İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TÜRKİYE'DE BARAJ EMNİYETİ VE ATATÜRK BARAJI'NDA DEFORMASYON İZLEME ÇALIŞMALARI VE SON 12 YILLIK ANALİZ SONUÇLARI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hüseyin GÜNEŞ

Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı

Geomatik Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2020

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TÜRKİYE'DE BARAJ EMNİYETİ VE ATATÜRK BARAJI'NDA DEFORMASYON İZLEME ÇALIŞMALARI VE SON 12 YILLIK ANALİZ SONUÇLARI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hüseyin GÜNEŞ
(501131610)

Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı

Geomatik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Yunus Kalkan

HAZİRAN 2020

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501131610 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Hüseyin GÜNEŞ, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "TÜRKİYE'DE BARAJ EMNİYETİ VE ATATÜRK BARAJINDA DEFORMASYON İZLEME ÇALIŞMALARI VE SON 12 YILLIK ANALİZ SONUÇLARI" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı :	**Prof. Dr. Yunus KALKAN** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
Jüri Üyeleri :	**Prof. Dr. Yunus KALKAN** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
	Prof. Dr. Engin GÜLAL Yıldız Teknik Üniversitesi	.....
	Doç. Dr. Serdar EROL İstanbul Teknik Üniversitesi	.....

Teslim Tarihi : 4 Haziran 2020
Savunma Tarihi : 8 Temmuz 2020

Eşime ve kızıma,

ÖNSÖZ

Tez çalışmamda her adımda yönlendirici bilgileriyle beni aydınlatan Prof. Dr. Yunus KALKAN hocama; hoşgörüsü ve manevi desteğiyle yüksek lisans eğitimimi ve tezimi gerçekleştirmemde büyük emeği geçen çok kıymetli yöneticim ve abim AYEDAŞ Emlak ve Kamulaştırma Takım Yöneticisi E.Olcay ÇETİNKAYA'ya, bilgisi ve pratik çözümleriyle doğru noktaları aydınlatan tecrübeli Geomatik Mühendisi, dostum kardeşim Veysel Sami ERKAN'a, gözden kaçırdığım detaylar konusunda kıymetli hatırlatmalarıyla beni destekleyen değerli arkadaşım Araş. Gör. Deniz BAŞAR'a, veri analizi konusundaki tecrübesi ve bilgisiyle ANSYS programı hakkında kurtarıcı bilgiler veren kıymetli arkadaşım Makine Müh. Necip KAYIM'a, en derin sevgi, saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Manevi desteğini her zaman yanımda hissettiğim kıymetli Büyüklerime; dualarıyla beni destekleyen saygı değer Anneme ve Babama; moral kaynağım, yorulduğum zamanlarda güler yüzüyle beni kendime getiren, hayat arkadaşım, sevgili Eşim PINAR GÜNEŞ Hanım'a yanımda oldukları için teşekkür ederim.

Haziran 2020

Hüseyin GÜNEŞ
Geomatik Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ……. vii
İÇİNDEKİLER ix
KISALTMALAR xiii
SEMBOLLER xv
ÇİZELGE LİSTESİ xvii
ŞEKİL LİSTESİ xix
ÖZET……. xxi
SUMMARY xxiii
1. GİRİŞ…. 1
1.1 Tezin Amacı: Deformasyonun, Baraj Gövdesi Üzerindeki Etkisinin Analiz Programları Kullanılarak Görselleştirilmesi 3
2. TÜRKİYE'NİN SU KAYNAKLARI VE HİDRO ELEKTRİK POTANSİYELİ 5
2.1 Türkiye'nin Su Kaynakları 5
2.1.1 Türkiye'nin denizleri 6
2.1.2 Türkiye'nin gölleri 6
2.1.2.1 Doğal göller 7
2.1.2.2 Yapay göller 7
2.1.3 Türkiye'nin akarsuları 7
2.1.3.1 Türkiye'nin akarsularının genel özellikleri 8
2.2 Türkiye'nin Su Potansiyeli 9
2.3 Türkiye'nin Hidroelektrik Potansyeli 9
2.3.1 Türkiye'de hidroelektrik santrallerin tarihi gelişimi 10
2.3.2 Türkiye'deki önemli barajlar ve hidroelektrik santraller 10
3. BARAJ NEDİR? 13
3.1 Barajların Yapılış Amaçları 13
3.1.1 Elektrik üretimi 13
3.1.2 İçme ve sulama suyu sağlama 14
3.1.3 Taşkından korunma 14
3.1.4 Ulaşım, balıkçılık ve turizm 14
3.1.5 Atık depolama 15
3.1.6 Baraj Yapımının Tarihçesi 16
3.1.7 Barajın Kısımları 18
3.2 Barajların Çevreye Etkileri 20
3.2.1 İmalat aşamasındaki etkiler 20
3.2.2 İşletme aşamasındak etkiler 22
3.2.2.1 Fiziksel çevre üzerine etkiler 22
3.2.2.2 Sosyo ekonomik çevre üzerine etkiler 23
3.3 Baraj Yapılarında Kullanılan Bazı Temel Tanımlar 24
3.4 Barajların Sınıflandırılması 25

3.4.1 Gövde büyüklüklerine göre 25
3.4.2 Yapılış amaçlarına göre 26
3.4.3 Gövde malzemesi ve biçimine göre 26
3.4.3.1 Dolgu barajlar 27
3.4.3.2 Beton barajlar 27
3.5 Baraj Tipi ve Baraj Yeri Seçimine Etki Eden Faktörler 27
3.5.1 Vadinin şekli 28
3.5.2 Temel zemini ve jeolojik yapısı 28
3.5.2.1 Kaya temeller 28
3.5.2.2 Çakıl temeller 28
3.5.2.3 İnce kum veya silt temeller 29
3.5.2.4 Kil temeller 29
3.5.3 İmalat için gerekli doğal malzemeye yakınlık 29
3.5.4 Ulaşım olanakları 29
3.5.5 Derivasyon koşulları 29
3.5.6 Dolu savak kapasitesi ve yeri 30
3.5.7 Deprem kuvveti 30
3.5.8 İklim koşulları ve yapım süresi 30
3.6 Barajlara Etki Eden Kuvvetler 30
3.6.1 Barajın kendi ağırlığı 30
3.6.2 Hidrostatik su basıncı 31
3.6.3 Taban basıncı 31
eşitliği ile hesaplanır 31
3.6.4 Deprem kuvveti 31
3.6.5 Buz basıncı 32
3.7 Baraj Çeşitleri 32
3.7.1 Dolgu barajlar 32
3.7.1.1 Toprak dolgu barajlar 32
3.7.1.2 Kaya dolgu barajlar 32
3.7.1.3 Dolgu barajların avantajları ve dezavantajları 33
3.7.2 Beton barajlar 33
3.7.2.1 Beton ağırlık barajlar 34
3.7.2.2 Payandalı Barajlar 34
3.7.2.3 Kemer Barajlar 34
3.7.2.4 Silindirle sıkıştırma beton barajlar 36
3.7.3 Diğer tesisler 36
3.7.3.1 Dolu Savaklar 36
3.7.3.2 Dip Savak 37
4. BARAJ EMNİYETİ VE BARAJLARDA DEFORMASYONLARIN İZLENMESİ 39
4.1 Baraj emniyeti ve önemi 39
4.2 Baraj emniyeti için yürütülecek çalışmalar 39
4.3 Deformasyon Ölçmeleri 40
4.3.1 Deformasyonun tanımı 40
4.3.1.1 İç Geometrik Değişimler 41
4.3.1.2 Dış Geometrik Değişimler 41
4.3.2 Deformasyon belirleme yöntemleri 41
4.3.2.1 Jeodezik olmayan yöntem 41
4.3.2.2 Jeodezik olmayan ölçme donanımlarının başlıcaları 42
4.3.2.3 Jeodezik yöntem 44

4.3.3 Jeodezik ölçülerin değerlendirilmesi ve barajlarda deformasyon analizi . 46
4.3.3.1 Dengeleme hesabı ve Yatay konum değişimlerinin belirlenmesi 46
4.3.3.2 Dengeleme Hesabının Türleri 47
4.3.3.3 Düşey konum değişimlerinin belirlenmesi 49
4.3.4 Dengelenmiş jeodezik verilerden deformasyon analizi 51
4.3.4.1 Analitik yöntem ile deformasyon analizi 52
4.3.4.2 Bağıl güven elipsleri ile deformasyon analizi 53
4.3.4.3 S Transformasyonu ile deformasyon analizi 54
4.3.4.4 Ortalama aykırılık yöntemi ile deformasyon analizi 54
5. ATATÜRK BARAJINDA DEFORMASYON İZLEME ÇALIŞMALARI VE SON 12 YILLIK DEFORMASYON SONUÇLARININ ANALİZİ 59
5.1 Atatürk Barajı ve Özellikleri 59
5.1.1 Genel özellikleri 59
5.2 Atatürk Barajında JeodezikYöntemlerle Deformasyonların İzlenmesi 60
5.2.1 Ölçme öncesinde yürütülen çalışmalar 60
5.2.2 Klasik Açı-Kenar Ağı Ölçmeleri ve Değerlendirilmesi 63
5.3 Analiz İçin Kullanılan Diğer Programlar 67
6. SONUÇ VE ÖNERİLER 83
EKLER……..... 91

KISALTMALAR

DSİ **:** Devlet Su İşleri
EÜAŞ : Elektrik Üretim Anonim Şirketi
HES : Hidroelektrik Santral
ICOLD **:** International Comission on Large Dams
M.Ö. : Milattan Önce
GAP : Güneydoğu Anadolu Projesi
GNSS : Global Navigation Satellite System
GPS : Global Positioning System

SEMBOLLER

GW/h : Gigawatt saat
km^2 **:** Kilometrekare
km **:** Kilometre
kWh **:** Kilowatt saat
MW **:** Mega Watt
mm **:** Milimetre
m^3 **:** Milimetreküp

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1: Türkiye'nin Su Kaynakları Potansiyeli (DSİ) **5**
Çizelge 3.1: Ülkemizde en yüksek gövdeye sahip dolgu barajlardan bir bölümü..... **34**
Çizelge 3.2: Türkiye'deki Önemli Kemer Barajlar **37**
Çizelge 4.1: Jeodezik Olmayan Yöntemlerle Deformasyon Belirleme Yöntemleri ve Kullanılan Ölçme Aletleri **44**
Çizelge 4.2: Jeodezik Yöntemle Deformasyon Belirleme Yöntemleri ve Donanımlar **47**
Çizelge 5.1: Referans Noktalarının Koordinatları, Yükseklikleri, Fark Vektörleri ve Bunların Doğrulukları **66**
Çizelge 5.2: Deformasyon(Obje) Noktalarının Koordinatları, Yükseklikleri, Fark Vektörleri ve Bunların Doğrulukları-1 ..... **67**
Çizelge 5.3: 13. Periyot Fark Vektörleri İçin Anlamlılık Testi **69**
Çizelge A. 1: Nirengi Noktalarının Koordinatları, Yükseklikleri, Fark Vektörleri ve Bunların **Doğrulukları**..... **93**
Çizelge B. 1: Deformasyon (Obje) Noktalarının Koordinatları, Yükseklikleri, Fark Vektörleri ve Bunların Doğrulukları-1 ..... **95**
Çizelge B. 2: Deformasyon(Obje) Noktalarının Koordinatları, Yükseklikleri, Fark Vektörleri ve Bunların Doğrulukları-**2** **96**
Çizelge B. 3: Deformasyon(Obje) Noktalarının Koordinatları, Yükseklikleri, Fark Vektörleri ve Bunların Doğrulukları-3 ..... **97**
Çizelge B. 4: Deformasyon(Obje) Noktalarının Koordinatları, Yükseklikleri, Fark Vektörleri ve Bunların Doğrulukları-4 ..... **98**
Çizelge B. 5: Deformasyon(Obje) Noktalarının Koordinatları, Yükseklikleri, Fark Vektörleri ve Bunların Doğrulukları-5 ..... **99**
Çizelge C. 1: 13. Periyot hesaplanan fark vektörleri için anlamlılık testi-..... **101**
Çizelge C. 2: 13. Periyot hesaplanan fark vektörleri için anlamlılık testi-2..... **102**
Çizelge C. 3: 13. Periyot hesaplanan fark vektörleri için anlamlılık testi-3..... **103**
Çizelge C. 4: 13. Periyot hesaplanan fark vektörleri için anlamlılık testi-4..... **104**

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Atatürk Barajı, ADIYAMAN. **1**
Şekil 1.2: Deriner Barajı, ARTVİN. **2**
Şekil 2.1: Eğirdir Gölü, ISPARTA. **6**
Şekil 3.1: Hidroelektrik Santral. **14**
Şekil 3.2: Elazığ – Tunceli ve Malatya- Elazığ Arası Araç ve Yolcu Taşıyan Feribotlar. **15**
Şekil 3.3: İç Yüzü Asfalt Kaplı Bir Maden Katı Atık Depolama Barajı. **16**
Şekil 3.4: Görür Barajı, Hemavati Nehri, HİNDİSTAN. **17**
Şekil 3.5: Alacahöyük Hitit Barajı, ÇORUM. **17**
Şekil 3.6: Beton Kemer Baraj Gövdesi. **18**
Şekil 3.7: Dolu Savak, Atatürk Barajı, ADIYAMAN. **19**
Şekil 3.8: John Day Barajı- Balık Geçidi, Columbia-AMERİKA. **19**
Şekil 3.9: Beton için gerekli malzemenin akarsu yatağından karşılanması. **20**
Şekil 3.10: Atık yağ tankı. **21**
Şekil 3.11: İnşaat alanında toza karşı su püskürtme düzeneği. **21**
Şekil 3.12: Bir Kısmı Su Altında Kalan Halfeti-ŞANLIURFA. **23**
Şekil 3.13: Barajın Kısımları. **24**
Şekil 3.14: Kuyu Tipi Dolu Savak. **25**
Şekil 3.15: Üç boğaz barajı - (Dünya'nın en büyük barajı) – ÇİN. **26**
Şekil 3.16: Ön Yüzü Beton Kaplı Kaya Dolgu, Milas Derince Barajı-MUĞLA. **27**
Şekil 3.17: Dar Bir Vadide İnşa Edilmiş Ermenek Barajı ve HES- KARAMAN. **28**
Şekil 4.1: İnklinometre **43**
Şekil 4.2: Piezometre **44**
Şekil 4.3: Optik Nivelman Prensibi **49**
Şekil 4.4: Mikrometre Donanımlı Nivo **50**
Şekil 4.5: Sayısal Nivo **51**
Şekil 5.1: GPS Ağı (a) ve Klasik Açı-Kenar Ağı (b) **61**
Şekil 5.2: Baraj gövdesi yüzeyindeki kesitler ve deformasyon noktaları **61**
Şekil 5.3: Baraj kreti eksenindeki nivelman ağı noktaları **62**
Şekil 5.4: Santral Binası içindeki Nivelman Noktaları **62**
Şekil 5.5: ANSYS Workbench Programından Örnek Bir Görsel **68**
Şekil 5.6: SURFER Programından Örnek Bir Görsel **69**
Şekil 5.7: Microsoft Excel Programından Örnek Bir Görsel **70**
Şekil 5.8: Deformasyon(Obje) Noktalarındaki Konum, Yükseklik ve Radyal Değişimler -1 ..... **71**
Şekil 5.9: Deformasyon(Obje) Noktalarındaki Konum, Yükseklik ve Radyal Değişimler -2 ..... **71**
Şekil 5.10: Deformasyon(Obje) Noktalarındaki Konum, Yükseklik ve Radyal Değişimler -3 ..... **72**
Şekil 5.11: Mansap Tarafında Yatay Hareket (dR). **72**

Şekil 5.12: Mansap Tarafında Düşey Hareket (dH). **73**
Şekil 5.13: Memba Tarafında Yatay Hareket (dR). **73**
Şekil 5.14: Memba Tarafında Düşey Hareket (dH). **74**
Şekil 5.15: Göl Su yüzeyi Kotundaki Değişimler ve 0+230m Kesit Noktasında, Yıllık Bazda Kil Üst Kotundaki Oturmalar. **74**
Şekil 5.16: Deformasyona Bağlı Yıllık Bazda Kret Oturmaları ve 2030 Yılına Kadar Tahmini Oturma Miktarları **75**
Şekil 5.17: 133 no'lu Noktadaki Radyal Hareketin Trend Analizi **76**
Şekil 5.18: Atatürk Barajı'nın Sonlu Parçalara Ayrılmış 3 Boyutlu Gövde Modeli . **77**
Şekil 5.19: Atatürk Barajı'nda gerçekleşen toplam deformasyon **77**
Şekil 5.20: Atatürk Barajı'nda X ekseninde gerçekleşen deformasyon..... **78**
Şekil 5.21: Atatürk Barajı'nda Y ekseninde gerçekleşen deformasyon..... **79**
Şekil 5.22: Atatürk Barajı'nda Y ekseninde gerçekleşen deformasyon..... **79**
Şekil 5.23: Atatürk Barajı'nın 3 Boyutlu Modeli **80**
Şekil 5.24: 2006-2018 yılları arasında gerçekleşen deformasyonlar **80**
Şekil 5.25: Gövdede gerçekleşen deformasyonların detaylı 3 boyutlu model üzerindeki görünüşü **81**

Genele Açık

TÜRKİYE'DE BARAJ EMNİYETİ VE ATATÜRK BARAJI'NDA DEFORMASYON İZLEME ÇALIŞMALARI VE SON 12 YILLIK ANALİZ SONUÇLARI

ÖZET

Su, yaşadığımız hayatın kaynağıdır. Canlı yaşamı dünya üzerinde, hep su kaynakları etrafında şekillenmiş ve varlığını devam ettirmiştir. Doğayı değiştirme gücü ile insan da yaşamını su kaynakları etrafında sürdürmüş, geliştirdiği yöntemlerle toprağı işlenebilir hale getirmiş; bunun içinde suyu bir araç olarak kullanmıştır. Tarih boyunca büyük medeniyetler hep su etrafında şekillenmiş ve şehirler su kenarlarına inşa edilmiştir. Devamlı akış halinde bulunan suyun faydalı şekilde kullanılmasını sağlamak amacıyla su, engeller yardımıyla biriktirilmiş ya da suyun yönü değiştirilerek istenilen yere akması sağlanmıştır.

Arkeolojik çalışmalar sonucu birçok medeniyetin suyu iletmek için kanallar, suyu bir yerde toplamak için ise bentler inşa ettiği anlaşılmıştır. Yükseklikleri çok fazla olmasa da o günkü şartlarda inşa edilen setler ve kullanılan yöntemler hayret verici niteliktedir. Günümüzde ise gelişen teknoloji, çok daha yüksek gövdeli barajların yapılmasını mümkün hale getirmiştir. Geçmiş dönemlerde barajlar genellikle tarımsal sulama ve su temini amacıyla yapılagelmiştir. Su kaynaklarına uzak durumda bulunan yerleşim yerleri barajlar ve suyu ileten diğer yapılar yardımıyla sulanabilir hale getirilmiştir. Bu yolla hem içme suyu sağlanarak yerleşime imkân sağlanmış, hem de tarım ve hayvancılık mümkün hale gelmiştir. Bununla birlikte günümüz barajlarından elektrik üretimi, su ürünleri yetiştirilmesi ve ulaşım gibi amaçlar için de yararlanılmaktadır.

Depolanamayan bir enerji türü olan elektrik; günümüzde güneş enerji santralleri, fosil yakıtlarla çalışan termik santraller, rüzgâr türbinleri, nükleer santraller ve hidroelektrik santraller gibi çeşitli yollarla elde edilebilmektedir. Bununla birlikte; fosil yakıtların doğaya verdiği zarar ve nükleer santrallerin sahip olduğu nükleer atık riski, yenilenebilir enerji kaynakların öne çıkmasına neden olmuştur. Doğal dengeyi bozmayacak şekilde tasarlanıp inşa edilen barajlar hem ülkemizde hem de dünyada en çok tercih edilen yöntem haline gelmiştir.

Görece yüksek maliyetlerine rağmen barajlar, su ve enerji temini noktasında doğaya zarar vermeyen bir sürekliliğe sahiptir. Yapıldıkları yerde suyu depolayan barajlar, suyun akışkan özelliğinden dolayı sürekli kuvvete maruz kalmaktadır. Bu durum yapının zaman içerisinde deforme olmasına, önlem alınmadığı takdirde zaman zaman zarar görmesine neden olmaktadır. Bu nedenle baraj emniyeti, hem ekonomik olarak hem de çevre sağlığı açısından hayati önem taşımaktadır. Barajların planlanan zamandan daha önce kullanım-dışı kalması ekonomik kayıplara neden olurken, zamanında müdahale edilmeyen şekil değişimleri ve bozulmalar, bazen yıkımlara ve telafisi imkânsız can ve mal kayıplarına neden olabilmektedir. Bu sebeple, baraj gövdesi ve yakın çevresindeki değişimlerin belirli periyotlarda izlenmesi, değişimlerin analiz edilmesi ve meydana gelebilecek zararlara karşı önlem alınması gerekmektedir.

Bu çalışmada, Atatürk Barajı'nda sürdürülmekte olan deformasyon izleme çalışmaları hakkında bilgi verilip, özellikle jeodezik yöntemlerle elde edilen deformasyon verilerinin analiz programları yardımı ile değerlendirilerek baraj gövdesinde gerçekleşen geometrik değişimlerin görselleştirilmesi konusu incelenmektedir.

DAM SAFETY IN TURKEY AND DEFORMATION MEASUREMENTS ON ATATURK DAM AND LAST 12 YEARS ANALYSES

SUMMARY

The source of life is water. Natural life has come into and continued its existence near the water on the earth. The man who has the power of changing the natural conditions has existed around the water sources. He has made the soil farmable thanks to his own methods and he has used the water as a vehicle for this. Civilizations arized around water and cities were structured near water sources throughtout history. The water constantly fluid has been accumulated or redirected by means of obstacles to use it adventageously.

Archeological researches show that many civilizations build conduits and dams to save and transmit the water. The ancient dams had limited body height. However the tecniques using are marvellous even today. Moreover, developing technology in construction enables to build dams having much more body height nowadays. Ancient dams were constructed for mostly agricultural irrigation and water supply. The settlements far from the water supply became irrigable thanks to water structures. Agriculture and stock raising were possible by this way. In addition to this, the contemporary dams are utilized for power generation, aquaculture, transportation etc.

Electricity, which could not be saved in any source, is produced by means of solar power stations, steam power plants concuming fossil fuels, wind turbins, nuclear power stations and hydroelectric power stations. However, the natural damages because of fossil fuels and nuclear waste of nuclear plants highlighted the advantages of renewable energy sources. When the dams are planned and constructed under non-distructive conditions, they have become the most preferred way of generating electric energy in our country and in the World. Although their relatively high costs, the dams have eco-friendly continuity for energy generation and water supply.

The dams, which saves the water where they are build, are under the influence of contious power derived from the fluency of the water. Beacuse of this, the structure becomes deformed in time and is sometimes damaged if this stuation is neglected. Safety during the usage of dams have critical role in terms of economy and nature. While the malfunction of dams earlier than expected is leading economical losses, descensions and deformations cause (sometimes) destructions and unrepairable loss of life and property. Due to this, changes on dam body and environment must be monitored periodically and analized to make provisions for possible damages.

In this study, by informing of observation of deformations on Atatürk Dam, visualising the deformation behaviour of the dam by analysis programs is investigated.

In cahpter 1; the dam safety is criticised and tried to be briefly explained. Also, a short knowledge about the aim of the thesis is given.

Chapter 2 is about the water sources and hydroeletiric potential of Turkey. The general features of the seas, tributaries and lakes in Turkey are explained in detail. Moreover, the water sources and hydroelectric potential are exemplified before the dams are mentioned. Thanks to the differential geographical formations in Turkey; the rivers have kinetic energy to generate electricity. Hydroelectric power plants are invested heavily in recent years compared to the past. Historical development process of the hydroelectric power plants in Turkey is also commentated in this chapter.

"What is dam?" question is investigated in Chapter 3 in general terms. Varied definitions according to different sources and authorities are given at the start of the chapter. In addition to this, mostly used terms about dams and their systems. Meanwhile, objectives of dam construction and the elements of specifying the construction area are investigated. Contrary to popular belief, the dams are constructed not only generating electricity. They are exploited water supply, agricultural irrigation, flood protection, transportation, fishery, nature tourism, water sports etc. Also the construction area is determined watchfully because of the effects on cost of the projcet. To figure out the area optimum for all condition is one of the complicated section of the plannig. The historical development process of dam construction is treated. Turkey received several ancient civilizations throughout history. These civilizations builded canals and embankments to manage water by their objectives. The parts of a dam are narrated. The dams are not an ordinary wall including concrete or rock. Their plannig and construction process is complex and complicated. The modern-day dams are strictly an engineering marvel. They have a range of nonvisual parts in their bodies like outlet works, spillways, bulkheads, intake structures, fishways, timberpasses. Furthermore, this section includes the environmental and social impacts of dams both during the construction process and operation era. The dams have both positive and negative influences on environment and demographic structure of the area where the dam is constructed on. The classification of dams and the forces influence dams are also handled in this part of the thesis.

In chapter 4, the dam safety and deformation observations compose the two main sections. The importance of dam safety and the studies carry out for the dam safety is the first section of this chapter. Additionally, the following section is about deformation measurements. This part of the chapter explaines the determining the deformation on structures exhaustively. After the definition of deformation, internal and external geometrical variances are mentioned briefly. Thereafter, the methods of determinig the deformation are explained under two main topics which are geodetic and non-geodetic ways. Non-geodetic methods are known as also geotechnical methods. The inertial systems embeded to dam body are used to determine inlying deformations which are rotation, wrenching, drift, decline of the body. Redundance surveyings underlies the adjustment calculation of vertical and horizontal surveting to determine external changings. Thereinafter, the methods of determining the deformation by analysing the adjusted geodetic data. At the end of this chapter; double period adjustment which is the matter of the thesis is eplained in extenso.

5th Chapter is the application and analysis part of the thesis. Dam safety works in Atatürk Dam which is the most substantial hydroelectric power plant in Turkey. It must definitely be specified that Atatürk Dam is the best of its kind with respect to its subscriptions for Turkish Dam Engineering. Most of the employee of dam works admit Atatürk Dam as a touchstone. Atatürk Dam is not only an Turkish engineering marvel as mentioned before, but also is 100 percent product of Turkish Engineers. Atatürk Dam is also one of the most important dam in E.U. and the World. In this stage, general specifications and importance of it is voiced. From its first startup time, Atatürk Dam has been surveyed periodcally for strucrutal and environmental disorders. The motion vectors belong to two different period 2006 and 2018 are evaluated to visualize the effects of the deformations on the body of the dam as graphically and in a color scale by analysis programs (Microsoft Excel, ANSYS and SURFER). Methods that were used to determine the motion vectors have been adverted once more briefly for recall. The value of the motion vectors have been calculated before and they are cited from a report that refers to Turkish General Directorate of State Hydraulic Works allowedly. After that, the core knowledge of the analysis programs used in the application phase is given with examples. Motion vectors is point-based result of the deformation on the dam body. For engineering, it is easy to evaluate this kind of information to use it for different works and applications. When it comes to share word with different disciplines apart from engineering branches, the influences of the deformation must be stated visullay. A set of goal oriented graphics have been drawn.Three different programs are used to peruse for comparison visual and numeric value. Every single program has its own unique abilities on evaluation of the motion vectors.

In consequence section, total effects of deformation on Atatürk Dam has been discussed. It seen obviously that the higher and middle part of the body has been affected by deformation as provided. Total deformation has been appeared on the higher part of the dam. Three diffrerent analysis programs are compared in terms of their results. Microsoft Excel is better for diagrams. The other two programs are better for visualization. However, each of two programs hav different specialities. The ANSYS has essential abilities on analysis of the water force and distribution of deformation on the body. The SURFER is become prominent with its cartographic caliber.

1. GİRİŞ

İnsanlık tarihi boyunca, suların biriktirilmesi ve bunun için tesisler inşa edilmesi söz konusu olmuştur. Bu tesislere genellikle "bent, gölet ve baraj" gibi isimler verilmiştir. Hareketli halde bulunan su kaynakları, bu su yapıları aracılığıyla biriktirilerek veya yönü değiştirilerek kullanılmaya çalışılmıştır. Diğerleri gibi barajlar da uzun süre tarımsal amaçlı sulama ve su ihtiyaçlarının karşılanması için inşa edilmiştir. Bununla birlikte günümüzde, sayılan bu amaçlarının yanında suyun akışından kaynaklanan kinetik enerjinin elektrik enerjisi üretiminde kullanılmasıyla, barajlar enerji üretim tesisi olarak da tasarlanır hale gelmiştir (Şekil1.1).



Şekil 1.1: Atatürk Barajı, ADIYAMAN.

Geçmiş dönemlerdeki teknolojik imkânlar barajların, genellikle toprak, kaya, kil gibi malzemelerden, dolgu barajlar olarak ya da taş duvarlara sahip biçimde inşa edilmesine imkân vermiştir. Gövde yüksekliği çok fazla olmayan bu barajlar çoğunlukla sulama, içme suyu temini ve ulaşım amaçlarıyla inşa edilmişlerdir. Daha sonraki dönemlerde demirin inşaat yapılarında kullanılması, betonun farklı kimyasallar yardımı ile çeşitli kombinasyonlarının üretilmesi ve gelişen inşaat teknolojisi, daha yüksek gövdeli barajların yapımına imkân sağlamıştır (Şekil 1.2).



Şekil 1.2: Deriner Barajı, ARTVİN.

Sürekli hareket etmeye eğilimli olarak suyun bir noktada setler yardımıyla biriktirilmesi, suyu tutan inşaat yapılarını devamlı olarak kuvvete maruz bırakmakta ve bu durum, söz konusu yapının zaman içerisinde deformasyona uğramasına yol açmaktadır. Bu sebeple baraj yapıları; inşasından itibaren çeşitli yöntemlerle gözlenmekte ve oluşan deformasyonlar, belli aralıklarla takip edilerek, muhtemel zararların önüne geçilmeye çalışılmaktadır. Baraj emniyeti ve verimliliği açısından bu izlemeler, yapı için hayati önem taşımaktadır. Yapılarda oluşabilecek deformasyonların belirlenmesinde kullanılan yöntemler; jeodezik ve jeodezik olmayan yöntemler olarak iki ana başlık altında toplanmıştır. Jeodezik yöntemler; baraj gövdesi ve yakın çevresinin, bölge dışında seçilen referans noktalarından gözlenmesi ve meydana gelen değişimlerin bu yolla tespitine dayanır. Jeodezik olmayan yöntemlerde ise, yatay-düşey hareketler yanında, baraj ve çevresindeki deformasyonlara neden olan yük değişimleri, yer altı su seviyesi değişimi, su kaçakları, gerilme, basınç ve sıcaklık gibi değişik faktörlerin büyüklükleri ve değişimleri bazı özel donanımlarla ölçülerek izlenir.

1.1 Tezin Amacı: Deformasyonun, Baraj Gövdesi Üzerindeki Etkisinin Analiz Programları Kullanılarak Görselleştirilmesi

Atatürk Barajı'ında 2006-2018 yılları arasında gerçekleştirilen jeodezik yöntemlerle deformasyon ölçme sonuçlarına çift periyot analizi uygulanarak fark vektörleri belirlenmiş ve elde edilen bu farklara anlamlılık testi uygulanarak anlamlı hareketler belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca, ortaya çıkan bu değişimler (deformasyonlar) farklı tekniklerle sunulmaya, görselleştirilmeye çalışılmış ve en fazla hareket gerçekleşen noktalarda yatay ve düşey hareketler incelenerek, ileriye dönük kestirimler yapılmaya çalışılmıştır.

2. TÜRKİYE'NİN SU KAYNAKLARI VE HİDRO ELEKTRİK POTANSİYELİ

Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de su kaynakları hayati önem taşımaktadır. Küresel ısınmanın etkisiyle değişen mevsimsel şartlar su kaynaklarını da olumsuz yönde etkilemektedir. Bu yüzden de su kaynaklarının iyi değerlendirilmesi için gerekli adımlar atılmalıdır.

2.1 Türkiye'nin Su Kaynakları

Ülkemiz, su kaynakları bakımından çok zengin bir ülke olmamakla birlikte, su fakiri de sayılmaz (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1: Türkiye'nin Su Kaynakları Potansiyeli (DSİ).

Yıllık Ortalama Yağış	643 mm/yıl
Türkiye'nin Yüz Ölçümü	783.577 km^2
Yıllık Yağış Miktarı	501 milyar m^3
Buharlaşma	274 milyar m^3
Yer Altına Sızma	41 milyar m^3
Yıllık Yüzey Akışı	186 milyar m^3
Kullanılabilir Yüzey Suyu	98 milyar m^3
Yıllık Çekilebilir Su Miktarı	14 milyar m^3
Toplam Kullanılabilir Su	112 milyar m^3
DSİ Sulamalarında	32 milyar m^3
İçme Suyunda Kullanılan	7 milyar m^3
Sanayide Kullanılan	5 milyar m^3
Toplam Kullanılan Su	44 milyar m^3

2.1.1 Türkiye'nin denizleri

Ülkemiz; güneyinde Akdeniz, kuzeyinde Karadeniz, batısında ise Ege Denizi olmak üzere üç tarafı denizlerle çevrilidir. Sınırlarımız içerisinde ise Trakya ile Anadolu arasında yer alan Marmara Denizi bulunmaktadır. Türkiye, bağlı adalar da dahil olmak üzere yaklaşık 8330 km'lik kıyı şeridine sahiptir. Denizler, ülkemizin iklimini etkilemekte ve farklı iklim türlerinin aynı anda görülmesine neden olmaktadır. Ayrıca denizler sayesinde ülkemiz jeopolitik açıdan da önemli bir ülke konumundadır. Sahip olduğu su kaynakları potansiyeli ile Türkiye, bu potansiyeli tamamen kullanılabilir hale getirme yolunda önemli adımlar atmakta ve gün geçtikçe su varlıklarını geliştirmektedir.

2.1.2 Türkiye'nin gölleri

Ülkemiz sınırları içerisinde irili ufaklı çok sayıda doğal göl bulunmaktadır. Bunlara ilaveten akarsularımız üzerinde inşa edilen yaklaşık 1000 civarında baraj ve yine yaklaşık 2000 civarında gölet bulunmaktadır. Türkiye'de doğal göller, çoğunlukla dört bölgede toplanmıştır.

- Göller Yöresi (Eğirdir (Şekil 2.1), Burdur, Beyşehir ve Acıgöl)
- Güney Marmara (Sapanca, İznik, Ulubat, Kuş (Manyas) gölleri)
- Van Gölü ve çevresi
- Tuz Gölü ve çevresi



Şekil 2.1: Eğirdir Gölü, ISPARTA.

2.1.2.1 Doğal göller

- **Tektonik göller** : Tuz Gölü, Sapanca Gölü, İznik Gölü, Manyas Gölü, Burdur Gölü, Eber Gölü, Akşehir Gölü, Hazar Gölü
- **Kastik göller** : Salda Gölü, Karagöl Gölü, Kızören Gölü, Timraş Gölü, Akgöl
- **Buzul Göller** : Aynalı Göl, Kilimli Gölü, Karagöl
- **Volkanik göller** : Nemrut Gölü, Acıgöl, Meke Tuzlası, Gölcük
- **Oluşumlu göller** : Van Gölü, Eğirdir Gölü, Kovada Gölü, Beyşehir Gölü
- **Heyelan set gölleri** : Tortum Gölü, Sera Gölü, Abant Gölü, Yedigöller, Uzungöl Göl, Borabay Gölü
- **Kıyı get gölleri** : Büyükçekmece Gölü, Küçükçekmece Gölü, Terkos (Durusu) Gölü, Akyatan Gölü
- **Volkanik set gölleri** : Erçek Gölü, Nazik Gölü, Haçlı Gölü, Çıldır Gölü, Balık Gölü
- **Alüvyal set gölleri** : Mogan Gölü, Eymir Gölü, Bafa (Çamiçi) Gölü, Köyceğiz Gölü, Marmara Gölü

2.1.2.2 Yapay göller

Türkiye'de barajların oluşturduğu yapay göllerden birkaçı ;

- Keban Barajı
- Adıgüzel Barajı
- Hirfanlı Barajı
- Deriner Barajı
- Atatürk Barajı

Ülkemiz'deki göllerden tarımda sulama, içme ve kullanma suyu elde etme, enerji üretimi, ulaşım, tuz ve soda üretimi, su ürünleri ve turizm gibi birçok alanda yararlanılmaktadır.

2.1.3 Türkiye'nin akarsuları

Türkiye akarsu bakımından çok zengin olmasa da çok da fakir olmayan bir ülkedir. Akarsularımızın boyları genel olarak kısadır. Ülkemizin en uzun akarsuyu, 1355 km'lik uzunluğu ile Kızılırmaktır. Türkiye'deki akarsuların büyük bir kısmı ülkemiz sınırları içinden doğar ve yine sınırlarımız içinde denize dökülür. *Seyhan, Ceyhan,*

Göksu, Manavgat ve Aksu Nehirleri Akdeniz'e; *Büyük Menderes, Küçük Menderes,Gediz ve Bakırçay Nehirleri* Ege'ye; *Susurluk, Gönen ve Biga Nehirleri* Marmara'ya; *Sakarya, Kocaçay, Kızılırmak ve Yeşilırmak Nehirleri* Karadeniz'e dökülen akarsularımızdır. Kaynağını ülkemizden alan bazı akarsular, sınırlarımız dışında denize dökülür. *Çoruh Nehri'nin* büyük bir kısmı Türkiye sınırlarında olmasına rağmen Gürcistan sınırları içerisinden Karadeniz'e dökülür. *Aras ve Kura nehirleri,* Azerbaycan'da birleşerek Hazar Gölü'ne dökülmektedir. *Fırat ve Dicle nehirleri,* Irak sınırları içinde birleşerek Basra Körfezi'ne dökülmektedir. Akarsularımızdan bir kısmı ise kaynağını ülke dışından alır ve sınırlarımızdan geçerek denizlere dökülür. Kaynağını Bulgaristan'dan *Meriç Nehri*; Türkiye ve Yunanistan sınırını oluşturarak Ege Denizi'ne dökülür. *Asi Nehri,* Lübnan'dan doğup Akdeniz'e dökülür.

2.1.3.1 Türkiye'nin akarsularının genel özellikleri

- Türkiye'deki akarsuların rejimleri genel olarak düzensizdir.
- Karadeniz'in dağlarından doğarak yine Karadeniz'e dökülen akarsuların rejimleri daha düzenlidir.
- Akarsuların seviyesi karların eridiği ilkbaharda artmaktadır.
- Karadeniz'in kuzeyinin iklim olarak yazın yağışlı olması ve karların geç erimesi yaz aylarında akarsuların seviyesi yükselmektedir.
- Yurt genelinde iklim genellikle yazları sıcak ve kuraktır. Bu nedenle Türkiye'deki akarsuların çoğunun seviyesi yazın azalmakta, hatta bazı küçük dereler tamamen kuruyabilmektedir.
- Türkiye'nin karasal iklimin hakim olduğu iç kesimlerinde ve dağlık bölgelerde kış yağışlarının kar şeklinde olması ve karların geç erimesi; bu bölgelerdeki akarsuların seviyesinin yaz döneminde yükselmesine neden olmaktadır.
- Ülkemizde rejimi en düzgün olan akarsu, kaynağını yer altı sularından alan Manavgat Çayı'dır.
- Türkiye, yer yüzü şekilleri bakımından genel olarak dağlık ve engebeli olduğu için akarsuların yatak eğimleri fazladır. Bu durum, akarsuların akışı hızını ve dolayısıyla hidroelektrik potansiyelini artırmaktadır. Benzer sebepten ötürü akarsuların çoğunda ulaşım yapma imkanı yoktur. Ağız kısmından itibaren iç

kesimlere doğru yaklaşık 10 km'lik kısmı ulaşıma elverişli olan Kocaçay (Bartın) dışında üzerinde ulaşım yapılabilen akarsuyumuz yoktur.

