



**BÜYÜKKUMLA BARAJI İNŞAATINDA BULAMAÇ
HENDEĞİ UYGULAMALARI VE ANALİZLERİ**

Eda Nur ÇAKIR



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BÜYÜKKUMLA BARAJI İNŞAATINDA BULAMAÇ HENDEĞİ
UYGULAMALARI VE ANALİZLERİ**

Eda Nur ÇAKIR
(ORCID 0000-0002-6855-2114)

Dr. Öğr. Üyesi Yeşim Sema ÜNSEVER
(ORCID 0000-0003-3735-9554)
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2019

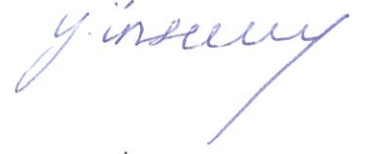
TEZ ONAYI

Eda Nur ÇAKIR (ORCID 0000-0002-6855-2114) tarafından hazırlanan “BÜYÜKKUMLA BARAJI İNŞAATINDA BULAMAÇ HENDEĞİ UYGULAMALARI VE ANALİZLERİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Yeşim Sema ÜNSEVER
(ORCID 0000-0003-3735-9554)

Başkan : Dr. Öğr. Üyesi Yeşim Sema ÜNSEVER
(ORCID 0000-0003-3735-9554)
Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik
Fakültesi,
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza



Üye : Doç. Dr. Serdar KORKMAZ
(ORCID 0000-0002-3393-1632)
Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik
Fakültesi,
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza



Üye : Doç. Dr. Eyübhan AVCI
(ORCID 0000-0001-7206-0158)
Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa
Bilimleri Fakültesi,
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN
Enstitü Müdürü

..!.....



U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

13.09.2019


Eda Nur ÇAKIR

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BÜYÜKKUMLA BARAJI İNŞAATINDA BULAMAÇ HENDEĞİ UYGULAMALARI VE ANALİZLERİ

Eda Nur ÇAKIR

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Yeşim Sema ÜNSEVER

Günümüzde, beton kaplı kaya dolgu barajlar baraj yapımında yaygın olarak tercih edilen seçeneklerin başında gelir. Bu tip barajlar, geçirimsiz kil malzemenin uzak veya yetersiz olması, yapımının pratik olması, dar vadilerde çoğunlukla düşük maliyetli olması, deprem bölgelerinde ideal bir tip olması ve ayrıca sıkıştırılmış kaya dolgu sayesinde aşırı oturmaların, su kaçağı problemlerinin ortadan kalkması sebebi ile sıklıkla tercih edilir. Bu baraj tipinde, zeminde fazla taşıma gücüne ihtiyaç yoktur.

Büyükkumla Baraj temeli için kazı çalışmaları deniz seviyesi altında gerçekleşmiştir. Baraj gövde kazılarının kuru bir ortamda yapılabilmesi için deniz suyu ve yer altı suyu etkilerinin uzaklaştırılması zorunlu hale gelmiştir. Bu sebeple bulamaç hendeği uygulanarak deniz suyu etkisi baraj rezervuarından uzaklaştırılmış, baraj gövdesi altındaki sızıntılar kontrol altına alınmıştır. Büyükkumla Barajında memba ve mansap batardoları altında, batardo eksenleri boyunca bulamaç hendeği uygulanmıştır. Bulamaç hendeği yönteminde amaç sızmayı engellemek veya sızma boyunu uzatmaktır, stabiliteye herhangi bir katkısı yoktur.

Bu çalışmada, önce bulamaç hendeği arazi uygulaması anlatılmış, daha sonra Seep/w ve Midas Gts Nx programları kullanılarak numerik bulamaç hendeği modellenmesi yapılmıştır. Daha sonra, analiz sonuçları araziden alınan ölçümlerle karşılaştırılmıştır. Yapılan analiz sonuçlarının arazideki sonuçlara yakın çıktığı ve güvenli tarafta kaldığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ön yüzü beton kaplı kaya dolgu barajlar, ÖBKB, Bulamaç Hendeği, Sızma Analizi, Seep/w, Midas Gts Nx.

