafından ortaya koyulurken dört farklı aksiyom geliştirilmiştir.

- ***Birinci Aksiyom:*** Karşılıklı mukayese olarak da tasvir edilen bu aksiyom iki taraflı olma ya da tersi olma şeklinde açıklanmaktadır ve karşılaştırma matrislerinin ortaya konulmasında kullanılmaktadır (Ünal, 2011). *i.* kriterin *j.* kritere göre olan ağırlığı, *j.* kriterin *i.* kritere göre olan ağırlığının çarpımsal tersidir. Bu sayede a_{ij} değerinin bilinmesi durumunda a_{ji} değeri bilinecek, karar vericilerin karşılaşacağı karşılaştırma analizleri de yarı yarıya azalmış olacaktır. Keza bu aksiyom, karşılaştırma yapan kişi ya da grubun seçimlerinin tutarlılığının karşılaştırılması için de önemlidir.
- ***İkinci Aksiyom:*** Homojenlik aksiyomu da denilen bu aksiyomun asıl mantığı, kriterler arası bağlantının mantıksal illiyetlerinin mutlaka olması gerektiğidir. Kriterler arası bağıntının çok zayıf ya da çok farklı olması durumunda sonuç hatalı olacaktır (Karaüzüm ve Atsan, 2001). İnsanın mukayese kabiliyeti, arasında illiyet bağı bulunan durumlarda mümkündür. Şayet karşılaştırma yapılmak istenen iki kriter arasında ciddi fark varsa bu kriterleri hiyerarşi oluşturulurken farklı basamaklara yerleştirerek ya da üst-alt kriter ilişkisi kurularak tahlil edilmelidir (Saaty, 1991).
- ***Üçüncü Aksiyom:*** Kriterler ve alternatiflerin arasında oluşturulan ikili mukayeseler yapılırken, seçime konu olan kriter ve alternatifler haricinde diğer tüm bileşenlerden bağımsız olmalıdır zira ağırlık katsayıları elde edilirken ikili formasyondan çıkılmış olur (Togatlian, Correia ve Belderrain, 2007).
- ***Dördüncü Aksiyom:*** Beklenti aksiyomu da denilen bu kısımda, problemin çözümü sırasında, eksiksiz bir hiyerarşi yapısı oluşturmak için tüm önemli kriterler ve alternatifler karar verici tarafından dikkate alınmalıdır (Togatlian vd., 2007).

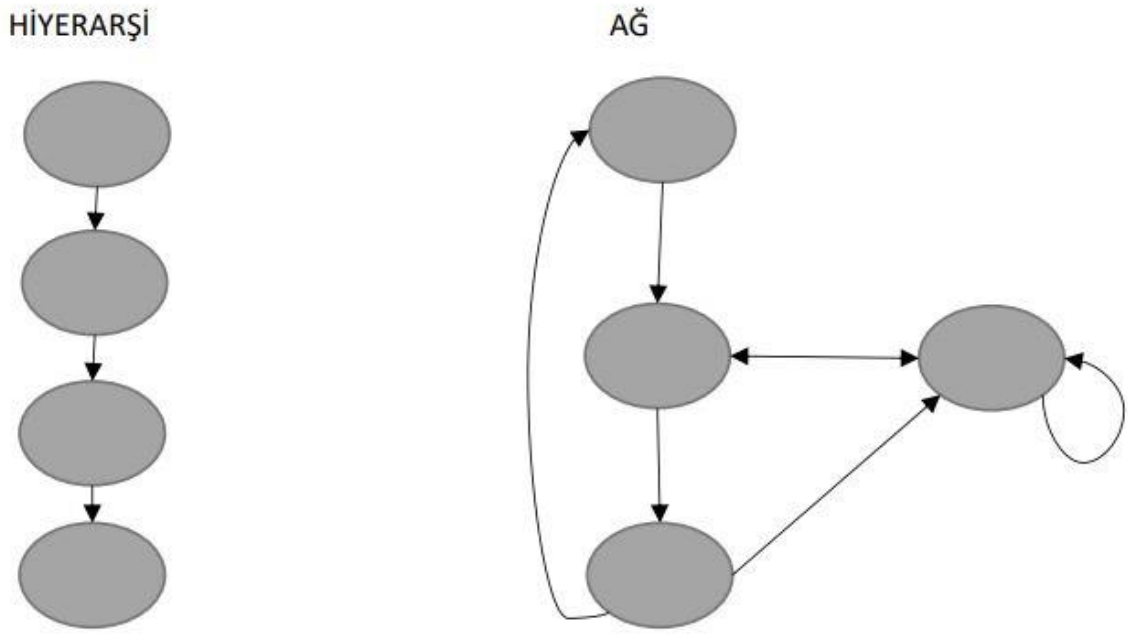
2.3.2. Analitik Ağ Süreci (ANP)

Analitik Ağ Süreci (Analytic Network Process, kısaltma: ANP), Analitik Hiyerarşi Süreci'nin mimarı olan Thomas L. Saaty tarafından, birbirleri ile kombine edilmesi gereken karar verme

problem elemanları kriterler ve alternatiflerin, Analitik Hiyerarşi Süreci ile çözümlenmesinin imkânsız olduğu durumlar için 1996 yılında ortaya koyulmuştur. Bu teknik, homojen olmayan karar verme elemanlarının, farklı analitik ve hiyerarşik yapılarla kümelenmiş kriterlerin birbiriyle ve kendileri arasındaki bağıntıların ve etkilerin çözümlenmesine yardımcı olur. İnsan algısını yanılgıya düşürecek ölçüde fazla kriter ya da kriter kümelerinin bulunduğu büyük hacimli problemlerin daha kolay çözümlenebileceği bir teknik olduğu söylenebilir (Çelikbilek ve Özdemir, 2020).

Analitik Ağ Süreci'nde, Analitik Hiyerarşi Süreci'nde olduğu gibi bir hiyerarşi oluşturulması gerekmez. Analitik Hiyerarşi Süreci'nde tüm kriter kümelerini ayrı ayrı karşılaştırarak ve ağırlıklandırarak hesap etme yoluna giderken, Analitik Ağ Süreci'nde tüm katmanlar tek matriste toplanarak hesaplama yoluna gidilir. Karşılaştırma matrisi oluşturulurken tüm kriterler, alt kriterler ve alternatifler bir araya toplanırken, birbiriyle bağıntısı olan tüm elemanlar öncelikle işaretlenir. Bu sayede tüm bağlantılar gösterilmiş olur. Analitik Ağ Sürecinin kendine has ağ yapısı sayesinde ortaya konulabilen bu bağımlılıklar, geri bildirimlerin hesaba katılmasını kolaylaştırmaktadır. Karşılaştırma ve ağırlıklandırma yapıldıktan sonra limit süpermatris oluşturularak kriterlerin ağırlık katsayıları elde edilir. Bu özelliklerinden ötürü Analitik Ağ Süreci'nin, Analitik Hiyerarşi Süreci'nden daha efektif ve daha rasyonel olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır (Cheng ve Li, 2004).

Analitik Hiyerarşi Süreci'nde aynı katmanda bulunan kriterler birbirlerinden bağımsız olarak karar verme sürecine dahil olurken, Analitik Ağ Süreci'nde kriterler arası etkileşim hesaba dahil edilmektedir. Bu sayede rasyonel olmayan değerlendirmeler ve sınırlamalar ortadan kaldırılarak reel problemlerin daha mantıksal yapılandırılması sağlanır.



Şekil 2.7: Analitik Hiyerarşi Süreci ve Analitik Ağ Sürecinin Yapısal Farklılığı (Chung, Lee ve Pearn, 2004)

Analitik Ağ Süreci ile bir karar verme probleminin çözümünde izlenecek yedi adım şu şekildedir (Çelikbilek vd., 2020; Önder, 2018):

Basamak 1- Karar verme probleminin tanımlanması: Karar verme problemlerinin ilk basamağı olan problemin tanımlanması, Analitik Ağ Süreci'nde de aynen işletilmektedir. Problemin eksiksiz bir şekilde çıkarılması, diğer basamakların da düzgün işlemesi açısından önem arz etmektedir; zira ilk basamakta yapılacak bir hata, bir silsile ile sonucun hatalı çıkmasına sebebiyet verecektir.

Basamak 2- Kriterlerin saptanması: Problem tespit edilerek iyi bir biçimde tanımlandıktan sonra kriterlerin saptanması daha kolay olacaktır. Problemin çözülmesindeki araçların bu aşamada problemin çözümüne endeksli ve tam olmasına özen gösterilmelidir. Kriterler ve kriter kümeleri karar verme probleminin birer parçası olarak değerlendirilmelidir.

Basamak 3- Kriterler arası ağ yapısının oluşturulması: Analitik Ağ Süreci'nin en belirgin özelliği olan ağ yapısının oluşturulması esnasında, kriterler ya da kriter kümeleri arasında ve/veya kendi içinde değerlendirilmelidirler. Bazı kriterler ya da kriter kümeleri arasında hiç bağ olmayabilir. Problemin çözümüne ilişkin ağ yapısı uzman görüşleri ile oluşturulabilirken, DEMATEL gibi metotlarla da analiz edilerek tespit edilebilir.

Basamak 4- İkili mukayeselerin yapılması: İkili karşılaştırmalar, tıpkı Analitik Hiyerarşi Süreci'nde olduğu gibi Thomas L. Saaty'nin önerdiği önem skalası kullanılarak yapılır (Tablo 2.2). İkili mukayeseler yapılırken oluşturulan karşılaştırma matrisinde, her bir gruba ait sütundaki elemanların toplamı 1'e eşit olmalıdır. Daha sonra bu karşılaştırma matrisi ağırlıklandırılarak tüm sütunun 1'e eşit olması sağlanacaktır.

Basamak 5- Karşılaştırma matrisinin normalizasyonu: Kriterler arası mukayese yapıldıktan sonra her bir sütunun 1'e eşit olmasını sağlamak adına, Analitik Hiyerarşi Süreci'nde oluşturulan matrislerin normalizasyonunda kullanılan $r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^{m} x_{ij}}$ formülü yardımıyla normalize matrisler hesaplanır.

Basamak 6- Süpermatrisin oluşturulması: Tüm kriterler ve alternatiflerin ikili karşılaştırmalarının yapılarak, sıra numaralarına göre yatayda ve düşeyde sabit olacak şekilde oluşturulan vektörlerin birleştirilmesi ile süpermatris elde edilir. Pratikte bu vektörler oluşturulurken aslında bir matris içerisinde oluşturularak normalize edilir ve sürecin doğal akışında süpermatris oluşmuş olur. Süpermatris oluşturulurken satır ve sütun kesişiminde herhangi bir bağıntı yoksa, yani bir kriter ya da alternatifin kesişiminde bulunan kriter ya da alternatifle bir illiyet bağı yoksa matriste ilgili kısım sıfır bırakılır. Nihayetinde karar verme elemanları adedi olan *n* x *n* bir matris ortaya çıkmış olur. *W* ile simgelendirilen bu süpermatris, ağırlıklandırılarak sütun toplamı 1'e eşit olacak hale getirilir.

Basamak 7- Limit süpermatrisin oluşturulması: Süpermatrisin ağırlıklandırılmasından sonraki son adım, süpermatrisin sonsuz defa kendisi ile çarpılmasıyla elde edilen limit süpermatristir. Limit süpermatriste global ağırlıklar elde edilir; yani tüm satırlar aynı değere sahip olur ve tüm sütunlar birbiriyle özdeştir. Ekseriyetle W^{32}'den sonra yani limit matris 32 kez kendisi ile çarpıldıktan sonra matematiksel olarak tüm elemanlar birbirine yakınsamış olur ya da aradaki farklılıklar ihmal edilebilir düzeye gelmiş olur ve daha fazla duyarlılığa ihtiyaç olmayan durumda çarpım burada bırakılabilir. Limit süpermatrisin de sütunlarındaki elemanların toplamı 1'e eşit olacaktır.

Analitik Ağ Süreci'nin ağ yapısını oluşturan en temel özellik, kriterler ya da alternatifler arası bağımlılıklardır. Bu bağımlılıklar içsel ve dışsal bağımlılık ile geri besleme olarak isimlendirilir. Bir kriter kümesinin kendi içerisinde bir bağımlılık durumu mevcutsa içsel bağımlılık mevcuttur. Dışsal bağımlılıkta bir kriterin ya da kriter kümesinin düğümleri diğerleri

ile bağıntılıdır. Şayet bu dışsal bağımlılık çift yönlü ise burada da geri besleme döngüsü olduğundan söz edilebilir (Önder, 2018).

İçsel bağımlılıkta aynı kriter dizisi içerisinde ya da bazen alternatifler içerisinde bir bağıntı bulunmaktadır. Alternatifler içerisinde bağıntı bulunmasına çok sık rastlanmasa da bazen alternatiflerden benzerliği dolayısıyla tercih kararı bölünebilir (Ishizaka vd., 2013). İçsel bağımlılıkta bir kümeye ait bir eleman sadece kendisi vasıtasıyla etkilenebilir ya da kümedeki diğer elemanları etkileyebilir.

Analitik Ağ Süreci ile çözümlenen karar verme problemlerinde tüm bağımlılık türlerinin bulunması zorunluluğu bulunmamaktadır. Bir karar verme probleminin Analitik Hiyerarşi Süreci ile çözümlenebildiği model, Analitik Ağ Süreci ile de çözümlenebilir yani geri bildirim ya da içsel bağımlılık barınmayabilir. İçsel bağımlılık ve geri beslemenin olduğu karmaşık karar verme problemlerinin çözümü ise Analitik Ağ Süreci ile daha basit olabilmektedir (Saaty, 2016).

Karar verme problemlerinde sistematiğin daha kolay oluşturulabilmesi ve karşılaştırmanın daha sağlıklı yapılabilmesi için etki matrisleri kullanılmaktadır. Analitik Ağ Süreci'nde etki matrislerinin fonksiyonu daha fazladır; zira birçok kriter, kriter kümesi ve alternatif aynı matris içerisinde değerlendirilmekte olup karışıklığa sebebiyet verebilmektedir. Analitik Hiyerarşi Süreci'nde etki matrisi sadece kriterler ile alternatifler arasındayken (Tablo 2.5), Analitik Ağ Süreci'nde etki matrisi kriter-kriter arası, kriter-alternatif arası ve hatta bazen alternatif-alternatif arası olabilir (Tablo 2.6).

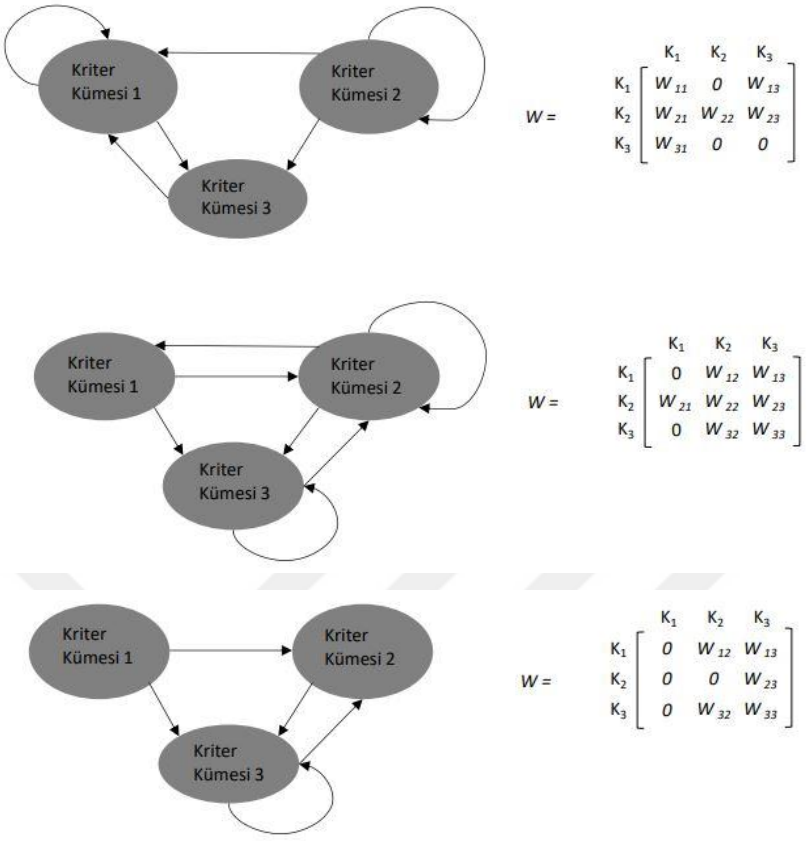
		ALTERNATİFLER					KRİTERLER				
		A1	A2	A3	A4	A5	K1	K2	K3	K4	K5
ALTERNATİFLER	A1						X	X	X	X	X
	A2						X	X	X	X	X
	A3						X	X	X	X	X
	A4						X	X	X	X	X
	A5						X	X	X	X	X
KRİTERLER	K1										
	K2										
	K3										
	K4										
	K5										

Tablo 2.5: Analitik Hiyerarşi Süreci Etki Matrisi

		ALTERNATİFLER					KRİTERLER				
		A1	A2	A3	A4	A5	K1	K2	K3	K4	K5
ALTERNATİFLER	A1						X	X	X	X	X
	A2		X			X	X	X	X	X	X
	A3				X		X	X	X	X	X
	A4						X	X	X	X	X
	A5			X			X	X	X	X	X
KRİTERLER	K1	X	X	X	X	X		X		X	X
	K2	X	X	X	X	X	X	X			
	K3	X	X	X	X	X		X	X	X	
	K4	X	X	X	X	X					X
	K5	X	X	X	X	X	X				

Tablo 2.6: Analitik Ağ Süreci Etki Matrisi

Analitik Ağ Süreci'nde süpermatris oluşturabilmek için, oluşturulan etki matrislerinden istifade edilerek ikili mukayeseler yapılır ve ağ yapısının durumuna göre süpermatris oluşturulur (Şekil 2.8). İkili mukayeseler yapılırken, Analitik Hiyerarşi Süreci'nde olduğu gibi karar verme süreci, elemanları arasındaki önem skalasına göre sayısallaştırılır.



Şekil 2.8: Kriter Kümeleri Arası İlişki Türlerine Göre Süpermatris Yapıları

Süpermatris oluşturulduktan sonra limit süpermatris oluşturularak elde edilen özvektörde, alternatiflerin sıralaması oransal olarak belirlenerek karar verilir. Böylelikle karar verme süreci tamamlanmış olur.

2.3.3. VIKOR Yöntemi

Ana teması uzlaşma ile pişmanlık olan, çok kriterli karar verme problemlerinin karar vermeye uygun hale getirilmesi için 90'ların sonunda Serafim Opricovic tarafından ortaya konulmuş olup, karar vericinin kabul edilebilir uzlaşık çözüme karar verme yöneliminin olmasının beklendiği bir çok kriterli karar verme tekniği olan VIKOR (Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje), aykırı kriterlerle bir karar verme probleminin uzlaşık çözümünün tespit edilmesi ve tercih edilen alternatifler kümesinin sıralanmasına hizmet ederek karar vericinin tercihine yardımcı olmaktadır (Kuzu, 2018). Bu teknikle karar verici, tercih edeceği alternatife ulaşmaya çalışırken her bir karar verme elemanı için en iyi seçeneğe göre farklı

alternatifleri tercih etmesi durumundaki pişmanlık değerini hesap etmiş olur ve en yüksek fayda ile en az pişmanlık arasında uzlaşık bir netice ortaya konur (Tepe, 2021).

Her alternatifin bir kritere göre değerlendiği esas alınarak uzlaşık sıralama, her bir alternatifin ideale yakınsaklığı mukayese edilerek oluşturulabilir. Uzlaşık sıralama için ölçüm, uzlaşık programlamada toplama işlemi olarak kullanılmakta olan L_p fonksiyonundan türetilmiştir. Farklı j adet alternatif $c_1, c_2, \ldots, c_j$ olarak tanımlanır ve c_j alternatifinin i. kriter değeridir. Bu tekniğin gelişimi, (2.14) numaralı denklemde, w_i ağırlık değerleri, f_i^* en iyi kriter, f_i^- en kötü kriter, f_{ij} ise seçilen kriter değeri olmak üzere verilen L_p kriter fonksiyonu ile başlamıştır (Opricovic ve Tzeng, 2004).

$$L_{pj} = \left\{ \sum_{i=1}^{n} \left[\frac{w_i (f_i^* - f_{ij})}{(f_i^* - f_i^-)} \right]^p \right\}^{1/p} , 1 \leq p \leq \infty ; j = 1, 2, \ldots, j \qquad (2.14)$$

En fazla fayda ile $min_j S_j$, en az şahsi pişmanlık ile $min_j R_j$ 'den çözüm ortaya konur. Uzlaşık çözüm olan F^c, ideal çözüm olan F^*'a en yakın kabul edilebilir çözümdür.

Diğer karar verme teknikleri ile aynı şekilde problem belirlenir, kriterler ve alternatifler ortaya konur ve karar matrisi oluşturulur (Kaya ve Karaşan, 2020):

Basamak 1- Kriter bazında en iyi (f_i^*) ve en kötü (f_i^-) kriter değerlerinin belirlenmesi: Problemin çözümü amacıyla oluşturulan karar matrisinde her bir kriter için en iyi (f_i^*) ve en kötü (f_i^-) değerleri ortaya konur. Şayet bir kriterin değerinin yüksek olması tercih sebebi ise, o kriter vektörünün içerisindeki maksimum değer ($\max_i x_{ij}$) en iyi değer (f_i^*), minimum değer ($\min_i x_{ij}$) de en kötü (f_i^-) değerdir. Buna fayda kriteri denir. Tam tersi olması durumunda, yani bir kriterin değerinin düşük olması tercih sebebi ise, kriter vektörünün içerisindeki minimum değer en iyi değer, maksimum değer de en kötü değer olur. Bu sebeple kriterlere de maliyet kriteri adı verilir.

Basamak 2- Normalizasyon matrisinin oluşturulması: Karar verme tekniklerinin genelinde uygulanan normalizasyon işlemi, VIKOR tekniğinde de farklı birimlerle karar matrisine giren eleman değerlerini mukayese edilebilir düzeye getirmek üzere uygulanır. Oluşturulan normalizasyon matrisi R'nin m adet alternatif ve n adet kriteri olduğu varsayımıyla mxn

boyutunda bir matris olduğundan söz edilebilir. Normalizasyon matrisi elemanları, $r_{ij} = \frac{f_j^* - x_{ij}}{f_j^* - f_j^-}$ denklemi ile hesaplanır.

Basamak 3- Ağırlıklandırılmış normalize matrisin oluşturulması: *V* sembolüyle gösterilen ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi, w_j olarak gösterilen kriter ağırlıkları ile ilgili vektördeki elemanların çarpımı ile elde edilir. Ağırlıklandırılmış matrisin elemanları olan v_{ij}, (2.15) numaralı denklem ile hesap edilir:

$$v_{ij} = r_{ij} \cdot w_j \tag{2.15}$$

Basamak 4- S_i ve R_i değerlerinin hesap edilmesi: S_i ve R_i değerleri, *i.* alternatifin pozitif ideal ve negatif ideal çözüme uzaklığını gösterirken, tüm *j* elemanları için hesap edilir.

$$S_i = \sum_{j=1}^{n} w_j \cdot \frac{(f_j^* - x_{ij})}{(f_j^* - f_i^-)} \tag{2.16}$$

$$R_i = max_j \left(w_j \cdot \frac{(f_j^* - x_{ij})}{(f_j^* - f_i^-)} \right) \tag{2.17}$$

Basamak 5- Q_i değerlerinin hesap edilmesi: Q_i değerlerinin hesaplanmasında kullanılan S^*, S^-, R^*, R^- ve q değerlerinin hesap edilmesi gerekmektedir. Formülasyondaki S^* değeri minimum S_i değerini, S^- değeri maksimum S_i değerini, R^* değeri minimum R_i değerini, R^- değeri maksimum R_i değerini ve q parametresi de kriterlerin çoğunluğunun ağırlığını ifade etmektedir. q parametresinin 0,5 değerinden küçük olduğu haller veto durumunu, 0,5'e eşit olduğu hal konsensüsü, 0,5 değerinden büyük olduğu haller ise çoğunluk durumunu ifade eder. Tüm bu parametreler ile Q_i değeri (2.18) numaralı eşitlik ile hesaplanır:

$$Q_i = \frac{q \cdot (S_i - S^*)}{S^- - S^*} + \frac{(1-q) \cdot (R_i - R^*)}{R^- - R^*} \tag{2.18}$$

Basamak 6- Alternatiflerin sıralanması koşulların kontrol edilmesi: Tüm q parametreleri için Q_i değerleri küçükten büyüğe olacak şekilde sıralanır. Sıralama sonrasında alternatiflerin tüm q parametresi değeri için ayrı ayrı en iyi ve en iyi ikinci sıralamaya karşılık gelen değeri tespit edilir. Birinci ve ikinci en iyi seçeneğin farkı alınarak kabul edilebilir avantaj ve kabul edilebilir istikrar koşulunu sağlaması gerekmektedir.