2.2 Türkiye'nin Su Potansiyeli

Ülkemiz, su potansiyeli bakımından su zengini olmamakla birlikte sahip olduğu su kaynakları ile su fakiri de sayılamaz. Karasal iklim karakteri gösteren ülkemizde 643 mm olan yıllık ortalama yağış miktarı, bölgelere ve mevsimlere göre 250 mm ile 3000 mm arasında değişmektedir. Bu yağış yılda ortalama 501 milyar m^3'e karşılık gelmektedir. Bu miktarın 274 milyar m^3 'ü buharlaşmalar yoluyla atmosfere geri dönmekte; 186 milyar m^3 'lük kısmı akışa geçmekte, 41 milyar m^3'lük kısmı ise yer altı suyunu beslemektedir (Tutuş, 2006). Komşu ülkelerden doğan akarsulardan kaynaklı yıllık ortalama 7 milyar m^3 su kaynağı ile birlikte, Türkiye'nin yerüstü suyu potansiyeli 193 milyar m^3'e ulaşmaktadır. Ancak, günümüz teknik ve ekonomik şartları çerçevesinde, çeşitli amaçlara yönelik olarak tüketilebilecek yerüstü ve yeraltı suyu potansiyelinin yılda ortalama 110 milyar m^3 olduğu belirlenmiştir. Ülkemizde olduğu gibi, akarsu rejimleri düzensiz olan ülkelerde, brüt su potansiyeli ile ekonomik olarak faydalanılabilir su potansiyeli arasında büyük fark vardır. Literatürde, kişi başına düşen 1000 m^3 /yıl su miktarı kronik "su kıtlığı" olarak ifade edilirken; 1600 m^3 /yıl'dan daha az olan miktar "su bunalımı"nı ifade etmektedir (Tutuş, 2006). Ülkemizde 1519 m^3 olan bu değer tam sınırda bulunmaktadır. Türkiye'de akarsu rejimlerinin mevsimler ve yıllara göre büyük değişim göstermesi ve taşkınlara neden olması; potansiyel bir doğal kaynak olan suyun kontrol altına alınmasını ve kayıplara karşı önlem alınmasını gerektirmektedir. Bu noktada mevcuttaki ve planlama aşamasındaki barajlar, suyun akışının kontrol altına alınması ve ekonomik olarak faydalı şekilde kullanılmasını sağlamak açısından önemli bir rol üstlenmektedir.

2.3 Türkiye'nin Hidroelektrik Potansyeli

Türkiye'deki akarsuların brüt hidroelektrik potansiyeli 433 milyar kWh/yıl'dır. Bunun yanında teknik potansiyel 216 milyar kWh/yıl iken ekonomik potansiyel ise 140 milyar kWh/yıldır. 2010 yılı itibariyle Türkiye'nin Hidro-elektrik potansiyelinin %37'si hali hazırda kullanımda %15'lik kısmı ise inşa halindedir. Ülkemizin 2023 yılına kadarki hedefi ise 36000MW olan hidro-elektrik potansiyelimizin tamamını kullanılabilir hale getirmektir. Bu potansiyel, yap-işlet-devret modeli şeklinde, özel

sektör yatırımları ile hayata geçirilmektedir. Devam eden yatırımlar sayesinde yenilenebilir kaynakların enerjideki kullanımı artmakta, ülkemizin enerjide dışa bağımlılıktan kurtulmasında çok önemli ilerlemeler kaydedilmektedir (Tutuş, 2006).

2.3.1 Türkiye'de hidroelektrik santrallerin tarihi gelişimi

80'li yıllarda Hidro-elektrik enerji üretimi, ülkemizin toplam elektrik enerjisinin %60'ına karşılık gelmekte iken 2000'li yılların başında bu oran %20'nin altına gerilemiştir. Hidro-elektrik Santralların güvenli olmadığı ileri sürülerek 1986 yılından itibaren barajların yerine Doğalgaz Çevrim Santrallarına ağırlık verilmiş ve Türkiye elektrik enerjisinde büyük oranda dışa bağımlı hale getirilmiştir. Ekonomimize ağır bir yük olan bu fikrin yerini, son yıllarda tekrar yenilenebilir enerji kaynakları almış; hidro-elektrik potansiyelimizin değerlendirilmesi konusunda önemli adımlar atılmıştır.

Ülkemizin hidroelektrik potansiyelinin en iyi şekilde değerlendirilmesi için ülke genelinde hayata geçirilen HES'lerin ilk yatırım maliyetleri yüksektir. Ne var ki ortalama 150 yıl olan ekonomik ömürleri, termik santrallara kıyasla 4-5 kat fazladır. Ayrıca üretim maliyeti en düşük enerji kaynağı olan HES'lerin; ilave yakıta ihtiyaç duymaması, yük taleplerine kolaylıkla uyum göstermesi ve diğer enerji kaynaklarına göre çevresel etkilerinin az olması gibi nedenlerle ülkemizin ekonomisi ve enerji planlaması açısından öncelikli değerlendirilmesini gerektirmektedir. Dünya genelinde, ekonomik olarak gelişmiş ülkelerde hidroelektrik potansiyelin tamamı veya tamamına yakınının kullanılır durumda olması bu tezi doğrulamaktadır (Tutuş, 2006).

2.3.2 Türkiye'deki önemli barajlar ve hidroelektrik santraller

Türkiye'de ilk elektrik üretimi, 15 Eylül 1902 yılında Mersin'in Tarsus ilçesinde gerçekleştirilmiştir. Tarsus Berdan Nehri üzerinde Avusturyalı bir muhacir tarafından kurulmuş olan ve su değirmeniyle çalışan bu santral daha sonra HES e çevrilmiş ve gücü kW'a çıkarılmıştır. 1905 yılında faaliyete geçen santral, Tarsus sokaklarını ve bazı konutları aydınlatmıştır. O tarihten günümüze, barajlar ve nehirler üzerinde kurulan HES'ler ülkemizin enerji ihtiyacının büyük kısmını karşılar duruma gelmiştir (Arslan, 2017).

Türkiye'de Elektrik Üretim Kapasitesi Bakımından En Büyük 10 Hidroelektrik Santrali ;

- Atatürk Barajı ve HES(Şanlıurfa-EÜAŞ): 2.405 MW
- Karakaya Barajı ve HES(Diyarbakır-EÜAŞ): 1.800 MW
- Keban Barajı ve HES(Elazığ-EÜAŞ): 1.330 MW
- Altınkaya Barajı ve HES(Samsun-EÜAŞ): 703 MW
- Birecik Barajı ve HES(Şanlıurfa-EÜAŞ): 672 MW
- Deriner Barajı ve HES(Artvin-EÜAŞ): 670 MW
- Yukarı Kaleköy Barajı ve HES(Bingöl-Cengiz Enerji): 627 MW
- Beyhan Barajı ve HES(Elazığ-Cengiz Enerji): 582 MW
- Oymapınar Barajı ve HES(Antalya-Cengiz Enerji): 540 MW
- Boyabat Barajı ve HES(Sinop-Boyabat Elektrik): 513 MW

3. BARAJ NEDİR?

- Bir akarsu vadisinin elverişli bir yerine; sulama, enerji üretimi, taşkından korunma, içme suyu temini gibi amaçlarla inşa edilen ve suyun baraj gölünde birikmesini sağlayan büyük yapılara baraj denir.
- Bir başka tanımda baraj için; "su biriktirilmesi için gerekli hazneyi oluşturmak amacıyla akarsu yatağına yapılan bir kabartma tesisidir" (Öziş, 1983).
- ICOLD (Uluslararası Büyük Barajlar Komisyonu)'un tanımına göre büyük baraj tanımı; en düşük temel seviyesinden itibaren 15 m yüksekliğe sahip olan ya da yüksekliği 5 ile 15 m arasında olup 3x106 m^3 suyu haznesinde biriktirebilen barajlardır (2011).
- DSİ'nin baraj tanımı ise; "yağışın fazla olduğu dönemlerde suyun depolanmasını sağlayarak, kurak dönemlerde su teminine imkân sağlayan önemli su yapılarıdır." ifadesi yer almaktadır (Aydın, 2018).

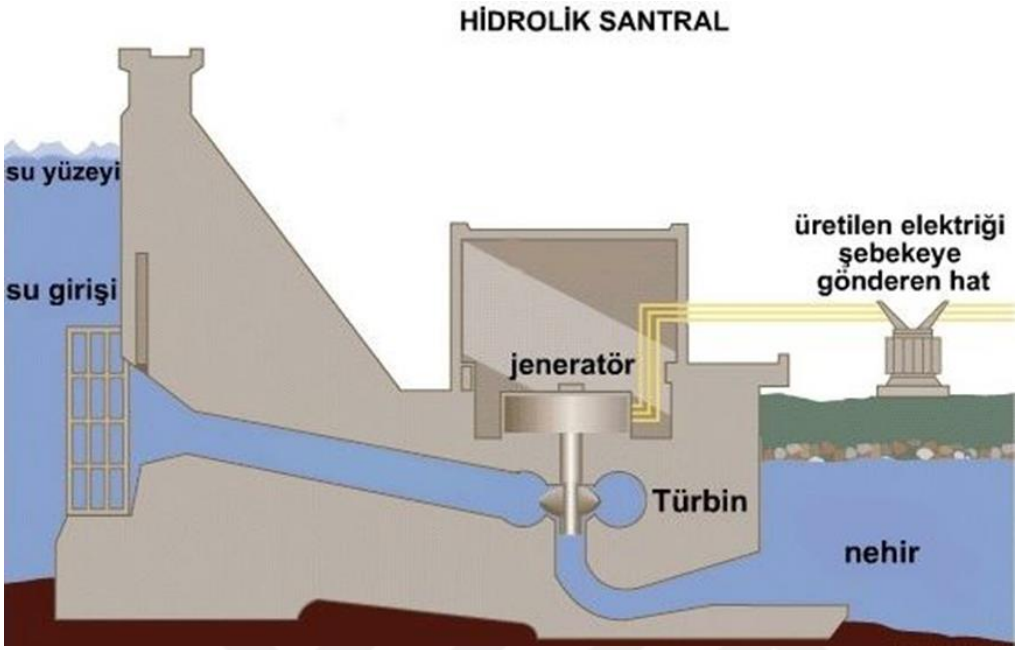
3.1 Barajların Yapılış Amaçları

Eskiden su ihtiyacını karşılamak ve tarım alanlarını sulamak için inşa edilen barajlar, günümüzde öncelikli olarak elektrik üretimi amacıyla inşa edilirler. Bununla birlikte farklı amaçlara hizmet eden baraj tipleri de mevcuttur.

3.1.1 Elektrik üretimi

Dünya genelinde hidro-elektrik enerji santralleri en çok tercih edilen elektrik üretme yöntemlerinden birisidir. Suyun sahip olduğu potansiyel enerjiyi kullanarak elektrik üretme fikri, 20. yüzyılın başlarında ortaya çıkmış ve tüm dünyaya yayılmıştır. Dünyada ve Türkiye'de su kaynaklarının azalmasından dolayı yerini rüzgâr enerjisi ve güneş enerji santrallerine bırakmaya başlasa da barajlar, elektrik enerjisi üretiminde önemini hala korumaktadır. Baraj gölü içerisinde birikerek bir gölet oluşturan ve potansiyel bir enerjiye sahip olan su, baraj gövdesindeki açıklıklardan serbest bırakılarak türbinler yardımıyla elektrik enerjisine dönüştürülür (Şekil 3.1). Enerjinin üretimi mekanik olarak gerçekleştiği için doğaya zararlı maddeler açığa çıkmaz ve

türbinlerden tahliye olan su kimyasal olarak kirlenmediği için tekrar kullanılabilir şekilde akarsu yatağına geri döner.



Şekil 3.1: Hidroelektrik Santral.

3.1.2 İçme ve sulama suyu sağlama

Yeterli su kaynağı bulunmayan yerlerde içme suyu ve tarımsal amaçlı sulama suyu temini için akarsular üzerine barajlar inşa edilir. Temin edilen su, arıtma tesislerinde filtreleme işlemlerinden geçer ve sağlığa zararlı bileşiklerinden ayrılır. Daha sonra su isale hatları ile şehir şebekesine aktarılarak evlerimize kadar ulaştırılır. Barajlarda depolanan su, aynı zamanda kanallar yardımı ile tarım arazilerine ulaştırılır ve tarım ürünlerinin sulanması sağlanır.

3.1.3 Taşkından korunma

Akarsu debisinin fazla olduğu ve taşkın riski meydana getirdiği yerlerde akarsu yatağına baraj inşa edilerek, su miktarının kontrolü ve suyun akış hızının düşürülmesi sağlanır. Fazla suyun biriktirilerek kontrollü şekilde akışının sağlanmasına yardımcı olunur ve suyun sağlıklı şekilde, doğaya ve insanlara zarar vermeden akışı sağlanmış olur.

3.1.4 Ulaşım, balıkçılık ve turizm

Sulama ya da enerji temini amacıyla inşa edilen barajların oluşturdukları baraj gölleri; ulaşımın sağlanması ve su ürünleri yetiştirilmesi için de elverişli bir ortam sağlarlar.

İnşa edildikten sonra su biriktirme aşamasında çeşitli yerleşim yerleri ve yolların da sular altında kalmasına sebep olan baraj göllerinde, su seviyesi su taşımacılığı yapılmasına olanak verecek kadar yüksek olabilmektedir. Sağladıkları bu olanakla barajların, ulaşımda neden oldukları aksaklık bir anlamda telafi edilebilmektedir. Bunun yanında, baraj gölü sahip olduğu su rezervi ile balık yetiştiriciliği için de elverişlidir. Kılıçkaya Barajı ve Yamula Barajı örneklerinde olduğu gibi baraj gölleri üzerinde balık çiftlikleri kurularak balık üretimi yapılmakta ve ekonomik kazanç elde edilmektedir. Oluşan bu doğal göl ortamı, aynı zamanda dinlenme ve piknik yeri olarak kullanılmakta, olta balıkçılığına merakı olanları da kendine çekmektedir. Denize ve doğal göllere uzakta yaşayanlar için mesire alanı olarak da hizmet veren ve bu yönüyle turizme de katkı sağlayan baraj gölleri üzerinde tekne turları da yapılabilmektedir (Şekil 3.2). Lori Çayı üzerinde inşa edilen Demirözü Barajı bu konuda güzel örneklerden birisidir.



Şekil 3.2: Elazığ – Tunceli ve Malatya- Elazığ Arası Araç ve Yolcu Taşıyan Feribotlar.

3.1.5 Atık depolama

Maden işletmelerinde madenlerin, işlenmesi sırasında ortaya çıkan atıkların, üretiminden nihai bertarafına kadar çevre ve insan sağlığına zarar vermeyecek şekilde yönetilmesini sağlamak amacıyla da baraj inşa edilebilmektedir. Bu yapılar, atık madde ve kirlenen suyun maden sahası içerisinde tutularak çevreyle etkileşiminin engellenmesini hedef edinmektedir (Şekil 3.3). Diğer yapılardan farklı olarak atık barajları; sızıntı, kaçak ve taşmalara karşı hassas olacak şekilde projelendirilir ve inşa edilirler (Atalay, 1997).



Şekil 3.3: İç Yüzü Asfalt Kaplı Bir Maden Katı Atık Depolama Barajı.

3.1.6 Baraj Yapımının Tarihçesi

Suyun kullanımının tarihsel gelişimi, Leonardo da Vinci (1452-1519), Galileo Galilei (1564-1642), Evangelista Torricelli (1608-1647), Blaise Pascal (1623-1662), Isaac Newton (1642-1727), Daniel Bernoulli (1700-1782) ve Leonhard Euler (1707-1783) gibi bilim adamlarının çalışmalarından çok önce milattan önceki devirlerde başlamıştır. Daha o dönemlerde, çağımız yapılarının temelini oluşturan kütlenin, enerjinin ve momentumun korunumu kavramları henüz keşfedilmemişken, ortaya konulan tasarımlar şaşırtıcı niteliktedir.

Barajlar, 5000 yıldan uzun bir süredir medeniyetin kalbi sayılan Babil, Mısır, Hindistan, İran ve Uzak Doğu'da kullanılmaktadır (Jansen, 1980). Kimileri hala kullanılmakta olan ve Neolitik çağda (M.Ö. 5700-2800) inşa edilen bu yapıların ilk başarılı örnekleri, tarım alanlarının sulanması ihtiyacının karşılanması amacıyla Mezopotamya ve Mısır'da kendini göstermektedir (Mays, 2008). Kralı Menes zamanında, Mısır'da Nil Nehri'nden sulama suyu temininde yararlanılmış; Çin'de su baskınlarının engellenmesi ve Sarı Nehir üzerindeki tarım arazilerinin sulanması amacıyla barajlar yapılmıştır. Antik Hint kaynaklarında; barajların, kanalların ve kuyuların işleyişlerinden bahsedilmiştir (Şekil 3.4). Persler tarafından, yer altı su tünelleri kazılarak ve çok sayıda baraj yapılarak günümüz projelerine ilham veren yapılar meydana getirilmiştir (Jansen, 1980).



Şekil 3.4: Görür Barajı, Hemavati Nehri, HİNDİSTAN.

Ülkemiz toprakları farklı antik medeniyetlerin izlernin taşıyan bir coğrafya olduğu için eski devirlerden kalma yapılara sıklıkla rastlanmaktadır. Bunlardan en önemlisi Anadolu'daki ilk baraj olan Çorum, Alacahöyük'te bulunan Hitit Barajı'dır (Şekil 3.5). Antik medeniyetler tarafından inşa edilmiş su yapıları; o devirlerde fiziksel çevrenin ne kadar titizlikle gözlemlendiğini ortaya koymaktadır. Bu gözlemlerden elde edilen çıkarımlar başarılı bir şekilde uygulamaya geçirilmiş ve kullanılmıştır. Eski çağlardaki başarılı çalışmalar günümüzdekinin aksine, çevrenin korunması amacıyla değil; daha çok, işgücü tasarrufuna yönelik olmuştur (Mays, 2008).



Şekil 3.5: Alacahöyük Hitit Barajı, ÇORUM.

3.1.7 Barajın Kısımları

Farklı gövde yapılarında ve yüksekliklerde olmalarına rağmen, genel olarak tüm barajlar bir takım ortak kısımlara sahiptirler.

- **Baraj gövdesi:** Barajlar, inşa edildiği yerlerde suyu biriktirmek üzere, akarsu yatağını kapatarak yapay bir göl oluşmasını sağlayan yapıdır. Günümüzde çoğunlukla beton veya dolgu malzemesinden inşa edilirler (Şekil 3.6).



Şekil 3.6: Beton Kemer Baraj Gövdesi.

- **Baraj gölü:** Baraj gövdesinin memba kısmında depolanan suyun oluşturduğu yapay göldür.
- **Su alma yapısı:** Baraj gölünde biriken suyun kullanılmasını sağlayan yapıdır.
- **Dip Savak:** Gerektiğinde baraj gölünü tamamen boşaltmak, dolusavak debisini azaltmak, akarsu mansabına bırakılması gerekli miktarda suyu vermek gibi amaçlar için kullanılan yapıdır.
- **Dolu Savak:** Taşkın sularını mansaba aktararak yapının emniyetini sağlayan tesistir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7: Dolu Savak, Atatürk Barajı, ADIYAMAN.

- **Derivasyon tesisleri:** Suyun inşaat alanına girmesini önleyen batardolar ile suyun mansaba iletilmesini sağlayan inşaat yapılarıdır.Çizelgeler tezde kullanılan yazı karakteriyle yazılır, şekillerde kullanılan yazı karakteri tez boyunca kendi içerisinde tutarlı olmalıdır.
- **İşletme tesisleri:** Büro, atölye, laboratuar, lojman, ambar, garaj, park yerleri gibi barajın işletme sürecindeki ihtiyaçları için kullanılan yapılardır.
- **Diğer Tesisler**: Barajın yapılış amacına göre enerji santralleri, içme suyu arıtma tesisleri, balık geçidi, tomruk geçidi gibi yapılardır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8: John Day Barajı- Balık Geçidi, Columbia-AMERİKA.

3.2 Barajların Çevreye Etkileri

Barajlar, inşa edildikleri alanı ve çevresini doğrudan ve dolaylı olarak etkileyen mühendislik yapılarının başında gelir. Bu etkiler kısaca aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

3.2.1 İmalat aşamasındaki etkiler

İmalat aşamasında proje ile ilgili servis ve bağlantı yolları, temel kazıları ve zemine dolgu gibi işlemler için büyük miktarlarda hafriyat toprağı kazısının gerekli olması proje alanındaki doğal yaşama faydalı toprağın da kaybolmasına yol açmaktadır. Beton imalatı için gerekli malzemenin işlenmesi gibi işler akarsuda bulanıklığa, alüvyon artışına ve suyun mineral yapısının değişmesine yol açabilmektedir (Şekil 3.9). Mansap kısmında akışı devam eden su, kullanılmaya devam edeceği için kazı çalışmaları dikkatli yapılmalı ve idare tarafından titizlikle denetlenmelidir.



Şekil 3.9: Beton için gerekli malzemenin akarsu yatağından karşılanması.

Çalışanların konakladığı kamp sahasındaki yaşamsal faaliyetlerde kullanılan atık suların uygun şekilde arıtılmaması, akarsuya tekrar geri verildiklerinde kirlenmeye sebebiyet verebilmektedirler. Şantiye atık suları uygun atık depolarında ya da foseptik tanklarında biriktirilmeli ve akarsuya arıtılmadan karışmaları önlenmelidir.

Proje alanındaki kazı ve dolgu çalışmaları, nebati toprağın yapı emniyeti için kazılması kayaç kazısı, toprağı erozyona maruz bırakır. Ayrıca kazı alanlarında dikkatsizce yapılacak kazı işleri toprak kayması riskini de ortaya çıkaracaktır. Proje aşamasında gereken hassasiyet gösterilmeli ve bitki habitatı olabildiğince korunmalıdır.

Makine faaliyetlerinin fazla olması dolayısıyla ortaya çıkan petrol türevi atık malzemelerin gerekli şekilde depolanıp bertaraf edilmemesi ve söz konusu atıkların

toprağa ya da suya karışmaları da kirliliğe neden olarak canlı hayata zarar verebilecektir. Bu sebeple şantiye sahası içerisinde, kullanılmış motor yağlarının toplanabileceği atık yağ tankları bulundurulmalıdır (Şekil 3.10).



Şekil 3.10: Atık yağ tankı.

İmalattan kaynaklı oluşan toz ve diğer gazlar proje alanı çevresindeki insan ve canlı yaşamını olumsuz etkileyebilmekte; tarım ürünleri üzerinde birikerek ürünlere zarar verebilmektedir. Bu nedenle özellikle yağışın az olduğu dönemlerde, kazı alanında toza karşı belli oranlarda sulama yapılmalıdır (Şekil 3.11).



Şekil 3.11: İnşaat alanında toza karşı su püskürtme düzeneği.

Projenin gerçekleştirilmesi sırasında ortaya çıkan hafriyat ve inşaat atıklarının; emniyetli şekilde depolanması ve çevreye zarar vermeyecek şekilde arıtılması, geri dönüştürülmesi ve bertaraf edilmesi gerekir. İnşaat faaliyetleri sonrasında canlı

yaşamının gerektiği şekilde devam edebilmesi için doğal dengenin korunması hayati derecede önemlidir.

Tesisin inşa edildiği alanda, su altında kalan yerlerdeki insanlar göç etmek durumunda kalabilmektedir. Bununla birlikte işçilerin konaklamaları için oluşturulan yaşam alanları projenin büyüklüğüne bağlı olarak bölgenin demografik yapısı üzerinde değişimlere neden olabilmektedir. Bunların yanında proje kapsamında istihdam ihtiyacının mümkün olduğu ölçüde bölgede yaşayanlardan karşılanması projenin olumlu sayılabilecek etkilerindendir.

3.2.2 İşletme aşamasındak etkiler

Barajlar, inşa edildikleri çevreyi, faaliyete geçtikten sonra da etkilemeye devam ederler. Bu etki hem fiziksel hem de sosyo-ekonomik çevre üzerinde açık biçimde görülür.

3.2.2.1 Fiziksel çevre üzerine etkiler

Fiziki çevrenin büyük oranda değişikliğe uğramasıyla zeminin jeolojik yapısında da önemli değişiklikler meydana getirmektedir. Memba kısmında biriken suyun ağırlığından kaynaklı zemin hareketleri bölgenin depremselliğini doğrudan etkileyebilmektedir.

Barajlar üzerinde inşa edildikleri akarsuyun rejimini büyük oranda değişikliğe uğratır. Büyük ölçekli hidro-elektrik santrallerde membada tutulan su ve akarsu yatağına bırakılan su debisi akış aşağısındaki doğal yaşamı önemli ölçüde etkilemektedir. Doğal dengenin göz ardı edildiği işletme koşullarında ekolojik çevre ve balık nüfusu olumsuz etkilenebilmektedir. Akarsu debisinde oluşan dengesizlikler yeraltı sularına da olumsuz yansımakta ve yerleşim yerlerinde kullanılan suyun miktarını ve kalitesini düşürebilmektedir. Bu sebeple, akış aşağısında bırakılacak minimum su miktarı bu durumlar göz önüne alınarak belirlenmeli ve titizlikle takip edilmelidir.

Rezervuardan salınan suyun debisindeki değişim akarsu yatağı ve çevresinde erozyon meydana gelebilmektedir. Baraj gövdesinin suyla birlikte alüvyon da tutmasından dolayı; mansap kısmında akarsu vadisinin derinleşmesi, membada alüvyon birikmesinden dolayı baraj ömrünün kısalması gibi etkiler ortaya çıkmaktadır.

Barajların biriktirdiği suyun yapay göl oluşturmasından dolayı; barajın büyüklüğüne göre bölgenin ikliminde değişikliklere neden olabilmektedir. Barajda meydana gelen buharlaşma nem miktarının ve dolayısıyla yağış rejiminin değişmesine yol açmaktadır.

Su tutulmaya başlanmasından sonra; su altında kalan bölgelerde kaçınılmaz habitat kayıpları meydana gelmekte ve doğal yaşam değişikliğe uğramaktadır.

3.2.2.2 Sosyo ekonomik çevre üzerine etkiler

Projenin gerçekleştirilmesi ve işletme aşamalarında yeni istihdam alanlarının ortaya çıkmasıyla olumlu ekonomik gelişmeler meydana gelmesine rağmen; barajlar yerleşim yerlerinin sular altında kalmasına yol açtığından insanların yaşadıkları yerlerden göç etmesine neden olmaktadırlar (Şekil 3.12).



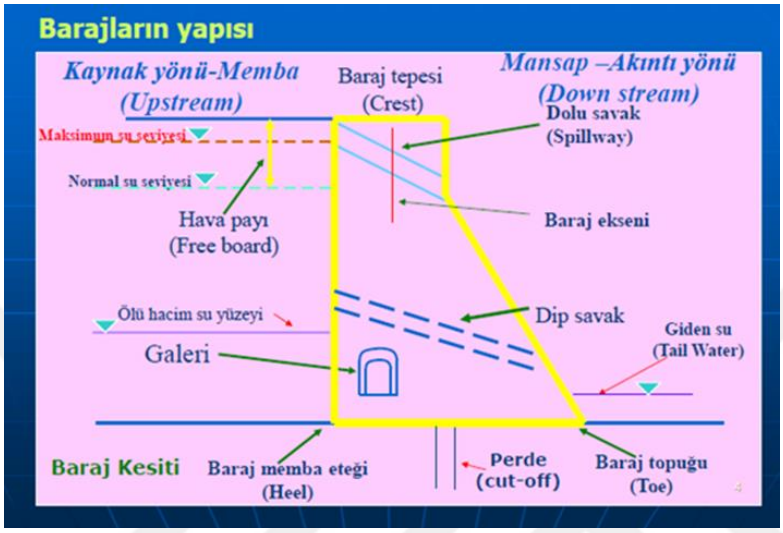
Şekil 3.12: Bir Kısmı Su Altında Kalan Halfeti-ŞANLIURFA.

Yaşam koşullarındaki bu zoraki değişiklik bölge sakinlerini olumsuz etkilemektedir. Zorunlu olarak yeni yerleşim yerlerine göç eden insanlar gerekli altyapı sağlanmadığı takdirde göçle beraber hem sosyal hem de ekonomik kayıplarla da yüzleşmek zorunda kalacaklardır. Evleri ve iş yerleri sular altında kalan insanların hayatlarına devam edebilmeleri için kayıpları devlet tarafından telafi edilmeli ve gerekli iş imkanları sağlanmalıdır.

Hasankeyf Bölgesi örneğinde olduğu gibi baraj projeleri kimi zaman önemli tarihi ve turistik mekânların da suların altında kalmasına yol açabilmektedir. Böyle örnekler, baraj projelerinin sadece doğaya değil aynı zamanda tarihi turistik yapılara da zarar vermeden projelendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

3.3 Baraj Yapılarında Kullanılan Bazı Temel Tanımlar

- **Abatman**: Baraj için seçilen vadinin her iki tarafında bulunan eğimli yüzey.
- **Vadi Kesiti:** Baraj gövdesinin akarsu yatağına oturduğu kısmın enine görünüşü.
- **Barajın Memba Eteği:** Gövdenin, memba tarafının temel kayaya oturduğu kısım (Şekil 3.13).



Şekil 3.13: Barajın Kısımları.

- **Baraj topuğu**: Gövdenin, mansap tarafının temel kayaya oturduğu kısım.
- **Baraj tepesi (kret):** Barajın en üst kısmı.
- **Kenar duvarı (parapet):** Kretin iki tarafına yapılan koruma duvarları.
- **Serbest kısım (dalga payı):** Kret ile maksimum su seviyesi arasında kalan kısım.
- **Baraj ekseni:** Kretin ortasından geçen eksen.
- **Baraj kesiti:** Barajın eksenine dik en kesiti.
- **Galeriler:** Gövde içerisinde sızıntıyı kontrol etmek ve enjeksiyon yapmak amacıyla baraj eksenine paralel, dik ya da eğik olarak inşa edilen yapılar.
- **Dip savak:** Ölü hacim seviyesinin üzerindeki suyu boşaltmaya yarayan tünel.
- **Ölü hacim yüzeyi:** Barajın içinde kalan ve boşaltılamayan su seviyesi yüzeyi.
- **Baraj yüksekliği:** Temelden baraj tepesine kadar olan yükseklik.
- **Kuyruk suyu yüzeyi:** Barajın savaklarından veya tribünden salınan suyun mansap tarafındaki seviyesi.
- **Maksimum su yüzeyi(Kotu):** Baraj için öngörülen maksimum su seviyesi yüzeyi.
- **Minimum su yüzeyi(Kotu):** Barajın faydalı şekilde kullanılabilecek en düşük su yüzeyi.

- **Dolu savak:** Maksimum su seviyesinin üstünde gelen suyu tahliye eden kanal ya da tünel (Şekil 3.14).



Şekil 3.14: Kuyu Tipi Dolu Savak.

Çevirme (derivasyon) tüneli: İmalat aşamasında akarsuyun yönünü değiştiren tünel.

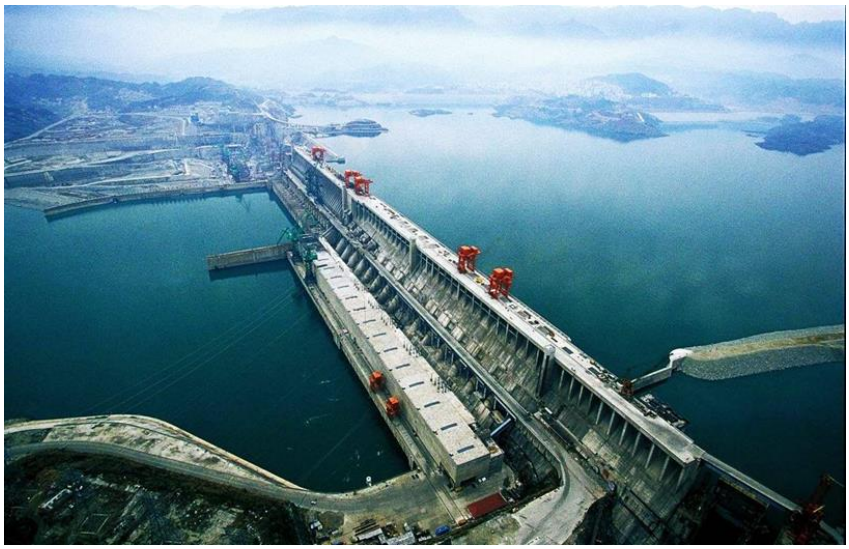
Batardo: İnşaat aşamasında akarsuyun çevirme tüneline girmesine yardımcı olan su alma yapısı.

3.4 Barajların Sınıflandırılması

Farklı yerlerde inşa edildiklerinden dolayı hiçbir baraj diğerinin aynısı değildir. Bununla birlikte farklı özelliklerine göre barajlar belli kategorilerde değerlendirilebilirler.

3.4.1 Gövde büyüklüklerine göre

- **Büyük Baraj;** 15 m nin üzerinde yüksekliğe sahip, kret uzunluğu 500 m den büyük, hazne hacmi 1106 m^3 den fazla ya da en büyük taşkın debisi 1000 m^3 /sn olan barajlar (Şekil 3.15).



Şekil 3.15: Üç boğaz barajı - (Dünya'nın en büyük barajı) – ÇİN.

- **Gölet (küçük baraj):** Büyük baraj tanımına girmeyen barajlardır.
- **Yüksek baraj:** Gövde yüksekliği 50 m'den fazla olan barajlardır.

3.4.2 Yapılış amaçlarına göre

Akarsular üzerine inşa edilen barajlar yapılış amaçlarına göre de sınıflandırılabilmektedir. Tarih boyunca barajlar; içme suyu temini, tarımsal amaçlı sulama gibi suyun kendisinin kullanımı göz önünde bulundurularak inşa edilmişlerdir. Bununla birlikte son yüzyıllardaki teknolojik ilerleme barajların çok amaçlı olarak tasarlanmasına yol açmıştır. Günümüzde aynı barajdan; hem enerji ihtiyacı temini, hem sulama, hem de su ürünleri yetiştiriciliği için yararlanılabilmektedir.

Yapılış amacına göre barajlar aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- Cevher Tutma
- İçme ve Sulama Suyu Tedariki
- Enerji (HES)
- Taşkından Korunma
- Atık Toplama

3.4.3 Gövde malzemesi ve biçimine göre

Baraj inşası için kullanılan gövde malzemesi, barajın maliyetini ve emniyetini etkilemesinden ötürü, yapılacak barajın tipini belirleyen en önemli faktörlerden birisidir**.** Malzemeye uzaklık, arazi yapısı ve maliyetler, barajın gövde biçimini

belirleyen en önemli unsurlardır. Gövde malzemesi ve biçimine göre baraj tipleri aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

3.4.3.1 Dolgu barajlar

- Toprak Dolgu Barajlar
- Kil Çekirdek Kaya Dolgu Barajlar
- Ön Yüzü Betonarme Kaplı Kaya Dolgu Barajlar (Şekil 3.16).



Şekil 3.16: Ön Yüzü Beton Kaplı Kaya Dolgu, Milas Derince Barajı-MUĞLA.

3.4.3.2 Beton barajlar

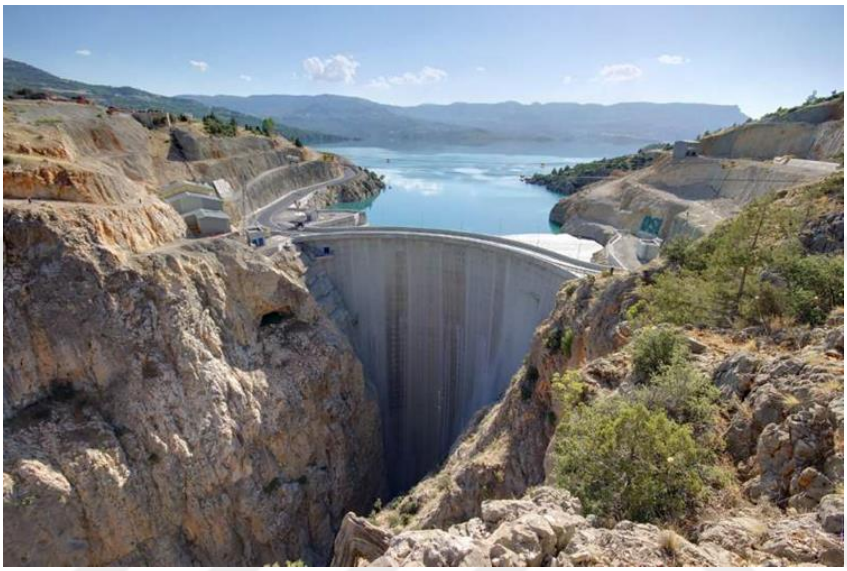
- Beton ağırlık barajlar
- Payandalı barajlar
- Beton Kemer Barajlar
- Silindirle Sıkıştırma Beton Barajlar

3.5 Baraj Tipi ve Baraj Yeri Seçimine Etki Eden Faktörler

Bir barajın yapılacağı yere karar verilirken genellikle birden fazla kullanım amacına göre değerlendirme yapılmaktadır. Baraj yerine ve yapılış amacına göre en uygun olan baraj tipinin belirlenmesi için aşağıda bahsi geçen faktörler incelenerek değerlendirme yapılır.

3.5.1 Vadinin şekli

Gövde tipinin belirlenmesinde dikkat edilen ilk faktör, proje alanının topografik yapısıdır. Kemer ve ağırlık baraj projeleri dar vadiler için düşünülürken, vadiler genişledikçe, dolgu baraj tipinin projelendirilmesi ekonomik açıdan daha uygun olacaktır. Barajlar projelendirilirken tek bir gövde tipine uygulanabileceği gibi vadinin yapısına bağlı olarak karma tipte baraj gövdeleri projelendirilebilir (Şekil 3.17).



Şekil 3.17: Dar Bir Vadide İnşa Edilmiş Ermenek Barajı ve HES- KARAMAN.

3.5.2 Temel zemini ve jeolojik yapısı

Baraj gövdesinin oturduğu temel, baraj projesi ve baraj emniyeti için hayati önemdedir. Bu sebeple temelin oturduğu zeminin jeolojik yapısı baraj gövde tipinin belirlenmesinde ele alınan en önemli faktördür. Jeolojik yapı, barajın temel tipini belirler. Temel tipi dört başlık altında incelenebilir:

3.5.2.1 Kaya temeller

Taşıma güçleri yüksek, homojen ve çoğunlukla geçirimsiz bu temel tipi tüm baraj tipleri için uygundur. Kaya temeller üzerine uygulama yapılırken ayrışmış haldeki yüzey kayası sıyrılır ve dayanıklılığı artırmak amacıyla çatlaklar enjeksiyonla kapatılır.

3.5.2.2 Çakıl temeller

Geçirimlilik miktarı yüksek olan bu temel tipinde oturma miktarı ihmal edilebilir derecededir ve taşıma gücü fazladır. Kemer ve payandalı barajlar için pek de elverişli

olmayan çakıl temel; iyi sıkışmış durumda toprak dolgu, kaya dolgu ve alçak gövdeli beton ağırlık barajı için uygundur. Geçirimlilik miktarı fazla olması dolayısıyla sızdırmayı azaltıcı tedbirlerin uygulanması gerekir.

3.5.2.3 İnce kum veya silt temeller

Geçirimliliğinin fazla olması yüzünden daha fazla aşınmaya maruz kalabilen ince kum temelin taşıma gücü düşük ve oturma miktarları fazladır. En önemli problemleri aşırı sızma kaybı ve mansap eteğinin oyulmasıdır. İnce kum temeller alçak beton ve toprak dolgu barajlar için elverişlidir.

3.5.2.4 Kil temeller

Bazı özel alçak toprak dolgu barajlar için tercih edilen bu temelin taşıma gücü çok azdır. Kilin kendi özelliğinden dolayı oturma miktarı yüksek ve geçirimliliği azdır (Ağıralioğlu, 2004).

