

T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

BARAJ GÖVDE DOLGUSU SÜRECİNDE MEYDANA GELEN
DEFORMASYONLARIN GNSS İLE İZLENMESİ, KARŞILAŞILAN
SORUNLAR VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ (GÖMÜKAN BARAJI ÖRNEĞİ)

YÜKSEK LİSANS

Murat ÇINAR

MAYIS-2025
GÜMÜŞHANE



**T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**BARAJ GÖVDE DOLGUSU SÜRECİNDE MEYDANA GELEN
DEFORMASYONLARIN GNSS İLE İZLENMESİ, KARŞILAŞILAN
SORUNLAR VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ (GÖMÜKAN BARAJI ÖRNEĞİ)**

**MONITORING OF DEFORMATIONS OCCURRING IN DAM BODY FILLING
PROCESS WITH GNSS, PROBLEMS ENCOUNTERED AND SOLUTION
SUGGESTIONS (EXAMPLE OF GOMUKAN DAM)**

YÜKSEK LİSANS

Murat ÇINAR

**MAYIS-2025
GÜMÜŞHANE**



T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**BARAJ GÖVDE DOLGUSU SÜRECİNDE MEYDANA GELEN
DEFORMASYONLARIN GNSS İLE İZLENMESİ, KARŞILAŞILAN
SORUNLAR VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ (GÖMÜKAN BARAJI ÖRNEĞİ)**

**MONITORING OF DEFORMATIONS OCCURRING IN DAM BODY FILLING
PROCESS WITH GNSS, PROBLEMS ENCOUNTERED AND SOLUTION
SUGGESTIONS (EXAMPLE OF GOMUKAN DAM)**

YÜKSEK LİSANS

Murat ÇINAR

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Yusuf AŞIK

**MAYIS-2025
GÜMÜŞHANE**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlamış olduğum **“Baraj Gövde Dolgusu Sürecinde Meydana Gelen Deformasyonların GNSS İle İzlenmesi, Karşılaşılan Sorunlar Ve Çözüm Önerileri (Gömükan Barajı Örneği)”** isimli bu tezimin, tamamen kendi çalışmam olduğunu, her alıntıya kaynak gösterdiğimi, alıntı yaptığım tüm çalışmaları kaynakçada belirttiğimi ve Gümüşhane Üniversitesi'nin lisanslı kullanıcısı olduğu intihal yazılım programı ile Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün belirlediği kıstaslara uygun olarak raporladığımı taahhüt ederim. Tezimin kâğıt ve elektronik kopyalarının Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü arşivinde saklanmasına izin verdiğimi onaylarım.

Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili maddeleri uyarınca gereğinin yapılmasını arz ederim.

09 / 05 / 2025

Murat ÇINAR

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının gerçekleştirilmesinde bana rehberlik eden ve desteğini esirgemeyen değerli danışman hocam Sn. Dr. Öğr. Üyesi Yusuf AŞIK'a en içten teşekkürlerimi sunarım. Çalışmam süresince yaptığı yönlendirmeler bu tezin ortaya çıkmasını sağlamıştır.

Ayrıca, çalışmalarım sırasında gerek sahada gerekse ofiste bana her türlü desteği sağlayan ve yardımlarını esirgemeyen Gömükan Barajı İnşaatı çalışanlarına teşekkür ederim.

Son olarak, tez sürecim boyunca bana sabır ve anlayış gösteren aileme teşekkür ederim. Onların manevi desteği bu zorlu süreci atlatmamda bana güç vermiştir.

Murat ÇINAR
GÜMÜŞHANE- 2025

ÖZET

Barajların yapısal ve işlevsel güvenliğini, can ve mal güvenliğini sağlamak, gelecekteki benzer projeler için kaynak sağlamak amacıyla barajı etkileyen yüklere karşı davranışının bir bilgi sistemi mantığı içinde ortaya konulması gerekmektedir. Bu sebeple barajları inşa öncesi, inşa sırasında ve işletme süresince emniyet açısından sürekli izlemek ve denetlemek gerekir.

Bu çalışmada baraj gövde dolgusu sürecinde meydana gelen deformasyonların GNSS ile takip edilmesi, karşılaşılan problemler ve çözüm önerileri Gömükan Barajı gövde dolgusu inşaatı sürecinde yapılan ölçmeler yardımıyla incelenmiştir. Gövde dolgusu sırasında baraj gövdesi üzerine beton bloklar şeklinde obje noktaları tesis edilmiş ve baraj inşaatı devam ederken bu noktalarda belirli aralıklarla ölçümler yapılarak veri toplanmıştır. Bu çalışmada Çift frekanslı GNSS alıcısı kullanılmış, TUSAGA-Aktif istasyonları ile baz uzunluğuna bağlı olmaksızın statik ölçü yöntemi kullanılarak nokta koordinatları Datum: ITRF-96 Dilim Orta Meridyeni:39-3 derece olarak belirlenmiştir. Yapılan ölçümler ile meydana gelen yatay ve düşey deformasyonlar tespit edilmiş daha sonra bu veriler proje parametreleri ile uyumlu olup olmadığı incelenmiştir. Bu araştırma için yapılan ölçmeler devam ederken 6 Şubat 2023 tarihinde Kahramanmaraş Depremleri meydana gelmiş ve çalışma alanımız olan Gömükan Barajı ve çevresi de bu depremlerden oldukça etkilenmiştir. Deprem sonrasında yapılan ölçümler ile depremin baraj gövdesine etkisi incelenmiştir. Gövdenin tamamında yaklaşık olarak 1.6m batı ve 0.07m güney yönünde bir kayma gözlemlenmiştir. Elde edilen bulgular TMMOB'nin yayınlamış olduğu "6 Şubat Kahramanmaraş Depremleri Raporunda" tespit edilen deformasyonlar ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Yapılan ölçüm ve değerlendirmeler sonucunda gövde dolgusu sırasında meydana gelen deformasyonlara ilişkin sonuç değerleri, çalışma sürecinde karşılaşılan sorunlar ve bu sorunların çözümüne yönelik fikir ve önerilere araştırma içerisinde yer verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Baraj Gövde Dalgusu, Barajlar, Dolgu Barajlar, Ölçüm Sistemleri, Deformasyon

SUMMARY

In order to ensure the structural and functional safety of dams, the safety of life and property, and to provide resources for similar projects in the future, the behavior of the dam against the loads affecting it must be presented within the logic of an information system. For this reason, dams must be constantly monitored and inspected in terms of safety before construction, during construction, and during operation.

In this study, the deformations that occurred during the dam body filling process were monitored with GNSS, the encountered problems and solution suggestions were examined with the help of measurements made during the Gömükan Dam body filling construction process. During the body filling, object points in the form of concrete blocks were established on the dam body and data was collected by taking measurements at certain intervals at these points while the dam construction was ongoing. In this study, dual frequency GNSS receiver was used, and point coordinates were determined as Datum: ITRF-96 Zone Central Meridian: 39-3 degrees using TUSAGA-Aktif stations and static measurement method regardless of the base length. The measurements were first evaluated within themselves and the horizontal and vertical deformations that occurred were determined, and then it was examined whether these data were compatible with the project parameters. While the measurements for this research were continuing, the Kahramanmaraş Earthquakes occurred on February 6, 2023, and our study area, the Gömükan Dam and its surroundings, were also significantly affected by these earthquakes. The effects of the earthquake on the dam body were examined with the measurements made after the earthquake. A shift of approximately 1.6 m west and 0.07 m south was observed throughout the body. The findings obtained were evaluated by comparing them with the deformations detected in the "6 February Kahramanmaraş Earthquakes Report" published by TMMOB. As a result of the measurements and evaluations made, the results of the deformations that occurred during the body filling, the problems encountered during the work process and the ideas and suggestions for the solution of these problems were included in the research.

Keywords: Dam Body Filling, Dams, Embankment Dams, Measurement Systems, Deformation

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	III
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI.....	IV
TEŞEKKÜR.....	V
ÖZET.....	VI
SUMMARY	VII
İÇİNDEKİLER	VIII
TABLolar DİZİNİ	X
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XI
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XIII
1. GİRİŞ	1
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE	2
2.1. Barajların Sınıflandırılması.....	2
2.2. Baraj Tip Seçimi	3
2.3 Dolgu Barajlar.....	4
2.3.1. Kaya Dolgu Barajlar	6
2.3.2. Toprak Dolgu Barajlar	7
2.4. Zeminlerin Dinamik Özellikleri.....	9
2.4.1. Zeminlerin Başlangıç Rijitliği ve Sönümlenme Davranışı	11
2.4.2. Zeminlerin Başlangıç Rijitliği ve Sönüm Oranına Etkide Bulunan Unsurlar.....	13
2.5. Barajların Deprem Etkisi Altında Davranışı.....	14
2.5.1. Beton Barajların Deprem Etkisi Altında Davranışı	17
2.5.2. Dolgu Barajların Deprem Etkisi Altında Davranışı.....	19
2.6. Barajlarda Tehdit Oluşturabilecek Durumlar.....	22
2.7. Yapım Esnasında Baraj Güvenliği.....	26
2.8. Dolgu Barajlarda Göçme	26
2.9. Dolgu Baraj Gövdesinin Muayenesi	30

2.10. Ölçüm Sistemleri ve Dolgu Barajlar	30
2.10.1. Deformasyon Ölçümleri.....	33
2.10.2. Gerilme Ölçümleri	36
2.10.3. Sızma Ölçümleri.....	38
2.10.4. Sismik Ölçümler	39
3. YÖNTEM VE BULGULAR.....	40
3.1. Verilerin Toplanması	40
3.1.1. Statik Ölçüm Yöntemi	42
3.2. Bulgular.....	45
4. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	53
KAYNAKÇA.....	56
ÖZGEÇMİŞ	61

TABLolar DİZİNİ

Tablo 1. Baraj Türünün Seçimi ve Tür Seçimini Etkileyen Unsurlar.....	4
Tablo 2. Analizlerde Emniyet Katsayıları ve Yükleme Durumları.....	21
Tablo 3. Barajlarda Gözlemlenen Temel Hasarlar ve Yüzdeleri	24
Tablo 4. 30.11.2022 tarihinde 804 kotunda yapılan 2. Oturum değerleri.....	46
Tablo 5. 27.12.2022 tarihinde 806 kotunda yapılan 3. Oturum değerleri.....	46
Tablo 6. 15.01.2023 tarihinde 808.00 kotunda yapılan 4. Oturum değerleri.....	47
Tablo 7. 03.02.2023 tarihinde 810.00 kotunda yapılan 5. Oturum değerleri.....	47
Tablo 8. 20.06.2023 tarihinde 823.00 kotunda yapılan 6. Oturum değerleri.....	48
Tablo 9. 18.01.2024 tarihinde 849.70 kotunda yapılan 7. ve son Oturum.....	48
Tablo 10. Deprem sonrası yapılan 6. ve 7. Oturumların karşılaştırılması	49

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Kaya Dolgu Barajı Genel Özellikleri.....	7
Şekil 2. Hasan Uğurlu Barajı	7
Şekil 3. Toprak Dolgu Barajı Genel Özellikleri.....	8
Şekil 4. Gebere Barajı	9
Şekil 5. Zeminlerin Gerilim – Şekil Değiştirme Eğrisi.....	10
Şekil 6. Modül Azalım ve Sönüm Eğrisi	11
Şekil 7. Farklı Zeminlere Ait Gmaks Değeri	12
Şekil 8. Sönüm Oranı Sınırları ve Davranış Bölgeleri.....	13
Şekil 9. Kumlu Çakıllarda Efektif Çevre Basıncı ve Gmaks İlişkisi.....	13
Şekil 10. Gmaks ile Dane Şekli ve Boşluk Oranı İlişkisi	14
Şekil 11. Türkiye ve Etrafında Yer Alan Tektonik Plakalar.....	16
Şekil 12. Türkiye Deprem Tehlike Haritası	16
Şekil 13. Barajlarda Gözlemlenen Yetersizlikler.....	23
Şekil 14. Beton Barajlarda Yıkılma Sebepleri	25
Şekil 15. Dolgu Barajlarda Yıkılma Sebepleri.....	25
Şekil 16. Bütün Baraj Türlerinde Yıkılma Sebepleri.....	25
Şekil 17. Dolgu Barajlarda Göçme Mekanizması.....	27
Şekil 18. Dolgu Barajlarda Sızmanın Yaşandığı Haller	28
Şekil 19. Dolgu Baraj Malzemeleri İçin Borulanma Direnci.....	29
Şekil 20. Kil Çekirdekli Zonlu Dolgu Barajlarda Aletsel Gözlem (Enkesit).....	31
Şekil 21. Kil Çekirdekli Zonlu Dolgu Barajlarda Aletsel Gözlem (Boykesit)	32
Şekil 22. Çapraz Kollu Çökme Göstergesi	33
Şekil 23. Harici çökme röperi	34
Şekil 24. İnklinometre Ölçüm Seti ve İnklinometre Borusu.....	35
Şekil 25. Oturma Ölçer	36
Şekil 26. Ekstansometre Deneyi	36
Şekil 27. Titreşim Telli Piyezometre	37
Şekil 28. Toplam Basınç Ölçer	38
Şekil 29. Gözlem Kuyusu Su Seviyesi ve Ölçme Aleti	39
Şekil 30. Gömükan Barajı.....	40
Şekil 31. Harici Röper Genel Yerleşim Planı	41
Şekil 32. Harici Röper Detayı.....	41
Şekil 33. Harici Röper GPS Okumaları	43

Şekil 34. Gövde Dolgu Kotlarında Yapılan GPS Oturumları	43
Şekil 35. TUSAGA-Aktif İstasyon Haritası.....	45
Şekil 36. Harici Çökme Röperlerinin X yönlü hareket grafiği	49
Şekil 37. Harici Çökme Röperlerinin Y yönlü hareket grafiği	50
Şekil 38. Harici Çökme Röperlerinin Z yönlü hareket grafiği.....	50
Şekil 39. Gövde Oturma Payı Boy Kesiti	52
Şekil 40. Gövde Oturma Payı En Kesiti	52



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ABD:	Amerika Birleşik Devletleri
ICOLD:	Uluslararası Büyük Barajlar Komisyonu
TMMOB:	Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği
DAF:	Doğu Anadolu Fay Hattı
GPS:	Küresel Konumlama Sistemi
GNSS:	Küresel Navigasyon Uydu Sistemleri
TUSAGA-Aktif:	Türkiye Ulusal Sabit GNSS Ağı-Aktif
TKGM:	Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü
BÖHHBÜY:	Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği



1. GİRİŞ

20. yüzyıldan bu yana barajların kullanımı, baraj güvenliği konusundaki endişelerle birlikte hızla artmıştır. Bu nedenle, birçok ülke baraj güvenliğini sağlamak için önlemler almaya başlamıştır. Mevcut barajlar 20 yıldan fazla bir süre önce inşa edildiğinden, tasarımları o sırada mevcut bilgi ve kriterlere dayandırılabilir ancak birçok değişen ile birlikte baraj yeterliliği konusunda ciddi şüpheler uyandırmıştır (Pisaniello vd., 2006: 84).

Barajlar genellikle 50-100 yıl hatta daha uzun süre kullanılmak üzere inşa edilmektedirler. Bu yapıların projelendirilmesinde ne kadar dikkatli olmak gerekiyorsa, inşasından sonraki güvenlik ve kontrolde de o kadar dikkatli olmak gerekmektedir. Bu güvenlik ve denetimler inşaat aşamasında başlar, işletme aşamasında ve ömrü boyunca devam etmektedir. İşletme aşamasında sık sık denetimler yapılmakta, barajın yaşı ilerledikçe daha az sıklıkta denetimler yapılmaktadır. Barajların bu şekilde kontrol altında tutulmasının üç temel nedeni vardır. Bunlar; barajın yapısal ve işlevsel güvenliğini sağlamak, can ve mal güvenliğini sağlamak, gelecekteki benzer projeler için kaynak sağlamaktır. Baraj sadece rezervuarındaki suyun etkisine, yani iç kuvvetlere maruz kalmamaktadır. Aynı zamanda birçok dış etki ve kuvvete de maruz kalmaktadır. Bu kuvvetlerin barajın stabilitesini bozup performansını etkileyip etkilemediği çok önemlidir. Baraj kontrol altında tutulursa, barajın bu etkilere karşı amaçlandığı gibi çalışıp çalışmadığı kontrol edilebilmektedir (Aşık, 2016: 34).

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 etkileyen 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 GNSS sistemleri gibi teknolojik ve gelişmiş yöntemlerle izlenmesi önem arz etmektedir. Araştırma kapsamında Gömükan Barajı üzerinde baraj inşasında ve gövde dolgusu aşamasında gerçekleşen veya gerçekleşebilecek deformasyonların GNSS ile kontrol altında tutulması, yaşanan problemler ve problemlere karşı çözüm odaklı önerilerin mühendislik hizmetleri bağlamında sunulması amaçlanmıştır.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

2.1. Barajların Sınıflandırılması

Barajlar, büyüklüklerine göre “küçük barajlar”, diğer bir deyişle “göletler” ya da “büyük barajlar” şeklinde sınıflandırılmaktadır. Fakat barajları büyüklüklerine göre net bir şekilde sınıflandırmak olası değildir. “Uluslararası Büyük Barajlar Komisyonu (ICOLD)”, büyük barajlar adına aşağıda belirtilen sınıflandırma gerçekleştirilebilmektedir. (Emiroğlu, 1999: 41):

- 1) Kretle temeli beş metreden fazla olan barajlar arasında bulunan yükseklik on
- 2) Yüksekliği on ila on beş metre arasında değişiklik gösteren ancak bu duruma ek olacak şekilde:
 - a) En büyük taşkın debisi > 2000 metreküp/saniye,
 - b) Hazne hacmi > 1000 000 metreküp ve
 - c) Kret uzunluğu > 500 metre olan barajlar

Üst kısımda belirtilen durumlardan en az bir tanesinin olduğu barajlar “büyük barajlar” şeklinde kabul edilmektedir. Göletler ya da küçük barajlar söz konusu tanımlamanın dışarısında kalan yapılar, proje ve etüt esasları daha basit ve hızlı sonuç alıcı ölçütlere uygun bir şekilde inşa edilen barajlar olarak ifade edilmektedir (Emiroğlu, 1999: 41).

Baraj gövde türünün, niteliklerinin farklı açılardan değerlendirilmesine göre farklı sınıflandırmalar gerçekleştirilmek mümkündür. Barajlar, gövde tiplerine göre, beton ve dolgu barajlar olacak şekilde iki kategori altında sınıflandırılmaktadır (Çarhoğlu, 2012: 31):

- 1) Beton barajlar:
 - a) Silindirle sıkıştırılmış beton barajlar
 - b) Beton kemer barajlar
 - c) Payandalı beton barajlar
 - d) Beton ağırlık barajlar
- 2) Dolgu barajlar:
 - a) Ön yüzü beton kaplı kaya dolgu barajlar
 - b) Kaya dolgu barajlar

c) Toprak dolgu barajlar

2.2. Baraj Tip Seçimi

Bir baraj türünün seçilmesi sırasında pek çok unsur rol üstlenmektedir. Bir baraj türünün en ekonomik ve uygun olduğuna yönelik bir karara varılmadan evvel genel anlamda birden çok alternatif değerlendirilerek ön proje faaliyetleri gerçekleştirilmektedir. Ayrıca baraj yerine ve inşa edilme amacına en uygun ve ekonomik baraj türünün seçilebilmesi adına birden çok unsurun beraber ele alınması gerekmektedir. Bahsedilen unsurlardan bazıları aşağıda belirtilen şekilde sıralanabilmektedir (Çiçek, 2007: 57):

- 1) Maksimum debi değeri
- 2) Dolusavak yerleşimi
- 3) Mühendislerin cesareti ve bilgi birikimleri
- 4) Baraj maliyeti
- 5) Çevresel koşullar
- 6) Ani su yükselmesi ve alçalması durumu
- 7) İnşaat süresi
- 8) İklim şartları
- 9) Bölgenin depremselliği
- 10) Malzemenin temin edilebilirliği
- 11) Malzeme yerinin baraj yerine uzaklığı
- 12) Baraj aksı litolojisi
- 13) Baraj yeri jeolojisi
- 14) Topoğrafya

Aks konumunun teknik açıdan tasarlanmış baraj türüne uygunluğu, baraj gövde türünün belirlenmesinde oldukça büyük bir rol üstlenmektedir. Kimi özel durumlar dışında, aks konumu birden çok türde baraj gövdesi projeksiyonu adına uygun olabilmektedir. Bu tarz bir durum söz konusu olduğunda plana uygun baraj türleri yerleştirilmekte, kesitleri ve uzunlukları hazırlanarak diğer yapıların tesirleri, ekonomik kıyaslamalar, vadinin şekli, sismik şartlar, malzeme şartları ve jeolojik koşullar göz önünde bulundurularak istenen baraj türünün belirlenmesinde fazlasıyla önem arz

etmektedir. Bahsedilen hususlar Tablo 1’de özetlenmiştir. Kimi durumlar söz konusu olduğunda tesis ile alakalı farklı bir yapının az maliyeti de baraj gövde türünün belirlenmesinde değerli bir unsur olabilmektedir. Bu duruma örnek olarak, baraj gövdesiyle dolusavak arasında bulunan ilişki gösterilebilmektedir. Bir aks alanında tasarlanmış beton ve dolgu türü barajların benzer maliyetlere sahip oldukları, dolusavağın gövde dışarısındaki boşaltma kanalının uzun olması ve yapının geniş hacimde beton ve kazı sarfiyatı gerektirmesi, beton türüne göre düzenlenen ekonomik dolusavak yapısı vücut, toplam maliyet ciddi oranda azalacaktır. Genel anlamda baraj gövde türünün belirlenmesine katkıda bulunan unsurlar Tablo 1’de açıklanmaktadır.

Tablo 1. Baraj türünün seçimi ve tür seçimini etkileyen unsurlar (Çiçek, 2007: 58)

Tip	Malzeme	Yapım Şartları	İklim Türleri	Yapım Süresi	Vadi Tipi	Yükseklik Sınırı	Sismik Davranış
Silindire Sıkıştırılmış	Slump sıfır SSB beton	hassas işçilik	nispeten uzun kuru sezon	kısa	dar vadi	yüksek	nispeten hassas
Ön Yüzü Beton Kaplı	Betonarme veya asfalt yüzey kaplama serbest drenaj	hassas işçilik ve özel teknoloji	her türlü	kısa	-	yüksek	dayanıklı
Kaya Dolgu	Kil kaya filtre	hassas işçilik	nispeten uzun kuru sezon	uzun	-	çok yüksek	dayanıklı
Toprak Dolgu	Kil, killi çakıl filtre	hassas işçilik	uzun kuru sezon	uzun	-	alçak	dayanıklı
Beton Ağırılık	Beton	çok hassas işçilik ve özel teknoloji	her türlü	kısa	U ve V benzeri	yüksek	hassas
Beton Kemer	Beton	çok hassas işçilik ve özel teknoloji	her türlü	kısa	U ve V	çok yüksek	çok hassas

2.3 Dolgu Barajlar

Dolgu barajlar, çoğunlukla kaya, toprak ya da diğer doğal maddelerden üretilen büyük su depolama yapıları olarak ifade edilmektedir. Bahsedilen baraj çeşidi, suyun

tutularak yönetilebilmesi adına kullanılmakta ve dünyanın pek çok bölgesinde yaygın bir şekilde tercih edilmektedir. Dolgu barajlar, inşaatları sırasında yerel malzemelerden yararlanılması ve yüksek dayanıklılıkları sebebiyle avantajlı kabul edilmektedir. Temel bileşenleri; drenaj sistemleri, sızdırmazlık katmanı, dolgu malzemesi ve baraj gövdesinden meydana gelmektedir (Topçu, 2017: 11).

Dolgu barajlar, çoğunlukla silt, kaya ve toprak benzeri doğal maddelerden üretilen yapılar olup, baraj gövdesi genel anlamda merkezi bir geçirimsiz çekirdek ve söz konusu çekirdeği çevrelemekte olan geçirgen dolgu maddelerinden meydana gelmektedir. Drenaj sistemleri, suyun güvenli olarak boşaltılmasına katkıda bulunmaktadır (Çarhoğlu, 2012: 34).

