



**T.C.**  
**NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BARAJLARDAKİ DEFORMASYONLARIN**  
**GEOTEKNİK CİHAZLAR İLE İZLENMESİ,**  
**DERİNER BARAJI ÖRNEĞİ**

**Haluk BALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Harita Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Ocak-2021**  
**KONYA**  
**Her Hakkı Saklıdır**



## **TEZ BİLDİRİMİ**

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## **DECLARATION PAGE**

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Haluk BALI

Tarih: 14.01.2021

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

## BARAJLARDAKİ DEFORMASYONLARIN GEOTEKNİK CİHAZLAR İLE İZLENMESİ, DERİNER BARAJI ÖRNEĞİ

**Haluk BALI**

**Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Doç. Dr. Salih ALÇAY**

**2021, 149 Sayfa**

**Jüri**

**Prof. Dr. Cevat İNAL  
Prof. Dr. İbrahim KALAYCI  
Doç. Dr. Salih ALÇAY**

Dünyada nüfusun sürekli artması ve sanayileşmenin gelişmesi sonucu su ve elektrik enerjisine olan ihtiyaç artmaktadır. Ayrıca küresel ısınma kuraklıklara ve ani yağışlarla taşkınlara neden olabilmektedir. Bu gelişmeler hayati sosyal ve ekonomik yönden olumsuz etkilemeye başlamıştır. Ülkemizdeki su kaynaklarının bilime uygun olarak geliştirilmesi, kalkınmada sürekliliğin sağlanması açısından önemlidir. Bu nedenle küresel ısınmadan etkilenmemek için su güvenli bir şekilde depolanmalıdır. En doğru depolanma şekli ise barajlar yoluyla suyun biriktirilmesidir. Geçmişten günümüze dünyanın çeşitli yerlerinde yaşanan baraj kazalarında çok fazla can ve mal kaybı yaşanmıştır. Yaşanan bu olaylar barajların izlenmesinin ne kadar önemli olduğunu göstermiştir. Barajları ölü yük, hidrostatik yük, termal yük, buz yükü vb. yükler etkilemektedir. Barajların yapısal sağlığını ortaya çıkarmak için yük-yer değiştirme ilişkisi belirlenmelidir. Bu amaçla barajlar geoteknik ve jeodezik yöntemlerle izlenebilmektedir.

Ülkemizde artan ihtiyaçları gidermek enerjide dışa bağımlılığı azaltmak için dünyanın sayılı barajları arasına giren Ermenek, Deriner ve Yusufeli gibi büyük barajlar inşa edilmektedir. Bu çalışmada Türkiye'nin en yüksek barajı olan Deriner beton kemer barajında yapılan deformasyon izleme çalışmalarından geoteknik yöntemlerden elde edilen bulgular incelenmiştir. Deriner Barajı'na yerleştirilen geoteknik cihazlar detaylı olarak verilmiş ve barajın yapısal davranışı araştırılmıştır. Baraj ve yakın çevresindeki hareketler izlenmiştir. Ayrıca geoteknik yöntemlerle belirlenen hareketlerin mevsimsel sıcaklık ve rezervuar su seviyesi ile ilişkisi detaylı olarak analiz edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Deformasyon, Geoteknik, Piyezometre, Sarkaç

## **ABSTRACT**

### **MS THESIS**

## **MONITORING THE DEFORMATIONS IN DAMS BY GEOTECHNICAL DEVICES, EXAMPLE OF DERINER DAM**

**Haluk BALI**

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF  
NECMETTIN ERBAKAN UNIVERSITY  
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE  
IN GEOMATICS ENGINEERING**

**Advisor: Assoc. Prof. Dr. Salih ALCAY**

**2021, 149 Pages**

**Jury**

**Prof. Dr. Cevat INAL**

**Prof. Dr. Ibrahim KALAYCI**

**Assoc. Prof. Dr. Salih ALCAY**

As a result of the continuous increase in the population in the world and the development of industrialization, the need for water and electrical energy is increasing. In addition, global warming can cause droughts and floods with sudden rains. These developments have begun to negatively affect life socially and economically. The development of water resources in our country in accordance with science is important in terms of ensuring continuity in development. Therefore, water must be stored safely in order not to be affected by global warming. The most accurate way of storage is to collect water through dams. There has been a lot of loss of life and property in dam accidents in various parts of the world from past to present. These events have shown how important it is to monitor dams. Dead load, hydrostatic load, thermal load, ice load, etc., affect the dams. Load-displacement relationship should be determined to reveal the structural health of dams. For this purpose, dams can be monitored using geotechnical and geodetic methods.

Large dams such as Ermenek, Deriner and Yusufeli, which are among the few dams in the world, are being built in order to meet the increasing needs in our country and to reduce the dependence on foreign energy. In this study, the findings obtained from the geotechnical process of Turkey's highest dam deformation monitoring studies in deep concrete arch dam was examined. The geotechnical devices installed in Deriner Dam have been given in detail and the structural behavior of the dam has been investigated. Movements in the dam and its surroundings were observed. In addition, the relationship between the movements determined by geotechnical methods with seasonal temperature and reservoir water level was analyzed in detail.

**Keywords:** Deformation, Geotechnical, Pendulum, Piezometer

## ÖNSÖZ

Tezimin hazırlanması süresince, bilimsel tecrübelerini aktaran ve bana her zaman yol gösteren danışman hocam Doç. Dr. Salih ALÇAY'a, geoteknik verilerin temin edilmesine ve kullanılmasına izin veren DSİ Genel Müdürlüğü'ne ve bu zor süreçte desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen en başta eşim olmak üzere ailemin her bir üyesine çok teşekkür ederim. Bu tez çalışması DSİ Genel Müdürlüğü ile Necmettin Erbakan Üniversitesi arasında imzalanan protokol çerçevesinde paylaşılan veriler kullanılarak hazırlanmıştır.

Haluk BALI  
KONYA-2021



# İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET .....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>v</b>
<b>ÖNSÖZ .....</b>	<b>vi</b>
<b>İÇİNDEKİLER.....</b>	<b>vii</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR.....</b>	<b>x</b>
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>14</b>
1.1. Çalışmanın Ana Hedefleri ve Bilime Katkısı .....	15
1.2. Tezin Genel Yapısı .....	15
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....</b>	<b>16</b>
<b>3. BARAJLAR.....</b>	<b>23</b>
3.1. Barajların Sınıflandırılması.....	23
3.1.1. Dolgu barajlar .....	25
3.1.1.1. Homojen toprak dolgu barajlar .....	25
3.1.1.2. Geçirimsiz çekirdekli dolgu barajlar.....	25
3.1.1.2.1. Kil çekirdekli dolgu barajlar .....	26
3.1.1.2.1.1. Kil çekirdekli kaya dolgu barajlar .....	26
3.1.1.2.1.2. Kil çekirdekli karışık dolgu barajlar .....	26
3.1.1.2.2. Asfalt çekirdekli dolgu barajlar .....	28
3.1.1.3. Ön yüzü geçirimsiz dolgu barajlar .....	29
3.1.1.3.1. Ön yüzü beton kaplamalı kaya dolgu barajlar .....	29
3.1.1.3.2. Ön yüzü asfalt kaya dolgu barajlar .....	29
3.1.2. Beton barajlar.....	29
3.1.2.1. Beton ağırlık barajlar .....	29
3.1.2.2. Payandalı barajlar .....	30
3.1.2.3. Beton kemer barajlar.....	30
3.1.2.4. Silindirle sıkıştırılmış beton barajlar (SSB).....	31
3.1.3. Karışık kesitli barajlar .....	32
3.2. Ülkemizde İnşa Edilen Önemli Barajlar .....	32
<b>4. BARAJLARIN İZLENMESİ.....</b>	<b>41</b>
4.1. Barajlara Etkiyen Yükler .....	41
4.1.1. Dolgu barajları etkiyen yükler .....	41
4.1.2. Beton barajları etkiyen yükler.....	42
4.1.2.1. Ölü yük .....	42
4.1.2.2. Normal su yükü.....	42
4.1.2.3. Taşkın yükü.....	42

4.1.2.4. Kaldırma yükü .....	43
4.1.2.5. Silt, tortu yükü .....	43
4.1.2.6. Buz yükü .....	44
4.1.2.7. Sıcaklık yükü .....	44
4.1.2.8. Deprem yükü.....	44
4.1.2.9. Dalga etkisi .....	45
4.1.2.10. Temelin tepkisi .....	45
4.2. Baraj Deformasyonu İzleme Yöntemleri.....	45
4.2.1. Jeodezik yöntemler .....	46
4.2.1.1. Aliyman yöntemi .....	47
4.2.1.2. Hassas poligon yöntemi .....	47
4.2.1.3. Jeodezik ağ yöntemi.....	47
4.2.1.4. Hassas geometrik nivelman yöntemi .....	47
4.2.1.5. Trigonometrik nivelman yöntemi .....	48
4.2.1.6. Jeodezik ölçülerin değerlendirilmesi .....	48
4.2.1.7. Deformasyon modelleri .....	48
4.2.1.7.1. Statik deformasyon modeli .....	48
4.2.1.7.2. Kinematik deformasyon modeli.....	49
4.2.1.7.3. Dinamik deformasyon modeli .....	49
4.2.2. Geoteknik yöntemler.....	49
4.2.2.1. Geometrik ölçüm cihazları.....	50
4.2.2.2.1. Düz sarkaç ve ters sarkaç (Pendulum).....	50
4.2.2.2.1.2. Derz ölçer (Joinmeter) .....	51
4.2.2.2.1.3. Ekstensometre-Rockmetre .....	52
4.2.2.2.1.4. Elektronik taşınabilir eğimölçer (Klinometre).....	52
4.2.2.2.1.5. İnklinometre.....	53
4.2.2.2.1.6. Oturma ölçer .....	53
4.2.2.2. Fiziksel ölçüm cihazları .....	54
4.2.2.2.1. Piyezometre (Water pressure cells) .....	54
4.2.2.2.2. Kaldırma kuvveti basıncı ölçer (Uplift pressure cells) .....	54
4.2.2.2.3. Basınç hücresi .....	55
4.2.2.2.4. Debi ölçer.....	55
4.2.2.2.5. Gerilme ölçer (Strainmeters) .....	56
4.2.2.2.6. Sıcaklık ölçerler .....	56
4.2.2.2.7. Yük hücresi .....	56
4.2.2.2.8. Sismik ivmeölçer .....	57
4.2.2.2.9. Rezervuar su seviyesi ölçer.....	57
4.2.2.3. Meteorolojik ekipmanlar.....	57
4.2.2.4. Otomatik veri toplama .....	58

## **5. DERİNER BARAJI VE KULLANILAN GEOTEKNİK YÖNTEMLER ..... 59**

5.1. Deriner Barajı Teknik Özellikler .....	59
5.2. Deriner Barajının İzlenmesinde Kullanılan Geoteknik Cihazlar.....	60
5.2.1. Baraj gövdesinin izlenmesinde kullanılan geoteknik cihazlar.....	63
5.2.1.1. Beton ve ortam sıcaklıklarının izlenmesi.....	63
5.2.1.2. Deformasyon ölçmeleri.....	64
5.2.1.2.1. Sarkaç ölçümleri .....	64
5.2.1.2.2. Rockmetre ölçmeleri.....	66
5.2.1.2.3. Derz ölçmeleri.....	68

5.2.1.2.4. Eğim ölçmeleri.....	69
5.2.1.3. Basınç ölçümleri .....	70
5.2.1.3.1. Boşluk suyu basınç ölçümleri (Water pressure cells-WPC).....	70
5.2.1.3.2. Kaldırma kuvveti basıncı ölçerler (Uplift pressure cells-ULPC) .....	71
5.2.2. Barajın yakın çevresinin izlenmesinde kullanılan geoteknik cihazlar.....	72
5.2.2.1. İnklinometre ölçümleri .....	73
5.2.2.2. Ekstensometre ölçümleri.....	76
5.2.2.3. Yük hücresi ölçümleri.....	78
5.3. Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Hesaplama .....	79
<b>6. ARAŞTIRMA BULGULAR VE TARTIŞMA .....</b>	<b>81</b>
6.1. Sarkaç ile Belirlenen Hareketlerin Sıcaklık ve Su Seviyesi ile İlişkisi .....	82
<b>7. SONUÇLAR.....</b>	<b>87</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>89</b>
<b>EKLER .....</b>	<b>96</b>
EK 1 Teletermometre grafikleri.....	97
EK 2 Sarkaç grafikleri .....	102
EK 3 Rockmetre grafikleri.....	107
EK 4 Tek boyutlu ve üç boyutlu derz ölçer grafikleri .....	112
EK 5 Klinometre grafikleri .....	126
EK 6 Piyezometre grafikleri .....	129
EK 7 Kaldırma kuvveti basıncı ölçer grafikleri.....	131
EK 8 İnklinometre grafikleri.....	133
EK 9 Ekstensometre grafikleri.....	142
EK 10 Yük hücresi grafikleri.....	146
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>149</b>

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

C°: santigrat  
cm: santimetre  
GPa: Gigapaskal (1 GPa=10<sup>3</sup> MPa= 10<sup>6</sup> kPa =10<sup>9</sup> Pa)  
GW: Gigawatt (1 GW =10<sup>3</sup> MW = 10<sup>6</sup> KW =10<sup>9</sup> W)  
GWh: Gigawattsaat (1 GWh = 10<sup>3</sup> MWh = 10<sup>6</sup> KWh = 10<sup>9</sup> Wh)  
ha: hektar (10<sup>4</sup> m<sup>2</sup>)  
hm<sup>3</sup>: hektometreküp  
km: kilometre  
km<sup>2</sup>: kilometre kare  
KW: Kilowatt (1 KW = 10<sup>3</sup> W)  
KWh: Kilowattsaat (1 KWh = 10<sup>3</sup> Wh)  
MW: Megawatt (1 MW = 10<sup>3</sup> KW = 10<sup>6</sup> W)  
MWh: Megawattsaat (1 MWh = 10<sup>3</sup> KWh = 10<sup>6</sup> Wh)  
m: metre  
m<sup>3</sup>: metre küp  
m<sup>3</sup>/s: metre küp/saniye  
mm: milimetre  
W: Watt  
Wh: Watt-saat

### Kısaltmalar

DSİ: Devlet Su İşleri  
EKK: En Küçük Kareler  
GPS: Global Positioning System  
GNSS: Global Navigation Satellite System  
GSM: Global System for Mobile Communications  
HES: Hidroelektrik Santral  
ICOLD: International Commissions on Large Dams  
IWST: Iterative Weighted Smilarity Transformation  
LAS: Least Absolute Sum  
MEMS: Micro-Electro-Mechanical Systems  
ÖYBK: Ön Yüzü Beton Kaplı Kaya  
RM: Rockmeter  
RTS: Robotik Totalstation  
SPANCOLD: Comité Nacional Español de Grandes Presas  
SSB: Silindirle Sıkıştırılmış Beton  
STFT: Short Time Fourier Transform  
TÜİK: Türkiye İstatistik Kurumu  
ULPC: Uplift Pressure Cells  
VW: Vibrating Wire (Titreşim telli)  
WGS: World Geodetic System  
WPC: Water Pressure Cells

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Gebere Barajı (URL-3).....	25
Şekil 3.2. Hasan Uğurlu Barajı (URL-4).....	26
Şekil 3.3. Kılavuzlu Barajı (URL-5).....	27
Şekil 3.4. Sadak Barajı (URL-6).....	27
Şekil 3.5. Alkumru Barajı (URL-7).....	27
Şekil 3.6. Doğancı Barajı (URL-8).....	28
Şekil 3.7. Karakurt Barajı'nın inşa aşaması ve tamamlanmış hali (URL-9).....	28
Şekil 3.8. Kürtün Barajı memba ve mansaptan görünümü (URL-10).....	29
Şekil 3.9. Muratlı Barajı inşa aşaması membadan ve inşa sonrası mansaptan görünümü (URL-2).....	29
Şekil 3.10. Boyabat Barajı (URL-11).....	30
Şekil 3.11. Elmalı Barajı (URL-12).....	30
Şekil 3.12. Sır Barajı (URL-13).....	31
Şekil 3.13. Menge Barajı (URL-14).....	31
Şekil 3.14. Karkamış Barajı (URL-15).....	32
Şekil 3.15. Çubuk Barajı (URL-17).....	33
Şekil 3.16. Sarıyar Barajı(URL-19).....	33
Şekil 3.17. Gökçekaya Barajı (URL-20).....	34
Şekil 3.18. Keban Barajı (URL-22).....	34
Şekil 3.19. Karakaya Barajı (URL-23).....	35
Şekil 3.20. Oymapınar Barajı (URL-24).....	35
Şekil 3.21. Altınkaya Barajı (URL-25).....	35
Şekil 3.22. Atatürk Barajı (URL-27).....	36
Şekil 3.23. Birecik-Nizip Barajı (URL-29).....	36
Şekil 3.24. Ermenek Barajı (URL-16).....	36
Şekil 3.25. Çine Adnan Menderes Barajı (URL-16).....	37
Şekil 3.26. Yukarı Kaleköy Barajı (URL-30).....	37
Şekil 3.27. Ilısu Barajı (URL-32).....	38
Şekil 3.28. Yusufeli Barajı inşaatı (URL-34).....	38
Şekil 4.1. Düz ve ters sarkaç örneği (URL-36).....	51
Şekil 4.2. Derz ölçer cihazı örnekleri (URL-39).....	52
Şekil 4.3. Ekstensometre örnekleri (soldan sağa: titreşim telli, rod tipi, ankraj tipi) (URL-41).....	52
Şekil 4.4. Okuma plakası ve taşınabilir eğimölçer aleti.....	53
Şekil 4.5. İnklinometre cihazı örneği (URL-43).....	53
Şekil 4.6. Oturma ölçer örnekleri (soldan sağa: likit tipi, rod tipi, titreşim telli) (URL-44).....	54
Şekil 4.7. Piyezometre örnekleri (soldan sağa: standpipe, titreşim telli, pnömatik, fiber optik algılama)(URL-45).....	54
Şekil 4.8. Kaldırma kuvveti ölçer örneği (URL-46).....	55
Şekil 4.9. Basınç hücresi örneği (URL-40).....	55
Şekil 4.10. V ağızlı savak ve debi ölçer cihazı örnekleri (URL-47).....	55
Şekil 4.11. Gerilme ölçer cihazı örneği (URL-40).....	56
Şekil 4.12. Sıcaklık ölçer örnekleri (URL-49).....	56
Şekil 4.13. Yük hücresi örneği (URL-50).....	56
Şekil 4.14. Sismik ivmeölçer örneği (URL-51).....	57
Şekil 4.15. Rezervuar su seviyesi ölçer örneği (URL-52).....	57
Şekil 4.16. Hava sensörü örneği (URL-53).....	57

Şekil 4.17. Otomatik veri toplama sistemi örneği (URL-54) .....	58
Şekil 5.1. Deriner Barajı .....	59
Şekil 5.2. Deriner Barajı açınımlı görünüşü .....	61
Şekil 5.3. G2’de bulunan teletermometrelere ait veriler ile su ve hava sıcaklığı değerleri .....	63
Şekil 5.4. Sarkaç-21’e ait ölçüm verilerinden elde edilen radyal ve teğetsel hareketler.65	
Şekil 5.5. G0’da bulunan RM-21.1 ve G3’de bulunan RM-28.2 rockmetrelerine ait verilerin grafikleri .....	67
Şekil 5.6. Baraja yerleştirilen üç boyutlu derz ölçer .....	68
Şekil 5.7. G0’da bulunan tek boyutlu ve G8’de bulunan JM3D-36/37 üç boyutlu derz ölçerin verileri.....	69
Şekil 5.8. G7’de 33. blokta bulunan eğimölçer verileri.....	69
Şekil 5.9. G0’da ki boşluk suyu basınç değişimleri.....	70
Şekil 5.10. G0’da ki kaldırma kuvveti basınç değişimleri.....	71
Şekil 5.11. Sol sahilde bulunan İL-23 ve sağ sahilde bulunan İR-20 inklinometre kuyularındaki değişimler .....	74
Şekil 5.12. EL-8 ve ER-1 ekstensometrelerinden elde edilen değerler .....	76
Şekil 5.13. Sol sahil L7 ve sağ sahil R7 bölgelerinde bulunan yük hücresi değerleri....	78
Şekil 5.15. Deriner Barajı sonlu elemanlar modeli (Tzenkov ve ark., 2012) .....	80
Şekil 6.1. Galeri 10 ve kret arasındaki sarkaç verileri ile aynı tarihlerdeki sıcaklık ve su seviyesi verileri .....	83
Şekil 6.2. Galeri 9 ve Galeri 10 arasındaki sarkaç verileri ile aynı tarihlerdeki sıcaklık ve su seviyesi verileri.....	84
Şekil Ek 1. Galeri 4, 7, 9 ve 10’da bulunan teletermometre verileri .....	97-101
Şekil Ek 2. Sarkaç 3, 9, 15, 27 ve 33’e ait radyal ve teğetsel hareket verileri.....	102-106
Şekil Ek 3. Rockmetrelere ait hareket verileri .....	107-111
Şekil Ek 4. Tek ve üç boyutlu derz ölçer verileri .....	112-125
Şekil Ek 5. Galeri 0, 4, 7, 9 ve 10 da bulunan klinometre verileri .....	126-128
Şekil Ek 6. Galeri 2, 4, 6 ve 8’de bulunan piyezometre verileri.....	129-130
Şekil Ek 7. Galeri 2, 4, 6 ve 8’de bulunan kaldırma kuvveti ölçer verileri .....	131-132
Şekil Ek 8. Sol ve sağ sahilde bulunan inklinometre kuyularındaki değişimler... 133-141	
Şekil Ek 9. Sol ve sağ sahilde bulunan ekstensometre değerleri .....	142-145
Şekil Ek 10. Sol ve sağ sahilde bulunan yük hücresi değerleri .....	146-148

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Ülkemizde DSİ tarafından ve özel sektör tarafından inşa edilen baraj, gölet ve HES sayıları ile kurulu gücümüz ve yıllık enerji üretimi (URL-2) .....	32
Çizelge 3.2. Gövde hacmine göre barajlarımızın sıralaması .....	39
Çizelge 3.3. Yüksekliklerine göre barajlarımızın sıralaması .....	39
Çizelge 3.4. Kurulu güçlerine göre barajlarımızın sıralaması .....	40
Çizelge 5.1. Deriner Barajı karakteristik bilgileri.....	60
Çizelge 5.2. Geoteknik aletler ve teknik özellikleri.....	62
Çizelge 5.3. Baraj kretindeki yer değiştirmeler .....	64
Çizelge 5.4. Rockmetrelerin bulunduğu yerler, azimut açıları ve dikey açıları .....	66
Çizelge 5.5. Sağ sahil ölçüm aletleri özeti (Deriner Dam and HEPP, 2011).....	72
Çizelge 5.6. Sol sahil ölçüm aletleri özeti (Deriner Dam and HEPP, 2011) .....	73
Çizelge 6.1. Tüm verilerden elde edilen korelasyon değerleri ve ilk dolun periyoduna kadar elde edilen korelasyon değerleri .....	85



## 1. GİRİŞ

Su, hayatımızda başka alternatifi olmayan bir kaynaktır. Binlerce yıldır insanoğlu suya olan ihtiyacı nedeniyle su kaynaklarının az olduğu yerlerde suyu biriktirmek zorunda kalmıştır (Karabatan, 2006). Artan nüfusla beraber toplumlar sudan daha fazla yararlanarak enerji üretme, taşkın ve sel gibi felaketlerden korunma için suyu kontrollü kullanma ve depolama zorunluluğundan dolayı çeşitli yapılar inşa etmişlerdir. Su kaynaklarını en iyi kontrollü kullanma şekli ise barajların inşa edilmesidir. Türkiye akarsularının akışları mevsimlere ve yıllara göre değişkenlik gösterdiği için akarsuların barajlarla düzenlenmesi zorunludur (Öziş, 2015). Barajlar sulama, su temini, hidroelektrik enerji üretimi, su yolu taşımacılığı, ulaşım vb. görevleri ifa etmektedirler (URL-1).

Ülkemizde artan su ve enerji ihtiyaçlarının karşılanması, enerjide dışa bağımlılığın azaltılması ve küresel ısınmaya karşı gerekli tedbirlerin alınması doğrultusunda giderek daha büyük ve daha önemli barajlar inşa edilmektedir. 1936 yılında Çubuk Barajı ile başlayan baraj yapım serüveni 1950'li yıllarda Seyhan, Sarıyar, Gökçekaya gibi önemli barajlarla bir üst seviyeye ulaşmış, baraj tecrübesi 1975 yılında tamamlanan Keban Barajı ile ülkemiz mühendis ve işçilerinin baraj inşası konusunda özgüvenini arttırmıştır. Sonrasında Karakaya, Oymapınar ve Altinkaya gibi önemli barajlarımız inşa edilmiştir. 1992 yılında kazanılan bilgi ve tecrübenin aktararak inşası tamamlanan Atatürk Barajı, baraj mühendisliğinin zirvesi olmuştur. 2000'li yıllara geldiğimizde daha çok beton kemer ve silindire sıkıştırılmış beton barajlarımızın inşasında artışın olduğunu görmekteyiz. 2000 yılı sonrası inşası tamamlanan Çine, Ilısu, Ermenek, Deriner barajları ve inşası devam eden Yusufeli Barajı ülkemizin gurur kaynağıdır (URL-2).

Ülkemizde dolgu, beton ve karışık kesitli baraj tiplerinin örnekleri mevcuttur. Barajlarımız gövde hacmi, sulama alanı, yükseklik ve kret uzunluğu gibi karakteristik özellikler açısından dünyada inşa edilmiş barajlar arasında ön sıralarda yerlerini almaktadır. Barajların avantajlarının yanı sıra yaşanabilecek baraj kazaları, toplumun güvenliği için bir tehdit unsurudur. Herhangi bir barajda oluşabilecek baraj kazasını önlemek ve kaza sonucu ortaya çıkabilecek mağduriyeti en az zararla atlatmak için yapılması gereken çalışmaları önceden kestirmek gereklidir (Yıldız, 2018). Bu nedenle barajların düzenli bir şekilde izlenmesi, yapıya ilişkin mutlak ve bağıl deformasyonların tespit edilmesi ve yapının normal sınırlar içerisinde tepkiler verip vermediğinin belirlenmesi gerekmektedir (Alçay, 2014).

### **1.1. Çalışmanın Ana Hedefleri ve Bilime Katkısı**

Barajların sulama, ulaşım, enerji üretme vb. işlevlerini güvenli olarak yerine getirebilmeleri için inşa öncesi, inşa sonrası ve tüm işletme ömrü boyunca sürekli izlenmeleri ve güvenliğinin sağlanması önem taşımaktadır. Bu nedenle barajların mevcut durumlarının baraja etkiyen yüklere karşı davranışının bir bilgi sistemi mantığı içinde ortaya konması gereklidir. Geçmişte yaşanan baraj kazalarının gelecekte tekrar yaşanabilecek olması, can ve mal emniyetinin sağlanması açısından önemli bir tehdittir. Bir barajda meydana gelecek kazaları önlemek ve oluşabilecek zararları asgari seviyeye indirmek için gerekli tedbirler alınmalıdır. Bu sebeple barajları inşa öncesi, inşa sırasında ve işletme süresince emniyet açısından sürekli izlemek ve denetlemek gerekir. Özellikle büyük barajlar ve çevresinin jeodezik ve geoteknik yöntemlerle izlenmesi önem arz etmektedir. Jeodezik yöntemler; klasik ölçme yöntemleri, uydu teknikleri, lazer tarama, radar interferometri vb. içermektedir. Geoteknik yöntemler ise fiziksel ve geometrik ölçmeler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Fiziksel ölçmeler; boşluk suyu basınç ölçmeleri, gerilme, gerginlik ölçmeleri vb. içermektedir. Geometrik ölçmeler ise eğim ölçmeleri, deplasman ölçmeleri, yatay/düşey yönlü hareketlerin belirlenmesi, çatlak ve derz açıklık ölçümleri vb. şeklindedir. Çalışmalarda çoğunlukla jeodezik ya da geoteknik yöntemlerden bir tanesi kullanılarak deformasyon izleme çalışmaları gerçekleştirilmektedir. Bu tez kapsamında Deriner barajındaki olası deformasyonlar geoteknik cihazlara ait veriler kullanılarak belirlenmeye çalışılacaktır.

### **1.2. Tezin Genel Yapısı**

Tez toplam 6 bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde barajların inşa edilme nedenleri, barajları izlemenin gerekliliği, yapılan çalışmaların amacı ve bilime katkısı ile tezin genel yapısı hakkında bilgiler verilmiştir. İkinci bölümde ise tez çalışmasıyla ilgili olarak daha önce yapılmış ve önemli yerlerde yayınlanmış bazı çalışmalara ilişkin özetler sunulmuştur. Üçüncü bölümde baraj türleri, barajlara etkiyen yükler ve ülkemizde inşa edilen önemli barajlar hakkında bilgiler verilmiştir. Dördüncü bölümde, barajların izlenmesi ve barajların geoteknik yöntemlerle izlenmesinde kullanılan ölçme aletleri tanıtılmıştır. Beşinci bölümde Deriner barajının teknik özelliklerinin yanı sıra geoteknik yöntemlerle elde edilen sonuçlar ayrıntılı bir şekilde verilmiştir. Altıncı bölümde geoteknik yöntemlerle elde edilen bulgular değerlendirilmiştir. Ayrıca barajın sıcaklık ve su seviyesine karşı yer değiştirme tepkisi sarkaç verilerine dayanarak ortaya konmuştur.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Barajlardaki deformasyonların izlenmesinde kullanılan yöntemler genel anlamda jeodezik ve geoteknik yöntemler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Aşağıda baraj izlemede kullanılan yöntemlere ilişkin çalışmalardan örnekler verilmiştir.

Ding ve Qin (2000), yaptıkları çalışma ile baraj gibi yapıların izlenmesinde kullanılan geoteknik ölçme aletlerini irdelemişlerdir. Ayrıca deformasyon ölçümlerinde kullanılan ekstensometre, inklinometre, sarkaç, ters sarkaç ve eğimölçer gibi ölçme aletlerine ayrıntılı olarak değinmişlerdir. Yapıların izlenmesinde kullanılan bu ölçme aletlerinin avantaj ve dezavantajları jeodezik yöntemlerle karşılaştırarak detaylı olarak verilmiştir.

Taşçı ve ark. (2004), tarafından Altınkaya Barajı'nda yapılan çalışmada, barajın ağırlığı ve su yükünün barajın kretinde ne kadar deformasyon oluşturacağı araştırılmıştır. Bu amaçla baraj hareketleri jeodezik yöntem ile belirlenip sonlu elemanlar metodu ile karşılaştırılmıştır. Gerekli ölçmeler için 10 adet referans ve 10 adet obje noktasından oluşan bir jeodezik ağ kurulmuştur. Yatay ve düşey yer değiştirmelerin maksimum seviyede olması beklenen baraj kreti orta noktası olan nokta ile sonlu elemanlar modelinde bu noktaya karşılık gelen düğüm noktasındaki hareket değerleri karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırma sonucunda yatay ve düşey deformasyonların büyük bir yaklaşıklıkla uyum gösterdiğini belirlemişlerdir.

Demirkaya (2005), çalışmasında Oymapınar Barajı'nda geometrik analiz yardımıyla yapıdaki değişimlerin fiziksel yorumunu yapmıştır. Gövdede yatay hareketleri belirlemek için 5 referans ve 25 obje noktasından oluşan jeodezik ağ kurulmuştur. İncelemede Temmuz-1983 ve Eylül-1986 arasındaki 28 ölçme periyodu verileri kullanılmıştır. Barajın mansap tarafındaki 5 numaralı obje noktasındaki yatay hareket değişimlerinin fiziksel yorumu istatistiksel yöntem ile gerçekleştirilmiştir. Su seviyesine bağlı olarak baraj gövdesindeki en büyük yatay hareket değişiminin 5 numaralı obje noktasında gerçekleştiği ve mansap yönünde 52.8 mm olduğu ortaya konmuştur.

Dicle Barajı'nda yatay ve düşey hareketlerin izlendiği bir çalışmada Şubat 1998, Temmuz 1998 ve Şubat 2000 tarihlerinde 3 periyotluk ölçü yapılmıştır. Kurulan mikrojeodezik ölçüm ağında 5 adet pilye ve 21 adet obje noktası mevcuttur. S transformasyonu ile yapılan analiz sonucunda konum ağı için Şubat 1998-Temmuz 1998 döneminde referans noktalarının bir tanesinde obje noktalarının ise tamamında, Şubat 1998-Şubat 2000 periyotları arasında referans noktalarının iki tanesinde obje

noktalarının ise on beş tanesinde yatay yönde deformasyon olduğu sonucuna varılmıştır. Trigonometrik yükseklik ağı için Şubat 1998-Temmuz 1998 döneminde referans noktalarının bir tanesinde obje noktalarının ise on yedi tanesinde, Şubat 1998-Şubat 2000 periyotları arasında referans noktalarının bir tanesinde obje noktalarının ise on beş tanesinde düşey yönde deformasyon olduğu sonucuna varılmıştır (Çakır, 2006).

Özkuzukıran ve ark. (2006), tarafından yapılan çalışmada Kürtün kaya dolgu barajındaki olası hareketler iki boyutlu sonlu elemanlar analizi ile belirlenmiştir. Analiz hem yapının tamamlanmış durumu ve hem de tam dolu rezervuar durumu koşulları göz önüne alınarak yapılmıştır. Yapının tamamlanmış durumu için maksimum yatay hareket 19.5 cm, tam dolu rezervuar durumu için ise 36.09 cm olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan düşey yönlü hareketlere göre yatay yönlü hareketlerin oldukça küçük olduğu belirtilmiştir. Ayrıca hesaplanan değerlerin ölçülen değerlerle de oldukça uyumlu olduğu belirtilmiştir.

Turan (2007), yaptığı çalışmada dolgu barajlarda düşey değişimlerin hassas trigonometrik nivelman yöntemi ile belirlenebilirliğini araştırmıştır. Pabuçdere Barajı'nda, Haziran 2003, Eylül 2003 ve Eylül 2004 dönemlerinde elde edilen jeodezik veriler, üç ölçme dönemi için ayrı ayrı analiz edilmiştir. Hassas geometrik nivelman ve hassas trigonometrik nivelman yöntemleriyle elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Hassas geometrik nivelman ölçülerinin değerlendirilmesi sonucunda 100 m uzunluğundaki nivelman yolu için ortalama 0.15 mm ölçü doğruluğuna ulaşılmıştır. Aynı ölçme dönemlerinde gerçekleştirilen trigonometrik nivelman ölçülerinin değerlendirilmesi sonucunda ise aynı nivelman yolu uzunluğu için ortalama 3.22 mm doğruluk değeri elde edilmiştir. Tüm bu araştırma, karşılaştırma ve irdellemeler sonucunda günümüzde elektronik takeometrelerle yüksek doğruluklu gözlem yapma olanağı ile ölçme dönemleri arasında beklenen düşey değişimlerin milimetre boyutlarında olması durumunda, hassas trigonometrik nivelman yönteminin dolgu barajlarda uygulanabileceği kanısına varılmıştır.

Taşçı (2008), Altınkaya Barajı'ndaki deformasyonları belirlemek amacıyla GPS ölçü yönteminden faydalanmıştır. Bu amaçla 6 referans ve 11 obje noktasından oluşan deformasyon ağına 4 periyot statik oturum yapılarak 2 boyutlu deformasyon analizi gerçekleştirilmiştir. Hareketlerin gerçek doğrultularını belirlemek amacıyla WGS84 kartezyen koordinatlar toposentrik koordinatlara dönüştürülmüştür. Noktalarda periyotlar arasında meydana gelen değişimler İteratif Ağırlıklı Benzerlik Dönüşüm (IWST) ve En Küçük Mutlak Toplam (LAS) yöntemleri kullanılarak belirlenmiştir. En

büyük hareket kretin ortasındaki obje noktasında meydana gelmiştir. Ayrıca LAS ve IWST yöntemleri karşılaştırılarak LAS'in IWST'ye göre daha etkili bir yöntem olduğu sonucuna varılmıştır.

Erkaya ve ark. (2009), beton kemer barajlardaki deformasyonların modern ölçme teknikleri ile belirlenmesi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bu amaçla Oymapınar Barajı'ndaki yatay ve düşey yönlü hareket değişimlerini jeodezik ölçü yöntemleri kullanarak izlemişlerdir. Yatay yönlü hareketleri izlemek amacıyla klasik ölçü yöntemleri ve aynı zamanda GPS ölçüleri kullanmışlardır. Düşey yönlü hareketler ise hassas nivelman, hassas trigonometrik nivelman ve GPS nivelmanı yöntemleri kullanılarak izlenmiştir. Deformasyon ölçülerinin analizinde istatistiksel anlamda Hannover Yaklaşımı (Ortalama Aykırılıklar Yöntemi), gösterimsel olarak da Karlsruhe Yaklaşımından (Bağıl Güven Elipsleri Yöntemi) yararlanılmıştır.

Akanmu ve ark. (2011), Nijerya'daki barajların izlenmesi üzerine gelişmeleri ve bu amaçla kullanılan geoteknik ölçme aletlerini ayrıntılı olarak açıklamışlardır. Ayrıca uygulama alanı olarak seçtikleri Kainji barajındaki sarkaç, piyezometre ve ekstensometre verilerini irdelemişlerdir. Toplanan ve analiz edilen veriler, bazı bloklarda yaklaşık 25 mm'lik bir yer değiştirme olduğunu göstermiştir. Bu hareket olağandışı bir davranış olarak değerlendirilmiş ve daha detaylı baraj izleme çalışması yapılmasının gerekliliği anlatılmıştır.

Kalkan (2012), Atatürk Barajı'nda 2006–2010 yılları arasında meydana gelen radyal deformasyonların büyüklüğünü ve yönünü belirlemek amacıyla bir çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışmada jeodezik yöntemlerden GPS ve klasik ölçme yöntemleri kullanılmıştır. 32 referans ve 200 obje noktasından oluşan bir deformasyon ağı oluşturulmuştur. Noktalardaki radyal hareketlerin yanı sıra bu hareketlerin rezervuar su seviyesiyle olan ilişkisi de incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, GPS ve klasik yöntemlerle elde edilen sonuçların uyum içinde olduğu ve obje noktalarının %71'inde radyal hareketin gerçekleştiği görülmüştür. En büyük radyal hareket 14.08 cm ile memba tarafındaki obje noktasında gerçekleşmiştir. Noktaların hızları genelde zamanla azalan bir hareketin varlığını işaret etmektedir. Ayrıca radyal hareket ve rezervuar su seviyesi arasında dikkate değer bir korelasyon belirlenmemiştir.

Latifi ve ark. (2012), çalışmalarında Alborz Barajı'ndaki, boşluk suyu basınç değerlerini, toplam basınç ve oturma değerlerini geoteknik ölçme aletleri kullanarak belirlemişlerdir. En büyük boşluk suyu basınç değerine barajın temeliyle birleştiği yerde rastlanmıştır. Ayrıca yapım aşaması ilerledikçe yani dolgu artışı ile boşluk suyu

basıncındaki değişimin doğru orantılı olduğu belirlenmiştir. Gerilmeleri ölçmek amacıyla 44 adet basınç hücresinden faydalanılmıştır. Benzer şekilde temele yakın yerlerde yüksek basınç değeriyle karşılaşılmıştır. Barajın tamamlanmasıyla birlikte 135 cm oturmanın meydana geldiği tespit edilmiştir.

Bülbül (2013), yaptığı bir çalışmada Ermenek Barajı'nda yapılan iki periyot ölçüyü kullanarak yatay doğrultuda deformasyonların belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla Cholesky çarpanlarına ayırma yöntemi ve bağıl güven elipsleri yöntemi kullanılarak deformasyon araştırması yapılmıştır. İki yöntemden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sonuçlar oldukça uyumlu çıkmıştır.

İnal ve Bülbül (2013), yaptıkları çalışmada bağıl güven elipsleri yöntemi irdelenmiş, bu amaçla Ermenek Barajı'nda iki periyot doğrultu ve kenar ölçüsü kullanılmıştır. Analitik ve grafik yöntem ile deformasyon araştırılmıştır. 13 referans ve 10 obje noktası ile jeodezik ağ oluşturulmuştur. Doğrultu gözlemleriyle yapılan değerlendirme sonucunda 6, 7, 8, 9, 12, 13 referans noktaları ile 104, 501 obje noktalarında, doğrultu+kenar ölçüleriyle yapılan değerlendirme sonucunda 6, 12, 13 referans noktalarında %95 istatistik güvenle deformasyona rastlanmamıştır.

Mata ve ark. (2013), hava sıcaklığının günlük değişiminin beton bir baraj üzerindeki etkisini ve barajın yapısal tepkisini incelemiştir. Günümüzde, beton barajların yapısal davranışının değerlendirilmesi için nicel yorumlama modelleri kullanıldığı ve bu modellerin çoğunda günlük değişim gösteren sıcaklık etkisinin görmezden gelindiğinin üzerinde durulmuştur. Bununla birlikte, otomatik veri toplama sistemlerine sahip barajlarda bu günlük etki, olağandışı davranışların tespitini tahmin etmek için kullanılabilieceği belirtilmiştir. Bu amaçla Short Time Fourier Transform (STFT) analizinden yararlanmışlardır. Yapılan uygulamada Alto Lindoso beton barajına yerleştirilmiş sarkaç verilerinden elde edilen yatay yöndeki hareketler değerlendirilmiştir. Sonuç olarak barajda oluşan yatay yönlü hareket ile günlük değişim gösteren hava sıcaklığının ilişkisi tanımlanmıştır.

Alçay (2014)'ın yaptığı çalışmada Ermenek Barajı'nda jeodezik ve geoteknik yöntemlerle elde edilen bulgular incelenmiştir. Bu iki yöntem sayesinde baraj ve civarındaki olası hareketler detaylı olarak izlenmiştir. Hem jeodezik hem de geoteknik yöntemlerle belirlenen hareketlerin 1.5 cm değerinin altında olduğu gözlemlenmiştir. Jeodezik ve geoteknik yöntemlerle belirlenen hareketlerin mevsimsel sıcaklık ve rezervuar su seviyesi ile ilişkisi detaylı olarak analiz edilmiştir. Ayrıca jeodezik veriler ile sarkaç ve klinometre verilerinin uyumluluğu, inklinometre ve jeodezik sonuçların

birbirlerini tamamlama durumu, mesnetlerde bulunan yük hücresi ve ekstensometre verilerinin uyumu araştırılmıştır. Buna göre yöntemlerin bazı alanlarda birbirlerini test edebildiği, bazılarında ise birbirini tamamladığı görülmüştür. Elde edilen sonuçların sonlu elemanlar yöntemiyle hesaplanan değerlerle uyumlu olduğu belirtilmiştir.

Kalkan (2014), Atatürk Barajı'nda konum değişimlerinin belirlenmesi için jeodezik yöntemlerden GPS ve klasik ölçme yöntemleri kullanmıştır. Bu amaçla 32 adet referans ve yaklaşık 400 adet obje noktasından oluşan bir deformasyon ağı oluşturulmuştur. Ayrıca gövdede 36 noktalı ve santral binasında 45 noktalı olmak üzere iki farklı nivelman ağından yararlanılmıştır. Mayıs 2006 ile Kasım 2013'te yapılan klasik ölçüler karşılaştırılmış obje noktalarının %80'inde anlamlı radyal hareketler görülmüştür. Membadan mansaba doğru gelişen bu hareketlerin en büyüğünün 21.1 cm çıktığı belirtilmiştir. Diğer yandan GPS ölçüleri değerlendirme ve dengelenmesi sonucunda 3 boyutlu nokta konumları yüksek doğrulukta belirlenmiş olup GPS ölçü sonucu ile klasik ölçü sonuçlarının uyumlu olduğu görülmüştür. Konum ölçmeleri sonucundan elde edilen  $\pm 1$  cm'den daha iyi konum doğruluğu GPS'in kaya dolgu barajlar için konum ölçmelerinde kullanılabilmesi fakat yükseklik ölçmeleri için aynı oranda doğru sonuç vereceğini savunmanın zor olduğu ortaya konmuştur.

Wu ve ark. (2016), çalışmalarında Jinping-I beton kemer barajının ilk su tutma döneminden Kasım 2014 sonuna kadar gerilme, deformasyon ve su basıncını incelemek için, izleme analizi ve sonlu elemanlar yöntemini kullanmışlardır. Baraj deformasyonu ve analizinden gelen gerilme dağılımının sonuçları temel olarak izleme sonuçlarıyla tutarlı olduğu ve değerlerin tasarım aralığında kaldığı belirtilmiştir. Jinping-I beton kemer barajının çalışma davranışı ilk su tutma sırasında normal çıkmıştır. Analiz ve sayısal hesaplamalar barajın davranışının stres, deformasyon ve sızıntı basıncı bakımından kapsamlı analiz sonucu değerlendirmelerinde birbirini desteklemekte ve kanıtlamaktadır.

Taşkıran ve Oral (2017), çalışmalarında Pamukçay Barajı'nın sızma ve oturma analizlerini sonlu elemanlar yöntemi kullanarak araştırmışlardır. Yapılan analizler için gerekli olan parametreler tasarıma yönelik önceden gerçekleştirilmiş olan üç eksenli ve geçirgenlik deney sonuçlarından alınmıştır. İhtiyaç duyulan ancak deneysel olarak ölçülmemiş diğer parametreler ise ilgili DSİ şartnamelerinden alınarak kullanılmıştır. 2012 yılından 2017 yılına kadar piyezometre ve ekstansometreler kullanılarak ölçmekte olduğu boşluksuyu basıncı ve deformasyon ölçüm değerleri ile karşılaştırılmıştır. Ölçümlerde, boşluksuyu basıncı gövde tipi titreşen telli piyezometre ve düşey

deplasmanları ölçmek amacı ile de manyetik ekstansometre kullanılmıştır. Yapılan analizlerde, inşaat sonu aşaması için, hem boşluksuyu basıncı yönünden ölçüm değerleri ile uyumlu sonuçlar elde edilmiş hem de hesaplanan deplasmanların ölçüm değerleri ile uyumlu olduğu görülmüştür.

Konakoğlu ve Gökalp (2017), Deriner Barajı rezervuarının ilk dolumdan itibaren geleneksel jeodezik ölçümler ile düşey hareketlerini belirlemek amacıyla bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. 2012-2014 yılları arasında yapılan sekiz periyottan oluşan jeodezik veriler DSİ Genel Müdürlüğünden alınarak, değerlendirilmiştir. Çalışmada 7 yükseklik kontrol noktası ve 20 adet (13 adet memba tarafında ve 7 adet mansap tarafında) nivelman noktası kullanılmıştır. Sonuç olarak en büyük deformasyon baraj kretinin ortasındaki noktalarda görülmüştür.

Alçay ve ark. (2018), çalışmalarında Ermenek Barajı'nın yapısal davranışını incelemişlerdir. Barajın sıcaklık ve su yüküne karşı yer değiştirme tepkileri hem jeodezik hem de sarkaç verilerine dayanarak detaylı bir şekilde değerlendirilmiştir. Ek olarak baraj deformasyonu için sarkaçlardan elde edilen veriler ile jeodezik olarak ölçülmüş verilerin uyumlu olma olasılığı ve birbirlerine göre avantajları araştırılmıştır. Analiz, yer değiştirme ile mevsimsel sıcaklık arasında yüksek korelasyon olduğunu ortaya koymuştur. Sarkaçlardan ve jeodezik ölçümlerden elde edilen yer değiştirmeler birbirine çok yakın çıkmıştır. Çalışma aynı zamanda, jeodezik yöntem ile ters sarkaç bağlantı noktasında herhangi bir problem olup olmadığının test edilmesini sağlamıştır. Bu nedenle, her iki sistemin de barajın hareketinin belirlenmesinde benzersiz bilgi sağladığı ve barajın davranışını tespit etmede jeodezik ve geoteknik yöntemlerin birbirlerini tamamladığını göstermektedir.

Konakoğlu ve Gökalp (2018), Deriner Barajı'nın olası yatay hareketlerini belirlemek için ilk periyot ölçüsünü Mayıs 2016'da ve ikincisini Eylül 2016'da gerçekleştirmişlerdir. 14 adet referans ve 7 adet obje noktası kullanılmıştır. WGS-84 datumundaki düzeltilmiş koordinatlar ve kofaktör matrisi serbest ağ dengelemesinden elde edilmiştir. Tüm WGS84 koordinatları (X, Y, Z) ve kofaktör matrisleri, yerel koordinat sistemine (E, N, U) dönüştürülmüştür. Referans ve obje noktalarındaki hareketleri belirlemek için deformasyon analiz yöntemi olarak İteratif Ağırlıklı Benzerlik Dönüşüm (IWST) ve En Küçük Mutlak Toplam (LAS) yöntemleri kullanılmıştır. Ağın içindeki noktaların hareketi hakkında önceden bilgi sahibi olunmadığından, bu çalışmada IWST ve LAS yöntemleri kullanılmıştır. Analiz sonuçlarından, yer değiştirmelerin rezervuardaki su seviyesine bağlı olduğu ifade

edilmiştir. Baraj kretinin ortasında maksimum yatay yer değiştirmenin yaşandığı belirtilmiştir.

İbaoğlu (2019), Ermenek Barajı'nda düşey yöndeki hareketleri tespit etmek için 14 noktadan (2 tane referans noktası ve 12 tane obje noktası) oluşan yükseklik ağından faydalanmıştır. Yükseklik farkları hassas nivelman yöntemi ile belirlenmiştir. Aralık 2010, Aralık 2011, Mayıs 2012, Temmuz 2012, Mart 2013 ve Şubat 2014 tarihlerinde yapılan altı periyot ölçüden yararlanılmıştır. Nivelman ağının statik modelde deformasyon analizi S-transformasyonu kullanılarak ve kinematik modelde ise Kalman filtreleme yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İki yöntemden ortaya çıkan sonuçlar karşılaştırılmış ve birbirleri ile oldukça uyumlu olduğu görülmüştür.

Pantazis ve ark. (2019), çalışmalarında Kıbrıs'taki en büyük baraj olan Kouris Barajı'nın davranışını ayrıntılı olarak incelemişlerdir. Özellikle baraj seviyesindeki değişimler nedeniyle, iklim değişikliklerine bağlı olarak toprak barajların uzun vadeli deformasyon davranışını araştırmışlardır. Uzun süreli izleme verilerini, doğrusal olmayan sonlu elemanlar analizleriyle birlikte ele almışlardır. Bu çalışma sonucunda elde edilen yer değiştirmeler ve rezervuar su seviyesindeki dalgalanmalar arasında bir korelasyon gözlenmiştir. Rezervuar seviyesindeki dalgalanmaların barajın yer değiştirmesini etkilediği, ancak uzun süreli oturmalara kıyasla daha küçük bir etkiye sahip olduğu görülmüştür.

Feng ve ark. (2020), Çin'in Sichuan Eyaletindeki 174 m yüksekliğindeki Quxue asfalt çekirdekli kaya dolgu barajında kapsamlı bir izleme programı uygulamışlardır. Baraj gövdesinin hareketleri, asfalt çekirdeğin deformasyonları, çekirdek ve bitişindeki geçiş bölgeleri arasındaki oturma farklılıkları, asfalt çekirdekteki gerilmeler ve sıcaklıklar, topuk plağının deformasyonları ve topuk betonu levhaları arasındaki derz hareketleri izlenmiştir. Ayrıca çelik donatıdaki yüklerin ölçülmesi ve topuk plağındaki yüklerin ve gerilmelerin ölçülmesi, mesnetlerde ve temelde su basınçlarının ölçülmesi, gövdede sızıntının ölçülmesi ve meydana gelebilecek herhangi bir deprem sırasında dinamik tepki de takip edilmiştir. Araştırma sonucunda asfalt çekirdek ile geçiş bölgeleri arasındaki maksimum oturma farkının yaklaşık 20 mm civarında gerçekleştiği belirtilmiştir. Su tutma sırasında, çekirdeğin maksimum yatay hareketi mansap yönünde topuk plağında 90 mm gerçekleşirken kret üzerinde memba yönünde 5 mm hareket ettiği gözlenmiştir. Barajda sızıntıya neden olabilecek herhangi bir çatlağa rastlanmadığı belirtilmiştir.

### 3. BARAJLAR

#### 3.1. Barajların Sınıflandırılması

Baraj, su biriktirme amacı ile akarsu vadisinin kapatılarak suyun akışının engellendiği yapıdır. Eski çağlarda, barajlar su temini veya sulama amacıyla yapılmıştır. Barajlar bir veya daha fazla amaca aynı anda hizmet edebilirler. Uygarlıklar geliştikçe, su temini, sulama, taşkın kontrolü, seyrüsefer, su kalitesi, tortu kontrolü ve enerji gibi daha fazla ihtiyaçlar ortaya çıkmıştır. Bu nedenle, barajlar ortaya çıkan bu ihtiyaçları karşılayabilmek amacıyla inşa edilmiştir. Çok amaçlı barajlar, gelişmekte olan ülkelerin kalkınmasında önemli bir role sahiptir (URL-1).

Baraj tipleri, baraj malzemesine ya da diğer baraj özelliklerine göre sınıflandırılabilir. Baraj tipinin seçiminde, topoğrafya iklim şartları, depremsellik, ekonomik mukayese, temelin özellikleri ve inşaat malzemelerinin mevcudiyeti gibi özellikler önem kazanmaktadır. Baraj mühendisliğinde baraj tipleri birçok parametreye bağlı olarak sınıflandırılabilir.

- Büyüklüklerine göre sınıflandırma

Barajlar büyük baraj veya küçük baraj olarak sınıflandırılabilir. Kesin tanımlar vermek oldukça güçtür. Büyük barajı Uluslararası Büyük Barajlar komisyonu (International Commission On Large Dams, ICOLD) şöyle tanımlamaktadır:

Temelden yüksekliği 15 m'den daha fazla olan barajlar büyük baraj olarak tanımlanmaktadır. Eğer baraj yüksekliği 10 m ile 15 m arasında değişirse ve aşağıda belirtilen şartlardan en az birini sağlarsa böyle bir barajda yine büyük baraj olarak sınıflandırılır.

- Rezervuar hacmi 1 milyon m<sup>3</sup>'ten büyük ise,
- Tepe uzunluğu 500 m'den uzun ise,
- Temel inşaatında özel zorluklar varsa,
- Taşkın debisi 2 bin m<sup>3</sup>/s'den büyük ise,
- Projesi alışılmış türde değil ise,

Bu şartlardan hiçbirini sağlamayan barajlar ise küçük baraj ya da gölet olarak sınıflandırılır.

- Yüksekliklerine göre sınıflandırma

Barajın yüksekliği 100 m'den fazla ise yüksek baraj, 50 m-100 m arasında ise orta yükseklikte baraj, 50 m'den az ise alçak baraj olarak sınıflandırılabilir.

- Yapılış amaçlarına göre sınıflandırma

- (a) Tek amaçla inşa edilen barajlar

İçme, kullanma, sulama, enerji üretim, taşkın koruma, başka bir barajın mansap şartlarının düzenlenmesi, atıkların depolanması, balıkçılık vb. şeklinde sınıflandırılabilirler.

#### (b) Çok amaçla inşa edilen barajlar

Barajlar genelde birden çok amaca hizmet etmek için yapılırlar. Çok amaçlı bir barajda, depolama, taşkından korunma, rekreasyon gibi fonksiyonlar bir arada bulunabilir (Dinçergök, 1995).

##### ▪ Fonksiyonlarına göre sınıflandırma

Barajlar fonksiyonlarına göre de biriktirme, taşkın geciktirme ve kabartma olmak üzere sınıflandırılırlar.

##### ▪ Gövdenin statik projelendirmesine göre sınıflandırma

Buna göre barajlar, ağırlık baraj, kemer ağırlık baraj, kemer baraj, payandalı baraj, toprak veya kaya dolgu baraj, ön germeli baraj şeklinde sınıflandırılır (Dinçergök, 1995).

##### ▪ Hidrolik özelliğine göre sınıflandırma

Bu tür barajlar üzerinden su akan baraj ve su akmayan baraj olarak iki şekilde sınıflandırılır.

##### ▪ Düzenleme devresine göre barajlar

Düzenleme yapmayan çevirmeli, mevsimlik düzenleme yapan ve uzun vadeli düzenleme yapan barajlar olarak üç grupta sınıflandırılabilir (Dinçergök, 1995).

##### ▪ Gövde malzemesine göre sınıflandırma

Gövde dolgu malzemesi olarak kullanılan malzemeye göre dolgu barajlar, beton barajlar ve karışık kesitli barajlar olarak üç kategoriye ayrılabilir. Bu üç ana baraj tipi, kullanılan gövde malzemesine ve geçirimsizliği sağlayan malzemelerin çeşidi ve yerine göre kendi içinde sınıflandırılırken çoğunlukla gövde malzemesi dikkate alınmaktadır. Günümüzde ülkemizde yaygın olarak beton ve dolgu barajlar kullanılmaktadır. Bu nedenle gövde malzemesine göre barajlardan dolgu ve beton baraj türleri aşağıda detaylı olarak verilmektedir (URL-2).

#### Dolgu Barajlar

- Homojen toprak dolgu barajlar
- Geçirimsiz çekirdekli dolgu barajlar
- Ön yüzü geçirimsiz dolgu barajlar

#### Beton Barajlar

- Beton ağırlık barajlar

- Payandalı barajlar
- Beton kemer barajlar
- Silindirele sıkıştırılmış beton barajlar (SSB)

Karışık kesitli barajlar

### 3.1.1. Dolgu barajlar

Dolgu barajlar gövdelerini asfalt, kaya, kum, kil, çakıl vb. doğal malzemelerin oluşturduğu yapılardır. Ülkemizde şu ana kadar inşa edilmiş barajların büyük bir bölümünü oluşturan dolgu barajlar; tek bir malzemeyle geçirimsizliği tüm gövdede sağlayan homojen dolgu barajlar, geçirimsizliği çekirdekte sağlayan geçirimsiz çekirdekli dolgu barajlar ve geçirimsizliği ön yüzde sağlayan ön yüzü geçirimsiz dolgu barajlar olmak üzere üç gruba ayrılabilir.

#### 3.1.1.1. Homojen toprak dolgu barajlar

Homojen gövdeli baraj, aynı özellikte tek bir malzemedan, geçirimsiz veya çok az geçirimli barajlardır (URL-2). Geçirimsizliği sağlama görevini, şev koruma tabakaları dışında bütün gövdenin gerçekleştirdiği baraj tipidir. Berkman, Osmaniye ve Gebere barajları ülkemizdeki homojen toprak dolgu baraj tipinde yapılmış örneklerdendir. Şekil 3.1'de 1941 yılında inşası tamamlanan, ülkemizin 2. barajı olan Gebere Barajı verilmiştir.



Şekil 3.1. Gebere Barajı (URL-3)

#### 3.1.1.2. Geçirimsiz çekirdekli dolgu barajlar

Geçirimsizliğin baraj gövdesinde bulunan geçirimsiz malzemedan oluşturulan zon ile sağlandığı dolgu barajlardır. Geçirimsiz çekirdek genellikle kil dolgu zonu ile sağlanmakla beraber geçirimsiz malzemesi için asfalt vb. malzemeler kullanılan barajlar da mevcuttur. Dolgu malzemesi kaya dolgu ve karışık dolgu olabilir.

### 3.1.1.2.1. Kil çekirdekli dolgu barajlar

Kil çekirdekli barajlarda kil çekirdek serme işlemi olumsuz hava koşullarından etkilenir ve yağmurda serilme işlemi yapılmaz. Kil çekirdek yağmura maruz kalırsa, üst tabaka şişer, şişen üst tabakası kazınarak, serme işlemine kuru havalarda devam edilir. Bu tür barajlar; merkezi kil çekirdekli ve membaya doğru eğik kil çekirdekli olarak iki şekilde tasarlanabilirler (URL-2).

#### 3.1.1.2.1.1. Kil çekirdekli kaya dolgu barajlar

Kabuk zonları, kaya malzemeden oluşmaktadır. Bu tür barajlar merkezde kil çekirdek, çevresinde filtre ve geçiş zonlarından oluşur. Kabuk dolgular kaya malzemesi, düşey filtrelerden itibaren şevlere doğru kaya ufağı ince, orta ve iri malzemeden oluşacak şekilde düzenlenir (URL-2). Hasan Uğurlu, Altınkaya, Atatürk, Sille, Yeşilburç, Hirfanlı ve Demirözü barajları kil çekirdekli kaya dolgu tipinde baraj örneklerindedir. Şekil 3.2’de enerji üretilmesi amacıyla Yeşilirmak üzerine inşa edilen Hasan Uğurlu kil çekirdekli kaya dolgu tipinde barajı verilmektedir.



Şekil 3.2. Hasan Uğurlu Barajı (URL-4)

#### 3.1.1.2.1.2. Kil çekirdekli karışık dolgu barajlar

Kabuk zonları toprak, kum, çakıl ve benzeri nispeten ince daneli malzemeden oluşmaktadır. Kil çekirdeğin memba ve mansap yüzleri filtrelerden oluşturulur (URL-2). Kil çekirdekli karışık dolgu barajların değişik tipte örnekleri mevcuttur ve bunların bazıları şöyledir; Kılavuzlu, Çatalan, Kapulukaya ve Ayvalı barajları kil çekirdekli zonlu toprak dolgu baraj örneklerindedir. Şekil 3.3’te 2011 yılında inşası tamamlanan enerji, içme suyu ve sulama maksatlı Ceyhan nehri üzerine inşa edilen Kılavuzlu kil çekirdekli zonlu toprak dolgu tipinde baraj verilmektedir.



Şekil 3.3. Kılavuzlu Barajı (URL-5)

Sadak, Gümüşler ve Demirdöven barajları kil çekirdekli kum çakıl dolgu barajlara örnektir. Şekil 3.4'te sulama maksadıyla Gümüşhane iline inşa edilen Sadak Barajı verilmektedir.



Şekil 3.4. Sadak Barajı (URL-6)

Alkumru, Menzelet ve Boztepe barajları kil çekirdekli kum çakıl+kaya dolgu barajlara örnektir. Şekil 3.5'te 2011 yılında tamamlanan enerji amacıyla Dicle Nehrinin Botan Çayı koluna inşa edilen Alkumru kil çekirdekli kum çakıl+kaya dolgu barajı verilmektedir.



Şekil 3.5. Alkumru Barajı (URL-7)

Kesikköprü, Doğancı, Asartepe ve Babasultan barajları kil çekirdekli toprak+kaya dolgu barajlara örnektir (URL-2). Şekil 3.6'da Bursa şehrine içme suyu temin etmek amacıyla inşa edilen Doğancı kil çekirdekli toprak+kaya dolgu barajı verilmektedir.



Şekil 3.6. Doğancı Barajı (URL-8)

### 3.1.1.2.2. Asfalt çekirdekli dolgu barajlar

Asfalt çekirdekli kaya dolgu barajlar, geçirimsizliğin merkezde gerçekleştirildiği barajlardır. Bu tür barajlar geçirimsizliği sağlayacak malzeme nitelik ve nicelik olarak uygun olmadığı durumlarda veya taşıma mesafesinin kabul edilebilir sınırlar dışında kaldığı durumlarda seçilebilir. Asfalt çekirdekli dolgu barajlarda serme ve sıkıştırma çalışmaları olumsuz hava şartlarına bağlı kalmaksızın yürütülebilir. Şekil 3.7'de Karakurt Barajı merkezi asfalt çekirdekli kaya dolgu baraj için ülkemizde verilebilecek örnektir (URL-2).



