

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DOLGU BARAJLARIN GÜVENLİĞİNDE RİSK ANALİZİ :  
ATATÜRK BARAJI ÖRNEĞİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İsmail Can ULUSOY**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Hidrolik ve Su Kaynakları Mühendisliği Programı**

**OCAK 2015**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DOLGU BARAJLARIN GÜVENLİĞİNDE RİSK ANALİZİ :  
ATATÜRK BARAJI ÖRNEĞİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İsmail Can ULUSOY  
(501121510)**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Hidrolik ve Su Kaynakları Mühendisliği Programı**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Necati AĞIRALIOĞLU**

**OCAK 2015**



İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501121510 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **İsmail Can ULUSOY**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**DOLGU BARAJLARIN GÜVENLİĞİNDE RİSK ANALİZİ : ATATÜRK BARAJI ÖRNEĞİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :**      **Prof. Dr. Necati AĞIRALIOĞLU** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :**            **Doç. Dr. Abdüsselam ALTUNKAYNAK** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Yrd. Doç. Dr. Ali Osman PEKTAŞ** .....  
Bahçeşehir Üniversitesi

**Teslim Tarihi : 15 Aralık 2014**  
**Savunma Tarihi: 20 Ocak 2015**



*Tüm sevenlerime,*





## ÖNSÖZ

Lisans öğrenimim sırasında bitirme projem olan Melen Barajı'nın Tasarlanması'nda yardımlarını esirgemeyen ve Lisansüstü öğrenim hayatımda da ilgisini, hoşgörüsünü ve desteklerini her daim gördüğüm değerli hocam Prof. Dr. Necati AĞIRALIOĞLU'na en içten teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans tezimin yazımı sırasında bilgi birikimleri ve tecrübeleriyle bana destek olan ve ışık tutan sayın hocalarım Yard. Doç. Dr. Tarkan ERDİK'e, Doç. Dr. Yunus KALKAN'a, Doç. Dr. Mehmet ÖZGER'e ve Yard. Doç. Dr. Ali UYUMAZ'a; DSİ Şanlıurfa 15. Bölge Müdürlüğü'nden veri temin etmemi sağlayan Sayın İnş. Müh. Mehmet ÇİFTÇİ'ye şükranlarımı sunarım.

Çalışmam sırasında bana itici bir kuvvet olan aileme ve arkadaşlarıma da teşekkür ederim.

Aralık 2014

İsmail Can Ulusoy  
(İnşaat Mühendisi)



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER .....	ix
KISALTMALAR .....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY .....	xix
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1 Tezin Amacı .....	1
1.2 Konunun Önemi .....	2
1.3 Çalışmanın Düzeni .....	3
<b>2. BARAJLARIN GÜVENLİK PROBLEMLERİ.....</b>	<b>5</b>
2.1 Tehlike ve Emniyet Tanımlamaları .....	5
2.2 Barajlarda Emniyet Kapsamı.....	7
2.3 Barajlarda Güvenlik ve Stabilitate .....	8
2.4 Barajlarda Yetersizliklerin Sebepleri .....	10
2.5 Barajlarda Yetersizlik Faktörleri .....	11
2.5.1 Temel yetersizliği.....	11
2.5.2 Boyuna çatlaklar .....	12
2.5.3 Enine çatlaklar.....	12
2.5.4 Kuruma çatlakları.....	12
2.5.5 Oturmalar .....	12
2.5.6 Sığlaşma .....	12
2.5.7 Kaymalar .....	13
2.5.8 Çökmeler .....	13
2.5.9 Sızma.....	13
2.6 Baraj Kazaları.....	14
<b>3. DOLGU BARAJLARIN MUAYENESİ VE ÖLÇME ALETLERİ.....</b>	<b>21</b>
3.1 Muayene Hususları.....	21
3.2 Muayene Türleri .....	21
3.2.1 İlk ve Resmi Muayene .....	21
3.2.2 Ara Muayene.....	21
3.2.3 Mutemadiyen Muayene.....	22
3.2.4 Özel Muayene .....	22
3.3 Dolgu Barajlarda Arazide Muayene.....	22
3.4 Dolgu Barajlarda Ölçüm ve Ölçme Aletleri.....	23
3.4.1 Piyezometreler .....	23
3.4.1.1 Temel / Dolgu tipi piyezometre .....	23
3.4.1.2 Toplam basınç ölçer .....	24
3.4.1.3 Magnetic extensometer .....	26
3.4.2 Su basınç ölçer .....	27

3.4.3 Çökme ölçer .....	27
3.4.4 İnklinometre .....	28
3.5 Değerlendirme ve Analiz.....	29
<b>4. RİSK YÖNETİMİ .....</b>	<b>31</b>
4.1 Risk Tanımı .....	31
4.2 Risk Yönetimi Kavramı.....	36
4.3 Barajların Risk Grubunun Belirlenmesi .....	37
<b>5. ATATÜRK BARAJININ RİSK ANALİZİ KAPSAMINDA MODELLENMESİ .....</b>	<b>41</b>
5.1 Atatürk Barajı'nın Genel Özellikleri .....	41
5.2 Atatürk Barajı'na Ait Jeodezik Deformasyon Ölçmeleri .....	42
5.2.1 Deformasyon ölçmelerinde kullanılan yöntemler, aletler ve donanımlar .....	42
5.2.2 Baraj gövdesi üzerindeki ölçüm değerleri.....	46
5.3 Kriging Yöntemi ile Atatürk Barajı Gövdesindeki Deformasyonların Modellenmesi .....	47
5.3.1 Kriging yöntemi .....	47
5.3.2 Kriging yöntemi ile deformasyon modelinin oluşturulması .....	54
5.3.3 Deformasyon modeline ait saçılma diyagramı.....	56
5.3.4 Deformasyon modelinin verimliliği .....	56
5.3.5 Deformasyon modelinin incelenmesi ve gerçek değerler ile karşılaştırılması .....	57
<b>6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME .....</b>	<b>61</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>65</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>69</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>89</b>

## **KISALTMALAR**

<b>ABD</b>	: Amerika Birleşik Devletleri
<b>ASCE</b>	: American Society of Civil Engineers (Amerikan İnşaat Mühendisleri Birliđi)
<b>CE</b>	: Conformance Européenne
<b>DSİ</b>	: Devlet Su İşleri
<b>EMO</b>	: Elektrik Mühendisleri Odası
<b>HES</b>	: Hidroelektrik Santral
<b>ICDS</b>	: International Committee on Dam Safety
<b>ICOLD</b>	: International Committee on Large Dams
<b>MPa</b>	: Mega Pascal
<b>YAS</b>	: Yeraltı Su Seviyesi
<b>USACE</b>	: United States Army Corps of Engineers (Birleşik Devletler Ordusu Mühendisler Birliđi)
<b>USCOLD</b>	: United States Committee on Large Dams
<b>TÜİK</b>	: Türkiye İstatistik Kurumu



## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

Çizelge 2.1 : Tehlike ile ilgili karar/çözüm işlemleri. ....	6
Çizelge 2.2 : Barajların yetersizliğinin sebepleri.....	11
Çizelge 2.3 : Büyük baraj yetersizlikleri. ....	17
Çizelge 2.4 : Barajların yaşlarına göre olay olasılıkları. ....	18
Çizelge 2.5 : Baraj tiplerine göre olay olasılıkları. ....	19
Çizelge 2.6 : Barajların büyüklüğüne göre olay olasılıkları. ....	19
Çizelge 4.1 : Risk bölgeleri değerlendirilmesi. ....	39
Çizelge 4.2 : Toplam risk puanı ve risk sınıfı.....	39
Çizelge 5.1 : Jeodezik yöntemle deformasyon izleme teknikleri ve ölçme donanımları.....	43
Çizelge 5.2 : Jeodezik olmayan yöntemler ve ölçme donanımları. ....	43
Çizelge 5.3 : Mayıs 2006 ile Kasım 2011 arası oturmalar ve kabarmalar.....	46
Çizelge 5.4 : Kuyuların koordinatları ve derinlikleri.....	47
Çizelge 5.5 : İndirgenmiş grup. ....	51
Çizelge 5.6 : Surfer_10 hesap analizi. ....	55
Çizelge 5.7 : Atatürk Barajı'na ait 174 aylık kret kesiti üzerindeki oturmalar.....	59





## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1 : Emniyet, tehlike ve ihtimal arasındaki bağıntı .....	6
Şekil 2.2 : Tehlike ile risk arasındaki bağıntının şeması .....	7
Şekil 2.3 : Barajlarda emniyet kontrolü .....	10
Şekil 2.4 : Yıkılmasından sonra Malpasset Barajı .....	15
Şekil 2.5 : Vajont Barajı kazası .....	16
Şekil 3.1 : Piyezometre okuma formu .....	24
Şekil 3.2 : Toplam basınç ölçer okuma formu .....	25
Şekil 3.3 : Toplam basınç ölçer okuma örneği .....	26
Şekil 3.4 : Magnetic extensometer okuma formu .....	27
Şekil 3.5 : Su basınç ölçer okuma formu .....	28
Şekil 3.6 : Çökme ölçer okuma formu .....	28
Şekil 4.1 : Barajlar ve göletler için risk potansiyeli sınıflandırma tablosu.....	38
Şekil 5.1 : Obje noktaları için zorunlu merkezleştirilmeli zemin tesisleri .....	45
Şekil 5.2 : Obje noktaları .....	45
Şekil 5.3 : Kuyuların yerleri .....	48
Şekil 5.4 : Dayanak noktaları için matris tablosu ve hesabı .....	48
Şekil 5.5 : Dayanak noktaları arasındaki açılar matris gösteri .....	49
Şekil 5.6 : Polar variogram .....	49
Şekil 5.7 : Semivaryans hesabı .....	50
Şekil 5.8 : Semivariogram modeli .....	51
Şekil 5.9 : $Z_E$ değerinin hesap matrisi .....	52
Şekil 5.10 : Surfer_10'a training değerlerinin girilmesi .....	54
Şekil 5.11 : Surfer_10 ile oturumların ve kabarmaların modeli .....	55
Şekil 5.12 : Saçılma diyagramı .....	56
Şekil 5.13 : Gövdede yapılan ölçüm ile tespit edilen kabarma ve çökme planı .....	58
Şekil 5.14 : Kret üzerinden alınan kesit .....	58
Şekil 5.15 : Kesit IV'e ait oturma grafiği .....	60



## **DOLGU BARAJLARIN GÜVENLİĞİNDE RİSK ANALİZİ : ATATÜRK BARAJI ÖRNEĞİ**

### **ÖZET**

Su yeryüzündeki canlılar için alternatifi olmayan bir yaşam kaynağıdır. Canlılar sudan faydalanmak için çeşitli maksatlarla suyun optimal kullanımına yönelik projeler geliştirmişlerdir. Bu projelerden bir tanesi de barajdır.

Barajların yapımında detaylı projelendirme, hatasız imalat ve optimal işletme koşulları gibi konular azami derecede önemli tutulmasıyla birlikte, yapının imal edilmesi veya işletilmesi sırasında ortaya çıkabilecek risklerin de belirlenmesi ve bu risklere karşı gerekli önlemlerin alınması da bir o kadar önemlidir. Bu bağlamda son yıllarda risk gruplarını ön gören, geçmişte yaşanan baraj kazalarının bir daha yaşanmaması için gelişmesi şart olan ve yapıyla birlikte çevresindeki yaşamların da korunmasını amaç edinen baraj güvenliği konusu önem kazanmıştır.

Baraj güvenliği mevcut barajların yanı sıra yapılacak olan barajların projelendirilmesi, imalatı, işletilmesi ve bakımı gibi konuları da ihtiva etmektedir. Bugün pek çok gelişmiş ülkede hukuki ve teknik alt yapıya kavuşan baraj güvenliği konusu ülkemizde de üniversiteler, dernekler, kongreler ve idari mekanizmalar ile birlikte gün geçtikçe ilerleme kaydetmektedir.

Baraj güvenliğine değinilen bu çalışma çerçevesinde,

Bölüm 1’de, tezin ana konusu olan baraj güvenliği ve barajlara etki eden riskler hakkında gerekli önemden bahsedilmiştir.

Bölüm 2’de, tehlike ve emniyet kavramları açıklanmıştır. Riskin, tehlike ve emniyet ile olan ilişkisi açıklanıp yapıya etkisine değinilip barajlardaki yetersizler açıklanmıştır. Barajların yetersizliği konusu ilgili faktörler çerçevesinde irdelenmiştir. Bunlara ek olarak baraj kazalarıyla ilgili verilen örneklerle ile baraj güvenliği konusuna vurgu yapılmıştır.

Bölüm 3’te, mevcut barajların muayenesi konusu incelenmiştir. Muayene konusu ile ilgili hususlar belirtilmiştir. Barajlardan veri almayı sağlayan ölçme aletlerinin çalışma prensipleri ve okunan verilerin kayıt altına alınma düzeni açıklanmıştır. İlgili veriler ışığında değerlendirme ve analizin yapılışı hakkında bilgi verilmiştir.

Bölüm 4’te, risk kavramına değinilip riskin mühendislik alanındaki faydaları açıklanmıştır. Risk analizi ve yönetimi kavramının çeşitli uzmanlık alanlarında kullanılan başlıca yöntemleri belirtilip açıklamalar getirilmiştir. Risk analiz yöntemleri açıklandıktan sonra barajların risk gruplarının belirlenmesinde izlenen yoldan bahsedilmiştir.

Bölüm 5’te, Türkiye’nin en büyük dolgu barajı olan Atatürk Barajı önemiyle birlikte tanıtılmıştır. Atatürk Barajı’nın öneminden bahsedildikten sonra DSİ Şanlıurfa 15. Bölge Müdürlüğü’nden alınan baraj gövdesindeki oturmaları gösteren ölçme sonuçları verilmiştir. Belirli periyotlarla baraj gövdesinde ölçülen oturmalar ve

kabarmalar modellenmiştir. İlgili model çerçevesinde baraj güvenliği kapsamında risk analizi yapılmıştır.

Bölüm 6'da, Atatürk Barajı'nın gövdesinde yapılan ölçümler sonucu yapılan modele göre değerlendirme yapıp risk kapsamında irdelenmiştir. İlgili çalışma tavsiye niteliğindeki sonuca bağlanmıştır.

# **RISK ANALYSIS ON THE FILL DAM SAFETY : ATATURK DAM CASE STUDY**

## **SUMMARY**

Water is a life source without alternative for creatures living on earth. Creatures have developed projects for the optimal use of water due to several purposes in order to make use of water. One of these projects is dams.

While aspects such as detailed project designing, error-free production and optimal operating conditions have utmost importance in construction of dams, determination of risks that may arise during production or operation of the structure and taking required measures against such risks are not less significant. Within this context, anticipating the risk groups, requiring improvement to prevent dam accidents experienced in the past and aiming to protect the life in the surrounding in addition to the structure, dam safety issue has gained importance in the recent years.

In addition to available dams, dam safety concerns subjects such as project design, production, operation and maintenance of dams to be constructed. Today, attaining a legal and technical infrastructure in many developed countries, the issue of dam safety is being advancing gradually every other day in our country through universities, associations, congresses and administrative mechanisms.

Addressing dam safety, within scope of this study,

In the Chapter 1, dam safety and the required importance for the risks affecting the dams are explained. Mankind's need for water throughout the history is emphasized and the need for building dams for this requirement is stated. Dams in the world and in Turkey are addressed. It is also stated that the current conditions require economic use of water.

It is explained that safety of the dams is a very important issue both in the national and international level. Despite this, while the current situation clearly shows the hazards, it is reminded that only a few countries have a fully equipped dam safety program. In the last part of the chapter, the roadmap of the study is stated.

In the Chapter 2, the concepts of hazard and safety are explained. It is stated that despite the technological advancement, natural disaster still pose a threat for humanity. It was explained that the big constructions like dams may pose not only known hazards, but also unusual hazards. Land solution procedures in relation to the concept of hazard are listed.

The importance of the concept of safety in engineering, which is defined as the case not posing hazard, is emphasized. Hazard and safety are discussed along with the risk factor, and displayed in a chart. Additionally, topics regarding the risks posed in the dams are mentioned. These topics are discussed in the framework of safety. The other professions effective in addition to construction engineering are stated in terms of dam safety.

3 ways, through which the dam safety is monitored in different disciplines, are given. These 3 ways are respectively prevention, control and decreasing. Stability of the dams providing the society with such advantages as energy, irrigation water, flood control and recreation, is examined. It is highlighted that while trial and error method has been common in the first years of dam construction, now research and development is important.

It is underlined that the dams, which are built more and more making use of the technology, are now constructed on less suitable spots. It is stated that because the dams directly affect security of life and property both during their construction and operation, risk calculations have to be made more carefully and meticulously and should be frequently checked.

The last part of the chapter is spared for the reasons and factors of the insufficiencies in the dams. It is stated that the most effective issue in dam destruction is insufficiency. Structural destruction and performance destruction are discussed and it is stated that the dams are designed according to the concept of structural destruction. Factors creating the insufficiency are listed and explained with examples. In this context, examples of the dam accidents that arose due to the insufficiencies and lead to loss of life and property are given.

In the Chapter 3, the subject of examining current dams and measurement tools in the fill dams are analyzed. Examination issues are stated and the importance of particularly the dam body is highlighted. Importance of anticipations in examination is stated. Concept of examination is divided into types and separate principles are explained.

The second part of the chapter is on measurement and measurement equipment. It is stated that through dam measurement devices, equipment are placed on the dam body or its several spots and it is possible to monitor dam's actions in time. In this context, dam measurement devices are listed and explained. Forms of the relevant equipment used in the worksite in fill dam construction are explained in figures. After that, the assessment and analysis procedures required as a result of the examinations and measurements are emphasized.

In the Chapter 4, the concept of risk is addressed and importance of risk in engineering is discussed. After explaining the concept of risk, possible risks to be encountered in the construction industry are stated. Risks in the construction industry are listed and measures to be taken against these risks are explained. Controllable and uncontrollable risks are explained and their dependence on the design, workmanship standard and quality of the used material is analyzed.

Complete and partial dependence of the risks in the construction sector are emphasized. The terms of static risk and speculative risk are explained. It is stated that the construction projects host several uncertainties arising from various factors. It is discussed that at this point, risk analysis is an essential fact. It is also stated that risk analysis has become compulsory for some projects and this type of projects are listed. The basic issue in risk analysis is that risk estimates have to be conducted realistically and the results have to be correctly interpreted and expressed concretely with a realistic approach.

The last part of the chapter is spared for determining the risk groups for the dams. In this part, a risk potential classification table for the dams is given. Within the framework of the regarding table, dams have to be assigned risk points depending on

their qualities and the area they affect. It is explained that as a result of the related points, risk class of the dams is revealed.

In the Chapter 5, Atatürk Dam, which is the largest dam in Turkey, is introduced with its importance. The geodesic deformation measurement procedures for Atatürk Dam are explained. It is stated that the horizontal and vertical measurements are made with the classical or satellite based measurements conducted periodically on the deformation networks created for this purpose. Geodesic and non-geodesic measurements, as well as the tools used in these measurements are explained. It is stated that several deformation points are placed on the dam body and the regions to create movement with these points are selected. It is explained that the deformation network is created as a result of the relevant regions. Perpendicular movements arising as a result of the deformation network are given in table.

Kriging method for calculating the perpendicular movements arising as a result of the deformation networks is explained in detail. Explanation of Kriging method is supported with an example. Via Surfer\_10 software, perpendicular movements on Atatürk Dam are modeled with Kriging method. Coordinates and perpendicular movements in the deformation network are taken as basis in modeling. With the interpolation-based Kriging method, data on the dam body are obtained. Variation diagram of the created model is drawn. Efficiency of the model is calculated under a separate title.

Values of the created model are compared with the data obtained from 15<sup>th</sup> Regional Directorate of State Hydraulic Works. The difference arisen as a result of the assessment is explained and the required calculations are conducted. While making the calculations, a part is taken from the section of the dam posing risk on the dam crest. Then, 174-month sitting graph is obtained for this section. 5-year data from this graph is selected according to the model's period and analyzed. As a result, it is determined that the calculation provides 90.71% of reliability.

In the Chapter 6, it is emphasized that as the dams are huge constructions, their designs have to be made very carefully and meticulously. It is stated that many people lose their lives due to dam destructions and serious damages occur. It was highlighted that for safe operation of the dams, they have to be monitored periodically throughout their lives.

In the last part of the section, the model created as a result of this study is analyzed. Sinking on Atatürk Dam's body that arose between May 2006 and December 2011 are assessed. Model's efficiency is emphasized.





# 1. GİRİŞ

## 1.1 Tezin Amacı

Turfan (1996)'a göre, "Dünyada her yıl yaklaşık 400 000 km<sup>3</sup> su buharlaşmakta ve yağış olarak tekrar dünyaya dönmektedir. Bunun 300 000 km<sup>3</sup>'ü denizlere 100 000 km<sup>3</sup>'ü ise karalara düşmektedir. Karalara düşen yağışın ise ancak 1/3'ü yer üstü akışı haline geçmekte ve akarsuları oluşturmaktadır. "

İnsanoğlunun tarih boyunca suya olan gereksinimi hep olmuş ve akışa geçen suyu biriktirmeye çalışmıştır. Önceleri günlük ihtiyaçları için suyu kaplarda biriktirmeye başlamışlar. Fakat suyun kıt olduğu yerlerde nüfusunda giderek artmaya başlamasıyla su biriktirme yapılarının inşaa edilmesi zorunlu hale gelmiştir. Su biriktirme yapılarının en önemlisi ise barajdır. Baraj kelimesi, XX. Yüzyılın ortasından sonra Fransızca'dan dilimize geçmiş olup sözlükte engel anlamına gelmektedir. Teknik terim olarak Fransızca'da Türkçe'deki ile aynı anlamda kullanılmaktadır (Ağıralıoğlu, 2004).

Dünyada nehirler üzerinde 1950 yılında 5 bin olan büyük baraj sayısı, günümüzde 45 bine çıkarılarak ortalama her bir güne 2 baraj yapımına denk getirildi. Günümüzde barajlar dünyadaki büyük nehir sistemlerinin yarısından fazlasını yani 292 sistemden 172'sini, ABD, Kanada, Avrupa ve eski Sovyetler Birliğindeki büyük nehir sistemlerinin dörtte üçünden fazlasını etkiliyor (EMO,2006).

Ülkemiz de inşa edilmiş barajların sayısı bakımından Dünya'daki sıralamada üst sıralarda yer almaktadır. Avrupa'daki hidroelektrik santral (HES) potansiyelinin yüzde 16'sına sahip Türkiye, şu an bunun sadece üçte birini kullanıyor. Tüm potansiyel kullanıldığında halen 138 olan baraj sayısınının 716'ya çıkması hedefleniyor. Buna rağmen Türkiye su zengini bir ülke değildir. Kişi başına düşen yıllık su miktarına göre ülkemiz su azlığı yaşayan ülke konumundadır. Kişi başına düşen yıllık kullanılabilir su miktarı 1519 m<sup>3</sup> civarındadır (DSİ, 2014). Buna ilave olarak TÜİK verilerine göre 2030 yılında nüfusumuzun 100 milyon olacağı tahmin

edilmektedir. Olası bu senaryoya göre ise 2030 yılı için kişi başına düşen kullanılabilir su miktarı 1120 m<sup>3</sup> olacağı düşünülmektedir.

Hali hazırda olan durum bize suyumuzu tutumlu ve özenli kullanmamızı tavsiye eder niteliktedir. Ülkemizde çok ciddi mali kaynaklarla kurulan barajlar suyumuzu değerlendirmede en önemli tesislerdir. Kurulması planlanan yaklaşık 400 tane barajın yanı sıra hali hazırda işletmede olan 503 adet barajımızın güvenliği son derece önem arz etmektedir. Hali hazırdaki barajlarımızın güvenliği için teknik, ekonomik ve hukuki düzenlemeleri bir bütün içinde ele alan, geniş perspektifli probabilistik risk değerlendirilmei mutlaka yapılmalıdır.

Bunun yanı sıra baraj güvenliği, sadece yapılmış barajların güvenliği için gerekli çalışmaları değil, yapılacak barajların tasarımı, inşaatı ile işletme ve bakımı safhasında da göz önüne alınması gereken önemli konuları içermektedir (Ağırlioğlu, 2011).

## **1.2 Konunun Önemi**

Barajlarda emniyetin sağlanması gerçekten ulusal düzeyde kritik bir konudur. Dünya istatistiklerinde barajların başarısızlığı ve bekleneni verememesi kabul edilemeyecek derecede insan hayatına ve ekonomik kayıplara mal olmuştur. ICOLD (2001) tarafından yayınlanan raporda geçen yüzyıl içerisinde oluşan baraj problemleri dünya üzerinde 8000'den fazla kişinin ölümüne neden olmuştur. Fakat toplumların hayatlarını devam ettirebilmeleri, endüstrileşmeleri ve tarımsal üretim yapabilmeleri için su ihtiyaçlarını karşılamaları gerekir. Bu nedenle büyük çaplı ve çok amaçlı barajların yapımı devam edecek ve yerleşim merkezleride doğal olarak bu barajlara yakın yerlerde inşaa edilecektir (Durdu, 2003).

Mevcut durum tehlikeleri açıkça göstermesine rağmen pek az ülkenin tam donanımlı bir baraj güvenliği hukuku vardır. ABD'de çalışmalar göstermiştir ki, erken uyarı sistemi ve boşaltma planları uygulanan yerlerde, baraj yıkılmasından kaynaklanan ölümler neredeyse %100 azalmıştır (Ağırlioğlu, 2011). Bu bağlamda uluslararası alanda baraj güvenliği hukununun kurulması zorunlu hal almaktadır.

Son yıllarda iklim değişikliğine bağlı olarak artan depolama ihtiyacı, baraj yapılarımızın önemini bir kat daha artırmıştır. Teknolojik gelişmeler, özellikle sayısal yöntemlerle farklı yükleme koşulları altında oluşturulabilen model çözümler,

tasarımda büyük kolaylık sağlamaktadır. Bununla birlikte günümüzde çok sayıda temel zemin problemleri yaşanan baraj bulunmaktadır. Bu durum, büyük oranda geçmişe göre daha az uygun fiziki faktörlere sahip alanlara baraj yapılmasından kaynaklanmaktadır (Tosun, 2008).

### **1.3 Çalışmanın Düzeni**

Ulugür (1972)'ye göre, " Fransa'da 1963'te Malpasset Barajı yıkılıp binlerce can kaybı ve 1 milyar liraya yakın mal kaybı olduğunda tecrübeli ve iyi bir mühendis 'bu Dünya'da mutlak emniyet erişilemeyecek bir hayaldir' demiştir. Hakikaten barajı hangi debiye göre hesaplıyorsanız hesaplayın; daima daha büyük bir feyezanın gelmesi mümkündür."

Bu çalışmada önce Baraj Güvenliği konusunun önemi vurgulanmıştır. Daha sonra tehlike ve emniyet tanımlamaları yapıp barajların bu kapsamda nelerle karşılaştığına yoğunlaşmıştır. Barajların emniyetli olma hususu ve tehlike arz etmesi durumları belirtilmiştir. Tehlike arz edebilecek durumlar belirtilmiştir. Bu tehlikelerin sebebi olan yetersizlikler açıklanmıştır. Daha sonra ise yetersizlikle durumunda oluşan kazalardan örnekler verilmiştir.

Çalışmanın devamında dolgu barajlarda ortaya çıkabilecek tehlikelerin ön görülmesini sağlayan muayene hususu üzerinde durulmuştur. Dolgu barajlar için muayene hangi araç gereçle ve nasıl yapılacağı belirtilmiştir. Yapılan muayenelerin değerlendirilmesi konusu ele alınmıştır.

Daha sonra tezin ana konusu olan risk analizine değinilmiştir. Riskin tanımı yapıp önemi vurgulanmıştır. Risk analizinin ne gibi faydaları olabileceği belirtilmiştir. Bununla birlikte risk analizi için çeşitli yöntemler tanımlanmıştır. Bu tanımlamalarda özellikle güncelliğini koruyan yöntemler seçilmiştir.