Dolgu barajlar, sağlam yapılarda inşa edilmelerine rağmen su sızıntısı, deprem etkileri, stabilite problemleri ve erozyon benzeri sorunlarla karşı karşıya kalabilmektedirler. Su sızıntısı, barağın dolgu malzemelerinde ya da çekirdek bölümünde yaşanabilmektedir. Erozyon, su akışından kaynaklı dolgu maddelerinin aşınması ve barağın güçsüzleşmesine neden olabilmektedir. Stabilite problemleri, zemin şartları ve inşaat malzemeleriyle bağlantılıdır. Deprem etkileriyle yapısal hasar riski barındırmaktadır (Topçu, 2017: 11).

Dolgu barajlar, çevresel faktörlerden etkilenebilmektedir. Barağın işletimi ve yapımı, çevrede bulunan ekosistem üstünde büyük etkilere neden olabilmektedir. Bu seviyesinde meydana gelen farklılıklar sucul hayatı ve nehir ekosistemlerine etkide bulunabilmektedir. Bunun haricinde doğal habitatların tahrip edilerek yerel fauna ve flora üstünden negatif yönlü etkiler yaratabilmektedir (Turan, 2007: 25).

Dolgu barajların farklı çeşitleri bulunmaktadır. Bahsedilen barajlar, zonlu dolgu barajlar, kaya dolgu barajlar ve homojen dolgu barajlar şeklinde sınıflandırılabilir. Homojen yapıya sahip dolgu barajlar, tek tür dolgu malzemesi ile oluşturulmakta ve çoğunlukla küçük çaplı projeler için uygun görülmektedir. Zonlu dolgu barajlar ise, çeşitli dayanıklılık ve geçirgenlik niteliklerini barındıran zonlara ayrılan dolgu maddeleri ile inşa edilmekte ve su sızıntısının önüne geçme konusunda etkili olmaktadır. Son olarak kaya dolgu barajlar, büyük kaya parçalarından yararlanılarak oluşturulmakta ve çoğunlukla yüksek stabilite ve dayanıklılık gerektiren kapsamlı ve büyük projelerde tercih konusu olmaktadır (Çarhoğlu, 2012: 34).

Sonuç itibarıyla dolgu barajlar, su depolaması ve yönetimi adına fazlasıyla önem arz etmektedir. İnşaat ve teknik çeşitlilik ile beraber yapısal problemler ve çevresel etkiler dikkate alınmalıdır. Dolgu baraj projelerinde kalite mühendislik çözüm önerileri ve çevresel etki incelemeleri fazlasıyla önem arz etmektedir.

2.3.1. Kaya Dolgu Barajlar

Kaya dolgu barajlar, ciddi oranda kaya parçalarından yararlanılarak oluşturulan su tutma yapıları olarak kabul edilmektedir. Bahsedilen barajlar, yüksek stabilite ve dayanıklılık gerektirmekte olan bölgelerde tercih edilmektedir. Çoğunlukla doğal kayalardan sağlanan büyük taşlar ya da kırma taşlardan yararlanılarak inşa edilmektedirler (Taşçı vd., 2004: 205-219).

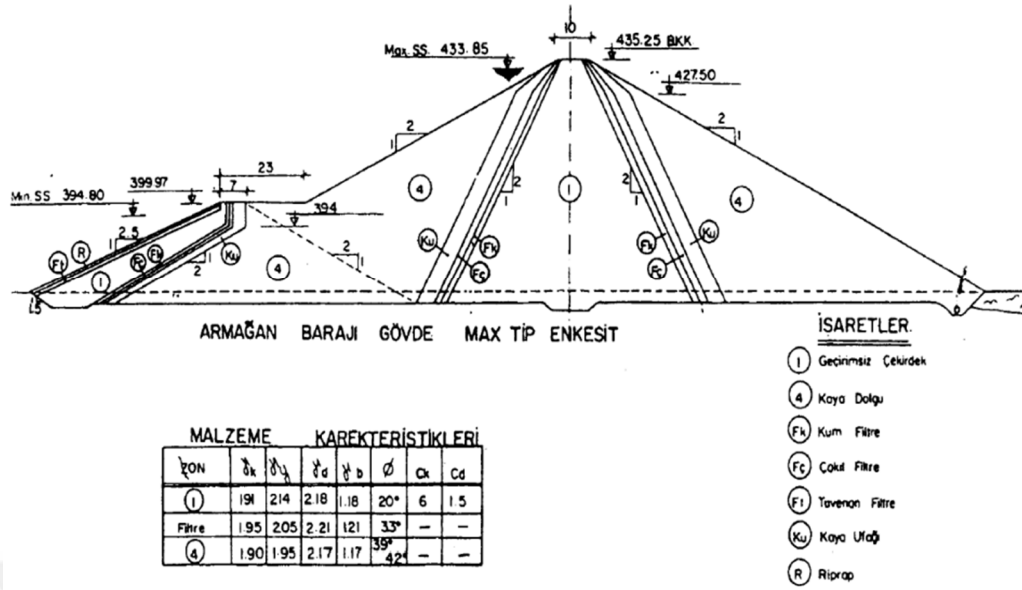
Baraj gövdeleri çoğunlukla kaya dolgu maddeleri ile inşa edilmekte ve suyun geçirilmesini engellemek amacıyla geçirimsiz bir çekirdek tabakayla desteklenmektedir. Barajın temeli, kaya zeminine sağlam olarak yerleştirilmekte ve kaya dolgu maddeleri büyük bir dikkatle yerleştirilerek sıkıştırılmaktadır (Çavuş, 2017: 638-645).

Kaya dolgu barajların kurulması diğer baraj tiplerine nazaran çoğunlukla daha uzun süre alabilmektedir ve daha yüksek maliyetli olabilmektedir. Fakat uzun ömürleri ve yüksek dayanıklılığa sahip yapıları sebebiyle tercih edilmektedirler. Kaya dolgu barajları, özellikle su basıncına maruz kalan ve stabilite gerektirmekte olan bölgelerde güvenilir bir çözüm sağlamaktadır (Kalın, 2010: 63).

Bu barajlar, çoğunlukla büyük hacme sahip suları depolayarak yönetebilmek adına tercih edilmektedir. Doğal ve yüksek dayanıklı maddelerden yararlanılması aracılığıyla çevresel tesirleri olabilecek en az seviyeye indirme potansiyeline sahip olmaktadır. Fakat buna benzer barajların kurulması ve bakım işlemleri, çevre koşullarının dikkate alınması ve doğal kaynakların muhafaza edilmesi bakımından özenli planlama gerektirmektedir (Taşçı vd., 2004: 205-219).

Sonuç itibarıyla bu barajlar, büyük mühendislik planlarında su kaynaklarının yönetilmesi ve korunmasında fazlasıyla büyük bir rol üstlenmektedir. Bahsedilen barajların kurulmasında tercih edilen yöntemler, zaman içerisinde gelişerek daha verimli ve güvenli yapılar inşa edilmesine imkan sunmuştur.

Kaya dolgu barajlar, jeoteknik mühendisliği sektöründe uzun süreli güvenlik ve dayanıklılık bakımından önemli bir çözüm sağlamaktadır ve doğru malzeme ve tasarım tercihiyle optimum performans sunmaktadırlar. Ayrıca bahsedilen barajların kurulması esnasında çevresel koşulların olabilecek en az seviyeye indirgenebilmesi adına sürdürülebilir mühendislik faaliyetleri ve doğal kaynakların korunması da fazlasıyla önem arz etmektedir (Çavuş, 2017: 638-645). Şekil 1'de kaya dolgu barajların genel özelliklerine ve Şekil 2'de ise kaya dolgu baraj tipine örnek olarak Hasan Uğurlu Barajı görseline yer verilmiştir.



Şekil 1. Kaya dolgu barajı genel özellikleri (Orhon, 1997: 124).



Şekil 2. Hasan Uğurlu Barajı (Urul 1).

2.3.2. Toprak Dolgu Barajlar

Toprak dolgu barajlar, çoğunlukla yerel çakıl, kum ve toprak benzeri doğal malzemelerden yararlanıldığı su tutma yapıları olarak kabul edilmektedir. Toprak dolgu barajlar, suyun depolanarak yönetilebilmesi adına dayanıklı ve ekonomik çözümler sağlamaktadır. Çoğunlukla su kaynaklarını korumak amacıyla tercih edilmektedirler. Baraj gövdeleri, çoğunlukla toprak dolgu maddeleriyle inşa edilerek suyun geçirilmesine engel olabilmek adına geçirimsiz bir çekirdek tabakayla desteklenmektedir. Baraj temeli



Şekil 4. Gebere Barajı (Url 2).

2.4. Zeminlerin Dinamik Özellikleri

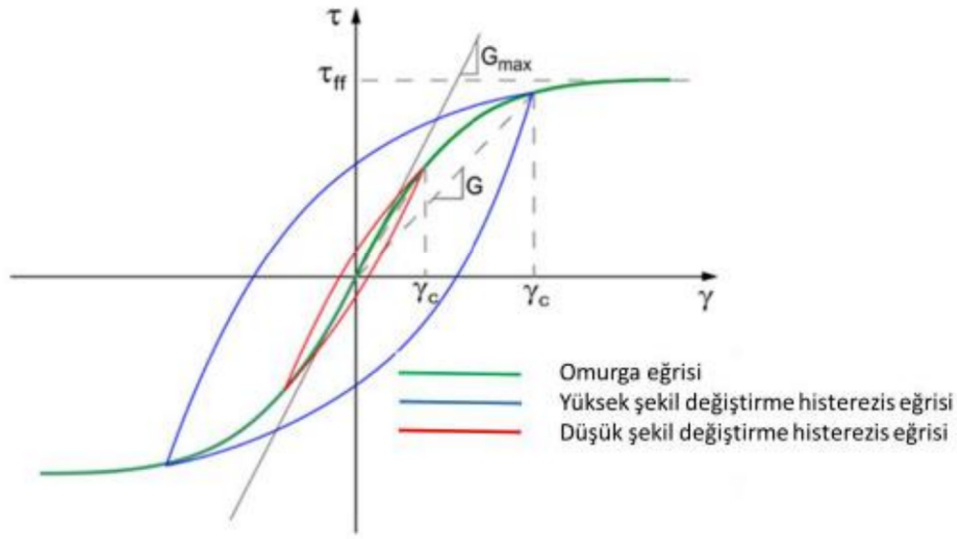
Zeminlerin statik niteliklerinin yanı sıra deprem benzeri tekrar eden yükler altında sergilediği davranışlarının bilinmesi adına dinamik niteliklerinin de bilinmesi gerekmektedir. Tekrar eden yükler altında zeminlerin dayanıklılık ve gerilme deformasyon nitelikleri değişkenlik gösterebilmektedir. Depremler sırasında meydana gelen deformasyonlar önemli hasarlara yol açmaktadır. Bu nedenle dinamik yüklemelerde zeminlerin dinamik özelliklerinin de tespit edilmesi fazlasıyla önem arz etmektedir. Zeminlerin dinamik özellikleri sönüm oranı ve kayma modülü değerleri olarak ifade edilmektedir. Bahsedilen özelliklerin bilincine varılması, deprem sonucunda meydana gelen zararın olabilecek en az seviyeye indirgenmesi adına alınacak tedbirleri belirleme sırasında oldukça değerli bir rol üstlenmektedir (Özsağır, 2015: 41).

Zeminlerin dinamik niteliklerini belirleyebilmek adına en fazla tercih edilen deneyler dinamik üç eksenli basınç ve rezonant kolon deneyi olarak ifade edilmektedir. Rezonant kolon deneyi sırasında oldukça küçük deformasyon düzeylerinde, dinamik üç eksenli deney sırasında ise daha yüksek deformasyon düzeylerinde zeminlerin dinamik nitelikleri tespit edilmektedir. Rezonant kolon deneyinin teorisi prizmatik çubuklarda meydana gelen dalga yayılmasına dayandırılmaktadır.

Zeminler tekrar eden yüklere uğraması neticesinde histerezis eğrileri meydana gelmektedir. Histerezis eğrileri birleşerek omurga eğrisini ortaya çıkarabilmektedirler. Zeminlerin dinamik yükler altında bulunan davranışları adına zeminin rijitliği ve gerilim

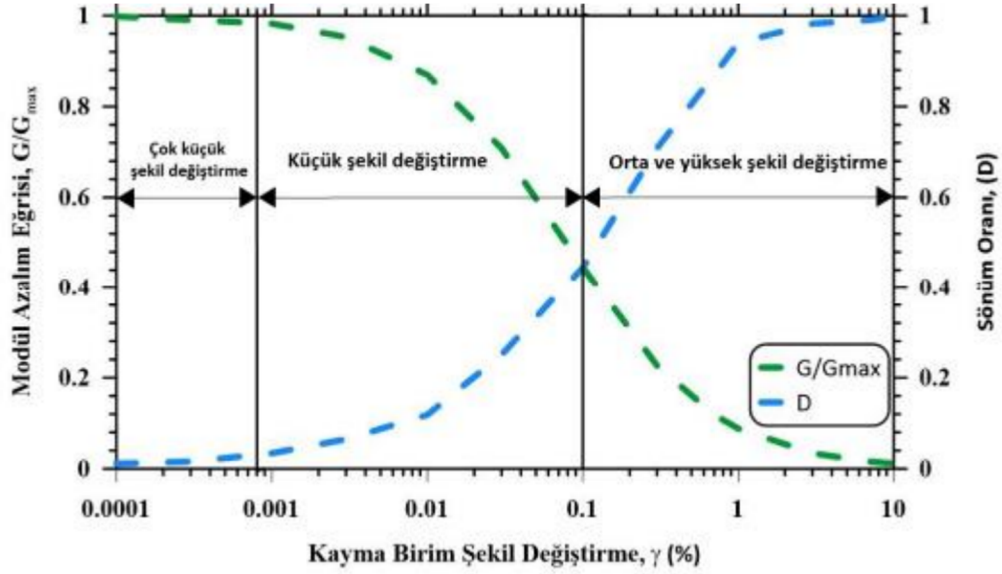
biçim değiştirme davranışı fazlasıyla önem arz etmektedir. Zeminlerin gerilim – biçim değiştirme niteliği farklı birim kayma deformasyonlarında meydana gelen kayma modülü ve sönüm oranı değişiklikleridir. Kayma modülü, “*sekant kayma modülü*” olarak da ifade edilmektedir. Kayma modülü gerilim – biçim değiştirme eğrisinin eğimi olarak nitelendirilmektedir. şekil 5’te zeminlerin gerilme - şekil değiştirme eğrisi grafiğine yer verilmiştir. Ayrıca zeminlerin maksimum kayma modülü; kayma dalgası hızı ve yoğunluğa bağlı bir şekilde aşağıda belirtilen denklemden yararlanılarak hesaplanmaktadır:

$$G_{\max} = \rho V_s^2$$



şekil 5. Zeminlerin gerilim – şekil değiştirme eğrisi (Stewart vd., 2014: 152).

Sönüm oranı (D), gerilim – gerilim histerezisine bağlı olacak şekilde hesap edilmekte ve tekrar eden yükler sonucunda harcanan enerji oranını göstermektedir. Farklı deformasyon düzeylerinde yer alan kayma modülü değerlerinden, modül azalma eğrisine erişilebilmektedir. Rezonant kolon deneyi aracılığıyla dinamik çok küçük ve küçük kayma birim şekil değiştirme düzeylerinde modülü sönüm eğrisi ve azalım eğrisi tespit edilebilmektedir (Güler, 2021: 51) (şekil 6).



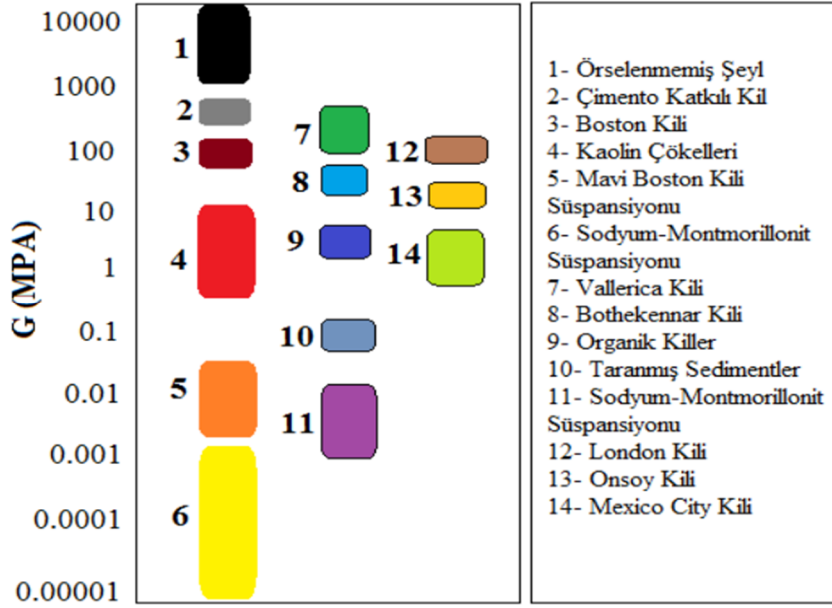
Şekil 6. Modül azalım ve sönüm eğrisi (Güler, 2021: 51).

2.4.1. Zeminlerin Başlangıç Rijitliği ve Sönümleme Davranışı

Zeminlerin dinamik yükte meydana gelen davranışları ele alınırken en değerli kavramlar arasında kayma modülü değeri, farklı bir deyişle rijitlik değeri yer almaktadır. Başlangıç rijitlik değeri, G_{max} zeminin deforme olmadan veya oldukça az deformasyon durumları söz konusu olduğunda ölçülen değer olarak ifade edilmektedir. Laboratuvar ortamında bahsedilen değer bender element veya rezonant kolon deneyleri ile tespit edilebilmektedir. Literatür içerisinde kayma deformasyonunun 10^{-6} düzeylerinde bulunan değeri G_{max} şeklinde nitelendirilmektedir (Towhata, 2008: 87).

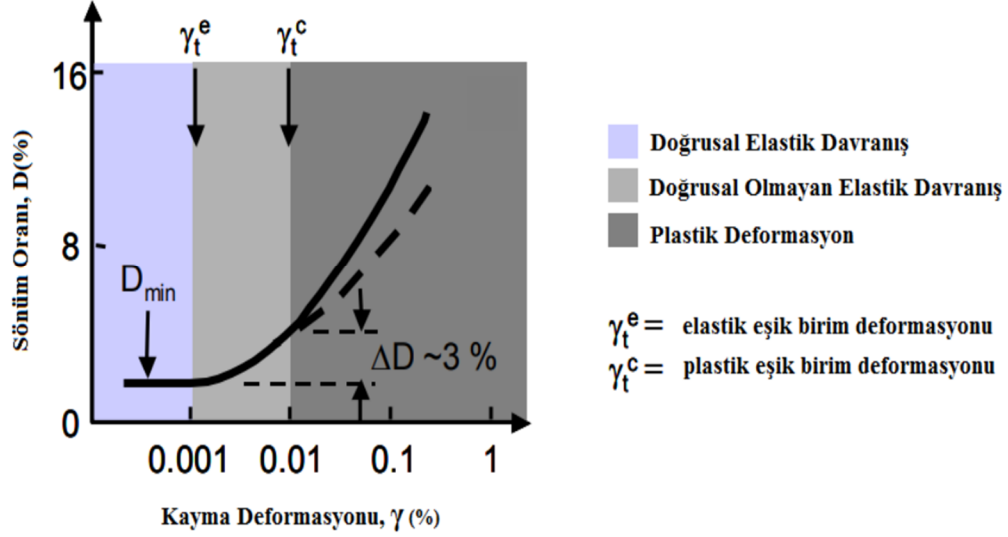
İnce taneye sahip zeminlerin yapılarında yer alan silt ve killerin yapısal niteliklerine bağlı olacak şekilde iri taneli zeminlerden farklı nitelikler sergileyebilmektedirler. Bahsedilen durumun nedenleri arasında ince tane oranının sızma hızına etkisi, çimentolaşma ve killerin elektriksel yüklü olması nedeniyle ortamda bulunan suyu kapsamında hapsetmesi yer almaktadır (Jamolkowski, 1985: 99).

İnce taneye sahip zeminlerde G_{max} $\gamma \leq 10^{-5}$ olarak hesaplandığı deformasyon değerlerinde, deformasyondan bağımsız olacak şekilde sabit bir değere sahip olmaktadır. Bahsedilen düzeydeki G_{max} değeri; ortalama efektif gerileme, zemin yapısı ve zeminin boşluk oranına bağlı olmaktadır. İnce taneli zeminlerde sağlanan en yüksek kayma modülü değişimine Şekil 7’de yer verilmiştir.



Şekil 7. Farklı zeminlere ait Gmaks değeri (Santagata, 1999: 38).

Dinamik yüklerde oldukça az birim kayma deformasyonu seviyelerinde zeminlerin davranışı genel anlamda doğrusal elastik olmaktadır. Doğrusal elastik olduğu alanda sönüm davranışını vizkozite ya da daneler arasında meydana gelen sürtünme kuvveti tespit etmektedir. Söz konusu aralıkta sönüm oranı en az değerini D_{min} üstlenmektedir. Fakat birim deformasyon genliği yükseldikçe sönüm mekanizması “*doğrusal olmayan elastik davranış*” sergilemektedir. En yüksek kayma modülü değerinin %2 düştüğü birim deformasyon genliği, “*elastik eşit deformasyonu*” şeklinde isimlendirilmektedir. Ayrıca eşik deformasyonuna, “*doğrusal olmayan davranışa geçiş*” de denmektedir. Eşik deformasyonu üstünde doğrusal olmayan zemin davranışı sergilenmesine rağmen deformasyonlar elastik bir yapıya sahiptir ve söz konusu deformasyonun ardından sönüm oranı yükselmektedir (Şekil 8). En yüksek kayma modülü değerinin %20 azaldığı deformasyonun ardından çoğunlukla plastik deformasyonlar meydana gelmektedir. Plastik deformasyonların meydana geldiği sınır içerisinde sönüm oranı, başlangıçtaki sönüm oranından yüzde üç daha fazla olmaktadır (Darendeli, 2001: 42).

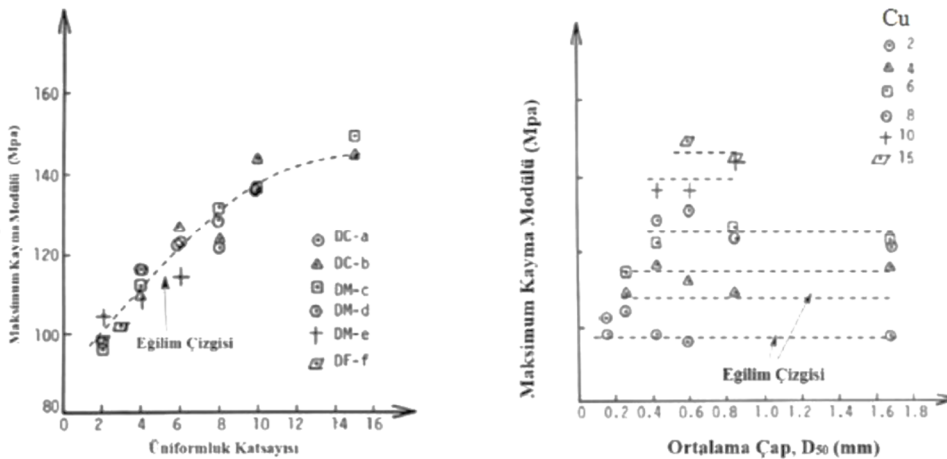


Şekil 8. Sönüm oranı sınırları ve davranış bölgeleri (Darendeli, 2001: 42).