Şekil 3.7. Karakurt Barajı'nın inşa aşaması ve tamamlanmış hali (URL-9)

### 3.1.1.3. Ön yüzü geçirimsiz dolgu barajlar

#### 3.1.1.3.1. Ön yüzü beton kaplamalı kaya dolgu barajlar

Ön yüzü beton kaplı barajlar, kayanın dayanımından yararlanarak önyüz betonun su tutması şeklinde oluşur. Ülkemizde Kürtün, Torul ve Gördes barajları ön yüzü beton kaplı baraj tipinin örnekleridir (URL-2). Şekil 3.8’de gösterilen ülkemizde ilk kez uygulanan ön yüzü beton kaplı kaya dolgu baraj Kürtün Barajı, Gümüşhane ili, Harşit çayı üzerine enerji üretimi amacıyla inşa edilmiştir.



Şekil 3.8. Kürtün Barajı memba ve mansaptan görünümü (URL-10)

#### 3.1.1.3.2. Ön yüzü asfalt kaya dolgu barajlar

Bu tür barajların memba tarafının sevi asfalt kaplamadır ve ön yüzü beton kaplamalı dolgu barajlara benzemektedirler. Asfalt kaplamalar esnek olduklarından dolayı kırılmalara karşı daha fazla dirençlidirler. Şekil 3.9’da verilen ülkemizde Muratlı Barajı bu türden bir barajdır (URL-2).



Şekil 3.9. Muratlı Barajı inşaa aşaması membadan ve inşaa sonrası mansaptan görünümü (URL-2)

### 3.1.2. Beton barajlar

#### 3.1.2.1. Beton ağırlık barajlar

Beton ağırlık barajlar, tasarım yüklerine ağırlıkları ve malzeme dayanımları ile mukavemet gösterirler. Kemer barajlarda ise yükleri kemerleme etkisi ile yamaçlara aktarırlar. Beton barajlarda gövdenin tümü ile geçirimsiz olması esastır. Beton ağırlık

barajlar, dış yüklerin etkisi ile kaymaya ve devrilmeye karşı kendi ağırlığı ile karşı koyan bir yapıdır. Beton barajlar genellikle, dar vadilerde ve sağlam temel kayaları üzerine inşa edilirler. Dolusavak, dip savak ve su alma yapıları baraj gövdesi üzerinde tasarlanırlar (URL-2). Sarıyar, Kemer, Boyabat, Çubuk 1 ve Porsuk barajları bu tip barajlardır (URL-2). Şekil 3.10’da beton ağırlık baraj tipinde, enerji üretmek amacıyla Kızılırmak nehrine inşa edilen Boyabat Barajı verilmiştir.



Şekil 3.10. Boyabat Barajı (URL-11)

### 3.1.2.2. Payandalı barajlar

Payandalı barajlar, beton ağırlık barajlarının özel şeklidir. Yan yana sıralanmış payandaların memba yüzleri genişletilmek sureti ile veya araları plak, kemer vs. gibi elemanlarla kapatılarak süreklilik sağlanmıştır (Gedik, 2013). Ağırlık barajlara göre daha geniş vadilerde ekonomiktirler. Beton daha az kullanılmakta, kalıp ve işçilik giderleri fazla olmaktadır. Şekil 3.11’de ülkemizin tek payandalı barajı olan Elmalı Barajı verilmiştir.



Şekil 3.11. Elmalı Barajı (URL-12)

### 3.1.2.3. Beton kemer barajlar

Kemer baraj, rezervuardaki su yükü ve kendi ağırlığını kemer etkisi ile mesnetlere aktaran baraj türüdür. Kemer barajlarda yükler ve gerilmeler iyi dağıldığı için kullanılan malzeme miktarı ağırlık barajlara göre daha az olmakta ve maliyet düşmektedir. Bu baraj türünün inşası için vadi dar olmalı ve barajın yerleşeceği temel

ve mesnetlerin taşıma gücü yüksek olmalıdır (Gedik, 2013). Kemer barajlar çift eğrilikli, ince beton kemer ve beton ağırlık kemer olmak üzere üç türden oluşmaktadır. Oymapınar, Gökçekaya, Ermenek, Deriner, Berke ve Sır barajları çift eğrilikli kemer barajlarımızın örnekleridir. İnce beton kemer barajına örnek olarak Gezende Barajı verilebilir. Karakaya ve Artvin barajları ise beton ağırlık kemer barajlarımızdır (URL-2). Şekil 3.12’de beton kemer gövde tipinde, Ceyhan nehrine enerji üretmek amacıyla 1987-1991 yılları arasında inşa edilen Sır Barajı verilmiştir.



Şekil 3.12. Sır Barajı (URL-13)

#### 3.1.2.4. Silindirle sıkıştırılmış beton barajlar (SSB)

Silindirle sıkıştırılmış beton barajlar (SSB), düşük oranda karışım suyu ve çimento içeren beton türünün, katmanlar halinde serilerek silindirlerle sıkıştırılması ile inşa edilen yapılardır. Bu özel beton türündeki çimento içerik olarak klasik betonunkinden daha azdır ve benzer malzemelerden beton karışımı oluşturulur. Bu karışım titreşimli silindirlerle sıkıştırıldığı için oluşturulan betona silindirle sıkıştırılmış beton adı verilmiştir (Gedik, 2013). Son yıllarda silindirle sıkıştırılmış beton, baraj gövdelerinde, memba ve mansap batardolarında ve barajların diğer kısımlarında kullanılabilir. Bu barajların memba ve mansap yüzü diğer baraj türlerine göre daha dik şevli yapılabilmekte ve bunun sonucunda daha az malzeme kullanılmaktadır. Dolgu baraja göre daha ekonomiktirler. Çine, Ayvalı, Menge ve Çetintepe barajları ülkemizde silindirle sıkıştırılmış beton barajlara örnektir (URL-2). Şekil 3.13’te Menge Barajı verilmiştir.



Şekil 3.13. Menge Barajı (URL-14)

### 3.1.3. Karışık kesitli barajlar

Geniş bir nehirde kaya dolgu, beton, katı dolgu ve silindirle sıkıştırılmış beton gibi çeşitli baraj tiplerinden oluşan karışık kesitli baraj inşa edilebilir. Ülkemizde Dağdelen, Birecik, Keban (beton ağırlık+kil çekirdekli kaya dolgu), Karkamış (beton ağırlık+kil çekirdekli kum ve çakıl dolgu) barajları bu tip barajlardır (URL-2). Şekil 3.14'te Karkamış Barajı verilmiştir.



Şekil 3.14. Karkamış Barajı (URL-15)

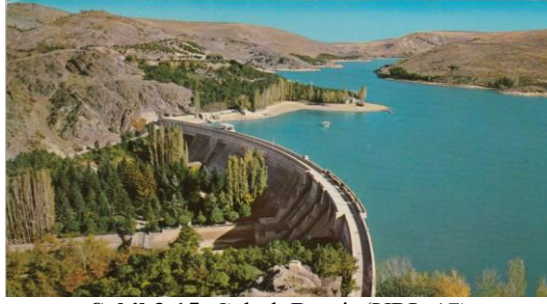
### 3.2. Ülkemizde İnşa Edilen Önemli Barajlar

Ülkemizde her türden barajlar inşa edilmektedir. Barajlarımız dolgu hacmi, yükseklik, rezervuar kapasitesi ve kret uzunluğu gibi karakteristikler açısından dünyada inşa edilmiş barajlar arasında ön sıralarda yerlerini almaktadır (URL-2). Ülkemizdeki baraj çalışmalarının en önemli aşamaları bu bölümde kronolojik olarak verilmektedir. Ülkemizde DSİ tarafından ve özel sektör tarafından inşa edilen baraj, gölet ve HES sayıları ile kurulu gücümüz ve yıllık enerji üretimi Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Ülkemizde DSİ tarafından ve özel sektör tarafından inşa edilen baraj, gölet ve HES sayıları ile kurulu gücümüz ve yıllık enerji üretimi (URL-2)

	İşletmedeki Baraj Sayısı			İnşa Halinde Sayısı		
	DSİ	Diğer	Toplam	DSİ	Diğer	Toplam
Büyük Su İşleri Kapsamı	327	22	349	71	18	89
Küçük Su İşleri Kapsamı	456	64	520	328	456	784
Toplam Baraj Sayısı	783	86	869	399	474	873
HES	67	560	627	2	60	62
Kurulu Güç (MW)	12,560	15,640	28,200	1,760	2,640	4,400
Yıllık Üretim (GWh)	45,200	53,000	98,200	6,000	7,600	13,600
Gölet	474	633	1 107	120	80	200

Cumhuriyetimizin ilk barajı olan, Çubuk Çayı üzerine inşa edilen Çubuk Barajı, su temini ve taşkın kontrolü amacıyla 1936 tarihinde hizmete girmiştir (Şekil 3.15). Çubuk Barajı beton ağırlık gövde tipinde inşa edilmiştir. Gövde hacmi 120 bin m<sup>3</sup> ve yüksekliği 25 m'dir (URL-16).



Şekil 3.15. Çubuk Barajı (URL-17)

1950 yılına kadar Türkiye’de yalnız üç baraj yapılmıştır. Bu barajlarımız Ankara’da Çubuk Barajı, Eskişehir’de Porsuk Barajı ve Niğde’de Gebere Barajı’dır. Türkiye’nin dördüncü barajı olarak Seyhan Barajı 1956 yılında hizmete girmiştir (Fakıoğlu, 2005). Adana İli Seyhan Nehri üzerinde Seyhan Barajı’nın yapılış amacı sulama, enerji ve taşkın korumadır. Barajın temelden yüksekliği 77 m olup gövdesi kil çekirdekli homojen toprak dolgu olarak inşa edilmiştir. Sulama alanı 174 bin ha ve kurulu gücü 59 MW’dır.

Ülkemizin ilk büyük hidroelektrik santral projesi sayılan Sarıyar Barajı Ankara’da Sakarya Nehri üzerine beton ağırlık gövde tipinde inşa edilmiştir (Şekil 3.16). Barajın inşa çalışmaları 1950-1956 yılları arasında yapılmıştır. Sarıyar Barajı’nın gövde hacmi 568 bin m<sup>3</sup> ve talvegden yüksekliği 90 m’dir. Barajın kurulu gücü 160 MW’dır. Ülkemizdeki tek santral atölyesine sahip barajımızdır (URL-18).



Şekil 3.16. Sarıyar Barajı (URL-19)

1953 yılında Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü’nün kurulması ve 1954 yılında teşkilatlanmasıyla birlikte baraj inşaatları hızlanmıştır (URL-2). Birbiri ardına çok sayıda baraj tamamlanarak hizmete alınmıştır. 1967-1972 yılları arasında inşa edilen Türkiye’nin ilk beton kemer barajı Gökçekaya hidroelektrik enerji üretimi amacıyla Sarıyar Barajı’nın mansabında inşa edilmiştir (Şekil 3.17). Gökçekaya Barajı’nın temelden yüksekliği 158 m, gövde hacmi 650 bin m<sup>3</sup> ve kurulu gücü 278 MW’dır (URL-16).



Şekil 3.17. Gökçekaya Barajı (URL-20)

Ülkemizin ilk dev baraj tecrübesi Keban Barajı olmuştur (Şekil 3.18). O dönemde dünyanın en yüksek 12. barajı, göl hacmi büyüklüğü bakımından 21. ve üreteceği enerji bakımından da 39. sırada yer almıştır (URL-16). Beton ağırlık ve kaya dolgu tipinde gövde hacmi yaklaşık 16.7 milyon m<sup>3</sup>, talvegden yüksekliği 210 m, normal su kotunda göl hacmi 31 bin hm<sup>3</sup> ve normal su kotunda gölalanı 675 km<sup>2</sup>'dir. Türkiye'nin Atatürk Baraj gölünden sonra en büyük yapay gölüdür. Keban Baraj gölü Murat Nehri Vadisi boyunca 125 km uzunluğa sahiptir. Bu barajımızda su avcılığı ve balık üretimi yapılmaktadır. Keban Barajı'nın üzerinden feribotla Elazığ'ın Ağın, Tunceli'nin Çemişgezek ve Pertek ilçelerine yolculuk yapılabilmektedir. 1965 yılında yapımına başlanılmış, 1974 yılında ilk 4 türbini, 1981 yılında da diğer 4 türbini devreye girmiştir. Barajın toplam kurulu gücü 1,330 MW'dır. Kurulduğu dönemde Türkiye'de üretilen toplam elektriğin %20 sini karşılamıştır (URL-21).



Şekil 3.18. Keban Barajı (URL-22)

Karakaya Barajı, hidroelektrik enerji sağlamak amacıyla Fırat Nehri üzerine 1976-1987 yılları arasında inşa edilmiştir (Şekil 3.19). Baraj beton ağırlık kemer gövde tipinde inşa edilmiştir. Gövde hacmi 2 milyon m<sup>3</sup>, talvegden yüksekliği 173 m, kret uzunluğu 462 m ve kurulu gücü 1,800 MW'dır (URL-16). Atatürk Barajı'ndan sonra ülkemizin 2. büyük kurulu güce sahip barajıdır. Fırat nehri üzerinde, Keban Barajı'nın 166 km mansabında, Atatürk Barajı'nın 180 km menbasında yer almaktadır.



Şekil 3.19. Karakaya Barajı (URL-23)

Oymapınar Barajı, Manavgat çayı üstünde yer almaktadır. Ortalama 50 m<sup>3</sup>/s debisiyle dünyanın tek gözeden kaynaklı en büyük karst pınarı Dumanlı 'yı su altında bırakan Oymapınar barajı çift eğrilikli, değişken yarıçaplı, değişken merkez açılı, beton kemer baraj türündedir (Öziş ve Yanar, 2015). Barajın yüksekliği temelden 185 m, kret uzunluğu 360 m, gövde hacmi 575 bin m<sup>3</sup> ve kurulu gücü 540 MW'dır. Oymapınar Barajı 1984 yılında enerji üretmeye başlamıştır (Şekil 3.20).



Şekil 3.20. Oymapınar Barajı (URL-24)

Altınkaya Barajı, Bafra ilçe merkezinin 35 km güneybatısında Kızılırmak nehri üzerinde yer alan temelden yüksekliği 195 m kil çekirdekli kaya dolgu tipinde inşa edilmiştir (Şekil 3.21). 1980 yılında inşası başlamış olan Altınkaya Barajı'nın 1987 yılında inşası tamamlanmıştır. Kurulu gücü 700 MW'dır.



Şekil 3.21. Altınkaya Barajı (URL-25)

Atatürk Barajı, Şanlıurfa ilinin Bozova ilçesine 24 km uzaklıkta Fırat Nehri üzerinde 1983 yılında inşaatı başlamış olup 1992 yılında işletmeye açılmıştır (Şekil 3.22). Kil çekirdekli kaya dolgu tipinde inşa edilen baraj, sulama ve enerji amaçlıdır. Gövde hacmi 84.5 milyon m<sup>3</sup>, gölalanı 817 km<sup>2</sup>, sulama alanı 932,500 ha ve temelden

yüksekliği 169 m'dir. Atatürk Barajı'nın kurulu gücü 2,400 MW'dır (URL-26). Ülkemizin kurulu güç, göl alanı, sulama alanı ve gövde hacmi büyüklüğü bakımından birinci barajı konumundadır.



Şekil 3.22. Atatürk Barajı (URL-27)

Birecik-Nizip Barajı, elektrik üretme ve sulama amacı ile 1985-2000 yılları arasında inşa edilmiştir (Şekil 3.23). Baraj Gaziantep ve Şanlıurfa illerinin sınırları içerisinde kalmakta olup idari olarak Şanlıurfa iline bağlıdır. Zeugma antik kentinin bir bölümü rezervuar suları altında kalmıştır. Beton ağırlık ve kaya gövde dolgu tipinde inşa edilen barajın gövde hacmi yaklaşık 9.4 milyon m<sup>3</sup> ve talvegden yüksekliği 63 m'dir. Baraj 92,700 ha alanı sulamakta ve kurulu gücü 672 MW'dır (URL-28).



Şekil 3.23. Birecik-Nizip Barajı (URL-29)

Temelden 218 m yüksekliği ile Türkiye'nin ikinci en yüksek barajı olan Ermenek Barajı çift eğrilikli asimetrik yapıya sahip, ince beton kemer bir barajdır (Şekil 3.24). Baraj oldukça derin ve dar bir vadiye inşa edilmiştir. Yapımına 2002 yılında başlanmış olup, 2009 yılında tamamlanmıştır (URL-16). Barajın kurulu gücü 306.5 MW'dır. Taşkından koruma ve enerji üretimi amacıyla inşa edilmiştir.



Şekil 3.24. Ermenek Barajı (URL-16)

Önemli barajlarımızdan bir diğeri olan Çine Adnan Menderes Barajı'nın inşasına 1995 yılında başlanılmış, 2010 yılında tamamen bitirilerek işletmeye alınmıştır (Şekil 3.25). Baraj inşa edilirken 2 kez büyük taşkın olayı gerçekleşmiştir. Baraj, sulama, enerji ve taşkın koruma özellikleriyle de ön plana çıkmaktadır. Temelden yüksekliği 136.5 m, kurulu gücü 47 MW, 22,358 ha alanı sulamakta ve 9,100 ha araziye taşkınlardan korumaktadır (URL-16).



Şekil 3.25. Çine Adnan Menderes Barajı (URL-16)

Yukarı Kaleköy Barajı, Bingöl ili Murat Nehri üzerine inşa edilmiştir (Şekil 3.26). Kurulu gücü 626.85 MW'dır. Silindirle sıkıştırılmış beton baraj gövde tipinde tasarlanmış olan barajın gövde hacmi 2,340 bin m<sup>3</sup>'tür. Barajın genişliği 10 m ve temelden yüksekliği 150 m'dir (URL-30). Uluslararası büyük barajlar komisyonunun (International Commission On Large Dams, ICOLD) ve İspanya Büyük Barajlar Komitesi (SPANCOLD) tarafından Çin'de düzenlenen, Uluslararası 8. Silindirle Sıkıştırılmış Barajlar Kongresinde "En iyi Proje Ödülünü" almıştır.



Şekil 3.26. Yukarı Kaleköy Barajı (URL-30)

Ilısu Barajı, Dicle nehri üzerinde inşa edilen barajlar içerisinde dolgu hacmi ve üreteceği enerji bakımından en büyük barajdır (Şekil 3.27). Kurulu gücü 1,200 MW'dır. Ön yüzü beton kaya dolgu ana baraj ile sağ yamaç üst kotlarda dolu savağı da içeren beton ağırlık baraj tipinde, 2,289 m kret uzunluğunda, temelden yüksekliği 141 m'dir (URL-23). 24 milyon 100 bin m<sup>3</sup> beton dolgu hacminde ve yaklaşık 11 milyar m<sup>3</sup> su

depolayacak olan Ilısu Barajı'nın inşaatı çalışmaları 2006 yılında başlamış olup Ağustos 2019'da su tutma testleri başlamıştır (URL-31).



Şekil 3.27. Ilısu Barajı (URL-32)

9 bin 271 m kret uzunluğu ile Türkiye'nin en uzun kretine sahip Reyhanlı Barajı, Amik Ovası'nda yer almaktadır (URL-33). Kil çekirdekli homojen dolgu tipinde olan Reyhanlı Barajı'nda 2009 yılında çalışmalara başlanmış olup, 2020 yılında su tutulmaya başlanmıştır. Barajın temelden yüksekliği 28.20 m'dir. Baraj 600 bin dekar tarım arazisine sulama suyu sağlanacak şekilde ve 200 bin dekar alan taşkınlardan korunacak şekilde tasarlanmıştır.

İnşaatına 21.12.2012 tarihinde başlanan Yusufeli Barajı, Artvin ilinde Çoruh Nehri üzerinde inşa edilmektedir (Şekil 3.28). Yüksekliği temelden 275 m olacak olan Yusufeli Barajı ülkemizin en yüksek barajı konumuna gelecektir. Kurulu gücü 558 MW olacak olup yıllık 1 milyar 888 milyon KWh hidroelektrik enerji üretmesi beklenmektedir (URL-16).



Şekil 3.28. Yusufeli Barajı inşaatı (URL-34)

Ülkemizde inşa edilen barajların gövde hacmi büyüklüğüne göre sıralaması Çizelge 3.2'de, yüksekliklerine göre sıralaması Çizelge 3.3'te, kurulu güce göre sıralaması Çizelge 3.4'te verilmiştir.

**Çizelge 3.2. Gövde hacmine göre barajlarımızın sıralaması**

Baraj Adı	İli	Başlama Yılı	Bitiş Yılı	Temelden Yükseklik (m)	Gövde Tipi	Amacı	Depolama Hacmi (hm <sup>3</sup> )	Gövde Hacmi (×10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	Sulama Alanı (ha)	Kurulu Güç (MW)	Ortalama Enerji (GWh)
Atatürk	Şanlıurfa	1983	1992	169	Kil Çekirdekli Kaya	S+E	48,700	84,500	152,353	2,400	8,900
İlisu	Mardin	2007	2019	135	ÖYBK Kaya	E	10,625	24,100	-	1,200	4,120
Kığı	Bingöl	1998	2016	175	Kil Çekirdekli Kaya	E	508	22,500	-	140	450
Reyhanlı	Hatay	2009	2020	28	Kil Çekirdekli Homojen	S+TK	480	18,475	60,157	-	-
Çatalan	Adana	1982	1996	70	ÖYBK Kaya	S+E+TK	2,126	17,000	56,400	169	596
Alkumru	Siirt	2008	2011	134	Kil Çekirdekli Kaya	E	436	16,275	-	276	881
Altinkaya	Samsun	1980	1988	195	Kil Çekirdekli Kaya	E	5,763	15,920	-	703	1,632
Keban	Elazığ	1965	1975	207	Kil Çekirdekli Kaya	E	31,000	15,585	-	1,330	6,600
Kralkızı	Diyarbakır	1985	1997	126	Kil Çekirdekli Kaya	S+E	1,919	15,170	29,209	95	146
Özlüce	Bingöl	1985	1998	144	Kil Çekirdekli Kaya	E	1,075	14,600	-	170	413

E: Enerji S: Sulama TK: Taşkın Kontrol

**Çizelge 3.3. Yüksekliklerine göre barajlarımızın sıralaması**

Baraj Adı	İli	Başlama Yılı	Bitiş Yılı	Temelden Yükseklik (m)	Gövde Tipi	Amacı	Depolama Hacmi (hm <sup>3</sup> )	Gövde Hacmi (×10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	Sulama Alanı (ha)	Kurulu Güç (MW)	Ortalama Enerji (GWh)
Yusufeli	Artvin	2012	-	275.00	Çift Eğrilikli Beton Kemer	E	2,153	4,000	-	558	1,888
Deriner	Artvin	1998	2014	249.00	Çift Eğrilikli Beton Kemer	E	1,969	3,400	-	670	2,118
Ermeneç	Karaman	2002	2009	218.00	Çift Eğrilikli Beton Kemer	E	4,500	303	-	302	1,187
Keban	Elazığ	1965	1975	207.00	Kil Çekirdekli Kaya	E	31,000	15,585	-	1,330	6,600
Berke	Osmaniye	1995	2002	201.00	Çift Eğrilikli Beton Kemer	E	427	735	-	510	1,672
Altinkaya	Samsun	1980	1988	195.00	Kil Çekirdekli Kaya	E+TK	5,763	15,920	-	703	1,632
Boyabat	Sinop	2008	2012	195.00	Beton Ağırık	E	3,557	2,750	-	513	1,470
Oymapınar	Antalya	1977	1984	185.00	Çift Eğrilikli Beton Kemer	E	300	575	-	540	1,620
Artvin	Artvin	2011	2015	180.00	Beton Ağırık	E	167	950	-	332	1,026
Silvan	Diyarbakır	2011	-	175.50	ÖYBK Kaya	E+S	7,308	8,500	235,123	160	681

E: Enerji S: Sulama TK: Taşkın Kontrol

**Çizelge 3.4.** Kurulu güçlerine göre barajlarımızın sıralaması

Baraj Adı	İli	Başlama Yılı	Bitiş Yılı	Temelden Yükseklik (m)	Gövde Tipi	Amacı	Depolama Hacmi (hm <sup>3</sup> )	Gövde Hacmi ( $\times 10^3$ m <sup>3</sup> )	Sulama Alanı (ha)	Kurulu Güç (MW)	Ortalama Enerji (GWh)
Atatürk	Şanlıurfa	1983	1992	169	Kil Çekirdekli Kaya	S+E	48,700	84,500	152,353	2,400	8,900
Karakaya	Diyarbakır	1976	1987	173	Beton Kemer	E	9,580	2,000	-	1,800	7,354
Keban	Elazığ	1965	1975	207	Kil Çekirdekli Kaya	E	31,000	15,585	-	1,330	6,600
Ilisu	Mardin	2007	2018	135	ÖYBK Kaya	E	10,625	24,100	-	1,200	4,120
Altinkaya	Samsun	1980	1988	195	Kil Çekirdekli Kaya	E+TK	5,763	15,920	-	703	1,632
Birecik-Nizip	Şanlıurfa	1985	2000	63	Kil Çekirdekli Kaya	S+E	1,220	9,400	-	672	2,500
Deriner	Artvin	1998	2014	249	Çift Eğrilikli Beton Kemer	E	1,969	3,400	-	670	2,118
Yukarı Kaleköy	Bingöl	2014	2017	150	SSB	E	784	240	-	627	1,505
Beyhan 1	Elazığ	2009	2015	97	SSB	E	369	1,220	-	582	1,294
Yusufeli	Artvin	2012	-	275	Çift Eğrilikli Beton Kemer	E	2,153	4,000	-	558	1,888

E: Enerji S: Sulama TK: Taşkın Kontrol

ICOLD'un Nisan 2020'de güncellediği haliyle dünya sıralamasına giren barajlarımıza baktığımızda, ülkemize ait 965 adet barajın büyük barajlar kategorisinde değerlendirildiğini görmekteyiz. Ağırlık beton baraj kategorisinde Keban Barajı 207 m yüksekliği ile 12. sırada ve Boyabat Barajı 195 m yüksekliği ile 16. sırada yer almaktadır. Beton kemer baraj kategorisinde inşa halinde Yusufeli Barajı 270 m ile 7. sırada ve Deriner Barajı 249 m yüksekliği ile 10. sırada yer almaktadır. Yusufeli Barajı'nı 275 m olmasına rağmen ICOLD'un 270 m olarak sıralamaya eklediği görülmektedir. Yusufeli Barajı'nın yüksekliği 275 m olarak düzeltilirse kendi sınıfında 5. sıraya yükselecektir. Ayrıca bütün baraj tiplerinin yüksekliklerinin listesinde Yusufeli Barajı 270 m ile 13. sırada yer almaktadır. Yine sulama alanlarına göre yapılan sıralamaya baktığımızda 9,325 km<sup>2</sup> alan sulama ile Atatürk Barajı 12. sırada yer almaktadır (URL-1).

## 4. BARAJLARIN İZLENMESİ

Barajlar görevlerini güvenli olarak yerine getirebilmeleri için izlenmeleri önem taşımaktadır. Değişebilecek şartlar altında barajların davranışlarının sistemli bir şekilde ortaya çıkarılması oldukça önemlidir. Yaşanması olası baraj kazaları, can ve mal güvenliği bakımından çok tehlikelidir. Bir barajda olabilecek kazayı önlemek veya kaza sonrası zararları en aza indirmek için gereken önlemler alınmalıdır. Barajları inşaat aşaması öncesi, sonrası ve tüm işletme ömrü boyunca emniyetlerini sağlamak açısından sürekli izlemek ve kontrol etmek gereklidir. Olabilecek kazaları önceden kestirebilmek ve meydana gelebilecek kazalardan en az zararla etkilenmek için barajlar sürekli takip altında tutulmalıdır. Özellikle büyük barajların jeodezik ve geoteknik yöntemlerle izlenmesi önem arz etmektedir (Yiğit ve ark., 2016).

### 4.1. Barajlara Etkiyen Yükler

Barajlar bütün ömrü boyunca çeşitli yüklere maruz kalırlar. Bu yükler genel anlamda statik ve dinamik yükler olmak üzere ikiye ayrılır. Statik yükler sürekli yüklerdir. Değişmezler ya da yapının titreşiminin doğal periyoduna göre oldukça yavaş değişirler. Statik yüke, barajın kendi ağırlığı, normal ve sel durumundaki hidrolik yük örnek verilebilir. Dinamik yükler ise doğada geçicidir. Bu yüklerin etki hızlarından dolayı, barajın atalet ve sönümlenme karakteristik özelliği barajın hareketini etkilemektedir. Dinamik yüklere örnek olarak, deprem yükü ve patlamaya bağlı kuvvetler verilebilir (Alçay, 2014).

Aşağıda dolgu ve beton barajlar için özellikle analizlerde kullanılan yükler verilmektedir.

#### 4.1.1. Dolgu barajları etkiyen yükler

Bir dolgu baraj, barajın ağırlığının ve rezervuardaki dalgalanmaların, sızıntıların veya deprem kuvvetlerinin neden olduğu kesme gerilmelerine maruz kalır. Yükleme koşulları, dolgu barajın yapımının başlamasından, barajın tamamlandığı zamana ve arkasında tam dolu bir rezervuar havuzuna sahip olana kadar değişir. Yükleme koşulları aralığı, inşaatın tamamlanmış dolgu barajın işletme süresi boyunca çeşitli aşamalarında aşağıdaki yüklerden etkilenir:

- İnşaat sonu yükleme durumu
- Ani su seviyesi düşmesi durumu
- Kararlı su akış durumu

- Kısmi rezervuar yükü durumu
- Deprem etkisi

Bu tezde beton kemer baraj incelendiği için aşağıda beton barajlara etkiyen yükler detaylı olarak açıklanmıştır.

#### **4.1.2. Beton barajları etkiyen yükler**

Beton barajların tasarımında, stabilite ve gerilme analizinde gereken yüklerin belirlenmesi esastır. Ölü yük, normal su yükü, taşkın yükü, kaldırma yükü, silt ve tortu yükü, buz yükü, sıcaklık, deprem yükü, dalga basıncı ve temelin tepkisi gibi kuvvetler beton barajları etkileyebilir (Alçay, 2014)

##### **4.1.2.1. Ölü yük**

Barajın kendi ağırlığı ile birlikte köprü, kapak gibi ilave yapılar ölü yükü oluşturmaktadır. Barajın kendi ağırlığı ile karşılaştırıldığında galeriler gibi nispeten küçük boşluklu yapıların yükü ve gerilme analizi de ihmal edilebilir (Engineer Manual, 1995a).

##### **4.1.2.2. Normal su yükü**

Normal su yükü, hidroelektrik projede normal işlem sırasında memba ve mansap suyundan dolayı baraj yüzeyinde meydana gelen hidrostatik basınçtan oluşmaktadır. Rezervuar seviyeleri maksimum normal yüksek su seviyesine karşılık gelmelidir. Bu da genellikle dolusavak kret seviyesini işaret etmektedir. Normal su yükünün hesaplanmasında memba ve mansap suyu basınçlarının derinlik ile doğru orantılı olarak değiştiği düşünülür (URL-35). Barajdaki hidrostatik basınç, suyun birim ağırlığı ile yükseliğinin çarpılmasından elde edilen bir fonksiyondur. Bazı durumlarda bir dolusavak yapısı baraja baskı uygulayabilmektedir (Engineer Manual, 1995a).

##### **4.1.2.3. Taşkın yükü**

Temel taşkın yükü, akış durumu süresince oluşan rezervuar ve giden su seviyelerinden dolayı meydana gelen, barajın karşılaştığı hidrostatik basıncı işaret etmektedir. Akış nedeniyle oluşan su yüklerinin, derinliğe bağlı olarak lineer değişim gösterdiği varsayılmaktadır (URL-35). Kuyruk suyundan dolayı akmayan bir bölümün barajın mansap yüzeyindeki hidrostatik basınç, tam kuyruk suyu derinliği kullanılarak belirlenmelidir.

Mansap şartları akış yönünde kanalda önemli bir hidrolik sıçrama, yani kuyruk suyunun derinliklerine doğru akan sızıntı akışı ile sonuçlandığında, geri tepme basıncının geriye dönük olarak ayarlanması gerekir. Kuyruk suyundan dolayı dolusavak bölümlerinin mansap yüzeyine etki eden kuvvetler, hareketsiz havzada enerji dağıldıkça önemli ölçüde dalgalanabilir. Bu nedenle, bu kuvvetlerin bir stabilite analizinde bir dengeleyici kuvvet olarak kullanıldığında koruyucu olarak tahmin edilmesi gerekir (Engineer Manual, 1995a).

#### 4.1.2.4. Kaldırma yükü

Kaldırma yükü veya boşluk suyu basınçları, suyun baraj gövdesindeki veya temel eklemlerindeki çatlaklardan içeri girmesi ile oluşur. Bu basınç, beton ve temel malzemesinde çatlaklar, gözenekler, bağlantılar ve ek yerlerinde bulunur (URL-20).

Kaldırma yükü, piyezometre değerleri veya sızıntı analizi ile belirlenir. Genelde kaldırma yüklerinin dağılımı, baraj tabanının yakınındaki temel kayaların jeolojik durumundan etkilenmektedir (URL-35).

Boşluk suyu basınçları, yapısal yeterliliği sağlamak için stabilite ve gerilim analizine dâhil edilmesi gereken aktif bir kuvvettir. Bu basınçlar zamana göre değişir ve sınır koşulları ve malzemenin geçirgenliği ile ilgilidir. Kaldırma yükünün deprem yükleri tarafından değişmediği varsayılmaktadır (Engineer Manual, 1995a).

#### 4.1.2.5. Silt, tortu yükü

Barajlar genellikle uzun yıllar boyunca rezervuarın tabanında biriken tortul malzeme nedeniyle silt basıncına maruz kalır. Etki eden yükün etkisi tortu kalınlığına bağlı olarak değişmektedir (URL-35).

Temel kazısında çıkan dolgu malzemesi, beton bloğun etrafına dökülürse, barajlara karşı silt basıncı meydana gelebilir. Dolgu malzemesi suya karışmış olabilir. Tortu ölçümleri bu basınçları gösterirse silt basınçları tasarımda dikkate alınır. Yanal toprak basınçlarının hareketli olup olmadığı, yapının yanal deformasyonu ile belirlenir (Engineer Manual, 1995a).

Bazı barajların inşasının her aşamasında, yakınında bulunan yamaçlardan heyelan olabilmekte, bununla beraber akarsuyun taşıdığı malzeme miktarı da yükün artmasına neden olmaktadır.

#### 4.1.2.6. Buz yükü

Buz yükü baraj yüzeyine etki eden önemli bir yük durumundadır. Buzlanmanın beklendiği rezervuar bölgesinde buz basıncının etkisi göz önüne alınmalıdır. Buz yükü statik ve dinamik yük olarak iki şekilde değerlendirilir. Statik yük durumunda rezervuarın tamamen buzla kaplı olması durumu göz önüne alınır. Dinamik yük durumunda ise yüzen buz kütlelerinin baraja çarpma etkisi göz önüne alınır (URL-35).

#### 4.1.2.7. Sıcaklık yükü

Barajdaki sıcaklık dağılımı gövdenin kalınlığına bağlı olarak değişmektedir. Özellikle ince kemer barajlarda memba tarafındaki rezervuar sıcaklığından mansap yüzeyindeki hava sıcaklığına kadar lineer sıcaklık dağılımı, makul bir yaklaşım sağlamaktadır. Lineer sıcaklık dağılımı sonlu elemanlar yöntemi ile belirlenebilmektedir (URL-35).

Bir baraj yerindeki hava sıcaklığı tahminleri, baraj ya da civarında önceden ölçülen hava sıcaklıklarına dayanmaktadır. Rezervuar su sıcaklığı, derinlik ve mevsime bağlı olarak değişmektedir. Sıcaklıklar rezervuarın baraj gövdesine yakın kısmında ölçülmektedir. Güneş ışınlarına maruz kalan baraj yüzeyi normalden çok daha fazla ısınmaktadır. Bu nedenle güneş radyasyonu kış şartlarında sıcaklık yükünü düşürücü etkiye, yaz durumunda ise artırıcı etkiye sahiptir. Hava veya su tarafındaki beton sıcaklığının genliği ve değişim aralığı sonlu elemanlar yöntemi ile belirlenebilmektedir (URL-35).

Beton baraj yapımında en büyük problem, sıcaklık değişimlerinden kaynaklanan çatlamanın kontrolüdür. Monolitin kenarları, iç kısımdan daha hızlı bir ısı verir; böylece çekirdek gerginleştikçe kenarlarda sıkıştırma olacaktır. Betonun dayanımı aşıldığında, yüzeyde çatlaklar oluşacaktır. Monolit soğumaya başladığında, betonun büzülmesi, zaten soğumuş ve sertleşmiş olan temel veya beton tabakaları ile sınırlandırılır. Yine, eğer bu gerilme betonun kapasitesini aşarsa, çatlaklar monolit boyunca tamamen yayılır. Çatlama ile ilgili temel kaygılar, suya karşı dayanıklılığı, görünümü, yapıdaki gerilmeleri etkilemesi ve yapısal güvenliği etkileyen istenmeyen çatlak ilerlemesine yol açmasıdır (Engineer Manual, 1995a).

#### 4.1.2.8. Deprem yükü

Deprem hem yatay hem düşey doğrultularda zeminde gelişen güzel hareketler meydana getirmektedir. Deprem yükünün etkisinde meydana gelebilecek hareketler ve

gerilmeler baraj tipine göre değişebilmektedir. Deprem kuvvetinden barajın ne zaman etkileneceği bilinmemekle beraber, eski deprem kayıtları gelecekte olabilecek depremler konusunda fikir verebilir. Bu nedenle inşa edilmesi düşünölen baraj ve inşa malzemeleri barajın inşa edileceği yerin topoğrafyasına ve kendi koşullarına göre projelendirilmelidir. Barajların depreme dayanabilecek şekilde yapımı, depremlerde oluşan yer hareketlerinin iyi tanınması ve dinamik özelliklerinin bilinmesiyle gerçekleştirilebilir (Keskin ve ark., 2009).

#### **4.1.2.9. Dalga etkisi**

Dalga basınçlarının, kapılar ve geçitler üzerindeki etkileri daha önemli olsa da bazı durumlarda, barajın üzerinde hissedilebilir bir etkiye neden olabilirler. Dalgaların yüksekliği, akma ve rüzgâr düzeni genellikle herhangi bir barajın gerekli hava payının belirlenmesinde önemli faktörlerdir. Dalga boyutları ve kuvvetleri, su yüzeyinin veya alımının boyutuna, rüzgâr hızına, süresine ve diğer faktörlere bağlıdır (Engineer Manual, 1995a).

#### **4.1.2.10. Temelin tepkisi**

Genel olarak, normal ve teğet bileşenlerden oluşan “temelde”, kaldırma dâhil tüm yatay ve dikey kuvvetlerin sonucu, eşit ve zıt bir reaksiyonla dengelenmelidir. Barajın statik dengede olması için, bu reaksiyonun yeri kuvvetler ve momentlerin toplamının sifıra eşit olacağı şekildedir. Normal bileşenin dağılımı, temel malzemenin ve betonun elastik ve plastik özelliklerinin gerçek dağılımı etkilediğini bilerek, doğrusal olarak kabul edilir (Engineer Manual, 1995a).

### **4.2. Baraj Deformasyonu İzleme Yöntemleri**

Baraj deformasyonlarının belirlenmesi için karmaşık bir işlem yapılması gerekir. Çünkü bu deformasyon belirleme çalışmalarında, baraj inşaatında kullanılan materyalin lineer olmayan davranışlarını, yapı ile yapı altındaki toprak ve kaya yapısı arasındaki etkileşim, suyun yapı ve temeldeki kaya yatağı üzerindeki yük etkisini ve suyun doymuşluğunun etkilerini de göz önüne alınması gerekir. Söz konusu barajın tektonik fayların veya potansiyel sismik etkinliklerin bulunduğu yerlerde olması durumunda ek problemler ortaya çıkabilmektedir. Deformasyon prosesi, örneğin yapı materyalinin lineer olmayan davranışlarının hiperbolik modeli ile sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak modellenilebilir. Model parametrelerinin belirsizliğine bağlı olarak özellikle

inşaat ve suyun rezervuarlara ilk tam doldurulma sırasında modelin doğrulanması ve zenginleştirilmesi için barajın ve çevresinin dikkatli olarak izlenmesi gerekir (Szostak ve ark., 1999).

Barajlardaki deformasyonların izlenmesinde kullanılan yöntemler genel anlamda jeodezik ve geoteknik yöntemler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

Bu iki yöntemi karşılaştıracak olursak;

- Jeodezik yöntemlerle sadece deformasyon belirleme çalışması yapılabilmekte iken, geoteknik yöntemler ile deformasyon ölçülerinin yanı sıra yük değerleri, gerilme ve boşluk suyu basıncı gibi önemli parametreler de elde edilebilmektedir.
- Jeodezik yöntemler ile genelde yüzey deformasyonları belirlenebiliyor iken geoteknik yöntemlerde yüzey altındaki deformasyonlarda belirlenebilmektedir.
- Geoteknik aletlerin verileri genelde otomatik olarak toplanmakta olup, verilere uzaktan erişim de söz konusu olabilmektedir.
- Ekstensometre, inklinometre gibi geoteknik ölçme aletleri ile sadece bağlı değişimler belirlenebiliyorken jeodezik yöntemler ile ek olarak mutlak değişimler de belirlenebilmektedir.
- Geoteknik ölçme aletinin bozulması durumunda genelde bulunduğu yerden çıkarıp tamir etmek pek mümkün olmamaktadır. Böyle bir durum jeodezik ölçme aletlerinde söz konusu değildir.

Bu iki yöntemin yukarıda belirtildiği gibi birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları söz konusudur. Her iki yöntemin avantajları göz önüne alındığında baraj bölgesinin geniş kapsamlı olarak izlenmesi ve elde edilecek bulguların doğru yorumlanmasında büyük katkı sağlayabilir (Alçay, 2014).

#### **4.2.1. Jeodezik yöntemler**

Jeodezik yöntemler, klasik ölçme yöntemleri ve modern yöntemler olarak sınıflandırılabilir. Klasik yöntemlerden yatay yönlü deformasyonların belirlenmesinde, aliyman yöntemi, hassas poligon yöntemi ve jeodezik ağ yöntemi kullanılmaktadır. Düşey yönlü deformasyonların belirlenmesinde ise; hassas geometrik nivelman yöntemi, trigonometrik nivelman yöntemi ve hidrostatik nivelman yöntemi kullanılmaktadır. Modern yöntemler ise uydu bazlı yöntemler ve yer bazlı yöntemler olmak üzere ikiye ayrılır. Uydu bazlı yöntemler; GNSS ve radar interferometridir. Yer

bazlı yöntemler ise RTS (Robotik Total Station), yersel lazer tarayıcılar ve yer bazlı radar interferometridir (Alçay, 2014).

#### **4.2.1.1. Aliyman yöntemi**

Bu yöntemde sabit bir doğrultuda yatay yöndeki deformasyonlar doğrudan belirlenir. Aliyman doğrultusu beklenen deformasyon yönüne dik seçilmelidir. Aliyman uç noktaları sağlam zemine sabit nokta olarak tesis edilir. Aliyman doğrultusu üzerinde mümkün olduğunca eşit aralıklarda obje noktaları belirlenir. Barajlarda bu yöntem kret üzerinde uygulanır. Aliymanın bir ucuna teodolit diğer ucuna gözlem levhası yerleştirilir. Doğrultudan olan sapmalar, doğrultuya olan uzaklıkların doğrudan ölçülmesi ile (direkt yöntem) ya da sapma açılarının ölçülmesi ile (açı yöntemi) belirlenir (İnal, 2010).

#### **4.2.1.2. Hassas poligon yöntemi**

Kenarları ve açıları yüksek doğrulukta ölçülmüş poligon demektir. Noktalar kret üzerine ya da varsa kontrol galerilerine tesis edilir. Poligon dizisi oldukça gergin olmalıdır. Poligon kenar uzunlukları birbirine eşit olacak şekilde 20-50 m arasında seçilmelidir. Geçki yönü x ekseni olarak alınır, buna dik olan eksen y ekseni olarak alınır. Böylece y ekseni enine kaymayı ifade etmektedir. Poligon noktalarının koordinatları en küçük kareler yöntemine (EKK) göre dengeleme ile belirlenir (İnal, 2010).

#### **4.2.1.3. Jeodezik ağ yöntemi**

Bu yöntemde jeodezik ağ ölçülerle birbirine bağlı noktalardan oluşur. Jeodezik ağdaki noktalar; referans noktaları (R1, R2...) ve obje noktalarından (O1, O2...) oluşmaktadır. Jeodezik ağ, doğrultu ağı, kenar ağı, doğrultu-kenar ağı ya da GNSS ağı olarak oluşturulabilir. Ölçümlere başlamadan önce ölçme yöntemi ve kullanılacak aletler belirlenir. Aletlerin eksen kontrolleri yapılır, varsa hatalar giderilir. Ölçü sırasında sıcaklık, basınç gibi etkiler göz önüne alınır (İnal, 2010).

#### **4.2.1.4. Hassas geometrik nivelman yöntemi**

Bu yöntem baraj gövdesi ve yakın çevresindeki çökmelerde kullanılır. Ölçülerin yüksek duyarlılıkla elde edilmesi için hata kaynaklarının araştırılıp, giderilmesi gerekir.

Ölçmelerde çift bölümlü invar miralar kullanılır. Ölçmelerde nivoların eksen kontrollerinin yapılması gerekir (İnal, 2010).

#### **4.2.1.5. Trigonometrik nivelman yöntemi**

Trigonometrik nivelman, iki nokta arasındaki yükseklik farklarının düşey açı ve uzunluktan yararlanarak belirlenmesidir. Hedef uzaklığı 100 m'den çok fazla değilse ve uzaklıklar yeterli doğrulukta belirlenebiliyorsa deformasyonların belirlenmesinde bu yöntem kullanılabilir. Hedef uzaklığı doğrudan ölçülemiyorsa, nokta konumları önden kestirme ile belirlenir (İnal, 2010).

#### **4.2.1.6. Jeodezik ölçülerin değerlendirilmesi**

Barajlarda deformasyon incelemesinin en önemli bölümü klasik ölçme yöntemleri ve modern yöntemlerden elde edilen verilerin değerlendirilmesi ve sonuçların yorumlanmasıdır. Deformasyonların incelemesinde  $t_1$  ve  $t_2$  zamanlarında yapılan periyot ölçüleri ayrı ayrı serbest dengelenir ve uyuşumsuz ölçüler ayıklanır. Daha sonra muhtemel hareketler kullanılan ölçme yöntemine ve beklenen hareketlerin durumuna göre çeşitli deformasyon modelleri ile incelenir.

#### **4.2.1.7. Deformasyon modelleri**

Deformasyon modellerini dinamik, kinematik ve statik model olmak üzere üç ayrı sınıfa ayırmak mümkündür.

##### **4.2.1.7.1. Statik deformasyon modeli**

Statik modeller, deformasyon incelemesinde yapılar üzerinde kullanılan karakteristik noktaların bir ölçme periyodu boyunca konum değiştirmedikleri düşünülen modellerdir. Bu modellerde yatay ve düşey yöndeki konum değişimleri zamandan ve etkileyen yüklerden bağımsız olarak ele alınır (Atasoy ve Öztürk, 1984).

Statik modellerde deformasyonların incelenmesinde obje farklı periyotlarda ölçülerek her periyottaki ölçüler ayrı ayrı dengelenmektedir. Ölçü periyotları arasındaki koordinat farkları objedeki deformasyonlarına ek olarak gözlem hatalarını göstermektedir. Bu nedenle periyotlar arasındaki koordinat farkları istatistiksel yöntemlerle test edilerek deformasyon araştırması yapılır (Alçay, 2014). Statik deformasyon analizinde genellikle  $\theta^2$  ölçütü, Bağlı güven elipsleri yöntemi, S-transformasyonu yardımı, Mierlo yöntemi, Cholesky çarpanlara ayırma yöntemi, iteratif

ağırlıklı benzerlik dönüşümü ve en küçük mutlak toplam yöntemiyle deformasyon analizi gerçekleştirilmektedir.

#### **4.2.1.7.2. Kinematik deformasyon modeli**

Deformasyon incelemesi yapılacak baraj, köprü, viyadük, tünel vb. yapıların karakteristik noktalarının hareketlerini ve bu hareketlerin hızlarını belirlemek için kinematik deformasyon modelleri kurulur. Kinematik modelin amacı, neden olan kuvvetlerle potansiyel bir ilişki olmadan zamanın fonksiyonlarına göre nokta hareketlerine uygun bir tanım bulmaktır. Kinematik modellerde polinom yaklaşımlar, hızlar, ivmeler ve harmonik fonksiyonlar yaygın olarak uygulanır (Heunecke ve Welsch, 2001). Deformasyona uğrayan yapının bir periyottaki ölçme işlerinin uzun zaman aldığına kullanılan modeldir (Atasoy ve Öztürk, 1984).

#### **4.2.1.7.3. Dinamik deformasyon modeli**

Dinamik deformasyon modeli, yapılardaki deformasyonun zamanın bir fonksiyonu olarak ele alındığı modellerdir. Bu modelde, geometrik değişimlerin yanında deformasyonlara sebebiyet veren yüklerin dış etkenlere bağlı değişimleri ve birbiri ile ilişkili kuvvetlerin oluşmasına neden olan, zamana bağlı dönüşüm fonksiyonlarıyla araştırılır. Örnek olarak bir baraj rezervuarındaki suyun baraj gövdesini ve yakın çevresini etkilediği ortadadır. Bu etki basınç olarak ele alınırsa; basınç ve bunun su seviyesine göre değişimi, baraj gövdesinde iç gerilmelere ve baraj çevresinde yer kabuğu hareketlerine neden olmaktadır. Deformasyon oluşmasında etken olan yükler ile yapı karakteristiklerinin yer ve zamana bağlı bir dönüşüm fonksiyonu modeli ile incelenerek deformasyonların ve nedenlerinin ortaya konması dinamik bir modeldir (Atasoy ve Öztürk, 1984).

Dinamik modeller en genel ve kapsamlı deformasyon modelleridir, çünkü bu modeller dinamik sistemin gerçekliğini tamamen tanımlar. Dinamik sistemler parametrik ve nonparametrik olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır (Heunecke ve Welsch, 2001).

#### **4.2.2. Geoteknik yöntemler**

Geoteknik yöntemle izleme, barajlarda oluşabilecek birçok durum için erken uyarı sağlayabilir. Örneğin, bir baraj kretinin oturması veya yamaçlarının şişmesi sonucu deformasyon oluşabilir. Normal olarak beklenen doğal olayların eksikliği de

potansiyel sorunları gösterebilir. Örneğin, bir drenaj sisteminde sızıntı olmaması, sızıntının tasarımcı tarafından beklenmeyen veya öngörülemeyen bir yerde gerçekleştiğini gösterebilir (Engineer Manual, 1995b).

Geoteknik yöntemle izleme, belirlenen hedeflere ulaşmak için dikkatlice planlanmalı ve yürütülmelidir. Bir barajdaki her geoteknik aletin kendine özgü bir amacı olmalıdır. Uzun süreli izleme için aletlerin sağlam ve bakımı kolay olmalı ve doğrulanmalı veya kalibre edilmelidir. Geoteknik aletlerle izleme, tipik olarak aşağıdaki verileri sağlar:

- İnşaat öncesi saha koşullarını karakterize etmek,
- Tasarım ve analiz varsayımlarını doğrulamak,
- İnşaat, ilk doldurma ve yapının işletimi sırasındaki davranışı değerlendirmek,
- Belirli tasarım özelliklerinin performansını değerlendirmek,
- Bilinen jeolojik ve yapısal anomalilerin performansını gözlemlemek,
- Sahaya özgü arıza modlarına göre performansı değerlendirmektir.

Cihazların kurulumu veya cihaz verilerinin kendi başına birikmesi baraj güvenliğini arttırmaz veya halkı koruyamaz. Aletler dikkatlice seçilmeli, yerleştirilmeli ve kurulmalıdır. Veriler özenle toplanmalı, titizlikle azaltılmalı, tablolaştırılmalı, işaretlenmeli ve barajın güvenliği açısından zamanında makul bir şekilde değerlendirilmelidir. Barajların izlenmesi için doğru planlanmayan bir izleme programı, zamanın ve paranın boşa harcanmasına neden olacaktır. Bu durum izleme programının takibinin bırakılması ve gereksiz veriler üretilmesi ile sonuçlanacaktır (Engineer Manual, 1995b).

Geoteknik yöntemler genel anlamda fiziksel ve geometrik ölçmeler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Chrazanowski ve Massiera, 2006). Fiziksel ölçümler: boşluk suyu basınç ölçümleri, yük ve gerilme ölçümleri, sızıntı ölçümleri vb.'den oluşmaktadır. Geometrik ölçümler ise: eğim, eğrilik ölçümleri, deplasman ölçümleri, yatay hareket ölçümleri, eksenden sapma ölçümleri, derz ve çatlak ölçümleri, oturma ölçümleri vb.'den oluşmaktadır.

#### **4.2.2.1. Geometrik ölçüm cihazları**

##### **4.2.2.2.1. Düz sarkaç ve ters sarkaç (Pendulum)**

Sarkaçlar, barajlarda yatay yönde oluşan hareketleri belirlemek amacıyla kullanılır. Düz ve ters olmak üzere iki türü bulunmaktadır. Düz ve ters sarkaçlar, bir dikey çizgi üzerindeki noktalarda oluşan göreceli yatay iç yer değiştirmeleri hassas bir

şekilde ölçmek amacıyla tasarlanmıştır. Şekil 4.1’de ters ve düz sarkaç örnekleri verilmiştir.

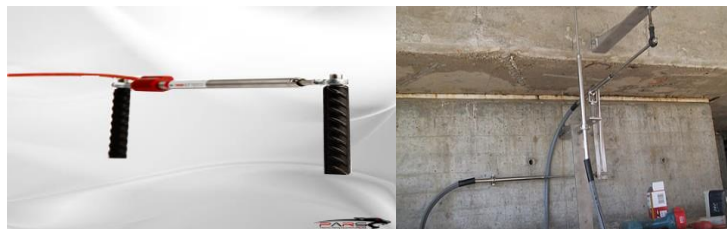


Şekil 4.1. Düz ve ters sarkaç örneği (URL-36)

Düz sarkaç sisteminde, sarkaç yukarıdan aşağı doğru sabitlenmiştir. Düz sarkaç, üst noktadan sabitlenerek asılan bir tel ile daha aşağıda yapıya monte edilmiş bir okuma istasyonundan oluşur. Sarkacın telinin gerilimi, ucundaki ağırlığın bir damper tankındaki suya batırılmasıyla elde edilir. Ters sarkacın sabit ucu, sistemin alt ucunda enjeksiyon ile sabitlenmiştir. Bir şamandıra, teli dikey doğrultuda gerer. Temelde sabit bir noktaya bağlandığından bu sarkaç tel boyunca noktaların mutlak deplasmanlarını ölçmektedir. Hem düz hem ters sarkaçlarda tel pozisyonu manuel olarak ve/veya elektrik bağlantılı uzaktan bir okuma ünitesi ile otomatik olarak izlenebilir. Bu ölçüm aleti, beton barajlardaki blok kaymaları veya dönmelerini tespit etmek amacıyla baraj izleme alanında önemli bir yere sahiptir (URL-37).

#### 4.2.2.1.2. Derz ölçer (Joinmeter)

Kaya kütlelerinde oluşan çatlakların ölçülmesinde ya da özellikle beton barajlarda beton bloklar arasındaki derz açılma ve kapanmalarını izlenmesi amacıyla kullanılan geoteknik ölçme aletidir (Şekil 4.2). Çatlak/Derz ölçer, hareketi belirlenecek olan açıklığın iki tarafına sabit uçlarının yerleştirilmesiyle değişim otomatik veya manuel olarak izlenebilmektedir. Tek eksenli, iki eksenli veya üç eksenli göreceli hareketlerin izlenmesinde kullanılır (URL-38).

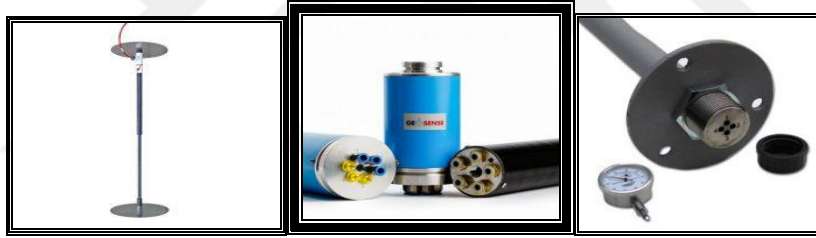


Şekil 4.2. Derz ölçer cihazı örnekleri (URL-39)

#### 4.2.2.1.3. Ekstensometre-Rockmetre

Zeminde ve kayada oturma, kabarma, deplasman ve deformasyonların ölçümünde kullanılırlar. Ekstensometreler kaya içerisine açılmış muhtelif derinlikteki delikler içerisine ırsınsal olarak, rockmeterler ise yine kaya içerisine aynı ekseninde fakat farklı derinlikte yerleştirilen elektrikli veya titreşim telli (VW) tip sensörlerden oluşur. Her ölçüm alındığında okuma ünitesinin sıcaklık değeri de okunup, değeri düzeltilmesi yapılmalıdır (URL-38). Zeminin izlenmesi tek noktadan ya da çok noktadan yapılabilir. Zeminde kaç nokta ölçölmek isteniyorsa ona uygun olan ekstensometre başlığı seçilir ve kuyunun çapı ona göre belirlenir. Ölçümler; mekanik olarak mikrometre ile yapılabildiği gibi, elektronik olarak potansiyometre veya titreşim telli sensörleri okuyabilen cihazlar ile de yapılabilir (URL-40).

Çubuk, şerit, minyatürize edilmiş çok noktalı olmak üzere ekstensometrenin çeşitli türleri mevcuttur. şekil 4.3'te titreşim telli, rod tipi, ankraj tipi ekstensometre örnekleri gösterilmektedir.



şekil 4.3. Ekstensometre örnekleri (soldan sağa: titreşim telli, rod tipi, ankraj tipi) (URL-41)

#### 4.2.2.1.4. Elektronik taşınabilir eğimölçer (Klinometre)

Dijital eğimölçer sistemi üç bileşenden oluşur: eğim plakaları, eğimölçer ve okuma ünitesidir. Eğim plakaları, yaklaşık 140 mm çapında bronz bir diskdir (şekil 4.4). Yapıya harç veya vidalarla sabitlenir. Eğim plakasındaki 1, 2, 3 ve 4 olarak numaralandırılmış dört küresel cıvata, eğimölçeri yönlendirmek için kullanılır. Yatay olarak monte edilmiş eğim plakaları, 90 derece aralıkla iki düzlemde eğim okumalarına izin verir. Bu iki düzlem; 1 ve 3 numaralı küresel cıvata doğrultusundaki memba-mansap düzlemi ve 2 ve 4 numaralı küresel cıvata doğrultusundaki sağ sahil-sol sahil düzlemidir. şekil 4.4'te göröldüğü üzere taşınabilir eğimölçer okumalarını elde etmek için eğim plakasından eğim plakasına taşınır. Eğimölçerin alt ve iki tarafındaki hizalama çubukları, eğimölçeri eğim plakası üzerine yerleştirmek için kullanılır. Her eğim düzlemi için iki okuma alınır, biri artı (+) yönünde ve diğerisi eksi (-) yönünde okunur.



Şekil 4.4. Okuma plakası ve taşınabilir eğimölçer aleti

Eğim okumalarını gerçekleştirmek için operatör önce eğimölçeri okuma ünitesine bağlar, ardından eğim plakası üzerine eğimölçeri yerleştirir. Operatör daha sonra görüntülenen okumayı kaydeder. Ardından operatör eğimölçeri 180 derece döndürür ve ikinci bir okuma elde eder. Son olarak, sensör ofsetini iptal etmek için iki ölçümün ortalaması alınır. Eğimdeki değişiklikler, son okuma ile ilk okuma karşılaştırılarak bulunur (URL-42).

#### 4.2.2.1.5. İnklinometre

İnklinometre aleti, yerleştirildikleri sondaj deliklerinin eksenine dik yönde, değişik derinliklerde hareketlerin ölçümünde kullanılmaktadır. İnklinometre ile sondaj deliğinin iki tarafında oluşan sapmaların yeri, yönü ve büyüklüğü belirlenebilmektedir. Barajlarda gövde dolgusu, temel ve şevlerin duyarlılığının izlenmesinde kullanılırlar.

İnklinometre cihazı esnek bir boru içerisinde deliğe indirilen algılayıcı uç, kayıt cihazı ve bunlar arasındaki bağlantıyı sağlayan kablolardan oluşmaktadır (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. İnklinometre cihazı örneği (URL-43)

#### 4.2.2.1.6. Oturma ölçer

Dolgu barajlarda, değişik kesit ve kotlara yerleştirilerek barajdaki oturma ve kabarmaların ölçülmesini sağlar (Şekil 4.6). Baraj kretinde oluşabilecek eğimin boşluk

suyu basıncı oluşumuyla ilişkilendirilmesinde bu verilere ihtiyaç duyulmaktadır (URL-40).



Şekil 4.6. Oturma ölçer örnekleri (soldan sağa: likit tipi, rod tipi, titreşim telli) (URL-44)

#### 4.2.2.2. Fiziksel ölçüm cihazları

##### 4.2.2.2.1. Piyezometre (Water pressure cells)

Baraj içerisinde ve temelinde oluşan su basıncından dolayı baraj güvenliği etkilenmektedir. Bu nedenle barajlarda inşaat sırasında ve işletme aşamasında, barajın temelinde ve dolgu içinde oluşan boşluk suyu basıncı piyezometreler ile takip edilir. Piyezometrelerin açık uçlu depolu (Casagrande tipi), kapalı uçlu depolu, çift tüplü hidrolik, pnömomatik, titreşim telli ve elektronik tipte olanları mevcuttur (URL-45). Şekil 4.7’de piyezometre örnekleri verilmiştir.



Şekil 4.7. Piyezometre örnekleri (soldan sağa: standpipe, titreşim telli, pnömomatik, fiber optik algılama) (URL-45)

##### 4.2.2.2.2. Kaldırma kuvveti basıncı ölçer (Uplift pressure cells)

Kaldırma kuvveti ölçer, beton barajlarda baraj kütle betonu/kaya ara yüzeyinin hemen altına yerleştirilerek buradaki suyun yükselme basıncını ölçmektedir (URL-46). Şekil 4.8’de örneği verilen kaldırma kuvveti basıncı ölçer bir ucunda açık bir uç ve diğer ucunda bir manometre ile deliklere uzanan dört veya beş tüpten oluşan bir sistemdir.



Şekil 4.8. Kaldırma kuvveti ölçer örneği (URL-46)

#### 4.2.2.2.3. Basınç hücresi

Basınç hücresi, baraj gövdesinde değişik kotlara ve baraj gövdesi ile temelin temas ettiği yerin üzerine yerleştirilir. Baraj dolguları ve toprak ile betonun ara yüzleri arasındaki toplam basınç ve gerilme dağılımının yönünün ve büyüklüğünün ölçülmesinde kullanılır (URL-40). Toplam basınçölçer olarak da adlandırılabilir. Şekil 4.9'da basınç hücresi örnekleri verilmiştir.



Şekil 4.9. Basınç hücresi örneği (URL-40)

#### 4.2.2.2.4. Debi ölçer

Barajlarda genellikle, piyezometrenin yüksek basınç gösterdiği yerlerde açılan sondaj deliklerinden çıkan suyun debisini ölçmek amacıyla kullanılan geoteknik ölçme aletidir (URL-47). Kaya ve gövde içindeki galerilerde tesis edilirler. Akış ölçüm ekipmanı V ağızlı kasa ve seviye algılayıcıdan oluşan bir ekipmandır. Ayrıca otomatik su seviyesi ölçer kullanarak otomatik okuma yapabilmektedir. Şekil 4.10'da debi ölçer örnekleri verilmiştir.



