

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**HARİTA MÜHENDİSLİĞİNDE ÇOK ÖLÇÜTLÜ KARAR VERME
TEKNİKLERİ KULLANILARAK EN UYGUN ÖLÇME YÖNTEMİNİN
BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Merve GÜNAL

Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı

Geomatik Mühendisliği Programı

MAYIS 2025

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**HARİTA MÜHENDİSLİĞİNDE ÇOK ÖLÇÜTLÜ KARAR VERME
TEKNİKLERİ KULLANILARAK EN UYGUN ÖLÇME YÖNTEMİNİN
BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Merve GÜNAL
(501221626)**

Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı

Geomatik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Reha Metin ALKAN

MAYIS 2025

ISTANBUL TECHNICAL UNIVERSITY ★ GRADUATE SCHOOL

**DETERMINATION OF THE MOST SUITABLE MEASUREMENT METHOD
USING MULTI-ATTRIBUTE DECISION MAKING TECHNIQUES IN
GEOMATICS ENGINEERING**



M.Sc. THESIS

**Merve GÜNAL
(501221626)**

Department of Geomatics Engineering

Geomatics Engineering Programme

Thesis Advisor: Prof. Dr. Reha Metin ALKAN

MAY 2025

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 501221626 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Merve GÜNAL, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “HARİTA MÜHENDİSLİĞİNDE ÇOK ÖLÇÜTLÜ KARAR VERME TEKNİKLERİ KULLANILARAK EN UYGUN ÖLÇME YÖNTEMİNİN BELİRLENMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Reha Metin ALKAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Halil ERKAYA**
İstanbul Okan Üniversitesi

.....
Prof. Dr. Turan ERDEN
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 15 Nisan 2025
Savunma Tarihi : 16 Mayıs 2025





Dedem İsmail AYGÜN'e,



ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez yazım yolculuğumun ilk anından teslim tarihine kadar bana rehberlik eden, bilgisiyle beni daha donanımlı hale getiren, ihtiyaç duyduğum her an yardımını esirgemeyen, çevik ve dikkatli geri dönüşleri olan, mesleğini ilk günkü heyecan, ilgi ve aşk ile yaptığını tez çalışmama ve her bir öğrencisine verdiği ilgi ile gösteren, eğitim hayatımın yanı sıra iyi ve idealleri olan bir insan olmaya her zaman sözleri ve tavırlarıyla dikkat çeken değerli danışmanım Prof. Dr. Reha Metin ALKAN'a içtenlikle teşekkür ederim.

Tez çalışmamda gerekli olan bilgileri sağlamakta desteklerini esirgemeyen ve ilgili her konuda yardımcı olan Turgay KÜÇÜK ve Gökay AYŞAN'nın nezdinde EMİ Grup Şirketine teşekkür ederim.

Son teşekkürlerimi ise çocukluğumdan beri çalışkanlığı ve iyi kalbiyle örnek olan, yüksek lisans eğitimim boyunca tavsiye veren, motive eden İmran ÖZCAN ve stres yaptığım her an bana destek olan, moralimi yüksek tutmaya çalışan, süreci benim için kolaylaştıran eşim Faruk GÜNAL'a ithaf ederim.

Mayıs 2025

Merve GÜNAL
Harita Mühendisi



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	ix
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR	xiii
SEMBOLLER	xv
ÇİZELGE LİSTESİ	xvii
ŞEKİL LİSTESİ	xix
ÖZET	xxi
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	1
1.2 Literatür Taraması	4
2. YÖNEYLEM ARAŞTIRMASI (YA)	11
2.1 Tarihsel Gelişimi	11
2.2 Yöneylem Araştırması Teknikleri	13
2.3 CPM-PERT	15
2.3.1 CPM yöntemi	16
2.3.2 PERT yöntemi	19
3. ÇOK ÖLÇÜTLÜ KARAR VERME (ÇÖKV)	23
3.1 Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP)	24
3.2 En İyi En Kötü Yöntemi (Best Worst Method-BWM)	28
4. UYGULAMA	31
4.1 Proje Hakkında Bilgi ve Veri Temini	31
4.2 AHP ve BWM ile En Uygun Yöntemin Belirlenmesi	33
4.2.1 Önem derecelerinin belirlenmesinde anket çalışması	34
4.2.1.1 AHP anket uygulaması	34
4.2.1.2 BWM anket uygulaması	36
4.2.2 AHP ve BWM modellerinin anket sonuçlarına göre uygulanması	36
4.2.2.1 AHP modeli uygulama sonuçları	36
4.2.2.2 BWM modeli uygulama sonuçları	39
4.3 CPM-PERT ile Sonuçların Doğrulanması	41
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	47
KAYNAKLAR	51
ÖZGEÇMİŞ	55



KISALTMALAR

AHP	: Analytical Hierarchy Process/Analitik Hiyerarşi Süreci
BÖHHBÜY	: Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği
BWM	: Best Worst Method/En İyi En Kötü Yöntemi
CBS/GIS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri/Geographical Information System
CI	: Consistency Index/Tutarlılık İndeksi
CPM-PERT	: Critical Path Method-Program Evaluation and Review Technique
CR	: Consistency Ratio
ÇAKV	: Çok Amaçlı Karar Verme
ÇKKV	: Çok Kriterli Karar Verme
ÇÖKV	: Çok Ölçütlü Karar Verme
DEM	: Digital Elevation Model/Dijital Yükseklik Modeli
GNSS Sistemi	: Global Navigation Satellite System/Küresel Konum Belirleme Sistemi
LiDAR	: Light Detection and Ranging
MARCOS	: Measurement of Alternatives and Ranking according to COMpromise Solution/Alternatiflerin Ölçümü ve Uzlaşma Çözümüne Göre Sıralama
RADAR	: Radio Detection and Ranging
RI	: Random Index/Rassal İndeks
TI	: Tutarlılık İndeksi
TO	: Tutarlılık Oranı
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
YA	: Yöneylem Araştırması



SEMBOLLER

A/a	: Karşılaştırma Matrisi
$A_{B/w}$	: Best-Others / Worst-Others Vektörü
b	: En Kötümser Zaman
C	: Önem Kriteri
D_{ij}	: Etkinlik Süresi
ES	: En Erken Başlama Zamanı
EF	: En Erken Bitirme Zamanı
FF	: Serbest Bolluk
LS	: En Geç Başlama Zamanı
LF	: En Geç Bitirme Zamanı
M	: En Olası Zaman
T_E	: En Erken Olay Zamanı
T_L	: En Geç Olay Zamanı
T_s	: Planlanmış Olay Zamanı
TF	: Toplam Bolluk
Z	: T_s Ulaşma İhtimali
W	: Ağırlık Matrisi
$\bar{x}$	: Beklenen Süre
α	: İyimser Zaman
β	: Beta
σ	: Standart Sapma
σ^2	: Varyans
ξ	: Tutarlılık Oranı



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Yöneylem teknikleri ve tanımlamalar.	14
Çizelge 3.1 : İkili karşılaştırmalarda kullanılan önem dereceleri (Saaty, 1990).	26
Çizelge 3.2 : Rassal indeks değerleri (Kwiesielewicz ve Uden, 2004).	27
Çizelge 4.1 : Ölçüt bazında alternatiflere ait karşılaştırma matrisleri.	35
Çizelge 4.2 : Ölçüt karşılaştırma matrisi örneği.	35
Çizelge 4.3 : Süre ölçütü temelli alternatif karşılaştırma matrisi örneği.	35
Çizelge 4.4 : BWM karşılaştırma matrisleri.	36
Çizelge 4.5 : Ölçüt bazında alternatiflere ait karşılaştırma matrisleri.	37
Çizelge 4.6 : Ölçütlere ait karşılaştırma matrisi.	37
Çizelge 4.7 : Normalize edilmiş alternatiflerin karşılaştırma matrisleri.	37
Çizelge 4.8 : Ölçütlere ait normalize edilmiş karşılaştırma matrisi.	38
Çizelge 4.9 : Rassal indeks değerleri (Kwiesielewicz ve Uden, 2004).	38
Çizelge 4.10 : Ölçüt bazlı alternatiflere ait ağırlık matrisleri.	39
Çizelge 4.11 : Ölçütlere ait ağırlık matrisi.	39
Çizelge 4.12 : Alternatiflere ait önem sıralaması.	39
Çizelge 4.13 : ‘Maliyet’in diğer ölçütler ile karşılaştırması.	39
Çizelge 4.14 : ‘Uygulama Kolaylığı’nın diğer ölçütler ile karşılaştırması.	40
Çizelge 4.15 : BWM yöntemi sonucundan elde edilen ölçüt ağırlıkları.	40
Çizelge 4.16 : BWM yöntemi tutarlılık oranı.	40
Çizelge 4.17 : Projede kullanılan kaynaklar.	42
Çizelge 4.18 : Fotogrametrik Ölçme Yöntemine ait süre ve maliyet analizi.	44
Çizelge 4.19 : LiDAR Ölçme Yöntemine ait süre ve maliyet analizi.	45
Çizelge 4.20 : Yersel Ölçme Yöntemine ait süre ve maliyet analizi.	45
Çizelge 4.21 : Süre ve maliyet analizi özet tablo.	46



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : PERT – β dağılımı yoğunluk fonksiyonu (Hajdu ve Bokor, 2014). ...	20
Şekil 3.1 : Ağırlıklandırma yöntemlerinin sınıflandırılması (Turan, 2023).	24
Şekil 4.1 : Halihazır harita üretim projesi çalışma alanı.....	31
Şekil 4.2 : Ölçme yönteminin belirlenmesi için oluşturulan hiyerarşi.	34
Şekil 4.3 : Yersel Ölçme Yöntemine ait GANTT Şeması.....	43
Şekil 4.4 : Fotogrametrik Ölçme Yöntemine ait GANTT Şeması.	43
Şekil 4.5 : LiDAR Ölçme Yöntemine ait GANTT Şeması.....	43
Şekil 4.6 : Ölçme yöntemlerinin faaliyet oranları.	46



HARİTA MÜHENDİSLİĞİNDE ÇOK ÖLÇÜTLÜ KARAR VERME TEKNİKLERİ KULLANILARAK EN UYGUN ÖLÇME YÖNTEMİNİN BELİRLENMESİ

ÖZET

İnsanın ve dünyanın gelişmesiyle birlikte günümüzde birçok değişimler ve yenilikler ortaya çıkmaktadır. Bu değişim ve yenilikler insanlara bazı avantajlar sağlasa da karar verme süreçlerinin karmaşıklaşması gibi bazı dezavantajları da beraberinde getirmiştir. Süreçlerin daha karmaşık bir yapıya girmesi sürecin yönetimini olumsuz etkilediği gibi sonuçların doğruluğunu ve başarısını da zorlaştırarak kimi durumda olumsuz bir şekilde etkileyebilmektedir. Diğer yandan hangi sektör/diyeplin olduğu fark etmeksizin bir projede hedeflenen sonuca varılması birçok farklı açıdan oldukça önemlidir. Bir projeden başarısız sonuçlar elde edilmesi yapanlar açısından itibar zedelenmesi gibi son derece önemli zararlara da yol açabilmektedir. Bu ve bunun gibi olumsuz sonuçlar ile karşılaşmamak ve bir süreci başarılı yönetmek kritik derecede önemlidir. Bundan ötürü projelerin planlanması ve plan doğrultusunda yönetilerek optimum sonuca ulaşılması bir projenin başarısını göstermektedir. Bunun yanı sıra bir süreci uçtan uca verimli bir şekilde planlamak ve söz konusu projeyi plan doğrultusunda yöneterek hayata geçirmek ise en az sürecin uygulanma aşaması kadar önemlidir.

Proje planlama ve yönetim süreci de bilimsel olarak, II. Dünya Savaşı döneminde kısıtlı kaynaklar ile optimum sonuca ulaşmaya yarayan Yöneylem Araştırması (YA) ile gerçekleştirilmektedir. Daha önceki proje deneyimleri olmadan veya bilimsel bir alt tabanı olmayan proje planlama girişimiyle, verimli ve gerçek hayat ile tutarlı sonuçlar elde edilmesi pek mümkün olamayacaktır. Bilimsel bir yöntem olan Yöneylem Araştırması karar verme sürecinde problemin matematiksel-istatistiksel modelini oluşturarak bu model üzerinden değerlendirme yaparak karar vericinin problemi hem niteliksel hem niceliksel olarak ele almasını sağlayarak karar alma sürecini kolaylaştırmaktadır. İnsanlığın gelişmesi ve endüstri alanlarının büyümesi ile her geçen gün yeni teknolojiler, yeni alternatifler, yeni kısıtlar ortaya çıkmaktadır. Bu durumda çalışma alanı fark etmeksizin iş süreçlerini daha karmaşık ve komplike bir hale getirmektedir. Bununla birlikte YA'na olan ihtiyaç gün geçtikçe artmıştır. Artan bu ihtiyaç ve oluşan yenilikler doğrultusunda da YA yöntemleri de gelişmektedir.

Yeniliklerin yaşandığı alternatiflerin arttığı hemen hemen her alanda haritaların altlık olarak kullanıldığı ve günümüzdeki birçok uygulamanın büyük bir çoğunluğunun konuma dayalı olduğu da bariz bir gerçektir. En basit online bir alışverişten, tarımcılık faaliyetlerinde kullanılan gelişmiş traktörlerin kullanılmasında bile haritalar kullanılmaktadır. Bu gerçek Harita Mühendisliği projelerinin de daha detaylı ve kapsamlı bir hale gelmesini sağlamıştır. Teknolojinin gelişmesi ile harita sektöründe kullanılan donanımlar, ölçme ve çizim yöntemleri başta olmak üzere haritacılık çözümlerinin yelpazesi oldukça genişlemiştir. Çeşitliliği artan Harita Mühendisliği projeleri, disiplinler arası projelerde de oldukça önemli bir yer etmiştir. Bu sebeple

haritacılık faaliyetlerinin en az maliyet ve en kısa sürede en verimli sonucu elde edecek şekilde planlanması son derece önemlidir. Bunun yanı sıra üretilen bilgilerin doğruluklarının da her zaman kabul edilebilir sınırlar içerisinde olması gerekmektedir. Bu noktada haritacılık sektörüne ait projelerde kullanılabilecek YA teknikleri farklı disiplinler tarafından oldukça sık kullanılsa da Harita Mühendisliği alanında daha nadir bir uygulamaya sahip olduğu yapılan literatür incelemesinden görülmektedir. Bununla birlikte kısıtlı literatür inceleme sonuçları, Yöneylem Araştırmasının oldukça geniş bir uygulama alanına sahip olan haritacılık disiplinininde genellikle tematik harita üretiminde ve arazi değerlemesinde kullanıldığını göstermektedir.

Bu çalışmada Yöneylem Araştırması tekniklerinin, Harita Mühendisliği projelerinin farklı bir alanında kullanımı ele alınmıştır. Çalışmada, Harita Mühendisliği disiplininin klasik uygulama alanlarından olan ‘Halihazır Harita Yapım Projesi’nde kullanılabilecek en uygun ölçme yönteminin YA tekniklerinin alt disiplini olan Çok Ölçütlü Karar Verme (ÇÖKV) yöntemlerinden ‘Analytical Hierarchy Process (AHP)/Analitik Hiyerarşi Süreci’ ve ‘Best-Worst Method (BWM)/En İyi En Kötü Yöntemi’ ile belirlenmesine dönük bir model ortaya konulmuştur. Bu kapsamda Balıkesir iline bağlı 16 ilçede gerçekleştirilen halihazır harita yapım işinin ‘Maliyet’, ‘Süre’, ‘Üretkenlik’ ve ‘Uygulama Kolaylığı’ ölçütleri/kriterleri dikkate alınarak ‘Yersel Ölçme Yöntemi’, ‘Fotogrametrik Ölçme Yöntemi’ ve ‘LiDAR Ölçme Yöntemi’ arasından en uygun olarak hangi yöntem ile projenin gerçekleştirilebileceğini belirleyebilmek için bir model önerisinde bulunulmuştur. Çalışma içerisinde her yöntem aynı çalışma koşulları ve aynı çalışma ekibi ile gerçekleştirilecek şekilde ele alınmıştır. Uygulanan tekniklerden elde edilen değerlendirmeler sonucunda ilgili dört ölçüte göre en uygun yöntemin sırasıyla ‘LiDAR Ölçme Yöntemi’, ‘Fotogrametrik Ölçme Yöntemi’ ve ‘Yersel Ölçme Yöntemi’ olduğu belirlenmiştir. Ölçütlerin önem sırası ise en yüksekte en düşük öneme sahip olacak şekilde ‘Maliyet’, ‘Süre’, ‘Üretkenlik’ ve ‘Uygulama Kolaylığı’dır.

Son olarak ise elde edilen modellerin doğruluğunu teyit etmek adına çalışmaya konu olan proje her 3 yöntem için ayrı ayrı Critical Path Method-Program Evaluation and Review Technique (CPM-PERT) yöntemiyle planlanmış ve elde edilen sonuçlar süre ve maliyet açısından birbirleri ile karşılaştırılmıştır. CPM-PERT ile yapılan planlama sonuçlarına göre en az süre ve en az maliyet ile projenin ‘LiDAR Ölçme Yöntemi’ ile tamamlanabileceği hesaplanırken ‘Yersel Ölçme Yöntemi’ ile de projenin en fazla maliyet ile tamamlanabileceği hesaplanmıştır (Maliyet hesabı yapılırken İller Bankası A.Ş. Yatırım Koordinasyon Dairesi Başkanlığı 2024 Yılı Sayısal Halihazır Harita Alım İşleri Birim Fiyatları esas alınmıştır). Bu sonuçlar doğrultusunda çalışmada kullanılan yöntemlerin hem birbirleri ile hem hayata geçirilen projenin çıktılarına göre tutarlı sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Böylece AHP ve BWM yöntemleri birbirleri ile kıyaslanarak yöntemlerin gerçeğe yakınlığı ve başarısı analiz edilirken, CPM-PERT yönteminin de kendi içerisinde uygulanabilirliği ve AHP ve BWM yöntemleri sonuçları ile tutarlılığı kontrol edilmiştir. Elde edilen tutarlı sonuçlar ile çalışma kapsamında kullanılan ÇÖKV yöntemlerinin haritacılık faaliyetlerindeki projelerde ve karar verme süreçlerinde de verimli ve başarılı bir şekilde kullanılabileceği ortaya konulmuştur. Çalışma kapsamında ortaya konulmaya çalışılan modelden elde edilen bu başarılı sonuçlar Yöneylem Araştırmasının haritacılık disiplini kapsamında hayata geçirilebilecek faaliyetlerde farklı bir bakış açısı ile kullanılabileceğini, proje yöneticilerinin karar verme mekanizmalarına katkı sağlayacak alternatif bir araç olacağını göstermiştir.

DETERMINATION OF THE MOST SUITABLE MEASUREMENT METHOD IN PLANNING GEOMATICS ENGINEERING PROJECTS WITH MULTI-ATTRIBUTE DECISION MAKING METHODS

SUMMARY

With the development of humanity and the world, many changes and innovations have emerged today. Although these changes and innovations provide some advantages to people, they have also brought some disadvantages such as the complexity of decision-making processes. As processes become more complex, it can negatively affect the management of the process and sometimes make the accuracy and success of the results more difficult. As processes become more complex, it negatively affects the management of the process and also the accuracy and success of the results. These disadvantages are not always easy to eliminate. On the other hand, regardless of the sector/discipline, reaching the targeted result in a project is very important in many different aspects. If a correct planning and management process can be implemented, more successful and beneficial results than the normally targeted result can be obtained. On the contrary, unsuccessful results of a project can lead to extremely important damages such as reputation damage. The unsuccessful results of a project can lead to extremely important damages such as reputation damage. It is critically important to avoid encountering such negative outcomes and to manage a process successfully. Therefore, planning projects and achieving the optimum result by managing them in line with the plan indicates the success of a project. In addition, planning a process efficiently from end to end and managing the project in line with the plan and implementing it is at least as important as the implementation phase of the process. For this reason, one should be very careful in the planning processes and use appropriate planning methods for the project. The more meticulous and accurate the planning, the smoother the management phase will be.

The project planning and management process is also scientifically carried out with Operations Research (OR), which was used to reach the optimum result with limited resources during World War II. Without previous project experience or with a project planning attempt that lacks a scientific basis, it will not be possible to achieve efficient and real-life consistent results. Operations research, which is a scientific method, facilitates the decision-making process by creating a mathematical-statistical model of the problem in the decision-making process and evaluating it through this model, allowing the decision maker to address the problem both qualitatively and quantitatively. With the development of humanity and the growth of industrial areas, new technologies, new alternatives and new restrictions emerge every day. In this case, regardless of the field of work, it makes business processes more complex and complicated. However, the need for YA has increased day by day. YA methods are also developing in line with this increasing need and innovations. These methods are listed among the Multi-Attribute Decision Making (MADM) methods, which is a sub-discipline of OR. These methods are basically divided into two as 'Deterministic' and 'Probabilistic'. There are some methods that are used quite frequently in decision-

making processes. Two of them are Analytical Hierarchy Process (AHP) and Best Worst Method (BWM). As new problems and processes emerge, these methods also develop with the aim of obtaining optimum results. Different studies are carried out by integrating existing methods with each other.

It is an obvious fact that maps are used as a base in almost every field where innovations are experienced and alternatives are increasing and that the vast majority of today's applications are location-based. Maps are used in everything from the simplest online shopping to even the use of advanced tractors used in agricultural activities. This fact has also enabled Geomatics Engineering projects to become more detailed and comprehensive. With the change in project needs, not only new needs have emerged, but also existing needs have changed and developed. In order to meet these needs, the hardware used in the mapping sector, measurement and drawing methods, and the solution tools used in mapping have also been developed. The range of solutions offered in direct proportion to this has also expanded considerably. Increasingly diverse Mapping Engineering projects have also taken a significant place in interdisciplinary projects. For this reason, it is extremely important to plan surveying activities in a way that will achieve the most efficient result at the lowest cost and in the shortest time. In addition, the degree of accuracy must always be within acceptable limits. At this point, although YA techniques that can be used in surveying sector projects are used quite frequently by different disciplines, it is seen from the literature review that it is a rare application area in Geomatics Engineering. As seen in the literature review, Operations Research is generally used in the production of thematic maps and land valuation in mapping activities. However, OR is a discipline that can be used in different decision-making processes without any boundaries in terms of application.