2.4.2. Zeminlerin Başlangıç Rijitliği ve Sönüm Oranına Etkide Bulunan Unsurlar

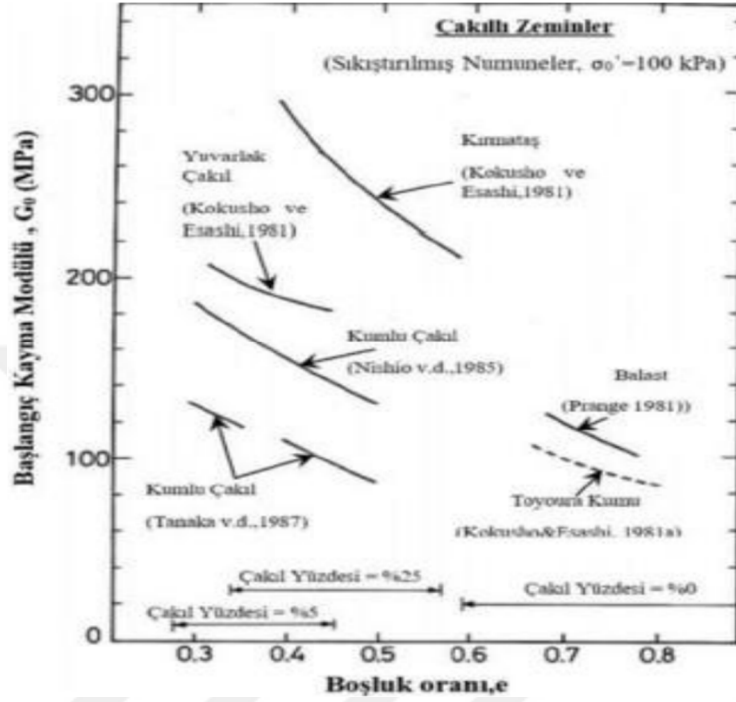
Gerilim durumu ve zemin türü, G_{maks} değerine etkide bulunan parametreler arasında yer almaktadır. G_{maks} elastik bölge içerisinde; dane çapı dağılımı, jeolojik yaş, efektif gerilme, dane şekli ve boşluk oranıyla bağlantılıdır. G_{maks} ; çevre basıncı (σ_3) ve kayma dalgası hızı (V_s) ile de doğrusal bir ilişki içerisindedir (Hardin ve Richart, 1963: 33-65).

İri taneli zeminlerin kayma modülü değişikliğine uniformluk katsayısı (C_u) ve ortalama dane çapı (D_{50}) fazlasıyla etki sahibidir. Ayrıca iri taneli zeminlerde en yüksek kayma modülü değerine tane çapı dağılımı da etkide bulunmaktadır. Kayma modülünün tespit edilmesine yönelik gerçekleştirilmiş araştırmalardan sağlanan bulgulara Şekil 9 ve 10'da yer verilmiştir (Ishihara, 1996: 55).



Şekil 9. Kumlu çakıllarda efektif çevre basıncı ve G_{maks} ilişkisi (Kokusho, 1987: 72).

Zeminlerin başlangıç sönüm oranı $\gamma \leq 10^{-5}$ düzeylerinde sabit bir şekilde seyrederken, daha çok birim deformasyon değerlerinde deney hızı, yükleme frekansı (f) sönüme etkide bulunmaktadır. $f > 10$ Hz değerlerinde frekans ile sönüm doğru ilişkili, $0.1 \leq f \leq 10$ Hz aralığında sönüm frekanstan bağımsız ve sabit, $f < 0.1$ değerlerinde frekans ve sönüm ters ilişkilidir (Shibuya vd., 1995: 365-375).



Şekil 10. Gmaks ile dane şekli ve boşluk oranı ilişkisi (Ishihara, 1996: 60).

2.5. Barajların Deprem Etkisi Altında Davranışı

Türkiye Cumhuriyeti, aktif fay hatları üstünde yer almaktadır. Bahsedilen durum da Türkiye'nin depremler ile karşılaşmasına yol açmaktadır. Türkiye Cumhuriyeti'nde yaşanan şiddetli depremler de bu durumun en önemli kanıtı şeklinde gösterilebilmektedir. Büyük su kütleleri olan barajların deprem sırasında sergilediği davranışları da fazlasıyla önem arz etmektedir. Barajların deprem sırasında sergilediği davranışların ele alınması maksadıyla 1970'lerde pek çok devlet tarafınca farklı araştırmalar gerçekleştirilmiştir. Bahsedilen araştırmalar neticesinde baraj – zemin hidrodinamik etkileşimleri dikkate alınarak deprem yüklerine dayanan baraj inşası adına gereken analiz programları ve tasarım rehberleri hazırlanmıştır. Türkiye Cumhuriyeti'nde ise geçmiş dönemlerden bugüne baraj inşası adına kil çekirdek kaya dolgu baraj inşasında tercih edilen basite indirgenmiş stabilite analizleri gerçekleştirilmektedir. Gelişim gösteren bilgi ve teknoloji birikimleri aracılığıyla genelleştirilen hesaplama tekniklerinin yanı sıra barajın kurulacağı alana ilişkin deprem riski daha ayrıntılı bir şekilde değerlendirilmektedir (Aldemir vd., 2015: 6943-6968). Dolgu barajların deprem sırasında sergilediği davranışları

inceleyebilmek adına ilk olarak santrallerin kurulacağı bölgelerin tektonik durumunun ele alınması gerekmektedir.

Baraj planlarında sonlu elemanlara dayanmakta olan yazılımlarla dinamik analiz tekniklerinden yararlanılmaktadır. Yazılımlardan yararlanırken planın iyi bir şekilde tanınması ve programların düzgün bir şekilde çalışabilmesi adına gereken tüm işlemlerin dikkatli bir şekilde yerine getirilmesi gerekmektedir. Yazılımla adına uygun olarak kabul edilen projelerin analizlerinin gerçekleştirilmesi de fazlasıyla önem arz etmektedir. Fay hatlarının üzerine yer alan bölgelerde kurulan barajlarda deprem sırasında yapıya büyük şiddetlerin etkide bulunacağı beklenilmektedir. Kurulan tüm barajlarda söz konusu durumun dikkate alınması gerekmektedir. Projenin analizi adına deprem dalgalarından sağlanabilecek parametrelerin belirlenmesi fazlasıyla önem arz etmektedir. Projenin güvenli olması adına söz konusu parametrelerin değerlerini çok büyük belirlemek yanlış bir davranıştır. Dünya genelinde yaşanan büyük depremler incelendiği zaman yıkılan barajlar olduğu kadar dayanıklı olarak yıkılmadan ayakta kalan barajlar olduğu da görülmektedir (Özsoy, 2007: 77).

Türkiye Cumhuriyeti'nin tektoniği incelendiği zaman Anadolu bölgesinin genelinin Türkiye plağı üstünde yer aldığı görülmektedir. Güneyde yer alan Afrika ve Arap plağı, Türkiye plağının altına doğru hareket etme eğilimi sergilemektedir. Afrika ve Arap plağını, Ölü deniz fayı ayırmaktadır. Arap plağının kuzey doğusunda yer alan Van plağıyla Bitlis – Zagros Bindirme Zonuyla ayrılmaktadır. Türkiye plağıyla Karadeniz plağının arasında yer alan Kuzey Anadolu fayı, yaklaşık olarak 1,5 kilometre uzunluğuna sahip olup, doğu batı yönünde uzanmaktadır. Kuzey Anadolu fayının Türkiye coğrafyası üstünde bulunan konumuysa, Türkiye Cumhuriyeti'nin doğusunda yer alan Karlıova'dan başlayarak Anadolu bölgesini kat etmesinin ardından İzmit Körfezinden Marmara Denizi'nin altına girip Trakya bölgesine ulaşmaktadır. Trakya'nın güney batısını geçmesinin ardından Ege denizinde sonlanmaktadır. Kuzey Anadolu fay hattının sağ doğrultu atımlı türü "*echelôn fayı*" olarak bilinmektedir. Kuzey Anadolu fayında kırılmış olan bir parça, diğer parçayı aktifleştirmektedir. Fay üstünde yer alan parçaların söz konusu hareketi, Kaliforniya'da yer alan San Andreas fayıyla benzerlik göstermektedir. Kuzey Anadolu fayı, aktif bir fay olarak bilinmektedir. Aktif olarak bilinen söz konusu fay üstünde Türkiye Cumhuriyeti'nde en büyük depremler yaşanmıştır. Kuzey Anadolu fayının ardından Türkiye Cumhuriyeti'nde yer alan diğer bir aktif fay ise Doğu Anadolu fayı olarak ifade edilmektedir. Bu fay, doğuda yer alan Karlıova'dan başlayarak güney batıya doğru uzanarak Akdeniz bölgesine ulaşmaktadır. Ölü deniz fay hattında yakın

Barajlar, diğ er yapılarından bazı farklılıklar iç ermektedir. Söz konusu farklılıklar arasında, barajın sahip oldu ğ u yayılı kütle dağılımı yer almaktadır. Söz konusu yayılı kütle nin baraj yapıları üstünde bulunan sismik davranışlarının belirlenmesinde yapı, zemin ve rezervuarın birbirleri üstünde bulunan tesirlerinin özenle incelenmesi gerekmektedir. Deprem esnasında barajın membasında yer alan suyun meydana getirdi ğ i hidrodinamik güçlerin, hidrostatik etkiler düzeyinde ve söz konusu düzeyin üstüne çıkabilece ğ i için özenle hesaplanması gerekmektedir. Hidrodinamik güçler, suyun sıkıştırılabilirliğine, barajın memba yüzü kısmında bulunan geometrisine, deprem hareketine ve rezervuarın şekline göre farklılıklar iç erebilmektedir (Aldemir vd., 2015: 6943-6968).

Baraj tasarımı adına gereken yer hareketi parametreleri, barajın potansiyel tehlikesini dikkate alarak deterministik ve olasılıksal hesaplamaların bulguları göz önünde bulundurularak sismik risk düzeyi tespit edilmesinin ardından parametre de ğ erleri sağ lanmaktadır. Yer hareketi özellikleri adına gereken deterministik sismik sıklık hesabında, baraj bölgesinin etrafında yer alan fay hatlarından yararlanılmaktadır. Fay hattının geçmiş dönemlerde meydana getirdi ğ i depremler ve olası meydana getirebilece ğ i en büyük depremler tespit edilmektedir. Söz konusu belirlenmiş depremlerin baraja en yakın mesafeden meydana gelece ğ i düşünölmektedir. Sismotektonik yapıya ve barajın meydana getirdi ğ i zeminin niteliklerine uygun yer hareketi, tahmin denkleminde yararlanılarak en önemli yer hareketi parametreleri tespit edilmektedir (Devlet Su İşleri, 2012: 19).

2.5.1. Beton Barajların Deprem Etkisi Altında Davranışı

Barajlar, büyük su kütleleri olan yapılar olarak ifade edilmektedir. Barajlar, deprem etkisinde muhtemel yıkılmalarında birçok mal ve can kaybına yol açabilecek potansiyeldedir. Bu nedenle baraj tasarımı gerçekleştirilirken barajın deprem etkisinde sergiledikleri davranışlarının dikkatli bir şekilde incelenmesi ve hesaplamalar sırasında meydana gelebilecek tüm senaryoların analiz edilip en uygun tasarımın belirlenmesi gerekmektedir. Türkiye Cumhuriyeti'nde kurulan baraj yapılarının büyük bir kısmı kil çekirdekli kaya dolgu barajları olarak bilinmektedir. Bahsedilen türde olan barajlar adına basitleştirilen stabilite analizi tercih edilmektedir. Son dönemlerde gelişim gösteren teknoloji ve bilgiyle beton barajların sayısı ço ğ almıştır. Beton barajların sayısının ço ğ almasıyla Devlet Su İşleri 2012'de "*Beton Barajların Tasarım İlkeleri*" adında tasarım rehberini meydana getirmiştir (Devlet Su İşleri, 2012: 1).

Beton gerilme – şekil değiştirme eğrisi hem çekme hem de basınç altında yumuşama sergilemektedir. Bu nedenle beton yarı gevrek bir malzeme şeklinde kabul görülebilmektedir. Bunun haricinde çimento pastası ve beton agregadan meydana gelen kompozit bir madde olarak kabul edilmesi nedeniyle çatlak ilerlemesi fazlasıyla karmaşık ve düzensiz olarak meydana gelmekte ve tahmini güç bir hale gelmektedir. Betonun basınç ve kayma yüklemeleri altında basınç oranına bağlı bir şekilde deformasyon yapma becerisi de mevcuttur. Madde kaynaklı söz konusu doğrusal elastik olmayan davranışa ek olacak şekilde, depremin baraj gövdesi üstünde meydana getirdiği gerilim dağılımını da baraj yapılarında meydana gelmesi beklenen doğrusal elastik olmayan davranış adına belirleyici bir rol oynamaktadır. Yüksek mod tesirleri, taban ve gövdede meydana gelen çatlakların iç gerilme dağılımını farklılaştırması benzeri faktörler, baraj yapılarının deformasyon gerçekleştirebilme becerisi üstünde etki sahibidir. Barajlar için deprem performanslarının tespit edilmesine ek olacak şekilde havza özelinde gerçekleştirilecek risk faaliyetleri adına mutlaka baraj göçme türlerine ilişkin bilgiye sahip olunması gerekmektedir (Aldemir vd., 2015: 6943-6968).

Beton ağırlık baraj yapılarında depremin yarattığı etki sonucunda meydana gelen en büyük risk, deprem yüklerinde barajın kayma emniyetinin azalması olarak kabul edilmektedir. Diğer bir risk ise, depremin barajda çatlak yaratma olasılığıdır. Bahsedilen durum, tüm beton ağırlık barajlar adına geçerli kabul edilmektedir. Beton barajlar içinde bulunan payandalı barajların deprem hızları baraj aksına paralel gelmesi halinde diğer beton baraj çeşitlerine göre daha dayanıksız yapıdadır. Beton barajların deprem etkisinde sergiledikleri davranışlara bakıldığı zaman, 2001'e dek pek çok baraj gerçekleştirildiği ve söz konusu barajların deprem etkisinde kaldığı görülmektedir. Bahsedilen beton barajlar arasında farklı türde beton barajlar yer almaktadır. Söz konusu barajların hiçbirisi deprem etkisinde yıkılmamıştır. Sefid Rud Barajı yüz beş metre yüksekliğine sahip olup payandalı beton baraj olarak ifade edilmektedir. 1962'de inşa süreci sona ermiş olan bahsedilen barajın rezervuarı 1,8 milyar metreküp büyüklüğünde ve üretim kapasitesiyse 87.5 megawatta sahiptir. Barajın inşasında psödo-statik analiz tekniğinden yararlanılmış olup deprem hızı 0.10 g ve 0.25 g şeklinde belirlenmiştir. 1990'da baraja otuz iki kilometre mesafede, büyüklüğü 7,5 şiddetinde deprem yaşanmıştır. Deprem sırasında birçok mal ve can kaybı yaşanmıştır. Rezervuar bölgesinde yamacın sol kısmında yetmiş santimetre genişliğinde ve yüz yirmi santimetre derinliğinde çatlaklar ortaya çıkmıştır. Söz konusu şiddetli deprem sonucunda baraj hasar almış ancak yıkılmamıştır. Payandaların tümünde krete yakın bölümlerde çatlaklar ortaya çıkmıştır. Yaşanmış depremin hesaplarda kullanılmakta olan “*İnanılır En Büyük Deprem*” değerine karşılık

geldiğinden baraj mühendisleri adına bahsedilen deprem oldukça önem arz etmektedir. Hindistan ülkesinde yer alan 102,4 metre yüksekliğine sahip olan Koyna Barajı, 1967’de depremin merkez noktasına üç kilometre mesafede, 6,5 büyüklüğünde; Çin’de 104,2 metre yüksekliğine sahip Hsinfengkiang Barajı 1962’de merkeze 1,1 kilometre mesafede olan 6.1 şiddetindeki deprem etkisinde kalmışlardır. Deprem etkisinde kalmış 2 barajda beton ağırlık baraj türünde olup hasar görmüş ancak yıkılmamışlardır (Dalkır, 2011: 887-901).

Romanya’da 1977’de yaşanmış 7,2 şiddetindeki deprem iki barajı etkilemiştir. Bahsedilen barajlardan birincisi yüz yirmi alt metre yüksekliğine sahip ağırlık baraj olup, depremin merkez üssüne mesafesi yüz kilometredir. Diğer barajsa seksen metre yüksekliğine sahip olup baraja altmış kilometre mesafededir. Depreme maruz kalan 2 barajda hiç hasar görmemiştir. Amerika Birleşik Devletleri (ABD)’de yer alan 38,5 metre yüksekliğine sahip Lower Crystal Springs Ağırlık Barajı ise 196’da yaşanmış 8,3 büyüklüğündeki depremin merkez üssüne mesafesi dört yüz metredir. Baraj bahsedilen şiddetli deprem sonucunda hiçbir etki görmemiştir. Pacoima Barajı ABD’de yüz on üç metre yüksekliğine sahip olup 1929’da kemer baraj şeklinde kurulmuştur. Pacoima Barajı, 1971’de depremin merkez üssüne beş kilometre mesafede, büyüklüğü 6,5 şiddetinde olan depremin etkisinde kalmıştır. Bahsedilen deprem sonucunda kemer barajda hiçbir hasar gözlemlenmemiştir. Aynı baraj, 1994’te on sekiz kilometre mesafede, 6,7 şiddetinde meydana gelmiş depremin etkisi altında kalmış ve hasar oldukça az olmuştur. Ambiesta Barajı yüksekliği elli dokuz metre çift eğrilikli kemer baraj, 1956’da İtalya ülkesinde kurulmuştur. Bahsedilen barajın 0.76 g düşey ve 0.75 g yatay ivmeler en üst limit değerler şeklinde tespit edilmiş ve bahsedilen ivmelerde barajın güvenli olduğu belirtilmiştir. 1976’da depremin merkez üssüne yirmi iki kilometre mesafe ve 6,5 büyüklüğündeki Friuli depremi bahsedilen barajı etkilemiştir. Barajda ölçülmüş en yüksek yer ivmesi 0.33 g şeklinde hesaplanmıştır. Baraj, bahsedilen deprem sonucunda hasar görmemiştir. Depremin yarattığı etki bölgesinde on üç tane daha beton kemer baraj yer almaktaydı. On üç barajdan hiçbir tanesi deprem sonucunda hasar görmemiştir (Dalkır, 2011: 887-901).

2.5.2. Dolgu Barajların Deprem Etkisi Altında Davranışı

Dolgu barajlar, depremlere karşı genel anlamda dayanıklı bir yapıya sahiptir. Dolgu barajlar, deprem sırasında plastik ve elastik deformasyona yol açarak esnek bir davranış göstermektedir. Dolgu barajların deprem sırasında muhtemel yıkılma riskleri incelendiği zaman; depremin yarattığı etki ile meydana gelen kalıcı oturma hava payından daha fazla

olur ise, barajın depoladığı su kreti aşır yıkılmaktadır. Bir diğer durum ise deprem sırasında yaşanan sismik hareketler neticesinde barajın temeli ve gövdesinde yer alan doygun, ince ve kohezyonsuz maddelerin sıvılaşması olarak ifade edilmektedir. Söz konusu sıvılaşma riski, malzemenin sıkıştırılmaması durumunda daha yüksektir. Diğer bir durum ise kil çekirdekli dolgu baraj yapılarında depremin yarattığı etki sonucunda meydana gelen yatay deplasman kum filtre tabakasının kalındığından çoksa, çekirdek kimi katmanlar içerisinde transisyon ve filtre tabakaları vazifesini yerine getirememektedir. Kil çekirdek maddesi, sızıntıyla mansaba doğru hareket etmektedir ve borulanma sebebiyle baraj yıkılmaktadır. Dünya genelinde depremlerin yarattığı etkiyle yıkılmış dolgu barajlar genellikle hydrolic fill tekniğiyle üretilmiş eski türde toprak barajlar olarak bilinmektedir. Japonya’da 6,9 büyüklüğündeki 1995’te yaşanmış deprem sonucunda birçok mal ve can kaybı yaşanmıştır. Yaşanmış deprem yirmiden çok beton barajı ve on beşten çok dolgu barajda hasara yol açmıştır. Bahsedilen barajlardan yalnızca Niketo Toprak Barajı yıkılmıştır. Depremin merkezinde yer alan üç toprak dolgu baraj ciddi oranda zarara maruz kalmış ancak yıkılmamıştır (Dalkır, 2011: 887-901).

Depreme dayanıklı baraj inşasında ilk olarak gerçekleştirilmesi gerekli olan proje sahasının deprensellik bakımından ele alınmasıdır. Ayrıca aktif fayın geçtiği alanlarda baraj inşa edilmemesi gerekmektedir. Zeminin istenilen sertlik ve yumuşaklık düzeyi de barajın türüne göre değişkenlik içermektedir. Örnek olarak dolgu türü baraj yapılarında fazla sert olmayan zemin uygun görülmektedir. İnce tane oranı yüksek kumlarda veya ince taneli kum tabakasında, deprem sırasında sıvılaşma olasılığı yüksektir. Bahsedilen zemin yapısına sahip olan barajların istenilen zemin niteliğine getirilmesi oldukça güç olduğu için bu niteliklere sahip bölgeler proje sahası şeklinde belirlenmemelidir. Akarsu yatağına kaplama gerçekleştirildiği durumlar söz konusu olduğunda baraj çekirdeği temel kayanın içerisinde kaldığı zaman zeminle kaplama veya çekirdek arasında rijitlik farkı meydana gelmektedir. Söz konusu rijitlik farkı da çatlaklara yol açabilmektedir. Çatlamların önüne geçebilmek adına bahsedilen alanlar arasında geçiş bölgeleri inşa edilerek sertlik oranı aşamalı bir şekilde düşürülmelidir. Dolgu baraj yapılarında çekirdek dolgunun orta kesimlerinde bulunması önerilmektedir. Bahsedilen bölge tercihinin sebebiyse çekirdek bölgesi ortaya yer alanlarla çekirdek bölgesi eğimli olan baraj yapılarına nazaran oturmaları daha iyi ve kabarma, çatlama benzeri problemlerle karşı karşıya kalınmamasıdır. Oturma ve kaymanın önüne geçebilmek adına dolgunun eğiminin yeterli ölçüde sünek olması gerekmektedir. Depremden sonra meydana gelebilecek sıvılaşma oranını küçültebilmek adına filtrelerde uygun dolgu maddesinin belirlenmesi ve sıkıştırılma işleminin dikkatlice yerine getirilmesi gerekmektedir. Barajın

gövdesinden farklı olacak şekilde kurulan baraj yapısının diğer bölümleri ve gövde arasında rijitlik farkı söz konusu olabilmektedir. Bahsedilen durumlar söz konusu olduğunda zemine gömülü bir şekilde kurulacak yapılar ve dolgunun birbirine temas ettirilmemesi gerekmektedir (Çetin ve Unutmaz, 2004: 1).

Dolgu baraj tiplerinin deprem etkisinde sergilediği davranışları statik şev stabilite analiziyle çözümlenmektedir. Dolgu baraj yapılarında gövde 7 farklı durum analizi gerçekleştirilerek tasarlanmaktadır. Analizler kayma dairesi tekniğiyle gerçekleştirilerek analiz neticesinde 7 farklı durum adına istenilen emniyet katsayı değerlerine ulaşılmakta ve deprem etkisinde sergilenen davranışlar 4 durumun bulgularına göre tespit edilmektedir. Bahsedilen 4 durum içinde firmaya esas deprem ve emniyete esas deprem senaryolarına uygun bir şekilde analizler gerçekleştirilmektedir. Tablo 2’de emniyet katsayı değerleri ve yükleme durumları yer almakta olup, muhtemel yükleme durumu barajın temel fonksiyonu ile ilgili yükleme ve yük durumlarını kapsamaktadır (Devlet Su İşleri, 2012: 18).

Tablo 2. Analizlerde Emniyet Katsayıları ve Yükleme Durumları (Kaynak: Devlet Su İşleri, 2012: 18).

Hal	Yükleme Durumu	Emniyet Katsayısı
Ani Boşalma Depremli	Ekstrem	>1.0
Ani Boşalma	Olağan dışı	1.2
İşletme Depremli (EED)	Ekstrem	>1.0
İşletme Depremli (İED)	Olağan dışı	1.2
İşletme	Olağan	1.5
İnşaat Sonu Depremli (İED)	Ekstrem	>1.0
İnşaat Sonu	Olağan dışı	1.3

Bahsedilen yüklemelerde barajın doğrusal elastik davranış göstermesi beklenilmektedir. Olağan dışı yükleme hali, barajda meydana gelmesi düşük olasılıkta beklenen yükleme ve yük durumlarını kapsamaktadır. Söz konusu yükleme durumunda barajın bir miktar doğrusal olmayan davranış gösterebileceği kabul görülmektedir. İşletmeye esas deprem, olağan üstü yük durumudur. Ekstrem yükleme hali barajda yaşanması beklenilmeyen yükleri barındırmaktadır. Söz konusu yükleme hali baraj adına acil durumdur. Ekstrem yükleme hali, barajda yaşanması beklenen olası deprem değerlerinden daha şiddetli depremlere uğraması veya taşkınlar neticesinde yaşanabilecek

doğal afetleri kapsamaktadır. Emniyete esas deprem ekstrem yük durumudur (Devlet Su İşleri, 2012: 18).