- *Kabul Edilebilir Avantaj Koşulu:* Kabul edilebilir avantaj koşulunun değişkeni olan *DQ* parametresinin bulunmasına ihtiyaç vardır. Birinci ve ikinci en iyi seçeneğin farkının *DQ* parametresinin değerinden büyük ya da eşit olması durumunda, kabul edilebilir avantaj koşulu sağlanmış olacaktır. *DQ* parametresi, *m* alternatif sayısı olmak üzere $\frac{1}{m-1}$ formülü ile elde edilir.
- *Kabul Edilebilir İstikrar Koşulu:* Her bir q parametresi değerine göre Q_i değerlerinin küçükten büyüğe sıralanmasıyla ilk sırada yer alan A^1 alternatifi, *S* ve *R* değerleriyle de mukayese edildiğinde minimum değere sahip en iyi alternatif olmalıdır. Sonucun bu şekilde olması, karar verme sürecinin istikrarlı olduğunu gösterir.

İki koşuldan avantaj koşulunun sağlanmaması durumunda, alternatiflerin tamamının çözüm kümesi içerisinde yer aldığı söylenebilir. Şayet istikrar koşulu sağlanmıyorsa, en iyi birinci ve ikinci alternatifin çözüm kümesinde olduğu sonucu çıkarılır. *Q* değerlerine göre tercih edilen en iyi alternatif, minimum *Q* değerine sahip alternatiflerdendir.

2.3.4. TOPSIS Yöntemi

Bir karar verme probleminin ideal ya da negatif ideal çözümlere olan uzaklıklarıyla en iyi alternatife ulaşmayı hedefleyen birçok kriterli karar verme yöntemi olan TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), ilk defa 1991 senesinde Hwang ve Yoon tarafından ortaya koyulmuştur. Yöntemin algoritmasına bakıldığında bir alternatif negatif ideal çözümden ne kadar uzaksa, ideal çözüme o kadar yakındır. Kısaca, ideal çözüme yakınsayan çözümler fayda kriterinin maksimize edildiği ve maliyet kriterinin minimize edildiği alternatifi ortaya koyar; negatif ideal çözüme yakınsayan çözümler ise maliyet kriterinin maksimize edildiği ve fayda kriterinin minimize edildiği çözümlere yakınsar (Kaya vd., 2020).

Her çok kriterli karar verme yönteminin olduğu gibi, TOPSIS'in de kendisine özgü matematiksel ve yaklaşımsal farklılıkları vardır (Özdağoğlu, 2013):

Basamak 1- Problemin ve amacın belirlenmesi: Bir karar verme probleminin mevcudiyetinde, çözüme ulaşılması için uygulanacak ilk ve belki de en önemli basamak problemin ve amacın uygun bir biçimde belirlenmesidir.

Basamak 2- Karar matrisinin oluşturulması: Problem ve problemin çözümü için belirlenen amaç doğrultusunda, çok kriterli karar verme yöntemlerinin neredeyse tamamında karar matrisi

oluşturulur. Karar verici satırlar kısmında alternatiflere yer verirken sütun kısımlarında ise kriterlere yer verir. Bu matrisin kesişimlerinde alternatiflerin kriterler ölçeğinde aldığı değerler yazılıdır. Oluşturulan matrisin *m x m* boyutlu olmasına yani bir kare matris olmasına gerek yoktur. Nitekim bazı problemlerde iki farklı alternatifin onlarca kriterle değerlendirilmesi gerekebilmektedir. TOPSIS'in karar matrisinde, tıpkı VIKOR'da olduğu gibi *m x n* boyutlu matrislerle çalışmak mümkündür.

Basamak 3- Normalize matrisin oluşturulması: Normalize matrisin oluşturulması için gerekli olan işlem takımı hemen hemen tüm karar verme tekniklerinde ayrıca geliştirilmiştir. Zira her bir teknik geliştirilirken sonucun odağı alternatiflerin seçimi, sıralanması ya da sınıflandırılması olsa da yaklaşım yöntemleri farklıdır. Bu yöntemler tekniği ortaya koyanlar ya da geliştiriciler tarafından oluşturulan algoritmaların ürünüdür. TOPSIS'in normalizasyon denklemi (2.19) numaralı eşitlikteki gibidir:

$$n_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} a_{ij}^2}} \; (i=1, 2, \ldots, m), \; (j=1, 2, \ldots, p) \qquad (2.19)$$

Her bir alternatifin kriter karşılığı değeri, o sütundaki değerlerin kareleri toplamının karekökü ne bölünerek karar matrisi normalize edilir.

Basamak 4- Ağırlıklandırılmış normalize matrisin oluşturulması: Her bir kriterin, karar verme problemi içerisinde birbirleri arasında bir ağırlık katsayısı vardır. Bu ağırlık katsayıları, problemin çözümüne özgülenmiş kriterlerin hangilerinin problemin çözümüne etki edeceğine göre karar verici tarafından doğrudan ya da farklı matematiksel ağırlıklandırma teknikleri ile ortaya koyulabilir. w_i olarak gösterilen ağırlık katsayılarının toplamının 1'e (%100) eşit olması gerekir.

Normalize matris oluşturulurken (9) numaralı denklemle elde edilen n_{ij} değerleri, kriterler için belirlenmiş ağırlık katsayıları ile çarpılarak ağırlıklandırılmış normalize matris elde edilir.

Basamak 5- Pozitif ideal ve negatif ideal çözüm değerlerinin bulunması: TOPSIS yönteminin diğer yöntemlerden en önemli farklılıklarından biri olan ideal ve negatif ideal çözüm setleri, problemin fayda ve maliyet kriterlerine yakınsamasıyla ilgilidir. Bu yakınsamanın ideal ya da negatif ideale doğru olmasıyla faydanın ya da maliyetin maksimum olduğu sonucuna varılmaktadır. İdeal ve negatif ideal çözüm değerleri oluşturulurken, kriterin maksimum ya da

minimum olması halindeki beklenti önemlidir. Bir kriterin minimum olması halinde fayda kriterinin maksimum olacağı öngörülmüşse o kritere bağlı değerlerden minimum olanın ideal çözüme götürüleceği yönünde hesaplamalara dahil edilmelidir. Keza bir kriterin minimum olması halinde ideal çözüme ulaşılmasının beklendiği durumda, maksimum değerler negatif ideal çözüme götürecektir.

İdeal çözüm değerleri her bir sütun için alınarak listelenir. İdeal çözüm değerleri, bir kriterin minimum olması halinde ideal çözüme yaklaşılan hallerde ağırlıklandırılmış normalize matrisin ilgili sütununun minimum değeri, maksimum olması halinde ideal çözüme yaklaşılan hallerde ise ağırlıklandırılmış normalize matrisin ilgili sütunun maksimum değeri olacaktır. Negatif ideal çözüm için ise ideal çözüm için ortaya koyulan yaklaşımın tam tersi uygulanması gerekir.

Basamak 6- Pozitif ideal ve negatif ideal noktalara olan uzaklıkların belirlenmesi: İdeal uzaklıklar tablosu oluşturulurken öncelikle her bir değerin, ideal çözüm değerine uzaklığı belirlenmesi gerekir. Bu uzaklığın tespitinde geometrik uzaklıklar kullanılmalıdır. Uzaklık hesap edilirken, her bir ağırlıklandırılmış normalize matris elemanının değeri ile ilgili sütunun ideal çözüm değerinin farkının karesi alınarak ideal uzaklıklar tablosu oluşturulur. Aynı hesaplama negatif ideal uzaklıklar tablosu için de yapılır.

Tablo oluşturulduktan sonra, her bir alternatif için ideal uzaklık (S_i^*) ve negatif ideal uzaklık (S_i^-) hesaplanır:

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} (v_{ij} - v_j^*)^2} \tag{2.20}$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} (v_{ij} - v_j^-)^2} \tag{2.21}$$

Basamak 7- İdeal çözüme yakınlığın hesaplanması: Her bir alternatif için hesaplanan ideal uzaklık (S_i^*) ve negatif ideal uzaklık (S_i^-) değerlerini ele alarak TOPSIS tekniğinde ideal çözüme olan yakınlığın hesap edilmesi ile tercih sıralaması ortaya çıkacaktır. İdeal çözüme yakınlık (C_i^*) 0 ila 1 aralığında bir değer olarak elde edilecek olup, ideal çözüme yakınlık 1'e yaklaştıkça tercih edilebilirliğin arttığından söz edilebilmektedir. Her bir alternatif için elde

edilen C_i^* değerleri sıralanarak problem çözüme kavuşturulur. C_i^* değeri 1'e eşitse mutlak ideal, 0'a eşitse negatif mutlak ideal çözüm olduğu söylenebilir.

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^*} \quad (2.22)$$

2.3.5. ELECTRE I Yöntemi

Literatürde, Analitik Hiyerarşi Süreci ile birlikte en çok kullanılan çok kriterli karar verme tekniklerinden biri olan ELECTRE (Elimination Et Choice Translating Reality) Bernard Roy tarafından 60'lı yıllarda ortaya koyulmuş olup, nihayet 1968'de yayınlanmıştır. Süreç içerisinde kullanıma bağlı olarak birçok farklı versiyonu geliştirilen ELECTRE'nin temel mantığı, ikili mukayeseler üzerine kuruludur. Bu teknik sayesinde kalitatif ve kantitatif birçok veri kombinasyonunun kendi içerisinde kolay ve verimli çözümü sağlanarak tercih imkanları ortaya koyulmaktadır. ELECTRE metodu tüm problem çeşitlerine göre değerleme alanına sahiptir ve bu yönüyle de gelişime açıktır (Rogers, Bruen ve Maystre, 2000; Figueria, Mousseau ve Roy, 2014).

Kriterlerin aynı notasyonda ve parametrede olmaması durumunda hesaplama karmaşık bir yapıya bürünmektedir. Çok fazla kriterin var olduğu karmaşık problemlerde küçük değerler önem ihtiva etmektedir. Bu yönüyle ELECTRE bir aralık ölçeği vererek problemin çözümünü daha rantabl hale getirmektedir. ELECTRE'nin 60'lı yıllardan bu yana birçok versiyonu geliştirilmiştir. Bu versiyonlar ELECTRE I, ELECTRE II, ELECTRE III, ELECTRE IV, ELECTRE-TRI-A, ELECTRE-TRI-B ve ELECTRE-TRI-C'dir (Ishizaka vd., 2013).

ELECTRE I'in algoritması şu şekilde işlemektedir (Pang, Zwang ve Chen, 2011):

Basamak 1- Problemin ve amacın belirlenmesi: Problemin belirlenmesi safhası, tüm çok kriterli karar verme tekniklerinin temelini oluşturmaktadır. ELECTRE I metoduyla çözülmesi beklenen problemlerde de temel aynı şekilde işletilir.

Basamak 2- Karar matrisinin oluşturulması: Problem ve problemin amacının belirlenmesi ile kriterler ve alternatifler ile bir karar matrisi oluşturulur. Bu karar matrisi TOPSIS yönteminde olduğu gibi *m x n* boyutlarında olabilir. Keza kalitatif verilerin kantitatif verilere dönüştürülmesi yeterlidir; herhangi bir parametre dönüşümüne gerek yoktur. Zira ELECTRE I yönteminde ikili mukayeseler ile çözüm yoluna gidilmektedir; yani her alternatifin karşılık

olarak aldığı kriter değerleri karşılaştırılır. Bu yüzden karar matrisinin oluşturulması aşamasında problemin çözümü kolaylaşmış olur.

Basamak 3- Normalizasyon ve ağırlıklandırılmış normalizasyon matrisinin oluşturulması: ELECTRE I metodunun normalizasyon işlemini şu eşitlikle görebiliriz:

$$r_{ij} = \frac{g_j(a_i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} g_j(a_i)^2}} \quad i=1, 2, \ldots, m \;\; j=1, 2, \ldots, n \tag{2.23}$$

Kısaca normalize matris oluşturulurken, karar matrisinin ilgili elemanını, o elemanın bulunduğu sütundaki elemanların kareleri toplamının kareköküne oranlayarak *i.* satır ve *j.* sütundaki yerine yazılır. Normalizasyon işlemi tamamlandıktan sonra ağırlıklandırma işlemi yapılır. Ağırlıklandırma yapılırken, VIKOR ve TOPSIS yönteminde olduğu gibi, her kriter için belirlenen ağırlık katsayıları (w_i) ile çarpılarak ağırlıklandırılmış normalize matris oluşturulur. Ağırlık katsayılarının toplamı 1'e (%100) eşit olmak zorundadır.

Basamak 4- Uyumluluk ve uyumsuzluk setlerinin belirlenmesi: Uyumluluk setlerinin belirlenmesi için karar matrisi içerisinde birbirinden farklı iki alternatif tercih edilmelidir. Her bir alternatif için belirlenen kriter sayısının *n* olduğu hesaba katılırsa, bir uyum setinde maksimum *n* adet eleman olabilecektir. *m* adet alternatifin olduğu bir karar matrisinde ise $m \cdot (m-1)$ adet uyum seti oluşacaktır. Uyum setleri;

$$C_{ab} = \{j | g_j(a) \geq g_j(b)\} \tag{2.24}$$

Formülüyle verilir. Yani, karşılaştırılan iki alternatifin elemanları arasında, referans alternatifin elemanının değeri, karşılaştırılan alternatifin elemanının değerinden büyükse ya da eşitse, uyum setine yazılır.

Uyumsuzluk seti ise, iki alternatifin elemanlarının karşılaştırılmasında uyum setinde kalmayan elemanların oluşturduğu kümedir. Bir diğer ifade ile referans alternatifin elemanının değeri, karşılaştırılan alternatifin elemanının değerinden küçükse, uyumsuzluk setine yazılır. Uyumsuzluk setleri;

$$D_{ab} = \{j | g_j(a) < g_j(b)\} \tag{2.25}$$

formülüyle verilir.

Basamak 5- Uyumluluk ve uyumsuzluk matrislerinin oluşturulması: Uyum ve uyumsuzluk setleri belirlendikten sonraki basamak, uyum ve uyumsuzluk matrislerinin oluşturulmasıdır. Uyum matrisinin oluşturulmasındaki temel mantık, *c(a,b)* şeklinde gösterilen uyum seti elemanlarının karşılaştırılan ilgili kriterin ağırlıklarının toplamı şeklinde uyum matrisi elemanı olarak yazılmasıdır:

$$c(a,b) = \sum_{j \in C_{ab}} w_j \tag{2.26}$$

Uyumluluk matrisinin elemanları, ağırlık değerlerinin toplamının minimum ve maksimum değer aralığı olan 0 ile 1 aralığında olabilir.

Uyumsuzluk matrisi oluşturulurken ise:

$$d(a,b) = \frac{max_{j \epsilon D_{ab}} \left| v_j(a) - v_j(b) \right|}{max_{j \epsilon J} \left| v_j(a) - v_j(b) \right|} \tag{2.27}$$

eşitliğinden faydalanılır. Yani, uyumsuzluk setinde yer alan elemanların bulunduğu kriter ya da kriterlerdeki ağırlıklandırılmış değerlerin mutlak farklarının hangisi daha büyükse alınır ve bölümün pay kısmını oluşturur. Bölümün payda kısmına ise seçili iki alternatifin tüm kriter değerlerinin mutlak farklarından en yüksek olanı yazılır. Bu oran, *d(a,b)* olarak gösterilen, uyumsuzluk matrisinin *a.* satır ve *b.* sütun elemanı olarak yazılır.

Basamak 6- Uyumluluk ve uyumsuzluk üstünlük matrislerinin oluşturulması: Uyum ve uyumsuzluk matrisi oluşturulduktan sonra uyumluluk ve uyumsuzluk üstünlük matrisleri oluşturulur. Uyumluluk ve uyumsuzluk üstünlük matrisinin oluşturulabilmesi için uyum matrisi *(C)* ve uyumsuzluk matrisinin *(D)* elemanları toplamı alınır. Akabinde $m \cdot (m-1)$'e (m = alternatif sayısı) bölünerek $\bar{c}$ ve $\bar{d}$ eşik değerleri bulunur.

$$\bar{c} = \frac{\sum_{a=1}^{m} \sum_{b=1}^{m} c(a,b)}{m(m-1)} \tag{2.28}$$

$$\bar{d} = \frac{\sum_{a=1}^{m} \sum_{b=1}^{m} d(a,b)}{m(m-1)} \tag{2.29}$$

Bulunan eşik değere göre uyumluluk üstünlük matrisi *(E)* ve uyumsuzluk üstünlük matrisi *(F)* şu şekilde bulunur:

$$E = \begin{cases} e(a,b) = 1 \; eğer \; c(a,b) \geq \bar{c} \\ e(a,b) = 0 \; eğer \; c(a,b) < \bar{c} \end{cases} \quad (2.30)$$

$$F = \begin{cases} f(a,b) = 1 \; eğer \; d(a,b) \leq \bar{d} \\ f(a,b) = 0 \; eğer \; d(a,b) > \bar{d} \end{cases} \quad (2.31)$$

Basamak 7- Nitelik ağının oluşturulması: ELECTRE I yönteminde uyumluluk ve uyumsuzluk üstünlük matrisleri oluşturulduktan sonra, aynı eleman konumundaki *e(a,b)* ve *f(a,b)* değerleri birbiriyle çarpılarak nitelik ağı oluşturulmadan önce bir matris oluşturulur. Uyumluluk ve uyumsuzluk matrislerinin eleman değerleri 0 ve 1 olduğundan, oluşacak matriste ancak aynı konumdaki elemanların değeri 1 ise, nitelik matrisindeki değer de 1 olacaktır.

Oluşan nitelik matrisinde *(a,b)* elemanı 1 değerini almışsa, *a* satırındaki alternatifin, *b* satırındaki alternatiften üstünlüğü olduğu sonucu çıkarılır. Alternatiflerin üstünlük sayılarına göre sıralama belirlenir.

Öte yandan, oluşturulan uyum ve uyumsuzluk matrisi elemanlarının yardımıyla, matematiksel olarak da sıralama yapmak mümkündür:

$$c_a = \sum_{b=1}^{n} c(a,b) - \sum_{b=1}^{n} c(b,a) \quad (2.32)$$

$$d_a = \sum_{b=1}^{n} d(a,b) - \sum_{b=1}^{n} d(b,a) \quad (2.33)$$

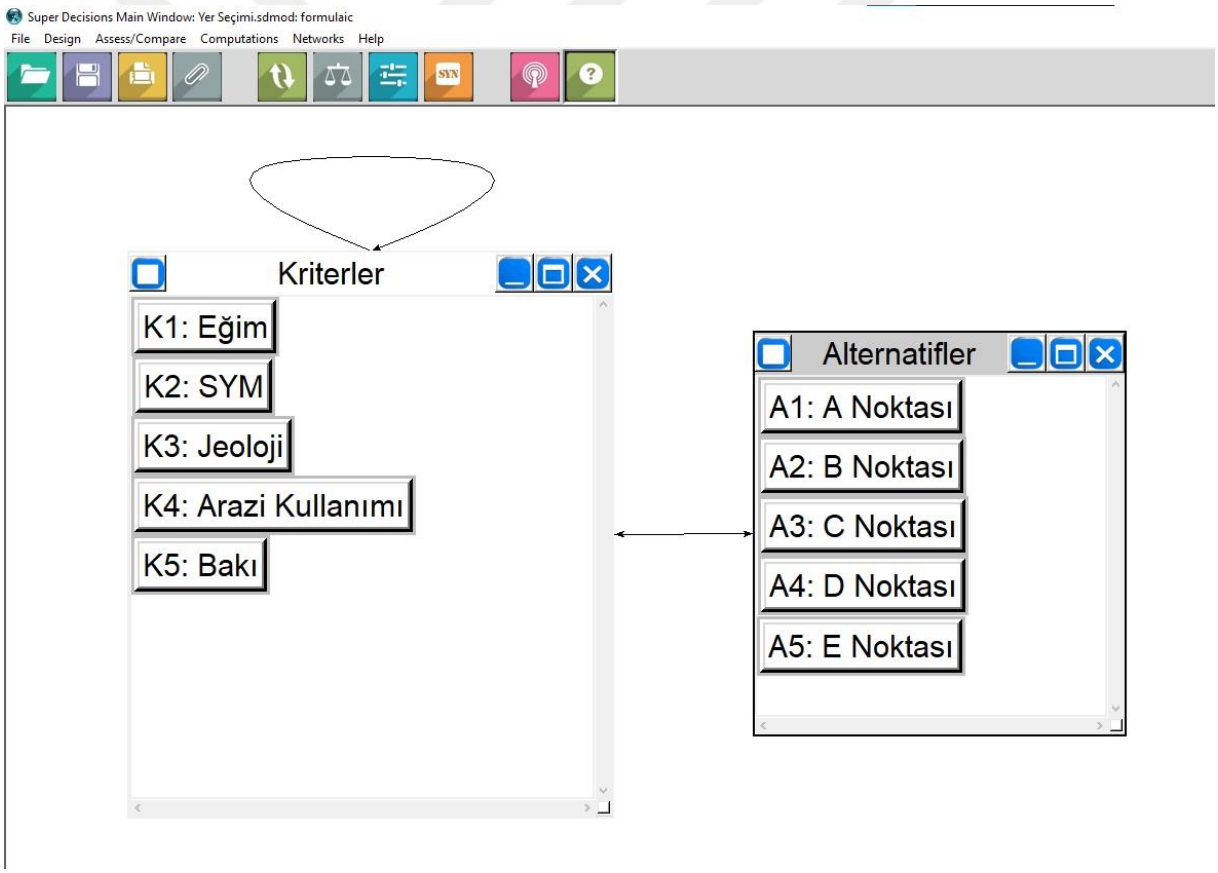
Bu şekilde uyum matrisi elemanlarının toplanması ile her alternatif için karşılaştırmalı üstünlük sayıları bir araya toplanır ve büyükten küçüğe sıralanır. Uyumsuzluk üstünlük matrisi elemanları için de aynı toplama işlemi yapılır fakat sıralama küçükten büyüğe yapılmalıdır.

2.4.SUPER DECISIONS PROGRAMI

SuperDecisions, AHP ve ANP'yi uygulayan ve yöntemi geliştiren Thomas Saaty'nin ekibi tarafından geliştirilmiş çok kriterli karar verme yazılımıdır. Program, http://www.superdecisions.com/ adresinden ücretsiz olarak edinilebilmektedir. Geliştirme ve bakımı Creative Decisions Foundation tarafından desteklenmektedir.

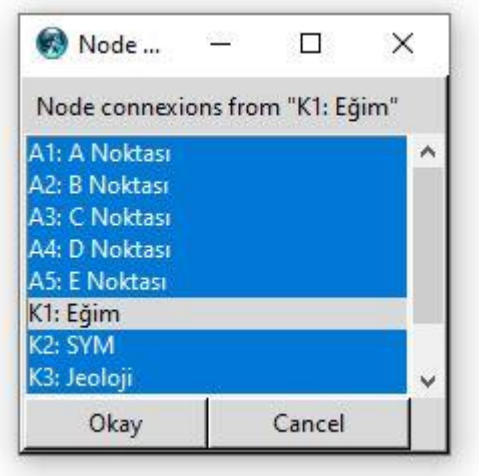
Creative Decisions Foundation, 1996 yılında Thomas L. Saaty ve eşi Rozann Whitaker Saaty tarafından kurulmuştur. Dr. Saaty, Pittsburgh Üniversitesi, Pittsburgh, Pennsylvania, ABD'de Pitt Business School'da Seçkin Üniversite Profesörü olarak görev yapmaktadır. Vakıf, dünyadaki insanları daha rasyonel kararlar vermelerine yardımcı olmak için eğitmeyi amaçlayan özel bir vakıftır.

Program genellikle Analitik Ağ Süreci problemlerinin çözümü için kullanılsa da Analitik Hiyerarşi Süreci ile çözümleme yapmak da mümkündür. Nitekim Analitik Ağ Süreci, Analitik Hiyerarşi Süreci'nin bir alt dalıdır. SuperDecisions programı ile alternatiflerin birden fazla kriter ve alt kriter kümeleri ile olan ilişkisinin gerek doğrudan gerekse program içi yönlendirmeler ile veri girişi sağlanarak çözümlenmesi amaçlanmaktadır (Şekil 2.9).