In this study, the use of Operations Research techniques in a different field of Surveying Engineering projects is discussed. In this study, the most suitable measurement method that can be used in the 'Base Map Production Project', which is one of the classical application areas in the discipline of Geomatics Engineering, is aimed to be determined with the 'Analytical Hierarchy Process (AHP)' and 'Best-Worst Method (BWM)' methods from the Multi-Attribute Decision Making sub-discipline of OR techniques. The most appropriate measurement method was determined by two different MADM methods, AHP and BWM, and these two methods were compared with each other. In this context, the current map production work carried out in approximately 20,000 hectares of residential/non-residential areas in 16 districts of Balıkesir province was taken as basis. In order to select the most appropriate measurement method, four different attribute that affect the process the most were determined: 'Cost', 'Time', 'Productivity' and 'Ease of Application'. By applying the mentioned MADM methods in line with the determined attribute, a model proposal was made to determine which method would be most suitable for the project among the 'Terrestrial Measurement', 'Photogrammetric Measurement' and 'LiDAR Measurement' methods. In the study, each method was considered to be carried out under the same working conditions and with the same working team. As a result of the evaluations obtained from the applied techniques, it was determined that the most suitable method according to the relevant four attribute was 'LiDAR Measurement Method', 'Photogrammetric Measurement Method' and 'Terrestrial Measurement Method', respectively. The order of importance of the attribute, from highest to lowest, is 'Cost', 'Time', 'Productivity' and 'Ease of Implementation'. In order to verify these results, the project in this study was planned separately for each of the 3 methods using

the Critical Path Method-Program Evaluation and Review Technique (CPM-PERT) method and the results obtained were compared with each other in terms of time and cost. AHP and BWM method results were compatible with each other and with CPM-PERT planning results.

According to the results of the study conducted with CPM-PERT, it was calculated that the project could be completed in 529 days and 2.5 million TL with the 'LiDAR Measurement Method', in 754 days and 3.1 million TL with the 'Photogrammetric Measurement Method', and in 625 days and at a cost of 8 million TL with the 'Terrestrial Measurement Method'. While calculating the cost and duration, the 'Iller Bank Inc. Investment Coordination Department Presidency 2024 Digital Base Map Production Works Unit Prices' used in mapping activities were taken as basis. Thus, while the AHP and BWM methods were compared with each other and the closeness to reality and success of the methods were analyzed, the applicability of the CPM-PERT method and its consistency with the results of the AHP and BWM methods were checked. In line with these results, it was observed that the methods used in the study were consistent with each other and with the outputs of the implemented project. The consistent results obtained revealed that the MADM methods used within the scope of the study can be used efficiently and successfully in projects and decision-making processes in mapping activities. These efficient results also prove that the limited application area of OR in mapping activities can be expanded. Using these three methods in a single project and comparing them with each other provided the study with a different perspective and rich content in terms of research. AHP and BWM techniques are used in the selection of equipment, tool brand and model as well as the selection of measurement methods. These choices are also factors that affect the results and the success of the project. The CPM-PERT method can also be applied in different business processes such as road construction projects, digital model production, etc., in addition to base map production projects. These successful results obtained from the model that was tried to be presented within the scope of the study showed that Operations Research can be used from a different perspective in activities that can be implemented within the scope of the cartography discipline and that it will be an alternative tool that will contribute to the decision-making mechanisms of project managers.



1. GİRİŞ

1.1 Tezin Amacı

İnsanların yaşamları boyunca karar vermesi gereken çok sayıda seçim anı bulunmaktadır. Bu seçimler kimi zaman gündelik hayat ile ilgili küçük, standart kararlar olurken kimi zaman daha büyük sonuçlara etki eden kararlar olabilmektedir. Yapılan seçimlerin sonuçlarınınsa birçok farklı açıdan etkileri söz konusudur. Bununla birlikte gün geçtikçe gelişen dünyamızda kişisel olsun profesyonel hayatımızda olsun birçok yenilik ortaya çıkmaktadır. Bu yenilikler beraberinde insanların pek çok alternatif arasından en verimli ve en ekonomik çözüme ulaşmasını da zorunlu hale getirmiştir. Bu noktada optimum çözüme ulaşmak için karar verme aşaması oldukça önemlidir. Karar verme süreci basite indirgenemeyecek, her bir parametrenin sonuca etkisinin önemi düşünülerek, adım adım ilerlenmesi gereken bir süreçtir. Her şeyden önce problemin ve seçeneklerin iyi anlaşılması gerekmektedir. Doğru kararlar, problemlerin doğru bir şekilde tanımlandığı ve ele alındığı durumlarda verilir. Aksi takdirde alınan yanlış kararlar sonuçları olumsuz etkileyecektir.

Söz konusu karar verme süreçleri mühendislik projelerinde de oldukça sık bir şekilde yöneticilerin gündemine gelmektedir. Her şeyin büyük bir hızla değiştiği günümüzde, farklı sektörlerde ortaya çıkan yenilikler yeni birçok alternatif ve kriteri de beraberinde getirmektedir. Sayısı artan alternatif ve ölçütlerin yanı sıra proje ve zaman yönetiminin de önemi oldukça artmıştır. Bu noktada süreçlerin bir proje yönetimi bakış açısıyla yönetilmesi oldukça yararlı olacaktır. Proje yönetimi, bir çalışmada hedeflenen sonucun elde edilebilmesi için kaynakların (insan, malzeme, donanım vd) ve zamanın planlanarak sürecin yönetilmesi disiplini. Bir projenin başarılı bir şekilde yönetilmesi de karar verme süreçlerinde doğru kararlar verilmesine bağlıdır. Yanlış alınan kararlar bir projeye olumsuz etki edebileceği gibi projenin sonunu dahi getirebilecektir. Bu sebeple hem projelerde karar verme süreci titizlikle gerçekleştirilmeli hem de proje dikkatli bir şekilde planlanmalıdır. Ardından plana uygun şekilde hayata geçirilmelidir. Bu iş akışındaki herhangi bir adımın hatalı bir

karara bağılı olarak yanlış atılması bütün projeyi tehlikeye atacaktır. Örneğin bir köprü yapımı işinde bütün süreç imalata başlamadan önce planlanır. Buna göre de projenin başlangıç ve bitiş tarihi, köprünün hangi kaynaklar ile ne kadar maliyetle tamamlanacağı planlanır. Projenin zamanında bitmemesi veya kaynakların doğru bir şekilde kullanılmaması sebebi ile standartlara uygun olmayan ve düşük kalitede bir işin/ürünün çıkması hem ekonomik açıdan olumsuzluklara sebep olabilecek hem de işi yapan tarafın güvenilirliği ve itibarını sarsabilecektir. İşte bu tarz yanlış kararların getirdiği başarısız proje yönetimleri projenin sonunu getirmekle kalmayıp kuruluşları da yapısal olarak ciddi olumsuzluklarla karşılaştırabilecektir. Buradan da açıkça görülebileceği üzere başarılı bir proje yönetimi temelde doğru karar verme sürecine dayanmaktadır. Tabi ki söz konusu karar verme süreçleri her zaman kolay olmamaktadır. Zira sonuca etki eden birçok etken bulunmaktadır. Bu sebeple bir projenin başarılı şekilde yürütülmesi için etki eden bütün ölçütler göz önünde bulundurulmalıdır. Ölçütlerin değerlendirilmesinde karar verici insan olduğundan kararlar subjektif olmaktadır. Bunun önüne geçebilmek ve verilen kararların objektif olması adına karar verme süreçlerinde belirli teknikler ve farklı yöntemler kullanılmaktadır. Fakat günümüzdeki yenilikler ile birlikte problemler daha çok karmaşıklaşmakta ve ölçütlerin sayısı her geçen gün artmaktadır. Bu kapsamda karar verme süreçlerinde basit yaklaşımlar yeterli olamamaktadır. Zira basit yaklaşımlar doğru tercihlerin yapılamamasında ve buna bağılı alınan kararların da isabetli olmamasına neden olabilmektedir.

Bu noktada karar alma (verme) süreçlerini daha profesyonel bir bakış açısıyla yürütebilmek için yöneticilere yardımcı olacak farklı çözüm algoritmaları ve yaklaşımlar bulunmaktadır. Bunlardan birisi Yöneylem Araştırması (YA) olarak bilinen, bir projenin öngörülen kaynak ve zaman içerisinde tamamlanabilmesi için neredeyse son 100 yıldır çok farklı alanlarda yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. YA adı altında gerçekleştirilen ilk faaliyetin II. Dünya Savaşı sırasında gerçekleştirildiği kabul edilmektedir. Yöneylem Araştırması kısıtlı kaynakların, çeşitli ölçüt ve alternatiflerin bulunduğu bir problemde en optimum sonuca varmayı hedefleyen bilimsel bir yaklaşımdır. Yöntem, optimum sonuca ulaşmayı hem kolaylaştırmakta hem de daha isabetli kararlar verme imkânı sağlamaktadır. Bu özellik proje yönetimi açısından oldukça önemlidir. Bir proje Yöneylem Araştırması ile planlandığında optimum kaynak ile en fazla verim elde edilebilmektedir. Burada

kastedilen kaynak sadece insan gücü olmayıp, zaman ve maliyet unsurlarını da içermektedir.

Günümüz bilim ve teknoloji alanında yaşanan gelişmeler, hemen her alanda olduğu gibi Harita Mühendisliği alanında da kendini göstermiş, bu meslek disiplininde de pek çok yeni uygulamalar ortaya çıkmıştır. Yüzyıllar boyunca tüm dünyada kullanılan en temel ölçme donanımı olan teodolitlerin yerini elektronik takeometreler almış; izleyen yıllarda ölçmeler GNSS (Global Navigation Satellite System/Küresel Konum Belirleme Sistemi) teknolojisi ile yapılabılır hale gelmiştir. Kamera teknolojisindeki gelişmeler, fotogrametrik ölçme yöntemlerindeki gelişmelerin de ivmesini arttırmıştır. Bunun da ötesine geçen teknoloji ise Light Detection And Radar (LiDAR) sistemi olmuştur. Kısacası Harita Mühendisliği alanında da teknolojiye bağlı olarak sürekli gelişmeler yaşanmaktadır. Harita Mühendisliği alanında amaç diğer pek çok mühendislik disiplininde olduğu gibi işlerin belirli kısıtlar altında (yönetmeliklere, standartlara, yasal mevzuata vb uygun olacak şekilde) daha önceden belirlenmiş amaçlar doğrultusunda, en uygun (en az) maliyet ve öngörülen (veya en kısa) sürede yerine getirmek üzere en uygun çözümün bulunarak, hayata geçirilmesidir. Dolayısıyla, projenin her bir faaliyetinin ve kendisinin hedeflendiği şekilde tamamlanabilmesi için her hususunun doğru şekilde değerlendirilmesi ve doğru karara varılması büyük önem taşımaktadır. Bu noktada birden çok kriterin/ölçütün olduğu problemlerde bu tür çözümler için YA'nın alt disiplini olan Çok Ölçütlü Karar Verme (ÇÖKV) yöntemleri kullanılabilmektedir. ÇÖKV yöntemleri birçok ölçüt ve alternatifin olduğu problemlerde öncelik sırasına göre karar vermeye yarayan bir süreç olup, 'Analytical Hierarchy Process (AHP)/Analitik Hiyerarşi Süreci' ve 'Best-Worst Method (BWM)/En İyi En Kötü Yöntemi' sık kullanılan karar verme yöntemlerindendir. Her ikisinde de ölçütler değerlendirilerek bir öncelik sıralaması yapılır ve bu öncelik sırasına göre karar verme süreci gerçekleştirilir. Bu çalışmada Harita Mühendisliği disiplininin en temel uygulama alanlarından birisi olan 'Halihazır Harita Yapım Projesi'nde kullanılabilecek en uygun ölçme yönteminin YA tekniklerinin alt disiplini olan ÇÖKV yöntemlerinden AHP ve BWM ile belirlenmesine dönük bir model ortaya konulmuştur. Çalışma kapsamında ele alınan bu yöntemlerle ilgili literatürde yapılan çalışmalar izleyen kısımda verilmiştir.

1.2 Literatür Taraması

Yöneylem Araştırması disiplini altında bulunan Analytical Hierarchy Process (AHP), Best-Worst Method (BWM) ile Critical Path Method (CPM) ve Program Evaluation and Review Technique (PERT) yöntemleri birçok farklı disiplinde ve sektörde olduğu gibi Harita Mühendisliği alanında da kullanılmaktadır. Her çalışmanın kendine özgü bir yapısı ve dinamiği olduğundan projeye göre farklı sonuçlar ve başarılar elde edilmektedir. Bu yöntemlerin Harita Mühendisliği ve farklı alanlarda nasıl kullanıldığına ve nasıl sonuçlar elde edildiğine dair bir literatür taraması yapılmıştır. Yapılan literatür incelemesine ait özet bilgiler aşağıda verilmiştir.

Rios ve Duarte (2021) yaptıkları çalışmada AHP yöntemi ile geniş çaplı güneş fotovoltaik projelerinin geliştirilmesi için Peru'da ideal alanların seçilmesi konusunu ele almıştır. Çalışmada alanların belirlenmesinde etken olan 33 faktör ve 7 kriter belirlenmiş, AHP yöntemi içerisinde seçilen kriterlerin ağırlıklarını belirlemek için de bir anket çalışması yapılmıştır. Elde edilen ağırlıklar kullanılarak AHP ile karar analizi yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda 'Son Derece Yeterli', 'Çok Yeterli', 'Yeterli', 'Marjinal Olarak Yeterli' ve 'Yetersiz' olmak üzere beş kategoriden oluşan bir uygunluk haritası üretilmiştir. Sonuçların doğruluğu mevcutta ülkede bulunan büyük ölçekli fotovoltaik tesislerin yerleri ile karşılaştırılarak teyit edilmiştir. Kullanılan metodolojinin zamanla geliştirilmesi ve diğer yenilenebilir enerji sistemleri için de uygulanabileceği önerilmiştir.

Sabilla Ajrina ve diğ. (2018) çalışmalarında, ihtiyacın arttığı yapı malzemelerinden olan kum taşının bulunduğu potansiyel madencilik alanlarının belirlenmesini amaçlamıştır. Çalışmada potansiyel kum taşı madenlerinin belirlenmesi için de AHP ve BWM yöntemleri kullanılarak bir harita üretilmiştir. Harita oluşturmak için maden çıkarımında etkili olan bazı kriterler belirlenmiştir. Bunlar: ana yola mesafe (C1), yerleşim alanına mesafe (C2), nüfus yoğunluğu (C3), litolojik durum (C4) ve morfolojik durum (C5). Her iki yöntem ile kriterlerin ağırlıkları belirlenmiştir. Yapılan analiz sonuçlarından en önemli iki kriter sırasıyla litoloji ve ana yola mesafe olarak bulunmuştur. Bu iki kriterin ağırlıkları sırasıyla AHP yönteminde C4 (%55.32), C1 (%26.72) iken BWM yönteminde C4 (%43.10), C1 (%24.60) olarak elde edilmiştir. BWM yöntemi daha basit ve yapılandırılmış bir karşılaştırma modeli ile daha tutarlı

ve güvenilir ağırlıklar sağlamıştır. Araştırmacılar, buldukları sonuçların madencilik alanları değerlendirmelerinde kullanılabileceğini ortaya koymuşlardır.

Ertunç ve Uyan (2022) tarafından yapılan çalışmada, arazi konsolidasyonu kapsamında yapılan arazi değerlemelerinde mevcut yöntemlerin eksikliklerini gidermeye dönük bilimsel ve nesnel bir yöntem geliştirilmiştir. ÇKKV yöntemleri kullanarak arazi değerlemesinde değere etki eden kriterler parsel alanı, parsel şekli, parsel statüsü (hisseli/hissersiz olması), toprak verimliliği, yerleşime uzaklık, yollara uzaklık, su kaynağına uzaklık, adil değeri olarak belirlenmiş, ardından söz konusu kriterler BWM ile değerlendirilerek her bir kritere ait ağırlık değerleri hesaplanmıştır. Bu analizler sonucunda üç farklı değerlendirme modeli oluşturulmuştur. Çalışma kapsamında BWM ile geliştirilen bu yenilikçi modellerin analitik, nesnel ve şeffaf bir arazi değerlemesi yapılabilmesine imkân sağladığı, modellerin şeffaflığının hem arazi sahiplerinin güvenini kazanacağı hem de arazi düzenlemelerinin kabul edilebilirliğini de artıracığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca BWM'nin bu alanda ilk kez uygulanmasının, gelecekteki araştırmalar için bir temel oluşturduğu vurgulanmıştır.

Çapraz (2011) çalışmasında Harita Mühendisliği faaliyetlerinden olan İmar Kanunu 18. madde (İmar Düzenlemesi) uygulamasını proje planlaması ile hayata geçirecek bir çalışma gerçekleştirmiştir. Bu kapsamda Yalova ili Hacı Mehmet köyünde 212362.63 m² yüzölçümüne sahip bir bölgede yapılacak imar düzenlemesinde CPM-PERT tekniği ile maliyet ve süre analizi yapılmıştır. Analiz sonucunda projenin haftaiçi 5 gün çalışma düzenine göre resmî tatiller dahilinde 7.5 ay süre ve 72,399 TL maliyet ile (1988 yılı itibarıyla) tamamlanabileceği görülmüştür. Çalışmada, proje planlama yöntemlerinin uygulanmasının projenin başarısını arttıracığı, genel olarak ise tüm harita faaliyetlerinde kullanılmasının yararlı olacağı belirtilmiştir.

Ceylan ve diğ. (2006), yaptıkları çalışmalarında sayısal harita üretim projesinde proje planlaması ve yönetiminin sağlayacağı katkıları ortaya koymayı amaçlamıştır. Bunun için Sivas Kızılcaışla köyünde 102 hektarlık bir bölgede yapılan sayısal halihazır harita yapım çalışması MS Project yazılımı kullanarak CPM-PERT yöntemi ile planlanmış, süre ve maliyet hesabı yapılmıştır. Yapılan proje planlaması ile 77 günü kapsayacak projenin 60 günde tamamlanabileceği ortaya konulmuştur. Çalışma, proje süresinin 17 gün daha az sürede ve 679,737,000 TL (2002 yılı itibarıyla) daha az maliyet ile yapılabilmesini göstermiştir.

Chivasa ve diğ. (2019) tarafından yapılan çalışmada Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve AHP yöntemlerini kullanarak Zimbabwe’de mısır üretimi için arazilerin uygunluk durumlarını gösteren bir harita yapılması amaçlanmıştır. Arazi uygunluğu yağış, sıcaklık, toprak tipi ve eğim gibi dört farklı tematik harita kullanılarak ÇKKV ile değerlendirilmiştir. AHP yöntemiyle de ağırlıklandırma işlemi yapılarak ‘Yüksek Uygun (%3.2)’, ‘Uygun (%16.6)’, ‘Orta Derecede Uygun (%25.3)’, ‘Marjinal Uygun (%32.3)’ ve ‘Uygun Olmayan Alanlar (%9.6)’ olmak üzere beş farklı derecede olacak şekilde uygunluk haritası üretilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde CBS ve AHP entegrasyonunun mısır üretimi için arazi uygunluk değerlendirmesinde başarılı bir yöntem olduğu görülmüştür.

Ergün (2006) çalışmasında Harita Mühendisliği faaliyetlerinde proje planlama ve yönetme tekniklerinin önemini vurgulayarak uluslararası bir proje örneği olan ‘Dekastri Terminal Saha Düzenlemesi ve Toprak İşleri Projesi’ üzerinden bu tekniklerin uygulanabilirliğini incelemiştir. Çalışmada GANTT diyagramları oluşturularak ve CPM-PERT yöntemi ile Primavera programıyla planlama yapılarak projenin üç ay gibi bir sürede yapılabileceği öngörülmüştür. Yapılan çalışma ile Harita Mühendisliği projelerinde çevresel faktörlerin önemi ve proje planlama/programlama yöntemlerinin optimum sonuç elde etmeye katkısı anlaşılmıştır.

Siddayao ve diğ. (2014) yaptıkları çalışmalarında AHP ve CBS yöntemleri ile Filipinler’in Enrile kasabasında sel taşkını risk analizi yapmışlardır. Bunun için öncelikle üç farklı mesafe kriteri belirlenerek AHP yöntemi ile kriterlere ait ağırlıklar belirlenmiştir. Bunlar: nüfus yoğunluğu, nehir kıyısına uzaklık ve yerleşim yeri. Elde edilen ağırlıklara göre en önemli kriter ‘Nehir kıyısına uzaklık’ iken en az öneme sahip kriter ‘Nüfus yoğunluğu’ olarak bulunmuştur. Kriter ağırlıkları baz alınarak Quantum GIS yazılımı ile beş farklı sınıftan oluşan bir ‘Sel taşkın risk haritası’ üretilmiştir. Çalışma sonucunda AHP ve CBS’nin entegrasyonunun, potansiyel sel taşkın bölgelerinin değerlendirilmesinde etkin bir araç olduğu görülmüştür. Araştırmacılar, yapılan çalışmanın doğal afet planlarının yapılmasına katkı sağlayacağını ifade etmişlerdir.

Kara ve Kemaldere (2019) tarafından yapılan çalışmada sayısal harita üretiminde Mobil LiDAR ve geleneksel Yersel Ölçme Yöntemi karşılaştırılmıştır. Yersel Ölçme Yönteminde GNSS ve total station aletleri kullanılmıştır. Ordu – Akkuş bölgesinde her iki yöntem ile yaklaşık 30,000 detay noktası ölçümü yapılmıştır. Ölçme işlemleri

sonucunda Mobil LiDAR ile elde edilen konum değerleri Yersel Ölçme Yöntemi ile elde edilen değerlere göre Y doğrultusunda 10 cm, X doğrultusunda 2 cm ve yükseklik olarak 3 cm farklılık göstermiştir. Elde edilen farklar BÖHHBÜY içerisinde kabul edilebilir sınırlar içerisinde kaldığından her iki yöntemin doğruluğu teyit edilse de Mobil LiDAR tekniğinin, Yersel Ölçme Yöntemleriyle desteklenmesi gerektiği vurgulanmıştır.