2.6. Barajlarda Tehdit Oluşturabilecek Durumlar

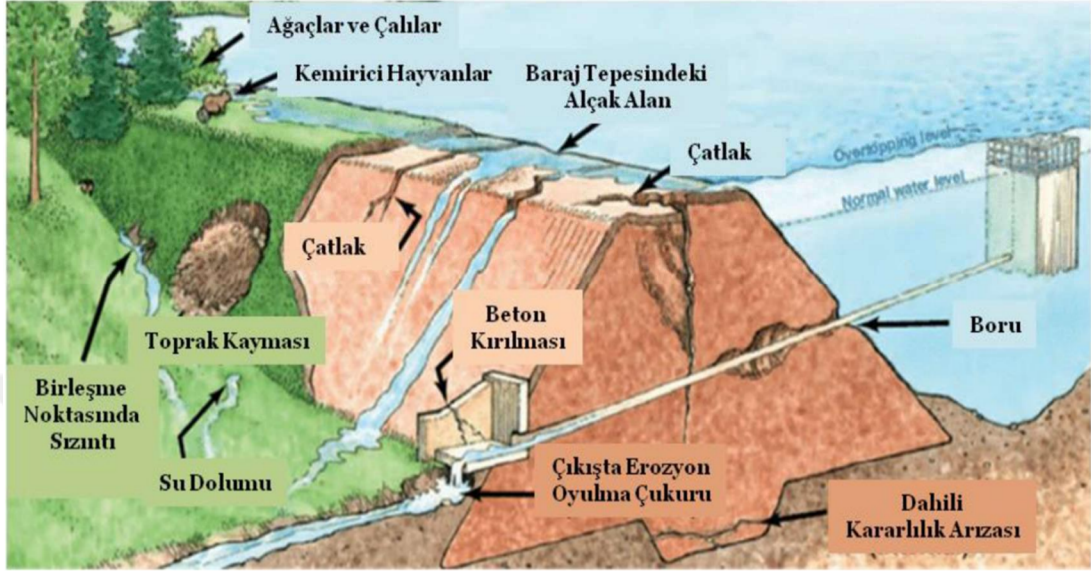
Barajlarda yaşanan yıkılmalar, “*performansa dayalı baraj yıkılması*” ve “*yapısal baraj yıkılması*” olacak şekilde iki kategori altında ele alınmaktadır. Yapısal baraj yıkılmaları sonucunda, baraj ve yardımcı elemanlarının niteliklerinin değişiklik göstermesi söz konusu olduğu için yapı planlandığı şekilde çalışmamaktadır. Fakat performansa dayalı meydana gelen baraj yıkılmalarında, yardımcı elemanlar ve barajın oluşturulduğu performans sınırları geçilmektedir. Barajlar genel anlamda yapısal yıkılma olgusuna göre inşa edilmektedir. Barajlarda sık sık görülen yetersizlikler aşığıda belirtilen şekilde sıralanabilmektedir (Yenigün, 2007: 28-30):

- 1) Temel yetersizlikleri.
 - a) Temel zemininin kayması.
 - b) Düzensiz oturmalar.
- 2) Terör saldırılarından kaynaklanan yetersizlikler.
- 3) Firma hatalarından kaynaklanan yetersizlikler.
- 4) Baraj gövdesinde meydana gelen çöküntülerden kaynaklanan yetersizlikler.
- 5) Oluşan kaymalardan kaynaklı yetersizlikler.
 - a) Baraj haznesi sahillerinde meydana gelen toprak kaymaları.
 - b) Yüksek boşluk suyu basıncı sebebiyle baraj gövdesinde meydana gelen kaymalar.
- 6) Oluşan çatlaklardan kaynaklanan yetersizlikler.
 - a) Kuruma çatlakları.
 - b) Enine çatlaklar.
 - c) Boyuna çatlaklar.
- 7) Sismik olaylardan kaynaklanan yetersizlikler.
- 8) Dolusavak yetersizliği.
- 9) Baraj üstünden su aşması kaynaklı yetersizlikler.
- 10) Sızma kaynaklı yetersizlikler.

- a) Temel altı su sızmaları.
- b) Baraj gövdesinde yaşanan sızmalar (Borulanma).

11) Doğal yapı malzemelerinden kaynaklanan yetersizlikler.

Barajlarda gözlemlenen yetersizliklere ilişkin görsele ise Şekil 13'te yer verilmiştir.



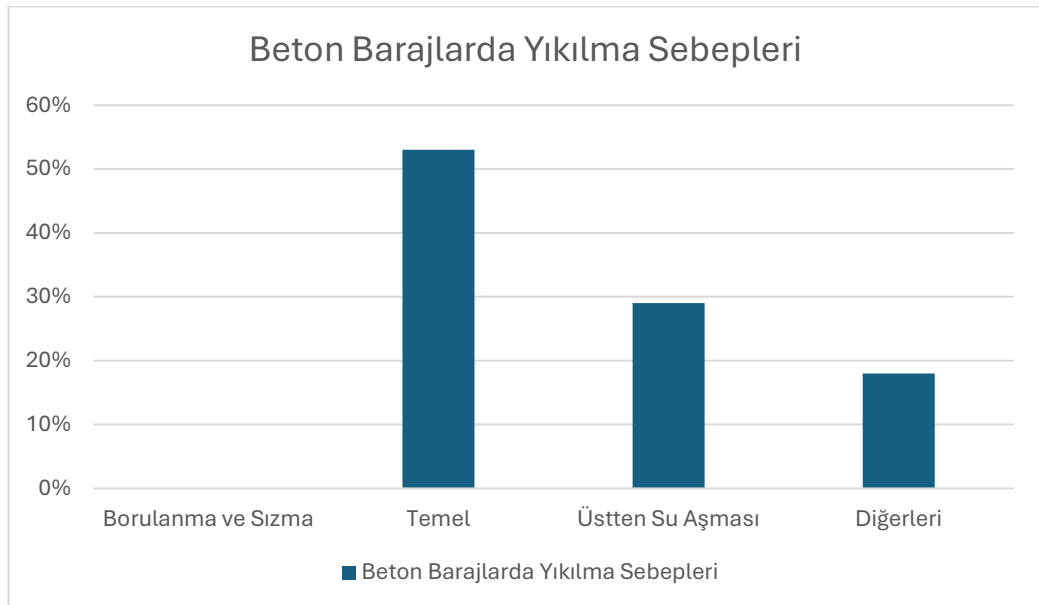
Şekil 13. Barajlarda gözlemlenen yetersizlikler (Caner, 2021: 1).

Barajlar farklı unsurlardan kaynaklı yıkılmaktayken, yıkılma esnasında farklı mekanizmalar gözlemlenmektedir. Baraj yıkılması çoğunlukla tek mekanizmanın değil, farklı mekanizmaların ortak sonucu olarak kabul edilmektedir. Baraj yapılarında yaşanan yıkılma ve hasar olaylarına bakıldığı zaman yıkılma ve hasar sebeplerinin barajların türüne göre değiştiği gözlemlenmektedir. Bu sebeple baraj için alınması gereken tedbir ve projelendirme kriterleri, barajın türüne göre farklılaşmaktadır. Gerçekleştirilen gözlemler, baraj yıkılma ve hasar durumlarının genel anlamda dolusavak ve temel yetersizliklerinden kaynaklı meydana geldiğini göstermektedir (Yenigün ve Yüzcül, 2014: 9-11). Baraj yapılarında gözlemlenen temel hasarlar, sebepleri ve hasar yüzdelere Tablo 3'te yer verilmiştir.

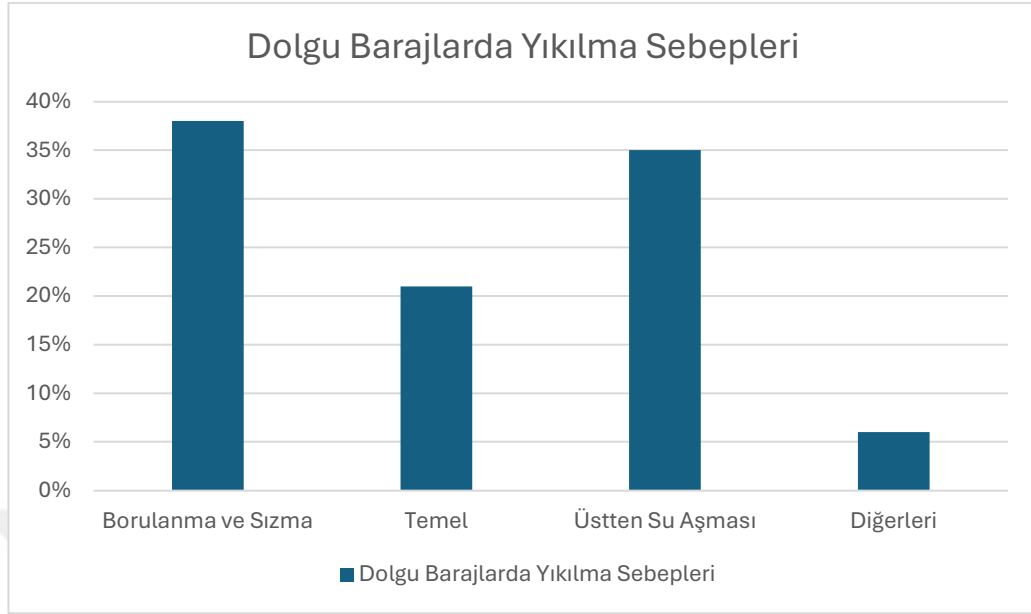
Tablo 3. Barajlarda gözlemlenen temel hasarlar ve yüzdeleri (Aydın, 2007: 733-739).

Hasar Biçimi	Hasar Nedeni	Yüzde (%)
Boru ve Vanalar	•Bağlantı noktaları veya çatlaklardan dolgu maddesinin girmesi.	10
Borulanma ve Sızma	•Baraj gövdesinde çatlak. • Dipsavak çıkışı gibi hidrolik yapılar boyunca sızma ve çökme.	20
Temel Yetersizlikleri	•Borulanma sebebiyle içten çöküntü. • Denetimsiz sızma. • Yüksek taban suyu basıncı. • Kayma ve şev duraysızlığı.	30
Baraj Üzerinden Su Aşması	• Farklı oturmalar ve deprem yükleri altında sivilaşma. • Göl sahasında yaşanan heyelan ve baraj tepesinde oyulma. • Dolusavakta sürüntü maddesi birikmesi. • Uygun olmayan dolusavak tasarımı.	34
Diğer		6

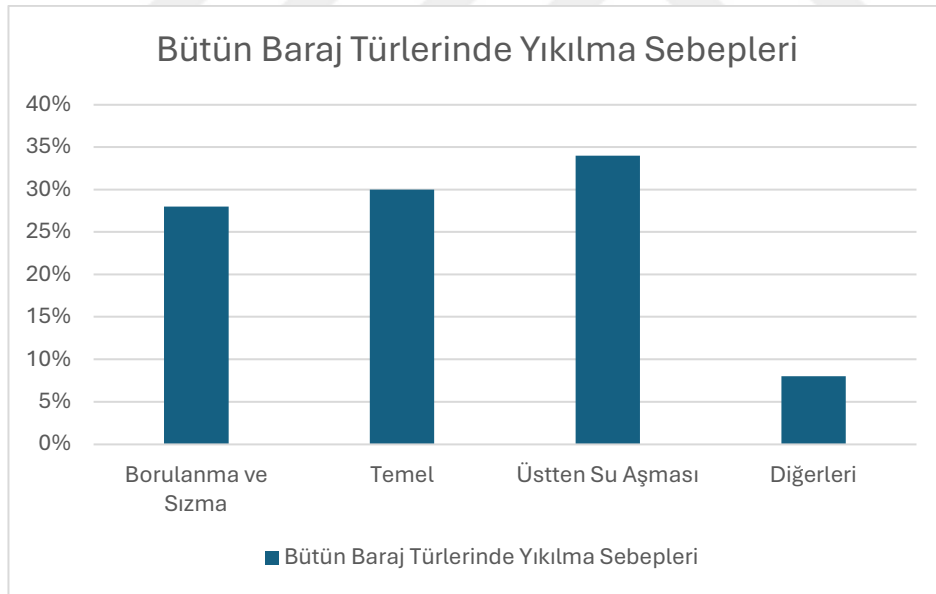
Şekil 14'te beton barajlarda, Şekil 15'te dolgu barajlarda ve Şekil 16'da bütün baraj çeşitlerinde yıkılma sebeplerine ilişkin yüzde grafiklerine yer verilmiştir.



Şekil 14. Beton barajlarda yıkılma sebepleri (Ağırlioğlu, 2011: 82).



Şekil 15. Dolgu barajlarda yıkılma sebepleri (Ağırlioğlu, 2011: 83).



Şekil 16. Bütün baraj türlerinde yıkılma sebepleri (Ağırlioğlu, 2011: 84).

Şekil 14'te görüldüğü gibi, beton baraj yapılarında temel kaynaklı yıkılmalar, Şekil 15'te görüldüğü gibi dolgu baraj yapılarına borulanma kaynaklı yıkılmalar, Şekil 16'de görüldüğü gibi tüm baraj çeşitlerinde üstten su aşması kaynaklı yıkılmalar daha fazla gözlemlenmektedir. Türkiye'de az sayıda baraj hasarı yıkılma vakası görülmesinin nedeni, Türkiye'de bulunan barajların genel anlamda genç olmasından kaynaklı meydana gelmektedir.

2.7. Yapım Esnasında Baraj Güvenliği

İnşaat sürecinde olan baraj yapıları adına baraj güvenliği faaliyetleri bağlamında yerine getirilmesi gerekli olan işlemler aşağıda belirtilen şekilde sıralanabilmektedir (Aksu ve Ağca, 2007: 617-628):

- 1) İnşaat sürecinde karşı karşıya kalınan problemler ve çözüm önerilerini içeren tüm rapor, belge benzeri dokümanların derlenmesi.
- 2) İnşaat süreci sona erdiği zaman baraj güvenliği dosyasının oluşturulması.
- 3) Farklı şirketlere ait ölçüm araç gereçlerinden yararlanılmaması. Bahsedilen durum mümkün değilse okuma üniteleri arasında uyum sağlanması.
- 4) Yerleştirilmesi düşünülmekte olan ölçüm araç gereçleri adına üretici firma garantisi ve devamlı bir şekilde gözetim hizmeti talebinde bulunulması.
- 5) Gereksinim duyulan baraj ölçüm tesislerinin inşa edilmesi ve araç gereçlerin yerleştirilmesi, ilk okumalarının yerine getirilmesi ve her daim çalışır durumda bulundurulması.

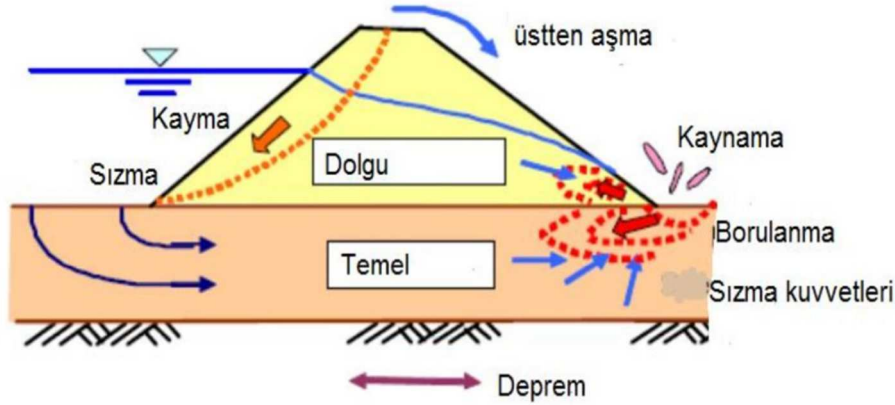
Baraj güvenliği dosyası içerisinde yer alması gerekli olan bilgiler ise aşağıda belirtilen şekilde ifade edilmektedir:

- 1) Ölçüm tesislerine ve araç gereçlerine ait sıfır okumalar.
- 2) Uygulama aşamasına ait fotoğraf, video vb. kayıtlar
- 3) TSE belgeleri.
- 4) Kalibrasyon belgeleri.
- 5) Malzemede gerçekleştirilen farklılıklar ve laboratuvar sonuçları.
- 6) Projede yapılan değişiklikler.
- 7) As-built projeler.
- 8) Uygulama projeleri.

2.8. Dolgu Barajlarda Göçme

Dolgu barajlar, diğer baraj tiplerine nazaran sağladıkları ayrıcalıklarına karşın tarihten en çok göçmeye uğramış barajlar olmaları sebebiyle geoteknik mühendisliği bakımından fazlasıyla önem taşımaktadır. Dolgu barajlarda meydana gelen göçmeler, genel anlamda baraj temeli ya da gövdesinde yaşanan sızma sonucunda meydana gelen borulanma sebebiyle dolgunun stabilitesini yitirmesini ya da ölçütlere uygun

projelendirilmeyen ve yetersiz kapasiteli dolusavaklardan kaynaklı suyun gövde üstünden aşması neticesinde yaşanmaktadır (Savaş, 2000: 33).



Şekil 17. Dolgu barajlarda göçme mekanizması (Savaş, 2000: 33).

Rezervuarın beklenmedik bir şekilde boşalması neticesinde doygun durumda olan geçirimsiz dolgu maddesinde yaşanan boşluk suyu basınçlarda meydana gelen artışlar dolgunun stabilizesinin bozuntuya uğramasına yol açmaktadır. Sızma kontrolü ve boşluk suyu basınçlarının sönmülmesi amacıyla gövdede geçirimli madde zonları gerçekleştirilmektedir. Yaşanan baraj göçmelerinde eksik ve zayıf kompaksiyon, baraj inşası ya da filtre tasarımında kontrol eksikliklerinden kaynaklı meydana geldiği ifade edilmektedir. Bahsedilen bölüm özellikle gövdenin üst bölümlerinde filtrenin uygulanmaması, standartlara uygun olarak imalatının yapılmaması ya da dolguyla yardımcı yapılar arasında ortaya çıkan hidrolik çatlaklar adına fazlasıyla önem arz etmektedir.

Bahsedilen oran göçme mekanizmaları arasında yanlış dolusavak tasarımı, hatalı imalat benzeri sebeplerden kaynaklı meydana gelen gövde, su aşımına eşit olmaktadır. Deprem ve şev stabilitesi neticesinde meydana gelen baraj göçmeleri ise yapılan bir çalışmaya göre %2-4 oranı ile sınırlı olmuştur (ICOLD, 2013: 48). Dolgu barajlarda yaşanan iç erozyon genel anlamda 3 türde yaşanmaktadır:

- 1) Dolgu barajın gövdesinden temelinde iç erozyon meydana gelmesi.
- 2) Dolgu barajın temelinde iç erozyon meydana gelmesi.
- 3) Dolgu barajın gövdesinde iç erozyon meydana gelmesi.

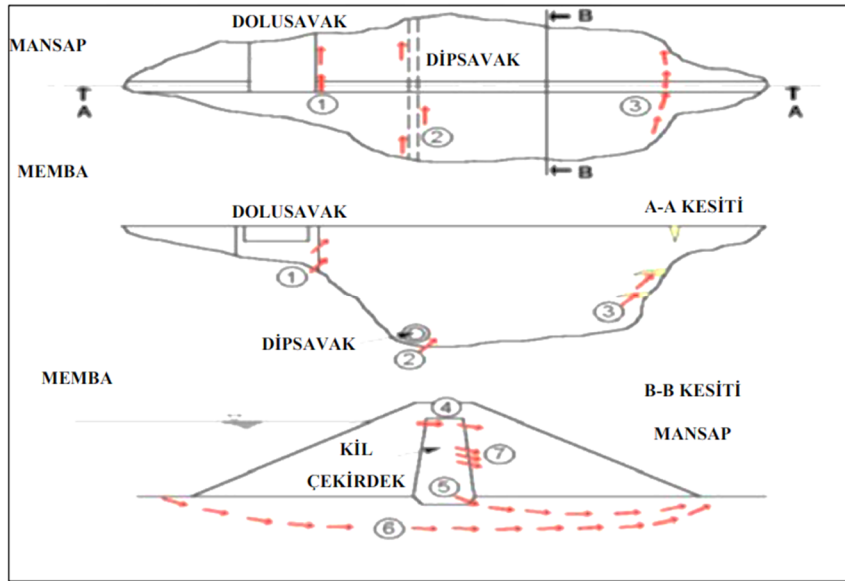
Foster vd. (2000), 1998 ile 2000 dönemleri arasında gerçekleştirdikleri bir çalışmada, 1800 ile 1986 dönemleri arasında Japonya ve Çin’de meydana gelmiş baraj kazalarını ele almışlardır. Bahsedilen çalışmada meydana gelmiş baraj göçmelerinin yaklaşık olarak %65’lik kısmı borulanma yaşandığı ve iç erozyonun baraj göçmelerine

yol açan mekanizmasının gelişiminin baraj ömrünün ilk beş yılı içerisinde meydana geldiği belirlenmiştir.

Brown ve Gosden (2008) gerçekleştirdikleri bir çalışmada, İngiltere ülkesinde var olan yaklaşık 2.500 barajdan 1.600 civarının baraj kazasına maruz kaldığını ve yaşanan söz konusu kazaların %60'lık kısmının iç erozyondan kaynaklı meydana geldiğini ifade etmişlerdir.

Barajlar, tekrar eden yüklerle karşı karşıya kaldıkça ve yapı ömürleri ilerledikçe iç erozyon karşısında daha güçsüz bir hale gelebilmektedirler. Dolgu barajların borulanma ve iç erozyona uğramasının temel sebepleri şu şekildedir (ICOLD, 2013: 50):

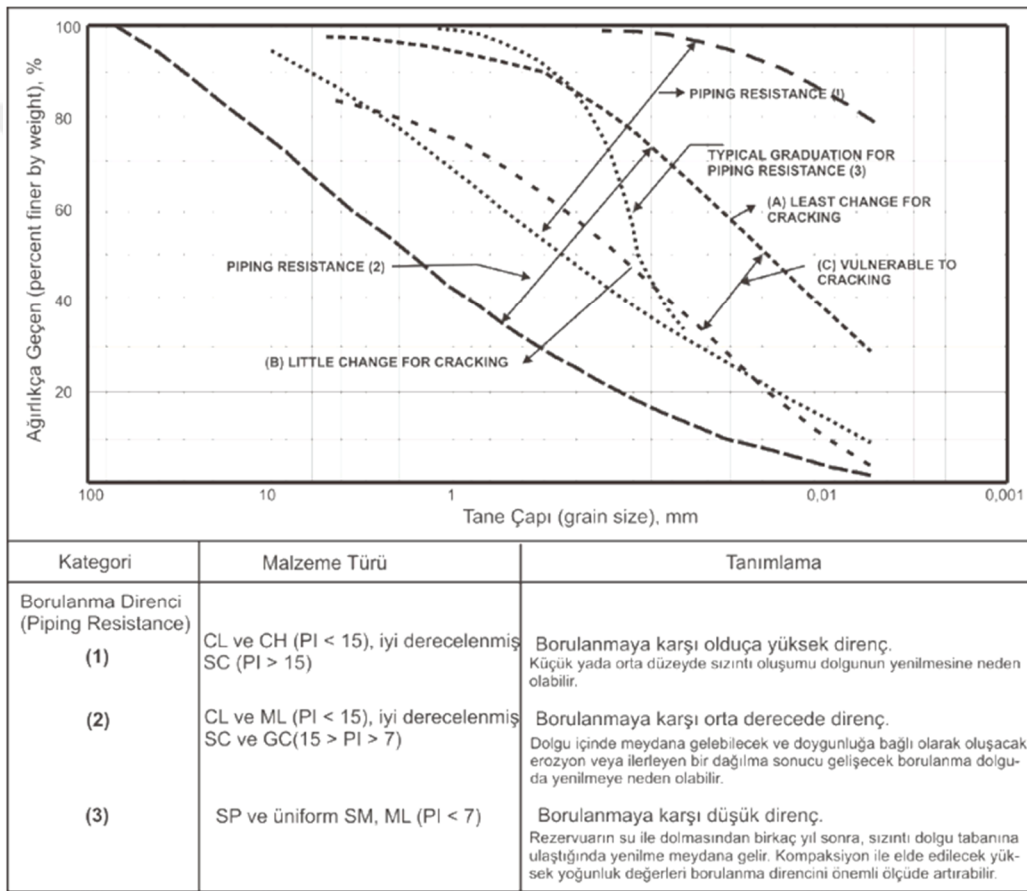
- 1) Geçmiş dönemde kurulan baraj yapılarının iç erozyona karşı filtre tabakaları bulunmaması ya da geçiş ve filtre zonları olsa bile yeni barajların tasarımlarına benzememeleri.
- 2) Barajların ömürlerinin ilerlemesi.
- 3) Konduvi boyunca, baraj ve dolusavak yapılarının bozuntuya uğraması neticesinde iç erozyona maruz kalınması.
- 4) Maksimum deprem yükleri, su seviyeleri ve yüklere göre tasarlanmamalarından kaynaklı rezervuar su seviyesinde meydana gelen değişiklik gövdede çatlak ve oturmalara neden olabilmektedir.