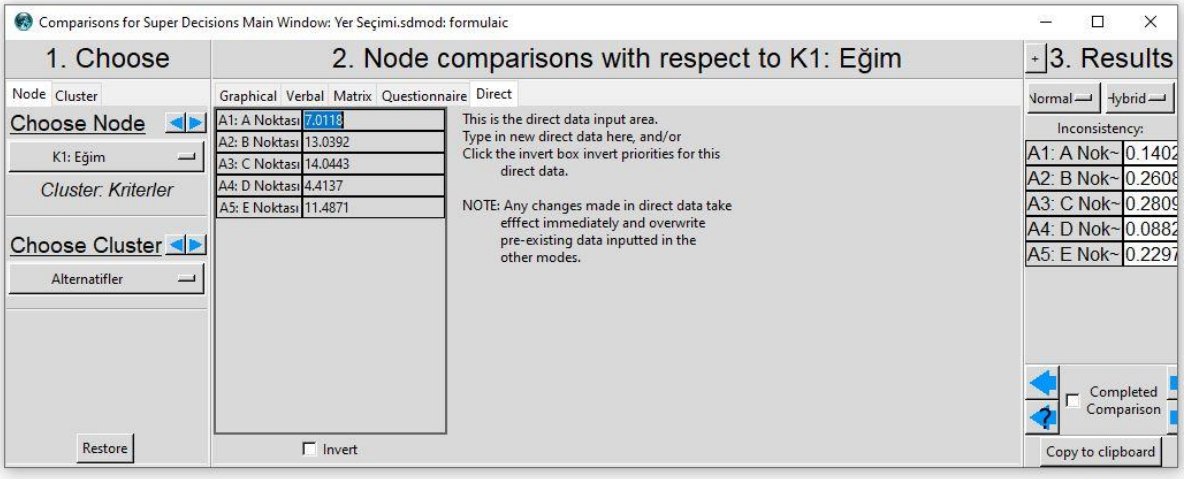
Şekil 2.9: SuperDecisions Programı Kriter-Alternatif Seçimi Arayüzü

Kriterler ve alternatiflerin birbirleri arasında ve kendi içlerinde ağ oluşturmasına da imkan tanımaktadır (Şekil 2.10)



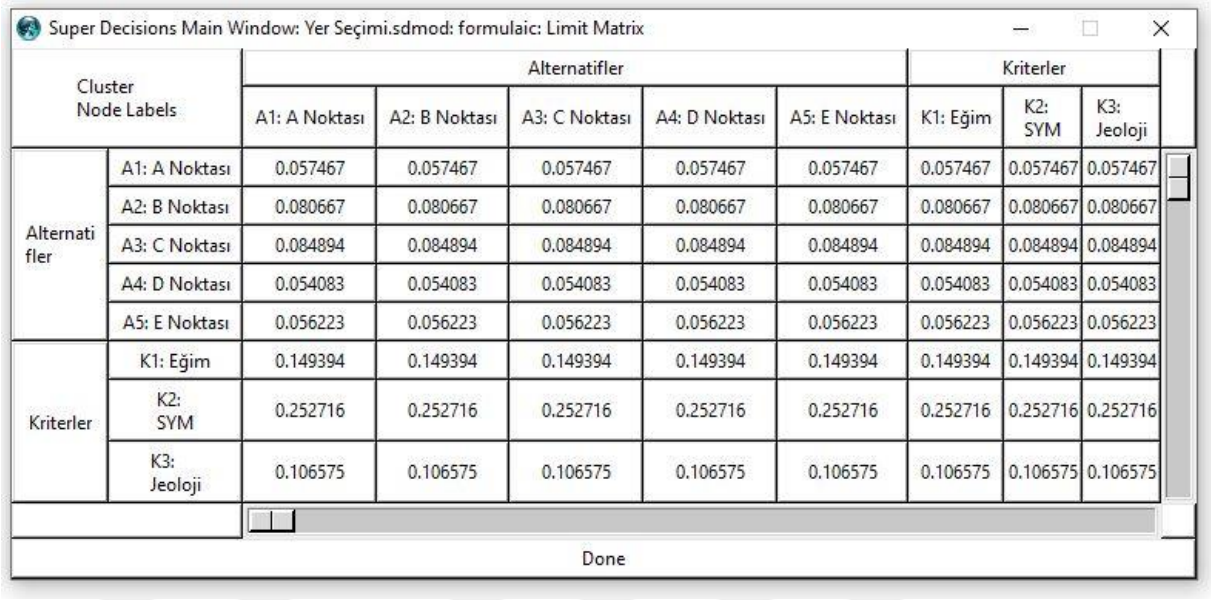
Şekil 2.10: SuperDecisions Programı ile Etki Bağlantıları Oluşturma

Programın geliştiricileri tarafından oluşturulan en önemli kolaylık, karar vericilere daha rahat veri girişi ya da karar matrisini soru-cevapla oluşturma imkânı sağlamasıdır. Bu şekilde uzmanlarca kriter-kriter ya da kriter-alternatif arası değerlendirmeler daha kolay hale gelmektedir (Şekil 2.11).



Şekil 2.11: SuperDecisions Programı ile Karar Matrisi Oluşturma

Tüm veri girişi sağlandıktan sonra program, kendi içerisinde matematiksel döngüleri sağlayarak süpermatrisi ve limit süpermatrisi oluşturarak, alternatif tercihinin yapılmasına olanak sağlamaktadır (Şekil 2.11).



Cluster Node Labels		Alternatifler					Kriterler		
		A1: A Noktası	A2: B Noktası	A3: C Noktası	A4: D Noktası	A5: E Noktası	K1: Eğim	K2: SYM	K3: Jeoloji
Alternatifler	A1: A Noktası	0.057467	0.057467	0.057467	0.057467	0.057467	0.057467	0.057467	0.057467
	A2: B Noktası	0.080667	0.080667	0.080667	0.080667	0.080667	0.080667	0.080667	0.080667
	A3: C Noktası	0.084894	0.084894	0.084894	0.084894	0.084894	0.084894	0.084894	0.084894
	A4: D Noktası	0.054083	0.054083	0.054083	0.054083	0.054083	0.054083	0.054083	0.054083
	A5: E Noktası	0.056223	0.056223	0.056223	0.056223	0.056223	0.056223	0.056223	0.056223
Kriterler	K1: Eğim	0.149394	0.149394	0.149394	0.149394	0.149394	0.149394	0.149394	0.149394
	K2: SYM	0.252716	0.252716	0.252716	0.252716	0.252716	0.252716	0.252716	0.252716
	K3: Jeoloji	0.106575	0.106575	0.106575	0.106575	0.106575	0.106575	0.106575	0.106575

Şekil 2.12: SuperDecisions Programı ile Limit Süpermatris Oluşturma

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. AYAMAMA HAVZASI

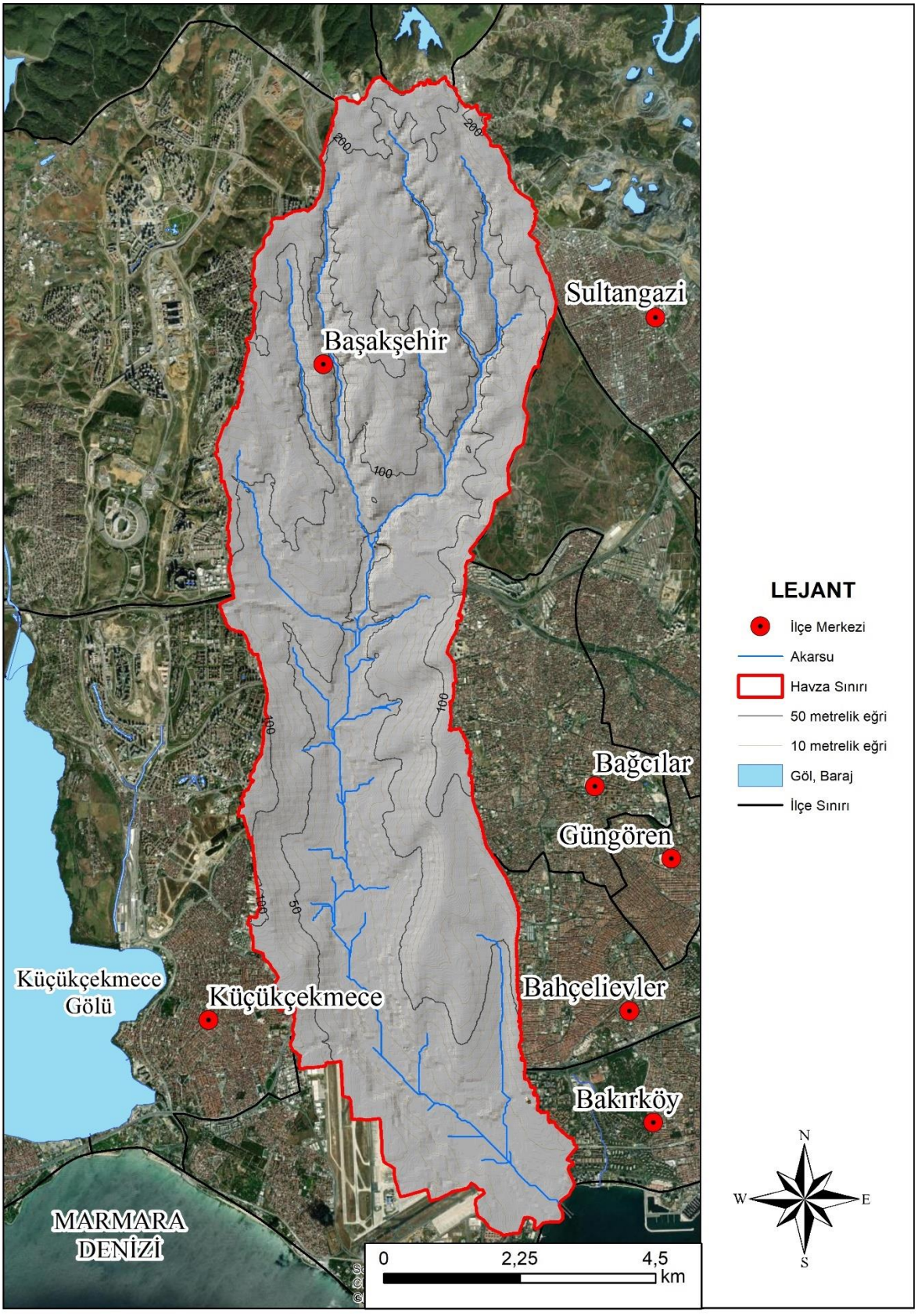
3.1.1. Ayamama Havzası

Ayamama Deresi, 42 kilometre uzunluğunda, 8 kola sahip, İstanbul Avrupa yakasının kuzey kısmında Başakşehir ilçesinin doğusundan doğarak Küçükçekmece, Bağcılar, Bahçelievler ve Bakırköy'den geçerek Marmara Denizi'ne dökülür (Şekil 3.1). Tarih içerisinde birçok kez taşkın felaketi ile karşı karşıya kalmış olup, can kayıplarının yaşandığı taşkınlar da halen hafızalarda tazeliğini korumaktadır. 2009 senesinde yaşanan taşkın neticesinde 32 kişi yaşamını yitirmiş, 50 kişi yaralanmıştır. Ayrıca birçok yapı hasar görerek ekonomiye de en az sosyolojik tahribat kadar zarar vermiştir (Kazezyılmaz-Alhan, Gülbaz, Bahçeci ve Boyraz, 2019).

Ayamama Deresi'nin geçtiği ilçelerin nüfusu, İstanbul'un toplam nüfusunun yaklaşık dörtte birine tekabül etmektedir. Bu yönüyle dahi Ayamama Havzası'nın ne kadar önemli bir lokasyonda olduğu açıktır. Türkiye'nin ticaret merkezi olan İstanbul'un kalbinde yer alması nedeniyle, taşkın riskinin sıklıkla üzerinde durulması gereken bir alanda yer almaktadır. Söz konusu alanın yerleşik nüfusunun haricinde, önemli ulaşım kanallarının kesiştiği bir bölge olması da sirkülasyonun önemli ölçüde fazla olmasını ve riskin katlanarak artmasını beraberinde getirmektedir.

Ticaretin merkezileşmesi yönelimiyle artan sanayileşmeden nasibini alan Ayamama Havzası'nda yer alan işletmeler, arazi kullanım durumunu da değiştirmektedirler. Endüstriyel alanların ve inşaat sahalarının artması ile, taşkın riski daha da artmaktadır. Gerek nüfus sirkülasyonunun artması gerekse de taşkın durumundaki suyun bu alanları tahrip etme olasılığının yükselmesi dolayısıyla arazi kullanımındaki değişimler önem arz etmektedir.

Havza geneline bakıldığında, İstanbul jeolojik katmanlarını çoğunu bünyesinde barındırdığı görülmektedir. Çukurçeşme, Kuşdili, Gürpınar, Soğucak, Bakırköy, Güngören ve Trakya formasyonlarının yanı sıra havzada yapay dolgu alanlar ve alüvyal toprak da yer almaktadır. Bu da havzanın risk analizi yapılırken her bir nokta için ayrı ayrı değerlendirmeye tabi tutulması gereken bir kriter olduğunu ortaya koymaktadır.



Şekil 3.1: Ayamama Havzası

3.1.2. Taşkın Risk Değerlendirmesi için Seçilen Alt Havzalar

Havza içerisinde taşkın risk değerlendirmesi için 5 adet alt havza belirlenmiştir. Bu lokasyonlar daha önce Kazezyılmaz-Alhan vd. (2019) tarafından yapılmış "İstanbul, Türkiye'deki Ayamama Nehri Havzasının Taşkın Modellemesi" çalışmasında yer alan lokasyonlardır (Şekil 3.2). Bu tez kapsamında yapılan taşkın risk modellemesi sonuçları Kazezyılmaz-Alhan vd. (2019) tarafından yapılmış olan taşkın hidrolik modelleme sonuçlarıyla karşılaştırılarak değerlendirilecektir. Ayrıca tezin amacı, çalışmada kullanılan kriter değerlerinin ulaşılabilir olduğu, tercih edilecek rastgele noktaların arasından en riskli bölgenin belirlenmesi olduğundan, burada seçilmiş olan lokasyonlar dışındaki yerlere de tatbik edilebilir olacaktır. Çalışma, riskli bölgelerin aralarında sıralanmasını amaçladığından, yağışın etkisiyle ortaya çıkacak riskin boyutlarını sağlamayı amaçlamadığından deterministik değil, stokastik metotla ortaya koyulacaktır.

Tez kapsamında çalışılan lokasyonların isim ve koordinat bilgileri şöyledir:

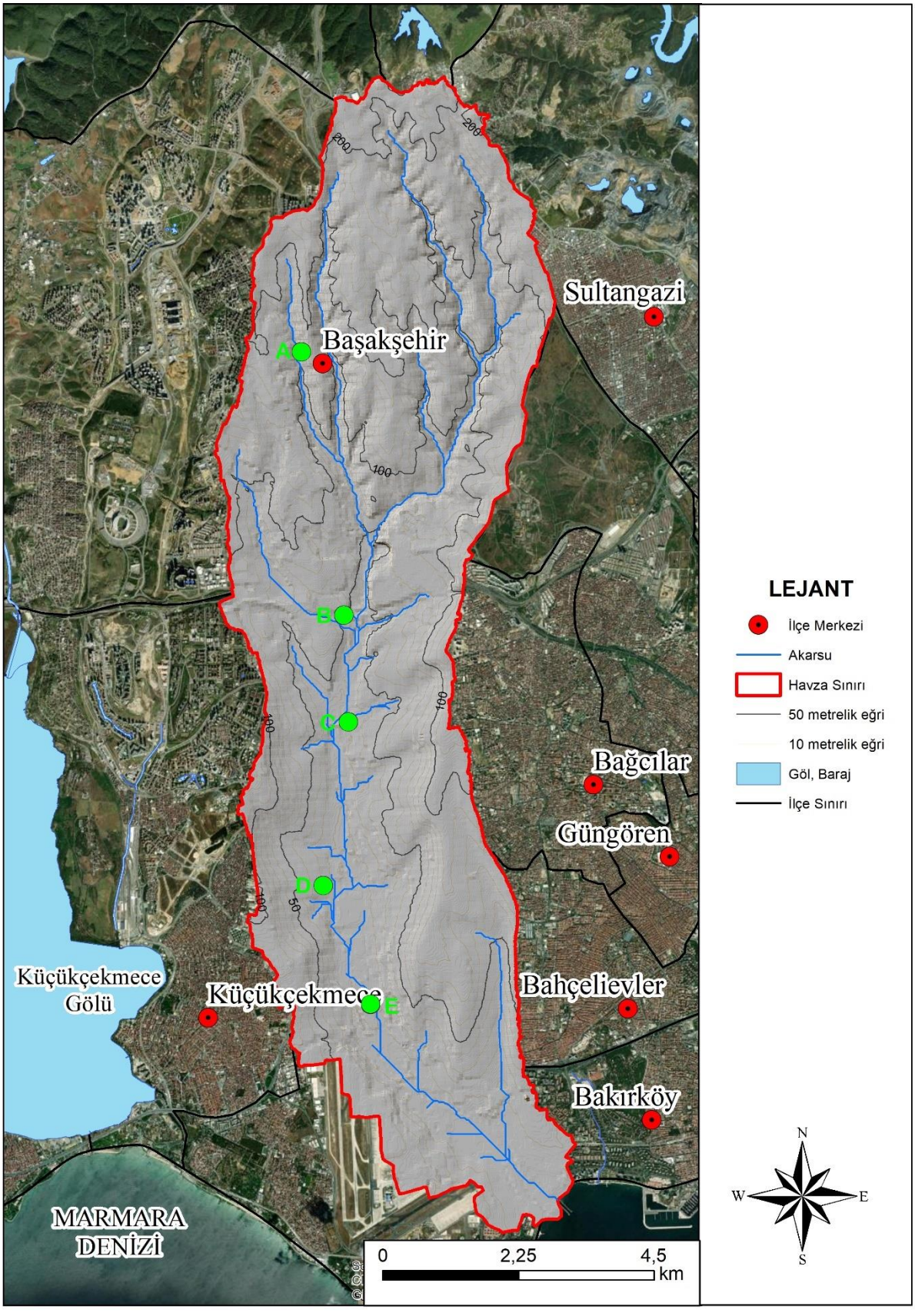
A Noktası: İkitelli – *28,802025K, 41,099524D*

B Noktası: Atatürk – *28,809335K, 41,059997D*

C Noktası: Evren – *28,809757K, 41,044041D*

D Noktası: İnönü – *28,804157K, 41,019619D*

E Noktası: Çobançeşme – *28,813009K, 41,001702D*



Şekil 3.2: Ayamama Havzası'nda Seçilen Lokasyonlar

3.2. TAŞKIN RİSK ANALİZİ İÇİN SEÇİLMİŞ ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME KRİTERLERİ

Ayamama Havzası'nda ya da farklı havzalarda taşkın risk değerlendirmesi için kullanılmak üzere tez kapsamında oluşturulan çok kriterli karar verme algoritmasında eğim, arazi kullanımı, jeoloji, bakı, yükseklik ve nüfus yoğunluğu olarak altı farklı kriter kullanılmıştır. Nüfus yoğunluğu kriteri, diğer 5 kriter ile kriter sayısal değeri esas alınarak çarpılmıştır. ÇKKV tekniklerinin içerisinde doğrudan kriter verisi olarak kullanılmamıştır.

Taşkın riski dikkate alındığında taşkının ortaya çıkmasına sebep olan iki kriter yağmur ve kar erimesidir. Fakat çalışma alanı olan Ayamama Havzası'nda gözlemlenebilir geçmişte kar erimesinden kaynaklı taşkın gerçekleşmediğinden sadece şiddetli yağmurun varlığı halinde taşkının gerçekleşeceği dikkate alınmıştır. Diğer taraftan, Ayamama Havzası üzerinde oluşan yağmurlarda alansal olarak büyük farklılıklar gözlenmemektedir. Diğer bir deyişle havza üzerindeki her noktaya aynı miktarda yağmur düşeceği düşünülebilir. Bu sebeplerden ötürü, taşkın riski hesabında yağış parametresi bir kriter olarak alınmamıştır.

Kriterlerin ağırlık değerleri, kendi aralarında yapılan önem karşılaştırması neticesinde, 1'den 5'e kadar oluşturulan değerlerdir. Bu değerler, taşkın durumunda oluşan riskin hangi kriter dolayısıyla daha fazla olduğu sorusunun cevabı niteliğindedir.

Kriter değerleri ise kriter ağırlık değerlerinden farklı olarak, kriterlerin parametrelerinin ve alt kriterlerinin nitel olanlarının karar verici ya da uzman tarafından takdiri ile, nicel olanların ise formülasyon ile ortaya çıkan değerlerdir. Kriterlerin içsel sayısal değerlendirmelerinin matematiksel tabanda yapılabilmesi adına, seçilen kriter değerleri analitik olarak hesap edilerek formülize edilmiştir. Ağırlık değerleri tablosu, Tablo 3.1'de verildiği gibi belirlenmiştir:

		Ağırlık Değeri
EĞİM Ağırlık Değeri : 4	$y = 5 - \frac{x^2}{80}$	
ARAZİ KULLANIMI A.D : 3	Endüstriyel Alanlar	5
	İnşaat Sahaları	4
	Karayolları ve Demiryolları	5
	Spor ve Eğlence Alanları	4
	Yeşil Alanlar	2
	Sürekliliği Olmayan Kırsal Yerleşim Alanları	4
JEOLOJİ A.D : 2	Çukurçeşme Formasyonu	2
	Kuşdili Formasyonu	4
	Yapay Dolgu	4
	Gürpınar Formasyonu	4
	Soğucak Formasyonu	2
	Alüvyal toprak	4
	Bakırköy Formasyonu	2
	Güngören Formasyonu	5
	Trakya Formasyonu	2
BAKI A.D : 1	Kuzey	5
	Kuzeybatı	3
	Kuzeydoğu	3
	Diğer	1
YÜKSEKLİK A.D : 5	$y = 5 - \frac{5x}{12}$	
NÜFUS YOĞUNLUĞU (Ağırlıklandırma Kriteri)	$x = \frac{1}{\left(-y^{1/5}\right) + \left(5^{1/5}\right)}$	

Tablo 3.1: Kriter ağırlıkları ve formülasyonları

Nicel veriler olan arazi kullanımı, jeoloji ve bakı verileri, 1 ila 5 arası ağırlıklandırılmıştır. Eğim, yükseklik ve nüfus yoğunluğu verileri ise değer bazlı risk karşılıklarının hesap edilebilir ve daha rasyonel bir hale gelmesi için formüle edilmiştir. Bu ağırlıklandırmalar çalışma esnasında çok kriterli karar verme tekniklerine göre oranlanmıştır.