Ayalke ve Şisman (2022) çalışmalarında Atakum (Samsun) bölgesinde BWM yöntemi ile nominal arazi değer haritası üretmişler ve mevcut arazi satış değerleri ile karşılaştırmışlardır. BWM yöntemi ile 3 ana, 15 alt kriterle ait ağırlıklar hesaplanmıştır. Ardından elde edilen ağırlıklar ile çalışma konusu bölgeye ait uydu görüntüleri, Dijital Yükseklik Modelleri (DEM), emlak ofislerine ait ilgili bölgedeki satış değerleri ve imar planları CBS kullanılarak ‘Nominal arazi değer haritası’ üretilmiştir. Elde edilen değerler ve mevcut değerlerin karşılaştırma sonuçları, BWM-GIS entegrasyonunun önemini göstermiştir. Araştırmacılar bu yöntemin büyük ölçekli uygulamalarda hızlı ve etkili bir değerleme süreci sağlayabileceğini ve gayrimenkul değerlemesi alanına önemli bir katkı sağlayacağını ifade etmiştir.

Deveci ve diğ. (2021) çalışmalarında Türkiye'nin Ege Denizi kıyısında en uygun offshore rüzgâr enerjisi santrali yer seçimi için BWM ve Alternatiflerin Ölçümü ve Uzlaşma Çözümüne Göre Sıralama (MARCOS) yöntemlerinin birleştirildiği hibrit bir yaklaşım geliştirmiştir. Çalışma, dört alternatif bölge (Gökçeada, Bozcaada, Ayvalık, Saros Körfezi), 6 ana – 23 alt kriter ile gerçekleştirilmiş ve en uygun yer Bozcaada olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuç literatürdeki diğer ÇKKV teknikleri ile karşılaştırılarak doğrulanmıştır.

Ertunç ve Çay (2020) çalışmalarında Bayburt ve Gümüşhane illeri içerisinde havalimanı yapılması için en elverişli yerleri CBS ve AHP entegrasyonu ile belirlemeyi amaçlamıştır. Bu doğrultuda nüfus yoğunluğu, meteorolojik veriler, yükseklik, eğim, karayolu ağına yakınlık, il merkezine uzaklık olmak üzere havalimanı yer seçiminde önemli olan 6 kriter belirlenmiştir. Kriter ağırlıklarının belirlenmesinde AHP, uygunluk haritası üretiminde CBS kullanılmıştır. Uygunluk haritasında en uygun alanlar Gümüşhane il merkezi ve Köse ilçesi iken en uygun olmayan bölgeler ise Kürtün ve Torul ilçeleri olarak belirlenmiştir. Çalışma sonucuna bağlı olarak 2018 yılı Haziran ayında Gümüşhane'nin Köse ilçesi Salyazı köyünde Gümüşhane merkezine 67, Bayburt merkezine 47 kilometre mesafede havaalanı inşaatına başlanılmıştır.

Demirer ve Alkan (2015), yaptıkları çalışmalarında Yöneylem Araştırması tekniklerin mühendislik uygulamalarındaki kullanımını ve avantajlarını literatür taraması ile birlikte incelemiştir. Araştırma sonucunda YA'nın farklı disiplinlerdeki mühendislik alanlarında da rahatlıkla kullanılabileceğini ve Harita Mühendisliği alanında da kısıtlı da olsa uygulama alanları olduğu görülmüştür. Literatür taraması yapılarak YA tekniklerinin Harita Mühendisliği alanında da proje yöneticilerine büyük kolaylıklar sağladığı sonucuna varılmıştır.

Erden (2009) çalışmasında AHP-CBS entegrasyonu ile İstanbul ilinde yeni itfaiye istasyonları için en uygun yerleri belirlemeyi amaçlamıştır. İtfaiye istasyonlarının yerlerinin belirlenmesinde önemli olabilecek faktörler belirlenmiştir. Faktörlere ait ağırlık değerleri öğretim üyeleri ile itfaiye çalışanlarının görüşlerinden yararlanılarak AHP yöntemiyle belirlenmiş ve CBS ortamında en uygun yer analizi yapılmıştır. En uygun yer analizinde söz konusu çalışma alanı içerisinde Avrupa Yakası'nda 23 adet, Anadolu Yakası'nda ise 12 adet olmak üzere toplam 35 mevcut itfaiye istasyonu çalışmaya dahil edilmiştir. Bu 35 istasyondan 5'inin uluslararası bir standart olan '5 dk erişim zamanı'nı sağlamadığı görülmüştür. Sonuçlar incelendiğinde mevcut istasyonların yerlerinin aslında çok uygun olmadığı kanısına varılmış ve uygun olan yerlere itfaiye istasyonları kurulması önerilmiştir.

Uyan (2017) çalışmasında Konya ili Çumra ilçesinde güneş enerjisi santrali kurulabilecek en uygun alanları, Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ve Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) kullanarak belirlemeyi hedeflemiştir. Uygun yer seçimi için önemli olan ölçütler yol ve demiryolundan uzaklık, eğim, arazi kullanımı, yerleşim alanlarından uzaklık, trafo merkezine uzaklık, iletim hatlarından uzaklık olarak belirlenmiştir. AHP ile ölçütlere ait ağırlıklar belirlenerek CBS analizi ile de uygunluk haritası üretilmiştir. Çalışma alanının %1'i yüksek, %26'sı orta, %11'i düşük uygunlukta bulunurken %62'si ise hiç uygun bulunmamıştır. Sonuçlar incelendiğinde CBS tabanlı Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinin yer seçim süreçleri için önemli ölçüde katkıları olduğu anlaşılmıştır.

Mete ve Yomralıoğlu (2019) yaptıkları çalışmalarında taşınmaz değerlemesinde kullanılan farklı piksel boyutlarındaki haritalara ait farklı çözünürlük değerlerinin nominal değerlendirme yöntemi ile elde edilen sonuçlar üzerindeki etkilerini incelemiştir. Çalışma alanı olarak İstanbul'un Beyoğlu ve Gaziosmanpaşa ilçeleri seçilmiştir. Araştırmada 23 kriter belirlenmiş ve bu kriterlerin ağırlıkları Best Worst

Method (BWM) ile hesaplanmıştır. Nominal Değer Haritaları 1, 10, 50 ve 100 metre çözünürlük seviyesinde üretilmiştir. 10 metre ve 50 metre çözünürlükteki değerlerin, $\pm \%15$ 'lik kabul edilebilir hata sınırları içinde kaldığı gözlemlenmiştir. 100 metre çözünürlükteki değerlerin ise istenilen doğrulukta değer haritası üretmek için yeterli olmadığı sonucuna varılmıştır. BWM'nin karmaşık karar verme süreçlerini daha basit ve anlaşılır hale getirmesiyle taşınmaz değerlendirme gibi çok ölçütlü karar verme durumlarında büyük avantaj sağladığı sonucuna varılmıştır.

Gümüş ve diğ. (2019), çalışmalarında Niğde ilinde yapılacak alışveriş merkezi inşaatı için şehir içindeki en uygun yeri ÇKKV yöntemi ile belirlemeyi dönük bir uygulama gerçekleştirmiştir. Bunun için ÇKKV yöntemlerinden sık kullanılan AHP yöntemi, CBS ile birlikte kullanılmıştır. Alışveriş merkezinin konumunda etkili olan arazi özellikleri, sosyo-ekonomik özellikler ve erişilebilirlik ana kriterler olarak seçilmiştir. Bu kriterler, söz konusu alanda tecrübeli insanların görüşleri alınarak Delphi yöntemi ile ağırlıklandırılmıştır. Ardından ArcGIS yazılımı ile mekânsal analizler gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda Niğde-Bor aksı ve çevresi, Selçuk ve Aşağı Kayabaşı Mahalleleri alışveriş merkezi için uygun alanlar olarak belirlenmiştir. Yapılan bu çalışma ile ÇKKV ve CBS yöntemlerinin en uygun yer seçim çalışmalarında birlikte kullanılmasının karar vericilere bir rehber olduğu görülmüştür.

Uyan ve Yalpır (2016) çalışmalarında Konya ili içerisinde tıbbi atık sterilizasyon tesisi yer seçimini, bilimsel bir disiplin olan YA'yı CBS ile birleştirerek yapmışlardır. YA yöntemlerinden ise AHP yöntemi uygulanmıştır. Bu doğrultuda 6 ana ve 29 alt kriterden oluşan bir hiyerarşi oluşturulmuştur. AHP yöntemi ile elde edilen ağırlıklar kullanılarak ArcGIS yazılımı ile uygunluk haritaları oluşturulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre çalışma alanının $\%26.57$ 'si yüksek uygunlukta, $\%10.93$ 'ü orta uygunlukta, $\%62.5$ 'i ise düşük uygunlukta tespit edilmiştir. En uygun alanların şehirdeki rüzgâr yönünün tersi olan güney bölgeleri olduğu görülmüştür.

Demir (2023) yaptığı çalışmada AHP ve CBS yöntemlerini entegre bir şekilde kullanarak Kars şehir sınırları içerisinde arıcılığa elverişli alanları ve üretim potansiyellerini belirlemiştir. Kriterler Gezginci Arıcılık Yönetmeliğince ve literatür araştırmasına dayalı olarak belirlenmiştir. CBS analizlerinde kullanılacak veriler açık kaynaklardan elde edilmiştir. Kriterlere ait ağırlıklar belirlendikten sonra normalize edilen veriler ArcGIS yazılımı içerisinde işlenerek kriter haritaları üretilmiştir. Üretilen haritalara sınıflandırma işlemi yapıldığında çalışma alanının $\%50.3$ 'ünün

arıcılık üretimine elverişli olduğu bilgisi elde edilmiştir. Çalışma sonucundan elde edilen veriler arazi üzerinde yapılan saha araştırmaları ile karşılaştırıldığında çalışma içerisinde uygulanan yöntemin doğruluğu ayrıca teyit edilmiştir.

Pektezel (2015) çalışmasında iki farklı disiplinden olan AHP ve CBS yöntemlerini bir arada kullanarak Gelibolu Yarımadası'nda deprem duyarlılık analizi yapmıştır. İlk olarak çalışma alanının genel deprem riski tespit edilmiştir. Ardından deprem olma ihtimalini güçlendiren etmenler belirlenmiş ve kriter haritaları ArcGIS/ArcMap 10.2 ile üretilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre çalışma alanının %82.2'sinin deprem duyarlılığının diğer bölgelere oranla daha çok olduğu anlaşılmıştır. Diğer yandan Büyükanafarta, Kumköy, Ilgadere, Demirtepe ve Yolağzı ve çevre yerleşkelerin deprem hassasiyetinin ise çok yüksek olduğu bilgisi elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Gelibolu Yarımadası içerisinde yeni alan inşaatlarının yer seçiminde rehber olacak niteliktedir.

Yapılan literatür taramasından anlaşıldığı üzere Yöneylem Araştırması konusu, Harita Mühendisliği sektöründe daha ziyade zaman-maliyet optimizasyonu konusu olmak üzere dar bir uygulama alanında, kısıtlı bir şekilde ele alınmıştır. Bunun yanı sıra literatürde Harita Mühendisliği projelerinde yöntem seçimi, donanım seçimi gibi birden fazla seçeneğin olduğu ve proje sorumlusunun bu seçeneklerden hangisinin etkin, verimli ve/veya ekonomik çözüm olacağına karar verilmesinde YA'nın kullanıldığı bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmada, zaman-maliyet optimizasyonuna ek olarak bir proje yöneticisinin yöntem seçiminde YA tekniklerinden BWM ve AHP yöntemlerini kullanarak etkin bir karar verme mekanizmasının oluşturulmasına dönük bir model ortaya konulmuştur. Bununla birlikte çalışma kapsamında halihazır harita üretim aşamasında kullanılan AHP ve BWM yöntemlerin hangisinin en verimli çözümü sunduğunu belirleyebilmek için de gerçek bir proje üzerinde CPM-PERT yöntemiyle süre ve maliyet analizi yapılarak önerilen modelin doğrulaması ve uygulanabilirliği ortaya konulmuştur.

2. YÖNEYLEM ARAŞTIRMASI (YA)

2.1 Tarihsel Gelişimi

Yöneylem Araştırması (YA) birçok farklı alanda kullanılan bilimsel bir disiplindir. YA birden çok bileşenin bulunduğu problemlerde matematiksel modelleri, istatistiği ve algoritmaları kullanarak problemin çözümüne en uygun kararı vermeyi amaçlayan bir yaklaşımdır. Yöneylem Araştırması çözüm süreçlerinde matematik, istatistik, iktisat, mühendislik, psikoloji gibi birçok disiplinden yararlanmaktadır (Öztürk, 2013). YA'nın ilk tanımlarından sayılan bir tanım şöyledir: “Yöneylem Araştırması, yöneticilerin kontrolü altındaki süreçlere dair kararlarını nicel verilere dayandırarak destekleyen bilimsel bir yöntemdir” (Morse ve Kimball, 1951). Bu disiplinin ortaya çıkışı II. Dünya Savaşına dayansa da daha öncesinden bilimsel temelleri Frideriek Winslow Taylor'ın endüstride verimliliği artırmak amacıyla bilimsel yöntemleri baz alan sistematik çalışmalarıyla başlamıştır. Taylor geliştirdiği zaman etüdü, hareket etüdü ve teşvikli ücret sistemi gibi ‘Bilimsel Yönetimin İlkeleri’ kitabında yer alan yöntemleri geliştirerek modern iş yönetimine katkı sağlamıştır. Kendisinin geliştirdiği bu tarz yöntemler ve çalışmalar ‘Taylorizm’ olarak adlandırılmış ve Yöneylem Araştırması'nın öncüsü olmuştur (Kjeldsen, 2007). 1900'lü yıllarda Henry L. Gantt'ın planlama ve kontrol amacıyla geliştirdiği GANTT Şemaları günümüzün en çok kullanılan yöntemlerinden olan CPM ve PERT tekniklerinin temelini oluşturmuştur. Esasen GANTT Şemaları proje planlama çizelgesi olarak proje içerisinde neler yapıldığını, süreçlerin ne kadar sürdüğünü ve projenin ne zaman biteceğini gösteren çizelgelerdir. Taylor ve Gantt'ın yanı sıra A. Markov da 1907 yılında geçmiş ve mevcut olayların olasılıklarını kullanarak gelecekteki olasılıkları belirleyen Markov Analizi'nin temelini atmıştır. Bu teknik, Yöneylem Araştırması'nın önemli yöntemlerinden biri olarak geniş bir yelpazede, eğitimden finansa ve enerji planlamasına kadar birçok alanda uygulanmaktadır. Markov Analizi, karar verme süreçlerinde önemli rol oynamaktadır. Sonuç olarak ortaya çıkış tarihi olarak II. Dünya Savaşı'na işaret edilirken adı geçen bilim adamlarının söz konusu çalışmaları

Yöneylem Araştırması disiplininin oluşumunda temel ayakları oluşturmaktadır (Öztürk, 2013).

YA'nın temelleri ve tam olarak doğuşu II. Dünya Savaşı sırasında gerçekleşmekle birlikte ortaya çıkışında iki durum gösterilmektedir. Birinci durum Radio Detection And Ranging (RADAR) istasyonlarından elde edilen bilgilerin doğruluğunu teyit etme ihtiyacıdır. Buradan hareketle 1937 yılında İngiltere'de RADAR istasyonlarının eşgüdüm sorunlarını çözmek için A.P. Rowe başkanlığında bir çalışma ekibi kurulmuştur. İkinci durum II. Dünya Savaşı sırasında, Britanya'nın sınırlı askeri kaynaklarını etkili bir şekilde kullanma gerekliliğidir. Bu ihtiyaç doğrultusunda İngiliz askeri yetkilileri, hava ve kara savunmasına ilişkin stratejik sorunlara bilimsel çözümler üretmek amacıyla 1938 yılında Sir Robert Watson Watt ve A.P. Rowe'un yer aldığı bir ekip oluşturulmuştur. Askeri operasyonlara yönelik araştırmalar yürüten bu ekip, çalışmalarını 'Operations Research' (Türkçe adıyla 'Yöneylem Araştırması') olarak adlandırmıştır. Savaş sırasında kaynak kullanımı, lojistik, üretim planlaması ve çizelgeleme gibi karmaşık problemlerin çözümü için tecrübeye dayalı yaklaşımların yetersiz kalması, analitik yöntemlere olan ihtiyacı artırmıştır (Larnder, 1984). Daha sonra 1940 yılında bir YA ekibi daha kurulmuştur. Bu ekip RADAR'ların uçaksavar topçuluğunda kullanımını optimize etmek için Patrick Maynard Stuart Blackett tarafından "Blackett's Circus" adı ile bir araya gelmiştir. Bu ekip, fizikçilerden matematikçilere kadar farklı alanlardan uzmanlardan oluşarak YA'nın çok disiplinli doğasını yansıtmıştır. Blackett, İngiltere'de YA'nın gelişimine yaptığı katkılarla bu alanın öncüsü olmuş ve "Yöneylem Araştırması'nın Babası" unvanını kazanmıştır. Aynı zamanda kozmik radyasyon çalışmaları ve YA disiplinine sağladığı katkılardan dolayı Nobel Fizik Ödülü'ne layık görülmüştür. ABD de İngiltere'nin bu başarılı uygulamalarını fark ederek YA'nın kendi askeri stratejilerine adapte etmiştir. ABD'de YA'nın babası olarak adlandırılan kişi ise Philip Morse'dur. Morse'a bu ünvanı kazandıran çalışması ise 1942 yılında kurulan YA ekibindeki liderliği olarak gösterilmektedir. Morse önderliğindeki bu ekip denizaltı saldırılarına karşı stratejiler geliştirmiş ve bu yöntemleri savaşa entegre etmiştir (Gass ve Arjang, 2011; Kaplan, 2011).

Savaş sonrasında Yöneylem Araştırması, askeri alandan daha geniş bir yelpazeye yayılarak endüstri ve akademi dünyasında da kabul görmüştür. 1948 yılında MIT'de açılan ders ile YA, akademik bir disiplin olarak tanınmaya başlanmıştır. 1950'lerden

sonra ABD iş dünyası, sanayi sektöründe verimliliği arttırmak ve daha efektif yönetmek adına YA tekniklerini kullanmaya başlamıştır. Türkiye’de ise ilk YA faaliyetleri 1954’te Genelkurmay Başkanlığı bünyesinde kurulan İlmi İstişare Müdürlüğü’nde gerçekleşmiştir. Uygulamaya yönelik YA çalışmaları 1956’da liderliğinde Alb. Fuat Uluğ isminin olduğu, İlmi İstişare Müdürlüğü’ne bağlı olan ve 10 yedek subayın oluşturduğu tarihin ilk YA çalışma ekibi ile hayata geçirilmiştir. 1965 yılında TÜBİTAK (Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu) içerisinde Hareket Araştırma Bölümü’nün kurulmasıyla Türkiye’de YA’nın gelişimi hız kazanmış, 1973’te bu bölüm Marmara Araştırma Enstitüsü’ne taşınarak YA’nın sivil alanda uygulanmasının önünü açmıştır. 1975 yılında YA’nın bir meslek olarak tanınması amacıyla Yöneylem Araştırması Derneği kurulmuş ve bu kuruluş, disiplinin kurumsallaşmasında önemli bir adım olmuştur. 1992 yılında YA, “Sistem Analizi” adı altında yeniden yapılandırılmıştır. Bugün YA, eğitim, sağlık, enerji, lojistik ve üretim gibi pek çok alanda karmaşık problemlere yönelik etkili çözümler sunmaya devam eden dinamik bir bilim dalıdır (Öztürk, 2013).

2.2 Yöneylem Araştırması Teknikleri

Yöneylem Araştırması hastane yatak sayısı planlamasından tematik harita üretimine kadar oldukça geniş ve çeşitli bir uygulama alanına sahiptir. Birçok disipline ait çalışmalarda kullanılabiliyor olması Yöneylem Araştırmasına ‘disiplinler arası yaklaşım’ özelliğini ortaya çıkarmaktadır. Bu özelliğinin yanı sıra iki temel özelliği daha bulunmaktadır; bütünlük (sistem) yaklaşım ve bilimsel yaklaşım. Disiplinler arası yaklaşım özelliği YA’nın hem farklı disiplinlere ait çalışmalarda kullanılıyor olmasından hem de uygulama aşamasında farklı disiplinlerden yararlanmasından dolayı temel özellikler arasında yer almaktadır. Öyle ki bazı problemlerin çözümünde matematik, fizik, kimya ve sanat gibi çeşitli disiplinlerin kullanılması gerekmektedir. Bu ekipler, farklı disiplinlerin yöntemlerini bir araya getirerek yenilikçi çözümler üretir. Örneğin, bir şehir planlaması projesinde bir şehir düzeni kurulmasında şehir plancısı, mühendislerin ve inşaat işçileri gibi farklı meslek gruplarındaki insanların birlikte çalışması gerekir. Disiplinler arası yaklaşım, problemlere çok yönlü bir çözüm perspektifi kazandırır. Bütünlük (sistem) yaklaşım, söz konusu problemi tek bir etken ile değil karar verme aşamasını ve sonuçları etkileyen her türlü bileşen ile birlikte ele almayı temsil etmektedir. Bu yaklaşım özelliği herhangi bir değişkenin tüm süreci

etkilediğini savunmaktadır. Örneğin, bir çağrı merkezinin süreçlerini optimize ederken, mevsim trendi, altyapı uygunluğu, kaynak ve kapasite ihtiyacı gibi parametrelerin etkileri birlikte değerlendirilmektedir. Son özelliği ise bilimsel yaklaşımdır. Yöneylem Araştırması, zaten karmaşık karar verme süreçlerinde bilimsel bir yaklaşım ile çözüm üretme ihtiyacından ortaya çıkmıştır. Bilimsel yöntem, gözlem, hipotez geliştirme, sınama ve sonuç adımlarını içermektedir. YA'da bilimsel yöntemin uygulama süreci, problemin tanımlanmasıyla başlar. Daha sonra sistemin gözlemlenmesi, matematiksel bir modelin oluşturulması ve çözülmesi adımları gelir. Modelin gerçeğe uyumluluğunun test edilmesi ve elde edilen çözümün uygulanması, bilimsel yaklaşımın kritik aşamalarıdır. Bu süreçlerde subjektifliğe yol açmamak adına yalnızca nesnel ve ölçülebilir verilere dayanılmaktadır (Sökmen ve Yılmaz, 2021). Bu üç özellik, YA'nın karmaşık problemlere yönelik çözümlerinde bilimsel ve kapsamlı bir çerçeve sunar. Sistem yaklaşımı, problemleri tüm açılarıyla ele alırken, disiplinler arası yaklaşım farklı uzmanlıkların bir araya gelmesini sağlamaktadır. Bilimsel yöntem ise objektif ve bilime dayalı sonuçlar üretmektedir. YA, bu özellikleri sayesinde lojistik, sağlık, üretim, savunma ve kamu politikaları gibi çok çeşitli alanlarda etkin bir araç haline gelmiştir. Bu yaklaşımlar bir araya gelerek, YA'nın hem teorik hem de pratik uygulamalarda vazgeçilmez bir yöntem olmasını sağlar.