Risk analizinden sonra ise çalışmanın uygulanacağı Atatürk Barajı tanıtılmıştır. Atatürk Barajı'ndaki oturmalar üzerine elde edilen veriler sunulmuştur. Bu veriler ışığında model oluşturulup, risk analizi yapılmıştır.

Sonuç olarak, Atatürk Barajı'ndaki oturmalar tabii olarak karşılanmakla birlikte hali hazırdaki diğer barajlarda da risk analizlerinin yapılması tavsiye edilmiştir.



## 2. BARAJLARIN GÜVENLİK PROBLEMLERİ

### 2.1 Tehlike ve Emniyet Tanımlamaları

Teknolojinin ilerlemesine rağmen tabii afetler günümüzde de insanoğluna ve çevreye zarar vermektedir. İnsanlık için adeta kaçınılmaz bir felakete yol açan afetlerden ancak tedbir alarak korunmak mümkündür. Alınan tedbirler kimi zaman zararı önlerken kimi zaman ise zararı asgari seviyeye indirebilmektedir. Sonuç olarak ortada her zaman bir tehlike söz konusudur. Peki tehlike nedir?

Tehlike, insanlara ve onların mallarına potansiyel bir tehdittir ( Ağırlioğlu, 2011 ). Tehlike beraberinde riski de getirir. Tehlikenin oluşabilmesi için ortada bir risk olması gerekmektedir. Riski ise tehlikenin ortaya çıkma olasılığı olarak kısaca tanımlayabiliriz.

Baraj gibi büyük yapıların uzun süreli işletmelerinde bilinen tehlikelerle birlikte bilinmeyen tehlikeler de ortaya çıkmaktadır. Konunun uzmanlarınca işletme esnasında da güvenlik ve tehlike izlemeleri yapılmaktadır. Bu izlemeler neticesinde ortaya çıkan işlemler bütünü Şekil 2.1 de verilmiştir (Roland and Moriarty, 1990).

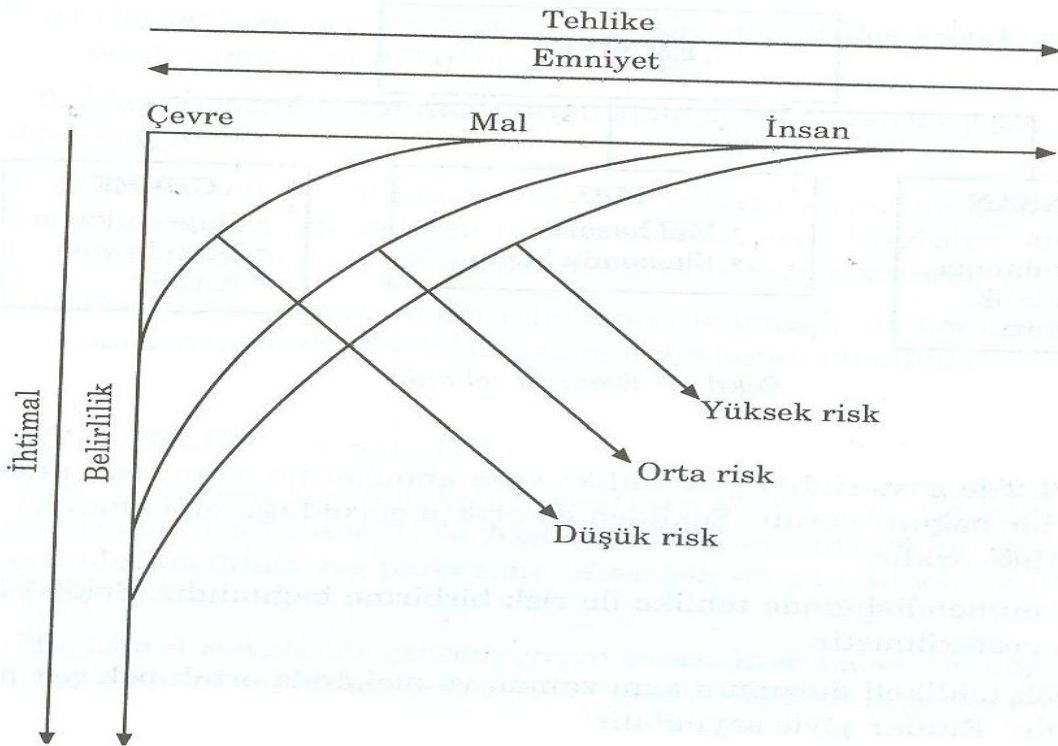
Peki tehlikenin olmadığı durumlar mümkün değil midir? Elbette mümkündür: Emniyetli durum

Emniyet, yaşamımızda mala ve cana herhangi bir potansiyel tehdidin olmadığı durum olarak nitelendirilebilir. Mühendisler olarak bizler de daima tasarımlarımızda emniyet hususunu değerlendirerek hesaplamalarımızı yaparız ve gerekli emniyet katsayıları ile tasarımlarımızı kuvvetlendiririz.

Tehlike ve emniyet hususlarından bahsederken her zaman yapının niteliği düşünülerek davranmakta fayda vardır. Örneğin iki barajı değerlendirirken büyüklük veya küçüklükleri gibi yapısal nitelikleri risk değerlerini değiştirmekte dolayısıyla yapıların tehlikeli ve emniyetli olma hususları da birbirlerinden farklılık göstermektedir. Bu bağlamda yapılardaki tehlike, emniyet ve risk kavramları birbirleriyle iç içedir (Şekil 2.1).

**Çizelge 2.1 : Tehlike ile ilgili karar/çözüm işlemleri**

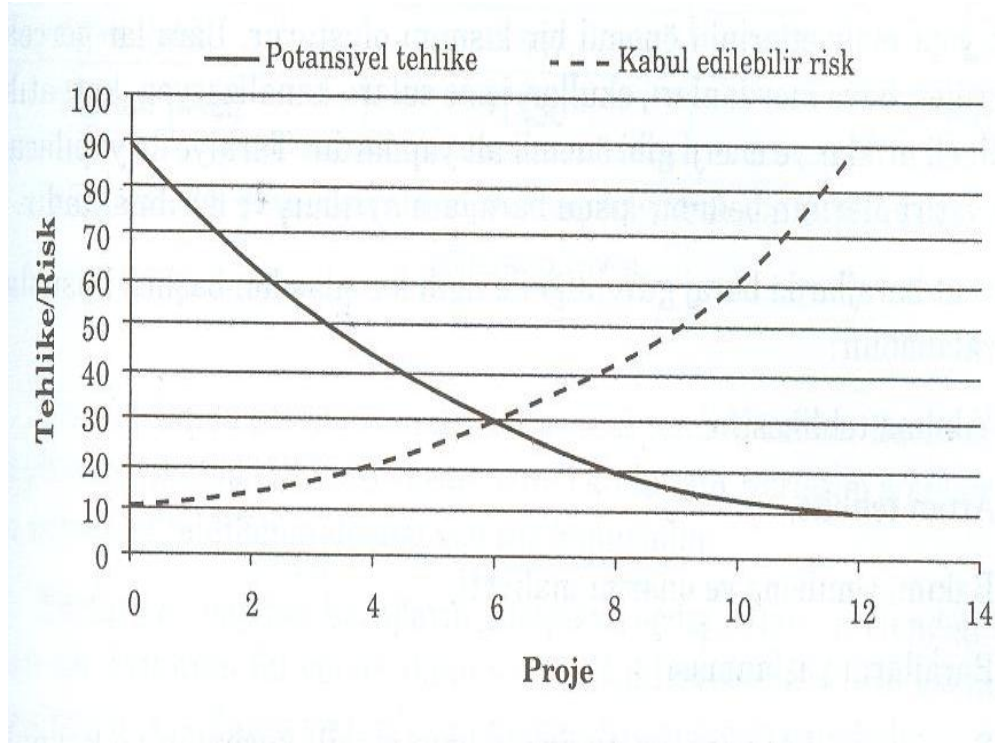
1) Sistemin Tanımlanması	İnsanın, prosedürün, olanakların, malzemenin çevrenin fiziksel ve fonksiyonel özelliklerinin tanımlanması ve değerlendirilmesi
2) Tehlikelerin Tanımlanması	Tehlike ve istenmeyen olayların tanımı, Tehlikelerin sebeplerinin saptanması
3) Tehlikelerin Saptanması	Tehlike derecesinin saptanması Olasılıkların saptanması Riskin kabulü, kontrolü veya yok edilmesi kararının verilmesi
4) Tehlikelerin Çözülmesi	Riskin alınması Doğru işlemin yapılması Eliminasyon Kontrol
5) İzlenmesi	Etkilenmelerin izlenmesi Beklenmeyen tehlikelerin izlenmesi



**Şekil 2.1 : Emniyet, tehlike ve ihtimal arasındaki bağıntı (Ağralıoğlu, 2011)**

Baraj gibi tabii hayata doğrudan bağlantılı bir yapıya etkiyen sayısız etki vardır. Etkilerin oluşturduğu riskler temel olarak Atmosfer, Hidroloji, Jeoloji, Hidrojeoloji ve Teknoloji ana başlıkları altında toplanabilir (Şekil 2.2).

Risk hayatın bir parçası olmakla birlikte hemen hemen risk içermeyen hiçbir şey yoktur. En iyi uzmanlar, bilgiler, bilim ve teknoloji bir araya getirilse bile yapılan bir barajın güvenliğini çeşitli noktalardaki ölçme aletleri ile yine de ölçmek ve değerlendirmek gerekir ( Ağırlioğlu, 2011 ).



Şekil 2.2 : Tehlike ile risk arasındaki bağıntının şeması (Ağırlioğlu,2011)

## 2.2 Barajlarda Emniyet Kapsamı

Baraj güvenliğinin kapsamı, mevcut barajlara ait bilgilerin toplanıp derlenmesinden, detaylı analizlerden, sahada gerekli donanımlarla yapılan muayenelerden ve gerekliyse laboratuvar deneylerinden meydana gelir. Kapsam dahilinde yürütülen bu çalışmalar sağlıklı yürütülükten sonra yapının statik açıdan uygunluğu ve güvenli bir baraj yapısının inşaatı gündeme gelir. Yapılan çalışmaların çerçevesi yapının büyüklüğü, önemi ve karmaşıklığı gibi unsurları neticesinde ortaya çıkar.

Baraj güvenliğinin kapsamı bu kadar genişken ilgili disiplini sadece belirli meslek gruplarının inisiyatifine bırakmak yanlış olur. Tam güvenli ve minimum riskli bir barajın inşaatını programlamak için belli başlı branşlardaki mesleklerin görüşlerine başvurmak önem arz etmektedir. Baraj inşaatında görev alması muhtemel branşlar ise, Hidroloji, Jeoloji, Jeofizik, Çevre Bilimleri ve Deprem Mühendisliği şeklinde sıralanabilir.

Farklı disiplinlerdeki uzmanların belirlediği baraj güvenliğinin izlediği yol 3 temel aşamadan geçer. Bu aşamalar sırasıyla önleme, kontrol ve azaltmadır. Önleme, yapının muhtemel yıkılmasından oluşabilecek zararları engellemeye yönelik çalışmaların bütünüdür. Kontrol, arızanın saptanması durumundaki müdahaleyi ifade eder. Azaltma ise, kontrolde gözden kaçmış ve önlenemez durumların sonunda zararı asgariye indirgemeyi hedefler.

### **2.3 Barajlarda Güvenlik ve Stabilite**

Barajlar topluma enerji, sulama suyu, taşkın kontrolü, rekreasyon gibi çok farklı avantajlar sağlayan yapılardır. Fakat bu avantajların daimiliğini sağlamak ve ileride oluşacak potansiyel afetlerden korunmak için toplumlar mevcut barajları güvenli bir şekilde işletmek ve idare etmek zorundadır.

Baraj güvenliği bu tesislerin verimliliğinin artırılmasında önemli bir rol oynar. Barajın yetersizliği veya başarısızlığı toplum yaşamına zarar verdiği gibi gerek endüstriyel gerekse zirai alanların yok olmasına da neden olur.

Baraj yapımının ilk yıllarında mühendisler daha çok deneme-yanılma yöntemleriyle baraj inşaatlarını sürdürmüşlerdir. Günümüz de ise baraj inşaatı daha rasyonel metotlarla sürdürülmektedir. Araştırma ve geliştirme çalışmalarını takiben teknolojinin de dahil olmasıyla baraj inşaatı hızlı ve güvenli hal almaktadır.

Gittikçe artan teknolojik ve kuramsal gelişmeye rağmen baraj yapılan yerler de daha az uygun yerler olmaktadır. Bunda baraj yapımının belirli bir yol alması ve uygun olan yerlere barajların yapılmış olması sebep olarak gösterilebilir. Uygun olmayan yerlerde baraj yapımı da beraberinde riskin artmasına sebep olmaktadır. Barajların mansaplarında binlerce insanın yaşayabileceğini düşünürsek imalatta en güvenli yolun bulunmasının ve tatbik edilmesinin ne derece önemli olduğu anlaşılmaktadır.

Barajların planlanması, tasarlanması, imalatı ve işletilmesi kadar doğrudan doğruya can ve mal güvenliğine etkileyen risk hesaplarının da yapılması son derece önemlidir. Güvenlik bağlamında yapılan harcamalar masraf olarak görülmemeli aksine proje maliyetinin ayrılmaz ve zorunlu bir parçası olarak görülmelidir. Mühendislerin genellikle maliyete önem vermesi bazen güvenlik kavramını ikinci plana itmelerine sebep olabilmektedir. Fakat gündeme alınan her seçenek mutlaka güvenlik faktörünü de içinde barındırmalıdır. Bununla birlikte barajın performansına doğrudan etki eden



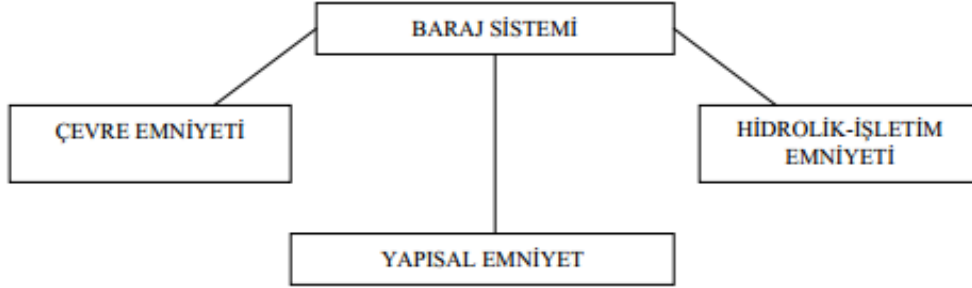
yapısal elemanlar ve tüm detaylar en olumsuz statik ve dinamik yüklerin kombinasyonuna göre yeterli emniyetle projelendirilmelidir. Projelendirme kısmında yapılan kabullerin işletme sırasındaki değişme olasılıkları projelendirme safhasında dikkate alınmalıdır.

Barajın güvenli bir şekilde işletilmesi için baraj emniyet programı oluşturmak gereklidir. Etkin bir baraj emniyet programı için ilgili baraja ait mevcut bilgiler toplanır. Daha sonra toplanan veriler analiz edilir. Analiz eden verilere göre barajın bulunduğu yerde yerinde analiz yapıp barajın performansı değerlendirilir. İlgili çalışmla raporlanıp bilgi sistemleri aracılığıyla kayıt altına alınır.

Durdu (2004)'e göre Barajlarda emniyet kontrolü programı gerekliliği aşağıdaki maddelerle özetlenebilir:

- Barajlar genellikle yerleşim yerlerinden uzak yerlerde inşa edildikleri için aşırı yağışların, deprem ve taşkın gibi doğal olayların gözlemlenmesi zordur. Fakat bu olayların meydana gelmesi esnasında barajlarda meydana gelen gerek statik gerekse dinamik değişimlerin gerçek zamanda izlenmesi gereklidir.
- Barajlar buldukları konum, kullanılan malzeme çeşidi, gövde tiplerinden dolayı farklılık arzettiklerinden dolayı her baraj için farklı gözleme yöntemleri uygulanmalıdır.
- Toplanan veriler çeşitlilik arz ettiği için farklı alanlardan teknik elemanların bir teknik ekip oluşturarak mevcut verileri değerlendirmesi gerekir. Oluşturulan bu ekip yıllarca toplanan verileri analiz eder ve barajda meydana gelen problemlerin çözümünde bu verilerden yararlanarak karar mekanizması oluştururlar. Fakat zamanla bu elemanların ayrılması veya görev sürelerinin bitmesi durumunda veriler, bu ekibin deneyimleri ve raporlar yok olma tehlikesiyle karşı karşıya kalabilir. Bu deneyimlerin ve çözüm yollarının belgelendirilerek baraj emniyet programına aktarılması gerekir.
- Barajlar üzerinde büyük masraflar yapılarak kurulmuş ölçüm ve gözlem istasyonlarından elde edilen büyük miktarda veriler mutlaka analiz edilmeli ve değerlendirilmelidir. Aksi takdirde bu verilerin kullanılmaması baraj emniyeti açısından olumsuzluk oluşturacaktır. Baraj bilgi sistemleri içerisinde bu veriler otomatik olarak değerlendirilecektir.

Barajlarda emniyet sistemi oluşturulurken göz önüne alınması gereken öğeler şunlardır: barajın yapısal emniyeti (etkiyen kuvvetler:statik ve dinamik), hidrolik-işletim sistemi ve çevre emniyeti (Şekil 2.3).



**Şekil 2.3 :** Barajlarda emniyet kontrolü

Barajın emniyet kontrolünün yanı sıra stabilitesinin de sağlanması çok önemlidir. Baraj stabilite hesaplarında dünya ölçeğinde geçerliliği ve doğruluğu kanıtlanmış yazılımlar kullanılmalıdır. Baraj gövdesindeki stabilite hesaplarında kritik aşamalardaki boşluk suyu basıncı gelişimleri ve kayma dayanımları güvenilir laboratuvar ve analiz verilerine dayandırılmalıdır. Baraj gövdesi içinde boşluk suyu basıncı gelişimi sızma analizi ile bulunmalıdır. Freatik hat tespiti de bu analizlerle yapılmalı ve daha sonraki ölçüm sonuçlarına ilişkin veriler projelendirme aşamasında belirlenmelidir (Barajlar Kongresi, 2012).

## **2.4 Barajlarda Yetersizliklerin Sebepleri**

Barajların yıkılmasında veya hasar görmesindeki temel unsur yetersizliklerdir. Her barajda oluşabilecek bir takım yetersizlikler vardır. Gözle arazide muayene ederek veya laboratuvar testleriyle yetersizliklerin önüne geçmek veya oluşabilecek tehlikeleri minimuma indirmek mümkündür. Buna rağmen kimi zaman ise imalat sırasında yapılan dikkatsizlikler sonradan yetersizlikleri günyüzüne çıkartabilir.

Mirtskhoulava ( 1993 )' e göre sebepsiz yere bakım ve koruma işlerinin kaldırılması, yaşlanma, doğal aşınma ve yıpranma baraj yetersizliklerini ortaya çıkartan etmenlerden bazılarıdır.

Yetersizlik sonucu oluşan yıkılmalar iki başlıkta incelenebilir. İlki yapısal yıkılmadır. Yapısal yıkılmada yapının hasar sonucu özelliğini yitirmesi sonucu ortaya çıkar. Böylelikle yapı tasarlandığı gibi çalışamaz. İkincisi ise performans yıkılmasıdır.

Performans yıkılmasında tasarım esnasında öngörülen değerler ve sınırlar aşılr. Bu da yapıda istenmeyen bir durumdur.

Genel olarak baraj ve seddeler yapısal yıkılma kavramına dayalı olarak tasarlanırlar. Kanalizasyon ve su temini ağıları gibi hidrolik yapılar ise performans yıkılması temel edinilerek tasarlanırlar (Yen and Tung, 1993).

Bununla birlikte 1600 baraj sistemi üzerinde yapılan bir araştırmada Şekil 2.3 'te verilen baraj yetersizlikleriyle karşılaştırılır. Bundan daha sonra yaklaşık 300 barajda yapılan bir çalışmada düzensiz oturmaların yetersizliklerdeki yaklaşık oranının %10 olduğundan söz edilmektedir (Kite, 1976).

**Çizelge 2.2 : Barajların yetersizliğinin sebepleri (Kite, 1976)**

Yetersizliğin Sebebi	Yetersizliğin Yüzdesi ( % )
Temel Yetersizliği	40
Dolusavak Yetersizliği	23
Zayıf Konstrüksiyon	12
Düzensiz Oturmalar	10
Yüksek Boşluk Basıncı	5
Savaşın Etkileri	3
Sedde Kaymaları	2
Kusurlu Malzemeler	2

## **2.5 Barajlarda Yetersizlik Faktörleri**

Barajlara etkiyen belli başlı yetersizliklik faktörleri aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

### **2.5.1 Temel yetersizliği**

Temel; yapının üzerinde bulunduğu zeminle temasını sağlayan ve yapıdan gelen yükleri zemine aktaran yapının önemli bir birimidir. Temellerin analizinde iki ayrı kriter dikkate alınır: Birincisi, temel zemininde oluşacak oturma değerleridir. Bu değerler; yapı cinsine göre verilen sınırlar dahilinde kalmalı veya genel bir ifade ile yapıya zarar vermeyecek ölçüde olmalıdır. İkincisi, temel altındaki zeminin kayma göçmesine karşı yeterli bir güvenliğe sahip bulunmasıdır. Bir başka ifade ile, taşıma gücü şartının sağlanması gerekmektedir (Tosun, 2004).

Kontrol ve tahmin edilemeyen sızıntı, düzensiz oturma ve kayma gibi nedenler temellerde karşılaşılan yetersizliklere yol açar. Bununla birlikte çatlaklar da temel de sorun olduğuna işarettir. Temelde meydana gelen çatlaklar ve erozyonlar nispeten yavaş bir seyir izlese de kaymalar gibi büyük hareketler aniden gelişirler.

### **2.5.2 Boyuna çatlaklar**

Baraj kesitinde boylu boyunca uzanan çatlaklardır. Kret boyunca da görülebilir. Genellikle yüzeyde bulunan malzemenin kuruyup büzülmesi neticesinde ortaya çıkar. Farklı oturmalar ve mansaba doğru hareketlenme de boyuna çatlığa sebep olan unsurlardır. Boyuna çatlak baraj yapısında meydana gelebilecek herhangi bir kayma için erken uyarı niteliği taşır.

### **2.5.3 Enine çatlaklar**

Barajın çoğunlukla tepe kısmında meydana gelir. Yapı içerisinde oturmaların farklı miktarda düzensiz şekilde olması sonucu enine çatlak oluşur. Barajdaki iç gerilmeler enine çatlak oluşumunda bir başka sebeptir. Enine çatlakların çoğulması sonucu baraja su sızabileceğinden mutlaka önlem alınması gereklidir.

### **2.5.4 Kuruma çatlakları**

Enine çatlaklara göre daha kısa ve dardır. Barajın tepe kısmı boyunca gözlemlemek mümkündür. Mevsimsel değişikliklere paralel şekilde yüzey boyunca oluşur. Kuruma çatlığı içerisine su kolayca sızabilir. Suyun sızması neticesinde mevcut olan çatlak onarılmaz ise daha büyük çatlığa dönüşüp yapıyı tehdit eder hale gelebilir.

### **2.5.5 Oturmalar**

Oturma, baraj yapısının imal edildiği malzeme veya temelin düşey doğrultuda hareketiyle meydana gelir. Barajın gövde dolgusunda kullanılan malzemenin iç aşınması sonucunda da oturma meydana gelebilir. Oturma sebebiyle baraj gövdesinde tasarlanan hava payında düşme meydana gelir. Hava payının düşmesi sonucu ileride barajın üstünden su aşmasına sebebiyet olur.

### **2.5.6 Sığlaşma**

Yapının memba kısmına etki eden dalga hareketi hazne kısmındaki malzemelerin sökülüp şevden aşağıda birikmesine neden olur. Bu şekilde meydana gelen aşınma

ile memba şevinde azalma ve önünde sığlaşma meydana gelir. Zamanla yapının memba kısmında adeta bir sahil oluşur. Oluşan bu durum dolgu malzemesinin ciddi şekilde aşındığının habercisidir.

### **2.5.7 Kaymalar**

Baraj yapısının yüzeyinde tümsek veya çıkıntılar şeklinde kendisi gösterir. Yapının eğimi kaymanın niteliğini belirleyen unsurdur. Yapıda kayma sonucu oluşan çöküntüler ciddi mukavemet kayıplarına sebep olur. Ayrıca yapının şekline ve kayma miktarına göre dik şevlerin oluşmasına sebebiyet verir. İlerlemesi halinde ciddi stabilite problemleri yaratır.

Baraj yapısında meydana gelen kaymalar harici dışarıdan toprak kaymaları da yapıya etki edebilir. Toprak kaymaları, dalgalarla temel yapısının blokajı veya kırılması ya da 1963'te İtalya'daki Voint Barajı örneğinde olduğu gibi baraj yıkılmasına yol açabilir (Yenigün, 2001).

### **2.5.8 Çökmeler**

Dolgu malzemesi içerisinde başlayan aşınmalar neticesinde çökme meydana gelir. Yapıda geniş açıklıklar şeklinde kendini gösterir. Çökmeler sonucu yapının gövde kısmında borulanma meydana gelme riski vardır. Oluşan borulanmalar aşınmayı ilerlettiği gibi ilerleyen safhalarda barajın yıkılmasına neden de olabilmektedir. Çökemelerin sebebi ise büyük oranda baraj dolgusu yapılırken sıkıştırmanın yeterince ve uygun yapılmayıdır.

### **2.5.9 Sızma**

Baraj davranışının değerlendirilmesinde sızıntı suyu hakkında bilgi sahibi olmak oldukça önemlidir. Tehlikeli boyutlardaki bozulmanın ilk sinyalleri sızıntı oranının değişmelerinden anlaşılabilir (Çetin, 2009).

Barajın gövdesinden veya temelinden sızan su, barajın dolgu ve temel malzemesini yıkamak suretiyle aşındırarak stabiliteyi bozmaktadır. Bazı durumlarda ise su baraj temelinde bulunan çözünebilir minerallerden ve alçı taşıdan geçerek yapının içine nüfuz etmektedir. İstenmeyen bu durum neticesinde yapıda boşluk basıncı artmaktadır. Oluşan yüksek boşluk basıncı ise özellikle toprak kitlesini giderek zayıflatmaktadır.

Baraj gövdesini oluşturan tüm malzeme türlerinin ve temelin geçirimsizliği, yerinde ve laboratuvarında yapılacak deneylerle belirlenmeli, baraj su tuttuktan sonra baraj ölçüm tesislerinde gözlenecek boşluk suyu basınçları, toplam su kayıpları ve sızma debileri gibi özelliklerin belirlenmesinde iki veya üç boyutlu analizlerden yararlanılarak, sonuçlar bilimsel çözümlere dayandırılmalıdır.

Gerek temelden gerekse baraj gövdesinden oluşabilecek sızmanın (malzeme taşıyarak baraj emniyetini tehlikeye düşürmesi durumu gibi) baraj emniyeti üzerindeki etkileri projelendirme sırasında düşünülmeli ve projelendirme, sızıntıları minimum seviyede tutacak ve emniyetli bir şekilde su geçmesini sağlayacak tarzda yürütülmelidir (Barajlar Kongresi, 2012).

## 2.6 Baraj Kazaları

Günümüze kadar Dünya'nın çeşitli yerlerinde önemli baraj kazaları meydana gelmiştir. Bununla birlikte tahminen 100'ü aşkın baraj da tehlike arz etmektedir. Mevcut tehlikeye planlananın aksine seyir eden durumlar sebep olur. Yapılan araştırmalar ve tutulan veriler gösteriyor ki 1200'lü yıllardan bugüne kadar yaklaşık 2000 tane barajda yetersizlikler sebebiyle kısmi çökmeye ve yapısal deformasyona sebep olmuştur. Hasar gören bu barajların bir kısmı büyük barajlar olsa da çoğu küçük barajlar sınıfına girmektedir.