3.2.1. Nüfus Yoğunluğu

TÜİK'in Şubat 2021 adrese dayalı nüfus sistemi verilerine göre İstanbul'un nüfusu 15.462.452 kişidir. Ayamama Deresi'nin içerisinden geçtiği ilçelerin nüfus verileri de şöyledir (TÜİK, 2021) (https://tr.wikipedia.org/wiki/%C4%B0stanbul%27un_il%C3%A7eleri):

- Başakşehir: 469.924 kişi (İlçe nüfus yoğunluğu: 4.392 kişi/km^2)
- Küçükçekmece: 789.633 kişi (İlçe nüfus yoğunluğu: 17.946 kişi/km^2)
- Bağcılar: 737.206 kişi (İlçe nüfus yoğunluğu: 32.052 kişi/km^2)
- Bahçelievler: 592.371 kişi (İlçe nüfus yoğunluğu: 34.845 kişi/km^2)
- Bakırköy: 226.229 kişi (İlçe nüfus yoğunluğu: 7.801 kişi/km^2)

Beş ilçenin İstanbul nüfusunun %18,20'si olduğu gözükmektedir. Seçilen noktaların CBS tabanlı harita üzerinden okunan nüfus yoğunlukları ise şu şekildedir (*kişi/ha*) (Şekil 3.3):

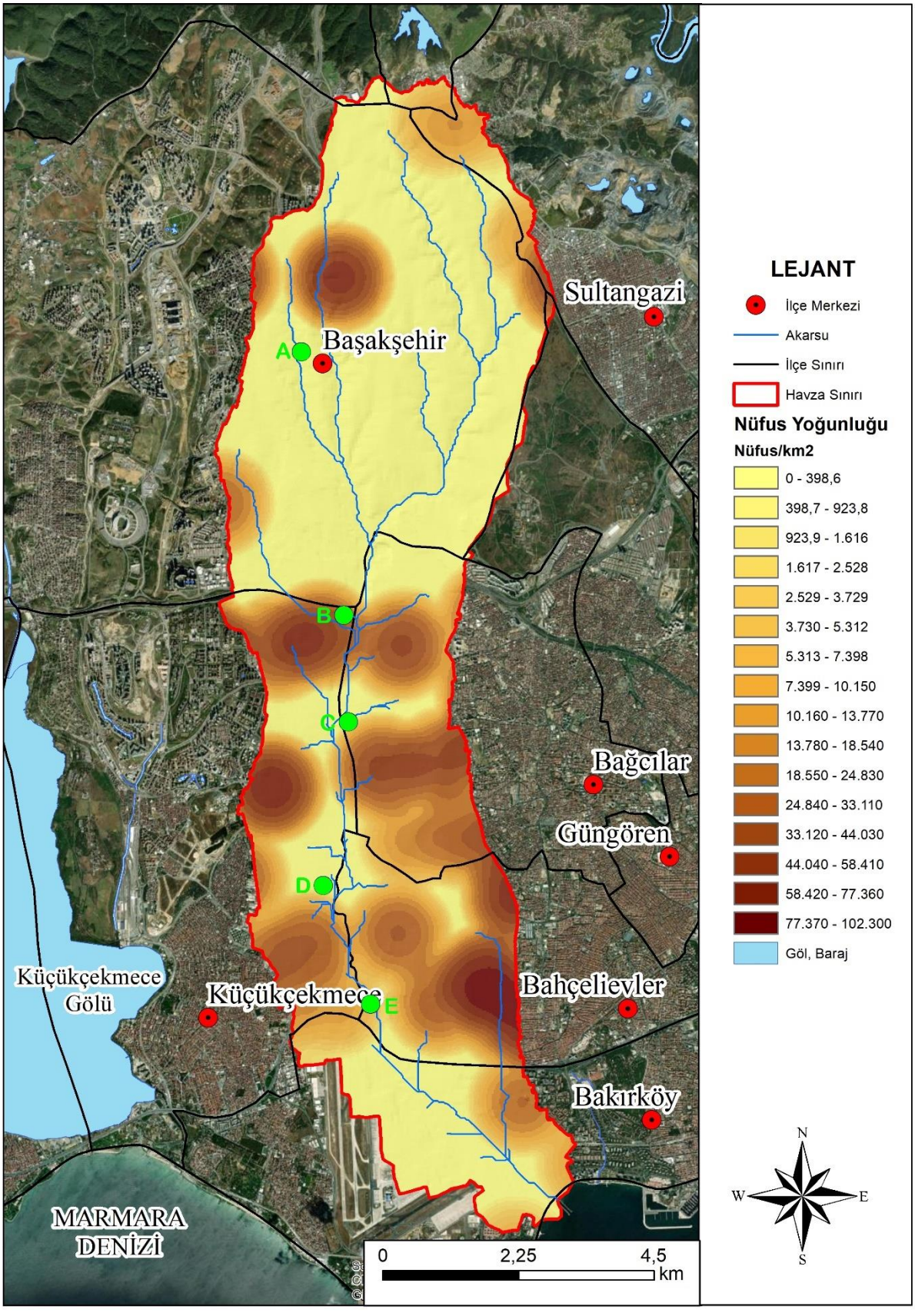
A Noktası: *4 kişi/ha*

B Noktası: *293 kişi/ha*

C Noktası: *6 kişi/ha*

D Noktası: *4 kişi/ha*

E Noktası: *54 kişi/ha*



Şekil 3.3: Ayamama Havzası Nüfus Yoğunluğu Haritası

Nüfus verisini diğer kriterlerdeki gibi 5'li sisteme çevirmek için, nüfus yoğunluğu ve risk koordinatında seçilen noktaların analitik çözümlemesi ile aşağıdaki formül ortaya koyulmuştur:

$$x = \frac{1}{-y^{1/5} + 5^{1/5}} \quad (1)$$

Formülü esas alarak oluşturulan nüfus kriteri değerleri şu şekilde bulunmuştur:

A Noktası: *1,84*

B Noktası: *4,94*

C Noktası: *2,63*

D Noktası: *1,84*

E Noktası: *4,67*

Nüfus kriterinin hesaplanan nümerik değerleri, diğer kriterlerin nümerik değerleri ile ağırlıklandırılacaktır.

3.2.2. Eğim

Eğim, akarsu havzasının taşkın alanı olarak hesap edilen bölgelerde suyun akışında etkin rol oynayan en önemli kriterlerden biridir. Zira eğimin olmadığı bir yerde su birikerek yükselir ve ciddi taşkın riski oluşmasına sebebiyet verir.

Havza genelinde maksimum eğimin yüzde 20'yi aşmadığı Şekil 3.1'deki izohips haritasından hesap edilmiş ve buna istinaden yüzde 20 eğim sınır değer alınarak eğim verileri 1-5 arası değer alan kriter ağırlık değerlerine göre normalize edilmiştir. Çok kriterli karar verme problemi olarak tasarlanan taşkın risk analizinde yükseklik kriteri de mevcut olduğundan, eğimin ters ya da düz olması durumu değerlendirme dışı bırakılmıştır ve mutlak değer alınmıştır. Eğim sıfıra yaklaştıkça kriter ağırlık değeri maksimum değer olan 5'e yaklaşmakta ve eğim %20'ye yaklaştıkça da kriter ağırlık değeri 0'a yaklaşmaktadır.

Seçilen noktaların eğim verileri Ayamama Havzası izohips haritası kullanılarak belirlenmiş ve aşağıda verilmiştir':

A Noktası: *%3,40*

B Noktası: *%4,60*

C Noktası: *%1,80*

D Noktası: *%4,40*

E Noktası: *%2,70*

Seçilmiş noktaların belirlenmiş olan eğim değerinin oluşturulan $y = 5 - \frac{x^2}{80}$ formülüne göre karşılık gelen kriter değerleri şöyledir:

A Noktası: *4,86*

B Noktası: *4,74*

C Noktası: *4,96*

D Noktası: *4,76*

E Noktası: *4,91*

Seçilmiş noktaların eğim kriteri değerleri nüfus kriteri değerleriyle çarpılarak ağırlıklandırılmış ve tüm ÇKKV yöntemlerinde aşağıda verilen değerler kullanılmıştır:

A Noktası: *8,9352*

B Noktası: *23,3861*

C Noktası: *13,0273*

D Noktası: *8,7558*

E Noktası: *22,9408*

3.2.3. Yükseklik

Taşkının etkinliğini göstereceği bölgelerin belirlenmesinde en önemli parametrelerden biri bölgenin taşkın kotuna göre yüksekliğidir (Onuşluel vd., 2002). Ülkemizde 2070-2100 yılları

arasındaki yağış rejimi değişiminin 100 yıllık bazda kuzey kesimlerde 1,6 mm/gün kadar artacağı, güney kesimlerde ise 2 mm/gün azalacağı öngörülmektedir. Bu da akarsu rejimlerinde önemli bir düzensizlik meydana getirerek taşkın riskini artıracaktır. 2009 yılında Ayamama Havzası'nda meydana gelen taşkında 6-7 metre civarında bir yükselme yaşandığı tespit edilmiştir (Özcan, 2017).

Bu düzensizliğin ve iklimsel değişikliğinin varlığı göz önünde bulundurularak taşkın riski taşıyan taşkın kotuna göre maksimum yükseklik seviyesi 12 metre olarak belirlenmiştir (Şekil 3.4). Bu yükseklik, akarsuyun taşkın üst kotu referans alınarak belirlenen yükseklikliktir. Çalışma esnasında seçilmiş noktalarda taşkın kotunun altında bir alan çıkmamıştır. Taşkın kotunun altında kalan bir nokta tercih edilmesi halinde yükseklik sıfır olarak sisteme girilmelidir; çünkü formülasyonda sıfır kotu maksimum risk olarak belirlenmiştir.

Seçilmiş noktaların yükseklik verileri şöyledir:

A Noktası: *7,10 m.*

B Noktası: *5,70 m.*

C Noktası: *1,30 m.*

D Noktası: *9,4 m.*

E Noktası: *3,4 m.*

Seçilmiş noktaların yükseklik değerinin oluşturulan $y = 5 - \frac{5x}{12}$ formülüne göre karşılık gelen kriter değerleri şöyledir:

A Noktası: *2,04*

B Noktası: *2,63*

C Noktası: *4,46*

D Noktası: *1,08*

E Noktası: *3,58*

Seçilmiş noktaların yükseklik kriteri ağırlık değerleri nüfus kriteri ağırlık değerleriyle çarpılarak ağırlıklandırılmış ve tüm ÇKKV yöntemlerinde aşağıda verilen değerler kullanılmıştır:

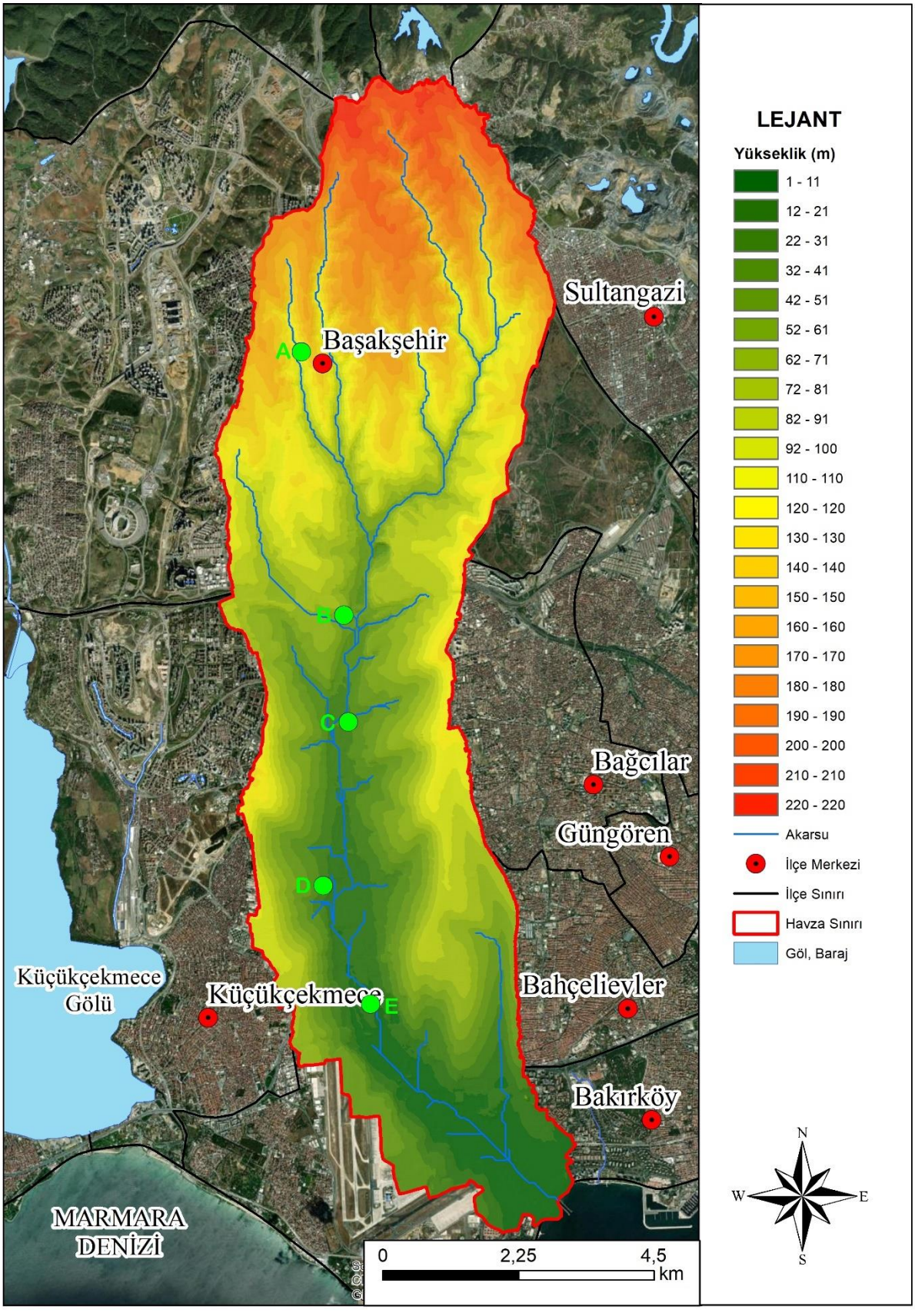
A Noktası: *3,7571*

B Noktası: *12,9635*

C Noktası: *11,7109*

D Noktası: *1,9936*

E Noktası: *16,7461*



Şekil 3.4: Ayamama Havzası Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) Haritası

3.2.4. Jeoloji

Taşkının risk hesaplamasında jeolojik olarak önemli etken, taşkın risk alanındaki zeminin gözenekliliği ve geçirgenliğidir. Suyun emilimi ya da tutulması, taşkın riskinin değişkenliğine sebebiyet verdiğinden risk yönetiminin önemli bir parçası olarak değerlendirilmektedir.

Ayamama Havza alanında Çukurçeşme, Kuşdili, Gürpınar, Soğucak, Bakırköy, Güngören ve Trakya Formasyonları ile yapay dolgu alanları ve alüvyal toprak alanları bulunmaktadır (Şekil 3.5). İBB'nin 2007 yılında Avrupa Yakası genelinde yapmış olduğu mikro bölgeleme haritasına göre geçirimlilik tasnifi yapılmış (Tablo 3.2) ve buna uygun olarak tez kapsamında kriter ağırlıklandırmaları sağlanmıştır.

Seçilmiş noktaların jeolojik özellikleri şöyledir:

A Noktası: *Trakya Formasyonu*

B Noktası: *Soğucak Formasyonu*

C Noktası: *Alüvyal Toprak*

D Noktası: *Çukurçeşme Formasyonu*

E Noktası: *Alüvyal Toprak*

Seçilmiş noktaların jeolojik özelliklerine göre belirlenmiş kriter değerleri şöyledir (Tablo 3.1):

A Noktası: *2*

B Noktası: *2*

C Noktası: *4*

D Noktası: *2*

E Noktası: *4*

Seçilmiş noktaların jeoloji kriteri ağırlık değerleri nüfus kriteri ağırlık değerleriyle çarpılarak ağırlıklandırılmış ve tüm ÇKKV yöntemlerinde aşağıda verilen değerler kullanılmıştır:

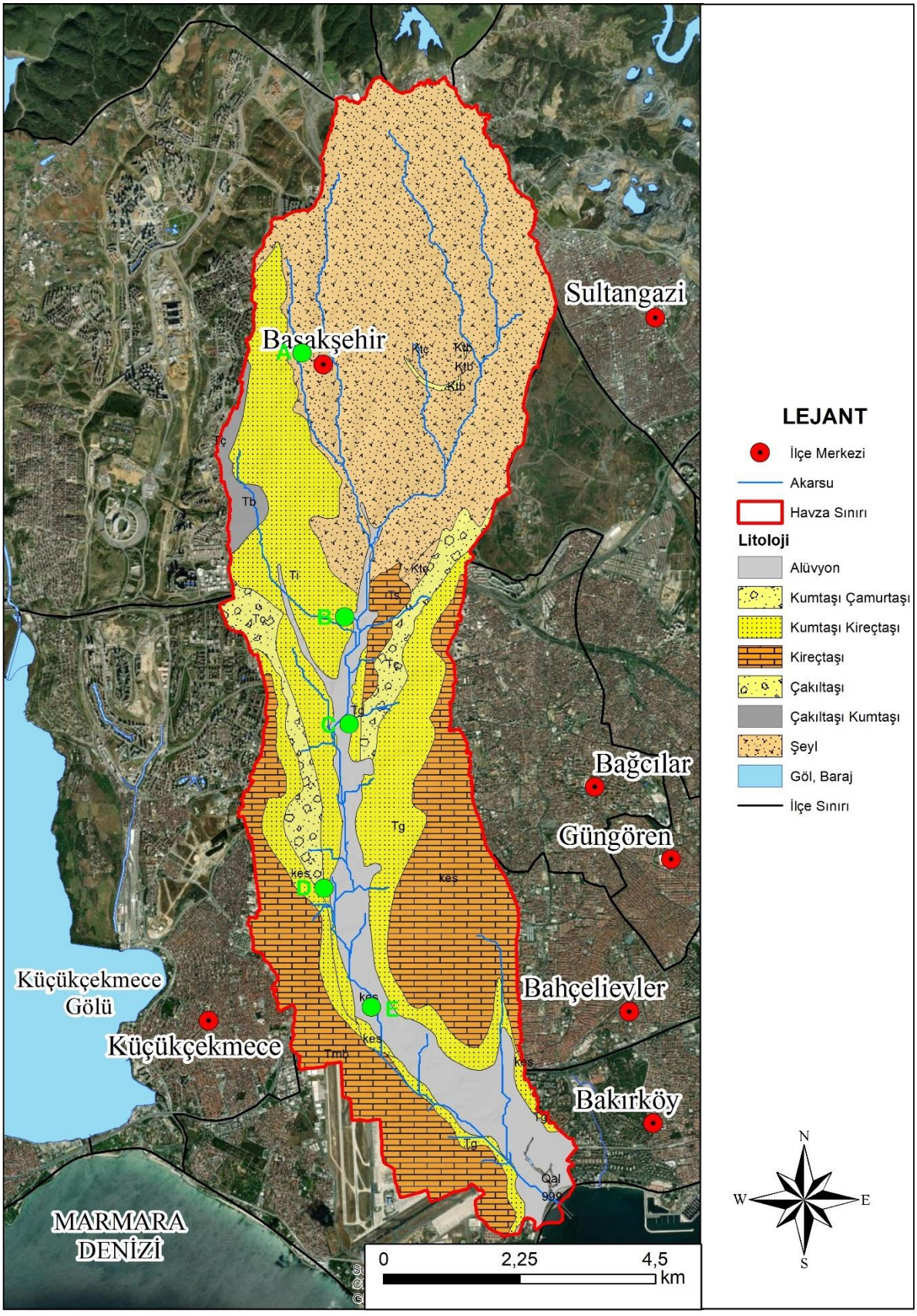
A Noktası: *3,6805*

B Noktası: *9,8769*

C Noktası: *10,5070*

D Noktası: *3,6805*

E Noktası: *18,6934*



Şekil 3.5: Ayamama Havzası Jeoloji Haritası

Formasyon	Yeraltı Su Seviyesi (Kuyu Üst Kotundan)	Geçirimlilik	Yeraltı Suyu Kullanılabilirliği
Alüvyon	1—5m	Düşük-Orta	Kullanılabilir- Bazı bölgelerde tarımda kullanılıyor.
Deniz Kumu	1—5m	Yüksek	Düşük miktarlarda kullanılabilir.
Bakırköy	5 —15m	Orta-Yüksek	Kullanma suyu olarak bina inşaatlarında ve evlerde tüketilebilir.
Güngören	5 —15m	Düşük	Kullanılabilir değil.
Çukurçeşme	Değişken	Orta-Yüksek	Kullanılabilir değil.
Gürpınar	5 —15m	Düşük-Orta	Kullanılabilir değil veya Düşük miktarlarda kullanılabilir.
Ceylan	Değişken	Orta-Yüksek	Kullanılabilir.
Trakya	Değişken	Orta-Yüksek (aşınmış) Düşük (taze)	Kullanılabilir değil.

Tablo 3.2: Ayamama Havzası'nda bulunan formasyonların geçirim tablosu (İBB, 2007)

3.2.5. Arazi Kullanımı

İstanbul'un önemli bir kısmı ve özellikle Ayamama Havzası, sosyal ve ticari yerleşim olarak kapasitesinin üzerinde yoğunluğa sahiptir. Dünyanın birçok metropolünden ve şehrinden çok daha yüksek ortalama nüfusa sahip bir alanda yerleşik olan Ayamama Deresi'nin beraberinde getirdiği en çaresiz sorunlarından biri de yoğun yapılaşmadır. Yapılaşmanın etkisiyle geçirimsiz yüzeyler artmakta ve yüzey suyunun yeraltı suyuna ulaşması engellenmekte ve artan nüfusun etkisiyle risk de çoğalmaktadır.

Ayamama Deresi, İstanbul'un kalbi sayılabilecek bir noktadadır. TEM ve E-5 karayollarını kesmekte ve Basın Ekspres yoluna paralel olarak gitmektedir. İstanbul'un en temel ulaşım güzergahının havzanın içerisinden geçmesi, taşkın durumunda riskin alarm seviyesine

çıkmasını beraberinde getirmektedir. 2009 senesinde yaşanan taşkın hadisesinde mahsur kalanların kurtarılmaları için yoğun uğraşlar sarf edilmek zorunda kalınmıştır.

Ayamama Havzası'nın nüfus yoğunluğu haricinde bir diğer yapılaşma sorunu da ticari işletmelerdir. Ticarethaneler, fabrikalar, üretim merkezleri, plazalar, showroomlar, TIR garajları ve daha birçok işletmenin yer aldığı havzada ticari faaliyetler had safhada olup taşkın halinde ekonomik riskleri de beraberinde getirmektedir. 2009 senesinde yaşanan taşkında 150 milyon Euro ekonomik zararın olduğu tespit edilmiştir (Özcan, 2017).

Avrupa Çevre Ajansı, farklı dallarda kullanılmak üzere ajansa üye 39 ülkede CORINE (Coordination of Information on the Environment- Çevresel Bilginin Koordinasyonu) projesini hayata geçirmiş; uydu görüntüleri üzerinden yapay zekâ destekli görsel yorumlama ile farklı sınıflandırmalara gitmiştir (https://corine.tarimorman.gov.tr/corineportal/nedir.html).

5 ana başlık ve 44 alt başlıkta değerlendirilen CORINE arazi örtüsü sınıflandırmasına göre Ayamama Havzası'nda 6 farklı alt başlık bulunmaktadır. Bunlar:

- Yeşil Alanlar (Şekil 3.6),
- Spor ve Eğlence Alanları (Şekil 3.7),
- İnşaat Sahaları (Şekil 3.8),
- Endüstriyel Alanlar (Şekil 3.9),
- Sürekliliği Olmayan Kırsal Yerleşim Alanları (Şekil 3.10)
- Karayolları (Şekil 3.11).