2019, viii + 88 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

APPLICATIONS AND ANALYSIS OF SLURRY TRENCH IN BUYUKKUMLA DAM CONSTRUCTION

Eda Nur ÇAKIR

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Yeşim Sema ÜNSEVER

In this day and age, concrete face rockfill dams (CFRDs) are one of the most preferred dam type in dam constructions. There are several reasons in selecting CFRD type such as distant or insufficient impermeable clay material to construction site, practicality in construction phase, usually low construction cost in narrow valleys, ideal type in earthquake zones and also less problems for excessive settlement and water leakage due to compaction of rock filling. In this type of dam, there is no need for much of ground bearing capacity.

Foundation excavation of Büyükkumla Dam was performed under sea water level. A slurry trench application in Büyükkumla Dam became necessary in order to remove the effects of seawater and groundwater while carrying out its excavations below sea water level in a dry condition. For this reason, seawater access to the dam reservoir is blocked and possible seepages under dam body is got under control. Slurry trench is applied both under upstream and downstream cofferdam axis. The aim of slurry trench method blocks seepage or increases the length of seepage line, it has no contribution to dam stability.

In this study, slurry trench field application is priorly explained and then numerically modeled using geotechnical software Seep/w and Midas Gts Nx. Then, numerical computation results are compared with in-situ readings. It is seen that model results are considerably close to the in-situ results and under allowable safety factors as well.

Key words: Concrete faced rockfill dams, CFRD, Slurry Trench, Seepage Analysis, Seep/w, Midas Gts Nx.

2019, viii + 88 pages.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim sürecince bilgi ve önerileriyle desteğini ve yardımlarını esirgemeyen çok kıymetli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Yeşim Sema Ünsever'e, teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Çalışmalarında fikirleriyle desteğini esirgemeyen Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dr. Öğr. Üyesi Hacı Bekir Kara'ya, bu günlere gelmemde emeği olan bütün hocalarıma, tez çalışmamda yardımlarını esirgemeyen arkadaşlarım Halil İbrahim Kula'ya, Yasemin Er'e, üniversite hayatım boyunca da desteklerini esirgemeyen Gözde Arslan ve Cihangir Arslan çiftine, her zaman yanımda olup manevi desteğini benden hiç esirgemeyen Özge Kıtık'a teşekkür ederim.

Araştırmamın veri toplama aşamasında desteğini esirgemeyen Devlet Su İşleri 1. Bölge Müdürlüğüne, iş arkadaşlarıma, teşekkür ederim.

Tezimde kullandığım Midas Gts Nx sonlu elemanlar yazılımına ulaşmam ve öğrenmem konusunda yardımlarını esirgemeyen ve bu konuda kıymetli zamanını bana ayıran Ergem Geoteknik A.Ş 'ye teşekkür ederim.

Hayatımın her döneminde sabırla, sevgiyle bana destek olan çok sevdiğim aileme sonsuz teşekkür ederim. İyi ki varlar...

Eda Nur ÇAKIR
13/09/2019


İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	3
2.1. Ön Yüzü Beton Kaplı Kaya Dolgu Baraj Örnekleri.....	3
2.2. Sızma Analizi Örnekleri.....	5
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	11
3.1. Büyükkumla Barajı.....	11
3.1.1. Büyükkumla Barajı'na ait karakteristikler.....	12
3.1.2. Baraj yeri jeolojisi.....	15
3.1.3. Tasarım esasları.....	17
3.1.4. Gövde zonları.....	23
3.1.5. Yapım aşamaları.....	26
3.2. Bulamaç Hendeği (Slurry Trench).....	35
3.2.1. Kazı ekipmanları.....	36
3.2.2. Bentonit işleme tesisi ekipmanları.....	39
3.2.3. Malzemeler.....	43
3.2.4. Bulamaç hendeği (Slurry Trench) yönteminin uygulanması.....	45
3.2.5. Büyükkumla Barajı'nda bulamaç hendeği yönteminin uygulanması.....	47
3.2.6. Bulamaç hendeği (Slurry Trench) yönteminin avantajları ve dezavantajları.....	56
3.2.7. Bulamaç hendeği (Slurry Trench) yönteminin laboratuvar ve arazi çalışmaları ..	57
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	59
4.1. Sızma Analizi.....	59
4.2. Seep/w Sızma Analizleri.....	62
4.3. Midas Gts Nx Sızma Analizleri.....	69
5. SONUÇ.....	74
KAYNAKLAR.....	76
EKLER.....	79
ÖZGEÇMİŞ.....	88