Çizelge 2.1'de görüldüğü üzere Yöneylem Araştırmasında kullanılan yöntemler ve yaklaşımlar, deterministik ve olasılıklı olmak üzere iki ana model altında sınıflandırılmaktadır (Demirer ve Alkan, 2015).

Çizelge 2.1 : Yöneylem teknikleri ve tanımlamalar.

Model Tipi	Yöntem	Tanım ve /veya Amaç
Olasılıklı	Doğrusal Programlama	Doğrusal bir fonksiyonu bazı kısıtlar altında en iyilemeye çalışan yöntem
	Tamsayılı Programlama	Bütün değişkenleri tamsayı olan doğrusal bir fonksiyonu bazı kısıtlar altında en iyilemeye çalışan yöntem
	Hedef Programlama	Birçok hedefi aynı anda ele alarak, hedeflerde oluşabilecek istenmeyen sapmaları en küçükleme çalışan yöntem
	Analitik Hiyerarşi Süreci	Birçok alternatifi birçok kritere göre değerlendirerek en iyi alternatifin seçilmesini sağlayan yöntem
	Ulaştırma ve Atama Modelleri	Belirli sayıdaki sağlayıcı merkezden belirli sayıdaki istem merkezine ürün ulaştırmadaki taşıma maliyetlerini minimize edecek dağıtım programını belirlemeye çalışan yöntem
	Doğrusal Olmayan Programlama	Doğrusal olmayan bir fonksiyonu bazı kısıtlar altında en iyilemeye çalışan yöntem
	Deterministik Dinamik Programlama	Birbirleriyle ilişkili kararlar alınması gereken problemlerde problemlerin küçük alt problemlere bölünerek alt çözümlerin bulunması ve bu çözümlerin birleştirilerek bütün problemin en iyi çözümünün bulunmasını amaçlayan yöntem (parametreler biliniyor)

Çizelge 2.1 (devam) : Yöneylem teknikleri ve tanımlamalar.

Model Tipi	Yöntem	Tanım ve /veya Amaç
Olasılıklı	Deterministik Stok Modelleri	Talebin bilindiği piyasa koşullarında yıllık toplam stok maliyetlerini en aza indireyecek üretim veya sipariş miktarını bulmaya çalışan yöntem
	Şebeke (Ağ) Analizi	En iyileme problemlerinin çözümünde grafik veya ağların kullanıldığı yöntemler
Deterministik	Markov Zincirleri	Değişkenlerin tutumlarını çözümleyerek, aynı değişkenlerin gelecekteki davranışlarını tahmin etmeye çalışan yöntem
	Kuyruk Teorisi	Fiziksel akışın olduğu mekânlarda hem hizmet verme maliyetini hem de hizmetleri bekleyen müşterileri dikkate alarak servis olanaklarının saptanmasını sağlayan ve en iyi giriş-çıkış sürelerini belirleyen yöntem
	Karar Analizi	Belirlilik, belirsizlik veya risk durumlarındaki karar verme süreçlerinde karar vericiye yardımcı olan yaklaşım
	Oyun Teorisi	Birbirine rakip olan tarafların davranışlarının nasıl olması gerektiğini inceleyen ve çözüm arayan yöntem
	Simülasyon	Gerçek durumu modelleyerek model üzerinden durum hakkında sonuçlar çıkaran yöntem
	Tahmin Modelleri	Geçmiş verilerden yola çıkarak geleceğe ilişkin tahminlerde bulunmaya çalışan yöntemler
	Olasılıklı Stok Modelleri	Talebin önceden bilinmediği veya olasılıklara göre belirlendiği piyasa koşullarında yıllık toplam stok maliyetlerini en aza indireyecek üretim veya sipariş miktarını bulmayı hedefleyen yöntem
	Olasılıklı Dinamik Programlama	Birbirleriyle ilişkili kararlar alınması gereken problemlerde problemlerin küçük alt problemlere bölünerek alt çözümlerin bulunması ve bu çözümlerin birleştirilerek bütün problemin en iyi çözümünün bulunmasını amaçlayan yöntem (parametreler bilinmiyor)

Yöneylem Araştırması deterministik ve olasılıklı modellerle farklı sorunlara sistematik ve bilimsel çözümler sunmaktadır.

2.3 CPM-PERT

CPM-PERT (Critical Path Method-Program Evaluation and Review Technique), projelerde zaman yönetimini sağlayan ve proje planlanmasını daha kolay ve basit hale getiren bir Yöneylem Araştırması yöntemidir. Bu yöntem Yöneylem Araştırması tekniklerinde deterministik bir model olan Şebeke (Ağ) Analizi yöntemi altında yer almaktadır. CPM-PERT yöntemi ile bir projenin hangi faaliyetler ve faaliyet sıralaması ile ne kadar süreceği belirlenebilmektedir. Faaliyetler ağ diyagramı üzerinde gösterildiğinden uygulayıcılar proje faaliyetleri arasındaki ilişkileri ve süreleri daha kolay anlayabilmektedir. CPM-PERT ile sadece süre değil aynı zamanda maliyet hesabı da yapılabilmektedir. CPM-PERT yöntemi uygulanırken birbirinden bağımsız olan proje faaliyetleri detaylı bir şekilde ifade edilmelidir. Faaliyetler arası geçerli olan ilişkiler üzerinde değişiklik yapılamadığından, ağ diyagramının çizilebilmesi için faaliyetlerin öncelik ilişkilerinin belirli olması gerekmektedir. Her

iki yöntem de bir projenin tamamlanması için gereken süreyi optimize etmek ve kritik görevleri belirlemek amacıyla kullanılır.

2.3.1 CPM yöntemi

CPM, ‘Critical Path Method’, ‘Kritik Yol Yöntemi’ olarak dilimizde ifade edilmektedir. CPM ağlarında proje, çalışma sürecinde yapılması gereken iş ve görev tanımlarından oluşmaktadır. Bu iş tanımları ‘Faaliyet’ olarak adlandırılmaktadır ve hayata geçirilmesi belirli bir süre alan ve süreç sırasında belirli kaynakların kullanıldığı operasyonlardır. Faaliyetler ise birbirine ‘Olay’lar ile bağlanmaktadır. Genel olarak bu yöntemde bir projenin tamamlanması için yapılması gereken faaliyetler listelenerek, faaliyetlerin süreleri ve öncelik durumları gösterilmektedir. Yöntem adında geçen kritik yol ise projenin başlangıcı ile bitişi arasındaki en uzun süren yoldur. Kritik yoldaki faaliyetlerin sürelerinde bir değişim olması projenin de süresinde değişim olması demektir. CPM yöntemi genellikle daha önceden gerçekleştirilmiş projeler için veya her bir faaliyetin tamamlanması için doğru bir zaman ve maliyet tahmininin yapılabileceği projeler için kullanılmaktadır. Örneğin, CPM daha önceden çok kere yapılmış olan projelerde oldukça kullanışlıdır. Ancak, araştırma ve geliştirme projeleri için uygun değildir (Punmia ve Khandelwal, 1982).

CPM yönteminde işlem adımları aşağıdaki gibidir:

- i-) İlişkiler şemasının (ağ diyagramının) hazırlanması,
- ii-) Olayların numaralanması,
- iii-) Zaman tahminlerinin yapılması,
- iv-) Projenin zaman sınırlarının belirlenmesi,
- v-) Kritik yolun belirlenmesi,
- vi-) İlişkiler şemasının programlanması,
- vii-) Programın takvim günlerine dönüştürülmesi.

Bu adımlar aşağıda kısaca açıklanmıştır.

i-) İlişkiler şemasının (ağ diyagramının) hazırlanması: CPM-PERT yönteminin uygulanmasında ilk olarak projedeki faaliyetlerin birbirleri ile ilişkilerini gösteren ağ diyagramı oluşturulmaktadır. Faaliyetler, diyagram olarak hazırlanırken proje yönünde ilerleyen oklar ile gösterilmektedir. Yukarıda bahsedilen ‘Olay’ kavramı bu noktada faaliyetler arası öncelik ilişkilerini göstermek için devreye girmektedir. İki olay en fazla bir faaliyet ile birbirine bağlanabilmektedir ve her olayın bir numarası

bulunmaktadır. Öncelik ilişkileri ağ diyagramının doğruluğu için oldukça önemlidir. İlişkiler şeması oluşturulurken bir faaliyet bitmeden diğerinin başlamamasına ve sadece birer tane başlama ve bitme olayı olmasına dikkat edilmelidir.

ii-) Olayların numaralanması: Ağ diyagramında olaylar akış yönüne göre numaralandırılmaktadır. Bunun için ya 0, 1, 2, ... gibi ardışık numaralandırma kullanılmakta ya da 5 veya 10'un katları ile numaralandırma yapılmaktadır.

iii-) Zaman tahminlerinin yapılması: Faaliyetler birbirinden ayrı yapılacağı düşünülerek daha önce gerçekleştirilen projelerden yararlanılarak veya deneyimli çalışanlarla görüşülerek faaliyetlere ait zaman tahminleri yapılır. Tahminler yapılırken projeye ait koşulların normal şartlar altında olduğu varsayılmaktadır. Etkinliklere ait süreler hep aynı birimde olmalıdır. Etkinlik süresi (D_{ij}) hesaplanırken etkinlik miktarı etkinliğin yapıldığı birim zamanda yapılan iş miktarına bölünmektedir.

iv-) Projenin zaman sınırlarının belirlenmesi: Faaliyetlere ait zaman tahminleri yapıldıktan sonra projenin başlangıç ve bitiş süresi olan zaman sınırları belirlenmektedir. Bunun için 'En Erken Olay Zamanı (T_E)' ve 'En Geç Olay Zamanı (T_L)' hesaplanmaktadır. Ağ Diyagramı'nda her okun (etkinliğin) başında (T_{E_i}) ve sonunda (T_{E_j}) en erken olay zamanı bulunmaktadır. T_E değerleri hesaplanırken baştan sona (ilk olaydan son olaya) doğru hareket edilmekte ve şemadaki ilk olaya ait T_E sıfır olmaktadır. Ardından gelen diğer olayların T_E değerlerini hesaplamak için de bir önceki olayın en erken olay zamanına etkinlik süresi eklenmektedir (2.1). Bir olaya birden fazla etkinlik ile gidilebiliyorsa T_E için bu farklı sürelerden en fazla (uzun) süre dikkate alınmaktadır.

$$T_{E_j} = \text{Max.}\{T_{E_i} + D_{ij}\} \quad (2.1)$$

Aynı zamanda her okun başında (T_{L_i}) ve sonunda (T_{L_j}) En Geç Olay Zamanları da bulunmaktadır. En Geç Olay Zamanı hesaplanırken En Erken Olay Zamanı hesabının tersi olarak sondan başa (son olaydan ilk olaya) doğru hareket edilmektedir. Böylece projedeki son faaliyetin En Geç Olay Zamanı, En Erken Olay Zamanına eşit olmaktadır. Bir olayda birden fazla etkinlik başlangıcı var ise her birinden geriye doğru hesapla elde edilen en az (kısa) süre, T_L olarak alınmaktadır (2.2).

$$T_{L_i} = \text{Min.}\{T_{L_j} - D_{ij}\} \quad (2.2)$$

v-) Kritik yolun belirlenmesi: Ağ Diyagramı'nda projenin tamamlanma süresi için toplamda en uzun olan yol, projenin kritik yoludur. Diğer bir deyişle projenin bitirilebileceği en kısa süredir. Kritik yoldan sonraki en uzun yol ise yarı kritik yol olarak ifade edilmektedir. Kritik etkinlikler birleştiğinde, projenin kritik yolu ortaya çıkmaktadır. Kritik yol şema üzerinde ya daha koyu veya farklı renkte veya gösterimde (diğer yollara kıyasla vurgulanarak vb) çizilmektedir. Bir etkinliğin kritik etkinlik olması için de üç şart bulunmaktadır:

- Etkinliğin başlangıcındaki ve sonundaki En Erken Olay Zamanları eşit olmalıdır,
- Etkinliğin başlangıcındaki ve sonundaki En Geç Olay Zamanları eşit olmalıdır,
- Etkinliğin başındaki ve sonundaki olay zamanları arasındaki fark, söz konusu etkinliğin tamamlanması için gerekli olan faaliyet süresine eşit olmalıdır.

Buradan anlaşıldığı üzere kritik yol aslında projenin tamamlanma süresini belirlemektedir. Dolayısıyla kritik etkinliklerin birinin tahmin edilenden daha uzun bir sürede bitirilmesi, projenin belirlenen süresinden daha geç bitecek olması anlamına gelmektedir.

vi-) İlişkiler şemasının programlanması: Faaliyetlerin zaman sınırları belirlendikten sonra faaliyetlerin zamanının belirlenmesi ile ilişkiler şeması programlanmaktadır. Faaliyet zamanları için dört farklı zaman vardır; En Erken Başlama Zamanı (ES), En Erken Bitirme Zamanı (EF), En Geç Başlama Zamanı (LS), En Geç Bitirme Zamanı (LF). ES , bir faaliyetin başlayabileceği en erken zamanı göstermektedir. Buradan hareketle projedeki ES etkinliğin başlangıcındaki T_{E_i} değerine eşittir. EF ise bir faaliyetin tamamlanabileceği en erken zamandır ve ES 'ye etkinlik için gereken sürenin eklenmesi ile bulunmaktadır. LS , bir faaliyetin en geç başlayabileceği zamanı ifade ederken LF de en geç bitirilebileceği zamanı yani en geç bitme zamanını ifade etmektedir. En geç zamanlarda aksama olması projenin belirlenen sürede tamamlanamaması anlamına gelmektedir.

Faaliyetler kritik olan ve olmayan olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Kritik yolun belirlenmesinde, faaliyetlerin bolluk (floats) değerleri hesaplanmaktadır. Kritik yol üzerindeki faaliyetlerin Toplam Bollukları (TF) sıfır (0) olmaktadır. Bu yüzden kritik etkinliklerin herhangi birindeki bir uzama, projenin planlanan süresinin uzaması anlamına gelmektedir. Toplam Bollukları sıfırdan farklı olan kritik olmayan

etkinlikler, projede belirtilen zaman aralıkları içerisinde tamamlandıklarında projenin süresi değişmemektedir. Bu sebeple bu etkinliklere kritik etkinliklerin aksine ‘bolluğu’ olan etkinlikler denilmektedir. En çok kullanılan bolluk türleri Toplam Bolluk (TF) ve Serbest Bolluk’tur (FF). Proje yönetiminde en etkili olan bolluk türü ise TF ’dir. ‘ $i - j$ ’ etkinliği En Erken Başlama Zamanında (T_{E_i}) başlamakta ve etkinlik süresince (D_{ij}) devam etmektedir. Söz konusu etkinliğin bittiği zaman ile j olayının En Geç Tamamlanma Zamanı (T_{L_j}) arasındaki süre farkına etkinliğin Toplam Bolluğu denmektedir. Bu değer aşağıdaki 2.3 bağıntısı ile hesaplanır:

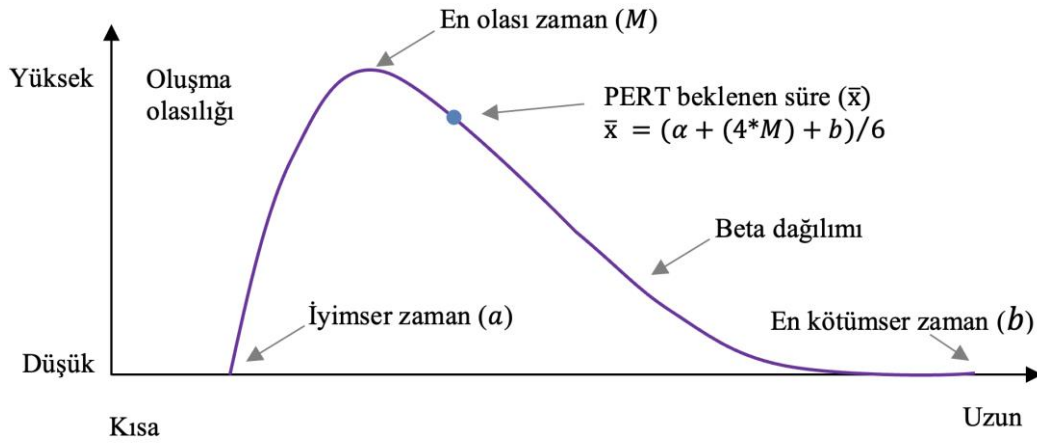
$$TF = T_{L_j} - [T_{E_i} + D_{ij}] \quad (2.3)$$

vii-) Programın takvim günlerine dönüştürülmesi: Son aşama ise projenin takvim günlerine çevrilmesi, yani projede yer alan faaliyetlerin spesifik olarak hangi tarih aralığında yapılacağını, dolayısıyla projenin de tamamlanacağı tarihin belirlenmesidir.

2.3.2 PERT yöntemi

PERT, ‘Program Evaluation and Review Technique’, Türkçe adı ile ‘Program Değerlendirme ve İnceleme Tekniği’ anlamına gelir. PERT yönteminde belirsiz faaliyetlerin planlanması ve programlanmasında zaman bir değişken olarak kullanılmaktadır. Temel olarak Deniz Kuvvetleri tarafından geliştirilmiştir. PERT yöntemi ilk kez 1958’de ABD Donanması tarafından Polaris Füze projesi için uygulanmıştır ve yöntem başarısını projenin beklenenden iki yıl önce tamamlanması ile göstermiştir. Türkiye’de ise Boğaziçi Köprüsü (yeni ismiyle 15 Temmuz Şehitler Köprüsü) ve Keban Barajı gibi büyük projelerde kullanılmıştır. CPM gibi bir Şebeke Analiz yöntemi olan PERT tekniğinde, projenin bitirilebilmesi için tamamlanması gereken olaylardan bir ağ diyagramı oluşturulmaktadır. CPM’den en önemli farkı zaman tahminlerinin olasılıklı olarak belirlenmesidir. PERT yöntemi, tekrarlanmayan, daha önce deneyimlenmemiş projelerde veya olayların tamamlanma süreleri hakkında tahmin yapılamadığı projelerde daha çok tercih edilmektedir. Bu tür projelerde, yönetimler tecrübeler ile yönlendirilemez. Söz konusu çalışmalar tek seferlik projelerdir. Örneğin, araştırma ve geliştirme projelerinde daha önce emsali olmayan bir proje için olası teknik sorun yelpazesi büyüktür. Bu tarz deneyimlenmemiş projelerde PERT yöntemi en uygun yöntemdir (Punmia ve Khandelwal, 1982). Deneyimlenmemiş projelerde kullanıldığından iş sürecindeki her bir iş tanımının

süresi doğru bir şekilde belirlenmelidir. Bununla birlikte aktivite süreleri, birbirinden bağımsız olduğu varsayılan stokastik değişkenlerle tanımlanmaktadır. PERT yönteminde de proje içerisindeki görevlerin sürelerinin dağılımının ‘Beta (β) Eğrisi’ şeklinde olduğu varsayılmaktadır. Dolayısıyla faaliyetlerin tamamlanma süreleri ile ilgili olasılıkların da bir β dağılımı (Şekil 2.1) meydana getirdiği kabul edilmektedir. PERT yönteminde hesaplamaya yapılırken görev tamamlanma sürelerine göre olasılıklar İyimser zaman (a), En olası zaman (M) ve En kötümser zaman (b)’ye göre desteklenmektedir. Bu subjektif değerlerin tanımlanma işlemine de PERT üç noktalı tahmin yöntemi denmektedir. PERT yönteminin asıl amacı proje zamanının dağılımını oluşturmaktır ve bu dağılım normal bir dağılımdır. $\bar{x}$ ortalama faaliyet süresine dayalı zaman analizinin bir sonucudur ve $\bar{x} = (\alpha + (4 * M) + b)/6$ formülü ile hesaplanmaktadır.



Şekil 2.1 : PERT – β dağılımı yoğunluk fonksiyonu (Hajdu ve Bokor, 2014).

Proje içerisindeki her faaliyete ait üçlü zaman tahmini yapıldıktan sonra varyans (2.4) ve varyansın pozitif karekökü alınarak da standart sapma değeri hesaplanabilmektedir.

$$\sigma_x^2 = \left(\frac{b - a}{6} \right)^2 \quad (2.4)$$

Standart sapma ise $\bar{x}$ süresinde tamamlanması beklenen bir projenin planlanmış olay zamanına (T_s) ulaşma ihtimalinin (Z) hesaplanmasında kullanılmaktadır (2.5).

$$Z = \left(\frac{T_s - \bar{x}}{\sigma} \right)^2 \quad (2.5)$$

Z değeri ise projenin en erken yüzde kaç olasılıkla ne kadar zamanda biteceği veya herhangi bir yüzde olasılıkla projenin ne kadar sürede biteceği gibi proje ile ilgili istatistiki pek çok bilgiye ulaşma imkânı sağlamaktadır. Bu istatiksel bilgileri elde etmek için Z değerin normal dağılım fonksiyonu üzerinde karşılık geldiği değeri belirlenmektedir. Bu değeri projenin ortalama tamamlanma süresinde ($\bar{x}$) tamamlanma ihtimalini vermektedir.