Seçilmiş noktaların arazi kullanım durumu verileri şöyledir:

A Noktası: *Sürekliliği Olmayan Kırsal Yerleşim Alanları*

B Noktası: *Karayolları ve Demiryolları*

C Noktası: *Endüstriyel Alanlar*

D Noktası: *Endüstriyel Alanlar*

E Noktası: *Endüstriyel Alanlar*

Seçilmiş noktaların arazi kullanımına göre belirlenmiş kriter değerleri şöyledir (Tablo 3.1):

A Noktası: *4*

B Noktası: *5*

C Noktası: *5*

D Noktası: *5*

E Noktası: *5*

Seçilmiş noktaların arazi kullanımı kriteri ağırlık değerleri nüfus kriteri ağırlık değerleriyle çarpılarak ağırlıklandırılmış ve tüm ÇKKV yöntemlerinde aşağıda verilen değerler kullanılmıştır:

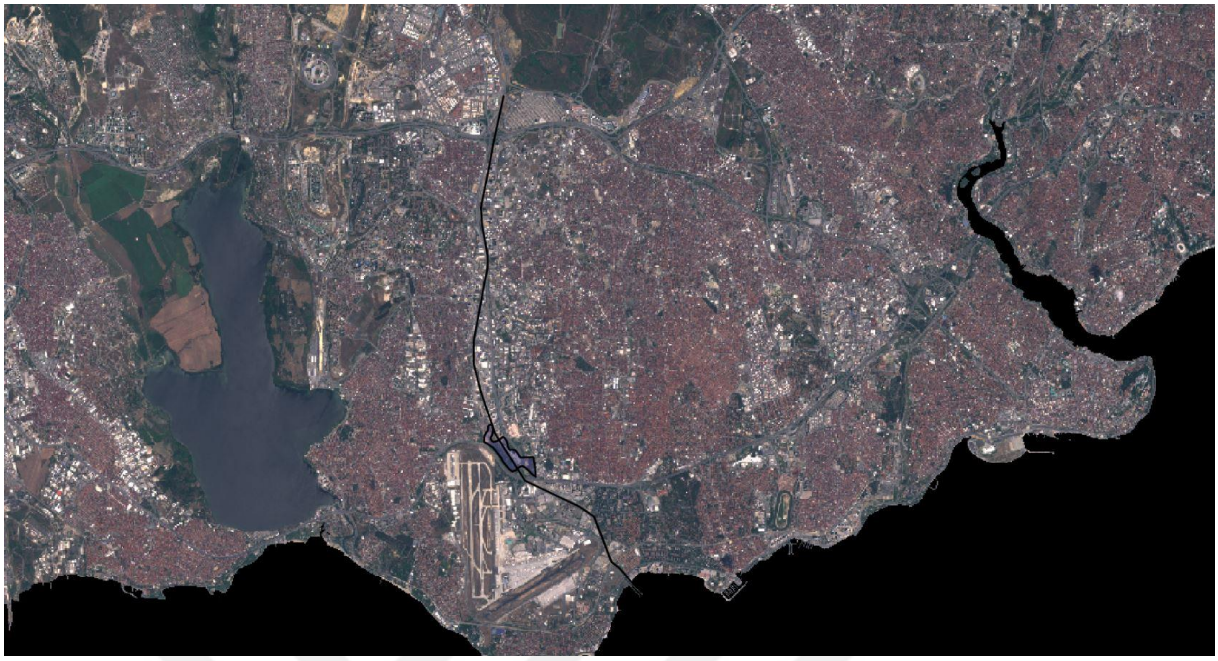
A Noktası: *7,3609*

B Noktası: *24,6923*

C Noktası: *13,1337*

D Noktası: *9,2012*

E Noktası: *23,3667*



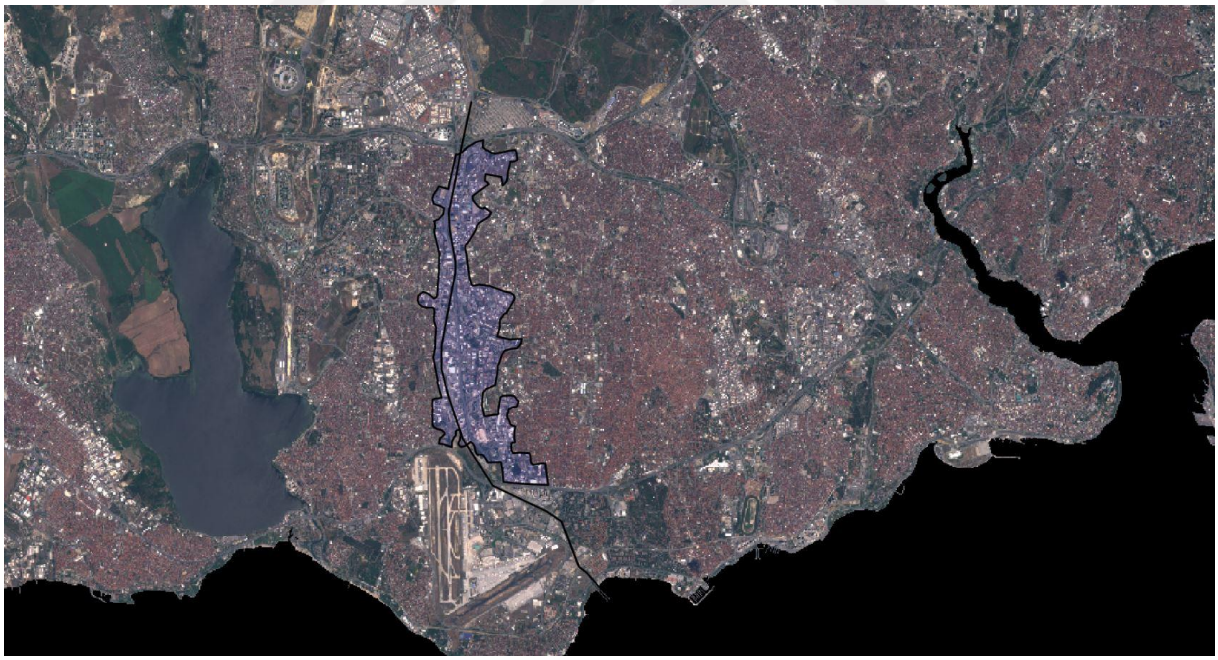
Şekil 3.6: Ayamama Havzası CORINE Arazi Örtüsü – Yeşil Alanlar



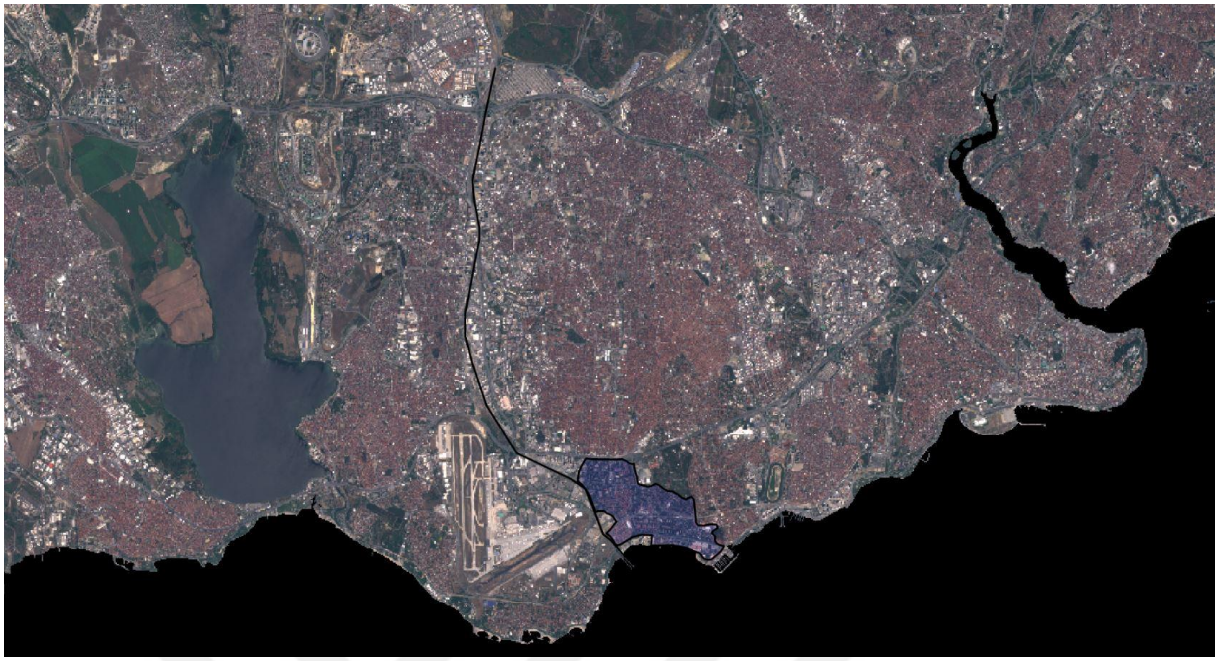
Şekil 3.7: Ayamama Havzası CORINE Arazi Örtüsü – Spor ve Eğlence Alanları



Şekil 3.8: Ayamama Havzası CORINE Arazi Örtüsü – İnşaat Sahaları



Şekil 3.9: Ayamama Havzası CORINE Arazi Örtüsü – Endüstriyel Alanlar



Şekil 3.10: Ayamama Havzası CORINE Arazi Örtüsü – Sürekliliği Olmayan Kırsal Yerleşim Alanları



Şekil 3.11: Ayamama Havzası CORINE Arazi Örtüsü – Karayolları

3.2.6. Bakı

Jeolojinin farklı sızdırma özelliğine sahip zemin tipleri ile taşkın üzerinde doğrudan etkisi olduğu gibi, güneş alma yönünün de zeminin sızdırma özelliği üzerinde etkisi mevcuttur.

Ülkemizin kuzey yarımkürede yer aldığından hareketle, güneye bakan alanlarda zemin sıcaklıklarının birkaç derece yüksek olduğu ve buharlaşma ile sızmaya olumlu etkileri mevcuttur. Bakı kriterinin kriter ağırlık değeri düşük olsa da işlevinin çalışma açısından görece önemli olduğu kanaatiyle kriterler arasına eklenmiştir. Ayamama Havzası için CBS verisi üzerinden tespit edilen bakı durumu Şekil 3.12 de gösterilmiştir.

Seçilmiş noktaların bakı verileri şöyledir:

A Noktası: *Diğer*

B Noktası: *Diğer*

C Noktası: *Kuzeybatı*

D Noktası: *Diğer*

E Noktası: *Diğer*

Seçilmiş noktaların bakı verilerine göre belirlenmiş kriter değerleri şöyledir (Tablo 3.1):

A Noktası: *1*

B Noktası: *1*

C Noktası: *3*

D Noktası: *1*

E Noktası: *1*

Seçilmiş noktaların bakı kriteri ağırlık değerleri nüfus kriteri ağırlık değerleriyle çarpılarak ağırlıklandırılmış ve tüm ÇKKV yöntemlerinde aşağıda verilen değerler kullanılmıştır:

A Noktası: *1,8402*

B Noktası: *4,9385*

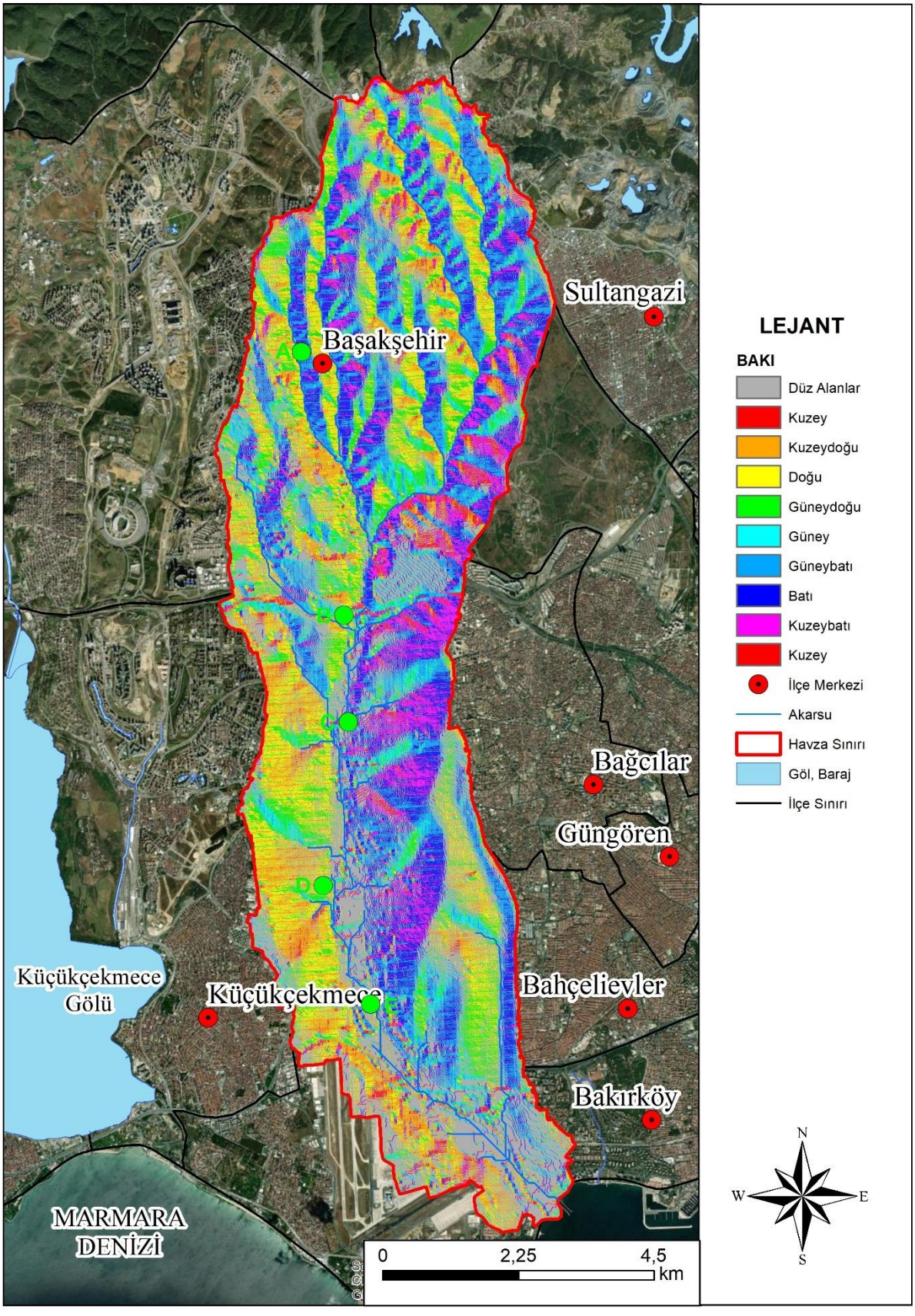
C Noktası: *7,8802*

D Noktası: *1,8402*

E Noktası: *4,6733*

Ağırlıklar	4	3	2	5	1
	Eğim	Arazi Kullanımı	Jeoloji	Yükseklik	Bakı
A Noktası	8,9352	7,3609	3,6805	3,7571	1,8402
B Noktası	23,3861	24,6923	9,8769	12,9635	4,9385
C Noktası	13,0273	13,1337	10,5070	11,7109	7,8802
D Noktası	8,7558	9,2012	3,6805	1,9936	1,8402
E Noktası	22,9408	23,3667	18,6934	16,7461	4,6733

Tablo 3.3: Seçilen noktaların tüm kriterlere göre aldığı değerler



Şekil 3.12: Ayamama Havzası Bakı Haritası

4. BULGULAR

Bu kısımda alternatif olarak seçilmiş olan beş farklı lokasyon (İkitelli, Atatürk, Evren, İnönü ve Çobançeşme), seçilmiş olan beş farklı kritere göre (eğim, yükseklik, arazi kullanımı, jeoloji ve bakı), beş farklı çok kriterli karar verme tekniği kullanılarak (AHP, ANP, VIKOR, TOPSIS, ELECTRE I) ayrı ayrı değerlendirilecektir.

4.1. ANALİTİK HİYERARŞİ SÜRECİ İLE SEÇİLMİŞ LOKASYONLARIN RİSK ANALİZİ

Çalışma kapsamında karar verici tarafından seçilmiş olan beş adet ana kriterin (eğim, yükseklik, arazi kullanımı, jeoloji ve bakı) Analitik Hiyerarşi Süreci yöntemi ile ayrı ayrı değerlendirilmesi gerekmektedir. Zira AHP'de tüm alternatifler her bir ana kriter ile bağımsız olarak değerlendirilmektedir.

AHP'nin ilk adımı olan karşılaştırma matrisi eğim ana kriteri için aşağıdaki gibi oluşturulmuştur:

	B	C	D	E	F	G
2	**Alternatifler**	**A Noktası**	**B Noktası**	**C Noktası**	**D Noktası**	**E Noktası**
3	**A Noktası**	1	0,38	0,69	1,02	0,39
4	**B Noktası**	2,63	1	1,8	2,67	1,02
5	**C Noktası**	1,45	0,56	1	1,49	0,57
6	**D Noktası**	0,98	0,37	0,67	1	0,38
7	**E Noktası**	2,56	0,98	1,75	2,63	1
8						
9	***TOPLAM***	8,62	3,29	5,91	8,81	3,36

Tablo 4.1: AHP Eğim Kriteri Karşılaştırma Matrisi

Karşılaştırma matrisinde eğim kriteri için alternatifler birbiri arasında değerlendirilmektedir. Örneğin, D3 hücresi, A noktasındaki ağırlıklandırılmış eğim kriteri değerinin (8,9352) B noktasındaki ağırlıklandırılmış eğim kriteri değerine (23,3861) oranını vermektedir. A noktasının B noktasına göre eğim kriterine göre risk oranının 0,38 olduğu (virgülden sonra iki basamağın yeterli olduğu kabulüyle) hesaplanır. C4 hücresine bakıldığında, B noktasındaki eğim değerinin A noktasındaki eğim değerine oranını hesaplarken, D4 hücresindeki değerin 1'e bölünmüş hali olması gerekmektedir. Sağlama yapıldığında;

$$\frac{1}{0{,}38} = 2{,}63$$

olarak hesap ederek işlemlerin doğruluğu sağlanmış olur.

Tüm alternatifler için eğim değerleri birbirleri ile oranlanarak matriste ilgili yerlere yerleştirilmiştir. İşlemlerin tamamlanmasının akabinde, her sütun toplanarak sonuç matrisin altına yerleştirilmiştir. Karşılaştırma matrisi oluşturulduktan ve her sütunun toplamı alındıktan sonra normalize edilmiş matris oluşturulmuştur (Tablo 4.2):

	B	C	D	E	F	G
11	**Alternatifler**	**A Noktası**	**B Noktası**	**C Noktası**	**D Noktası**	**E Noktası**
12	**A Noktası**	0,116009	0,115502	0,116751	0,115778	0,116071
13	**B Noktası**	0,305104	0,303951	0,304569	0,303065	0,303571
14	**C Noktası**	0,168213	0,170213	0,169205	0,169126	0,169643
15	**D Noktası**	0,113689	0,112462	0,113367	0,113507	0,113095
16	**E Noktası**	0,296984	0,297872	0,296108	0,298524	0,297619
17						
18	***TOPLAM***	1	1	1	1	1

Tablo 4.2: AHP Eğim Kriteri Normalize Edilmiş Karşılaştırma Matrisi

Normalize edilmiş karşılaştırma matrisi oluştururken, karşılaştırma matrisindeki her bir değer, ait olduğu sütunun toplam değerine oranlanır. Normalize işlemi neticesinde tüm sütunların toplamı 1'e eşit olacaktır. Normalize edilmiş matris oluşturulduktan sonra, öncelikler vektörü oluşturulur.

	I
11	**Öncelikler Vektörü**
12	0,116022205
13	0,304052086
14	0,169279962
15	0,113224178
16	0,297421568

Tablo 4.3: AHP Eğim Kriteri Öncelikler Vektörü

Öncelikler vektörü oluşturulurken, normalize edilmiş matrisin her satırının ortalaması alınarak vektörün aynı satırına yazılır.

Karşılaştırma matrisi (5x5) ile öncelikler vektörü (5x1) birbiriyle matris çarpımı yapılır. Nihayetinde 5x1 boyutlarında bir tüm öncelikler matrisi çıkacaktır. Bu matrisin elemanları daha sonra öncelikler vektörünün elemanlarına bölünür:

	E	F	G	H	I
19			Tüm Öncelikler Matrisi		Özvektör
20	**A Noktası**		**0,579848245**		**4,997735101**
21	**B Noktası**		**1,519572973**		**4,997739008**
22	**C Noktası**		**0,846015647**		**4,9977306**
23	**D Noktası**		**0,565862982**		**4,99772213**
24	**E Noktası**		**1,48642898**		**4,99771751**

Tablo 4.4: AHP Eğim Kriteri Tüm Öncelikler Matrisi

İlgili formül tüm öncelikler matrisinin tüm elemanlarına yapıştırarak matris çarpımı işlemi tamamlanır. Öncelikler matrisinin tüm elemanları öncelikler vektörü elemanlarına bölünür.

Oranlama işlemi yapıldıktan sonra λ_{max} değerini bulabilmek için öncelikler vektörünün tüm öncelikler matrisi değerlerine bölümü ile ortaya çıkan değerlerin ortalaması alınır:

	D	E	F	G	H	I	J
26			Özdeğer		λmax	**4,99772887**	
27	**(λmax-n)/(n-1)**		Uyum İndeksi (Tutarlılık İndeksi)		**CI**	-0,000567783	
28	**CR=CI/RI**		Uyum Oranı (Tutarlılık Oranı)		**CR**	-0,000506949	**≤0,1 ?**

Tablo 4.5: AHP Eğim Kriteri Özdeğer ve Tutarlılık Hesabı

Tutarlılık Oranı (CR) hesap edebilmek için Rastgele Değer İndeksi'nden, alternatif sayısı olan 5'e karşılık gelen değerin (K18 hücresi) alınması gerekmektedir:

	J	K
13	Rastgele Değer	
14	İndeksi (Wharton)	
15	*n*	*RI*
16	*3*	*0,58*
17	*4*	*0,9*
18	*5*	*1,12*
19	*6*	*1,24*
20	*7*	*1,32*
21	*8*	*1,41*
22	*9*	*1,45*
23	*10*	*1,49*
24	*11*	*1,51*

Tablo 4.6: Wharton Rastgele Değer İndeksi (Önder, 2018)

AHP yöntemi işletilirken alternatiflerin kriterlere karşılık aldığı değerlerin tutarlı olup olmadığı kontrol edilmelidir. CR değeri, 0,1'den küçük ya da eşit olmalıdır. Eğim kriteri için yapmış olduğumuz tutarlılık kontrolü, sınır değerin altında olduğundan işleme devam edilebilmektedir.

Eğim kriteri için (ve diğer hesaplanacak kriterler için) tutarlı değer girişleri olması halinde öncelikler vektörü değerleri karar için esas alınır (Tablo 4.3). Eğim kriteri için elde edilen öncelikler vektörü, tüm kriterlerin ayrı ayrı değerlendirilmesinden sonra alternatifler ile kriterleri bir arada değerlendirmek üzere not alınır.

Aynı hesaplamalar ikinci kriter olan yükseklik için şu şekilde yapılmaktadır:

	B	C	D	E	F	G
2	**Alternatifler**	**A Noktası**	**B Noktası**	**C Noktası**	**D Noktası**	**E Noktası**
3	**A Noktası**	1	0,29	0,32	1,88	0,22
4	**B Noktası**	3,45	1	1,11	6,5	0,77
5	**C Noktası**	3,13	0,9	1	5,87	0,7
6	**D Noktası**	0,53	0,15	0,17	1	0,12
7	**E Noktası**	4,55	1,3	1,43	8,33	1
8						
9	***TOPLAM***	12,66	3,64	4,03	23,58	2,81

Tablo 4.7: AHP Yükseklik Kriteri Karşılaştırma Matrisi

	B	C	D	E	F	G
11	**Alternatifler**	**A Noktası**	**B Noktası**	**C Noktası**	**D Noktası**	**E Noktası**
12	**A Noktası**	0,078989	0,07967	0,079404	0,079729	0,078292
13	**B Noktası**	0,272512	0,274725	0,275434	0,275657	0,274021
14	**C Noktası**	0,247235	0,247253	0,248139	0,24894	0,24911
15	**D Noktası**	0,041864	0,041209	0,042184	0,042409	0,042705
16	**E Noktası**	0,3594	0,357143	0,354839	0,353265	0,355872
17						
18	***TOPLAM***	1	1	1	1	1

Tablo 4.8: AHP Yükseklik Kriteri Normalize Edilmiş Matris

	I
11	**Öncelikler Vektörü**
12	0,079216827
13	0,274470011
14	0,248135438
15	0,042074
16	0,356103723

Tablo 4.9: AHP Yükseklik Kriteri Öncelikler Vektörü

	E	F	G	H	I
20	**A Noktası**		**0,395658**	Tüm Öncelikler Matrisi	**4,994625811**
21	**B Noktası**		**1,370879**		**4,994641359**
22	**C Noktası**		**1,239354**		**4,994667882**
23	**D Noktası**		**0,210145**		**4,99464969**
24	**E Noktası**		**1,778661**		**4,994784618**

Tablo 4.10: AHP Yükseklik Kriteri Tüm Öncelikler Matrisi

	D	E	F	G	H	I	J
26			Özdeğer		**λmax**	**4,994673872**	
27	**(λmax-n)/(n-1)**		Uyum İndeksi (Tutarlılık İndeksi)		**CI**	-0,001331532	
28	**CR=CI/RI**		Uyum Oranı (Tutarlılık Oranı)		**CR**	-0,001188868	**≤0,1 ?**

Tablo 4.11: AHP Yükseklik Kriteri Özdeğer ve Tutarlılık Hesabı

Yükseklik kriteri için de tutarlı bir veri girişi sağlanmış olup, yükseklik kriterine ait öncelikler vektörü de not alınır. Üçüncü kriter olan jeoloji kriteri için hesaplamalar aşağıdaki şekilde yapılmıştır:

	B	C	D	E	F	G
2	**Alternatifler**	**A Noktası**	**B Noktası**	**C Noktası**	**D Noktası**	**E Noktası**
3	**A Noktası**	1	0,37	0,35	1	0,2
4	**B Noktası**	2,7	1	0,94	2,68	0,53
5	**C Noktası**	2,86	1,06	1	2,85	0,56
6	**D Noktası**	1	0,37	0,35	1	0,2
7	**E Noktası**	5	1,89	1,79	5	1
8						
9	***TOPLAM***	12,56	4,69	4,43	12,53	2,49

Tablo 4.12: AHP Jeoloji Kriteri Karşılaştırma Matrisi

	B	C	D	E	F	G
11	**Alternatifler**	**A Noktası**	**B Noktası**	**C Noktası**	**D Noktası**	**E Noktası**
12	**A Noktası**	0,079618	0,078891	0,079007	0,079808	0,080321
13	**B Noktası**	0,214968	0,21322	0,21219	0,213887	0,212851
14	**C Noktası**	0,227707	0,226013	0,225734	0,227454	0,2249
15	**D Noktası**	0,079618	0,078891	0,079007	0,079808	0,080321
16	**E Noktası**	0,398089	0,402985	0,404063	0,399042	0,401606
17						
18	***TOPLAM***	1	1	1	1	1

Tablo 4.13: AHP Jeoloji Kriteri Normalize Edilmiş Matris

	I
11	**Öncelikler Vektörü**
12	0,079529122
13	0,213423093
14	0,226361428
15	0,079529122
16	0,401157235

Tablo 4.14: AHP Jeoloji Kriteri Öncelikler Vektörü

	E	F	G	H	I
20	A Noktası		0,397483	Tüm Öncelikler Matrisi	4,997952017
21	B Noktası		1,066683		4,997972959
22	C Noktası		1,131349		4,997977136
23	D Noktası		0,397483		4,997952017
24	E Noktası		2,005005		4,998052832

Tablo 4.15: AHP Jeoloji Kriteri Tüm Öncelikler Matrisi

	D	E	F	G	H	I	J
26			Özdeğer		λmax	4,997981392	
27	(λmax-n)/(n-1)		Uyum İndeksi (Tutarlılık İndeksi)		CI	-0,000504652	
28	CR=CI/RI		Uyum Oranı (Tutarlılık Oranı)		CR	-0,000450582	≤0,1 ?