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
Q	Debi
k	Hidrolik İletkenlik
i	Hidrolik Eğim
A	Kesit Alanı
H	Hidrolik Düşü
Φ	Hacimsel Su İçeriği
cm	Santimetre
m	Metre
s	Saniye

Kısaltmalar	Açıklama
--------------------	-----------------

ICOLD Dams)	Uluslar Arası Barajlar Komisyonu (International Commission On Large Dams)
RQD	Kaya Kalitesi Göstergesi
TAKK	Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Rulon'un laboratuvar model sonucu	6
Şekil 2.2. Rulon'un Seep/w model sonucu	6
Şekil 2.3. Sazlıdere Barajı'na sonlu farklar metodu uygulama kesiti.....	7
Şekil 2.4. Muratlı Barajı'na ait sızma analizi	8
Şekil 2.5. İkizdere Barajı $k=2,43 \times 10^{-8}$ m/s için sızma analizi	9
Şekil 2.6. Acrylamide-grouted kum kolonları kullanılarak modellenen kesitte sızma analizi sonucu freatik hat	10
Şekil 3.1. Genel yerleşim	11
Şekil 3.2. Büyükkumla Barajı tipik gövde enkesiti.....	14
Şekil 3.3. Büyükkumla Barajı'nın Türkiye Deprem Tehlike Haritasındaki yeri.....	16
Şekil 3.4. Alüvyona ait gronülometri eğrileri	17
Şekil 3.5. Gövde memba görünüşü	18
Şekil 3.6. Hidrolik eğim ile ön yüz beton kalınlığı ilişkisi	20
Şekil 3.7. Topuk plağı (Plinth).....	21
Şekil 3.8. Büyükkumla Barajı ön yüz beton plak-parapet derz birleşimi	22
Şekil 3.9. Büyükkumla Barajı ön yüz beton plak-plinth derz birleşimi.....	22
Şekil 3.10. Gövde zonları.....	23
Şekil 3.11. 1A zonu.....	24
Şekil 3.12. 2B-3A-3B-3C-3D zonları	26
Şekil 3.13. Portal kazıları başlangıcı.....	27
Şekil 3.14. Püskürtme betonu uygulaması	27
Şekil 3.15. (a)Tünel kazısı ve (b) destekleme çalışmaları	28
Şekil 3.16. (a)-(b)Tünel beton kaplama ve (c)-(d) tünel enjeksiyonu çalışmaları	29
Şekil 3.17. Derivasyon uygulaması.....	30
Şekil 3.18. Gövde kazıları	30
Şekil 3.19. Temel kazıları	31
Şekil 3.20. Gövde dolgusu	32
Şekil 3.21. Bordür betonu	33
Şekil 3.22. Yapım aşaması genel görünüm	34
Şekil 3.23. Bakır su tutucuların ahşap takozlarla korunması	34
Şekil 3.24. Freeze kazıcı	37
Şekil 3.25. Kelly Grab kazıcı	38
Şekil 3.26. Desender sistemi (Kum eleme ünitesi)	39
Şekil 3.27. Bentonit işleme tesisi	39
Şekil 3.28. Bentonit dinlendirme havuzu ve hava sirkülasyonu	40
Şekil 3.29. Kılavuz duvarlar	46
Şekil 3.30. (a) Memba jeolojik kesiti (b) Mansap jeolojik kesiti.....	49
Şekil 3.31. (a) Memba batardosu slurry trench hattı (b) Mansap batardosu slurry trench hattı.....	51
Şekil 3.32. Hendeklerin kazılması	53
Şekil 3.33. Hendeklerin bentonit ile desteklenmesi	54
Şekil 3.34. Bentonit ile dolu hendeğe tremie borusunun yerleştirilmesi	55
Şekil 3.35. Panellere slurry dökümü sırasında bentonit çamurunun dışarı çıkışı.....	55
Şekil 3.36. Tamamlanmış slurry trench imalatı	56