3. ÇOK ÖLÇÜTLÜ KARAR VERME (ÇÖKV)

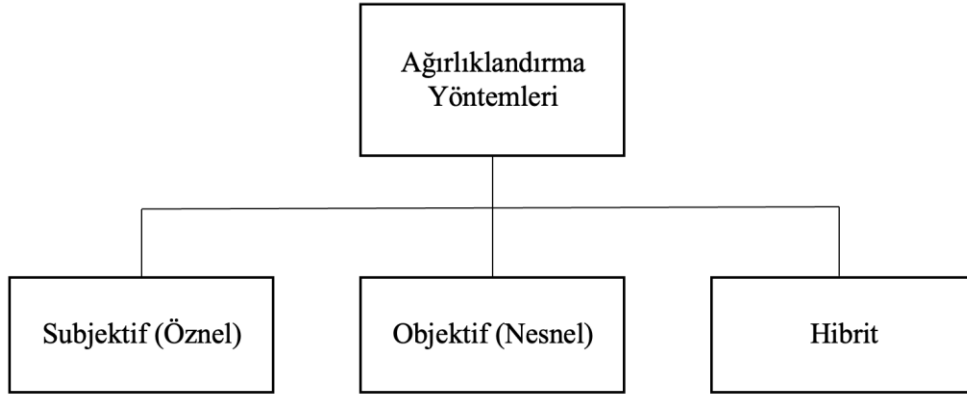
Gün geçtikçe dünya gelişmekte ve yeni teknolojiler, yeni donanımlar ve yeni kaynaklar ortaya çıkmaktadır. Bu yenilikler çeşitli alternatifler ve kolaylıklar sağlasa da aynı zamanda çeşitli problemleri ve karmaşık karar verme süreçlerini de beraberinde getirmektedir. Bütün bu gelişmeler ve yenilikler değişkenlik gösterse de süreçlerdeki amaç her zaman optimum sonucu elde etmektir. Bu doğrultuda karar verme süreçlerinde karar vericilerin, olaya etki eden bütün kriterleri göz önünde bulundurarak sonuçları her açıdan efektif olacak kararlar vermeleri gerekmektedir. Söz konusu karmaşık karar verme süreçlerinde etkin karar vermeyi sağlayan ve karar vericilerin işlerini kolaylaştıran ‘Çok Kriterli Karar Verme’ (ÇKKV) yöntemleri bulunmaktadır.

ÇKKV birçok kriter ve alternatifin olduğu karar verme problemlerinde karar verme anında problemi çeşitli açılardan değerlendirme, yapılandırma ve çözümlendirme imkânı sağlamaktadır (Aruldoss ve diğ, 2013). ÇKKV yöntemleri nitel ve nicel birçok farklı kriteri birlikte değerlendirmeye yarayan, bu sırada karar verme sürecine çok sayıda kişiyi dâhil ederek subjektif bir değerlendirme yapmayı sağlayan analitik yöntemlerdir (Dağdeviren ve diğ, 2005).

ÇKKV problemleri temelde ‘Çok Amaçlı Karar Verme’ (ÇAKV) ve ‘Çok Ölçütlü Karar Verme’ (ÇÖKV) olmak üzere iki kategoriye ayrılmaktadır. ÇKKV yöntemlerinde ölçütler ve alternatifler belirlenerek kendi aralarında değerlendirilmektedir. Ölçütlerin birbirlerine göre değerlendirilip önem derecelerinin belirlenmesinde ise Çok Ölçütlü Değer Teorisi, Ağırlıklı Çarpım Yöntemi ve AHP gibi birçok farklı yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemler de ÇAKV ve ÇÖKV altında sıralanabilmektedir (Ersöz ve Kabak, 2010).

ÇÖKV yöntemlerinde en önemli aşama ölçütlerin ağırlıklandırılmasıdır. Ölçüt ağırlıklandırmasında en basit ve kolay anlaşılır yöntem, ölçütlere göreceli olarak ağırlıklar vererek bu ağırlıkları eşit olarak dağıtan ‘eşit ağırlıklar’ yöntemidir. Söz

konusu ağırlıklandırma yöntemleri üç ana başlık altında incelenmektedir (Şekil 3.1) (Turan, 2023).



Şekil 3.1 : Ağırlıklandırma yöntemlerinin sınıflandırılması (Turan, 2023).

Subjektif değerlendirmeler karar vericinin kararları ile direkt olarak ilişkili olan, uzman değerlendirmesine dayanan yöntemlerdir. Objektif değerlendirmeler ise subjektif değerlendirmenin aksine karar vericinin tercihlerinden bağımsız olarak ağırlıkların matematiksel modeller ile belirlendiği modellerdir. Hibrit yöntem ise subjektif ve objektif yöntemlerin birlikte kullanıldığı bir yöntemdir. Ağırlıklandırma işlemi sonuca oldukça fazla etki eden önemli bir aşamadır. Çünkü herhangi bir ölçütün ağırlığının yanlış belirlenmesi kriterler arasındaki öncelik sıralamasının yanlış yapılmasına ve bu durumda nihai sonuca olumsuz olarak etki etmektedir (Turan, 2023). Bu üç ana başlık altında toplanan birçok farklı ağırlıklandırma yöntemi mevcuttur. Bu çalışmada ise söz konusu ÇÖKV yöntemlerinden AHP ve BWM yöntemleri kullanılmış olup, izleyen bölümlerde bunlar hakkında temel bilgiler paylaşılmıştır.

3.1 Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP)

Analitik Hiyerarşi Süreci yöntemi karar verme süreçlerinde en kullanışlı yöntemlerden biri olup 1970'li yıllarda Thomas Saaty tarafından teknik ve yönetsel problemlerde çözüm sunma amacı ile geliştirilmiştir. AHP en basit ifadesi ile bir karar verme yöntemidir. Bu yöntem, birden çok alternatif içerisinde alternatiflerin ve sonuca etkisi olan ölçütlerin karar vericinin bilgi ve deneyimlerine bağlı olarak değerlendirildiği bir karar verme yöntemidir. Değerlendirme işlemi karar vericinin tecrübesi ile bağlantılı olduğundan AHP yaklaşımı aslında karar vericinin davranışları ile uyumluluk

gösterirken problemi parçalara bölerek ele almaktadır. Problemi önce kademeli şekilde büyükten küçüğe bölmektedir. Ardından küçük parçalarda değerlendirme işlemleri yaparak küçükten büyüğe bağlantı kurmakta ve çözüme ulaşmaktadır. AHP yöntemi belirsizlik, sezgi ve rasyonelliğin olduğu problemler için oldukça uygundur. Kısacası alternatifler ve kriterler arasında öncelikler belirleyerek en uygun alternatifi seçmeye yarayan bir araçtır (Palcic ve Lalic, 2009).

AHP ikili ölçütler arası karşılaştırmalara yönelik bir ‘Öz Değer (Eigen Value)’ yaklaşım olmakla birlikte nitel ve nicel değerlendirme ölçmelerinin sayısal ölçeğini kalibre etmeye yarayan bir metodoloji sunmaktadır. Söz konusu sayısal ölçek 1’den 9’a kadar sayılar ile ifade edilmekte ve değerlendirme sonucunda önem derecelerini göstermektedir (Vaidya ve Kumar, 2006). Yöntem temel olarak 10 adım içermektedir:

- i-) Problemin belirlenmesi,
- ii-) Ana ve alt ölçütlerin belirlenmesi,
- iii-) Alternatiflerin belirlenmesi,
- iv-) Hiyerarşik yapının oluşturulması,
- v-) Önem derecelerinin belirlenmesi,
- vi-) Karşılaştırma matrislerinin oluşturulması,
- vii-) Ağırlık matrisinin oluşturulması,
- viii-) Tutarlılık Oranının (CI) hesaplanması,
- ix-) Öncelik sıralamasına göre seçim.

Bu adımlar aşağıda kısaca açıklanmıştır.

i-) Problemin belirlenmesi: Bir karar verme sürecinde en önemli adımlardan birisi problemin/amacın iyi tanımlanmasıdır. İlk olarak problem ve probleme dair ulaşılmak istenen hedef, sonuçlar göz önünde bulundurularak belirlenmektedir.

ii-) Ana ve ölçütlerin belirlenmesi: Problem belirlendikten sonra problemde etkin rol oynayan ve sonuca etki eden en önemli ana ve alt ölçütler belirlenmektedir.

iii-) Alternatiflerin belirlenmesi: Problem içerisinde ulaşılmak istenen hedefe hangi yöntem/araçlar ile ulaşılabileceği belirlenmektedir.

iv-) Hiyerarşik yapının oluşturulması: Hedeften başlayacak şekilde orta seviyede ölçütler en alt seviyede ise alternatifler olmak üzere piramit düzende yukarıdan aşağı olacak şekilde hiyerarşi oluşturulmaktadır. Hiyerarşi oluşturulurken aynı seviyedeki seçeneklerin birbirinden bağımsız olduğu varsayılmaktadır.

v-) Önem derecelerinin belirlenmesi: Ölçütler ve alternatifler kendi aralarında karşılaştırılarak her bir ölçüt ve alternatife ait önem dereceleri belirlenmektedir. Önem derecelerinin belirlenmesi aşamasında Saaty tarafından 1990’da geliştirilen önem dereceleri kullanılmaktadır (Çizelge 3.1) (Saaty, 1990).

Çizelge 3.1 : İkili karşılaştırmalarda kullanılan önem dereceleri (Saaty, 1990).

Mutlak Ölçekte Önem Dereceleri	Değer Tanımları	Açıklamalar
1	Eşit Önem	İki faaliyet hedefe eşit katkıda bulunur.
3	Bir Diğetine Göre Orta Önem	Deneyim ve değerlendirme bir faaliyeti diğetine göre kuvvetli bir şekilde destekler.
5	Esas veya Güçlü Önem	Deneyim ve değerlendirme bir faaliyeti diğetine göre kuvvetli bir şekilde destekler.
7	Çok Güçlü Önem	Bir faaliyet güçlü bir şekilde tercih edilir ve uygulamada üstünlüğü kanıtlanır.
9	Aşırı Önem	Bir faaliyeti diğetine tercih eden delil, mümkün olan en yüksek onay düzeyindedir.
2, 4, 6 ve 8	İki Ardışık Karar Arasındaki Ara Değerler	Bir uzlaşmaya ihtiyaç duyulduğu zaman.

vi-) Karşılaştırma matrislerinin (a) oluşturulması: ‘n’ sayıdaki ölçüt için ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulmaktadır. Oluşturulan matrislerde sütunlardaki elemanlar üzerinde toplama işlemi yapılmaktadır. Ardından matris içerisindeki her bir değer olduğu sütuna ait sütun toplamına bölünerek matrisler normalize edilmektedir (3.1). Buradan hareketle normalize edilmiş matrisin her bir sütun toplamı 1’e eşit olmaktadır.

$$a_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}}, \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (3.1)$$

vii-) Ağırlık matrisinin (w) oluşturulması: Ağırlıkların hesaplanabilmesi için normalize edilmiş matrisin satır toplamı, matrisin boyutuna bölünerek ortalaması alınarak her bir ölçüt için önem ağırlıkları hesaplanmaktadır (3.2). Bu ağırlıklar ile de öncelik vektörü oluşturulmaktadır. Böylece ölçütlerin birbirlerine göre önem değerlerini gösteren yüzde önem dağılımları elde edilmektedir.

$$w_i = \left(\frac{1}{n}\right) \sum_{i=1}^n a_{ij}, \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (3.2)$$

viii-) Tutarlılık oranının hesaplanması: Ölçütler arasında karşılaştırmaların yapılması, ağırlıkların ve önceliklerin belirlenmesinden sonra elde edilen değerlerin doğruluğunu teyit etmek için karşılaştırma matrislerinin tutarlılığı hesaplanmaktadır.

Sonuçların tutarlı olup olmadığını belirlemek adına “Tutarlılık İndeksi TI (Consistency Index-CI)” hesaplanmaktadır (3.3).

$$TI = \left(\frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \right) \quad (3.3)$$

TI içerisindeki λ_{max} değeri ise karşılaştırma ve ağırlık matrislerinden yola çıkılarak hesaplanmaktadır (3.4).

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} w_j}{w_i} \right) \quad (3.4)$$

Tutarlılığı değerlendirebilmek için “Rassal İndeks (Random Index-RI)” değerine de ihtiyaç bulunmaktadır. Bu değer 1980’de Saaty tarafından oluşturulmuş bir çizelgeden ölçüt sayısına göre belirlenmektedir (Çizelge 3.2) (Kwiesielewicz ve Uden, 2004).

Çizelge 3.2 : Rassal indeks değerleri (Kwiesielewicz ve Uden, 2004).

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Rassallık Göstergesi	0	0	0.58	0.9	0.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.59

“Tutarlılık Oranı TO (Consistency Ratio-CR)” TI ve RI değerleri kullanılarak hesaplanmaktadır (3.5).

$$TO = \frac{TI}{RI} \quad (3.5)$$

Tutarlılık oranı 0.10’dan küçük çıktığı durumlarda matrislerin ‘tutarlı’ olduğu kabul edilirken 0.10 değerinden büyük çıktığı durumlarda ‘tutarsız’ olduğu kabul edilmektedir.

ix-) Öncelik sıralamasına göre seçim: Matrislerin tutarlılığı teyit edildikten sonra ağırlık matrisinden elde edilen önem derecelerine göre ölçütler ve alternatifler yüksekten düşüğe olacak şekilde sıralanmaktadır. En yüksek öneme sahip alternatif en uygun alternatif olarak seçilmektedir (Uludağ ve Doğan, 2016).

Belirli anlayış, inanış ve değerlerin göz önünde bulundurularak önemli kriterlerinde sürece dahil edildiği zorlu karar verme süreçlerinde AHP yöntemi organize bir çözüm sunmaktadır (Saaty, 2008).

3.2 En İyi En Kötü Yöntemi (Best Worst Method-BWM)

En İyi ve Kötü Yöntemi 2015 yılında ÇÖKV problemlerini çözmek için Jafar Rezaei tarafından geliştirilen bir ÇÖKV yöntemidir. Rezaei mevcut ÇÖKV yöntemlerinde eksik bulunan yönleri göz önünde bulundurarak söz konusu yöntemi geliştirmiştir. Diğer yöntemlerde olduğu gibi BWM yöntemi de ölçütlerin kendi aralarında ikili olarak karşılaştırmasına dayansa da diğer yöntemlere göre daha az ikili karşılaştırma içermektedir. Bu durum da BWM yöntemini diğer yöntemlerden ayıran özellik olup BWM'nin sağladığı en büyük avantajlardandır. Daha az ikili karşılaştırmanın olması hem süreci daha basit bir hale getirmekte hem de elde edilen sonuçların tutarlılığının daha yüksek olmasını sağlamaktadır (Razaei, 2015). Razei tarafından geliştirilen BWM birçok araştırmacı tarafından birçok farklı çalışma içerisinde uygulanmıştır (Demir ve Bircan, 2020). Söz konusu yöntem 5 temel adımdan oluşmaktadır:

- i-) Ölçütlerin belirlenmesi,
- ii-) En iyi ve en kötü ölçütün belirlenmesi,
- iii-) En iyi ölçütün diğer ölçütler ile karşılaştırılması,
- iv-) En kötü ölçütün diğer ölçütler ile karşılaştırılması,
- v-) Ölçütlerin ağırlıklarının belirlenmesi.

Bu adımlar aşağıda kısaca açıklanmıştır.

i-) Ölçütlerin belirlenmesi: BWM yöntemi uygulanırken ilk olarak probleme ve hedefe etki eden n adette $(C_1, C_2, \dots, C_n)$ önemli ölçütün belirlenmesidir.

ii-) En iyi ve en kötü ölçütün belirlenmesi: Belirlenen ölçütler arasından en çok önemli olduğu düşünülen ölçüt 'En iyi', en az öneme sahip olduğu düşünülen ölçüt ise 'En kötü' ölçüt olarak seçilmektedir.

iii-) En iyi ölçütün diğer ölçütler ile karşılaştırılması: Belirlenen en iyi ölçüt diğer bütün ölçütlere göre 1'den 9'a kadar bir derece verilerek en iyi ölçütün diğer ölçütlere göre tercih oranı belirlenmektedir. Önem derecelerinin belirlenmesi aşamasında Saaty tarafından 1990'da geliştirilen önem dereceleri kullanılmaktadır (Çizelge 3.1) (Saaty, 1990). En iyi ölçütün diğer bir ölçüt ile karşılaştırılmasında 9 verilmesi diğer ölçüte göre en iyi ölçütün 'aşırı derece daha önemli' olduğunu ifade etmektedir. Bu

değerlendirme ile birlikte en iyi ölçütten diğer ölçütlere doğru ilerleyen Best-Others (A_B) adı verilen bir vektöre ulaşılmaktadır (3.6).

$$A_B = (a_{B1}, a_{B2}, \dots, a_{Bn}) \quad (3.6)$$

A_B vektörü içerisindeki her bir a_{Bj} elemanı en iyi ölçüt olan B ölçütünün j ölçütüne göre önem derecesini göstermektedir. Bu doğrultuda $a_{BB} = 1$ olmaktadır.

iv-) En kötü ölçütün diğer ölçütler ile karşılaştırılması: Saaty tarafından geliştirilen önem dereceleri (Çizelge 3.1) kullanılarak en kötü ölçütün diğer tüm ölçütlere göre tercih oranı belirlenmektedir. Böylece diğer ölçütlerde en kötü ölçüte ilerleyen A_W vektörü elde edilmektedir (3.7)

$$A_W = (a_{1W}, a_{2W}, \dots, a_{nW})^T \quad (3.7)$$

v-) Ölçütlerin ağırlıklarının belirlenmesi: En iyi ve en kötü ölçütün diğer ölçütlere göre tercih oranları kullanılarak ölçütlere ait ağırlık değerleri hesaplanmaktadır ($w_1^*, w_2^*, \dots, w_n^*$). Ölçütler için en uygun ağırlık değeri her bir w_B/w_j ve w_j/w_w çifti için sırasıyla $w_B/w_j = a_{Bj}$ ve $w_j/w_w = a_{jw}$ 'dir. Maksimum mutlak farklar min – max modelleri ile minimize edilmektedir (3.8).

$$\min \max_j = \{|w_B - a_{Bj}w_j|, |w_j - a_{jw}w_w|\} \quad (3.8)$$

Eşitlik 3.8'in sağlanabilmesi için Eşitlik 3.9 ve 3.10'daki şartların sağlanması gerekmektedir.

$$\sum_j w_j = 1 \quad (3.9)$$

$$w_j \geq 0, \text{ tüm } j' \text{ ler için} \quad (3.10)$$

Ardından tutarlılığı kontrol etmek için problem denklemini eşitlik 3.12 ve 3.13'teki doğrusal programlama modeline aktarılmaktadır.

$$\min \xi^L \geq 0 \quad (3.11)$$

$$\left| \frac{w_B}{w_j} - a_{Bj} \right| \leq \xi, \text{ tüm } j' \text{ ler için} \quad (3.12)$$

$$\left| \frac{w_j}{w_w} - a_{jw} \right| \leq \xi, \text{ tüm } j' \text{ ler için} \quad (3.13)$$

$$\sum_j w_j = 1 \quad (3.14)$$

$$w_j \geq 0, \text{ tüm } j' \text{ ler için} \quad (3.15)$$

Bütün bu eşitliklerin çözülmesiyle optimum ağırlıklar ve ξ değeri elde edilmektedir. ξ değeri BWM yöntemi ile yapılan değerlendirmelerin tutarlılık oranını göstermektedir. ξ değeri ne kadar yüksek ise yapılan karşılaştırmaların güvenilirliği de ters orantılı olacak şekilde o derece azdır. Tam tersi durumda ise söz konusu değer ne kadar düşük ise değerlendirmelerin güvenilirliğinin o denli yüksek olduğu kabul edilmektedir (Çakır ve Can, 2019).



4. UYGULAMA

4.1 Proje Hakkında Bilgi ve Veri Temini

Bu çalışmada, haritacılık sektöründe kullanılmakta olan farklı ölçme yöntemleri arasında, en efektif yöntemin hangisi olduğunun Yöneylem Araştırması tekniklerine dayalı bir yaklaşımla ortaya koyabilmek için Balıkesir iline ait bir halihazır harita üretim projesi üzerinde bir çalışma yapılmıştır. Çalışma kapsamında 2017 yılında Balıkesir ili Ayvalık, Balya, Bandırma, Bigadiç, Burhaniye, Edremit, Erdek, Gömeç, Gönen, İvrindi, Kepsut, Manyas, Marmara, Savaştepe, Sındırgı ve Susurluk ilçelerinde (Şekil 4.1) yaklaşık 20,000 hektarlık meskûn/gayrimeskun alanda yapılan bir halihazır harita yapım işinin ‘Yersel Ölçme’, ‘Fotogrametrik Ölçme’ ve ‘LiDAR Ölçme’ yöntemlerinden hangisi ile optimum şekilde gerçekleştirilebileceğini belirleyebilmek için ‘Maliyet’, ‘Süre’, ‘Üretkenlik’ ve ‘Uygulama Kolaylığı’ ölçütleri dikkate alınarak ‘Analytical Hierarchy Process (AHP)/Analitik Hiyerarşi Süreci’ ve ‘Best-Worst Method (BWM)/En İyi En Kötü Yöntemi’ne dayalı, iki farklı yaklaşım uygulanmıştır. Her iki yöntem ile yapılan analizlerden elde edilen sonuçları doğrulamak için söz konusu halihazır harita üretim projesi her 3 yöntemle de yapılacak şekilde ayrı ayrı CPM-PERT yöntemiyle planlanmış ve elde edilen sonuçlar, AHP ve BWM model yaklaşımlarıyla elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.1 : Halihazır harita üretim projesi çalışma alanı.