Tablo 4.16: AHP Jeoloji Kriteri Özdeğer ve Tutarlılık Hesabı

Üçüncü kriter olan jeoloji kriteri için de kriter değerlerinin tutarlı olduğu sonucuyla öncelikler vektörü, tüm kriterlerin karşılaştırılması üzere not alınır. Dördüncü kriter olan arazi kullanımı kriteri için hesaplamalar aşağıdaki şekilde yapılmıştır:

	B	C	D	E	F	G
2	Alternatifler	A Noktası	B Noktası	C Noktası	D Noktası	E Noktası
3	A Noktası	1	0,3	0,56	0,8	0,32
4	B Noktası	3,33	1	1,88	2,68	1,06
5	C Noktası	1,79	0,53	1	1,43	0,56
6	D Noktası	1,25	0,37	0,7	1	0,39
7	E Noktası	3,13	0,94	1,79	2,56	1
8						
9	*TOPLAM*	10,5	3,14	5,93	8,47	3,33

Tablo 4.17: AHP Arazi Kullanımı Kriteri Karşılaştırma Matrisi

	B	C	D	E	F	G
11	**Alternatifler**	**A Noktası**	**B Noktası**	**C Noktası**	**D Noktası**	**E Noktası**
12	**A Noktası**	0,095238	0,095541	0,094435	0,094451	0,096096
13	**B Noktası**	0,317143	0,318471	0,317032	0,316411	0,318318
14	**C Noktası**	0,170476	0,16879	0,168634	0,168831	0,168168
15	**D Noktası**	0,119048	0,117834	0,118044	0,118064	0,117117
16	**E Noktası**	0,298095	0,299363	0,301855	0,302243	0,3003
17						
18	***TOPLAM***	1	1	1	1	1

Tablo 4.18: AHP Arazi Kullanımı Kriteri Normalize Edilmiş Matris

	I
11	**Öncelikler Vektörü**
12	**0,095152334**
13	**0,317475083**
14	**0,16897988**
15	**0,118021346**
16	**0,300371356**

Tablo 4.19: AHP Arazi Kullanımı Kriteri Öncelikler Vektörü

	E	F	G	H	I
20	**A Noktası**		**0,47556**	Tüm Öncelikler Matrisi	**4,997875313**
21	**B Noktası**		**1,586705**		**4,997889475**
22	**C Noktası**		**0,844543**		**4,997889907**
23	**D Noktası**		**0,589858**		**4,997894953**
24	**E Noktası**		**1,501233**		**4,997924538**

Tablo 4.20: AHP Arazi Kullanımı Kriteri Tüm Öncelikler Matrisi

	D	E	F	G	H	I	J
26			Özdeğer		**λmax**	**4,997894837**	
27	**(λmax-n)/(n-1)**		Uyum İndeksi (Tutarlılık İndeksi)		**CI**	-0,000526291	
28	**CR=CI/RI**		Uyum Oranı (Tutarlılık Oranı)		**CR**	-0,000469902	**≤0,1 ?**

Tablo 4.21: AHP Arazi Kullanımı Kriteri Özdeğer ve Tutarlılık Hesabı

Dördüncü kriter olan arazi kullanımı kriteri için de kriter değerlerinin tutarlı olduğu sonucuyla öncelikler vektörü, tüm kriterlerin karşılaştırılması üzere not alınır. Beşinci ve son kriter olan bakı kriteri için hesaplamalar aşağıdaki şekilde yapılmıştır:

	B	C	D	E	F	G
2	**Alternatifler**	**A Noktası**	**B Noktası**	**C Noktası**	**D Noktası**	**E Noktası**
3	**A Noktası**	1	0,37	0,23	1	0,39
4	**B Noktası**	2,7	1	0,63	2,68	1,06
5	**C Noktası**	4,35	1,59	1	4,28	1,69
6	**D Noktası**	1	0,37	0,23	1	0,39
7	**E Noktası**	2,56	0,94	0,59	2,56	1
8						
9	***TOPLAM***	11,61	4,27	2,68	11,52	4,53

Tablo 4.22: AHP Bakı Kriteri Karşılaştırma Matrisi

	B	C	D	E	F	G
11	**Alternatifler**	**A Noktası**	**B Noktası**	**C Noktası**	**D Noktası**	**E Noktası**
12	**A Noktası**	0,086133	0,086651	0,085821	0,086806	0,086093
13	**B Noktası**	0,232558	0,234192	0,235075	0,232639	0,233996
14	**C Noktası**	0,374677	0,372365	0,373134	0,371528	0,373068
15	**D Noktası**	0,086133	0,086651	0,085821	0,086806	0,086093
16	**E Noktası**	0,2205	0,220141	0,220149	0,222222	0,220751
17						
18	***TOPLAM***	1	1	1	1	1

Tablo 4.23: AHP Bakı Kriteri Normalize Edilmiş Matris

	I
11	**Öncelikler Vektörü**
12	0,086300573
13	0,233691856
14	0,372954576
15	0,086300573
16	0,220752422

Tablo 4.24: AHP Bakı Kriteri Öncelikler Vektörü

	E	F	G	H	I
20	A Noktası		0,43094	Tüm Öncelikler Matrisi	4,993479362
21	B Noktası		1,166948		4,993532555
22	C Noktası		1,86237		4,993557616
23	D Noktası		0,43094		4,993479362
24	E Noktası		1,102325		4,993489482

Tablo 4.25: AHP Bakı Kriteri Tüm Öncelikler Matrisi

	D	E	F	G	H	I	J
26			Özdeğer		λmax	4,993507675	
27	(λmax-n)/(n-1)		Uyum İndeksi (Tutarlılık İndeksi)		CI	-0,001623081	
28	CR=CI/RI		Uyum Oranı (Tutarlılık Oranı)		CR	-0,00144918	≤0,1 ?

Tablo 4.26: AHP Bakı Kriteri Özdeğer ve Tutarlılık Hesabı

Tüm kriterler için AHP metodu uygulanarak her biri için öncelikler vektörü değerleri elde edilmiştir. Bu öncelikler vektörü, her biri ilgili alternatifle denk gelecek ve 5x5 boyutunda bir matris oluşturulacak şekilde bir araya getirilir. Bu matrisin sütunları, Tablo 3.1'deki ilk sütunda yer alan kriter ağırlık değerleri ile çarpılarak ortaya çıkan matrisin öncelikler vektörü oluşturulur ve sıralanır:

	B	C	D	E	F	G
3		Eğim	Yükseklik	Jeoloji	Arazi Kullanımı	Bakı
4	A Noktası	0,464088819	0,396084136	0,159058244	0,285457003	0,086300573
5	B Noktası	1,216208345	1,372350055	0,426846185	0,952425249	0,233691856
6	C Noktası	0,677119849	1,240677192	0,452722857	0,50693964	0,372954576
7	D Noktası	0,452896713	0,21037	0,159058244	0,354064038	0,086300573
8	E Noktası	1,189686273	1,780518616	0,80231447	0,901114069	0,220752422
9						
10						
11		Öncelikler Vektörü				
12		A Noktası	0,278197755	9,27%		
13		B Noktası	0,840304338	28,01%		
14		C Noktası	0,650082823	21,67%		
15		D Noktası	0,252537914	8,42%		
16		E Noktası	0,97887717	32,63%		

Tablo 4.27: AHP Tüm Kriterlerin Karşılaştırılması

Yapılan ağırlıklandırma sonucu, öncelikler vektörü 1'den büyük bir değer çıktığından, vektörün tüm elemanları vektörün değerleri toplamına bölünür.

AHP metodu ile yapılan karar verme işlemleri neticesinde risk sıralaması şu şekilde oluşmuştur:

Birinci riskli nokta – E Noktası (Çobançeşme), %32,63

İkinci riskli nokta – B Noktası (Atatürk), %28,01

Üçüncü riskli nokta – C Noktası (Evren), %21,67

Dördüncü riskli nokta – A Noktası (İkitelli), %9,27

Beşinci riskli nokta – D Noktası (İnönü), %8,42

Toplam: %100

4.2.ANALİTİK AĞ SÜRECİ İLE SEÇİLMİŞ LOKASYONLARIN RİSK ANALİZİ

Analitik Ağ Süreci, Analitik Hiyerarşi Süreci'nin kapsayıcı ve gelişmiş versiyonu olarak literatürde yer aldığından, yapılan işlemler tek bir matris içerisinde yapılarak değerlendirme yapılacaktır. Kriter sekmelerinde kriterler K1, K2, K3, K4 ve K5 olarak aşağıdaki şekilde kısaltılmıştır:

K1: Eğim Kriteri

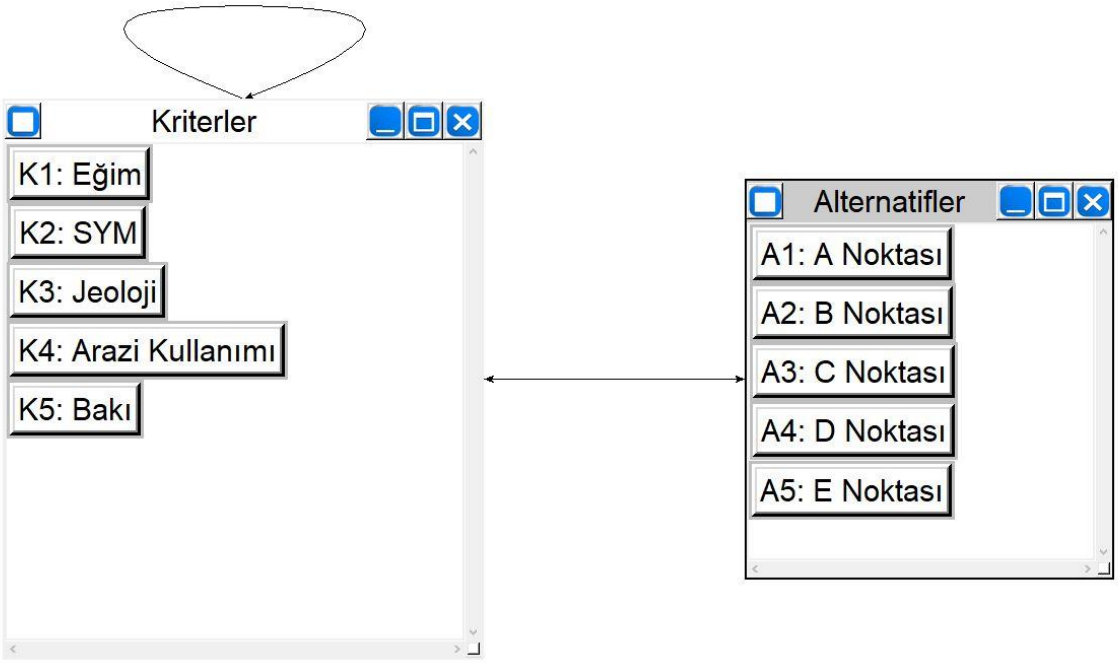
K2: Yükseklik Kriteri

K3: Jeoloji Kriteri

K4: Arazi Kullanımı Kriteri

K5: Bakı Kriteri

Süpermatris oluşturulurken alternatifler ile kriterlerin mukayesesi, Kriterler ile alternatiflerin mukayesesi ve alternatifler ile kriterlerin içsel döngüleri hesaplanır. Risk analizinde alternatiflerin içsel döngüsü bulunmamaktadır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1: ANP Ağ Yapısı

Süpermatristeki değerler sırayla kriter-kriter arası, kriter-alternatif arası ve alternatif-kriter arası değerler olarak girilir:

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
16			Alternatifler					Kriterler				
17			A	B	C	D	E	K1	K2	K3	K4	K5
18	Alternatifler	A	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,11597	0,07965	0,07926	0,09467	0,08692
19		B	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,30354	0,27482	0,21269	0,31757	0,23325
20		C	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,16909	0,24826	0,22626	0,16891	0,37219
21		D	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,11365	0,04226	0,07926	0,11834	0,08692
22		E	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,29776	0,35501	0,40254	0,30052	0,22073
23	Kriterler	K1	0,26667	0,26667	0,26667	0,26667	0,26667	0,00000	0,40000	0,30769	0,33333	0,28571
24		K2	0,33333	0,33333	0,33333	0,33333	0,33333	0,45455	0,00000	0,38462	0,41667	0,35714
25		K3	0,13333	0,13333	0,13333	0,13333	0,13333	0,18182	0,20000	0,00000	0,16667	0,14286
26		K4	0,20000	0,20000	0,20000	0,20000	0,20000	0,27273	0,30000	0,23077	0,00000	0,21429
27		K5	0,06667	0,06667	0,06667	0,06667	0,06667	0,09091	0,10000	0,07692	0,08333	0,00000

Tablo 4.28: ANP Metodu Süpermatrisi

Örneğin, I18 hücresine bakıldığında, A alternatifinin K1 kriterine göre değeri görülmektedir. Bu değer şu şekilde hesap edilir:

$$I18= \frac{A\ noktasının\ eğim\ değeri}{Tüm\ eğim\ değerleri\ toplamı} \quad (4.1)$$

$I18= \frac{8,9352}{77,0453}$ = 0,11597 olarak bulunur.

Bu şekilde tüm alternatiflerin kriterlere göre değerleri birbiriyle oranlanarak matrisin ilgili bölümüne (I18:M22) yazılır.

(D23:H27) arasındaki ara matriste, kriterlerin alternatiflere göre değerleri girilir. Bu değerler, daha önce Tablo 3.1'de belirlenmiş olan ağırlık değerleridir ve şu şekilde hesap edilir:

$$D23= \frac{Eğim\ kriterinin\ A\ noktasındaki\ ağırlığı}{Tüm\ ağırlık\ değerleri\ toplamı} \quad (4.2)$$

$D23= \frac{4}{15}$ = 0,26667 olarak bulunur.

Diğer kriterler için de aynı hesap yapılır. Kriterlerin farklı alternatifler üzerinde de aynı ağırlık değeri olduğunu kabul ettiğimizden kriterlerin diğer alternatiflerde de değerleri aynı olacaktır.

(I23:M27) ara matrisinde ise kriterler arası değerlendirmeler yapılmıştır. İki kriter arasında bir varyasyon yoksa değerlendirme yapılamayacağından, aynı kriterler arasında ilişki olmadığı kabulüyle hesaplama yapılmamıştır. J23 hücresinde, eğim kriteri ile yükseklik kriteri arasında değerlendirme şu şekilde yapılmıştır:

$$J23= \frac{Eğim\ kriteri\ ağırlık\ değeri}{Yükseklik\ kriteri\ hariç\ ağırlık\ değerleri} \quad (4.3)$$

$J23= \frac{4}{10}$ = 0,4 olarak bulunur.

Kriter-kriter arası değerlendirme yapılırken her sekme için aynı hesap yapılarak ilgili alt matris bulunur. Alternatifler arası bir içsel döngü olmadığından (D18:H22) alt matrisi sıfır olarak bırakılır.

Süpermatris tamamlandıktan sonra, ana matrisin tüm sütunlarının 1 olması için sütunlardaki değerler, sütun toplamına bölünerek ağırlıklandırılmış süpermatris oluşturulur:

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
30			Alternatifler					Kriterler				
31			A	B	C	D	E	K1	K2	K3	K4	K5
32	Alternatifler	A	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,05799	0,03982	0,03963	0,04733	0,04346
33		B	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,15177	0,13741	0,10634	0,15878	0,11662
34		C	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,08454	0,12413	0,11313	0,08446	0,18610
35		D	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,05682	0,02113	0,03963	0,05917	0,04346
36		E	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,14888	0,17750	0,20127	0,15026	0,11036
37	Kriterler	K1	0,26667	0,26667	0,26667	0,26667	0,26667	0,00000	0,20000	0,15385	0,16667	0,14286
38		K2	0,33333	0,33333	0,33333	0,33333	0,33333	0,22727	0,00000	0,19231	0,20833	0,17857
39		K3	0,13333	0,13333	0,13333	0,13333	0,13333	0,09091	0,10000	0,00000	0,08333	0,07143
40		K4	0,20000	0,20000	0,20000	0,20000	0,20000	0,13636	0,15000	0,11538	0,00000	0,10714
41		K5	0,06667	0,06667	0,06667	0,06667	0,06667	0,04545	0,05000	0,03846	0,04167	0,00000

Tablo 4.29: ANP Metodu Ağırlıklandırılmış Süpermatris

Ağırlıklandırılmış süpermatris, tüm satır değerleri birbirinin aynısı olana kadar matris çarpımı yapılarak limit süpermatris elde edilir. Genellikle 32 ya da 64 çarpımda limit süpermatrise ulaşılır:

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
44			Alternatifler					Kriterler				
45			A	B	C	D	E	K1	K2	K3	K4	K5
46	Alternatifler	A	0,03095	0,03095	0,03095	0,03095	0,03095	0,03093	0,03093	0,03093	0,03093	0,03093
47		B	0,09309	0,09309	0,09309	0,09309	0,09309	0,09302	0,09302	0,09302	0,09302	0,09302
48		C	0,07241	0,07241	0,07241	0,07241	0,07241	0,07236	0,07236	0,07236	0,07236	0,07236
49		D	0,02850	0,02850	0,02850	0,02850	0,02850	0,02848	0,02848	0,02848	0,02848	0,02848
50		E	0,10854	0,10854	0,10854	0,10854	0,10854	0,10846	0,10846	0,10846	0,10846	0,10846
51	Kriterler	K1	0,17523	0,17523	0,17523	0,17523	0,17523	0,17529	0,17529	0,17529	0,17529	0,17529
52		K2	0,20707	0,20707	0,20707	0,20707	0,20707	0,20717	0,20717	0,20717	0,20717	0,20717
53		K3	0,09615	0,09615	0,09615	0,09615	0,09615	0,09618	0,09618	0,09618	0,09618	0,09618
54		K4	0,13806	0,13806	0,13806	0,13806	0,13806	0,13810	0,13810	0,13810	0,13810	0,13810
55		K5	0,04999	0,04999	0,04999	0,04999	0,04999	0,05000	0,05000	0,05000	0,05000	0,05000

Tablo 4.30: ANP Metodu Limit Süpermatris

Limit süpermatrisin ortaya çıkmasıyla (D46:D50) vektöründe alternatiflerin birbiri arasında mukayese değerleri ortaya çıkmıştır. Alternatiflerin aldığı değerleri yüzdelik olarak hesap etmek gerekirse:

A Noktası: $\frac{0,03095}{0,03095+0,09309+0,07241+0,02850+0,10854} = \frac{0,03095}{0,33349} = \%9,28$

B Noktası: %27,91

C Noktası: %21,71

D Noktası: %8,55

E Noktası: %32,55

Risk değerlendirmesi için sıralama yapmak gerekirse:

Birinci riskli nokta **–** E Noktası (Çobançeşme), %32,55

İkinci riskli nokta **–** B Noktası (Atatürk), %27,91

Üçüncü riskli nokta **–** C Noktası (Evren), %21,71

Dördüncü riskli nokta – A Noktası (İkitelli), %9,28

Beşinci riskli nokta – D Noktası (İnönü), %8,55

Toplam: %100

4.3.VIKOR YÖNTEMİ İLE SEÇİLMİŞ LOKASYONLARIN RİSK ANALİZİ

VIKOR metodunun ilk aşaması olan karar matrisi, her bir alternatifin kriter değerlerinin girilmesiyle oluşturulur. Karar matrisi oluşturulduktan sonra her kriterin tüm alternatifler arasında aldığı en iyi kriter değeri (f_j^*) ve tüm alternatifler arasında aldığı en kötü kriter değeri (f_j^-) bulunur.

	B	C	D	E	F	G
2	Ağırlıklar (ω_j)	26,67%	33,33%	13,33%	20,00%	6,67%
3		K1	K2	K3	K4	K5
4	***X***	Eğim	Yükseklik	Jeoloji	Arazi Kullanımı	Bakı
5		max	max	max	max	max
6	A Noktası	8,94	3,76	3,68	7,36	1,84
7	B Noktası	23,39	12,96	9,88	24,69	4,94
8	C Noktası	13,03	11,71	10,51	13,13	7,88
9	D Noktası	8,76	1,99	3,68	9,20	1,84
10	E Noktası	22,94	16,75	18,69	23,37	4,67
11	f_j^*	23,39	16,75	18,69	24,69	7,88
12	f_j^-	8,76	1,99	3,68	7,36	1,84

Tablo 4.31: VIKOR Metodu Karar Matrisi

Kriter değerlerinin tamamının maksimum olması halinde risk maksimum olacaktır. Bu yüzden en iyi kriter değeri, kriter değerlerinin maksimum olduğu durum olarak ortaya çıkmaktadır. En kötü kriter değerleri ise minimum kriter değerleri olarak ortaya çıkar. Buradaki en iyi ve en kötü tabirleri, literatür tabirleri olarak kullanılmış olup, en riskli bölgenin bulunması için karar verme işlemi yapıldığından sonucun maksimizasyonu olarak değerlendirilmiştir.

Karar matrisi oluşturulduktan sonra VIKOR metoduna ait $r_{ij} = \frac{(f_j^* - x_{ij})}{(f_j^* - f_j^-)}$ formülüyle, R normalize edilmiş karar matrisi elemanlarını X karar matrisi elemanlarının en iyi kriter değeri (f_j^*) ve en kötü kriter değeri (f_j^-) yardımıyla bulunması suretiyle normalizasyon işlemi yapılarak normalizasyon matrisi oluşturulur:

	B	C	D	E	F	G
15	Ağırlıklar (ω_i)	26,67%	33,33%	13,33%	20,00%	6,67%
16		K1	K2	K3	K4	K5
17	***R***	Eğim	Yükseklik	Jeoloji	Arazi Kullanımı	Bakı
18	$r_{ij} = (f_j^* - x_{ij})/(f_j^* - f_j^-)$	max	max	max	max	max
19	A Noktası	0,988	0,880	1,000	1,000	1,000
20	B Noktası	0,000	0,256	0,587	0,000	0,487
21	C Noktası	0,708	0,341	0,545	0,667	0,000
22	D Noktası	1,000	1,000	1,000	0,894	1,000
23	E Noktası	0,030	0,000	0,000	0,076	0,531

Tablo 4.32: VIKOR Metodu Normalizasyon Matrisi

Oluşturulan normalizasyon matrisinin ağırlıklandırma işlemi, normalizasyon matrisinin her bir elemanı ile ilgili kriterin ağırlık değeri çarpılarak yapılmıştır:

	B	C	D	E	F	G
26	Ağırlıklar (ω_i)	26,67%	33,33%	13,33%	20,00%	6,67%
27		K1	K2	K3	K4	K5
28	***V***	Eğim	Yükseklik	Jeoloji	Arazi Kullanımı	Bakı
29		max	max	max	max	max
30	A Noktası	0,263	0,293	0,133	0,200	0,067
31	B Noktası	0,000	0,085	0,078	0,000	0,032
32	C Noktası	0,189	0,114	0,073	0,133	0,000
33	D Noktası	0,267	0,333	0,133	0,179	0,067
34	E Noktası	0,008	0,000	0,000	0,015	0,035

Tablo 4.33: VIKOR Metodu Ağırlıklandırılmış Normalize Karar Matrisi

Ağırlıklandırılmış normalize karar matrisinden sonra S_i , R_i , S^* , S^- , R^* , R^- değerleri ve tüm q varyasyonları için Q_i değerleri hesap edilir:

	B	C	D	E	F	G	H	I
37		S_i	R_i	*0,00*	*0,25*	*0,50*	*0,75*	*1,00*
38				Q_i *(q=0,00)*	Q_i *(q=0,25)*	Q_i *(q=0,50)*	Q_i *(q=0,75)*	Q_i *(q=1,00)*
39	A Noktası	0,957	0,293	0,866	0,894	0,921	0,949	0,976
40	B Noktası	0,196	0,085	0,168	0,163	0,159	0,154	0,149
41	C Noktası	0,509	0,189	0,515	0,508	0,502	0,495	0,489
42	D Noktası	0,979	0,333	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
43	E Noktası	0,059	0,035	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
44								
45	S^*	0,059						
46	S^-	0,979						
47	R^*	0,035						
48	R^-	0,333						

Tablo 4.34: VIKOR Metodu S_i , R_i , S^* , S^- , R^* , R^- , Q_i değerleri

(S_i): Alternatiflerin her biri için tüm kriter değerlerinin toplanması ile elde edilir.

(R_i): Alternatiflerin her biri için, maksimum kriter değeri alınarak elde edilir.

(S^*): Tüm alternatifler arasından en düşük S_i değeri alınarak elde edilir.

(S^-): Tüm alternatifler arasından en yüksek S_i değeri alınarak elde edilir.

(R^*): Tüm alternatifler arasından en düşük R_i değeri alınarak elde edilir.