Şekil 4.1. Seep/w sonlu elemanlar yazılımı ile memba batardosu ve slurry trench en kesit modellemesi.....	64
Şekil 4.2. Seep/w sonlu elemanlar yazılımı ile memba batardosu ve slurry trench sonlu eleman ağı modellemesi	65
Şekil 4.3. Seep/w sonlu elemanlar yazılımı ile sızma analizi sonucu memba batardosunda toplam yükler ve freatik hat.....	66
Şekil 4.4. Seep/w sonlu elemanlar yazılımı ile sızma analizi sonucu mansap batardosunda toplam yükler ve freatik hat.....	66
Şekil 4.5. Seep/w sonlu elemanlar analizi ile memba batardosu sızma değerleri.....	67
Şekil 4.6. Seep/w ile zemine ait (a) genel modelleme ve (b) analiz sonuçları.....	68
Şekil 4.7. Seep/w sonlu elemanlar yazılımı ile memba ve mansap batardoları modellemesi	63
Şekil 4.8. Midas Gts Nx sonlu elemanlar yazılımı ile memba batardosu modellemesi..	70
Şekil 4.9. Midas Gts Nx sonlu elemanlar yazılımı ile (a) memba batardosu (b) mansap batardosu yer altı suyu tanımlaması	71
Şekil 4.10. Analizler ve arazi ölçümleri sonucu elde edilen toplam yükseklere ait karşılaştırma.....	72
Şekil 4.11. Midas Gts Nx sonlu elemanlar yazılımı ile hesaplanan (a) toplam yükler ve (b) akım ağları	73

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. Dünyadan ön yüzü beton kaplı kaya dolgu baraj örnekleri	4
Çizelge 2.2. Türkiye'den ön yüzü beton kaplı kaya dolgu baraj örnekleri.....	5
Çizelge 3.1. Baraj karakteristik özellikleri.....	13
Çizelge 3.2. Ön yüz beton kalınlıkları	19
Çizelge 3.3. Ana kayanın durumuna göre topuk plağı genişliği.....	21
Çizelge 3.4. Ekipman kapasiteleri.....	41
Çizelge 3.5. Bentonit bulmacının özellikleri	43
Çizelge 3.6. Elek analizi dane dağılımı.....	45
Çizelge 3.7. Büyükkumla plastik beton karışım oranları.....	52
Çizelge 4.1. Modellemede kullanılan malzemelerin permeabilite değerleri	61
Çizelge 4.2. Zeminlerin permeabilite değerleri.....	61
Çizelge 4.3. Analizler ve arazi ölçümleri sonucu elde edilen toplam yükler.....	72



1. GİRİŞ

Barajlar insanlığın su ihtiyacını karşılamak amacı ile inşa edilen su yapılarıdır. Ülkelerin tarımsal faaliyetleri, içme suyu ihtiyaçları ve enerji üretimi için depoladıkları su hacmi bakımından büyük önem taşırlar (Yenigün ve Yüzgöl 2013).

Son yıllarda Dünyada ve Türkiye’ de ön yüzü beton kaplı barajların yapımında artış görülmektedir. Bu tip barajlar, geçirimsiz kil malzemenin uzak veya yetersiz olması, yapımının pratik olması, dar vadilerde çoğunlukla düşük maliyetli olması, deprem bölgelerinde ideal bir tip olması ve ayrıca sıkıştırılmış kaya dolgu sayesinde aşırı oturmaların, su kaçağı problemlerinin ortadan kalkması sebebi ile sıklıkla tercih edilir. Bu baraj tipinde zeminde fazla taşıma gücüne ihtiyaç yoktur, örneğin 300 m yükseklikte inşa edilen ön yüzü beton kaplı baraj performansının sınır değerler içerisinde kaldığı görülmüştür (Cooke ve Sherard 1987).