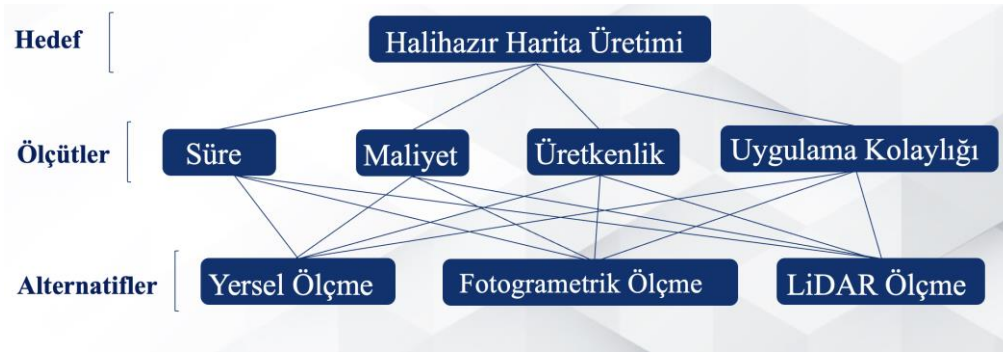
Projeye içerisindeki iş süreçleri “Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği’ne (BÖHHBÜY) uygun olarak yapılmıştır. Projeye ait veriler harita sektöründe faaliyet gösteren EMİ Grup tarafından sağlanmıştır. Bahsi geçen 20,000 hektarlık meskun ve gayrimeskun alana ait halihazır harita üretimi firma tarafından ‘Fotogrametrik Ölçme Yöntemi’ ile yapılmıştır. Bir halihazır harita üretirken kullanılabilecek yöntemler BÖHHBÜY’nin detay ölçmeleri başlığı altındaki; 45-1/a maddesinde “Detay noktaları; elektronik takeometre, GNSS, LİDAR veya diğer teknik ve yöntemler kullanılarak ölçülebilir” şeklinde ifade edilmektedir. Buradan hareketle söz konusu halihazır harita üretim projesinin Yersel Ölçme Yöntemi, LiDAR Ölçme Yöntemi veya Fotogrametrik Ölçme Yöntemi ile yapılabileceği çıkarılabilmektedir. Her üç yöntemle de halihazır harita çalışması yapılacağı varsayımıyla bu çalışma gerçekleştiği için nihai ürün olan halihazır haritanın doğruluğu ile ilgili Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği’nin 28-1/ç maddesinde yersel tekniklerle yapılan poligon ölçmelerinde nokta konum doğruluğunun ± 8 cm’den; 54-1 maddesinde de fotogrametrik yöntem ile elde edilen hava fotoğraflarının yer örnekleme aralığı, harita ve ortofoto ölçeğinin 1/5000 olması durumunda 30 cm’den, 1/2000 olması durumunda 20 cm’den, 1/1000 olması durumunda 10 cm’den, 1/500 olması durumunda 5 cm’den fazla olamayacağı belirtilmektedir.

Çalışma kapsamında projenin hangi yöntem ile en kısa süre ve en az maliyetle bitirileceğinin belirlenmesi doğrultusunda sürece etki eden ölçütler bir arada değerlendirilerek ölçütler ve yöntemler arasında bir önem sıralaması yapabilmek ve bu süreç içerisinde subjektifliği sağlayabilmek adına oluşturulmuştur. Anket çalışması İTÜ Harita Mühendisliği Bölümü’nde görev yapan öğretim üyeleri ile harita mühendislerinin yanı sıra Harita Mühendisliği Bölümünden mezun olup farklı alanlarda çalışan Harita Mühendisleri ile gerçekleştirilmiştir. Anket sonrası elde edilen değerler AHP ve BWM yöntemleri uygulanarak yöntemler arasında bir öncelik sıralaması yapılmıştır. Daha sonra elde edilen sonuçları doğrulamak adına CPM-PERT yöntemi ile halihazır üretim projesi her üç yöntem ile ayrı ayrı planlanarak maliyet ve süre açısından elde sonuçlar karşılaştırılarak tutarlılık analizleri yapılmıştır. Bu çerçevede yapılan çalışmalar, izleyen kısımlarda detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

4.2 AHP ve BWM ile En Uygun Yöntemin Belirlenmesi

Halihazır harita üretimi haritacılık faaliyetlerinin en temel uygulama alanlarından biridir. Halihazır harita üretiminde iki temel iş süreci vardır; saha çalışmaları ve büro çalışmaları. Saha çalışmaları temelde ilgili arazi üzerinde yapılan ölçme işlemlerini kapsarken büro çalışmaları yapılan ölçmelerden elde edilen verilerin değerlendirilerek sonuç ürünün hazırlanmasını kapsamaktadır. Elbette saha çalışmaları, büro çalışmalarına göre başta meteorolojik etmenler olmak üzere diğer pek çok dış faktörden daha fazla etkilenmektedir. Harita faaliyetlerinde pek çok yöntem ve donanım kullanılmış olmakla birlikte, teknolojik gelişmelere bağlı olarak pek çok farklı yöntem ve donanımlarla bu tür çalışmalar yapılmaya devam etmektedir. Mevcutta kullanılan farklı ölçme yöntemleri ve çeşitli etmenler de beraberinde seçim sürecini getirmektedir. Söz konusu karar verme süreci her projede olduğu gibi harita mühendisliği alanında yapılan projelerde de oldukça önemlidir. Karar verme süreçleri projenin başarısını direkt olarak etkilemektedir. İyi bir donanım seçilemediği durumda yapılan ölçmelerin hassasiyeti yetersiz olabilir, bu da projenin kalitesini doğrudan etkilemektedir. Öte yandan uygun yöntem seçilemediğinde proje gereğinden fazla bir süre içerisinde tamamlanabilmekte, bu durum da hem maliyet kaybına hem projeyi gerçekleştiren firmanın saygınlığına zarar verebilmektedir. Bu noktada doğru bir karar verme süreci ile birlikte başarılı bir proje yönetiminin yapılması gerekmektedir.

Bir projenin baştan sona başarılı bir şekilde yönetilmesi de iyi bir proje planlamasına ve bu plana sadık bir şekilde hayata geçirilmesine bağlıdır. Bu çerçevede halihazır harita üretim sürecinin planlamasında hedef, ölçütler ve alternatiflerden oluşan bir hiyerarşi oluşturulmuştur (Şekil 4.2). Hiyerarşi oluşturulurken öncelikle hedef hiyerarşinin en üstüne yerleştirilmiştir. Hedef doğrultusunda en uygun ölçme yönteminin belirlenmesinde Çok Ölçütlü Karar Verme yöntemlerinden olan AHP ve BWM yöntemleri uygulanmıştır. Amaç belirlendikten sonra proje çerçevesinde amaca ve sonuca etki eden ölçütler belirlenmiştir. Süreçlerde birçok ölçüt olsa da seçim aşamasında en çok etki eden ölçütler belirlenmiştir. Proje kapsamında halihazır harita üretiminde etkin rol oynayan ölçütler ‘Süre’, ‘Maliyet’, ‘Üretkenlik’ ve Uygulama Kolaylığı’ olarak seçilmiştir. Son olarak ise seçim yapılacak alternatifler (ölçme yöntemleri) yine proje çerçevesinde Yersel Ölçme Yöntemi, Fotogrametrik Ölçme Yöntemi ve LiDAR Ölçme Yöntemi olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.2 : Ölçme yönteminin belirlenmesi için oluşturulan hiyerarşi.

AHP ile BWM yönteminde ölçütlerin ve alternatiflerin önem puanlarını objektif bir şekilde belirlemek için ikili karşılaştırmalar anket çalışması ile yapılmıştır.

4.2.1 Önem derecelerinin belirlenmesinde anket çalışması

Yöntem seçiminin belirlenmesinde AHP ve BWM modellerini uygulamak için ilk olarak ölçütlerin ağırlıkları belirlenmektedir. Ağırlıkların belirlenmesi ölçütlerin ikili matrisler halinde karşılaştırılmasıyla yapılmaktadır. İkili karşılaştırmalarda objektif olabilmek için karşılaştırmaların birden çok kişi ile yapılarak elde edilen sonuçların ortalamasının kullanılmasına karar verilmiştir. Her iki yöntemde de hedef, ölçütler, alternatifler ve değerlendirme ölçeği aynıdır. Anket bir halihazır harita üretim süreci hakkında bilgisi olan 10 farklı kişi ile yapılmıştır. 10 kişiden 2'si 2 yıllık deneyime sahip Harita Mühendisidir. 3 kişi aktif olarak harita sektöründe çalışmayan fakat Harita Mühendisliği lisans eğitimi tamamlamış mühendistir. Ayrıca içlerinden birisi alanında yüksek lisans öğrencisidir. Diğer 5 kişinin 1'i profesör, 1'i doçent doktor, 3'ü de araştırma görevlisi olan Harita Mühendisliği bölümündeki öğretim elemanlarıdır. Anketin Harita Mühendisliği disiplinine ait aktif olarak sektörde çalışan ve çalışmayan kişiler ile yapılmış olması karşılaştırmaların subjektiflikten uzaklaşmasına katkıda bulunmaktadır.

4.2.1.1 AHP anket uygulaması

AHP yönteminde sadece ölçütlerin değil alternatiflerin de ağırlıkları belirlenmektedir. Her ikisinde de ikili karşılaştırmalar söz konusudur. Buradan hareketle bu yöntemde karşılaştırmalar iki farklı aşamada yapılmaktadır. Öncelikle alternatifler ölçüt bazında ele alınarak değerlendirilmiştir (Çizelge 4.1). Örneğin alternatifler sadece 'Maliyet' ölçütü düşünülerek diğer ölçütlerin etkisi düşünülmeden kendi içlerinde karşılaştırılmıştır. Alternatifler arasında yapılan bu karşılaştırma her bir ölçüt için

tekrarlanmıştır. Bir yöntem ölçüt fark etmeksizin kendisi ile karşılaştırıldığında ‘1’ önem puanını almaktadır. Çünkü ikisi de aynı yöntem olduğundan ikisinden birinin diğer yöntemle karşı herhangi bir üstünlüğü söz konusu değildir.

Çizelge 4.1 : Ölçüt bazında alternatiflere ait karşılaştırma matrisleri.

SÜRE			MALİYET			
	Fotogrametri	LiDAR	Yersel	Fotogrametri	LiDAR	Yersel
Fotogrametri	1			Fotogrametri	1	
LiDAR		1		LiDAR		1
Yersel			1	Yersel		1

ÜRETKENLİK			UYGULAMA KOLAYLIĞI			
	Fotogrametri	LiDAR	Yersel	Fotogrametri	LiDAR	Yersel
Fotogrametri	1			Fotogrametri	1	
LiDAR		1		LiDAR		1
Yersel			1	Yersel		1

Ardından ölçütler kendi içlerinde karşılaştırılmıştır (Çizelge 4.2). Bu karşılaştırmada ise alternatifler düşünülmeden sadece ölçütlerin proje üzerindeki etkisi düşünülerek sadece ölçütler arasında karşılaştırma yapılmıştır.

Çizelge 4.2 : Ölçüt karşılaştırma matrisi örneği.

ÖLÇÜTLER				
	Süre	Üretkenlik	Maliyet	Uygulama Kolaylığı
Süre				
Üretkenlik				
Maliyet				
Uygulama Kolaylığı				

Karşılaştırma sürecini daha iyi anlamak adına örnek olarak çizelge 4.3’teki “Süre” ölçütünün temel alındığı alternatif karşılaştırması ele alınmıştır. Örnek incelendiğinde ‘Süre’ açısından ‘LiDAR Ölçme’ yöntemine ‘Fotogrametrik Ölçme’ yöntemine göre ‘Çok Güçlü Önem’e sahip olan ‘7’ derecesi verilmiştir. Tam tersi olan değerlendirme ise ‘Fotogrametrik Ölçme’ yönteminin ‘LiDAR Ölçme’ yöntemine göre değerlendirilmesidir. Burada ise derecelendirme 1/7 olarak ele alınmaktadır.

Çizelge 4.3 : Süre ölçütü temelli alternatif karşılaştırma matrisi örneği.

SÜRE			
	Fotogrametrik Ölçme	LiDAR Ölçme	Yersel Ölçme
Fotogrametrik Ölçme	1	1/7	1/5
LiDAR Ölçme	7	1	3
Yersel Ölçme	5	1/3	1

4.2.1.2 BWM anket uygulaması

BWM yönteminde ise derecelendirme sadece ölçütler arasında olmakla birlikte iki aşamada yapılmaktadır. İlk olarak karar verici, ölçütler arasından kendi bilgi ve tecrübelerinden yola çıkarak ‘En Çok Öneme Sahip’ ve ‘En Az Öneme Sahip’ ölçütü seçmektedir. Derecelendirme bu iki ölçüt üzerinden yapılmaktadır. Bu yöntemin AHP’ye göre olan farkı ise bu noktada ortaya çıkmaktadır. Belirlenen bu iki ölçüt baz alınarak sadece iki tane karşılaştırma yapılmaktadır bu da AHP’ye göre daha az ikili karşılaştırma demektir. Yapılan değerlendirme sonucunda ‘En Çok Öneme Sahip’ ölçüt ‘Maliyet’ ölçütü seçilirken ‘En Az Öneme Sahip’ ölçüt ise ‘Uygulama Kolaylığı’ olarak bulunmuştur. Ardından karşılaştırma işlemi yapılarak ‘En Çok Öneme Sahip’ olarak seçilen ‘Maliyet’ ölçütü her bir ölçüt ile karşılaştırılmıştır. Ardından aynı karşılaştırma süreci ‘En Az Öneme Sahip’ olarak seçilen ‘Uygulama Kolaylığı’ ölçütü için de uygulanmıştır (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.4 : BWM karşılaştırma matrisleri.

En Çok Öneme Sahip Ölçüt	Süre	Üretkenlik	Maliyet	Uygulama Kolaylığı
Maliyet				
En Az Öneme Sahip Ölçüt	Uygulama Kolaylığı			
Süre				
Üretkenlik				
Maliyet				
Uygulama Kolaylığı				

Karşılaştırma matrislerinde kullanılan önem dereceleri AHP yönteminde kullanılan dereceler ile aynıdır.

4.2.2 AHP ve BWM modellerinin anket sonuçlarına göre uygulanması

4.2.2.1 AHP modeli uygulama sonuçları

Yapılan anket çalışmasında elde edilen 10 farklı ankete ait sonuçların geometrik ortalaması alınarak nihai karşılaştırma matrisleri (A) elde edilmiştir (Çizelge 4.5, Çizelge 4.6). Ardından matris hücrelerindeki değerler sütun toplamına bölünerek normalize edilmiş karşılaştırma matrisleri (Çizelge 4.7, Çizelge 4.8) hesaplanmıştır. Bu işlem aslında adından da anlaşılacağı üzere bir normalize etme sürecidir. Bu matrislerdeki satır ortalamaları da ölçüt bazında alternatiflere ve ölçütlere ait ağırlıkları vermektedir.

Çizelge 4.5 : Ölçüt bazında alternatiflere ait karşılaştırma matrisleri.

SÜRE				MALİYET			
	Fotogrametrik	LiDAR	Yersel		Fotogrametrik	LiDAR	Yersel
Fotogrametrik	1	1/7	1/5	Fotogrametrik	1	1/3	7
LiDAR	7	1	3	LiDAR	3	1	9
Yersel	5	1/3	1	Yersel	1/7	1/9	1
TOPLAM	13.0	1.5	4.2	TOPLAM	4.1	1.4	17.0

ÜRETKENLİK				UYGULAMA KOLAYLIĞI			
	Fotogrametrik	LiDAR	Yersel		Fotogrametrik	LiDAR	Yersel
Fotogrametrik	1	3	9	Fotogrametrik	1	1/3	7
LiDAR	1/3	1	7	LiDAR	3	1	9
Yersel	1/9	1/7	1	Yersel	1/7	1/9	1
TOPLAM	1.4	4.1	17.0	TOPLAM	4.1	1.4	17.0

Çizelge 4.6 : Ölçütlere ait karşılaştırma matrisi.

	SÜRE	ÜRETKENLİK	MALİYET	UYGULAMA KOL.
SÜRE	1	3	1/3	7
ÜRETKENLİK	1/3	1	1/7	5
MALİYET	3	7	1	9
UYGULAMA KOL.	1/7	1/5	1/9	1
TOPLAM	4.5	11.2	1.6	22.0

Çizelge 4.7 : Normalize edilmiş alternatiflerin karşılaştırma matrisleri.

SÜRE					A*W	D
	Fotogrametrik	LiDAR	Yersel	Ölçüt Ağırlıkları (W)	0.22	3.01
Fotogrametrik	0.08	0.10	0.05	0.07	2.01	3.12
LiDAR	0.54	0.68	0.71	0.65	0.87	3.06
Yersel	0.38	0.22	0.24	0.28	LAMDA	3.07
TOPLAM	1	1	1	1	TI	0.03
					TO	0.06

ÜRETKENLİK					A*W	D
	Fotogrametrik	LiDAR	Yersel	Ölçüt Ağırlıkları (W)	2.04	3.15
Fotogrametrik	0.69	0.72	0.53	0.65	0.91	3.08
LiDAR	0.23	0.24	0.41	0.29	0.17	3.01
Yersel	0.08	0.04	0.06	0.06	LAMDA	3.08
TOPLAM	1	1	1	1	TI	0.04
					TO	0.07

MALİYET					A*W	D
	Fotogrametrik	LiDAR	Yersel	Ölçüt Ağırlıkları (W)	0.91	3.08
Fotogrametrik	0.24	0.23	0.41	0.29	2.04	3.15
LiDAR	0.72	0.69	0.53	0.65	0.17	3.01
Yersel	0.04	0.08	0.06	0.06	LAMDA	3.08
TOPLAM	1	1	1	1	TI	0.04
					TO	0.07

Çizelge 4.7 (devam) : Normalize edilmiş alternatiflerin karşılaştırma matrisleri.

UYGULAMA KOLAYLIĞI					A*W	D
	Fotogrametrik	LiDAR	Yersel	Ölçüt Ağırlıkları (W)	0.91	3.08
Fotogrametrik	0.24	0.23	0.41	0.29	2.04	3.15
LiDAR	0.72	0.69	0.53	0.65	0.17	3.01
Yersel	0.04	0.08	0.06	0.06	LAMDA	3.08
TOPLAM	1	1	1	1	TI	0.04
					TO	0.07

Çizelge 4.8 : Ölçütlere ait normalize edilmiş karşılaştırma matrisi.

ÖLÇÜTLER						A*D	D
	SÜRE	ÜRETKENLİK	MALİYET	UYGULAMA KOL.	Ölçüt Ağırlıkları (W)	1.10	4.31
SÜRE	0.22	0.27	0.21	0.32	0.26	0.50	4.12
ÜRETKENLİK	0.07	0.09	0.09	0.23	0.12	2.56	4.39
MALİYET	0.67	0.63	0.63	0.41	0.58	0.17	4.03
UYGULAMA KOL.	0.03	0.02	0.07	0.05	0.04	Lamda	4.21
TOPLAM	1	1	1	1	1	TI	0.07
						TO	0.08

Elde edilen ağırlıkların tutarlılık oranı içerisinde olup olmadığını kontrol etmek adına karşılaştırma ve ağırlık matrisi kullanılarak λ , tutarlılık indeksi (TI/CI) ve tutarlılık oranı (TO/CR) hesaplanmıştır. Rassal indeks (RI) değerleri için alternatif sayısına bağlı olarak Oak Ridge Ulusal Laboratuvarında birçok örnekten yola çıkılarak 1-15 arası boyut içeren matrisler için (RI) değerlerini gösteren bir tablo hazırlanmıştır (Çizelge 4.9) (Kwiesielewicz ve Uden, 2004). Söz konusu çalışmada 3 farklı alternatif (n) olduğundan RI 0.58 olarak alınmıştır. Hesaplanan tutarlılık oranları da bu değerin altında olduğundan uygulanan AHP modeline ait sonuçların doğruluğu teyit edilmiştir.

Çizelge 4.9 : Rassal indeks değerleri (Kwiesielewicz ve Uden, 2004).

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.53	1.56	1.57	1.59

Normalize edilmiş karşılaştırma matrislerinden elde edilen ağırlık değerleri ayrı matrisler şeklinde ifade edilerek ayrıca ölçüt bazlı alternatiflere ait ve sadece ölçütlere ait ağırlık matrisleri (Çizelge 4.10, 4.11) elde edilmiştir. Çizelge 4.11 incelendiğinde yapılan anket sonuçlarına göre en yüksek ağırlığa sahip ölçüt 0.58 ağırlık değeri ile ‘Maliyet’ ölçütü iken en az ağırlığa sahip ölçüt ise 0.04 ağırlık değerine sahip ‘Uygulama Kolaylığı’ olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.10 : Ölçüt bazlı alternatiflere ait ağırlık matrisleri.

	Süre	Üretkenlik	Maliyet	Uygulama Kolaylığı
Fotogrametrik	0.07	0.65	0.29	0.29
LiDAR	0.64	0.29	0.65	0.65
Yersel	0.28	0.06	0.06	0.06

Çizelge 4.11 : Ölçütlere ait ağırlık matrisi.

Ölçüt Ağırlıkları (W)	
Süre	0.26
Üretkenlik	0.12
Maliyet	0.58
Uygulama Kol.	0.04

Ölçütlere ve ölçüt bazlı alternatiflere ait ağırlık değerlerinin bulunduğu matrisler ile matris çarpımı yapılarak alternatiflere ait bir önem sıralaması elde edilmiştir (Çizelge 4.12). En yüksek öneme sahip alternatif 0.60 önem puanı ile ‘LiDAR Ölçme Yöntemi’ iken en az öneme sahip alternatif ise 0.12 önem puanı ile ‘Yersel Ölçme Yöntemi’ olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.12 : Alternatiflere ait önem sıralaması.

AHP Alternatif Önem Sıralaması	
LiDAR	0.60
Fotogrametrik	0.28
Yersel	0.12
Toplam	1.00

4.2.2.2 BWM modeli uygulama sonuçları

BWM yönteminde de anket sonucunda elde edilen değerlerin ortalaması alınarak nihai karşılaştırma matrisleri elde edilmiştir. ‘BWM Anket Uygulaması’ bölümünde bahsedildiği üzere anket sonucunda ağırlıklı olarak en çok öneme sahip ölçüt ‘Maliyet’ seçilmişken en az öneme sahip ölçüt ise ‘Uygulama Kolaylığı’ seçilmiştir. ‘Maliyet’ ölçütünün diğer ölçütler ile önem derecelerine göre karşılaştırması Çizelge 4.13’te ‘Uygulama Kolaylığı’ ölçütünün karşılaştırması ise Çizelge 4.14’te verilmiştir.