(R^-): Tüm alternatifler arasından en yüksek R_i değeri alınarak elde edilir.

Q_i değerlerinin hesaplanması için kullanılan formül şu şekildedir:

$$Q_i = \frac{w_i \cdot (S_i - S^*)}{(S^- - S^*)} + \frac{(1 - w_i) \cdot (R_i - R^*)}{(R^- - R^*)} \quad (4.4)$$

Tüm q varyasyonları için Q_i değerleri (4.4) nolu formül ile hesap edilir. Yapılan hesaplamalar neticesinde tüm q varyasyonları için alternatiflerin aldığı değerler sıralanır. Sıralamada her q değeri için birinci ve ikinci alternatiflerin değerleri, bunların farkları, *DQ* değeri yazılır ve kabul edilebilir avantaj ve kabul edilebilir istikrar koşulları denetlenir:

	B	C	D	E	F	G
51		Sıralama				
52		Q_i (q=0,00)	Q_i (q=0,25)	Q_i (q=0,50)	Q_i (q=0,75)	Q_i (q=1,00)
53	A Noktası	4	4	4	4	4
54	B Noktası	2	2	2	2	2
55	C Noktası	3	3	3	3	3
56	D Noktası	5	5	5	5	5
57	E Noktası	1	1	1	1	1
58						
59	$Q(A^2)$	0,168	0,163	0,159	0,154	0,149
60	$Q(A^1)$	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
61	$Q(A^2) - Q(A^1)$	0,168	0,163	0,159	0,154	0,149
62	*DQ*	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250
63	Koşul 1	Yanlış	Yanlış	Yanlış	Yanlış	Yanlış
64	Koşul 2	Doğru	Doğru	Doğru	Doğru	Doğru

Tablo 4.35: VIKOR Metodu Alternatiflerin Sıralanması ve Değerlendirilmesi

Denklem numarası (4.4) ile elde edilen Q_i değerleri nümerik olarak sıralanır. VIKOR'un değerlendirmesinde kullanılan iki koşul, değerler ölçeğinde değerlendirilir. Birinci alternatif olarak sıralamada çıkan E noktasının bütün değerleri 0 olarak çıktığından ilk alternatif değerlerinin tamamı tüm *q* değerleri için sıfır çıkmıştır. *DQ* değeri $\frac{1}{(m-1)}$ olduğundan, $\frac{1}{(5-1)}$'den 0,250 olarak bulunmuştur.

İlk koşul olan kabul edilebilir avantaj koşulu, en iyi iki alternatifin değerlerinin farklarının *DQ* değerinden büyük ya da eşit olması üzerine formüle edildiğinden, hiçbir *q* değeri için bu koşul sağlanamamıştır.

İkinci koşul olan istikrar koşulunun, ilk sırada yer alan alternatifin S ve/veya R değerlerine göre de küçükten büyüğe sıralanmasında da minimum değere sahip olması durumunda sağlandığını, dolayısıyla E noktasının da bu şartı sağladığını Tablo 4.34'te görmekteyiz.

Kabul edilebilir avantaj koşulunun sağlanmaması durumunda, alternatiflerin tamamının uzlaşık en iyi ortak çözüm kümesinde olduğunu biliyoruz. Keza tüm q değerleri için sıralamaya baktığımızda hepsinin aynı olduğunu gözlemlemekteyiz. Bu durum risk analizi yaptığımız probleme özgü olarak çıkmıştır; farklı noktaların tercih edilmesi halinde farklı q değerleri için değişik sıralamalar ile karşılaşabilirdik. Avantaj koşulunun sağlanmaması halinde, en büyük q değerini (çoğunluk oyu) ya da q=0,5 (konsensüs) değerini almamız daha doğru bir sonuç olacaktır.

Sayısal sıralamanın yapılabilmesi için çalışmada q=0,5 (konsensüs) değerindeki alternatif değerleri alınmış ve toplama oranlanmıştır:

A Noktası: $\frac{0,921}{0,921+0,159+0,502+1,00+0,00} = \frac{0,921}{2,582} = \%35,68$

B Noktası: %6,15

C Noktası: %19,44

D Noktası: %38,73

E Noktası: %0,00 olarak tespit edilir.

Risk değerlendirmesi için sıralama yapmak gerekirse (VIKOR için bulunan değerler küçükten büyüğe sıralanarak en riskli alternatif bulunur):

Birinci riskli nokta – E Noktası (Çobançeşme), %0,00

İkinci riskli nokta – B Noktası (Atatürk), %6,15

Üçüncü riskli nokta – C Noktası (Evren), %19,44

Dördüncü riskli nokta – A Noktası (İkitelli), %35,68

Beşinci riskli nokta – D Noktası (İnönü), %38,73

Toplam: %100

4.4.TOPSIS YÖNTEMİ İLE SEÇİLMİŞ LOKASYONLARIN RİSK ANALİZİ

TOPSIS yönteminde de tüm alternatiflerin kriter değerleri girilerek karar matrisi oluşturularak çözüme başlanmaktadır.

	B	C	D	E	F	G
2	Ağırlıklar (ω_i)	26,67%	33,33%	13,33%	20,00%	6,67%
3		Eğim	Yükseklik	Jeoloji	Arazi Kullanımı	Bakı
4	A Noktası	8,94	3,76	3,68	7,36	1,84
5	B Noktası	23,39	12,96	9,88	24,69	4,94
6	C Noktası	13,03	11,71	10,51	13,13	7,88
7	D Noktası	8,76	1,99	3,68	9,20	1,84
8	E Noktası	22,94	16,75	18,69	23,37	4,67

Tablo 4.36: TOPSIS Metodu Karar Matrisi

A karar matrisi oluşturulduktan sonra, karar matrisinin her bir elemanı için (a_{ij}) TOPSIS metodunun normalizasyon işlemi uygulanır:

	B	C	D	E	F	G
10		Eğim	Yükseklik	Jeoloji	Arazi Kullanımı	Bakı
11	A Noktası	79,84	14,12	13,55	54,18	3,39
12	B Noktası	546,91	168,05	97,55	609,71	24,39
13	C Noktası	169,71	137,14	110,40	172,49	62,10
14	D Noktası	76,66	3,97	13,55	84,66	3,39
15	E Noktası	526,28	280,43	349,44	546,00	21,84
16	$\sqrt{\sum_{i=1}^{m} {a_{ij}}^2}$	37,4086	24,5707	24,1761	38,3021	10,7284

Tablo 4.37: TOPSIS Metodu Normalizasyon İşlemi

TOPSIS yönteminde normalizasyon işlemi yapılırken, karar matrisindeki her bir eleman kendisi ile çarpılır ve bu çarpımlar toplanarak karekökü alınarak matrisin altına not edilir.

Akabinde karar matrisindeki her bir eleman, ilgili kriterin normalizasyon işlemi ile elde edilmiş olan değere bölünerek normalize edilmiş matris elde edilir.

	B	C	D	E	F	G
18		Eğim	Yükseklik	Jeoloji	Arazi Kullanımı	Bakı
19	A Noktası	0,239	0,153	0,152	0,192	0,172
20	B Noktası	0,625	0,528	0,409	0,645	0,460
21	C Noktası	0,348	0,477	0,435	0,343	0,735
22	D Noktası	0,234	0,081	0,152	0,240	0,172
23	E Noktası	0,613	0,682	0,773	0,610	0,436

Tablo 4.38: TOPSIS Metodu Normalize Edilmiş Matris

TOPSIS yönteminin diğer adımı, ağırlıklandırılmış normalize matrisin elde edilmesidir. Ağırlıklandırılmış normalize matrisin elde edilmesi için normalize matrisin tüm elemanları ilgili kriterin ağırlık değeri ile çarpılır. Çarpım işleminden sonra oluşan ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi ile kriterlerin ideal ve negatif ideal çözüm değerleri bulunur. İdeal çözüm değerleri, kriterlerin değerlerinin maksimum olması halinde çözüm tercihinin en iyi olması durumunda maksimum değeri; kriterlerin değerlerinin minimum olması halinde çözüm tercihinin en iyi olması durumunda ise minimum değeri alacaktır.

Risk analizinde tüm kriterlerin maksimum olması halinde riskin maksimum olacağını tespit ettiğimizden, ideal çözüm değerleri tüm kriterler için maksimum değerler olacaktır. Keza negatif ideal çözüm değerleri de minimum değerleri alacaktır.

	B	C	D	E	F	G
25		Eğim	Yükseklik	Jeoloji	Arazi Kullanımı	Bakı
26	A Noktası	0,064	0,051	0,020	0,038	0,011
27	B Noktası	0,167	0,176	0,054	0,129	0,031
28	C Noktası	0,093	0,159	0,058	0,069	0,049
29	D Noktası	0,062	0,027	0,020	0,048	0,011
30	E Noktası	0,164	0,227	0,103	0,122	0,029
31						
32	İdeal Çözüm Değerleri	0,167	0,227	0,103	0,129	0,049
33						
34	Negatif İdeal Çözüm Değerleri	0,062	0,027	0,020	0,038	0,011

Tablo 4.39: TOPSIS Metodu Ağırlıklandırılmış Normalize Karar Matrisi ile İdeal ve Negatif İdeal Çözüm Değerleri

Tüm ideal çözüm ve negatif ideal çözüm değerleri bulunduktan sonra, ideal uzaklıklar ve negatif ideal uzaklıklar tablosu oluşturulmalıdır. İdeal uzaklıklar tablosunda her bir alternatif için S_i^* değerleri, negatif ideal uzaklıklar tablosunda da S_i^- değerleri bulunacaktır. İdeal uzaklıkları hesaplarken, ağırlıklandırılmış normalize karar matrisinin her bir elemanı ile o kriterin ideal çözüm değerinin farkının karesi alınır. Negatif ideal uzaklıklar tablosu için de aynı işlem, negatif ideal çözüm değeri ile yapılır. Her iki tabloda da alternatiflerin değerleri toplanarak satır sonuna toplam olarak eklenir. S_i^* ve S_i^- değerleri toplam değerlerinin karekökü alınarak bulunur.

	B	C	D	E	F	G	H	I	J
36		Eğim	Yükseklik	Jeoloji	Arazi Kullanımı	Bakı	Toplam	S_i^*	İdeal Uzaklıklar Tablosu
37	A Noktası	0,011	0,031	0,007	0,008	0,001	0,058	0,241	
38	B Noktası	0,000	0,003	0,002	0,000	0,000	0,005	0,073	
39	C Noktası	0,005	0,005	0,002	0,004	0,000	0,016	0,126	
40	D Noktası	0,011	0,040	0,007	0,007	0,001	0,066	0,256	
41	E Noktası	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,021	
42									
43		Eğim	Yükseklik	Jeoloji	Arazi Kullanımı	Bakı	Toplam	S_i^-	Negatif İdeal Uzaklıklar Tablosu
44	A Noktası	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,024	
45	B Noktası	0,011	0,022	0,001	0,008	0,000	0,043	0,207	
46	C Noktası	0,001	0,017	0,001	0,001	0,001	0,022	0,148	
47	D Noktası	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,010	
48	E Noktası	0,010	0,040	0,007	0,007	0,000	0,064	0,254	

Tablo 4.40: TOPSIS Metodu İdeal ve Negatif İdeal Uzaklıklar Tabloları

S_i^* ve S_i^- değerleri hesaplandıktan sonra son olarak ideal çözüme göreli yakınlık değeri olan C_i^*, S_i^- değerini S_i^* ve S_i^- değerlerinin toplamına bölerek risk değerlendirmesi yapılır.

	B	C	D	E
50		S_i^*	S_i^-	C_i^*
51	A Noktası	0,241	0,024	0,090
52	B Noktası	0,073	0,207	0,739
53	C Noktası	0,126	0,148	0,542
54	D Noktası	0,256	0,010	0,036
55	E Noktası	0,021	0,254	0,922

Tablo 4.41: TOPSIS Metodu İdeal Çözüme Göreli Yakınlık Değeri Hesaplanması

Elde edilen değerlerin büyükten küçüğe sıralanması ile risk sıralaması tamamlanmış olur. İdeal çözüme göreli yakınlık değerleri yüzdesel olarak düzenlendiğinde, risk sıralaması şu şekilde oluşmaktadır:

Birinci riskli nokta – E Noktası (Çobançeşme), $\frac{0,922}{0,09+0,739+0,542+0,036+0,922} = \%39,60$

İkinci riskli nokta – B Noktası (Atatürk), %31,72

Üçüncü riskli nokta – C Noktası (Evren), %23,23

Dördüncü riskli nokta – A Noktası (İkitelli), %3,88

Beşinci riskli nokta – D Noktası (İnönü), %1,55

Toplam: %100

4.5.ELECTRE I YÖNTEMİ İLE SEÇİLMİŞ LOKASYONLARIN RİSK ANALİZİ

Ayamama Havzası'nda tercih edilen noktaların risk analizini yaptığımız çalışmanın son değerlendirme tekniği olan ELECTRE I'de de öncelikle karar matrisi oluşturulmaktadır.

	B	C	D	E	F	G
2	Ağırlıklar (ω_j)	26,67%	33,33%	13,33%	20,00%	6,67%
3	X	Eğim	Yükseklik	Jeoloji	Arazi Kullanımı	Bakı
4		max	max	max	max	max
5	A Noktası	8,94	3,76	3,68	7,36	1,84
6	B Noktası	23,39	12,96	9,88	24,69	4,94
7	C Noktası	13,03	11,71	10,51	13,13	7,88
8	D Noktası	8,76	1,99	3,68	9,20	1,84
9	E Noktası	22,94	16,75	18,69	23,37	4,67

Tablo 4.42: ELECTRE I Metodu Karar Matrisi

Karar matrisi oluşturulduktan sonra, ELECTRE I metodunun normalizasyon işlemi yapılarak normalizasyon matrisi oluşturulur. Normalizasyon matrisi oluşturulurken karar matrisindeki elemanların değerleri, ilgili kriterin tüm değerlerinin kareleri toplamına bölünür.

	B	C	D	E	F	G
12	***R***	Eğim	Yükseklik	Jeoloji	Arazi Kullanımı	Bakı
13		max	max	max	max	max
14	A Noktası	0,2389	0,1529	0,1522	0,1922	0,1715
15	B Noktası	0,6252	0,5276	0,4085	0,6447	0,4603
16	C Noktası	0,3482	0,4766	0,4346	0,3429	0,7345
17	D Noktası	0,2341	0,0811	0,1522	0,2402	0,1715
18	E Noktası	0,6133	0,6815	0,7732	0,6101	0,4356

Tablo 4.43: ELECTRE I Metodu Normalizasyon Matrisi

Hemen hemen tüm çok kriterli karar verme tekniğinde olduğu üzere ELECTRE I'de de ağırlıklandırma işlemi yapılarak, ağırlıklandırılmış normalize matris oluşturulur. Bunun için normalize matrisi elemanları, ilgili kriterin ağırlık değeri ile çarpılır.

	B	C	D	E	F	G
21	***V***	Eğim	Yükseklik	Jeoloji	Arazi Kullanımı	Bakı
22		max	max	max	max	max
23	A Noktası	0,0637	0,0510	0,0203	0,0384	0,0114
24	B Noktası	0,1667	0,1759	0,0545	0,1289	0,0307
25	C Noktası	0,0929	0,1589	0,0579	0,0686	0,0490
26	D Noktası	0,0624	0,0270	0,0203	0,0480	0,0114
27	E Noktası	0,1635	0,2272	0,1031	0,1220	0,0290

Tablo 4.44: ELECTRE I Metodu Ağırlıklandırılmış Normalizasyon Matrisi

ELECTRE I yöntemi, ağırlıklandırılmış normalizasyon matrisinin oluşturulmasından sonra uyum ve uyumsuzluk setlerinin oluşturulması ile devam eder. Uyum ve uyumsuzluk seti, iki alternatifin tüm kriterleri arasında değerlerin mukayesesi ile ortaya çıkarılmaktadır. Eğer referans alternatifin ilgili kritere karşılık gelen değeri, diğer alternatifin kriter değerinden büyük ya da eşitse, uyum setine yazılır; küçükse uyumsuzluk setine yazılır.

Uyum Seti				
C_{12}={}	C_{21}={1,2,3,4,5}	C_{31}={1,2,3,4,5}	C_{41}={3,4,5}	C_{51}={1,2,3,4,5}
C_{13}={}	C_{23}={1,2,4}	C_{32}={3,5}	C_{42}={}	C_{52}={2,3}
C_{14}={1,2,3,5}	C_{24}={1,2,3,4,5}	C_{34}={1,2,3,4,5}	C_{43}={}	C_{53}={1,2,3,4}
C_{15}={}	C_{25}={1,4,5}	C_{35}={5}	C_{45}={}	C_{54}={1,2,3,4,5}

Tablo 4.45: ELECTRE I Metodu Uyum Seti

Uyumsuzluk Seti				
D_{12}={1,2,3,4,5}	D_{21}={}	D_{31}={}	D_{41}={1,2}	D_{51}={}
D_{13}={1,2,3,4,5}	D_{23}={3,5}	D_{32}={1,2,4}	D_{42}={1,2,3,4,5}	D_{52}={1,4,5}
D_{14}={4}	D_{24}={}	D_{34}={}	D_{43}={1,2,3,4,5}	D_{53}={5}
D_{15}={1,2,3,4,5}	D_{25}={2,3}	D_{35}={1,2,3,4}	D_{45}={1,2,3,4,5}	D_{54}={}

Tablo 4.46: ELECTRE I Metodu Uyumsuzluk Seti

Birinci alternatif olan A noktasının ikinci alternatif olan B noktası ile mukayesesinde, uyum seti için karar matrisi elemanları karşılaştırıldığında;

Eğim kriteri: 8,94 < 23,39 (uyum seti şartına uymuyor)

Yükseklik kriteri: 3,76 < 12,96 (uyum seti şartına uymuyor)

Jeoloji kriteri: 3,68 < 9,88 (uyum seti şartına uymuyor)

Arazi kullanımı kriteri: 7,36 < 24,69 (uyum seti şartına uymuyor)

Bakı: 1,84 < 4,94 (uyum seti şartına uymuyor)

olduğundan, C_{12} uyum setinin boş küme olduğu belirlenmektedir. Uyumsuzluk seti elemanlarının, uyum setinde olmayan elemanlar olduğu bilindiğinden D_{12} uyumsuzluk seti elemanları {1,2,3,4,5} olarak bulunmuş olur. Aynı yöntemle diğer alternatiflerin tamamı birbirleriyle karşılaştırılarak uyum ve uyumsuzluk setleri tamamlanır.

Uyum ve uyumsuzluk setlerinin tamamlanmasından sonra uyum (*C*) ve uyumsuzluk (*D*) matrisi oluşturulur. Uyum matrisinin elemanları, uyum setinde hangi alternatiflerin karşılaştırıldığıyla ilişkili olarak yerleştirilir. C_{12} uyum seti için, uyum matrisinin birinci satır ikinci sütununa, uyum seti kümesinde bulunan değerlerin karşılık geldiği kriterlerin ağırlık değerleri toplanarak yazılır.

C_{23} uyum setine bakıldığında, elemanlarının {1,2,4} olduğunu görmekteyiz. Uyum matrisinin ikinci satır üçüncü sütununa birinci (eğim), ikinci (yükseklik) ve dördüncü (arazi kullanımı) kriterlerinin ağırlık değerleri toplanarak yazılır. Diğer tüm uyum seti elemanları aynı şekilde toplanarak yerlerine yazılırlar.

Uyumsuzluk matrisi oluşturulurken ise, uyumsuzluk setinde yer alan elemanların bulunduğu kriter ya da kriterlerdeki ağırlıklandırılmış değerlerin mutlak farklarının hangisi daha büyükse alınır ve bölümün pay kısmını oluşturur. Bölümün payda kısmına ise seçili iki alternatifin tüm kriter değerlerinin mutlak farklarından en yüksek olanı yazılır.

D_{23} uyumsuzluk setine bakıldığında, elemanlarının {3,5} olduğu görülmektedir. Uyumsuzluk matrisinin ikinci satır üçüncü sütununa üçüncü kriter olan jeoloji kriterinin, ikinci ve üçüncü alternatifin değerleri farkı ile (0,0035), beşinci kriter olan bakı kriterinin aynı alternatifler için değer farkına (0,0183) bakılarak mutlak değerlerinin büyük olanı (0,0183) pay kısmına, aynı iki alternatifin tüm kriter değerlerinin mutlak farklarından en büyük olanı da (birinci kriter olan eğim kriteri değerleri farkı: 0,0738) payda kısmına yazılarak oranlanır ($\frac{0,0183}{0,0738} = 0,2476$). Tüm uyumsuzluk seti elemanları için aynı döngü sağlanarak matrisin ilgili kısımlarına yerleştirilir.

	B	C	D	E	F	G	H	I
30		-	0,0000	0,0000	0,8000	0,0000		
31		1,0000	-	0,8000	1,0000	0,5333		
32	C =	1,0000	0,2000	-	1,0000	0,0667	Uyum Matrisi	
33		0,4000	0,0000	0,0000	-	0,0000		
34		1,0000	0,4667	0,9333	1,0000	-		
35								
36		-	1,0000	1,0000	0,4016	1,0000		
37		0,0000	-	0,2476	0,0000	1,0000		
38	D =	0,0000	1,0000	-	0,0000	1,0000	Uyumsuzluk Matrisi	
39		1,0000	1,0000	1,0000	-	1,0000		
40		0,0000	0,1349	0,2820	0,0000	-		

Tablo 4.47: ELECTRE I Metodu Uyum ve Uyumsuzluk Matrisleri

Uyum ve uyumsuzluk matrisinden sonra uyumluluk ve uyumsuzluk üstünlük matrisleri oluşturulmalıdır. Öncelikle uyum ve uyumsuzluk matrislerinin tüm elemanları ayrı ayrı toplanır ve $m \cdot (m-1)$'e (5 alternatif olan değerlendirme için 5x(5-1)=20) bölünür. Bulunan değer, üstünlük değerlendirmesi için referans değer olacaktır. Uyum matrisinin tüm elemanları, bu referans değerden büyük ya da eşitse 1 değerini, küçükse 0 değerini alır. Uyumsuzluk matrisinin elemanlarında ise referans değerden büyükse ya da bu değere eşitse 0, değilse 1 değerini alır ve üstünlük matrisleri oluşturulur.

	B	C	D	E	F	G	H	I	J
42		-	0	0	1	0			
43		1	-	1	1	1			
44	E =	1	0	-	1	0	Uyumluluk Üstünlük Matrisi		0,510
45		0	0	0	-	0			
46		1	0	1	1	-			
47									
48		-	0	0	1	0			
49		1	-	1	1	0			
50	F =	1	0	-	1	0	Uyumsuzluk Üstünlük Matrisi		0,553
51		0	0	0	-	0			
52		1	1	1	1	-			

Tablo 4.48: ELECTRE I Metodu Uyumluluk ve Uyumsuzluk Üstünlük Matrisleri

Uyum matrisinin referans değeri 0,510 , uyumsuzluk matrisinin referans değeri de 0,553 olarak bulunmuştur. Uyum ve uyumsuzluk matrislerinin değerleri, referans değerleri ile mukayese edilerek yerlerine 0 ve 1 olarak yazılmıştır. Bu iki matrisin birbirine denk gelen elemanları birbirleri ile çarpılarak bir değerlendirme matrisi oluşturulur.

	B	C	D	E	F	G
54	A Noktası	-	0	0	1	0
55	B Noktası	1	-	1	1	0
56	C Noktası	1	0	-	1	0
57	D Noktası	0	0	0	-	0
58	E Noktası	1	0	1	1	-

Tablo 4.49: ELECTRE I Metodu Uyumluluk ve Uyumsuzluk Üstünlük Değerlendirme Matrisi

Değerlendirme matrisi şu şekilde okunmalıdır: Matrisin ikinci satır birinci sütununda 1 değeri olduğundan, B noktasının (ikinci alternatif), A noktasına göre (birinci alternatif) daha riskli

olduğu sonucu kısmen çıkarılabilir. Fakat bu yöntemle net bir sıralama yapılamamaktadır. Risk analizimizde de B ve E noktalarının hangisinin daha riskli olduğunu bu yöntemle ayırt edememekteyiz. Dolayısıyla, ELECTRE metodunun sistematiğinde devam etmek gerekmektedir. Bu noktada, c_a ve d_a değerlerini hesap ederek sıralamamız gerekmektedir.