Kaya dolgudaki oturmaların minimum olması, topografyada daha dik şevlere ihtiyaç duyulması ve depreme dayanıklılık avantajları sayesinde ön yüzü beton kaplı barajlar son yıllarda önem kazanmıştır. Ön yüz beton barajlarda kayanın dayanımından faydalanılır. Su tutucu olarak ise betonun geçirimsizliği kullanılır. Baraj gövdesinin geçirimsizliği, memba üzerine inşa edilen beton kaplama ile sağlanmaktadır. Beton kaplamanın temel kayası ile bağlantısı da memba şevi boyunca inşa edilen topuk plağı (Plinth) ile gerçekleştirilmektedir (DSİ 2014).

Ön yüzü beton kaplı barajların çeşitli avantajları olmasına karşın; beton maliyetleri göz önüne alındığında 20 m’den düşük yükseklikte barajlar ekonomik olmamaktadır (Fitzpatrick ve ark. 1985). Ön yüzü beton kaplı barajların daha ekonomik ve daha yüksek inşa edilmesi için bilimsel çalışmalar artmaktadır.

Bu baraj tipinin planlanması, tasarımı ve inşasının iyi bilinmesi ülkemiz için önem taşımaktadır (Yenigün ve Yüzgöl 2013). Tasarım ve yapım aşamasında,

- Ön yüz beton tasarımının formüllere uygun olacak şekilde hesaplanması,
- Topuk plağı boyutlarının standartlara uygun şekilde yapılması,
- Kullanılacak malzemelerin boyutlarına ve içeriklerine dikkat edilmesi,

- Derz boşluklarının sızıntılara karşı su tutucular ile desteklenmesi,
- Yapım aşamasında malzemelerin iyi sıkıştırılması önemlidir.

Teori olarak ne kadar doğru hesaplar yapılırsa da pratikte uygulamanın kaliteli olması gerekmektedir.(Yeniğün ve Yüzgöl 2014).

Bu çalışmada alüvyon zemin üzerine inşa edilen ve temelden yüksekliği 81 m olan ön yüzü beton kaplı kaya dolgu Büyükkumla Barajı'nın rezervuarındaki su kalitesini korumak ve kazı alanına gelen suyu engellemek amacı ile memba ve mansap batardoları altına inşa edilen bulamaç hendeği (slurry trench) uygulamasının sızma analizleri yapılmıştır. Sızma analizleri Seep/w ve Midas yazılımları ile gerçekleştirilmiştir. Batardolarda yapılan analizlerde Seep/w yazılımı içerisinde bulunan, Van Genuchten tahmini metodu kullanılmıştır. Midas Gts .Nx yazılımında Mohr-Coulomb modeli kullanılmıştır. Sızma analizlerinden elde edilen sonuçlar yerinde yapılan okumalarla karşılaştırılmıştır. Analizlerin yapıldığı iki programda da sonuçların benzer olduğu ve yerindeki ölçüm değerlerine göre programların güvenli tarafta kaldığı tespit edilmiştir.

Bölüm 2'de ön yüzü beton kaplı baraj örnekleri ve sızma analizi ile ilgili daha önce yapılan çalışmalar anlatılmıştır.

Bölüm 3'te Büyükkumla Barajı özellikleri, tasarım esasları ve inşaat aşamasından bahsedilmiştir. Ayrıca bulamaç hendeği (slurry trench) inşası ve uygulama aşamaları anlatılmıştır.

Bölüm 4'te Büyükkumla Barajı memba ve mansap batardosunda bulunan slurry trenchler üzerinde Seep/w ve Midas Gts Nx yazılımları ile sızma analizleri yapılmış ve bu sonuçlar arazide alınan ölçümler ile karşılaştırılmıştır.

Bölüm 5'te ise elde edilen sonuçlar özetlenmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

Günümüzde, ön yüzü beton kaplı barajlar tüm dünyada sıklıkla tercih edilmeye başlanmıştır. Bu tip barajların kil çekirdekli kaya dolgu barajlara göre büyük avantajları olduğu vurgulanmaktadır. Kaya dolgu barajların dinamik yüklere karşı daha güvenli ve yüksek barajlar için uygun olduğu belirtilmiştir (Cooke ve Sherad 1987). Ön yüzü beton kaplı kaya dolgu ilk baraj A.B.D.'de inşa edilen Morea Barajıdır, bu barajın yüksekliği 54.00 m'dir (Altun ve ark. 2004).