Şekil 18. Dolgu barajlarda sızmanın yaşandığı haller (Sherard, 1986: 905-927).

Şekil 18'de dolgu barajlarda sızmanın meydana geldiği hallere yer verilmiştir. Araştırmacı ve uzmanların iç erozyon mekanizmalarına yönelik gerçekleştirdikleri

araştırmalar sonucunda baraj ömrünün tüm anlarında i erozyona uğrayabileceği, fakat meydana gelen kazaların çoğunlukla en yüksek derecede yaşanacağı ifade edilmektedir. Dolgu barajlar, çoğunlukla çeşitli maddelerle farklı zonlar halinde kurulmaktadırlar. Farklı sıkışma değerleri ve mühendislik niteliklerine sahip olan maddelerde meydana gelebilecek çatlaklar, borulanma veya i erozyonun başlangıcına yol açabilmektedir. Hidrolik yükte borulanma meydana gelmesi zeminin plastisitesi ve tane çapına bağlı olmaktadır. Plastisitesi $PI > 7$ olarak hesaplanan plastik silt ve siltli killerle meydana gelen dolgu temel ya da gövdelerinde çoğunlukla yaşanma olasılığı daha azdır (Sherard, 1986: 905-927).



şekil 19. Dolgu baraj malzemeleri için borulanma direnci (Sherard, 1986: 905-927).

şekil 19’da görüldüğü üzere, kohezyonsuz ya da oldukça az plastisiteli $PI < 7$ b borulanma çok düşük hidrolik yüklerde meydana gelebilmektedir. Düşük niformluk katsayısı düşük PI ve C_u zeminlerde, rezervuarda oldukça az hidrolik yük çatlama ya da kabarmanın meydana gelmesine yol açabilmektedir. Borulanmaya neden olacak sızmanın hızı; zemin tanelerinin yoğunluğuna, ağırlığına ve tanelerin niformluğuna bağlı olmaktadır. Uniform derecelendirilen kum zeminler, taneler arası boşluk ve zemin taneleri sürüklenmeye ve koparılmaya karşı hassas bir yapıya sahiptir. İri taneli çakıl ya

da kumlar, tane ağırlığı sebebiyle sürüklenmeye karşı daha dirençli yapıdadır. İyi derecelendirilen kumlarda ince taneler, iri taneler tarafınca sürüklenmeyi engellediğinden taşınması en güç ve dirençli zeminler olarak kabul edilmektedir (ICODS, 2015: 51).

2.9. Dolgu Baraj Gövdesinin Muayenesi

Dolgu baraj yapılarındaki yetersizliklerden kimileri baraj gövdesinin baraj zeminiyle bir araya geldiği yerlerde, baraj şevinde ve baraj tepesinde görsel bir şekilde belirlenebilmektedir. Dolgu baraj yapılarında, baraj kretinde bulunan doğrusal şeklin durumu, yaşanan oturmalar, çatlakların durumu, derin köklü ve fazla bitkilerin var olması, hayvanların meydana getirdiği oyuklar, ölçü sistemlerinin çalışır halde olup olmadığı ya da buldukları yerlerin farklılaştırılıp farklılaştırılmadığı durumlarının incelenmesi gerekmektedir. Bunun haricinde baraj gövdesinde meydana gelen sızlamalar ve söz konusu sızmalara ilişkin izler, sızma suyunda yaşanan değişiklikler, sızma ölçümü gerçekleştiren sistemlerin çalışır halde olup olmadığı ve diğer yer değiştirme ve basınç ölçüm sistemlerinin durumlarının da ele alınması gerekmektedir (Ağralıoğlu, 2011: 90).

2.10. Ölçüm Sistemleri ve Dolgu Barajlar

Çevresel ve sosyoekonomik tesirleri bakımından ele alındığı zaman baraj yapıları, diğer mühendislik yapıtlarından farklı bir yere sahip olmaktadır. Kuruldukları alanın topoğrafyası, hidrolojik, jeolojik ve diğer yersel niteliklerinden etkilendikleri için baraj inşasında tür proje uygulanması mümkün olmamaktadır. Bu sebeple tüm baraj projeler adına mühendislik niteliklerine uygun tasarımların geliştirilmesi gerekmektedir. Çağımızda baraj bölgesi için uygun vadilerin oldukça geniş bir alanı kullandıkları bilinmektedir. Bu nedenle çevre ve jeolojik açıdan daha karmaşık bir yapıya sahip olan ve daha çok risk barındıran bölgelerde baraj yapılarının farklı malzemeler ile kurulma zorunluluğu mevcuttur (Çetin ve Bilge, 2004: 1-10).

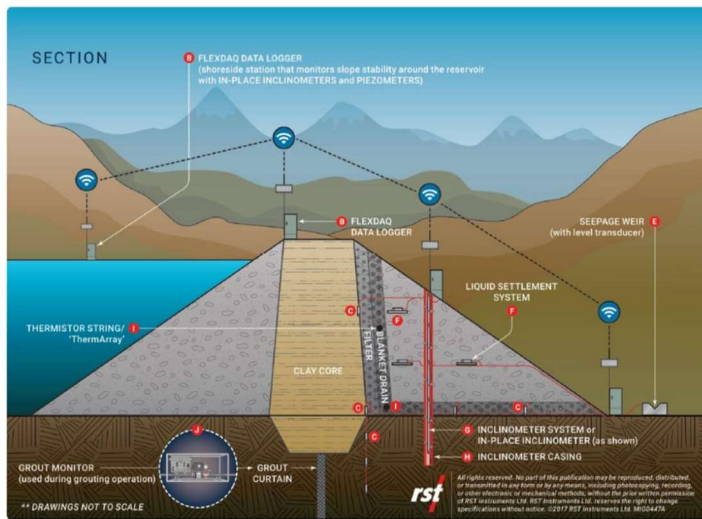
Baraj mühendisliği alanında yapılan çalışmalarla edinilmiş deneyimler sonucunda belirlenmiş emniyet unsurlarının, alanın geoteknik ve jeolojik niteliklerinin göz önünde bulundurmada bütün baraj planlamalarında tür kesitlerin uygulanması, öngörülemede olan risklere yol açabilmektedir. Baraj gövde türüne bağlı olacak şekilde değişiklik gösteren göçme mekanizmaları ve bilhassa geçmiş dönemde dolgu baraj yapılarında yaşanan göçmeleri neticesinde sahip olunan deneyimler baraj emniyetinin, baraj inşası ve işletme esnasındaki değerini gözler önüne sunmaktadır. Barajların güvenliği, baraj inşası esnasında, inşa sürecindeki şartlarla projelendirme şartları arasında bulunan farklılıklarla baraj yapısında hasara neden olabilecek unsurların belirlenmesiyle mümkün olmaktadır. Baraj güvenliğinin proje ve uygulama safhalarının

karşılaştırılması, uygulama sırasında hasara neden olabilecek sorunların tespit edilmesi amacıyla baraj ölçüm sistemlerinden yararlanılmaktadır (Çetin ve Bilge, 2004: 1-10).

Bahsedilen sistemler, baraj yapılarında meydana gelen sorunların vaktinde belirlenerek gereken tedbirlerin alınmasına ve proje performansını denetleyip benzer çalışmaların yapılmasında hangi konuların göz önünde bulundurulması gerektiğine yönelik bilgiler vermektedir. Baraj yapılarının inşası esnasında, su tutma işlemi sırasında ve işletme esnasında karşı karşıya kalabilecekleri dış tesirler ve malzeme davranışlarından kaynaklı meydana gelebilecek davranışlarının takip edilerek incelenmesi amacıyla tüm baraj türleri adına farklı ölçüm araçlarından yararlanılmaktadır (Çetin ve Bilge, 2004: 1-10).

Türkiye Cumhuriyeti'nde aletsel gözlemle baraj davranışının gözlemlenmiş olduğu ilk baraj, kret boyunca deformasyon gözlem plakaları yerleştirilmiş ve Cumhuriyet devrinin ilk barajı olarak bilinen Çubuk I barajıdır. 1950'lerde Seyhan Barajı ve aynı dönemlerde kurulmuş Demirköprü Barajı'nda harici çökme röperleri, çapraz kollu çökme göstergesi ve hidrolik piyezometre gözlem kuyusuyla baraj davranışı gözlemlenmiştir (Devlet Su İşleri, 1999: 22).

Baraj ölçüm araçlarından yararlanılmasıyla dolgu barajların performans düzeylerinin izlenmesi, dolaylı olarak daha güvenilir ve ekonomik projeler oluşturmuştur. Baraj ölçüm sistemleriyle gerçekleştirilen ölçümler, dik yamaçları olan dar vadilerde daha uzun baraj inşa etme hususundaki güveni artırmış, iyi tasarlanmış baraj yapılarında çeşitli oturmalarından kaynaklı meydana gelen değerli gerilme yığılmalarına rağmen barajın işletilmesine güvenli olarak devam ettiğini gözler önüne sunmuştur (Dunnicliff, 1993: 51).

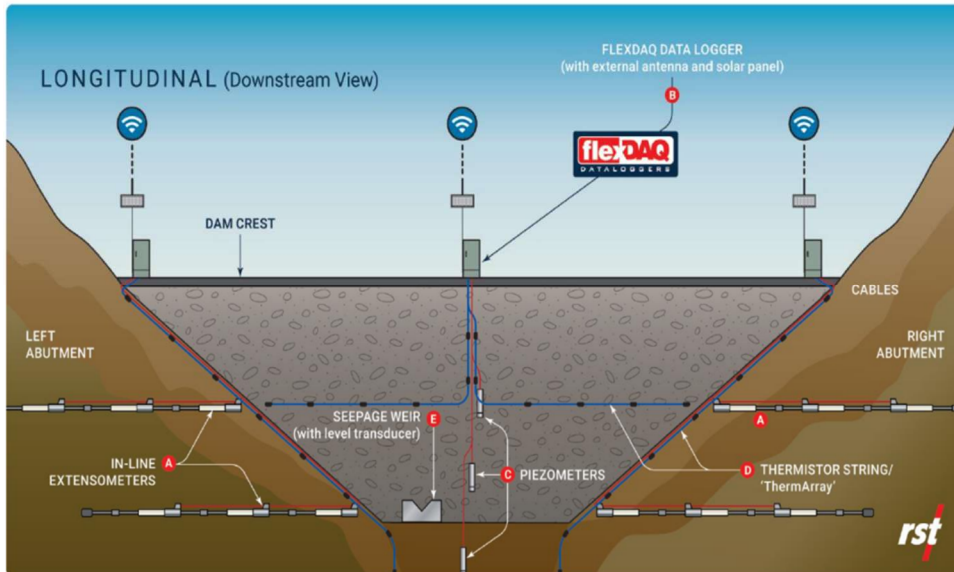


Şekil 20. Kil çekirdekli zonlu dolgu barajlarda aletsel gözlem (enkesit) (Dunnicliff, 1993: 51).

Dolgu baraj yapılarında izlenmesi gerekli olan temel faktörler aşağıda belirtilen şekilde sıralanabilmektedir:

- 1) Su seviyeleri
- 2) Sismik kuvvetler
- 3) Sızıntı
- 4) Sıcaklık
- 5) Toplam gerilme dağılımı
- 6) Deformasyonlar
- 7) Boşluk suyu basıncı

Üst kısımda belirtilen parametreler ve önemli seviyeleri, tüm baraj projeleri adına temel gövde ve zemin maddelerinin niteliklerine göre değişkenlik göstermektedir. Bu sebeple baraj ölçüm aletlerinin projelendirilmesinin, tüm baraj projeleri adına uzman mühendisler tarafınca tasarlanması gerekmektedir.



Şekil 21. Kil çekirdekli zonlu dolgu barajlarda aletsel gözlem (boykesit) (Dunnicliff, 1993: 53).

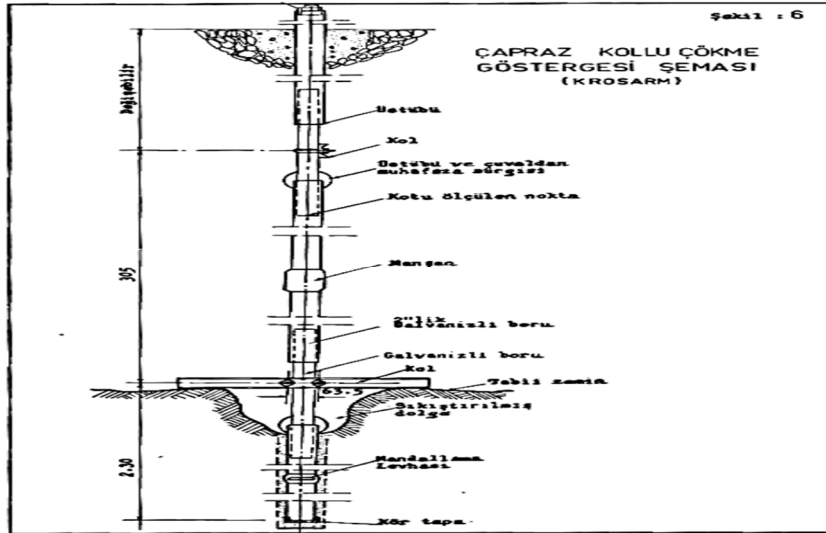
Dolgu baraj yapılarında ölçüm sistemleri, Şekil 20 ve 21'de görüldüğü üzere dolgu ve kil çekirdekte deformasyon ölçümleri; oturma hücreleri, ekstensometre, İnklinometre, harici çökme röperi, çapraz kollu çökme göstergesi, temelde ve gövdede meydana gelen boşluk suyu basıncını ölçmek amacıyla piyezometre, barajın membranda su seviyesi ölçer, sismik ölçümlerde ivme ölçer ve baraj temelinde meydana gelen gerilmeleri hesaplama için basınç ölçerlerle barajın işletmede performansı gözlemlenmektedir.

2.10.1. Deformasyon Ölçümleri

Dolgu baraj yapılarında deformasyon ölçümler 2 farklı teknikle yerine getirilmektedir. Baraj temeli ya da gövdesine yerleştirilmekte olan ölçüm araçlarıyla yaşanan deformelerin belli zamanlarda izlenmesi ya da gövdenin toplam hareketini tespit etme amacıyla kret üstüne yerleştirilmekte olan harici çökme röper noktalarıyla jeodezik ölçümler gerçekleştirilmektedir. Dolgu baraj yapılarında temel ve gövdenin deformasyon hareketlerini takip etmek amacıyla çapraz kollu çökme göstergesi, oturma ölçerler ve ekstansometreden yararlanılarak ölçüm gerçekleştirilmektedir.

a) Çapraz Kollu Çökme Göstergesi

Kaya ve toprak dolgu baraj yapılarının kil çekirdeklerine, baraj kurulumuna paralel olacak şekilde belirli bir yönleme göre yerleştirilmekte olan ve dolgunun sıkışarak hacimsel daralması sonucunda ve yük altında yaşanabilecek oturma miktarlarını belirlemek amacıyla tercih edilen ölçüm sistemleri olarak ifade edilmektedir. Bu göstergenin proje ölçütlerine ve kol aralıkları baraj dolgusunun yüksekliklerine göre değişiklik göstermektedir. Dolgu yüksekliği, yirmi ila otuz metre arasında olan baraj yapılarında 1 buçuk metre; otuz ila otuz metre arasında olan baraj yapılarında üç etme ve son olarak altmış metreden yüksek olan dolgu baraj yapılarında ise beş metre şeklinde belirlenmiştir (Devlet Su İşleri, 1983: 16). Şekil 22’de çapraz kollu çökme göstergesi görseline yer verilmiştir.



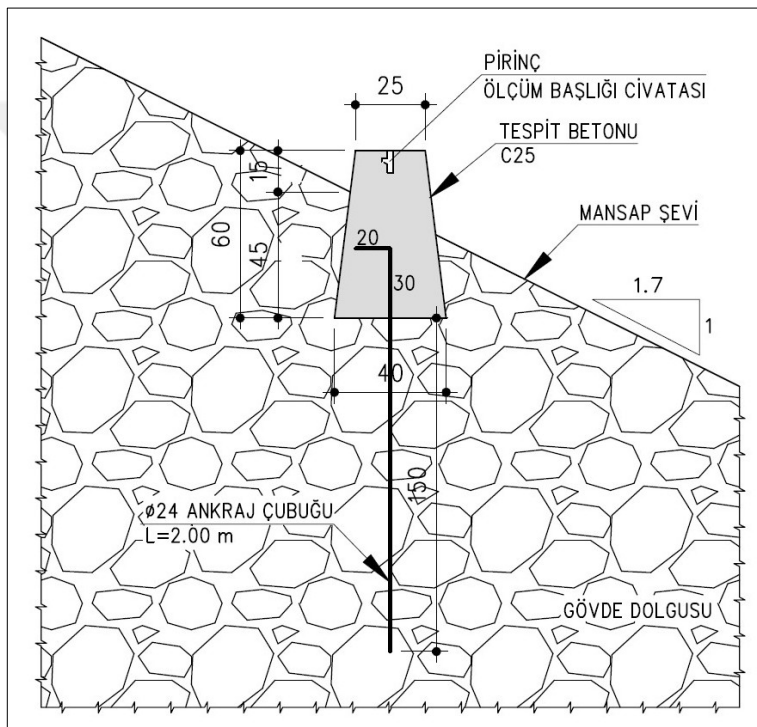
Şekil 22. Çapraz kollu çökme göstergesi (Devlet Su İşleri, 1983: 16).

Şekil 22’de yer alan göstergenin çalışma prensibi, iç içe geçmiş boruların teleskopik hareketlerinden faydalanarak tespit edilen ölçme noktalarının kotlarında meydana gelen değişikliğin görülmesine dayandırılmaktadır. Sistemin yerleştirilerek ölçüm işlemlerinin

yerine getirilmesinde gereken titizliği sağlanması halinde, oturma ve sıkışmaların bir milimetre hassasiyet ile tespit edilmesi m¼mk¼n olmaktadır. Bu g¼stergeyle gerçekleştirilen okumaların, baraj risk barındırdığı m¼ddete ayda bir kez alınıp kontrol edilmesi gerekmektedir. Ayrıca g¼zlem vakitlerinin d¼zg¼n bir şekilde belirlenmesi, soğuk ve sıcak havalarda ¼l¼m alınmaması gerekmektedir (Devlet Su İşleri, 1983: 17).

b) Harici ¼kme R¼perleri

Bu r¼perler, dolguların yatay ve d¼řey yer değiştirmelerini tespit etmek maksadıyla tercih edilen bir ¼l¼m tesisi olarak ifade edilmektedir. G¼vde dolgusu ¼st¼nde ¼l¼lecek alanlara ankre edilmiş bir tespit betonu ve bahsedilen buton ¼st¼ne yerleştirilen ¼l¼me başlığı cıvatasından meydana gelmektedir (şekil 23).



şekil 23. Harici ¼kme r¼peri

Dolgunun y¼zey kısmında memba şevinin en y¼ksek su seviyesi ¼st¼nde kret uzunluğu boyunca bir sıra, mansap şevine ise dolgu y¼ksekliđine uygun belirli aralıklar ile kret uzunluğu boyunca harici ¼kme r¼perleri yerleştirilmektedir. Bahsedilen r¼perlerin hareketleri, baraj alanının haricinde sabit b¼lgelerden gerçekleştirilen ¼l¼mler sonucunda belirlenmektedir. Bu r¼perlerle g¼vdenin d¼řey ve yatay y¼ndeki toplam hareketleri tespit edilmektedir (Akbaş ve Sak, 2012: 6063-6087).

c) İnklinometre

Dolgu malzemesini yatay y¼nde ve farklı derinliğe sahip deplasman değişikliklerinin ¼l¼lmesinde tercih edilmektedir. İnklinometre sistemi; okuma ¼nitesi, inklinometre probu ve muhafaza borusundan meydana gelmektedir (şekil 24). Baraj

gövdesine kurulum sürecinde yerleştirilebilmektedirler. Ancak yaygın bir şekilde baraj yapılarında daha sonradan açılmakta olan sondaj deliklerine kurulmaktadır. İnklinometre ölçümlerinin hassasiyeti bakımından inklinometre borusu ve sondaj deliği arasını dolgu niteliklerine en yakın mühendislik niteliklerine sahip grout maddesiyle doldurulması gerekmektedir.

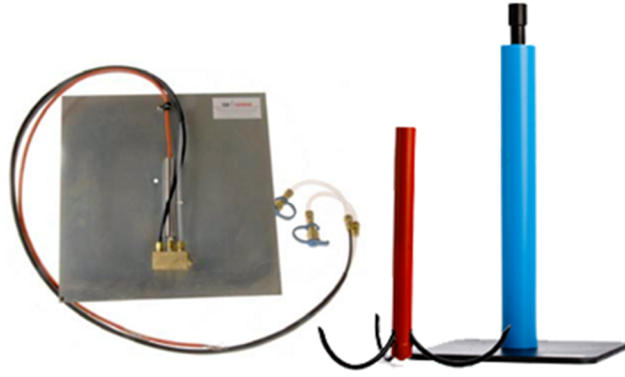


Şekil 24. İnklinometre ölçüm seti ve inklinometre borusu (Url 4).

Bu ölçüm sisteminin ana mantığı, inklinometre borusunun eğiminin belli aralıklar ile ölçülüp borunun alt kısmı baz alınıp ortaya çıkan yatay hareket hesaplanmasıdır. Ulaşılan bilgiler, kayma durumlarını gözler önüne sunması ve zemin birim deformasyonu faaliyetlerine kaynak oluşturması açısından önem arz etmektedir. İnklinometrelerin temel çalışma değerleri, yatay doğrultudan ölçülmesi için $\pm 30^\circ$ arasında değişiklik göstermektedir. Ulaşılan hassasiyet ise 0.01 ile 0.1 milimetre arasında değişiklik göstermektedir (Gürbüz ve Baştuğ, 2019: 36-41).

d) Oturma Ölçer

Farklı derinliklere ulaşmaya imkan sunacak biçimde iç içe girip boyu değişiklik gösterebilen koruyucu kaplamalı yapısı ile, oturma hızı ve miktarını tespit etmeye olanak sunmaktadır. Baraj kretinde meydana gelen eğimin boşluk suyu basıncı oluşması ile bağdaştırılmasında söz konusu bilgilere gereksinim duyulmaktadır. Titreyen telli, çift sıvılı oturma ölçerler bulunmaktadır. Yaklaşık olarak bin metre derinlikte kullanılan türde oturma ölçüler mevcuttur. Ölçümler sırasında hassasiyet oranı yaklaşık olarak $\pm \% 0.015$ ile 0.2 arasında değişkenlik göstermektedir (Çetin ve Bilge, 2004: 1-10). Şekil 25'te oturma ölçer görseline yer verilmiştir.