Çizelge 4.13 : ‘Maliyet’in diğer ölçütler ile karşılaştırması.

En Çok Öneme Sahip	Süre	Üretkenlik	Maliyet	Uygulama Kolaylığı
Maliyet	3	5	1	9

Elde edilen karşılaştırma matrislerine Excel dosyası aracılığı ile Linear BWM modeli uygulanarak ölçütlere ait ağırlık değerleri elde edilmiştir (Çizelge 4.15).

Çizelge 4.14 : ‘Uygulama Kolaylığı’nın diğer ölçütler ile karşılaştırması.

En Az Öneme Sahip	Uygulama Kolaylığı
Süre	7
Üretkenlik	3
Maliyet	9
Uygulama Kolaylığı	1

Ağırlıklandırma sonucunda en çok ağırlığa sahip ölçüt ‘Maliyet’ ölçütü iken en az ağırlık değerine sahip ölçüt ‘Uygulama Kolaylığı’ ölçütü olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.15 : BWM yöntemi sonucundan elde edilen ölçüt ağırlıkları.

	Süre	Üretkenlik	Maliyet	Uygulama Kolaylığı
Ağırlıklar	0.28	0.19	0.48	0.05

Son olarak modelin ve sonuçların doğruluğunu teyit etmek adına tutarlılık oranı hesaplanmıştır. İlgili çalışma için eşik değeri 0.27 iken tutarlılık oranının 0.17 (Çizelge 4.16) elde edilmesi ile BWM modelinde yapılan ikili karşılaştırmaların tutarlılık seviyesinin kabul edilebilir seviyede olmasıyla modelin doğruluğu teyit edilmiştir.

Çizelge 4.16 : BWM yöntemi tutarlılık oranı.

Tutarlılık Oranı	0.17	İkili karşılaştırma tutarlılık seviyesi kabul edilebilir.
Eşik Değeri	0.27	

AHP modelinde hem ölçütler hem alternatifler için önem sıralamaları hesaplanırken BWM yönteminde ise sadece ölçütler için ağırlıklar belirlenerek önem sıralaması elde edilmiştir.

Çalışmada seçilen Maliyet, Süre, Üretkenlik ve Uygulama Kolaylığı ölçütlerine ait önem dereceleri sırasıyla AHP yönteminde %58, %26, %12 ve %4 iken BWM yönteminde %48, %28, %19 ve %5’tir. Ölçütlere ait önem dereceleri iki yöntem arasında farklı olsa da önem sıralamaları aynıdır. Buradan hareketle AHP ve BWM yöntemlerinin birbirleri ile tutarlı ve yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. AHP yönteminde, BWM yöntemine ek olarak alternatiflere ait bir önem derecelendirmesi daha yapılmıştır. Bunun sonucunda ‘LiDAR Ölçme Yöntemi’nin %60, ‘Fotogrametrik Ölçme Yöntemi’nin %28, ‘Yersel Ölçme Yöntemi’nin ise %12 önem puanına sahip olduğu hesaplanmıştır.

4.3 CPM-PERT ile Sonuçların Doğrulanması

AHP ve BWM yöntemleri ile elde edilen sonuçların gerçeğe (söz konusu projeyi firmanın fiili olarak hayata geçirdiği süre ve maliyete) ne kadar yakın olduğunu belirlemek, bir başka deyişle tercih sonuçlarının isabet derecelerini teyit etmek adına çalışmada sözü geçen üç farklı ölçme yöntemi ayrı ayrı CPM-PERT tekniği ile planlanarak süre ve maliyet hesabı yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar AHP ve BWM yöntemleri ile elde edilen sonuçlarla kıyaslanmıştır. CPM-PERT ile üç yöntem için ayrı ayrı planlama yapılırken projenin gerçekleştirileceği zamana ait hava sıcaklıklarına, meteorolojik koşullara ve çalışma alanına araçla ulaşımın kolay olmasına dikkat edilmiştir. Zamansal ve mevsimsel koşulların yanı sıra diğer açılardan da herhangi bir kısıt olmadığı varsayılarak üçlü zaman tahmini yapılmıştır. Ayrıca projeye dair verileri ve iş süreçlerine dair bilgileri temin eden EMİ Grup şirketinin projeyi gerçekleştirdiği şartlar da göz önünde bulundurulmuştur. Söz konusu simülasyon sürecinde aşağıdaki adımlar uygulanmıştır:

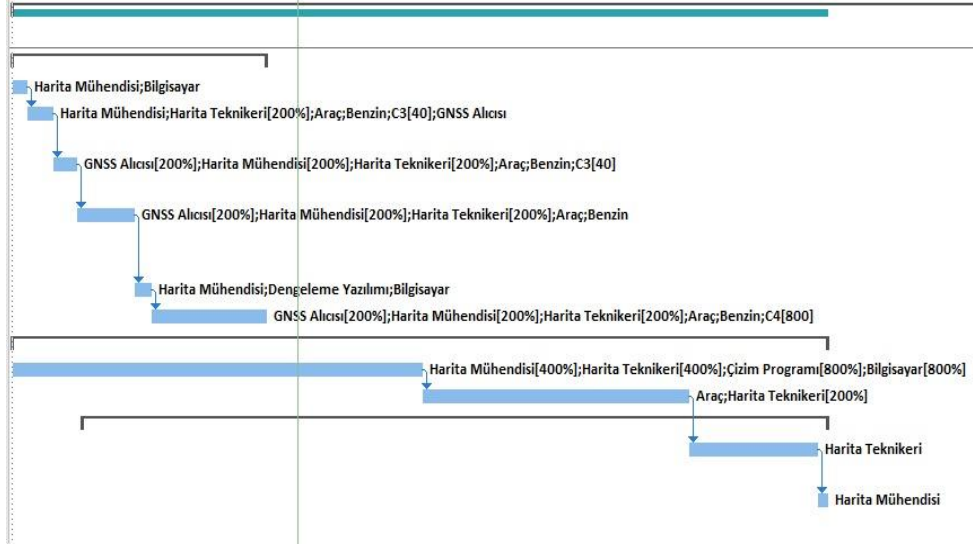
- 1-) İlişkiler şemasının (ağ diyagramının) hazırlanması,
- 2-) Olayların numaralanması, zaman tahminlerinin yapılması,
- 3-) Projenin zaman sınırlarının belirlenmesi,
- 4-) Kritik yolun belirlenmesi,
- 5-) İlişkiler şemasının programlanması,
- 6-) Programın takvim günlerine dönüştürülmesi,
- 7-) Maliyet hesabı.

İlk olarak ağ diyagramı oluşturulmuştur. Bunun için öncelikle bir halihazır harita üretim projesinde yapılması gereken faaliyetler listelenmiştir. Faaliyetler belirlenirken Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği'nin ilgili maddelerine ve projede görev alan mühendislerin tecrübelerine göre hareket edilerek iş akışı oluşturulmuştur. İş süreçleri ve kullanılan kaynaklar arasında ölçme yöntemine göre farklılıklar bulunmaktadır. Bu sebeple her ölçme yöntemi için iş tanımlarına ait kaynaklar ayrı ayrı olacak şekilde projede görev almış mühendislerin yardımıyla belirlenmiştir. Projede kullanılan kaynaklar Çizelge 4.17'de verilmiştir.

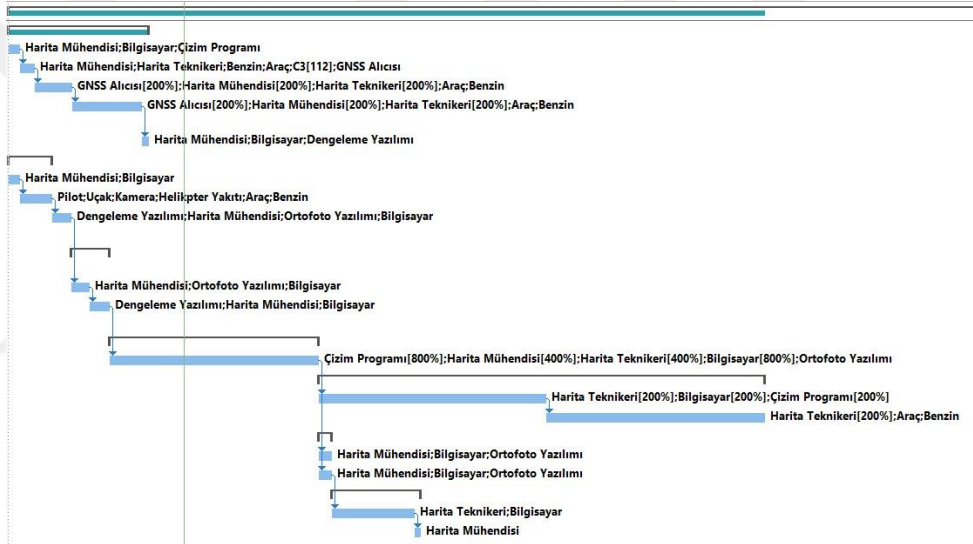
Daha sonra ağ diyagramında yer alan faaliyetler sıralanarak zaman tahminleri yapılmıştır. Zaman tahminleri yapılırken de projede görev alan mühendislerin tecrübelerinden yararlanılmıştır. Her iş süreci için zaman tahminlemesinin yapılması ile birlikte projenin de zaman sınırları belirlenmiştir. İş dağıtımı yapılırken öncelik sırası göz önüne alınarak faaliyetler birbirleri ile ilişkilendirilmiştir. Öncelik sıralamaları dikkate alınarak faaliyetler listelenerek iş akışı oluşturulur, oluşan bu ağ diyagramı ise projeye ait ‘Kritik yol’dur. Ardından öncül faaliyetler dikkate alınarak oluşturulan iş akışı ve kullanılan kaynaklar MS Project yazılımı üzerinde işlenerek ağ diyagramı yazılım içerisine aktarılmıştır. Böylece üç ölçme yöntemi için üç farklı ağ diyagramı (Şekil 4.3 & 4.4 & 4.5) oluşturulmuştur.

Çizelge 4.17 : Projede kullanılan kaynaklar.

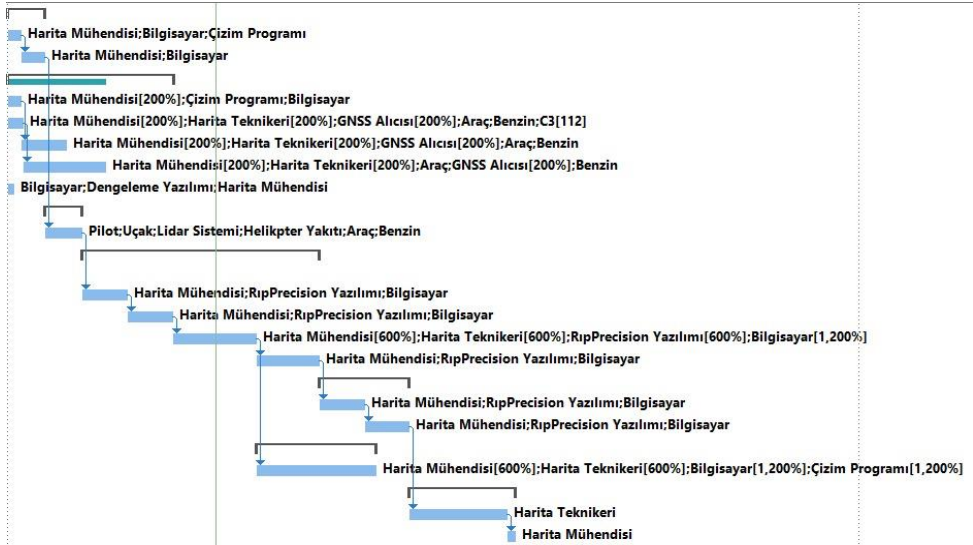
	BİRİMİ	YERSEL YÖNTEM	LiDAR ÖLÇMELERİ	FOTOGRAMETRİK YÖNTEM
Harita Mühendisi	Kişi	6	6	6
Harita Teknikeri	Kişi	6	6	6
Pilot	Kişi		1	1
Otomobil	Adet	2	2	2
Uçak	Adet		1	1
GNSS Alıcısı	Adet	2	1	1
Total Station	Adet	1	-	-
Nivo & Mira Takımı	Adet	1		-
LiDAR Sistemi	Adet	-	1	-
Kamera Sistemi	Adet	-	-	1
Bilgisayar	Adet	9	9	9
Çizim Programı	Adet	1	1	1
Dengeleme Yazılımı	Adet	1	-	-
RIP Precision Yazılımı	Adet	-	3	-
Ortofoto Yazılımı	Adet	-	-	3
C3 Derece Nokta	Adet	40	112	112
C4 Derece Nokta	Adet	800	-	-
Benzin	Litre	Saatlik	Saatlik	Saatlik
Helikopter Yakıtı	Litre	-	Saatlik	Saatlik



Şekil 4.3 : Yersel Ölçme Yöntemine ait GANTT Şeması.



Şekil 4.4 : Fotogrametrik Ölçme Yöntemine ait GANTT Şeması.



Şekil 4.5 : LiDAR Ölçme Yöntemine ait GANTT Şeması.

Proje takvim günlerine dönüştürülürken çalışma düzeni haftada 6 gün olacak şekilde planlama yapılmıştır. Projedeki tüm süreçlerde İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu ve İş Kanunu'nda belirtilen tüm hususlar dikkate alınmıştır. Proje başlangıcı 03.06.2024 olarak seçilmiştir. Ardından MS Project yazılımı projeyi takvim günlerine göre planlamıştır. Son olarak da maliyet hesabı yapılmıştır. Maliyet hesabı için gereken birim fiyatlar İller Bankası A.Ş. Yatırım Koordinasyon Dairesi Başkanlığı tarafından yayınlanan '2024 Yılı Sayısal Halihazır Harita Alım İşleri Birim Fiyatları' cetvelinden alınmıştır. Buradan hareketle Balıkesir ilinin 16 ilçesini kapsayan 20,000 hektarlık meskûn/gayrimeskun alanda yapılan halihazır harita üretim projesinin her üç ölçme yöntemine ait süre ve maliyet hesabı (Çizelge 4.18, 4.19, 4.20) yapılmıştır.

Çizelge 4.18 : Fotogrametrik Ölçme Yöntemine ait süre ve maliyet analizi.

FOTOGRAMETRİK ÖLÇME YÖNTEMİ		
Fotogrametrik-A	Fotogrametrik	754 gün
Fotogrametrik-A.1	Jeodezik Çalışmalar	111 gün
Fotogrametrik-A.1.1	Yer Kontrol Noktalarının Kanavalarının Hazırlanması	10 gün
Fotogrametrik-A.1.2	Yer Kontrol Noktalarının Tesisleri ve İşaretlemeleri	11 gün
Fotogrametrik-A.1.3	Yer Kontrol Noktalarının Konum Ölçmeleri (GNSS ile Statik)	30 gün
Fotogrametrik-A.1.4	Yer Kontrol Noktalarının Yükseklik Ölçmeleri (Geometrik Nivelman)	55 gün
Fotogrametrik-A.1.5	Yer Kontrol Noktalarının Konum ve Yükseklik Hesapları	5 gün
Fotogrametrik-A.2	Uçuş İşleri	35 gün
Fotogrametrik-A.2.1	Uçuş Planlarının Hazırlanması ve Gerekli İzinlerin Alınması	10 gün
Fotogrametrik-A.2.2	Dijital Hava Kamerası ile Fotoğraf Çekimi	25 gün
Fotogrametrik-A.3	GNSS/INS Verilerinin Değerlendirilmesi ve Görüntü İşleme Çalışmaları	15 gün
Fotogrametrik-A.4	Fotogrametrik Nirengi Noktalarının Seçimi, Ölçüm ve Dengelemesi	30 gün
Fotogrametrik-A.4.1	Fotogrametrik Nirengi Nokta Seçimi ve Ölçümü	15 gün
Fotogrametrik-A.4.2	Fotogrametrik Nirengi Dengelemesi (Blok Dengeleme)	15 gün
Fotogrametrik-A.5	Sayısal Fotogrametrik Halihazır Haritaların Üretimi	165 gün
Fotogrametrik-A.5.1	Stereo Değerlendirme ve Sayısallaştırma	165 gün
Fotogrametrik-A.6	Vektör Haritaların Üretimi	308 gün
Fotogrametrik-A.6.1	Paftaların Hazırlanması- Düzenleme Çalışmaları	165 gün
Fotogrametrik-A.6.2	Bütünleme Çalışmaları	143 gün
Fotogrametrik-A.7	Ortofoto Haritaların Üretimi	20 gün
Fotogrametrik-A.7.1	Sayısal Yükseklik Modeli Üretimi	10 gün
Fotogrametrik-A.7.2	Sayısal Ortofoto Harita ve Mozaik Üretimi	10 gün
Fotogrametrik-A.8	Teslim	70 gün
Fotogrametrik-A.8.1	Çizim, Raporlama ve Dokümantasyon Teslimi	65 gün
Fotogrametrik-A.8.2	Kontrol İşleri ve Kalite Kontrol	5 gün
Maliyet=	3.111.106,42 TL	

Süre ve maliyet analizine ait özet tablo (Çizelge 4.21) incelendiğinde en kısa süren ve en az maliyete sahip olan ölçme yönteminin ‘LiDAR’ ölçme yöntemi olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.19 : LiDAR Ölçme Yöntemine ait süre ve maliyet analizi.

LiDAR ÖLÇME YÖNTEMİ		
LiDAR-A	LiDAR	529 gün
LiDAR-A.1	Uçuş Hazırlıkları	25 gün
LiDAR-A.1.1	Uçuş Planı Hazırlanması ve Planın Onay Alması	10 gün
LiDAR-A.1.2	Uçuş İzni Alınması	15 gün
LiDAR-A.2	Jeodezik Çalışmalar	111 gün
LiDAR-A.2.1	Yer Kontrol Noktalarının Kanavalarının Hazırlanması	10 gün
LiDAR-A.2.2	Yer Kontrol Noktalarının Tesisleri ve İşaretlemelemleri	11 gün
LiDAR-A.2.3	Yer Kontrol Noktalarının Konum Ölçmeleri (GNSS ile Statik)	30 gün
LiDAR-A.2.4	Yer Kontrol Noktalarının Yükseklik Ölçmeleri (Geometrik Nivelman)	55 gün
LiDAR-A.2.5	Yer Kontrol Noktalarının Konum ve Yükseklik Hesapları	5 gün
LiDAR-A.3	Uçuş İşleri	25 gün
LiDAR-A.3.1	Hava Fotoğraf Alımı ve LiDAR Taraması	25 gün
LiDAR-A.4	GNSS/INS Veri Değerlendirmesi, Görüntü-LiDAR İşleme Çalışmaları	158 gün
LiDAR-A.4.1	GNSS/INS Yörüngelerinin Hesaplanması	30 gün
LiDAR-A.4.2	Görüntü İşleme	30 gün
LiDAR-A.4.3	LiDAR Verisi İşleme ve Sınıflandırma	56 gün
LiDAR-A.4.4	Fotogrametrik Nirengi Dengelemesi (Blok Dengeleme)	42 gün
LiDAR-A.5	Çıktı Ürünlerin Üretimi	60 gün
LiDAR-A.5.1	Ortofoto Üretimi	30 gün
LiDAR-A.5.2	Sayısal Yükselik Modeli, Sayısal Yüzey Modeli ve Eşyükseklik Eğrisi Üretimi	30 gün
LiDAR-A.6	Halihazır Harita Üretimi	80 gün
LiDAR-A.6.1	LiDAR Verisinden Çizim İşlemi	80 gün
LiDAR-A.7	Teslim	70 gün
LiDAR-A.7.1	Çizim, Raporlama ve Dokümantasyon Teslimi	65 gün
LiDAR-A.7.2	Kontrol İşleri ve Kalite Kontrol	5 gün
Maliyet=	2.520.152,89TL	

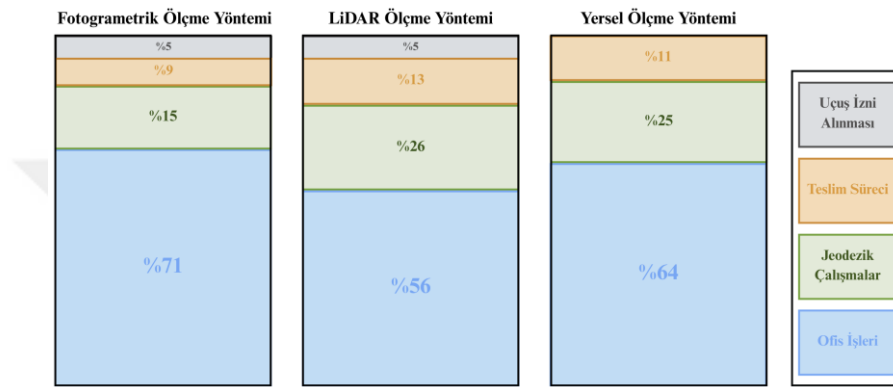
Çizelge 4.20 : Yersel Ölçme Yöntemine ait süre ve maliyet analizi.

YERSEL ÖLÇME YÖNTEMİ		
Yersel-A	YERSEL	625 gün
Yersel-A.1	Jeodezik Çalışmalar	155 gün
Yersel-A.1.1	Yer Kontrol Noktalarının Kanavalarının Hazırlanması	10 gün
Yersel-A.1.2	Yer Kontrol Noktalarının Tesisleri ve İşaretlemelemleri	15 gün
Yersel-A.1.3	Yer Kontrol Noktalarının Konum Ölçmeleri (GNSS ile Statik)	15 gün
Yersel-A.1.4	Yer Kontrol Noktalarının Yükseklik Ölçmeleri (Geometrik Nivelman)	35 gün
Yersel-A.1.5	Yer Kontrol Noktalarının Konum ve Yükseklik Hesapları	10 gün
Yersel-A.1.6	Detay Ölçmeleri (GPS)	70 gün
Yersel-A.2	Halihazır Harita Üretimi	400 gün
Yersel-A.2.1	Paftaların Hazırlanması	250 gün
Yersel-A.2.2	Bütünleme Çalışmaları	150 gün
Yersel-A.3	Teslim	70 gün
Yersel-A.3.1	Çizim, Raporlama ve Dokümantasyon Teslimi	65 gün
Yersel-A.3.2	Kontrol İşleri ve Kalite Kontrol	5 gün
Maliyet=	8.010.673,20 TL	

Çizelge 4.21 : Süre ve maliyet analizi özet tablo.