1900'lü yıllarda ise yaklaşık olarak 200 baraj yetersizliği ortaya çıkmıştır. Meydana gelen bu yetersizlikler sonucu can ve mal kayıpları meydana gelmiştir. Baraj yetersizlikleri sonucu 8000'den fazla insan yaşamını yitirmiştir.

Dolgu baraj yıkılmalarıyla ilgili olarak;

- Idaho'daki Teton Barajı (1976),
- California'daki Baldwin Hills Barajı (1963),
- California'daki St. France Barajı (1928),

Beton baraj yıkılmalarıyla ilgili olarak ise,

- Pennsylvania'daki Austin Barajı (1911),
- Arizona'daki Wanut Grove Barajı (1890),

Örnek olarak gösterilebilir (Anonymus, 1998a).

Verilen örneklere ek olarak, 1959 yılında Fransa'da Malpasset Barajı, temel kayasındaki fay ve tabandaki boşluk suyu basınçları etkisiyle yıkılmış ve 421 kişi hayatını kaybetmiştir. Barajın yıkılmasına zayıf zemin ve su seviyesindeki değişimden etkilenen jeolojik dengesizlik de etki etmiştir. Yıkılmasından sonra Malpasset Barajı'nın günümüzdeki hali Şekil 2.4'teki gibidir.



**Şekil 2.4 :** Yıkılmasından sonra Malpasset Barajı

1963 yılında İtalya'da Vaiont Barajı sol yamacından göl alanına birdenbire inen 250 milyon m<sup>3</sup> hacimli heyelan, baraj gölünün taşmasına neden olmuştur. Baraj rezervuarının erken doldurulması safhasında olumsuz gözlemlere ve ikaz işaretlerine önem verilmemiş ve heyelana neden olan rezervuarın komple doldurulması- na teşebbüs edilmesi büyük bir taşkın dalgası yaratmış ve bu taşkın dalgası Piave vadisinin mansabındaki çok sayıda yerleşim alanını silip yok etmiştir.

Meydana gelen 200 m yüksekliğindeki dalgalar, aşağıda 2600 kişinin ölümüne neden olmuştur. Olay, rasathanelerde deprem olarak kaydedilmiştir. Şekil 2.5'te gösterilen göl alanının olaydan önceki ve sonraki hali durumu özetler niteliktedir.



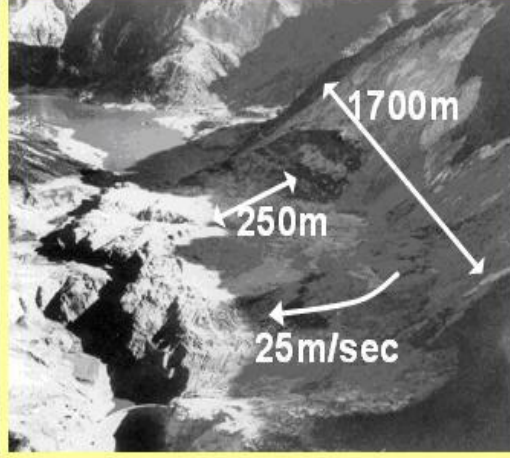
## Vaiont Reservoir Failure 9/10/1963

before

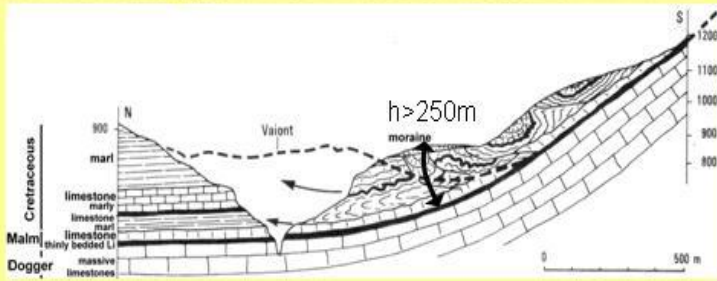


photographs by [Bepi Zanfron](#)

after



post failure geological section  
after [Selli et al. 1964](#)  
with modifications



Şekil 2.5 : Vajont Barajı Kazası

Arizona'daki dolgu tipi bir barajın çevresinde meydana gelen borulanma, olayı barajın yıkılmasına neden olmuştur. Norveç'deki bir barajın temelindeki morenlerde meydana gelen bir çatlama o barajın yıkılmasına neden olmuştur. Fransa'da İnce ve yüksek bir kemer baraj, temeldeki ince bir kil tabakasının kaya gereci gibi kabul edilmesi nedeniyle yıkılmıştır (Geörqe, 1978).

1963 – 83 yılları arasında Teksas Su Komisyonu'nun yaptığı çalışma Amerika'da bu tarihler arasında 18 baraj yıkılmasının meydana geldiğini belirtmiştir. Mevcut kazalar can kaybı ve mal kaybı olarak iki kademe ele almıştır. Komisyon, baraj güvenliği çalışmalarını dört aşamalı bir plana indirgemıştır. Bu plan çerçevesinde,

- Hali hazırdaki barajların güvenlik analizi,
- Barajların inşasında planların ve şartnamelerin incelenmesi,
- Barajların işletmesi sırasında periyodik muayenelerin yapılması,
- Acil eylem planının tatbiki,

üzerinde durulmuştur ( Anonymous, 1998b).



Berlin’de 1929’da yapılan Dünya Enerji Konferansı’nda, Baraj Mühendisliği’nin gelişmesi üzerindeki geniş bilgi ICOLD’un kurulmasına ön ayak olmuştur. ICOLD tarafından hazırlanan Çizelge 2.3’te, tarihi çağdan 1900’e kadar uzanan bir zaman diliminde oluşan büyük baraj yetersizliklerini göstermektedir (Uzel, 1991).

**Çizelge 2.3 : Büyük baraj yetersizlikleri (Uzel, 1991)**

Sene	Önemli Baraj Yetersizliklerinin Sayısı
1900'e kadar	38
1900 - 1909	15
1910 - 1919	25
1920 - 1929	33
1930 - 1939	15
1940 - 1949	11
1950 - 1959	30
1960 - 1965	10
Tarihi bilinmeyen	10
<b>TOPLAM</b>	<b>202</b>

Baraj kazaları incelenirken ICOLD ve USCOLD raporları değerlendirildiğinde baraj kazaları yapı niteliği bakımından 3’e ayrılır. Bu nitelikler baraj yaşı, baraj tipi ve baraj büyüklüğü adı altında toplanmıştır.

Baraj Yaşı: Baraj kazalarının büyük çoğunluğu baraj hizmete başladıktan sonra ilk 5 yıl içinde meydana gelmektedir. (Çizelge 2.4). Bu da bize şunu gösterir ki barajların yaşlı olması kaza olasılığını arttıran bir etmen değildir.

Baraj Tipi: Yetersizlik gözlemlenen barajların tipleri incelendiğinde her bir barajın türünün yetersizlikler sonucu kaza meydana getirmesi farklılık göstermektedir.

Kaya dolgu barajların yıkılma ve kaza ortalamasının diğer baraj türlerine göre ICOLD ve USCOLD verileri incelendiğinde daha yüksek olduğu gözlemlenmektedir. Kemer baraj türlerinde ise kazalara daha nadir rastlanmaktadır (Çizelge 2.5).

**Çizelge 2.4 : Barajların yaşlarına göre olay olasılıkları (Cheng, 1993)**

Biten Yıl	Baraj Başına Yıllık Olay Olasılığı ( $10^{-3}$ )			
	İlk 5 Yıl İçin		5 Yılden Sonrası	
	Yıkılma	Yıkılma veya Kaza	Yıkılma	Yıkılma veya Kaza
<b>A. USCOLD</b>				
1900 Öncesi	38	45	7,21	6,3
1901 - 1910	16	21	1,44	2,5
1911 - 1920	12	26	0,59	2,3
1921 - 1930	11	26	0,21	0,64
1931 - 1940	9	13	0	0,4
1941 - 1950	4	28	0,61	0,8
1951 - 1960	0	7,3	0,24	0,89
1961 - 1970	0,9	13	0,09	0,93
1971 - 1980	6,5	43	0,16	0,91
<b>B. ICOLD</b>				
1900 Öncesi	9,17	16,6	0,92	1,53
1901 - 1910	8,25	12,9	0,71	1,09
1911 - 1920	13,2	27,5	0,59	1,83
1921 - 1930	8,36	25,9	0,39	0,51
1931 - 1940	17,2	24,4	0	0,18
1941 - 1950	4,65	15,9	0,06	0,58
1951 - 1960	0,54	5,2	0,28	0,85

**Baraj Büyüklüğü:** Barajlar taban kotundan tepe noktasına göre 15 m.'den küçük, 15 – 29 m. arası, 30 – 49 m. arası ve 50 m.'den büyük olmak üzere sınıflandırıldığında kazalar ve baraj büyüklükleri arasında karşılaştırma yapılabilir (Şekil 3.4). 15 m.'den küçük barajlardaki meydana gelen kazaların 50 m.'den büyük barajlarda meydana gelen kazalardan daha fazla olduğu görülmektedir. Büyük barajlarda daha az kazanın ve yetersizliğin görülmesinin nedeni büyük barajların tasarım, planlama ve inşaa aşamasında daha emniyetli ve özenli bir çalışmanın yürütülmesidir.

Bunun yanı sıra yıkılma ve kaza risklerinin farklı yüksekliğe sahip barajlarda benzer ihtimaller göstermesi, baraj yüksekliğinin yıkılma veya kaza oluşturma risklerinde pek belirleyici unsur olmadığını göstermektedir (Cheng, 1993).

**Çizelge 2.5 : Baraj tiplerine göre olay olasılıkları**

	Baraj Başına Yıllık Olay Olasılığı ( $10^{-3}$ )			
	USCOLD VERİLERİ		ICOLD VERİLERİ	
	Yıkılma	Yıkılma veya Kaza	Yıkılma	Yıkılma veya Kaza
Barajın Tipi				
Toprak	0,9	3,5	1,2	3,9
Kaya	1,8	4,8	2,5	7
Ağırlık	1,1	3	0,7	1,4
Kemer	0,5	2,5	1	3,7
Payandalı	0	0	9,7	5,7
Diğerleri	4,4	3,4	1,4	2,3

**Çizelge 2.6 : Barajların büyüklüğüne göre olay olasılıkları (Cheng, 1993)**

	Baraj Başına Yıllık Olay Olasılığı ( $10^{-3}$ )	
	ICOLD VERİLERİNE GÖRE	
	Yıkılma	Yıkılma veya Kaza
Baraj Yüksekliği (m)		
< 15	2,3	3,7
15 - 29	1,2	2,5
30 - 49	1,1	4,7
> 50	0,4	4,6

Baraj yapımına 1950’li yıllarda başlayan Türkiye’de önemli bir baraj yıkılma kazası meydana gelmemiştir. Bu durum Türkiye’de baraj yapımına geç başlanması dolayısıyla bilim ve teknolojinin gelişmesinden sonra baraj yapımına başlanması, Türkiye Cumhuriyeti Devleti’nin DSİ Genel Müdürlüğü vasıtası ile baraj yapımını üstlenmesi ve barajların proje ve inşaat işlerinin çok emniyetli yürütülmesi şeklinde üç ana başlığa bağlanabilir (Ağralıoğlu, 2010).

Ancak, bazı barajlarımızda su kaçağı sorunları olmuştur. 1960 yılında Konya’da tamamlanan May Barajında, jeoloji mühendislerinin uyarıları yeterince dikkate alınmadığı için, göl alanındaki boşluklu, mağaralı kireçtaşları nedeniyle su

tutulamamıştır. May Barajı'ndaki sorunlar yeterince tartışılmadığından, ülkemizin Keban Barajı deneyimini de yaşaması kaçınılmaz olmuştur. Keban Barajı'nda, o günkü teknik deneyimsizliğin etkisiyle, hem yeterli araştırmalar yapılamamış; hem de elde edilen verilerden gerektiği gibi yararlanılmamıştır. Daha sonra, temel kazılan sırasında çıkan büyük mağaraların doldurulması, temelin iyileştirilmesi, büyük zaman ve para kaybına neden olmuştur.

### **3. DOLGU BARAJLARIN MUAYENESİ VE ÖLÇME ALETLERİ**

#### **3.1 Muayene Hususları**

Baraj gövdesi muayene edilecek hususların başında gelir. Aşınma, oturma ve sızma gibi durumlar barajların gövdesinde gözlemlendiğinden iyi bir kontrole ve gözleme daima ihtiyaç duyulur. Kontrol yapılırken ufalanma ve gövde yüzeyinde çatlama gibi hususlarda hem memba kısmında hem de mansap kısmında analizler yapılmalıdır. Baraj gövdesinden başka dolusavaklar, eşikler, kapaklar ve enerji kırıcı yapılar da gözlemlenip control edilmelidir.

Muayene hususlarını gözönüne alırken belli başlı bir takım öngörülerini de değerlendirmek gereklidir. Örneğin dolgu barajlar her zaman sızdırır veya beton her zaman çatlar gibi. Bu öngörülerle baktığımız vakit baraj güvenliğine iç güdüsel bir yaklaşımla da eğilebiliriz.

#### **3.2 Muayene Türleri**

Barajların güvenliğinin sağlanması için belirli aralıklarla muayene edilmesi gereklidir. Yapılan bu muayeneleri belirli bir sistematığe koymak için dört ana gruba ayırmak mümkündür. Bunlar ilk ve resmi muayene, ara muayene, mutemadiyen muayene ve özel muayenedir.

##### **3.2.1 İlk ve Resmi Muayene**

Baraj ile ilgili bütün verilerin gözden geçirilmesini kapsar. Baraja dair muhtemel riskler saptanır. Tasarımla alakalı hususlar değerlendirilir. İlk ve resmi muayenede mekanik aksamlar çalıştırılarak asgari ve azami işletme sınırları saptanır.

##### **3.2.2 Ara Muayene**

Resmi muayenelerin arasında ara ara yapılan muayenelerdir. Barajın vaziyetini ortaya koyan ve gözleme olanağı sunan muayenelerdir. Ayrıntılı gözlem ve kontrol yapılmasına rağmen belirli aralıklarda yapılan bu muayenelerde mekanik aksamlar teste tabi tutulmaz. Bununla birlikte muayene esnasında bir veya daha

fazka risk görülüyorsa bazı kısımlarda mekanik aksamların teste tabii tutulması istenebilir.

### **3.2.3 Mutemadiyen Muayene**

Barajların işletmesinde görevli olarak bulunan teknik personel tarafından mutemadiyen muayene yapılır. Barajın anlık durumları böylelikle gözlemlenmiş olur. Gözlemlenen durumlar ayrıntılı incelenmez. Geçmiş veriler anlık verilerle karşılaştırılır fakat ayrıntılı analiz yapılmaz. Bir nevi baraj yapısı inşaa sürecinden sonra işletme esnasında da teknik bir gözle programlı şekilde yerinde control edilmiş olur.

### **3.2.4 Özel Muayene**

Baraj yapısının belirli bir odak noktasına yönelik yapılan muayenedir. Uzmanlık gerektiren özel muayene barajın belirli bir özelliği muayene edilecekse hasıl olur. Örneğin barajın dolu savak kapak kısmında anormallik gözlemlendiyse konuyla ilgili uzmana danışılır ve muayene uzman kişi tarafından gerçekleştirilir. Bununla birlikte, dolu savakların kapaklarının çok az kullanılacağı tahmin edildiği koşullar için periyodik işletme testlerinin ihmal edilmemesi ani tehlike durumunda kapağın işletme dışı bulunmaması için oldukça önemli olmaktadır ( Yıldız, 1992 ).

## **3.3 Dolgu Barajlarda Arazide Muayene**

Mevcut tüm barajlarda yapılması gereken diğer bir önemli husus da arazi denetimlerinin yapılmasıdır. Tabii hayata doğrudan entegre ve etkiyen yüklerin sürekli değişebildiği barajların arazide denetimi periyodik olarak yapılmalıdır. Çünkü barajın bugün emniyetli olması yarın emniyetli olacağı anlamını taşımaz. Periyodik olarak arazide yapılan muayeneler gözden kaçan eksikliklerin giderilmesinde önemli rol oynar. Dolgu barajlarda arazide muayene ve denetim EK – A'da mevcut olan Kontrol Çizelgesine göre belirtilen birimlerce, işaretli okuma aralıklarında yapılmalıdır.

Kontrol ve denetimlerin sağlıklı yapılabilmesi için arazide yeterli sayıda deneyimli ve teknik personel bulundurulmalıdır. Mevcut personelle baraj tepesi üzerinde yürünülerek eksiklikler gözle görülebilir. Doğru biçiminin bozulması, çatlaklar, oturmalar, fazla ve derin köklü bitkiler, hayvanların açtığı oyuklar, ölçme aletlerinin

bozulması veya yerlerinin değiştirilmesi durumları arazide dikkatler incelenmelidir. Baraj tepe noktasının yanısıra şevler ve topuklar da önem arz etmektedir. Kaymalar, çatlaklar ve sızmalar tehlikeler ve riskler için önemli ipuçlarıdır.

### **3.4 Dolgu Barajlarda Ölçüm ve Ölçme Aletleri**

Barajlarda toplanan su kütlesi çok ağır olacağından gerilmelere neden olabilmekte ve bu gerilmelere mevcut gerilmeler de eklenerek baraj çevresinde tehlike oluşabilmektedir. Baraj ölçüm cihazları ile barajın gövdesine veya çeşitli noktalarına teçhizatlar yerleştirilerek barajın zaman içindeki davranışlarını izlemek mümkün olabilmekte ve riskler minimum indirilebilmektedir.

Barajın gövde inşaatına başlamadan önce baraja yerleştirilmesi öngörülen ölçüm aletlerine ait her türlü malzeme, araç ve teçhizat uygulama projeleriyle birlikte inşaa alanında hazır durumda bulundurulur. Malzemelerin sağlamlığı elle gözle kontrol edilmelidir. Eksiklikler aletler yerleştirilmeden en kısa sürede giderilmelidir. Kullanılan malzemelerde CE sertifikası olmalıdır.

Ölçüm aletlerinin neticelerinden sağlıklı sonuçlar almak için kalibrasyonları ve yerleştirilme hatasız ve özenle yapılmalıdır. Her bir ölçüm aleti yerine yerleştirildikten sonra teknik kontrolleri ve testleri uzman kişilerce dikkatli bir şekilde yapılmalıdır. İleride sağlıklı değerlendirmeler yapabilmek için ölçüm aletlerinin yerleştirildiği yerin özellikleri iyi incelenmelidir. Gerekli ise bu aletlerin konulduğu bölgeden numune alınıp etiketlenerek saklanılmalıdır. Dolgu barajlarda kullanılan belli başlı ölçme aletleri aşağıdaki gibidir.


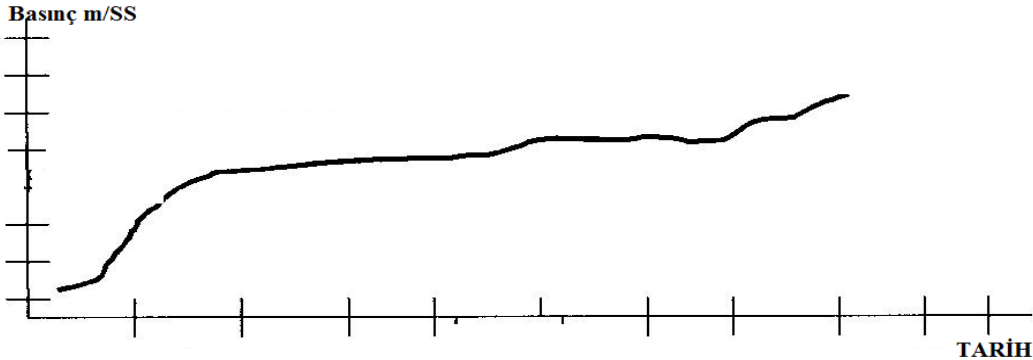
#### **3.4.1 Piyezometreler**

Dolgu barajlarda gövdedeki ve temeldeki boşluk suyu basıncını ölçmeye yarayan aletlerdir ( Yücer, 2012 ).

##### **3.4.1.1 Temel / Dolgu tipi piyezometre**

Bu piyozometreler özellikle kil çekirdekli kaya veya toprak dolgu barajlarda kullanılır. Temeldeki sızmayı, enjeksiyon perdesinin etkinliğini ve YAS kontrolü amacıyla kullanılır. Vibrity – Wire tipinde, %5 doğruluk ve %0,1 hassasiyetinde ölçüm kapasitelerine sahiptir. Katoff hendeğine veya katoff'dan açılan delik içerisine istenen katlarda veya sayıda yerleştirilebilir. Temel/dolgu tipi piyezometreye her 5

m.'de bir numarator takılması gereklidir. Okumalar belirli aralıklarla yetkili teknik elemanlar vasıtasıyla alınıp formlara işlenir ( Şekil 3.1 ).

PİYEZOMETRE OKUMA FORMU						
		Barajın Adı:		Tarih:		
		Rezervuar Su Seviyesi:		Kuyruk Suyu Seviyesi:		
		Ölçümü Yapan:		$P=(L^2 \times A)+(L \times B)+C(\text{kPa})$		
Uç No	Yerleştirme Kotu	Kalibrasyon Sabiti	İlk Okuma	Son Okuma	Basınç mPa	m/SS
						

Şekil 3.1 : Piyezometre okuma formu

### 3.4.1.2 Toplam basınç ölçer

Bunlar yerleştirildikleri toprak veya kaya dolgu barajlarda hem dolgu hem de boşluk suyu basınçlarını ölçmeye yarayan cihazlardır. Basınç, diyafram arkasındakisıvı basıncının pnömatik veya titreten telli algılayıcılarla ölçülmesiyle belirlenir (Yücer, 2012).



Piyezometreyle birlikte kil dolgu içerisine yerleştirildikleri zaman dolgu hızını kontrol etmek için de kullanılır. Kontrolün maksadı boşluk su basıncı/toplam basınç = 0,60 oranını sağlamaktır. Kaya dolgu barajlarda dolgu ağırlığından oluşan basınçları ve kemerleşmeleri tespit etmek için kullanılmak mümkündür. Yerleştirilgi yerde cihazın üzeri 1 mm elenmiş 50 cm'den az olmamak üzere kum yastıkla doldurulmadan esas dolguya geçilmemelidir.

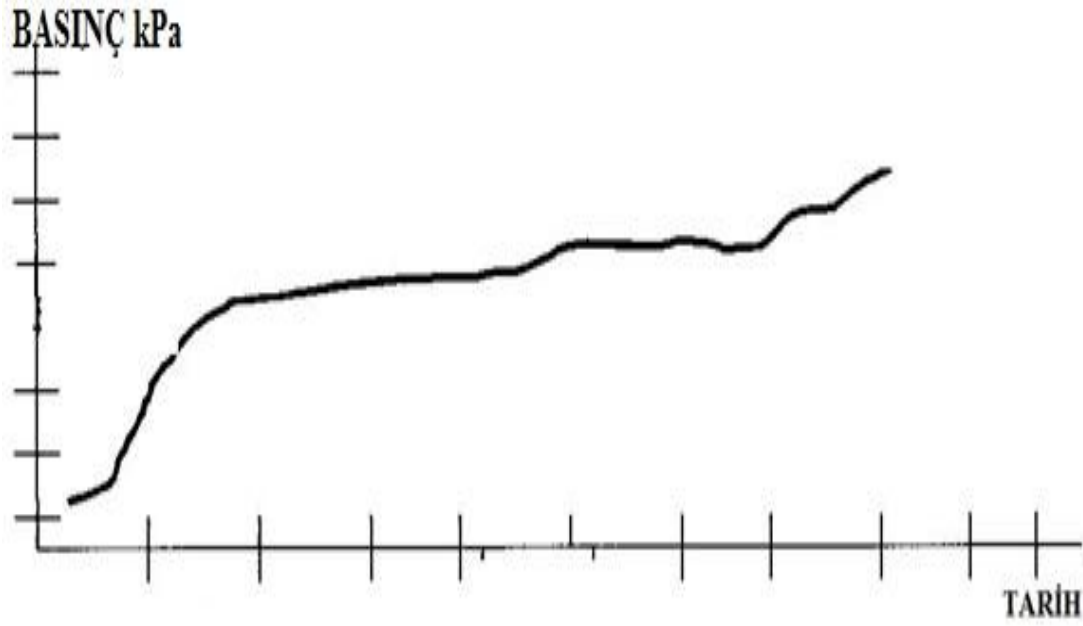
Toplam basınç ölçerde, basınç sinyal dönüştürücüsü titreşen telli, ölçüm kapasitesi 0-3000 kPa, ölçüm hassasiyeti en az %0,5 ve çözünürlüğü %0,1 olmalıdır.

Toplam basınç ölçerde verilerin okuması, bilgisayara veri aktarabilen, şarj edilebilir dahili pilli ve su geçirmez olan taşınabilir okuma cihazları ile yapılır. Okunan ilgili veriler toplanarak forma işlenir (Şekil 3.2).

TOPLAM BASINÇ ÖLÇER OKUMA FORMU							
		Barajın Adı:			Tarih:		
		Rezervuar Su Seviyesi:			Dolgu Yüksekliği:		
		Ölçümü Yapan:			$P(kPa)=(L^2 \times A)+(L \times B)+C$		
Uç No	Yerleştirme Kotu	İlk Okuma	Son Okuma	Kalibrasyon Değerleri			P (kPa)
				A	B	C	

Şekil 3.2 : Toplam basınç ölçer okuma formu

Toplam basınç ölçerle okunan değerlerin örneği Şekil 3.3'te görülebilmektedir.



Şekil 3.3 : Toplam basınç ölçer okuma örneği

#### 3.4.1.3 Magnetic extensometer

Bunlar dolgu barajlarda çökme ve kabarma gibi nedenlerle oluşan düşey deplasmanların ölçümü için kullanılır. Çapraz Kollu Çökme Ölçerin muadili olan ve düşey deplasmanları ölçmeye yarayan bir ölçüm tesisidir.

*Serve inclometer* borularının üzerine dolgu aşamasında *plate magnet* veya bitmiş barajlarda *spider magnet* koymak suretiyle yatay deplasmanları da ölçmek mümkündür. Bu sistemler krette kilitli koruma kabı, 20-25 mm çapında ve 1.5-3 m uzunluğunda PVC borular, bu boruların üzerine geçirilmiş 33 mm çapında spiral borular, temel kısmına yerleştirilen ve üzerinde referans(datum) magnet monte edilmiş telescopic Section'dan oluşmalı, bitmiş barajlarda kuyu içerisine monte edilecekse mutlaka kılavuz boru kullanılmalıdır.

Okumalar ise *magnet probe* vasıtasıyla yapılır. *Magnet probe* açık olduğu önceden tespit edilen kuyunun dibine kadar indirilir. Kuyunun dibinden *datum magnetin* kotu alınır. Yavaş yavaş çekilirken diğer *plate magnetlerin* kotu da okunur.

*Magnetic extensometerde* enjeksiyon prizini aldıktan bir hafta sonra ilk okuma olan sıfır okuma alınır. Bundan sonraki yapılacak olan ölçümler, sıfır okumayla karşılaştırılır ve sıfır okuma ile yapılan ölçüm arasındaki yer değiştirmeler saptanarak değerlendirilir. Okunan değerler forma işlenir (Şekil 3.4).





deliğinin eksenine dik yönde oluşan hareketlerin izlenmesinde kullanılan inklinometreler yardımıyla hareketin yeri, büyüklüğü ve yönü saptanabilmektedir. Hareketlerin üçüncü boyutları da izlenebilir.

İnklinometre ölçüm torpili ölçme aralığı +/- 90° olacak şekilde tekerleri klavuz boruları içinde rahatça hareket edebilmelidir. Torpilin okuma hassasiyeti 30 m'de 4 mm'yi geçmemelidir. Okumalar kuyu tabanından zemin üst kotuna kadar olan yatay hareketleri metrik olarak göstermelidir.