2.1. Ön Yüzü Beton Kaplı Kaya Dolgu Baraj Örnekleri

Ön yüzü beton kaplı kaya dolgu barajların ilk uygulamalarından olan New Exchequer Barajında çeşitli sızma problemleri yaşanmıştır. Sızma şev stabilitesini etkilememiştir ancak sızmayı engellemek için yapılan işlemler yüksek maliyet getirmiştir (Leps ve ark. 1985).

Freitas (2005) ise ön yüzü beton kaplı kaya dolgu barajların tasarımı, yapımı, kaya dolgunun performansı ve sızmalar ile ilgili çalışmalar yapmıştır. Ayrıca çalışmalarında topuk plağı (plinth) geometrisine yönelik değerlendirmelere yer vermiştir.

Ülkemizde, Kürtün Barajı ilk ön yüzü beton kaplı kaya dolgu örneğidir (Özkuzukıran 2005). Daha sonra ise dünyada ve Türkiye' de birçok ön yüzü beton kaplı kaya dolgu barajı tasarımı yapılmış ve uygulanmıştır.

Antalya'da Dim Çayı üzerinde kurulan ön yüzü beton kaplı kaya dolgu olan Dim Barajı içme suyu, enerji ve tarımsal sulama amacı ile 1998-2004 yıllarında inşa edilmiştir. Normal su seviyesinde göl hacmi 250,63 hm³ olan baraj 6 600 ha alanın sulanmasını sağlarken; 127 GWh'lik elektrik enerjisi üretmektedir (Yenigün ve Yüzgöl 2013).

Talvegden yüksekliği 130 m olan Ilısu Barajının gövde tip seçimi ele alınarak ön yüz beton barajların tasarımında yaşanan problemler ve gövde tipi seçiminde etken faktörler değerlendirilmiştir. Kil çekirdekli kaya dolgu olarak planlanan Ilısu Barajının ön yüzü beton kaplı kaya dolgu baraja dönüştürülürken çalışmaya etkiyecek faktörler bir arada ele alınmıştır (Yenigün ve Yüzgöl 2013).

Kartal (2010) ön yüzü beton kaplı kaya dolgu barajların güvenilirlik analizini çalışmıştır. Torul Barajının en büyük kesiti dikkate alınarak yapılan analizler sonucu beton plak artışı ile göçme olasılıklarının azaldığı tespit edilmiştir.

Çizelge 2.1’de ve Çizelge 2.2’de sırasıyla Dünya’dan ve Türkiye’den ön yüzü beton kaplı kaya dolgu baraj örnekleri verilmiştir.

Çizelge 2.1. Dünyadan Ön Yüzü Beton Kaplı Kaya Dolgu Baraj Örnekleri (Emiroğlu 1998)

Barajın İsmi	Bulunduğu Ülke	Yükseklik (m)
Shibuya	Çin	233,00
Bakun	Malezya	205,00
Karahjukar	İzlanda	196,00
Aguamilpa	Meksika	187,00
Miel I	Kolombiya	185,00
Tianshengqiao	Çin	180,00
Foz do Areia	Brezilya	160,00
Cirata	Batı Java	140,00
Alto Anchicaya	Kolombiya	140,00
Khao Laem	Tayland	130,00
Machadinho	Brezilya	127,00
Lower Pieman	Avustralya	122,00
Cethana	Avustralya	110,00

Çizelge 2.2. Türkiye’den Ön Yüzü Beton Kaplı Kaya Dolgu Baraj Örnekleri (Ergeneman 2012)

Barajın İsmi	Bulunduğu Şehir	Yükseklik (m)
Silvan	Diyarbakır	158,5
Torul	Gümüşhane	137,0
Dim	Antalya	123,5
Kürtün	Gümüşhane	110,0
Atasu	Trabzon	118,0