3.5.3 İmalat için gerekli doğal malzemeye yakınlık

Baraj inşaatının çeşitli aşamalarında temelde üç tür doğal malzemeye ihtiyaç vardır. Dolgu alanları için toprak ve kayaya gereksinim duyulurken; beton imalatı için ise agrega hayati önemdedir. Sözü edilen malzemelerin olabildiğince yakın bir alandan karşılanması taşıma maliyetini düşürerek toplam maliyetten önemli ölçüde tasarruf sağlayacaktır.

3.5.4 Ulaşım olanakları

Proje alanını, mevcut kara yollarına yakınlığı da proje maliyeti açısından önemli bir avantajdır. Projede gereksinim duyulan servis yollarına ne kadar az ihtiyaç duyulursa maliyette o derece düşecektir.

3.5.5 Derivasyon koşulları

İnşaatın yapıldığı alanın, akarsuyun etkisinde olabildiğince izole edilmesi imalatın güvenliği ve kalitesi için önem taşımaktadır. Akarsu yatağından gelen suyun derivasyon tünel ya da kanalları yardımıyla inşaat alanından uzak tutulması gerekir. Zeminin jeolojik yapısı ve derivasyon yapıları için elverişli alanların bulunması inşaat aşamasında işlerin daha elverişli koşullarda yürütülmesine yardımcı olacaktır.

3.5.6 Dolu savak kapasitesi ve yeri

Dolgu baraj gövdeleri, zeminde oluşabilecek hareketlere karşı dayanıklı olmalarına rağmen, suyun kretten aşması bu dayanıklılığı oldukça düşürmektedir. Beton barajlar sözü edilen duruma karşı daha dirençli bir durumdadırlar. Debisi yüksek akarsular üzerinde yapılacak barajlarda büyük kapasiteli savaklara ihtiyaç duyulur. Bu durumda dolu savağın gövde ile beraber inşasına imkan veren beton veya kemer barajların yapımı daha uygun olur. Dar boyunlu vadiler, büyük kapasiteli dolu savakların inşasına imkan verdiği için dolgu baraj tipi daha uygun olur.

3.5.7 Deprem kuvveti

Barajın inşa edileceği yerin, plan aşamasında zemin etütleri yapılırken deprem durumu dikkate alınarak tasarım yapılır. Toprak hareketlerine ve heyelana karşı önleyici tedbirler alınmalı; heyelan sonucu oluşabilecek taşkınlara karşı dayanıklı gövde tipi belirlenmelidir (Ağıralioğlu, 2004).

3.5.8 İklim koşulları ve yapım süresi

Projenin yapılacağı yerin iklim koşulları çalışma şartlarını ve inşaat süresini, dolayısıyla proje maliyetini ve baraj tipini doğrudan etkileyen bir faktördür. İklim koşullarının planlama aşamasında bu etki göz önünde bulundurularak ele alınması gerekir.

3.6 Barajlara Etki Eden Kuvvetler

Büyük miktarlarda suyu haznesinde biriktirebilen barajlar, yapıldığı yerde çevresinde önemli değişikliklere sebep olan barajların kendileri de çeşitli kuvvetlerin etkisi altındadır.

3.6.1 Barajın kendi ağırlığı

Baraj gövdesine etki eden birincil kuvvet gövdenin kendi sahip olduğu ağırlığıdır. Malzeme, gövde tipi ve gövde yüksekliğine bağlı olan bu ağırlık, zemine ve gövdeye bir kuvvet uygular. Barajın ağırlığı **G**, malzemenin özgül ağırlığı γ_b ve gövde hacmi **V** olmak üzere;

$$G = \gamma_b . V \tag{3.1}$$

eşitliği ile hesaplanır.

3.6.2 Hidrostatik su basıncı

Gövdenin her iki tarafına da etki eden bu kuvvet, su seviyesine bağlı olarak ihmal edilebilir. Gövdeye etki eden gelen toplam basınç hesap kolaylığı açısından yatay ve düşey bileşenlerine ayrılır. Suyun özgül ağırlığı γ_s ve **h** su yüksekliği olmak üzere; yatay su basıncı,

$$\boldsymbol{P = \frac{\gamma_s . h}{2}} \tag{3.2}$$

formülü ile hesaplanarak bulunur.

3.6.3 Taban basıncı

Özellikle ağırlık barajlarda taban basıncı, gövdeye etki eden en önemli kuvvetlerden biridir. **U** taban basıncı, $\mathbf{h_1}$ ve $\mathbf{h_2}$ memba ve mansaptaki su derinlikleri, b taban genişliği olmak üzere;

$$U = \gamma . \frac{h_1 + h_2}{2} . b \tag{3.3}$$

eşitliği ile hesaplanır.

3.6.4 Deprem kuvveti

Planlama aşamasında barajı etkileyebilecek deprem şiddeti zeminin jeolojik yapısına göre belirlenir. İşletme aşamasında baraj emniyetini önemli ölçüde etkileyeceğinden dolayı tasarım çalışmalarında göz önünde bulundurulacak önemli bir faktördür. Depremin yatay yöndeki atalet kuvveti $\mathbf{F_d}$;

$$\boldsymbol{F_d = \alpha . G} \tag{3.4}$$

eşitliği ile elde edilir. Eşitlikte geçen $\boldsymbol{\alpha}$ ivme katsayısı olup, **a** deprem ivmesinin, **g** yerçekimi ivmesine oranıdır.

$$\boldsymbol{\alpha = a/g} \tag{3.5}$$

Depremin suda dinamik etkisi $\mathbf{F_{de}}$ ise;

$$\boldsymbol{F_{de} = C . \alpha . \gamma . h} \tag{3.6}$$

eşitliği ile bulunmaktadır. Burada **C**,

$$\boldsymbol{C = 0.365[\frac{y}{h}(2 - \frac{y}{h}) + \sqrt{\frac{y}{h}(2 - \frac{y}{h})}]} \tag{3.7}$$

formülü ile hesap edilir. Formülde geçen **γ** suyun özgül ağırlığı, h toplam su derinliği, **y** rezervuar yüzeyinden söz konusu seviyeye kadar olan düşey su derinliğidir.

3.6.5 Buz basıncı

İklim verilerine bağlı olarak baraj gölü üzerinde oluşabilecek buzun kalınlığı ve diğer sıcaklık değişimlerine göre gövdeye etki edebilecek basıç kuvveti hesaplanır. Basıncın gövdeyi, buz kalınlığının ortasından etkilediği kabul edilerek işlem yapılır.

3.7 Baraj Çeşitleri

Baraj emniyeti ve deformasyon ölçümleri söz konusu olduğunda, gövde malzemesi ve gövde tipine göre sınıflandırma yapılır. Günümüz barajları, gövde malzemesine göre beton barajlar ve dolgu barajlar olarak iki sınıfta toplanır.

3.7.1 Dolgu barajlar

Dolgu baraj, sıkışmaya elverişli doğal malzeme ile inşa edilen baraj türüdür. Dolgu barajlarda, dolgu malzemesi yüksek basınç kuvveti uygulayabilen silindirlerle sıkıştırılarak yerine oturması sağlanır. Dolgu barajlar, iki ana başlık altında incelenir.

3.7.1.1 Toprak dolgu barajlar

Gövde inşası için kullanılan dolgu malzemesinin %50'den fazlası toprak olan barajlar bu tanıma girmektedir. Dolgu yapılacak alanın, dolgunun sağlamlığı için nebati toprak seviyesi alınır. Daha sonra elverişli malzeme tabakalar halinde serilip sıkıştırılarak malzemenin su muhtevası istenen seviyeye getirilir. Dolgu barajlarda karşılaşılabilecek en büyük problem sızma sorunlarıdır.

3.7.1.2 Kaya dolgu barajlar

Dolgu içeriğinin %50'den fazlası kaya olan baraj türüdür. Kaya dolgu barajlarda geçirimsizlik sağlaması amacıyla ilave olarak sıkıştırılmış kil, beton veya asfalt malzeme de kullanılır. Başlıca kaya dolgu baraj türleri:

- Merkezi Kil Çekirdekli Kaya Dolgu Barajlar
- Eğimli Kil Çekirdekli Kaya Dolgu Barajlar
- Memba Yüzü Asfalt veya Beton Kaplamalı Kaya Dolgu Barajlar
- Merkezi Asfalt Perdeli Kaya Dolgu Barajlar

3.7.1.3 Dolgu barajların avantajları ve dezavantajları

- Tüm vadi şekilleri için elverişlidirler.
- Genellikle tüm temel tipleri için uygulanabilirler.
- Yapısında yakın çevreden doğal malzemeler kullanıldığı için işlenmiş malzeme veya çimento maliyetlerini düşürürler.
- Proje seçenekleri her iki baraj tipi için de oldukça esnektir.
- İmalat büyük oranda makinelerle gerçekleştirildiğinden insan gücüne oranla daha hızlı ilerlemektedir.
- Endüstriyel teknolojinin gelişmesi sonucunda iş makinelerinin kapasitesi artmakta bu durum dolgunun birim maliyetinin düşmesine katkı sağlamaktadır.

Sözünü ettiğimiz avantajlarının yanında dolgu barajların bir takım dezavantajları da bulunmaktadır. Bunlar:

- Gövde üzerinden su taşması durumunda beton barajlara göre, zarar görme riskleri daha fazladır. Bu sebeple dolgu barajlar için taşkın riski hassas şekilde hesaplanmalı ve önleyici tedbirler dikkatli şekilde alınmalıdır.
- Baraj gövdesinde ve temelinde sızıntı ile aşınma tehlikesi diğer barajlara göre daha fazladır (Ağıralioğlu, 2004).

Ülkemizdeki dolgu barajların bir bölümü gövde yüksekliğine göre sıralanarak aşağıda verilmiştir (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1: Ülkemizde en yüksek gövdeye sahip dolgu barajlardan bir bölümü

BARAJIN ADI	AKARSU	YÜKSELİK(m)
Atatürk Barajı	Fırat	166
Keban Barajı	Fırat	163
Kığı Barajı	Peri	146
Adıgüzel Barajı	B. Menderes	144
Altınkaya Barajı	Kızılırmak	140
Hasan Uğurlu Barajı	Yeşilırmak	135
Menzelet Barajı	Ceyhan	136.5
Özlüce Barajı	Peri	124
Konaktepe Barajı	Munzur	118.5

3.7.2 Beton barajlar

Beton barajlar yüksek taşıma gücüne sahip sağlam kaya temeller üzerine inşa edilirler. Barajın temeli, gevşek zemin ve ayrışmış kaya kazıldıktan sonra inşa edilir. Suyun

akışını kontrol eden dolu savak, dip savak vs. gibi yapıların gövdeyle beraber tasarlanmasına imkân vermesi beton barajların en önemli özelliğidir. Projenin yapılacağı vadinin özelliklerine göre beton ağırlık veya beton kemer tipinde inşa edilirler.

3.7.2.1 Beton ağırlık barajlar

Baraja etki eden su yükünü ve diğer ikincil yükleri kendi ağırlığı ile karşılayan barajlardır. Bu yönüyle istinat duvarına benzer işleve sahip ağırlık barajları, dolu gövdeli ağırlık barajlar, payandalı barajlar ve boşluklu gövdeli barajlar olarak inşa edilebilirler. Bu yapılarda, gövdeye etki eden en önemli dış kuvvet hidrostatik su basıncıdır.

3.7.2.2 Payandalı Barajlar

Bu baraj tipi, ağırlık barajların özel bir şeklidir ve benzer statik prensiplere göre çalışır. Vadi eksenine paralel olarak mansap kısmında inşa edilen payandaların arasının, eksene dik şekilde inşa edilmiş plak, kemer gibi elemanlarla kapatılmasıyla baraj gövdesi meydana gelir.

3.7.2.3 Kemer Barajlar

Daire yayı parçası şeklinde tasarlanan kemer barajlar, hidrostatik su basıncı kuvvetini ve kendi ağırlığını şeklinin yardımıyla gövdenin bağlı olduğu vadi kenarlarına aktarmaktadır. Ağırlık barajlarına göre daha ince kesitli bir gövdeye sahip olan kemer barajlarda, kemer etkisi ile gövdeye etki eden kuvvetler, gövde üzerinde dengeli bir şekilde dağılır. Gövde için kullanılan malzeme miktarının az olması baraj maliyetini önemli ölçüde düşürür. Bununla birlikte kemer barajın inşa edileceği vadinin oldukça dar; vadi yamaçlarının taşıma gücünün fazla olması gerekir.

Kemer barajlar için vadi şekilleri:

- Dar V Tipi
- Geniş V Tipi
- Dar U tipi
- Geniş U tipi

Kemer barajların uygulama yerleri ve tercih sebepleri:

- Kemer baraj tipinde bir proje için gerekli olan koşul; vadinin taban ve yamaçlarındaki kayanın sağlam ve taşıma gücünün yüksek olması gerekir.
- Dolgu ve ağırlık barajlara göre, gövdede kullanılan beton miktarı oldukça düşüktür. Bu durum ise maliyet açısından önemli bir avantajdır.
- Kemer yapısının mümkün kıldığı ince baraj duvarları esneklik sağlar daha büyük emniyet gerilmelerine imkân tanır.
- Baraj gövdesine etki eden kuvvetlerin en uygun biçimde taşınması için kemer barajlar, gövde eğrilik yarıçapı olabildiğince küçük ve merkez açısı büyük şekilde tasarlanır (Ağıralioğlu, 2005).

Kemer barajların tipleri:

- *Sabit merkez yarıçaplı kemer barajlar:* Tasarımı en temel kemer baraj tipidir. Bu tipteki barajlar U tipi vadilerde orta yükseklikte imal edilirler.
- *Sabit merkez açılı kemer barajlar:* Gövde kesitleri Sabit merkezli barajlara göre daha ince tasarlanabilir. Dar ve yüksek V tipi vadilerde tasarlanırlar
- *Değişken yarıçaplı ve değişken merkez açılı kemer barajlar:* Bahsedilen diğer iki baraj tipinin ikisinin de avantajını taşır.

Kemer barajlar inşa edilirken aşağıda bahsi geçen hususlara dikkat edilmelidir.

- Temelin inşa edileceği yerdeki toprak ve ayrışmış kaya zemin, sağlam kayaya kadar sıyrılmalıdır.
- Beton dökümü azami 15x15 m'lik bloklar halinde yapılmalı ve dökülen beton prizini almadan yeni beton dökülmemelidir.
- Bloklar arasındaki bağlantının sağlamlığı açısından önceden dökülen blok yüzeyleri iyi temizlenmeli ve bloklar arasına bağlantıyı artıracak harç serilmelidir.
- Kemer barajlarda sızmalara ve havanın koşullarının aşındırıcı etkilerine karşı dayanıklılığın sağlanması için beton kalitesine ve döküm hassasiyetine dikkat edilmelidir.
- Gövdenin Tek parça halinde çalışmasının sağlanması ve sızıntıların önlenmesi için su tutucular kullanılmalı; çatlak ve derzler kapatılmalıdır.

Ülkemizde inşa edilmiş önemli beton kemer barajlar, gövde yüksekliklerine göre aşağıdaki tabloda verilmiştir (Çizelge 3.2) (Ağıralioğlu, 2005).

Çizelge 3.2: Türkiye'deki Önemli Kemer Barajlar.

Baraj Adı	Yükseklik(m)
Deriner Barajı	253
Ermenek Barajı	230
Berke Barajı	201
Oymapınar Barajı	185
Karakaya Barajı	173
Gökçekaya Barajı	153
Sır Barajı	116
Gezende Barajı	75

3.7.2.4 Silindirle sıkıştırma beton barajlar

Bu baraj türünde baraj gövdesi; sıkıştırmaya elverişli özel karışım bir beton türünün tabakalar halinde serilerek sıkıştırılması ile oluşur. Söz konusu karışımın içindeki çimento miktarı klasik betona nispetle daha az olmasına rağmen, içeriğindeki diğer unsurlar çoğunlukla benzerdir. Sıkıştırma süreci, titreşimli silindirlerle yapıldığı için bu adı almışlardır.

3.7.3 Diğer tesisler

Gövde haricinde ya da gövdeye bitişik şekilde inşa edilen su alma yapıları, baraj gölünde biriken fazla suyun güvenli ve kontrollü şekilde mansap tarafına aktarılmasını sağlayan savak adı verilen yapılardır. Sahip oldukları işleve göre farklı isimler verilen bu yapılardan haznenin üst kısmından suyu mansaba aktaran yapıya dolu savak veya taşkın savağı, haznenin dip kısmından suyu aktaran yapıya ise dip savak denir. Dolu savakların; fazla suyun mansaba iletilmesini sağlamak, su yüksekliğini kontrol etmek ve su tutulmasını düzenlemek gibi üç önemli fonksiyonu vardır.

3.7.3.1 Dolu Savaklar

Dolu savaklar esas itibariyle fazla suyun boşaltılmasını sağlamak ve suyun doğal ve düzenli akışı devam ettirmektir. Dolu savakların doğru şekilde planlanıp inşa edilmesi taşkınlara karşı hassas olan dolgu barajlar için hayati derecede önemlidir. Dolu

savaklar dolgu barajlarda gövde haricinde tasarlanırken, beton barajlarda gövdeyle beraber planlanır ve inşa edilirler (Ağıralioğlu, 2004).

Dolu savakların taşkın debisine etki eden faktörler:

- Baraj hazne hacmi
- Baraj mansabında tesislerin varlığı
- Dolu savak maliyeti

Dolu Savak Elemanları:

- Yaklaşım Kanalı
- Giriş Kısmı
- Dolu Savak Oluğu
- Enerji Kırıcılar

Dolu Savak Tipleri:

- Baraj sırtından serbest savaklanma: Suyun baraj sırtından serbestçe akmasını sağlayan tesistir.
- Düşü yataklı savaklanma: Suyun, baraj sırtı üstünde kanal şeklinde bir düşü yatağı yardımıyla enerjisinin kırılarak akmasına imkân verir.
- Yan kanaldan savaklanma: Arazi koşullarının uygun olduğu durumlarda büyük miktarlardaki suyun geçişine imkan veren tesisler yardımıyla akış sağlanır.
- Şaft (kuyu) savaklar: Arazi koşullarının ve baraj gövdesinin yan savaklara imkan vermediği durumlarda fazla suyun çevirme tüneli ile mansap tarafına aktarılması sağlanır.
- Sifonlu savaklar: Küçük çaplı taşkınların ve hazne seviyesinin hassas kontrolünü sağlayan yapılardır.

3.7.3.2 Dip Savak

Barajlarda genellikle iki tip dip savak tasarlanır.

- Baraj gövdesinden geçen dip savaklar
- Tünel şeklindeki dip savaklar

Dip Savaklar, İhtiyaç olması halinde (ölü hacim hariç olmak üzere) haznedeki suyun tamamen boşaltılmasını sağlayan tesislerdir. Bu ihtiyacın ortaya çıktığı durumlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- Büyük ölçekli onarımı ve bakım çalışmaları
- Taşkın riskinin fazla olduğu koşullarda hacim oluşturmak için su seviyesinin düşürülmesi
- Mansap kısmında akarsuyun devamında belli bir su debisini yakalamak
- Akıntının fazla olduğu mevsim koşullarında taşkın sularının mansaba aktarmak için dolu savakla birlikte kullanılması
- Barajlarda ağır hasar ve yıkılma tehlikesinin açığa çıktığı durumlarda haznedeki suyun hızlı şekilde boşaltılması
- Memba tarafında biriken katı atıkların ve bulanık suların bir kısmını mansaba aktarmak

4. BARAJ EMNİYETİ VE BARAJLARDA DEFORMASYONLARIN İZLENMESİ

Barajların inşa edilmesinde projelendirme, imalat ve işletme koşulları gibi konular ne kadar önemli ise yapının imal edilmesi veya işletilmesi sırasında ortaya çıkabilecek risklerin belirlenmesi ve bu risklere karşı gerekli önlemlerin alınması da bir o kadar önemlidir.

4.1 Baraj emniyeti ve önemi

Alınan tüm önlemlere rağmen barajın inşa edildiği zeminde ve inşaat için kullanılan malzemede meydana gelen değişimler; barajların imalattan sonra da sürekli olarak gözlenmesini gerekli kılmaktadır. Bu sebeple, ortaya çıkabilecek risk faktörleri de göz önünde bulundurularak; geçmişte yaşanan baraj kazalarının bir daha yaşanmaması ve yapıyla birlikte çevresinin de korunması amacıyla baraj güvenliği çalışmaları daha da önem kazanmıştır. Baraj güvenliği konusu, mevcut barajlarla birlikte yeni yapılacak barajları da kapsamaktadır. Bugün pek çok gelişmiş ülkede hukuki ve teknik alt yapıya kavuşan baraj güvenliği konusu; ülkemizde gün geçtikçe daha kapsamlı şekilde ele alınmakta ve geliştirilmektedir.

4.2 Baraj emniyeti için yürütülecek çalışmalar

Baraj emniyetinin sağlanması amacıyla barajlar, periyodik aralıklarla sürekli izlenir. Bu amaçla çeşitli jeodezik ve jeodezik olmayan yöntemler kullanılır. Baraj gövdesinde ve çevresinde oluşturulan jeodezik ölçme alt yapısı (*Referans Ağlar, Deforasyon Ağları)* üzerinde periyodik olarak yapılan ölçme ve analizlerle geometrik değişimler belirlenmektedir. Benzer olarak, jeodezik olmayan (*geoteknik)* yöntemlerle de baraj gövdesi ve yakın çevresindeki fiziksel değişimler (basınç, gerilme, sıcaklık, su seviyesi vb.) izlenmektedir. Bu çalışmalar baraj gövdesi ve çevresinde risk oluşturabilecek değişikliklerin zamanında fark edilmesini sağlar. ICOLD tarafından yapılan bir araştırma; barajlarda ortaya çıkan sorunların, periyodik olarak yapılması gerekli gözlemlerin yapılmamasından ve barajlarda oluşan yapısal bozulmaların

zamanında tespit edilememesinden kaynaklandığını ortaya koymuştur (Aksu ve Ağca, 2009).

Baraj emniyeti kapsamında yapılması gerekenler aşağıdaki şekilde özetlenebilir (Aksu ve Ağca, 2009):

- Risk faktörü yüksek barajlar için kısa, orta ve uzun vadede alınacak önlemler belirlenmelidir.
- Baraj emniyeti ile ilgili her türlü yasal düzenleme idarece yapılmalı ve baraj imalatları titizlikle denetlenmelidir.
- Kamu kurumları arasındaki (Belediyeler, EÜAŞ, Jandarma,vb.) koordinasyon sağlanmalıdır.
- Kapsamlı bir Coğrafi Bilgi Sistemi oluşturularak barajlarla ilgili her türlü bilgi bu veri tabanına eksiksiz kaydedilmelidir.
- Emniyet ölçmelerin bir program dâhilinde bütün barajlarda yapılması sağlanmalıdır.
- Yüksek risk altındaki barajlara erken uyarı sistemleri yerleştirilmelidir.
- İnşa aşamasındaki barajlarda "Baraj Emniyeti" proje kapsamında ele alınmalı ve imalatla beraber yürütülmelidir.
- Projede öngörülen izleme sistemlerinin eksiksiz olarak tesis edilmesine dikkat edilmelidir.

4.3 Deformasyon Ölçmeleri

Yer çekimi, iklim koşulları ve zamanın etkisiyle cisimler, yeryüzü şekilleri ve mühendislik yapılarında meydana gelebilecek geometrik şekil değişiklikleri; süreklilik ve verimlilik açısından önemli bir yer tutumaktadır. Dünyanın birçok yerinde bu konuya gereken önem verilmekte ve bu konuda gerekli izleme ve değerlendirme çalışmaları yapılmaktadır (Kalın, 2010).

4.3.1 Deformasyonun tanımı

En genel tanımıyla deformasyon; objelerdeki geometrik değişim olarak tanımlanır (Kalkan ve Alkan, 2005). Yer kabuğu hareketlerinin izlenmesi, yapılarda ve

çevresinde meydana gelebilecek geometrik değişmelerin belirlenmesi veya yapıların çevreye etkisiyle yer yüzeyinde meydana gelebilecek değişimlerin belirlenmesine yönelik ölçmelere, *deformasyon ölçmeleri*; bu ölçülerin değerlendirilip yorumlanmasına da *deformasyon analizi* adı verilmektedir (Denli, 1998). Geometrik şekil değişiklikleri iki başlık altında incelenebilir.

4.3.1.1 İç Geometrik Değişimler

Uzama, burulma, burkulma, eğilme, oyulma ve erozyon gibi cisimlerin şekil değiştirmeleri ile tanımlanır.

4.3.1.2 Dış Geometrik Değişimler

Öteleme, dönme gibi cisimlerin bir eksen etrafında dönme veya bir doğrultu boyunca ötelenme hareketleri olarak tanımlanır.

4.3.2 Deformasyon belirleme yöntemleri

Günümüz mühendislik çalışmalarında, geometrik şekil değişikliklerinin yanında deformasyona sebep olan faktörler de deformasyonun kapsamı içinde değerlendirilir hale gelmiştir. Bu durum, gelişen teknolojinin de etkisiyle deformasyon belirleme yöntemlerinin çeşitlenmesine neden olmuştur. Mühendislik yapılarında deformasyonların belirlenmesi, iki ana başlık altında incelenmektedir. Bunlar, jeodezik ve jeodezik olmayan yöntemlerdir (Kalın, 2010).

4.3.2.1 Jeodezik olmayan yöntem

Bir başka adı da "Geoteknik yöntem" olan bu yöntemde çoğunluğu baraj gövdesine tesis edilmiş sarkaç, eğimölçer, ekstensometre, barometre, termometre, inklinometre ve strangageler gibi sistemler kullanılarak yapının gövdesi üzerindeki fiziksel değişiklikler tespit edilir (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1: Jeodezik Olmayan Yöntemlerle Deformasyon Belirleme Yöntemleri ve Kullanılan Ölçme Aletleri

Jeodezik Olmayan Yöntemler	**Kullanılan Donanım**

Eğim Ölçmeleri	İnklinometreler
Düşey Yer Değiştirme Ölçmeleri	Oturma Kolonları
Uzunluk Değişim Ölçmeleri	Extensometreler
Boşluk Suyu Basıncı Ölçmeleri	Piezometreler
Düşeyden Ayrılma Ölçmeleri	Pendulum
Derz Ölçmeleri	Jointmetreler
Çatlak Ölçmeleri	Crackmetreler
……..	……..

Sözü edilen donanımlar amacına uygun olarak inşaat aşamasında yapının içerisine yerleştiriler. Lokal deformasyonların belirlenmesinde kullanılan ve otomasyona müsait olan bu donanımlarda gözleme verileri dahili olarak kayıt edilebildiği gibi bir bilgisayar sistemine bağlanarak anlık veri akışı da elde edilebilir. Dahili sistemlere nazaran bir bilgisayar sistemine bağlı kayıt yapmak bazı önemli avantajlar sağlamaktadır. Bunlar;

- Veriler, yapıdan uzakta depolanabilir ve analiz edilebilir.
- Gözleme aralıkları değiştirilebilir.
- Anlık izleme sistemleri oluşturulup değişimler zaman kaybetmeden tespit edilebilir.
- Gözleme bilgilerinin toplanması için yapıya ya da bölgeye gitme zorunluluğu ortadan kalkar. Bu durum zaman ve iş gücünden tasarruf sağlar.

Gözlenen yapı ya da çevre konusunda en sağlıklı bilgi, jeodezik verilerin başta geoteknik ölçme donanımları olmak üzere diğer sistemlerden gelen verilerin birlikte ele alınması ile elde edilebilir (Kalkan, ve Diğerleri, 2003).

4.3.2.2 Jeodezik olmayan ölçme donanımlarının başlıcaları

İnklinometre: Mühendislik yapılarında ve yer hareketlerinin yaşandığı alanlarda yatay deformasyonların belirlenmesi amacıyla sıklıkla kullanılan ölçme donanımıdır. İnklinometreler, uygun noktalarda açılan özel sondaj kuyularına yerleştirilir ve belirli

periyotlarda ve belirli derinliklerde yapılan ölçümler aracılığı ile farklı derinliklerdeki yatay hareketler belirlenmeye çalışılır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1: İnklinometre

Piezometre: Boşluk suyu basıncı ve yer altı su seviyesi ölçmelerinde kullanılır. Suyun, zemin dayanıklılığını önemli ölçüde etkilediği suya doygun ya da yarı doygun alanlarda; boşluk suyunun basıncı ve yer altı su seviyesi farklı derinliklerde ölçülürek bilgisayar yazılımları grafik gösterimine dönüştürülür (Şekil4.2) (Yılmaz, 1993).



Şekil 4.2: Piezometre

Manyetik Oturma Kolonları: Heyelan riski yüksek olan yerlerde zemin oturmalarının belirlenmesi için kullanılan sistemlerdir. Farklı derinliklerdeki sondaj kuyusu içerisine yerleştirilen bir boruya bağlı bir dizi manyetik halkalardan oluşur. Belirli zamanlarda boru içerisine bir *prob* indirilerek halkaların düşey hareketi ölçülür ve bu ölçüler bir yazılım aracılığıyla değerlendirilir.

Diğer Aletler: Crack meter, rock meter, joint meter ve pendulum gibi diğer donanımlar.

4.3.2.3 Jeodezik yöntem

Yapı üzerindeki geometrik değişimleri, çevresindeki sabit noktalara göre konum bazlı olarak ele alıp inceleyen yöntemdir. (Çizelge 4.2) (Kalın, 2010).

Çizelge 4.2: Jeodezik Yöntemle Deformasyon Belirleme Yöntemleri ve Donanımlar

Jeodezik Yöntemler	**Kullanılan Donanım**
Aliynman Ölçmeleri	Teodolit, Lazer Optik, İnvar Tel vb.
Klasik Konum Ölçmeleri	Total Station, Teodolit ve Uzaklık Ölçer
Uydu Konum Bazlı Ölçmeler	GNSS Alıcıları
Prezis. Trig. Nivelman Ölçm.	Prezis. Total Station, Teodolit ve Uzn. Ölç.
Prezis. Geometrik Nivelman Ölçm.	Prezis. Geometrik Nivelman Ölç. Don.
Lazer Tarama Yöntemi	Lazer Scanner
İnterferometrik SAR Gör. Tekn.	SAR Uydu Görntl. Değerlend.

Yer kabuğu hareketlerinin belirlenmesi; mühendislik yapılarında ve çevrelerinde meydana gelebilecek şekil ve konum değişimlerinin tespit edilmesi ile söz konusu değişimlerin yönünün ve büyüklüklerinin belirlenmesi amacı ile jeodezik ölçme donanımları ve yöntemlerinden yararlanılır.

Yapı üzerinde ve yapının içinde bulunduğu çevrede jeolojik ve jeodezik açıdan uygun gözleme noktaları belirlenir. Amacına göre, hareket beklenen ve beklenmeyen yerlerde (İç Geometrik Değişimler, Dış Geometrik Değişimler, uzama, eğilme, burkulma, çökme, oyulma, erozyon, öteleme, yatay-düşey ötelenme vb.) seçilen ve tesis edilen noktalardan bir jeodezik ağ oluşturulur. Kontrol Ağları olarak adlandırılan bu ağlar belirli periyotlarla ölçülerek yapıların ve çevresinin uğradığı değişim belirlenir (Erol, 1999).

Kontrol ağları genellikle yerel ağlar olarak oluşturulur ve datumlarının seçimi isteğe bağlıdır. Diğer bir ifadeyle, bu ağların belirli bir sisteme bağlı olması gerekmez. Kontrol noktaları arazinin topografyasına ve yapının durumuna göre seçilir. Ağdaki nokta sayısı izlenen çevreye, yapıya ve beklenen deformasyona bağlıdır. Genel anlamda kontrol noktaları, öngörülen tüm ihtiyaçlara cevap verebilmesi adına üç ana grup nokta kümesi olarak seçilirler. Bunlar, *Deformasyon Noktaları, Sabit Noktalar* ve *Yöneltme Noktaları'*dır. *Deformasyon noktaları*'nın çoğu yapı üzerinde ve

değişimlerin en çok beklendikleri yerlerde seçilir. Obje noktaları olarak da adlandırılan bu noktalar periyodik ölçmelerin karakteristiğine uygun olarak uzun yıllar kaybolmayacak nitelikte tesis edilirler. *Sabit noktalar,* obje noktalarındaki deformasonu gözlemek amacıyla değişim beklenmeyen yerlerde tesis edilirler. Ölçme donanımlarının kolayca üzerine kurulabileceği şekilde tesis edilen bu noktalar *Kontrol Noktaları* olarak da adlandırılırlar. *Yöneltme noktaları* ise ağın tümünün yöneltilmesi amacıyla tesis edilirler.

4.3.3 Jeodezik ölçülerin değerlendirilmesi ve barajlarda deformasyon analizi

Zamana ve kullanılan malzemeye bağlı olarak baraj gövdesinde meydana gelebilecek değişiklikler, topoğrafyaya bağlı değişimlerle beraber gözlemlenir. Gerektiği kadarıyla yapının çevresini ve gövdenin tamamını kapsayacak şekilde tesis edilen jeodezik ağlar, belirli periyotlarda ölçülerek, ölçüm farklarından deformasyonun tespitine çalışılır. Seçilecek ölçme metodu, ölçme periyodu ve doğruluk kriterleri; barajın türüne ve beklenen deformasyonun çeşidine bağlı olarak değişmektedir. Öngörülen deforasyonun miktarı, yapı ölçeğine göre çok küçük olduğundan jeodezik ölçüler; yüksek prezisyon ve doğruluğa sahip özel ölçme donanımları ve hassas ölçme yöntemleri ile gerçekleştirilir. Deformasyonun belirlenmesinde referans olması amacıyla (çoğunlukla yapının tamamlandığı zamanda) kontrol ağında yapılan ilk gözleme, "Sıfır ölçüsü" veya "Referans ölçüsü" adı verilmektedir. İlk ölçüden sonra yapılan yineleme ölçüleri, kendi içinde dengelendikten sonra "Referans Ölçüsü" ile kaşılaştırılır.

4.3.3.1 Dengeleme hesabı ve Yatay konum değişimlerinin belirlenmesi

Jeodezik ağlarda gerçekleştirilen hassas açı ve kenar ölçümleri yardımıyla obje noktalarının konum bilgilerinin hesaplanması, her bir obje noktası için yapılan ölçümlerin dengelenmesi sonucunda bulunur.

Konum belirleme amacıyla yapılan ölçüler düzensiz hatalar ile yüklüdür. Bu hatalar, ölçme işini yapan kişiden, ölçü donanımının kapasitesinden ya da çevre şartlarından kaynaklanabilmektedir. Bu sebeple, açı ve kenar ölçümlerinde gereğinden fazla sayıda ölçme yapılır. Bu fazlalık ölçümler yardımıyla ölçülerdeki hataları en aza indirmek ve ölçülerle bilinmeyenler arasındaki ilişkileri sağlayabilmek için dengeleme hesabı yapılır. İşlem sonucunda elde edilen düzeltme değerleri ölçülere eklenerek ölçülerin ve bilinmeyenlerin gerçek değere en yakın değerleri hesaplanabilir. Dengelenmiş

değerlerin duyarlıkları ilk ölçülerin duyarlıklarından daha yüksektir. Dengeleme hesabı yapılabilmesi için fazla sayıda ölçü yapılmış olmalıdır (Şimşek, 2008).

Bir problemde dengeleme yapılıp yapılmayacağına fazla ölçü olup olmadığına bakılarak(serbestlik derecesine göre) karar verilir. **n** ölçü sayısı, **u** bilinmeyen sayısı olmak üzere;

$$\boldsymbol{f = n - u} \tag{4.1}$$

f, serbestlik derecesi olmak üzere,

- f>0 ise dengeleme hesabı yapılır,
- f=0 ise tek anlamlı matematiksel çözüm vardır.
- f< 0 ise varsayıma dayalı tahminde bulunulur.

Dengelemede amaç; fazla ölçüleri kullanarak, ölçülerin ve bilinmeyenlerin gerçeğe en yakın değerlerini ve doğruluklarını hesaplamaktır . Bu amaçla kullanılan en yaygın yöntem "En Küçük Kareler" yöntemidir.

Bir X büyüklüğü için;

- **X**= kesin değer
- $\mathbf{L_i}$ = X değeri için yapılan ölçü
- **ε** = gerçek hata olma üzere;

$$\boldsymbol{X = L_i + \varepsilon_i} \tag{4.2}$$

Burada εi için hesapla bulunan bir Vi (düzeltme değeri) için;

$$\boldsymbol{x = L_i + V_i} \tag{4.3}$$

P ölçülerin ağırlı olmak üzere, kesin değerlerin standart sapmasının minimum olması için Vi düzeltmeleri;

$$\boldsymbol{[PVV] = minimum} \tag{4.4}$$

Gerçek değere en yakın değerleri bulmak için (4.4) eşitliğindeki koşulu sağlayacak Vi düzeltmelerinin bulunmasına **Ölçülerin En Küçük Kareler Yöntemine Göre Dengeleme** denir. Burada (4.3) ile bulunacak değerler Ölçünün Kesin Değeri ya da başka bir ifadeyle En Olasılıklı Değer adını alır (Öztürk, 1987).

4.3.3.2 Dengeleme Hesabının Türleri

Jeodezik ağlarda dengeleme hesabı, bilinmeyenin doğrudan ölçüler ile ya da ölçülerin fonksiyonları ile bulunmasına göre sırasıyla Bağımsız Ölçüler Dengelemesi ya da

Korelasyonlu Ölçüler Dengelemesi olarak iki ana başlık altında incelenir. Kesin Değerlerin bulunması için kurulan matematik model iki farklı modelin birleşiminden oluşur. Bunlardan birisi **Fonksiyonel Model**, diğeri ise **Stokastik Model**'dir. Ölçülen değerler için (4.4) eşitliğindeki minimum koşulunu sağlayacak düzeltmelerin hesaplanmasında kurulan fonksiyonel modelin özelliklerine göre farklı çözüm metotları kullanılır.

- Dolaysız (direk) ölçüler dengelemesi,
- Dolaylı (en direk) ölçüler dengelemesi,
- Koşullu (şartlı) ölçüler dengelemesi,
- Koşul denklemli dolaylı ölçüler dengelemesi,
- Bilinmeyenli, koşullu ölçüler dengelemesi.

Bu çalışmada konuyla ilgili olması bakımından yalnızca dolaylı ölçüler dengelemesi konusu ele alınacaktır (Şimşek, 2008).

Φ Dengelenmiş Değerler Kümesi, Li ölçüler ve Vi düzeltmeler olmak üzere, ölçüler ile dengelenmiş değerler arasındaki ilişki;

$$\boldsymbol{L_i + V_i = \Phi} \tag{4.5}$$

ile ifade edilir.

Jeodezik ağlarda elde edilmeye çalışılan bilinmeyenler, yapılan ölçülerden dolaylı olarak elde edilen değerler olduğu için yukarıda anlatılan eşitliklerle beraber; Dolaylı Ölçüler Dengelemesinde kullanılan eşitlikler geçerlidir. Burada birim ölçünün karesel ortalama hatası;

$$\boldsymbol{m_0 = \sqrt{\frac{[PVV]}{n-u}}} \tag{4.6}$$

eşitliği ile elde edilir.

Dolaylı ölçüler dengelemesinde çözüm için oluşturulan matemaktiksel modellerden;

fonksiyonel model, ölçülerle bilinmeyenler arasındaki deterministik ilişkileri yansıtır. F fonksiyonel model olmak üzere;

$$\boldsymbol{F(X, L) = 0} \tag{4.7}$$

şeklinde oluşturulur. Burada **X** bilinmeyen vektörü, **L** ölçü vektörüdür. Bu model her zaman doğrusal olmayabilir. En Küçük Kareler Yöntemi ile Çözüm için (4.7) modeli Taylor Serisine açılarak doğrusallaştırılır.