### **3.5 Değerlendirme ve Analiz**

Yapılan muayeneleri ve ölçümleri takiben muhakkak veriler değerlendirmeye tabi tutulup analizler yapılmalıdır. Buradaki amaç, barajın yapısal ve işlevsel olarak güvenliğini sağlamaktır. Uzmanlar öncelikle,

- Projeye dair kriterleri incelemeli,
- İnşa teknikleri ve kullanılan malzemeyi değerlendirmeli,
- İşletme esnasında tutulan kayıtları gözden geçirmeli
- Hali hazırdaki işletme durumunu incelemelidir.

Barajları değerlendirip analiz yaparken genel itibarıyla iki aşama söz konusu olmaktadır.

Birinci aşamada, hali hazırdaki durumu incelerken elde edilen mevcut veriler çeşitli kabullerle analiz girdisi olarak değerlendirilir. Bu analizler neticesinde barajın güvenliğini tehdit eden durumların varlığı sorgulanır. Eğer problem tespit edilir ise kalıcı çözüm bulunana kadar geçici bazı tedbirler alınır. Örneğin, hazne su seviyesine sınırlama getirilmesi gibi. Problemin kökenine inmek için daha ayrıntılı araştırma ve çalışma yapılması gerekliliği vurgulanır.

İkinci aşamada, önceki değerlendirmelere göre daha titiz ve irdelleyici araştırmalar yapılmalıdır. Araştırma ve testler sonucu mevcut verilere ek olarak gerçek sonuçlar kullanılmalıdır. İkinci aşamada analiz girdisi olarak tüm arazi kayıtları, laboratuvar deney sonuçları ve yapım sırasında kullanılan yapı malzemelerinin özellikleri kullanılır. Yapılan analizler sonucu yapıyı tehdit eden herhangi bir durum tespit edilmez ise rutin kontrollere devam edilmelidir. Aksi durumda ise önlem alınması gerektiği vurgulanmalıdır.

Yapıyı tehdit eden durumlara karşı her türlü alternatif durumlar araştırılıp yapısal ya da yapısal olmayan bütün önlemler kapsam altına alınmalıdır. Barajlar Konresi 2012'ye göre yapılacak rehabilitasyon çalışması aşağıda belirtilen hususlardan bir ya da birkaçını kapsamalıdır;

- Dolusavak kapasitelerinin artırılması,
- Üstten aşma olasılığına karşı barajın yükseltilmesi,
- İlave baraj ölçüm tesislerinin yerleştirilmesi,
- Barajda ve temelde çeşitli iyileştirme çalışmalarının yapılması,
- Paket bilgisayar programlarının kullanımı ile uygulanacak yıkılma senaryolarına bağlı olarak yıkılma sonucu oluşacak taşkının mansaptaki seyri, derinliği, can kaybı, alt yapı ile tarım alanı ve sanayi tesisleri gibi ekonomik kayıpların belirlenmesi,
- Yıkılma senaryolarına göre Acil Eylem Planlarının ortaya konması (uyarı ve haberleşme sistemlerinin kurulması, bölge taşkın planının hazırlanması ve uygulanması) ve erken uyarı sistemlerinin geliştirilmesi.
- Acil Eylem Planlaması ve Erken Uyarı Sistemi'ne dair teknik şartname Ek-B'de verilmiştir.
- Yukarıda bahsi geçen barajı iyileştirmeye yönelik uygulamalar raporlanarak muhafaza altına alınmalıdır.

## 4. RİSK YÖNETİMİ

### 4.1 Risk Tanımı

Risk kelimesi, her sektör içerisinde farklı şekillerde tanımlanmaktadır. Her sektörün işleyişinin farklı olması tanımların da çeşitlenmesine olanak sağlamaktadır. İnşaat sektöründe risk, belirsizliğin kaynağı olan ve değişik şekillerde gerçekleşme olasılığı olan olaylar şeklinde tanımlanmaktadır (Gebizlioğlu, 2002).

İNşaat sektöründe karşılaşılabilecek riskler dört grupta toplanmaktadır. Bunlar şu şekilde sıralanmaktadır;

- Kontrol dahilinde olanlar; karar alıcının kendi isteği ile aldığı ve sonucun doğrudan alıcının kontrolünde olduğu risklerdir. Bir başka deyişle riskin kaynağı karar alıcının kendisi olmaktadır.
- Planlama mühendisi gibi, itfaiye gibi başka kişiler ya da kurumlar tarafından kontrol edilen riskler.
- İmar Kanununda yapılan değişiklikler, vergi oranlarında değişiklikler gibi devlet aracılığı ile oluşabilecek etkenler.
- Hava durumu, sel gibi afetlerin dahil olduğu kontrol dışı etkenler olarak dört gruba ayrılmaktadır.

Kontrol edilemeyen riskler, yukarıda da sayıldığı üzere dış çevre, politik, sosyal ya da ekonomik kaynaklıdır. Karar alıcı bu tür riskler üzerinde etkili değildir. Ancak bu riskleri çeşitli tedbirler alarak azaltabilir ya da etkilerinin yok denecek kadar az olmasını sağlayabilir. Ancak bu riskleri azaltabilmenin yolları bir başka riskin ortaya çıkmasına da neden olabilmektedir.

İNşaat sektöründe karşılaşılabilecek risklerden bazıları şu şekilde sıralanabilmektedir (Dikmen, 1996);

Finansal Riskler aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- Enflasyon,

- Döviz kurlarındaki ani değişmeler,
- Kredi maliyetlerindeki öngörülmeven artış oranları,
- İşverenin ödemeleri zamanında yapamaması,
- Malzeme ve ekipman teminindeki gecikmelerden doğan finansal kayıplar,
- İşin süresinde tamamlanamamasından kaynaklanan maliyet ve genel gider artışları, gecikme cezaları,
- Vergi kanunlarının değişmesi,
- Tařeronun belirlenen süre ve maliyet limitlerini aşmasıdır.

Finansal riskler karşısında alınabilecek önlemler řu şekildedir:

- Sözleşmelerde uygun bir eskalasyon koşulunun yer alması,
- Finansal gücü yüksek bir işverence çalışılması,
- Ekipman ve malzemenin işverence temin edilmesi,
- Maliyet artış riskini ortadan kaldırmak için Vadeli Piyasa işlemlerinin kullanılması,
- Döviz kurlarındaki değişimin yükleniciyi zor durumda bırakmaması için ön sözleşmeyle kur farkının talep edilmesi,
- Döviz kurlarını sabitlemek için Takas Sözleşmelerinin kullanılması,
- Enflasyonist ortamlarda yürütölen yıllara sari işlerde, götürü bedelli sözleşmelerden kaçınılması,
- İşverenin ödemelerde çıkarabileceği zorluklardan kaynaklanabilecek riskleri azaltmak için yükleniciye ön ödeme yapılması,
- Uygun sözleşme koşullarının düzenlenerek, taşerondan gecikme cezaları talep edilmesi,
- Önerilen tekliflerin, üstlenilen risklerin büyüklüğüne göre bir risk toleransı içermesidir.

Yapım işlerinden kaynaklanan riskler şunlardır:

- Hava muhalefeti nedeniyle işin süresinin uzaması,



- İşçilerle ilgili sorunlar ve grev,
- İşin istenen kalitede olmaması ve yeniden yapılması gereği,
- Hırsızlık,
- İş kazaları,
- Beklenenden düşük verimlilik,
- Yönetim ve organizasyon hataları,
- Malzeme ve ekipmana gelebilecek zararlar,
- Çevreye gelebilecek zararlar,
- İlk kez denenecek bir inşaat tekniğinden kaynaklanabilecek zaman kayıpları ve finansal kayıplar,
- Seçilen inşaat tekniğinin tasarıma uygun olmamasıdır.

Yapım İşlerinden Kaynaklanan Risklere alınabilecek tedbirler aşağıdaki gibidir:

- Yeterliliği kanıtlanmış taşeronlarla çalışılması,
- Gecikme durumunda uygulanacak kuralların sözleşmede açıkça belirtilmesi,
- İşçiler için eğitim programları düzenlenmesi ve iş güvenliği konusunda çalışanların bilgilendirilmesi,
- Şantiye çalışma koşullarının iyileştirilmesi,
- Gerçekçi-bir süre ve kaynak planlamasının yapılması,
- Sigorta,
- Yeterli ve sürekli bir kontrol mekanizmasının oluşturulması,
- Fiziksel koruma sağlanması,
- Yeni teknikler için öğrenme sürecinin süre planlamasında gözönünde bulundurulmasıdır.

Tasarım kaynaklı riskler aşağıda listelenmiştir:

- Tasarımın hâtaî ya da eksik olması nedeniyle sonradan çıkabilecek değişiklikler,

- Belirsiz zemin koşullarıdır.

Tasarım kaynaklı riskler karşısında alınabilecek önlemler şunlardır:

- Tasarımın tam olarak hazır olmadığı durumlarda, anlaşmalı sözleşmeleri (maliyet+kar) tercih edilmesi,
- Yüklenicinin zor durumda kalmaması için, olası değişikliklerle ilgili uygun sözleşme koşulları nm hazırlanması,
- Tasarımın tetdif verilmeden önce inşaat yapım tekniği açısından incelenmesi,
- Gerekirse orijinal tasarımın değiştirilmesi,
- Belirlenemeyen zemin koşulları nedeniyle karşılaşılabilecek maliyet artışlarının teklif değerine yansıtılmasıdır.

Politik riskler aşağıda sıralanmıştır:

- Devletin ödemeleri zamanında yapamaması,
- Kanun ve şartnamelerin değişmesi,
- Savaş,
- Ambargo,
- İstimlak,
- Hükümet politikalarının değişmesi,
- Politik kadroların değişmesi ve işin sürekliliğinin bozulması,
- Başka bir ülkede gerçekleştirilen projeler için, yabancı ülkelerdeki farklı politik yapıdır.

Politik risklere karşı alınabilecek önlemler şunlardır:

- Sözleşmelerde politik risklerden kaynaklanan gecikmeler ve ek ödemeler için düzenlemelerin yapılması,
- Yabancı ülkelerde gerçekleştirilecek projeler için, ilgili ülkenin hukuksal ve politik yapısının detaylı bir şekilde araştırılması,
- Politik risklere karşı sigorta,

- Yapım işi üstlenilecek yabancı ülkenin yüklenicilerinin de dahil olduğu bir konsorsiyum kurulmasıdır.

Kontrol edilebilir ve kontrol edilemeyen riskler birbirleri ile bağımlı olabilirler. Bir binanın hesaplanan yaşam döngüsü, yapının tasarımına, işçilik standardına, kullanılan malzemenin kalitesine bağlıdır. Bu yaşam döngüsünün bazı unsurları kontrol edilebilir bazıları da kontrol edilemeyen risk gruplarındandır. Dolayısı ile bu iki risk grubu birbirine bağımlıdır. Bu açıklanır ise; bina yaşlanma, fiziksel yıpranma ve hasar gibi etkilerden dolayı belli bir bozulmaya uğrayacaktır. Eksik veya uygun olmayan bakımdan dolayı yine zarar görecektir. Ömrü, kusursuz biçimde işlevselliklerini korumalarına rağmen yeni tasarımları ile değiştirilen sıhhi tesisat elemanlarında olduğu gibi, teknolojik eskime ve modasının geçmesi gibi sebeplerle daha da kısalmaktadır. Bu etkenlerin pek çoğu kontrol edilebilirdir, ancak bazıları, özellikle de çevre tarafından etkilenenler kontrol dışı özellik gösterir.

İnşaat sektöründe risk unsurları birbirine iki farklı şekilde bağımlı olabilmektedir. Bunlar; tam ve kısmi bağımlılıktır.

İnşaat sektöründe riskler farklı tiplerde olabilmektedir. Risk tiplerinin belirlenmesinde diğer sektörlerde de kullanılan portföy teorisi ile ilişkilidir. Bu teoriye göre riskler, genel piyasanın davranışı ile ilişkili olan piyasa riskleri ve belli bir şirkete özel olan özel riskler arasında paylaşılır.

Hisselerin büyük çoğunluğu, bir noktaya kadar piyasadaki hareketlere tepki gösterir ve bu tepki beta katsayısı ile ölçülür. Beta katsayısı portföyün değişkenliğinin bir ölçüsüdür. Özel risk, belli bir şirket hissesinin sahip olduğu fiyatın piyasa veya sektörel bazdaki hareketler karşısındaki tepkisini belirleyen beta katsayısı ile ölçülür. Bir yatırım portföyünün oluşturulmasını ele alan portföy teorisi, inşaat sektörüne de uygulanmaktadır.

İnşaat endüstrisinde karşılaşılan iki ana risk tipi bulunmaktadır. Bunlar;

Saf Risk (Statik risk): Potansiyel bir kazanç yoktur. Böyle bir risk tipik olarak bir kaza veya teknik arıza olasılığından kaynaklanır. Saf risk olarak nitelendirilebilecek örnekler şu şekilde sıralanmaktadır;

- Proje sırasında meydana gelen aşırı derecede zorlu hava koşulları,
- Ulusal çapta, tüm inşaat işçilerini kapsayan bir grev,

- İş sahasında yaşanan bir kaza sonucu meydana gelen yaralanma ve yaşam kaybedilmesidir.

Spekülatif risk: Finansal, teknik veya fiziksel olabilecek kayıp veya kazanç olasılığı.

Spekülatif risklere verilebilecek örnekler şu şekilde sıralanmaktadır;

- Arsa fiyatlarında ciddi artışa neden olan enflasyon,
- Ekonomik bir kira oranı ile spekülatif bir yapı için kiracı bulmada zorluk yaşanması,
- Yapısal bir hatanın bina sürveyörü tarafından tespit edilememesidir.

#### **4.2 Risk Yönetimi Kavramı**

İnşaat sektörü, yukarıda da bahsedildiği üzere kötü hava koşullarından, maliyetlerin artması, projenin hatalı yapılması, projenin geç teslim edilmesi gibi pek çok riski ve risk olabilecek kaynağı bünyesinde barındırmaktadır(An et al., 2005).

İnşaat projelerinin çok çeşitli etkenlerden kaynaklanan çok sayıdaki belirsizliği bünyesinde barındırmaktadır. Bu bağlamda inşaat projelerinde risk yönetimi uygulamaları zorlaşması ile birlikte yeni teknikler, sistemler geliştirilmeye ve risk yönetiminde uygulamaya başlanmışlardır(Zeng, 2007).

Bu noktada risk analizi son derece önemli bir olgu olarak karşımıza çıkmaktadır. Risk analizi, belirlenmiş olan risklerin proje üzerindeki etkilerinin saptandığı bir süreçtir. Bu süreç aynı zamanda risk yönetimin en temel öğelerinden birisini de oluşturmaktadır. Günümüzde giderek çeşitlenen analiz tekniklerinin tümünün ortak noktası, belirsizlik içeren tüm olguların çeşitli riskler altında alabileceği tüm değerler gözönünde bulundurularak, olası tüm sonuçların irdelenmesidir.

İnşaat projelerinin hazırlık aşamasında fiyat ve tamamlama süresi gibi unsurlar ve bu unsurlara bağlı olarak ortaya çıkabilecek risk tahminleri, geleneksel yaklaşım yöntemi ile yapıldığında çok başarılı sonuçlar vermeyebilecektir.

İnşaat sektöründeki sürekli değişen dış çevre koşulları, iş programının yetiştirilmesi ile ilişkili olarak oluşan baskı, yapılan maliyet planına sadık kalabilmek gibi pek çok unsur oluşturduğu risklerin üstesinden gelebilmek için risk analizi cankurtaran rolü üstlenmiştir. Özellikle risk yönetimi sürecinin vazgeçilmez bir ögesi olarak kabul edilmektedir(Zeng, 2007).

Bazı projelerde risk analizinin yapılması zorunluluk olarak kabul edilmektedir. Bu tipteki projeler şu şekilde sıralanmaktadır (Cooper, 1986);

- Yüksek bütçeli makro-ekonomik düzeydeki projeler,
- Dengesiz ve düzensiz nakit akış tablolarının yürürlükte olduğu belirlenen projeler,
- Yasal olarak hukuki yapıları karışık olan sözleşmelerin yapıldığı projeler,
- Teknolojik olarak daha önce az sayıda uygulanmış yöntemlerin uygulanacağı projelerde,
- Projenin gerçekleştirileceği bölge ya da ülkenin ekonomik ve politik durumlarının çalkantılı olması
- Çevrenin korunduğu ve buna istinaden güvenlik önlemlerinin alındığı projelerdir.

Risk analiz teknikleri, öncelikle risklerin proje üzerindeki olası etkiler ile ilgili görüşlerin, tahminlerin ortaya çıkabilmesi için tek bir teknikle sınırlı kalmak yerine bir çok yönden bakış açısı ve olası sonuçların listelenmesine olanak sağlamaktadır. Bu bağlamda kullanılması için kuramsal ya da sayısal bir çok teknik bulunmaktadır. Önemli olan risk analizinde kullanılan tekniklerden ziyade, riski değerlendirenlerin deneyimleridir. Buna istinaden deneyimli yöneticiler veya danışmanlarla olası riskler asgari düzeye indirilebilir.

Risk analizi teknikleri çok karışık teknikler barındırmamaktadır. Risk analizinde temel olan olası risk tahminlerinin gerçekçi yapılması ve sonuçların doğru yorumlanarak gerçekçi bir yaklaşımla somut olarak ifade edilmesidir (Thompson, 1992).

### **4.3 Barajların Risk Grubunun Belirlenmesi**

Barajların risk grubu belirlenirken mansap koşulları ile barajın olası yıkılması durumunda etkilenebilecek yerleşim yerleri dikkate alınmalıdır. İlgili yerleşim yerlerine göre yaklaşık nüfus tahmin edilerek mansap şartları itibariyle çok yüksek ve yüksek risk grubunda bulunan barajlar saptanabilmektedir. Baraj risk grubunu belirlerken gerekli değerlendirmeyi yapmak için Şekil 4.1 kullanılabilir.

Havza Kodu / Bölge Kodu / İl Kodu / Baraj Adı / Sıra No / Aşaması / Risk Sınıfı

..... / ..... / ..... / ..... / ..... / ..... / .....

### BARAJI/GÖLETİ RİSK POTANSİYELİ SINIFLANDIRMA TABLOSU

Risk Faktörü	Barajın/ Göletin	En Yüksek	Yüksek	Orta	Düşük	Puanlama
Rezervuar Kapasitesi(hm3)		>120 (6)	120 - 1 (4)	1 – 0.1 (2)	<0.1 (0)	
Barajın Yüksekliği		>60 m (6)	60-30 m (4)	29-15 m (2)	<15 m (0)	
İnsan Sayısı Olarak Boşaltma Gerekisini		>1000 (12)	1000-100 (8)	99-1 (4)	0 (0)	
Potansiyel Mansap Zararı (*)		Yüksek (12)	Orta (8)	Düşük (4)	Yok (0)	

TOPLAM RİSK PUANI: .....

(\*) Baraj yıkılma analizleri neticesinde elde edilecek sonuçlara göre yorumlanmalıdır.

**Şekil 4.1 :** Barajlar ve göletler için risk potansiyeli sınıflandırma tablosu (Anonymus, 2012)

Tablonun birinci ve ikinci satırı baraj veya göletin fiziksel özelliklerini içeren bilgileri ihtiva etmektedir. Üçüncü ve dördüncü satırlarında ise yapının uğrayabileceği hasar veya yıkılma neticesinde oluşacak sosyal ve ekonomik etkiler belirtilmiştir.

Tablonun üçüncü satırında belirtilen *boşaltma gerekisini* barajın işlev görememesi sonucu etkilenecek nüfusu belirtmektedir. Burada yapının tehlikeye girmesi sonucu mansapta zorunlu boşaltmaya tabi tutulacak nüfusla birlikte, enerji alamayacak ve içme suyu kullanamayacak nüfus da dikkate alınmalıdır.

Dördüncü satırda belirtilen *potansiyel mansap zararı* da doğru değerlendirilmesi gereken bir başka husustur. Barajın hasar görmesi veya yıkılması neticesinde kritik önemde olan yapılardan hastane, hastane ulaşım yolları, enerji üretim tesisleri, arıtma tesisleri, kaçış güzergahları ve afet toplanma merkezleri gibi alanlara daha yüksek puanlar verilmelidir. Puan verilirken bölgelerin riskleri değerlendirilmelidir. Bölgelerin risklerini değerlendirmek için Çizelge 4.1'deki tablodan yararlanmak mümkündür.

**Çizelge 4.1 :** Risk bölgeleri değerlendirmesi (Anonymus, 2012)

<b>Bölge</b>	<b>Bölge Tanımı</b>	<b>Taşkın Erişim Pik Zamanı (Dakika)*</b>	<b>Dalga Dinamiği</b>
1	Yüksek Riskli	$t < 30$	-
2	Orta Riskli	$30 < t < 120$	$u.h > 0.5 \text{ m}^2 / \text{sn}$
3	Düşük Riskli	$t > 120$	$u.h < 0.5 \text{ m}^2 / \text{sn}$

\*Uyarı zamanı, yıkılmanın başlangıcı, yıkılma ve taşkın dalgasının belirlenen kesite ulaşmasını içeren sürenin toplamıdır.

T:Uyarı zamanı

h: Dalga Yüksekliği

u: Dalga Hızı

Barajın veya göletin risk grubunu belirlerken verilen puanlara göre barajın risk grubu belirlenmektedir. Detaylı değerlendirmeler sonucu verilen puanlara göre Çizelge 4.2'deki puanlara karşılık gelen barajlar az riskli veya yüksek riskli olabilmektedir.

**Çizelge 4.2 :** Toplam risk puanı ve risk sınıfı (Anonymus, 2012)

<b>TOPLAM RISK PUANI</b>	<b>Risk Sınıfı (Risk Puanlaması)</b>
( 0 - 6 )	(Düşük Risk Grubu)
( 7- 18 )	<b>II</b> (Orta Dereceli Risk Grubu)
( 19 - 30 )	<b>III</b> (Yüksek Risk Grubu)
( 31 - 36 )	<b>IV</b> (En Yüksek Risk Grubu)





## 5. ATATÜRK BARAJININ RİSK ANALİZİ KAPSAMINDA MODELLENMESİ

### 5.1 Atatürk Barajı'nın Genel Özellikleri

Atatürk Barajı, GAP Projesi içinde, Karakaya Barajının 180 km mansabında, Şanlıurfa ilinin Bozova ilçesine 24 km uzaklıkta Fırat Nehri üzerinde kurulmuştur.

Baraj 169 m yüksekliğinde kaya dolgu tipinde, sulama ve enerji amaçlı olarak yapılmıştır.

- Gövde dolgu hacmi: 85 500 x 10<sup>3</sup> m<sup>3</sup>
- Toplam su depolama hacmi: 48,7 km<sup>3</sup>
- Göl alanı: 817 km<sup>2</sup>
- Kret uzunluğu: 1664 m
- Kret genişliği: 15 m
- Kret kotu: 549 m'dir.

Atatürk Barajı'nın dolu savak yapısında sol sahilde 6 adet Ana Kapak ve 2 adet yardımcı kapak bulunmaktadır. Ana kapakların eni 16 m ve yüksekliği ise 18 m'dir. Yardımcı kapakların eni 5 m ve yüksekliği ise 8 ve 10 m'dir. Ana kapakların her biri yaklaşık 240 ton ağırlığındadır. Dolusavağın toplam beton hacmi 1 275 000 m<sup>3</sup>'tür. Ana kapakların maksimum boşaltma kapasitesi 16 800 m<sup>3</sup>/s iken yardımcı kapaklarla birlikte bu sayı 22 000 m<sup>3</sup>/s'ye çıkmaktadır.

Barajın su alma yapısı sağ sahilde 70 m yüksekliğinde, 200 m uzunluğundadır. Su alma yapısının toplam beton hacmi ise 580 000 m<sup>3</sup>'dür.

Sağ sahilde inşa edilen hidroelektrik santral 49 m genişliğe 55 m yüksekliğe ve 257 m uzunluğa sahiptir. 8 adet düşey eksenli *Francis Tipi* türbinlerin kurulu gücü 2 400 MW'tır. Enerji üretim kapasitesi ise 8,9 x 10<sup>9</sup> kw saat/yıl'dır (Çatal, 1993).

Sağ sahilde yer alan cebri boruların çapları 6,60 m ila 7,27 m arasında değişmektedir. 8 üniteden oluşan cebri boruların toplam uzunluğu 4817 m'dir.

Zonlu kaya dolgu tipinde inşa edilmiş olan Atatürk Barajı ve Hidroelektrik Santralinin dolgu hacmi 84,5 milyon m<sup>3</sup>'tür. Dolgu hacmi itibariyle dünyada inşa edilmekte olan barajlar arasında beşinci sırada yer almaktadır (Dağdeviren, 1995). Temelden 184 metre yüksekliğe sahip olan Atatürk Barajı, temel inşaatı için yapılacak kazıların, nehir yatağından çıkarılacak kum-çakılın ve 6 kilometre mesafeden getirilecek bazalt kayaların doldurulması suretiyle "toprak ve kaya dolgu" tipinde inşa edilmiştir (Ağralıoğlu, 2014).

## **5.2 Atatürk Barajı'na Ait Jeodezik Deformasyon Ölçmeleri**

### **5.2.1 Deformasyon ölçmelerinde kullanılan yöntemler, aletler ve donanımlar**

Deformasyon, deforme olabilecek bir yapının konumunda, boyutunda ve şeklinde maruz kalabileceği değişimlerden söz eder. Bu değişimler, ötelenme, dönme, uzama vd. gibi farklı bir biçimde ortaya çıkar. Eğer cisim bir kuvvetin etkisiyle yer değiştiriyorsa buna ötelenme denir. Cisme etki eden kuvvet yatayda ise yatay ötelenme, düşeyde ise düşey ötelenme olarak adlandırılır ve düşey ötelenme barajlarda oturma şeklinde oluşur. Cisim yatay düzlemde düşey eksen etrafında hareket ediyorsa yatay dönme, düşey düzlemde yatay eksen etrafında dönüyorsa düşey dönme denir (Taşçı, 2010).

Jeodezik ve jeodezik olmayan birçok yöntem barajlarda deformasyon izlenmesinde kullanılmaktadır. Yatay ve düşey yöndeki deformasyonların izlenmesi işi, bu amaç için oluşturulmuş deformasyon ağlarında periyodik olarak yapılacak klasik veya Uydu Bazlı ölçmelerle yapılır.

Jeodezik yöntemde ölçme metodu ve ölçme aralığının seçimi ve bu ölçmelere ilişkin standartlar, izlenecek barajın türüne, beklenen deformasyonların çeşidine ve barajın bulunduğu aşamaya bağlı olarak farklılıklar gösterir. Yeryüzündeki kabuk hareketlerinin, büyük mühendislik yapılarındaki çeşitli sebeplerden oluşabilecek şekil değişikliklerinin veya bu yapıların çevrede oluşturacağı etkilerin büyüklüğünün ve yönünün belirlenebilmesi için jeodezik ölçmelerden yararlanır (Kalın, 2010).

Jeodezik yöntemde kullanılan deformasyon izleme teknikleri ve ölçme donanımları Çizelge 5.1'te verilmiştir.