Şekil 4.10. V ağızlı savak ve debi ölçer cihazı örnekleri (URL-47)

#### 4.2.2.2.5. Gerilme ölçer (Strainmeters)

Baraj gövdesinde betonun birim deformasyon ve gerilim değerlerini ölçmeye ve ortam ısısını algılamaya yarayan cihazlardır. Betonun içine veya beton yüzeyine yerleştirilirler (URL-38). Şekil 4.11’de gerilme cihazı örnekleri verilmiştir.



Şekil 4.11. Gerilme ölçer cihazı örneği (URL-40)

#### 4.2.2.2.6. Sıcaklık ölçerler

Baraj, temel ve geoteknik aletlerin sıcaklık ölçümleri genelde toplanan veri miktarını azaltmak, kesinliği artırmak ve sıcaklığın veri toplanması üzerindeki etkisinin anlaşılabilmesi için gerekmektedir. Sıcaklık ölçerlerin kısa ve uzun dönem olmak üzere iki şekli kullanılmaktadır. Barajlarda sızıntı olan yerde sıcaklık ölçümleri ile sızıntı kaynağının belirlenmesini sağlayabilmektedir. Barajlarda kullanılacak sıcaklık algılayıcılar  $-20^{\circ}$  ile  $+80^{\circ}$  C arasında %  $\pm 0.4$  hassasiyet ile ölçüm yapabilmelidir (URL-48). Şekil 4.12’de sıcaklık ölçer örnekleri verilmiştir.



Şekil 4.12. Sıcaklık ölçer örneği (URL-49)

#### 4.2.2.2.7. Yük hücresi

Yük hücreleri kaya kütlesi, istinat duvarı, mesnet vb. yapılardaki yükleri ve yük değişimlerini belirlemek için kullanılan geoteknik ölçme aletleridir (Şekil 4.13). Yakınlarına genelde ekstensometrelerin yerleştirilmesi ile verilerinin doğruluğu test edilebilmektedir.



Şekil 4.13. Yük hücresi örneği (URL-50)

#### 4.2.2.2.8. Sismik ivmeölçer

Baraj yerinde ana kaya üzerinde sismik ivmeyi tespit etmek için ve kret üzerindeki ivmeyi ölçmek için kret üzerine yerleştirilir (Şekil 4.14).



Şekil 4.14. Sismik ivmeölçer örneği (URL-51)

#### 4.2.2.2.9. Rezervuar su seviyesi ölçer

Baraj rezervuarındaki su seviyesinin otomatik olarak izlenmesi amacıyla kullanılır (URL-52). Şekil 4.15'te rezervuar su seviyesi ölçer örneği verilmiştir.



Şekil 4.15. Rezervuar su seviyesi ölçer örneği (URL-52)

#### 4.2.2.3. Meteorolojik ekipmanlar

Barajın davranışının doğru bir şekilde değerlendirilebilmesi için hava sıcaklığı ve yağış miktarı ile ilgili veriler önemlidir. Hava sıcaklığının barajın deformasyonlarına etkisi ve yağışın drenaj suyunun tahliyesine etkisi gibi durumlar göz önünde bulundurulmalıdır. Şekil 4.16'da verilen hava sensörü; rüzgâr hızı, rüzgâr yönü, güneş radyasyonu, sıcaklık, bağıl nem, barometrik basınç, yağmur verilerini elde etmektedir. Dijital seri veri akışı, her saniye veya veri sistemi komutuyla verilir (URL-53).



Şekil 4.16. Hava sensörü örneği (URL-53)

#### 4.2.2.4. Otomatik veri toplama

Özellikle sensör sayısı yüksek barajlarda, baraj bitiminde kurulan otomatik veri toplama sistemi ile gündelik yapılacak olan ölçümler otomatik olarak istenen aralıklarda sistem tarafından gerçekleştirilir (Şekil 4.17). İstendiği takdirde GSM modem veya internet üzerinden tüm veriler bir ana bilgisayara gönderilir ve alınan veriler otomatik olarak grafiklere dökülür (URL-54). Bu sistem sayesinde ölçüm cihazları işlerinin tümü otomatik olarak yapılır.



Şekil 4.17. Otomatik veri toplama sistemi örneği (URL-54)

## 5. DERİNER BARAJI VE KULLANILAN GEOTEKNİK YÖNTEMLER

### 5.1. Deriner Barajı Teknik Özellikler

Deriner Barajı, Doğu Karadeniz Bölgesinde bulunan Artvin ili sınırları içerisinde, Çoruh Nehri üzerinde çift eğrilikli beton kemer baraj tipinde, enerji üretimi ve taşkından koruma amacıyla inşa edilmiştir (Şekil 5.1). Baraj temelden 249 m yüksekliği ile Türkiye'nin en yüksek barajı konumundadır. ICOLD Nisan 2020'de yayınladığı güncel rapor verilerine göre Deriner Barajı kendi sınıfında inşası tamamlanan ve inşası devam edenler arasında Dünya'nın 10. yüksek barajıdır (URL-1). Baraj inşaatına 1998 yılında başlanmış, 2005 yılı sonlarında temel kazısı işlemleri tamamlanmış ve hemen ardından kemer barajın betonlanması başlamıştır. Deriner Barajı Şubat 2012'de su tutmaya, Haziran 2013'te elektrik üretmeye başlamıştır. Barajın kret kotu 397 m, kret uzunluğu 720 m ve gövde hacmi 3.4 milyon m<sup>3</sup>tür. Çizelge 5.1'de Deriner Barajı'na ait karakteristik özellikler verilmektedir (URL-56).



Şekil 5.1. Deriner Barajı

Deriner Barajı'nda derivasyon tünelinin kapatılmasıyla su tutmaya 27 Şubat 2012 tarihinde başlamış olup, 17.05.2013 tarihinde su seviyesi maksimum seviyeye ulaşmıştır. 17.05.2013 tarihinde taşkın güvenliği açısından maksimum çalışma seviyesinin 3 m altında maksimum su seviyesi 388.92 metreye ulaşınca su tutulması durdurulmuştur.

**Çizelge 5.1.** Deriner Barajı karakteristik bilgileri

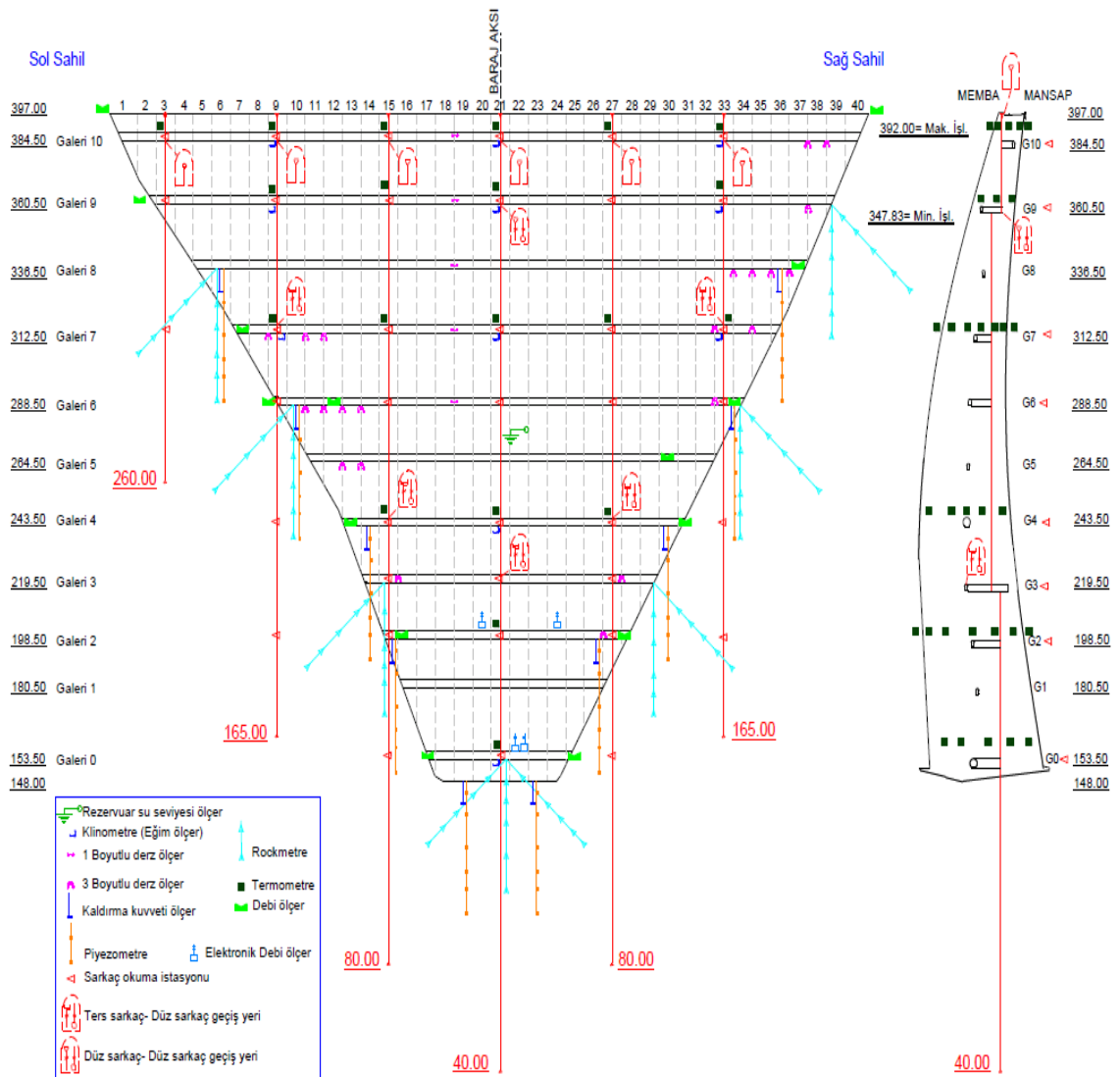
Tipi	Çift eğrilikli beton kemer
Hacmi	3.4 milyon m <sup>3</sup>
Kret kotu	397 m
Talveg kotu	195 m
Temel kotu	148 m
Kret uzunluğu	720 m
Kret genişliği	12-18 m
Talvegden gövde yüksekliği	202 m
Temelden gövde yüksekliği	249 m
Temel genişliği	55-60 m
Kurulu güç	670 MW
Maksimum taşkın su kotu	395 m
Maksimum işletme su kotu	392 m
Minimum işletme su kotu	347.83 m
Toplam depolama hacmi	1,969 milyon m <sup>3</sup>
Faydalı depolama hacmi	963 milyon m <sup>3</sup>
Rezervuar alanı	26.40 km <sup>2</sup>

## 5.2. Deriner Barajının İzlenmesinde Kullanılan Geoteknik Cihazlar

Deriner Barajı'nın gövdesi 40 adet bloktan ve 11 adet galeriden oluşmaktadır. Barajın izlenmesi amacıyla kullanılan geoteknik ölçme aletleri; sarkaç, rockmetre, derz ölçer, klinometre, inklinometre, ekstensometre, yük hücreleri, piyezometre, kaldırma kuvveti ölçer, debi ölçer, teletermometre, rezervuar su seviyesi ölçer, meteorolojik ölçer ve sismik ivmeölçerdir. Bu geoteknik ölçme aletlerinden bazıları baraj gövdesinde (örn: sarkaç, rockmetre, derz ölçer, teletermometre) ve bazıları mesnetlerde (örn: ekstensometre, yük hücresi, inklinometre) kullanılmaktadır.

Deriner Barajı gövdesinde kullanılan geoteknik cihazların konumu ve 21.blok kesiti Şekil 5.2'de ve cihazların teknik özellikleri Çizelge 5.2'de verilmiştir. Şekil 5.2 barajın mabandan mansaba doğru olan görüntüsüdür. Şekil 5.2'de görüldüğü üzere en üst tarafta soldan sağa doğru 1'den 40'a kadar numaralandırılarak gösterilen sütunlar, 40 adet bloğu göstermektedir. Baraj gövdesinin alt kısmından yukarı doğru galeri 0 ile başlayan galeri 10 ile biten satırlar, barajdaki farklı kotlardaki 11 adet galeriyi göstermektedir. Galerinin isimlerinin hemen yanındaki kotlar galerinin kotlarını göstermektedir. 148 kotu temel kotunu ve 397 kotu da kret kotunu göstermektedir. Sarkaçlar kırmızı renkli çizgilerle gösterilmiş olup, en alttaki sabit kayaya bağlı olan uçları yukarı ok ile gösterilmiş ve sabit uç kotları kırmızı renk ile belirtilmiştir. Sarkaçların en üst kısımları, ters-düz sarkaç ve düz-düz sarkaç geçiş yerleri odacık halinde gösterilmiştir. G0, G2, G3, G4, G6, G7, G9 ve G10'da bulunan sarkaç okuma odaları sol ok ile gösterilmiştir. Sarkaç okuma odalarının karşısında bulunan klinometreler, okuma odalarının altında gösterilmiştir. Geoteknik cihazlar genel olarak buldukları yerlerin yakınlarına çizilmiştir. Tek boyutlu derz ölçerler sayı olarak fazla

olduğu için sembolik olarak birkaç tanesi gösterilmiştir. Sarkaç-3 sistemi, kret ile 260 kotu arasındaki ters sarkaçtan oluşmaktadır. Sarkaç-9 ve Sarkaç-33 sistemi, kret ile G7 arası düz sarkaç ve G7 ile 165 kotu arasındaki ters sarkaçtan oluşmaktadır. Sarkaç-15 ve Sarkaç-27 sistemi, kret ile G4 arasında düz sarkaç ile G4 ve 80 kotu arasındaki ters sarkaçtan oluşmaktadır. Sarkaç-21 sistemi üçlü sarkaçtan oluşmaktadır; 40 kotu ile G3 arasında ters sarkaç, G3 ile G9 arasında düz sarkaç ve G9 ile kret arasında yine düz sarkaç bulunmaktadır. Şekil 5.2’de rockmetreler, sarkaçlar, klinometreler, teletermometreler, tek boyutlu ve üç boyutlu derz ölçerler, rezervuar su seviyesi ölçer, piyezometreler, kaldırma kuvveti ölçerler, manuel ve elektronik debi ölçerler de verilmektedir.



Şekil 5.2. Deriner Barajı açınımlı görünüşü

Baraj gövdesindeki radyal ve teğetsel hareketleri belirlemek amacıyla 6 adet düz ve 6 adet ters sarkaç, galeriler arasında (3., 9., 15., 21., 27. ve 33. bloklara)

yerleştirilmiştir. Eğim değişimlerini ölçmek için sarkaç ölçüm odalarının karşısına gelecek şekilde G0'da ve G4'te birer adet, G7, G9 ve G10'da üçer adet olmak üzere toplam 11 adet klinometre yerleştirilmiştir. Derz açılma ve kapanmalarını belirlemek amacıyla galerilere tek eksenli 222 adet ve üç eksenli 22 adet derz ölçer yerleştirilmiştir. Gövde içerisine belirli aralıklarla sıcaklık değişimlerini belirlemek amacıyla 95 adet teletermometre yerleştirilmiştir. Sol ve sağ galerilerden gövdeye giriş bölgelerinde, galerilerin memba ve mansap taraflarına, temel ve yamaç kayalardaki deplasmanları belirlemek amacıyla 21 adet rockmetre ve yakınlarına boşluk suyu basıncını belirlemek amacıyla da 50 adet piyezometre yerleştirilmiştir. Galerilerin sonlarına doğru piyezometrelerin yüksek basınç gösterdiği bölgelerde açılan sondaj deliklerinden çıkan suyun debisini belirlemek amacıyla debi ölçerler yerleştirilmiştir. G0 ve G2'ye 4 adet elektronik debi ölçer yerleştirilmiştir. Memba ve mansap yüzeyleri arasında farklı lokasyonlarda kaldırma kuvvetinin ölçülmesi için baraj kütle betonu/kaya ara yüzeyinin hemen altına 48 adet kaldırma kuvveti ölçer yerleştirilmiştir. Ayrıca mesnetlerdeki deplasmanların belirlenmesi amacıyla ekstensometreler, sapmaların belirlenmesi amacıyla inklinometreler ve yüklerin belirlenmesi amacıyla yük hücreleri baraj çevresine yerleştirilmiştir.

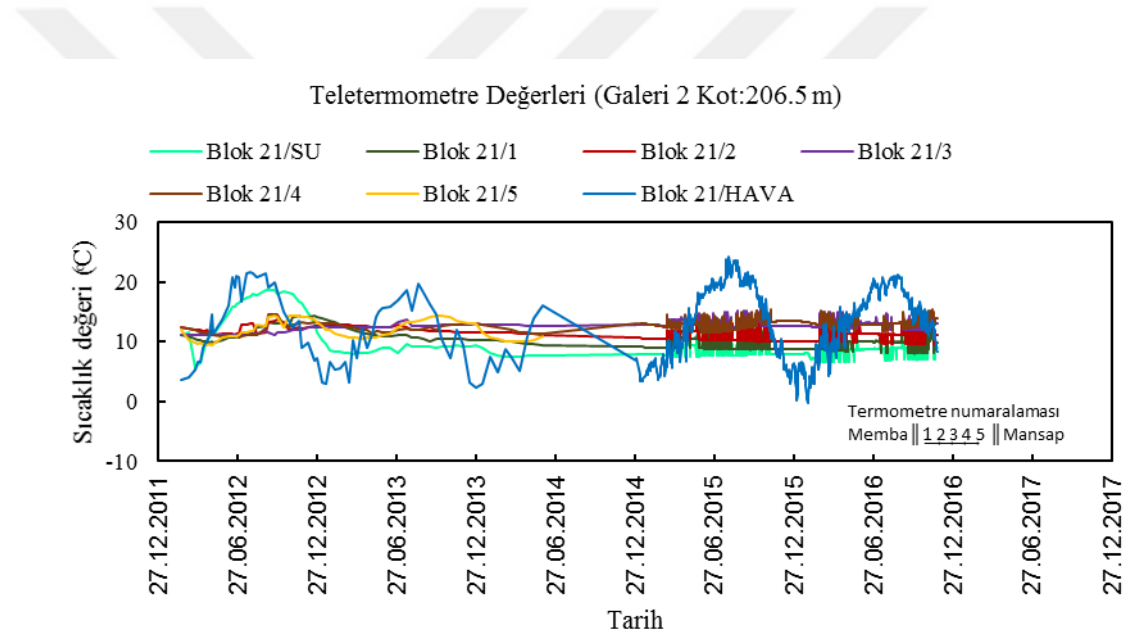
**Çizelge 5.2. Geoteknik aletler ve teknik özellikleri**

Ölçme Aleti	Özellikler	
Sarkaç	Ölçüm aralığı	X-ekseni: 0-150 mm Y-ekseni: 0-50 mm
	Çözünürlük	0.01 mm
	Doğruluk	X-ekseni: $\pm 0.05$ mm Y-ekseni: $\pm 0.05$ mm
İnklinometre	Ölçüm aralığı	$\pm 30^\circ$ standart veya $\pm 90^\circ$ isteğe bağlı
	Çözünürlük	$\pm 0.01$ mm
	Doğruluk	$\pm \%0.02$ FS
Rockmetre	Ölçüm aralığı	25-150 mm
	Çözünürlük	$\pm \%0.02$ FS
	Doğruluk	$\pm \%0.25$ FS
Debi ölçer	Ölçüm aralığı	100, 150, 300, 450, 600 mm
	Çözünürlük	$\pm \%0.1$ ile $\pm \%0.5$ FS (her sensör ayrı ayrı kalibre edilir)
	Doğruluk	Titreşimli tel: $\pm \%0.02$ FS (min.)- Sıcaklık: $0.1^\circ\text{C}$
Klinometre	Cihaz boyutları	143*102*127 mm
	Ölçüm aralığı	Boş konumdan +5 derece
	Çözünürlük	0.0001 arc derecesi (0.36 arc saniye)
	Duyarlılık	Tam ölçeğin %1'i
Piyezometre ve Kaldırma Kuvveti Ölçer	Hata sınırı	$\pm 0.0004$ tipik derece
	Ölçüm aralığı	35 kPa- 7 Mpa
	Çözünürlük	$\pm \%0.025$ FS (Min)-(MB-6T Okumalı)
	Duyarlılık	$\pm \%0.5$ FS
	Doğruluk	$\pm \%0.1$ FS- $\pm \% 0.5$ FS

## 5.2.1. Baraj gövdesinin izlenmesinde kullanılan geoteknik cihazlar

### 5.2.1.1. Beton ve ortam sıcaklıklarının izlenmesi

Deriner Barajı'nda beton sıcaklığı ve ortam sıcaklığını (su sıcaklığı ve hava sıcaklığı) ölçmek üzere iki tip teletermometre kullanılmıştır. Teletermometreler her sarkaç okuma istasyonunun yakınında gruplar halinde düzenlenmiştir (Şekil 5.2). Baraja yerleştirilen teletermometrelere baktığımızda; grup başına teletermometre sayısı baraj kalınlığına bağlı olarak 3 ile 5 arasında değişmektedir. Deriner Barajı'nda toplam 83 adet beton sıcaklığı ölçer, 7 adet hava sıcaklığı ölçer ve 5 adet su sıcaklığı ölçer kullanılmıştır. Deriner Barajı'na ait teletermometre verilerinden G2'ye ait ölçüm sonuçları Şekil 5.3'te ve diğer teletermometre ölçümleri aşağı galerilerden yukarı galerilere doğru sırasıyla Ek 1'de verilmiştir. Grafiklerde tüm veriler gösterilmiştir.



Şekil 5.3. G2'de bulunan teletermometrelere ait veriler ile su ve hava sıcaklığı değerleri

G2'de beton sıcaklıkları genellikle mansap yönüne doğru artmakta ve yaklaşık 8-15°C aralığında değerler almaktadır (Şekil 5.3). G4, G7 ve G9'da memba ve mansap tarafında bulunan beton sıcaklıkları ilk tam dolum sürecine kadar mevsimsel dalgalanmalar göstermiştir. İlk dolum sonrası mansap tarafındaki beton sıcaklıklarının mevsime göre daha fazla dalgalanma gösterdiği ve genellikle mambadan mansaba doğru sıcaklığın arttığı görülmektedir (bkz., Ek 1). G10'da ise beton kalınlığının daha az olması nedeniyle hava sıcaklığı ile beton sıcaklıklarının benzer bir davranış sergilediği açıkça görülmektedir (bkz., Ek 1). Barajın bütününe baktığımızda sıcaklıkların genellikle aşağıdan yukarıya doğru arttığı görülmektedir.

## 5.2.1.2. Deformasyon ölçmeleri

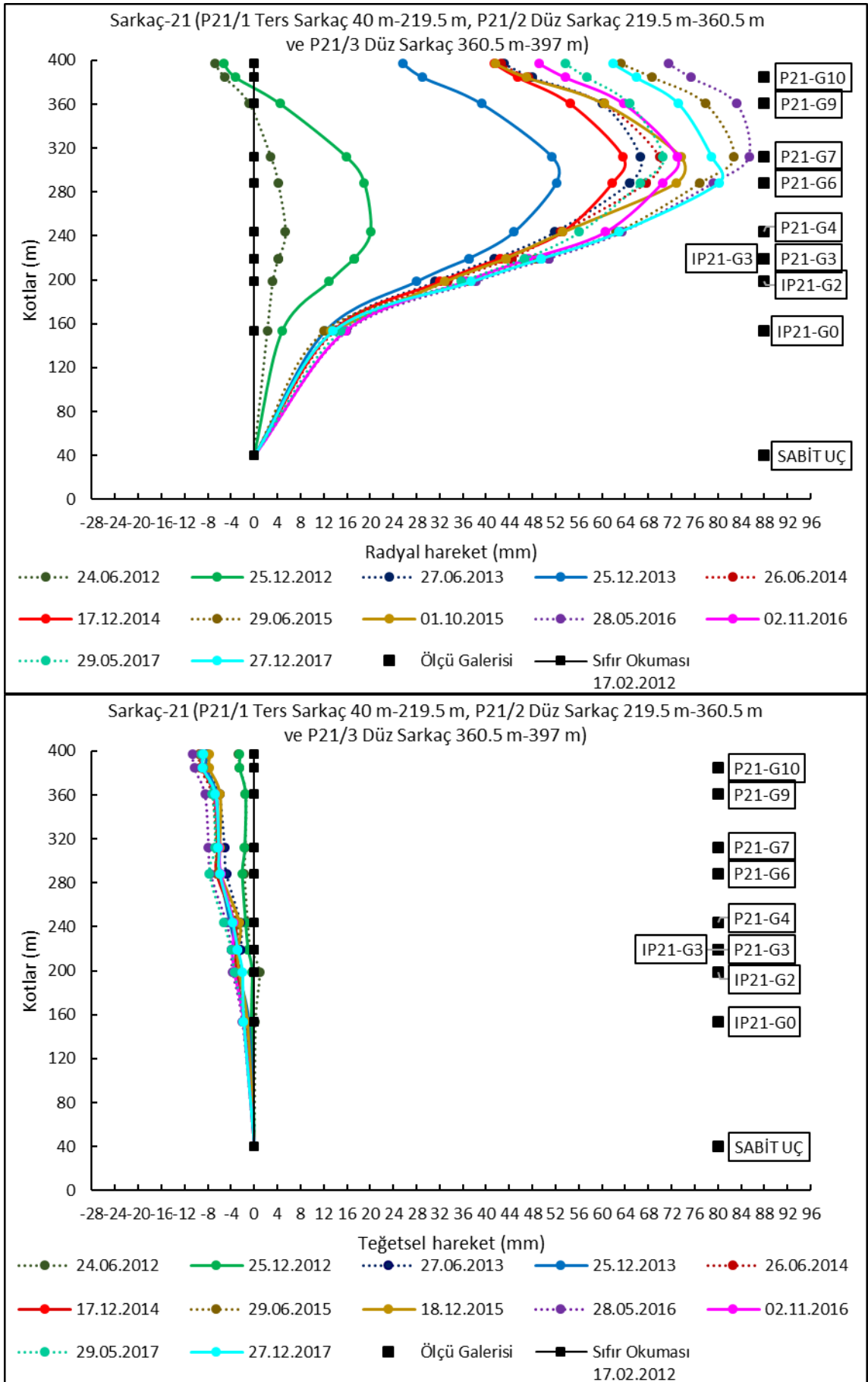
### 5.2.1.2.1. Sarkaç ölçümleri

Deriner Barajı'nda olası yatay hareketleri belirlemek amacıyla 6 adet ters ve 6 adet düz sarkaç bulunmaktadır (Şekil 5.2). Elektrikli okuma yapılan ölçüm odalarında kontrol amacıyla manuel okuma da yapılabilmektedir. Sarkaç 3, 9 ve 33'ün ilk okuması 26.03.2012 tarihinde ve sarkaç 15, 21, ve 27'nin ilk okuması 17.02.2012 tarihinde yapılmıştır. Hareketler sarkaç sistemlerindeki her bir ters sarkacın sabit noktası baz alınarak belirlenmiştir. Barajın yatay hareketinin daha iyi anlaşılabilmesi için barajın tam ortasında bulunan Sarkaç-21'in radyal ve teğetsel hareket grafikleri Şekil 5.4'te ve diğer sarkaçlara ait grafikler Ek 2'de verilmiştir. Grafiklerde 6 ayda bir günlük veriler gösterilmiştir. Sonuçlar bütün sarkaç verilerine göre değerlendirilmiştir. Sarkaçlardan elde edilen kret üzerindeki yer değiştirmeler Çizelge 5.3'te verilmiştir.

**Çizelge 5.3.** Baraj kretindeki yer değiştirmeler

	İlk dolum sırasında yer değiştirmeler(mm)		27.12.2017 tarihine kadar yer değiştirmeler(mm)	
	Radyal	Teğetsel	Radyal	Teğetsel
Sarkaç-3	3.40	10.19	6.09	11.40
Sarkaç-9	19.42	21.07	26.23	21.77
Sarkaç-15	50.64	27.34	72.95	31.54
Sarkaç-21	73.58	8.85	95.15	11.58
Sarkaç-27	73.13	25.27	97.33	35.06
Sarkaç-33	42.55	21.18	49.53	22.52

Çizelge 5.3'te görüldüğü üzere kret üzerinde en büyük radyal hareket ilk dolum sırasında Sarkaç 21'de 73.58 mm olarak gerçekleşmiştir. 27.12.2017 tarihine kadar kret üzerinde en büyük radyal hareketler Sarkaç-27'de 97.33 mm ve Sarkaç-21'de 95.15 mm olarak gerçekleşmiştir. Kret üzerinde en büyük teğetsel hareket ilk dolum sırasında Sarkaç 15'te 27.34 mm olarak gerçekleşirken 27.12.2017 tarihine kadar olan süreçte ise Sarkaç-27'de 35.06 mm olarak gerçekleşmiştir. En büyük radyal hareket Sarkaç-21'de G9'da gerçekleşmiş olup; ilk su dolumuna kadar 78.02 mm ve 27.12.2017 tarihine kadar olan süreçte ise 97.33 mm olarak gerçekleşmiştir. Baraj temel eksenindeki hareket mansap yönünde ilk doluma kadar 13.45 mm ve 27.12.2017 tarihine kadar ise 16.14 mm'dir. Baraj ilk tam kapasiteye ulaştıktan sonraki süreçte (25.05.2013-27.12.2017 tarihleri arası), kret üzerinde en büyük radyal hareket Sarkaç-27'de 24.20 mm ve en büyük teğetsel hareket Sarkaç-27'de 9.79 mm olarak gerçekleşmiştir. Elde edilen değerler sarkaçların bağımsız hareketlerini göstermektedir (Şekil 5.4 ve Ek 2).



Şekil 5.4. Sarkaç-21'e ait ölçüm verilerinden elde edilen radyal ve teğetsel hareketler

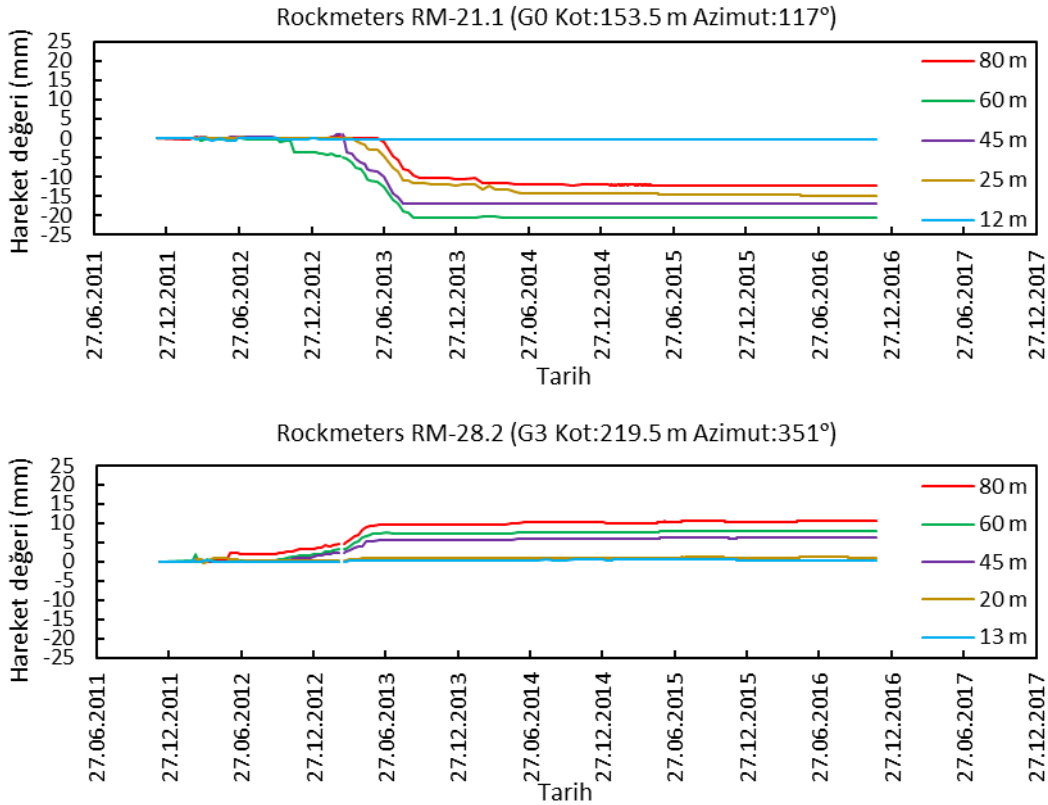
### 5.2.1.2.2. Rockmetre ölçmeleri

Deriner Barajı'nda olası deplasmanları belirlemek amacıyla 21 adet 4 veya 5 noktada ölçüm yapan rockmetre cihazı bulunmaktadır (Şekil 5.2). Rockmetre cihazları 7 farklı noktada kaya ile baraj gövdesinin birleşim yerine tesis edilmiştir. Bu 7 farklı noktanın her birine yerleştirilen üç rockmetre, farklı açılarla ve farklı yönlerde yerleştirilmiştir. Baraja yerleştirilen rockmetrelere ait detaylar Çizelge 5.4'te verilmiştir. Rockmetre verileri otomatik olarak kayıt edilmekte ve istenildiği zaman kontrol amacıyla mikrometre ile okuma yapılabilmektedir. Grafiklerde ölçü başlangıç ve bitiş tarihi aralığındaki tüm veriler gösterilmiştir.

Çizelge 5.4. Rockmetrelerin bulunduğu yerler, azimut açıları ve dikey açıları

Rockmetreler	Galeri	Kot (m)	Memba/Mansap	Blok	Azimut (derece)	Dikey açı (derece)
RM-21.1	0	153.5	Memba	21	117.0	50
RM-21.2	0	153.5	Mansap	21	333.0	60
RM-21.3	0	153.5	Memba	21	234.0	50
RM-14.1	3	219.5	Mansap	14	0.0	60
RM-14.2	3	219.5	Mansap	14	319.5	50
RM-14.3	3	219.5	Memba	14	126.0	45.3
RM-28.1	3	219.5	Memba	28	301.5	60
RM-28.2	3	219.5	Memba	28	351.0	55
RM-28.3	3	219.5	Mansap	28	99.0	50
RM-10.1	6	288.5	Memba	10	126.0	50
RM-10.2	6	288.5	Mansap	10	315.0	60
RM-10.3	6	288.5	Memba	10	216.0	50
RM-34.1	6	288.5	Mansap	34	126.0	50
RM-34.2	6	288.5	Mansap	34	315.0	50
RM-34.3	6	288.5	Memba	34	216.0	50
RM-05.1	8	336.5	Mansap	5	0.0	30
RM-05.2	8	336.5	Mansap	5	315.0	30
RM-05.3	8	336.5	Memba	5	216.0	40
RM-38.1	8	336.5	Mansap	38	355.5	50
RM-38.2	8	336.5	Memba	38	108.0	35
RM-38.3	8	336.5	Mansap	38	297.0	40

Rockmetelerde en büyük kısalma G0'da memba tarafındaki RM-21.1'in 60 m rockmetresinde 20.51 mm ve en büyük uzama G3'te memba tarafındaki RM-28.2'nin 80 m rockmetresinde 10.59 mm olarak gerçekleşmiştir (Şekil 5.5). Diğer rockmetrelere ait veriler Ek 3'te verilmiştir.



Şekil 5.5. G0'da bulunan RM-21.1 ve G3'de bulunan RM-28.2 rockmetrelerine ait verilerin grafikleri

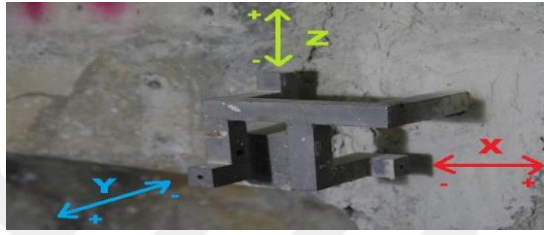
G0'da RM-21.1'in 80 m rockmetresinde 12.27 mm, 60 m rockmetresinde 20.51 mm, 45 m rockmetresinde 16.98 mm ve 25 m rockmetresinde 14.83 mm; RM-21.3'ün 80 m rockmetresinde 20.00 mm, 60 m rockmetresinde 17.40 mm, 48 m rockmetresinde 18.50 mm ve 25 m rockmetresinde 16.99 mm kısıalma hareketleri gerçekleşmiştir. G3'te RM-28.3'ün 80 m rockmetresinde 14.51 mm kısıalma hareketi gerçekleşirken RM-28.2'nin 80 m rockmetresinde 10.59 mm uzama hareketi gerçekleşmiştir. G6'da RM-10.1'in 80 m rockmetresinde 11.98 mm, 60 m rockmetresinde 11.73 mm ve RM-34.3'ün 80 m rockmetresinde 18.77 mm kısıalma hareketi gerçekleşmiştir. Diğer rockmetrelerde uzama veya kısıalma hareketleri 10 mm'nin altında gerçekleşmiştir.

G0'da memba tarafındaki RM-21.1 (12 m rockmetresi hariç), RM-21.3 (12 m rockmetresi hariç) ve G6'da memba tarafındaki RM-10.1 (80 m ve 60 m rockmetrelerinde) başlangıçta oluşan kısıalma hareketi, zamanla durma eğilimi göstermiştir. G3'te mansap tarafındaki RM-14.1 (80 m ve 13 m rockmetreleri hariç), RM-14.2 (13 m rockmetresi hariç) ve memba tarafındaki RM-28.2 (20 m ve 13 m rockmetreleri hariç) rockmetrelerinde başlangıçta oluşan uzama hareketi zamanla durma eğilimine dönüşmüştür. G3'te mansap tarafındaki RM-28.3'ün 80 m ve G6'da memba tarafındaki RM-34.3'ün 80 m rockmetrelerinde ise sürekli bir kısıalma eğilimi

görülmüştür. G8’de memba tarafındaki RM-38.2’de başlangıçta oluşan kısılma hareketi, küçük artışlar ve azalışlar ile yakın değerler göstererek devam etmiştir (Şekil 5.5 ve Ek 3).

### 5.2.1.2.3. Derz ölçmeleri

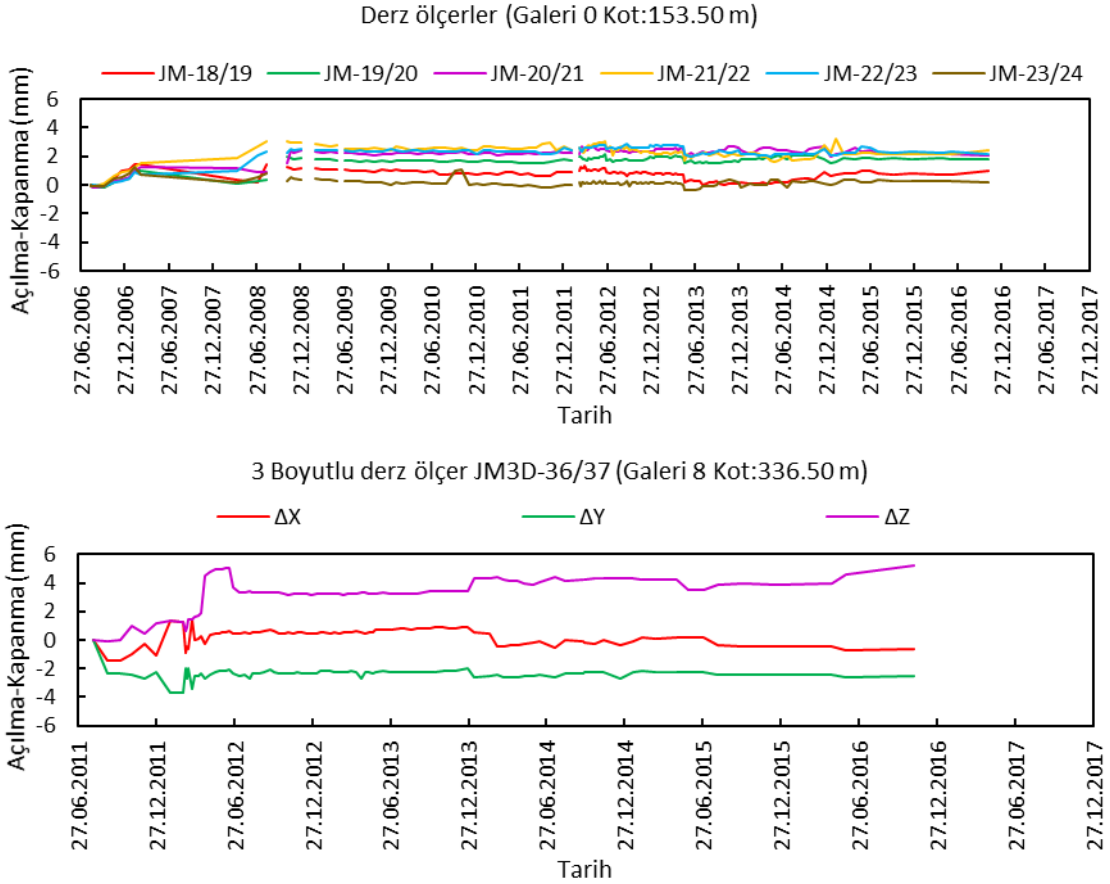
Barajın inşa aşamasında, derz enjeksiyonları sırasında ve barajın faaliyete geçme döneminde büzülme derzlerindeki açılma ve kapanmaları gözlemlemek için farklı galerilerde 22 adet üç boyutlu ve 222 adet tek boyutlu derz ölçer bulunmaktadır (Şekil 5.2). Şekil 5.6’da üç boyutlu derz ölçer verilmiştir.



Şekil 5.6. Baraja yerleştirilen üç boyutlu derz ölçer

Üç boyutlu derz ölçerler için koordinat sistemi şu şekilde tanımlanmıştır; ‘x’ galeri aksı yönünde derz açılmasıdır, ‘z’ derz boyunca düşey yönde teğetsel hareket ve ‘y’ ise, x ve z yönlerine dikey yöndeki derz hareketidir (radyal yönde). G0’da bulunan tek boyutlu derz ölçer verileri ve G8’de bulunan JM3D-36/37 üç boyutlu derz ölçer verileri Şekil 5.7’de verilmiştir. Diğer tek ve üç boyutlu derz ölçer verileri Ek 4’de verilmiştir. Okumalar dijital mikrometre ile manuel olarak yapılmıştır. Grafiklerde bütün ölçü verileri gösterilmiştir.

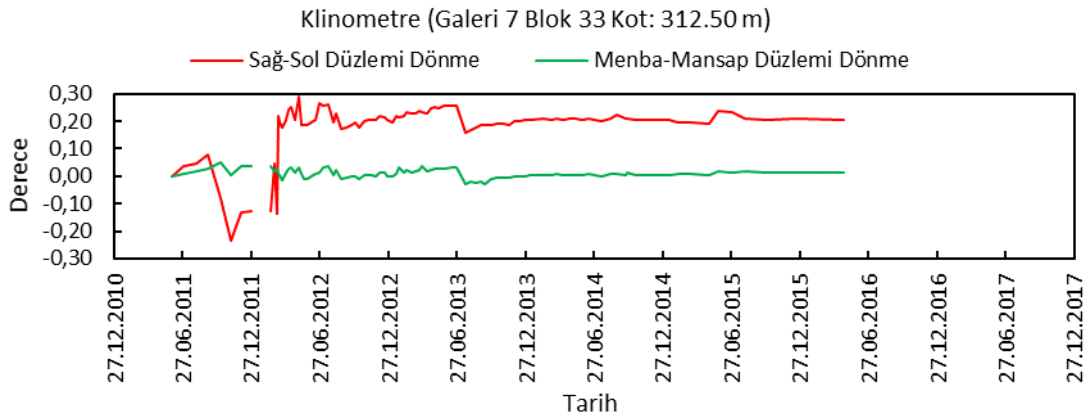
Derz ölçer grafiklerine baktığımızda (Şekil 5.7 ve Ek 4) tek boyutlu derz ölçerlerin açılma ve kapanma hareketleri yerini zamanla durağan bir yapıya bırakmıştır. Üç eksenli derz ölçerden G3’te bulunan JM3D-15/16 derz ölçeri x ve y yönünde açılma eğilimi gösterirken, G5’te bulunan JM3D-13/14 derz ölçeri z yönünde açılma eğilimi göstermiştir. G7’de JM3D-8/9 derz ölçeri x yönünde açılma, y ve z yönünde kapanma eğilimi ve JM3D-10/11 derz ölçeri de y ve z yönünde kapanma eğilimi göstermiştir. G8’de JM3D-33/34 derz ölçeri x yönünde açılma eğilimi, JM3D-35/36 derz ölçeri z yönünde kapanma ve y yönünde açılma eğilimleri ve JM3D-36/37 derz ölçeri z yönünde açılma ve y yönünde kapanma eğilimi göstermiştir. G9’da ve G10’da bulunan JM3D-37/38 derz ölçerlerinde x yönünde açılma eğilimi göstermiştir. Diğer üç boyutlu derz ölçerlerde hareketler 2 mm altında olup, önemli bir durum söz konusu değildir.



Şekil 5.7. G0'da bulunan tek boyutlu ve G8'de bulunan JM3D-36/37 üç boyutlu derz ölçerin verileri

#### 5.2.1.2.4. Eğim ölçmeleri

Deriner Barajı eğim ölçmelerinde dijital taşınabilir eğimölçer sistemi kullanılmıştır. Eğim değişimlerini belirlemek amacıyla G0 ve G4'de birer adet (21. blok), G7, G9 ve G10'da üçer adet (9., 21. ve 33. bloklar) olmak üzere toplam 11 adet eğim plakası sarkaç odalarının karşısına yerleştirilmiştir (Şekil 5.2).



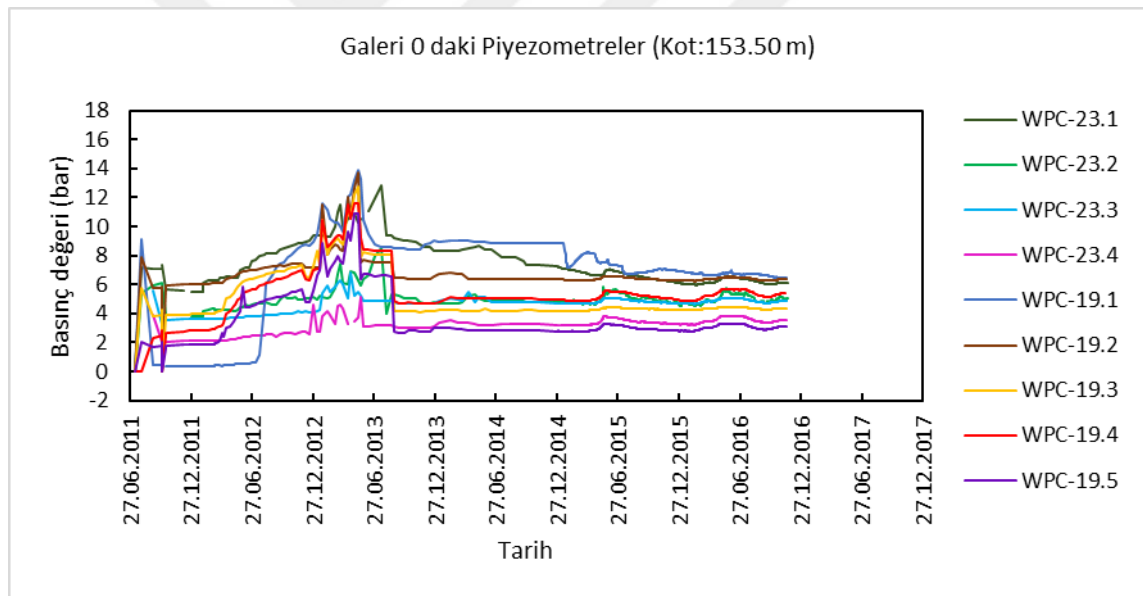
Şekil 5.8. G7'de 33. blokta bulunan eğimölçer verileri

Eğimin en çok değiştiği G7’de 33. blokta bulunan eğimölçerden elde edilen veriler Şekil 5.8’de ve diğer galerilerdeki eğimölçere ait grafikler Ek 5’te verilmektedir. Grafiklerde tüm veriler gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlar eğimölçer verilerinde önemli bir eğim değişimi olmadığını göstermektedir.

### 5.2.1.3. Basınç ölçümleri

#### 5.2.1.3.1. Boşluk suyu basınç ölçümleri (Water pressure cells-WPC)

Barajın temeline ve galerilerin giriş yerlerine boşluk suyu basıncını ölçmek için 50 adet titreşim telli piyezometre tesis edilmiştir (Şekil 5.2). G0’a WPC19 ve WPC23, G2’ye WPC17 ve WPC25, G4’e WPC14 ve WPC29, G6’ya WPC10 ve WPC33, G8’e WPC6 ve WPC36 cihazları yerleştirilmiştir. G0’da bulunan piyezometrelerin gösterdiği basınç değerleri Şekil 5.9’da ve diğer galerilerde bulunan piyezometrelerin gösterdiği basınç değerleri Ek 6’da verilmiştir. Grafiklerde tüm veriler gösterilmiştir.

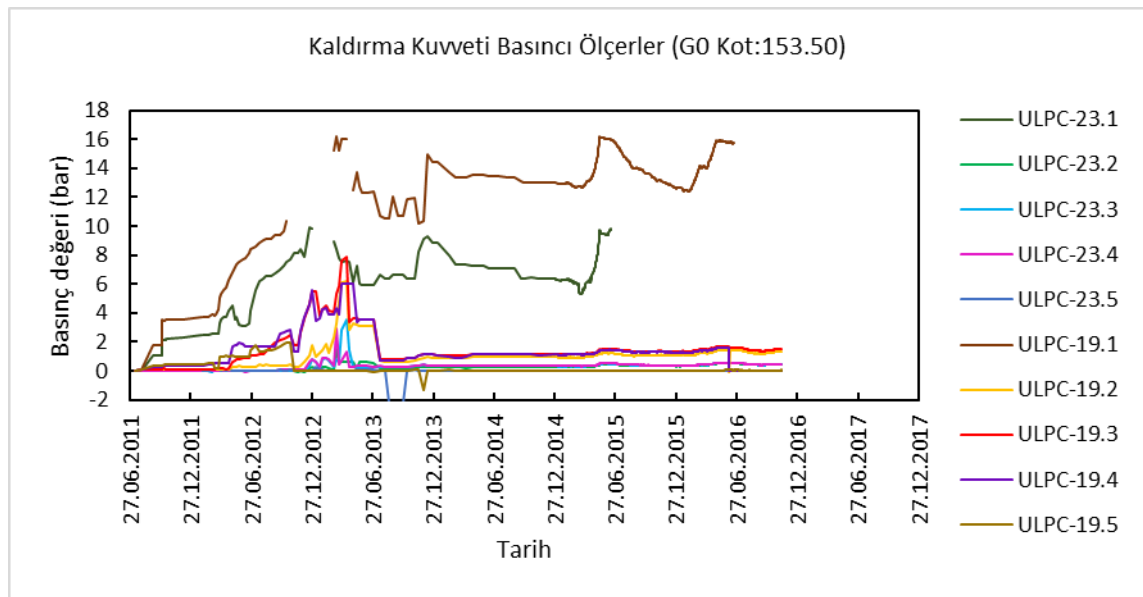


Şekil 5.9. G0’da ki boşluk suyu basınç değişimleri

G0’da en yüksek basınç değerleri WPC-19.1’de 13.9 bar, WPC-19.2’de 13.8 bar, WPC-19.3’de 12.7 bar, WPC-19.4’de 11.6 bar, WPC-19.5’de 10.8 bar ve WPC-23.1’de 12.8 bar olarak görülmüştür (Şekil 5.9). En yüksek basınç değerleri G2’de WPC-17.1’de 11.2 bar ve WPC-17.2’de 10.4 bar; G4’te WPC-14.4’de 11.6 bar ve WPC-14.5’de 12.1 bar; G6’da WPC-10.1’de 12.6 bar, WPC-10.2’de 11.7 bar, WPC-33.1’de 9.8 bar ve WPC-33.2’de 10.2 bar olarak görülmüştür. G8’de bulunan piyezometreler su seviyesi dolayısıyla oldukça küçük basınç değerleri göstermektedir (Ek 6).

### 5.2.1.3.2. Kaldırma kuvveti basıncı ölçerler (Uplift pressure cells-ULPC)

Deriner Barajı'na baraj kütle betonu/kaya ara yüzeyinin hemen altına 48 adet kaldırma kuvveti basıncı ölçer yerleştirilmiştir. G0'a ULPC19 ve ULPC23, G2'ye ULPC17 ve ULPC25, G4'e ULPC14 ve ULPC29, G6'ya ULPC10 ve ULPC33, G8'e ULPC6 ve ULPC36 cihazları yerleştirilmiştir. G0'da bulunan kaldırma kuvveti ölçerlerin gösterdiği basınç değerleri Şekil 5.10'da ve diğer galerilerde bulunan kaldırma kuvveti ölçerlerin gösterdiği basınç değerleri Ek 7'de verilmiştir. Grafiklerde tüm veriler gösterilmiştir.



Şekil 5.10. G0'da ki kaldırma kuvveti basınç değişimleri

G0'da en yüksek basınç değerleri ULPC-19.1'de 16.24 bar ve ULPC-23.1'de 9.90 bar olarak görülmüştür. G0'da bulunan bu cihazlar yüksek basınç değerleri göstermeye devam etmiştir (Şekil 5.10). G2'de en yüksek basınç değerleri ULPC-17.1'de 16.99 bar ve ULPC-17.2'de 11.59 bar olarak görülmüştür. G4'te en yüksek basınç değerleri ULPC-14.1'de 11.24 bar, ULPC-14.2'de 8.86 bar ve ULPC-29.1'de 13.46 bar olarak görülmüş ve G4'te ki kaldırma kuvveti basıncı ölçerler mevsimsel dalgalanmalar göstermiştir. G6'da en yüksek basınç değerleri ULPC-10.1'de 8.54 bar ve ULPC-33.1'de 8.91 bar olarak görülmüş ve mevsime bağlı artışlar görülmüştür. G8'de bulunan kaldırma kuvveti basıncı ölçerler, G8'i etkileyen su seviyesinin düşük olması nedeniyle oldukça düşük basınç değerleri göstermektedir (Ek 7).

### 5.2.2. Barajın yakın çevresinin izlenmesinde kullanılan geoteknik cihazlar

Baraj gövdesine yerleştirilen geoteknik ölçme aletlerinin yanı sıra, sağ ve sol mesnetlere de inklinometre, ekstensometre ve yük hücreleri gibi geoteknik ölçme aletleri yerleştirilmiştir. Sağ sahil R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7, R8, R9, R10 ve R11 bölgesi olmak üzere 11 bölgede bulunan cihazlarla izlenmektedir (Çizelge 5.5). Sol sahil L1, L2, L3, L4, L5, L6, L7, L8 ve L9 bölgesi olmak üzere 9 bölgede bulunan cihazlarla izlenmektedir (Çizelge 5.6).

**Çizelge 5.5.** Sağ sahil ölçüm aletleri özeti (Deriner Dam and HEPP, 2011)

Bölge	Yerleşim alanı	İnklinometre			Ekstensometre			Yük hücresi	
		No.	Kot	Derinlik	No.	Kot	Derinlik	No.	Kot
R1	506 m-583 m (Baraj ekseninin 170-250 m membasında)	İR1	548.97	X				DRB522-5	522.00
		İR1A	563.16	50					
		İR2	521.27	50					
R2	491.5 m-565 m (Baraj ekseninin 0-50 m membasında)	İR4	563.97	X					
		İR5	506.16	46					
		İR7	533.84	50					
R3	412 m-541 m (Baraj ekseninin 0-100 m mansabında)	İR8	443.05	50	ER1	504.00	50	DRB461.5-10	461.50
		İR9	548.90	X	ER2	428.00	45		
		İR9A	540.15	50	ER3	504.00	40		
		İR10	489.54	50					
R4	290 m-380 m (Baraj ekseninin 100-200 m mansabında)	İR11	457.36	50					
		İR12	364.67	50	ER4	291.00	40	DRB308.5-10	308.50
R6	412 m-461 m (Baraj eksenini)	İR13	320.46	50				DRB351.5-10	351.50
		İR6	457.95	47					
R7	412 m-461 m (Barajın 150 m membasında)	İR3	457.11	X				DRB402-2	402.00
		İR3A	457.11	41				DRB402-7	402.00
								DRB432-14	432.00
								DRB447-11	447.00
								DRB447-16	447.00
R8	342 m-397 m (Baraj ekseninin 20-150 m membasında)	İR15	372.18	X	ER5	358.80	50	DRB358.5-4	358.50
		İR16	327.73	50	ER6	373.99	35	DRB358.5-19	X
		İR18	372.45	X				DRB384.5-4	384.50
		İR18A	372.44	X				DRB381-2	381.00
		İR22	372.61	50				DRB377-4	377.00
		İR23	397.25	50				DRB362-22	362.00
		İR24	357.78	50				DRB362-26	366.00
		İR26	397.00	50				DRB353-2	353.00
R9	342 m-397 m (Baraj temelini 20 m mansabında)						DRB343.5-32	343.50	
		İR21	397.36	50				DRB328.5-2	328.50
R10	203 m-260 m (Şalt sahası bölgesinin altında, barajın 100-200 m mansabında)	İR25	342.00	50				DRB328.5-6	328.50
		İR19	245.35	50					
R11	200 m-312 m (Su alma bölgesinin altında, yaklaşık olarak barajın 0-200 m membasında)	İR20	215.96	50					
		İR17	282.20	X				DRB268.5-5	268.50
		İR17A	282.04	X					
		İR14	223.16	X					
		İR27	257.94	50					
		İR28	203.74	50					

X: Bozulan veya iptal edilen aletler.

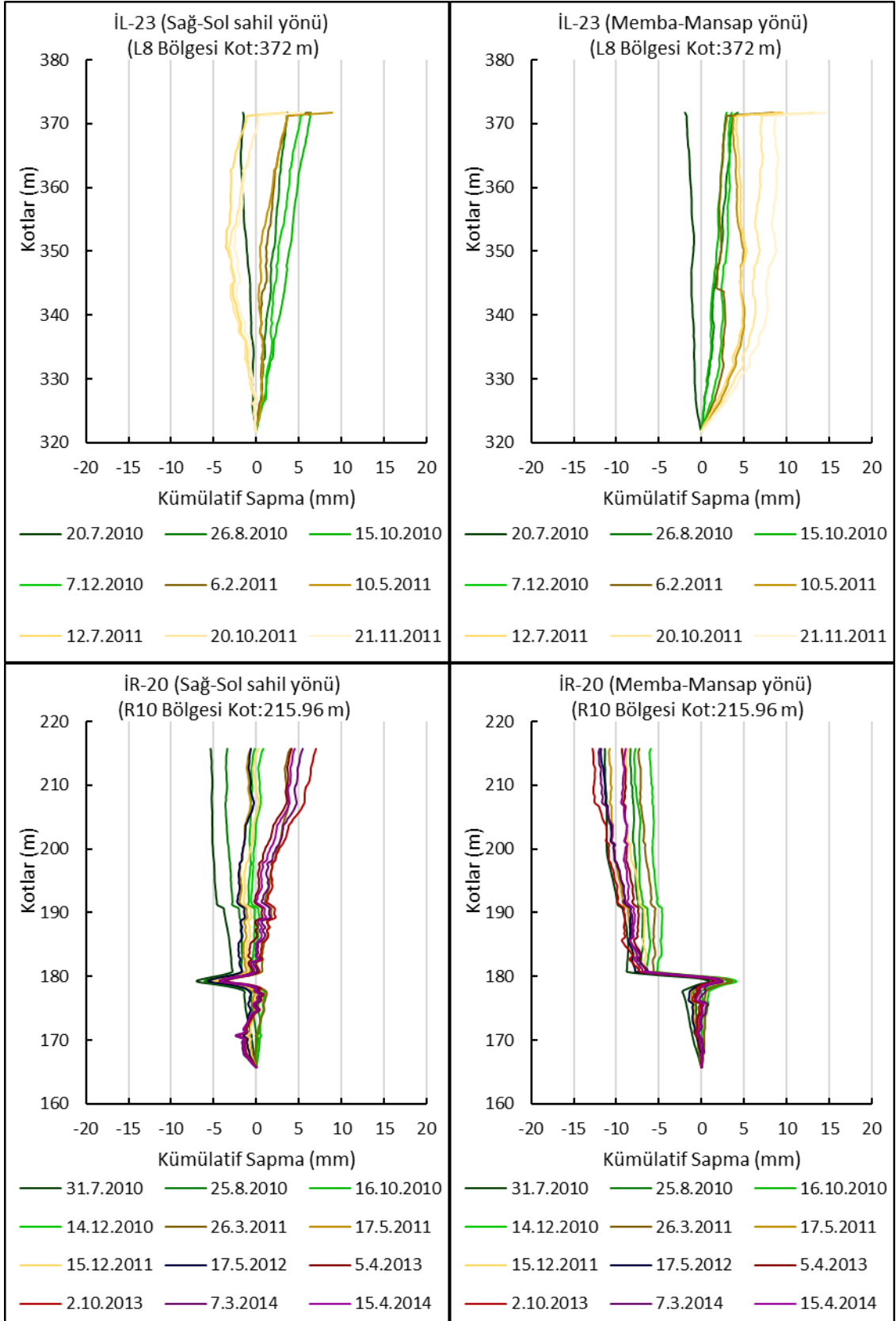
**Çizelge 5.6.** Sol sahil ölçüm aletleri özeti (Deriner Dam and HEPP, 2011)

Bölge	Yerleşim alanı	İnclinometre			Ekstensometre			Yük hücresi	
		No.	Kot (m)	Derinlik	No.	Kot (m)	Derinlik	No.	Kot (m)
L1	451 m-526 m (Baraj ekseninin 150-200 m membasında)	İL5	496.63	50	EL7	520.93	50	DLB512-14	512.00
		İL8	511.14	46				DLB519-8	519.00
								DLB519-13	519.00
L2	526 m-601 m (Baraj ekseninin 150-300 m membasında)	İL4	541.86	50	EL2	542.00	40	DLB572-6	572.00
		İL6	601.01	50	EL6	557.44	50	DLB542-4	542.00
		İL7	556.00	X				DLB534-13	534.00
		İL7A	555.54	50				DLB534-1	534.00
L3	451 m-526 m (Baraj ekseninin 0-50 m membasında)	İL10	527.29	50	EL8	481.95	50	DLB530.5-7	530.50
		İL11	481.26	48				DLB466.5-7	466.50
L4	397 m-451 m (Baraj temelini üzeri)	İL12	448.14	50					
		İL24	397.45	50					
L6	177 m-297 m (Baraj ekseninin 0-50 m membasında)	İL15	289.44	X					
		İL13	221.87	X					
		İL16	237.54	X					
		İL17	221.87	X					
L7	375 m-450 m (Dolusavak tüneli girişinin 250 m membasında)	İL1	442.12	50	EL1	398.00	X	DLB403-1	403.00
		İL3	442.26	50	EL1A	397.86	40	DLB403-18	403.00
		İL9	442.16	50	EL4	388.37	30	DLB403-23	403.00
		İL22	426.95	X				DLB388.5-2	
L8	312 m-375 m (Baraj temelini yaklaşık olarak 0-150 m membasında)	İL22A	410.80	50					
		İL14	375.00	X	EL3	343.64	50	DLB343-2	343.00
		İL14A	375.80	50	EL5	373.16	X	DLB343.5-16	343.50
		İL18	374.63	47	EL5A	372.96	50	DLB325-20	328.00
		İL19	326.48	50					
		İL23	387.00	X					
L9	222 m- 342 m (Baraj temelini yaklaşık 30 m mansabında)	İL23A	372.00	50					
		İL28	327.61	50					
		İL25	296.63	50					
		İL26	247.43	50					
L9		İL27	206.78	50					
		İL29	342.51	50					

X: Bozulan veya iptal edilen aletler.