Stokastik model; ölçüler ile bilinmeyenler arasındaki ilişkileri, duyarlıkları ifade eden ve istatistik teorisine göre oluşturulan modeldir. Bu model yalnızca fiziksel nedenlere bağlı ilişkileri ifade ediyorsa köşegen varyans-kovaryans matrisi şeklindedir. Fakat, bu durum her zaman geçerli değildir. Ölçüler birbirinden bağımsız olsa bile fonksiyonel modeldeki değişkenler bağımlı olabilir. Bu durumda varyans-kovaryans matrisi dolu bir matristir.

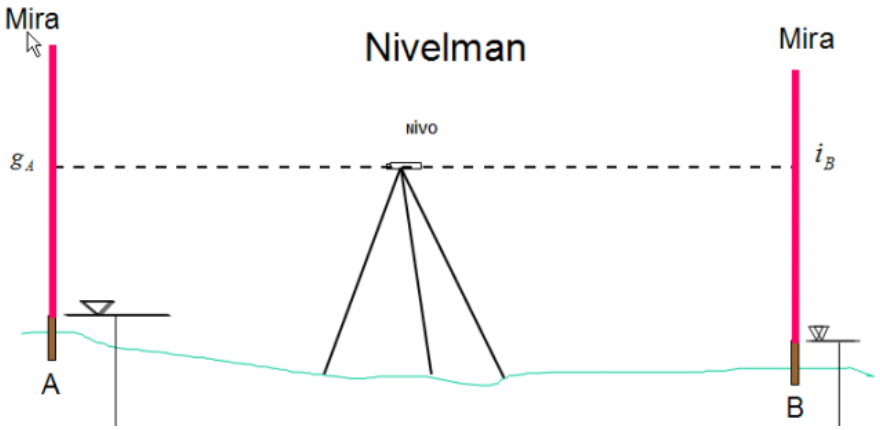
4.3.3.3 Düşey konum değişimlerinin belirlenmesi

Herhangi bir noktanın bir referans yüzeyine düşey uzaklığına o noktanın yüksekliği denir. İki nokta arasındaki düşey mesafeye ise yükseklik farkı adı verilmektedir. Bu yükseklik farklarının belirlenmesi amacıyla yapılan ölçümlere de nivelman denilmektedir (Özerman, 2012).

Nivelman ölçmelerinde birçok yöntem vardır. Bunlar;

- Geometrik nivelman
- Trigonometrik nivelman
- Barometrik nivelman
- Hidrostatik nivelman
- Gravimetrik nivelman
- GNSS ile nivelman

Geometrik nivelman ölçmelerinde yatay gözleme yapabilen ve nivo adı verilen özel ölçüm aletleri ile mira adı verilen üzerinde ölçü bölümlendirmeleri olan ve genelde ahşaptan imal edilmiş büyük cetveller kullanılır (Şekil 4.3) (Özerman, 2012).



Şekil 4.3: Optik Nivelman Prensibi

Yüksekliği bilinen noktaya tutulan miranın gözleme düzlemi kotu (geri okuma) ile hedef noktanın gözleme düzlem kotu(ileri okuma) arasındaki fark iki nokta arasındaki yükseklik farkını verir (4.8).

$$\Delta h_{AB} = g_A - i_B \quad (4.8)$$

Burada Δh_{AB} Şekil 4.3'te örneklenen A ve B noktaları arasındaki yükselik farkını, g_A Anoktasındaki mira okumasını ve i_B ise B noktasındaki mira okumasını ifade eder.

Trigonometrik nivelmanda ise yükseklik farklarını belirlemek üzere teodolit ya da total station'lar kullanılır. Sabit ve yüksekliği bilinen bir nokta üzerinde kurulmuş ölçüm aletinin bakılan noktaya olan uzaklığı, düşey açısı, alet ve işaret yükseklikleri yardımıyla bu noktanın yükseklik değeri belirlenebilir. Barometrik nivelman da ise açık hava basıncının yükseklik ile değişmesi prensibinden yararlanılarak; yükseklik farkının barometre yardımıyla ölçülmesidir.

Prezisyonlu (Hassas) Geometrik Nivelman ile yükselik belirlemede klasik yöntemlerden farklı olarak özel imal edilmiş ölçme donanımları kullanılır. Hassas Nivelmanda ortalama hata 0,5 mm/km'dir. Bu yöntemde yükseklikler iki tür nivo kullanılarak belirlenmektedir. Optik Nivolar, beklenen hassasiyeti sağlamak amacıyla parelel yüzlü cam plaka ve mikrometre tamburu adı verilen donanıma sahiptir (Şekil 4.4). Sıcaklık değişimlerinden etkilenmemek için genleşme katsayısı düşük metallerden imal edilmiş özel invar miralar kullanılır.



Şekil 4.4: Mikrometre Donanımlı Nivo

Sayısal nivolar (Şekil 4.5) da ise hassas elektronik algılayıcılar bulunmaktadır. Barkodlu olarak bölümlendirilmiş miralar yardımıyla yükseklik farkları belirlenir.



Şekil 4.5: Sayısal Nivo

Prezisyonlu nivelmanda doğruluğu artırmak amacıyla;

- Ölçmelerde, normal geometrik nivelmana göre daha fazla özen gösterilmelidir.
- Ölçme donanımlarının kalibrasyonları düzenli aralıklarla ve ihmal edilmeden yapılmalıdır.
- Miranın ağırlığından dolayı toprak zeminlerde oturmadan kaynaklı hataları gidermek için mira altlığı kullanılmalı ve altlıklar zemine iyice sabitlenmeli ve miralar tutulurken, mutlaka mira destekleme donanımları ile desteklenmelidir.
- Bir nivelman kenarında, mira çifti sıfır konum hatalarına karşı önlem olmak üzere çift sayıda alet kurulmalıdır.
- Mira ile nivo arasındaki mesafe 45 m'yi geçmemelidir (Köse, 2018).

Barajlarda meydana gelen düşey konum değişimlerinin hassas şekilde belirlenebilmesi için prezisyonlu nivelman tekniğinden yararlanılmaktadır.

4.3.4 Dengelenmiş jeodezik verilerden deformasyon analizi

Yaplan her yineleme ölçüsü kendi içinde ayrı ayrı dengelenir. Karşılaştırma yapılan periyotlarda değişim olmamış noktalar belirlenir. Bu noktalar yardımıyla periyotlar arası koordinat farkları belirlenir ve bu farklarla, gerçekleşen deformasyonlar hakkında bir sonuca varılmaya çalışılır. Ölçülerin analizi yapılırken referans ölçüsü ile yineleme ölçüsü arasında kontrol ağı aynı kalmışsa, (nokta kaybolması, yeni nokta ekleme, ölçü planı değişikliği vb.) kontrol ağı Univaryant Dizaynlıdır. Aradan geçen zaman içerisinde bazı noktalar kaybolmuş veya yeni noktalar eklenmise, I. Derece Multivaryant Dizayn, ağdaki noktalar aynı kalmasına rağmen ölçü planı değişmişse II. Derece Multivaryant Dizayn söz konusudur (Erol, 1999).

Jeodezik ağlardan elde edilen farklı periyotlara ait ölçme verilerinin değerlendirilmesinde çeşitli yöntemlerden yararlanılır. Farklı koşullar altında ölçülmüş ve dengelenmiş ölçme verilerinin karşılaştırılabilmesi için incelenen periyotları aynı koşullara indirgeyerek kıyas yapmaya imkan veren analiz yöntemlerinden yararlanılır. En çok tercih edilen bazı deformasyon analizi yöntemleri aşağıda verilmiştir.

4.3.4.1 Analitik yöntem ile deformasyon analizi

Bu yöntem, ölçü periyotları arasında ağın konum değiştirmeyen noktalar yardımıyla; diğer noktaların yer değiştirmelerinin istatistiksel olarak irdelenmesi esasına dayanır. Aynı jeodezik ağda yapılmasına rağmen farklı zamanlarda yapılan ölçümler, farklı koşullarda yapılmış olacağından karşılaştırılan periyotlar arasında sabit noktaların varlığı analiz açısından hayati önem taşımaktadır.

Karşılaştırılacak olan ağları birbirine bağlamak için t_{i+1}-t_i zaman aralığında konum değiştirmemiş noktalar belirlenir. Koordinatlar arasındaki datum farklılığını ortadan kaldırmak amacıyla iki koordinat kümesi bir benzerlik dönüşümü ile üst üste çakıştırılır. İşlem sonucu ortya çıkan koordinat artık hatalarının, kendi ortalama hatalarına bölünmesi ile elde edilen katsayılar t – student dağılımı değerleri ile karşılaştırılır.

t – dağılımı yardımıyla yer değiştirmediğine karar verilen $\mathbf{P_j}$ noktalarından, dengelenen ağın boyutu kadar (iki yada üç) noktanın bulunması gerekir. Yer değiştirmemiş fazla sayıda ortak nokta olduğu takdirde, test değeri tablo değerlerine yakın olanlar da deformasyon noktası olarak alınabilirler. Konum değiştirmemiş noktaların belirlenmesinden sonra, periyoların birlikte dengelenmesine geçilir. Denegeleme için ikişier çift obje noktası ile sabit noktalar için birer çift koordinat bilinmeyenleri seçilir ve hesaplama yapılır. İşlemin tamamlanmasının akabinde, sabit obje noktalarının test işlemine geçilir.

Obje noktalarına ait $\mathbf{d_j}$ fark vektörleri ile bu fark vektörlerine karşılık gelen ve dengelemenin ters ağırlık matrisinden elde edilen $\mathbf{Q_{dj}}$ ters ağırlık matrisi elde edilir. Sıfır hipotezi olarak $\mathbf{d_j}$ fark vektörünün ümit değeri sıfır alınır ve;

$$\boldsymbol{Td_j} = \frac{d_j^t Q d_j^{-1} d_j}{2m_0^2} \qquad (4.9)$$

test büyüklüğü hesaplanır (4.9). Karşılaştırma kriteri, ***F – Fisher dağılımı*** çizelgesinden alınır. Bu değer $\mathbf{T_{dj}}$ 'den büyük olması durumunda sıfır hipotezi geçerlidir. Yani $\mathbf{P_j}$ noktasında t_{i+1}-t_i zaman aralığında α yanılma olasılığı ile konum değişikliği yoktur denir. Tersi durumda, $\mathbf{P_j}$ noktasında bir deformasyon olduğuna karar verilir. Tüm obje noktaları tek tek irdelenir. Noktalarda anlamlı konum değişiklerinin olup olmadığı istatistiksel olarak denetlenir (Kalkan ve Alkan 2007).

4.3.4.2 Bağıl güven elipsleri ile deformasyon analizi

Deformasyon analizinde grafik yorumlama, bağıl güven elipsleri ile yapılmaktadır. Noktaların toplu dengeleme işlemi analitik yöntemde anlatıldığı gibi yapıldıktan sonra, deformasyon noktalarının ağırlık matrisi oluşturulur:

$$\boldsymbol{Q_{xx}} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{Q_{x_1x_1}} & \cdots & \cdots \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \cdots & \cdots & \boldsymbol{Q_{x_px_p}} \end{bmatrix} \tag{4.10}$$

A_{BG} : Büyük yarı eksen

B_{BG} : Küçük yarı eksen

Θ_{BG} : Büyük yarı eksenin doğrultusu olmak üzere;

Q_{dd} matrisinin öz değerlerinden büyük olanı λ_A, küçük olanı λ_B ile gösterilirse bağıl güven elipsinin elemanları;

$$\boldsymbol{A_{BG}} = \boldsymbol{m_0}\sqrt{\boldsymbol{2\lambda_A F_{2.f.1-\alpha}}} \tag{4.11}$$

$$\boldsymbol{B_{BG}} = \boldsymbol{m_0}\sqrt{\boldsymbol{2\lambda_B F_{2.f.1-\alpha}}} \tag{4.12}$$

$$\boldsymbol{\theta_{BG}} = \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{2}}\mathbf{cot}\frac{\boldsymbol{2q_{d_xd_y}}}{\boldsymbol{q_{d_xd_y}-q_{d_yd_y}}} \tag{4.13}$$

Bağıl güven elipsi (4.11), (4.12) ve (4.13) yardımıyla elde edilip ölçekli olarak bir altlığa çizildikten sonra, incelenecek noktadaki d_j fark vektörü, bir ucu elips merkezine gelecek şekilde aynı ölçekte çizilir. Çizilen vektörün diğer ucu söz konusu elipsin içinde kalıyorsa P_j noktasında bir deformasyon olmadığı söylenir. Aksi durumda ise anlamlı bir deformasyonun varlığından söz edilebilir. Koordinat farkları yardımıyla deformasyonun yönü ve büyüklüğü hesaplanır. İşlemin yanılma olasılığı, bağıl güven elipslerinin yarı eksen uzunluklarının hesabında kullanılan F – dağılım değerinin yanılma olasılığına eşittir ve genellikle 0,05 olarak alınmaktadır (Kalın, 2010).

4.3.4.3 S Transformasyonu ile deformasyon analizi

S transformasyonu ile analiz yöntemi, Hollandalı Bilim adamı Prof. Willem Baarda tarafından 1950 li yıllarda geliştirilmiştir. Bu yöntem yeni bir dengelemeye gerek duymadan bir datumdan başka bir datuma geçişe imkan verir. İki farklı zamanda gerçekleştirilen jeodezik ağlar eşlenik noktalara göre konumlandırılır. Sürekli datum değişikliği; noktalardaki anlamlı konum değişikliklerinin belirlenmesinde zorunlu olduğu için; kolaylık sağlaması amacıyla karşılaştırılacak ağlar ilk etapta herhangi bir datumda dengelenir ve sonuçlar istenen datuma dönüştürülür. t_n zamanında ölçülen bir ağda "e" ile tanımlanan eşlenik (datum) noktalarının koordinatları birinci sırada, "b" ile tanımlanan diğer noktaların koordinatları ve başka bilinmeyenler ikinci sırada olmak üzere herhangi bir ***i*** datumunda serbest dengeleme ile belirlenmiş olsun. Buna göre, ***i*** datumuna ilişkin x_i parametreler vektörü;

$$\boldsymbol{x_i} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{x_e^i} \\ \dots \\ \boldsymbol{x_b^i} \end{bmatrix} \tag{4.14}$$

şeklindedir. Ağırlık katsayıları matrisi ise;

$$\boldsymbol{Q_{xx}^i} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{Q_{ee}^i} & \boldsymbol{Q_{eb}^i} \\ \dots & \dots \\ \boldsymbol{Q_{be}^i} & \boldsymbol{Q_{bb}^i} \end{bmatrix} \tag{4.15}$$

ile tanımlanır.

Global doğruluk testi ile Jeodezik ağın eşlenik noktalardan oluşan kısmında deformasyon olup olmadığına karar verilir (Doğanalp ve Turgut, 2009).

4.3.4.4 Ortalama aykırılık yöntemi ile deformasyon analizi

Bu yöntemde noktalar sabit (ağ) noktalar ve obje noktaları olarak sınıflandırmaya tabi tutulurlar. Gerçekleşmesi muhtemel hareketlerle ilgili sağlıklı bir analiz yapılabilmesi; kullanılan ağda, konum noktaları için en az iki, yükseklik noktaları için en az bir noktanın sabit olmasına bağlıdır. Ortalama aykırılık yönteminde, referans ve yineleme peryotlarındaki $\mathbf{L_1}$ ve $\mathbf{L_2}$ ölçü vektörlerinin yerine, normal dağılımlı x_1 ve x_2 koordinat vektörleri karşılaştırılır. Vektörün satır sayısı $\mathbf{Q_{xx}}$ kofaktör matrisinin satır sayısına eşitse $\mathbf{Q_{xx}}$ regüler bir matristir. Eşitliğin olmadığı durumda ise kofaktör matrisi singüler bir matristir. Farklı zamanlarda yapılan ölçülerin karşılaştırılması için

kullanılan ölçü aletleri ve ölçü yöntemleri de aynı olmalıdır. Ele alınan iki ölçünün karesel ortalama hatalarının (m_1 ve m_2) ortalaması alınarak,

$$\boldsymbol{m} = \sqrt{\frac{f_1 m_1^2 + f_2 m_2^2}{f_1 + f_2}} \tag{4.16}$$

hesaplanır.

Deformasyon vektörü yardımıyla, sabit olarak alınan noktaların sabit kalıp kalmadıkları kontrol edilir. Deformasyon vektörü;

$$\boldsymbol{d} = \boldsymbol{x_2} - \boldsymbol{x_1} \tag{4.17}$$

eşitliği ile elde edilir. Vektörün kofaktör matrisi;

$$\boldsymbol{Q_d} = \boldsymbol{Q_1} + \boldsymbol{Q_2} \tag{4.18}$$

ve ağırlığı;

$$\boldsymbol{P_d} = \boldsymbol{Q_d^{-1}} = (\boldsymbol{Q_1} + \boldsymbol{Q_2})^{-1} \tag{4.19}$$

Kontrol sonucunda sabit noktalarda değişiklik olmadığı anlaşılırsa aykırılığın ölçüm hatalarından kaynaklandığı varsayılır. Bu durumda d vektörününün ümit değeri sıfıra eşittir. Sıfır hipotezi geçerli ise bu durumda;

$$\boldsymbol{F} = \frac{\boldsymbol{d^T P_d d}}{\boldsymbol{h m^2}} = \frac{\frac{\boldsymbol{d^T P_d d}}{\boldsymbol{h}}}{\boldsymbol{m^2}} = \frac{\boldsymbol{\theta^2}}{\boldsymbol{m^2}} \tag{4.20}$$

değeri ortaya çıkar. Burada;

$$\boldsymbol{\theta^2} = \frac{\boldsymbol{d^T P_d d}}{\boldsymbol{h}} \tag{4.21}$$

Herhangi bir noktada deformasyonun varlığının belirlenmesi için sıfır hipotezi uygulanır. Eğer sıfır hipotezi geçerli ise deformasyon meydana gelmiştir.

$$\boldsymbol{F} = \frac{\boldsymbol{\theta^2}}{\boldsymbol{m^2}} \approx \boldsymbol{F_{h,f,1-\alpha}} \tag{4.22}$$

dağılımına uyduğu için,

$$\boldsymbol{P\left(F \leq F_{h,f,1-\alpha} I H_0\right) = 1 - \alpha} \tag{4.23}$$

bağlantısı geçerli olacaktır. Test büyüklüğü F dağılımı tablo değerinden küçük veya eşit ise deforrmasyon yok kabul edilir. Aksi durumda deformasyonun varlığından söz edilebilir.

Bu çalışmada da uygulandığı gibi, deformasyon analizi yapılırken çift periyot karşılaştırması yapabilmek için öncelikle her iki periyodun aynı bir küme içinde değerlendirilip değerlendirilemeyeceği stokastik model testi uygulanarak değerlendirilir.

Bunun için yukarıda anlatılan jeodezik yöntemler yardımıyla, referans noktalarından obje noktalarına farklı zamanlarda yapılan gözlemeler kendi içinde dengelenir. Dengeleme sonucunda her bir periyot için birim ölçünün karesel ortalama hatası ayrı ayrı hesaplanır. m_1 ve m_s, ilk ve son periyot dengelemeye ait birim ölçünün karesel ortalama hatası olmak üzere, 0,05 hata payı ile Fisher dağılımına göre test büyüklüğü (***f***) ise;

$$\boldsymbol{f = \frac{m_1^2}{m_2^2}} \tag{4.24}$$

ile elde edilir. F, tablo değeri olmak üzere nirengi ağı için $f_N<F_N$ ve tüm ağ için $f_T<F_T$ hesaplanır ve karşılaştırılan iki periyodun aynı kümede değerlendirilip değerlendirilemeyeceğine karar verilir. Test sonuçlarına göre çift periyot analizi yapılabileceğine karar verildiği takdirde; hareket vektörlerinin bileşenleri(**d_y, d_x, d_H ve t_i**) bilgiler yardımıyla her noktadaki bileşke hareket vektörleri ve doğrulukları;

$$\boldsymbol{dP_i = \sqrt{\left(d_y^2 + d_x^2\right)}\,, \qquad m_{dP_i} = \sqrt{\left(m_1^2 + m_2^2\right)}} \tag{4.25}$$

$$\boldsymbol{dH_i = \left(H_i - H_1\right)\,, \qquad m_{dH_i} = \sqrt{\left(m_1^2 + m_2^2\right)}} \tag{4.26}$$

eşitlikleri yardımıyla hesaplanır. Bileşke vektörün sonuçlar açısından anlamlı olup olmadığına ise; $T_i = 2.5 * 2^{1/2} * m_{dPi}$ test büyüklüğüne göre (Hoover, W.,E.,1984),

$$\boldsymbol{dP_i \geq T_i \;\; ; \;\; dP_i \geq 2,5 * \sqrt{2} * m_{dP_i}} \tag{4.27}$$

anlamlılık testi ile karar verilir.

Obje noktalarındaki düşey hareketin (d_{Hi}) anlamlı olup olmadığına da yine aynı metotla

$T_{dHi} = 2,5 * (2)^{0.5} * m_{dHi}$ test büyüklüğüne göre,

$$\boldsymbol{dH_i \geq 2,5 * \sqrt{2} * m_{dH_i}} \tag{4.28}$$

anlamlılık testi ile karar verilir.

Bileşke hareket vektörleri kullanılarak baraj gövdesine dik doğrultudaki (radyal) hareket ise;

$$\boldsymbol{dR_i = dp_i * \cos t_i} \tag{4.29}$$

eşitliği ile elde edilir. Radyal hareketin anlamlı olup olmadığına da yine benzer olarak,

$$\boldsymbol{dR_i \geq 2,5 * \sqrt{2} * m_{dP_i}} \tag{4.30}$$

anlamlılık testi ile karar verilmektedir.

Bu çalışmada, *Atatürk Barajı Jeodezik Yöntemle Deformasyon İzleme Çalışmaları* kapsamında yapılmakta olan izlemelerden 2006 ve 2018 yılları deformasyon ölçme sonuçları değerlendirilmiş ve yaklaşık 12 yıllık sürede baraj gövdesindeki deformasyon noktalarında (obje noktalarında) gerçekleşen yatay-düşey yer değişimleri (deformasyonlar) analiz edilmeye çalışılmıştır. Bu kapsamda, ilk ve son periyot ölçüleri ayrı ayrı analiz edilerek bu iki periyot ölçü kümesinin aynı bir küme altında değerlendirilip değerlendirilemeyeceğini test etmek üzere (4.24) eşitliğine göre çift periyot analizi uygulanmış ve bu iki ayrı periyot ölçü kümesinin aynı bir küme altında değerlendirilebileceği anlaşıldıktan sonra fark vektörleri hesaplanmıştır. Daha sonra, (4.25), …(4.30) eşitlikleri kullanılarak anlamlı yatay-düşey yer değiştirmeleri (deformasyonlar) belirlenmeye çalışılmıştır. Elde edilen bu fark vektörleri, farklı yazılım ve yöntemler kullanılarak görselleştirilmeye çalışılmıştır.

5. TATÜRK BARAJINDA DEFORMASYON İZLEME ÇALIŞMALARI VE SON 12 YILLIK DEFORMASYON SONUÇLARININ ANALİZİ

Baraj yapılarında gerçekleşen zamana bağlı geometrik değişimler Bölüm 4'te açıklanan bir dizi metot yardımıyla belirlenir ve yüzey üzerinde önceden belirlenen obje noktalarının hareket vektörleri olarak raporlanır. Temelinde nokta bazlı olan bu sonuçlar grafik ve istatistiksel olarak yorumlanıp deformasyon davranışının niteliği ve seyri belirlenmeye çalışılır. Elde edilen sonuçlar ise olumsuz bir durum ortaya çıktığında alınacak güvenlik önlemlerinin niteliğini ve barajın işletme aşamasında yürütülecek çalışmaların seyrini belirler.

Bu çalışmanın Amacı: Atatürk Barajı'nın gövdesinde 2006-2018 yılları arasında meydana gelen geometrik değişimlerin farklı analiz programları (ANSYS ve SURFER, EXCEL) yardımıyla analiz edilerek görselleştirilmesi ve hem nokta bazlı vektörel olarak, hem de alan bazlı olarak tüm gövde yüzeyindeki karşılıklarının renk skalasıyla ifadelendirilmesi amaçlanmıştır.

5.1 Atatürk Barajı ve Özellikleri

Adıyaman ve Şanlıurfa sınırları içerisinde, Fırat Nehri üzerinde kurulu olan ve Karakaya Barajı'ndan 180 km mansabında bulunan Atatürk Barajı; GAP Projesi kapsamında inşa edilmiştir. İnşasına 1983 yılında başlanmış ve inşaat çalışmaları 1992 yılında tamamlanarak faaliyete geçmiştir. Atatürk Barajı, hem sulama, hem içme suyu, hem de enerji üretimi amacıyla hizmet vermektedir.

5.1.1 Genel özellikleri

- Gövde yükseliği 169 m olan baraj 8 adet türbine sahiptir. Gövde hacmi 84,5 milyon m^3 olan Atatürk Barajı'nın dış yüzeyi kaya içi kil ve topraktır.
- Toplam su depolama hacmi 48,7 milyar m^3 olan baraj, kaya dolgu baraj sınıfına girer.

- Gövdedeki minimum su kotu 513 m, ideal işletme su kotu 526 m, maksimum su kotu ise 542 m dir. Kret uzunluğu 1644m ve kret genişliği 15 m olan baraj; gövde hacmi bakımından Dünya'nın en büyük barajları arasındadır.
- Avrupa'nın ve Türkiye'nin en büyük barajı olan Atatürk Barajı, tasarımından inşasına kadar tamamıyla Türk işçi ve mühendislerinin emeği ile inşa edilmiştir.
- 2400 MW kurulu gücüyle yıllık 8900 GW/h elektrik enerjisi üretim kapasitesine sahip olan Atatürk Barajı, aynı zamanda Türkiye'deki hidroelektrik santralların ürettiği enejinin önemli bir yüzdesini tek başına karşılayabilecek bir Hidroelektrik santrala sahiptir.
- Aynı zamanda, Şanlıurfa şehrinin içme ve kullanma suyunu karşılayan Atatürk Barajının suyu; Şanlıurfa tünelleri ve pompaj istasyonları ile Harran Ovasına ulaştırılmakta ve yaklaşık 900000 hektarlık bir tarım alanının da sulanması sağlanmaktadır.

5.2 Atatürk Barajında JeodezikYöntemlerle Deformasyonların İzlenmesi

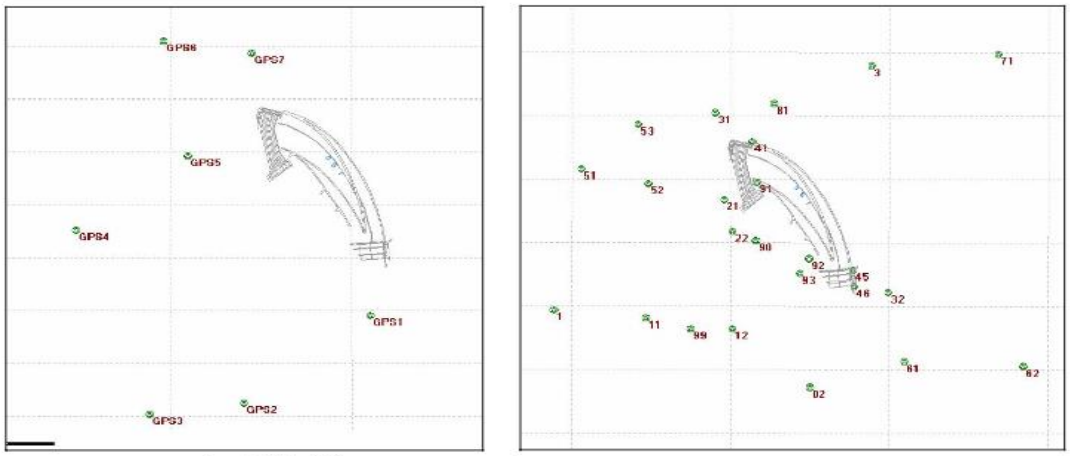
Büyük baraj sınıfına giren tüm barajlarda olduğu gibi Atatürk barajında da zamanla ortaya çıkabilecek değişimleri belirlemek ve gerekli önlemleri almak amacıya deformasyon izleme çalışmaları başlatılmış; hem jeodezik olmayan yapısal sistemler, hem de jeodezik ağlar yardımıyla bu çalışmalar, inşasından günümüze kadar devam etmiştir (Bilgi, 2006). Barajın, deformasyonun en çok beklendiği kısımlarına ölçme noktaları ve çeşitli izleme sistemleri yerleştirilmiş; baraj gövdesi ve çevresinin geometrik değişimleri ve bir kısım fiziksel parametrelerindeki değişimler belirlenmeye çalışılmıştır. Konum bazlı ölçmelerin yanında; boşluk suyu basıncı, sıcaklık, eğim, deplasman, gerilme, çatlak ölçmeleri yapılmaktadır (Kalkan, 2007).

5.2.1 Ölçme öncesinde yürütülen çalışmalar

Jeodezik temelli ölçmeler öncesinde;

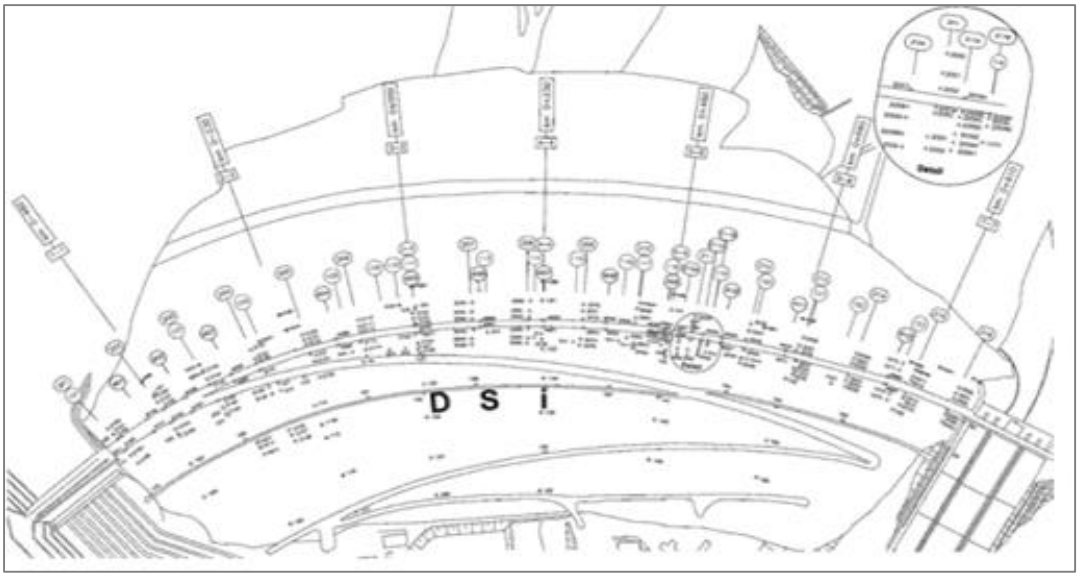
- Öncelikli olarak; Bölüm 4' te anlatıldığı şekilde Jeodezik Kontrol ağları oluşturulmuştur. Bu amaçla, hareket beklenmeyen sağlam zeminli bölgeleri içine alan 32 noktalı bir referans ağı oluşturulmuştur. Bu 32 noktalı referans ağının 7 adedi, sadece GNSS ölmesi yapılabilecek şekilde ağın en dışında 7 km x 9 km'lik bir alana dağılmış şekilde tesis edilmiştir (Şekil 5.1-a). Bu noktalar,

hareket beklenmeyen sağlam zeminlerde seçilmiş ve küçük pilyeler şeklinde tesis edilmiştir. Bu referans ağının geri kalan 25 noktası, klasik açı-kenar ölçmelerine de imkan verecek şekilde baraj gövdesini ve yakın çevresini kuşatır vaziyette yaklaşık 4-5 km çapında bir alan içinde konumlandırılmıştır (Şekil 5.1-b). Bu noktalar da yine sağlam zeminlerde ve büyük pilyeler şeklinde tesis edilmişlerdir.



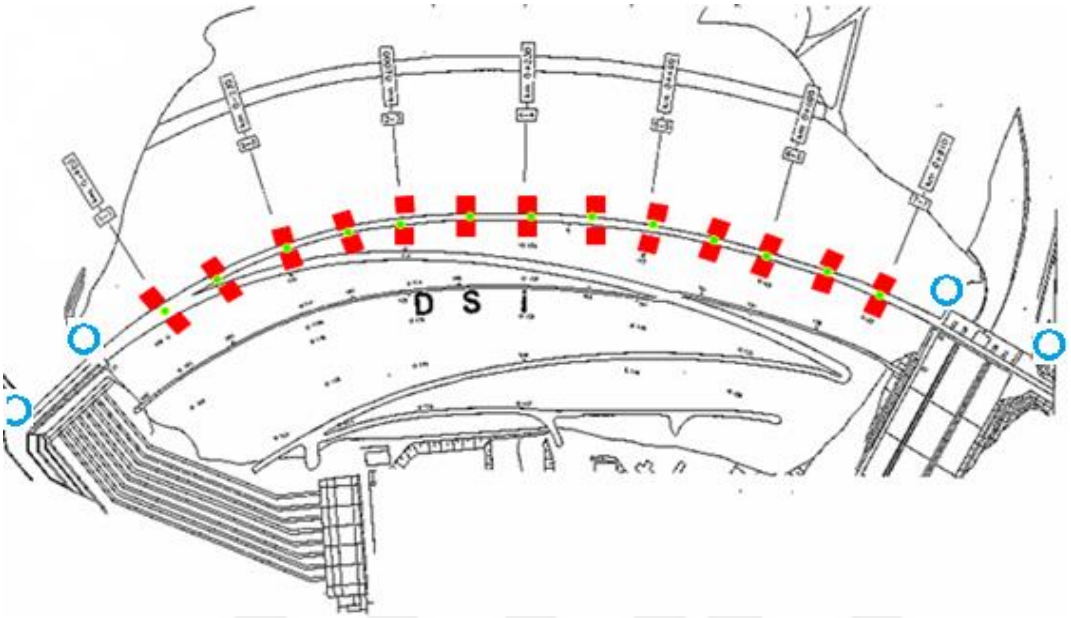
Şekil 5.1: GPS Ağı (a) ve Klasik Açı-Kenar Ağı (b)

- Baraj gövdesinde ve çevresinde yaklaşık 360 obje noktasından oluşan bir deformasyon ağı tesis edilmiştir. Bu ağın noklarının yaklaşık 200 den fazlası gövde üzerinde bulunmaktadır (Şekil 5.2).



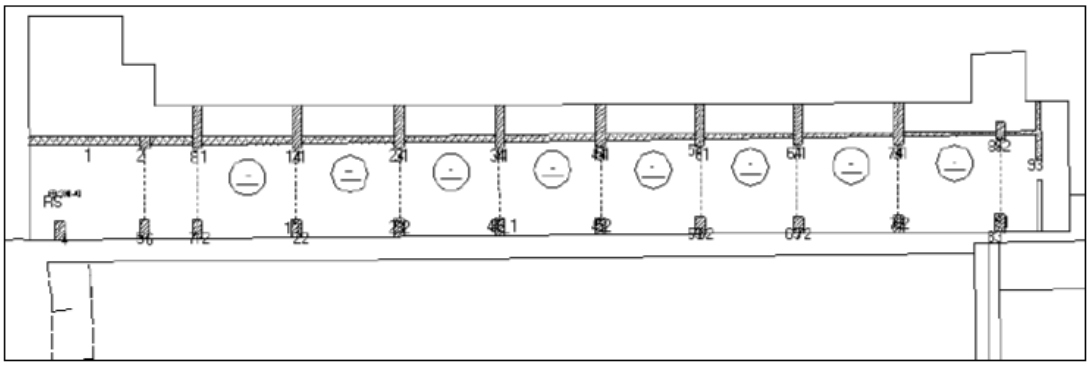
Şekil 5.2: Baraj gövdesi yüzeyindeki kesitler ve deformasyon noktaları

- Ayrıca, kret oturmalarının tespiti amacıyla kret üstünde ekseni boyunca 3 dizi halinde 36 adet nivelman noktası oluşturulmuştur. Bu noktalar arasındaki yükseklik farkları presizyonlu geometrik nivelman yöntemiyle aylık periyotta ölçülegelmiştir (Şekil 5.3).



Şekil 5.3: Baraj kreti eksenindeki nivelman ağı noktaları

- Bundan başka, santral binasındaki oturmaları izlemek üzere 40 adedi santral binası içinde 4 adeti bağlantı noktası olmak üzere 44 noktalı bir nivelman ağı da oluşturulmuştur. Bu ağ üzerindeki ölçmeler de önceleri altı aylık periyotlarda daha sonra bir yıllık periyotlarda olmak üzere yine presizyonlu nivelman tekniği ile yapılmaktadır (Şekil 5.4). Bu noktalar, santral binası içindeki taşıyıcı kolonlar üzerine tesis edilmişlerdir.



Şekil 5.4: Santral Binası içindeki Nivelman Noktaları

5.2.2 Klasik Açı-Kenar Ağı Ölçmeleri ve Değerlendirilmesi

Deformasyonun belirlenmesi aşamasında;

- 25 noktalı klasik nirengi ağının 13 noktasında alet kurularak ağın 18 noktası için açı ve kenar ölçmeleri yapılmıştır.
- Referans ağı ile obje noktalarını birbirine bağlamak için ise 9 adet nirengi noktasından baraj gövdesindeki 200 den fazla noktaya gözlem yapılmıştır.
- İncelenen periyotlardaki ölçüler; bölüm 4'te detaylı şekilde anlatılan dolaylı ölçüler dengeleme yöntemi ile dengelenmiş ve referns ağı için mm hassasiyette nokta konum doğrulukları elde edilmiştir.
- Gövde üzerindeki obje (deformasyon) noktaları için yatay doğruluk ve yükseklik doğruluğu ise, yine mm hassasiyette olup, tamamına yakını yaklaşık 1 cm'nin altında kalmıştır.
- Atatürk Barajı'nda yürütülen deformasyon izleme çalışmalarında, hassas klasik açı-kenar ölçme teknikleri yanında GNSS ölçmeleri de başarılı şekilde uygulanmıştır. Bu çalışmada, 32 noktalı Referans ağının 27 noktasında önceleri altı aylık, daha sonra bir yıllık periyotlarda Uydu konum bazlı yöntemle (GNSS) ölçmeler yapılmıştır.

Atatürk barajı için 2006 yılından 2018 yılına kadar toplam 13 periyot deformasyon ölçme çalışması gereçkleştirilmiş ve sonuçları karşılaştırılmıştır.

Çift periyot karşılaştırması yapabilmek için her iki periyodun (2006 ve 2018 yılları ölçmeleri) aynı bir küme içinde değerlendirilip değerlendirilemeyeceği (4.24) eşitliğine göre stokastik model testi uygulanarak test edilmiştir. Bu test işlemi, hem referans ağı hem de tüm ağ için ayrı ayrı uygulanmış ve F tablo değeri olmak üzere nirengi ağı için $f_N<F_N$ ve tüm ağ için $f_T<F_T$ olup olmadığına bakılmıştır.