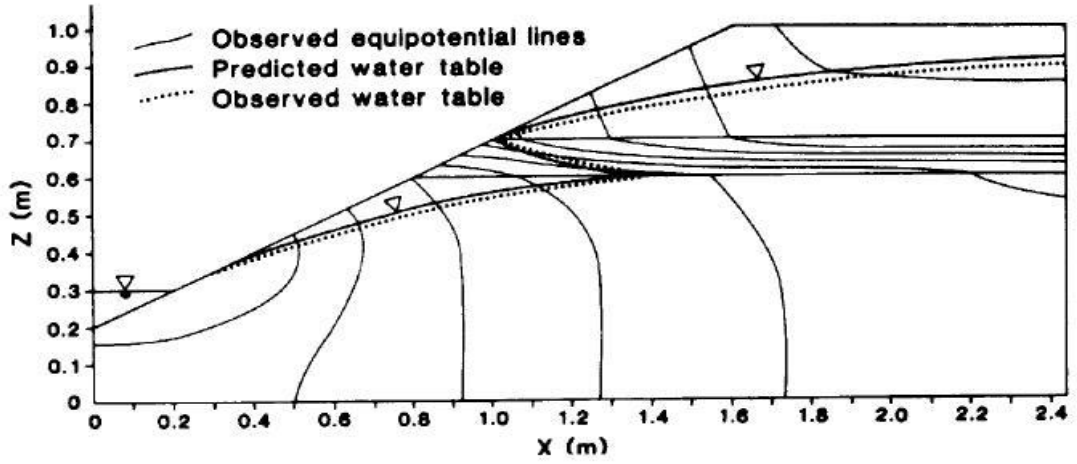
2.2. Sızma Analizi Örnekleri

Geoteknik mühendisliğinde sızma davranışını tahmin etmek birçok değişken nedeni ile zordur. Temelden ve baraj gövdesinden meydana gelebilecek sızıntı miktarının hesaplanması, sızma problemlerini kontrol altına almak veya sızmayı azaltmak için gereklidir (Soleymani ve Akhtarpur 2011). Sızma sorunlarının değerlendirilebilmesi için kapsamlı bir araştırma yapılmalıdır.

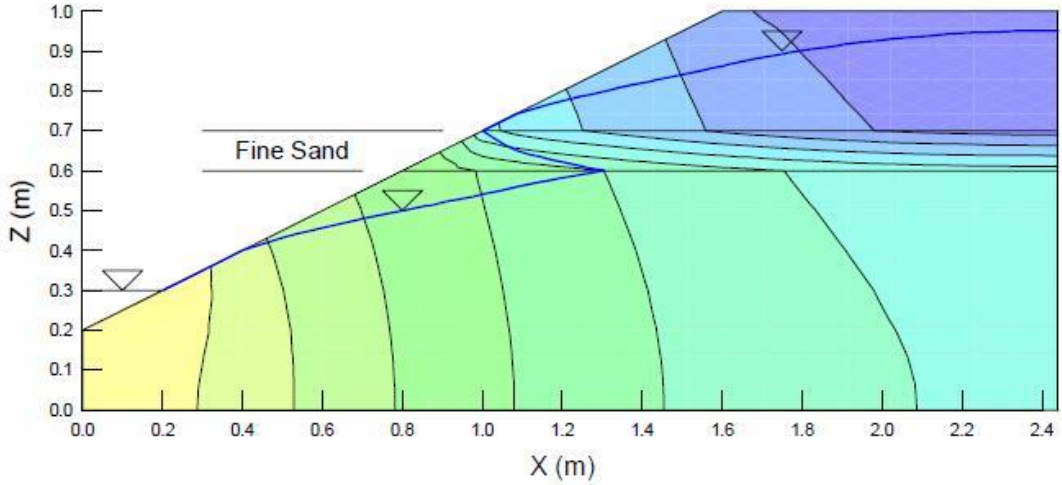
Hidrodinamik kurallara göre su kendisine sürtünmesiz ve en rahat yolu seçerek gövde içerisinde borulanmalara sebep olabilir. Dolgu barajlarda bu kaçınılmazdır (Mortazavi ve ark. 2015).