### 5.2.2.1. İnklinometre ölçümleri

Deriner Barajı'na sağ ve sol mesnette genelde 50 m derinliğinde açılan sondaj deliklerinde inklinometre ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Genellikle ölçümler Temmuz 2010 tarihinde başlamıştır. Her bir inklinometre kuyusundaki değişimler, yapılan ölçüler sonucunda belirlenerek zeminden itibaren eklenerek artan değişim grafikleri sağ-sol sahil ve memba-mansap yönleri göz önüne alınarak verilmektedir. En büyük sapmaların gerçekleştiği inklinometrelerden sol sahilde bulunan İL-23 ve sağ sahilde bulunan İR-20 inklinometre kuyularındaki değişimler Şekil 5.11'de ve diğer inklinometre kuyularındaki değişimler Ek 8'de verilmiştir. Sağ sahildeki inklinometreler için pozitif değerler mansap ve sol sahil hareketini, sol sahildeki inklinometreler için ise pozitif değerler memba ve sağ sahil hareketini işaret etmektedir.



**Şekil 5.11.** Sol sahilde bulunan İL-23 ve sağ sahilde bulunan İR-20 inklinometre kuyularındaki değişimler

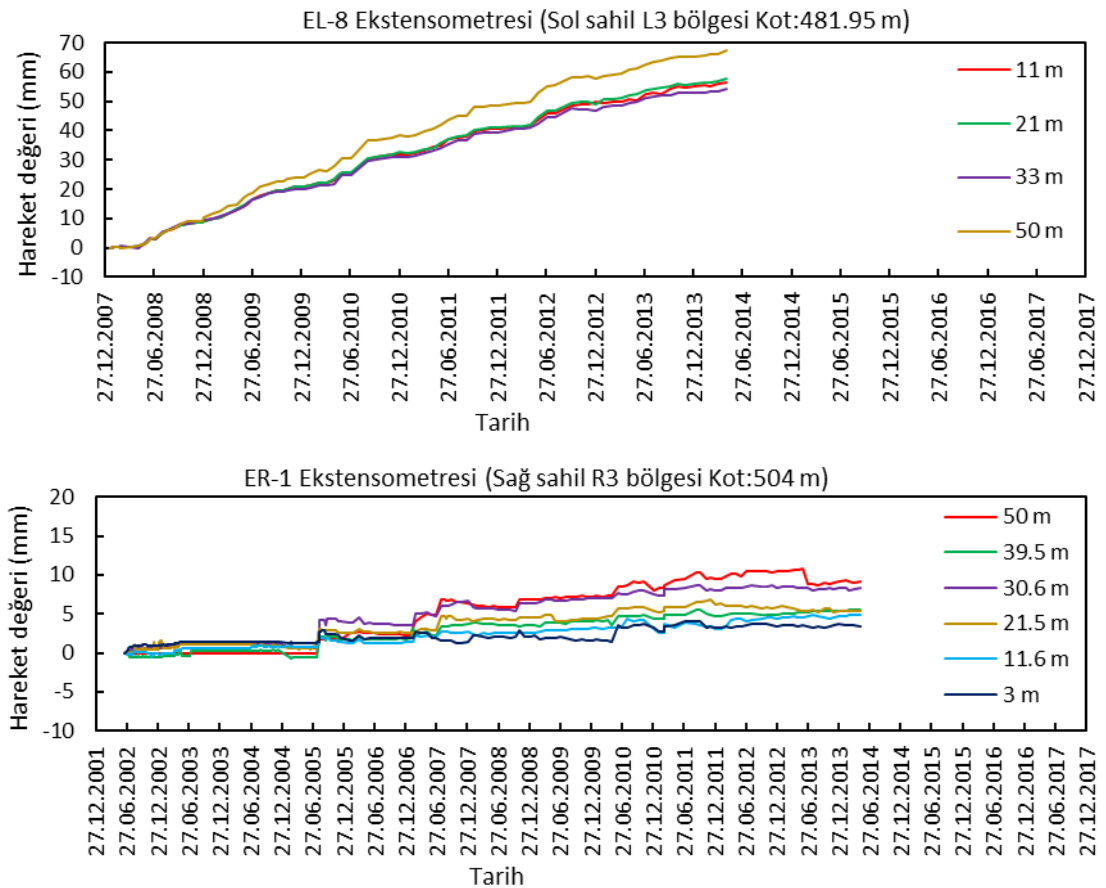
İnklinometre grafiklerinde ölçü yapılan tarihte ki tek bir günlük veriler gösterilmiştir. Şekil 5.11'deki İL-23 inklinometre verileri, Temmuz 2010 ile Kasım 2011 tarihleri arasında sondaj deliğinin üst kısmının yaklaşık 16.56 mm memba yönünde, 7.13 mm civarında ise sağ sahil yönünde hareket ettiğini göstermiştir. İR-20 inklinometre verilerinde ise Temmuz 2010 ile Nisan 2014 tarihleri arasında sondaj deliğinin üst kısmının yaklaşık 3.54 mm memba yönünde, 9.80 mm ise sol sahil yönünde hareket ettiği tespit edilmiştir.

Ölçüm tarihlerine göre sol sahilde bulunan diğer inklinometrelerin en üst kısımları: Temmuz 2010 ile Kasım 2011 tarihleri arasında İL-18 inklinometresi 6.87 mm memba yönünde ve 3.19 mm sağ sahil yönünde, İL-25 inklinometresi 6.04 mm memba yönünde ve 0.88 mm sol sahil yönünde; Temmuz 2010 ile Kasım 2012 tarihleri arasında İL-8 inklinometresi 3.15 mm memba yönünde ve 5.73 mm sağ sahil yönünde, İL-24 inklinometresi 1.39 mm mansap yönünde ve 2.06 mm sağ sahil yönünde, İL-29 inklinometresi 4.45 mm memba yönünde ve 0.93 mm sağ sahil yönünde; Temmuz 2010 ile Nisan 2014 tarihleri arasında İL-6 inklinometresi 3.75 mm mansap yönünde ve 10.40 mm sağ sahil yönünde, İL-7 inklinometresi 0.02 mm memba yönünde ve 4.90 mm sağ sahil yönünde, İL-11 inklinometresi 1.24 mm memba yönünde ve 16.62 mm sağ sahil yönünde, İL-22 inklinometresi 10.34 mm mansap yönünde ve 7.45 mm sağ sahil yönünde hareket etmiştir (Ek 8).

Ölçüm tarihlerine göre sağ sahilde bulunan inklinometre kuyularının en üst kısımları: Temmuz 2010 ile Aralık 2010 tarihleri arasında İR-2 inklinometresi 0.31 mm memba yönünde ve 1.46 mm sol sahil yönünde; Temmuz 2010 ile Eylül 2011 tarihleri arasında İR-25 inklinometresi 1.62 mm memba yönünde ve 6.33 mm sağ sahil yönünde; Eylül 2010 ile Aralık 2011 tarihleri arasında İR-3 inklinometresi 0.17 mm mansap yönünde ve 1.11 mm sol sahil yönünde, İR-6 inklinometresi 1.97 mm mansap yönünde ve 0.78 mm sağ sahil yönünde; Temmuz 2010 ile Ocak 2012 tarihleri arasında İR-1 inklinometresi 3.19 mm mansap yönünde ve 2.28 mm sağ sahil yönünde, İR-21 inklinometresi 0.24 mm memba yönünde ve 0.96 mm sol sahil yönünde, İR-27 inklinometresi 2.92 mm mansap yönünde ve 2.99 mm sol sahil yönünde; Temmuz 2010 ile Nisan 2014 tarihleri arasında İR-19 inklinometresinin 8.59 mm mansap yönünde, 1.11 mm sağ sahil yönünde, İR-26 inklinometresi 0.34 mm mansap yönünde ve 0.31 mm sağ sahil yönünde hareket etmiştir (Ek 8).

### 5.2.2.2. Ekstensometre ölçümleri

Mesnetlerdeki olası deplasmanları belirlemek amacıyla sağ sahilde 6 adet ve sol sahilde 10 adet ekstensometre bulunmaktadır. En büyük hareketler sol sahilde EL-8 ve sağ sahilde ER-1 ekstensometrelerinde gerçekleşmiştir. EL-8 ve ER-1 ekstensometrelerine ait veriler Şekil 5.12’de ve diğer ekstensometrelere ait veriler Ek 9’da verilmiştir. Grafiklerde tüm veriler gösterilmiştir. EL-1 ekstensometresinin bulunduğu dolusavak tüneli giriş bölgesinin Ağustos 2005’te yeniden düzenlenmesinden dolayı yerine Ocak 2008’de EL-1A ekstensometresi yerleştirilmiştir. EL-5 ekstensometresi Haziran 2007’de hasar gördüğü için yerine Ocak 2008’de EL-5A ekstensometresi yerleştirilmiştir. ER-4 ekstensometresinin başlık referans plakası Nisan 2007’de işlevini yitirdikten sonra yenilenmiştir. Bu nedenle, ER-4 ekstensometresinin Mayıs 2007 ölçümü sıfır okuması olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 5.12. EL-8 ve ER-1 ekstensometrelerinden elde edilen değerler

Ocak 2008 ile Nisan 2014 tarihleri arasında EL-8’in 11 m ekstensometresinde 56.55 mm, 21 m ekstensometresinde 57.84 mm, 33 m ekstensometresinde 54.15 mm ve 50 m ekstensometresinde 67.22 mm uzama gerçekleşmiştir. Haziran 2002 ile Nisan

2014 tarihleri arasında ER-1'in 3m ekstensometresinde 4.13 mm, 11.6 m ekstensometresinde 4.94 mm, 21.5 m ekstensometresinde 6.78 mm, 30.6 m ekstensometresinde 8.72 mm, 39.5 m ekstensometresinde 5.55 mm ve 50 m ekstensometresinde 10.74 mm uzama gerçekleşmiştir (Şekil 5.12).

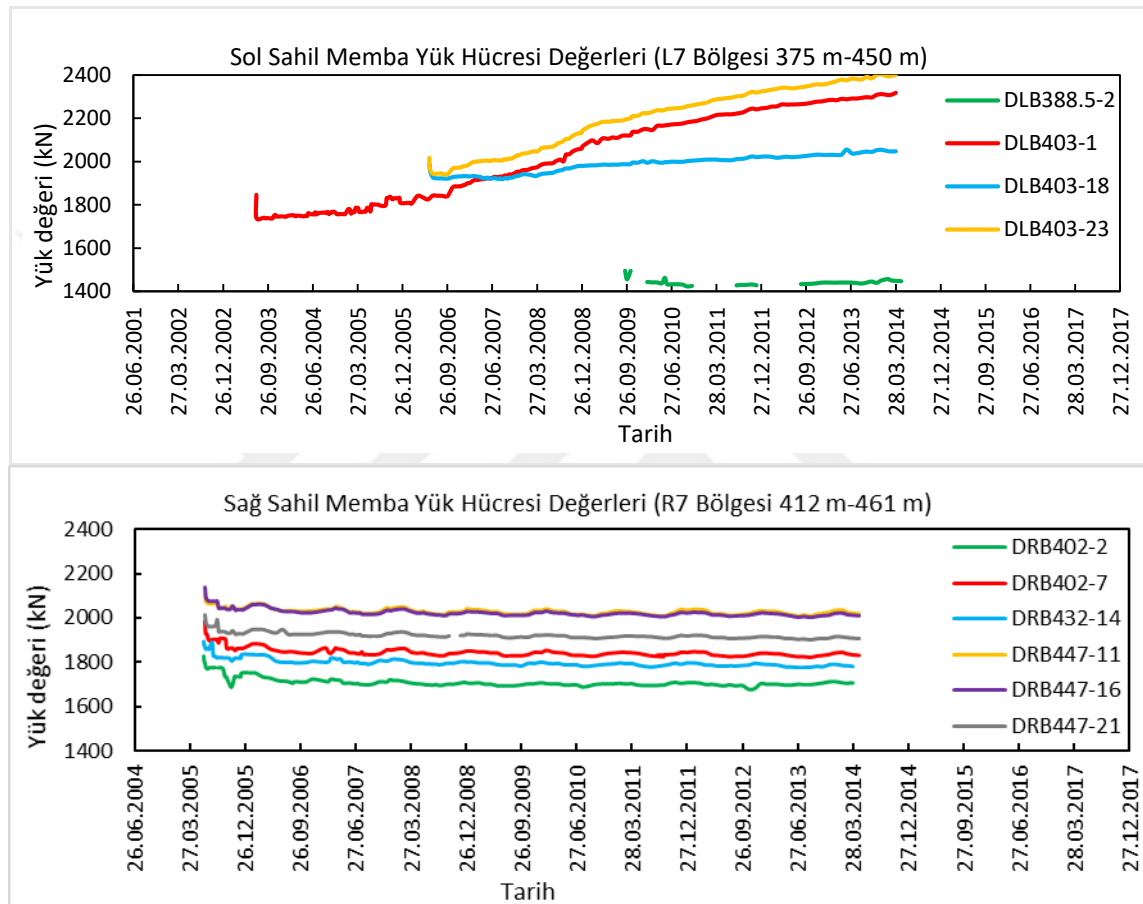
Sol sahilde diğer ekstensometrelerde ki en büyük uzama değerleri Ocak 2008 ile Nisan 2014 tarihleri arasında EL-1A'nın 40 m ekstensometresinde 17.15 mm, EL-7'nin 25 m ekstensometresinde 11.85 mm ve 37 m ekstensometresinde 11.40 mm; Haziran 2006 ile Kasım 2009 tarihleri arasında EL-5'in 15 m ekstensometresinde 44.83 mm olarak gerçekleşmiştir. Sol sahilde en büyük kısalma değeri Haziran 2006 ile Kasım 2011 tarihleri arasında EL-4'ün 10 m ekstensometresinde 5.74 mm olarak gerçekleşmiştir. Sağ sahildeki diğer ekstensometrelerdeki uzama 10 mm'nin altındadır ve en büyük kısalma değeri Kasım 2002 ile Nisan 2010 tarihleri arasında ER-4'ün 8 m ekstensometresinde 11.54 mm olarak gerçekleşmiştir (Ek 9).

Sol sahilde bulunan ekstensometreler için, memba tarafındaki Ocak 2008 ile Nisan 2014 tarihine kadar EL-1A'nın 40 m ekstensometresi sürekli bir uzama eğilimi göstermiştir. Haziran 2006 ile Kasım 2011 tarihi arasında EL-4 ekstensometresi hafif bir sıkışma eğilimi göstermiştir. Ocak 2008 ile Şubat 2014 tarihleri arasında EL-5A, Ocak 2008 ile Nisan 2014 tarihleri arasında EL-6 ve Haziran 2006 ile Kasım 2009 tarihleri arasında EL-3 ekstensometreleri hafif bir uzama eğilimi göstermiştir. Ocak 2008 ile Nisan 2014 tarihleri arasında EL-7'nin 10 m ekstensometresi hafif bir kısalma eğilimi diğer uçları ise sürekli uzama eğilimi göstermiştir. Ocak 2008 ile Nisan 2014 tarihleri arasında EL-8 ekstensometresi sürekli bir uzama eğilimi göstermektedir (Şekil 5.12 ve Ek 9).

Sağ sahilde bulunan ekstensometreler için, mansap tarafındaki Haziran 2002 ile Nisan 2014 tarihleri arasında ER-1, ER-2 ekstensometreleri ve Ağustos 2002 ile Nisan 2014 tarihleri arasında ER-3 ekstensometresinde 10 mm den küçük uzama hareketleri gözlenmiştir. Kasım 2002 ile Nisan 2014 arasında ER-4 ekstensometresi önemli olmayan hareketler göstermiştir. Memba tarafındaki ER-5 ekstensometresi Nisan 2006 ile Mayıs 2010 tarihleri arasında ve ER-6 ekstensometresi Nisan 2006 ile Temmuz 2012 tarihleri arasında ekstensometreleri çok önemli olmayan hareketler göstermiştir (Şekil 5.12 ve Ek 9).

### 5.2.2.3. Yük hücresi ölçümleri

Mesnetlerdeki yük değişimlerini belirlemek amacıyla 22 tanesi sağ sahilde ve 16 tanesi de sol sahilde olmak üzere toplam 38 adet yük hücresi kullanılmaktadır. Sol sahil L7 bölgesinde bulunan ve sağ sahil R7 bölgesinde yük hücresi değerleri Şekil 5.13'te ve diğerleri Ek 10'da sırasıyla sol ve sağ sahil yük hücresi verileri olarak verilmektedir. Yük hücresi grafiklerinde tüm veriler gösterilmiştir.



Şekil 5.13. Sol sahil L7 ve sağ sahil R7 bölgelerinde bulunan yük hücresi değerleri

Sol sahilde bulunan yük hücreleri için (Şekil 5.13 ve Ek 10): L1 bölgesinde bulunan DLB519-8 yük hücresi Ekim 2002 ile Nisan 2014 tarihleri arasında sürekli devam eden yük artışı gösterirken, DLB519-13 ve DLB512-14 yük hücreleri Şubat 2008 ile Nisan 2014 tarihleri arasında çok küçük yük artışları göstermiştir. L2 bölgesinde bulunan DLB572-6 yük hücresi Eylül 2002 ile Nisan 2014 tarihleri arasında küçük yük düşüşleri gösterirken DLB542-4, DLB534-13, DLB534-1 ve DLB530.5-7 yük hücreleri Eylül 2009 ile Nisan 2014 tarihleri arasında durağan yükler göstermiştir. L3 bölgesinde bulunan DLB466.5-7 yük hücresi Mayıs 2002 ile Nisan 2014 tarihleri arasında yükte önemli bir artış göstermemiştir. L7 bölgesinde bulunan DLB403-1 yük

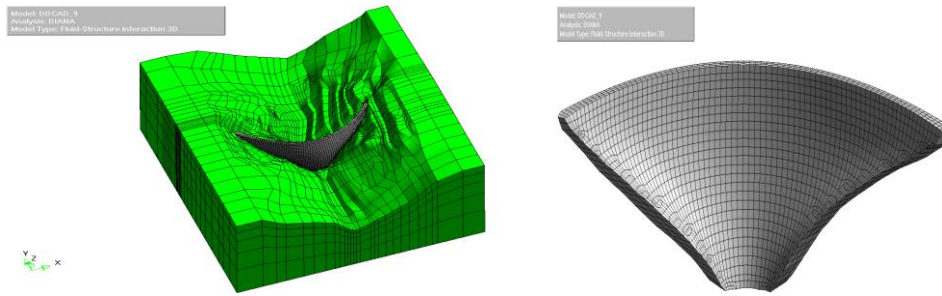
hücresi Temmuz 2003 ile Nisan 2014 tarihleri arasında yükte devam eden bir artış göstermiştir. DLB403-23 yük hücresi DLB403-1 yük hücresine yakın olup, Haziran 2006'dan Nisan 2014'e kadar yükte devam eden bir artış göstermiştir. DLB403-18 yük hücresi Haziran 2006'dan Nisan 2014'e kadar hafif bir artış göstermiştir. DLB388.5-2 yük hücresi Eylül 2009 ile Nisan 2014 tarihleri arasında önemli bir hareket göstermemiştir. L8 bölgesinde bulunan DLB343-2 yük hücresi Ekim 2002 ile Nisan 2014 tarihleri arasında, DLB343.5-16 ve DLB328-20 yük hücreleri Haziran 2006'dan Nisan 2014'e kadar sabit değerler göstermiştir.

Sağ sahilde bulunan yük hücreleri için (Şekil 5.13 ve Ek 10): R1 bölgesinde bulunan DRB522-5 yük hücresi Ekim 2002 ile Mart 2013 arasında; R3 bölgesinde bulunan DRB461.5-10 yük hücresi Mayıs 2002 ile Nisan 2014 arasında; R4 bölgesinde bulunan DRB308.5-10 ve DRB351.5-10 yük hücreleri Haziran 2006 ile Nisan 2014 arasında; R7 bölgesinde bulunan DRB447-11, DRB447-16, DRB447-21, DRB432-14, DRB402-2 ve DRB402-7 yük hücreleri Haziran 2005'den Nisan 2014'e kadar; R8 bölgesinde bulunan DRB358.5-4 yük hücresi Ekim 2002 ile Nisan 2014 tarihleri arasında; R8 bölgesinde bulunan DRB384.5-4, DRB381-2, DRB377-4, DRB362-22, DRB362-26, DRB353-2, DRB343.5-32 yük hücreleri Haziran 2006'dan Nisan 2014'e kadar; R9 bölgesinde bulunan DRB328.5-2 ve DRB328.5-6 yük hücreleri Haziran 2006'dan Nisan 2014'e kadar; R11 bölgesinde bulunan DRB268.5-5 yük hücreleri Haziran 2006'dan Nisan 2014'e kadar yükte önemli bir değişiklik göstermemiştir.

### **5.3. Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Hesaplama**

Barajın sayısal modeli, DIANA sürüm 9.4.3 yazılım programı kullanılarak sonlu elemanlar yöntemi ile hazırlanmıştır (Şekil 5.14). DIANA modelleme programı 1972 yılında Hollanda'daki TNO Yapı ve İnşaat Araştırma Enstitüsü'nde kullanılmaya başlanmıştır (URL-57).

Baraj ve temel olarak inşa edilen geometri ilk olarak AutoCAD ve kemer barajlarının tasarımı için şirket içi özel bir yazılım programı ile tanımlanmıştır. Üretilen noktalar ve çizgiler daha sonra DIANA'nın ön işleme modülüne (iDIANA'ya) girilmiştir. Daha sonra, ön işleme modülünde geometrik yüzeyler ve gövdeler, ayrıca dikkate alınan malzeme özellikleri, yük durumları ve sınır koşulları tanımlanmıştır.



Şekil 5.14. Deriner Barajı sonlu elemanlar modeli (Tzenkov ve ark., 2012)

Model baraj betonunu ve barajı çevreleyen kaya kütlesi olmak üzere iki farklı materyal içermektedir. Baraj betonu, ortalama esneklik modülünün  $E = 29,000$  Mpa ve poisson oranı  $\nu=0.18$  olarak alınmıştır. Sıcaklık gradyanlarından kaynaklanan yer değiştirmeleri hesaplamak için gerekli olan termal genleşme katsayısı,  $\alpha = 0.9 \times 10^{-5}$   $1/^\circ C$  değerine eşit olarak benimsenmiştir. Kaya temeli için elastikiyet modülü  $E_r = 9,700$  Mpa ve poisson kaya oranı  $\nu_r = 0.20$  olarak alınmıştır.

Su tutma işleminin ilk aylarında baraj inşası tamamen bitmediğinden (derzlerin tamamlanması ve beton soğutma işlemleri devam ettiğinden dolayı) sayısal model bu faaliyetlerin baraj hareketleri üzerindeki etkisini dikkate almamaktadır. Bu nedenle su tutmanın ilk aylarında malzeme parametreleri kalibrasyonunda gerçek değere ulaşmak zor olduğundan derz işlemleri ve beton soğutmanın tamamlanmasıyla birlikte Temmuz 2012 referans tarih olarak seçildi. Bu tarih için hesaplanan ve ölçülen deformasyonlar karşılaştırıldı.

Hesaplanan deplasmanlar hidrostatik basınç yüklemesine ve termal yüklemeye bağlıdır. İlk doluma kadar olan süreç için sayısal modele göre hidrostatik basınca bağlı yer değiştirme 76 mm (mansap yönünde) ve termal yüke bağlı yer değiştirme 1,9 mm (mansap yönünde) hesaplanmıştır. Bu barajın ortasındaki 21. blok üzerinde kret hareketinin hesabı mansap yönünde toplam 78 mm olacağını göstermektedir.

Deriner Barajı'nda minimum ve maksimum çalışma seviyesine sırasıyla 28.02.13 ve 16.05.13 tarihlerinde ulaşılmıştır. Sayısal modele göre minimum ve maksimum çalışma seviyesi arasında su basıncı farkından kaynaklı radyal yer değiştirme yaklaşık 47 mm'dir. Bu yer değiştirme, barajın normal çalışması sırasında oluşacak hidrostatik yüklenmeye bağlı yer değiştirmelerin genliğine karşılık gelmektedir (Tzenkov ve ark., 2012).

## 6. ARAŞTIRMA BULGULAR VE TARTIŞMA

Baraj gövdesinde ve civarında meydana gelen hareketler geoteknik cihazlarla elde edilmiş ve bölüm 5 de verilmiştir. Burada geoteknik cihazlardan elde edilen veriler yorumlanmıştır. Geoteknik ölçümlerin başlama tarihleri cihazların yerleştirildikleri tarihlere göre değişmektedir. Baraj gövdesinde inşaat aşamalarına bağlı olarak 2006-2012 yıllarında geoteknik cihazlar ile ölçme işlemi başlamıştır. Baraj gövdesinin üst kısımlarının tamamlanmasıyla su tutulmadan önce çoğu cihazın sıfır okuması tamamlanmıştır. Mesnetlere yerleştirilen ekstensometre ve yük hücrelerinin ise ölçü başlangıç tarihleri 2002'dir.

Termometrelere baktığımızda aşağı galerilerden yukarı galerilere doğru genelde sıcaklıkların arttığı ve üst galerilerde beton kalınlığının azalması nedeniyle beton sıcaklıklarının daha fazla mevsimsel dalgalanma gösterdiği açıkça görülmektedir. Sarkaçlardan elde edilen verilere göre radyal hareketlerin teğetsel hareketlere nazaran daha büyük olduğu görülmüştür. Mesnetlere doğru kesitlerdeki hareketler azalmıştır. İlk su dolun süreci için sarkaçlardan elde edilen verilere göre baraj kretinin tam ortasında 73.58 mm'lik bir hareket gerçekleştiği ve bu değer barajın sayısal modelinden elde edilen değer altında kaldığı görülmüştür. 27.12.2017 tarihine kadar olan verilerde ise kret üzerinde en büyük radyal hareketin Sarkaç-21'de 95.15 mm ve Sarkaç-27'de 97.33 mm olarak gerçekleştiği görülmüştür. Rockmetrelerde en büyük kısalma 20.51 mm ve en büyük uzama 10.59 mm olarak görülmüştür. Memba tarafındaki rockmetrelerde mansap tarafındakilere göre daha büyük kısalma hareketleri ve aşağı galerilerden yukarı galerilere doğru rockmetre hareketlerinin azaldığı görülmüştür. Derz ölçer verilerine göre genel olarak derzlerde önemli bir açılma söz konusu değildir. Eğimölçer verilerine göre önemli bir eğim değişimi gerçekleşmemiştir. Piyezometre ve kaldırma kuvveti ölçerlerde genellikle alt galerilerden üst galerilere doğru su seviyesi dolayısıyla düşük basınç değerleri elde edilmiştir.

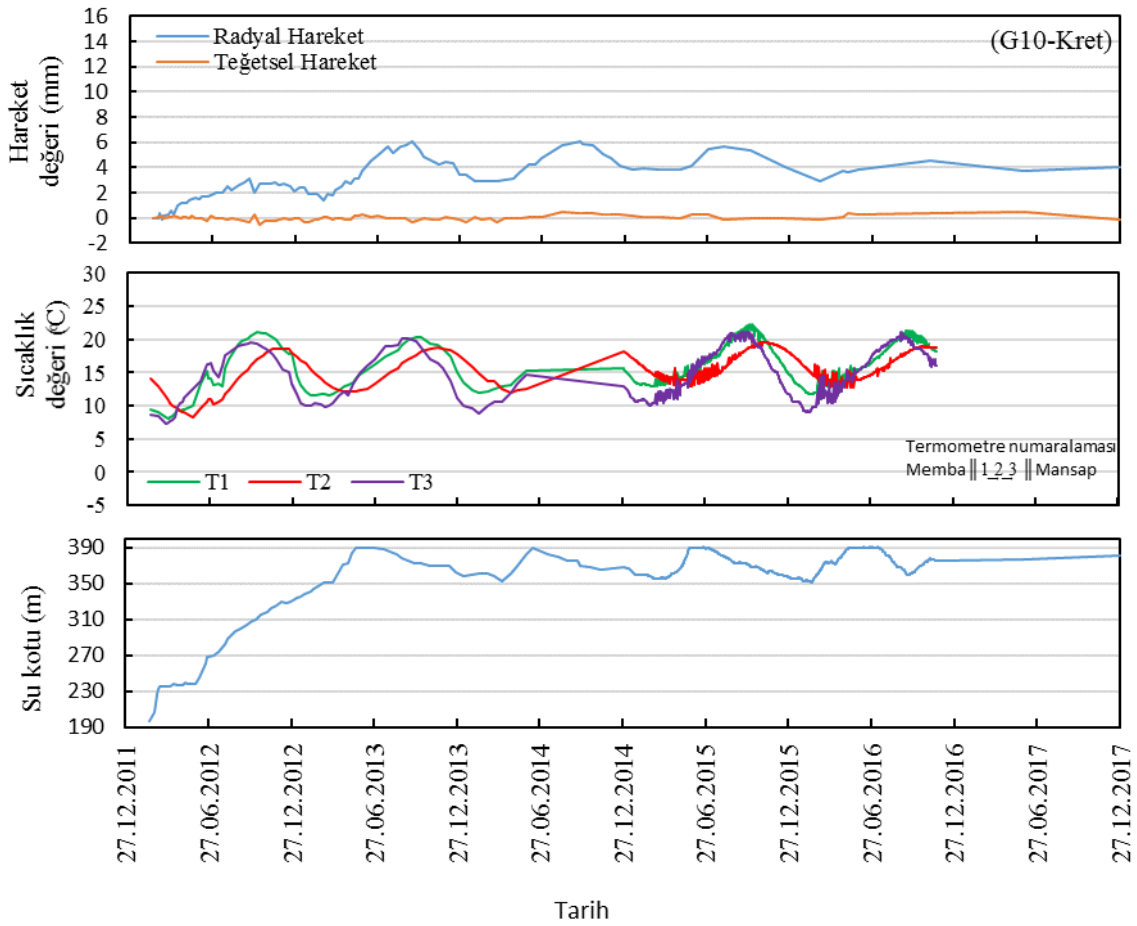
Mesnetlerdeki cihazlara baktığımızda; inklinometre verilerine göre önemli olmayan sapmalar, ekstensometrelerde sürekli uzama gösteren birkaç ekstensometrenin dışında önemli bir hareketin olmadığı ve yük hücrelerinde sol sahilde birkaç yük hücresinin sürekli devam eden yük artışı dışında önemli bir bulguya rastlanmamıştır.

Mesnetlerdeki hareketler izlenirken kullanılan ekstensometre ve yük hücresi verilerinin birlikte değerlendirilmesi doğru yorumlama açısından oldukça önemlidir. Birbirine yakın olan ekstensometre ve yük hücreleri göz önüne alındığında sonuçların tutarlı olup olmadığına bakılmalıdır (Alçay, 2014). Deriner Barajı'na ait ekstensometre

ve yük hücresi verileri Şekil 5.12, Şekil 5.13, Ek 9 ve Ek 10'da detaylı olarak verilmiştir. Karşılaştırma yapılırken aynı zaman dilimleri dikkate alınmıştır. Sağ mesnette birbirine yakın ekstensometre ve yük hücresi olmadığından herhangi bir karşılaştırma yapılamamıştır. Sol sahil L1 bölgesinde bulunan 520.93 m kotundaki EL-7 ekstensometresi ile 519.00 m kotundaki DLB519-8 yük hücresinin Ocak 2008 ile Nisan 2014 arasındaki verileri göz önüne alındığında ekstensometrelerde uzama olup, yük hücresinde ise yük artışı gerçekleşmiştir (Ek 9 ve Ek 10). L2 bölgesinde bulunan 542.00 m kotundaki EL-2 ekstensometresi ile DLB542-4 yük hücresinin Eylül 2009 ile Nisan 2014 tarihleri arasında ekstensometrelerde çok küçük kısalma hareketleri ve yük hücresinde salınımlar ile küçük yük düşüşü gerçekleşmiştir. Aynı bölgede bulunan 557.44 m kotundaki EL-6 ekstensometresi ile 572.00 m kotundaki DLB572-6 yük hücresinin Şubat 2008 ile Nisan 2014 tarihleri arasında benzer durum görülmektedir (Ek 9 ve Ek 10). L3 bölgesinde bulunan 481.55 m kotundaki EL-8 ekstensometresi ile 466.5 m kotundaki DLB466.5-7 yük hücresinin Ocak 2008 ile Mart 2014 tarihleri arasındaki verilerine baktığımızda ekstensometrelerde uzama ve yük hücresinde yük artışı olduğu görülmektedir (Şekil 5.12 ve Ek 10). Bu sonuçlara baktığımızda ekstensometre ve yük hücrelerinden oldukça uyumlu sonuçlar elde edilmiştir.

### **6.1. Sarkaç ile Belirlenen Hareketlerin Sıcaklık ve Su Seviyesi ile İlişkisi**

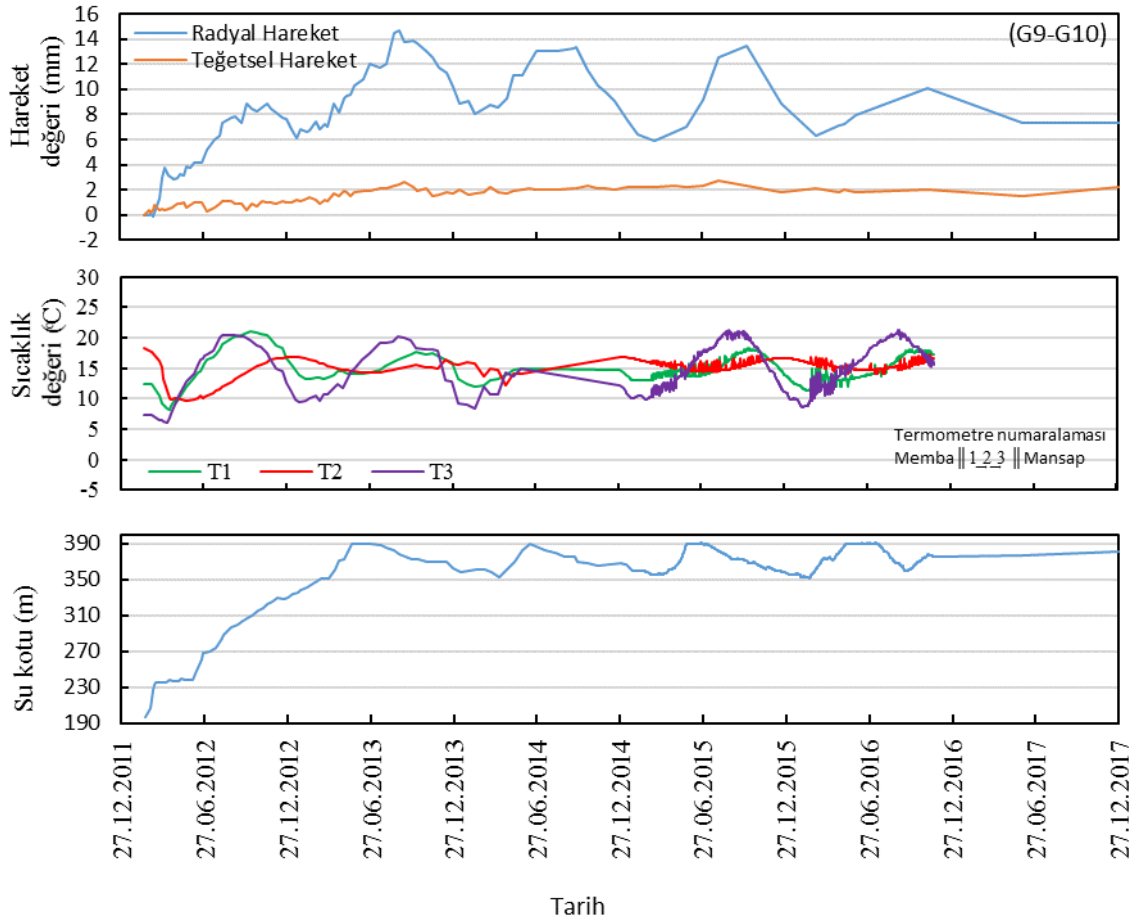
Barajlardaki yapısal hareketlerin izlenmesinin yanı sıra, yük-hareket ilişkisinin ortaya çıkarılabilmesi için su yüksekliği ve sıcaklık gibi çevresel etkenlerin ölçülmesi gerekir. Bu nedenle sıcaklık ve su seviyesi verileri günlük olarak kaydedilmektedir. Mevsimsel sıcaklık değişimi ve su seviyesindeki artışın baraj davranışı ile olan ilişkisini incelemek için hareketin diğerlerine nazaran daha fazla olduğu barajın ortasında en üstte bulunan sarkaç göz önüne alınmıştır. Bu amaçla sarkaç verileri ile bunlara karşılık gelen sıcaklık ve su seviyesi verileri incelenmiştir. 17.02.2012-27.12.2017 tarihleri arasında sarkaca ilişkin veriler ve bunlara karşılık gelen sıcaklık ve su seviyesi verileri Şekil 6.1 ve Şekil 6.2'de sırasıyla verilmiştir.



**Şekil 6.1.** Galeri 10 ve kret arasındaki sarkaç verileri ile aynı tarihlerdeki sıcaklık ve su seviyesi verileri

27.12.2017 tarihine kadar, Şekil 6.1’de radyal hareketlerin -0.12 mm ile 6.03 mm arasında ve teğetsel hareketlerin ise -0.58 mm ile 0.49 mm arasında değerler aldığı görülmektedir. Şekil 6.1’de gösterilen hareket grafiğinde G10’un krete göre hareket değerlerini göstermektedir.

G10’da bulunan T1 termometresi memba tarafında, T3 termometresi mansap tarafında ve T2 termometresi ise orta kısımda yer almaktadır. Beton sıcaklıkları membadan mansaba doğru sırasıyla, en düşük 8.10°C, 8.20°C ve 7.30 °C, en yüksek 22.24 °C, 19.54°C ve 21.18 C ve ortalama 16.38°C, 15.91°C ve 15.21 °C değerlerini aldığı görülmektedir.



**Şekil 6.2.** Galeri 9 ve Galeri 10 arasındaki sarkaç verileri ile aynı tarihlerdeki sıcaklık ve su seviyesi verileri

27.12.2017 tarihine kadar, Şekil 6.2’de radyal hareketlerin -0.18 mm ile 14.67 mm arasında değerler aldığı görülmektedir. Teğetsel hareketler ise 0 mm ile 2.69 mm arasındadır. Şekil 6.2’de G9’un G10’a göre hareket değerlerini göstermektedir. G9’da bulunan T1 termometresi memba tarafında, T3 termometresi mansap tarafında ve T2 termometresi ise orta kısımda yer almaktadır. Beton sıcaklıkları membadan mansaba doğru sırasıyla, en düşük 8.20°C, 9.70°C ve 6.10°C, en yüksek 21.10°C, 18.20°C ve 21.30°C ve ortalama 14.81°C, 15.48°C ve 15.21°C değerlerini almıştır.

Barajın su seviyesi maksimum düzeye ulaşmaya kadar çoğunlukla doğrusal bir artış gösterirken, memba ve mansap tarafındaki beton sıcaklıkları, barajın ortasındakilere göre mevsimlere bağlı olarak daha fazla harmonik salınımlar göstermiştir. Bu durumda hareketlerin zaman serileri, harmonik bir hareketin ve aynı zamanda doğrusal bir trendin varlığını göstermiştir. Salınım hareketi çoğunlukla mevsimsel sıcaklık değişiminden, doğrusal trend ise genelde doğrusal olarak artan su seviyesinden kaynaklanmaktadır (Alçay, 2014). Radyal ve teğetsel hareketlerin sıcaklık

ve su seviyesi arasındaki ilişkiyi gösteren korelasyon katsayıları hesaplanmış ve Çizelge 6.1’de verilmiştir.

**Çizelge 6.1.** İlk dolum periyoduna kadar elde edilen korelasyon değerleri ve tüm verilerden elde edilen korelasyon değerleri

İlk Dolum Periyoduna Kadar Korelasyon Değerleri								
Sarkaç Bölümü	Hareket	SU (%)	G10/T1 (%)	G10/T2 (%)	G10/T3 (%)	G9/T1 (%)	G9/T2 (%)	G9/T3 (%)
Kret-G10	Radyal	76	74	48	70			
	Teğetsel	-25	-51	-53	-39			
G10-G9	Radyal	88				68	30	58
	Teğetsel	83				19	20	16
27.12.2017 Tarihine Kadar Korelasyon Değerleri								
Sarkaç Bölümü	Hareket	SU (%)	G10/T1 (%)	G10/T2 (%)	G10/T3 (%)	G9/T1 (%)	G9/T2 (%)	G9/T3 (%)
Kret-G10	Radyal	82	65	50	62			
	Teğetsel	11	-23	-25	-14			
G10-G9	Radyal	81				49	29	63
	Teğetsel	86				5	32	26

Çizelge 6.1’de beton sıcaklığını ölçen termometrelerin konumları, G10/T1 ve G9/T1 memba tarafında, G10/T3 ve G9/T3 mansap tarafında ve G10/T2 ve G9/T2 ise orta kısımda yer almaktadır. Şekil 6.1’de görüldüğü üzere Kret-G10 arası radyal hareketler ile beton sıcaklıkları arasında benzer bir salınım olmasına rağmen membadan mansaba doğru sırasıyla, ilk dolum periyoduna kadar %74, %48 ve %70, tüm verilere göre %65, %50 ve %62 seviyesinde bir korelasyon söz konusudur. Ancak su seviyesi ile arasındaki korelasyon ilk dolum periyoduna kadar %76, tüm verilerde % 82’dir. Buna göre barajın 384.5 kotu 397 kotuna göre ilk dolunda ve tüm verilerde mansap hareketi göstermektedir. Teğetsel hareketler ile su seviyesi ve beton sıcaklığı arasında önemli bir korelasyon olmadığı görülmektedir.

Şekil 6.2’de görüldüğü üzere G10-G9 arasında radyal hareketler ile beton sıcaklığı arasında membadan mansaba doğru sırasıyla ilk dolum periyoduna kadar %68, %30 ve %58, tüm verilerde ise %49, %29 ve %63 seviyesinde bir korelasyon söz konusudur. Ancak su seviyesi ile arasındaki korelasyon ilk dolum periyoduna kadar %88, tüm verilerde %81’dir. Buna göre barajın 360.5 kotu 384.5 kotuna göre ilk dolunda ve tüm verilerde mansap hareketi göstermektedir. Teğetsel hareketler ile beton sıcaklığı arasında ilk dolum periyoduna kadar ve tüm verilerde bir korelasyon olmadığı

görülmektedir. Ancak su seviyesi ile arasındaki korelasyon ilk dolun periyoduna kadar %83, tüm verilerde ise %86'dır.



## 7. SONUÇLAR

Bu çalışmada Türkiye'nin en yüksek barajı olan Deriner beton kemer barajında yapılan deformasyon izleme çalışmalarından geoteknik yöntemler ayrıntılı olarak açıklanmıştır. En büyük hareket beklenildiği gibi barajın orta kesitlerinde görülmüştür. Barajın tam orta kısmında bulunan Sarkaç-21'de galeri 9 da radyal hareket ilk su dolumuna kadar 78.02 mm, 27.12.2017 tarihine kadar ise 97.33 mm olarak gerçekleşmiştir. Kret üzerinde en büyük hareketler mansap yönünde Sarkaç-27'de 97.33 mm ve Sarkaç-21'de 95.15 mm olarak gerçekleşmiştir. Baraj temel ekseninde mansap yönünde ilk doluma kadar 13.45 mm ve 27.12.2017 tarihine kadar ise 16.14 mm hareket gerçekleşmiştir.

Barajın bütününe baktığımızda aşağıdan yukarıya doğru ortalama beton sıcaklıklarının arttığı ve barajın üst kısımlarında betonun alt galerilere göre ince olmasından dolayı beton sıcaklıklarında daha fazla mevsimsel dalgalanmalar yaşandığı görülmüştür. Rockmetrelerde en büyük kısalma değeri 20.51 mm ve en büyük uzama değeri 10.59 mm olarak gerçekleşmiştir. Genellikle aşağı galerilerden yukarı galerilere doğru uzama veya kısalma hareketlerinde daha düşük değerler elde edilmiştir. Derz ölçer verilerine göre genel olarak derzlerde önemli bir açılma söz konusu değildir. Piyezometreler de en yüksek basınç değeri 13.9 bar olarak gerçekleşmiştir. Kaldırma kuvveti ölçerlerde en yüksek basınç değeri ise 16.99 bar olarak gerçekleşmiştir. Deriner Barajı'nın maksimum su seviyesinde olması durumunda tabanda maksimum 25 bar'lık bir basınç beklenmektedir. Ancak piyezometreler ve kaldırma kuvveti ölçerlerden elde edilen sonuçların bu değer altında olduğu görülmektedir. Genellikle alt galerilerden üst galerilere doğru su seviyesi dolayısıyla düşük basınç değerleri elde edilmiştir. Mesnetlerin izlenmesinde kullanılan inklinometre, ekstensometre ve yük hücreleri ilk su dolum aşamasında önemli sapmalar, hareketler ve yükler göstermemiştir.

Hareketlerin sıcaklık ve su seviyesi ile ilişkisi incelenmiş ve özellikle radyal hareketler ile su seviyesi arasında yüksek korelasyon olduğu belirlenmiştir. Radyal hareketler ile memba tarafına yakın beton sıcaklıkları arasında diğerlerinden daha yüksek korelasyon belirlenmiştir. Teğetsel hareketler ile sıcaklık arasında korelasyon katsayısı düşük çıkmıştır. Bu durumda su seviyesinin sıcaklık değişimlerinden daha çok yapıdaki hareketi etkilediği görülmüştür.

Elde edilen sonuçlar ilk dolum süreci için sonlu elemanlar yöntemiyle hesaplanan sonuçlarla da karşılaştırılmıştır. Sonlu elemanlar yöntemi ile maksimum 78

mm'lik bir hareketin beklendiği belirtilmiştir. Bu değerler geoteknik sonuçlarla uyumaktadır. Çünkü ölçü değerleri maksimum değerin altındadır.

Barajlara etki eden yükler hiçbir zaman kendiliğinden ortadan kaybolmamaktadır. Bu nedenle barajların sürekli kontrol altında tutulması gerekmektedir. Yapılan ölçümlerden elde edilen verilerin toplanmasının yanı sıra sonuçların doğru yorumlanması barajın yük-yer değiştirme ilişkisinin ortaya konması bakımından oldukça önemlidir. Geoteknik cihazların kalibrasyon kontrollerinin belirli zaman aralıklarında yapılması gerekmektedir. Ayrıca geoteknik cihazların bozulması halinde tamir edilmeli veya eskisine eşdeğer ya da daha üstün nitelikli bir cihaz yerleştirilmelidir. Bu tür durumlarda eski ölçülerle yeni ölçüler arasındaki bağlantının sağlanması için gerekli hassasiyet gösterilmeli ve mümkünse eski ve yeni sistem arasındaki bağlantıyı sağlayacak ilave ölçmeler yapılmalıdır.

## KAYNAKLAR

- Alçay, S., 2014, Beton kemer barajlardaki deformasyonların jeodezik ve geoteknik yöntemlerle izlenmesi ve Ermenek Barajı örneği, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Haziran 2014, Konya.
- Alçay S., Yiğit C.Ö., İnal C. ve Ceylan A., 2018, Analysis of displacement response of the Ermenek dam monitored by an integrated Geodetic and Pendulum System, *International Journal of Civil Engineering*, 16(10): 1279-1291, DOI: 10.1007/s40999-017-0211-x.
- Akanmu, J.O., Remi-John, O. ve Ekpo, I.E., 2011, Overview of Dam Development in Nigeria, *Geotech Geol Eng* 29, 953. (<https://doi.org/10.1007/s10706-010-9370-0>)
- Atasoy V. ve Öztürk E., 1984, Jeodezik Deformasyon Ölçmeleri ve Sonuçların Yorumu, *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası*, 50-51, 27-40.
- Bülbül S., 2013, Yatay yöndeki deformasyonların belirlenmesinde bağıl güven elipsleri ve cholesky çarpanlarına ayırma yönteminin kullanılabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ocak-2013, Konya.
- Çakır, S., 2006, Mühendislik yapılarında deformasyonları S-Transformasyonu ile belirlenmesi ve uygulama, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 2006, Konya.
- Chrzanowski, A. ve Massiera, M. 2006, Relation between monitoring and design aspects of large earth dams, 3. *IAC/12 th FIG Symposium*, Baden, May 22-24.
- Demirkaya S., 2005, Bir Kemer Barajdaki Yatay Konum Değişimlerinin fiziksel yorumu, *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, 28 Mart-1 Nisan 2005, Ankara.
- Deriner Dam and HEPP, 2011, Excavated Slope Monitoring Report No. 6, Deriner Dam And Power Plant Engineers Consortium Electrowatt Engineering Ltd. / Dolsar Engineering Ltd., Republic of Turkey Ministry of Environment and Forestry General Directorate of State Hydraulic Works, 200'034/6.5-y. (Yayımlanmamış)
- Dinçergök, T., 1995, Baraj ve Gölet Projelendirme Semineri, Baraj İnşaat Proje Şube Müdürlüğü, Barajlar ve Hes Dairesi Başkanlığı, *DSİ Genel Müdürlüğü*, 4-8 Aralık 1995, Bursa.
- Ding, X. ve Qin, H., 2000, Geotechnical instruments in structural monitoring, *Journal of Geospatial Engineering*, 2, 2, 45-56.
- Engineer Manuel, 1995a, Gravity Dam Design, *U.S. Army Corps of Engineers*, Washington, DC, EM-1110-2-2200.
- Engineer Manuel, 1995b, Instrumentation Of Embankment Dams And Levees, *U.S. Army Corps of Engineers*, Washington, DC, EM-1110-2-1908.

- Erkaya, H., Hoşbaş, R.G., Gülal, V.E., Ersoy, N., Doğan, U., Pırtı, A., Soycan, M., Gümüş, K., Öcalan, T., Aykut, N.O., Akpınar, B. ve Poyraz, F., 2009, Beton kemer barajlarda deformasyonların modern ölçme teknikleri ile belirlenmesi, *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, 11-15 Mayıs 2009, Ankara.
- Fakıoğlu, M., 2005, Seyhan Barajı hidrografik harita alımı değerlendirilmesi ve sonuçları, *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Mühendislik Ölçmeleri STB Komisyonu 2. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu*, 23-25 Kasım 2005, İstanbul, 225-236.
- Feng S., Wang W., Hu W., Deng Y., Yang J., Wu S., Zhang C. ve Höeg K., 2020, Design and performance of the Quxue asphalt-core rockfill dam, *Soils and Foundations*, Vol 60, Issue 4, 1036-1049.
- Gedik, N., 2013, Su yapıları ders notu [online], Balıkesir Üniversitesi Müh-Mim. Fakültesi, <http://insaat.balikesir.edu.tr/dokumanlar/suyapilari/barajlar.pdf>, [Ziyaret Tarihi: 10 Kasım 2019].
- Heunecke, O. ve Welsch, W., 2001, Terminology and Classification of Deformation Models in Engineering Surveys, *Journal of Geospatial Engineering*, Vol 2., No:1, Hong Kong, 35-44.
- İbaoğlu, R., 2019, Düşey yöndeki deformasyonların kinematik modellerle belirlenmesi: Ermenek Barajı Örneği, Yüksek Lisans Tezi, *Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Haziran 2019, Konya.
- İnal, C., 2010, Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Harita mühendisliği bölümü, mühendislik ölçmeleri ders notu.
- İnal, C. ve Bülbül S., 2013, Bağlı güven elipsleri yöntemiyle deformasyon analizi: Ermenek Barajı Örneği, *S.Ü Müh. Bilim ve Tekn. Dergi*, ISSN 2147-9364, 2013, Konya.
- Kalkan, Y., 2012, Geodetic deformation monitoring of Atatürk dam in Turkey, *Arabian Journal of Geosciences*, DOI 10.1007/s12517-012-0765-5.
- Kalkan, Y., 2014, Baraj emniyeti ve deformasyon izleme çalışmaları Atatürk Barajı Örneği, *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6, 3, 1309-3983, 40-50.
- Karabatan, Y., 2006, Su ve Toprak Kaynaklarının Önemi ve Uygulanan Strateji, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 442-443, 90-111.
- Keskin M.E., Korkmaz K.A., Çarhoğlu A.I. ve Helvacı D., 2009, Dim barajının deprem güvenliğinin dinamik analizlerce izlenmesi, *Tübav Bilim Dergisi*, 2, 2, 128-137.
- Konakoğlu, B. ve Gökalp, E., 2017, İlk doludan itibaren düşey deformasyon ölçümleri: Deriner Barajı Örneği, *International Conference on Advanced Engineering Technologies*, 21-23 Eylül 2017, Bayburt.

- Konakoğlu, B. ve Gökalp, E., 2018, Deformation Measurements and Analysis with Robust Methods A Case Study Deriner Dam, *Turkish Journal of Science & Technology*, 13, 99-103, 2018.
- Latifi, N., Marto, A. ve Khari, M., 2012, Monitoring results of alborz earth dam during construction, *EJGE*, 17, 2474-2484.
- Mata, J., Tavares de Castro, A. ve Sa da Costa, J., 2013, Time-frequency analysis for concrete dam safety control: Correlation between the daily variation of structural response and air temperature, *Engineering Structures*, 48, 658-665.
- Öziş, Ü., 2015, Su kuvveti ve Türkiye, 4. *Su yapıları Sempozyumu*, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Antalya, 2-21.
- Öziş Ü. ve Yanar H., 2015, Oymapınar Barajı ve Hidroelektrik Santrali, 4. *Su Yapıları Sempozyumu*, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Antalya, 22-31.
- Özkuzukıran, S., Özkan, M.Y., Özyazıcıoğlu, M. ve Yıldız, G.S., 2006, Settlement behaviour of a concrete faced rock-fill dam, *Geotechnical and Geological Engineering*, 24, 2006, 1665- 1678.
- Pantazis G., Skarlatos D. ve Pelecanos L., 2019, Long-term geodetic monitoring of seasonal deformations of earth dams and relevant finite element verification, *The 4th Joint International Symposium on Deformation Monitoring (JISDM)*, Atina, 15-17 Mayıs 2019.
- Szostak, A., Ghrzanowski, A. Masesiera, M., Muma, M. ve Whitaker, C., (1999), Geotechnical aspectd of Earth Dam Deformation Monitoring, *at the 9th fig International Symposium on Deformation Measurements*, 27-30 September 1999, Olsztyn, Poland.
- Taşçı, L., 2008, Dam deformation measurements with GPS, *Geodezija ir Kartografija*, 34:4, 116-121.
- Taşçı, L., Yıldırım B. ve Gökalp E., 2004, Kaya Dolgu Barajda Deformasyonların Jeodezik ve Sonlu Elemanlar Metodu ile Belirlenmesi, *F. Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16(2), 205-219.
- Taşkıran T. ve Oral İ.H., 2017, Pamukçay barajının ölçülen deplasman/boşluksuyu parametrelerinin sonlu eleman analiz sonuçlarıyla karşılaştırılması, 7. *Geoteknik Sempozyumu*, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul, 22-23-24 Kasım 2017, 247-256.
- Turan, F., 2007, Dolgu tipli barajlarda düşey değişimlerin hassas trigonometrik nivelman yöntemiyle belirlenmesi üzerine bir inceleme, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 2007, İstanbul.
- Tzenkov A., Menouillard T., Gun R.M. ve Quigley B., 2012, Reservoir Impounding-Numerical Model of the Dam's Structural Behaviour, DERINER DAM & HEPP Tecnical Report, 4'353/4028, *Stucky Ltd, Renens, Switzerland*. (Yayımlanmamış)

- URL-1 <https://www.icold-cigb.org/> (Ziyaret tarihi: 11 Ekim 2019)
- URL-2 <http://bilgi.dsi.gov.tr/dijital/suvedsi/files/assets/basic-html/index.html#1> (Ziyaret tarihi: 8 Ağustos 2019)
- URL-3 <https://mapio.net/pic/p-14363099/> (Ziyaret tarihi: 21 Ağustos 2019)
- URL-4 <http://www.ayvacik.bel.tr/turizm.php?no=380&m=251> (Ziyaret tarihi: 8 Aralık 2019)
- URL-5 <http://www.dsi.gov.tr/dsi-galeri/barajlar> (Ziyaret tarihi: 18 Ağustos 2019)
- URL-6 <http://www.superlit.com/tr/sadak-baraji-sulamasi-projesinde-superlit-imzasi/> (Ziyaret tarihi: 8 Kasım 2019)
- URL-7 <http://www.limakenerji.com.tr/faaliyet-alanlari/uretim/yenilenebilir-enerji/alkumru-hes> (Ziyaret tarihi: 8 Kasım 2019)
- URL-8 <http://www.bursadabugun.com/haber/bursa-doganci-baraji-30-yil-sonra-yenileniyor-860043.html> (Ziyaret tarihi: 8 Kasım 2019)
- URL-9 <https://www.enerjiunlugu.net/karakurt-hesin-kurulumu-tamamlandi-36175h.html> (Ziyaret tarihi: 4 Eylül 2020)
- URL-10 <http://www.suyapi.com.tr/tr/38011/Kurtun-Baraji-ve-HES> (Ziyaret tarihi: 8 Kasım 2019)
- URL-11 <http://www.suyapi.com.tr/tr/18853/Boyabat-Baraji-ve-HES> (Ziyaret tarihi: 8 Kasım 2019)
- URL-12 <https://www.mynet.com/elmalı-baraji-yenileniyor-110102491303> (Ziyaret tarihi: 1 Kasım 2019)
- URL-13 <https://mapio.net/pic/p-24574408/> (Ziyaret tarihi: 3 Kasım 2019)
- URL-14 <http://www.ozaltin.com.tr/insaat-ve-taahhut/barajlar/menge-baraji-ve-hes> (Ziyaret tarihi: 5 Kasım 2019)
- URL-15 <http://bolge20.dsi.gov.tr/haberler/2016/02/10/gaziantep-karkam%C4%B1%C5%9F-baraj%C4%B1nda-inceleme> (Ziyaret tarihi: 7 Kasım 2019)
- URL-16 <http://bilgi.dsi.gov.tr/sudunyasi/158/files/assets/basic-html/index.html1> (Ziyaret tarihi: 8 Eylül 2019)
- URL-17 <https://www.bitmezat.com/en/product/946147/ankara> (Ziyaret tarihi: 8 Kasım 2019)
- URL-18 <https://www.ekopangea.com/2017/08/30/sariyar-baraji/> (Ziyaret tarihi: 10 Eylül 2019)

- URL-19 <https://www.sariyarli.net/sariyar-baraji-nallihan-ankara-62.html> (Ziyaret tarihi: 7 Kasım 2019)
- URL-20 <https://twitter.com/muratacu/status/958212623971094528> (Ziyaret tarihi: 8 Kasım 2019)
- URL-21 <http://www.dsi.gov.tr/projeler/keban-baraj%C4%B1> (Ziyaret tarihi: 13 Eylül 2019)
- URL-22 <http://www.dsi.gov.tr/projeler/keban-baraj%C4%B1> (Ziyaret tarihi: 9 Kasım 2019)
- URL-23 <http://www.dsi.gov.tr/haberler/2019/05/20/karakaya-baraj%C4%B1nda-dolusavak-%C3%A7al%C4%B1%C5%9Fmaya-ba%C5%9Flad%C4%B1> (Ziyaret tarihi: 8 Kasım 2019)
- URL-24 <https://www.flickr.com/photos/sinandogan/27435637791> (Ziyaret tarihi: 13 Kasım 2019)
- URL-25 <http://www.gazetevatan.com/deprem-uzmanindan-korkutan-ataturk-baraji-aciklamasi-1044817-gundem/> (Ziyaret tarihi: 8 Aralık 2019)
- URL-26 <http://www.dsi.gov.tr/projeler/ataturk-baraji> (Ziyaret tarihi: 1 Ekim 2019)
- URL-27 <https://www.enerjiatlası.com/hidroelektrik/altinkaya-baraji.html> (Ziyaret tarihi: 8 Kasım 2019)
- URL-28 <http://web.archive.org/web/20180225194140/http://www2.dsi.gov.tr/baraj/detay.cfm?BarajID=193> (Ziyaret tarihi: 10 Ağustos 2019)
- URL-29 <https://www.sanliurfa63.com/birecik-baraji-nin-ismi-degisti/6233/> (Ziyaret tarihi: 8 Aralık 2019)
- URL-30 <http://kalehan.com.tr/projeler/yukari-kalekoy-baraji-ve-hes/> (Ziyaret tarihi: 19 Eylül 2019)
- URL-31 <https://www.aa.com.tr/tr/turkiye/ilisu-barajında-su-tutma-testleri-basladi/1552367> (Ziyaret tarihi: 8 Ağustos 2019)
- URL-32 <https://www.aa.com.tr/tr/turkiye/su-tutmaya-baslayan-ilisu-baraji-enerji-uretimine-hazirlaniyor/1642426> (Ziyaret tarihi: 8 Aralık 2019)
- URL-33 <http://www.dsi.gov.tr/haberler/2017/07/07/reghanl%C4%B1-baraj%C4%B1-amik-ovas%C4%B1-a-can-verecek> (Ziyaret tarihi: 8 Ağustos 2019)
- URL-34 <https://www.ntv.com.tr/galeri/ekonomi/yusufeli-barajinin-tamamlanmasina-37-metre-kaldi,CUyic1Qm9UGus87quJ9mIA> (Ziyaret tarihi: 16 Kasım 2019)
- URL-35 <https://www.ferc.gov/industries/hydropower/safety/guidelines/eng-guide/chap11.pdf> (Ziyaret tarihi: 18 Ağustos 2019)

- URL-36 <https://www.sisgeo.com/products/pendulums/item/direct-and-inverted-pendulum.html> (Ziyaret tarihi: 12 Kasım 2019)
- URL-37 <https://roctest.com/en/product/direct-inverted-pendulum-reading-table/> (Ziyaret tarihi: 8 Aralık 2019)
- URL-38 [http://www.dsi.gov.tr/docs/proje-teknik-%C5%9Fartnameler/baraj-%C3%B6l%C3%A7%C3%BCm-cihazlar%C4%B1-teknik-%C5%9Fartnamesi\\_r00\\_20061110.pdf?sfvrsn=2](http://www.dsi.gov.tr/docs/proje-teknik-%C5%9Fartnameler/baraj-%C3%B6l%C3%A7%C3%BCm-cihazlar%C4%B1-teknik-%C5%9Fartnamesi_r00_20061110.pdf?sfvrsn=2) (Ziyaret tarihi: 8 Ağustos 2019)
- URL-39 [http://www.artgeo.com.tr/teknik\\_enstrumantasyon/project/crackmeter/](http://www.artgeo.com.tr/teknik_enstrumantasyon/project/crackmeter/) (Ziyaret tarihi: 8 Kasım 2019)
- URL-40 [http://www.jeofizik.org.tr/resimler/ekler/bbe8e153934b327\\_ek.pdf?dergi=34](http://www.jeofizik.org.tr/resimler/ekler/bbe8e153934b327_ek.pdf?dergi=34) (Ziyaret tarihi: 18 Eylül 2019)
- URL-41 [http://www.artgeo.com.tr/teknik\\_enstrumantasyon/project/ekstansometre/](http://www.artgeo.com.tr/teknik_enstrumantasyon/project/ekstansometre/) (Ziyaret tarihi: 8 Kasım 2019)
- URL-42 <http://jewellinstruments.com/wp-content/uploads/2016/01/Model-800P-Portable-Rev-B.pdf> (Ziyaret tarihi: 12 Kasım 2020)
- URL-43 <http://www.echozemin.com/hizmetlerimiz/inklinometre> (Ziyaret tarihi: 12 Kasım 2019)
- URL-44 <http://www.sangari.com.tr/tr/38386/Hidrolik-Tasma-Yerlesim-Hucreti> (Ziyaret tarihi: 4 Kasım 2019)
- URL-45 <https://roctest.com/en/products/?filters=piezometer> (Ziyaret tarihi: 8 Kasım 2019)
- URL-46 [https://www.dsys.ru/images/photos/pictures/Documents/Velosimetr/EPU-20V\\_20G\\_Uplift%20Pressure%20Meter%20\(1088-12%20R02\).pdf](https://www.dsys.ru/images/photos/pictures/Documents/Velosimetr/EPU-20V_20G_Uplift%20Pressure%20Meter%20(1088-12%20R02).pdf) (Ziyaret tarihi: 8 Ağustos 2019)
- URL-47 [http://www.artgeo.com.tr/teknik\\_enstrumantasyon/project/debi-olcer-flowmeter/](http://www.artgeo.com.tr/teknik_enstrumantasyon/project/debi-olcer-flowmeter/) (Ziyaret tarihi: 8 Kasım 2019)
- URL-48 <https://docplayer.biz.tr/11255832-Dolgu-barajlarda-olcum-sistemleri.html> (Ziyaret tarihi: 8 Ağustos 2019)
- URL-49 [http://www.artgeo.com.tr/teknik\\_enstrumantasyon/project/termal-sicaklik-olcerler/](http://www.artgeo.com.tr/teknik_enstrumantasyon/project/termal-sicaklik-olcerler/) (Ziyaret tarihi: 15 Kasım 2019)
- URL-50 <https://www.zeminas.com.tr/index.php?id=300000&cid=7&pid=33&dil=TR> (Ziyaret tarihi: 6 Kasım 2019)
- URL-51 <http://testart.com.tr/sensebox-7001-03-yuksekk hassasiyetli-ivmeolcer-2-400-g> (Ziyaret tarihi: 9 Kasım 2019)

- URL-52 <https://rittmeier.com/en/instrumentation/products/ripres-premium> (Ziyaret tarihi: 12 Kasım 2020)
- URL-53 <https://metone.com/products/mso-weather-sensor/> (Ziyaret tarihi: 14 Kasım 2020)
- URL-54 [http://www.artgeo.com.tr/teknik\\_enstrumantasyon/project/veri-toplama-sistemleri/](http://www.artgeo.com.tr/teknik_enstrumantasyon/project/veri-toplama-sistemleri/) (Ziyaret tarihi: 17 Kasım 2019)
- URL-55 <http://www.dsi.gov.tr/projeler/deriner-barajı> (Ziyaret tarihi: 10 Kasım 2019)
- URL-56 <https://dianafea.com/manuals/d943/Diana.html> (Ziyaret tarihi: 19 Kasım 2020)
- Wu S., Cao W. ve Zheng J., 2016, Analysis of working behavior of Jinping-I Arch Dam during initial impoundment, *Water Science and Engineering*, 9 Kasım 2016, 240-248.
- Yıldız, D., 2018, Su Yönetimi ve Barajların Güvenliği İlişkisi, *World Water Diplomacy & Science News*, 2018.
- Yiğit C. Ö., Alçay S. ve Ceylan A., 2016, Displacement response of a concrete arch dam to seasonal temperature fluctuations and reservoir level rise during the first filling period: evidence from geodetic data, *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, ISSN: 1947-5705, 2016.