Test sonuçlarına göre çift periyot analizi yapılabileceği anlaşılmış ve gözlenen periyotlar arası fark vektörleri ve bunlara ait doğruluk kriterleri hesaplanmıştır (DSİ, 2018). Referans ağı için hesaplanan bu değerler Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5.1: Referans Noktalarının Koordinatları, Yükseklikleri, Fark Vektörleri ve Bunların Doğrulukları

NİRENGİ NOKTALARININ KOORDİNATLARI, YÜKSEKLİKLERİ, FARK VEKTÖRLERİ ve BUNLARIN DOĞRULUKLARI BİRİNCİ PERİYOT(04-13 MAYIS 2006) ve ONÜÇÜNCÜ PERİYOT(22Kasım-03Aralık 2018)										
	KOORDİNAT ve KOOTLAR			HAREKET VEKTÖRLERİ			DOĞRULUKLARI			
Nokta Adı	Y (m)	X (m)	H (m)	dY cm	dX cm	dH cm	M_Y^F cm	M_X^F cm	M_H^F cm	Mp cm
3	640399.3112	251647.1087	581.2937	-0.01	-0.52	-1.07	0.17	0.16	0.42	0.23
11	638285.1148	249205.5509	546.0405	-1.04	-0.35	-1.83	0.14	0.13	0.30	0.19
12	639093.8319	249098.0014	554.0384	0.17	0.16	0.44	0.11	0.13	0.25	0.17
21	639015.9303	250354.5095	507.4392	0.32	0.20	-0.08	0.10	0.08	0.20	0.13
22	639103.6804	250039.9265	440.4727	0.36	-0.47	0.90	0.08	0.08	0.18	0.11
23	639589.7119	249259.6353	560.9113	-0.40	0.64	1.48	0.11	0.12	0.24	0.17
31	638938.5129	251191.7668	659.4452	-0.38	0.17	-2.89	0.18	0.19	0.46	0.27
32	640542.5329	249449.2568	579.9602	-0.16	0.14	1.82	0.11	0.13	0.23	0.17
41	639280.8784	250915.0658	556.1420	0.74	-0.27	0.35	0.10	0.10	0.23	0.14
45	640217.0180	249664.4141	556.1926	-0.23	0.48	0.72	0.10	0.08	0.19	0.13
46	640226.1274	249504.8944	550.5867	-0.65	0.17	1.18	0.09	0.09	0.19	0.13
52	638313.1731	250514.0252	721.2535	-0.57	-0.75	-2.34	0.12	0.12	0.30	0.17
81	639485.2393	251281.3531	585.6573	0.13	-0.87	-1.31	0.13	0.12	0.28	0.17
90	639318.9621	249949.5235	393.4810	1.96	0.02	-1.03	0.10	0.11	0.22	0.15
91	639317.1242	250517.9046	405.1588	0.50	-0.50	0.81	0.13	0.14	0.26	0.19
92	639809.4341	249778.2293	405.5105	-0.80	-0.34	1.93	0.56	0.50	1.22	0.76
93	639720.1797	249640.9286	442.7309	0.08	2.09	0.94	0.11	0.12	0.24	0.17

Obje ağı için ise hesaplananların yine bir bölümü Çizelge 5.2'de, tamamı ise, Ek 1'de verilmiştir.

Çizelge 5.2: Deformasyon(Obje) Noktalarının Koordinatları, Yükseklikleri, Fark Vektörleri ve Bunların Doğrulukları-1.

DEFORMASYON NOKTALARININ KOORDİNATLARI, YÜKSEKLİKLERİ, FARK VEKTÖRLERİ ve BUNLARIN DOĞRULUKLARI BİRİNCİ PERİYOT(04-13 MAYIS 2006) ve ONÜÇÜNCÜ PERİYOT(22Kasım-03Aralık 2018)										
	KOORDİNAT ve KOOTLAR			HAREKET VEKTÖRLERİ			DOĞRULUKLARI			
Nokta Adı	Y (m)	X (m)	H (m)	dY cm	dX cm	dH cm	M_Y^F cm	M_X^F cm	M_H^F cm	Mp cm
102	639391.1190	250832.7536	535.8736	-1.66	-6.47	-4.23	0.27	0.26	0.79	0.38
103	639354.1136	250780.8471	504.0086	-0.40	-2.78	-2.27	0.26	0.24	0.72	0.35
104	639312.0124	250723.5401	474.5702	-0.39	-2.01	-0.55	0.24	0.22	0.64	0.33
105	639355.9134	250563.0834	415.0419	-0.35	-0.28	0.48	0.20	0.21	0.55	0.29
113	639614.2404	250706.4192	538.1674	-9.49	-11.80	-6.10	0.18	0.20	0.52	0.26
114	639577.8283	250658.4451	505.9122	-6.58	-8.41	-7.53	0.18	0.19	0.50	0.26
115	639536.4260	250604.4819	473.5532	-3.21	-3.40	-2.93	0.24	0.25	0.71	0.34
116	639490.6177	250538.3991	437.0294	-0.49	-0.66	-0.37	0.21	0.24	0.64	0.32
117	639442.7161	250477.4923	407.8598	0.05	-0.04	-0.35	0.23	0.30	0.72	0.37
123	639771.8722	250557.1079	529.2449	-11.74	-10.59	-6.13	0.27	0.29	0.86	0.39
124	639724.6396	250517.5720	505.2132	-8.20	-7.12	-7.84	0.21	0.22	0.63	0.30
125	639709.4590	250506.7869	498.1475	-7.20	-6.12	-6.84	0.20	0.21	0.62	0.29
126	639672.6628	250475.4227	472.4416	-3.72	-3.31	-3.48	0.20	0.21	0.60	0.29
127	639609.8050	250424.1822	436.3170	-1.20	-0.26	-0.31	0.22	0.25	0.68	0.33
128	639552.6445	250374.0775	406.5112	-0.56	-0.01	-0.11	0.20	0.23	0.62	0.31
133	639903.8887	250378.3643	526.3610	-14.59	-9.20	-6.17	0.23	0.24	0.73	0.34
134	639855.9960	250343.8029	506.5813	-9.72	-6.93	-6.81	0.23	0.23	0.71	0.32
135	639797.0815	250309.2312	472.9574	-5.05	-2.65	-3.92	0.22	0.23	0.67	0.31
136	639734.4337	250258.6099	438.1143	-0.84	-0.19	-0.12	0.21	0.22	0.64	0.30
137	639664.8247	250223.2124	406.2623	-0.91	-0.15	0.52	0.21	0.24	0.67	0.32
143	640015.1365	250184.2766	527.3581	-14.83	-6.31	-6.15	0.25	0.24	0.75	0.34
144	639941.4956	250149.6009	497.1977	-6.87	-3.53	-6.42	0.23	0.23	0.72	0.33
145	639899.3533	250129.5311	473.5279	-3.51	-1.76	-4.29	0.23	0.23	0.70	0.32
146	639826.7534	250093.7106	441.7391	-0.75	0.00	0.05	0.22	0.23	0.67	0.31
153	640100.6969	249978.1236	527.7730	-11.82	-3.18	-5.61	0.33	0.33	1.08	0.47
154	640044.5397	249959.8917	498.5044	-5.63	-2.41	-4.29	0.23	0.21	0.65	0.31
155	639978.6321	249937.3616	473.7815	-1.52	-1.48	-2.30	0.23	0.21	0.64	0.31
156	639906.8581	249911.3152	443.7767	-1.40	0.33	0.89	0.22	0.22	0.64	0.31
162	640158.6049	249781.9887	528.2036	-1.10	0.69	-0.24	0.22	0.14	0.45	0.27
170	639259.9133	250806.0209	502.1586	-0.33	-1.08	1.42	0.32	0.28	0.82	0.42
171	639285.3928	250895.9701	546.6324	-1.00	-2.74	0.81	0.28	0.26	0.80	0.38
180	639294.1615	250932.4307	546.4194	-0.15	0.04	0.01	0.28	0.23	0.64	0.36
190	639450.2330	250726.7224	500.0404	-3.07	-3.25	-3.92	0.25	0.25	0.73	0.36
191	639644.9171	250587.7645	499.5154	-6.66	-6.60	-5.00	0.19	0.20	0.57	0.28
192	639776.1835	250438.3252	499.4643	-7.85	-6.71	-6.57	0.21	0.22	0.66	0.31
193	639908.9055	250234.9729	500.0266	-7.17	-3.73	-5.58	0.23	0.23	0.72	0.33
194	640019.2900	250052.9047	501.0096	-7.88	-3.02	-4.90	0.26	0.24	0.75	0.36
195	640091.0832	249844.2159	502.0364	-2.11	0.40	-2.01	0.22	0.18	0.54	0.28
801	639308.2849	250895.8418	548.3252	0.17	-2.78	-2.46	0.09	0.13	0.06	0.16
830	639479.8177	250794.8127	539.4779	-4.11	-8.73	-5.52	0.13	0.17	0.35	0.22
831	639472.4810	250779.5101	530.2899	-5.41	-9.49	-5.86	0.14	0.16	0.35	0.22

Daha sonra, obje noktalarında meydana gelen yatay konum değişimlerinin bileşenlerinden (**d_y, d_x**), 4.25 eşitliğine göre, bileşke fark vektörleri (**dP_i**) ve doğruluk değerleri,

$$dP_i = \sqrt{\left(d_{y_i}^2 + d_{x_i}^2\right)}\,; \qquad M_{dP_i} = \sqrt{\left(m_1^2 + m_2^2\right)}$$

eşitlikleri yardımıyla ve

$$t_i = \cot\left(\frac{d_{y_i}}{d_{x_i}}\right)$$

eşitlği ile vektörlerin t_i açıklık açıları hesaplanmıştır. Ayrıca, bu fark vektörlerinin baraj eksenine dik doğrultudaki bileşenlerinin yaklaşık açıklık açısı ($\mathbf{t_i}'$) hesaplandıktan sonra, 4.29 eşitliğine göre fark vektörlerinin radyal bileşenleri ($\mathbf{dR_i}$),

$$dR_i = dP_i * \cos t_i$$

eşitliğinden hesaplanmıştır. Ayrıca, bu bilgiler yardımıyla her noktadaki. obje noktaları için belirlenmiş olan bu farkların anlamlı hareket olup olmadığını test etmek üzere anlamlılık testi uygulanmış ve test büyüklüğü olarak (Hoover, W.,E.,1984); konum fark vektörleri ve radyal bileşenleri için 4.27 ve 4.28 eşitliklerinden;

$$T_{dP_i} = 2,5 * \sqrt{2} * M_{dP_i}$$

ve yükseklik farkları için,

$$T_{dH_i} = 2,5 * \sqrt{2} * M_{dH_i}$$

eşitliklerinden elde edilen test büyüklükleri kullanılmış, konum ve yükseklikler için ($\mathbf{dP_i > T_{dPi}}$), ($\mathbf{dR_i > T_{dPi}}$) ve ($\mathbf{dH_i > T_{dHi}}$) anlamlı sayılabilecek farklar belirlenmeye çalışılmış ve tüm sonuçların küçük bir bölümü Çizelge 5.3'de ve tamamı ise Ek 2'de verilmiştir.

Bilindiği gibi barajlarda gövde şekli daire yayı biçiminde inşaa edilmektedir. Bu noktada memba tarafındaki suyun gövdeye uyguladığı kuvvetin neden olduğu deformasyonun gövdenin her noktasına dik doğrultuda olması beklenir. Bu sebeple bileşke hareket vektörlerinin radyal bileşenleri de hesaplanarak bir kısmı Çizelge 5.3' te; tamamı ise ekler kısmında verilmiştir. Bu değerler kullanılarak deformasyon analizi bunlar üzerinden de yapılmaya çalışılmıştır (DSİ, 2018).

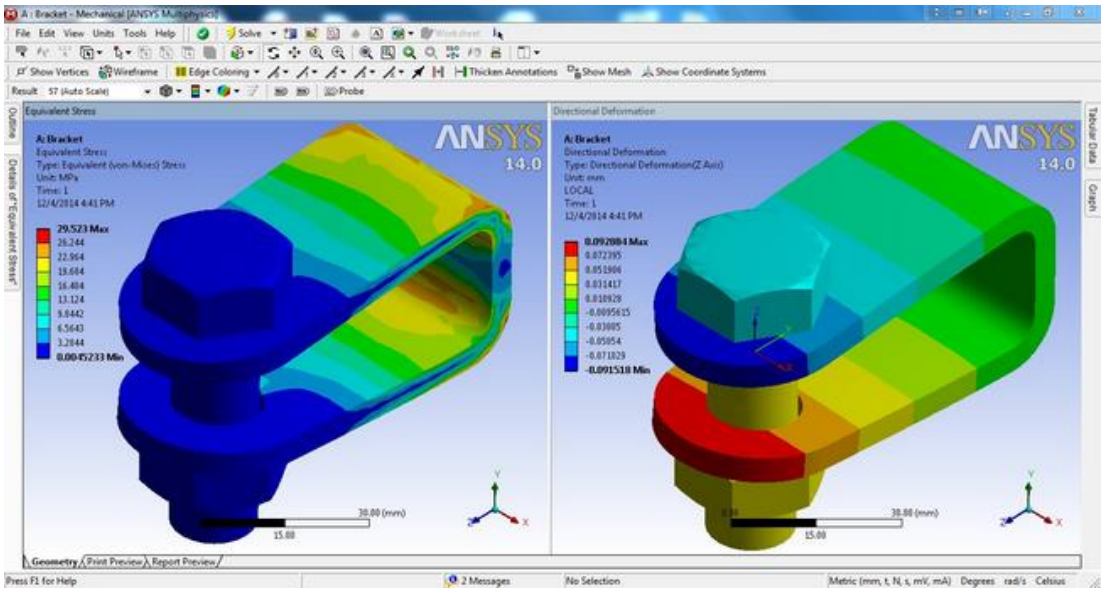
Çizelge 5.3: 13. Periyot Fark Vektörleri İçin Anlamlılık Testi

13. PERİYOT HESAPLANAN FARK VEKTÖRLERİ İÇİN ANLAMLILIK TESTİ															
Nokta Adı	dY_i (cm)	dX_i (cm)	dP_i (cm)	Mp_i (cm)	dH_i (cm)	Md_H cm	D_H cm	dH_i dm	dR_i dm	Açıklık t_i (grad)	Sabit Açıklık t_{si}	Fark $t_i - t_{si}$ (grad)	Açıklık Açısı (grad)	Radial dR_i (cm)	Test T_i (cm)
102	-1.66	-6.47	**6.68**	0.38	**-4.23**	0.79	2.79	-0.42	0.66	215.951	228.00	-12.05	387.951	**6.56**	1.33
103	-0.40	-2.78	**2.80**	0.35	-2.27	0.72	2.55	-0.23	0.27	209.183	228.00	-18.82	381.183	**2.68**	1.25
104	-0.39	-2.01	**2.05**	0.33	-0.55	0.64	2.27	-0.06	0.20	212.329	228.00	-15.67	384.329	**1.99**	1.15
105	-0.35	-0.28	0.45	0.29	0.48	0.55	1.93	0.05	0.04	257.253	215.00	42.25	42.253	0.35	1.01
113	-9.49	-11.80	**15.14**	0.26	**-6.10**	0.52	1.83	-0.61	1.51	243.133	238.00	5.13	5.133	**15.09**	0.94
114	-6.58	-8.41	**10.68**	0.26	**-7.53**	0.50	1.78	-0.75	1.07	242.298	238.00	4.30	4.298	**10.65**	0.90
115	-3.21	-3.40	**4.67**	0.34	**-2.93**	0.71	2.51	-0.29	0.46	248.126	238.00	10.13	10.126	**4.61**	1.22
116	-0.49	-0.66	0.82	0.32	-0.37	0.64	2.25	-0.04	0.08	240.815	238.00	2.82	2.815	0.82	1.12
117	0.05	-0.04	0.07	0.37	-0.35	0.72	2.54	-0.04	0.00	137.582	238.00	-100.42	299.582	0.00	1.33
123	-11.74	-10.59	**15.81**	0.39	**-6.13**	0.86	3.05	-0.61	1.58	253.257	252.00	1.26	1.257	**15.81**	1.39
124	-8.20	-7.12	**10.86**	0.30	**-7.84**	0.63	2.23	-0.78	1.09	254.502	252.00	2.50	2.502	**10.85**	1.05
125	-7.20	-6.12	**9.45**	0.29	**-6.84**	0.62	2.19	-0.68	0.94	255.110	252.00	3.11	3.110	**9.44**	1.04
126	-3.72	-3.31	**4.97**	0.29	**-3.48**	0.60	2.12	-0.35	0.50	253.733	252.00	1.73	1.733	**4.97**	1.01
127	-1.20	-0.26	**1.23**	0.33	-0.31	0.68	2.41	-0.03	0.11	286.380	252.00	34.38	34.380	1.05	1.17
128	-0.56	-0.01	0.56	0.31	-0.11	0.62	2.19	-0.01	0.04	299.293	252.00	47.29	47.293	0.41	1.08
133	-14.59	-9.20	**17.24**	0.34	**-6.17**	0.73	2.60	-0.62	1.72	264.183	267.00	-2.82	397.183	**17.23**	1.18
134	-9.72	-6.93	**11.93**	0.32	**-6.81**	0.71	2.50	-0.68	1.19	260.562	267.00	-6.44	393.562	**11.87**	1.15
135	-5.05	-2.65	**5.70**	0.31	**-3.92**	0.67	2.38	-0.39	0.57	269.230	267.00	2.23	2.230	**5.70**	1.11
136	-0.84	-0.19	0.86	0.30	-0.12	0.64	2.26	-0.01	0.08	285.641	267.00	18.64	18.641	0.83	1.07
137	-0.91	-0.15	0.92	0.32	0.52	0.67	2.37	0.05	0.09	289.584	267.00	22.58	22.584	0.86	1.14
143	-14.83	-6.31	**16.11**	0.34	**-6.15**	0.75	2.64	-0.62	1.61	274.375	271.00	3.38	3.375	**16.09**	1.21
144	-6.87	-3.53	**7.72**	0.33	**-6.42**	0.72	2.53	-0.64	0.77	269.773	271.00	-1.23	398.773	**7.72**	1.16
145	-3.51	-1.76	**3.93**	0.32	**-4.29**	0.70	2.47	-0.43	0.39	270.446	271.00	-0.55	399.446	**3.93**	1.14
146	-0.75	0.00	0.75	0.31	0.05	0.67	2.38	0.01	0.07	300.158	271.00	29.16	29.158	0.67	1.11
153	-11.82	-3.18	**12.24**	0.47	**-5.61**	1.08	3.83	-0.56	1.21	283.264	274.00	9.26	9.264	**12.11**	1.67
154	-5.63	-2.41	**6.12**	0.31	**-4.29**	0.65	2.28	-0.43	0.61	274.203	274.00	0.20	0.203	**6.12**	1.11
155	-1.52	-1.48	**2.12**	0.31	**-2.30**	0.64	2.27	-0.23	0.20	250.782	274.00	-23.22	376.782	**1.98**	1.09

5.3 Analiz İçin Kullanılan Diğer Programlar

Yukarıdaki açıklanan işlem adımları uygulanarak Atatürk Barajı'nda 2006-2018 yılları arasında meydana gelen konum ve yükseklik değişimleri tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar istatistiksel açıdan anlamlı olup konuyla ilgili bilgisi olanlar için anlaşılır niteliktedir. Bununla birlikte; farklı disiplinlerle bilgi paylaşımı söz konusu olduğunda sonuçların görsel olarak daha anlaşılır hale getirilmesi noktasında ilave grafik analizlere de ihtiyaç duyulabilmektedir. Deformasyonun obje üzerindeki etkisini görsel olarak modelleme, grafik ve enterpolasyon kabiliyeti olan farklı bilgisayar programları yardımıyla yapılabilmektedir. Bu çalışmamızda Microsoft EXCEL, ANSYS Workbench ve SURFER programları kullanılmıştır. Üç farklı programın kullanılmasındaki amaç elde edilen grafik sonuçların karşılaştırılmasıdır.

ANSYS 2019.R2: ANSYS programı; karmaşık mühendislik çalışmalarında yapısal analiz ve simülasyonlara olanak tanıyan bilgisayar destekli bir analiz programıdır. Sahip olduğu karmaşık ama esnek yapısı ANSYS programı sayesinde; mekanik, yapısal analiz, hesaplamalı akışkanlar dinamiği ve ısı transferi gibi farklı konularda çalışmalar yapılabilmektedir (Şekil 5.5).



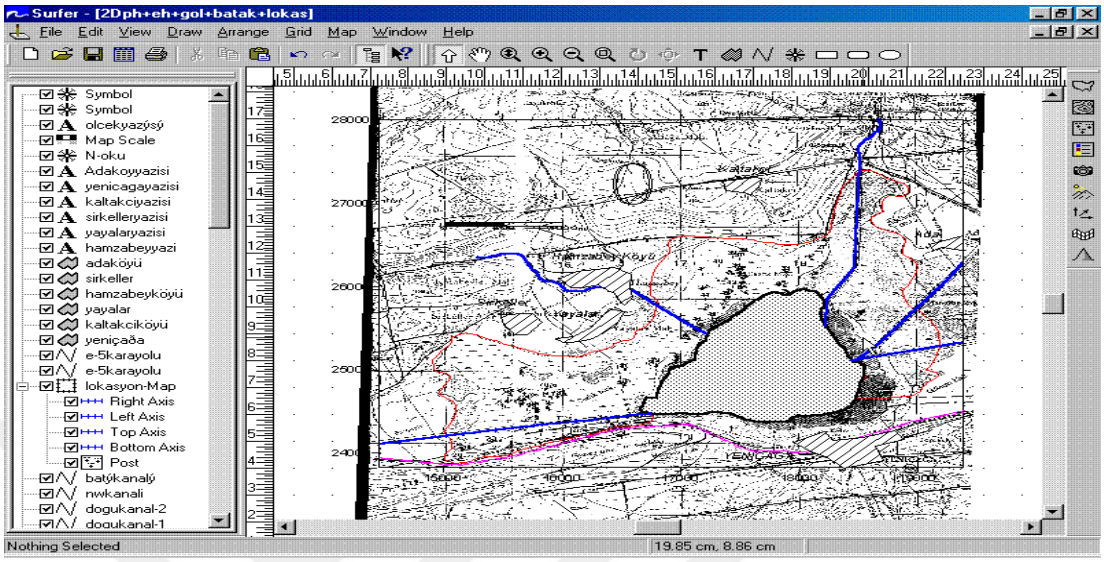
Şekil 5.5: ANSYS Workbench Programından Örnek Bir Görsel

1970 yılında geliştirilmeye başlayan ve analiz için kullanılan programların başında gelen ve temelde *Sonlu Elemanlar Yöntemi*'ni kullanan ANSYS programının farklı mühendislik çalışmaları için üretilmiş farklı bileşenleri bulunmaktadır.

Sonlu Elemanlar Yöntemi: Sonlu elemanlar metodu, farklı disiplinlerdeki kompleks mühendislik problemlerinin matematiksel olarak daha kolay ifade edilebilmesi ve çözülebilmesi amacıyla geliştirilmiş bir yöntemdir. Temel yaklaşımı; herhangi bir sürekli büyüklüğün küçük ve süreksiz parçaların birleşmesi ile oluşan bir model olarak ele alınmasıdır. Bu yöntemde yapı veya büyüklük, davranışı önceden matematiksel olarak belirlenmiş daha küçük parçalara ayrılır. Bu parçalar "düğüm" olarak adlandırılan bağlantı noktaları yardımıyla birleştirilerek denklem takımları elde edilir (Kaplan, 2013). Sonlu elemanlar yönteminde seçilen elemanlar, problemin yapısına en uygun biçimde seçilmelidir. Sürekliliğin çok fazla değiştiği yerlerde ifade elemanları daha küçük seçilmelidir. Ayırma işleminden sonra, probleme uygun bir indirgeme fonksiyonu belirlenir. Fonksiyonun modeli ifade etmedeki yakınlığı, çözümün de aynı oranda doğru sonuç vermesini sağlar.

SURFER: Golden Software firması tarafından geliştirilen ve daha çok Jeoloji Mühendisliği tarafından tercih edilen bir programdır. Çok sayıda özelliğe sahip bir çizim programı olan SURFER koordinatı bilinen noktalardan 3 boyutlu yüzeyler oluşturabilen bir programdır. Bununla birlikte fazla kullanılmaması programın bilinirliğini olumsuz yönde etkilemektedir.

KRIGING olarak bilinen matrisleme matematiğini kullanarak bir haritayı 3-D (3-BOYUTLU) olarak ve istendiğinde de döndürmek suretiyle düşey ölçeği kullanarak sunan bir programdir (Şekil 5.6).



Şekil 5.6: SURFER Programından Örnek Bir Görsel

Microsoft EXCEL: Birçok sektörde yaygın bir kullanım alanına ve sıklığına sahip excel Microsoft firması tarafından geliştirilmiş bir tablo-grafik yazılımıdır. İlk başta Word, Excel, Powerpoint, Access ve Outlook programlarını ayrı programlar olarak üretip piyasaya süren firma, 1995 yılından itibaren bu yazılımları bir paket içinde birleştirip 'Ofis 95' ismiyle kullanıcılarına sunmuştur. İlerleyen yıllarda çeşitli versiyon güncellemeleri yaparak bu programları bilgiayar kullanıcılarına ulaştırmaya devam etmiştir (Sarı, t.y.).

"Ne görürsen onu alırsın" mantığında çalışan MS-Excel, sahip olduğu matematik altyapının yanında grafik ve istatistik yetenekler ile farklı disiplinlerdeki kullanıcılara çeşitli işlemleri tek bir platform üzerinde gerçekleştirme imkanı sunar (Şekil 5.7) (Sarı, t.y.). Excel' de yapılabilecek işlemler aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- Tablolar
- Veri Tabanları
- Grafikler
- Makrolar

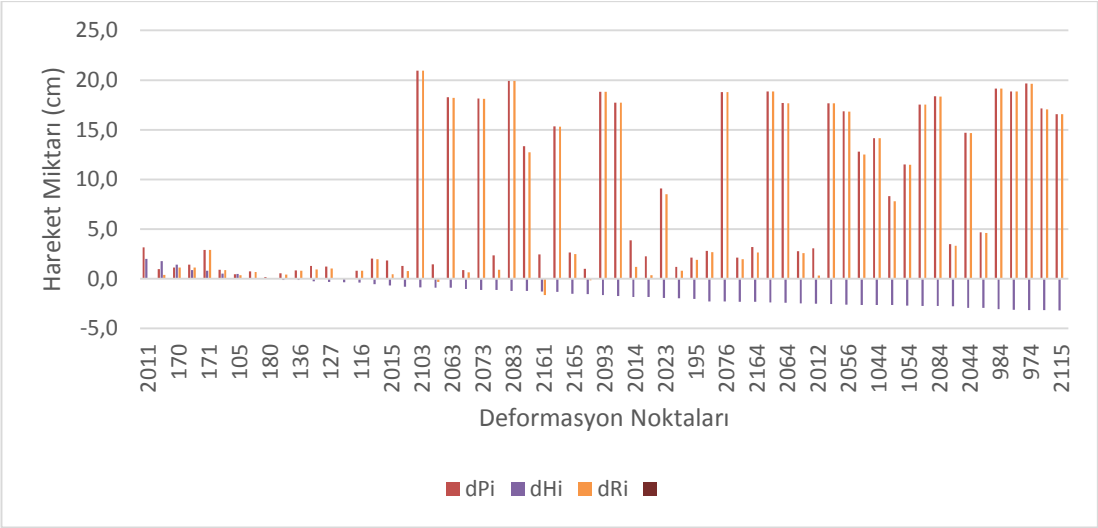


Şekil 5.7: Microsoft Excel Programından Örnek Bir Görsel

Kontrol ağlarında gerçekleştirilen jeodezik ölçmelerin dengelenmesi ile elde edilen hareket vektörleri deformasyonun belirlenmesinde önemli bir yer tutar. Bu bölümde hareket vektörleri analiz edilerek barajı gövdesi ve çevresinde meydana gelen değişimlerin, amaca yönelik farklı sonuçları elde edilmeye çalışılmıştır.

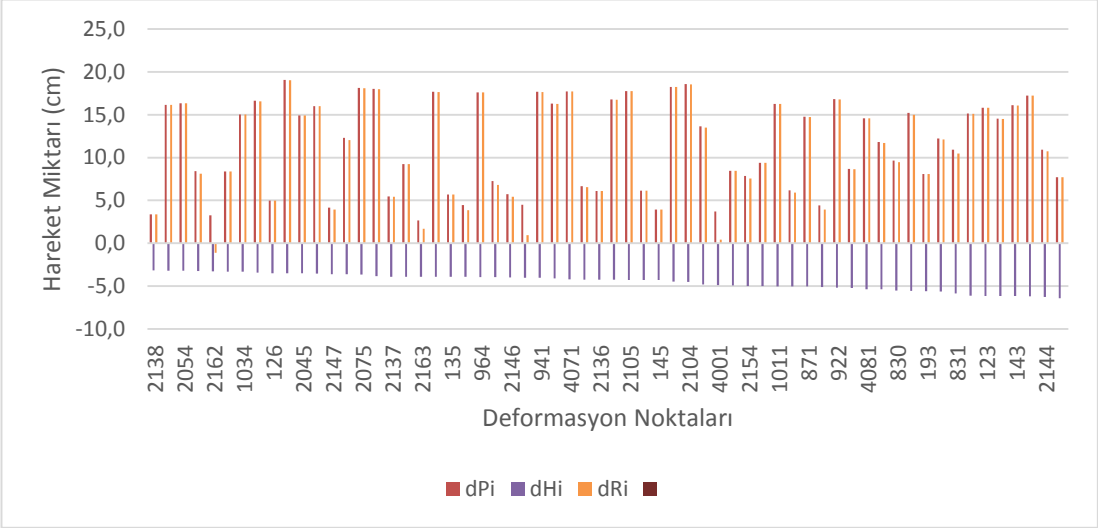
Bu noktada Microsoft EXCEL programı kullanılarak hareket vektörleri irdelenmiş;

- Kontrol ağındaki noktalar, yüksekliklerine göre küçükten büyüğe sıralanmış ve alt kotlardan üst kotlara doğru kontrol ağındaki tüm noktalarda gerçekleşen yatay ve düşey hareket ile baraj gövdesine dik doğrultudaki yer değiştirmeyi gösteren grafikler elde edilmiştir. Grafikler incelendiğinde deformasyonun alt kotlardan üst kotlara doğru arttığı görülmektedir (Şekil 5.8).



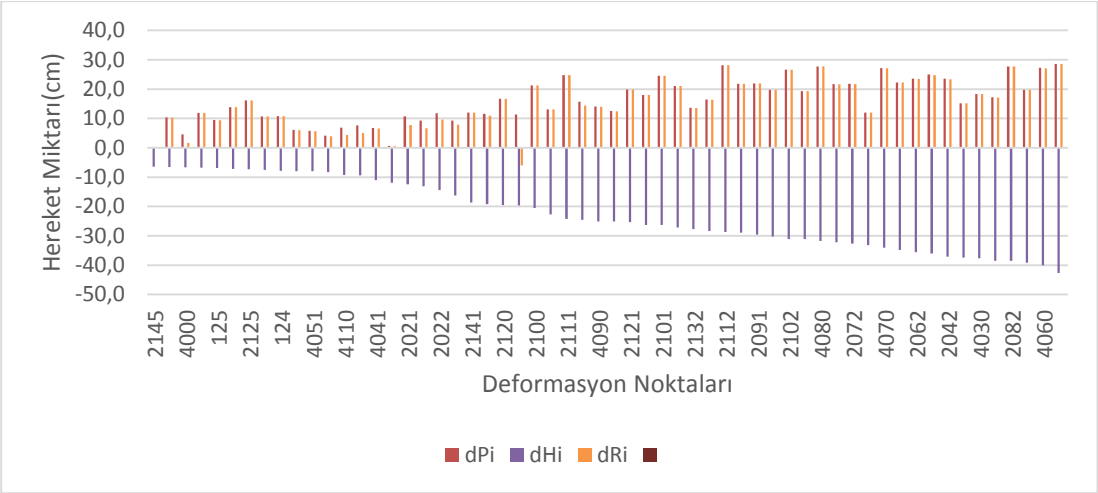
Şekil 5.8: Deformasyon(Obje) Noktalarındaki Konum, Yükseklik ve Radyal Değişimler -1

Hareket vektörleri incelendiğinde; deformasyon noktaları için tespit edilen en büyük yatay konum değişimi (**dP_i**) 28.61 cm olarak gerçekleşmiştir (Şekil 5.9 ve Şekil 5.10).



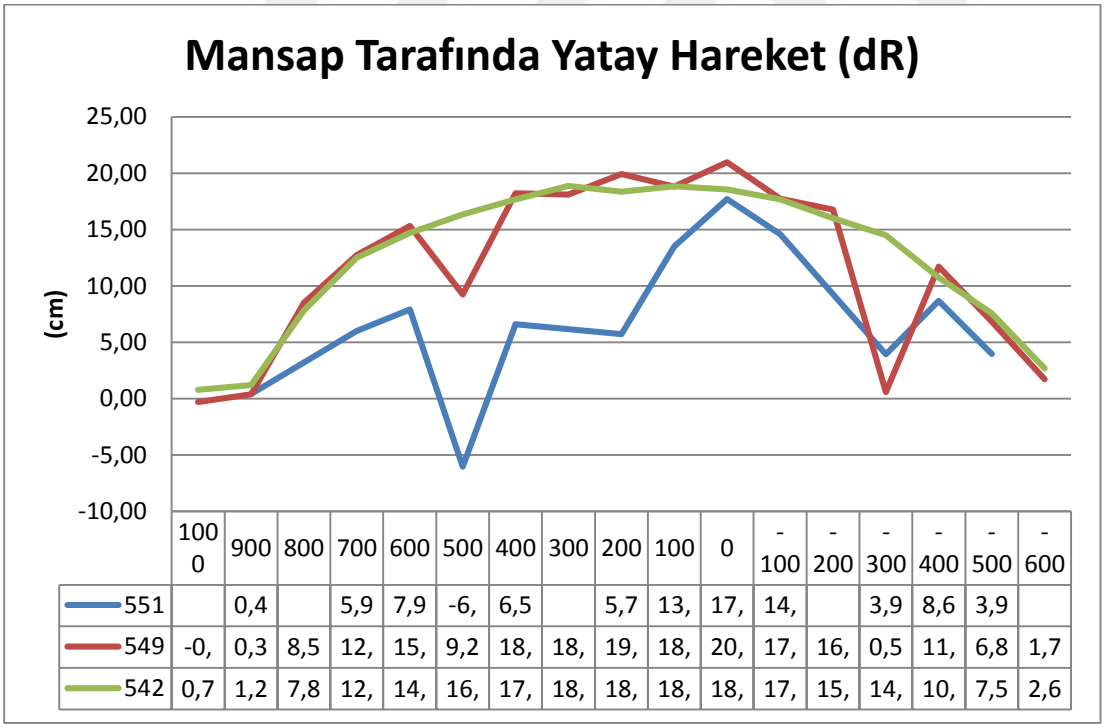
Şekil 5.9: Deformasyon(Obje) Noktalarındaki Konum, Yükseklik ve Radyal Değişimler -2

Tespit edilen en büyük düşey yer değiştirme (**dHi**) ise 42.61 cm olup oturma şeklinde gerçekleşmiştir. Bu noktada barajın yay biçimindeki gövdesine dik doğrultudaki yer değiştirmesi (Radyal Hareket) de hesaplanmış ve en büyük radyal hareket (**dRi**) 28.61 cm olarak tespit edilmiştir (Şekil 5.9 ve Şekil 5.10).



Şekil 5.10: Deformasyon(Obje) Noktalarındaki Konum, Yükseklik ve Radyal Değişimler -3

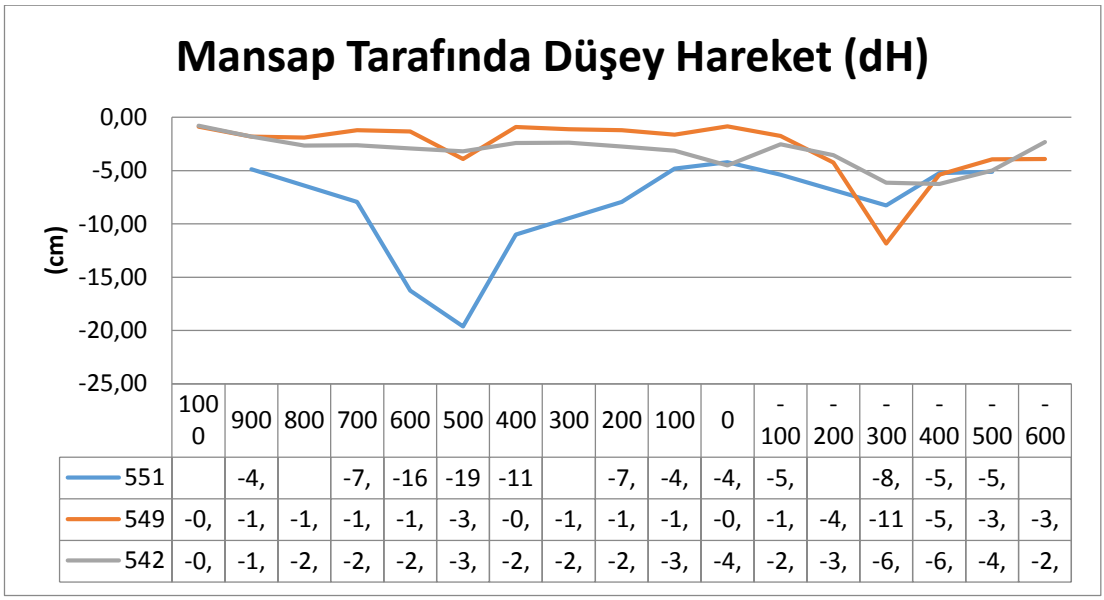
- Baraj Gövdesinde belirli kotlardan (551, 549, 542) geçen noktalar dizisine ait memba ve mansapta gerçekleşen yatay ve düşey hareket grafikleri çizdirilerek verilmiştir. Grafiklerden anlaşılacağı üzere mansab tarafında, aşağı kotlardan yukarı kotlara doğru yatay - düşey yer değişimleri artmaktadır (Şekil 5.11).



	1000	900	800	700	600	500	400	300	200	100	0	-100	-200	-300	-400	-500	-600
551		0,4		5,9	7,9	-6,	6,5		5,7	13,	17,	14,		3,9	8,6	3,9	
549	-0,	0,3	8,5	12,	15,	9,2	18,	18,	19,	18,	20,	17,	16,	0,5	11,	6,8	1,7
542	0,7	1,2	7,8	12,	14,	16,	17,	18,	18,	18,	18,	17,	15,	14,	10,	7,5	2,6

Şekil 5.11: Mansap Tarafında Yatay Hareket (dR).

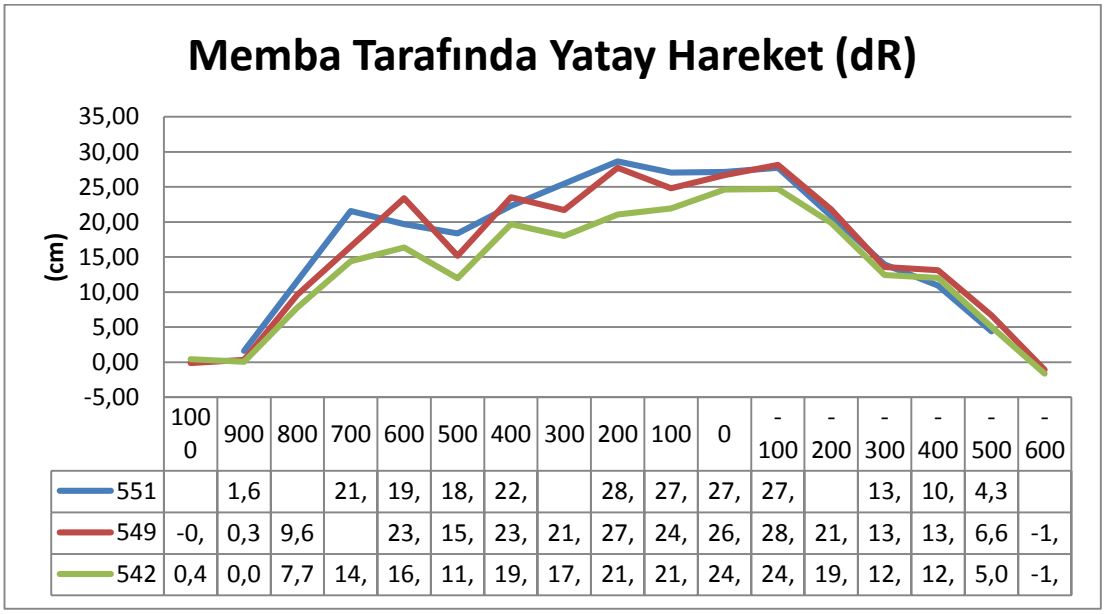
Bu durum, yatay – düşey yer değiştirmelerinin gövdenin üst kotlarında daha fazla gerçekleşeceği ön görüsünü doğrulamaktadır (Şekil 5.12).