Şekil 25. Oturma ölçer (Url 5).

e) Ekstansometre

Dolgu baraj yapılarında yatay ve düşey deplasman hareketini ölçmek amacıyla kullanılmaktadır. Ekstansometreler, çapraz kollu çökme röperiyle benzer niteliklerde, gövde içinde eşitli tabakalarda ortaya çıkan düşey deplasmanları ölçmektedirler.



Şekil 26. Ekstansometre deneyi (Url 6).

2.10.2. Gerilme Ölçümleri

a) Piyezometre

Baraj temeli ve gövdesinde yaşanan sızmalar neticesinde meydana gelen boşluk suyu basıncında yaşanan yükseliş, barajın güvenliği ve stabilitesini negatif olarak etkilemektedir. Baraj temeli ve gövdesinde, işletme ve inşaat sürelerinde yaşanan boşluk suyu basınç yükselişlerini takip etmek ve baraj güvenliği bakımından proje ölçütleriyle

kıyaslama maksadıyla temel ve gövdeye yerleştirilmekte olan piyezometrelerden yararlanılmaktadır.



Şekil 27. Titreşim telli piyezometre (Url 7).

Piyezometrenin baraj üstünde, sızıntı basınç modeli ve aşırı boşluk suyu basıncı oluşum modelini sağlamaya imkan sunacak, düşey ve yatay yerleşim üstünde bulunan en önemli alanlara yerleştirilmesi gerekmektedir. Rezervuarın beklenmedik bir şekilde boşalması halinde, kil çekirdek içerisinde yerleştirilmiş piyezometreler aracılığıyla boşluk suyu basıncında meydana gelen gelişimler takip edilebilmektedir. Rezervuarda devamlı olarak boşalan baraj yapılarında, bahsedilen sistemlere daha fazla önem atfedilmesi gerekmektedir (Bahar, 2009: 44-47).

Piyezometrenin elektronik, titreşim telli, pnömatik, çift tüplü hidrolik, kapalı uçlu depolu ve açık uçlu depolu olarak şekilde farklı türleri bulunmaktadır. Temelde meydana gelen sızmayı, YAS seviyesini ve enjeksiyon perdesinin etkinliğini kontrol edebilmek adına tercih edilen titreşim telli piyezometre türünde, %0,1 hassasiyet ve %0,5 doğruluk ile ölçüm gerçekleştirme kapasitesine sahip, baraj yüksekliğine bağlı olacak şekilde ölçüm aralığı belirlenecek olan tüm uçlar üstünde tag plakaları takılı bir şekilde ve kabloları makaralara sarılı halde temin edilmekte olan elektrikli piyezometrelerdir (Bahar, 2009: 44-47).

b) Toplam Basınç Ölçer

Zemin içinde bulunan ve bilhassa zemin ile beton yapıların arayüzlerinde meydana gelen gerilmelerin tespit edilmesinde kullanılmaktadırlar. Basınç hücresinin içi sıvı ile kaplıdır ve 2 adet esnek diyafram ile çevrelenmiştir. Basınç, diyafram arasında bulunan sıvı basıncının titreşen telli ya da pnömatik algılayıcılar ile ölçülmesi sonucunda tespit edilmektedir.



Şekil 28. Toplam basınç ölçer (Çetin ve Bilge, 2004: 1-10).

Kil dolgu içine piyezometreler ile birlikte yerleştirildiğinde boşluk suyu basıncı / toplam basınç =0,60 oranı göz önünde bulundurularak dolgu hızını kontrol edebilmek adına kullanılmaktadır. Kaya dolguya yerleştirildiğinde ise yalnızca dolgu ağırlığından meydana gelen kemerleşme ya da basınçları belirlemek mümkün olmaktadır.

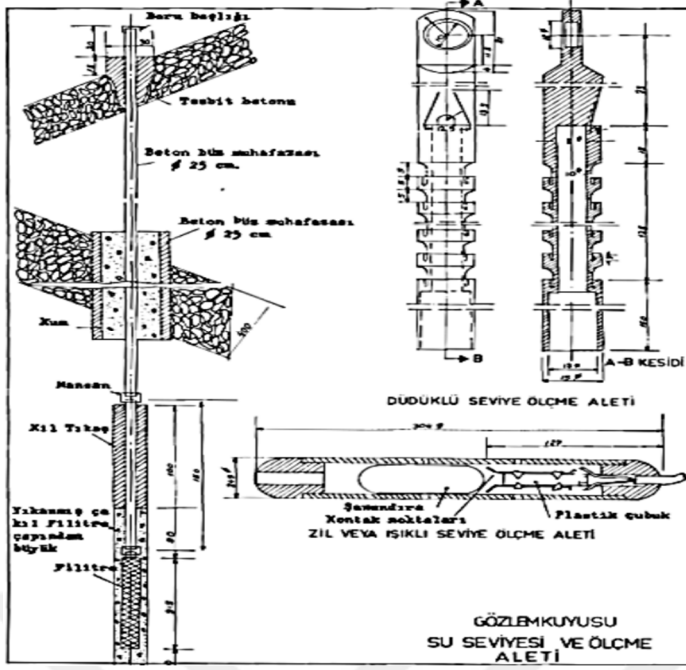
Kemerlenme etkisi sebebiyle toplam basınç ölçerinin rijitliğinin, gerilmelerin düzgün bir şekilde hesaplanabilmesi adına dolgu maddesinin rijitliğine yakın bir rijitliğe sahip olmaları gereklilik arz etmektedir. Toplam basınç hücreleri, 300-15.000 kPa arasında ve %0.01 ile 0.1 arasında değişiklik gösteren hassasiyetler ile ölçüm gerçekleştirilebilmektedir (Çetin ve Bilge, 2004: 1-10).

2.10.3. Sızma Ölçümleri

Dolgu baraj gövdesine yerleştirilmiş gözlem kuyuları aracılığıyla sızma hattının oluşmasının tespit edilerek tasarım analizlerinde bulunan hesaplamaların kontrolü sağlanabilmektedir.

a) Gözlem Kuyuları

Toprak dolgu baraj yapılarında boşluk suyu düzeyini ölçebilmek adına tercih edilen bir sistem olarak kabul edilmektedir. Gözlem kuyuları bunun haricinde temel içinde bulunan yeraltı su düzeyinin ölçülebilmesi adına da tercih edilebilmektedir. Dolgu ve temel zemininde ölçüm gerçekleştirilebilmesi adına dolgu ya da temel zeminde, taneler arası boşlukların tam anlamıyla suyla dolu olması gerekmektedir.



Şekil 29. Gözlem kuyusu su seviyesi ve ölçme aleti (Gündoğdu, 2004: 85-95).

Gözlem kuyusu, düşey yönlü yerleştirilmekte olan temel galvanizli borulardan meydana gelmektedir. Gözlem kuyusu içerisinde ilk yerleştirilen “*filtre kısmı*” olarak bilinmektedir. Bunun üstünde dolgu içine yerleştirilmekte olan “*dolgu kısmı*” ve dolgudan çıkmakta olan “*başlık kısmı*” yer almaktadır (Gündoğdu, 2004: 85-95).

2.10.4. Sismik Ölçümler

a) İvme Ölçer

İvme ölçerler, sismik bakımdan aktif alanlarda kurulacak baraj yapılarında, tasarım sırasında öngörülmuş değerlerin kontrol edilmesi ve baraj güvenliği bakımından otomatik veri elde etme sistemiyle beraber sürekli barajın sismik hareketlerini ölçüp kayıt alan sistemler olarak ifade edilmektedir. Baraj ve temellerin sismik davranışlarının tespit edilerek tasarımların oluşturulmasında, analitik yöntemlerin meydana getirilmesinde, daha ekonomik ve güvenli çözüm önerileri üretilmesinde yararlanılmaktadır. Barajın kretine, anakayaya dört ve baraj topuğuna birer ivme ölçer koyulmaktadır. Ancak daha çok ivme ölçerden yararlanılması önerilmektedir (Çetin ve Bilge, 2004: 1-10).

3. YÖNTEM VE BULGULAR

3.1. Verilerin Toplanması

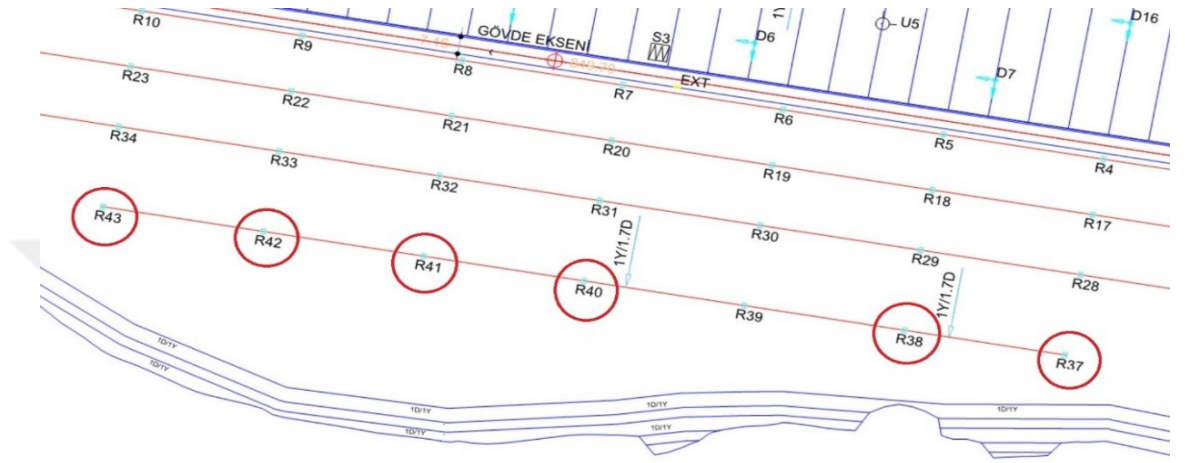
Çalışmamızı gerçekleştirdiğimiz Gömükan barajı Adıyaman il sınırları içerisinde, il merkezine 25 km uzaklıkta olup han deresi üzerine inşa edilmektedir. Ön yüzü beton kaplı kum-çakıl dolgu gövde tipine sahiptir. Yerden yüksekliği 80,50 metre, kret uzunluğu 900 metre olup toplam dolgu hacmi 3,86 milyon metreküptür. Bu barajın tamamlanmasıyla 57 milyon metreküp rezervuar hacmine ulaşır, yaklaşık 7260 hektar arazinin sulanması planlanmaktadır.

Barajın tipi	Ön Yüzü Beton Kaplı Kum-Çakıl Dolgu Baraj
Temelden yüksekliği	80,50 m
Kret uzunluğu	900 m
Kret kotu	849,70 m
Kret genişliği	8,00 m
Gövde dolgu hacmi	3.859.572,00 m ³
Rezervuar hacmi	57,46 hm ³
Sulama sahası	7.261,00 ha



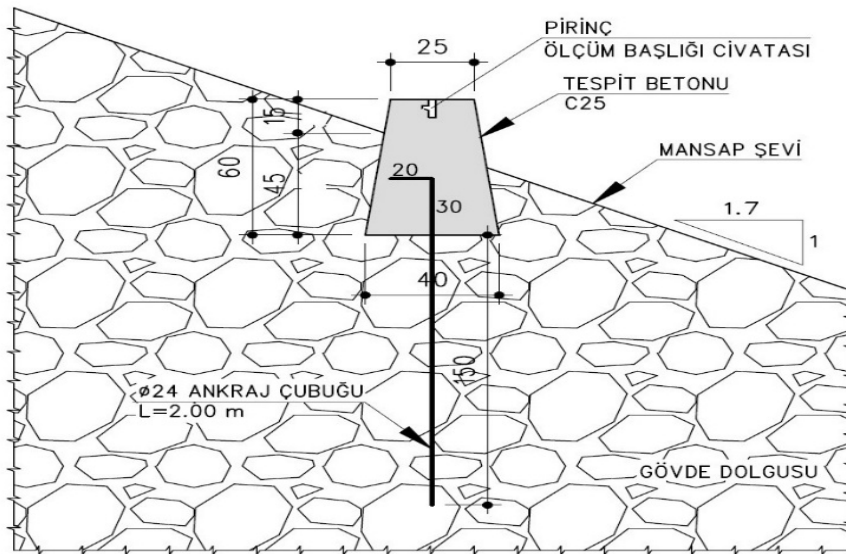
Şekil 30. Gömükan Barajı

Baraj gövdesinin yatay ve düşey yer değişmelerini tespit etmek amacıyla gövde dolgusu sırasın mansap yüzeyine harici çökme röperleri tesis edilmektedir. Projede belirtilen kotlara ve özelliklere uygun olarak tesis edilen bu röperlerden alınan ilk okuma değerleri referans kabul edilir ve sonraki okumalar bu değerle kıyaslanarak yer değişmeler tespit edilir. Bu çalışma kapsamında projede belirtilen 800 kotundaki R37, R38, R40, R41, R42 ve R43 numaralı harici röperler kullanılmıştır. (şekil 31)



şekil 31. Harici röper genel yerleşim planı

Harici çökme röperleri taban genişliği 40cm x 40cm yüksekliği 60cm olacak şekilde yerinde C-30 beton dökülerek projesine uygun şekilde tesis edilmiştir. (şekil 31)



şekil 32. Harici röper detayı

3.1.1. Statik Ölçüm Yöntemi

Statik ölçüm yönteminde, koordinatı belirlenecek olan nokta dışında, koordinatı bilinen en 3 noktada da eş zamanlı ölçüm yapılmalıdır. Her noktada elde edilen ölçüm verileri değerlendirme yazılımına aktarılır. Değerlendirme yazılımı bütün noktalar arasında bazlar oluşturarak bu sayede belirsizlik değerini bulacaktır. Ayrıca bütün noktalar arası üçgenler oluşturarak hem değerler arasında kontrol sağlayacak hem de üçgenlerin birbiriyle olan geometrik ilişkilerini dengeleyecektir.

Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği doğrultusunda Statik Ölçüm Yöntemine yönelik;

TUSAGA-Aktif istasyonları ve baz uzunluğuna bağlı bulunmaksızın statik ölçü tekniğinden yararlanılarak nokta koordinatlarının belirlenmesi m.23'te (1) C (C1, C2, C3 ve C4) noktaların minimum üç TUSAGA-Aktif referans istasyonu ile yörünge doğruluğu 3 cm'e denk olacak şekilde ve daha doğru sonuçlar veren hassas yörünge verilerinden yararlanmak, yönetmelikte yer alan m.14/1. a/b/c/ç bentler doğrultusunda GNSS denetimi yapmak, karşılığı olan C1 derece noktanın yerinin belirlenmesi, doğruluk ve tesis ölçütlerine uyulması koşulu ile baz uzunluğuna bağlı bulunmaksızın üretilmektedir.

GNSS ölçüleri TUSAGA-Aktif noktalarının değerlendirilmesi sırasında koordinatlarına bağlı olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Ardından belirlenen koordinatlar referans epeğine kaydırılmalıdır. Bunun yanında Nokta hızlarının güncel TUTGA ve TUSAGA-Aktif nokta hızlarından idarece kararlaştırılan enterpolasyon tekniği ile belirlenmelidir (BÖHNBÜY, 2018:).

M.14 kapsamında (1) C1 noktalarının denetlenmesinde;

Minimum iki frekanslı, eş zamanlı altı uydudan kayıt alabilen, jeodezik hedefli GNSS alıcılarından yararlanılmaktadır.

Eş zamanlı oturumlarla yapılacak statik ölçümler sırasında;

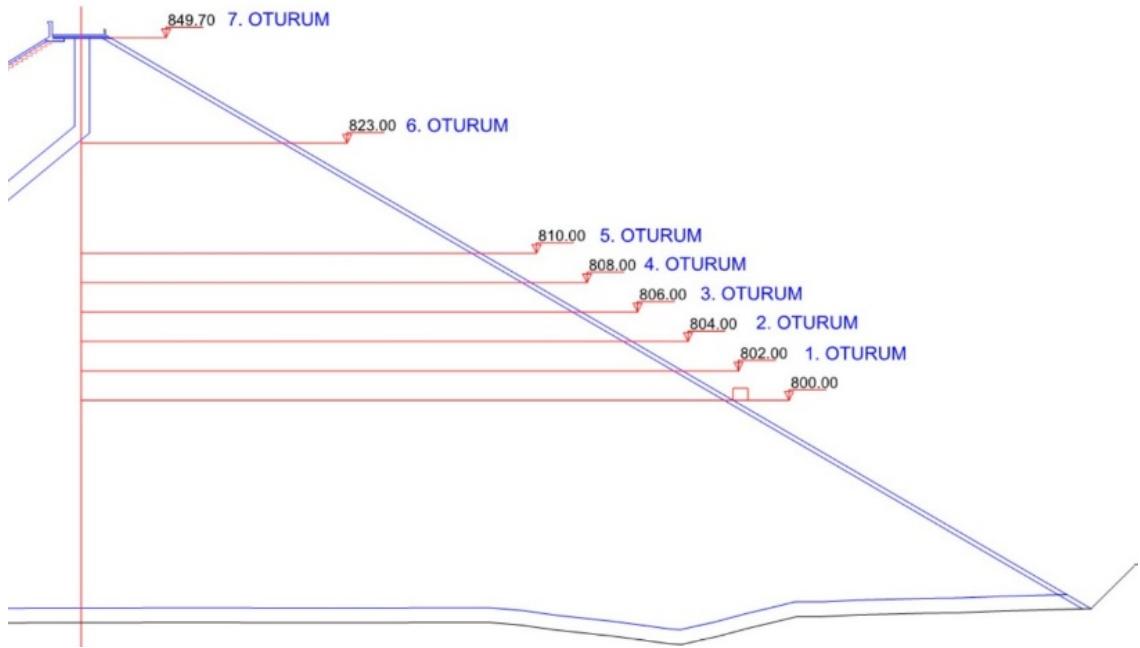
- Uydu miktarının minimum 5 olması,
- Kayıt sürecinin minimum 120 dakika olması,
- Kayıt aralığının maksimum 15 saniye olması,
- Uydu yükseklığının 10° olarak alınması gerekmektedir.

Statik ölçmelerde 226 kanallı ve $\pm 2\text{mm} + 2\text{ppm}$ hassasiyetli GNSS alıcısı kullanılmıştır. Her bir oturum 120 dakika süre ve 1 saniye kayıt aralığı ile ölçülmüştür. 800.00 kotunda bulunan R37, R38, R40, R41, R42, R43 harici röperleri inşa edilmiş ve GNSS alıcısı ile ilk okumalar yapılarak bu değerler referans kabul edilmiştir.



Şekil 33. Harici röper GPS okumaları

Gövde dolgusu ilerledikçe belirli zaman aralığı ve dolgu kotlarında statik oturumlar yapılarak, okumalar değerlendirilmiş ve baraj gövdesinde meydana gelen hareketler incelenmiştir.



Şekil 34. Gövde dolgu kotlarında yapılan GPS oturumları

Baraj gövde dolgusu sırasında meydana gelecek deformasyonların en önemli faktörlerinden biri de yine gövde dolgusunun kendisidir. Yapılan dolgunun miktarı arttıkça zemine uygulayacağı yükte artacak ve gövdede düşey doğrultuda hareket meydana gelecektir. Bu durum göz önünde bulundurularak yapılacak ölçümlerde yakın

sonuçlar elde etmek için gövde dolgusu her 2 metre yükseldikçe okumalar gerçekleştirilmiştir.

1. Oturum 01.11.2022 tarihinde 802.00 kotunda
2. Oturum 30.11.2022 tarihinde 804.00 kotunda
3. Oturum 27.12.2022 tarihinde 806.00 kotunda
4. Oturum 15.01.2023 tarihinde 808.00 kotunda
5. Oturum 03.02.2023 tarihinde 810.00 kotunda gerçekleştirilmiştir.

Ancak 5. Oturumdan hemen sonra beklenmedik bir durumla karşılaşılmış, 6 şubat 2023'te Kahramanmaraş'ın Pazarcık ve Elbistan ilçeleri merkezli 7.7 ve 7.6 büyüklüğündeki depremler meydana gelmiş, Kahramanmaraş ve çevresindeki 11 ilde büyük yıkıma neden olmuştur. Meydana gelen bu deprem doğrudan veya dolaylı olarak bütün ülkeyi olumsuz etkilediği gibi depremin merkezine yakın olan Gömükan Baraj sahasındaki inşaat faaliyetlerinin aksamasına, dolayısı ile de ölçü çalışmalarımız da bu olaylardan olumsuz etkilemiş ve sürecin uzamasına sebep olmuştur.

Depremden sonraki okuma;

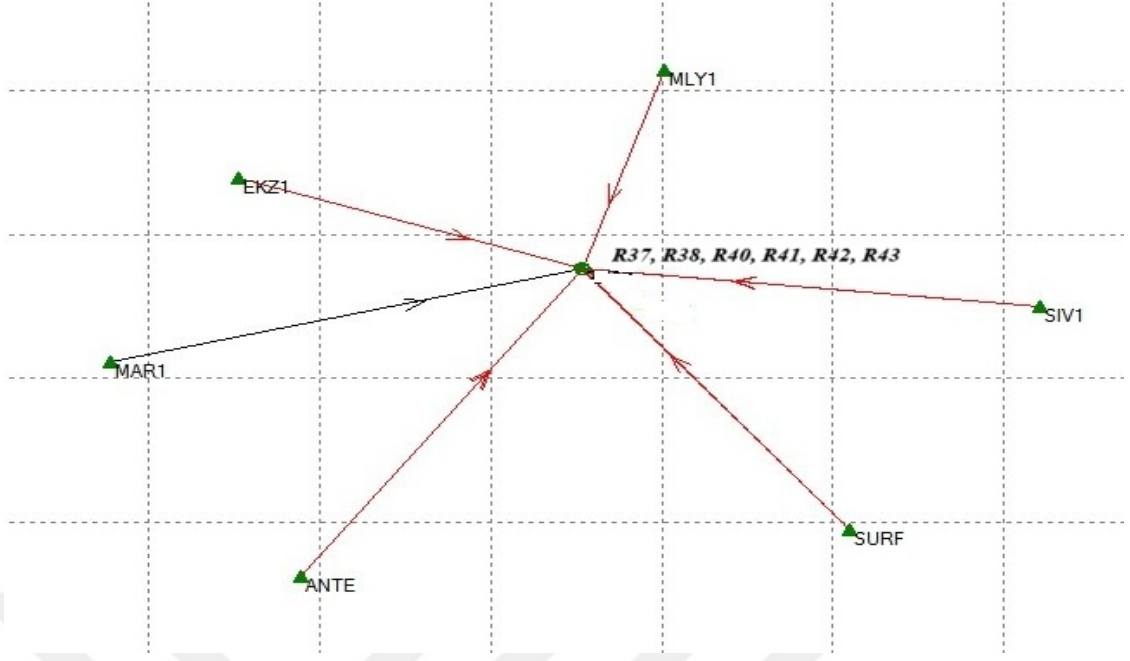
6. Oturum 20.06.2023 tarihinde 823.00 kotunda yapılmış ve depremin baraj gövdesi üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Son olarak da gövde dolgusu tamamlanınca;

7. Oturum 18.01.2024 tarihinde 849.70 kotunda yapılmış ve çalışma tamamlanmıştır.

Ölçümlerin Değerlendirilmesi

Yapılan ölçümlerin değerlendirilmesi için koordinatı bilinen noktalar olarak TUSAGA-Aktif istasyonları kullanılmıştır. Çalışma alanını çevreleyen ve düzgün üçgenler oluşturabilecek; Malatya (MLY1), Siverek (SIV1), şanlıurfa (SURF), Gaziantep (ANTE), Kahramanmaraş (MAR1) ve Ekinözü'nde (EKZ1) bulunan TUSAGA-Aktif istasyonları tercih edilmiştir. Belirlenen bu istasyonlara ait konum bilgileri, eş zamanlı yapılan ölçüm değerleri ve bu noktalara ait tektonik hareketlerden dolayı yıllık değerifimlerini ifade eden hız bilgileri <https://www.tusaga-aktif.gov.tr/Web/IstasyonKonumBilgileri.pdf> adresinden elde edilmiştir.