**Çizelge 5.1 : Jeodezik Yöntemle Deformasyon İzleme Teknikleri ve Ölçme Donanımları(Kalkan, 2007)**

<b>Jeodezik Yöntemler</b>	<b>Kullanılan Alet ve Donanımlar</b>
• Aliynman Ölçmeleri	• Teodolit, Laser Optik, İnvar Tel vs.
• Klasik Konum Ölçmeleri	• Total Station, Teodolit ve Uzaklık Ölçer
• Uydu Bazlı Konum Ölçmeleri	• GPS, GLONAS ve GALİLO Alıcıları
• Presiz. Trigonometrik Nivelman Ölçmeleri	• Hassas Total Station, Teodolit ve Uz. Ölç.
• Presiz. Geometrik Nivelman Ölçmeleri	• Presizyonlu Nivelman Donanımı
• Laser Scanner Tekniği	• Laser Scanner
• İnterferometrik SAR Görüntü Tekniği	• SAR Uydu Görüntülerinin Değerlendirilmesi

Jeodezik olmayan metotlar, jeoteknik ve özelleştirilmiş gözlem aletlerini kapsar. Jeoteknik aletler genelde toplam gerilmeler ile gerilme değişimini, deformasyonu, yük ile birim yerdeğiştirmeyi ve ısıyı ölçmek için tasarlandıklarından mühendislikte deformasyonların izlenmesine başlandığında çok önemli bir rol oynamaktadırlar. Bu yöntemlerden elde edilen sonuçlar rölatiftir. Yani barajın gövdesinin tamamının hareketleri hakkında bilgi vermezler. Sadece yerleştirildikleri yöne göre hareketleri tespit ederler. Bu tür aletler hem dolgu hem de beton barajlarda rahatlıkla kullanılabilirler. Ölçülerin çok kısa aralıklarla ve gerektiğinde sürekli olarak yapılabilmesine imkân sağlaması jeoteknik yöntemlerin bir avantajıdır (Taşçı, 2010). Jeodezik olmayan bazı yöntemler ve ölçme donanımları Şekil 5.2’te görülebilmektedir.

**Çizelge 5.2 : Jeodezik Olmayan Yöntemler ve Ölçme Donanımları(Kalkan, 2007)**

<b>Jeodezik Olmayan Yöntemler</b>	<b>Ölçme Donanımları</b>
• Eğim Ölçmeleri	• İnklinometreler
• Düşey Yer Değiştirme Ölçmeleri	• Oturma Kolonları
• Uzunluk Değişim Ölçmeleri	• Extensometreler
• Boşluk Suyu Basıncı Ölçmeleri	• Piyezometreler
• Düşeyden Ayrılma Ölçmeleri	• Pendulum
• Derz Ölçmeleri	• Jointmetreler
• Çatlak Ölçmeleri	• Crackmetreler

Atatürk Baraj'ının gövde inşaatının tamamlanmasının ardından deformasyon izleme çalışmaları başlatılmış ve günümüze kadar bu çalışmalar devam ettirilmiştir. Yılda iki kez yapılan bu çalışmalarla, baraj ve yakın çevresinde, hareket beklenen bölgelerde, oluşturulan deformasyon noktalarında anlamlı yatay - düşey hareketler izlenmektedir (Kalın, 2010).

Baraj gövdesi ve yakın çevresindeki konum değişimleri, bölge dışında seçilen referans noktalarına göre, bağıl olarak belirlenmeye çalışılır. Deformasyon beklentisi olan objeler, obje noktaları(deformasyon noktaları) ile temsil edilirler. Atatürk Barajı için oluşturulan obje noktaları Şekil 5.1'te verilmiştir.

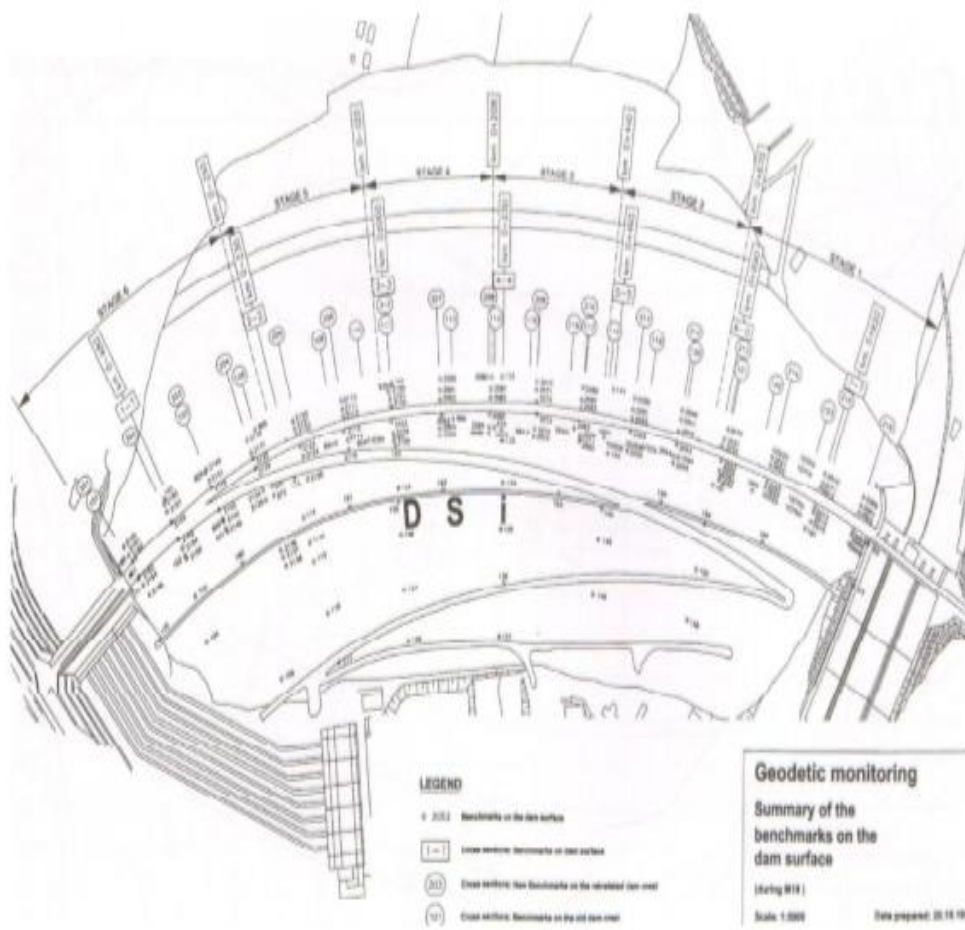
Baraj ve yakın çevresindeki hareketlerin izlenebilmesi amacıyla, hareket beklenmeyen sağlam zeminli bölgelerde seçilmiş 32 noktalı bir referans ağı ile hareket olabilecek bölgelerde seçilmiş yaklaşık 400 noktalı bir obje ağı (Deformasyon Ağı) oluşturulmuştur. Bununla birlikte, baraj gövdesi üzerinde 36 noktalı ve santral binasında yaklaşık 45 noktalı olmak üzere iki nivelman ağı da mevcuttur. Referans ağının dıştaki 7 noktası sadece GPS ağı olarak düşünülmüş ve nokta tesisleri kısa kare pilye şeklinde ve diğer 25 noktası ise, klasik açı-kenar gözlemleri yapacak şekilde tasarlanmış olup nokta tesisleri normal yükseklikte dairesel ölçme pilyeleri şeklinde yapılmıştır. Bu referans noktaları, baraj gövdesini ve yakın çevresini kuşatacak şekilde çevreye dağılmış noktalardan oluşmaktadır (Kalkan, 2007).

Baraj gövdesi, sağ ve sol sahildeki palyeler, galeriler, santral binası ve su alma yapısı gibi bölgelerde çeşitli sebeplerle zaman içerisinde oluşabilecek muhtemel hareketleri gözlemleyebilmek için obje noktalarından (harici çökme röperleri) oluşan bir deformasyon ağı oluşturulmuştur (Kalın, 2010).

Özellikle baraj gövdesi üzerine çok sayıda deformasyon noktası yerleştirilmiştir. Bu noktaların bir bölümü baraj ekseninin sağ ve sol tarafında (mamba ve mansapta) diğer bölümü ise baraj kreti, dolu savak ve palyeler gibi bölgelere tesis edilmiştir. Bu noktalardan baraj kreti ve baraj gövdesi üzerindeki, baraj gövdesini kapsayan kayalar üzerine yerleştirilmiş olup, tamamı özel tasarım zorunlu merkezleştirilmeli bir zemin tesisine sahiptir (Şekil 5.2).



Şekil 5.1 : Obje noktaları için zorunlu merkezlendirilmeli zemin tesisleri (Kalm, 2010)



Şekil 5.2 : Obje noktaları

### 5.2.2 Baraj gövdesi üzerindeki ölçüm değerleri

Atatürk Barajı'nda yapılan jeodezik deformasyon ölçmelerinde hem klasik hem de GPS yöntemi ile ölçmeler gerçekleştirilmiştir. Ölçmeler yapılırken presizyonlu alet ve donanımlar kullanılmıştır. Klasik ölçmelerden elde edilen kenar ve açı gibi ölçüler indirgenerek dengeleme hesabına hazır hale getirilmiştir. Öncelikle, nirengi ağı kendi içerisinde serbest olarak dengelenmiş daha sonra da tüm obje noktaları ile birlikte ağın nirengi noktaları değişmez olarak alınıp ağın tamamı dengelenmiştir. Dengeleme sonucunda tüm noktalar için duyarlık ve güven ölçütleri hesaplanmıştır (Kalm, 2010).

GPS Yöntemi yüksek doğrulukta kıta hareketlerinin belirlenmesinden, viyadük, baraj, köprü, yüksek yapılar gibi büyük ve önemli mühendislik yapılarının yatay ve düşey deformasyonlarının belirlenmesine kadar bir çok çalışmada başarıyla kullanılmaktadır. Atatürk Barajı'nda sürdürülmekte olan deformasyon izleme çalışmalarında da bu teknik, diğer jeodezik tekniklerle birlikte kullanılmaktadır. Atatürk Barajı için yapılan ölçümlerde GPS ağı ile, klasik nirengi ağı birlikte düşünülerek 32 noktalı Referans ağının 27 noktasında olmak üzere altı aylık periyotlarda GPS Yöntemiyle ölçmeler yapılmıştır (Kalkan, 2007).

Atatürk Barajı'nın gövde kısmında yapılan ölçümler neticesinde Mayıs 2006 ile Kasım 2011 arasında ölçülen oturmaların ve kabarmaların bir kısmı Çizelge 5.3'te verilmiştir. Ek – C'de ilgili ölçümlere ait 199 nokta için tüm değerler verilmiştir.

**Çizelge 5.3 :** Mayıs 2006 ile Kasım 2011 arası oturmalar ve kabarmalar

Nokta Adı	MAYIS 2006 İLE KASIM 2011 ARASI OTURMALAR VE KABARMALAR		
	Y (m)	X (m)	dH <sub>i</sub> (m)
102	639391,7890	250836,6199	-0,77
103	639353,8701	250782,2708	-0,45
104	639311,8381	250724,7680	0,78
105	639356,0951	250563,3436	1,15
113	639619,0378	250713,3385	-2,52
114	639580,9037	250663,5980	-3,26
115	639537,3194	250605,9613	-0,31
116	639491,0384	250539,2472	0,74

### 5.3 Kriging Yöntemi ile Atatürk Barajı Gövdesindeki Deformasyonların Modellenmesi

#### 5.3.1 Kriging yöntemi

Kriging enterpolasyon yöntemi geoistatistikte kullanılan ve bir çok alanda popülaritesini kanıtlamış bir yöntemdir. Kriging, bu tekniği ilk geliştiren D.G. Krige isimli Güney Afrikalı bir maden mühendisinden adını almaktadır. Kriging konumsal tahmin için geoistatistiksel yöntemdir. Bu yöntem, matematiksel jeodezide kollokasyon olarak bilinen en iyi lineer yansız tahminci (BLUP [best linear unbiased predictor]) yada en iyi lineer yansız hesaplayıcı (BLUE [best linear unbiased estimator]) olarak tanımlanır (Boogaart ve Schaeben 2002).

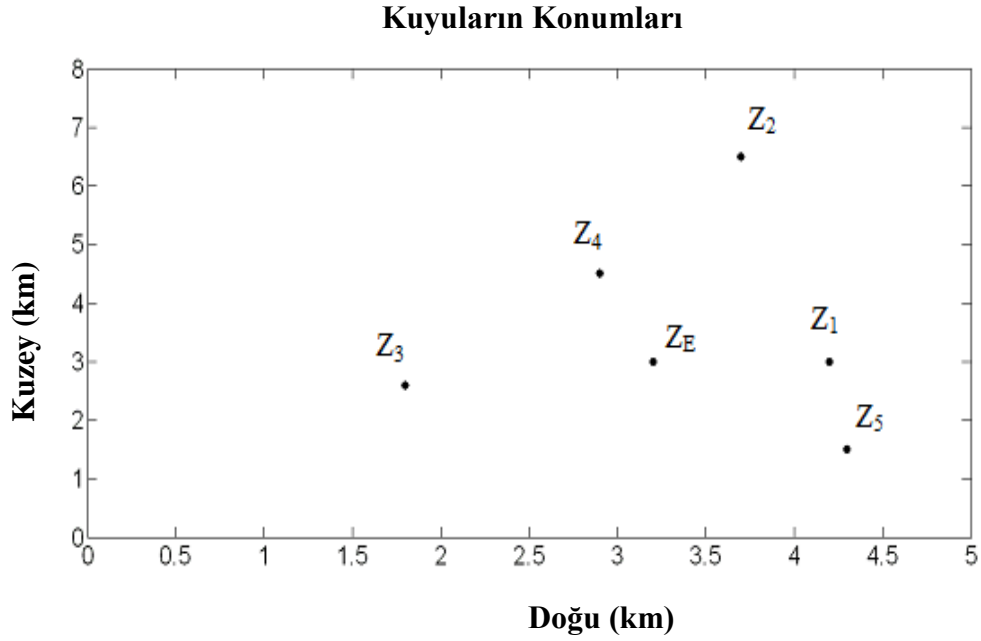
Kriging yöntemi ile ilgili maden, jeoloji, çevre, meteoroloji, inşaat ve ekonomik risk değerlendirme gibi bir çok alanda araştırma makaleleri mevcuttur. Literatürde çok fazla çalışma olmamakla birlikte uzaktan algılama, fotogrametrik ve kartografik çalışmalarda da uygulama alanı bulmuştur (İnal,2003).

Dowd (1984)'e göre; Kriging yönteminde, en uygun ağırlıkları bulmak için, ölçme noktaları arasındaki konumsal bağımlılığın bilinmesi gerekir. Bu konumsal bağımlılık ya bir kovaryans fonksiyonu ya da bir variogram fonksiyonu kullanmak suretiyle tanımlanabilir.

Basit bir örneklem ile Kriging metodunu açıklamak mümkündür. Düzlem üzerinde Şekil 5.3'de verilen 6 adet kuyu mevcuttur. Çizelge 5.4'de 6 adet kuyuya ait koordinatlar ve derinlikleri verilmiştir. Fakat  $Z_E$  kuyusunun derinliği bilinmemektedir. Verilen örnekte amaç Ordinary Kriging yöntemini kullanarak  $Z_E$  kuyusuna ait derinlik değerinin hesaplanmasıdır.

**Çizelge 5.4 : Kuyuların koordinatları ve derinlikleri**

Kuyu Yerleri	Doğu (km)	Kuzey (km)	Derinlik (m)
$Z_1$	4,20	3,00	89,00
$Z_2$	3,70	6,50	75,00
$Z_3$	1,80	2,60	98,00
$Z_4$	2,90	4,50	81,00
$Z_5$	4,30	1,50	105,00
$Z_E$	3,20	3,00	?



**Şekil 5.3 :** Kuyuların yerleri

Öncelikle dayanak noktaları arasında oluşan olası tüm çiftlerin variogram değerlerine ilişkin n-boyutlu kare matris oluşturulur. Kuyulara ilişkin matris tablosu ve hesabı Şekil 5.4'deki gibidir.

	$Z_1$	$Z_2$	$Z_3$	$Z_4$	$Z_5$	
$\text{dist} =$	0	3.5355	2.4331	1.9849	1.5033	$Z_1$
	3.5355	0	4.3382	2.1541	5.0359	$Z_2$
	2.4331	4.3382	0	2.1954	2.7313	$Z_3$
	1.9849	2.1541	2.1954	0	3.3106	$Z_4$
	1.5033	5.0359	2.7313	3.3106	0	$Z_5$

$\rightarrow$	$\text{Sqrt} [(6.5-3)^2+(3.7-4.2)^2]=3.5355$
$\rightarrow$	$\text{Sqrt} [(2.6-3)^2+(1.8-4.2)^2]=2.4331$
$\rightarrow$	$\text{Sqrt} [(1.5-4.5)^2+(4.3-2.9)^2]=3.3106$

**Şekil 5.4 :** Dayanak noktaları için matris tablosu ve hesabı

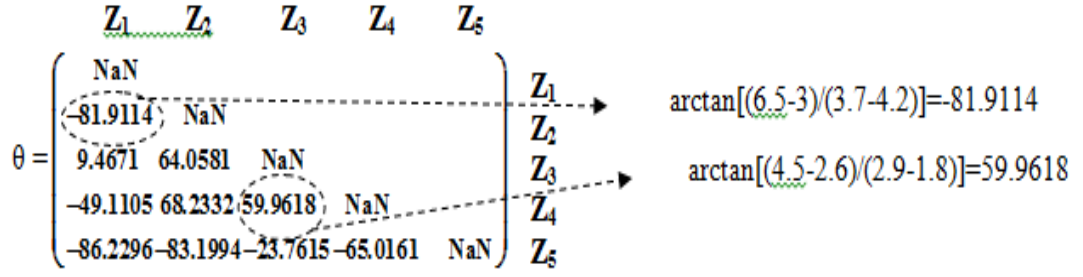
Daha sonra dayanak noktaları arasındaki  $\theta$  açıları hesaplanır. Dayanak noktalarından  $Z_1(x_1, y_1, k_1)$  ve  $Z_2(x_2, y_2, k_2)$  için  $\theta$  açısı hesabı,

$$\theta = \arctan \left[ \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \right] \quad (5.1)$$

şeklindedir.

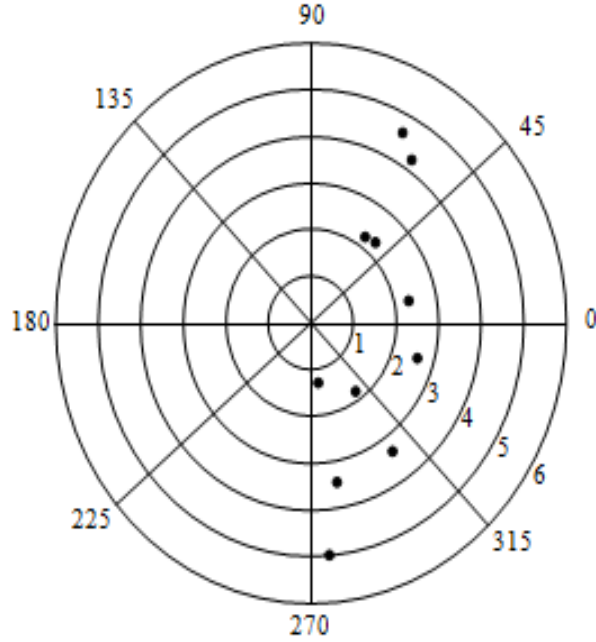
Yapılan hesaplamalar matris üzerinde gösterilir. İlgili matris Şekil 5.5'de verilmiştir.





Şekil 5.5 : Dayanak noktaları arasındaki açıların matris gösterimi

Variogram yönün ve uzunluğun bir fonksiyonudur. Birbirlerine h kadar uzaklıktaki noktalar yön dikkate alınmaksızın hesaplanırsa, bu tip variogramlar yön bağımsız (omnidirectional, bölge içerisinde olası bütün h uzunluklarını sağlayan nokta çiftleri hesaba katılan, variogramlar) olarak adlandırılır. Herhangi bir  $\theta$  yönündeki h uzunluklarına sahip nokta çiftleri dikkate alınarak variogram hesap edilirse, bunlar yön bağımlı variogram olarak adlandırılır.  $\theta$ , X ekseninden itibaren saat ibresinin tersi yönünde oluşan açıdır (İnal,2003). Bulunan  $\theta$  açısına göre oluşturulan polar variogram Şekil 5.8’da görülmektedir.



Şekil 5.6 : Polar variogram

Üçüncü aşama olarak Semivaryans hesabının yapılması gerekmektedir. Semivaryans sabit bir mesafe bölümlerine ayrılmış bütün olası noktalar arasındaki farkların varyanslarının yarısıdır (Isaaks ve Srivastava 1989). Semivaryans  $\gamma$  ile gösterilir.

Hesabı için,

$$\gamma(d) = \frac{1}{2}(k_2 - k_1)^2 \quad (5.2)$$

formülü kullanılır. Koordinatları bilinen 5 tane kuyu için yapılan Semivaryans hesabı Şekil 5.7’de görülmektedir.

$$\gamma(d) = \begin{pmatrix} 0 & & & & \\ 98.0000 & 0 & & & \\ 40.5000 & 264.5000 & 0 & & \\ 32.0000 & 18.0000 & 144.5000 & 0 & \\ 128.0000 & 450.0000 & 24.5000 & 288.0000 & 0 \end{pmatrix} \begin{matrix} Z_1 \\ Z_2 \\ Z_3 \\ Z_4 \\ Z_5 \end{matrix}$$

$\frac{1}{2}(75 - 89)^2 = 98$   
 $\frac{1}{2}(105 - 81)^2 = 288$

Şekil 5.7 : Semivaryans hesabı

Semivaryans hesabının yapılmasından sonra çiftler arası konumlar belirli gruplara indirgenir. İndirgemenin esasını konumlar arası uzaklık teşkil eder. Verilen örnek için 0’ dan 0,5 km.’ye, 0,5’ten 1,0 km.’ye şeklinde 11 tane aralık seçilerek indirgeme ve dolayısıyla gruplama yapılmıştır. İndirgemedeki kullanılan aralıklar Lag mesafesi olarak adlandırılmaktadır. Örneğe göre yapılan, indirgenmiş grubu temsil eden ve mesafeler arası bağlantıyı gösteren Çizelge 5.5 aşağıda verilmiştir.

Çizelge 5.5’e göre ortalama semivaryans ile ortalama mesafe arasındaki grafiği çizmek mümkündür. Böylelikle ampirik semivariogram elde edilebilmektedir. Fakat ampirik semivariogram tahminler için negatif standart hatalar verebileceğinden doğrudan kullanılamaz. Bunun için ampirik semivariogram modele uygunlaştırılmalıdır. Uygun modelin tatbik edilmesi neticesinde model değerleri çeşitli mesafeler için hazır hale gelmektedir. Sadelik açısından bu örnekte *ağırlıklı en küçük kareler yöntemine* göre doğrusal çizgiye yerleştirilmiştir. Geoistatistik analizlerinde Exponential, Gaussian, Linear, Logarithmic, Power, Quadratic, Rational Quadratic, Spherical, Wave (Hole effect), Cubic gibi çeşitli modelleri de kullanmak mümkündür.

Şekil 5.8’de çeşitli mesafeler için bulunabilecek semivariograma ait model grafiği verilmiştir. Semivaryansın mesafeler ile doğrusal koralasyonu için,

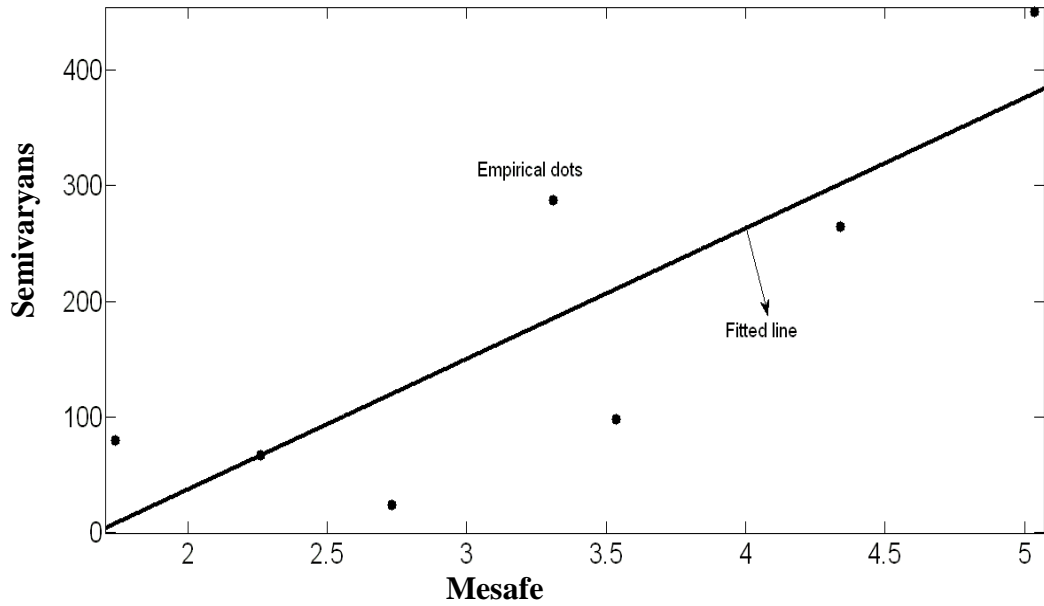
$$\text{semivariance} = 32.37 \times (\text{dist}) \quad (5.3)$$

hesabı yapılmıştır.

**Çizelge 5.5 : İndirgenmiş grup**

Aralık Numarası	Lag Mesafesi	Çiftlerin Mesafesi	Çiftlerin Semivaryansı	Ortalama Mesafe	Ortalama Semivaryans
1	$0.0 < d \leq 0,5$	.....	.....	.....	.....
2	$0,5 < d \leq 1,0$	.....	.....	.....	.....
3	$1,0 < d \leq 1,5$	.....	.....	.....	.....
4	$1,5 < d \leq 2,0$	1,9849	32	1,7441	80
		1,5033	128	2,2609	
5	$2,0 < d \leq 2,5$	2,1541	18		67,7
		2,4331	40,5		
		2,1954	144,5		
6	$2,5 < d \leq 3,0$	2,7313	24,5	2,7313	24,5
7	$3,0 < d \leq 3,5$	3,3106	288	3,3106	288
8	$3,5 < d \leq 4,0$	3,5355	98	3,5355	98
9	$4,0 < d \leq 4,5$	4,3382	264,5	4,3382	264,5
10		.....	.....	.....	.....
11	$5,0 < d \leq 5,5$	5,0359	450	5,0359	450

**Kuramsal Semivariogram**



**Şekil 5.8 : Semivariogram modeli**

Kuramsal variogramın bulunmasından sonra matris tablosu,

$$\gamma = \begin{pmatrix} 0.0000 & 114.4452 & 78.7596 & 64.2526 & 48.6628 & 1.0000 \\ 114.4452 & 0.0000 & 140.4276 & 69.7271 & 163.0112 & 1.0000 \\ 78.7596 & 140.4276 & 0.0000 & 71.0667 & 88.4122 & 1.0000 \\ 64.2526 & 69.7271 & 71.0667 & 0.0000 & 107.1638 & 1.0000 \\ 48.6628 & 163.0112 & 88.4122 & 107.1638 & 0.0000 & 1.0000 \\ 1.0000 & 1.0000 & 1.0000 & 1.0000 & 1.0000 & 0.0000 \end{pmatrix} \quad (5.4)$$

halini almaktadır.

Basit matris denklemini

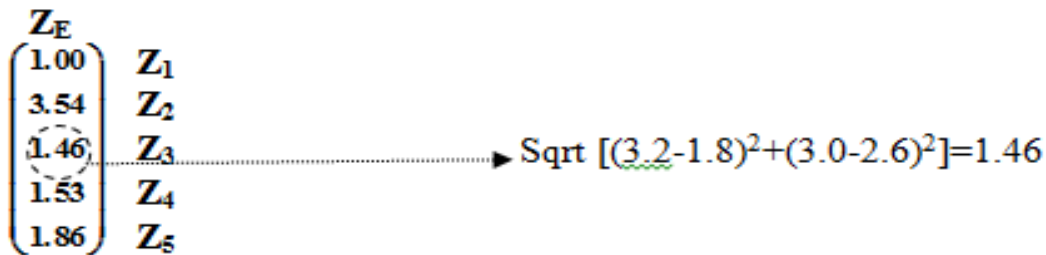
$$\lambda = \gamma^{-1}B \quad (5.5)$$

Şeklinde düzenlersek ağırlıkları kolayca elde etmek mümkündür. İlgili denklemde  $\lambda$  ağırlıkları,  $\gamma^{-1}$  ters matrisi ve B ise  $Z_E$  ve diğer noktalar ( $Z_1, Z_2, Z_3, Z_4, Z_5$ ) arasındaki semivaryans matrisidir. B matrisi,

$$B = \begin{bmatrix} \gamma(Z_E, Z_1) \\ \gamma(Z_E, Z_2) \\ \gamma(Z_E, Z_3) \\ \gamma(Z_E, Z_n) \\ 1 \end{bmatrix} \quad (5.6)$$

şeklinde ifade edilir.