	1000	900	800	700	600	500	400	300	200	100	0	-100	-200	-300	-400	-500	-600
551		4000		4010	4020	4030	4040		4050	4060	4070	4080		4090	4100	4110	
549	2002	2012	2022	2032	2042	2052	2062	2072	2082	2092	2102	2112	2122	2132	2142	2152	2162
542	2001	2011	2021	2031	2041	2051	2061	2071	2081	2091	2101	2111	2121	2131	2141	2151	2161

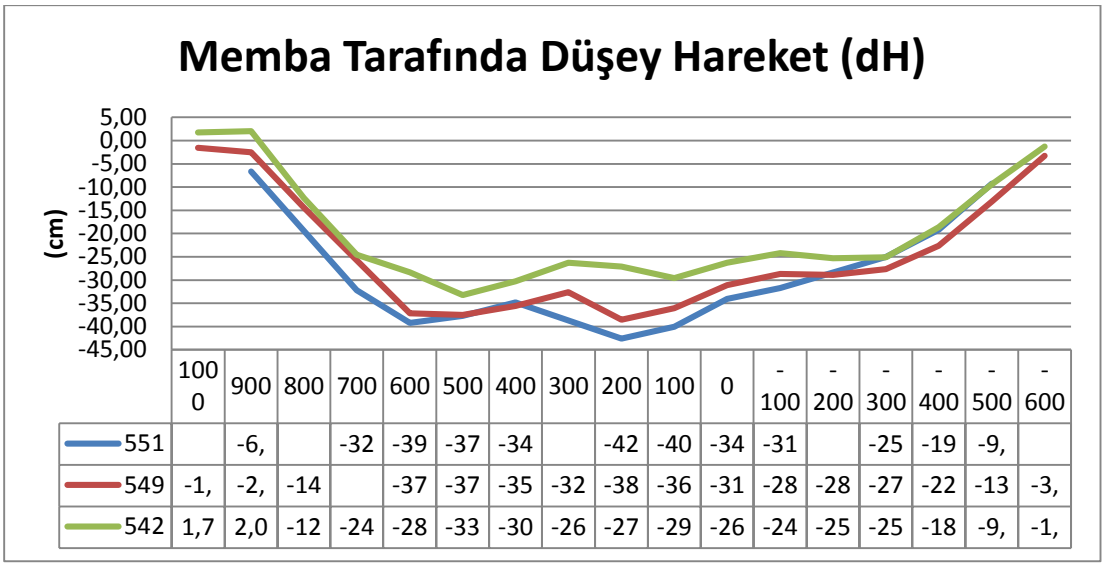
Şekil 5.12: Mansap Tarafında Düşey Hareket (dH).

Bu durum, memba tarafı için biraz daha karmaşıktır. Bunun da nedeni, özellikle zaman zaman göl su kotu seviyesindeki artışa bağlı olarak su altında kalan bölümlerde gerçekleşen daha fazla oturma-kabarmalar ve yatay deformasyonlar olmalıdır (Şekil 5.13).



Şekil 5.13: Memba Tarafında Yatay Hareket (dR).

Bu nedenle, memba yüzeyinde daha alt kotlarda daha fazla yatay hareket gerçekleştiği gözlenmektedir (Şekil 5.14).

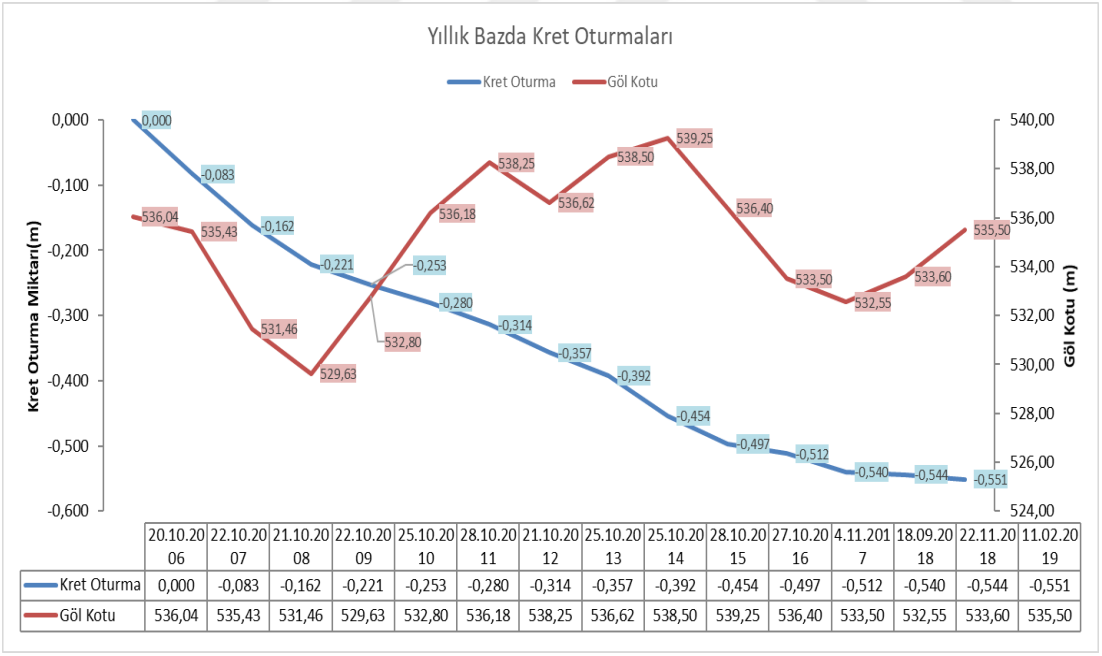


	1000	900	800	700	600	500	400	300	200	100	0	-100	-200	-300	-400	-500	-600
551		-6,		-32	-39	-37	-34		-42	-40	-34	-31		-25	-19	-9,	
549	-1,	-2,	-14		-37	-37	-35	-32	-38	-36	-31	-28	-28	-27	-22	-13	-3,
542	1,7	2,0	-12	-24	-28	-33	-30	-26	-27	-29	-26	-24	-25	-25	-18	-9,	-1,

	1000	900	800	700	600	500	400	300	200	100	0	-100	-200	-300	-400	-500	-600
551		4000		4010	4020	4030	4040		4050	4060	4070	4080		4090	4100	4110	
549	2002	2012	2022	2032	2042	2052	2062	2072	2082	2092	2102	2112	2122	2132	2142	2152	2162
542	2001	2011	2021	2031	2041	2051	2061	2071	2081	2091	2101	2111	2121	2131	2141	2151	2161

Şekil 5.14: Memba Tarafında Düşey Hareket (dH**).**

- İrdelenen periyotlarda (2006-2018) yıllar arasında kret merkezinde, kil üst kotunda gerçekleşen maksimum oturma grafiği de elde edilmiştir (Şekil 5.15).



	20.10.2006	22.10.2007	21.10.2008	22.10.2009	25.10.2010	28.10.2011	21.10.2012	25.10.2013	25.10.2014	28.10.2015	27.10.2016	4.11.2017	18.09.2018	22.11.2018	11.02.2019
Kret Oturma	0,000	-0,083	-0,162	-0,221	-0,253	-0,280	-0,314	-0,357	-0,392	-0,454	-0,497	-0,512	-0,540	-0,544	-0,551
Göl Kotu	536,04	535,43	531,46	529,63	532,80	536,18	538,25	536,62	538,50	539,25	536,40	533,50	532,55	533,60	535,50

Şekil 5.15: Göl Su yüzeyi Kotundaki Değişimler ve 0+230m Kesit Noktasında, Yıllık Bazda Kil Üst Kotundaki Oturmalar.

Dolgu baraj olması sebebiyle gövdede kullanılan malzeme, çevre koşullarına bağlı olarak Atatürk Barajı'nın kretinde de oturmalar şeklinde ortaya çıkmıştır. Barajın faaliyete başladığı 1992 yılından itibaren yıl boyunca değişik

zamanlarda yapılan hassas nivelman ölçmeleri ile krette meydana gelen oturmalar belirlenmiştir. En fazla oturma gerçekleşen 0+230m kesit noktasında, 2006-2018 yılları arasında kil üst kotunda meydana gelen oturma miktarı 55.1 cm olarak belirlenmiştir.

- Ayrıca 12 yıllık periyotta kret merkezinde gerçekleşen maksimum oturmaların ileriye dönük olarak (2025 ve 2030 gibi) beklenen değerleri de yine Microsoft EXCEL yazılımı ile trend analizi yapılarak tahmin edilmeye çalışılmıştır (Şekil 5.16). Yapılan Trend analizi sayesinde bir olaya ait belirli tarih aralıklarında elde edilen sayısal sonuçlardan yola çıkılarak; aynı olayın ileri tarihlerdeki sayısal sonucunu tahmin edebilmektedir. Bunu yaparken bir tahmin fonksiyonu kullanmaktadır. Kullanılan Tahmin Fonksiyonu;

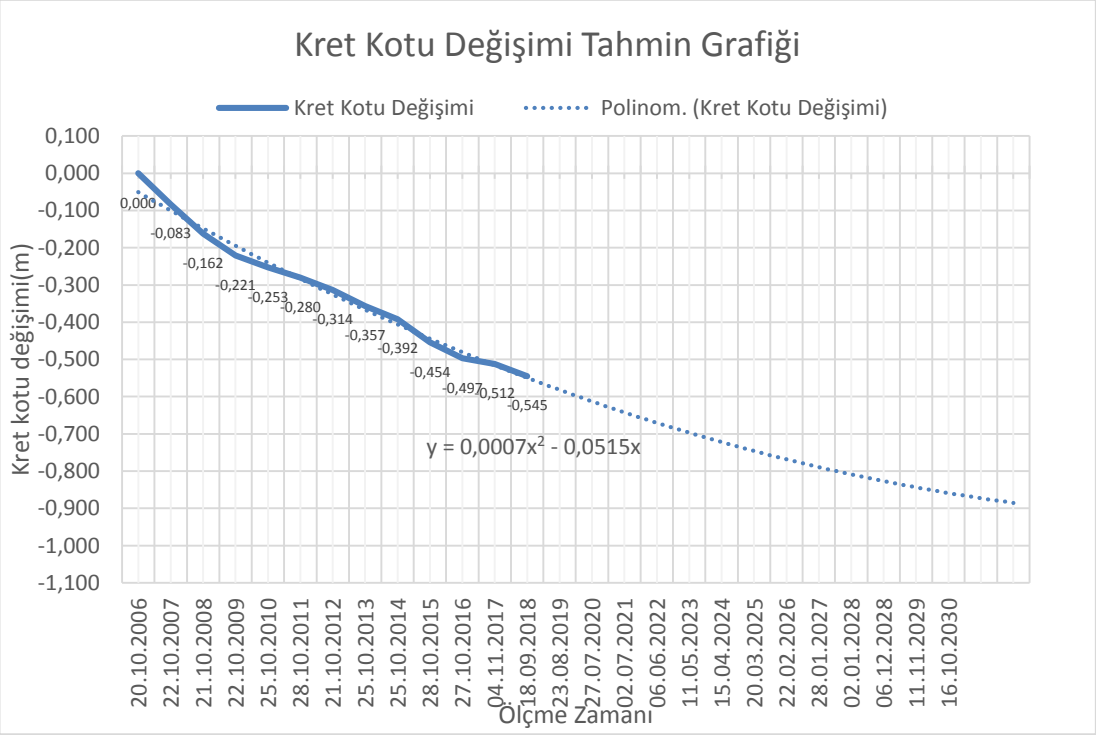
$$y = a + bx \tag{5.1}$$

dir. Burada;

$$a = \bar{y} + b\bar{x} \tag{5.2}$$

$$b = \frac{\sum(x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\sum(x-\bar{x})^2} \tag{5.3}$$

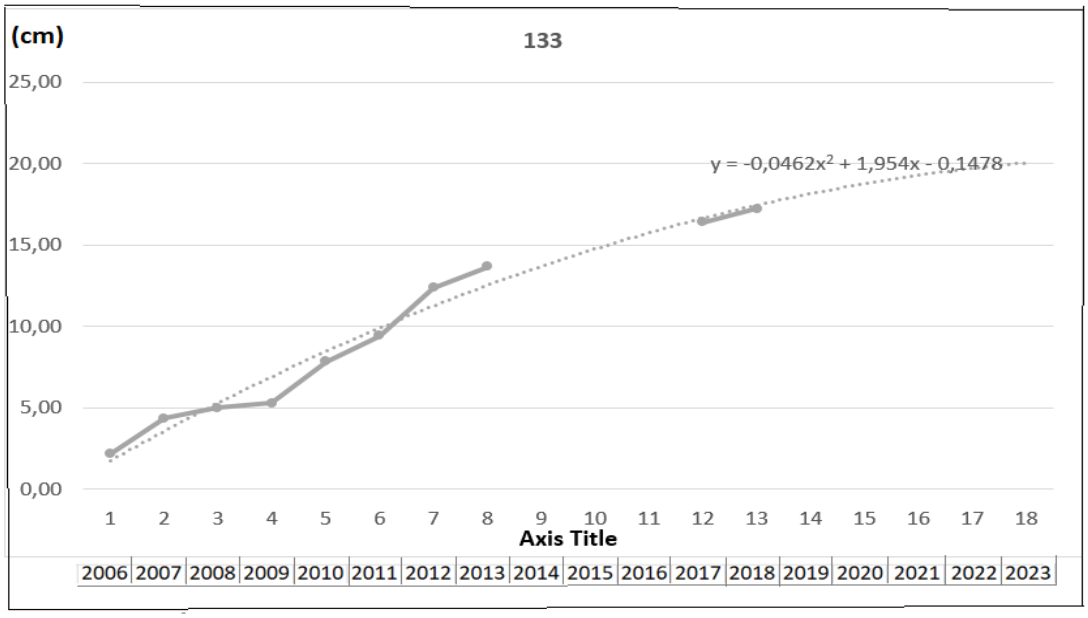
olarak hesaplanır. Bu formüllerdeki bilinen x ve y ler ise sırasıyla ölçme tarihi ve oturma miktarıdır.



Şekil 5.16: Deformasyona Bağlı Yıllık Bazda Kret Oturmaları ve 2030 Yılına Kadar Tahmini Oturma Miktarları.

Buna göre, yaklaşık 10 yıl sonrası (2030 yılı) için, toplam oturma miktarı yaklaşık 85 cm olarak tahmin edilmektedir.

- Buna ek olarak gövde üzerindeki 4-4 kesitinde, yaklaşık 526(m) kotunda bulunan 133 no'lu noktadaki radyal hareketin trend analizi de gerçekleştirilmiştir. 2018 yılı için 17,2 cm olarak belirlenen radyal hareket, trend analizi sonucu çizdirilen grafiğe göre, 2023 yılı için yaklaşık 20 cm civarında olacağı tahmin edilmektedir (Şekil 5.17).

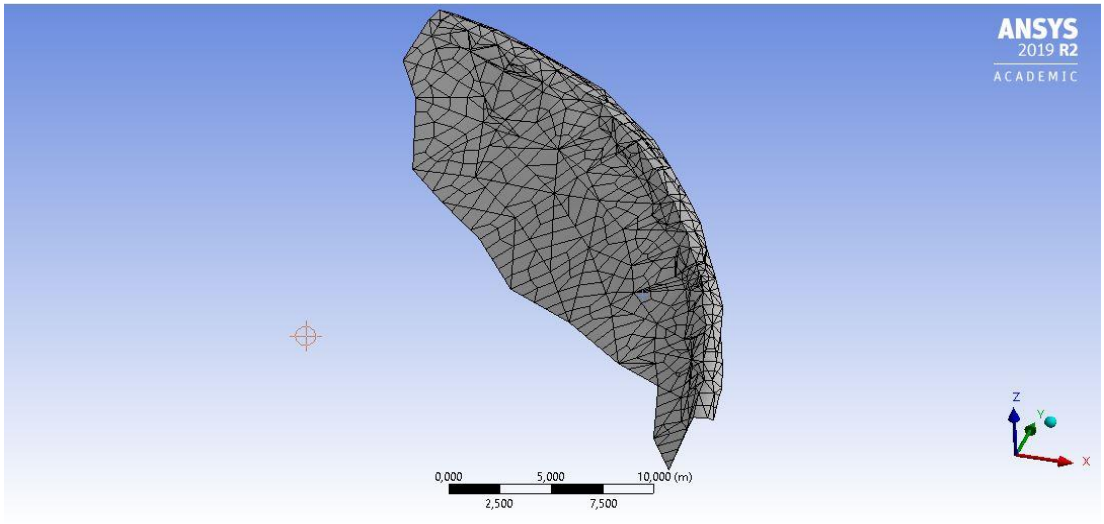


Şekil 5.17: 133 no'lu Noktadaki Radyal Hareketin Trend Analizi.

Microsoft Excel Programı kullanılarak gerçekleştirilen yukarıdaki analizler deformasyon konusunda önemli bilgiler içermesine rağmen, deformasyonun baraj gövdesinin tamamına nasıl yayıldığını daha iyi göstermekde eksik kalabilmektedir. Bu noktada ANSYS Programı ile hareket vektörleri irdelenerek bazı görsel grafik sonuçlara ulaşılmıştır.

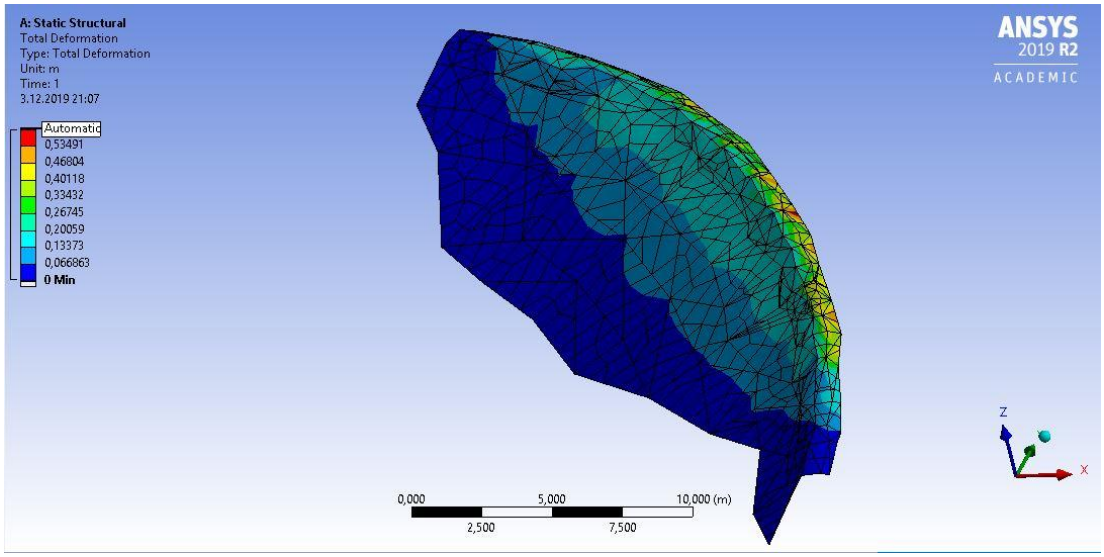
Analizlerden önce baraj gövdesinin 3 boyutlu modeli AUTOCAD Civil 3D programı yardımıyla oluşturulmuştur.

Daha sonra oluşturulan bu model ANSYS Workbench Programı'nda sonlu parçalara ayrılarak analizlere hazır hale getirilmiştir (Standart MESH İşlemi) (Şekil 5.18).



Şekil 5.18: Atatürk Barajı'nın Sonlu Parçalara Ayrılmış 3 Boyutlu Gövde Modeli

Bu aşamadan sonra ***Hareket Vektörleri,*** Programın "Displacement" özelliği kullanılarak gövdenin yer değiştirmesi şeklinde programa girilmiştir. Bu yolla deformasyonun gövde üzerindeki etkisini belirlemek için bir dizi analiz gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan 3 boyutlu analiz modeli yardımıyla baraj gövdesinde tüm eksenlerde gerçekleşen deformasyon (toplam deformasyon) elde edilmiştir. Öngörüleceği üzere en fazla deformasyona uğrayan kısım, baraj gövdesinin üst kotlarında ve daha çok 3-3 kesiti ile 6-4 kesiti arasındaki bölgede yer almaktadır (Şekil 5.19).



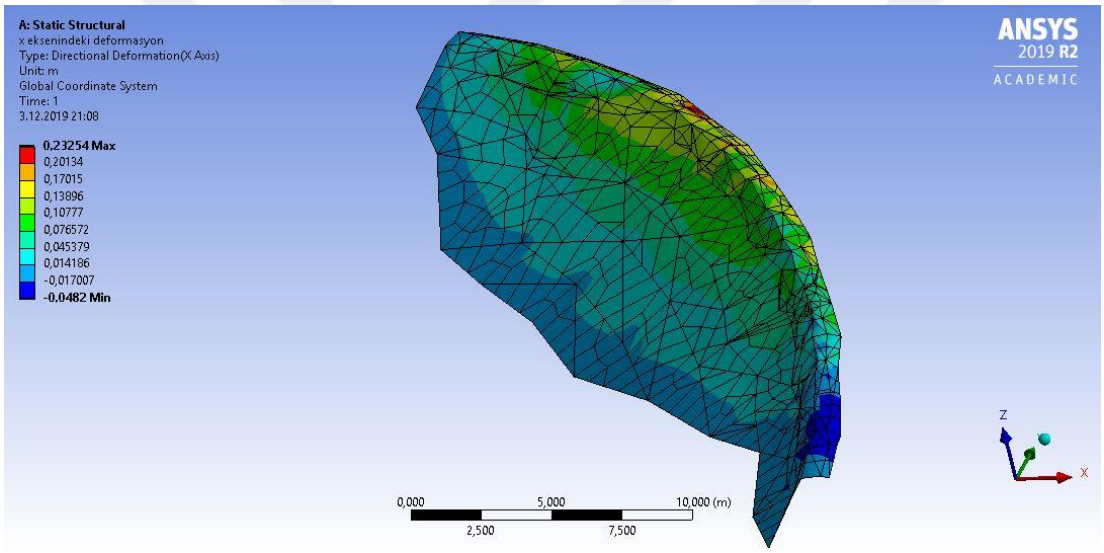
Şekil 5.19: Atatürk Barajı'nda gerçekleşen toplam deformasyon

ANSYS programı, Bölüm 5'te bahsedildiği gibi, cisimlere uygulanan kuvvetin meydana getirdiği geometrik değişikliklerin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Söz konusu analiz, incelenen cisim ya da yapı daha proje aşamasındayken

yapılabileceğinden gerçekleşmesi muhtemel değişikliklerin önceden belirlenmesine ve projenin risk faktörlerinin belirlenmesine olanak tanır. Bu noktada gerçeğe en yakın sonucu elde etmek için, incelenen cismin geometrik şeklinin mümkün olduğu kadar aslına uygun olarak modellenmesi ve içeriğindeki malzemenin eksiksiz şekilde tanımlanması gerekir.

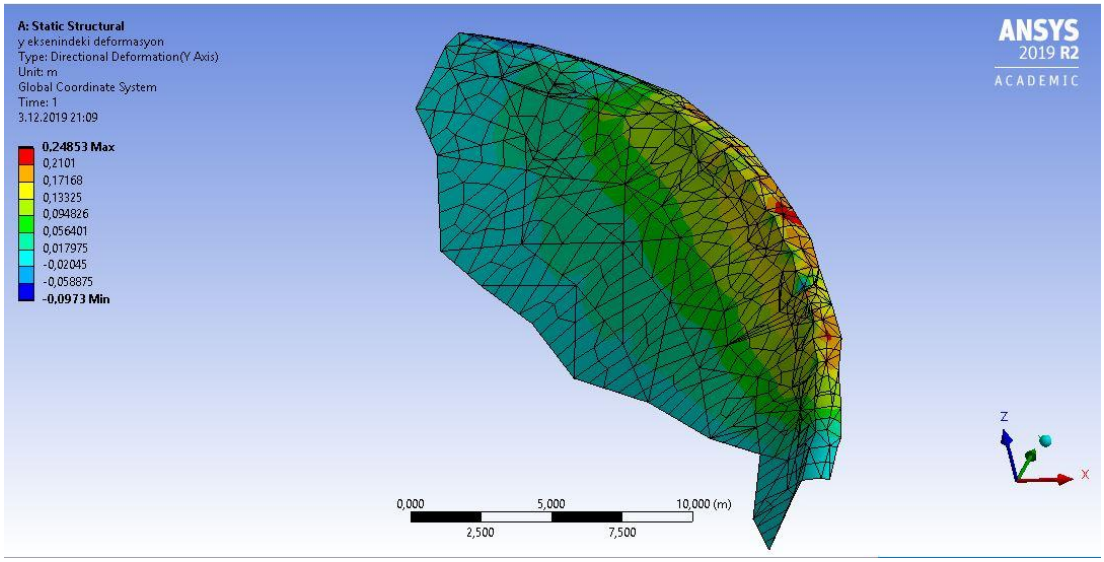
Bu çalışmada, yukarıda anlatılanlardan farklı olarak, farklı zamanlardaki iki farklı 3 boyutlu modelin karşılaştırılması yapılmıştır. Her bir eksende (X,Y,Z) gerçekleşen deformasyonlar belirlenerek söz konusu yazılımla görselleştirilmiştir.

X ekseninde en fazla değişim yaklaşık 4-4 kesiti ve çevresinde gerçekleşmiştir (Şekil 5.20).



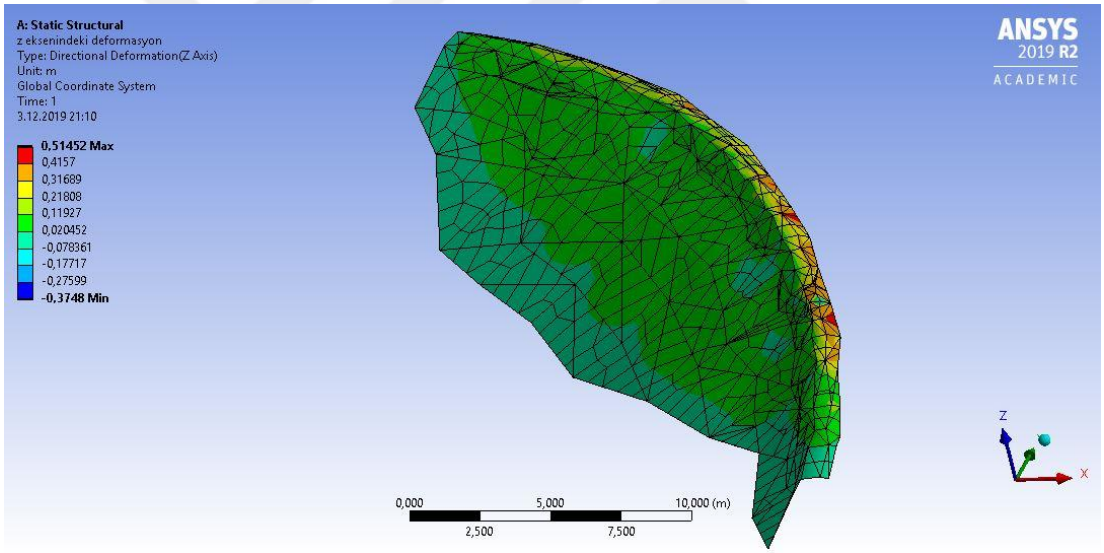
Şekil 5.20: Atatürk Barajı'nda X ekseninde gerçekleşen deformasyon

Bu şekillerin incelenmesinden görüleceği gibi, en fazla deformasyonun geliştiği bölgeler, baraj gövdesinin üst kotlarında, 3-3 ve 6-6 kesitleri arasında ve baraj eksenine yaklaşık dik doğrultuya denk gelen Y ekseninde gerçekleştiği, Şekil 5.20 nin incelenmesinden anlaşılmaktadır. Bu da beklentiye uygun bir sonuçtur (Şekil 5.21).



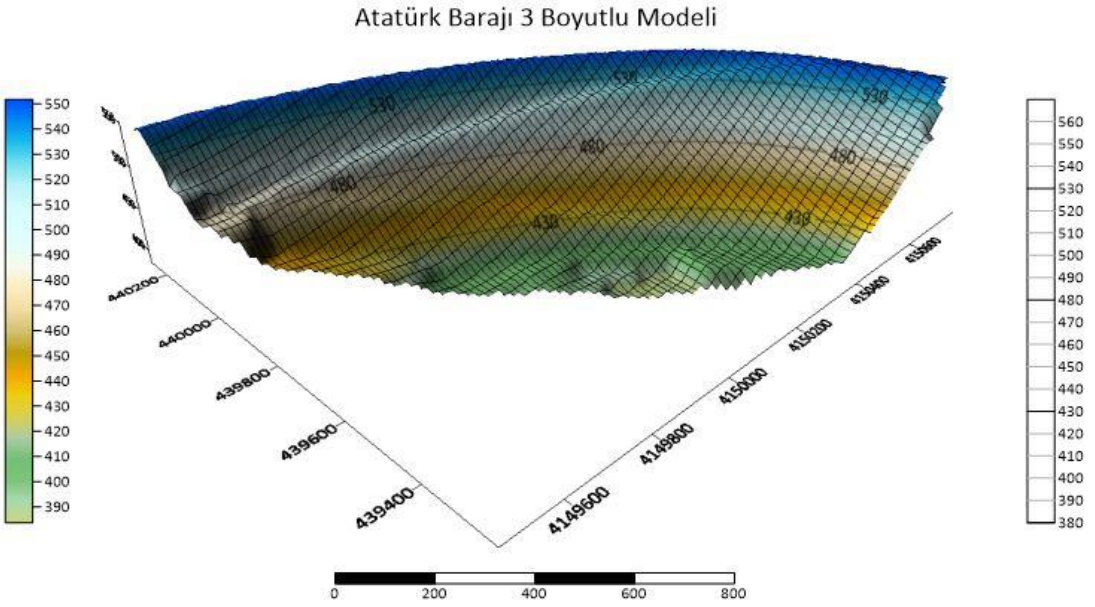
Şekil 5.21: Atatürk Barajı'nda Y ekseninde gerçekleşen deformasyon

Z ekseninde gerçekleşen deformasyonların ise daha çok baraj kreti üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir (Şekil 5.22).



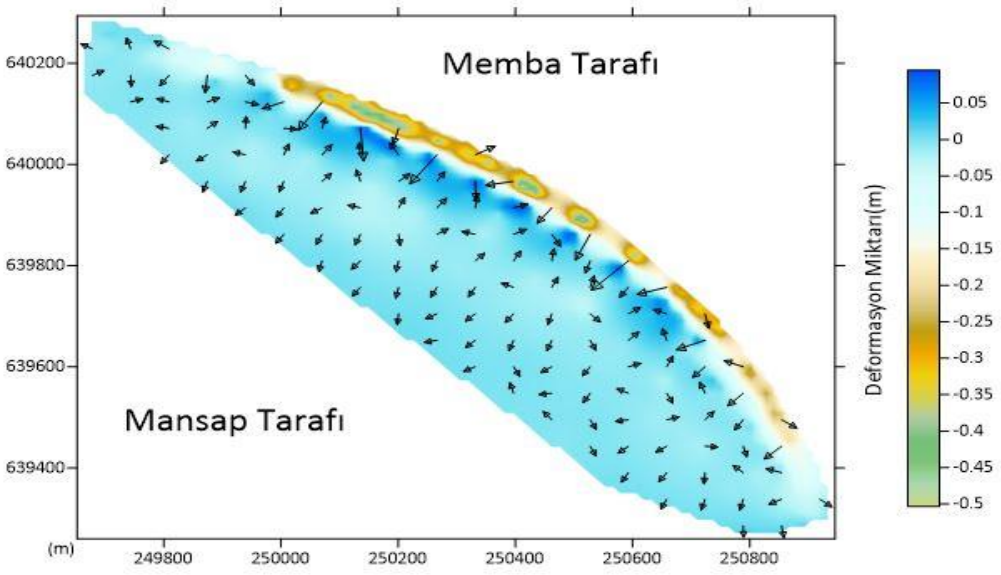
Şekil 5.22: Atatürk Barajı'nda Y ekseninde gerçekleşen deformasyon

Hareket vektörleri yardımıyla deformasyonun yüzeye etkisini daha iyi görebilmek amacıyla SURFER 16 programından da yararlanılmıştır. SURFER programı ile diğer iki programa göre kartografik olarak daha başarılı bir sonuç elde edilmiştir. 3 boyutlu modelleme konusunda ANSYS programı (Programın akademik sürüm olmasından kaynaklı olarak bazı özelliklerinin sınırlı olması sebebiyle), detaylı modellemeye izin vermemiş, nokta sayılarının azaltılması sonucunda ise yüzeye ait detayların bir kısmından vazgeçilmiştir. SURFER programında ise Atatürk Barajı'nın detaylı 3 boyutlu modeli üzerinde çalışmak daha kolay olmuştur (Şekil 5.23).



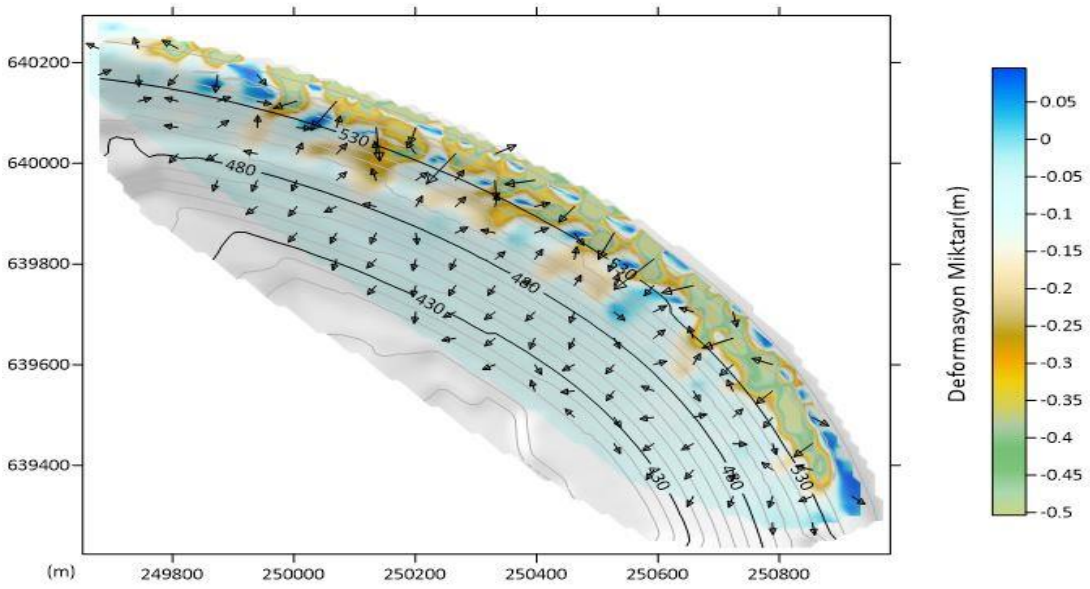
Şekil 5.23: Atatürk Barajı'nın 3 Boyutlu Modeli

Deformasyon noktaları barajın deformasyonun en çok beklenen yerlerinde seçilmekle beraber baraj gövdesinin şekline de uyumlu seçilmiş noktalardır. Bu noktada gövdenin hareketi hakkında yorum yapmanın bir yolu olarak 2006 ve 2018 yıllarındaki deformasyon ağları ayrı ayrı modellenerek kıyaslanmıştır (Şekil 5.24).



Şekil 5.24: 2006-2018 yılları arasında gerçekleşen deformasyonlar

Karşılaştırma, deformasyon ağları ile yapılmış olsa da sonuçlara dair öngörüleri doğrular bir nitelik taşımaktadır. Bununla birlikte, aynı karşılaştırma, gövdenin detaylı 3 boyutlu modeli ile yapılabilmektedir (Şekil 5.24).



Şekil 5.25: Gövdede gerçekleşen deformasyonların detaylı 3 boyutlu model üzerindeki görünüşü

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bir önceki bölümde, Atatürk Barajı'nda 2006-2018 yılları arasında meydana gelen deformasyonun jeodezik yöntemlerle ölçülmesi ve çift periyot dengelemesi ile analiz edilerek Hareket Vektörlerinin elde edilmesi detaylı bir biçimde anlatılmıştır. Ayrıca hareket vektörleri Microsoft Excel, ANSYS ve SURFER programları ile de değerlendirilip; deformasyonun gövde üzerindeki etkisini görsel olarak ifadelendiren grafik ve şekillller elde edilmiştir. Tüm karşılaştırmalar ve analizler sonucunda yaklaşık 13 yıllık zaman diliminde (2006-2018), gerçekleşen deformasyon sonuçları, aşağıdaki şekilde özetlenebilir;

- Gövde üzerinde izlenen 199 adet obje noktasından 184 tanesinde anlamlı yatay hareket, 165 obje noktasında ise anlamlı düşey hareket belirlenmiştir.
- Yaklaşık 13 yıllık süre içinde gelişen en büyük yatay hareketin büyüklüğü 28.6 cm ve en büyük düşey hareketin büyüklüğü ise 42.6 cm olarak belirlenmiştir.
- 168 obje noktasında ise yatay hareketin radyal bileşeninin (yatay hareketin baraj eksenine dik doğrultudaki bileşeni), anlamlı olduğu görülmüştür. Gövde üzerindeki deformasyon noktalarının yaklaşık %93 ünde anlamlı yatay hareket ve %76 sında ise anlamlı düşey hareket olduğu belirlenmiştir.
- Belirlenen hareketlerin, baraj eksenine dik doğrultudaki Radyal bileşenleri için noktaların %87 sinde anlamlı yatay hareket olduğu görülmüştür.
- Baraj gövdesindeki obje noktalarında belirlenen geometrik değişimler, beklenildiği gibi gövdenin alt kotlarında daha küçük değerlerde, buna karşılık gövdenin üst kotlarında ise daha büyük değerlerde olduğu görülmektedir.
- Jeodezik ölçmeler ile elde edilen hareket vektörlerinin deformasyon hakkında sayısal bilgi verdiği; bununla birlikte, sayısal sonuçlardan, ilave metotlar ile daha görsel ve disiplinler arası çalışmaya imkan verecek grafik sonuçların da elde edilmesine çalışılmıştır.
- Baraj kretinde, kildeki oturmayı belirlemek üzere yapılan presizyonlu nivelman ölçmelerinden 2006-2018 yılları arasındaki zaman diliminde en fazla oturma belirlenmiş olan nokta için oturma grafiği çizdirilmiş ve bu gerçekleşen

oturma değerleri kullanılarak ileri tarihli gerçekleşmesi beklenen oturmalar için trendline analizi ile kestirim yapılmıştır (Şekil 5.16). 2006 yılı referans alındığında, 2018 yılı ölçmelerinden belirlenen 55 cm. lik oturmaya karşılık, 2025 yılı için yaklaşık 73 cm, 2028 yılı için yaklaşık 83 cm ye ulaşan oturma değerleri hesaplanmıştır. Buna göre, 2006 - 2018 arası, yaklaşık 12 yıllık sürede yıllık ortalma oturma hızı 4.2 cm olarak belirlenmişken, 2018 – 2028 yılları arasında yaklaşık 10 yıllık süre için, gerçekleşmesi beklenen yıllık ortalama oturma hızı ise, yaklaşık 3 cm civarında hesaplanmıştır.

- Ayrıca 2006-2018 yılları arasında 4-4 kesitinde ve yaklaşık 526 m kotunda bulunan 133 no'lu gövde noktasında gerçekleşen radyal hareketin de trend analizi yapılmıştır. Buna göre yine 2006 yılı referans alındığında 12 yıllık zaman diliminde gerçekleşen 17.23 cm lik radyal hareketin 2023 yılında yaklaşık 20 cm olacağı tahmin edilmektedir. 2006-2018 yılları arasında 133 no'lu noktanın radyal olarak yer değiştirme hızı, yıllık ortalama yaklaşık 1.5 cm iken; 2018-2023 yılları arasındaki 5 yıllık dönem için, yıllık ortalama radyal yer değiştirme hızı, yaklaşık 1 cm olarak hesaplanmıştır (Şekil 5.17).