Yöntem	Yersel	Fotogrametrik	LiDAR
Süre (Gün)	625	754	529
Maliyet (TL)	8,010,673.20	3,111,106.42	2,520,152.89

Çizelge 4.21’de görüldüğü üzere yapılan planlama sonucunda süre açısından en uzun süren yöntem ‘Fotogrametrik Ölçme Yöntemi’ olarak bulunmuştur. Projedeki her bir ana faaliyet gruplarının gerçekleşme sürelerinin tüm proje süresi içerisindeki oranları Şekil 4.6’da verilmiştir.



Şekil 4.6 : Ölçme yöntemlerinin faaliyet oranları.

Normalde daha kısa sürede tamamlanması öngörülürken çalışmada örnek alınan proje ve projeyi gerçekleştiren firmanın gerçekleştirdiği süreler baz alındığı için tahmin edilen süreden daha uzun sürmüştür. Bu durum hem uçuş izni için ayrılan süreden hem de fotogrametrik yöntem ile elde edilen ürün çıktılarının çeşitliliğinden dolayı veri işleme aşamasında daha fazla faaliyetin olmasından kaynaklandığı değerlendirilmiştir. Bir başka ifade ile fotogrametrik yöntem ile sadece halihazır harita üretimi yapılmamakta olup sayısal yükseklik modeli ve ortofoto harita üretimi de yapıldığı için üretilen çıktılar daha fazla çeşitlenmektedir.

Çalışmaya konu olan modeller incelendiğinde tutarlı sonuçlar elde edilmiştir. AHP modeli ile elde edilen alternatiflere ait önem sıralamasına bakıldığında LiDAR yöntemi en uygun yöntem olarak bulunmuştur. Bu durum CPM-PERT ile yapılan analiz sonucu ile kıyaslandığında doğrulanmıştır. Diğer bir yöntem olan BWM modeline bakıldığında ise en önemli iki ölçütün sırasıyla Maliyet ve Süre olduğu görülmektedir. CPM-PERT yöntemi ile yapılan analiz sonuçlarından en az süre ve maliyetin LiDAR yöntemine ait olması, BWM yönteminden de elde edilen sonuçları doğrulamıştır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada bir halihazır üretim projesinde en uygun ve optimum sonucu sağlayacak ölçme yöntemini belirlemek için Yöneylem Araştırması tekniklerinin kullanıldığı bir model sunulmuştur. Çalışmaya konu olarak Balıkesir ilinde 20,000 hektarlık meskun/gayrimeskun alanda 2017 yılında gerçekleştirilen bir halihazır harita üretim projesi temel alınmıştır. Söz konusu projede ‘Fotogrametrik Ölçme Yöntemi’, ‘LiDAR Ölçme Yöntemi’ ve ‘Yersel Ölçme Yöntemi’ arasından en uygun ölçme yöntemi dört farklı ölçüt eşliğinde AHP ve BWM yöntemleri ile analiz edilerek belirlenmiştir. Her iki yöntem sonucunda elde edilen ölçütlere ait ağırlık değerleri küçük farklar ile birbirinden farklı olsa da ölçütlerin öncelik sıralamaları her iki yöntemde de aynı elde edilmiştir. AHP ve BWM yöntemi ile elde edilen sonuçlara göre en önemli ölçüt sırasıyla Maliyet, Süre, Üretkenlik ve Uygulama Kolaylığı’dır. Buradan hareketle modellerin birbirleri ile tutarlı olduğu görülmüştür. Sonuçların doğruluğu ise yapılan tutarlılık oranı hesabı ile teyit edilmiştir. İki modelden de hem kendi içlerinde hem de birbirleri ile tutarlı ve uyumlu sonuçlar elde edilmiştir. BWM yönteminde yapılmayan AHP yönteminde alternatifler arasında yapılan öncelik sıralamasında ise en yüksek öneme sahip yöntem ‘LiDAR Ölçme Yöntemi’ iken en az öneme sahip yöntem ise ‘Yersel Ölçme Yöntemi’ olarak sıralanmıştır. Ölçütler ve alternatiflere ait ağırlıkları belirlemek için farklı kişiler ile anket yapılmış olması çalışmanın objektif olmasına katkı sağlamıştır.

Birbirleri ile tutarlılığı model sonuçlarından görülen AHP ve BWM yöntemlerinin gerçek hayat ile tutarlılığını da test edebilmek adına söz konusu üç farklı ölçme yöntemi yine Balıkesir halihazır harita üretim projesi baz alınarak ayrı ayrı olacak şekilde CPM-PERT yöntemi ile planlanarak maliyet ve süre analizi yapılmıştır. Planlama işlemi için her ölçme yöntemine ait faaliyetler ve bu faaliyetler için gereken kaynaklar detaylı bir şekilde listelenerek GANTT Şemaları oluşturulmuştur. Yöntemlere ait iş süreçlerinin, süreçlere ait sürelerin ve ihtiyaç duyulan kaynakların söz konusu projede deneyimli olan mühendislerin tecrübelerine danışılarak belirlenmesi yapılan çalışmanın gerçek hayata yakınlığını arttırmıştır. Buradan

hareketle projenin tamamlanması beklenen süre belirlenmiştir. Kullanılan kaynaklar ve projeye ait süreler, İller Bankası A.Ş. Yatırım Kordinasyon Dairesi Başkanlığı 2024 Yılı Sayısal Halihazır Harita Alım İşleri Birim Fiyatları ile birlikte değerlendirilerek maliyet hesabı yapılmıştır. Yapılan maliyet ve süre analizinde elde edilen sonuçlara göre ‘LiDAR Ölçme Yöntemi’ ile projenin 529 gün ve 2,5 milyon TL, ‘Fotogrametrik Ölçe Yöntemi’ ile 754 gün ve 3,1 milyon TL, ‘Yersel Ölçme Yöntemi’ ile 625 gün süre ve 8 milyon TL maliyet ile bitirilebileceği hesaplanmıştır. Sonuçlardan görüleceği üzere CPM-PERT ile planlama sonucunda en az maliyet ve an az süre ile projeyi tamamlamaya yarayan ölçme yöntemi ‘LiDAR Ölçme Yöntemi’ olarak bulunmuştur. AHP ve BWM yöntemleri ile elde edilen ölçüt ağırlıklarına göre en önemli iki ölçüt de sırası ile Maliyet ve Süre idi. Bu iki sonuç birlikte değerlendirildiğinde AHP ve BWM yöntemlerinin gerçeğe yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. Üç farklı yöntemin bir arada kullanılmasıyla da her yöntemin bir diğerine göre sağlamasını yapmayı sağlamıştır.

Sonuç olarak her üç yöntemin de birbirleri ile tutarlı ve başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür. Yöntemlerde ne kadar düzgün ve doğru veriler kullanılırsa elde edilen sonuçların da bir o kadar doğru ve tutarlı olduğu çalışma sonucundan anlaşılmıştır. Bu doğrultuda AHP, BWM ve CPM – PERT yöntemlerinin uygun projelerde kolaylıkla ve güvenilir bir şekilde kullanılabileceği açıkça görülmektedir.

Metropolleşmenin giderek arttığı günümüz dünyasında zamanın ve paranın değeri de aynı doğrultuda daha ivmeli bir şekilde artmaktadır. Bu sebeple süre ve maliyet projelerde oldukça önemli bir role sahiptir. Diğer yandan yaşanan yenilikler ile birlikte kısıtlı kaynaklar söz konusu iken alternatifler de bir o kadar çok olabilmektedir. Bu durumlarda karar vericiler YA yöntemlerini, belirli kısıtlar altında hayata geçirmek istedikleri projelerde en uygun ve verimli çözümleri bulmak için kullanabilmektedir. Yapılan çalışma sonucunda YA’nın birçok alternatif, ölçüt ve kısıtın bulunduğu bir halihazır harita üretim projesinde büyük katkılar sağladığı görülmüştür. Bununla birlikte haritacılık sektöründeki projelerin CPM-PERT tekniği ile planlanmasıyla süre- maliyet açısından önemli ölçüde yarar sağlanmıştır. Halihazır harita üretiminde en uygun yöntem ile titiz bir planlama-yönetim süreci uygulandığında projenin tüm paydaşları alınabilecek en büyük verimi alacaktır. Projeyi üstlenen firma başarılı bir iş çıkardığından hem sektör içerisindeki saygınlığını hem de alabileceği iş potansiyelini arttırmış olacaktır. Projede aktif rol alan mühendis,

tekniker ve diğer işçilerin ise başarılı bir projenin altında imzalarının olmaları kendilerinin iş tecrübesine olumlu yönde katkıda olacağı gibi mesleki özgeçmişlerini de daha donanımlı bir hale getirerek firmalar tarafından aranan bir çalışan olmalarını sağlayacaktır. Diğer taraftan projeyi talep eden kurum ise elde ettiği başarılı bir iş süreci çözümü ile hem kurumun bütçesine ve itibarına katkı sağlamış olup hem de proje iyi yönetildiği için diğer projelerine de gereken eforu gösterebilecektir. Anlaşıldığı üzere iyi bir proje planlama ve yönetimi projenin her paydaşına ayrı ölçeklerde farklı katkılar sağlayacaktır. Kamu projelerinin olduğu durumlarda ise çok daha büyük ölçekli yararlar sağlanacaktır. Sonuç olarak proje planlama ve yönetiminde Yöneylem Araştırmasından yararlanılan projelerin diğer projelere kıyasla daha düzenli bir şekilde yönetilebileceği ve optimum sonuca ulaşmada kaynakların daha verimli kullanılabileceği anlaşılmıştır.

Literatürde kısıtlı bir kullanımı olmasına rağmen Yöneylem Araştırması tekniklerinin haritacılık sektöründe de birçok farklı projede kullanılabileceği çalışma sonucundan anlaşılmaktadır. Diğer yandan birçok yöntemin içinden en iyi yöntemin seçilmesi de hiç şüphesiz bir tercihtir fakat bu tercihlerin bilimsel bir yaklaşım ile ele alınıp en iyisinin bulunması proje yöneticisi için oldukça kıymetlidir. Bilimsel bir yaklaşım olmadan bu tercihlerin yapılması proje yöneticisine bağlı olarak projenin subjektifliğini arttıracaktır. Objektif olmayan bir çalışmanın da sektör ve kuruluşlar tarafından genel kabul görme ihtimali de azalacaktır. İşte bu durum da, projenin ve projeyi yürütenlerin başarısını aşağı yönlü çekecektir. Bu noktada proje yöneticisinin mevcut bilgi birikimi ve tecrübesine ek olarak bilimsel bir geri besleme adına çalışmalarda BWM veya AHP yöntemlerinin kolay ama etkili bir şekilde kullanılması söz konusu projelere ekonomik ve stratejik kazanımlar sağlamaktadır.

Çalışmaya konu olan ve olmayan çeşitli Çok Ölçütlü Karar Verme yöntemlerinin asıl önemli özelliklerinden biri ise sektör fark etmeksizin birçok alanda kullanılabilir olmasıdır. Harita Mühendisliği faaliyetlerinde de mevcut literatürde olduğu gibi kullanım alanının sınırlı kalmayıp çeşitli haritacılık faaliyetlerinde kullanılabileceği çalışma sonuçlarından anlaşılmaktadır. Buradan hareketle ÇÖKV yöntemlerinin en uygun ölçme yönteminin belirlenmesinin yanı sıra ölçme donanımı, ölçme alet model/marka, iş yaptırılacak firmanın belirlenmesi gibi farklı karar verme süreçlerinde de kullanılabileceği anlaşılmıştır.



KAYNAKLAR

Aruldoss, M., Lakshmi, T. M., ve Venkatesan, V. P. (2013). A survey on multi criteria decision making methods and its applications. *American Journal of Information Systems*, 1(1), 31-43. doi: 10.12691/ajis-1-1-5

Ayalke, Z., & Şişman, A. (2022). Nominal land valuation with Best-Worst Method using Geographic Information System: a case of Atakum, Samsun. *ISPRS International. Journal Geo-Information*, 11(4), 213. doi: 10.3390/ijgi11040213

Ceylan, A., Tayfun, Ç., ve Uyan, M. (2006). Sayısal harita üretiminde proje planlaması ve yönetimi. *Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi*, 94 (1), 11-18.

Chivasa, W., Mutanga, O., ve Biradar, Ç.M. (2019). Mapping land suitability for maize (*Zea mays* L.) production using GIS and AHP technique in Zimbabwe. *South African Journal of Geomatics*, 8 (2), 265-281. doi: 10.4314/sajg.v8i2.11

Çakır, E., & Can, M. (2019). Best-Worst yöntemine dayalı ARAS yöntemi ile dış kaynak kullanım tercihinin belirlenmesi: turizm sektöründe bir uygulama. *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 23 (3), 1273-1300.

Çapraz, Y.A. (2011). *Geomatik mühendisliğinde proje yönetimi ve planlaması*. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Dağdeviren, M., Eraslan, E., Kurt, M., & Dizdar, E. N. (2005). Tedarikçi seçimi problemine analitik ağ süreci ile alternatif bir yaklaşım. *Technology*, 8 (1-2), 115-122.

Demir, G., & Bircan, H. (2020). Kriter ağırlıklandırma yöntemlerinden BWM ve FUCOM yöntemlerinin karşılaştırılması ve bir uygulama. *Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 21 (2), 170-185. doi: 10.37880/cumuiibf.616766

Demir, M. (2023). CBS tabanlı AHP yöntemi kullanılarak Kars ilinde arıcılık potansiyeli taşıyan alanların belirlenmesi. *Uludağ Arıcılık Dergisi*, 24 (1), 1-25, doi: 10.31467/uluaricilik.1355161

Demirer, Ö., & Alkan, R.M. (2015). Disiplinlerarası bir yaklaşım olarak Yöneylem Araştırmasının mühendislik uygulamalarında kullanımı. *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 7 (1), 37-46. doi: 10.15659/hartek.15.04.88

Deveci, M., Özcan, E., John, R.I., Pamucar, D., ve Karaman, H. (2021). Offshore wind farm site selection using interval rough numbers based Best-Worst Method and MARCOS. *Applied Soft Computing*, 109, 107532. doi: 10.1016/j.asoc.2021.107532

Erden, T. (2009). *Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Analitik Hiyerarşi Yöntemi'ne dayalı itfaiye istasyon yer seçimi*. (Doktora tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Ergün, Ö. (2006). *Harita sektöründe proje planlama yöntemlerinin kullanılması uluslararası dekastrı terminal saha düzenlemesi ve toprak işleri projesi örneği*. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Ersöz, F., & Kabak, M. (2010). Savunma sanayi uygulamalarında çok kriterli karar verme yöntemlerinin literatür araştırması. *Savunma Bilimleri Dergisi*, 9 (1), 1, 97–125, doi: 10.17134/sbd.85950

Ertunç, E., & Çay, T. (2020). Havaalanı yer seçiminde Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) kullanımı. *Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8 (2), 201-210. doi: 10.36306/konjes.590605

Ertunç, E., & Uyan, M. (2022). Land valuation with Best Worst Method in land consolidation projects. *Land Use Policy*, 122, 106360, doi : 10.1016/j.landusepol.2022.106360

Gass, S. I., & Arjang, A. (2011). History of operational research. *Inform's Tutorials in Operations Research*, 1-14. doi: 10.1287/educ.1110.0084

Gümüş, M.G., Balta, M.Ö., ve Durduran, S.S. (2019). Coğrafi Bilgi Sistemlerine dayalı çok kriterli karar verme teknikleri ile alışveriş merkezi kuruluş yeri seçimi: Niğde örneği. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8 (1), 134-146, doi: 10.28948/ngumuh.495245

Hajdu, M., & Bokor, O. (2014). The effects of different activity distributions on project duration in PERT networks. *Procedia- Social and Behavioral Sciences*, 119, 766-775. doi: 10.1016/j.sbspro.2014.03.086

Kaplan, H. E. (2011). Intelligence Analysis: Behavioral and Social Scientific Foundations. In Fischhoff, B., Chauvin, C. (Eds.), *Operational Research and Intelligence Analysis* (pp. 31-53). Washington: The National Academies Press.

Kara, G., & Kemaldere, H. (2019). Comparison of mobile LiDAR technique with terrestrial methods in digital map production. *International Journal of Scientific and Technological Research*, 5 (3), 192-200. doi: 10.7176/jstr/5-3-21

Kjeldsen, T. H. (2007). History of Mathematics. In Hansen, V.L., Gray, J. (Eds.), *Operational Research and Mathematical Programming: From war to Academia-A Joint Venture* (Vol. 1, pp.184-206). Retrieved from https://www.academia.edu/26447038/Operations_Research_and_Mathematical_Programming_From_War_to_Academia_a_Joint_Venture

Kwiesielewicz, M., & Uden, E.V. (2004). Inconsistent and contradictory judgements in pairwise comparison method in the AHP. *Computers and Operations Research*, 31(5), 713-719. doi: 10.1016/S0305-0548(03)00022-4

Larnder, H. (1984). The origin of operational research. *Operational Research*, 32 (2), 465-475.

Mete, M.O., & Yomralıoğlu, T. (2019). CBS ile nominal taşınmaz değer haritası üretiminde çözünürlük araştırması. *Türkiye Arazi Yönetimi Dergisi*, 1 (1), 16-23.

Morse, P. M., & Kimball, G. E. (1951). *Methods of Operations Research*, New York: John Wiley and Sons.

Öztürk, A. (2013). Yöneylem araştırmasının tarihi gelişimi ve özellikleri, 14. *Uluslararası Ekonometri Yöneylem Araştırması ve İstatistik Sempozyumu*. Bursa, Türkiye: Uludağ Üniversitesi.

Palcic, I., & Lalic, B. (2009). Analytical hierarchy process as a tool for selecting and evaluating projects. *International Journal of Simulation Modelling*, 8(1), 16-26. doi: 10.2507/IJSIMM08(1)2.112

Pektezel, H. (2015). Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Analitik Hiyerarşi Sistemine (AHS) göre Gelibolu Yarımadası'nın deprem duyarlılık analizi. *The Journal of Academic Social Science Studies*, 36, 179-201, doi: 10.9761/JASSS2911

Punmia, B.C., & Khandelwal, K.K. (1982). Project planning and control with PERT & CPM. Retrieved from link: https://books.google.com.tr/books?hl=tr&lr=&id=wtwMj_wnvGEC&oi=fnd&pg=PA1&dq=cpm+pert&ots=x88fy7ITGH&sig=6xS6ZQfVJVkxoEQzbu1y4qKmbWA&redir_esc=y#v=onepage&q=cpm%20pert&f=false.

Rezaei, J. (2015). Best-Worst multi-criteria decision-making method. *Omega-international Journal of Management Science*, 53, 49-57. doi: 10.1016/j.omega.2014.11.009

Rios, R.V., & Duarte, S. (2021). Selection of ideal sites for the development of large-scale solar photovoltaic projects through Analytical Hierarchical Process – Geographic information systems (AHP-GIS) in Peru. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 149, 111310. doi: 10.1016/j.rser.2021.111310

Saaty, T.L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1 (1), 83-98.

Saaty, T.L. (1990). How to make a decision: the analytic hierarchy process. *Interfaces*, 24, 19-43.

Sabilla Ajrina, A., Sarno, R., ve Hari Ginardi, R.V. (2018). Comparison of AHP and BWM methods based on geographic information system for determining potential zone of Pasir Batu mining. *2018 International Seminar on Application for Technology of Information and Communication*, 453-457. doi: 10.1109/ISEMANTIC.2018.8549818.

Siddayao, G.P., Valdez, S.E., ve Fernandez, P.L. (2014). Analytic Hierarchy Process (AHP) in spatial modeling for floodplain risk assessment. *International Journal of Machine Learning and Computing*, 4 (5), 450-457. doi: 10.7763/IJMLC.2014.V4.453.

Sökmen, Ö.Ç., & Yılmaz, M. (2021). Yöneylem araştırması alanında yapılan çalışmaların bibliyometrik analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 28, 940-946. doi: 10.31590/ejosat.1012167

Turan, G. (2023). Subjektif Ağırlıklandırma Temelli Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri: Tedarik Zinciri Yönetimi Uygulamaları. In Y. Mercan (Ed.), *Çok Kriterli Karar Verme* (Vol. 1, pp.6-9). Ankara : Nobel Bilimsel.

Uludağ, A. S., & Doğan, H. (2016). Çok kriterli karar verme yöntemlerinin karşılaştırılmasına odaklı bir hizmet kalitesi uygulaması. *Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 6 (2), 17-48.

Uyan, M. (2017). Güneş enerjisi santrali kurulabilecek alanların AHP yöntemi kullanılarak CBS destekli haritalanması. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23 (4), 343-351. doi: 10.5505/pajes.2016.59489.

Uyan, M., & Yalpır, Ş. (2016). Çok kriterli karar verme modeli ve CBS Entegrasyonu ile tıbbi atık sterilizasyon tesislerinin yer seçimi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16(3), 642-654.

Vaidya, O.S., & Kumar, S. (2006). Analytic hierarchy process: An overview of applications. *European Journal of Operational Research*, 169(1), 1-29. doi: 10.1016/j.ejor.2004.04.028.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Merve GÜNAL

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2022, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Harita Mühendisliği
- **Yükseklisans** : 2025, İstanbul Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Harita Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- Ağustos 2022 - Ocak 2023 : Uğur Harita Mühendislik (*Harita Mühendisi*).
- Şubat 2023 - Halen : AssisTT (*Kaynak Planlama Uzman Yrd.*).

DİĞER YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

Sezen, G., **Çakır, M.**, Atik, M.E., and Duran, Z. (2022). Deep Learning-based Door and Window Detection from Building Façade. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf Sci.*, XLIII-B4-2022, 315-320, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B4-2022-315-2022>

Çakır, M. ve Alkan, R.M. (2024). Yöneylem Araştırması Teknikleri İle Harita Mühendisliği Projelerinin Planlanması ve Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri İle En Uygun Ölçme Yönteminin Belirlenmesi, *IX. International Health, Engineering and Sciences Congress Conference Book*, Hacı Bayram Veli University, Ankara, Türkiye, 115-126, September 27-29, 2024.