Hedef noktası olan  $Z_E$  ve diğer noktalar ( $Z_1, Z_2, Z_3, Z_4, Z_5$ ) arasındaki uzaklık Şekil 5.9'daki şekliyle bulunur.



Şekil 5.9 :  $Z_E$  değerinin hesap matrisi

Semivaryans denklemini

$$\text{Semivaryans}=32.37 \times (\text{dist}) \quad (5.7)$$

şeklinde ifader eder,

B matirisini,

$$B=32.37 \times \begin{pmatrix} 1.00 \\ 3.54 \\ 1.46 \\ 1.53 \\ 1.86 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 32.37 \\ 114.59 \\ 47.26 \\ 49.53 \\ 60.21 \\ 1.00 \end{pmatrix} \quad (5.8)$$

biçiminde ifade edip  $\gamma^{-1}$  matrisini,

$$\gamma^{-1} = \begin{pmatrix} -0.0176 & 0.0015 & 0.0009 & 0.0056 & 0.0096 & -0.0686 \\ 0.0015 & -0.0074 & -0.0005 & 0.0065 & -0.0002 & 0.4698 \\ 0.0009 & -0.0005 & -0.0096 & 0.0056 & 0.0035 & 0.2782 \\ 0.0056 & 0.0065 & 0.0056 & -0.0164 & -0.0013 & -0.0717 \\ 0.0096 & -0.0002 & 0.0035 & -0.0013 & -0.0116 & 0.3923 \\ -0.0686 & 0.4698 & 0.2782 & -0.0717 & 0.3923 & -90.1610 \end{pmatrix} \quad (5.9)$$

haliyle kullanırsak ağırlıklar,

$$\lambda = \gamma^{-1}B = \begin{pmatrix} 0.43 \\ -0.04 \\ 0.29 \\ 0.23 \\ 0.08 \\ -5.33 \end{pmatrix} \quad (5.10)$$

hesabıyla bulunur.

Ölçüm vektörleri ( $Z_1, Z_2, Z_3, Z_4, Z_5$ ),

$$M = \begin{pmatrix} 89 \\ 75 \\ 98 \\ 81 \\ 105 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (5.11)$$

haliyle verilmiştir.

Hedef nokta olan  $Z_E$ ,

$$Z_E = \mathbf{M}^T \times \lambda \quad (5.12)$$

Formülü ile bulunur.

$$Z_E = (89 \times 0.43 + 75 \times -0.04 + 98 \times 0.29 + 81 \times 0.23 + 105 \times 0.08 + 0 \times -5.33) \quad (5.13)$$

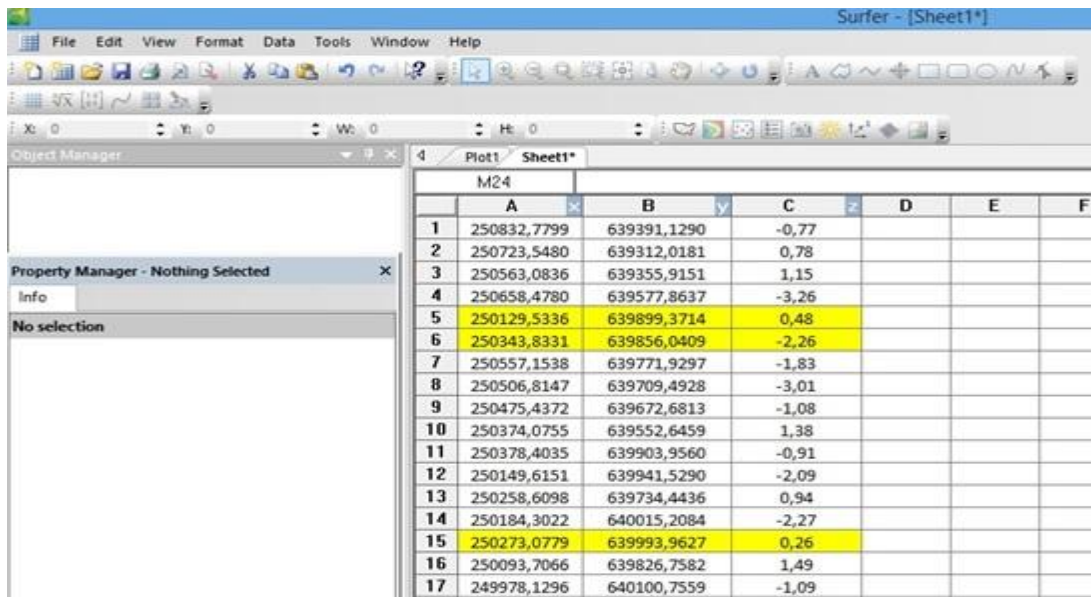
Denkleminin çözülmesi neticesinde  $Z_E = 90.7200$  m olarak bulunur.

### 5.3.2 Kriging yöntemi ile deformasyon modelinin oluşturulması

2006 yılından 2011 yılına kadar Atatürk Barajı üzerinde yapılan ölçümler sonucu elde edilen 199 tane obje noktası veri olarak kullanılmıştır. İlgili ölçümlerin başlangıç tarihi Mayıs 2006 tarihi olup gözlem sonu tarihi ise Kasım 2011'dir.

Ölçüm yapılan 199 tane obje noktasının 132 tanesi *training verisi* olarak seçilmiş olup 67 tanesi ise *testing verisi* seçilmiştir. Verilerin seçimi rastgele yapılmıştır. İlgili seçimi içeren tablo Ek – C'de mevcuttur.

Modelin oluşturulmasında training verilerinden yararlanılmıştır. Verilere ait X(m), Y(m) ve dHi (m) değerleri Surfer\_10 programına girdi olarak girilmiştir (Şekil 5.10). Surfer\_10 programı ilgili verileri *Ordinary Kriging Yöntemi*'ne göre analiz etmiştir. Surfer\_10 programı için bazı hesap değerleri Çizelge 5.6'da görülmektedir. Surfer\_10 yazılımının ayrıntılı raporu ise Ek – D'de verilmiştir.



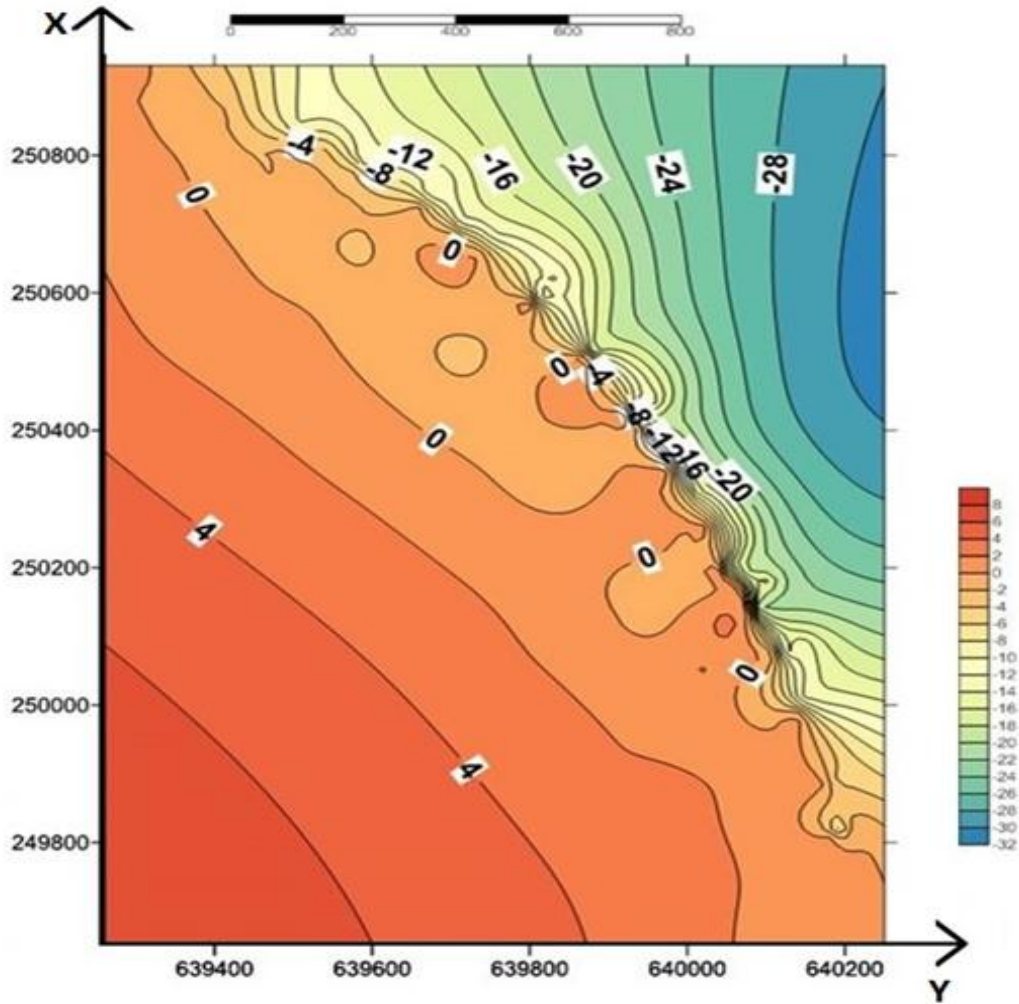
	A	B	C	D	E	F
1	250832,7799	639391,1290	-0,77			
2	250723,5480	639312,0181	0,78			
3	250563,0836	639355,9151	1,15			
4	250658,4780	639577,8637	-3,26			
5	250129,5336	639899,3714	0,48			
6	250343,8331	639856,0409	-2,26			
7	250557,1538	639771,9297	-1,83			
8	250506,8147	639709,4928	-3,01			
9	250475,4372	639672,6813	-1,08			
10	250374,0755	639552,6459	1,38			
11	250378,4035	639903,9560	-0,91			
12	250149,6151	639941,5290	-2,09			
13	250258,6098	639734,4436	0,94			
14	250184,3022	640015,2084	-2,27			
15	250273,0779	639993,9627	0,26			
16	250093,7066	639826,7582	1,49			
17	249978,1296	640100,7559	-1,09			

Şekil 5.10 : Surfer\_10'a training değerlerinin girilmesi

Çizelge 5.6 : Surfer\_10 hesap analizi

	Surfer_10 Hesaplamaları		
	X(m)	Y(m)	dHi(m)
Mean:	639852,645	250364,191	-
Median:	639918,113	250363,143	-1,004
Variance:	73887,697	117344,551	33,879
Standard Deviation:	271,823	342,556	5,821
Range:	990,413	1279,330	20,987
Standard Error:	23,650	29,816	0,507

Değerleri girilen ve hesaplamaları yapılan veriler için Surfer\_10 yazılımı düzlem üzerine koordinatları otomatik olarak yerleştirmektedir. Yerleştirilen koordinatlara karşılık gelen oturmalar ve kabarmalar tesviye eğrileri vasıtasıyla modelde görülebilmektedir (Şekil 5.11). Modelde Y eksenini Y(m) yatay koordinatları, X eksenini X(m) düşey koordinatları ve model üzerindeki değerlerden negatif olanlar oturmaları pozitif değerler ise kabarmaları tarif etmektedir.



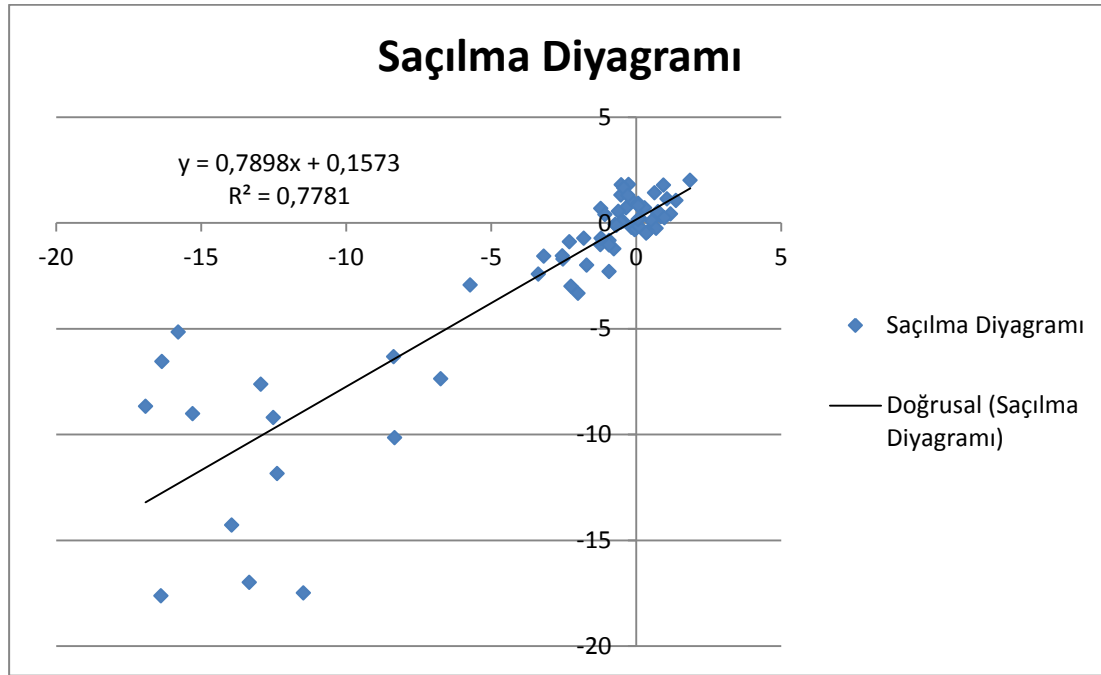
Şekil 5.11 : Surfer\_10 ile oturmaların ve kabarmaların modeli

### 5.3.3 Deformasyon modeline ait saçılma diyagramı

Kriging yöntemi ile Surfer\_10 yazılımı ile oluşturulan model için 132 tane veri *training verisi* olarak kullanılmıştır. 67 tane veri de *testing verisi* olarak kullanılmıştır. Training verilerinin Surfer\_10 vasıtasıyla modellenmesi neticesinde ortaya çıkan deformasyon değerleri gözlem değerleri olarak saçılma diyagramında X eksenini üzerinde gösterilmiştir.

Gözlem değerlerinin hata değerleri Surfer\_10 yazılımı *Residuals* komutu ile hesaplanmıştır (Ek – E). Hesaplanan hata değerleri gözlem değerlerinden çıkartmak suretiyle ön görülen hesap değerleri elde edilmiştir. İlgili hesap değerleri saçılma diyagramının Y eksenine yerleştirilmiştir.

Training ve testing değerlerinden oluşan Saçılma Diyagramı Şekil 5.12’de verilmiştir.



Şekil 5.12 : Saçılma diyagramı

### 5.3.4 Deformasyon modelinin verimliliği

Modellerin sonuçları ile ölçülmüş değerler arasındaki kıyaslamaları yapabilmek için, verimlilik katsayısı gibi istatistiksel büyüklükler kullanılmaktadır (Saplıoğlu, 2010).  $E_i$ , (verimlilik katsayısı) birçok hidrolojik tahmin modelinin doğruluğunu ölçmek için kullanılan bir yöntemdir. Verimlilik katsayısının değeri 1'e yakın olması modelin iyi tahmin yaptığına işaret eder.



Verimlilik katsayısı,

$$E_i=1- \frac{(X_o-Xp)^2}{(X_o-X)^2} \quad (5.14)$$

Formülü ile bulunabilmektedir.

$X_o$  gözlemlenmiş deformasyonları,  $Xp$  tahmin edilen deformasyonları tanımlamaktadır.  $(X_o - Xp)^2$  değeri hata farklarının karesi olarak tanımlanabilmektedir. Bu değer Ek – E’de verilen ve Surfer\_10 yazılımı yardımıyla bulunan Residuals değerlerinin karelerinin ortalamasını almak suretiyle bulunabilmektedir ve bu değer **7,0611**’dir..  $X_o - X$  değeri ise gözlemlenen değerlerin varyansını tarif etmektedir Ek – D’de verilen Gridding Report ekinde Surfer\_10 yazılımı yardımıyla varyans değeri tespit edilmiş olup bu değer deformasyon modeli için **33,8793**’e eşittir.

İlgili değer neticesinde deformasyon modelinin verimliliği,

$$E_i=1- \frac{7,0611}{33,8793} \quad (5.15)$$

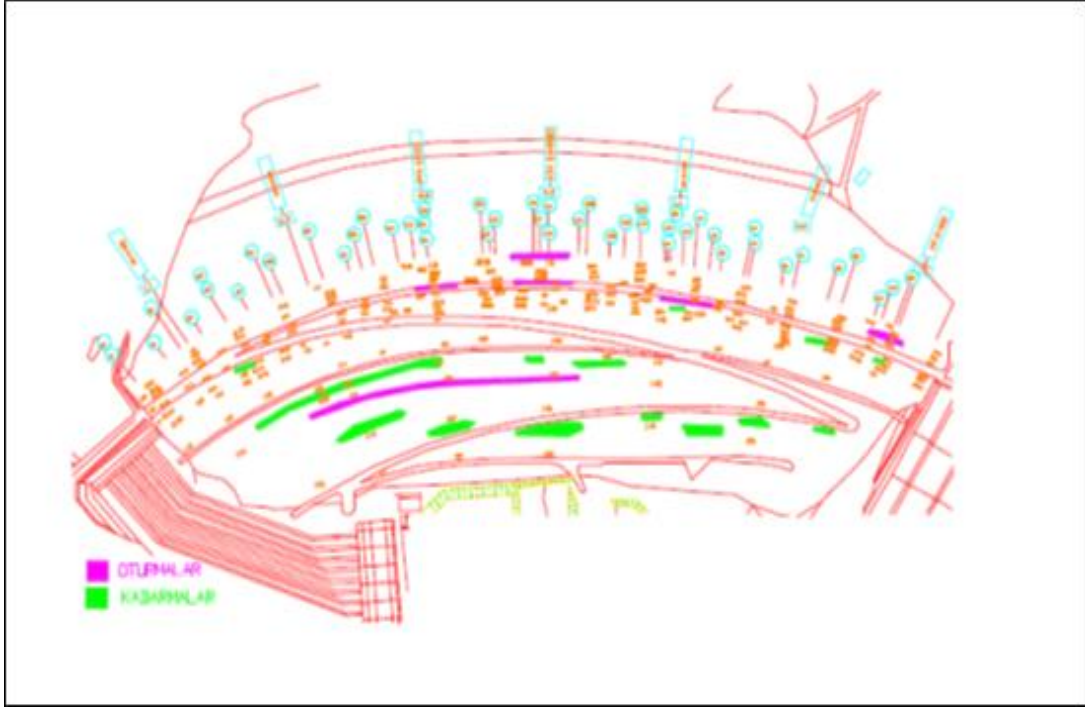
işlemi neticesinde **0,7915** olarak bulunur.

### **5.3.5 Deformasyon modelinin incelenmesi ve gerçek değerler ile karşılaştırılması**

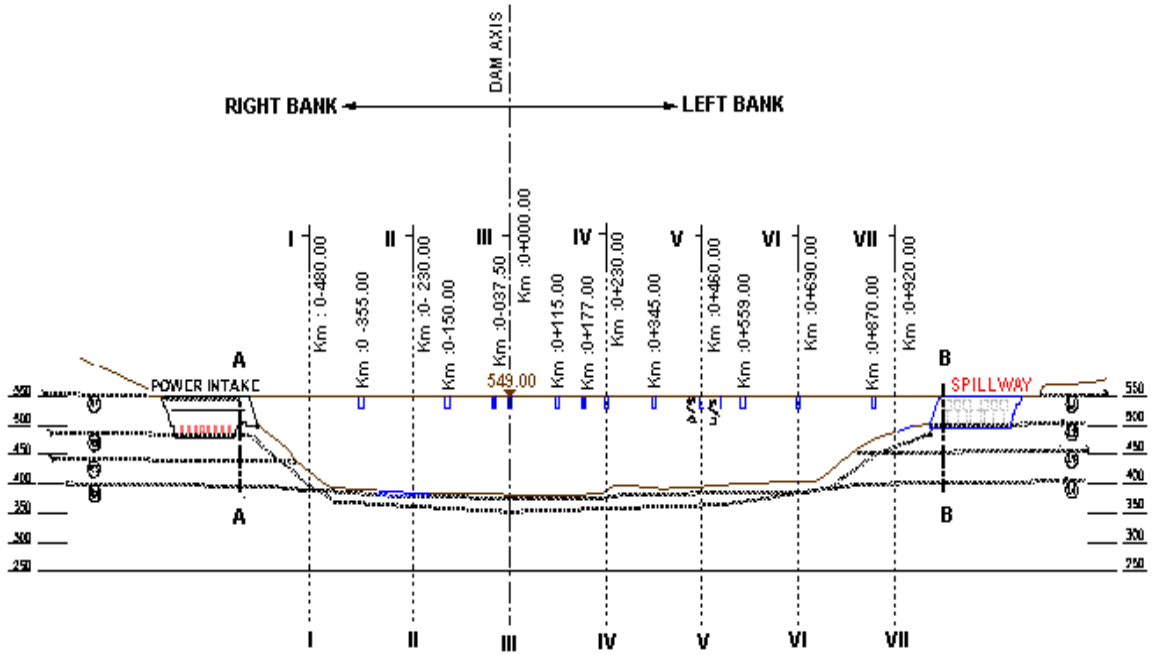
Kriging yöntemini kullanılarak Surfer\_10 yazılımı ile oluşturulan deformasyon modeline ait oturmalar ve kabarmalar incelendiğinde özellikle Atatürk Barajı’nın kreti üzerinde oturmaların yoğunlaştığı gözlemlenmektedir. Kret üzerinde **2cm** ile **20 cm** arasında oturmalar gözlemlenmektedir.

DSİ XV. Bölge Müdürlüğü’nden alınan Şekil 5.13’teki çökme planı barajda ölçülen gerçek değerlere göre olan durumu yansıtmaktadır. Baraj gövdesi üzerindeki kabarmaları ve oturmaları gösteren şekil uyarınca yeşil renk ile gösterilen kısımlar kabarmaları, pembe renk ile gösterilen kısımlar ise baraj gövdesi üzerinde meydana gelen oturmaları göstermektedir.

İlgili çökme planı neticesinde Atatürk Barajı’nın kreti üzerinde oturmaların olduğu gözlemlenmektedir. Baraj gövdesi üzerinde risk teşkil edebilecek bu oturmaların analizi için Atatürk Barajı’nın kreti üzerinde kesit alınmıştır (Şekil 5.15).



Şekil 5.13 : Gövde üzerinde tespit edilen kabarma ve çökme planı



Şekil 5.14 : Kret üzerinden alınan kesit

Alınan kesite ait DSİ XV. Bölge Müdürlüğü'nce verilen 174 aylık ölçümler ve bu ölçümlere dair oturmalar neticesinde oluşan 174 aylık farklar Çizelge 5.7'deki gibidir.

**Çizelge 5.7 : Atatürk Barajı'na ait 174 aylık kret kesiti üzerindeki oturmalar**

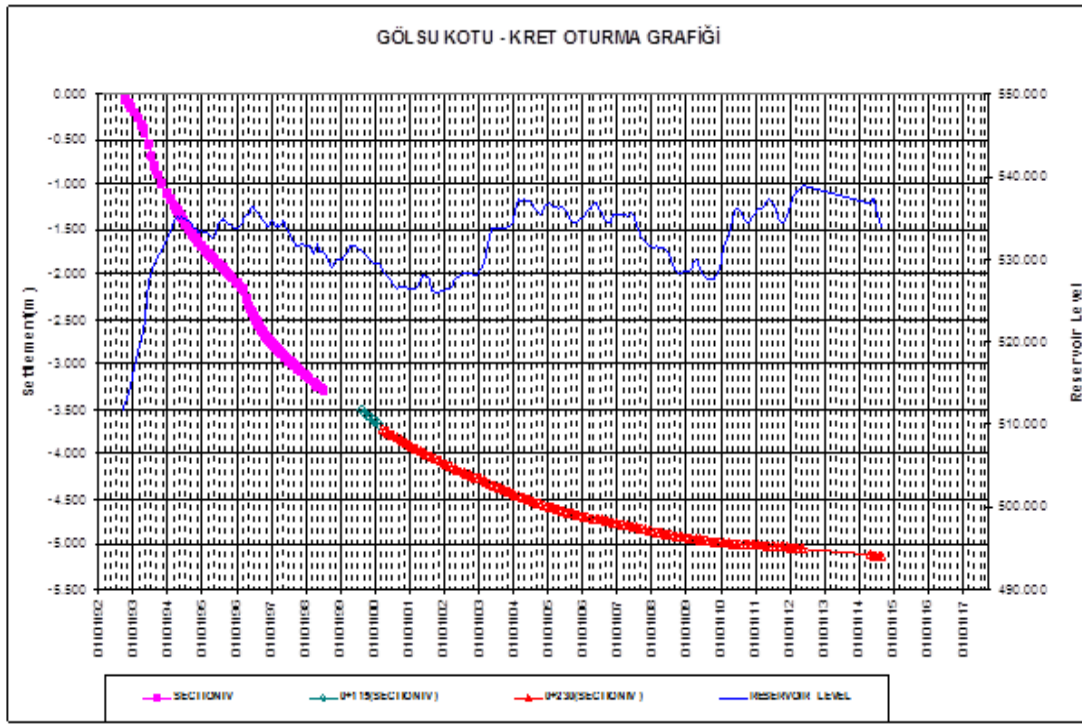
KM	Yeri	01/08/14	
		Ölçüm	174 Aylık Fark (m)
0+870	Menba	549.791	-0.100
	Merkez	550.037	-0.135
	Mansap	550.108	-0.050
0+680	Menba	550.570	-0.546
	Merkez	550.534	-0.767
	Mansap	551.121	-0.120
0+559	Menba	550.742	-0.696
	Merkez	551.017	-0.971
	Mansap	551.461	-0.287
0+460	Menba	550.772	-0.740
	Merkez	550.152	-1.118
	Mansap	550.758	-0.112
0+345	Menba	550.870	-0.691
	Merkez	550.817	-1.067
	Mansap	551.722	-0.180
0+230	Menba	550.341	-1.226
	Merkez	550.140	-1.448
	Mansap	551.823	-0.116
0+115	Menba	550.454	-0.873
	Merkez	550.385	-1.317
	Mansap	551.850	-0.063
0+000	Menba	550.569	-0.727
	Merkez	550.683	-1.111
	Mansap	551.377	-0.042
0-150	Menba	550.688	-0.604
	Merkez	550.968	-0.945
	Mansap	551.767	-0.047
0-355	Menba	550.445	-0.468
	Merkez	550.473	-0.676
	Mansap	551.294	-0.117
0-450	Menba	550.040	-0.325
	Merkez	550.363	-0.319
	Mansap	550.873	-0.081
0-530	Menba	549.624	-0.169
	Merkez	549.723	-0.151
	Mansap	549.917	-0.065

Çizelge 5.7'de görüldüğü üzere Atatürk Barajı kreti üzerinde oluşan oturmalar 174 ay sonunda **4.2 cm** ile **144 cm** arasında değişmektedir.

Modelde oluşan 2 cm'lik minimum oturmaya oldukça yakın minimum değer görülmüştür. Fakat maksimum değer olan 20 cm'ye karşılık 144 cm ciddi fark teşkil etmektedir.

144 cm'ye kadar çıkan oturmaların okunmasının nedeni baraj üzerinde bulunan Kesit IV kesitinde Atatürk Barajı'nın tamamlanmasından kısa bir süre sonra ciddi oturmaların gözlemlenmesidir. Atatürk Barajı'nın Kesit IV kısmında yapılan kret iyileştirmesi sonucu o bölgede oluşan oturmalar ise Şekil 5.15'te görülmektedir.