Baraj emniyetinin sağlıklı şekilde ele alınması açısından; yukarıda detayları verilmiş jeodezik yöntemlerle yatay-düşey deformasyonların izlenmesi ve zamanla meydana gelebilecek geometrik değişimlerin belirlenmesi önemli bir etkendir. Bunun yanında yapıyla bağlantılı diğer mühendislik dalları ile ortak paylaşımı için deformasyonun yapının tamamı üzerindeki etkisinin anlaşılır şekilde görselleştirilmesi de bir o kadar önemli bir etken olarak ortaya çıkmaktadır.

Sonuç olarak, başarılı bir baraj emniyeti çalışması yürütülebilmesi için daha baraj yapılmadan, tasarmdaki hataların tespiti için detaylı 3 boyutlu modeli, ANSYS yazılımı gibi özel progrmlarla analiz edilerek ortaya çıkacak deformasyonların tahmini yapılmalıdır. Barajın inşasından itibaren jeodezik yöntemlerle baraj ve yakın çevresindeki geometrik değişimler, periyodik olarak izlenmeli ve Bölüm 4 ve Bölüm 5 te detaylı şekilde açıklandığı gibi, belirlenen değişimlerin analizi yapılarak hareket vektörleri elde edilmeli ve öngörülen deformasyonlarla karşılaştırılmalıdır. Analiz sonuçlarının görselleştirilmesi için ise, ANSYS ve SURFER gibi programların geniş kartografik görsellerinden de faydalanılarak deformasyonun gövdenin tamamı üzerindeki etkisi çeşitli grafik sonuçlar şeklinde üretilmelidir. Böylelikle baraj

emniyeti için alınacak tedbirler ve planlanan eylem planları daha sağlıklı bir şekilde yapılmış olacaktır.

KAYNAKLAR

Ağıralioğlu, N. (2004). *Baraj Planlama ve Tasarımı*, Cilt-1.

Aksu, S., Ağca, E. (2009). "Baraj Emniyeti Rehberi ve Bölge Taşkın Planları", *2. Ulusal Baraj Güvenliği Sempozyumu*, Eskişehir.

Akyılmaz, O. (2001). *Jeodezik Yöntemlerle Deformasyon Ölçmeleri ve Analizi*. (Yüksek Lisans Tezi). İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Arslan, O. (2017). Tarsus Elektrik Altyapısı Tarihine Bir Bakış (1906-1938).*Tarih İncelemeleri Dergisi*. Mersin.

Atalay, Ü. (1997). Atık Barajları. *Madencilik Bülteni*. Ankara.

Aydın, M. (2018). *DSİ: Türkiye'nin Su Kaynaklarını Geliştiren Başlıca Kuruluş*. Retrieved from: http://bilgi.dsi.gov.tr/dijital/suvedsi/files/assets/basic-html/index.html#6

Constiution Status of ICOLD (International Comission on Large Dams). (2011). July 2011.

Denli, H. H. (1998). *GPS ile Marmara Bölgesindeki Yer Kabuğu Hareketlerinin Belirlenmesi*. (Doktora Tezi). İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Doğanalp,S., Turgut,B. (2009). *STATİK VE KİNEMATİK MODELDE DEFORMASYON ANALİZİ*. Selçuk Ü., Müh.-Mim. Fk., Hrt. Müh.Bl. Konya.

DSİ. (2018). *Atatürk Barajı Jeodezik Yöntemlerle Deformasyon İzleme Çalışması, Kasım 2018*. Ankara: Devlet Su İşleri XV. Bölge Müdürlüğü.

Erol, S. (1999). *Karasu Viyadüğünde GPS ile Deformasyon Ölçmeleri ve Analizi*.(Yüksek Lisans Tezi). İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Hoover, W., E. (1984). *Algorithms For Confidence Circles and Ellipses*. NOAA Technical Report NOS 107 C&GS 3, Charting and Geodetic SeNices, Rockville, MD, September 1984.

Hoşbaş, G. (1992). *Baraj Deformasyonlarının Belirlenmesinde Jeodezik Yaklaşımların İrdelenmesi ve Bir Öneri*. YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Jansen R.B. (1983). Dams and Public Safety. U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation. *Dams from the Beginning* (pp. 1-51). Retrieved from: https://www.usbr.gov/tsc/techreferences/mands/mands-pdfs/AZ1130.pdf

Kalın, G., Atlıhan, O., Akın B.S. (2008). ***A**mbarlı Liman Bölgesinde Heyelan İzleme Çalışması*. Bitirme Çalışması). İTÜ Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, İstanbul.

Kalın, G. (2010) *Kil Çekirdekli Kaya Dolgu Barajlarda Jeodezik Yöntemle Deformasyon Ölçmeleri: Atatürk Baraji Örneği*. (Yüksek Lisans Tezi) İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Kalkan, Y., Alkan, R.M., Yanalak, M., Tari, E., ve Erden, T. (2003). *Altaş Ambarlı Liman Tesisleri Sahasında Geoteknik ve Jeodezik Yöntemlerle Heyelan İzleme Çalışması*. (Teknik Rapor). İstanbul: İTÜ Geliştirme Vakfı ARGE İşletmesi.

Kalkan Y., Alkan, R.M. (2005) Mühendislik Yapılarında Deformasyon Ölçmeleri, *2. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu,* İTÜ, İstanbul.

Kalkan, Y., Alkan, R.M. (2007). *Atatürk Barajında Jeodezik Yöntemlerle Deformasyon İzleme Çalışması - 4.Periyot Teknik Raporu.* (Teknik Rapor). İstanbul: İTÜ Döner Sermaye İşletmesi Müdürlüğü.

Kalkan, Y. (2009). Atatürk Barajında Deformasyon İzleme Çalışmaları Ve Düşey Deformasyonlar, *TMMOB HKMO 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara.

Kaplan, G. (2013). *Esnek Mekanizmalarin Sonlu Elemanlar Yöntemi İle İncelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Hacettepe Üniversitesi, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Ankara.

Köse, Z. (2018). *Obruk Barajındaki Düşey Deformasyonların Hassas Nivelman Yöntemi İle Belirlenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Afyon Kocatepe Üniversitesi, Harita Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Afyon.

Mandalinci, G., Erdoğan, B. (2019). *Robust Kestirim Yöntemlerinin Deformasyon Analizinde Uygulanmasında Farklı Yaklaşımların Güvenilirliğinin Araştırılması*. (Araştırma Makalesi). YTÜ, İnşaat Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü.

Mays L. W. (2008). A Very Brief History of Hydraulic Technology During Antiquity. *Environ Fluid Mech,* 8: 471-484.

Öziş, Ü. (1983). *Su Yapıları*. İzmir: 9 Eylül Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Yayınları

Öztürk, E. (1987). *Dengeleme Hesabı*. Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Cilt I, Genel Yayın No:119, Fakülte Yayın No:38. Karadeniz Teknik Üniversitesi Basımevi.

Sarı, Y. (t.y). *Microsoft Excel Ders Notları*. Retrieved October, 2019 from: https://docplayer.biz.tr/1974968-Eskisehir-osmangazi-universitesi-turizm-fakultesi-microsoft-excel-ders-notlari-doc-dr-yasar-sari-www-yasarsari-com.html

Şimşek M. (2008). *Jeodezik Ağların Dengelenmesinde Hedef Programlama Tekniği*. (Yüksek Lisans Tezi). A.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Tosun, H. (2009). Türkiye Baraj Pratiği. *2. Ulusal Baraj Güvenliği Sempozyumu*, Eskişehir.

Turfan, M. (1996). *Özetle Baraj Nedir*. Ankara: DSİ Genel Müdürlüğü.

Tutuş, A. (2006). *Barajlar Ve Hidroelektrik Santrallar*. Ankara: DSİ Genel Müdürlüğü, Etüd ve Plan Dairesi Başkanlığı. Enerji Şube Müdürlüğü.

Ulusoy, İ. (2015). *Dolgu Barajlarin Güvenliğinde Risk Analizi: Atatürk Baraji Örneği*. (Bitirme Tezi). İTÜ İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Hidrolik ve Su Kaynakları Mühendisliği Programı, İstanbul.

Url-1 <*http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/h_turkiye_potansiyel.aspx*>, erişim tarihi 01.10.2019.

Url-2 <*http://www.dsi.gov.tr/projeler/ataturk-baraji- ATATÜRK BARAJI*>, erişim tarihi 03.02.2020.

EKLER

EK A: Nirengi Noktalarının Koordinatları, Yükseklikleri, Fark Vektörleri ve Bunların Doğrulukları

EK B: Deformasyon(Obje) Noktalarının Koordinatları, Yükseklikleri, Fark Vektörleri ve Bunların Doğrulukları

EK C: 13. Periyot İçin Hesaplanan Deformasyon(Obje) Noktalarının Vektörleri ve Bunların Anlamlılık Testleri

EK A

Çizelge A. 1: Nirengi Noktalarının Koordinatları, Yükseklikleri, Fark Vektörleri ve Bunların Doğrulukları

NİRENGİ NOKTALARININ KOORDİNATLARI, YÜKSEKLİKLERİ, FARK VEKTÖRLERİ ve BUNLARIN DOĞRULUKLARI BİRİNCİ PERİYOT(04-13 MAYIS 2006) ve ONÜÇÜNCÜ PERİYOT(22Kasım-03Aralık 2018)										
	KOORDİNAT ve KOOTLAR			HAREKET VEKTÖRLERİ			DOĞRULUKLARI			
Nokta	Y	X	H	dY	dX	dH	M_Y^F	M_X^F	M_H^F	Mp
Adı	(m)	(m)	(m)	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
3	640399.3112	251647.1087	581.2937	-0.01	-0.52	-1.07	0.17	0.16	0.42	0.23
11	638285.1148	249205.5509	546.0405	-1.04	-0.35	-1.83	0.14	0.13	0.30	0.19
12	639093.8319	249098.0014	554.0384	0.17	0.16	0.44	0.11	0.13	0.25	0.17
21	639015.9303	250354.5095	507.4392	0.32	0.20	-0.08	0.10	0.08	0.20	0.13
22	639103.6804	250039.9265	440.4727	0.36	-0.47	0.90	0.08	0.08	0.18	0.11
23	639589.7119	249259.6353	560.9113	-0.40	0.64	1.48	0.11	0.12	0.24	0.17
31	638938.5129	251191.7668	659.4452	-0.38	0.17	-2.89	0.18	0.19	0.46	0.27
32	640542.5329	249449.2568	579.9602	-0.16	0.14	1.82	0.11	0.13	0.23	0.17
41	639280.8784	250915.0658	556.1420	0.74	-0.27	0.35	0.10	0.10	0.23	0.14
45	640217.0180	249664.4141	556.1926	-0.23	0.48	0.72	0.10	0.08	0.19	0.13
46	640226.1274	249504.8944	550.5867	-0.65	0.17	1.18	0.09	0.09	0.19	0.13
52	638313.1731	250514.0252	721.2535	-0.57	-0.75	-2.34	0.12	0.12	0.30	0.17
81	639485.2393	251281.3531	585.6573	0.13	-0.87	-1.31	0.13	0.12	0.28	0.17
90	639318.9621	249949.5235	393.4810	1.96	0.02	-1.03	0.10	0.11	0.22	0.15
91	639317.1242	250517.9046	405.1588	0.50	-0.50	0.81	0.13	0.14	0.26	0.19
92	639809.4341	249778.2293	405.5105	-0.80	-0.34	1.93	0.56	0.50	1.22	0.76
93	639720.1797	249640.9286	442.7309	0.08	2.09	0.94	0.11	0.12	0.24	0.17

EK B

Çizelge B.1: Deformasyon (Obje) Noktalarının Koordinatları, Yükseklikleri, Fark Vektörleri ve Bunların Doğrulukları-1.

DEFORMASYON NOKTALARININ KOORDİNATLARI, YÜKSEKLİKLERİ, FARK VEKTÖRLERİ ve BUNLARIN DOĞRULUKLARI BİRİNCİ PERİYOT(04-13 MAYIS 2006) ve ONÜÇÜNCÜ PERİYOT(22Kasım-03Aralık 2018)										
	KOORDİNAT ve KOOTLAR			HAREKET VEKTÖRLERİ			DOĞRULUKLARI			
Nokta	Y	X	H	dY	dX	dH	M_Y^F	M_X^F	M_H^F	Mp
Adı	(m)	(m)	(m)	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
102	639391.1190	250832.7536	535.8736	-1.66	-6.47	-4.23	0.27	0.26	0.79	0.38
103	639354.1136	250780.8471	504.0086	-0.40	-2.78	-2.27	0.26	0.24	0.72	0.35
104	639312.0124	250723.5401	474.5702	-0.39	-2.01	-0.55	0.24	0.22	0.64	0.33
105	639355.9134	250563.0834	415.0419	-0.35	-0.28	0.48	0.20	0.21	0.55	0.29
113	639614.2404	250706.4192	538.1674	-9.49	-11.80	-6.10	0.18	0.20	0.52	0.26
114	639577.8283	250658.4451	505.9122	-6.58	-8.41	-7.53	0.18	0.19	0.50	0.26
115	639536.4260	250604.4819	473.5532	-3.21	-3.40	-2.93	0.24	0.25	0.71	0.34
116	639490.6177	250538.3991	437.0294	-0.49	-0.66	-0.37	0.21	0.24	0.64	0.32
117	639442.7161	250477.4923	407.8598	0.05	-0.04	-0.35	0.23	0.30	0.72	0.37
123	639771.8722	250557.1079	529.2449	-11.74	-10.59	-6.13	0.27	0.29	0.86	0.39
124	639724.6396	250517.5720	505.2132	-8.20	-7.12	-7.84	0.21	0.22	0.63	0.30
125	639709.4590	250506.7869	498.1475	-7.20	-6.12	-6.84	0.20	0.21	0.62	0.29
126	639672.6628	250475.4227	472.4416	-3.72	-3.31	-3.48	0.20	0.21	0.60	0.29
127	639609.8050	250424.1822	436.3170	-1.20	-0.26	-0.31	0.22	0.25	0.68	0.33
128	639552.6445	250374.0775	406.5112	-0.56	-0.01	-0.11	0.20	0.23	0.62	0.31
133	639903.8887	250378.3643	526.3610	-14.59	-9.20	-6.17	0.23	0.24	0.73	0.34
134	639855.9960	250343.8029	506.5813	-9.72	-6.93	-6.81	0.23	0.23	0.71	0.32
135	639797.0815	250309.2312	472.9574	-5.05	-2.65	-3.92	0.22	0.23	0.67	0.31
136	639734.4337	250258.6099	438.1143	-0.84	-0.19	-0.12	0.21	0.22	0.64	0.30
137	639664.8247	250223.2124	406.2623	-0.91	-0.15	0.52	0.21	0.24	0.67	0.32
143	640015.1365	250184.2766	527.3581	-14.83	-6.31	-6.15	0.25	0.24	0.75	0.34
144	639941.4956	250149.6009	497.1977	-6.87	-3.53	-6.42	0.23	0.23	0.72	0.33
145	639899.3533	250129.5311	473.5279	-3.51	-1.76	-4.29	0.23	0.23	0.70	0.32
146	639826.7534	250093.7106	441.7391	-0.75	0.00	0.05	0.22	0.23	0.67	0.31
153	640100.6969	249978.1236	527.7730	-11.82	-3.18	-5.61	0.33	0.33	1.08	0.47
154	640044.5397	249959.8917	498.5044	-5.63	-2.41	-4.29	0.23	0.21	0.65	0.31
155	639978.6321	249937.3616	473.7815	-1.52	-1.48	-2.30	0.23	0.21	0.64	0.31
156	639906.8581	249911.3152	443.7767	-1.40	0.33	0.89	0.22	0.22	0.64	0.31
162	640158.6049	249781.9887	528.2036	-1.10	0.69	-0.24	0.22	0.14	0.45	0.27
170	639259.9133	250806.0209	502.1586	-0.33	-1.08	1.42	0.32	0.28	0.82	0.42
171	639285.3928	250895.9701	546.6324	-1.00	-2.74	0.81	0.28	0.26	0.80	0.38
180	639294.1615	250932.4307	546.4194	-0.15	0.04	0.01	0.28	0.23	0.64	0.36
190	639450.2330	250726.7224	500.0404	-3.07	-3.25	-3.92	0.25	0.25	0.73	0.36
191	639644.9171	250587.7645	499.5154	-6.66	-6.60	-5.00	0.19	0.20	0.57	0.28
192	639776.1835	250438.3252	499.4643	-7.85	-6.71	-6.57	0.21	0.22	0.66	0.31
193	639908.9055	250234.9729	500.0266	-7.17	-3.73	-5.58	0.23	0.23	0.72	0.33
194	640019.2900	250052.9047	501.0096	-7.88	-3.02	-4.90	0.26	0.24	0.75	0.36
195	640091.0832	249844.2159	502.0364	-2.11	0.40	-2.01	0.22	0.18	0.54	0.28
801	639308.2849	250895.8418	548.3252	0.17	-2.78	-2.46	0.09	0.13	0.06	0.16
830	639479.8177	250794.8127	539.4779	-4.11	-8.73	-5.52	0.13	0.17	0.35	0.22
831	639472.4810	250779.5101	530.2899	-5.41	-9.49	-5.86	0.14	0.16	0.35	0.22

Çizelge B.2: Deformasyon(Obje) Noktalarının Koordinatları, Yükseklikleri, Fark Vektörleri ve Bunların Doğrulukları-2.

DEFORMASYON NOKTALARININ KOORDİNATLARI, YÜKSEKLİKLERİ, FARK VEKTÖRLERİ ve BUNLARIN DOĞRULUKLARI BİRİNCİ PERİYOT(04-13 MAYIS 2006) ve ONÜÇÜNCÜ PERİYOT(22Kasım-03Aralık 2018)										
	KOORDİNAT ve KOOTLAR			HAREKET VEKTÖRLERİ			DOĞRULUKLARI			
Nokta Adı	Y (m)	X (m)	H (m)	dY cm	dX cm	dH cm	M_Y^F cm	M_X^F cm	M_H^F cm	Mp cm
871	639577.4021	250738.9663	540.7601	-8.75	-11.92	-5.04	0.16	0.19	0.48	0.25
872	639568.4586	250727.1998	532.3783	-10.01	-11.46	-5.56	0.16	0.19	0.47	0.25
894	639704.9391	250662.9911	540.6461	-12.63	-12.17	-2.73	0.20	0.22	0.60	0.29
904	639746.3920	250609.5330	535.7518	-12.97	-11.21	-3.14	0.22	0.24	0.67	0.32
922	639764.3359	250585.9619	534.5656	-12.75	-10.97	-5.16	0.21	0.22	0.65	0.31
941	639781.5549	250566.9674	535.0341	-13.55	-11.36	-4.03	0.21	0.23	0.66	0.31
964	639864.3012	250474.1001	538.8749	-14.48	-10.03	-3.93	0.23	0.24	0.72	0.33
974	639913.1406	250403.8581	538.9825	-17.29	-9.37	-3.14	0.24	0.24	0.74	0.34
984	639946.5570	250340.6649	535.9503	-16.85	-9.08	-3.06	0.24	0.24	0.75	0.34
994	639993.8938	250273.0392	539.6882	-17.27	-8.07	-3.49	0.25	0.24	0.76	0.35
1011	640000.6449	250242.9912	535.1803	-13.79	-8.62	-5.02	0.25	0.24	0.76	0.34
1024	640030.1823	250204.0691	539.8787	-13.83	-8.33	-3.18	0.25	0.24	0.76	0.34
1034	640063.7235	250128.5626	539.0872	-13.67	-6.25	-3.33	0.25	0.23	0.74	0.34
1044	640093.3969	250059.6230	539.5820	-13.09	-5.42	-2.63	0.25	0.22	0.71	0.33
1054	640122.8340	249972.0751	538.0944	-10.88	-3.75	-2.71	0.24	0.20	0.65	0.32
1063	640139.6810	249904.0571	535.4921	-8.03	-2.40	-3.32	0.24	0.18	0.59	0.30
1071	640230.2879	249817.1565	540.9821	-1.95	4.06	-4.01	0.30	0.29	0.78	0.42
1074	640181.2238	249804.9650	541.9138	-1.01	0.67	-1.94	0.23	0.15	0.47	0.27
1075	640168.6033	249801.9516	535.3701	-0.78	0.43	-1.03	0.23	0.15	0.47	0.27
2000	640263.1455	249705.6867	535.1529				0.84	1.03	3.26	1.33
2001	640250.3280	249703.9307	541.6500	-0.57	0.79	1.77	0.85	1.03	3.27	1.33
2002	640239.5481	249701.8735	546.4651	-0.05	1.00	-1.55	0.26	0.28	0.65	0.38
2003	640211.8784	249697.2303	546.4089	0.05	1.45	-0.88	0.22	0.10	0.31	0.24
2004	640203.9321	249696.0234	542.2397	-0.96	0.89	-0.79	0.22	0.10	0.31	0.24
2005	640189.1713	249692.7207	535.0368	-1.30	1.96	-1.13	0.21	0.10	0.31	0.24
2010	640247.8166	249791.9694	535.2298				0.29	0.28	0.74	0.40
2011	640234.2615	249789.1730	542.3728	-0.70	3.08	2.02	0.82	0.98	3.13	1.28
2012	640224.8561	249787.3744	546.7256	-0.94	2.91	-2.51	0.29	0.29	0.76	0.41
2013	640195.2869	249781.3030	546.7017	-0.81	2.11	-1.82	0.23	0.14	0.44	0.27
2014	640187.9195	249779.9527	542.8193	-1.93	3.35	-1.81	0.23	0.14	0.44	0.27
2015	640173.3091	249777.2711	534.9033	-0.80	1.66	-0.68	0.23	0.14	0.43	0.27
2020	640216.2210	249898.5189	536.9946				0.33	0.32	0.89	0.45
2021	640204.9829	249896.7691	541.7708	-9.50	4.82	-12.38	0.33	0.32	0.90	0.46
2022	640194.0290	249894.2419	546.7227	-11.14	3.89	-14.43	0.33	0.32	0.90	0.46
2023	640169.3055	249886.9204	547.3614	-9.06	0.70	-1.91	0.24	0.18	0.57	0.30
2024	640159.9331	249883.8088	542.3698	-8.31	0.61	-2.64	0.24	0.18	0.56	0.30
2025	640149.5939	249879.3410	536.3282	-8.43	-0.08	-3.25	0.24	0.18	0.56	0.30
2030	640187.7611	249997.4043	535.8469				0.35	0.35	1.02	0.50
2031	640169.1192	249995.1003	542.9867	-15.71	0.13	-24.53	0.35	0.35	1.03	0.50
2032	640158.6252	249993.4718	548.2046				0.36	0.36	1.04	0.50
2033	640140.6708	249983.3427	549.1934	-13.29	-1.37	-1.21	0.25	0.21	0.66	0.32
2034	640126.9079	249977.7718	541.1906	-12.56	-2.46	-2.62	0.25	0.20	0.65	0.32
2035	640115.7692	249972.2329	534.4737	-12.08	-2.38	-3.62	0.24	0.20	0.65	0.32
2040	640156.3684	250092.5031	535.3299				0.38	0.38	1.14	0.53
2041	640143.1520	250087.3273	540.2201	-16.19	-3.25	-28.37	0.38	0.38	1.14	0.54
2042	640125.7461	250081.7245	548.5531	-22.97	-5.29	-37.14	0.38	0.38	1.15	0.54

Çizelge B.3: Deformasyon(Obje) Noktalarının Koordinatları, Yükseklikleri, Fark Vektörleri ve Bunların Doğrulukları-3.

DEFORMASYON NOKTALARININ KOORDİNATLARI, YÜKSEKLİKLERİ, FARK VEKTÖRLERİ ve BUNLARIN DOĞRULUKLARI BİRİNCİ PERİYOT(04-13 MAYIS 2006) ve ONÜÇÜNCÜ PERİYOT(22Kasım-03Aralık 2018)										
	KOORDİNAT ve KOOTLAR			HAREKET VEKTÖRLERİ			DOĞRULUKLARI			
Nokta Adı	Y (m)	X (m)	H (m)	dY cm	dX cm	dH cm	M_Y^F cm	M_X^F cm	M_H^F cm	Mp cm
2043	640106.3467	250073.3958	549.0664	-14.69	-4.39	-1.32	0.25	0.22	0.72	0.34
2044	640089.8297	250068.8683	539.6305	-14.04	-4.34	-2.92	0.25	0.22	0.71	0.33
2045	640080.7356	250064.8051	534.1553	-14.32	-4.21	-3.50	0.25	0.22	0.71	0.33
2050	640114.5281	250183.3917	535.5185				0.39	0.41	1.24	0.57
2051	640099.3791	250177.1513	541.4783	-11.38	-3.83	-33.20	0.39	0.41	1.24	0.57
2052	640087.6269	250171.7038	548.2729	-14.21	-5.32	-37.48	0.40	0.41	1.25	0.57
2053	640068.9822	250163.7365	549.5535	-8.66	-3.26	-3.90	0.25	0.24	0.75	0.35
2054	640049.9205	250157.5673	539.1374	-15.11	-6.19	-3.19	0.25	0.24	0.75	0.34
2055	640041.3012	250153.1536	533.4727	-15.32	-5.52	-4.08	0.25	0.23	0.74	0.34
2056	640026.3439	250190.7350	534.8457	-15.33	-7.02	-2.59	0.28	0.26	0.83	0.38
2057	640075.0037	250190.1634	550.6560	-15.62	-7.19	-38.46	0.40	0.42	1.27	0.58
2058	640062.1094	250183.9260	549.8208	-17.67	-7.87	-31.10	0.25	0.24	0.76	0.35
2059	640032.9042	250168.8162	532.9795	-15.00	-7.16	-3.43	0.25	0.24	0.75	0.34
2060	640066.9089	250280.7870	534.5799				0.41	0.43	1.33	0.60
2061	640049.4394	250272.9680	542.8108	-17.02	-9.94	-30.27	0.41	0.43	1.33	0.60
2062	640041.1006	250268.7905	548.3270	-20.00	-12.39	-35.55	0.41	0.44	1.34	0.60
2063	640021.2288	250256.9727	549.4409	-16.60	-7.66	-0.91	0.25	0.24	0.77	0.35
2064	640005.2295	250247.2605	538.5608	-15.76	-8.06	-2.41	0.25	0.24	0.76	0.35
2065	639996.1113	250242.8910	533.0165	-15.85	-7.79	-3.91	0.25	0.24	0.76	0.34
2070	640019.5493	250366.4657	534.0366				0.34	0.36	1.09	0.49
2071	640007.7786	250360.1241	539.6798	-15.79	-8.60	-26.29	0.34	0.36	1.10	0.49
2072	639994.9205	250352.1745	548.1245	-19.86	-9.00	-32.63	0.34	0.36	1.10	0.49
2073	639974.7562	250341.2752	549.7757	-16.20	-8.15	-1.12	0.24	0.25	0.77	0.35
2074	639958.5339	250331.5778	539.0119	-16.60	-8.99	-2.37	0.24	0.24	0.76	0.34
2075	639947.8111	250326.1871	532.3930	-16.22	-8.10	-3.63	0.24	0.24	0.75	0.34
2076	639919.0392	250390.3407	537.6731	-16.19	-9.55	-2.28	0.28	0.28	0.88	0.40
2080	639971.7297	250451.2927	532.3738				0.40	0.42	1.29	0.58
2081	639953.7599	250440.5834	541.5639	-18.37	-10.32	-27.12	0.40	0.42	1.29	0.58
2082	639942.4666	250434.0943	547.6155	-24.03	-13.79	-38.52	0.40	0.42	1.30	0.58
2083	639922.9352	250422.7981	549.5241	-16.98	-10.41	-1.21	0.24	0.24	0.75	0.34
2084	639906.7956	250412.7424	539.0166	-15.59	-9.71	-2.73	0.24	0.24	0.74	0.34
2085	639897.4410	250408.2683	533.3269	-15.09	-9.84	-3.82	0.23	0.24	0.73	0.33
2090	639909.8694	250537.6707	532.4752				0.38	0.38	1.17	0.54
2091	639893.6261	250526.2355	541.2806	-17.13	-13.78	-29.59	0.38	0.39	1.18	0.54
2092	639881.9428	250518.0275	547.8752	-18.85	-16.41	-36.03	0.38	0.39	1.19	0.54
2093	639866.4062	250503.4552	549.5666	-15.06	-11.32	-1.63	0.23	0.24	0.72	0.33
2094	639848.4363	250496.0578	539.1362	-15.28	-11.06	-3.13	0.28	0.29	0.89	0.40
2095	639839.2907	250489.4943	533.1147	-14.62	-10.93	-4.48	0.22	0.23	0.70	0.32
2100	639830.9747	250614.9343	537.7302	-15.71	-14.37	-20.46	0.35	0.35	1.06	0.50
2101	639823.4625	250607.1098	543.3774	-18.13	-16.63	-26.31	0.36	0.35	1.07	0.50

Çizelge B.4: Deformasyon(Obje) Noktalarının Koordinatları, Yükseklikleri, Fark Vektörleri ve Bunların Doğrulukları-4.

DEFORMASYON NOKTALARININ KOORDİNATLARI, YÜKSEKLİKLERİ, FARK VEKTÖRLERİ ve BUNLARIN DOĞRULUKLARI BİRİNCİ PERİYOT(04-13 MAYIS 2006) ve ONÜÇÜNCÜ PERİYOT(22Kasım-03Aralık 2018)										
	KOORDİNAT ve KOOTLAR			HAREKET VEKTÖRLERİ			DOĞRULUKLARI			
Nokta Adı	Y (m)	X (m)	H (m)	dY cm	dX cm	dH cm	M_Y^F cm	M_X^F cm	M_H^F cm	Mp cm
2102	639816.5871	250599.9591	548.2771	-19.49	-18.20	-31.08	0.36	0.35	1.07	0.50
2103	639800.9049	250585.1594	549.7576	-15.67	-13.94	-0.85	0.23	0.25	0.72	0.34
2104	639786.6385	250572.5721	539.0493	-14.30	-11.86	-4.51	0.23	0.25	0.71	0.34
2105	639775.9259	250564.4819	531.7275	-12.99	-12.08	-4.29	0.21	0.23	0.66	0.31
2110	639764.1682	250690.0666	536.4548				0.33	0.32	0.95	0.46
2111	639754.8348	250680.6896	543.6918	-16.81	-18.13	-24.21	0.34	0.32	0.96	0.46
2112	639747.9854	250673.6181	548.3889	-19.32	-20.49	-28.69	0.34	0.32	0.97	0.47
2113	639734.6239	250657.0977	549.7543	-12.51	-12.58	-1.74	0.20	0.22	0.62	0.30
2114	639722.7654	250645.0063	540.4688	-12.70	-12.30	-2.53	0.20	0.22	0.62	0.30
2115	639712.6022	250635.9312	533.1148	-11.92	-11.54	-3.16	0.34	0.36	1.08	0.50
2120	639683.0473	250756.9260	538.1149	-9.86	-13.48	-19.54	0.32	0.28	0.85	0.42
2121	639676.7598	250748.4030	543.3378	-12.14	-15.76	-25.32	0.32	0.29	0.85	0.43
2122	639670.7253	250740.6332	548.3235	-14.08	-16.72	-28.89	0.32	0.29	0.86	0.43
2123	639659.0159	250722.5178	549.6209	-10.83	-12.84	-4.25	0.18	0.21	0.55	0.28
2124	639651.1673	250708.6378	540.4809	-10.05	-12.47	-3.54	0.28	0.29	0.86	0.40
2125	639629.9961	250683.5416	532.9038	-10.44	-12.39	-7.33	0.18	0.20	0.54	0.27
2130	639604.2644	250819.2838	536.1892				0.30	0.25	0.74	0.39
2131	639594.1542	250802.5072	545.7911	-5.19	-11.38	-25.14	0.31	0.25	0.76	0.40
2132	639589.7081	250794.5710	550.6581	-6.06	-12.21	-27.69	0.31	0.26	0.77	0.40
2133	639580.5485	250782.2407	551.3974	-0.64	-0.27	-11.85	0.16	0.20	0.46	0.25
2134	639562.0080	250749.8891	540.8145	-8.34	-11.90	-6.14	0.16	0.19	0.46	0.25
2135	639553.8276	250737.0383	532.3134	-6.61	-12.19	-7.24	0.16	0.18	0.45	0.24
2136	639510.4609	250670.6124	492.8872	-3.39	-5.09	-4.23	0.25	0.26	0.73	0.35
2137	639505.1566	250660.9858	487.6644	-3.01	-4.54	-3.89	0.24	0.25	0.72	0.35
2138	639499.0582	250648.7750	480.1713	-1.92	-2.76	-3.18	0.24	0.25	0.71	0.35
2140	639521.5880	250866.9085	535.9830				0.28	0.21	0.66	0.35
2141	639511.8117	250852.2436	543.8504	-1.69	-11.94	-18.64	0.30	0.22	0.68	0.37
2142	639505.3721	250842.3790	550.2840	-1.96	-12.99	-22.65	0.30	0.23	0.69	0.38
2143	639487.1404	250811.3150	549.5071	-4.13	-11.06	-5.37	0.13	0.18	0.35	0.22
2144	639480.2394	250797.4967	540.8178	-4.48	-9.97	-6.25	0.13	0.17	0.35	0.22
2145	639472.9235	250784.6079	532.9286	-4.57	-9.27	-6.46	0.14	0.17	0.35	0.22
2146	639478.1394	250691.8803	493.7770	-3.06	-4.84	-3.98	0.25	0.25	0.73	0.35
2147	639473.2854	250682.0739	488.3499	-2.21	-3.52	-3.59	0.24	0.25	0.72	0.35
2148	639465.8075	250667.8132	479.6619	-1.72	-3.02	-2.75	0.24	0.25	0.70	0.34
2150	639429.1439	250910.9634	535.7272				0.29	0.20	0.60	0.35
2151	639423.6264	250900.1983	541.1887	3.07	-6.99	-9.38	0.29	0.20	0.62	0.35
2152	639416.7218	250884.3856	549.8056	3.00	-8.77	-13.10	0.29	0.21	0.64	0.36
2153	639403.2233	250857.3966	550.0502	-0.71	-7.21	-3.93	0.10	0.16	0.22	0.19
2154	639397.0056	250842.8237	541.6670	-1.38	-7.72	-4.98	0.11	0.15	0.22	0.19
2155	639389.7116	250827.6064	532.9737	-0.90	-6.13	-5.04	0.12	0.14	0.23	0.19
2160	639328.2452	250945.6770	535.9303				0.27	0.21	0.60	0.35

Çizelge B. 5: Deformasyon(Obje) Noktalarının Koordinatları, Yükseklikleri, Fark Vektörleri ve Bunların Doğrulukları-5.