**EKLER**

EK 1 Teletermometre grafikleri

EK 2 Sarkaç grafikleri

EK 3 Rockmetre grafikleri

EK 4 Derz ölçer grafikleri

Ek 5 Klinometre grafikleri

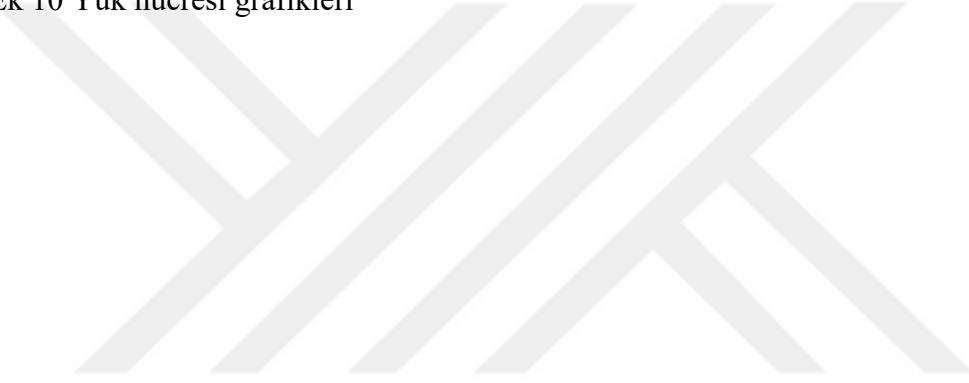
Ek 6 Piyezometre grafikleri

Ek 7 Kaldırma kuvveti basıncı ölçer grafikleri

Ek 8 İnklinometre grafikleri

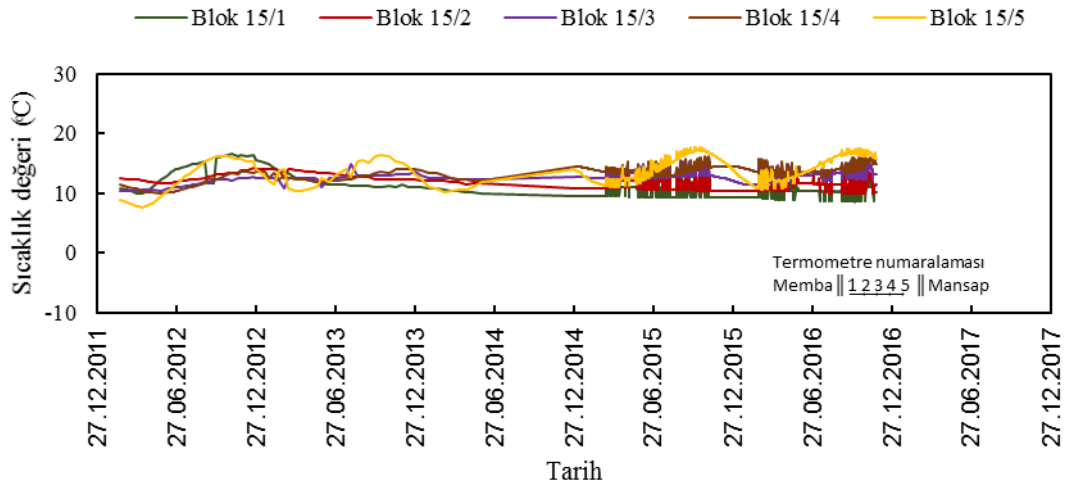
Ek 9 Ekstensometre grafikleri

Ek 10 Yük hücresi grafikleri

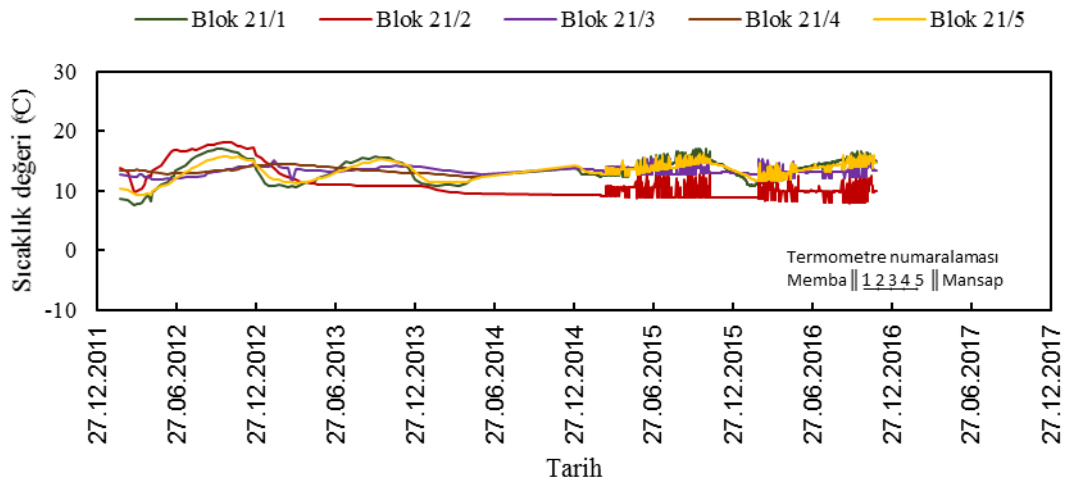


## EK 1 Teletermometre grafikleri

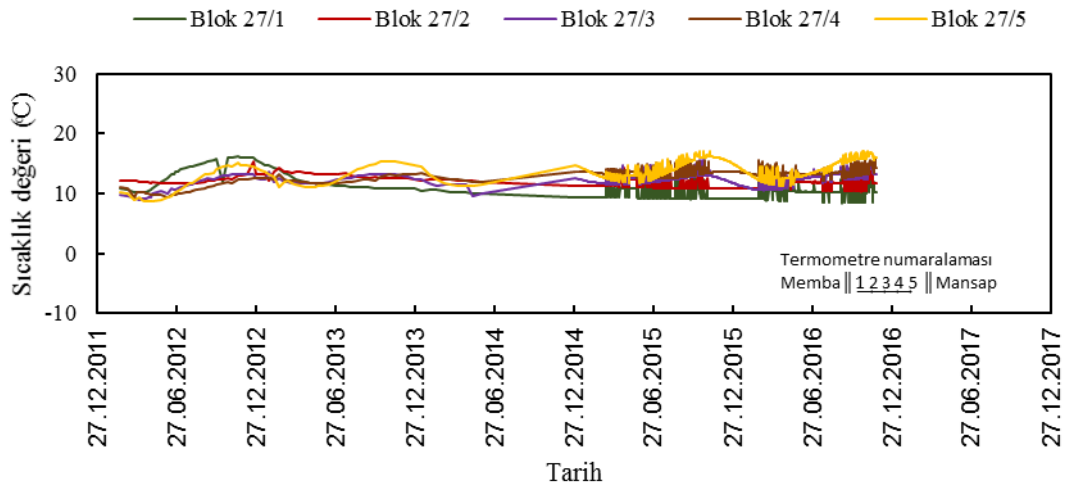
Teletermometre Değerleri (Galeri 4 Kot:251.5 m)

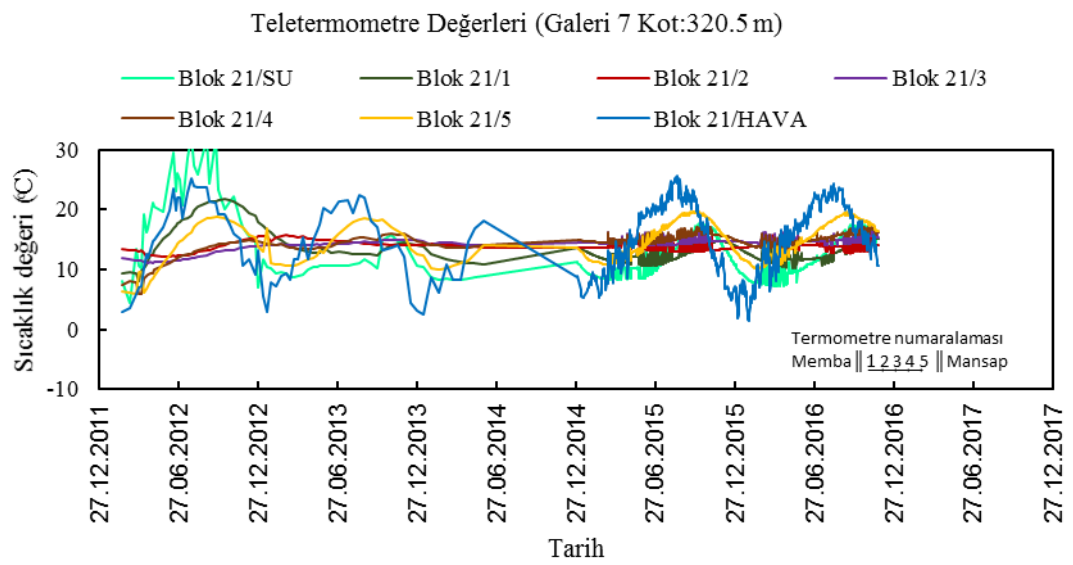
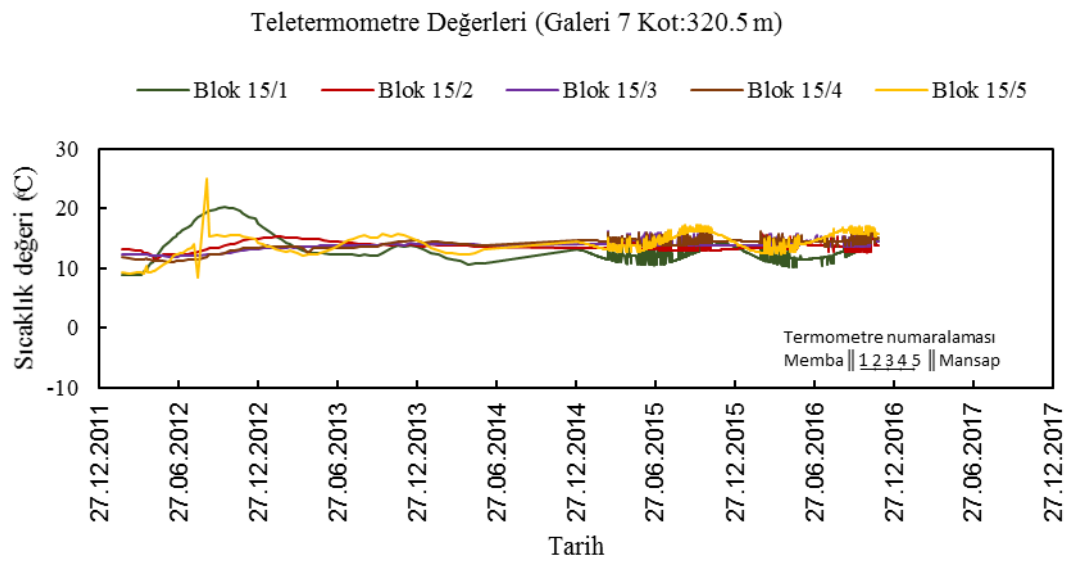
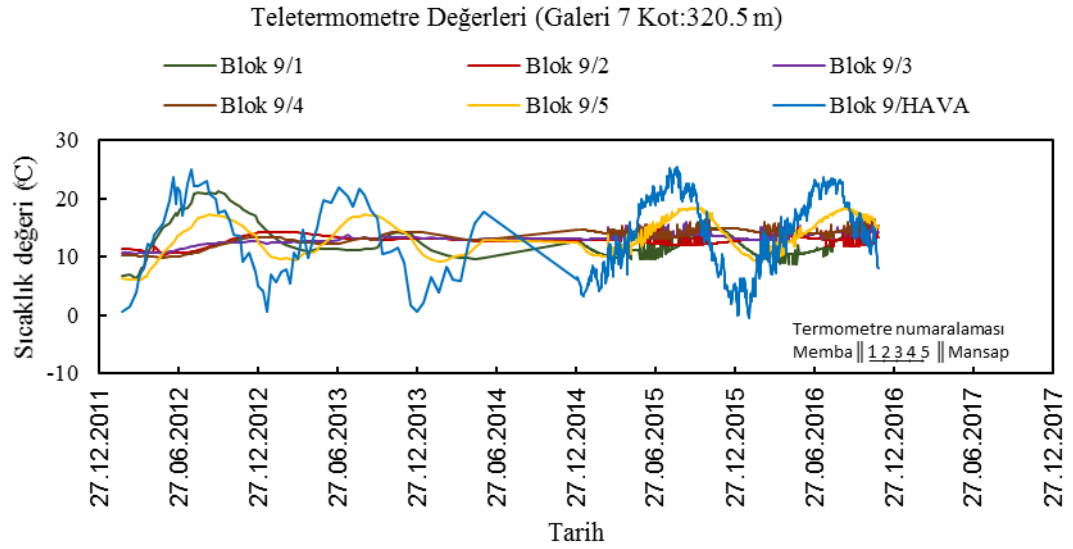


Teletermometre Değerleri (Galeri 4 Kot:251.5 m)

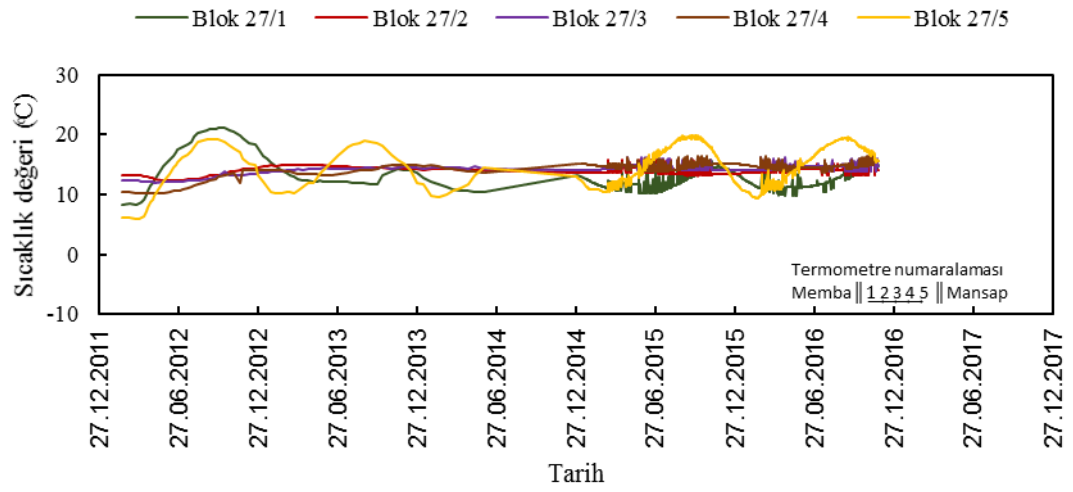


Teletermometre Değerleri (Galeri 4 Kot:251.5 m)

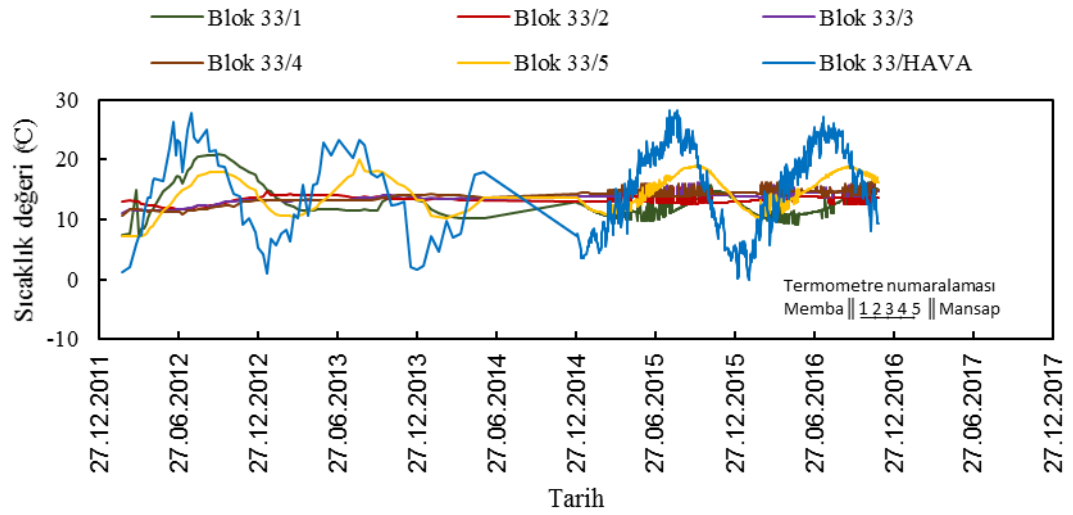




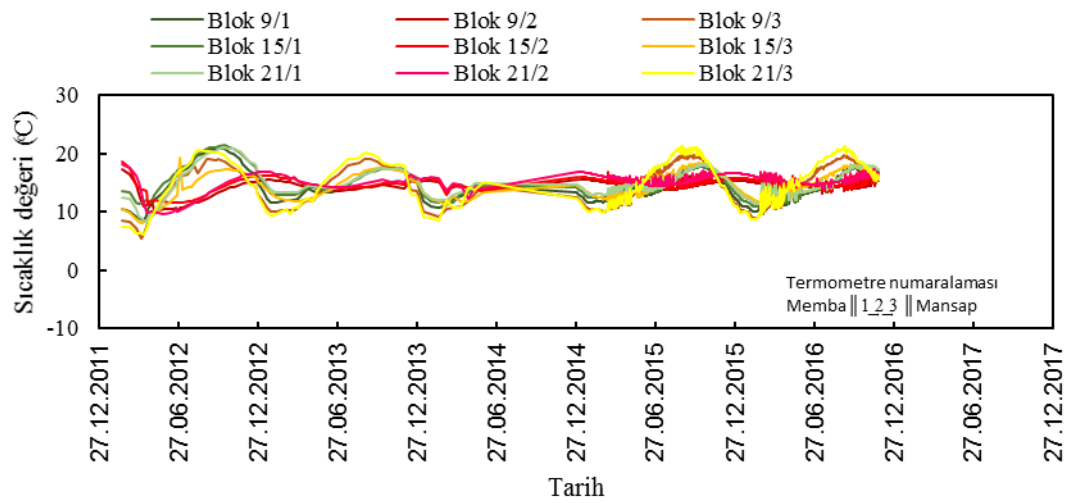
Teletermometre Değerleri (Galeri 7 Kot:320.5 m)



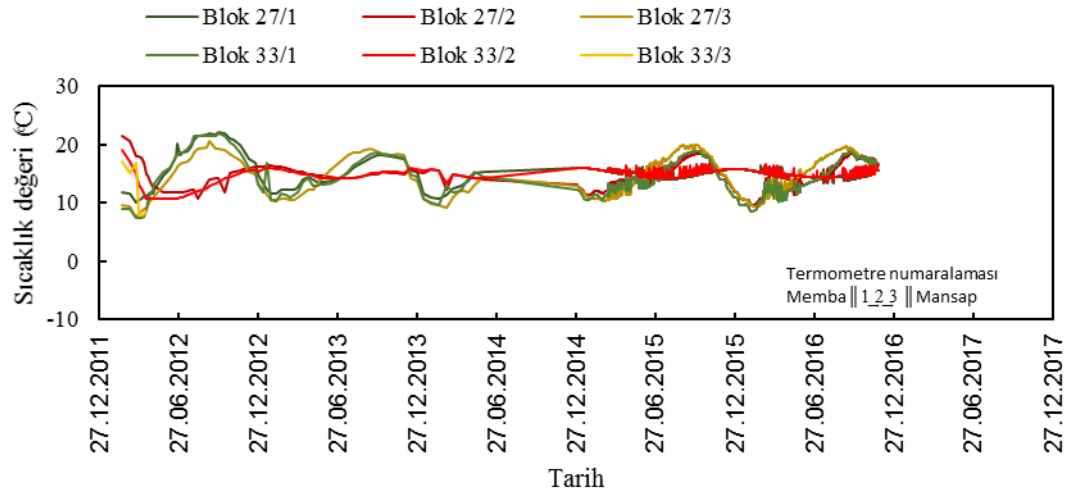
Teletermometre Değerleri (Galeri 7 Kot:320.5 m)



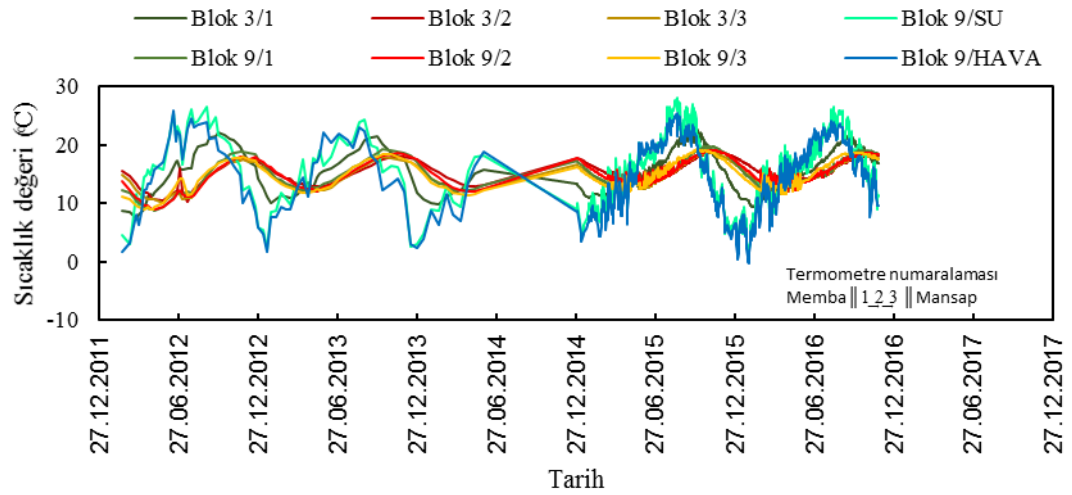
Teletermometre Değerleri (Galeri 9 Kot:368.5 m)



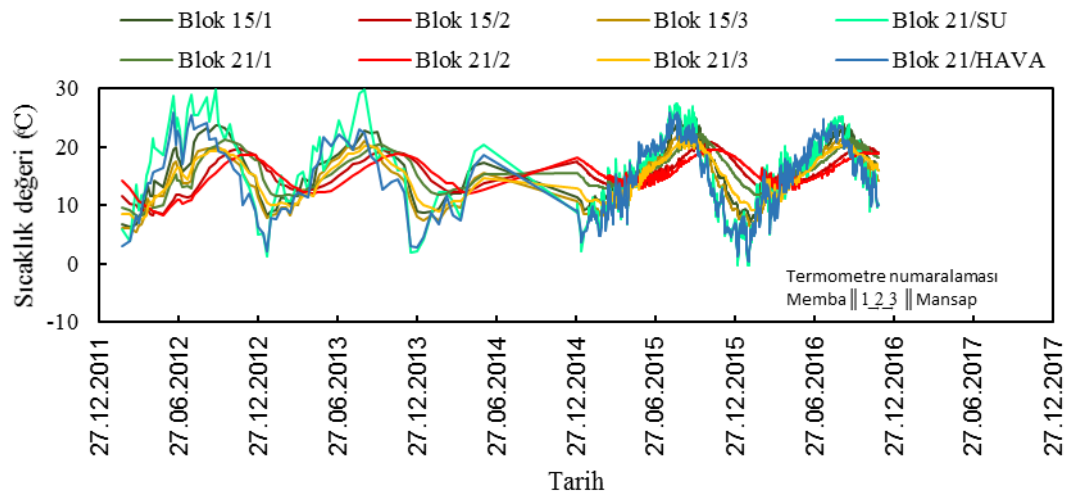
Teletermometre Değerleri (Galeri 9 Kot:368.5 m)

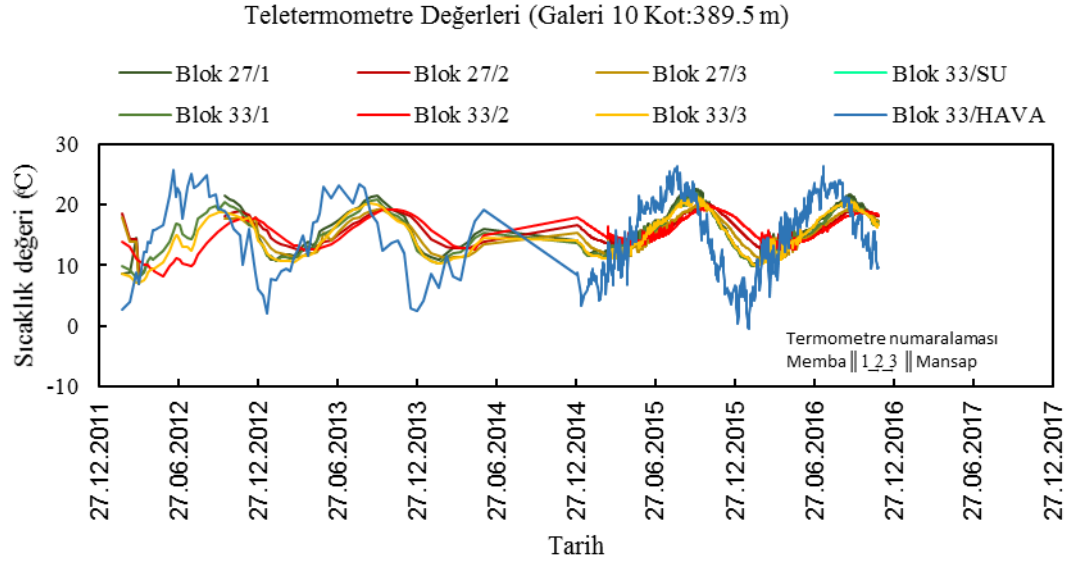


Teletermometre Değerleri (Galeri 10 Kot:389.5 m)



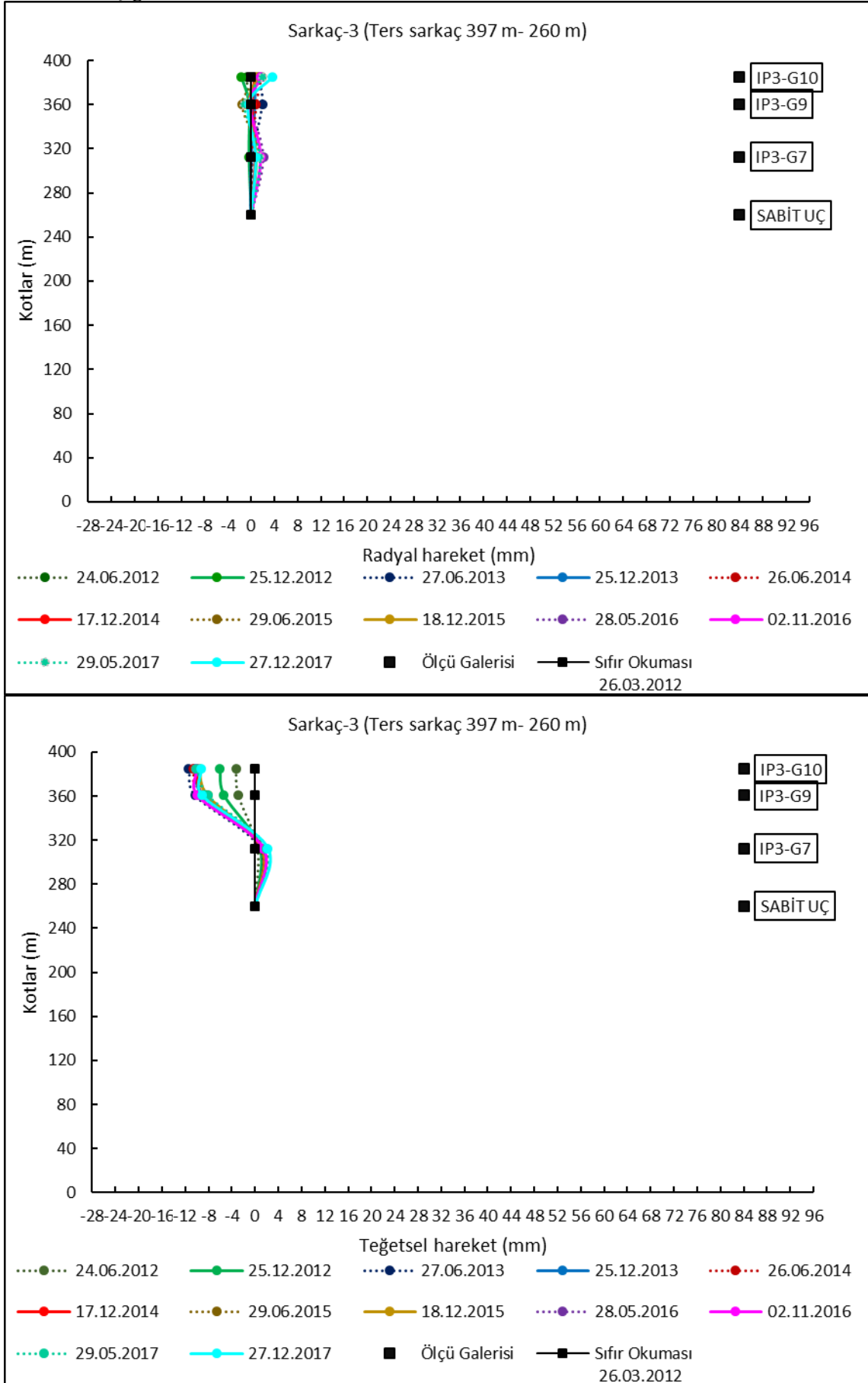
Teletermometre Değerleri (Galeri 10 Kot:389.5 m)

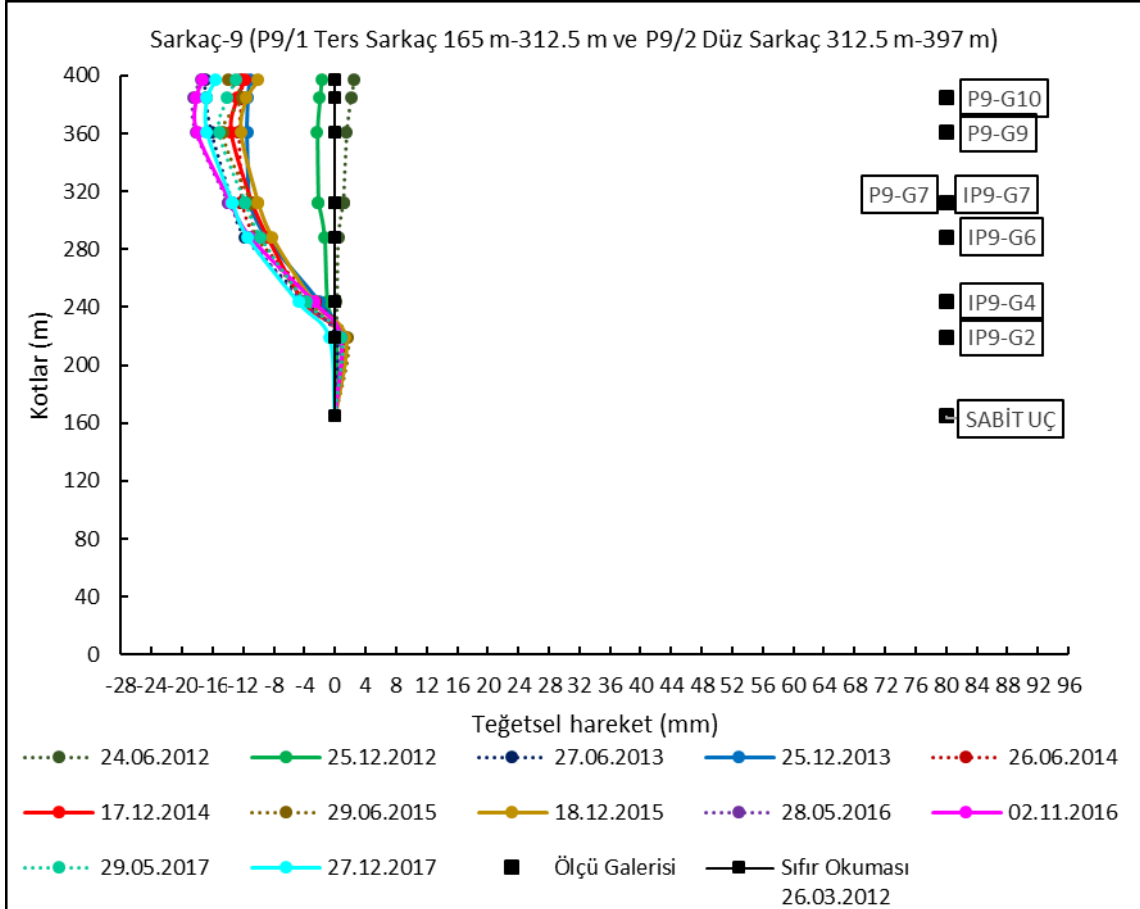
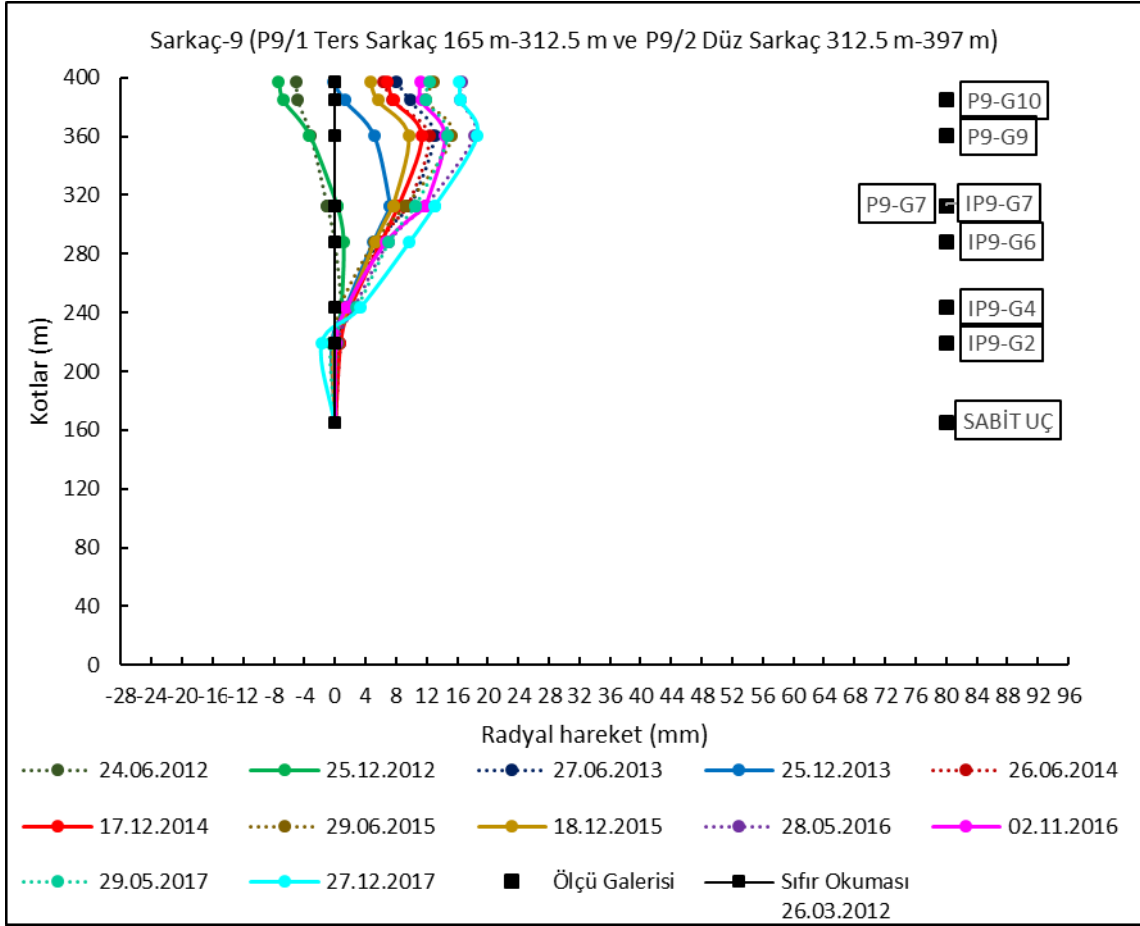


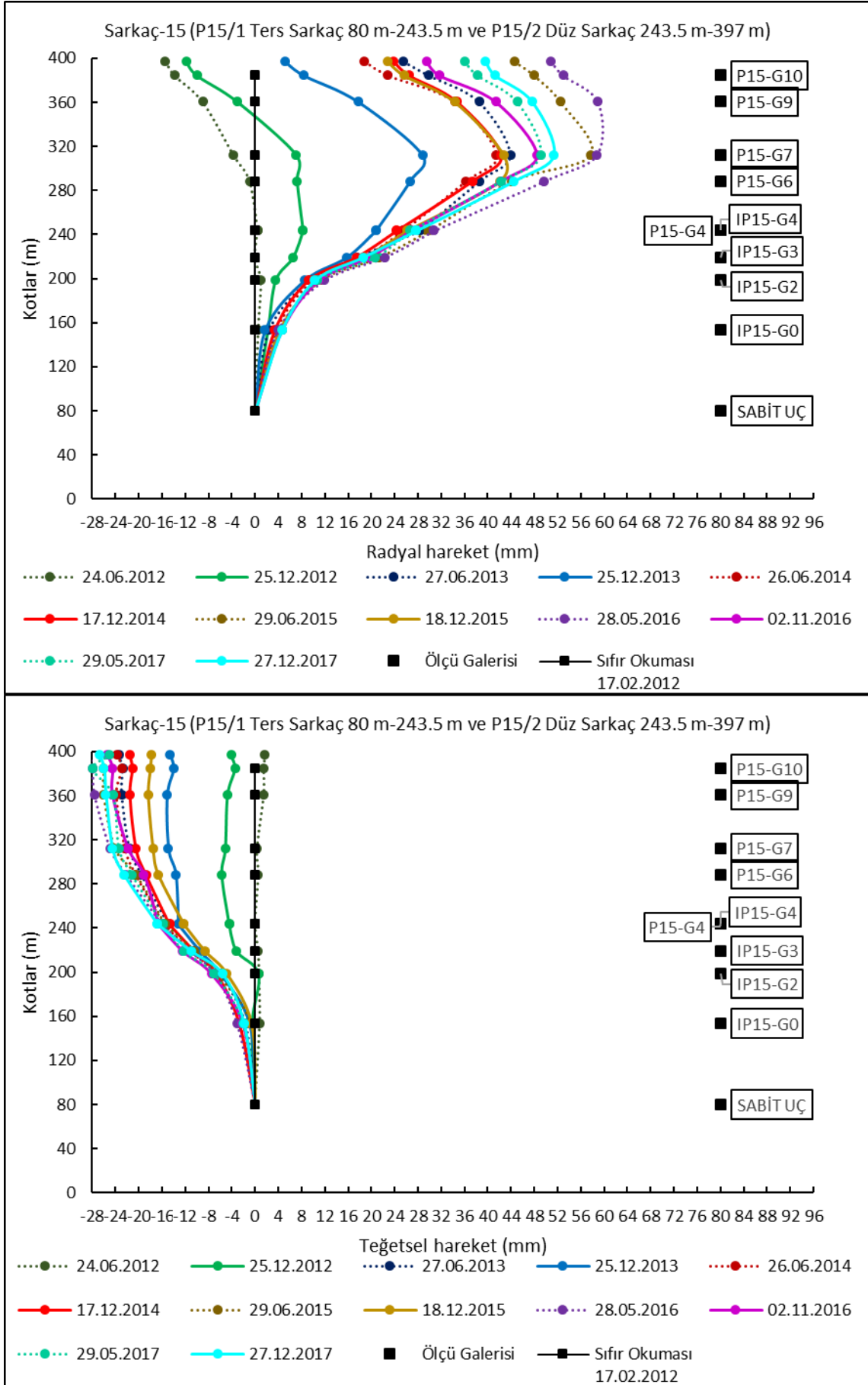


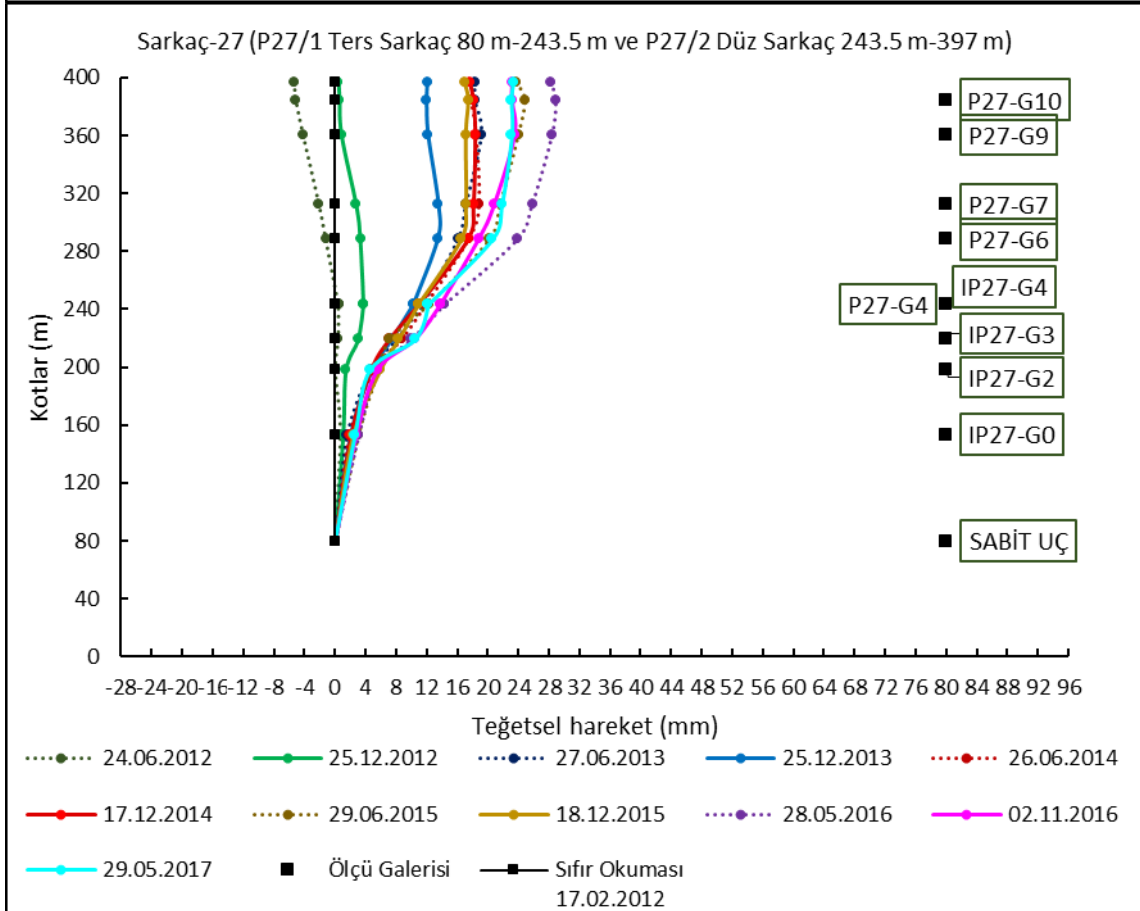
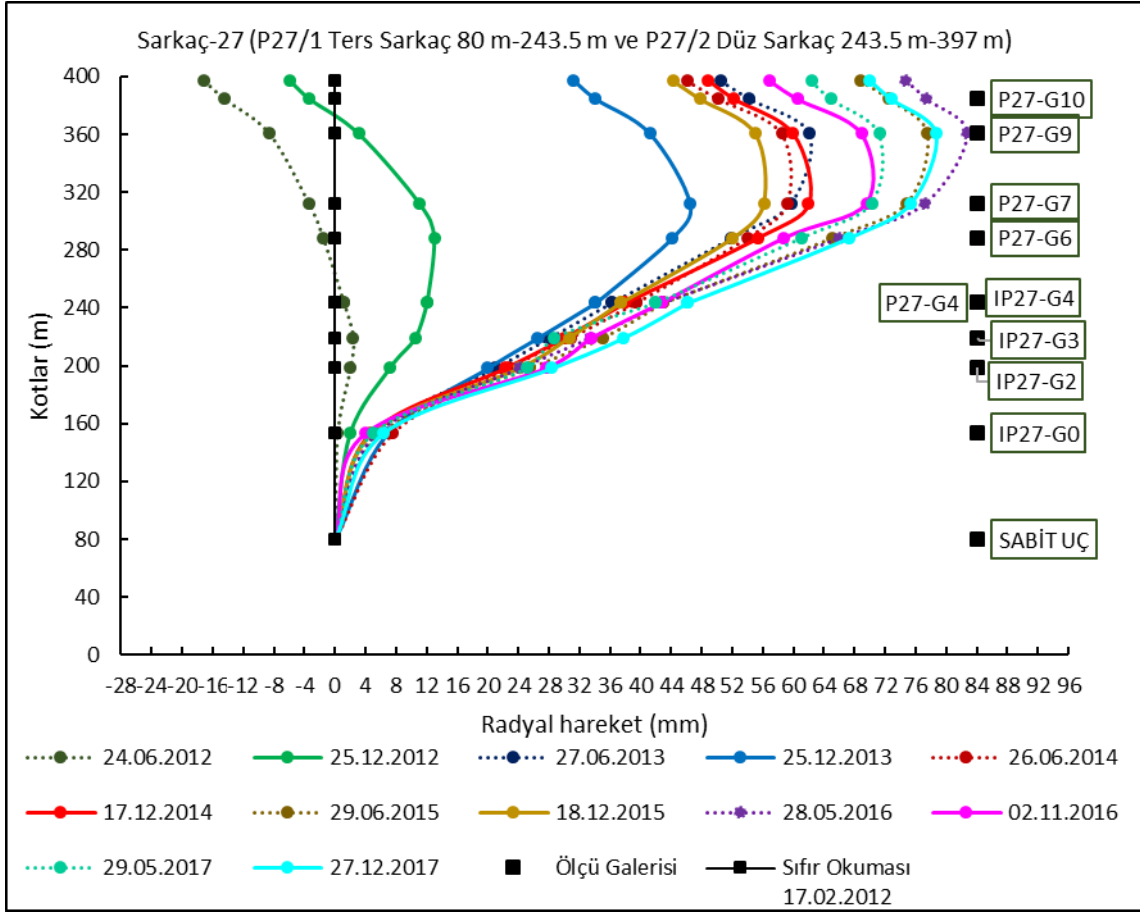
Şekil Ek 1. Galeri 4, 7, 9 ve 10'da bulunan teletermometre verileri

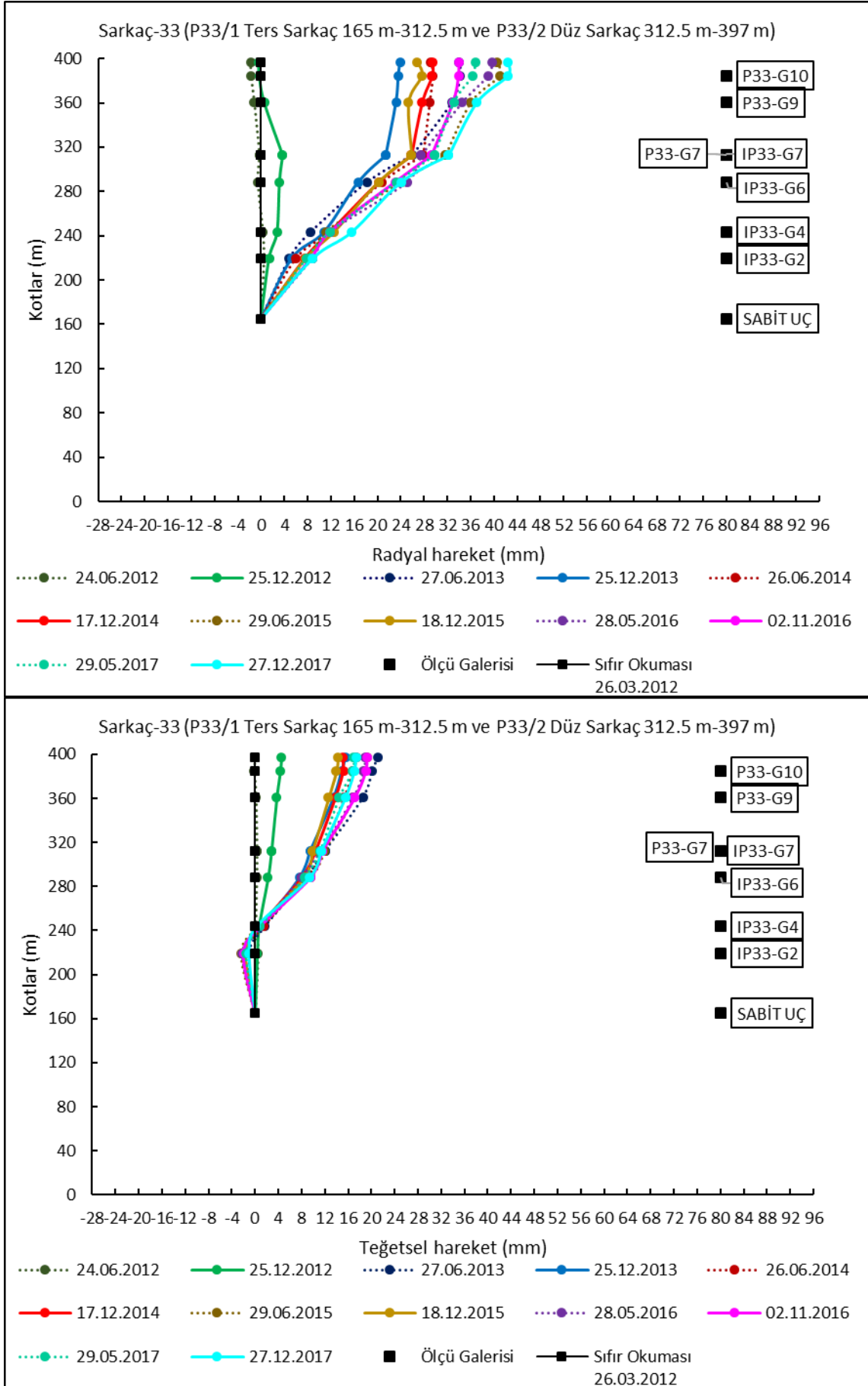
## EK 2 Sarkaç grafikleri





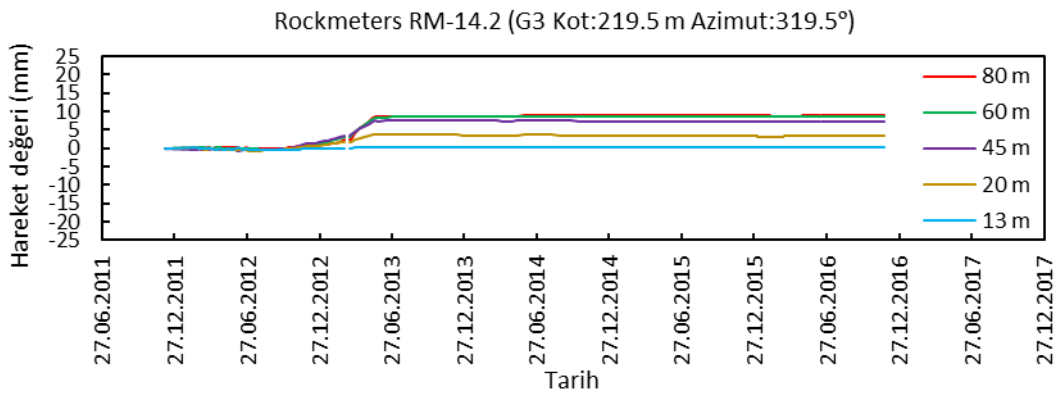
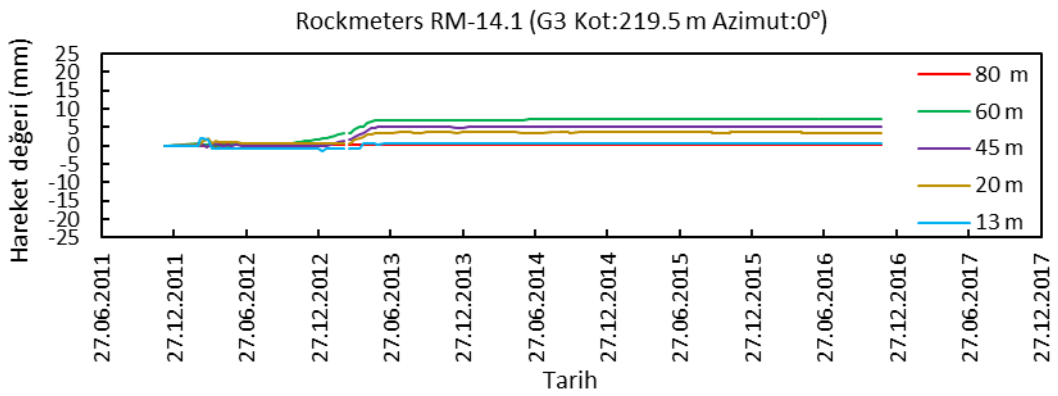
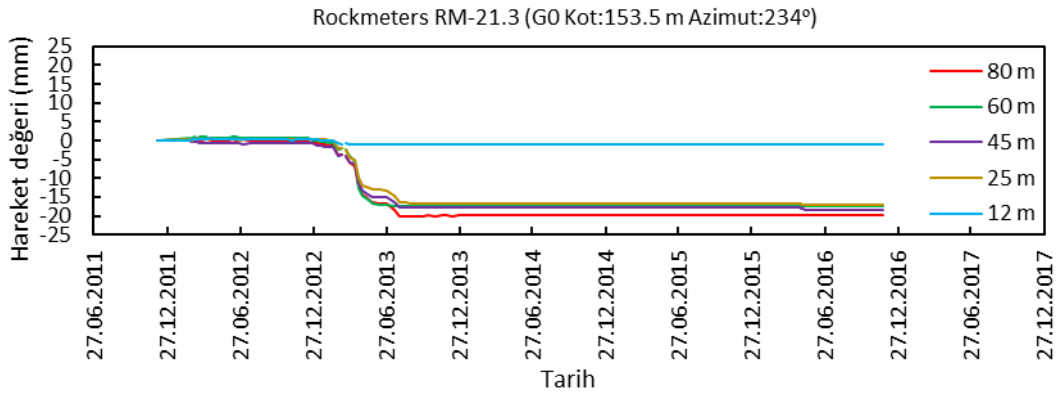
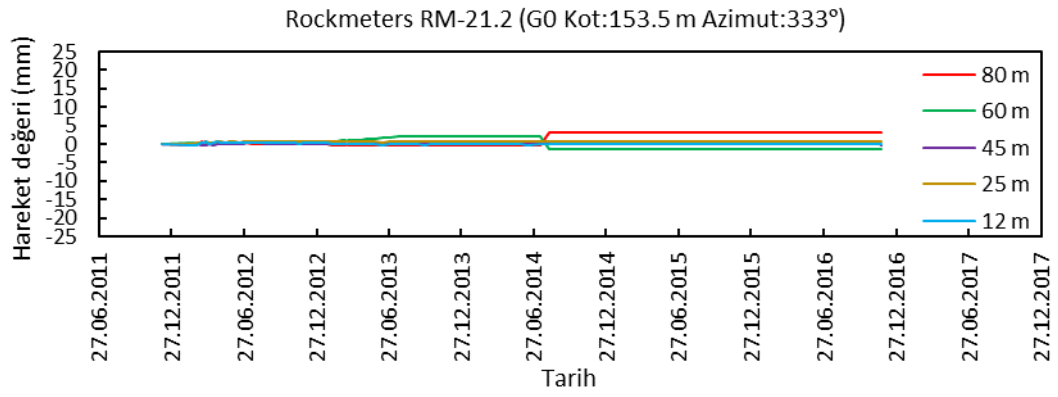


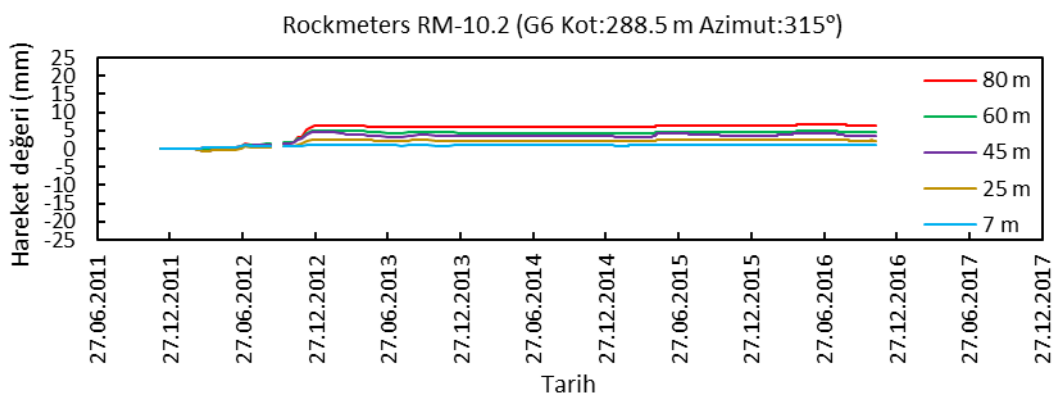
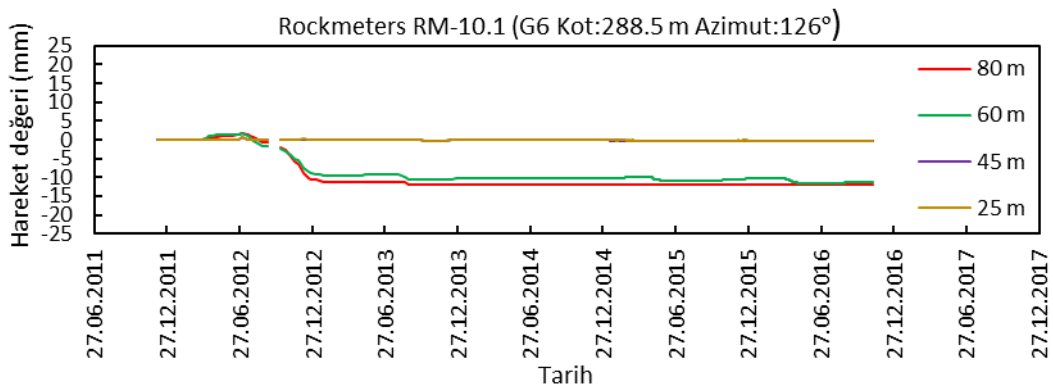
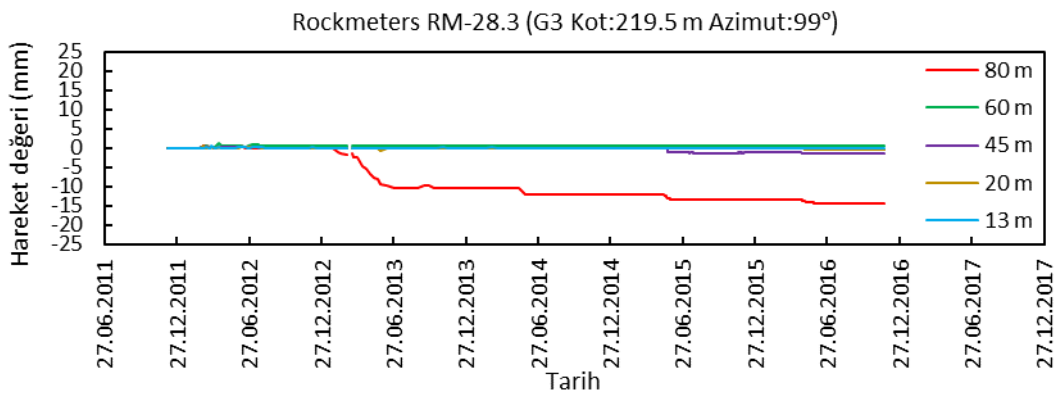
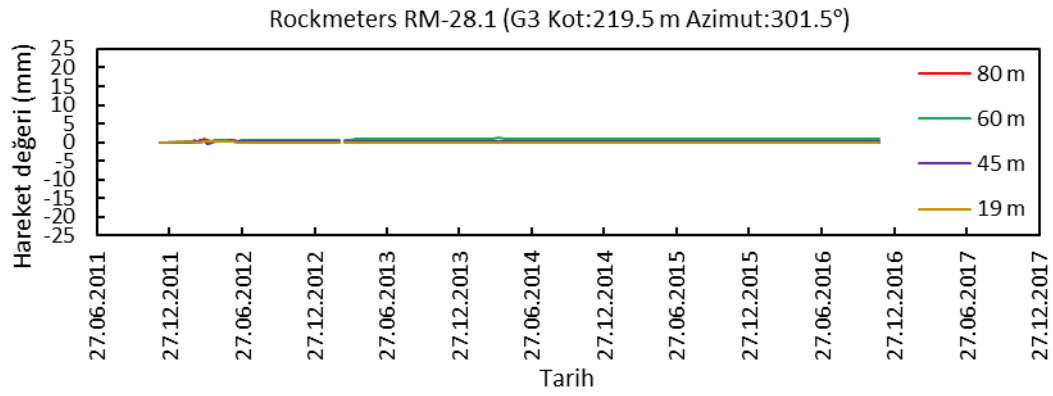