Şekil 35. TUSAGA-aktif istasyon haritası

3.2. Bulgular

Yapılan statik ölçümlerin değerlendirilmesi için Leica Geo Office yazılımı kullanılmıştır. Ticari bir yazılım olan Leica Geo Office kullanılarak değerlendirme yapabilmek için;

- 1) Ölçüm yapılan noktadaki elde edilen ölçümleri
- 2) Koordinatı bilinen noktadaki ölçüm günü ve saatine ait eş zamanlı ölçümler
- 3) Koordinatı bilinen noktaların koordinat değerleri
- 4) Ölçüm gününde sinyal alınan GNSS uydularının hassas efemeris bilgileri gereklidir.

Leica Geo Office programına TUSAGA-Aktif istasyonlarının koordinat değerlerini, çözüm parametrelerini, anten değerlerini ve hassas efemeris verilerini yükleyerek dengeleme işlemi yapılmıştır. Bu işlem her röper için ayrı ayrı yapılarak o röpere ait koordinatlar elde edilmiştir. Ayrıca bu işlem her oturum için tekrarlanmış ve her oturuma ait veriler ayrı ayrı hesaplanmıştır. Röperlere ait koordinatların Datumu:ITRF-96 Dilim Orta Meridyeni:39-3 Derece olarak elde edilmiştir. Yükseklik değerleri ise ortometrik yüksekliğe indirgenmiştir.

Yapılan ilk oturum sonucu elde edilen koordinatlar referans kabul edilerek diğer oturumlarda elde edilen sonuçlar 1.oturumla kıyaslanarak değerlendirilmiştir.

Tablo 4. 30.11.2022 tarihinde 804 kotunda yapılan 2. Oturum değerleri

NOKTA NO	1. OTURUM KOORDİNATLARI			2. OTURUM KOORDİNATLARI			FARKLAR		
	Y	X	Z	Y	X	Z	▲y (m)	▲x (m)	▲z (m)
R37	421674.351	4190370.577	799.921	421674.336	4190370.560	799.962	0.015	0.017	-0.041
R38	421615.139	4190380.930	800.126	421615.122	4190380.919	800.145	0.017	0.011	-0.020
R40	421496.874	4190401.588	800.566	421496.881	4190401.583	800.558	-0.007	0.005	0.007
R41	421437.912	4190411.875	800.350	421437.897	4190411.862	800.364	0.015	0.013	-0.014
R42	421378.752	4190422.183	800.360	421378.764	4190422.183	800.354	-0.012	0.000	0.006
R43	421319.712	4190432.502	799.990	421319.711	4190432.501	799.991	0.000	0.001	-0.001

2.Oturum sonucuna bakıldığında hem yatay hem de dişey düzlemde en fazla hareket gözlemlenen nokta R37 olmuştur. SAĞA(Y) yönünde +0.015m, YUKARI (X) yönünde +0.017m hareket meydana gelmiş, Z yönünde ise -0.041m'lik kabarma gözlemlenmiştir.

Tablo 5. 27.12.2022 tarihinde 806 kotunda yapılan 3. Oturum değerleri

NOKTA NO	1. OTURUM KOORDİNATLARI			3. OTURUM KOORDİNATLARI			FARKLAR		
	Y	X	Z	Y	X	Z	▲y (m)	▲x (m)	▲z (m)
R37	421674.351	4190370.577	799.921	421674.350	4190370.570	799.901	0.001	0.007	0.020
R38	421615.139	4190380.930	800.126	421615.115	4190380.913	800.128	0.024	0.017	-0.002
R40	421496.874	4190401.588	800.566	421496.874	4190401.572	800.515	0.001	0.016	0.050
R41	421437.912	4190411.875	800.350	421437.911	4190411.856	800.307	0.001	0.019	0.044
R42	421378.752	4190422.183	800.360	421378.768	4190422.194	800.334	-0.016	-0.010	0.026
R43	421319.712	4190432.502	799.990	421319.719	4190432.512	799.952	-0.008	-0.010	0.038

3.Oturum sonucuna bakıldığında yatay düzlemde en fazla hareketlilik R38 nolu noktada gözlemlenmiş; SAĞA(Y) yönünde +0.024m, YUKARI (X) yönünde +0.017m hareket meydana gelmiştir. Dişey doğrultuda ise R40 nolu noktada +0.050m'lik oturma gözlemlenmiştir.

Tablo 6. 15.01.2023 tarihinde 808.00 kotunda yapılan 4. Oturum değerleri

NOKTA NO	1. OTURUM KOORDİNATLARI			4. OTURUM KOORDİNATLARI			FARKLAR		
	Y	X	Z	Y	X	Z	▲y (m)	▲x (m)	▲z (m)
R37	421674.351	4190370.577	799.921	421674.339	4190370.554	799.936	0.012	0.022	-0.015
R38	421615.139	4190380.930	800.126	421615.122	4190380.910	800.134	0.018	0.020	-0.008
R40	421496.874	4190401.588	800.566	421496.869	4190401.574	800.545	0.005	0.014	0.021
R41	421437.912	4190411.875	800.350	421437.913	4190411.859	800.336	-0.001	0.016	0.014
R42	421378.752	4190422.183	800.360	421378.772	4190422.192	800.367	-0.020	-0.009	-0.007
R43	421319.712	4190432.502	799.990	421319.725	4190432.515	799.983	-0.014	-0.012	0.007

4.Oturum sonucuna bakıldığında yatay düzlemde en fazla hareketlilik R38 nolu noktada gözlemlenmiş; SAĞA(Y) yönünde +0.018m, YUKARI (X) yönünde +0.020m hareket meydana gelmiştir. Düşey doğrultuda ise R40 nolu noktada +0.021m'lik oturma gözlemlenmiştir.

Tablo 7. 03.02.2023 tarihinde 810.00 kotunda yapılan 5. Oturum değerleri

NOKTA NO	1. OTURUM KOORDİNATLARI			5. OTURUM KOORDİNATLARI			FARKLAR		
	Y	X	Z	Y	X	Z	▲y (m)	▲x (m)	▲z (m)
R37	421674.351	4190370.577	799.921	421674.343	4190370.545	799.935	0.008	0.032	-0.014
R38	421615.139	4190380.930	800.126	421615.120	4190380.904	800.121	0.019	0.026	0.005
R40	421496.874	4190401.588	800.566	421496.869	4190401.571	800.542	0.005	0.017	0.024
R41	421437.912	4190411.875	800.350	421437.902	4190411.856	800.335	0.010	0.019	0.016
R42	421378.752	4190422.183	800.360	421378.767	4190422.181	800.351	-0.015	0.002	0.009
R43	421319.712	4190432.502	799.990	421319.720	4190432.500	799.959	-0.009	0.002	0.031

5.Oturum sonucuna bakıldığında yatay düzlemde en fazla hareketlilik R38 nolu noktada gözlemlenmiş; SAĞA(Y) yönünde +0.019m, YUKARI (X) yönünde +0.026m hareket meydana gelmiştir. Düşey doğrultuda ise R40 nolu noktada +0.024m'lik oturma gözlemlenmiştir.

Tablo 8. 20.06.2023 tarihinde 823.00 kotunda yapılan 6. Oturum değerleri

NOKTA NO	1. OTURUM KOORDİNATLARI			6. OTURUM KOORDİNATLARI			FARKLAR		
	Y	X	Z	Y	X	Z	▲y (m)	▲x (m)	▲z (m)
R37	421674.351	4190370.577	799.921	421675.899	4190370.634	799.984	-1.548	-0.058	-0.063
R38	421615.139	4190380.930	800.126	421616.697	4190381.001	800.130	-1.557	-0.071	-0.004
R40	421496.874	4190401.588	800.566	421498.425	4190401.622	800.462	-1.551	-0.034	0.104
R41	421437.912	4190411.875	800.350	421439.466	4190411.870	800.249	-1.554	0.005	0.101
R42	421378.752	4190422.183	800.360	421380.354	4190422.228	800.302	-1.602	-0.044	0.058
R43	421319.712	4190432.502	799.990	421321.318	4190432.572	799.969	-1.607	-0.070	0.021

Depremden sonra yapılan ilk ölçüm olan 6.Oturum sonucuna bakıldığında depremin etkisi bariz bir şekilde görülmüş baraj gövdesinde çok belirgin yer değişimleri kaydedilmiştir. Gövdenin tamamında yaklaşık olarak 1.6m batı ve 0.07m güney yönünde bir kayma gözlemlenmiştir. 6.Oturum sonucuna bakıldığında yatay düzlemde en fazla hareketlilik R43 nolu noktada gözlemlenmiş; SAĞA(Y) yönünde -1.607m, YUKARI (X) yönünde -0.070m hareket meydana gelmiştir. Düşey doğrultuda ise R40 nolu noktada +0.104m'lik oturma gözlemlenmiştir.

Tablo 9. 18.01.2024 tarihinde 849.70 kotunda yapılan 7. ve son Oturum değerleri

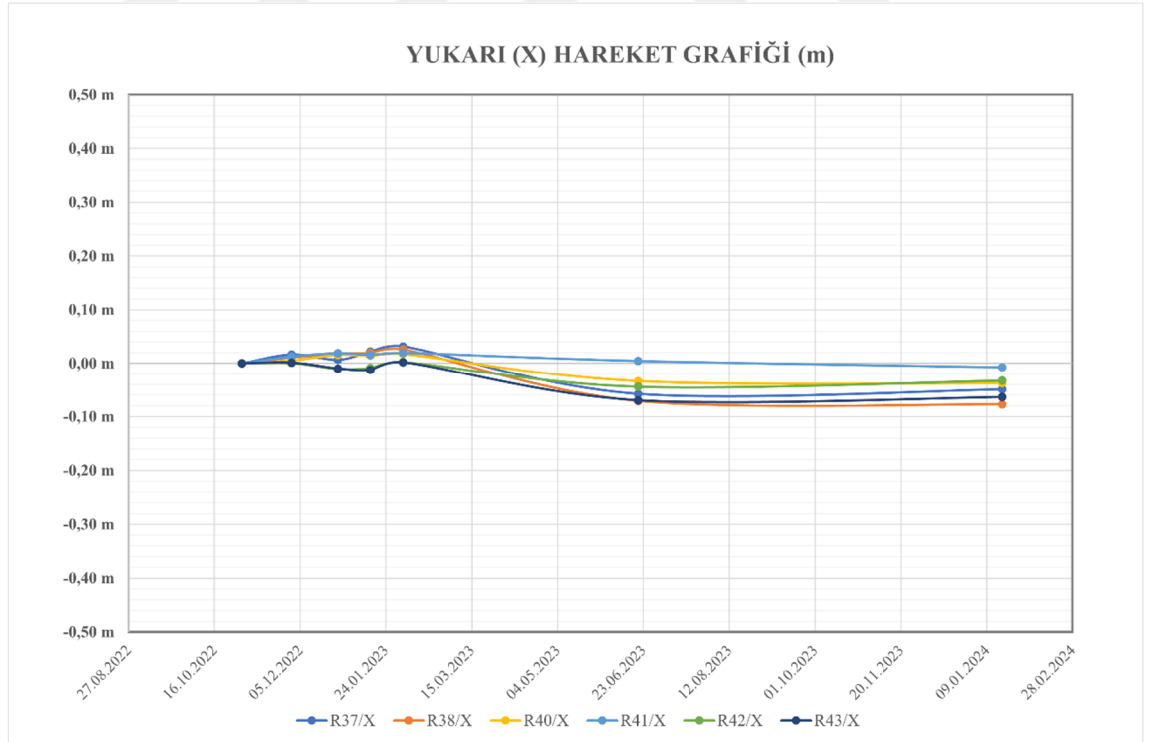
NOKTA NO	1. OTURUM KOORDİNATLARI			7. OTURUM KOORDİNATLARI			FARKLAR		
	Y	X	Z	Y	X	Z	▲y (m)	▲x (m)	▲z (m)
R37	421674.351	4190370.577	799.921	421675.908	4190370.626	800.000	-1.557	-0.049	-0.080
R38	421615.139	4190380.930	800.126	421616.709	4190381.007	800.126	-1.570	-0.077	0.000
R40	421496.874	4190401.588	800.566	421498.437	4190401.626	800.477	-1.563	-0.038	0.088
R41	421437.912	4190411.875	800.350	421439.475	4190411.882	800.253	-1.563	-0.007	0.097
R42	421378.752	4190422.183	800.360	421380.364	4190422.216	800.318	-1.612	-0.033	0.042
R43	421319.712	4190432.502	799.990	421321.329	4190432.566	799.983	-1.617	-0.064	0.007

7.Oturum sonucuna bakıldığında yatay düzlemde en fazla hareketlilik R43 nolu noktada gözlemlenmiş; SAĞA(Y) yönünde -1,617m, YUKARI (X) yönünde -0.064m hareket meydana gelmiştir. Düşey doğrultuda ise R41 nolu noktada +0.097m'lik oturma gözlemlenmiştir.

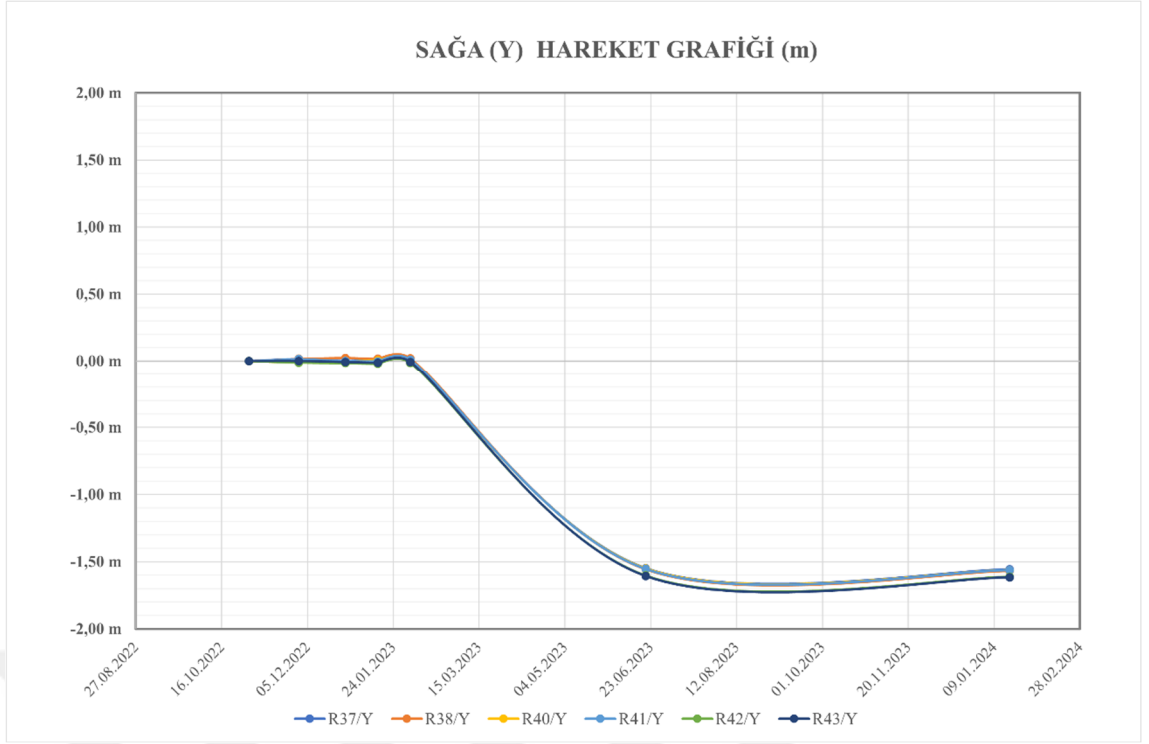
Tablo 10. Deprem sonrası yapılan 6. ve 7. Oturumların karşılaştırılması

NOKTA NO	6. OTURUM KOORDİNATLARI			7. OTURUM KOORDİNATLARI			FARKLAR		
	Y	X	Z	Y	X	Z	▲y (m)	▲x (m)	▲z (m)
R37	421675.899	4190370.634	799.984	421675.908	4190370.626	800.000	-0.009	0.008	-0.016
R38	421616.697	4190381.001	800.130	421616.709	4190381.007	800.126	-0.012	-0.006	0.004
R40	421498.425	4190401.622	800.462	421498.437	4190401.626	800.477	-0.012	-0.004	-0.016
R41	421439.466	4190411.870	800.249	421439.475	4190411.882	800.253	-0.009	-0.012	-0.004
R42	421380.354	4190422.228	800.302	421380.364	4190422.216	800.318	-0.010	0.012	-0.016
R43	421321.318	4190432.572	799.969	421321.329	4190432.566	799.983	-0.010	0.006	-0.014

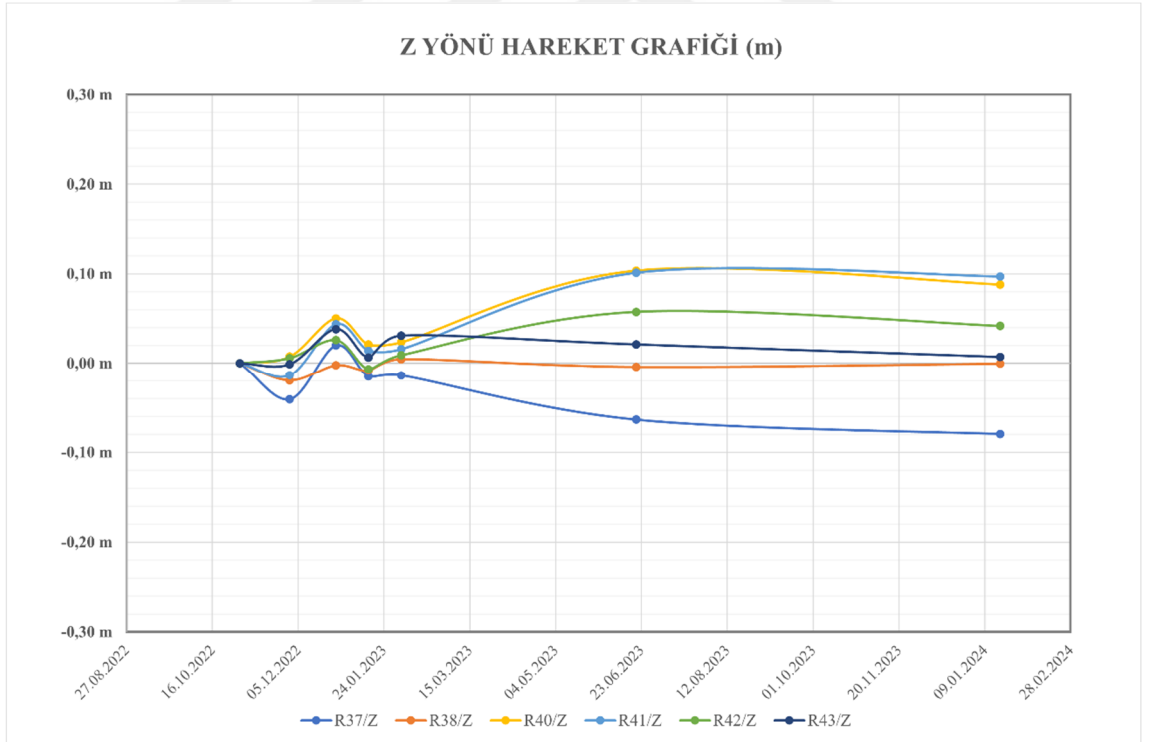
6.Oturum ve 7.Oturum kendi içinde değerlendirildiğinde sonucuna bakıldığında yatay düzlemde en fazla hareketlilik R42 nolu noktada gözlemlenmiş; SAĞA(Y) yönünde -0.010m, YUKARI (X) yönünde +0.012m hareket meydana gelmiştir. Düşey doğrultuda ise -0.016m'lik kabarma gözlemlenmiştir.



Şekil 36. Harici çökme röperlerinin X yönlü hareket grafiği



Şekil 37. Harici çökme röperlerinin Y yönlü hareket grafiği



Şekil 38. Harici çökme röperlerinin Z yönlü hareket grafiği

Adıyaman Gömükan Barajı Gövde Dinamik Analiz Raporuna göre;

Plinth güzergahında yapılan sondajlar, elde edilen karotların incelenmesi, yerinde (Menard presiyometre ve Lugeon test) ve laboratuvar deneyleri, eski çalışmalar, uygulama aşamasındaki kazı çalışmaları, yerinde yapılan saha gözlemleri ve bu gözlemler sonucunda yapılan kaya kütle sınıflamalarının sonuçları dikkate alınarak, litolojik birim üzerinde yapılan I:loek-Brown Görgü! Yenilme Ölçütü'ne göre genelleştirme yapacak olursak, kesit derinlik boyutunda 1. Seviye dere yatağında alüvyon+rezidüel zemin, yamaçlarda yamaç molozu+rezidüel zemin yanı sıra GSI=10 değerinde kayaç malzemesini de kapsayacak şekilde, 11. Seviye GSI=25 (Kale ofiyoliti ve Çatdere formasyonu zayıf kayaç seviyesi, medyan değer) ve 2. Seviye olan GSI=30 (Kale ofiyoliti ve Çatdere formasyonu zayıf-orta zayıf kayaç seviyesi) olarak belirlenmiştir.

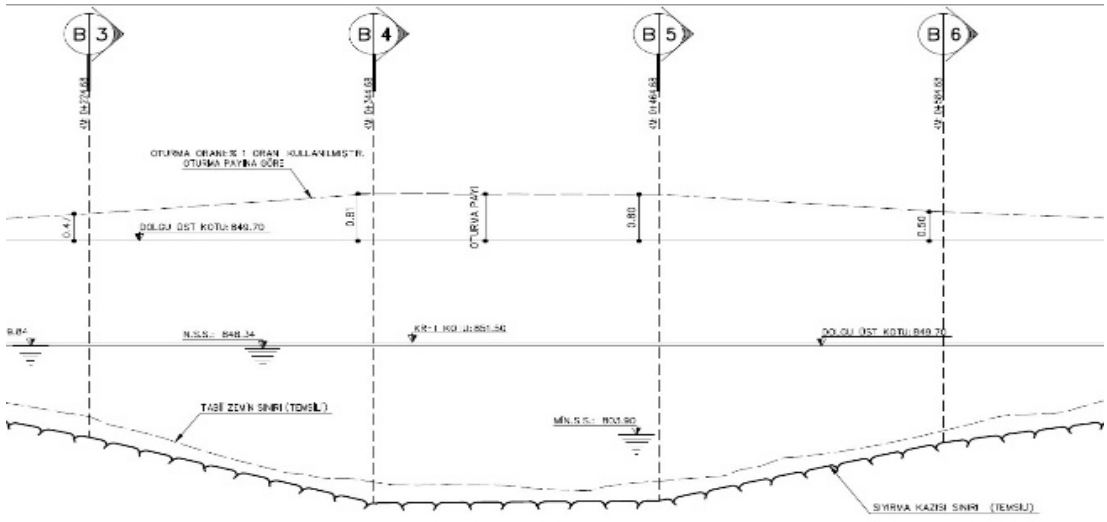
Derinlik boyutunda bu kesitler, plinth boyunca yapılan presiyometre deneylerinden elde edilen Menard elastisite modülü (%40 düşürülmüş halde) değerlerine bakılarak (ölçülendirme, $EM < SO$ MPa, $SO < EM * 100$ MPa ve $EM > 100$ MPa ya göre yapılmıştır) yapılmış ve bu kesit sınırları içerisinde kalan litolojik birimin RockLab 1,0'e göre jeoteknik parametreler elde edilmiş ve aşağıda sunulmuştur.