DEFORMASYON NOKTALARININ KOORDİNATLARI, YÜKSEKLİKLERİ, FARK VEKTÖRLERİ ve BUNLARIN DOĞRULUKLARI BİRİNCİ PERİYOT(04-13 MAYIS 2006) ve ONÜÇÜNCÜ PERİYOT(22Kasım-03Aralık 2018)										
	KOORDİNAT ve KOOTLAR			HAREKET VEKTÖRLERİ			DOĞRULUKLARI			
Nokta Adı	Y (m)	X (m)	H (m)	dY cm	dX cm	dH cm	M_Y^F cm	M_X^F cm	M_H^F cm	Mp cm
2161	639324.1073	250931.1640	543.0444	2.27	0.98	-1.27	0.28	0.22	0.62	0.36
2162	639321.9006	250919.4375	549.1242	3.28	0.10	-3.29	0.28	0.22	0.64	0.36
2163	639312.0326	250895.9837	548.9847	1.43	-2.25	-3.91	0.09	0.14	0.06	0.16
2164	639306.7227	250881.4496	541.8436	0.87	-3.08	-2.32	0.28	0.26	0.80	0.38
2165	639301.0693	250861.4616	532.0135	0.11	-2.65	-1.50	0.27	0.25	0.77	0.37
4000	640208.1370	249826.4619	549.7441	-2.57	3.80	-6.64	0.30	0.30	0.82	0.43
4001	640193.5262	249821.3450	550.0752	-1.27	3.50	-4.88	0.23	0.15	0.49	0.28
4010	640147.9640	250009.9122	550.4413	-21.44	-3.79	-32.17	0.36	0.36	1.06	0.51
4011	640137.3093	250005.0575	551.0785	-6.05	-0.75	-7.93	0.25	0.21	0.67	0.33
4020	640105.7977	250121.1953	550.5986	-18.65	-6.41	-39.21	0.39	0.40	1.19	0.55
4021	640094.8554	250115.5092	551.3825	-9.12	1.57	-16.26	0.25	0.23	0.74	0.34
4030	640062.4998	250215.7329	550.6433	-16.65	-7.75	-37.68	0.46	0.50	1.57	0.68
4031	640049.2717	250210.5143	550.6537	9.73	-5.78	-19.63	0.25	0.24	0.77	0.35
4040	640012.0841	250312.8525	550.7421	-18.95	-11.75	-34.81	0.42	0.44	1.37	0.61
4041	640000.5144	250304.3468	551.6804	-6.44	-2.00	-11.00	0.25	0.25	0.77	0.35
4050	639952.4706	250408.9449	550.1872	-24.85	-14.18	-42.61	0.43	0.46	1.43	0.63
4051	639941.8110	250401.7841	551.7795	-5.43	-2.00	-7.95	0.24	0.24	0.76	0.34
4060	639886.7695	250503.1421	550.3214	-20.39	-18.17	-40.08	0.33	0.34	1.04	0.47
4061	639876.3355	250497.3289	551.8183	-10.22	-9.04	-4.80	0.23	0.24	0.73	0.33
4070	639813.2481	250596.5365	550.6344	-18.92	-19.47	-34.05	0.36	0.36	1.08	0.50
4071	639807.7738	250581.6147	551.3525	-13.14	-11.87	-4.21	0.22	0.23	0.68	0.32
4080	639710.3007	250702.0818	550.5761	-18.09	-21.00	-31.71	0.33	0.31	0.92	0.45
4081	639702.8278	250691.3514	551.7310	-9.61	-10.96	-5.37	0.19	0.22	0.59	0.29
4090	639544.1610	250822.0254	550.3551	-3.51	-13.60	-25.05	0.30	0.24	0.72	0.39
4091	639536.2587	250809.1237	551.2468	-0.19	-4.13	-8.27	0.14	0.19	0.41	0.24
4100	639459.4523	250864.6706	549.9599	0.17	-11.57	-19.19	0.30	0.22	0.66	0.37
4101	639442.4091	250837.5262	550.8384	-2.25	-8.38	-5.22	0.11	0.17	0.28	0.20
4110	639385.1482	250897.4918	549.5763	3.76	-5.82	-9.23	0.29	0.21	0.64	0.36
4111	639370.7362	250873.0963	549.8844	0.72	-4.37	-5.10	0.09	0.16	0.16	0.18
2053A	640073.2396	250165.8458	550.6731	-16.00	-6.78	-34.39	0.22	0.21	0.67	0.31
2056A	640066.9520	250211.7626	549.5359	-15.23	-6.77	-37.22	0.40	0.42	1.29	0.58
2056B	640051.7882	250203.9736	549.4897	-18.77	-7.26	-33.81	0.34	0.31	0.99	0.46
2056C	640040.2050	250196.6361	543.3611	-16.33	-6.77	-1.57	0.25	0.24	0.76	0.35
2058A	640054.0278	250179.8639	546.3518	-16.49	-7.10	-1.14	0.25	0.24	0.76	0.35
2058B	640041.7898	250174.3891	539.1230	-15.99	-7.39	-2.15	0.25	0.24	0.75	0.34
2059A	640091.9487	250152.1123	550.6564	-14.97	-4.89	-38.97	0.47	0.47	1.40	0.66
2059B	640081.4991	250147.6640	550.7464	-17.76	-2.20	-32.92	0.25	0.23	0.75	0.34
2059C	640076.8840	250146.8433	549.6685	-14.53	-5.87	-1.42	0.25	0.23	0.75	0.34
2059D	640071.3514	250143.8504	546.3031	-15.94	-6.52	-1.09	0.25	0.23	0.75	0.34
2059E	640063.5075	250141.8181	542.1259	-16.22	-6.51	-2.00	0.25	0.23	0.74	0.34
2059H	640057.0754	250139.3273	538.3316	-16.03	-6.43	-2.96	0.25	0.23	0.74	0.34
2059İ	640050.8977	250137.1512	534.6240	-15.01	-6.09	-3.31	0.25	0.23	0.74	0.34
2059K	640085.8200	250136.8458	550.7721	-21.66	-3.35	-33.71	0.25	0.23	0.75	0.34
2059L	640083.1727	250135.3591	549.7391	-3.01	-12.51	-24.25	0.38	0.38	1.23	0.54
2059M	640077.1066	250133.3397	546.9484	-16.06	-6.14	-1.03	0.25	0.23	0.74	0.34
D1	640293.6599	249678.9497	548.9708				0.24	0.25	0.56	0.35
D2	640211.6752	249659.3058	544.7096	0.00	0.53	-0.92	0.21	0.08	0.26	0.23
D3	640145.4414	249651.8278	513.4758	0.91	0.42	-0.41	0.19	0.13	0.28	0.23
114A	639553.6481	250626.5319	487.2007	-2.94	-4.66	-3.21	0.24	0.26	0.74	0.35

EK C

Çizelge C.1: 13. Periyot hesaplanan fark vektörleri için anlamlılık testi-1

13. PERİYOT HESAPLANAN FARK VEKTÖRLERİ İÇİN ANLAMLILIK TESTİ															
Nokta Adı	dY_i (cm)	dX_i (cm)	dP_i (cm)	Mp_i (cm)	dH_i (cm)	Md_H cm	D_H cm	dH_i dm	dR_i dm	Açıklık t_i (grad)	Sabit Açıklık t_{si} (grad)	Fark $t_i - t_{si}$ (grad)	Açıklık Açısı (grad)	Radial dR_i (cm)	Test T_i (cm)
102	-1.66	-6.47	**6.68**	0.38	**-4.23**	0.79	2.79	-0.42	0.66	215.951	228.00	-12.05	387.951	**6.56**	1.33
103	-0.40	-2.78	**2.80**	0.35	-2.27	0.72	2.55	-0.23	0.27	209.183	228.00	-18.82	381.183	**2.68**	1.25
104	-0.39	-2.01	**2.05**	0.33	-0.55	0.64	2.27	-0.06	0.20	212.329	228.00	-15.67	384.329	**1.99**	1.15
105	-0.35	-0.28	0.45	0.29	0.48	0.55	1.93	0.05	0.04	257.253	215.00	42.25	42.253	0.35	1.01
113	-9.49	-11.80	**15.14**	0.26	**-6.10**	0.52	1.83	-0.61	1.51	243.133	238.00	5.13	5.133	**15.09**	0.94
114	-6.58	-8.41	**10.68**	0.26	**-7.53**	0.50	1.78	-0.75	1.07	242.298	238.00	4.30	4.298	**10.65**	0.90
115	-3.21	-3.40	**4.67**	0.34	**-2.93**	0.71	2.51	-0.29	0.46	248.126	238.00	10.13	10.126	**4.61**	1.22
116	-0.49	-0.66	0.82	0.32	-0.37	0.64	2.25	-0.04	0.08	240.815	238.00	2.82	2.815	0.82	1.12
117	0.05	-0.04	0.07	0.37	-0.35	0.72	2.54	-0.04	0.00	137.582	238.00	-100.42	299.582	0.00	1.33
123	-11.74	-10.59	**15.81**	0.39	**-6.13**	0.86	3.05	-0.61	1.58	253.257	252.00	1.26	1.257	**15.81**	1.39
124	-8.20	-7.12	**10.86**	0.30	**-7.84**	0.63	2.23	-0.78	1.09	254.502	252.00	2.50	2.502	**10.85**	1.05
125	-7.20	-6.12	**9.45**	0.29	**-6.84**	0.62	2.19	-0.68	0.94	255.110	252.00	3.11	3.110	**9.44**	1.04
126	-3.72	-3.31	**4.97**	0.29	**-3.48**	0.60	2.12	-0.35	0.50	253.733	252.00	1.73	1.733	**4.97**	1.01
127	-1.20	-0.26	**1.23**	0.33	-0.31	0.68	2.41	-0.03	0.11	286.380	252.00	34.38	34.380	1.05	1.17
128	-0.56	-0.01	0.56	0.31	-0.11	0.62	2.19	-0.01	0.04	299.293	252.00	47.29	47.293	0.41	1.08
133	-14.59	-9.20	**17.24**	0.34	**-6.17**	0.73	2.60	-0.62	1.72	264.183	267.00	-2.82	397.183	**17.23**	1.18
134	-9.72	-6.93	**11.93**	0.32	**-6.81**	0.71	2.50	-0.68	1.19	260.562	267.00	-6.44	393.562	**11.87**	1.15
135	-5.05	-2.65	**5.70**	0.31	**-3.92**	0.67	2.38	-0.39	0.57	269.230	267.00	2.23	2.230	**5.70**	1.11
136	-0.84	-0.19	0.86	0.30	-0.12	0.64	2.26	-0.01	0.08	285.641	267.00	18.64	18.641	0.83	1.07
137	-0.91	-0.15	0.92	0.32	0.52	0.67	2.37	0.05	0.09	289.584	267.00	22.58	22.584	0.86	1.14
143	-14.83	-6.31	**16.11**	0.34	**-6.15**	0.75	2.64	-0.62	1.61	274.375	271.00	3.38	3.375	**16.09**	1.21
144	-6.87	-3.53	**7.72**	0.33	**-6.42**	0.72	2.53	-0.64	0.77	269.773	271.00	-1.23	398.773	**7.72**	1.16
145	-3.51	-1.76	**3.93**	0.32	**-4.29**	0.70	2.47	-0.43	0.39	270.446	271.00	-0.55	399.446	**3.93**	1.14
146	-0.75	0.00	0.75	0.31	0.05	0.67	2.38	0.01	0.07	300.158	271.00	29.16	29.158	0.67	1.11
153	-11.82	-3.18	**12.24**	0.47	**-5.61**	1.08	3.83	-0.56	1.21	283.264	274.00	9.26	9.264	**12.11**	1.67
154	-5.63	-2.41	**6.12**	0.31	**-4.29**	0.65	2.28	-0.43	0.61	274.203	274.00	0.20	0.203	**6.12**	1.11
155	-1.52	-1.48	**2.12**	0.31	**-2.30**	0.64	2.27	-0.23	0.20	250.782	274.00	-23.22	376.782	**1.98**	1.09
156	-1.40	0.33	**1.43**	0.31	0.89	0.64	2.27	0.09	0.12	314.783	274.00	40.78	40.783	**1.15**	1.09
162	-1.10	0.69	**1.30**	0.27	-0.24	0.45	1.57	-0.02	0.09	335.829	287.00	48.83	48.829	0.94	0.94
170	-0.33	-1.08	1.13	0.42	1.42	0.82	2.90	0.14	0.11	219.017	220.00	-0.98	399.017	1.13	1.49
171	-1.00	-2.74	**2.92**	0.38	0.81	0.80	2.84	0.08	0.29	222.359	220.00	2.36	2.359	**2.92**	1.35
180	-0.15	0.04	0.16	0.36	0.01	0.64	2.27	0.00	0.00	317.978	221.00	96.98	96.978	0.01	1.28
190	-3.07	-3.25	**4.47**	0.36	**-3.92**	0.73	2.59	-0.39	0.39	248.231	215.00	33.23	33.231	**3.87**	1.26
191	-6.66	-6.60	**9.38**	0.28	**-5.00**	0.57	2.01	-0.50	0.94	250.249	248.00	2.25	2.249	**9.37**	0.98
192	-7.85	-6.71	**10.33**	0.31	**-6.57**	0.66	2.35	-0.66	1.03	254.981	262.00	-7.02	392.981	**10.27**	1.10
193	-7.17	-3.73	**8.08**	**0.33**	**-5.58**	0.72	2.55	-0.56	0.81	269.453	267.00	2.45	2.453	**8.07**	1.17
194	-7.88	-3.02	**8.44**	0.36	**-4.90**	0.75	2.65	-0.49	0.84	276.693	278.00	-1.31	398.693	**8.44**	1.26
195	-2.11	0.40	**2.15**	0.28	**-2.01**	0.54	1.91	-0.20	0.19	311.942	282.00	29.94	29.942	**1.91**	1.01
801	0.17	-2.78	**2.79**	0.16	**-2.46**	0.06	0.20	-0.25	0.26	196.047	220.00	-23.95	376.047	**2.59**	0.57
830	-4.11	-8.73	**9.65**	0.22	**-5.52**	0.35	1.24	-0.55	0.94	227.998	215.00	13.00	12.998	**9.45**	0.77
831	-5.41	-9.49	**10.92**	0.22	**-5.86**	0.35	1.25	-0.59	1.05	232.993	215.00	17.99	17.993	**10.49**	0.76
871	-8.75	-11.92	**14.78**	0.25	**-5.04**	0.48	1.68	-0.50	1.47	240.327	235.00	5.33	5.327	**14.73**	0.89
872	-10.01	-11.46	**15.22**	0.25	**-5.56**	0.47	1.67	-0.56	1.50	245.727	235.00	10.73	10.727	**15.00**	0.88
894	-12.63	-12.17	**17.54**	0.29	**-2.73**	0.60	2.12	-0.27	1.75	251.170	249.00	2.17	2.170	**17.53**	1.03
904	-12.97	-11.21	**17.14**	0.32	**-3.14**	0.67	2.37	-0.31	1.71	254.632	249.00	5.63	5.632	**17.07**	1.15

Çizelge C.2: 13. Periyot hesaplanan fark vektörleri için anlamlılık testi-2

13. PERİYOT HESAPLANAN FARK VEKTÖRLERİ İÇİN ANLAMLILIK TESTİ															
										Açıklık	Sabit	Fark	Açıklık	Radial	Test
Nokta	dY_i	dX_i	dP_i	Mp_i	dH_i	Md_H	D_H	dH_i	dR_i	t_i	Açıklık	$t_i - t_{si}$	Açısı	dR_i	T_i
Adı	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	cm	cm	dm	dm	(grad)	t_{si}	(grad)	(grad)	(cm)	(cm)
922	-12.75	-10.97	**16.81**	0.31	**-5.16**	0.65	2.30	-0.52	1.68	254.768	251.00	3.77	3.768	**16.79**	1.09
941	-13.55	-11.36	**17.68**	0.31	**-4.03**	0.66	2.35	-0.40	1.77	255.571	252.00	3.57	3.571	**17.65**	1.10
964	-14.48	-10.03	**17.62**	0.33	**-3.93**	0.72	2.54	-0.39	1.76	261.451	264.00	-2.55	397.451	**17.60**	1.17
974	-17.29	-9.37	**19.66**	0.34	**-3.14**	0.74	2.62	-0.31	1.96	268.383	266.00	2.38	2.383	**19.65**	1.19
984	-16.85	-9.08	**19.14**	0.34	**-3.06**	0.75	2.66	-0.31	1.91	268.530	267.00	1.53	1.530	**19.14**	1.21
994	-17.27	-8.07	**19.07**	0.35	**-3.49**	0.76	2.69	-0.35	1.90	272.162	267.00	5.16	5.162	**19.00**	1.22
1011	-13.79	-8.62	**16.26**	0.34	**-5.02**	0.76	2.68	-0.50	1.62	264.447	267.00	-2.55	397.447	**16.25**	1.22
1024	-13.83	-8.33	**16.15**	0.34	**-3.18**	0.76	2.68	-0.32	1.61	265.473	268.00	-2.53	397.473	**16.14**	1.22
1034	-13.67	-6.25	**15.03**	0.34	**-3.33**	0.74	2.61	-0.33	1.50	272.720	276.00	-3.28	396.720	**15.01**	1.20
1044	-13.09	-5.42	**14.17**	0.33	**-2.63**	0.71	2.50	-0.26	1.42	274.998	278.00	-3.00	396.998	**14.15**	1.18
1054	-10.88	-3.75	**11.51**	0.32	**-2.71**	0.65	2.29	-0.27	1.15	278.857	274.00	4.86	4.857	**11.48**	1.12
1063	-8.03	-2.40	**8.38**	0.30	**-3.32**	0.59	2.08	-0.33	0.84	281.547	282.00	-0.45	399.547	**8.38**	1.07
1071	-1.95	4.06	**4.50**	0.42	**-4.01**	0.78	2.77	-0.40	0.09	371.492	285.00	86.49	86.492	0.95	1.48
1074	-1.01	0.67	**1.22**	0.27	**-1.94**	0.47	1.66	-0.19	0.08	337.271	285.00	52.27	52.271	0.83	0.97
1075	-0.78	0.43	0.89	0.27	-1.03	0.47	1.65	-0.10	0.07	332.368	285.00	47.37	47.368	0.65	0.97
2000															
2001	-0.57	0.79	0.98	1.33	1.77	3.27	11.55	0.18	0.04	360.461	288.00	72.46	72.461	0.41	4.71
2002	-0.05	1.00	1.00	0.38	-1.55	0.65	2.30	-0.15	-0.01	396.977	288.00	108.98	108.977	-0.14	1.33
2003	0.05	1.45	**1.45**	0.24	-0.88	0.31	1.11	-0.09	-0.03	2.086	288.00	-285.91	114.086	-0.32	0.84
2004	-0.96	0.89	**1.31**	0.24	-0.79	0.31	1.11	-0.08	0.08	347.467	288.00	59.47	59.467	0.78	0.84
2005	-1.30	1.96	**2.35**	0.24	**-1.13**	0.31	1.10	-0.11	0.09	362.821	288.00	74.82	74.821	**0.91**	0.84
2010															
2011	-0.70	3.08	3.16	1.28	2.02	3.13	11.05	0.20	0.01	385.749	287.00	98.75	98.749	0.06	4.52
2012	-0.94	2.91	**3.06**	0.41	-2.51	0.76	2.67	-0.25	0.03	380.102	287.00	93.10	93.102	0.33	1.45
2013	-0.81	2.11	**2.26**	0.27	**-1.82**	0.44	1.54	-0.18	0.04	376.697	287.00	89.70	89.697	0.36	0.94
2014	-1.93	3.35	**3.87**	0.27	**-1.81**	0.44	1.54	-0.18	0.12	366.823	287.00	79.82	79.823	**1.21**	0.94
2015	-0.80	1.66	**1.84**	0.27	-0.68	0.43	1.54	-0.07	0.04	371.445	287.00	84.44	84.445	0.45	0.94
2020															
2021	-9.50	4.82	**10.65**	0.46	**-12.38**	0.90	3.17	-1.24	0.78	329.915	282.00	47.92	47.915	**7.78**	1.61
2022	-11.14	3.89	**11.79**	0.46	**-14.43**	0.90	3.19	-1.44	0.96	321.377	282.00	39.38	39.377	**9.61**	1.62
2023	-9.06	0.70	**9.09**	0.30	-1.91	0.57	2.00	-0.19	0.85	304.894	282.00	22.89	22.894	**8.51**	1.06
2024	-8.31	0.61	**8.33**	0.30	**-2.64**	0.56	1.99	-0.26	0.78	304.669	282.00	22.67	22.669	**7.81**	1.05
2025	-8.43	-0.08	**8.43**	0.30	**-3.25**	0.56	1.98	-0.32	0.81	299.412	282.00	17.41	17.412	**8.12**	1.05
2030															
2031	-15.71	0.13	**15.71**	0.50	**-24.53**	1.03	3.65	-2.45	1.44	300.523	274.00	26.52	26.523	**14.37**	1.77
2032															
2033	-13.29	-1.37	**13.36**	0.32	-1.21	0.66	2.33	-0.12	1.27	293.461	274.00	19.46	19.461	**12.74**	1.14
2034	-12.56	-2.46	**12.80**	0.32	**-2.62**	0.65	2.31	-0.26	1.25	287.699	274.00	13.70	13.699	**12.51**	1.13
2035	-12.08	-2.38	**12.32**	0.32	**-3.62**	0.65	2.30	-0.36	1.20	287.621	274.00	13.62	13.621	**12.04**	1.12
2041	-16.19	-3.25	**16.51**	0.54	**-28.37**	1.14	4.03	-2.84	1.63	287.389	278.00	9.39	9.389	**16.33**	1.89
2042	-22.97	-5.29	**23.57**	0.54	**-37.14**	1.15	4.05	-3.71	2.34	285.590	278.00	7.59	7.590	**23.40**	1.90
2043	-14.69	-4.39	**15.34**	0.34	-1.32	0.72	2.54	-0.13	1.53	281.500	278.00	3.50	3.500	**15.31**	1.19
2044	-14.04	-4.34	**14.70**	0.33	**-2.92**	0.71	2.52	-0.29	1.47	280.917	278.00	2.92	2.917	**14.68**	1.18
2045	-14.32	-4.21	**14.92**	0.33	**-3.50**	0.71	2.51	-0.35	1.49	281.773	278.00	3.77	3.773	**14.90**	1.18

Çizelge C.3: 13. Periyot hesaplanan fark vektörleri için anlamlılık testi-3

			13. PERİYOT HESAPLANAN FARK VEKTÖRLERİ İÇİN ANLAMLILIK TESTİ												
										Açıklık	Sabit	Fark	Açıklık	Radial	Test
Nokta	dY_i	dX_i	dP_i	Mp_i	dH_i	Md_H	D_H	dH_i	dR_i	t_i	Açıklık	$t_i - t_{si}$	Açısı	dR_i	T_i
Adı	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	cm	cm	dm	dm	(grad)	t_{si}	(grad)	(grad)	(cm)	(cm)
2050															
2051	-11.38	-3.83	**12.01**	0.57	**-33.20**	1.24	4.39	-3.32	1.20	279.336	275.00	4.34	4.336	**11.98**	2.01
2052	-14.21	-5.32	**15.17**	0.57	**-37.48**	1.25	4.40	-3.75	1.52	277.195	275.00	2.19	2.195	**15.16**	2.02
2053	-8.66	-3.26	**9.25**	0.35	**-3.90**	0.75	2.67	-0.39	0.92	277.096	275.00	2.10	2.096	**9.25**	1.22
2054	-15.11	-6.19	**16.33**	0.34	**-3.19**	0.75	2.64	-0.32	1.63	275.233	275.00	0.23	0.233	**16.33**	1.21
2055	-15.32	-5.52	**16.28**	0.34	**-4.08**	0.74	2.63	-0.41	1.63	278.003	275.00	3.00	3.003	**16.27**	1.21
2056	-15.33	-7.02	**16.86**	0.38	-2.59	0.83	2.95	-0.26	1.68	272.658	277.00	-4.34	395.658	**16.82**	1.35
2057	-15.62	-7.19	**17.19**	0.58	**-38.46**	1.27	4.48	-3.85	1.72	272.547	277.00	-4.45	395.547	**17.15**	2.04
2058	-17.67	-7.87	**19.34**	0.35	**-31.10**	0.76	2.69	-3.11	1.93	273.332	277.00	-3.67	396.332	**19.31**	1.23
2059	-15.00	-7.16	**16.62**	0.34	**-3.43**	0.75	2.64	-0.34	1.66	271.629	277.00	-5.37	394.629	**16.56**	1.21
2060															
2061	-17.02	-9.94	**19.71**	0.60	**-30.27**	1.33	4.71	-3.03	1.97	266.337	267.00	-0.66	399.337	**19.71**	2.11
2062	-20.00	-12.39	**23.52**	0.60	**-35.55**	1.34	4.72	-3.55	2.35	264.696	267.00	-2.30	397.696	**23.51**	2.12
2063	-16.60	-7.66	**18.28**	0.35	-0.91	0.77	2.72	-0.09	1.82	272.491	267.00	5.49	5.491	**18.21**	1.23
2064	-15.76	-8.06	**17.70**	0.35	-2.41	0.76	2.69	-0.24	1.77	269.921	267.00	2.92	2.921	**17.68**	1.22
2065	-15.85	-7.79	**17.66**	0.34	**-3.91**	0.76	2.67	-0.39	1.76	270.926	267.00	3.93	3.926	**17.63**	1.21
2070															
2071	-15.79	-8.60	**17.98**	0.49	**-26.29**	1.10	3.88	-2.63	1.80	268.256	267.00	1.26	1.256	**17.98**	1.75
2072	-19.86	-9.00	**21.80**	0.49	**-32.63**	1.10	3.88	-3.26	2.17	272.906	267.00	5.91	5.906	**21.71**	1.75
2073	-16.20	-8.15	**18.14**	0.35	-1.12	0.77	2.71	-0.11	1.81	270.320	267.00	3.32	3.320	**18.11**	1.22
2074	-16.60	-8.99	**18.87**	0.34	-2.37	0.76	2.67	-0.24	1.89	268.394	267.00	1.39	1.394	**18.87**	1.21
2075	-16.22	-8.10	**18.13**	0.34	**-3.63**	0.75	2.65	-0.36	1.81	270.507	267.00	3.51	3.507	**18.10**	1.21
2076	-16.19	-9.55	**18.79**	0.40	-2.28	0.88	3.12	-0.23	1.88	266.071	267.00	-0.93	399.071	**18.79**	1.41
2081	-18.37	-10.32	**21.07**	0.58	**-27.12**	1.29	4.57	-2.71	2.11	267.418	267.00	0.42	0.418	**21.07**	2.05
2082	-24.03	-13.79	**27.70**	0.58	**-38.52**	1.30	4.58	-3.85	2.77	266.834	267.00	-0.17	399.834	**27.70**	2.06
2083	-16.98	-10.41	**19.92**	0.34	-1.21	0.75	2.65	-0.12	1.99	264.980	267.00	-2.02	397.980	**19.91**	1.20
2084	-15.59	-9.71	**18.37**	0.34	**-2.73**	0.74	2.61	-0.27	1.84	264.544	267.00	-2.46	397.544	**18.35**	1.19
2085	-15.09	-9.84	**18.01**	0.33	**-3.82**	0.73	2.59	-0.38	1.80	263.216	267.00	-3.78	396.216	**17.98**	1.18
2090															
2091	-17.13	-13.78	**21.99**	0.54	**-29.59**	1.18	4.17	-2.96	2.19	256.882	262.00	-5.12	394.882	**21.92**	1.91
2092	-18.85	-16.41	**24.99**	0.54	**-36.03**	1.19	4.19	-3.60	2.48	254.383	262.00	-7.62	392.383	**24.81**	1.92
2093	-15.06	-11.32	**18.84**	0.33	-1.63	0.72	2.55	-0.16	1.88	258.951	262.00	-3.05	396.951	**18.82**	1.17
2094	-15.28	-11.06	**18.86**	0.40	-3.13	0.89	3.13	-0.31	1.88	260.111	262.00	-1.89	398.111	**18.85**	1.42
2095	-14.62	-10.93	**18.25**	0.32	**-4.48**	0.70	2.48	-0.45	1.82	259.126	262.00	-2.87	397.126	**18.23**	1.15
2100	-15.71	-14.37	**21.29**	0.50	**-20.46**	1.06	3.76	-2.05	2.13	252.840	252.00	0.84	0.840	**21.29**	1.76
2101	-18.13	-16.63	**24.60**	0.50	**-26.31**	1.07	3.78	-2.63	2.46	252.745	252.00	0.75	0.745	**24.60**	1.77
2102	-19.49	-18.20	**26.67**	0.50	**-31.08**	1.07	3.80	-3.11	2.67	252.185	252.00	0.19	0.185	**26.67**	1.78
2103	-15.67	-13.94	**20.97**	0.34	-0.85	0.72	2.55	-0.09	2.10	253.716	252.00	1.72	1.716	**20.96**	1.21
2104	-14.30	-11.86	**18.58**	0.34	**-4.51**	0.71	2.51	-0.45	1.85	255.918	252.00	3.92	3.918	**18.54**	1.19
2105	-12.99	-12.08	**17.74**	0.31	**-4.29**	0.66	2.34	-0.43	1.77	252.293	252.00	0.29	0.293	**17.74**	1.10
2110															
2111	-16.81	-18.13	**24.72**	0.46	**-24.21**	0.96	3.40	-2.42	2.47	247.582	248.00	-0.42	399.582	**24.72**	1.64
2112	-19.32	-20.49	**28.16**	0.47	**-28.69**	0.97	3.42	-2.87	2.82	248.129	248.00	0.13	0.129	**28.16**	1.65
2113	-12.51	-12.58	**17.74**	0.30	-1.74	0.62	2.21	-0.17	1.77	249.804	248.00	1.80	1.804	**17.74**	1.06
2114	-12.70	-12.30	**17.68**	0.30	**-2.53**	0.62	2.18	-0.25	1.77	251.010	248.00	3.01	3.010	**17.66**	1.05
2115	-11.92	-11.54	**16.59**	0.50	-3.16	1.08	3.81	-0.32	1.66	251.042	248.00	3.04	3.042	**16.57**	1.75
2120	-9.86	-13.48	**16.71**	0.42	**-19.54**	0.85	2.99	-1.95	1.67	240.206	240.00	0.21	0.206	**16.71**	1.50
2121	-12.14	-15.76	**19.90**	0.43	**-25.32**	0.85	3.02	-2.53	1.99	241.791	240.00	1.79	1.791	**19.89**	1.51
2122	-14.08	-16.72	**21.86**	0.43	**-28.89**	0.86	3.04	-2.89	2.18	244.564	240.00	4.56	4.564	**21.80**	1.52
2123	-10.83	-12.84	**16.80**	0.28	**-4.25**	0.55	1.95	-0.42	1.68	244.621	240.00	4.62	4.621	**16.75**	0.98
2124	-10.05	-12.47	**16.01**	0.40	**-3.54**	0.86	3.05	-0.35	1.60	243.180	240.00	3.18	3.180	**15.99**	1.40
2125	-10.44	-12.39	**16.20**	0.27	**-7.33**	0.54	1.90	-0.73	1.62	244.591	240.00	4.59	4.591	**16.16**	0.95
2130															
2131	-5.19	-11.38	**12.51**	0.40	**-25.14**	0.76	2.69	-2.51	1.24	227.263	235.00	-7.74	392.263	**12.42**	1.41
2132	-6.06	-12.21	**13.63**	0.40	**-27.69**	0.77	2.72	-2.77	1.36	229.312	235.00	-5.69	394.312	**13.57**	1.42
2133	-0.64	-0.27	0.69	0.25	**-11.85**	0.46	1.64	-1.19	0.06	274.471	235.00	39.47	39.471	0.56	0.89
2134	-8.34	-11.90	**14.53**	0.25	**-6.14**	0.46	1.61	-0.61	1.45	238.905	235.00	3.90	3.905	**14.50**	0.87
2135	-6.61	-12.19	**13.87**	0.24	**-7.24**	0.45	1.61	-0.72	1.39	231.633	235.00	-3.37	396.633	**13.85**	0.86
2136	-3.39	-5.09	**6.11**	0.35	**-4.23**	0.73	2.60	-0.42	0.61	237.417	235.00	2.42	2.417	**6.11**	1.25
2137	-3.01	-4.54	**5.45**	0.35	**-3.89**	0.72	2.56	-0.39	0.54	237.297	235.00	2.30	2.297	**5.45**	1.24
2138	-1.92	-2.76	**3.37**	0.35	**-3.18**	0.71	2.51	-0.32	0.34	238.620	235.00	3.62	3.620	**3.36**	1.22

Çizelge C.4: 13. Periyot hesaplanan fark vektörleri için anlamlılık testi-4

13. PERİYOT HESAPLANAN FARK VEKTÖRLERİ İÇİN ANLAMLILIK TESTİ															
										Açıklık	Sabit	Fark	Açıklık	Radial	Test
Nokta	dY_i	dX_i	dP_i	Mp_i	dH_i	Md_H	D_H	dH_i	dR_i	t_i	Açıklık	$t_i - t_{si}$	Açısı	dR_i	T_i
Adı	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	cm	cm	dm	dm	(grad)	t_{si}	(grad)	(grad)	(cm)	(cm)
2140															
2141	-1.69	-11.94	**12.05**	0.37	**-18.64**	0.68	2.41	-1.86	1.20	208.930	215.00	-6.07	393.930	**12.00**	1.32
2142	-1.96	-12.99	**13.14**	0.38	**-22.65**	0.69	2.45	-2.27	1.31	209.513	215.00	-5.49	394.513	**13.09**	1.33
2143	-4.13	-11.06	**11.80**	0.22	**-5.37**	0.35	1.24	-0.54	1.17	222.731	215.00	7.73	7.731	**11.72**	0.77
2144	-4.48	-9.97	**10.92**	0.22	**-6.25**	0.35	1.24	-0.63	1.07	226.871	215.00	11.87	11.871	**10.74**	0.77
2145	-4.57	-9.27		0.22	**-6.46**	0.35	1.24	-0.65		229.139					
2146	-3.06	-4.84	**5.72**	0.35	**-3.98**	0.73	2.57	-0.40	0.54	235.867	215.00	20.87	20.867	**5.42**	1.25
2147	-2.21	-3.52	**4.16**	0.35	**-3.59**	0.72	2.53	-0.36	0.39	235.620	215.00	20.62	20.620	**3.94**	1.23
2148	-1.72	-3.02	**3.48**	0.34	**-2.75**	0.70	2.47	-0.28	0.33	233.015	215.00	18.02	18.015	**3.34**	1.21
2150															
2151	3.07	-6.99	**7.64**	0.35	**-9.38**	0.62	2.20	-0.94	0.50	173.695	228.00	-54.31	345.695	**5.02**	1.25
2152	3.00	-8.77	**9.27**	0.36	**-13.10**	0.64	2.28	-1.31	0.67	179.045	228.00	-48.95	351.045	**6.66**	1.28
2153	-0.71	-7.21	**7.24**	0.19	**-3.93**	0.22	0.77	-0.39	0.68	206.241	228.00	-21.76	378.241	**6.82**	0.67
2154	-1.38	-7.72	**7.84**	0.19	**-4.98**	0.22	0.78	-0.50	0.76	211.220	228.00	-16.78	383.220	**7.57**	0.66
2155	-0.90	-6.13	**6.19**	0.19	**-5.04**	0.23	0.80	-0.50	0.59	209.317	228.00	-18.68	381.317	**5.93**	0.66
2160															
2161	2.27	0.98	**2.47**	0.36	-1.27	0.62	2.20	-0.13	-0.16	74.137	220.00	-145.86	254.137	**-1.63**	1.26
2162	3.28	0.10	**3.28**	0.36	**-3.29**	0.64	2.26	-0.33	-0.11	98.091	220.00	-121.91	278.091	-1.11	1.28
2163	1.43	-2.25	**2.67**	0.16	**-3.91**	0.06	0.22	-0.39	0.17	163.854	220.00	-56.15	343.854	**1.70**	0.57
2164	0.87	-3.08	**3.20**	0.38	-2.32	0.80	2.81	-0.23	0.27	182.557	220.00	-37.44	362.557	**2.66**	1.34
2165	0.11	-2.65	**2.66**	0.37	-1.50	0.77	2.73	-0.15	0.25	197.310	220.00	-22.69	377.310	**2.49**	1.31
4000	-2.57	3.80	**4.59**	0.43	**-6.64**	0.82	2.88	-0.66	0.16	362.082	285.00	77.08	77.082	**1.62**	1.52
4001	-1.27	3.50	**3.73**	0.28	**-4.88**	0.49	1.73	-0.49	0.04	377.907	285.00	92.91	92.907	0.41	0.99
4010	-21.44	-3.79	**21.77**	0.51	**-32.17**	1.06	3.76	-3.22	2.16	288.848	280.00	8.85	8.848	**21.56**	1.81
4011	-6.05	-0.75	**6.10**	0.33	**-7.93**	0.67	2.39	-0.79	0.60	292.142	280.00	12.14	12.142	**5.99**	1.15
4020	-18.65	-6.41	**19.73**	0.55	**-39.21**	1.19	4.22	-3.92	1.97	278.922	276.00	2.92	2.922	**19.70**	1.96
4021	-9.12	1.57	**9.26**	0.34	**-16.26**	0.74	2.61	-1.63	0.79	310.840	276.00	34.84	34.840	**7.90**	1.21
4030	-16.65	-7.75	**18.37**	0.68	**-37.68**	1.57	5.54	-3.77	1.84	272.256	270.00	2.26	2.256	**18.36**	2.41
4031	9.73	-5.78	**11.32**	0.35	**-19.63**	0.77	2.71	-1.96	-0.60	134.135	270.00	-135.87	264.135	**-6.04**	1.23
4040	-18.95	-11.75	**22.30**	0.61	**-34.81**	1.37	4.85	-3.48	2.23	264.665	267.00	-2.34	397.665	**22.28**	2.16
4041	-6.44	-2.00	**6.74**	0.35	**-11.00**	0.77	2.73	-1.10	0.66	280.830	267.00	13.83	13.830	**6.59**	1.23
4050	-24.85	-14.18	**28.61**	0.63	**-42.61**	1.43	5.07	-4.26	2.86	266.986	267.00	-0.01	399.986	**28.61**	2.23
4051	-5.43	-2.00	**5.78**	0.34	**-7.95**	0.76	2.68	-0.79	0.57	277.545	267.00	10.54	10.545	**5.70**	1.21
4060	-20.39	-18.17	**27.31**	0.47	**-40.08**	1.04	3.68	-4.01	2.70	253.665	263.00	-9.33	390.665	**27.02**	1.68
4061	-10.22	-9.04	**13.65**	0.33	**-4.80**	0.73	2.57	-0.48	1.35	253.909	263.00	-9.09	390.909	**13.51**	1.18
4070	-18.92	-19.47	**27.15**	0.50	**-34.05**	1.08	3.81	-3.40	2.71	249.080	252.00	-2.92	397.080	**27.12**	1.78
4071	-13.14	-11.87	**17.70**	0.32	**-4.21**	0.68	2.41	-0.42	1.77	253.223	252.00	1.22	1.223	**17.70**	1.13
4080	-18.09	-21.00	**27.72**	0.45	**-31.71**	0.92	3.26	-3.17	2.77	245.279	244.00	1.28	1.279	**27.71**	1.59
4081	-9.61	-10.96	**14.58**	0.29	**-5.37**	0.59	2.10	-0.54	1.46	245.854	244.00	1.85	1.854	**14.57**	1.03
4090	-3.51	-13.60	**14.05**	0.39	**-25.05**	0.72	2.56	-2.51	1.39	216.087	224.00	-7.91	392.087	**13.94**	1.37
4091	-0.19	-4.13	**4.14**	0.24	**-8.27**	0.41	1.44	-0.83	0.39	202.973	224.00	-21.03	378.973	**3.91**	0.84
4100	0.17	-11.57	**11.57**	0.37	**-19.19**	0.66	2.35	-1.92	1.09	199.086	221.00	-21.91	378.086	**10.90**	1.30
4101	-2.25	-8.38	**8.68**	0.20	**-5.22**	0.28	1.00	-0.52	0.87	216.739	221.00	-4.26	395.739	**8.66**	0.72
4110	3.76	-5.82	**6.93**	0.36	**-9.23**	0.64	2.25	-0.92	0.44	163.489	220.00	-56.51	343.489	**4.37**	1.27
4111	0.72	-4.37	**4.43**	0.18	**-5.10**	0.16	0.58	-0.51	0.39	189.648	220.00	-30.35	369.648	**3.94**	0.63
2053A	-16.00	-6.78	**17.37**	0.31	**-34.39**	0.67	2.37	-3.44	1.74	274.479	275.00	-0.52	399.479	**17.37**	1.09
2056A	-15.23	-6.77	**16.67**	0.58	**-37.22**	1.29	4.55	-3.72	1.67	273.373	275.00	-1.63	398.373	**16.66**	2.06
2056B	-18.77	-7.26	**20.12**	0.46	**-33.81**	0.99	3.52	-3.38	2.01	276.493	275.00	1.49	1.493	**20.12**	1.63
2056C	-16.33	-6.77	**17.68**	0.35	-1.57	0.76	2.68	-0.16	1.77	274.973	275.00	-0.03	399.973	**17.68**	1.22
2058A	-16.49	-7.10	**17.95**	0.35	-1.14	0.76	2.67	-0.11	1.80	274.131	275.00	-0.87	399.131	**17.95**	1.22
2058B	-15.99	-7.39	**17.61**	0.34	-2.15	0.75	2.65	-0.21	1.76	272.437	275.00	-2.56	397.437	**17.60**	1.21
2059A	-14.97	-4.89	**15.75**	0.66	**-38.97**	1.40	4.95	-3.90	1.57	279.880	276.00	3.88	3.880	**15.72**	2.34
2059B	-17.76	-2.20	**17.90**	0.34	**-32.92**	0.75	2.65	-3.29	1.73	292.173	275.00	17.17	17.173	**17.25**	1.22
2059C	-14.53	-5.87	**15.67**	0.34	-1.42	0.75	2.65	-0.14	1.57	275.568	275.00	0.57	0.568	**15.67**	1.22
2059D	-15.94	-6.52	**17.22**	0.34	-1.09	0.75	2.64	-0.11	1.72	275.272	275.00	0.27	0.272	**17.22**	1.21
2059E	-16.22	-6.51	**17.48**	0.34	-2.00	0.74	2.63	-0.20	1.75	275.689	275.00	0.69	0.689	**17.48**	1.21
2059H	-16.03	-6.43	**17.27**	0.34	**-2.96**	0.74	2.62	-0.30	1.73	275.728	275.00	0.73	0.728	**17.27**	1.21
2059İ	-15.01	-6.09	**16.20**	0.34	**-3.31**	0.74	2.61	-0.33	1.62	275.479	275.00	0.48	0.479	**16.20**	1.20
2059K	-21.66	-3.35	**21.92**	0.34	**-33.71**	0.75	2.64	-3.37	2.13	290.225	275.00	15.23	15.225	**21.30**	1.22
2059L	-3.01	-12.51	**12.87**	0.54	**-24.25**	1.23	4.34	-2.42	0.76	215.029	275.00	-59.97	340.029	**7.57**	1.91
2059M	-16.06	-6.14	**17.19**	0.34	-1.03	0.74	2.63	-0.10	1.72	276.762	275.00	1.76	1.762	**17.19**	1.21
D2	0.00	0.53	0.53	0.23	**-0.92**	0.26	0.90	-0.09	-0.01	0.543	293.00	-292.46	107.543	-0.06	0.80
D3	0.91	0.42	**1.01**	0.23	-0.41	0.28	0.99	-0.04	-0.10	72.458	293.00	-220.54	179.458	**-0.95**	0.80
114A	-2.94	-4.66	**5.51**	0.35	**-3.21**	0.74	2.61	-0.32	0.55	235.848	238.00	-2.15	397.848	**5.51**	1.25

ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad **: Hüseyin GÜNEŞ**

Doğum Tarihi ve Yeri **: 07-05-1988, KASTAMONU**

E-posta **: huseyin_gunes37@hotmail.com**

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** **:** 2011, İstanbul Teknik Üniversitesi,
- İnşaat Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölüm
- **Yükseklisans** **: -**

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2011- 2012 yılları arasında YG İnşaat tarafından Kağızman/KARS'da yürütülen SENA Regülatörü Hidroelektrik Santrali İnşaatında Ölçme Şefliği Yaptı.
- 2012 yılı Mayıs ve Ağustos aylarında Bechtel-Enka-Bahvan Konsorsiyumu tarafından yapılan Umman Uluslararası Havalimanı Projesinde, Terminal Binası kısmında gece vardiyası ölçme mühendisi olarak görev yaptı.
- 2013 yılında Anadolu Yakası Elektrik Dağıtım A.Ş.'de Harita Mühendisi olarak başladığı görevine Dağıtım şirketlerinin özelleştirilmesinden sonra Enerjisa'da Emlak ve Kamulaştırma Uzmanı olarak devam etmektedir.