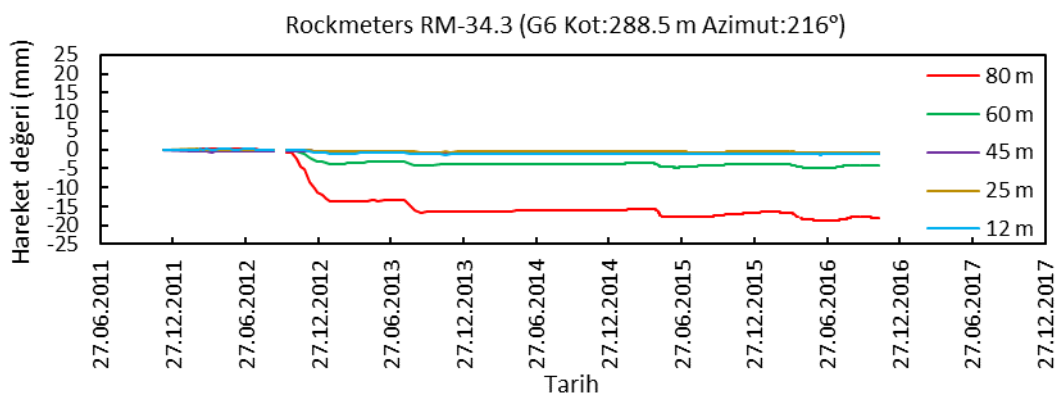
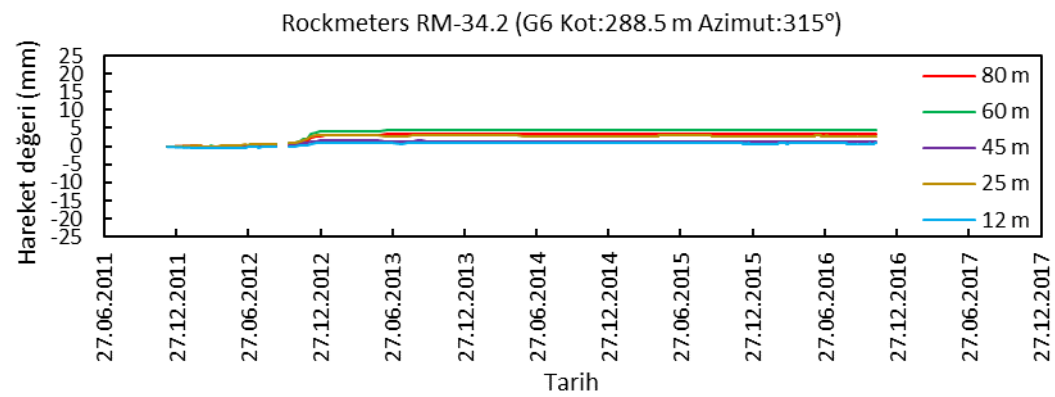
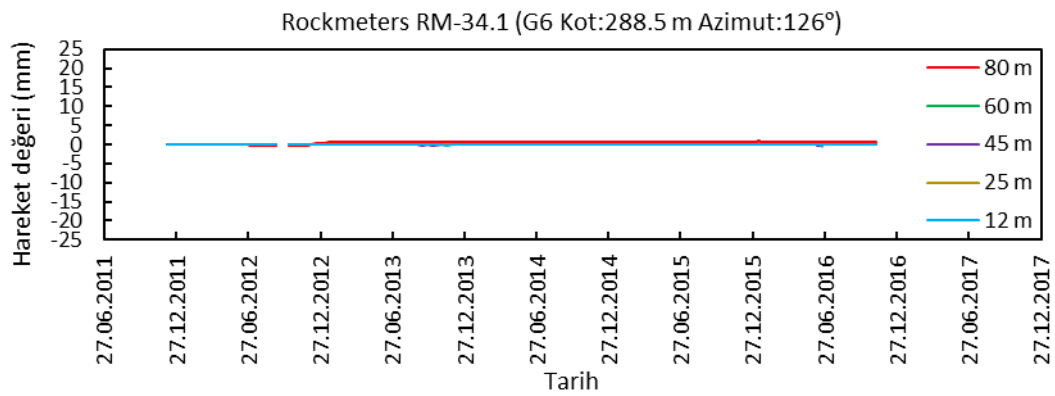
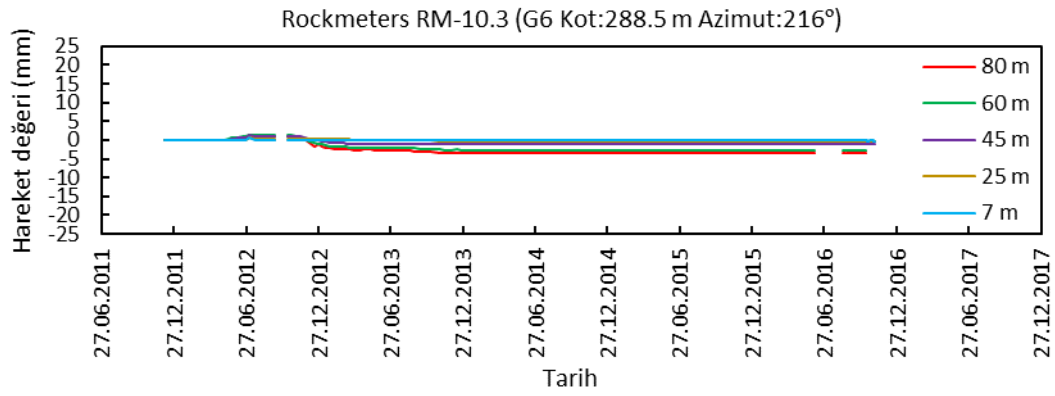


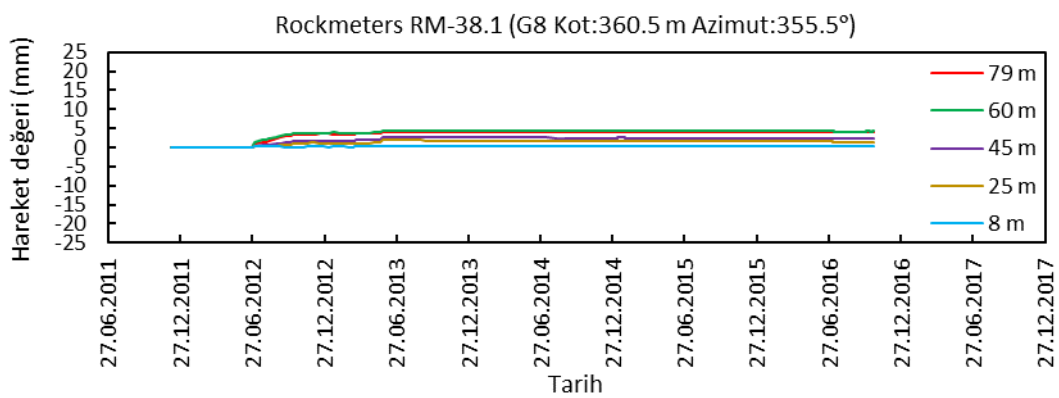
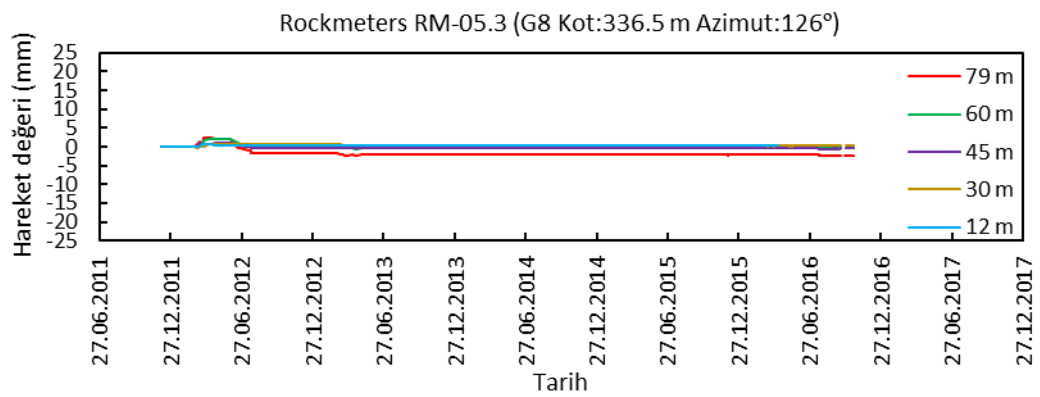
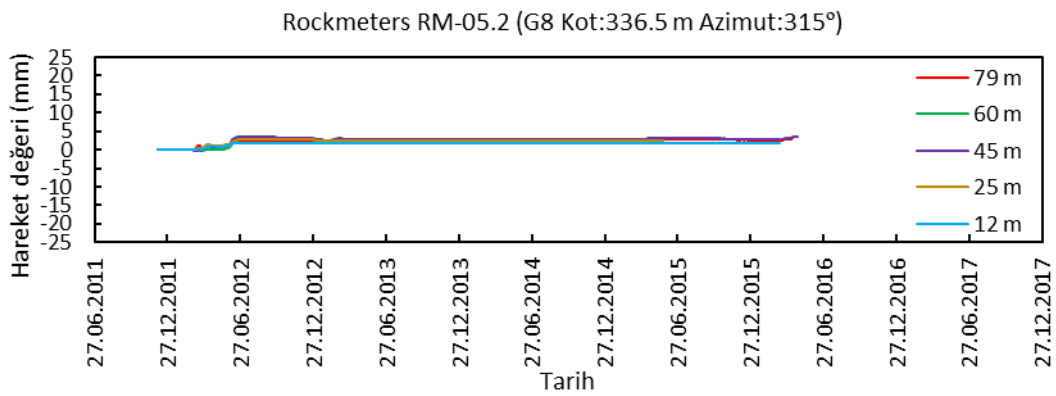
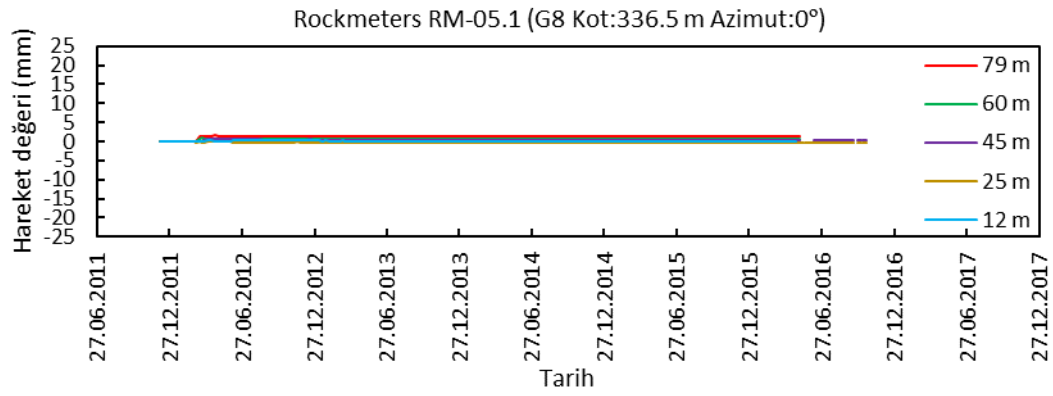
Şekil Ek 2. Sarkaç 3, 9, 15, 27 ve 33'e ait radyal ve teğetsel hareket verileri

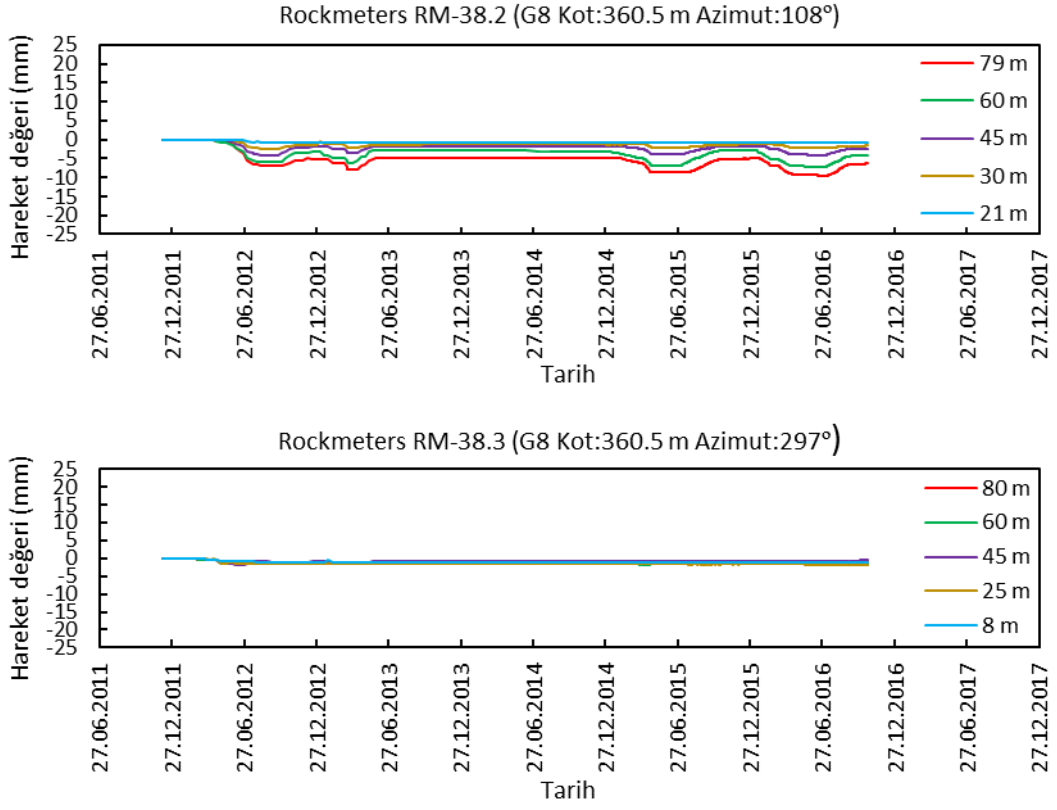
### EK 3 Rockmetre grafikleri





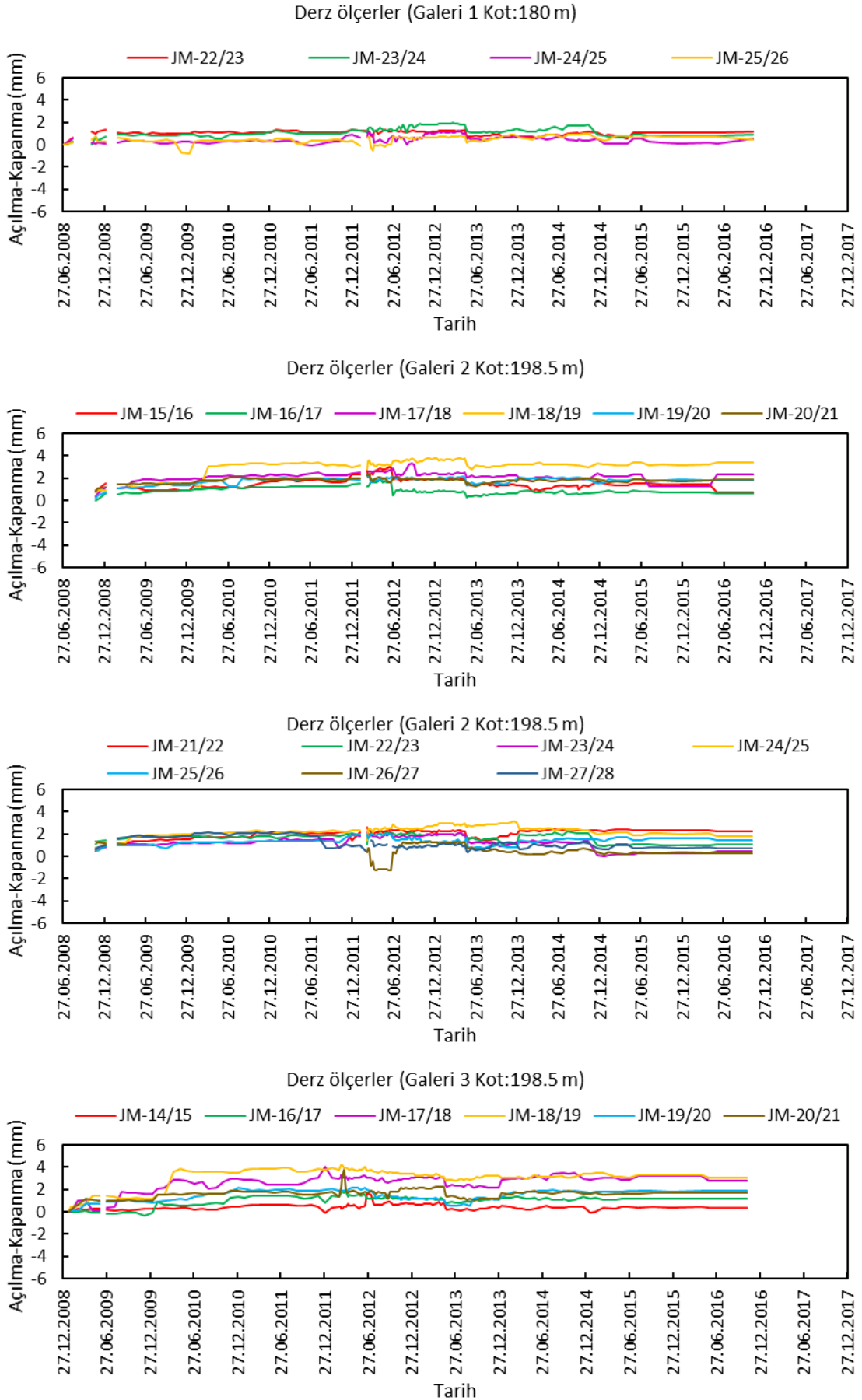


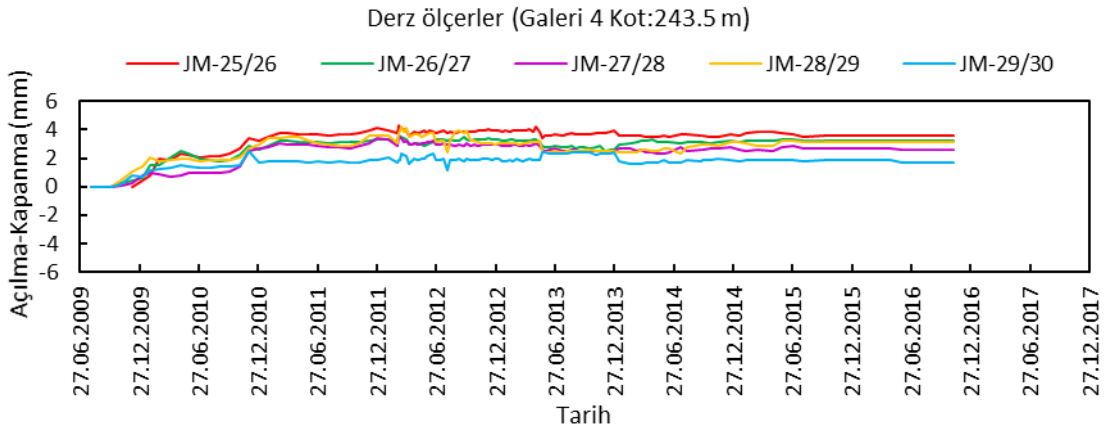
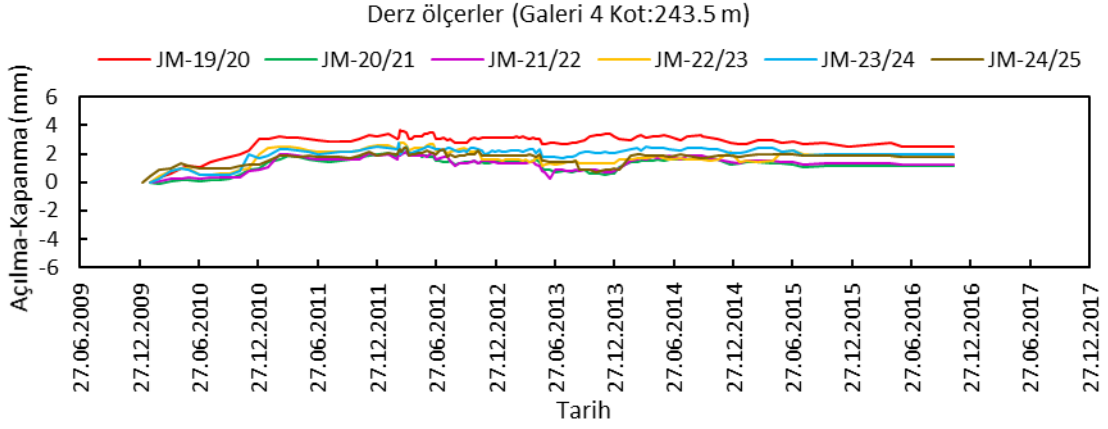
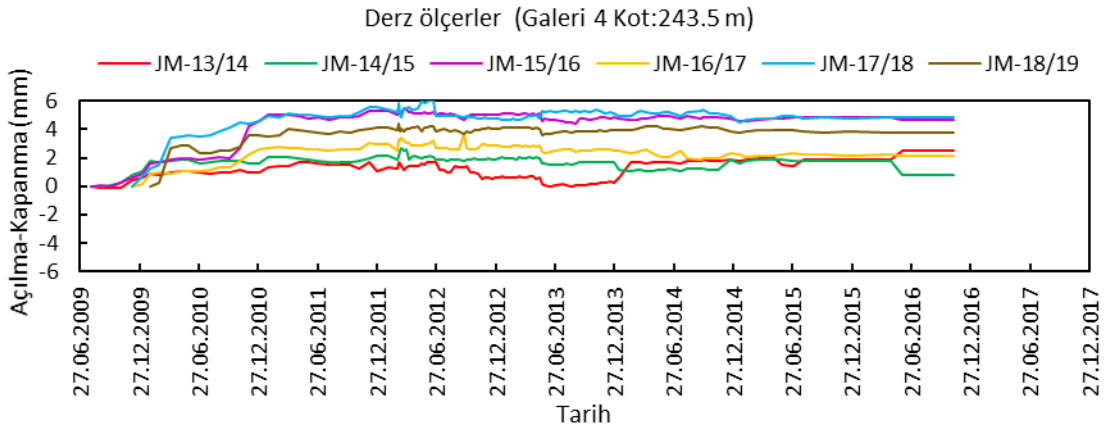
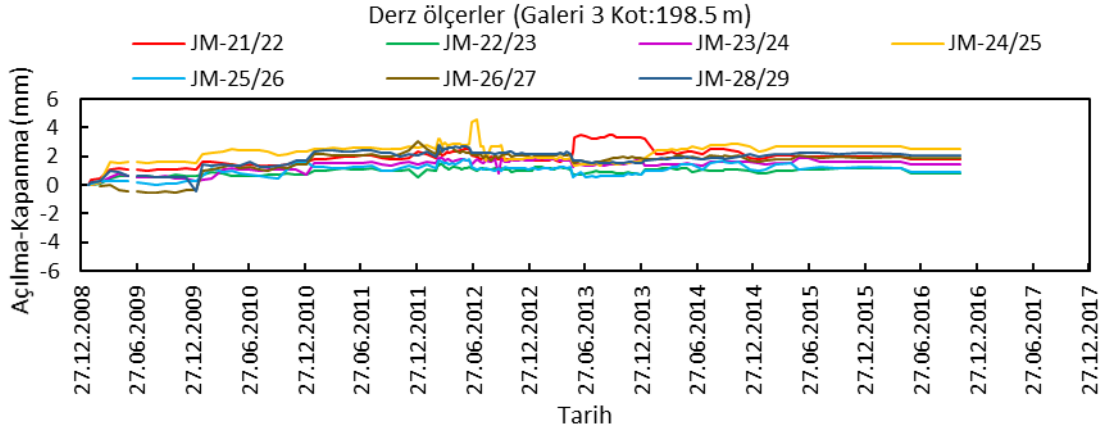


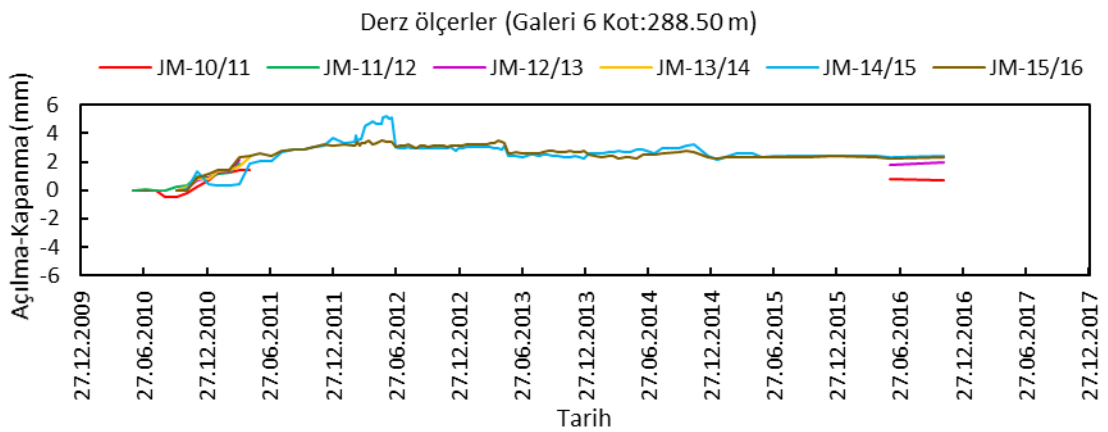
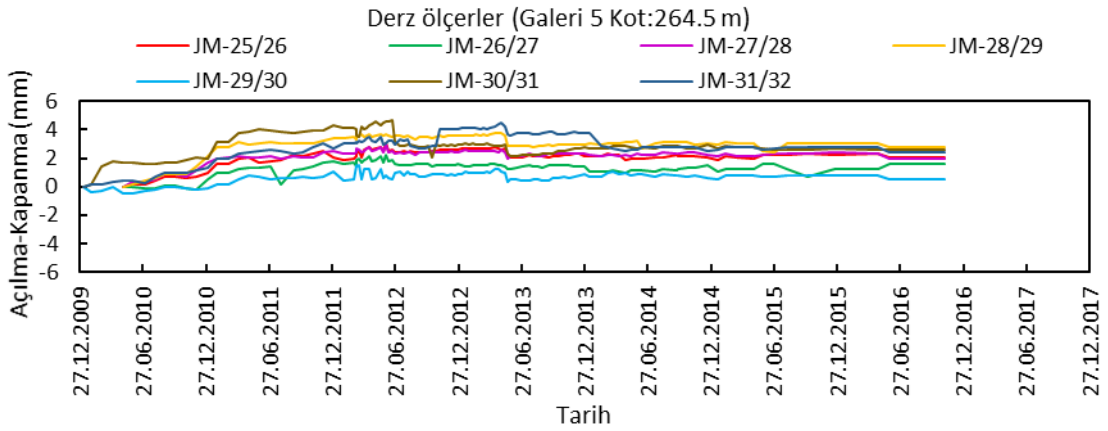
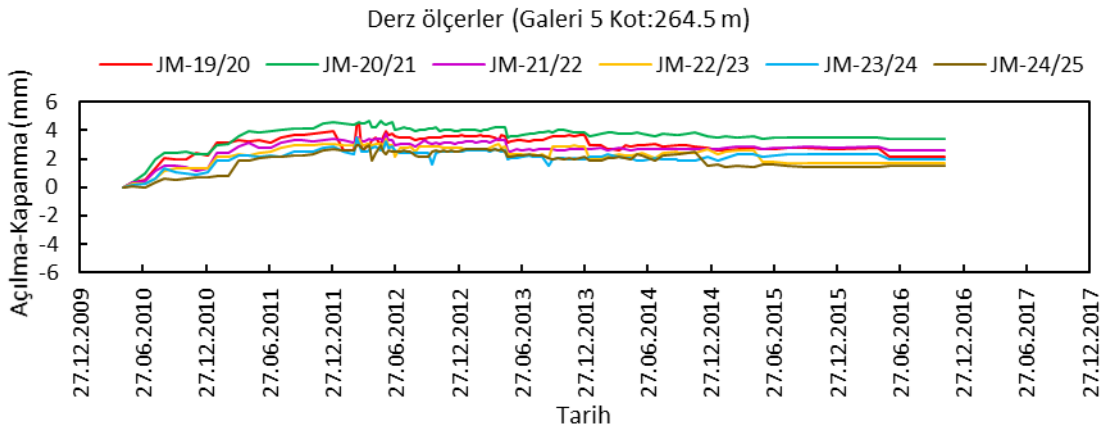
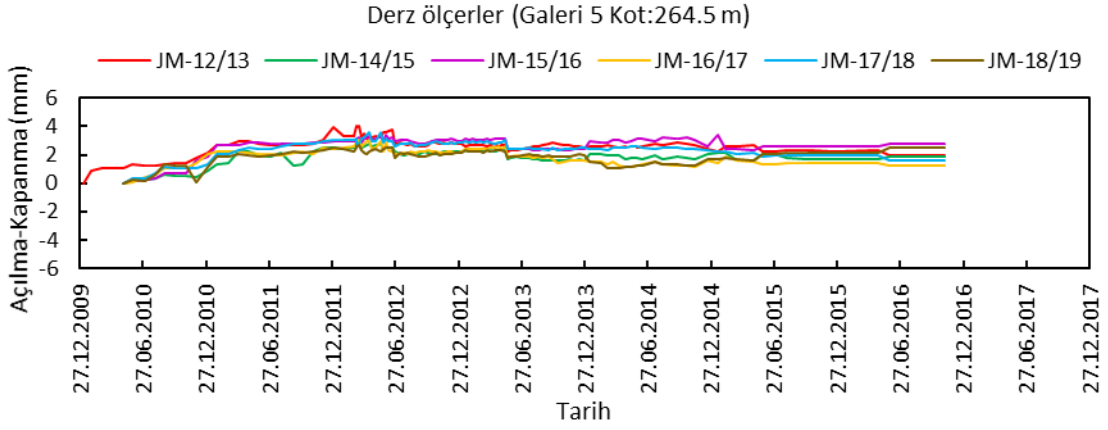


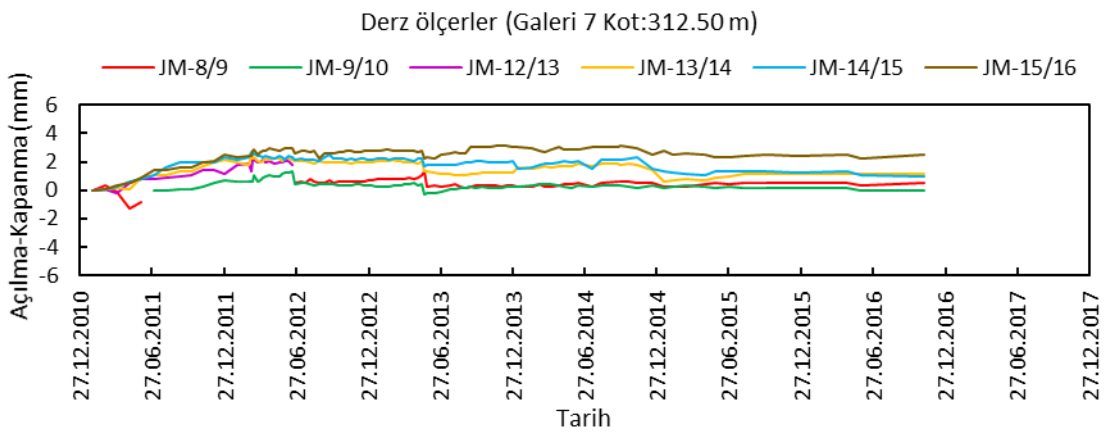
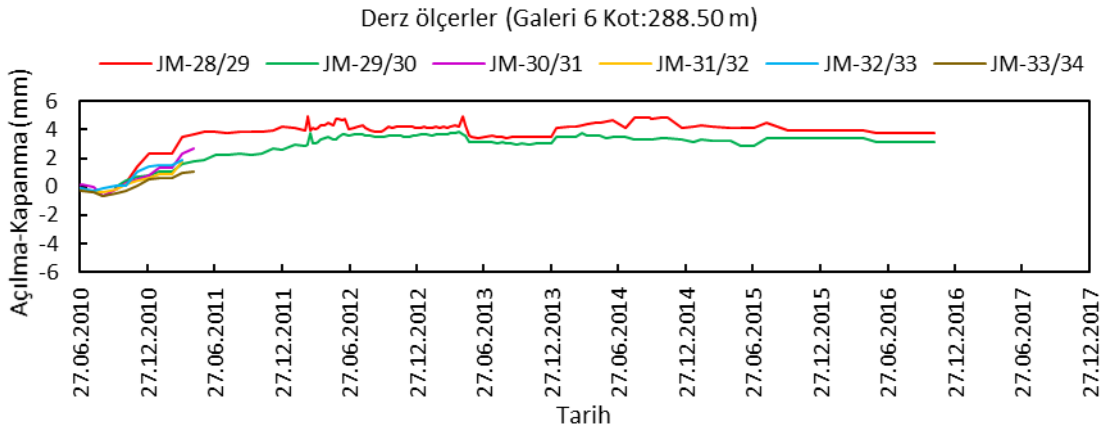
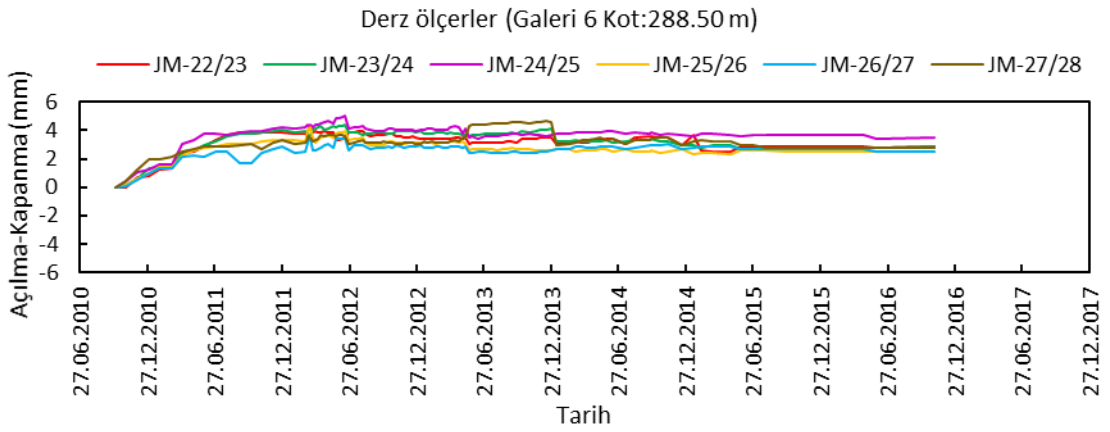
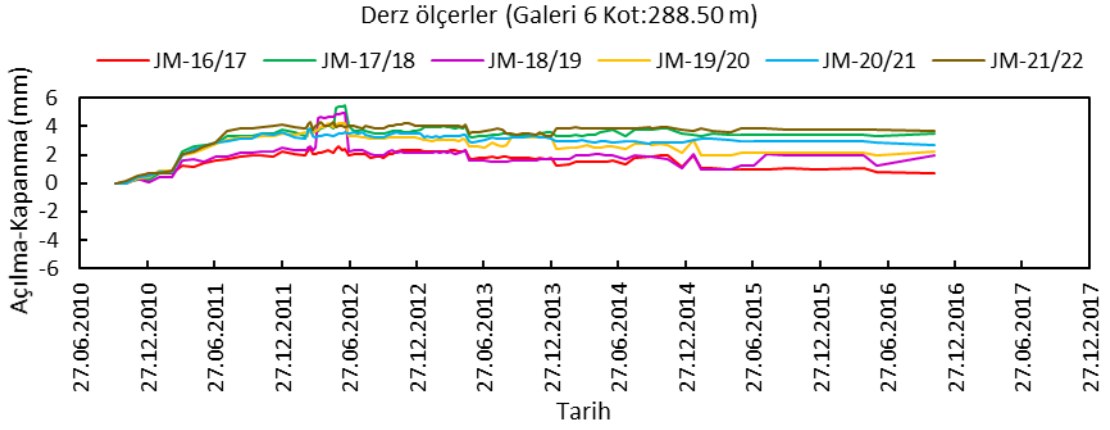
**Şekil Ek 3. Rockmetrelere ait hareket verileri**

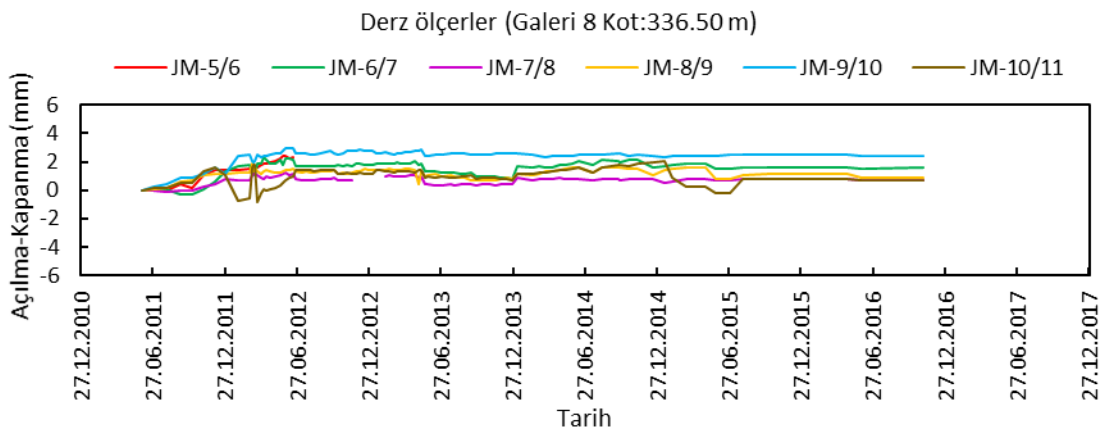
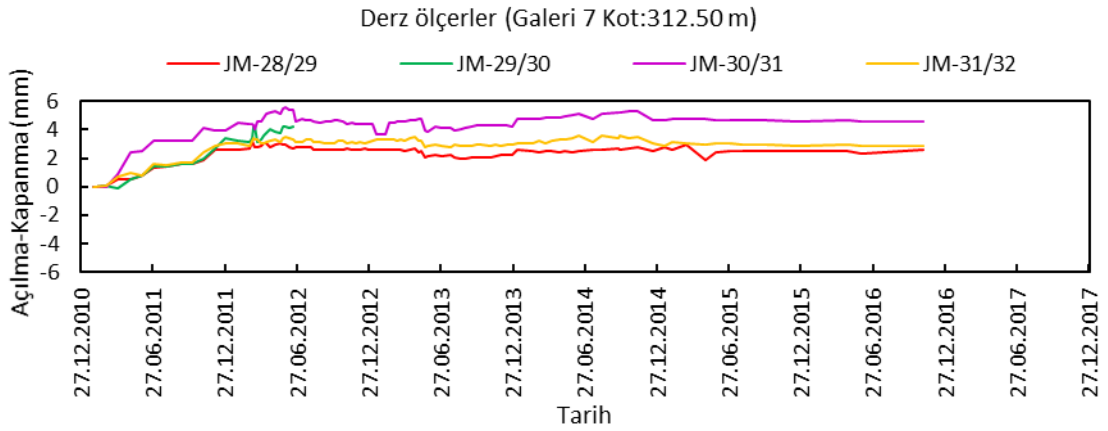
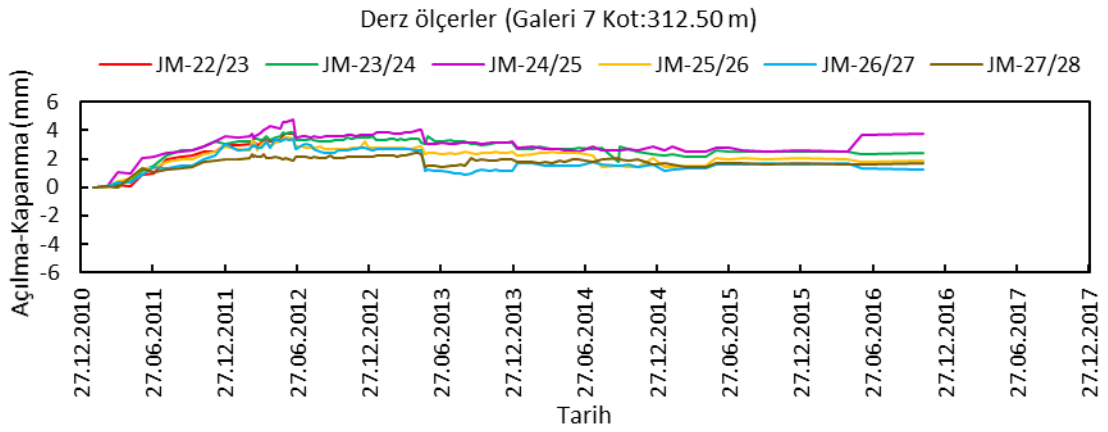
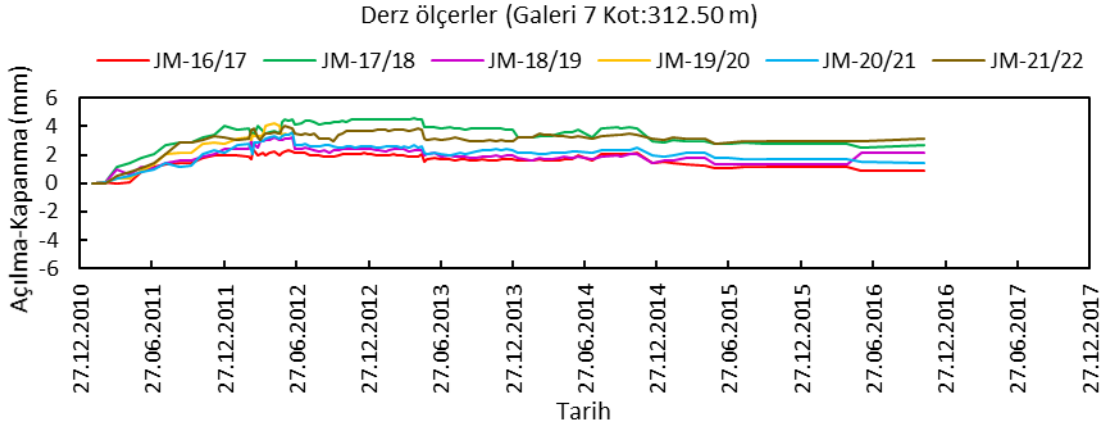
#### EK 4 Tek boyutlu ve üç boyutlu derz ölçer grafikleri

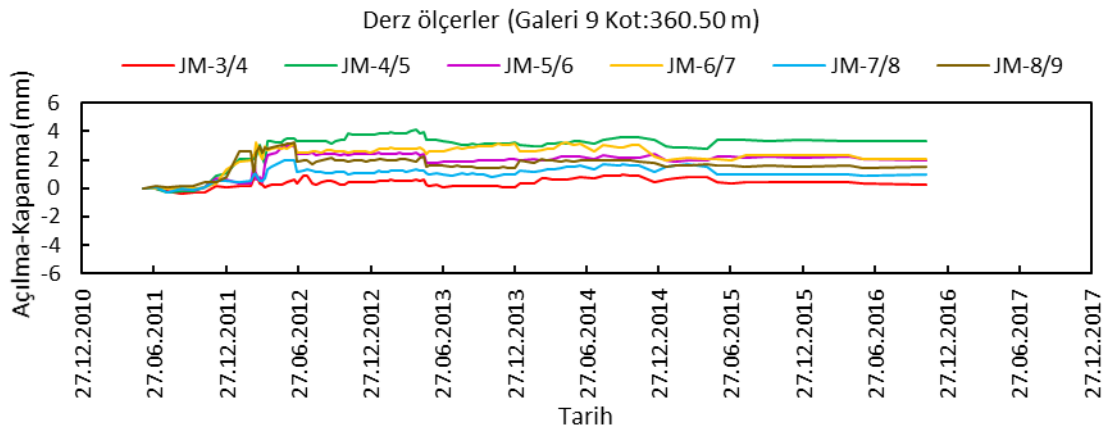
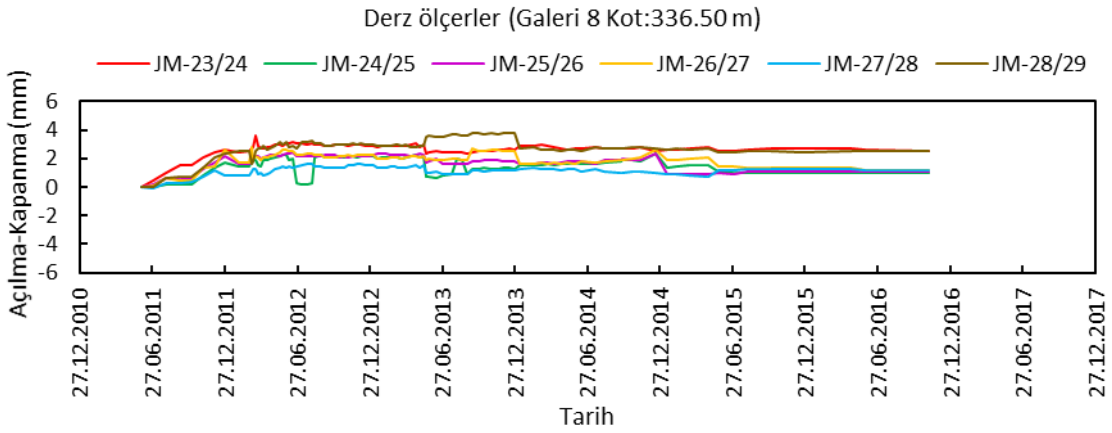
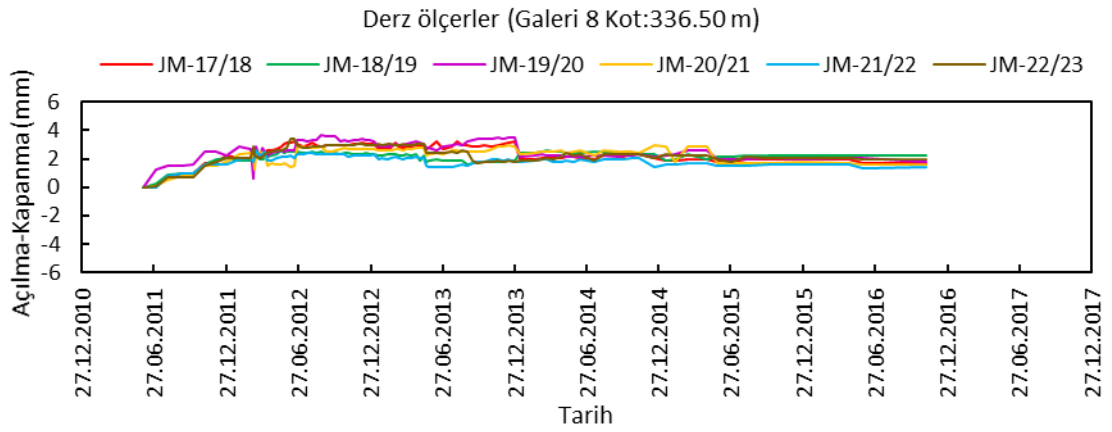
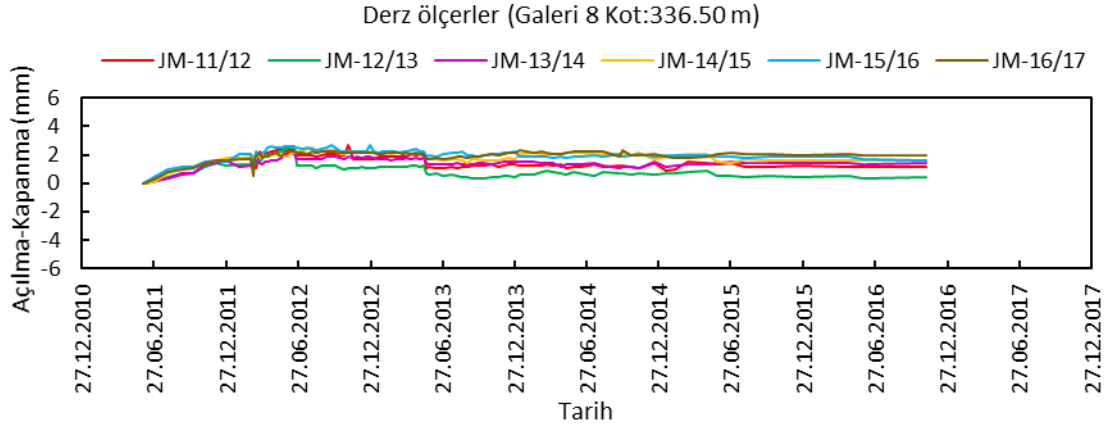


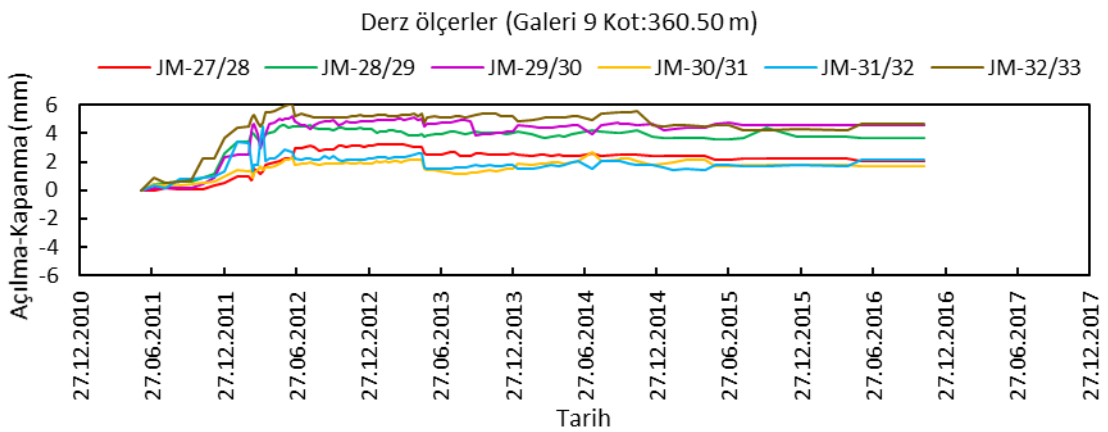
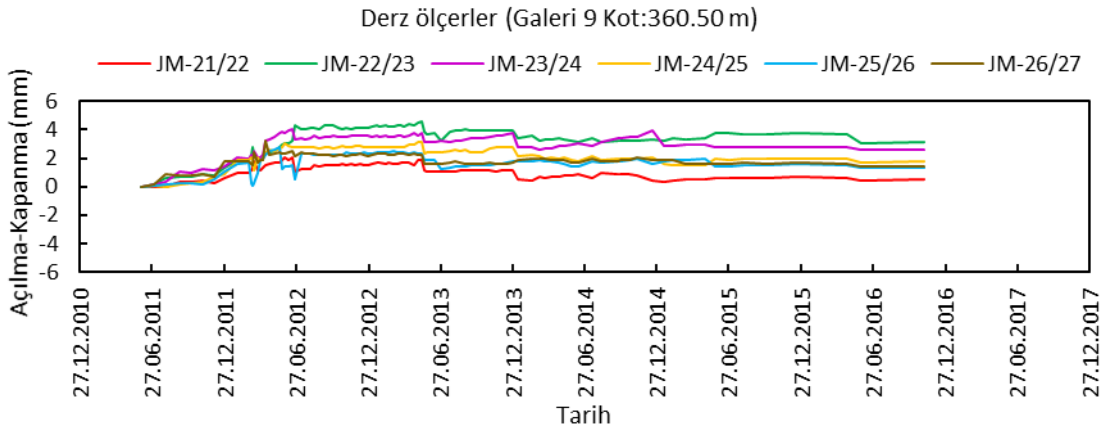
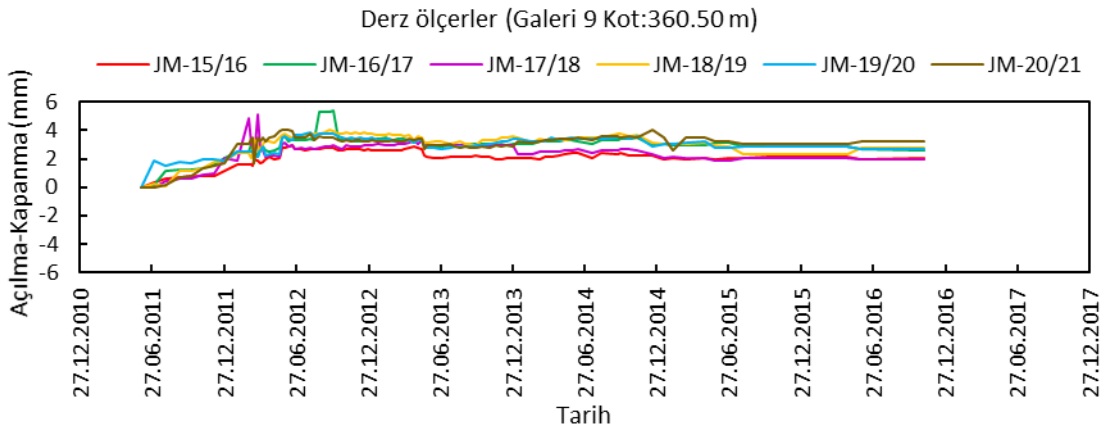
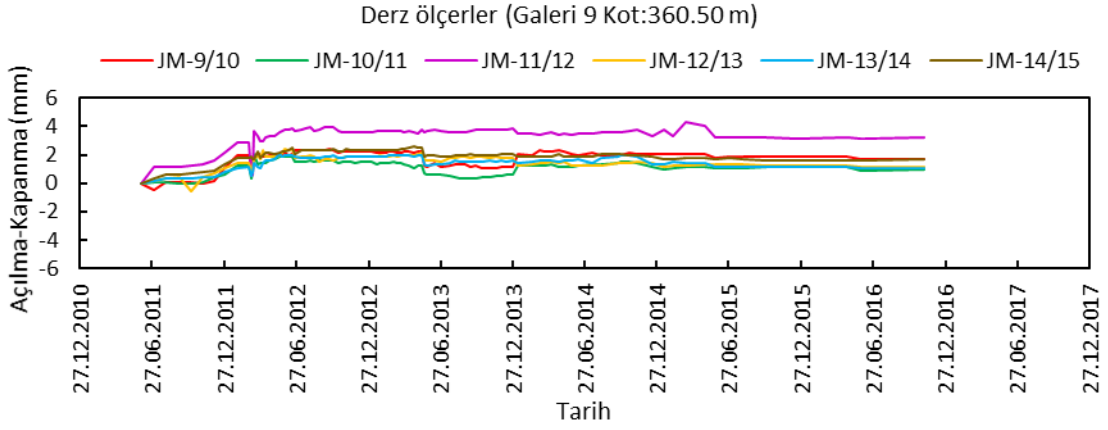


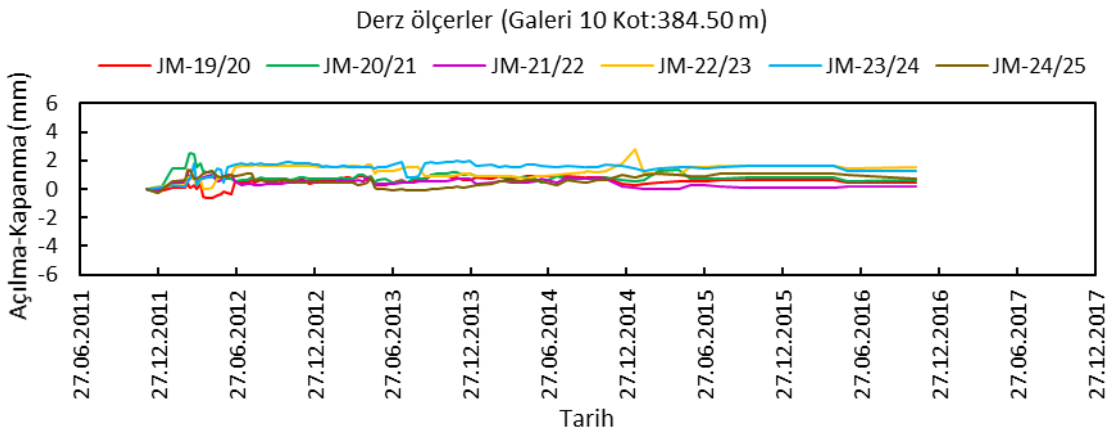
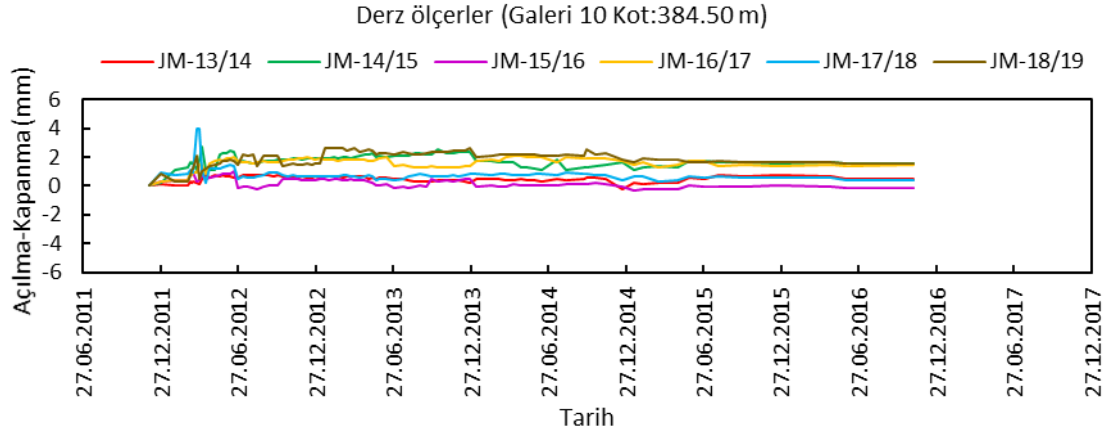
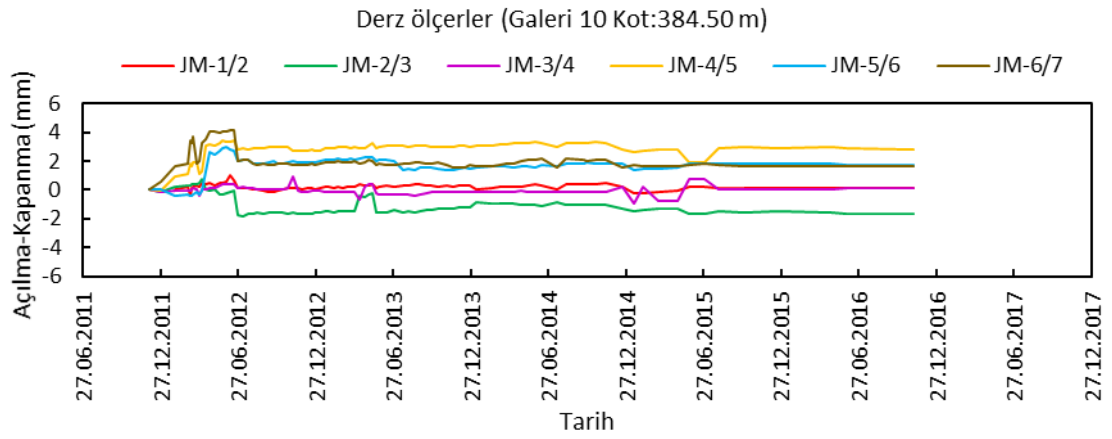
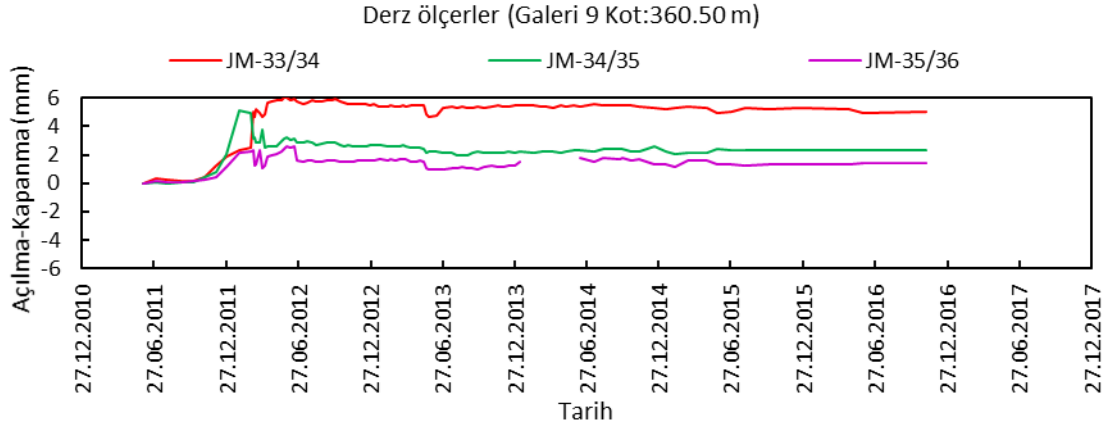