Kesit IV için uzun yıllara göre yapılan oturma analizi neticesinde modelin tarih aralığı olan 2006 ve 2011 tarihleri arasında yaklaşık **22 cm** oturma gözlemlenmektedir. Bu da modelimizde ölçülen 20 cm'lik maksimum oturmaya oldukça yakın bir değerdir.



Şekil 5.15 : Kesit IV'e ait oturma grafiği (DSİ XV. Bölge Müdürlüğü)

## 6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Barajlar çok büyük yapılar olduğundan tasarımları çok dikkat ve özen gerektirmektedir. Baraj yapımı esnasında birbirini takip eden hidrolojik, hidrolik ve yapısal tasarım aşamalarının her biri doğru ve hassas bir şekilde yapılmalıdır. Yapının ömrü boyunca maruz kalabileceği en kritik durumlarda bile emniyetli olmasına dikkat edilmelidir.

Bir barajın yıkılmasıyla haznede depolanan milyarlarca metreküp su ani olarak mansaba verilmektedir. Dünya’da baraj yıkılmaları nedeniyle pek çok insan hayatını kaybetmiş ve çok ciddi boyutlarda hasarlar olmuştur.

Barajların güvenliği açısından inşaat mühendislerine ciddi görevler düşmektedir. İnşaat mühendisleri baraj emniyeti açısından planlama ve tasarım aşamalarında riskleri belirleyip kritik senaryolar üretmeli ve tüm senaryolarda barajın sağlamlığına ikna olmalıdır. Tehlikenin fazla olmadığı bazı küçük yapılarda ekonomik çözümler ön plana geçerken, son derece büyük önem arz eden büyük su yapılarında emniyet her zaman ekonomik durumların önünde değerlendirilmelidir.

Barajların emniyetli bir şekilde işletilmesi için ömürleri boyunca periyodik olarak izlenmeleri şarttır. Barajın izlenmesi ve gözlemlenmesi işi konunun uzmanlarınca yapılmalı, sahada gerekli notlar alınmalı ve test için gerekli numuneler alınıp sonuçları arşivlenmelidir. Yapılan muayeneler sonucu barajın mevcut durumu hakkında bilgiler sürekli güncellenmelidir.

Bu çalışmada, dolgu barajlar için risk teşkil edebilecek yetersizlik faktörleri belirtilmiştir. Yetersizliklerin barajlar üzerindeki etkileri açıklanmıştır. Atatürk Barajı’nda yetersizlikler içerisinde oturmaların öne çıktığı gözlemlenmiştir.

Atatürk Barajı’nda ortaya çıkan oturmalar Kriging yöntemi ile analiz edilmiştir. Mayıs 2006 ile Kasım 2011 tarihleri arasında yapılan GPS Nivelman ölçümleri oturmaların ve kabarmaların ölçülmesinde veri olarak kullanılmıştır.

Baraj gövdesi ve yakın çevresindeki konum değişimleri, bölge dışında seçilen referans noktalarına göre, bağıl olarak belirlenmeye çalışılır. Deformasyon

beklentisi olan objeler, obje noktaları(deformasyon noktaları) ile temsil edilmiştir. Yılda iki kez yapılan ölçüm çalışmalarıyla, baraj ve yakın çevresinde, hareket beklenen bölgelerde, oluşturulan deformasyon noktalarında anlamlı yatay - düşey hareketler izlenmektedir.

Mayıs 2006 ile Kasım 2011 tarihlerinde yapılan ölçümler neticesinde oluşan düşey hareket farkları Kriging yöntemi ile analiz edilmiştir. Kriging yönteminin kullanılmasında hesap kolaylığı açısından Surfer\_10 yazılımı kullanılmıştır. Surfer\_10 programının Kriging yöntemini kullanması vasıtasıyla Atatürk Barajı'nın gövdesi oturmalar ve kabarmalar için modellenmiştir.

Baraj gövdesinin modellenmesinden sonra baraj gövdesi üzerinde **2cm** ile **20 cm** arasında oturmalar gözlemlenmektedir. Özellikle Atatürk Barajı'nın kreti üzerinde oturmaların yoğunlaştığı gözlemlenmektedir. Bu sebeple oturmaların risk analizinde kret bölgesine yoğunlaşmıştır.

Daha sonra Surfer\_10 vasıtasıyla Kriging yöntemi ile oluşturulan modelde ölçülen kret oturma değerleri DSİ XV. Bölge Müdürlüğü'nden alınan oturma ve kabarma değerleriyle karşılaştırılmıştır. DSİ XV. Bölge Müdürlüğü'nden alınan verilerin analizi sonucu oturmaların **4.2 cm** ile **144 cm** arasında değiştiği gözlemlenmektedir.

Oturmaların üst sınırında oluşan **144 cm** olduğu üst sınırı modelden oldukça farklı olmasından dolayı ölçülen bu değer üzerinde araştırma yapılmıştır. Barajın Kesit IV kısmında barajın yapımından kısa bir süre sonra ciddi oturmaların olduğu gözlemlenmiştir. DSİ XV. Bölge Müdürlüğü'nden alınan verilerin 174 aylık veriyi kapsadığı düşünülerek riskli bölge olan Kesit IV kısmı için ölçüm tarihleri olan 2006 ve 2011 tarih aralıkları referans alınmıştır.

Referans alınan tarih aralığında gerçekleşen oturmaların da yaklaşık olarak **22 cm** olarak gözlemlenmiştir. Bu veri de modelde ölçülen değere oldukça yakındır.

Kriging yöntemi kullanılarak Surfer\_10 vasıtasıyla kurulan model ile Atatürk Barajı için yapılan oturma analizinin, gerçek değerlere oldukça yakın değerler ortaya koyduğu gözlemlenmektedir. Böylelikle Atatürk Barajı'nın gövdesi üzerinde 3 yıllık süre zarfında **2cm** ile **20 cm** arasında oturmaların gerçekleştiği modellenebilmektedir.

Ordinary Kriging yöntemi ile kurulan modelin başarı istatistiğine bakıldığı zaman risk teşkil edebilecek maksimum oturma değeri 20 cm.'ye karşılık en riskli bölgede

gerçek oturma değeri yaklaşık 22 cm. olarak ölçülmüştür. Bu değerler de bize Ordinary Krigining yöntemi kullanarak oluşturulan risk tahmininin gerçek değere karşılık riskli kesitte yaklaşık **%90,91** başarı oranı sağladığını göstermektedir.





## KAYNAKLAR

- Ağralıoğlu, N.**, (2011). Baraj Güvenliği, Beta Yayınevi, 2429, 147, İstanbul.
- Ağralıoğlu, N.**, (2014). Atatürk Barajı ve Türkiye'ye Etkileri, Scala Yayıncılık, İstanbul.
- Akarun, R.**, (1983). “ Atatürk Barajı ve Dünyadaki Büyük Barajlar ” Atatürk Barajı Özel Sayısı, DSİ, Ankara.
- Altunkaynak, A., Wang, K.**, (2010). Triple Diagram Models for Prediction of Suspended Solid Concentration in Lake Okeechobee, Journal of Hydrology, Volume 387, Issues 3-4, P: 165 – 175. doi:10.1016/j.jhydrol.2010.03.035.
- Altunkaynak, A.**, (2008). Estimation of Streamflow by Slope Regional Dependency Function, Hydrol. Earth Syst. Sci., 12, 1121-1127, doi:10.5194/hess-12-1121-2008.
- Altunkaynak, A., Özger, M., and Şen, Z.**, (2005). Space-Time Interpolation by Combining Air Pollution and Meteorological Variables, Pure Appl. Geophys., 163 (7): 1435-1451.
- Altunkaynak, A., Özger, M., and Şen, Z.**, (2004). ENSO Templates and Streamflow Prediction, J. Of Hydrol. Engrg., ASCE, 9 (5) : 368-374.
- Altunkaynak, A., Özger, M., and Şen, Z.**, (2003). Triple Diagram Model of Level Fluctuations in Lake Van, Hydrol. Earth Syst. Sci., 7, 235-244, doi: 10.5194/hess-7-235-2003.
- An, M., Baker, C., Zeng, J.**, (2005). “A fuzzy-logic- based approach to qualitative risk modeling in the construction process”, World J Eng., 2(1),sf. 1-12
- Anonymus**, (1996a). Özetle Baraj Nedir?, DSİ Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Anonymus**, (1996b). Türkiye'deki Barajlar, DSİ Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Anonymus**, (1998a). Federal Guidelines for Dam Safety: Emergency Action Planning for Dam Owners, Interagency Committee On Dam Safety, USA.
- Anonymus**, (1998b). Selecting and Accommodating Inflow Design Floods for Dams, Interagency Committee On Dam Safety, USA.
- Anonymus**, (2012). Barajlar Kongresi, *Beton Barajlar Tasarım Rehberi*, Ankara.
- Bayazıt, M.**, (1981). Hidrolojide İstatistik Yöntemler, İTÜ Matbaası, İstanbul.
- Bayazıt, M.**, (1987). Hidroloji, İTÜ Yayını, İstanbul
- Boogaart, KG van den., Schaeben, H.**, (2002). Kriging of Regionalized Directions, Axes, and Orientations I. Directions and Axes, Mathematical Geology, Vol. 34, No. 5,479-503.

- Bowles, S.D., Anderson, L.R., et al.,** (1998). The Practise of Dam Safety Risk Assessment ana Management: Its Roots, Its Branches, And Its Fruit, Presented at Eighteenth USCOLD Annual Meeting and Lecture, Buffalo, New York.
- Bulu, A.,** (1989). Barajların Risk Analizi, Akdeniz Üniversitesi, Isparta Mühendislik Fakültesi Dergisi, 4, 19-29.
- Carr, V., Tah, J.H.M.,** (2001). “ A fuzzy approach to construction project risk assessment and analysis: construction project risk management system”, *Advances in Engineering Software*, Vol.32, pp.847-857.
- Cheng, S.T.,** (1993). Statistics of Dam Failures, *Reliability And Uncertainty Analyses In Hydraulic Design*, p.97, ASCE, New York, USA.
- Cheng, S.T., Yen, B.C., Tang, W.H.,** (1986). Wind Induced Overtopping Risk Of Dams, *Stochastic and Risk Analysis In Hydraulic Engineering*, p.66, Water Resources Pub., Littleton, USA.
- Cooper, D.F., Chapman, C.B.,** (1993). Risk Analysis for Large Projects, John Wiley and Sons, USA.
- Dowd, P., Pardo-Iguzquiza, E.,** (2001). Variance–Covariance Matrix of the Experimental Variogram: Assessing Variogram Uncertainty, *Mathematical Geology*, Vol. 33, No:4: 397-419
- Durdu, Ö.F.,** (2004). Barajlarda Emniyet Kontrolü Sistemlerinin Geliştirilmesinde Bilişim Teknolojisinin Önemi, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye.
- Einstein, H.,** (1994). Risk Analysis for the Adler Tunnel, *Tunnels and Tunelling*.
- Erkek, C., Ağırlioğlu, N.,** (1986). Su Kaynakları Mühendisliği, Teknik Kitaplar Yayınevi, İstanbul.
- Gebizoğlu, Ö.,** (2002). Gebizlioğlu, Ö., Risk Yönetimi, Risk Yönetimi Semineri, TMB Ankara, s:3-21.
- Gündüz, A.,** (1996). Mühendislikte Olasılık, İstatistik, Risk ve Güvenilirlik, Küre Basım Yayım, İstanbul.
- Hartfort, D.N.D.,** (1998). Task Committee on dam risk management, *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol.124, 7, 662-663.
- Isaaks, E.H., Srivastava, R.M.,** (1989). An Introduction to Applied Geostatistics, Oxford University Press, Oxford, 561s..
- İnal, C., Yiğit, C.Ö.,** (2003). Jeodezik Uygulamalarda Kriging Enterpolasyon Yönteminin Kullanılabilirliği, TUJK 2003 Yılı Bilimsel Toplantısı, Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Jeodezik Ağlar Çalıştayı, Konya.
- Kalın, Gökhan.,** (2010). “*Kil Çekirdekli Kaya Dolgu Barajlarda Jeodezik Yöntemle Deformasyon Ölçmeleri: Atatürk Barajı Örneği*”, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Kalkan, Y.,** (2007). “ Atatürk Barajında Jeodezik Yöntemlerle Deformasyonların İzlenmesi ” Projesi Teknik Raporu, DSİ Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Kangari, R.,** (1988). “Construction risk management”, *Civil Engineering Systems*, Vol.5, pp.114–20.

- Kangari, R., Riggs, L. S.,** (1989) "Construction risk assessment by linguistics", IEEE Transactions on Engineering Management, Vol.36, No.2, pp.126–31.
- Kite, G.W.,** (1976). Frequency and Risk Analyses in Hydrology, Inland Waters Directorate, Water Resources Branch, Applied Hydrology Division, Network Planning and Forecasting Section, Ottawa, Canada.
- Kulga, Z.,** (1997). Türkiye Barajlarının Hidrolojik Yönden Güvenlik Kontrolü, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, *Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi*, 392, 21-23
- Lafitte, R.,** (1993). Probabilistic Risk Analysis of Large Dams: Its Value and Limits, *International Water Power and Dam Construction*, Vol:45, 3, 13-16.
- Marengo, H.,** (1996). Flood Safety Analysis, *International Water Power and Dam Construction*, Vol:48, 5, 21-25.
- Mirtskhoulava, D.Ts.,** (1993). On The Estimation Of Reliability Of Hydraulic Structures, *Reliability And Uncertainty Analyses In Hydraulic Design*, p.221, ASCE, New York, USA.
- Orhon, M., Esendal, S., Kazak, M.A.,** (1991). Türkiye'deki Barajlar, DSİ Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Önöz, B., Bayazıt, M.,** (1995). Best-Fit Distributions of largest available flood samples, *Journal of Hydrology*, 167, 195-208
- Özkan, Ş.Ö., Yılmaz, Ş.,** (1999). Türkiye'deki Barajlar ve Hidroelektrik Santraller, DSİ Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Pasin, C., Ercömert, T.,** (1988). Dünya Bankası Teknik Rehberi, Barajların Emniyet, DSİ Genel Müdürlüğü Yayını, Ankara.
- Peak, J.H., Lee, Y.W., Ock, J.H.,** (1993). "Pricing construction risk – fuzzy set application", *ASCE Journal of Construction Engineering and Management*, Vol.119, No.4, pp.743–56.
- Roland, H.E., Moriarty, B.,** (1990). System Safety Engineering And Management, John Wiley And Sons, Canada.
- Salmon G.M., Hartford D.N.D.,** (1995). Risk Analysis for Dam Safety, *International Water Power and Dam Safety*, Vol:47, 3, 42-47.
- Sungur, T.,** (1993). Su Yapıları C.1, Barajlar ve Göletler, Su Biriktirme Yapıları, DSİ Basımevi, Ankara.
- Taşçı, L.,** (2010). Aliyman Yöntemiyle Baraj Kreti Üzerindeki Obje Noktalarının Yatay Konum Değişimlerinin İzlenmesi, Fırat Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Elazığ, TÜRKİYE.
- Thompson P.A., Perry J.G.,** (1992). Engineering Construction Risks, SERC Project Report, Eastern Press Limited, London.
- Tosun, H.,** (2008). Dolgu Baraj Tasarımında Gelişmeler Semineri, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Prof. Dr. Necla Özdemir Salonu, Eskişehir.
- Tosun, H.,** (2004). Türkiye Mühendislik Haberleri, İnşaat Mühendisleri Odası, Sayı: 430.

- Uğur, L.O., Baykan, U.N., Erdal, M.,** (2006), Betonarme Taşıyıcı Sistemli Çok Katlı Konutların İnşaat Maliyetlerinin Yapay Sinir Ağı ile Tahmini, Selçuk Ün. Fen Bil. Ens. Dergisi
- Uzel, T.,** (1991). Barajların Güvenliği, Yıldız Üniversitesi Yayınları, İstanbul.
- Yenigün, K.,** (2001). ‘‘Barajlarda Güvenilirlik ve Dolusavak Boyutlarının Risk Düzeyine Etkisi’’, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.
- Yıldırım, S.,** (1990). Kil Çekirdekli Dolgu Barajlarda Hidrolik Çatlama Sorunu ve Darlık Barajı İncelemesi, DSİ Teknik Bülteni, Sayı: 72.
- Yücer, G.,** (2012). Barajlarda Yapı Performansı, Teknik Notlar, Jeofizik Bülteni.
- Zeng, J., An, M., Smith, N.J.,** (2007). ‘‘Application of a fuzzy based decision making methodology to construction project risk assessment’’, *International Journal of Project Management*, 25, p: 589-600.

## **EKLER**

**EK A:** Kontrol Çizelgesi

**EK B:** Acil Eylem Planması ve Erken Uyarı Sistemi'ne Dair Teknik Şartnamesi

**EK C:** Mayıs 2006 ile Kasım 2011 Arası Oturmalar ve Kabarmalar

**EK D:** Surfer\_10 Yazılımının Kriging Yöntemine İlişkin Gridding Raporu

**EK E:** Hata Farkları Tablosu

Çizelge A.1: Kontrol Çizelgesi

#	Ölçüm Parametresi	Ölçüm Aletinin Adı	BARAJTİPİ	İNŞAAT	SUTUTMA	İKİYE	İKİNCİ ve ÜÇÜNCÜ YILLAR	DÜZENLİ OLARAK İLK ÖLÇÜ YILDAN SONRA	İLAVE DURUMLAR-1	İLAVE DURUMLAR-2
1	Yüzey Deplasmanı	HARİCİ ÇÖKME RÖPERLERİ	ÖBKHD-BETON-HİL	15 günde bir	15 günde bir	15 günde bir	Yılda 2 defa	Yılda 2 defa	Normal ve Max. Su Seviyesinde 3. bir okuma	İk rezervuar yükünün baraj davranışına olan etkisini görmek
2	Yer altı su seviyesi, dolğudaki su seviyesi veya su basıncı	RASAT KUYUSU, SU BASINÇ ÖLÇER(mansapta filtre zonuun tabanına konur)	ÖBKHD-KİL	Haftada bir	Haftada bir	Haftada bir	Ayda bir	Ayda bir		
3	Fark katmanlardaki veya göde içerisindeki boşluk suyu basıncı, barajda temeldeki boşluk suyu basıncı, temeldeki veya gövedeki sızma, su seviyesi kontrolü	TEMEL İPİ PİVEZOMETRE (göde altı ve yamaçlarda temel delinip konur) GÖNDE İPİ PİVEZOMETRE	ÖBKHD-BETON-HİL	Haftada bir	Haftada bir	15 günde bir	Ayda bir	Ayda bir		
4	Dolğudaki deformasyonlar, otumalar	HİDROLİK OTURMA ÖLÇER	ÖBKHD	Haftada bir	Haftada bir	Haftada bir	15 günde bir	Ayda bir	İk rezervuar yükünün baraj davranışına olan etkisini görmek için, su tutma işleminin hemen ön esnasında bir okuma alınır.	
5	Hem dolgu ağırlığından dışarı basıncı ve kemerleşmeyi, hemde boşluk suyu basıncını	TOPLAM BASINÇ ÖLÇER	ÖBKHD-BETON-HİL	Haftada bir	Haftada bir	Haftada bir	15 günde bir	Ayda bir	İk rezervuar yükünün baraj davranışına olan etkisini görmek için, su tutma işleminin hemen ön esnasında bir okuma alınır.	
6	Beton bloklar arasındaki derz açılma ve kapanmalarını ölçmesi	DERZ ÖLÇER	ÖBKHD-BETON	Haftada bir	Haftada bir	Haftada bir	Ayda bir	Ayda bir	Normal ve Max. Su Seviyesinde 3. bir okuma alınır	
7	Baraj rezervuar su seviyesinin otomatik olarak izlenmesi	REZERVUAR SU SEVİYE ÖLÇER	ÖBKHD	-	Günde 1	Günde 1	Günde 1	Günde 1		
8	Yerleştirilen kesitte ve derinlikte düşey ve yatay deplasmanların ölçülmesi	İNKLINOMETRE-SERVO İNKLINOMETRE-İNPLACE İNKLINOMETRE	ÖBKHD	-	Günlük	Haftada bir	15 günde bir	Ayda bir	Normal ve Max. Su Seviyesinde 3. bir okuma alınır	İk rezervuar yükünün baraj davranışına olan etkisini görmek için, su tutma işleminin hemen ön esnasında bir okuma alınır.
9	Beton barajlarda bloklar arasındaki düşey hareketin ölçülmesi	PENDULUM	BETON	-	Günlük	15 günde bir	15 günde bir	Ayda bir	Normal ve Max. Su Seviyesinde 3. bir okuma alınır	İk rezervuar yükünün baraj davranışına olan etkisini görmek için, su tutma işleminin hemen ön esnasında bir okuma alınır.
10	Gövedeki galerilerde ve projedeki gösterilen noktalarda anolanan yatay ve düşey eğimlerinin ölçülmesi	CLİNOMETER (remote ve manual ölçüm yapılan)	BETON	-	Günlük	Haftada bir	15 günde bir	Ayda bir	Normal ve Max. Su Seviyesinde 3. bir okuma alınır	İk rezervuar yükünün baraj davranışına olan etkisini görmek için, su tutma işleminin hemen ön esnasında bir okuma alınır.
11	Kaya ve göde içindeki galerilerdeki akıman (debini) ölçülmesi	V-AĞZLI DEBİ ÖLÇER	BETON	Haftada bir	Haftada bir	Haftada bir	15 günde bir	Ayda bir		
12	Göde içerisindeki betonun birim deformasyonlarının ve zonlarının ölçülmesi	STRAINMETER (betonun içine gömülürler yada yüzeye bağlanırlar)	BETON	Haftada bir	Haftada bir	Haftada bir	Ayda bir	Ayda bir		
13	Baraj, temel ve enstrüman sıcaklığının ölçülmesi (toplanan veri miktarının azaltılması, keskinliği artırmak, ve sıcaklığın veri toplanmasına etkisinin anlaşılması için)-sızıntı sıcaklığının ölçülmesi (sızıntı kaynağının belirlenmesi için)	SICAKLIK ÖLÇER	BETON	Günlük	Günlük	Haftada bir	Ayda bir	Ayda bir		
14	Barajın düşey deformasyonlarının (çökme, kabarma) ölçülmesi-Borularda üzerine plate magnet veya spider magnet monte edilerek yatay deplasmanlarında ölçülmesi	MAGNETIC EXTENSOMETER- ÇİFT YÖNLÜ İNKLINOMETRE SİSTEMİ	KİL	Haftada bir	Haftada bir	15 günde bir	Ayda bir	Ayda bir	İk rezervuar yükünün baraj davranışına olan etkisini görmek için, su tutma işleminin hemen ön esnasında bir okuma alınır.	

## EK B

### Baraj Yıkılma Analizleri, Acil Eylem Planı ve Erken Uyarı Sistemi Teknik Şartnamesi

#### a) Baraj Yıkılma Analizleri

Baraj, Baraj emniyeti açısından incelenecek, olası yıkılma senaryoları ve her bir senaryoya ait yıkılma parametreleri tanımlanarak nümerik Baraj Yıkılma Analizleri yapılacaktır. Barajın olası yıkılma durumunda mansapta yaratacağı etkiler değerlendirilerek bunlara uygun Acil Eylem Planı ve Erken Uyarı Sistemi hazırlanarak; (6) takım basılı ve (6) takım da dijital ortamda İdareye teslim edilecektir.

DSİ Baraj Emniyet kriterlerine göre incelenecek barajın, emniyet itibarıyla hangi risk grubuna dahil olduğu DSİ Baraj Emniyet Risk Potansiyeli Sınıflandırma Tablosunda verilen kriterler çerçevesinde belirlenecektir. Buna göre; En yüksek ve Yüksek Risk grubuna dahil olan barajlar için dünya çapında konunun uzmanları tarafından geliştirilmiş ve İdare tarafından kabul görecektir güncel yazılımlar kullanılmak suretiyle çeşitli yıkılma senaryoları ve parametrelerine göre barajın havzadaki konumu ve diğer barajlara olan etkisi de dikkate alınarak nümerik Baraj Yıkılma Analizleri yapılacak ve her bir senaryoya işaret eden belirtiler tanımlanacaktır.

Yıkılma Analizlerinde, taşkın dalgasının mansaptaki davranışını tahmin etmeye yönelik hesapların yapılabilmesi için öncelikle; dere yatağının farklı uzaklıklardaki enkesit geometrileri, manning pürüzsüzlük katsayısı, bu enkesitlerin bölgedeki yerleşim yerlerine göre olan konumu ve bu yerleşim yerlerindeki nüfus gibi önemli bilgilerin edinilmesi gerekmektedir.

Baraj Yıkılma Senaryoları altında yapılan hidrolik analizler sonucunda, mansapta önceden belirlenen ilgili dere yatağı enkesitlerindeki pik taşkın debileri, pik su yüzü kotları ve pik taşkın dalgasının ulaşacağı yerler ve bu yerlere ulaşma zamanları tahmin edilecektir.

Baraj yıkılma analiz ve senaryolarında;

1. Normal akım şartları etkisinde rezervuarın tam dolu olduğu durumundaki,
2. Olası maksimum taşkın akım şartları etkisinde oluşacak su seviyesi durumundaki,

dijital ortamda oluşturulmasına imkân verecek şekilde GIS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) ile uyumlu olması

1. Tahliye Planının hazırlanması,
2. Baraj Risk Analizi,
3. Taşkın Risk Analizi,
4. Real-time (Gerçek Zamanlı) Taşkın Tahmini

Mühendis tarafından kullanılacak program çoklu kullanıma izin verecek şekilde lisans ile İdareye teslim edilecek ve en az 4 kişi için 1 hafta eğitimi de kapsayacaktır.

b) Acil Eylem Planının Hazırlanması:

Taşkın Koruma çalışmalarında en iyi sonucu almak için yapısal ve yapısal olmayan çalışmaları birleştirecek bir uygulama gerekir. Acil Eylem Planı ve bu plana ek olarak kurulacak acil uyan sistemi taşkın etkilerini azaltacak yapısal olmayan ölçümlerdir ve baraj yıkılması sonucu oluşacak taşkın durumu halinde taşkın yönetiminde önemli rol oynar.

Acil Eylem Planı oluşturulurken, olası bir baraj yıkılması durumunda baraj mansabında can kaybını önlemek ve mansapta oluşabilecek hasarı en aza indirmek amaçlanmalıdır.

Acil Eylem Planı; tehlike anında baraj mansabında önceden belirlenmiş olan risk altındaki insanların haberdar edilmesi, uyarılması konusundaki öncelik ve sorumluluk talimatları için gerekli prosedürün teknik ve teknik olmayan personelden oluşacak belirli kişiler tarafından takip edilmesini kapsayan bir araçtır.

Acil Eylem Planı; uygulamaya konma koşullarını (hidrolojik veya hidrolojik olmayan olayları) kapsayan, ortaya konacak acil tepki seviyelerini ve her tepki seviyesi için tehlike cinsine göre atılması gereken adımları içermelidir.

Acil Eylem Planında, baraj da alınacak önlemler 3 aşamada incelenmeli:

1. Acil durum öncesi,
2. Acil durum,
3. Acil durum sonrası

olarak alınacak tedbirleri gösterecek bir Tablo, Acil eylem planına dahil edilmelidir.