Tip Litolojik Birim: GSI = 10 puan olan kaya-zemin arasındaki litolojik birim:
 $c=17$ kPa, $\phi=8^\circ$, $E_d=28$ Mpa (Tamamen kaldırılacak kısım)

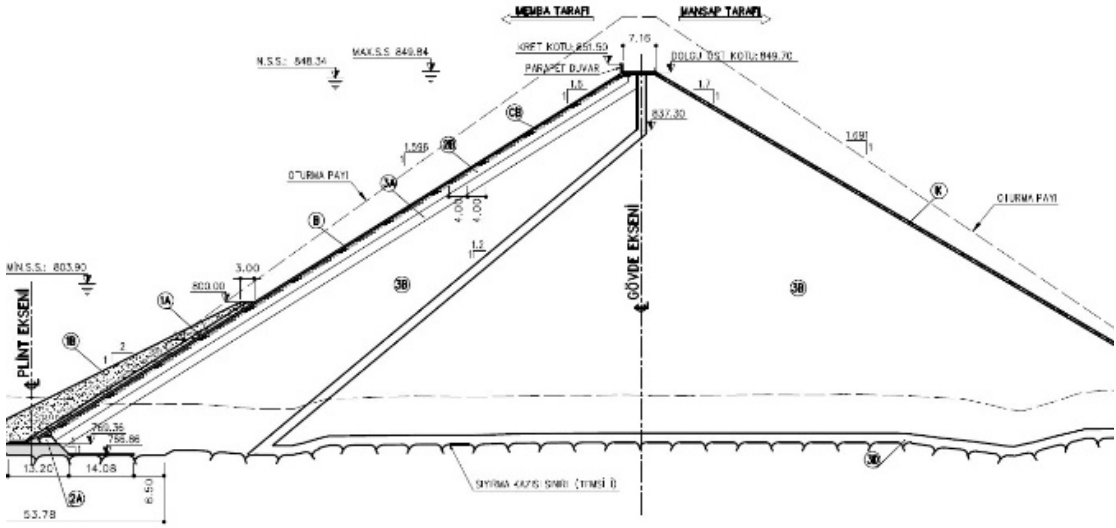
Tip Kayaç Malzemesi: GSI = 25 puan olan kaya-zemin arasındaki litolojik birim:
 $c=137$ kPa, $\phi=37^\circ$, $E_d=149$ Mpa (Topuk betonunun oturtulacağı ayrışmış zayıf kaya)

Tip Kayaç Malzemesi: GSI = -30 puan olan kaya-zemin arasındaki litolojik birim:
 $c=259$ kPa, $\phi=46^\circ$, $E_d=407$ Mpa (En altta bulunan ayrışmış kaya)

Yapılan geoteknik rapor sonucunda proje parametreleri belirlenmiş ve buna göre gövde dolgusu tamamlandığında kret üzerinde düşey doğrultu (Z) yönünde maksimum 81cm'lik oturma (Şekil-39-40) öngörülmüştür. Şekil-39 ile boy profil ve Şekil-40 ile gövde dolgu enkesitleri gösterilmiştir.



Şekil 39. Gömükan Barajı gövde oturma payı boy kesiti



Şekil 40. Gömükan Barajı gövde oturma payı en kesiti

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan ölçülerin değerlendirilmesi sonucunda deprem öncesi elde edilen bulgulara bakıldığında, harici röperlerin (deformasyon ölçü noktalarının) tamamında yatay düzlemde en fazla hareketlilik; SAĞA(Y) yönünde 0.024m, YUKARI (X) yönünde 0.032m olarak gözlemlenmiştir. Düşey doğrultuda (Z) ise 0.050m'lik oturma gözlemlenmiştir. Proje parametrelerine bakıldığında gövde dolgusu tamamlandığında kret üzerinde düşey doğrultuda (Z) yönünde maksimum 81cm'lik oturma (Şekil-39-40), dolgunun her 1 metresi için 1cm'lik bir oturma öngörülmüştür. Talvegden yüksekliği 58 metre olan R41 numaralı röperde öngörülen maksimum oturma 5.8cm olarak belirlenmişken, bu çalışma sonucu elde edilen değer ise 4.4cm olarak tespit edilmiştir. Talvegden yüksekliği 52 metre olan R40 numaralı röperde öngörülen maksimum oturma 5.2cm olarak belirlenmişken, bu çalışma sonucu elde edilen değer ise 5.0cm olarak tespit edilmiştir.

Bu durumda elde edilen sonuçların proje parametrelerine uygun ve kabul edilebilir olduğu gözlemlenmiştir. Tespit edilen deformasyonların beklenen ölçüde olması baraj güvenliğini açısından önemli sonuçlar sağlamıştır.

6 Şubat 2023'te Kahramanmaraş'ın Pazarcık ve Elbistan ilçelerinde meydana gelen depremler 11 ilimizde (Kahramanmaraş, Hatay, Gaziantep, Adıyaman, Malatya, Kili, Şanlıurfa, Adana, Osmaniye, Diyarbakır, Elazığ) büyük bir yıkıma ve can kaybına yol açtı. Depremlerinin ülkede meydana getirdiği yıkım ve yer değişimleri tespit etmek adına Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği, tüm meslek disiplinleriyle birlikte kapsamlı bir rapor hazırlamıştır.

TMMOB Kahramanmaraş Depremleri Raporu içerisinde;

Depremlerin meydana gelmesinin ardından TKGM tarafından kamuoyuna açık olarak yayımlanan TUSAGA-Aktif verileri, yatay konumlardaki deformasyonların oluşmasına neden olmuştur. Meydana gelen depremin Doğu Anadolu Fay hattının sol yanal atılım içeren karakteristik yapısı ile uyumlu deformasyon üretimi sağladığı belirlenmiştir. Oluşan en büyük hareket ise ikinci depreme daha yakında bulunan istasyon olan Ekinözü'nde (EKZ1) 4,5 m olarak belirlenmiştir. Anadolu Plakası kapsamındaki noktalar, meydana geldikleri alanlara uygun olarak güneybatı, batı, kuzeybatı doğrultusunda kayma yönelimi göstermiştir. Bundan dolayı Arap Plakasındaki alanlar ilk olarak kuzeydoğu, DAF alanından uzaklaştığı oranda doğu-güneydoğu doğrultusunda yönelim göstermiştir. Avrasya Plakasındaki noktalarda ise anlamlı hareketin meydana gelmediği belirlenmiştir. Noktaların hareket şekilleri, Arap Plakasının meydana gelen

depremlerde kuzeye yöneldiğini ve Anadolu Plakasının batı-güneybatı doğrultusunda ötelenmesine neden olduğunu göstermektedir. Deprem sırasındaki yatay hareket oranında belirginlik taşımamasına karşın Doğu Anadolu Fayı ile Bitlis-Zagros kuşağı maksimum 15 cm kadar topografik yükselme yaşamıştır (TMMOB, 2023: 346).

Depremden sonra yapılan ölçülerin değerlendirilmesi sonucunda elde edilen bulgular değerlendirildiğinde depremin etkisi bariz bir şekilde görülmüş baraj gövdesinde çok belirgin yer değişimleri kaydedilmiştir. Gövdenin tamamında yaklaşık olarak 1.6m batı (Şekil 37) ve 0.07m güney (Şekil 36) yönünde bir kayma gözlemlenmiştir. Baraj gövdesinin Adıyaman ili sınırlarında olduğu ve Ekinözü istasyonuna yakınlığı göz önünde bulundurulduğunda meydana gelen bu yer değişiminin TMMOB'nin hazırladığı Kahramanmaraş Depremleri Raporuyla uyumlu olduğu ve birbirini doğrular nitelikte olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca baraj gövdesinin ortasında bulunan ve maksimum oturmanın gözlemlenmesi beklenen R41 numaralı röperde de beklenildiği gibi 9.7cm'lik maksimum oturma gözlemlenmiştir.

Ölçülerden elde edilen bulgular ve bunların Proje parametreleri ile karşılaştırılması neticesinde, Yapılan değerlendirmeler sonucunda baraj güvenliğini tehlikeye düşürecek bir deformasyon görülmediği tespit edilmiştir. Gözlemlenen tüm hareketlerin beklenen ölçüde olması hem proje aşamasında hem de imalat aşamasında gerekli önemin verildiğini göstermektedir.

Yapılacak olan bu tür deformasyon ölçümlerinde kullanılan yöntem ve cihazlar göz önünde bulundurularak dış etkenlerden kaynaklı hataların en aza indirgenmesi için gerekli önlemler alınması önem arz etmektedir. Cihazların gerekli bakım ve kalibrasyonları yapılmalı. Mümkün olduğunca farklı cihazlar kullanılmalıdır. Tesis edilen harici röperler dolgu imalatı sırasında yuvarlanan kaya ve taşların değmesi sonucu zarar görebilir ve çalışma tamamlanamayabilir. Bu sebeple harici röperler zarar görmemesi için iyi muhafaza edilmelidir.

Deprem sonrası yapılan ölçümler sonucunda ülke genelinde belirgin yer değişimleri tespit edilmiştir. En önemlisi ise bu yer değişimleri büyük ölçekli projelerde proje sahasının her noktasında farklı doğrultuda ve farklı büyüklükte gözlemlenmiştir. Bu durum baraj gibi önemli yapıların birbiriyle bağlantılı olması gereken ünitelerini uyumlu bir şekilde inşa edilmesini zorlaştırmıştır. Her ne kadar deprem öncesi ve deprem sonrası yapılan ölçümler sonucunda dönüşüm parametreleri elde ederek noktaları uyumlu hale getirmeye çalışsak ta yine birtakım hatalar gözlemlenebilmektedir. Bu durumdan kaynaklı hataları minimize etmek amacıyla proje sahasına tesis edilen referans noktalarını sıklaştırarak her ünitenin ortak çalışacağı minimum 2 referans noktası tesis edilmelidir.

Böylelikle hem üniteler arası uyum sağlanmış olacak hem de oluşturulacak dönüşüm parametreleri daha sağlıklı sonuç verecektir.

Baraj yapılarında meydana gelen sorunlar sonucunda meydana gelebilecek yetersizlikler sebebiyle barajlar yıkılma riskiyle karşılaşabilmektedirler. Baraj yıkılması sonucunda baraj rezervuarında yer alan büyük kütleli sular oldukça kısa bir sürede hızlı ve kontrolsüz olarak hareket edip barajın mansap alanında manevi ve maddi kayıplara yol açabilmektedir. Baraj yapılarında yıkılmaya yol açabilecek yetersizliklerin öncesinden belirlenerek gereken önlemlerin vaktinde alınması maksadıyla, baraj yapılarında planlanmış performansın sağlanıp sağlanmadığı inşaat sürecinden başlanarak işletme ömrü boyunca devamlı izlenmelidir.

Dolgu baraj yapıları, taşkın kontrolü sağlama becerileri ve su depolama kapasiteleri sebebiyle yaygın bir şekilde tercih edilmektedir. Fakat, dolgu baraj yapıların inşası esnasında ve sonrasında karşı karşıya kalınan temel problemler arasında şev stabilitesi sorunları, zemin ve sızma deformasyonları bulunmaktadır. Şev stabilitesi, barajın güvenliği bakımından en önemli faktörler arasında yer almaktadır. Zemin maddelerinin farklı nitelikleri, şev stabilitesine direkt olarak etkide bulunabilmekte ve barajın işletme ömrünü azaltabilmektedir.

Çevresel bakımdan dolgu baraj yapıları kurulduğu alanlarda ekosistemleri değiştirebilmekte ve yerel su döngüsünde farklılıklara yol açabilmektedir. Baraj göllerinin oluşması, doğal habitatları su altında bırakıp biyolojik çeşitliliği azaltabilmekte ve suyun aşağı akışında bulunan alanlarda su kıtlığına neden olabilmektedir. Bunun haricinde iklim değişimiyle artış gösteren hava olayları ve yağış miktarlarında yaşanan dalgalanmalar, barajların stabilite ve su yönetimi problemlerini daha da karmaşıktırılmaktadır. Dolgu baraj yapılarının güvenliği, bu sebeple yalnızca yapısal dayanıklılık değil, ayrıca çevresel sürdürülebilirlik bakımından da fazlasıyla önem arz etmektedir. Barajların yıkılması ya da sızma sorunları, önemli ekonomik ve çevresel sonuçlara neden olabilmektedir. Bu ve benzeri olumsuz sonuçlarla karşılaşmamak için, barajın güvenliğinden emin olunmalı, bu amaçla her baraj yapım aşamasından başlayarak ömrü boyunca izlenmeli, meydana gelebilecek olumsuzlar önceden tespit edilerek bunlara karşı gerekli önlemler alınmalıdır.

KAYNAKÇA

- Ağralıoğlu, N. (2011). *Baraj güvenliği*. Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş.
- Akbaş, S. O., ve Sak, İ. (2012). Akköprü barajının hesaplanan ve gözlenen deformasyon davranışı. *Teknik Dergi*, 23(113), 6063-6087.
- Aksu, S. ve Ağca, E. (2007). DSİ Genel Müdürlüğünce baraj emniyetini ile ilgili olarak yapılan ve yapılması gereken çalışmalar. H. Tosun, M. Türköz, H. Savaş, E. Sevrek (Ed.), 1. *Ulusal Baraj Güvenliği Sempozyumu ve Sergisi* (617-628) içinde. Ankara, Türkiye.
- Aldemir, A., Yılmaztürk, S. M., Yücel, A. R., Binici, B., Arıcı, Y., ve Akman, A. (2015). Beton barajların deprem davranışlarının incelenmesinde kullanılan analiz metotları. *Teknik Dergi*, 26(1), 6943-6968.
- Arslan, M., (2023). *Deprem ve Kadastro*, <https://tkgmmakale.com/deprem-ve-kadastro>, (Erişim Tarihi: 03.01.2025).
- Aşık, Y. (2016). Barajların Kontrolü ve Denetiminin Önemi. *Dergi Park*, 6(1), 33-40.
- Aydın, R. K. (2007). Baraj ölçüm tesislerinin baraj güvenliğindeki önemli görevi. H. Tosun, M. Türköz, H. Savaş, E. Sevrek (Ed.), 1. *Ulusal Baraj Güvenliği Sempozyumu ve Sergisi* (733-739) içinde. Ankara, Türkiye.
- Bahar, M. (2009). *Diyafram duvarlı iksa perdelerinde ölçülen ve tahmin edilen deplasmanların karşılaştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi.
- BÖHMBÜY (2018). Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği. <https://www.mevzuat.gov.tr/MevzuatMetin/3.5.201811962.pdf>. Erişim Tarihi: 05.03.2025.
- Brown, A. J., ve Gosden, J. D. (2008). Defra research into internal erosion. In *Ensuring reservoir safety into the future: Proceedings of the 15th Conference of the British Dam Society at the University of Warwick from 10–13 September 2008* (pp. 39-50). Thomas Telford Publishing.
- Caner, E. (2021). *Barajlarda güvenlik, acil durum planları ve su alarm sistemleri*, https://www.sunsavunma.net/barajlarda-guvenlik-acil-durum-eylem-planlari-ve-su-alarm-sistemleri/#google_vignette, (Erişim Tarihi: 03.01.2025).
- Çarhoğlu, A. I. (2012). *Türkiye’deki kemer barajların deprem etkisindeki davranışlarının değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi*, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.

- Çavuş, U. Ş. (2017). Geomembran Kaplamalı Kaya Dolgu Bir Barajın Sismik Şev Deformasyonu Tahmini. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17(2), 638-645.
- Çetin, K. ve Unutmaz, B. (2004). *Dolgu barajların deprem davranışının belirlenmesinde mevcut yöntemler*, https://www.researchgate.net/publication/259902537_C20_Seismic_performance_assessment_of_earthfill_dams, (Erişim Tarihi: 03.01.2025).
- Çetin, Y. D. D. K. Ö., ve Bilge, H. T. (2004). *Dolgu Barajlarda Ölçüm Sistemleri*.
- Çiçek, M. (2007). *Zayıf temeller üzerine inşa edilen ssb barajların statik analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- Dalkır, Ö. (2011). Barajlarda deprem riski. 5. *Ulusal Su Mühendisliği Sempozyumu*, (pp. 887-901). İstanbul. 12-16 Eylül.
- Darendeli, M. B. (2001). *Development of a new family of normalized modulus*, Doctoral dissertation, University of Texas.
- Devlet Su İşleri, (1983). *Baraj Ölçüm Sistemleri Tanıtma ve Kullanma Rehberi*, İşletme ve Bakım Dairesi Başkanlığı.
- Devlet Su İşleri, (1999). *Toprak ve Kil Çekirdekli Kaya Dolgu Baraj Ölçüm Tesisleri*, Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Daire Başkanlığı, Ankara.
- Devlet Su İşleri, (2012). *Dolgu barajların tasarım rehberi*. Ankara.
- Dunncliff, J. (1993). *Geotechnical instrumentation for monitoring field performance*. John Wiley & Sons.
- Emiroğlu, M. E. (1999). *Barajların tip seçiminin belirlenmesinde uzman sistem kullanımı*, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- Foster, M., Fell, R., ve Spannagle, M. (2000). The statistics of embankment dam failures and accidents. *Canadian Geotechnical Journal*, 37(5), 1000-1024.
- Güler, E. (2021). *Zeminlerin dinamik özelliklerinin deneysel olarak belirlenmesi ve zemin büyütme analizlerinin yapılması*, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi.
- Gündoğdu, K. S. (2004). Sulama proje alanlarındaki taban suyu derinliğinin jeostatistiksel yöntemlerle değerlendirilmesi. *Uludağ Ü. Ziraat Fak. Der.*, 18(2), 85-95.
- Gürbüz, A., ve Baştuğ, İ. (2019). Fatsa-Aybastı Karayolu Şev Hareketlerinin İnklinometre Ölçümleriyle İncelenmesi. *Türk Hidrolik Dergisi*, 3(2), 36-41.
- Güven, A., ve Aydemir, A. (2014). Toprak dolgu barajlar için risk değerlendirmesi. *Uluslararası katılımlı IV. Ulusal Baraj Güvenliği Sempozyumu*, 09-11.

- Hardin, B. O., ve Richart Jr, F. E. (1963). Elastic wave velocities in granular soils. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, 89(1), 33-65.
- ICODS, (2015). *Evaluation and Monitoring of Seepage and Internal Erosion*, FEMA.
- ICOLD, (2013). *Internal Erosion of Existing Dams, Levees and Dikes, and Their Foundations*.
- Ishihara, K. (1996). *Soil Behaviour in Earthquake Geotechnics*, 1st ed.
- Jamiolkowski, M. (1985). New developments in field and laboratory testing of soils. In *Proc. 11th. Int. Conf. on SMFE., San Francisco, CA, 1985* (Vol. 1, pp. 57-153).
- Kalın, G. (2010). *Kil Çekirdekli Kaya Dolgu Barajlarda Jeodezik Yöntemle Deformasyon Ölçmeleri: Atatürk Barajı Örneği*, Doktora Tezi.
- Kokusho, T. (1987). *In Situ Dynamic Soil Properties and Their Evaluation*. Kyoto.
- Orhon, D. (1997). *Modeling of activated sludge systems*. CRC Press.
- Özsağır, M. (2015). *İnce daneli zeminlerin dinamik özellikleri*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi.
- Özsoy, K. (2007). *Kemer barajların deprem etkisi altındaki davranışları*, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi.
- Pisaniello, J. D., Zhifang, W., McKay, J. M. (2006). Small dams safety issues - Engineering/policy models and community responses from Australia. *Water Policy*, 8(1), 81-95.
- Santagata, M. C. (1999). *Factors affecting the initial stiffness and stiffness degradation of cohesive soils*, Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology.
- Savaş, H. (2000). *Toprak dolgu barajlarda kullanılan yüksek plastisiteli killerin dispersibilite özelliğinin belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi.
- Sherard, J. L. (1986). Hydraulic fracturing in embankment dams. *Journal of Geotechnical Engineering*, 112(10), 905-927.
- Shibuya, S., Mitachi, T., Fukuda, F., ve Degoshi, T. (1995). Strain rate effects on shear modulus and damping of normally consolidated clay. *Geotechnical testing journal*, 18(3), 365-375.
- Stewart, J. P., Afshari, K., ve Hashash, Y. M. (2014). Guidelines for performing hazard-consistent one-dimensional ground response analysis for ground motion prediction. *PEER report*, 16, 117.
- Taşçı, L., Yıldırım, B., ve Gökalp, E. (2004). Kaya dolgu barajda deformasyonların jeodezik ve sonlu elemanlar metodu ile belirlenmesi. *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16(2), 205-219.

- TMMOB (2023a). 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Depremleri Raporu. <https://obs.hkmo.org.tr/show-media/uploads/news/c46e6ae19a092ef6524408c0bb019897.pdf>. (Erişim Tarihi: 06.03.2025).
- TMMOB (2023b). 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Depremleri Raporu. <https://obs.hkmo.org.tr/show-media/uploads/news/b78a1c741b1054625ed241ef0b78964c.pdf>. (Erişim Tarihi: 06.03.2025).
- Topçu, S. (2017). Kil Çekirdekli Kaya Dolgu Barajlarda Hidrolik Çatlama Potansiyelinin Tahmin Edilmesi. *DSI Technical Bulletin/DSİ Teknik Bülteni*, (125).
- Tosun, H., ve Topçu, S. (2014). Toprak dolgu barajlarda hidrolik çatlama. *Uluslararası Katılımlı IV. Ulusal Baraj Güvenliği Sempozyumu, Elazığ, Türkiye*, 519-530.
- Towhata, I. (2008). *Geotechnical earthquake engineering*. Berlin: Springer.
- Turan, F. (2007). *Dolgu tipli barajlarda düşey değişimlerin hassas trigonometrik nivelman yöntemiyle belirlenmesi üzerine bir inceleme*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi.
- TUSAGA-Aktif İstasyonları, (2025). TUSAGA-Aktif İstasyonlarının TRF 96 2005.0 Sistemindeki Güncel Koordinat ve Hızları. <https://www.tusaga-aktif.gov.tr/Web/IstasyonKonumBilgileri.pdf>. Erişim Tarihi: 06.03.2025.
- Url 1. (2025). *Hasan Uğurlu Barajı*, <https://www.samsunharitasi.com/turizm/hasan-ugurlu-baraji/>, (Erişim Tarihi: 03.01.2025).
- Url 2. (2024). *Gebere Barajı mesire alanına 9 günlük tatilde yoğun ilgi*, <https://www.dha.com.tr/yerel-haberler/nigde/merkez/gebere-barajı-mesire-alanına-9-gunluk-tatilde-y-2464932>, (Erişim Tarihi: 03.01.2025).
- Url 3. (2025). *Türkiye Deprem Tehlike Haritası*, https://www.jmo.org.tr/genel/jeoloji_harita.php?kod=9004, (Erişim Tarihi: 03.01.2025).
- Url 4. (2025). *İnklinometre*, <https://www.geogrup.com.tr/tr/geoteknik-rasat/inklinometre-olcumu.html>, (Erişim Tarihi: 03.01.2025).
- Url 5. (2025). *Oturma Ölçer*, <https://artigeoteknik.com.tr/tr/aletsel-gozlem-cihazlari/oturma-olcer/>, (Erişim Tarihi: 03.01.2025).
- Url 6. (2025). *Ekstansometre*, <https://zeminrastirma.com/testler/manyetik-ekstansometre-deneyi/>, (Erişim Tarihi: 03.01.2025).
- Url 7. (2025). *Piyezometre*, <https://www.geogrup.com.tr/tr/enstrumantasyon/piyezometre-piezometer.html>, (Erişim Tarihi: 03.01.2025).

- Yenigün, K. (2007). Dolusavaklarda Taşkına Dayalı Güvenilirlik ve Baraj_risk Programıyla Risk Analizi Uygulaması. *Ulusal Baraj Güvenliği Sempozyumu, Mayıs, 28-30.*
- Yenigün, K., ve Yüzgöl, F. (2014). Baraj Elemanlarının Tasarım ve Yapım Aşamasında Baraj Güvenliği Kıstasıyla İrdelenmesi 'İlisu Barajı Örneği'. IV. *Ulusal Baraj Güvenliği Sempozyumu, 9-11.*



ÖZGEÇMİŞ

Murat ÇINAR, ilk ve orta öğrenimini Elazığ'da tamamlamıştır. 2011 yılında Atatürk Üniversitesi Pasinler Meslek Yüksekokulu Harita ve Kadastro Programı'ndan ön lisans eğitimini tamamlamış dikey geçiş sınavıyla harita mühendisliği bölümüne geçiş yapmıştır. 2015 yılında Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Fakültesi, Harita Mühendisliği bölümünden mezun olarak lisans eğitimini tamamlamıştır. 2025 yılında Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans eğitimini tamamlamıştır. Özel sektörde mesleki faaliyetlerini yürütmektedir. Orta derece İngilizce bilmektedir. Evli ve iki çocuk babasıdır.