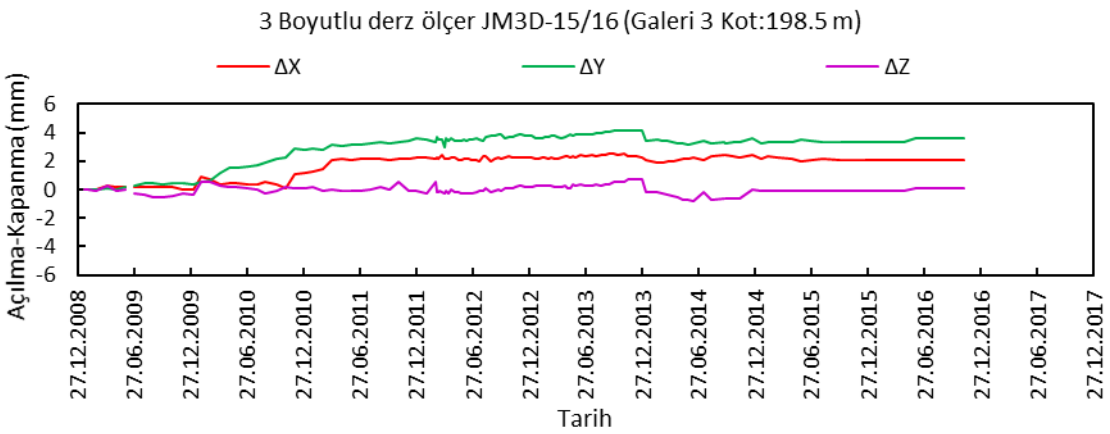
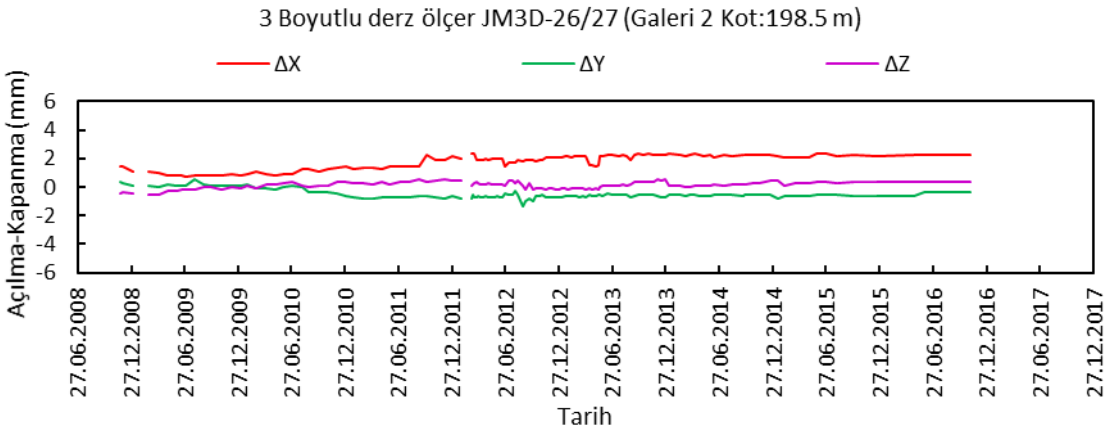
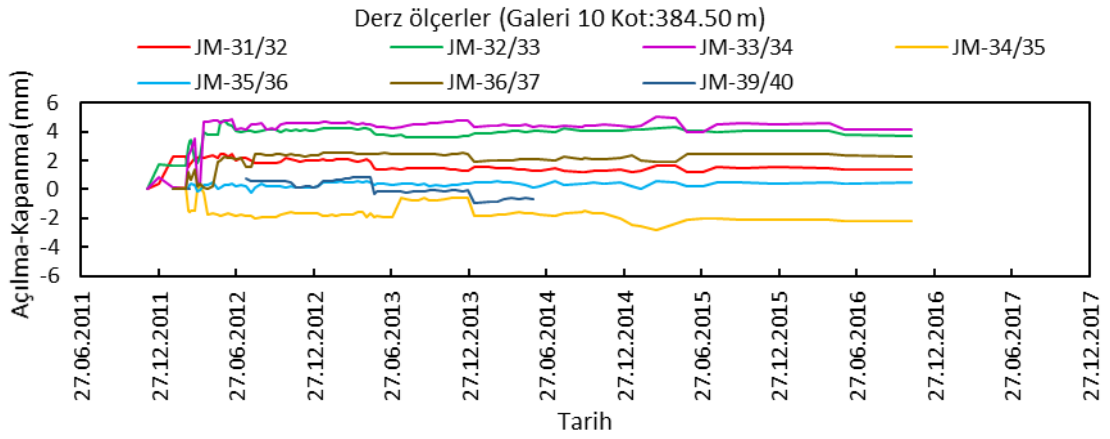
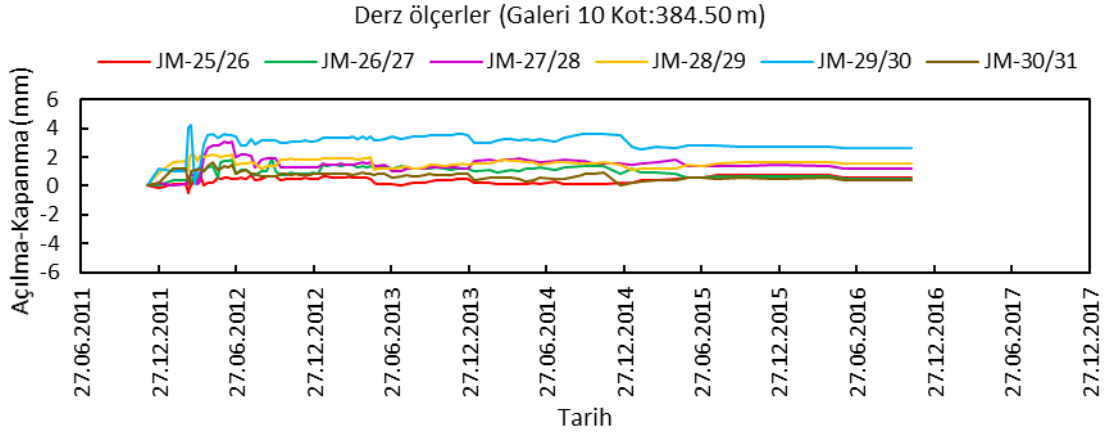


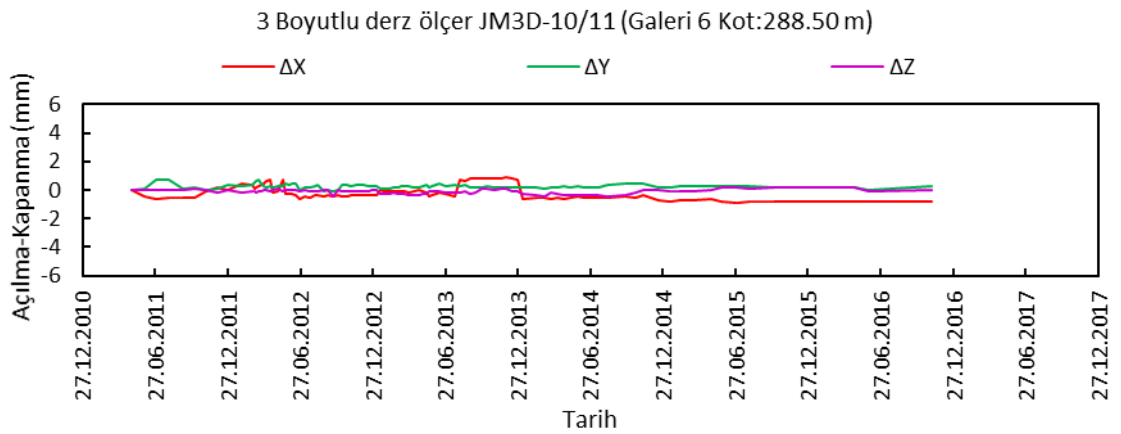
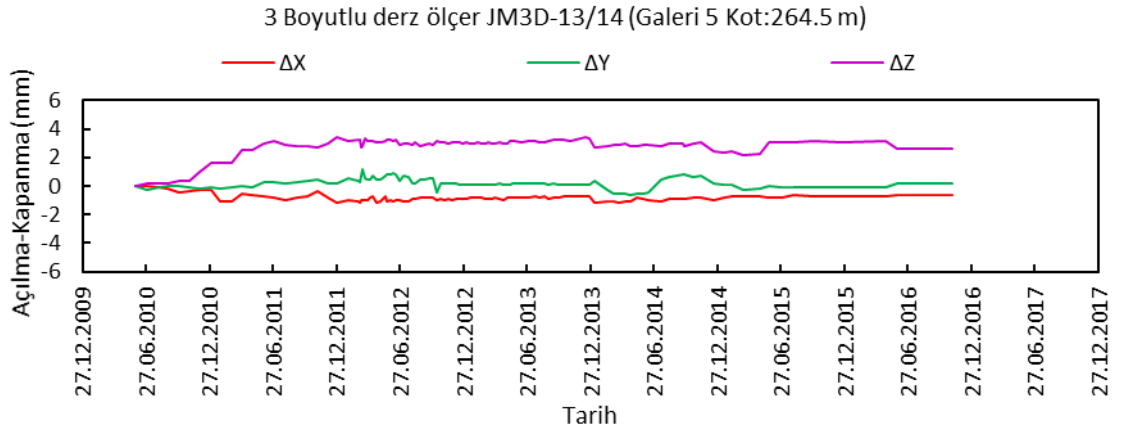
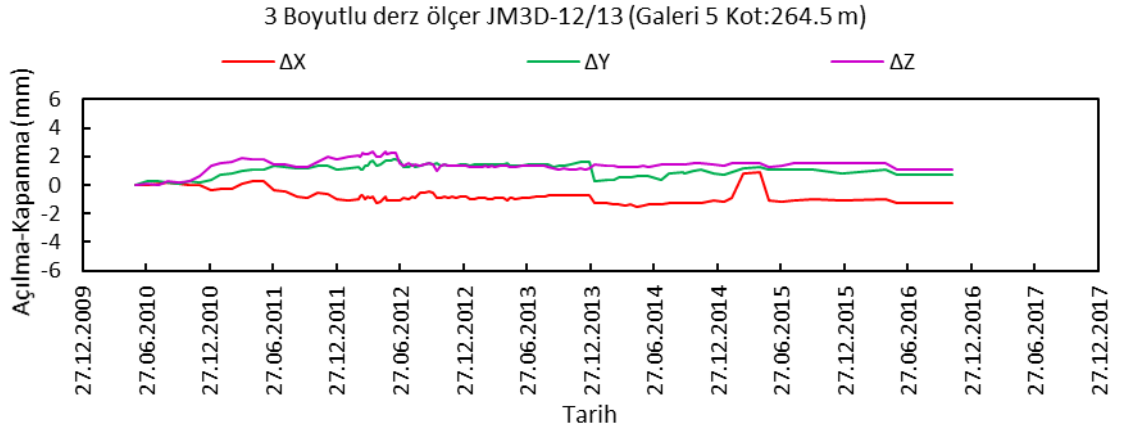
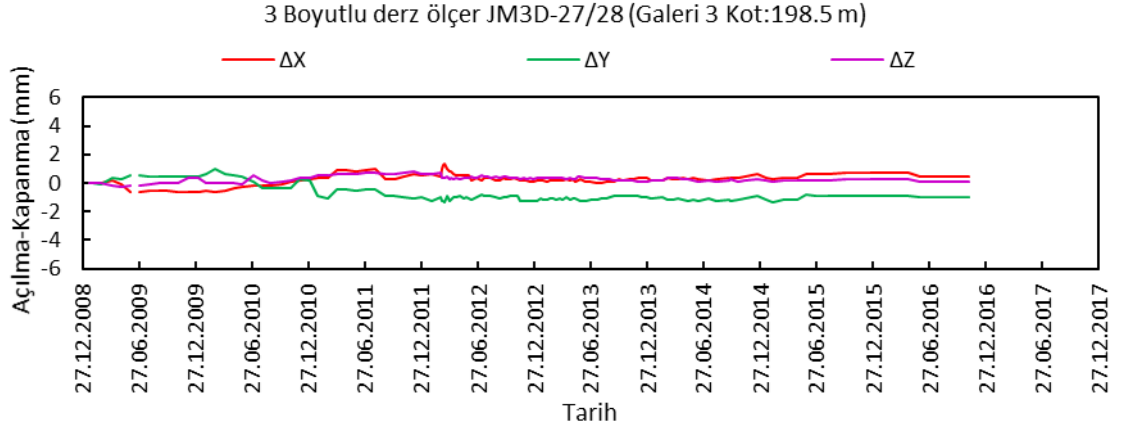


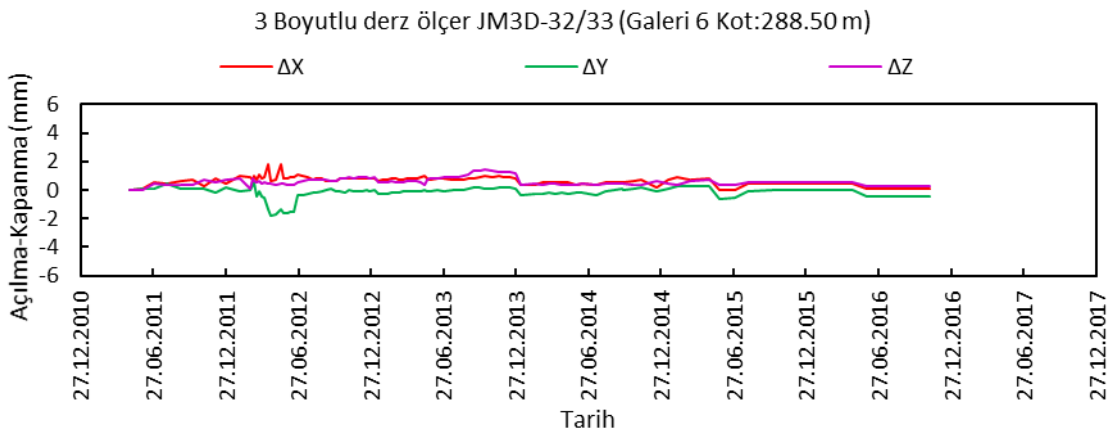
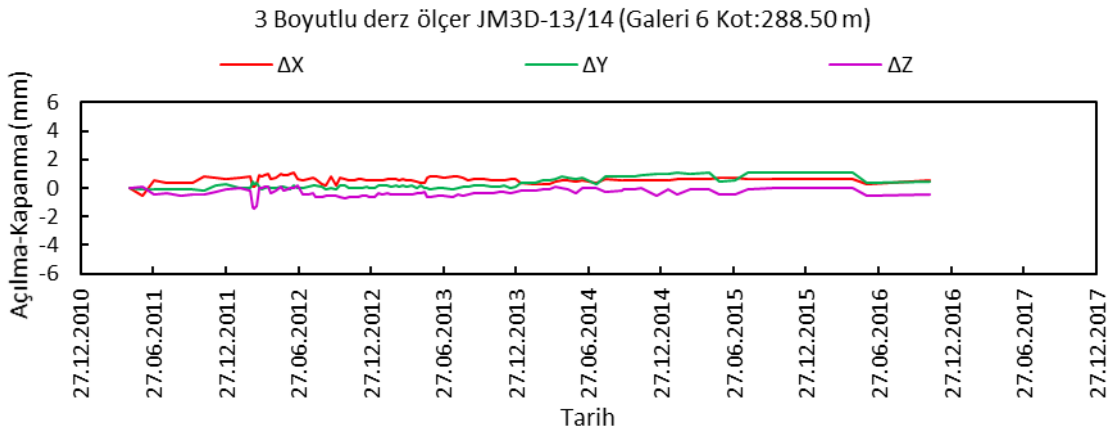
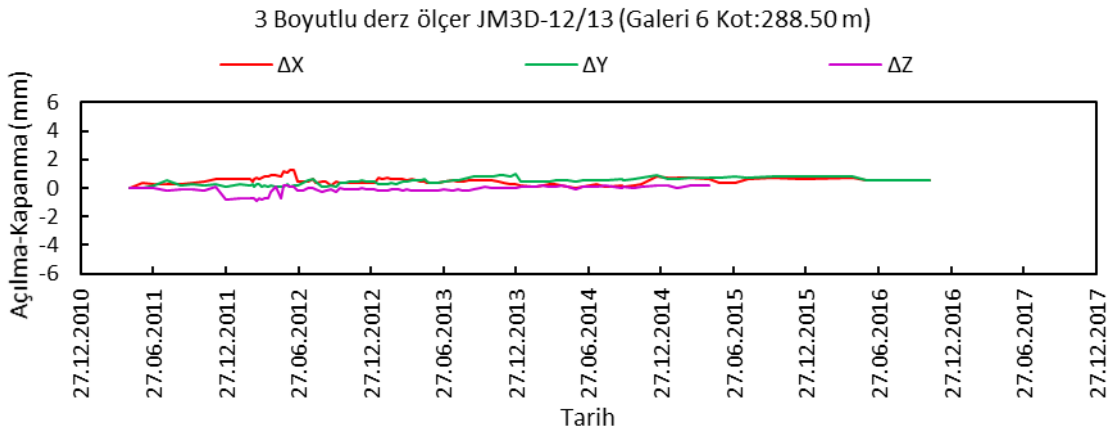
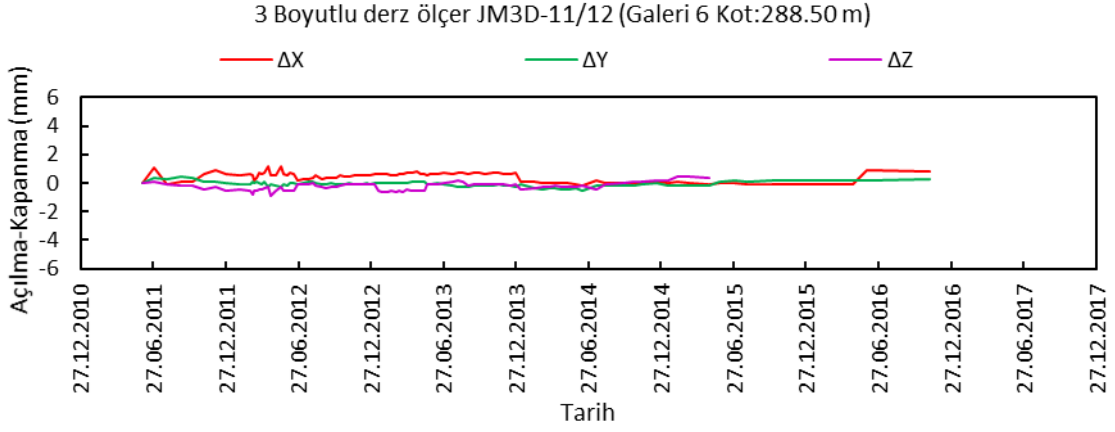


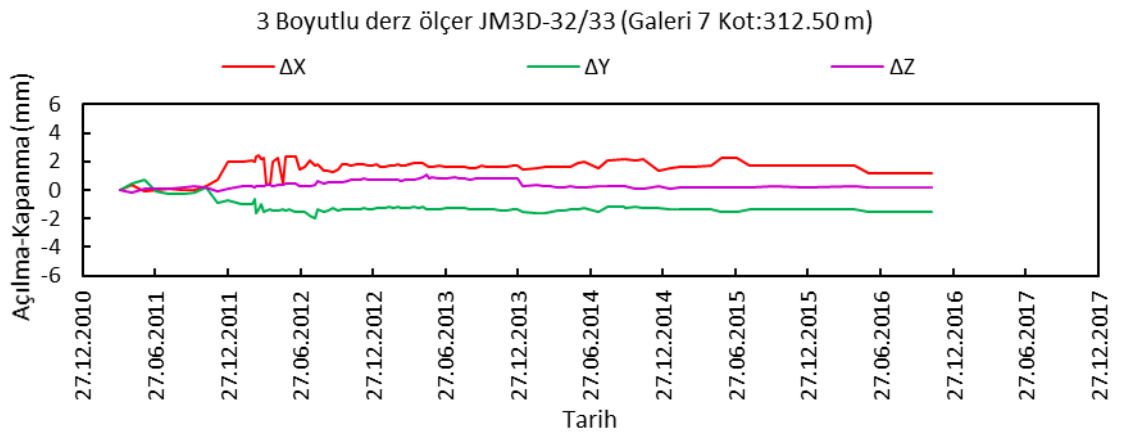
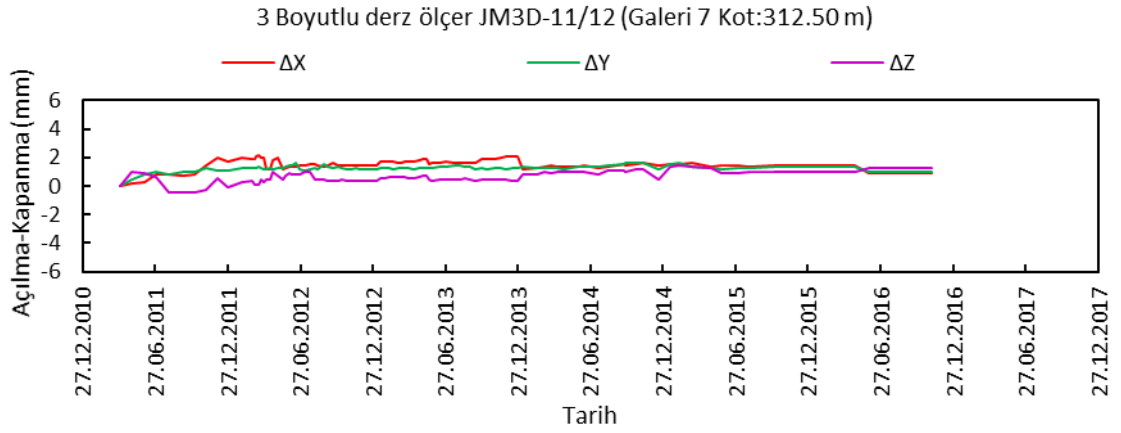
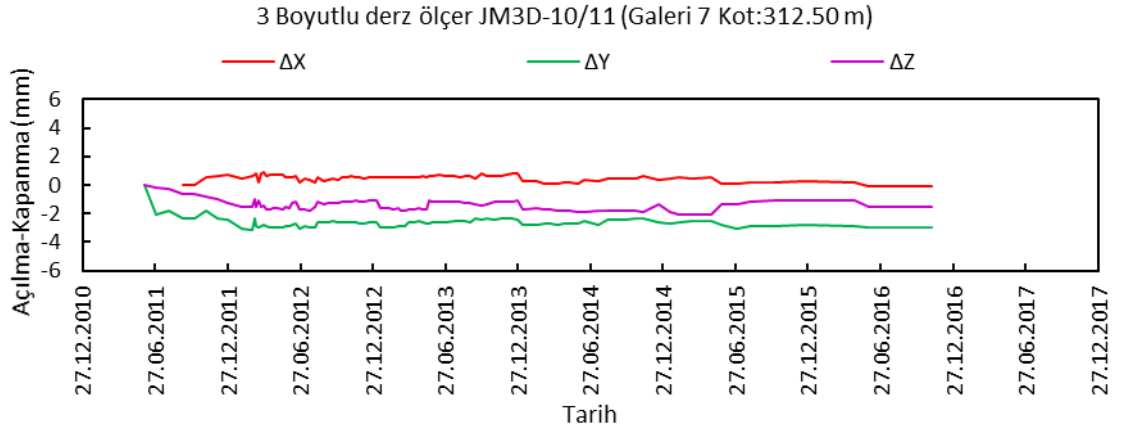
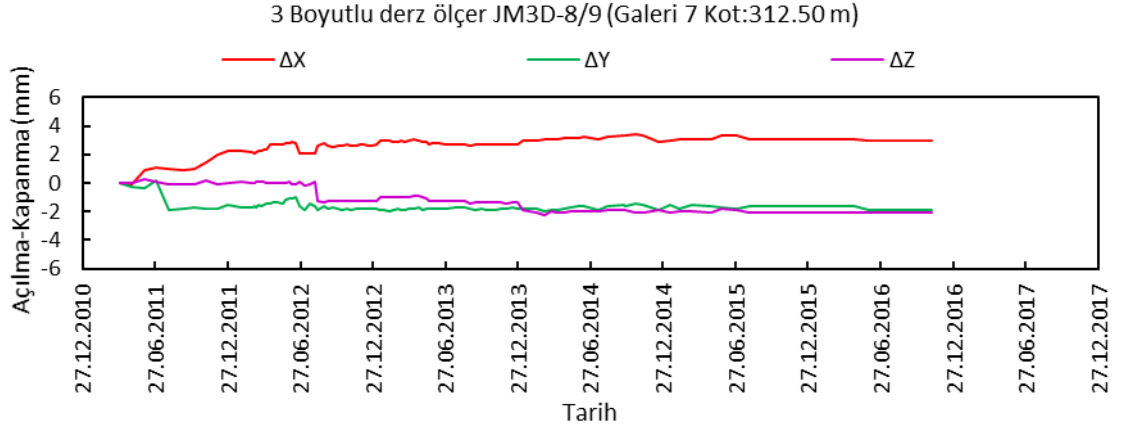


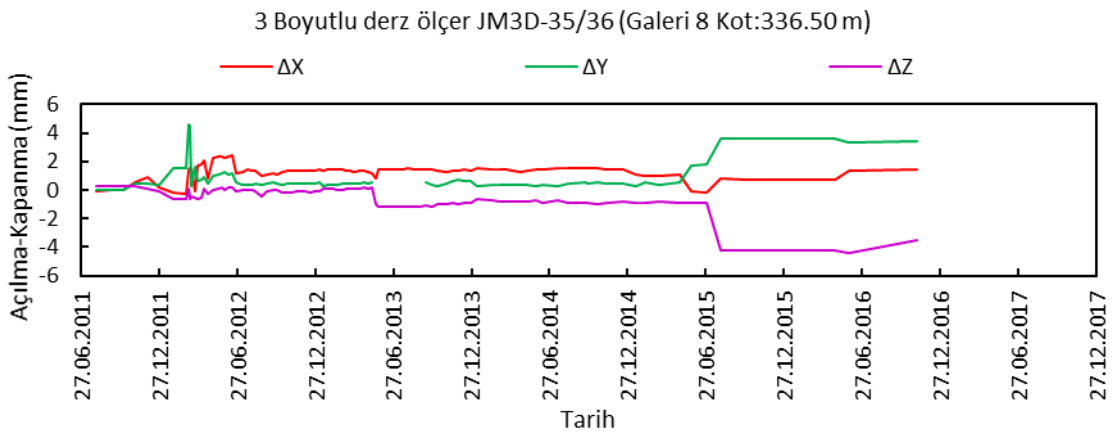
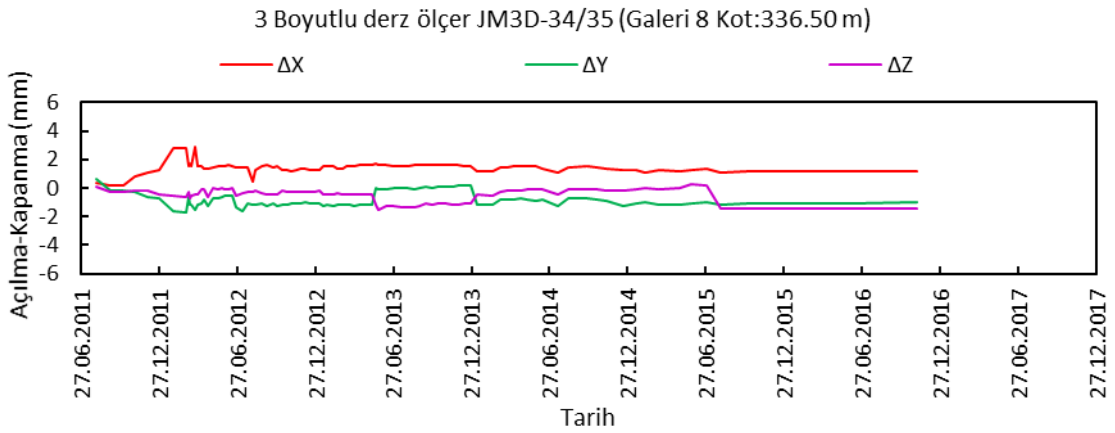
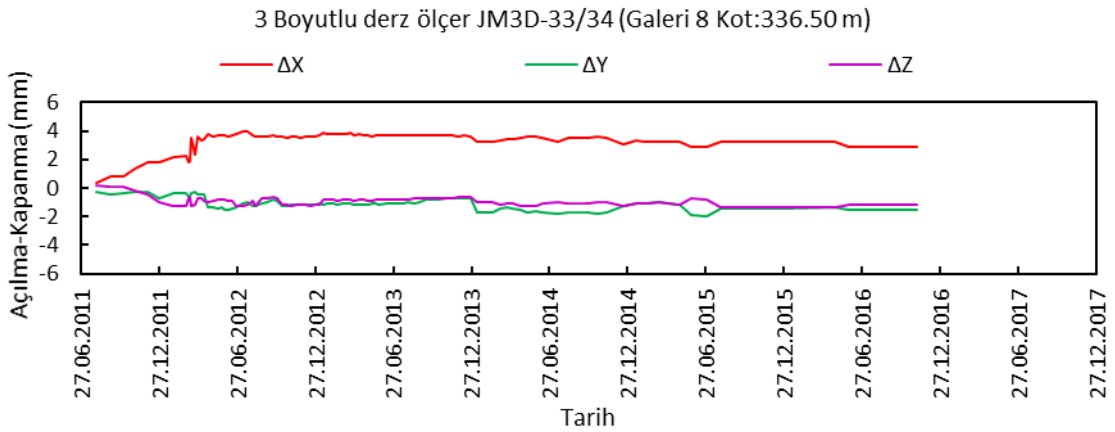
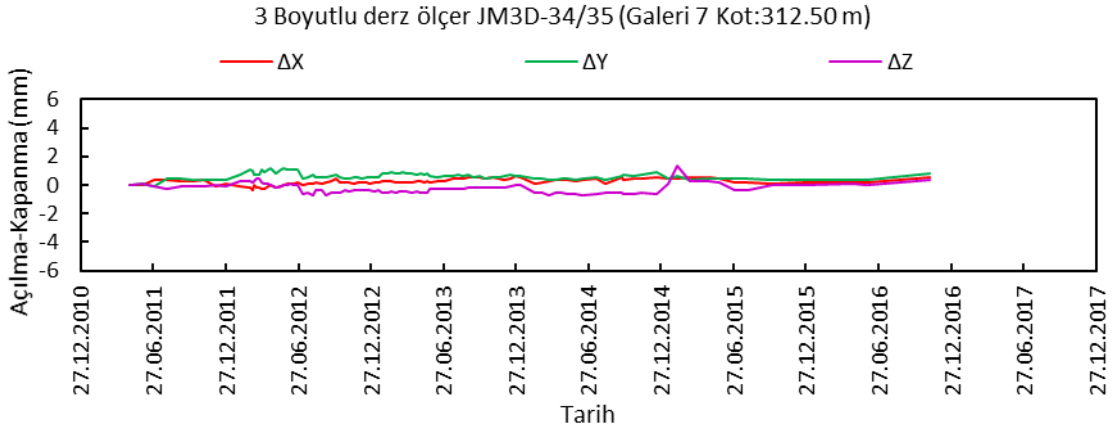


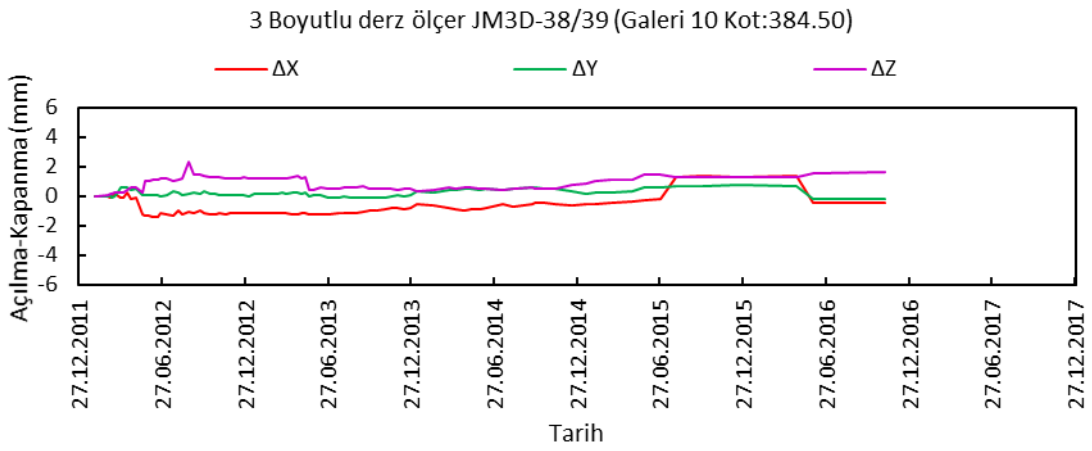
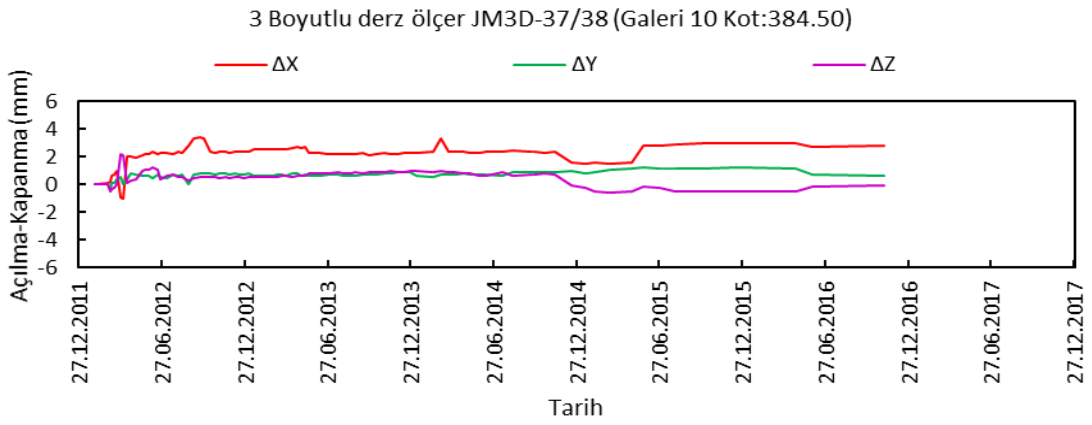
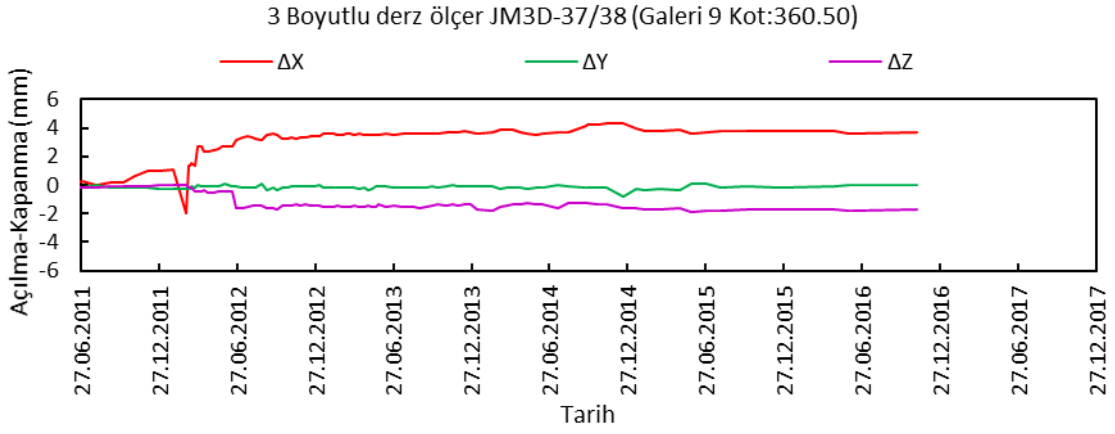






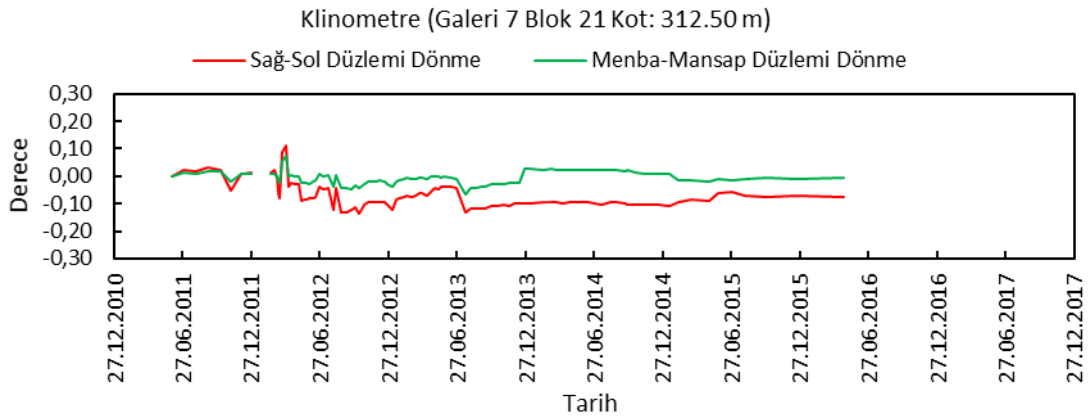
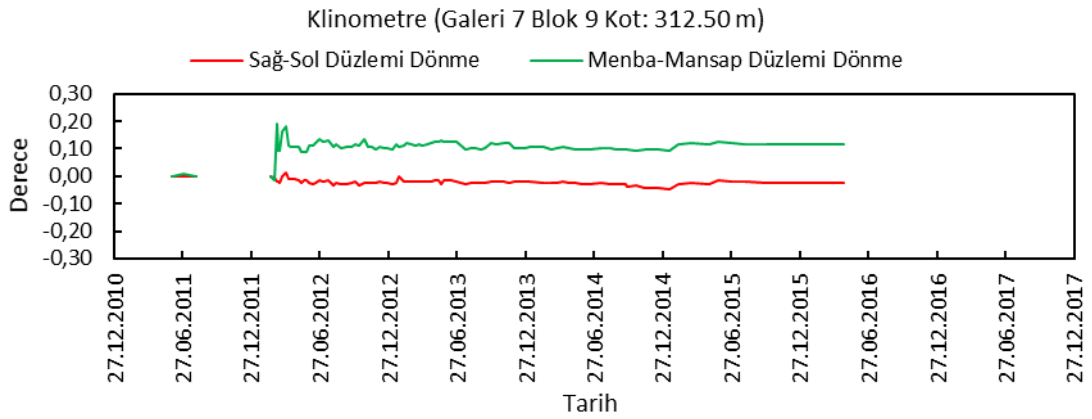
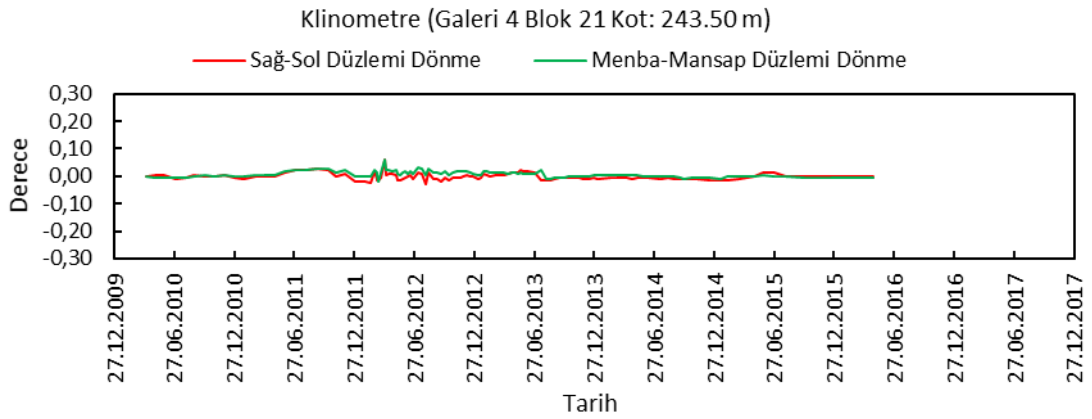
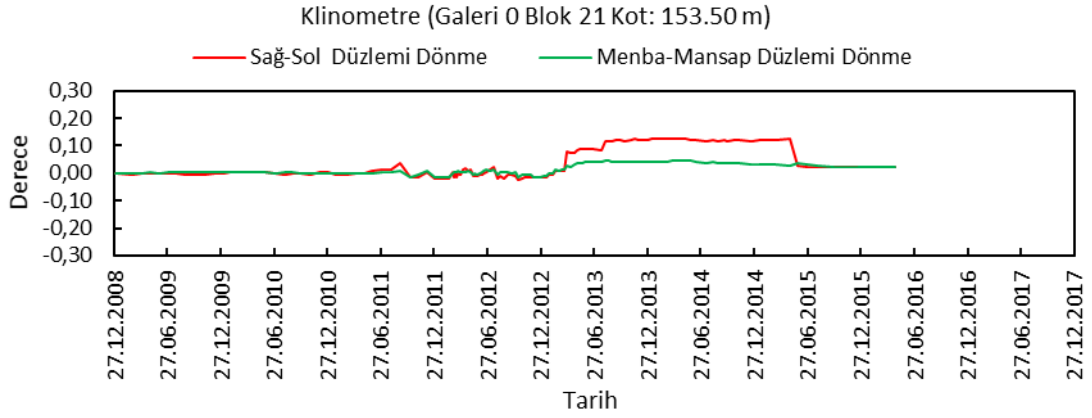


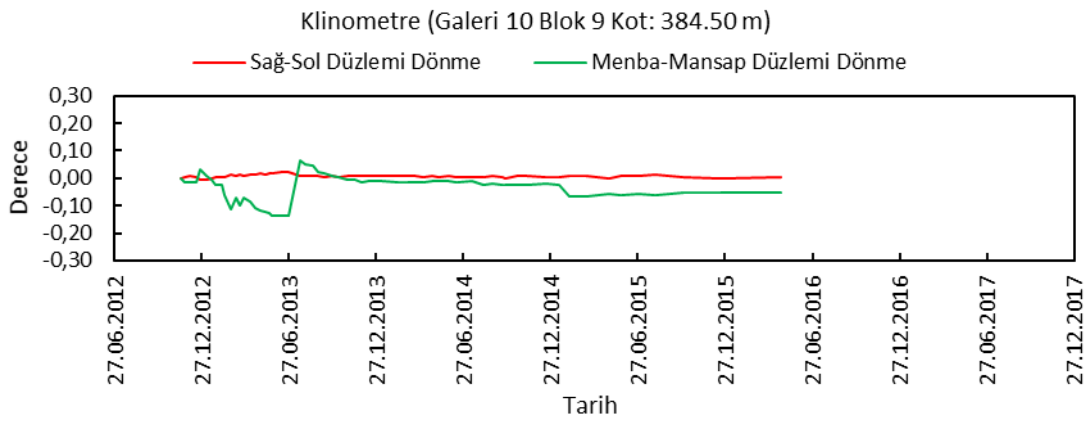
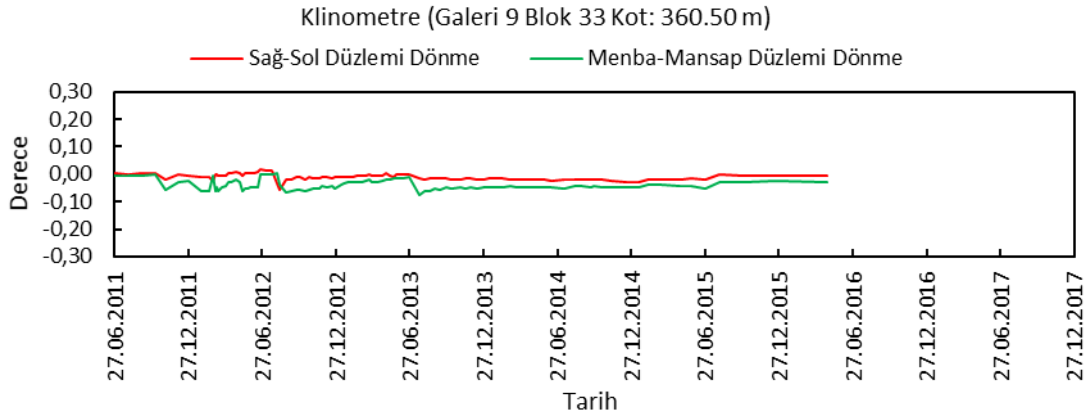
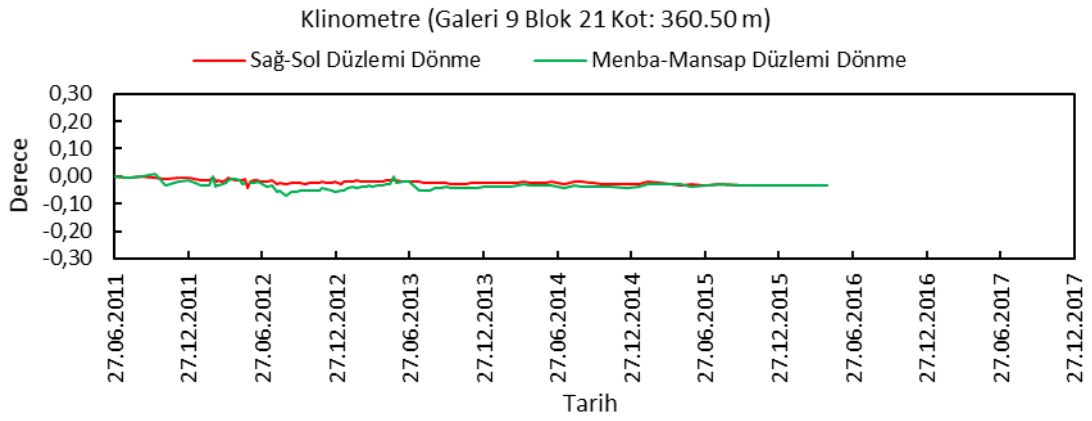
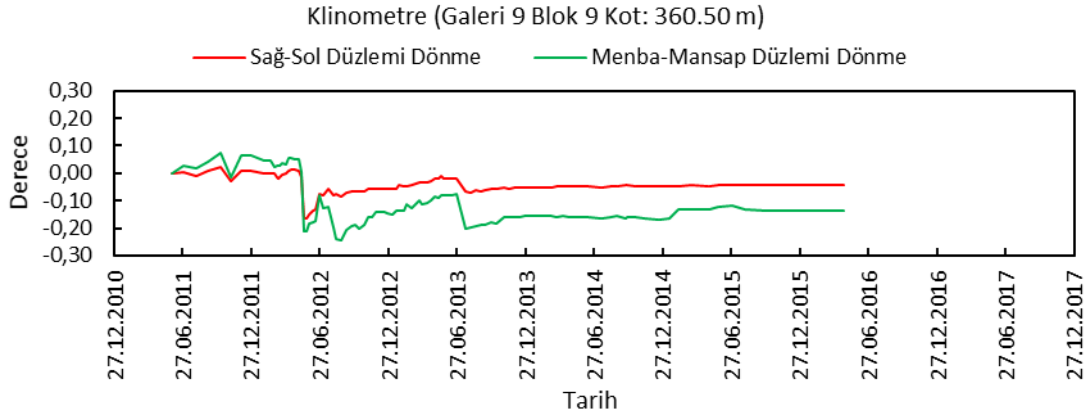


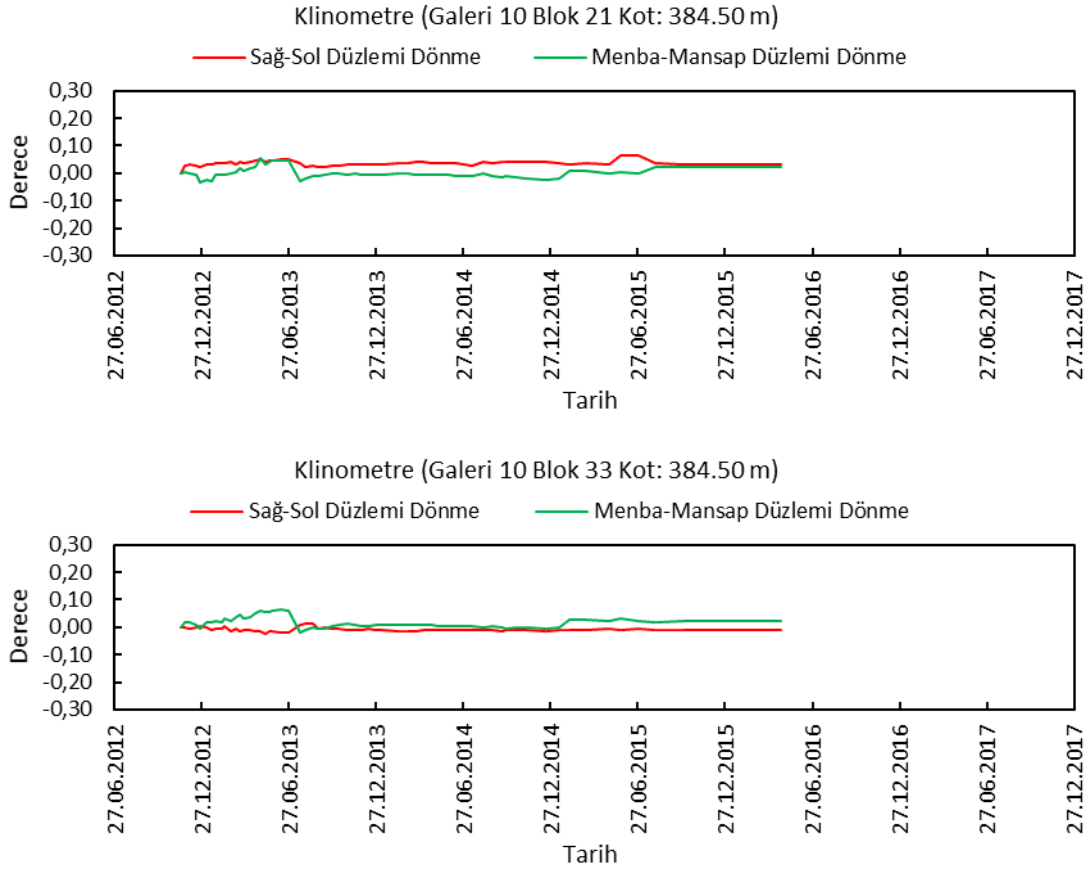


Şekil Ek 4. Tek ve üç boyutlu derz ölçer verileri

## EK 5 Klinometre grafikleri

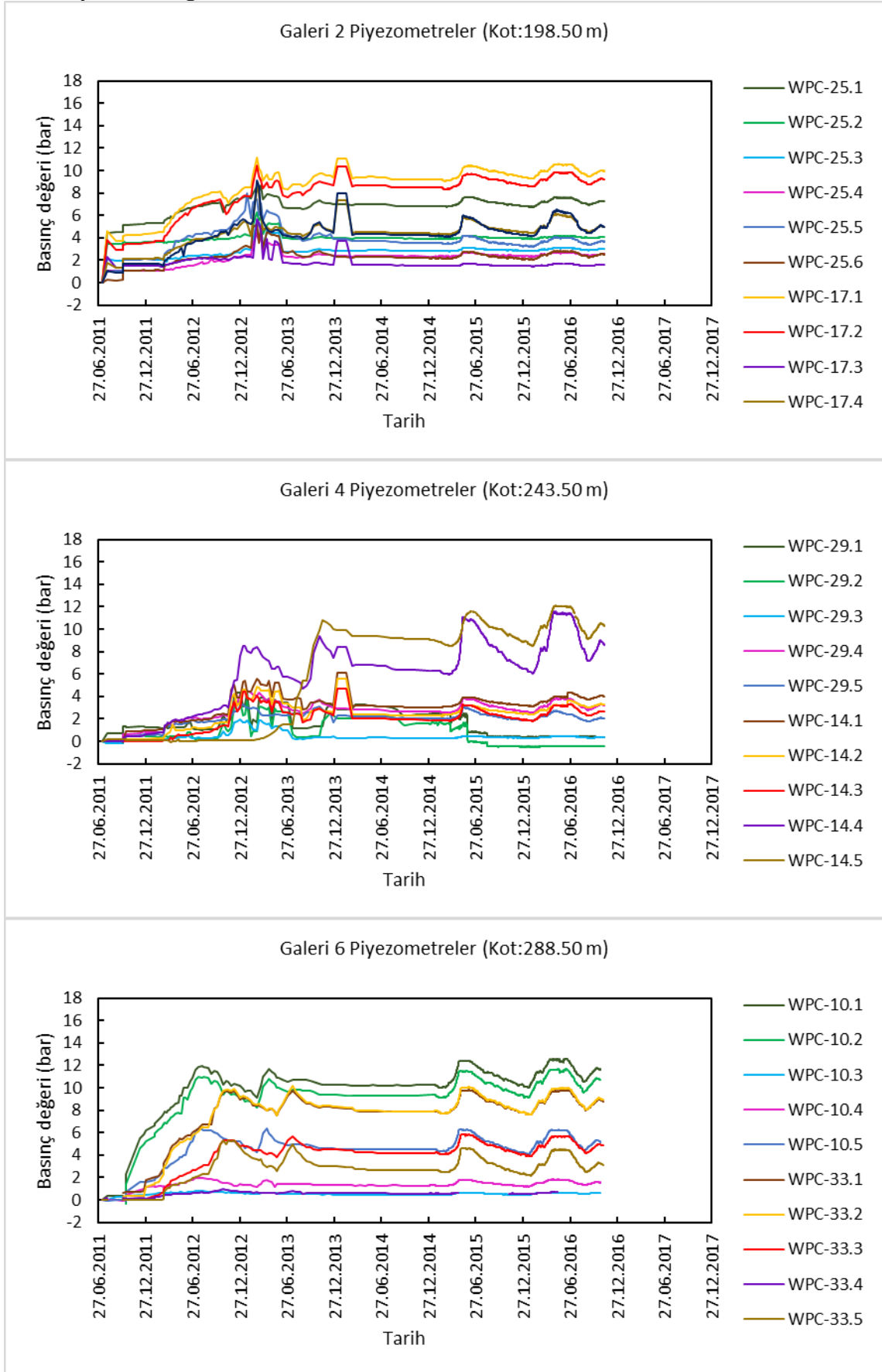


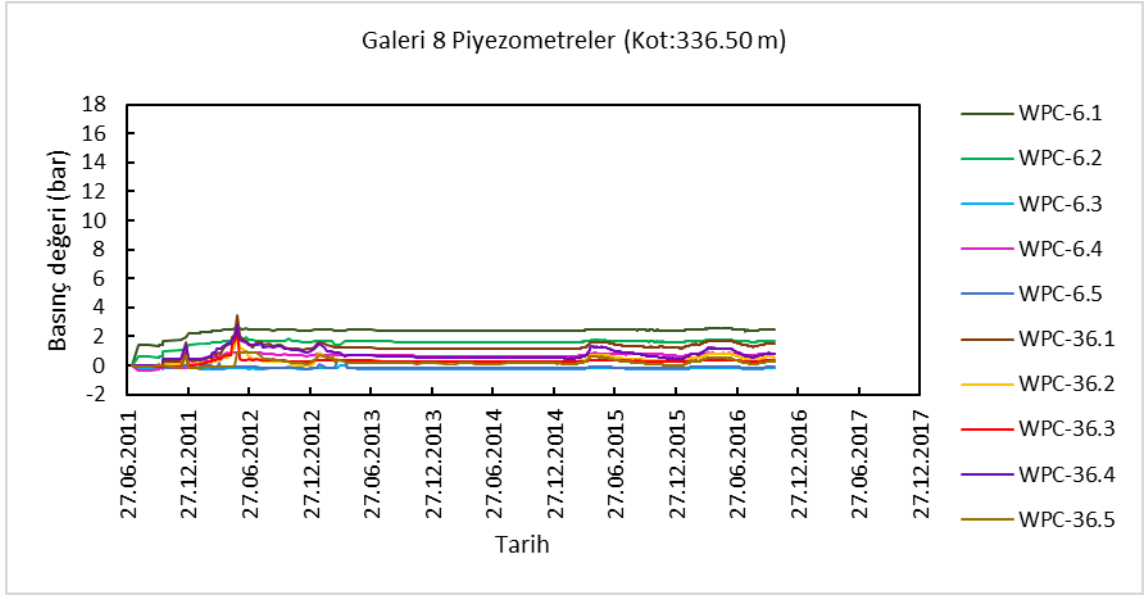




Şekil Ek 5. Galeri 0, 4, 7, 9 ve 10'da bulunan klinometre verileri

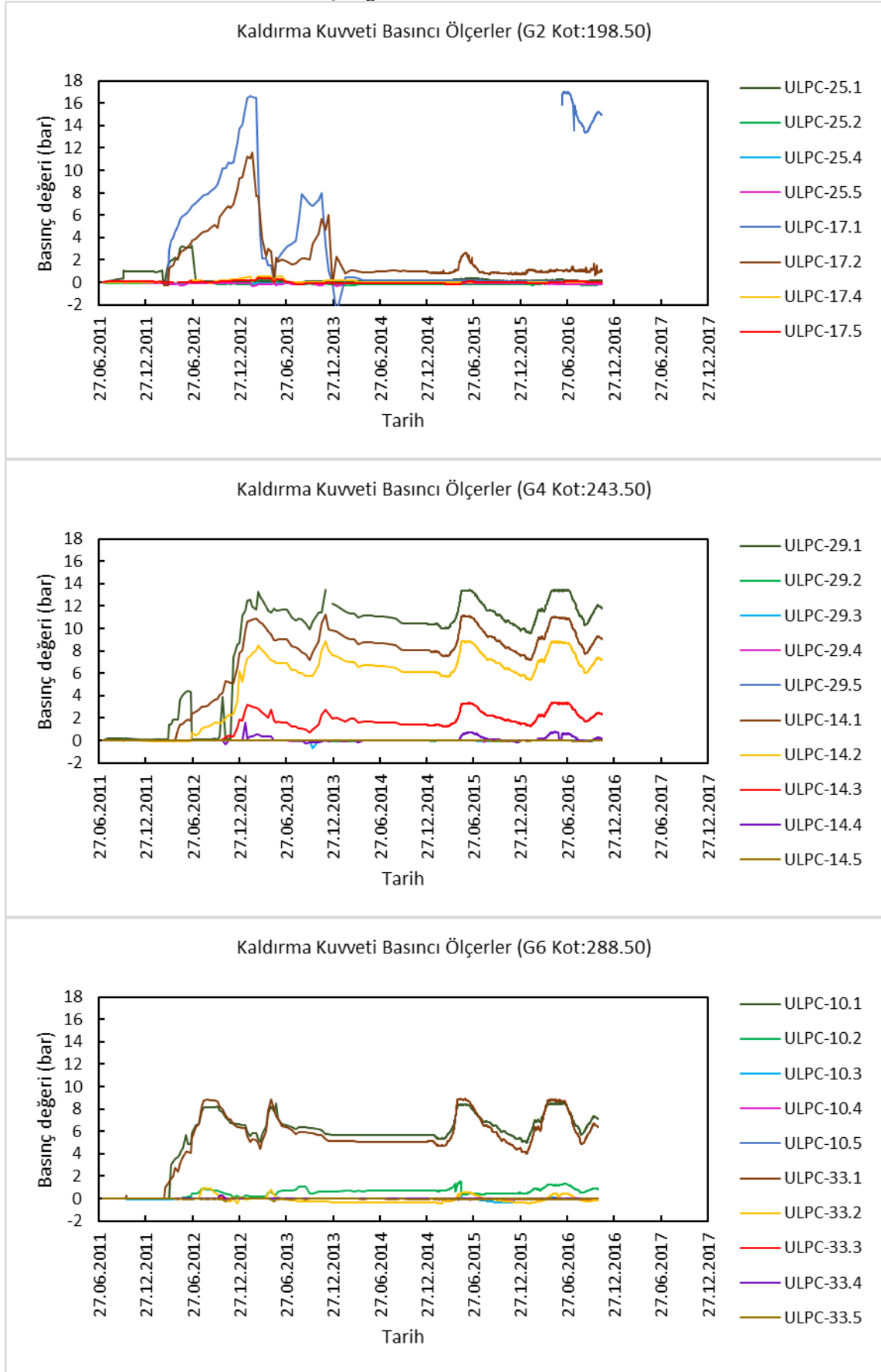
### EK 6 Piyezometre grafikleri

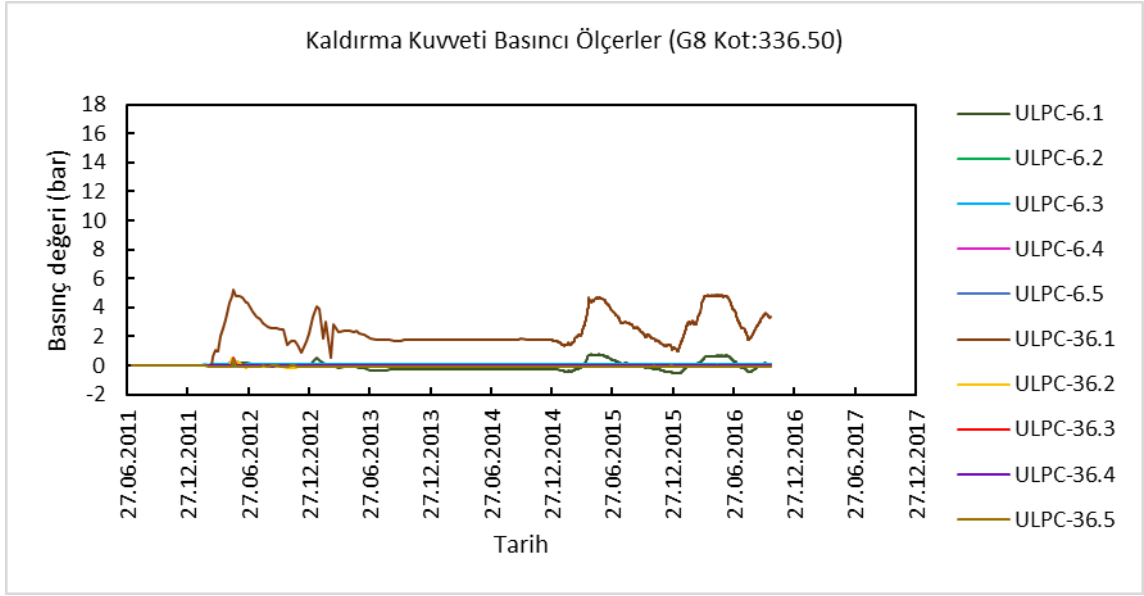




Şekil Ek 6. Galerı 2, 4, 6 ve 8'de bulunan piyezometre verileri

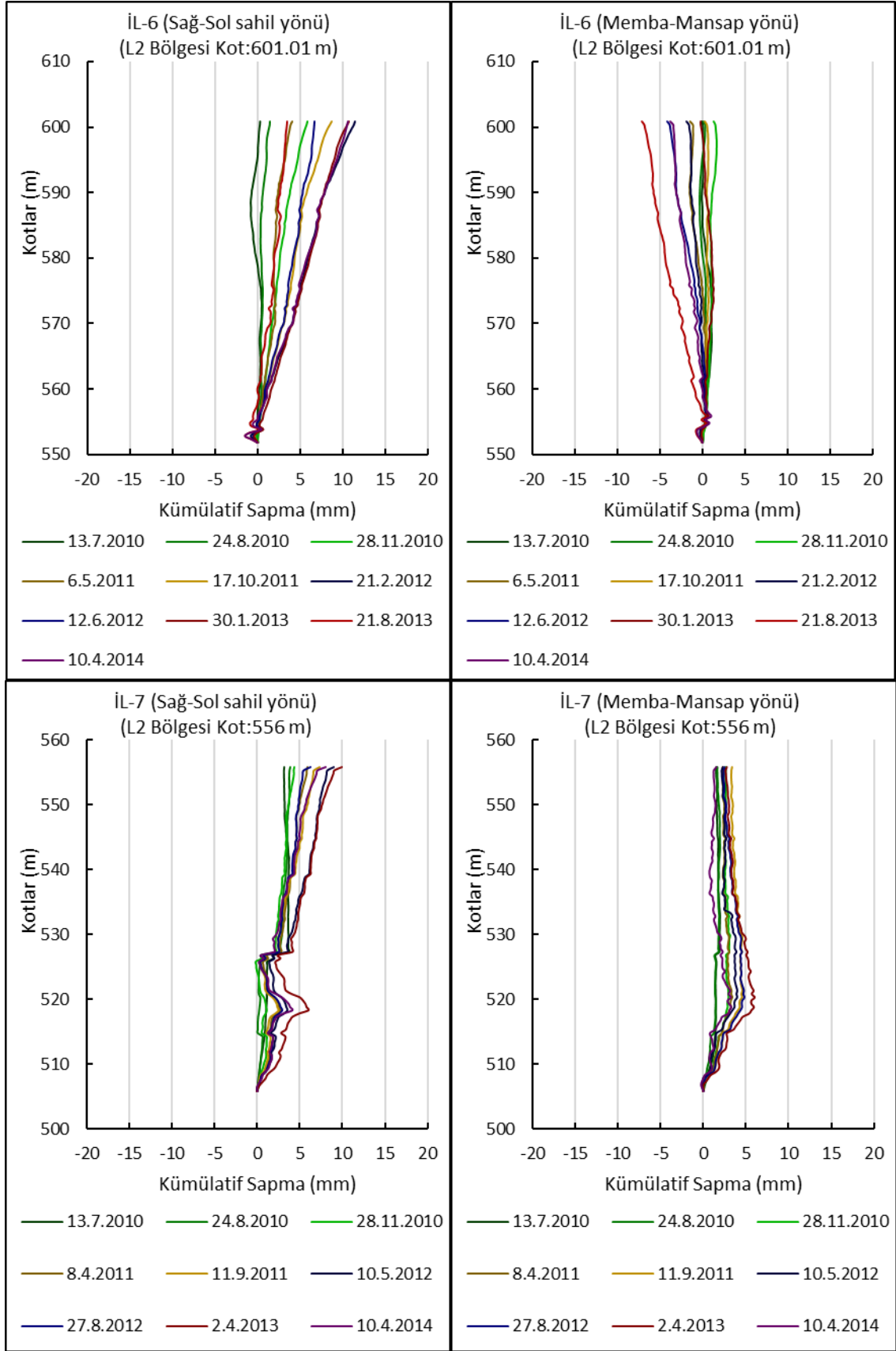
### EK 7 Kaldırma kuvveti basıncı ölçer grafikleri