Acil Eylem Planı aşağıdaki konularda yapılacak çalışmaları ve belgeleri içermelidir:

1. Acil Durumun Tanımlanması ve Değerlendirilmesi
2. Önleyici Faaliyetler
3. Bildirim Prosedürü
4. Bildirim Akış Şeması
5. İletişim Sistemleri Planlaması
6. Baraj Sahasına Ulaşım Planı
7. İhtiyaç Duyulacak Ekipmanın Kaynağı
8. Stok ve Malzeme Temini
9. Acil Durumlarda Kullanılacak Güç Sistemleri
10. Taşkın Haritaları
11. Erken Uyarı Sistemi

Acil Eylem Planı iki ana kısımdan oluşur:

1. Dahili Acil Eylem Planı(DAEP): acil durum anında barajın gözlemi ve izlenmesi ile ilgili özel teknik şartname ve klavuzlar, baraj emniyeti ve işletmesi konusunda alınacak aşağıdaki çalışmaları içermelidir;
  - Barajdaki su kontrol yapılarının tanımlanması(Dipsavak, Dolusavak.)
  - Baraj için tehlike oluşturabilecek durumların tanımlanması
  - Barajın işletmesine temel oluşturacak emniyet seviyelerinin belirlenmesi
  - Risk Araştırması ve karar verme sürecinin metodolojisinin hazırlanması
  - Baraj Emniyeti ile ilgili yerel yetkililerin belirlenmesi
  - Sivil Savunma Teşkilatının belirlenmesi ve mobilizasyonu
2. Harici Acil Eylem Planı(HAEP): baraj mansabında alınacak önlemlerle ilgili olarak aşağıdaki çalışmaları içermelidir;
  - Baraj mansabındaki bulunan nüfus, ekonomik faaliyetler, altyapı, güzergahların, ekipman ve sağlık sistemi, güvenlik sisteminin tanımlanması
  - Emniyetle ilgili kurumların ve bu kurumların sorumluluklarının belirlenmesi
  - Karar verme hiyerarşisinin belirlenmesi
  - İnsan ve malzeme kaynaklarının kullanımı
  - Sığınak yapılacak alanların ve ulaşım güzergahlarının(alternatifler dahil) belirlenmesi
  - Ulaşım sisteminin belirlenmesi

- İletişim sistemlerinin belirlenmesi (iletişim kurulması gerekli kişi ve kuruluşların ad ve telefonlarının, telsiz frekanslarının bulunduğu listeyi kapsamalıdır)
- Halkı uyarma ve bilgilendirme sistemlerinin oluşturulması

#### c) Erken Uyarı Sistemleri

Erken uyarı sistemi; Barajın yıkılması halinde afete maruz kalan insanların, afetten korunacak ya da karşılaşılabilecek riskleri azaltacak şekilde hazırlıklı olmalarını sağlayacak bilgilerin, yetkili kurumlar tarafından, zamanında ve etkili şekilde duyurulması olarak tanımlanmaktadır

Etkili bir erken uyarı sistemi dört temel bileşenden oluşur;

1. Gözlem, tespit, izleme, analiz, tahmin ve afet uyarı mesajlarının hazırlanması,
2. Potansiyel risklerin değerlendirilmesi ve risk bilgilerinin uyarı mesajlarına entegrasyonu,
3. Zamanında, güvenilir ve anlaşılabilir uyarı mesajlarının yetkili kurumlar ve risk altındaki insanlara ulaştırılması,
4. Can ve mal üzerindeki potansiyel etkileri azaltıcı şekilde uyanlara etkin müdahale sağlayacak toplum tabanlı acil durum planlaması, hazırlık ve eğitim programlarının uygulanmasıdır.

Ayrıca, barajların bağlı bulunduğu merkezler(Bölge md, Şube md, ..) ile mansapta bulunan yerleşim ve işletmeler arasında kurulacak telli, telsiz, etkili ve modern bir haberleşme sistemi ile taşkın olayının önceden öğrenilmesi ya da kestirilmesi amacıyla akarsu havzalarında taşkın önemi ve havzanın özellikleri dikkate alınarak Uzaktan Algılama ve Erken Uyarı Sistemi ile ilgili detaylar belirtilecektir.

**EK C****Çizelge C.1: Mayıs 2006 ile Kasım 2011 Arası Oturmalar ve Kabarmalar**

Nokta Adı	MAYIS 2006 İLE KASIM 2011 ARASI OTURMALAR VE KABARMALAR		
	Y (m)	X (m)	dH <sub>i</sub> (m)
102	639391,1290	250832,7799	-0,77
103	639354,1201	250780,8608	-0,45
104	639312,0181	250723,5480	0,78
105	639355,9151	250563,0836	1,15
113	639614,2878	250706,4685	-2,52
114	639577,8637	250658,4780	-3,26
115	639536,4494	250604,5013	-0,31
116	639490,6184	250538,3972	0,74
117	639442,7153	250477,4951	0,64
123	639771,9297	250557,1538	-1,83
124	639724,6794	250517,6007	-3,37
125	639709,4928	250506,8147	-3,01
126	639672,6813	250475,4372	-1,08
127	639609,8098	250424,1825	0,86
128	639552,6459	250374,0755	1,38
133	639903,9560	250378,4035	-0,91
134	639856,0409	250343,8331	-2,26
135	639797,1098	250309,2350	-0,05
136	639734,4436	250258,6098	0,94
137	639664,8290	250223,2115	1,86
143	640015,2084	250184,3022	-2,27
144	639941,5290	250149,6151	-2,09
145	639899,3714	250129,5336	0,48
146	639826,7582	250093,7066	1,49
153	640100,7559	249978,1296	-1,09
154	640044,5630	249959,9021	-0,12
155	639978,6425	249937,3648	0,94
156	639906,8674	249911,3113	2,15
162	640158,6047	249781,9858	1,37
170	639259,9195	250806,0333	1,21
171	639285,3996	250895,9761	1,64
190	639450,2510	250726,7411	-0,93
191	639644,9484	250587,7928	-1,71
192	639776,2275	250438,3527	-1,10
193	639908,9370	250234,9901	-1,22

**Çizelge C.1 (devam):** Mayıs 2006 ile Kasım 2011 Arası Oturmalar ve Kabarmalar

Nokta Adı	MAYIS 2006 İLE KASIM 2011 ARASI OTURMALAR VE KABARMALAR		
	Y (m)	X (m)	dH <sub>i</sub> (m)
195	640091,0915	249844,2091	1,19
801	639308,2864	250895,8492	0,54
830	639479,8408	250794,8510	-1,18
831	639472,5027	250779,5469	-1,71
871	639577,4424	250739,0162	-0,94
872	639568,4976	250727,2445	-1,42
894	639704,9960	250663,0401	-0,16
904	639746,4531	250609,5817	-0,77
922	639764,3970	250586,0112	-1,43
941	639781,6190	250567,0132	-0,24
964	639864,3660	250474,1418	-0,34
974	639913,2084	250403,8986	0,04
984	639946,6322	250340,7090	0,55
994	639993,9627	250273,0779	0,26
1011	640000,7150	250243,0266	-1,07
1024	640030,2520	250204,1076	0,10
1034	640063,7898	250128,5868	-0,26
1044	640093,4616	250059,6393	0,35
1054	640122,8871	249972,0857	0,85
1063	640139,7192	249904,0616	0,07
1071	640230,2920	249817,1281	-0,93
1074	640181,2277	249804,9514	0,76
1075	640168,6124	249801,9365	1,19
2001	640250,3326	249703,9185	0,12
2002	640239,5388	249701,8688	1,10
2003	640211,8734	249697,2219	1,07
2004	640203,9294	249696,0215	1,15
2005	640189,1769	249692,7116	0,84
2011	640234,2642	249789,1460	0,69
2012	640224,8457	249787,3630	0,12
2013	640195,2847	249781,2935	0,76
2014	640187,9224	249779,9403	0,29
2015	640173,3069	249777,2652	0,88
2021	640205,0220	249896,7449	-4,20
2022	640194,0733	249894,2311	-5,22
2023	640169,3447	249886,9211	0,63

**Çizelge C.1 (devam):** Mayıs 2006 ile Kasım 2011 Arası Oturmalar ve Kabarmalar

Nokta Adı	MAYIS 2006 İLE KASIM 2011 ARASI OTURMALAR VE KABARMALAR		
	Y (m)	X (m)	dH <sub>i</sub> (m)
2025	640149,6308	249879,3429	0,07
2031	640169,1861	249995,0987	-10,45
2033	640140,7304	249983,3536	0,64
2034	640126,9663	249977,7834	0,12
2035	640115,8201	249972,2457	-0,26
2041	640143,2182	250087,3373	-11,70
2042	640125,8444	250081,7478	-15,77
2043	640106,4167	250073,4181	0,24
2044	640089,8942	250068,8874	-0,08
2045	640080,7995	250064,8274	-1,08
2051	640099,4271	250177,1625	-14,46
2052	640087,6829	250171,7293	-16,21
2053	640068,9931	250163,7494	-0,12
2054	640049,9868	250157,5925	-0,42
2055	640041,3749	250153,1708	-0,52
2056	640026,4120	250190,7672	0,75
2057	640075,0641	250190,1931	-16,99
2058	640062,1845	250183,9567	-16,35
2059	640032,9704	250168,8450	-0,60
2061	640049,5089	250273,0055	-12,86
2062	640041,1721	250268,8387	-15,29
2063	640021,3012	250257,0046	1,26
2064	640005,3007	250247,2966	0,72
2065	639996,1842	250242,9243	-0,01
2071	640007,8355	250360,1551	-11,47
2072	639994,9912	250352,2101	-14,62
2073	639974,8360	250341,3034	1,21
2074	639958,6128	250331,6156	1,00
2075	639947,8887	250326,2225	0,07
2076	639919,1137	250390,3809	0,41
2081	639953,8323	250440,6169	-11,85
2082	639942,5554	250434,1337	-17,08
2083	639923,0169	250422,8417	1,15
2084	639906,8658	250412,7839	0,54
2085	639897,5114	250408,3105	-0,26

**Çizelge C.1 (devam):** Mayıs 2006 ile Kasım 2011 Arası Oturmalar ve Kabarmalar

Nokta Adı	MAYIS 2006 İLE KASIM 2011 ARASI OTURMALAR VE KABARMALAR		
	Y (m)	X (m)	dH <sub>i</sub> (m)
2094	639848,5057	250496,1046	0,07
2095	639839,3572	250489,5415	-0,08
2100	639831,0391	250614,9955	-9,04
2101	639823,5329	250607,1772	-12,38
2102	639816,6696	250600,0332	-14,73
2103	639800,9713	250585,2114	1,26
2104	639786,7031	250572,6247	-0,53
2105	639775,9847	250564,5328	-0,28
2111	639754,9066	250680,7566	-11,07
2112	639748,0666	250673,6996	-12,94
2113	639734,6838	250657,1503	-0,03
2114	639722,8257	250645,0595	0,42
2115	639712,6604	250635,9875	-0,61
2120	639683,0918	250756,9702	-9,23
2121	639676,8134	250748,4620	-13,22
2122	639670,7762	250740,6995	-12,51
2123	639659,0618	250722,5688	-1,16
2124	639651,2193	250708,6907	-1,14
2125	639630,0419	250683,5885	-2,30
2131	639594,1765	250802,5436	-11,29
2132	639589,7201	250794,6254	-13,12
2133	639580,5520	250782,2295	-4,63
2134	639562,0476	250749,9348	-2,29
2135	639553,8608	250737,0848	-3,19
2136	639510,4852	250670,6365	-1,23
2137	639505,1759	250661,0075	-0,94
2138	639499,0689	250648,7812	-0,98
2141	639511,8163	250852,2964	-8,33
2142	639505,3760	250842,4423	-10,18
2143	639487,1609	250811,3577	-2,05
2144	639480,2617	250797,5313	-2,54
2145	639472,9456	250784,6446	-2,44
2146	639478,1605	250691,8995	-0,90
2147	639473,3018	250682,0850	-1,21
2148	639465,8172	250667,8213	-0,45
2151	639423,6021	250900,2223	-3,76
2152	639416,7060	250884,4343	-5,72

**Çizelge C.1 (devam):** Mayıs 2006 ile Kasım 2011 Arası Oturmalar ve Kabarmalar

Nokta Adı	MAYIS 2006 İLE KASIM 2011 ARASI OTURMALAR VE KABARMALAR		
	Y (m)	X (m)	dH <sub>i</sub> (m)
2153	639403,2322	250857,4277	-1,03
2154	639397,0162	250842,8534	-1,79
2155	639389,7198	250827,6305	-1,81
2161	639324,0927	250931,1575	-0,15
2162	639321,8786	250919,4296	-0,68
2163	639312,0377	250895,9918	-0,73
2164	639306,7258	250881,4624	-0,38
2165	639301,0736	250861,4618	0,44
4000	640208,1494	249826,4350	-0,77
4001	640193,5270	249821,3289	-7,42
4010	640148,0637	250009,9277	-12,57
4011	640137,3374	250005,0539	-6,74
4020	640105,8903	250121,2128	-16,00
4021	640094,8993	250115,4988	-6,76
4030	640062,5995	250215,7674	-13,95
4031	640049,2080	250210,5397	-6,41
4040	640012,1814	250312,9042	-13,64
4041	640000,5650	250304,3631	-5,86
4050	639952,5765	250409,0078	-18,83
4051	639941,8395	250401,7909	-3,29
4060	639886,8934	250503,2416	-16,91
4061	639876,3875	250497,3660	-1,42
4070	639813,3695	250596,6436	-13,39
4071	639807,8410	250581,6661	-2,25
4080	639710,4209	250702,1942	-11,20
4081	639702,8737	250691,3987	-2,44
4090	639544,1907	250822,0776	-8,36
4091	639536,2645	250809,1395	-3,23
4100	639459,4527	250864,7115	-6,22
4101	639442,4255	250837,5659	-2,00
4110	639385,1198	250897,5027	-1,83
4111	639370,7364	250873,1194	-2,02
2053A	640073,3166	250165,8772	-15,79
2056A	640067,0108	250211,7922	-16,63

**Çizelge C.1 (devam):** Mayıs 2006 ile Kasım 2011 Arası Oturmalar ve Kabarmalar

Nokta Adı	MAYIS 2006 İLE KASIM 2011 ARASI OTURMALAR VE KABARMALAR		
	Y (m)	X (m)	dH <sub>i</sub> (m)
2056B	640051,8536	250203,9941	-15,17
2056C	640040,2808	250196,6604	0,64
2058A	640054,1014	250179,8942	0,52
2058B	640041,8595	250174,4164	0,18
2059A	640092,0043	250152,1325	-16,39
2059B	640081,5777	250147,6715	-13,61
2059C	640076,9389	250146,8638	0,88
2059D	640071,4237	250143,8704	0,97
2059E	640063,5797	250141,8445	0,05
2059H	640057,1380	250139,3536	-0,28
2059İ	640050,9603	250137,1752	-0,52
2059K	640085,9145	250136,8542	-17,67
2059L	640083,1847	250135,4175	-5,95
2059M	640077,1767	250133,3626	0,65
D2	640211,6655	249659,3058	0,69
D3	640145,4387	249651,8176	0,56
114A	639553,6665	250626,5477	-0,14
2091	639893,6906	250526,2820	-13,33
2092	639882,0132	250518,0924	-16,98
2093	639866,4760	250503,5056	0,92
194	640019,3227	250052,9165	-0,13
2024	640159,9693	249883,8114	0,80



**EK D****Çizelge D.1: Gridding Raporu****Gridding Report****Data Source**

Source Data File Name:	C:\Users\Can1905\Desktop\Yüksek_Lisans_Tezi\Training_son.bl n
X Column:	A
Y Column:	B
Z Column:	C

**Data Counts**

Active Data:	132
Original Data:	132
Excluded Data:	0
Deleted Duplicates:	0
Retained Duplicates:	0
Artificial Data:	0
Superseded Data:	0

**Exclusion Filtering**

Exclusion Filter String:	Not In Use
--------------------------	------------

**Duplicate Filtering**

Duplicate Points to Keep:	First
X Duplicate Tolerance:	0.00015
Y Duplicate Tolerance:	0.00011
No duplicate data were found.	

**Breakline Filtering**

Breakline Filtering:	Not In Use
----------------------	------------

**Data Counts**

Active Data:	132
--------------	-----

**Univariate Statistics**

	X	Y	Z
Count:	132	132	132
1% %-tile:	249659.3058	639285.3996	-17.6715
5% %-tile:	249777.2652	639355.9151	-16.2111
10% %-tile:	249886.9211	639459.4527	-13.6395
25% %-tile:	250133.3626	639644.9484	-
50% %-tile:	250352.2101	639913.2084	-1.0254
75% %-tile:	250658.478	640077.1767	
	0.522000000001		

**Çizelge D.1(devam): Gridding Raporu**

95% %-tile:	250861.4618	640194.0733	1.2098
99% %-tile:	250897.5027	640224.8457	1.4853
Minimum:	249651.8176	639259.9195	-18.8344
Maximum:	250931.1575	640250.3326	2.1525
Mean: 3.63928181818	250364.190709	639852.645489	-
Median:	250363.1428	639918.11265	-1.004
Geometric Mean:	250363.958094	639852.588179	N/A
Harmonic Mean:	250363.725436	639852.530862	N/A
Root Mean Square: 6.84595083215	250364.423281	639852.702789	
Trim Mean (10% %): 3.24860168067	250367.423344	639858.962116	-
Interquartile Mean: 1.38227164179	250370.131628	639896.810588	-
Midrange:	250291.48755	639755.12605	-8.34095
Winsorized Mean: 3.42272348485	250370.719637	639859.336013	-
TriMean:	250374.0652	639887.135475	-1.936275
Variance: 33.879332252	117344.550701	73887.6967167	
Standard Deviation: 5.82059552383	342.555908869	271.82291426	
Interquartile Range: 6.73829999999	525.1154	432.2283	
Range:	1279.3399	990.4131	20.9869
Mean Difference: 5.92543839926	394.561416285	308.649570796	
Median Abs. Deviation:	266.42055	185.72335	1.7594
Average Abs. Deviation: 4.04133333333	291.521421212	227.109938636	
Quartile Dispersion:	0.00104857019909	0.000337751681808	N/A
Relative Mean Diff.:	0.00157594987992	0.000482376017309	N/A
Standard Error: 0.506617812527	29.8156648248	23.6591478747	
Coef. of Variation:	0.00136823044821	0.000424821114949	N/A
Skewness: 1.20772392049	-0.198682856651	-0.519516243169	-
Kurtosis: 2.98830290025	2.02184747241	2.0537828219	
Sum:	33048073.1736	84460549.2045	-480.3852
Sum Absolute:	33048073.1736	84460549.2045	551.0318
Sum Squares: 6186.4496491	8.27406946674e+012 5.40423155272e+013		
Mean Square: 46.8670427962	62682344445	409411481267	

**Çizelge D.1(devam): Gridding Raporu**

	X	Y	Z
X:	117344.55	-84921.716	-123.97755
Y:	-84921.716	73887.697	-241.36487
Z:	-123.97755	-241.36487	33.879332

**Inter-Variable Correlation**

	X	Y	Z
X:	1.000	-0.912	-0.062
Y:	-0.912	1.000	-0.153
Z:	-0.062	-0.153	1.000

**Inter-Variable Rank Correlation**

	X	Y	Z
X:	1.000	-0.943	-0.215
Y:	-0.943	1.000	0.035
Z:	-0.215	0.035	1.000

**Principal Component Analysis**

	PC1	PC2	PC3
X:	0.61289918407	0.61289918407	0.020385540364
Y:	0.789446648942	0.789446648942	0.0267036157192
Z:	-0.0335943245258	-0.0335943245258	0.0267036157192

Lambda:	183273.552388	7967.67276144	24.9016002224
---------	---------------	---------------	---------------

**Planar Regression:  $Z = AX+BY+C$**

**Fitted Parameters**

	A	B	C
Parameter Value:	0.02	0.026	22129.77

Standard Error:	0.0031288021	0.0039429702	3253.24128
-----------------	--------------	--------------	------------

**Inter-Parameter Correlations**

	A	B	C
A:	1.000	0.912	-0.948
B:	0.912	1.000	-0.995
C:	-0.948	-0.995	1.000

**Çizelge D.1(devam): Gridding Raporu**

**Inter-Variable Covariance  
ANOVA Table**

Source	df	Sum of Squares	Mean Square	F
Regression:	2	1172.40847682	586.204238409	23.1553420675
Residual:	129	3265.7840482	25.3161554124	
Total:	131	4438.19252502		

Coefficient of Multiple Determination (R <sup>2</sup> ):	0.264163501292
--	----------------

**Nearest Neighbor Statistics**

	Separation	Delta Z
1% %-tile:	3.08478766365	0.0193000000081
5% %-tile:	6.15611246235	0.0537000000008
10% %-tile:	7.06881100331	0.1907999999996
25% %-tile:	11.6590102671	0.5389000000004
50% %-tile:	15.9407172317	1.257400000001
75% %-tile:	27.9727060788	3.9972
90% %-tile:	50.4607019075	8.763900000001
95% %-tile:	80.970678293	14.4851
99% %-tile:	151.817184092	15.8146
Minimum:	3.08478766365	0.0193000000081
Maximum:	180.826511234	17.8952
Mean:	26.6320588937	3.26539545455
Median:	15.9407172317	1.257400000001
Geometric Mean:	18.5082465676	1.3304831563
Harmonic Mean:	14.0930388972	0.345719061579
Root Mean Square:	40.1149743649	5.39885739742
Trim Mean (10%%):	21.6524516717	2.69822605042
Interquartile Mean:	17.1883709801	1.50555671642
Midrange:	91.9556494489	8.95725
Winsorized Mean:	21.6409083849	2.75478409091
TriMean:	17.8782877023	1.76272500001
Variance:	906.81441354	18.6259594768
Standard Deviation:	30.1133593865	4.31578028597
Interquartile Range:	16.3136958117	3.4583
Range:	177.741723571	17.8759

**Çizelge D.1(devam): Gridding Raporu**

Median Abs. Deviation:	5.57171983939	0.925500000005
Average Abs. Deviation:	15.7284357719	2.67146212121
Quartile Dispersion:	0.411632331774	0.762395008927
Relative Mean Diff.:	0.939135785952	1.2491944997
Standard Error:	2.62103150748	0.375640457901
Coef. of Variation:	1.13071841372	1.32167155435
Skewness:	3.01028723992	1.74192024225
Kurtosis:	13.0183231678	5.03589202629
Sum:	3515.43177397	431.0322
Sum Absolute:	3515.43177397	431.0322
Sum Squares:	212415.874215	3847.4912781
Mean Square:	1609.21116829	29.1476611977

**Complete Spatial Randomness**

Lambda:	0.000104176943262
Clark and Evans:	0.543651440813
Skellam:	139.039580212

**Gridding Rules**

Gridding Method:	Kriging
Kriging Type:	Point
Polynomial Drift Order:	0
Kriging std. deviation grid:	no

**Semi-Variogram Model**

Component Type:	Linear
Anisotropy Angle:	0
Anisotropy Ratio:	1
Variogram Slope:	1

**Search Parameters**

No Search (use all data):	true
---------------------------	------

**Output Grid**

Grid Size:	100 rows x 100 columns
Total Nodes:	10000
Filled Nodes:	10000
Blanked Nodes:	0
Blank Value:	1.70141E+038

**Grid Geometry**

X Minimum:	249651.8176
X Maximum:	250931.1575
X Spacing:	12.922625252525
Y Minimum:	639259.9195
Y Maximum:	640250.3326
Y Spacing:	10.004172727273

**Çizelge D.1(devam): Gridding Raporu**

**Univariate Grid Statistics**

Z

Count:	10000
1% %-tile:	-30.2960578831
5% %-tile:	-28.6065006654
10% %-tile:	-25.923213181
25% %-tile:	-13.3734502796
50% %-tile:	0.603271236147
75% %-tile:	3.34953120608
90% %-tile:	5.5018655118
95% %-tile:	6.33321867534
99% %-tile:	7.21281218894
Minimum:	-30.8750609325
Maximum:	7.74369317238
Mean:	-4.79853103049
Median:	0.603599825361
Geometric Mean:	N/A
Harmonic Mean:	N/A
Root Mean Square:	12.5943491418
Trim Mean (10% %):	-4.0669238048
Interquartile Mean:	-0.427309740347
Midrange:	-11.56568388
Winsorized Mean:	-4.62863202647
TriMean:	-2.20434415029
Variance:	135.605290783
Standard Deviation:	11.644968475
Interquartile Range:	16.7229814856
Range:	38.6187541049
Mean Difference:	12.0857863184
Median Abs. Deviation:	3.63938618131
Average Abs. Deviation:	8.3220625467
Quartile Dispersion:	N/A
Relative Mean Diff.:	N/A
Standard Error:	0.11644968475
Coef. of Variation:	N/A
Skewness:	-1.04266094353
Kurtosis:	2.54975151027
Sum:	-47985.3103049
Sum Absolute:	83575.3450572
Sum Squares:	1586176.30305
Mean Square:	158.617630305

**EK E**

**Çizelge E.1 : Hata Farkları**

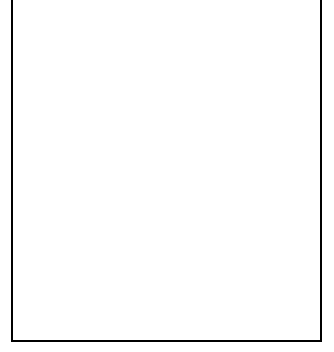
Y (m)	X (m)	dH <sub>i</sub> (m)	Residuals
639354	250781	-0,453	-0,51944
639614	250706	-2,5233	-0,80272
639491	250538	0,7405	0,270231
639725	250518	-3,3704	-0,94525
639610	250424	0,8602	0,566832
639443	250477	0,6395	-0,77424
639665	250223	1,8633	-0,13865
640195	249781	0,7602	0,236361
640045	249960	-0,1241	-1,15315
640159	249782	1,3693	0,320517
639450	250727	-0,9281	-0,09351
639909	250235	-1,222	-1,90255
639308	250896	0,536	0,453358
639577	250739	-0,9355	1,372916
639746	250610	-0,7664	0,470014
639864	250474	-0,3449	-1,0575
639797	250309	-0,0501	0,266101
640064	250129	-0,2619	-2,07245
640140	249904	0,0738	-0,84034
640169	249802	1,1898	0,765969
640212	249697	1,0698	-0,06265
640234	249789	0,6892	0,944944
640188	249780	0,2942	-0,41829
639979	249937	0,9409	-0,8432
640150	249879	0,0715	-0,73508
640127	249978	0,125	-0,0871
639705	250663	-0,1615	0,050557
640081	250065	-1,0795	-1,46877
639554	250737	-3,1882	-1,60782
640041	250153	-0,5206	-1,82645
640062	250184	-16,354	-9,79248
640041	250269	-15,293	-6,27194
639996	250243	-0,0143	0,278567
640030	250204	0,0983	0,264738
639919	250390	0,4061	0,815714
640093	250060	0,3482	0,833345

Y (m)	X (m)	dH <sub>i</sub> (m)	Residuals
639713	250636	-0,6139	-1,15883
639671	250741	-12,513	-3,31042
639630	250684	-2,2963	-1,40517
639473	250780	-1,7101	0,293556
639510	250671	-1,2319	-0,19533
639512	250852	-8,3314	1,825062
639480	250798	-2,5441	-0,98565
639473	250682	-1,2071	-0,4819
639417	250884	-5,7245	-2,78777
639390	250828	-1,8089	-1,07276
639312	250896	-0,7259	-0,64778
640230	249817	-0,9283	0,125222
640137	250005	-6,7392	0,629457
640063	250216	-13,946	0,335974
639322	250919	-0,6782	-0,55051
639887	250503	-16,913	-8,23886
639808	250582	-2,249	0,743955
639544	250822	-8,3573	-2,02944
639442	250838	-1,9985	1,341595
640073	250166	-15,792	-10,6284
640008	250360	-11,47	6,014402
640092	250152	-16,387	1,241567
640071	250144	0,9745	0,73016
640051	250137	-0,5174	-2,31614
640050	250158	-0,4232	-2,06187
640057	250139	-0,2766	-1,56917
639824	250607	-12,376	-0,52585
639787	250573	-0,5281	-0,556
639748	250674	-12,936	-5,30793
639894	250526	-13,331	3,661624
639849	250496	0,0724	-0,08302





## **ÖZGEÇMİŞ**



**Ad Soyad: İsmail Can Ulusoy**

**Doğum Yeri ve Tarihi: Şişli , 22/07/1989**

**Adres: Beyoğlu, İstanbul**

**E-Posta: canulusoyitu@hotmail.com**

**Lisans: İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği**