	B	C	D	E	F
60		c_a değerleri	c_a sıralaması	d_a değerleri	d_a sıralaması
61	A Noktası	-2,6000	4	2,4016	4
62	B Noktası	2,6667	2	-1,8873	2
63	C Noktası	0,5333	3	-0,5295	3
64	D Noktası	-3,4000	5	3,5984	5
65	E Noktası	2,8000	1	-3,5831	1

Tablo 4.50: ELECTRE I Metodu c_a ve d_a Değerlerinin Bulunması ve Sıralanması

c_a değeri bulunurken, uyum matrisinde birinci alternatif için birinci satır toplamından, birinci sütun toplamı çıkarılarak yazılır. Diğer alternatifler için de sırayla işlem devam ettirilir.

d_a değeri bulunurken, uyumsuzluk matrisinde birinci alternatif için birinci sütun toplamından birinci satır toplamı çıkarılarak yazılır ve diğer alternatifler için de benzer şekilde devam ettirilir. Değerlerin tamamı hesap edildikten sonra c_a değeri büyükten küçüğe, d_a değeri de küçükten büyüğe sıralanır.

Risk analizimizde ELECTRE I metoduyla yaptığımız işlemler sonucunda sıralama yapıldığında, risk sıralaması şu şekilde oluşmaktadır:

Birinci riskli nokta – E Noktası (Çobançeşme),

İkinci riskli nokta – B Noktası (Atatürk),

Üçüncü riskli nokta – C Noktası (Evren),

Dördüncü riskli nokta – A Noktası (İkitelli),

Beşinci riskli nokta – D Noktası (İnönü),

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu tez çalışması kapsamında, Ayamama Havzası taşkın risk analizi, beş farklı kriter belirlenerek beş farklı çok kriterli karar verme tekniği (ÇKKV) ile yapılmıştır. Seçilen kriterler eğim, bakı, arazi kullanımı, yükseklik ve jeoloji; seçilen ÇKKV yöntemleri ise Analitik Hiyerarşi Süreci, Analitik Ağ Süreci, VIKOR, TOPSIS ve ELECTRE I'dir. Taşkın risk analizi için 5 farklı lokasyon havzada 2009 yılında oluşan taşkında en çok zarar gören yerler dikkate alınarak belirlenmiştir. Bu lokasyonlar İkitelli (A), Atatürk (B), Evren (C), İnönü (D) ve Çobançeşme (E)'dir. Taşkın riskinin belirlenmesi için seçilen yöntemler Excel programı ile bir yazılım oluşturulmuş ve Ayamama Havzası'nda tercih edilen noktaların risk analizi yapılmıştır. Oluşturulan yazılım, bu çalışma kapsamında belirlenen havza ve lokasyonlar dışında farklı bölgeler için de kullanılabilecek şekilde geliştirilmiştir. Yapılan risk analizinde kriterler, alternatifler ve ağırlıklar karar verici tarafından bireysel olarak belirlenmiş; gerekli olan diğer parametrelerin sayısal değerleri CBS altyapısından alınarak kullanılmıştır. Kantitatif parametrelerin sayısal değerlerine karşılık gelen ağırlık değerleri, analitik yöntemlerle formülize edilerek yeknesaklaştırılmış ve yazılıma uyarlanmıştır. Yapılan analizler şu sonuçlara ulaşılmıştır:

- Rastgelelik esasıyla tercih edilen noktaların (lokasyonların) verileri ile risk analizi sonuçlarının tutarlılıklarında herhangi bir sorun olmadığı, CBS verileri ile taşkın risk analizinin tutarlı şekilde yapılabildiği gözlemlenmiştir. Farklı noktalardan alınan verilerle ve farklı kriter ağırlıkları ile de tutarlı şekilde çalışabileceği test edilmiştir.
- Çalışma kapsamında seçilmiş olan 5 farklı çok kriterli karar verme tekniği ile yapılan taşkın risk analizi sonuçlarının aynı olduğu görülmüştür (Tablo 5.1). Böylelikle oluşturulan algoritmanın taşkın risk analizinde doğru sonuca ulaştıracak yeterlilikte olduğu ortaya koyulmuştur.

	AHP Değerleri	AHP Sıralaması	ANP Değerleri	ANP Sıralaması	VIKOR Değerleri	VIKOR Sıralaması	TOPSIS Değerleri	TOPSIS Sıralaması	ELECTRE I Değerleri	ELECTRE I Sıralaması
A Noktası	9,27%	4	9,28%	4	35,68%	4	3,88%	4	2,40163317	4
B Noktası	28,01%	2	27,91%	2	6,15%	2	31,72%	2	-1,88732989	2
C Noktası	21,67%	3	21,71%	3	19,44%	3	23,25%	3	-0,52954219	3
D Noktası	8,42%	5	8,55%	5	38,73%	5	1,55%	5	3,59836683	5
E Noktası	32,63%	1	32,55%	1	0,00%	1	39,60%	1	-3,58312792	1

Tablo 5.1: Teknikler Arası Değerlerin Karşılaştırılması

- Literatürde Ayamama Havzası'nda bugüne kadar olan taşkınlar ve çalışma kapsamında yapılan risk analizleri incelendiğinde de sonuçların aynı minvalde olduğu, Çobançeşme mevkiinin (E Noktası) eski taşkınlarda en çok risk ihtiva eden alan olduğu, yapılan risk analizi ile de benzer sonuçların ortaya çıktığı gözlemlenmiştir.
- Kazezyılmaz-Alhan vd. (2019) tarafından yapılmış olan taşkın hidrolik modelleme sonuçlarına göre en yüksek taşkın su derinliği Çobançeşme (E Noktası) olarak bulunmuşken sıralama, Evren (C), İnönü (D), Atatürk (B) ve İkitelli (A) bölgeleri şeklinde oluşmuştur. Bu çalışmada ise Kazezyılmaz-Alhan vd. (2019) tarafından yapılmış olan çalışmadan farklı olarak nüfus, arazi kullanımı, jeoloji ve bakı değerleri kullanılarak risk sıralaması Çobançeşme (E), Atatürk (B), Evren (C), İkitelli (A) ve İnönü (D) şeklinde bulunmuştur.
- Seçilen lokasyonların taşkın risk analizi yapılırken uygulanan metotların her biri ayrı ayrı çalıştırılarak seçim ve sıralama açısından aynı neticeler elde edilmiştir. Her bir tekniğin kendine özgü yaklaşım tarzları ile aynı sonuca ulaşması, tekniklerin işlevselliğini teyit etmiş, işlenen verilerin ve tayin edilen kriterlerin ağırlık değerlerinin tutarlılığını ortaya koymuştur.
- Analitik Hiyerarşi Süreci, literatürde sıkça kullanılıyor olsa da yapılan risk analizinde ve diğer çok kriterli karar verme problemlerinde uzun bir çözüm yolu içerdiğinden ve çok fazla parametreyi ayrı ayrı değerlendirmeye tabi tutma zorunluluğu olduğundan analizi zorlaştırmaktadır. Beş farklı kriter ile risk analizi yaparken her bir kriter için tüm alternatifleri ayrı ayrı değerlendirmek ve sonrasında tüm kriterleri bir arada değerlendirmek pratiklik açısından diğer yöntemlerden geride kalmıştır.
- Analitik Hiyerarşi Süreci'nin üst versiyonu olarak tabir edilebilecek olan Analitik Ağ Süreci, AHP'nin prosesinin sadeleştirilerek birkaç işlem ile sonuca ulaşılabilecek şekilde geliştirilmiştir. Kriterlerin ve alternatiflerin bir arada kullanılarak oluşturulan matris ile AHP ile hemen hemen başa baş sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.
- VIKOR, TOPSIS ve ELECTRE I yöntemlerinin ağırlıklandırma işlemlerinde farklılıklar olsa da tematik olarak benzer prosesin işlediğini söylemek mümkündür. Tekniklerin sonlarında kendilerine münhasır sonuçlandırma yöntemlerinin değerlendirme farklılığı olarak ele almak gerekirse de risk analizi sonuçları açısından benzer neticelerin elde edildiği gözlemlenmiştir. Söz konusu teknikler işlem kolaylığı

açısından değerlendirildiğinde TOPSIS tekniği seçim ve sıralama açısından daha tercih edilebilir bir tekniktir. VIKOR'un avantaj ve istikrar koşulları ve ELECTRE I'in uyum ve uyumsuzluk setleri işlem zorluğu oluşturarak tercihte hata yapmaya sebebiyet verebilmektedir. Keza, TOPSIS yönteminin sonuçlarına bakıldığında, riskin yüzdesel olarak da sıralanabileceği sonucuna varılabilir.

- Tüm teknikler bir arada değerlendirildiğinde Analitik Ağ Süreci, rasyonel proses yapısı ve işlenebilirlik açısından diğer dört yönteme göre daha avantajlıdır.

6. KAYNAKLAR

Anderson, D., Sweeney, D., Williams, T., Camm, J., Cochran, J., Fry, M., & Ohlmann, J. (2013). *Quantitative Methods for Business.* Ohio: South-Western Cengage Learning.

Atan, M., & Altan, Ş. (2020). *Örnek Uygulamalarla Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri.* Ankara: Gazi Kitabevi.

Belton, V., & Stewart, T. (2002). *Multiple Crteria Decision Analysis: An Integrated Approach.* Dordrecht: Springer.

Bhushan, N., & Rai, K. (2004). *Strategic Decision Making: Applying the Analytic Hierarchy Process.* Londra: Springer-Verlag.

Bircan, H. (2020). *Çok Kriterli Karar Verme Problemlerinde Kriter Ağırlıklandırma Yöntemleri.* Ankara: Nobel Yayın.

Cheng, E., & Li, H. (2004). Contractor Selection Using the Analytic Network Process. *Construction Management and Economics, 22*, 1021-1032.

Chung, S.-H., Lee, A., & Pearn, W. (2005). Analytic Network Process (ANP) Approach for Product Mix Planning in Semiconductor Fabricator. *International Journal of Production Economics, 96,* 15-36.

Çelikbilek, Y., & Özdemir, M. (2020). *Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri Açıklamalı ve Karşılaştırmalı Sağlık Bilimleri Uygulamaları İle.* Ankara: Nobel Yayın.

Çubuk, M. (2021). *Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri İle İllerin Yatırım Ortamlarının Karşılaştırması.* Ankara: Gazi Kitabevi.

Dalgıç, S., Turgut, M., Kuşku, İ., Coşkun, Ç., & Coşgun, T. (2009). İstanbul'un Avrupa Yakasındaki Zemin ve Kaya Koşullarının Bina Temellerine Etkisi. *Uygulamalı Yerbilimleri*(2), 47-70.

Demir, G. (2020). *Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri ile Aynı Dilimdeki Fen Liselerinin Değerlendirilmesi.* Doktora Tezi: Sivas Cumhuriyet Üniverisitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Demir, G., Özyalçın, A., & Bircan, H. (2021). *Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ve ÇKKV Yazılımı İle Problem Çözümü.* Ankara: Nobel Yayın.

Dinç, H. (2019). Arazi Kullanım Kararlarının Dere Sistemleri Üzerinde Fiziki Etkisinin Analizi ve Kentsel Yaşama Yansıması: İstanbul'da Su Baskını,Sel ve Taşkın Risk Değerlendirmesi. *TMMOB Şehir Plancıları Odası Planlama Dergisi, 29*(2), 147-170.

Ecer, F., & Küçük, O. (2008). Tedarikçi Seçiminde Analitik Hiyerarşi Yöntemi ve Bir Uygulama. *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 11*(1), 355-369.

Ekinci, K. (2017). *Şehir Atlasının (Urban Atlas) Avrupa'daki ve Türkiye'deki Durumunun İncelenmesi.* Uzmanlık Tezi: T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.

Emhan, A. (2009). Risk Yönetim Süreci ve Risk Yönetmekte Kullanılan Teknikler. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 23*(3), 209-220.

Ertürk, Z. (2015). *İstanbul Avrupa Yakası Güneyindeki Zeminlerin Geotekniği.* Yüksek Lisans Tezi: İstanbul Kültür Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Felek, G. (2015). Ankara Çayı Havzası İçerisinde Yer Alan Bölgelerin Sismik Risk Düzeyinin Yüzey Dalgaları ile Analizi. *3. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı.* İzmir.

Fendoğlu, E. (2021). *Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri İle Güncel Uygulamalar.* Ankara: Gazi Kitabevi.

Figueira, J., Mousseau, V., & Roy, B. (2005). Electre Methods. J. Figueira, S. Greco, & M. Ehrogott içinde, *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys* (s. 133-155). Springer.

Girayhan, T. (2015). *Nicel Taşkın Risk Değerlendirmesiyle Hasar Modellemesi ve Metodolojinin Geliştirilmesi.* Uzmanlık Tezi: T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı.

Güneş, B., & Yüce, G. (2011). Tane Boyu Analizlerine Dayalı Olarak Hesaplanan Geçirgenlik Katsayılarının Karşılaştırılması: Meşelik ve Tepebaşı (Eskişehir) Örnekleri. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 35*(1), 1-26.

Hajkowicz, S., & Collins, K. (2007). A Review of Multiple Criteria Analysis for Water Resource Planning and Management. *Water Resour Manage, 21*, 1553-1566.

Hwang, C.-L., & Yoon, K. (1981). *Multiple Attribute Decision Making Methods and Applications.* Berlin: Sprinter-Verlag.

İBB. (2007). *İstanbul Mikrobölgeleme Projesi Avrupa Yakası.* İstanbul: İstanbul Büyükşehir Belediyesi.

Ishizaka, A., & Nemery, P. (2013). *Multi-Criteria Decision Analysis: Methods and Software.* West Sussex: Wiley.

Jablonsky, J. (2014). MS Excel Based System for Multicriteria Evaluation of Alternatives. *Procedia Economics and Finance*(12), 251-258.

Jahan, A., Edwards, K., & Bahraminasab, M. (2016). *Multi-criteria Decision Analysis: For Supporting the Selection of Engineering Materials in Product Design.* Oxford: Butterworth-Heinemann.

Kabak, M., & Çınar, Y. (2020). *Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri MS Excel Çözümlü Uygulamalar.* Ankara: Nobel Yayın.

Kallen, M., & Kuniewski, S. (2009). *Risk and Decision Analysis in Maintenance Optimization and Flood Management.* Amsterdam: IOS Press.

Karadağ Albayrak, Ö. (2021). *Gri Sistem Teorisi Tabanlı Çok Kriterli KArar Verme Teknikleri ve Uygulama Örnekleri Teori ve Uygulama.* Ankara: Gazi Kitabevi.

Kaya, İ., & Karaşan, A. (2020). *Çok Kriterli Karar Verme.* İzmit: Umuttepe Yayınları.

Kaymaz, Ç., Kızılkan, Y., & Birinci, S. (2020). *Ordu İli Turizm Merkezlerinin Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerine Göre Analizi.* İstanbul: Kriter Yayınevi.

Kazezyılmaz-Alhan, C., Gülbaz, S., Bahçeci, A., & Boyraz, U. (2019). Flood Modeling of Ayamama River Watershed in Istanbul, Turkey. *Journal of Hydrologic Engineering, 24*(1), 1-10.

Keskin, İ. (2016). *Mühimmat Depoları Yer Seçimi İçin Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri Destekli Bir Model Önerisi.* Yüksek Lisans Tezi: T.C. Kara Harp Okulu Savunma Bilimleri Enstitüsü.

Kirmencioğlu, B. (2015). *Türkiye'de Dere Yataklarına Müdahalelerin Taşkınlar Üzerindeki Etkilerinin Değerlendirilmesi.* Uzmanlık Tezi: T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı.

Kuruüzüm, A., & Atsan, N. (2001). Analitik Hiyerarşi Yöntemi ve İşletmecilik Alanındaki Uygulamaları. *Akdeniz İ.İ.B.F. Dergisi*(1), 83-105.

Kuzu, S. (2018). VIKOR. B. Yıldırım, & E. Önder içinde, *İşletmeciler, Mühendisler ve Yöneticiler İçin Operasyonel, Yönetsel ve Stratejik Problemlerin Çözümünde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri* (s. 117-132). Bursa: Dora Yayınevi.

Lee, A., Yang, H.-Y., Hsu, C.-F., & Hung, H.-C. (2009). A Green Supplier Selection Model for High-Tech Industry. *Expert Systems with Applications, 36*, 7917-7927.

Lootsma, F. (1999). *Multi-Criteria Decision Analysis via Ratio and Difference Judgement.* Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

Majumder, M. (2015). *Impact of Urbanization on Water Shortage in Face of Climatic Aberrations.* Singapur: SpringerBriefs in Water Science and Technology.

Nurhayati, A., Gautama, A., & Naseer, M. (2018). Decision Making Model Design for Antivirus Software Selection Using Factor Analysis and Analytical Hierarchy Process. *MATEC Web of Conferences* (s. 1-6). EDP Sciences.

Oğuz, K. (2016). CBS ile Taşkın Risk Alanlarının Belirlenmesi: Artvin İli Örneği. *4. Ulusal Taşkın Sempozyumu.* Rize: T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü.

Okutgen, N. (2012). *İstanbul Haramidere-Küçükçekmece Gölü Arasının Yerleşime Uygunluğunun Araştırılmasında Mühendislik Jeolojisi Yaklaşımlarının İrdelenmesi.* Yüksek Lisans Tezi: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Onuşluel, G., & Harmancıoğlu, N. (2002). Su Kaynaklı Doğal Afet: Taşkın. *Türkiye Mühendislik Haberleri*(420-421-422), 131-132.

Opricovic, S., & Tzeng, G.-H. (2004). Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *European Journal of Operational Research*(156), 445-455.

Ömürbek, N., & Şimşek, A. (2014). Analitik Hiyerarşi Süreci ve Analitik Ağ Süreci Yöntemleri ile Online Alışveriş Site Seçimi. *Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*(22), 306-327.

Özcan, O. (2017). Taşkın Tespitinin Farklı Yöntemlerle Değerlendirilmesi: Ayamama Deresi Örneği. *Artvin Çoruh Üniversitesi Doğal Afetler Uygulama ve Araştırma Merkezi Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 3*(1), 9-27.

Özcan, O., Saral, A., & Musaoğlu, N. (2011). Hidrolojik Modellemenin Bilgi Difüzyon Teorisi Kullanılarak Uzaktan Algılama ve CBS ile Değerlendirilmesi. *TUFUAB VI. Teknik Sempozyumu.* Antalya.

Özdağoğlu, A. (2013). Farklı Normalizasyon Yöntemlerinin TOPSIS'te Karar Verme Sürecine Etkisi. *Ege Akademik Bakış, 13*(2), 245-257.

Özdemir, A. (2004). *Yöntesel Karar Verme Sürecinde Dinamik Amaç Programlama Yaklaşımı ve Bir Uygulama.* Doktora Tezi: T.C. Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Özgül, N. (2011). *İstanbul İl Alanının Jeolojisi.* İstanbul: İstanbul Büyükşehir Belediyesi.

Öztel, A., & Alp, İ. (2020). *Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi Seçiminde Yeni Bir Yaklaşım.* İstanbul: Kriter Yayınevi.

Öztürk, D. (2009). *CBS Tabanlı Çok Ölçütlü Karar Analizi Yöntemleri ile Sel ve Taşkın Duyarlılığının Belirlenmesi: Güney Marmara Havzası Örneği.* Doktora Tezi: Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Paksoy, S. (2017). *Çok Kriterli Karar Vermede Güncel Yaklaşımlar.* Adana: Karahan Kitabevi.

Pang, J., Zhang, G., & Chen, G. (2011). ELECTRE I Decision Model of Reliability Design Scheme for Computer Numerical Control Machine. *Journal of Software, 6*(5), 894-900.

Rogers, M., Bruen, M., & Maystre, L.-Y. (2000). *ELECTRE and Decision Support: Methods and Application in Engineerind and Infrastructure Investment.* New York: Springer.

Saaty, R. (2016). *Decision Making in Complex Environments: The Analytic Network Process (ANP) for Dependence and Feedback.* Florida: Creative Decisions Foundation.

Saaty, T. (1991). Some Mathematical Concepts of the Analytic Hierarchy Process. *Behaviormetrika*(29), 1-9.

Saaty, T. (2008). The Analytic Hierarchy and Analytic Network Measurement Processes: Applications to Decisions under Risk. *European Journal of Pure and Applied Mahtematics, 1*(1), 122-196.

Saaty, T., & Wind, Y. (1980). Marketing Applications of the Analytic Hierarchy Process. *Management Science, 26*(7), 641-658.

Saral, A. (2010). *Çok Kriterli Karar Verme ve Bilgi Difüzyonu Yöntemleri Yardımıyla, Taşkın Risk Analizi Yazılımının Gerçekleştirilmesi.* Yüksek Lisans Tezi: İstanbul Teknik Üniversitesi Bilişim Enstitüsü.

Saral, A., & Musaoğlu, N. (2011). Çok Kriterli Karar Verme ve Bilgi Difüzyonu Yöntemleri ile Taşkın Risk Analizi. *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı.* Ankara.

Shih, H.-S., Shyur, H.-J., & Lee, E. (2007). An Extension of TOPSIS for Group Decision Making. *Mathematical and Computer Modelling*(45), 801-813.

Sinha, R. (2008). Flood Risk Analysis in the Kosi River Basin, North Bihar Using Multi-Parametric Approach of Analytical Hierarchy Process (AHP). *Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 36*, 293-307.

Soba, M., & Erdin Karaduman, E. (2018). *Hastane Personeli Seçiminin Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleriyle Karşılaştırmalı Analizi.* İstanbul: Kriter Yayınevi.

Şahin, E. (2012). *CBS Tabanlı Çok Kriterli Karar Analizi Yöntemi Kullanılarak Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretilmesi: Trabzon İli Örneği.* Yüksek Lisans Tezi: T.C. Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü.

Şen, N. (2015). *İstanbul Ayamama Deresi Taşkın Yatağı Yönetim Planı.* Yüksek Lisans Tezi: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü. (2017). *Taşkın Yönetimi.* Ankara.

Talay, T., Akmeşe, İ., Bostancıoğlu, İ., Aksoy, P., Yeşiltaş, A., Mehmetoğlu, H., & Tekin, M. (2017). *İstanbul İli, 1/25.000 Ölçekli Arazi Kullanımına Esas Jeolojik Etüt Raporu.* İstanbul: İstanbul Büyükşehir Belediyesi.

Tepe, S. (2021). *Örnek Uygulamalarla Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri.* Ankara: Akademisyen Kitabevi.

Togatlian, M., Correia, A., & Belderrain, M. (2007). A Modeling Tool To Assist On The Decision Process of Determining the Optimal Location of An Industrial Airport in Brazil. *Journal of the Brazilian Air Transportation Research Society, 3*(1), 67-81.

Triantaphyllou, E. (2000). *Multi-Criteria Decision Making Methods: A Comparative Study.* Louisiana: Springer Science+Business Media.

Türkiye Ormancılar Derneği Marmara Şubesi. (2014). *İstanbul Ormanlarının Sorunları ve Çözüm Önerileri.* İstanbul: Türkiye Ormancılar Derneği Marmara Şubesi Yayınları.

Tzeng, G.-H., & Huand, J.-J. (2011). *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications.* Boca Raton: CRC Press.

Uludağ, A., & Doğan, H. (2021). *Üretim Yönetiminde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri.* Ankara: Nobel Yayın.

Ulutaş, A., & Topal, A. (2020). *Bütünleştirilmiş Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Üretim Sektörü Uygulamaları.* Ankara: Akademisyen Kitabevi.

Ünal, Ö. (2011). Analitik Hiyerarşi Prosesi ve Personel Seçimi Alanında Uygulamaları. *Akdeniz Üniversitesi Uluslararası Alanya İşletme Fakültesi Dergisi, 3*(2), 18-38.

Yalçın, M. (2020). A GIS-Based Multi-Criteria Decision Analysis Model for Determining Glacier Vulnerability. *International Journal of Geo-Information, 9,* 1-19.

Yıldırım, B., & Çiftci, H. (2020). *Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri İle Finansal Performans Analizi ve Tahmin Modeli Çimento Sektöründe Bir Uygulama.* İstanbul: Türkmen Kitabevi.

Yıldırım, B., & Önder, E. (2018). *İşletmeciler, Mühendisler ve Yöneticiler İçin Operasyonel, Yönetsel ve Stratejik Problemlerin Çözümünde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri.* Bursa: Dora Yayınevi.

Yıldırım, M., & Uzaydın, K. (1993). İkitelli Organize Küçük Sanayi Bölgesi ve Civarının Yerleşime Uygunluk Açısından Değerlendirilmesi. *Jeoloji Mühendisliği*(43), 108-120.

Yılmaz, Ö., & Yakut, E. (2021). *Bulanık ve Klasik Uygulamalar İle Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri.* Ankara: Gazi Kitabevi.

Zardari, N., Ahmed, K., Shirazi, S., & Yusop, Z. (2015). *Weighting Methods and their Effects on Multi-Criteria Decision Making Model Outcomes in Water Resources Management.* Cham: Springer.

Zeleňáková, M., & Zvijáková, L. (2017). *Using Risk Analysis for Flood Protection Assessment.* Cham: Springer.

Zimmermann, H.-J., & Gutsche, L. (1991). *Multi-Criteria Analyse: Einführung in die Theorie der Entscheidungen bei Mehrfachzielsetzungen.* Berlin: Springer-Verlag.