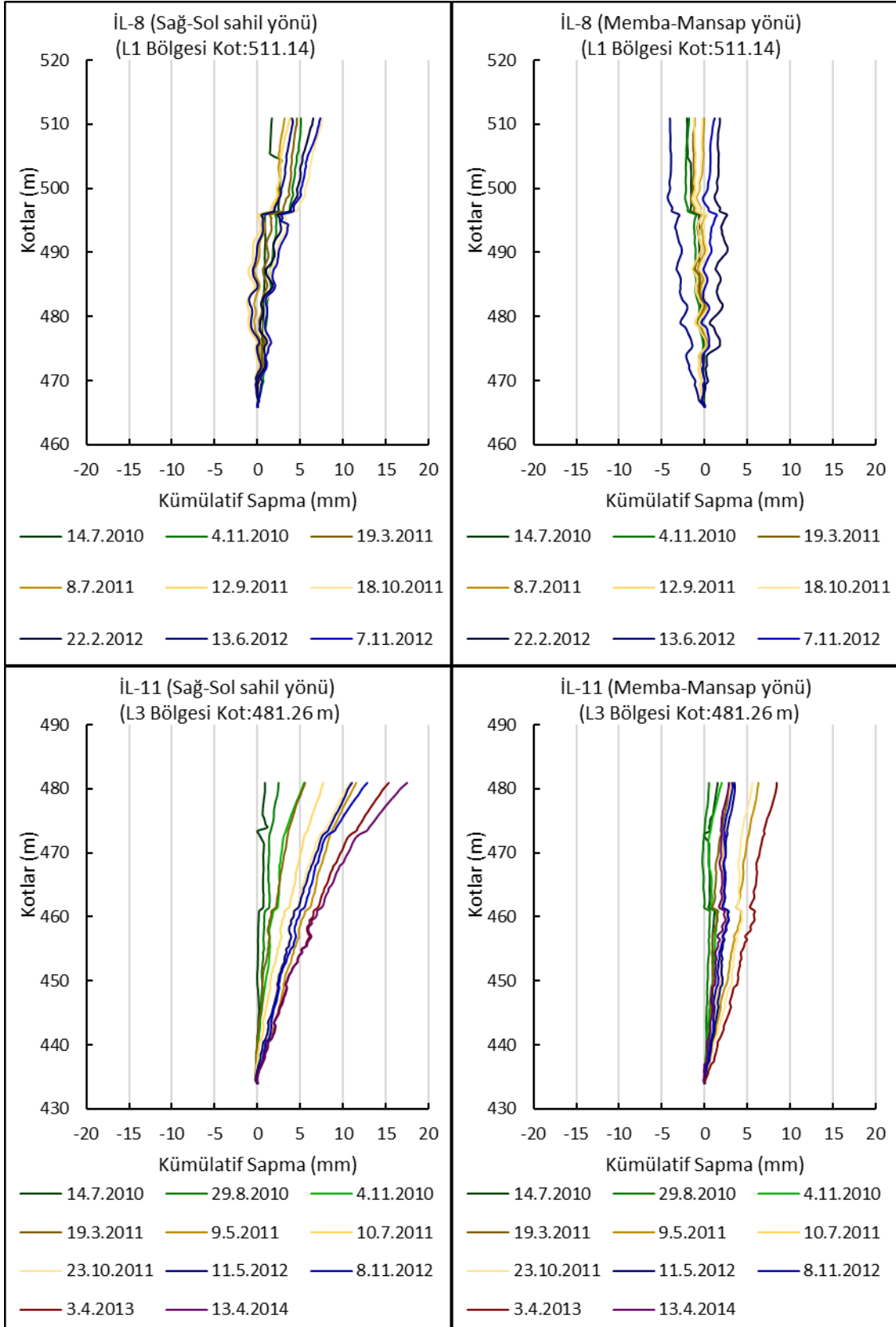


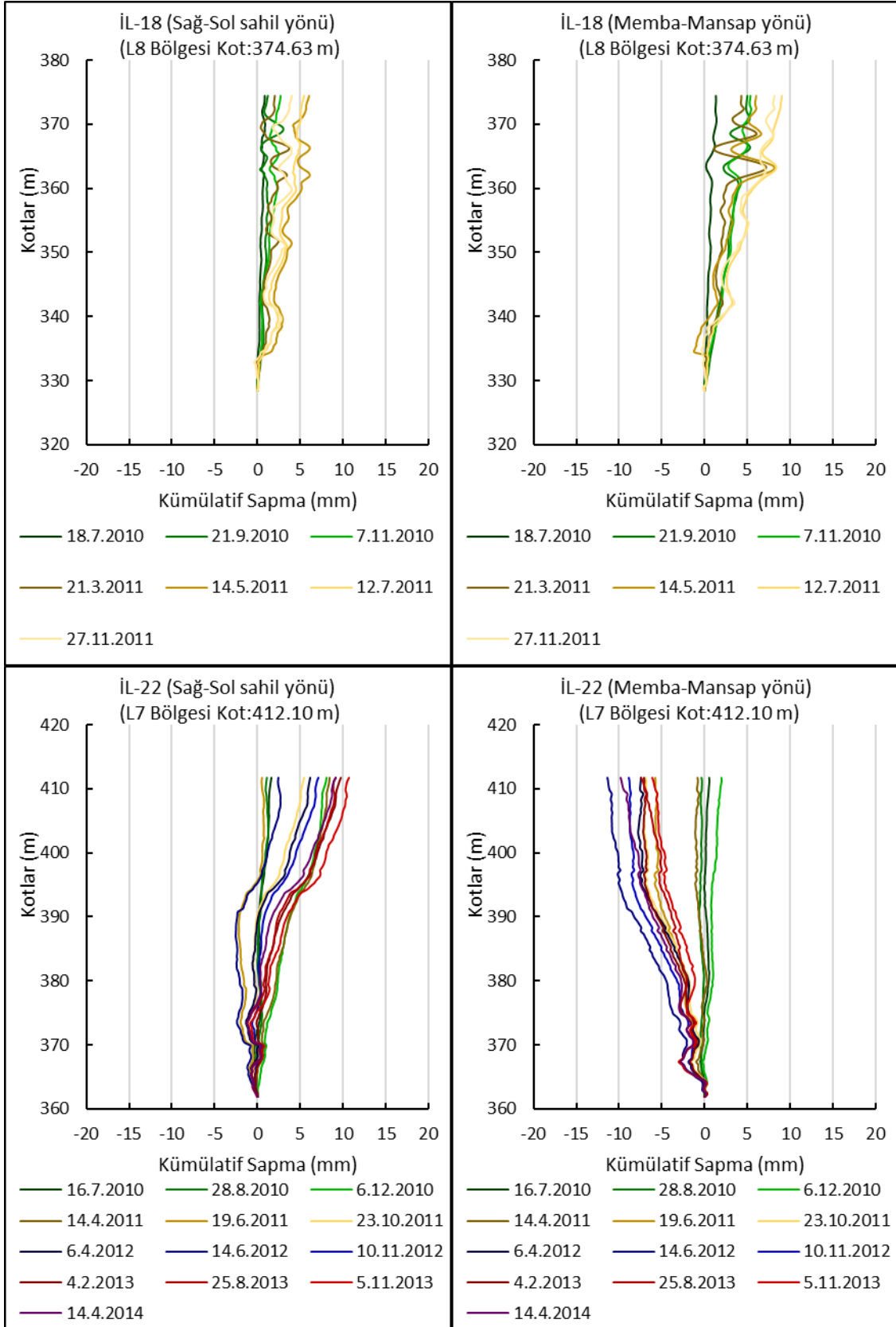


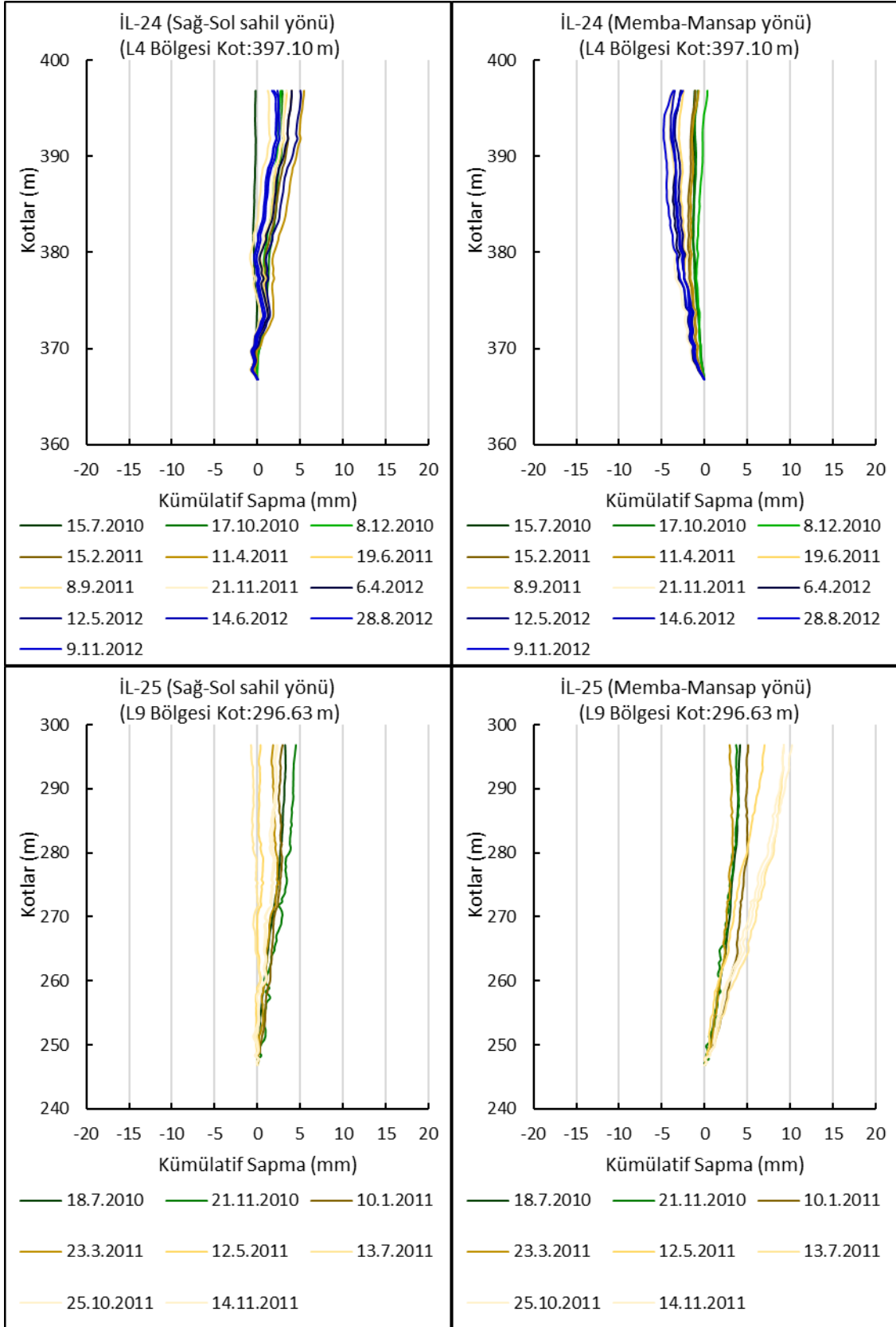
**Şekil Ek 7.** Galeri 2, 4, 6 ve 8'de bulunan kaldırma kuvveti ölçer verileri

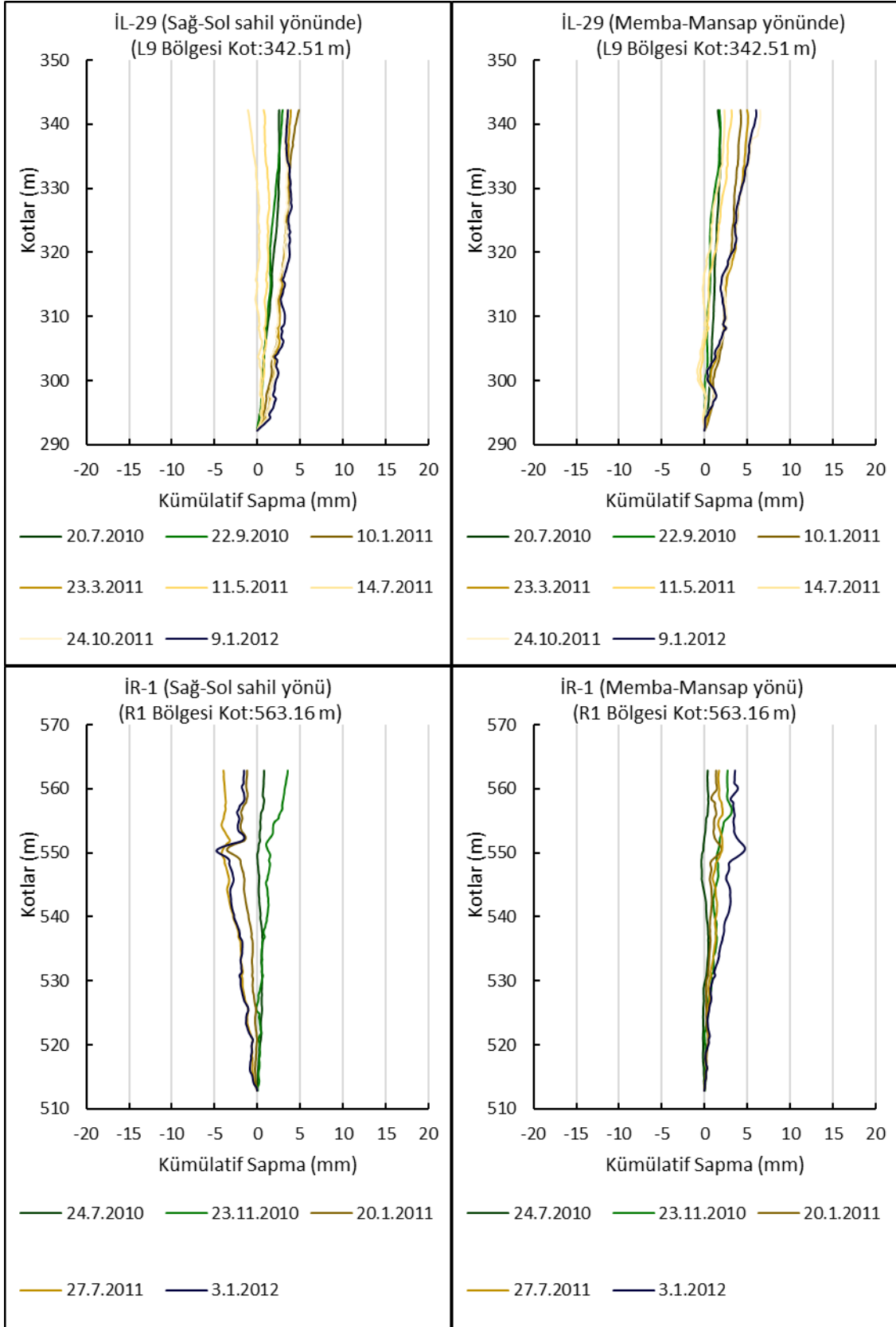
## EK 8 İnklinometre grafikleri

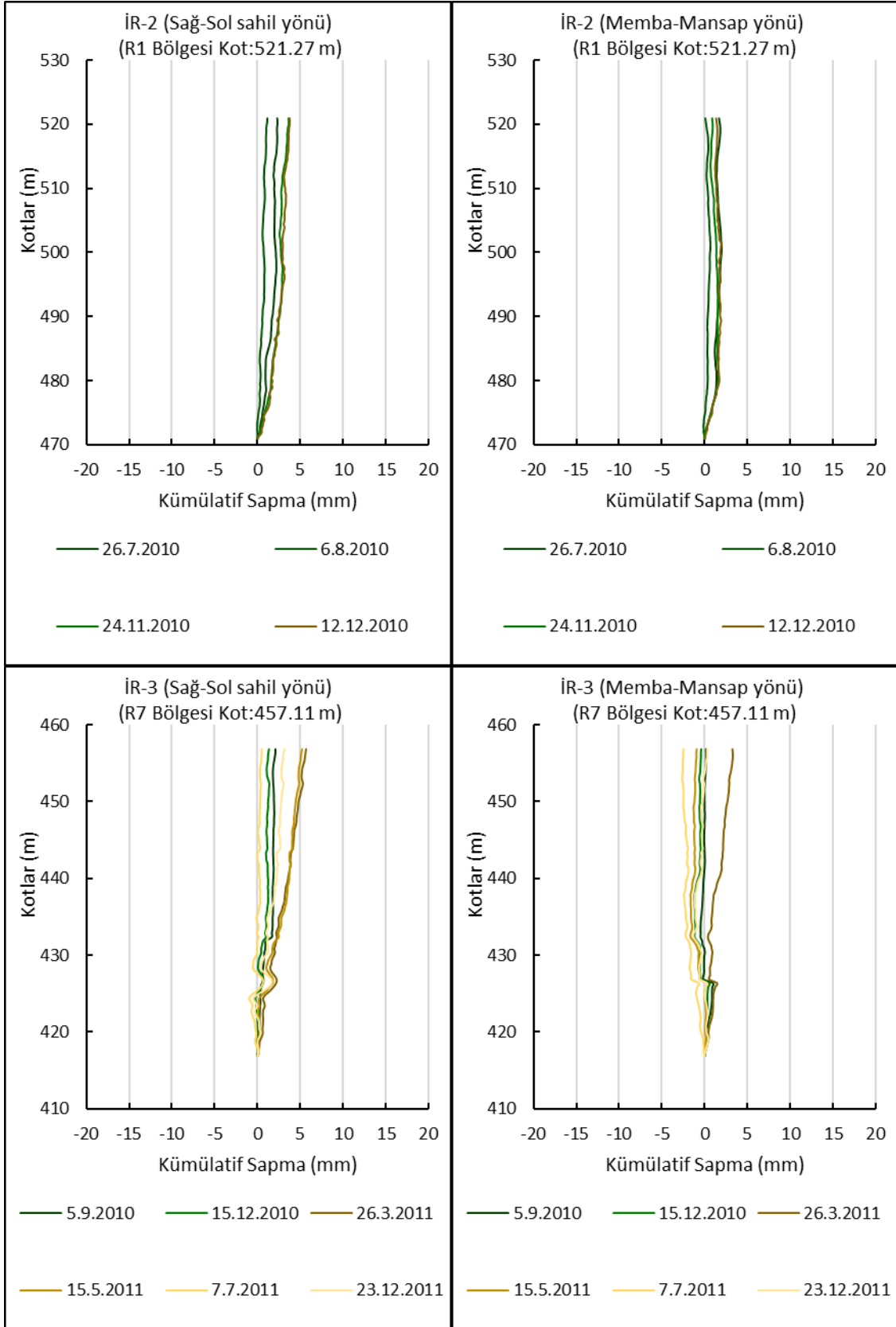


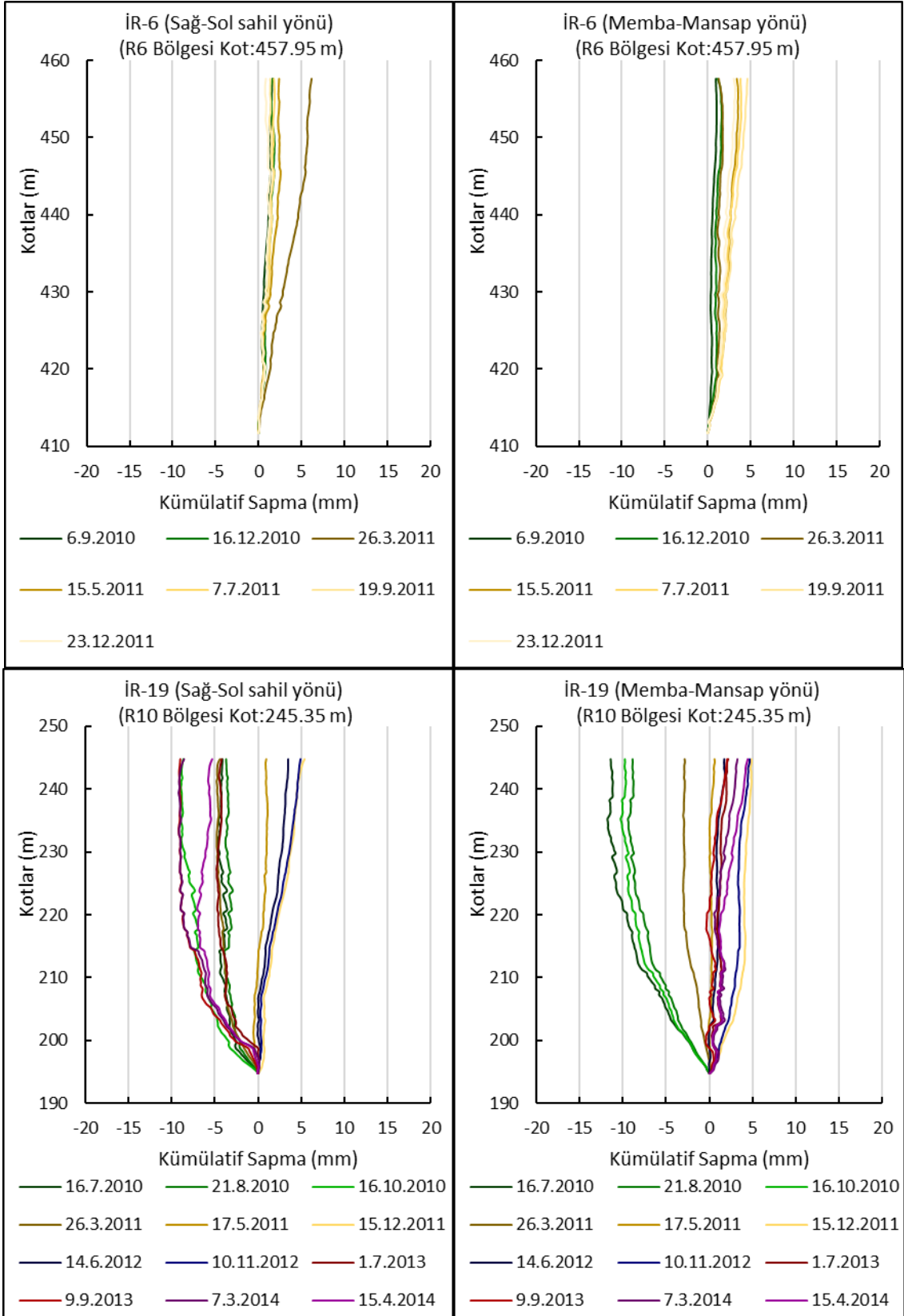


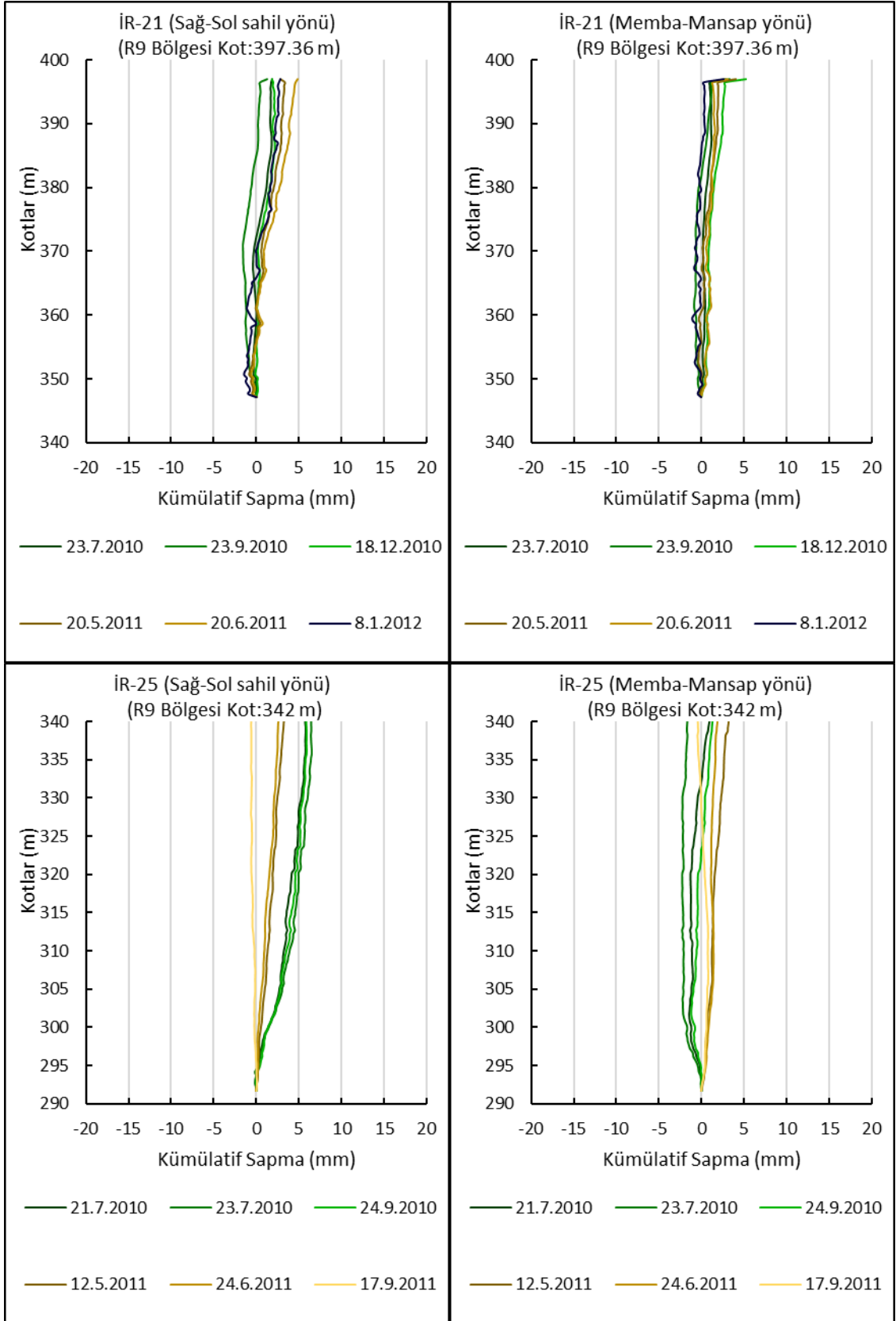


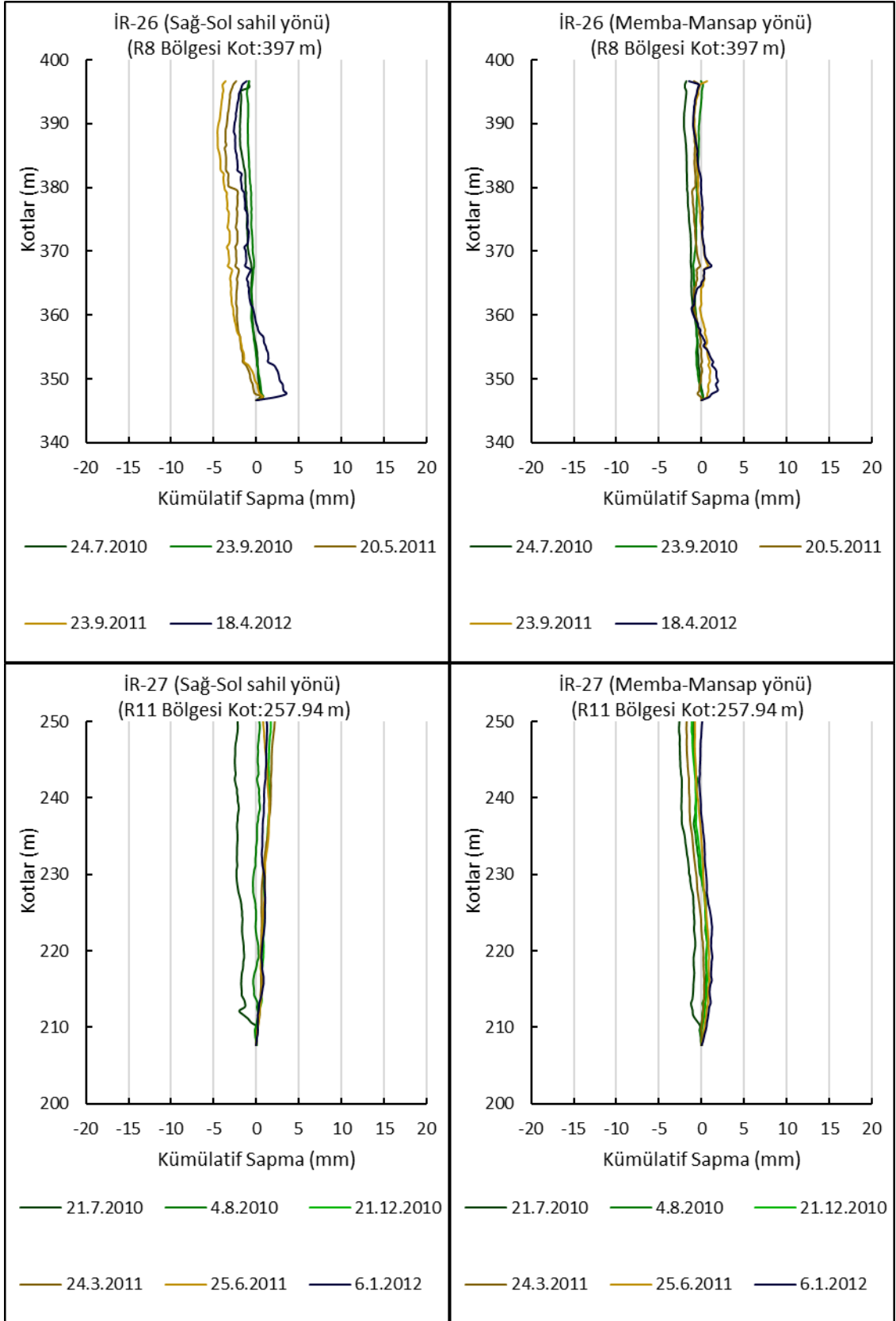






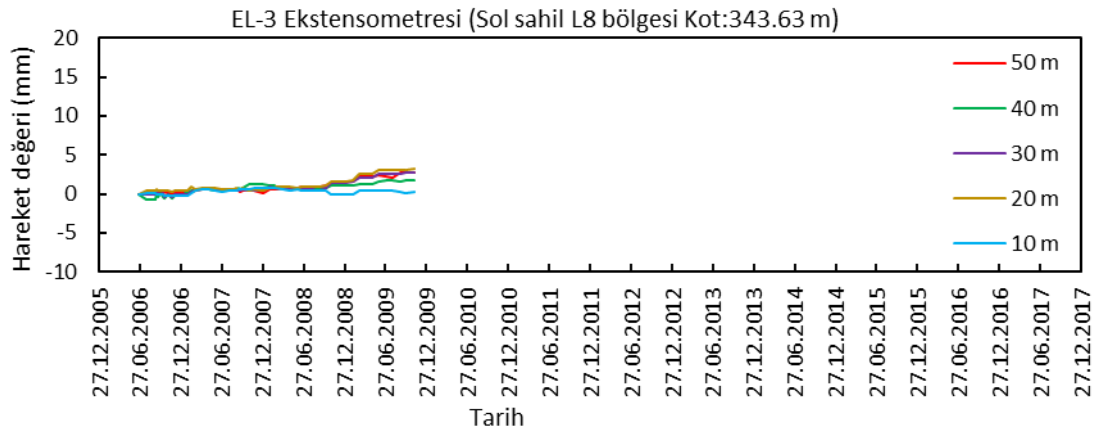
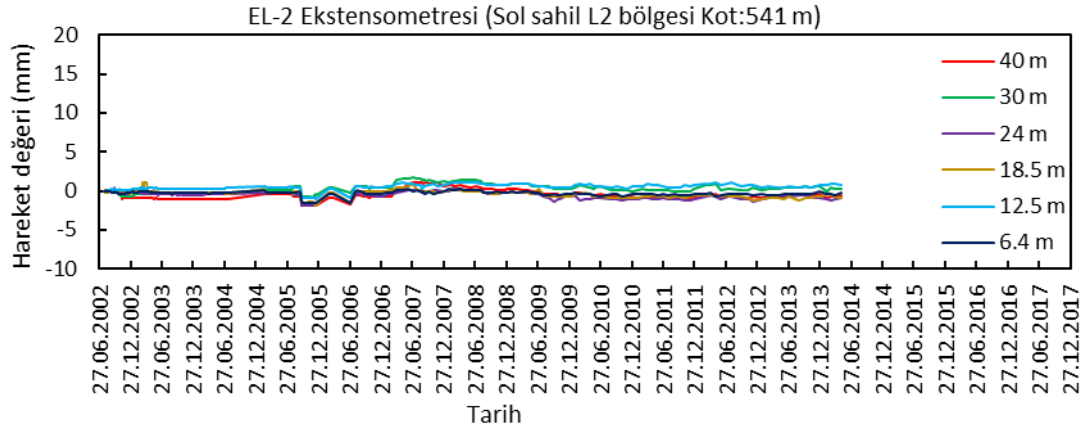
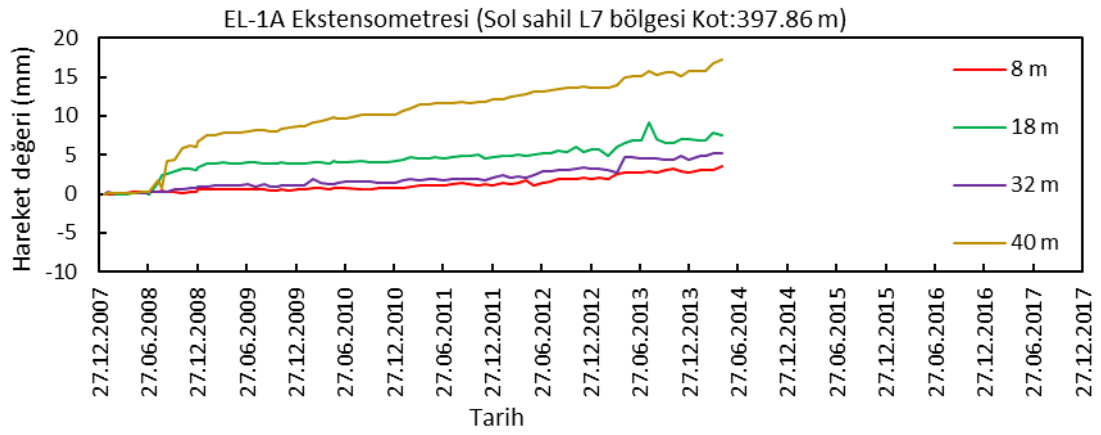
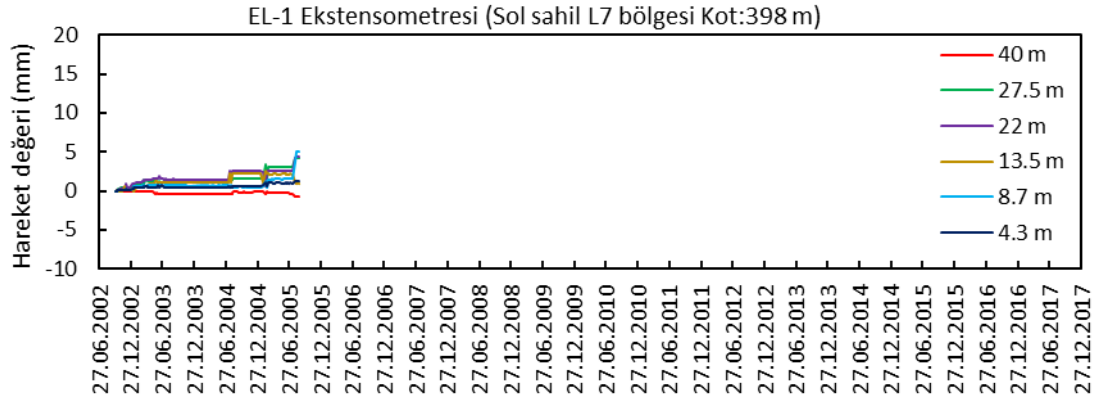


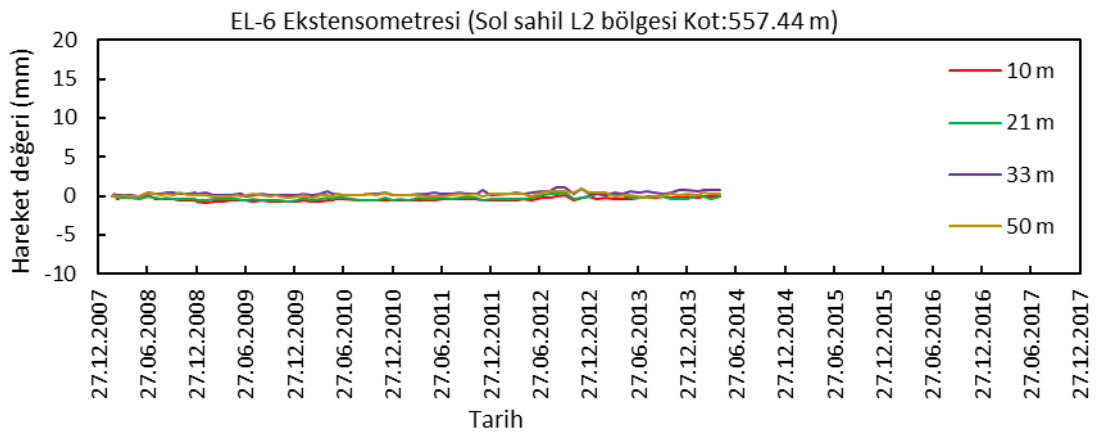
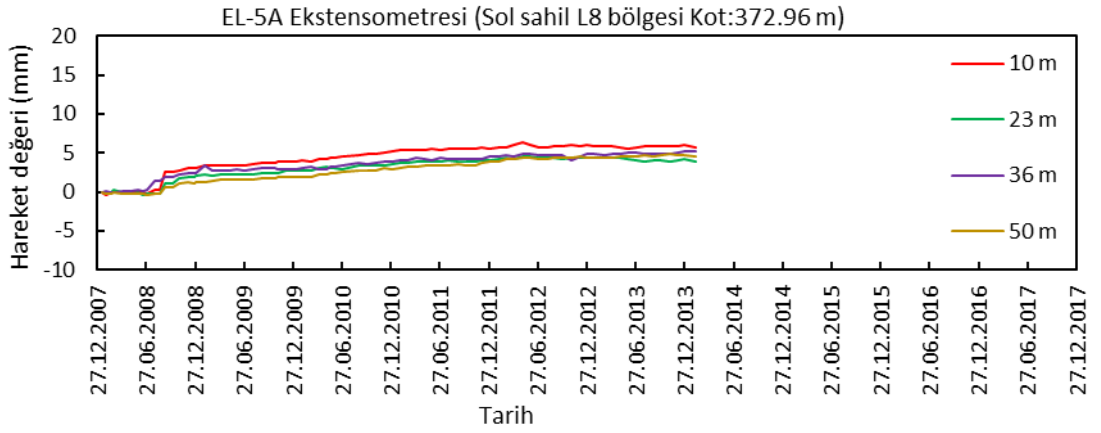
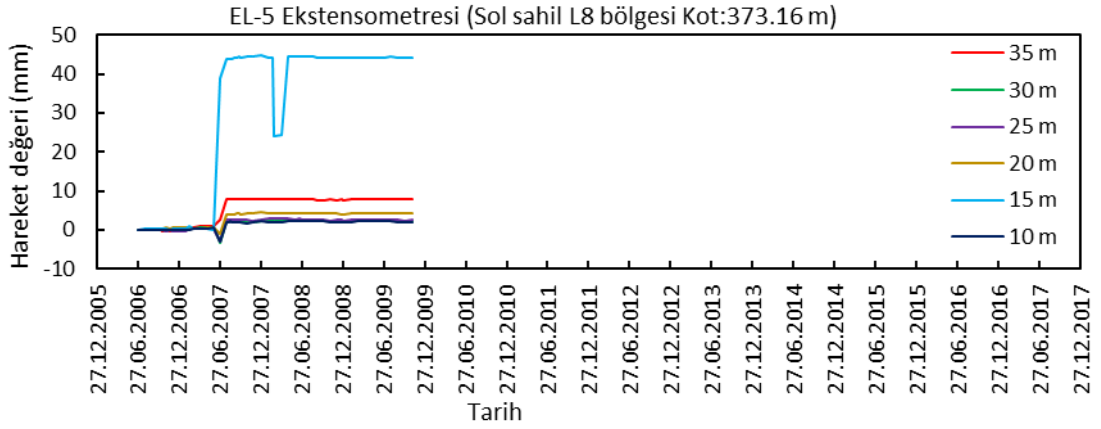
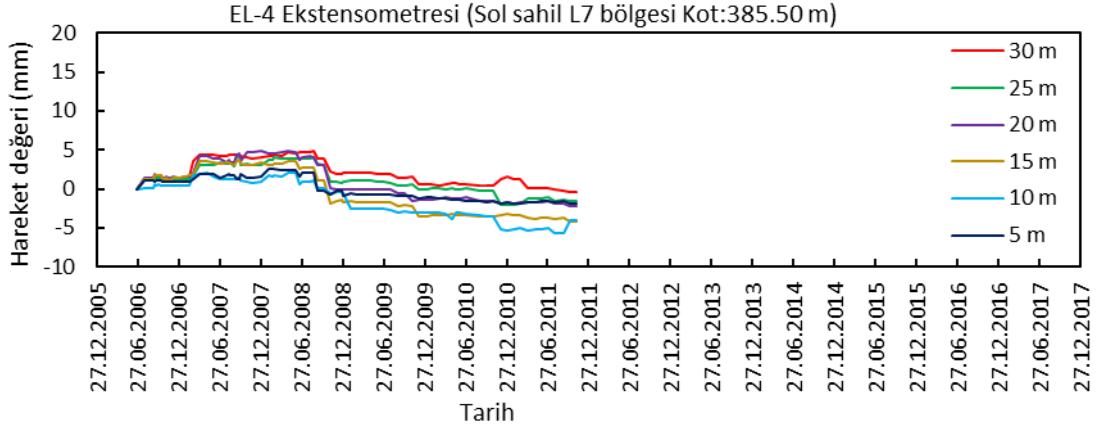


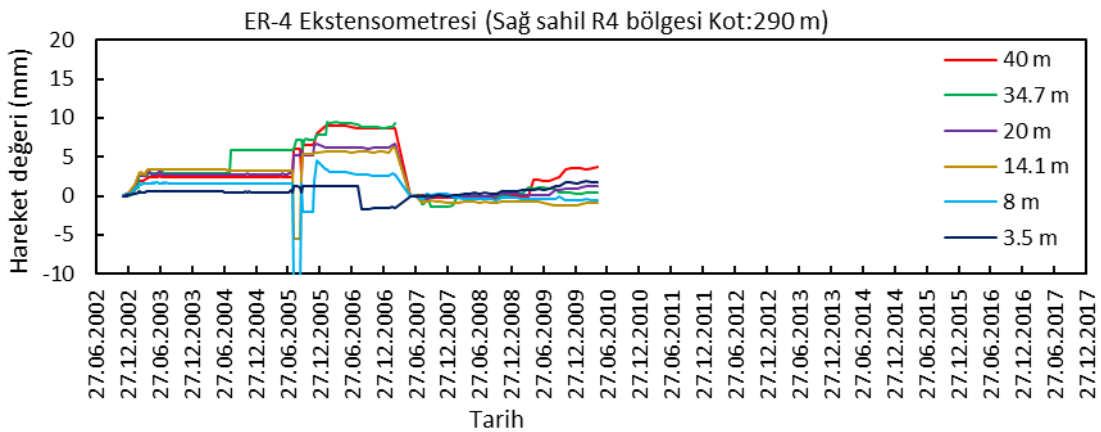
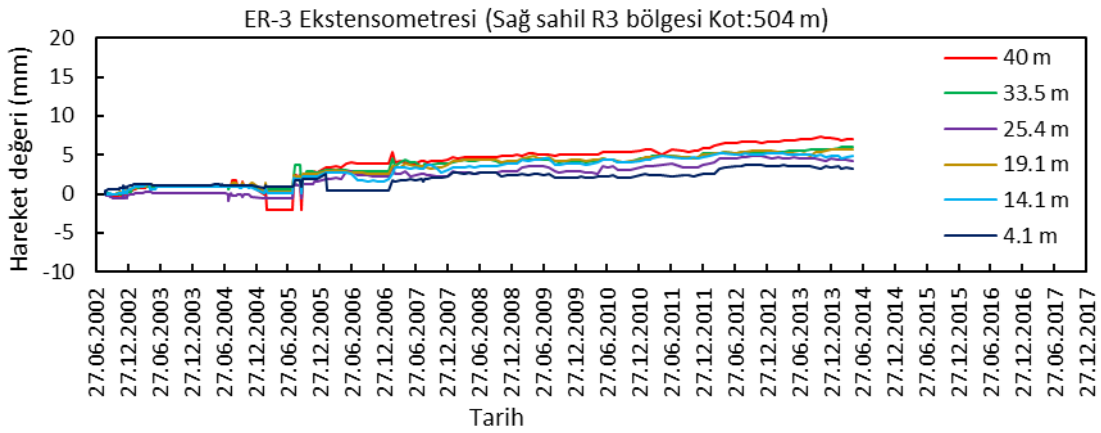
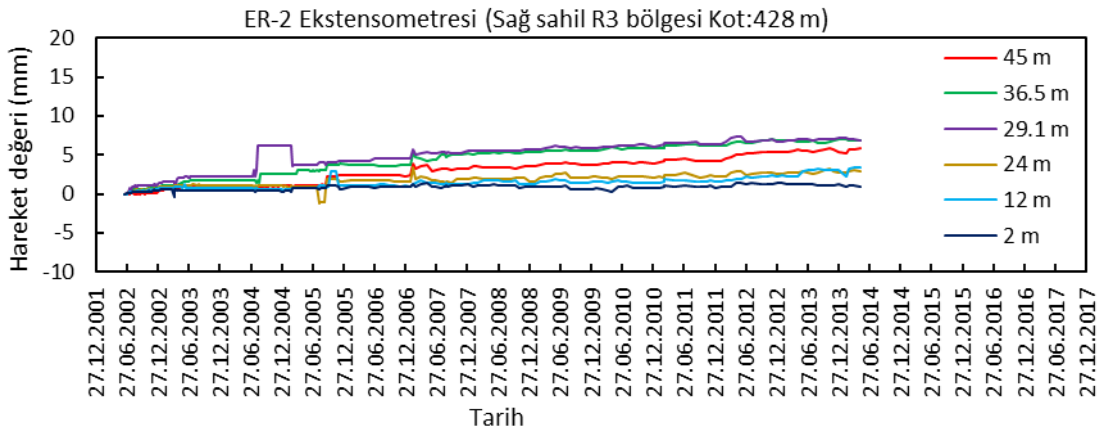
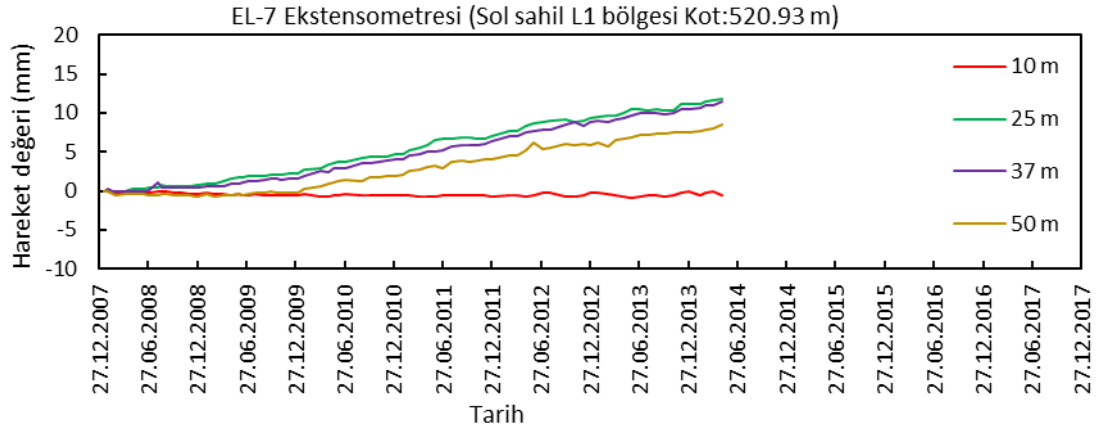


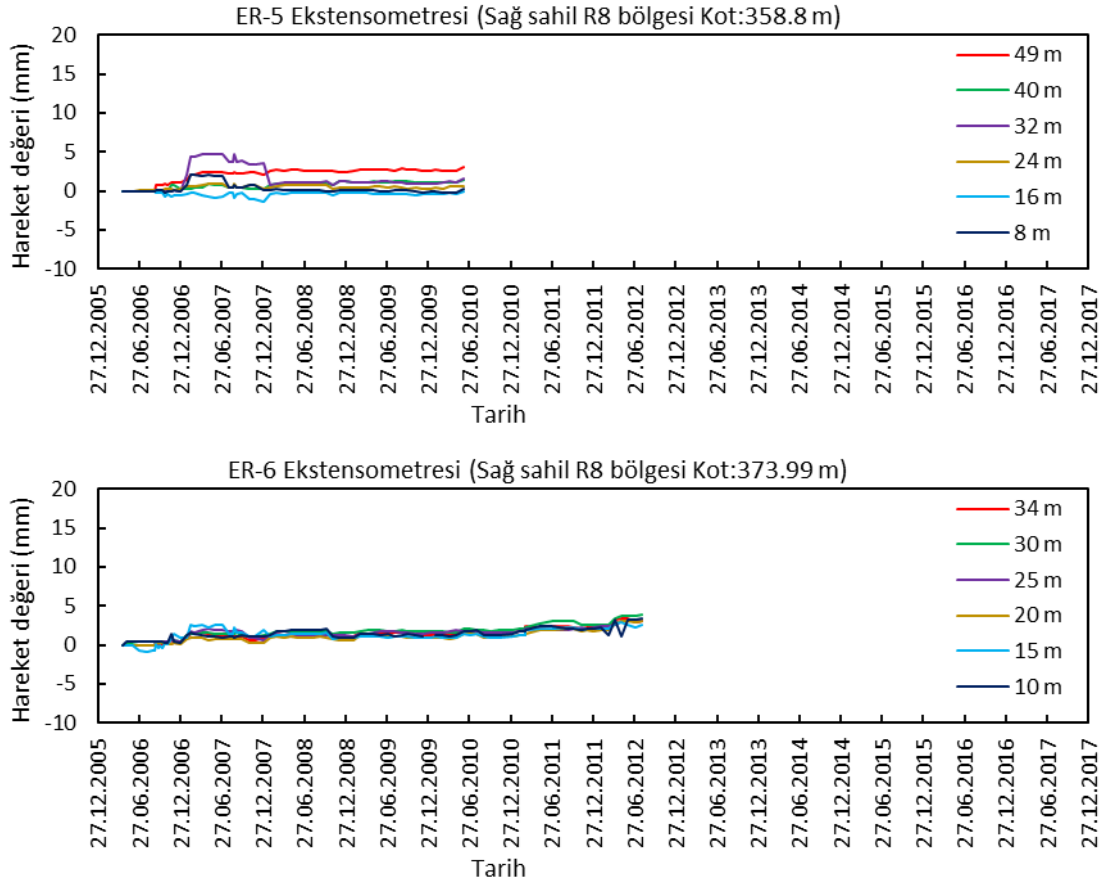
Şekil Ek 8. Sol ve sağ sahilde bulunan inclinometre kuyularındaki değişimler

## EK 9 Ekstensometre grafikleri



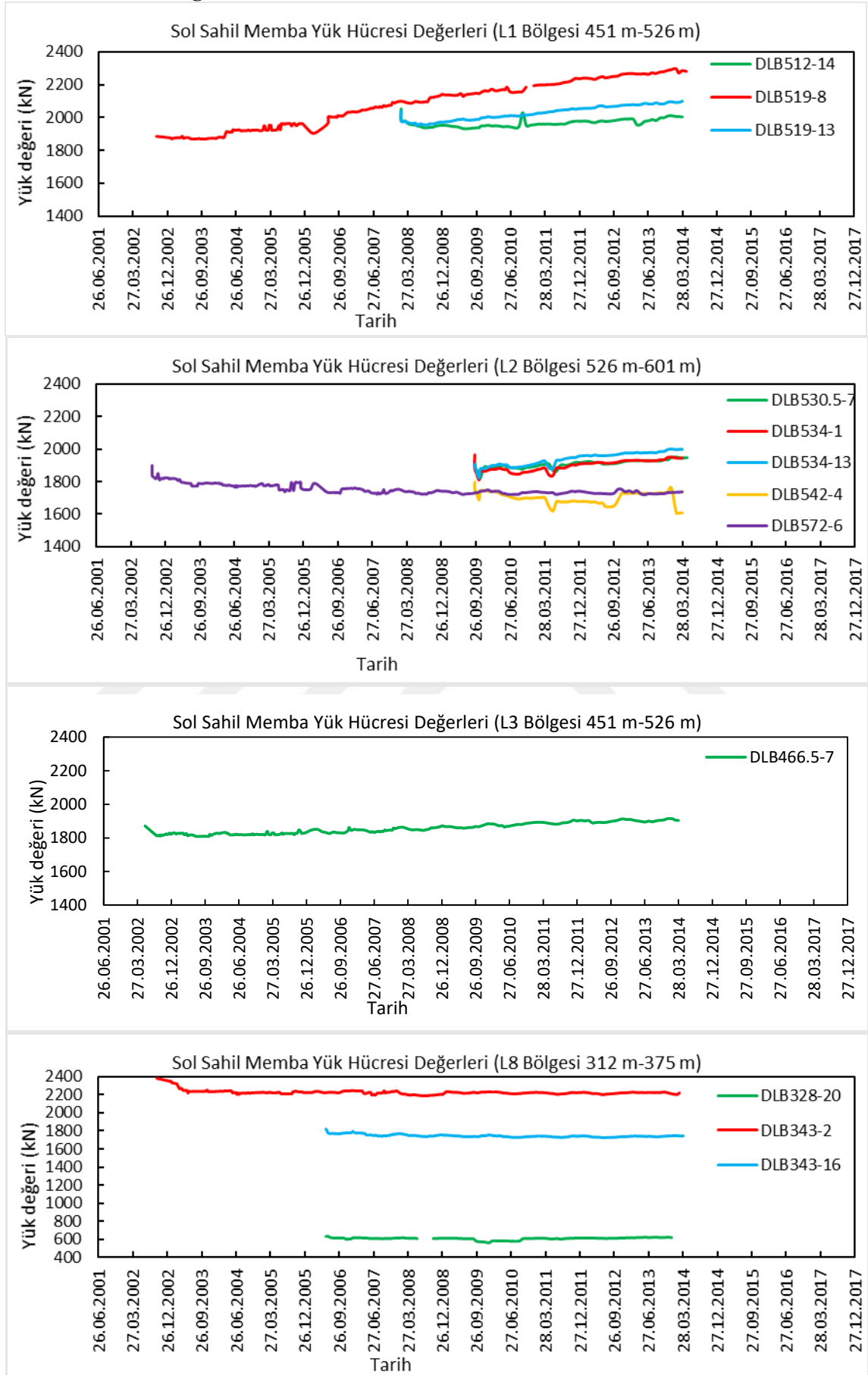


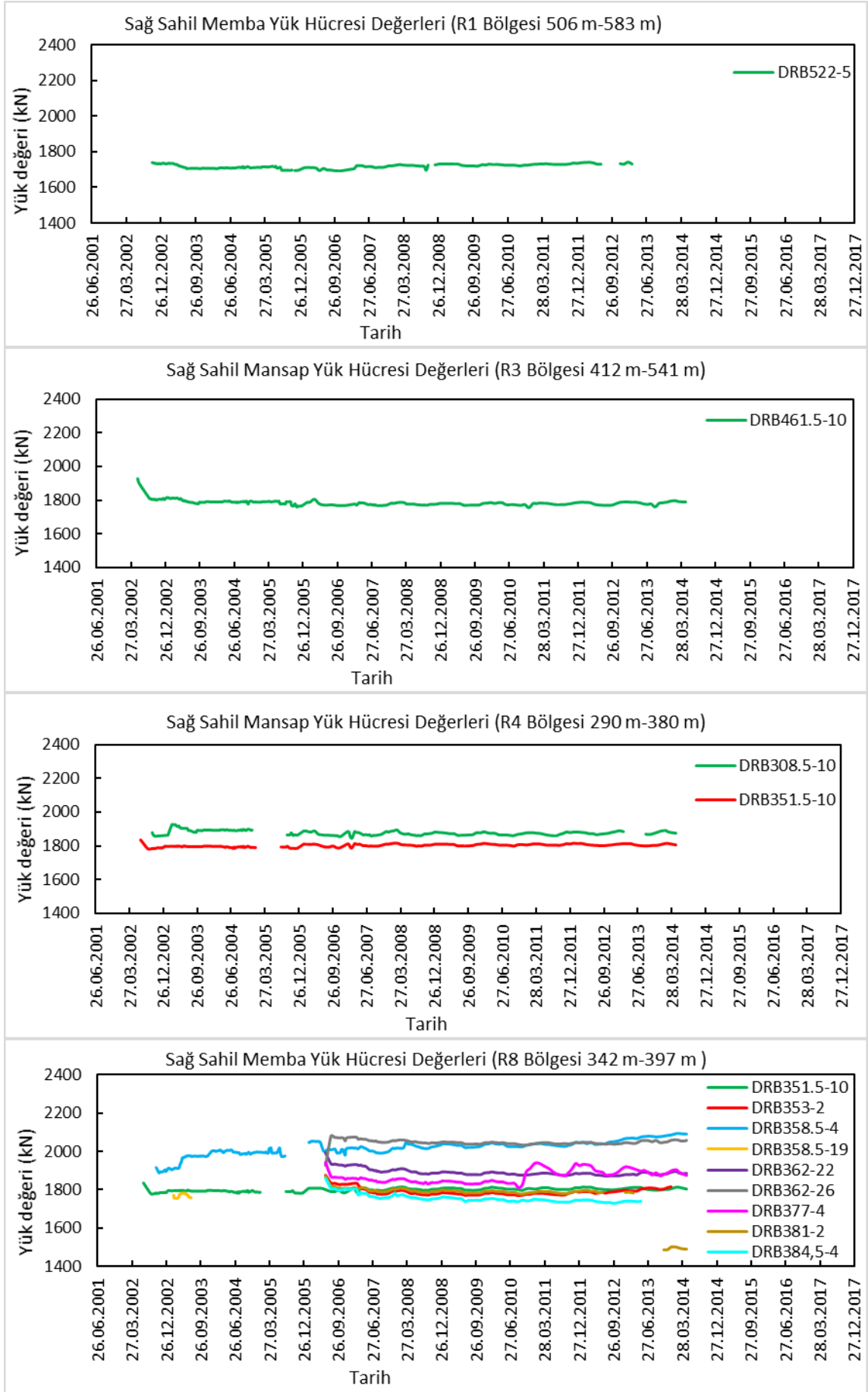


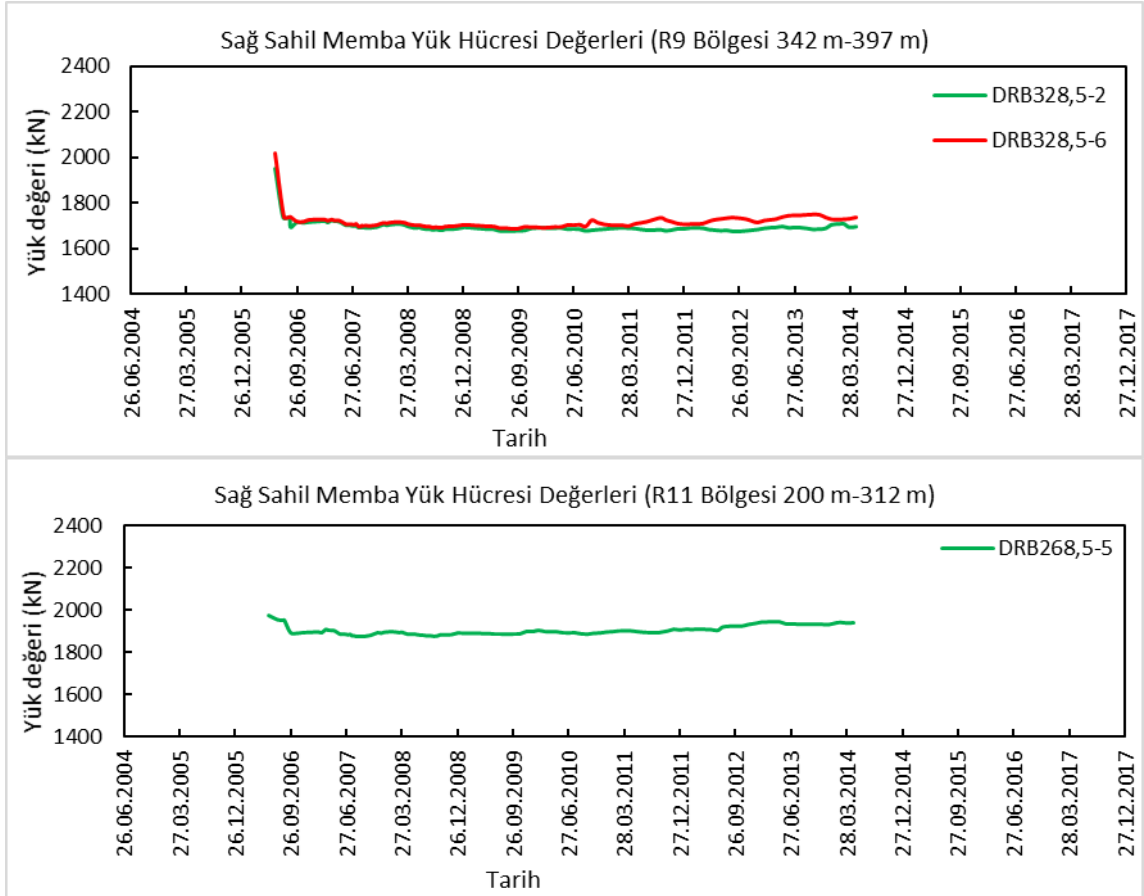


Şekil Ek 9. Sol ve sağ sahilde bulunan ekstensometre değerleri

### EK 10 Yük hücresi grafikleri







**Şekil Ek 10. Sol ve sağ sahilde bulunan yük hücresi değerleri**

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Haluk BALI  
**Uyruğu** : T.C.  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : NİĞDE/1988  
**Telefon** : 05301427151  
**e-mail** : halukbali51@gmail.com-halukbali@dsi.gov.tr

### EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Orhangazi Lisesi, Bağcılar, İstanbul	2005
Üniversite	: Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, Konya	2015
Yüksek Lisans	: Necmettin Erbakan Üniversitesi, Meram, Konya	-----

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2015-2016	Burkay İnşaat	Harita Müh.
2016-2017	Huzur Harita	Harita Müh.
2017-	DSİ 56. Şube Müdürlüğü	Harita Müh.

### YAYINLAR

Balı H. ve Alcay S., 2020, The Methods Used in Monitoring of Large Dams in Turkey, 8th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science 23-25 October 2020, Volume 3, Issue 1, Pages: 236-245, Bursa.