Permeabilite, sızma davranışında en önemli faktör olup ölçülmesi zor bir parametredir. Yüzeylerde gözlemlenen sızmalar iç kısımlardaki borulanmalar ve tehlikeli sızıntılar hakkında bilgi verebilir. Sızmanın zamana bağlı artıp azalması borulanmaların kendi kendine tıkanması veya büyümesi sürecini gösterebilir (USBR 2014).

Rulon (1985) şev içerisinde gömülü filtre tabakası bulunan ölçekli şev modeli inşa edip, filtrelemeyi simüle etmek için şev tepesinden suyu damlalar halinde dökmüştür. Çeşitli noktalarda boşluk suyu basıncını ölçmek için zemin yüzeyi boyunca ölçüm aletleri yerleştirmiştir. Deney sonucu Şekil 2.1. de gösterilmiştir. Rulon’ın laboratuvar deneyleri Seep/w ile modellenerek sonuçları Şekil 2.2. de gösterilmiştir. Sonuçlar neredeyse orijinal laboratuvar ölçümleri ile özdeştir. Eş potansiyelli çizgilerin konumu biraz farklı fakat su düzeyi su düzeyleri aynıdır. İki durumda da sızma alanı şev dışındadır.



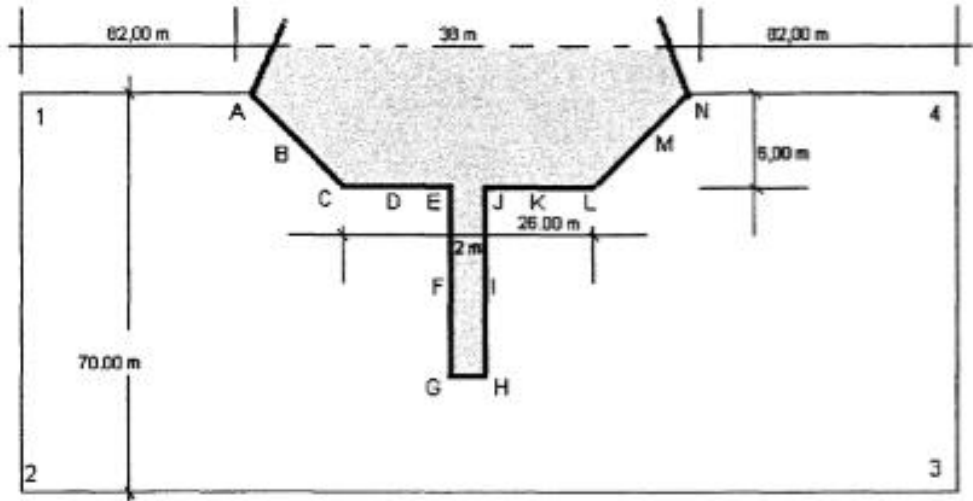
Şekil 2.1. Rulon'un laboratuvar model sonucu (Rulon 1985)



Şekil 2.2. Rulon'un Seep/w model sonucu (Rulon 1985)

Homojen toprak dolgu bir baraj olan Mardi Barajı Avusturya Wyong' dadır. Baraj gövdesindeki sızmalar ölçülmüş, üzerinde çalışılmış ve sayısal veriler hesaplanarak mevcut verilerle karşılaştırılmıştır. Akım ağlarını belirlemek için sonlu elemanlar metodu kullanılmıştır. Analizde gövde için $k=10^{-9}$ cm/s, drenaj kuyuları için $k=10^{-3}$ cm/s, doğal killi alüvyon blanket için $k=10^{-7}$ cm/s, doğal kumlu alüvyon tabaka için 10^{-5} cm/s ve killi toprak tabakası için 10^{-6} cm/s alınmıştır. Yatay ve düşey iletkenlik katsayı oranlarının sadece debiyi etkilediği, piyezometrik yükseklikleri değiştirmedeği görülmüştür. Sonuç olarak ise piyezometre ölçümlerinden alınan sonuçlar ile hesaplamaların uyumlu olduğu görülmüştür (Gan ve Mc Donald 1999).

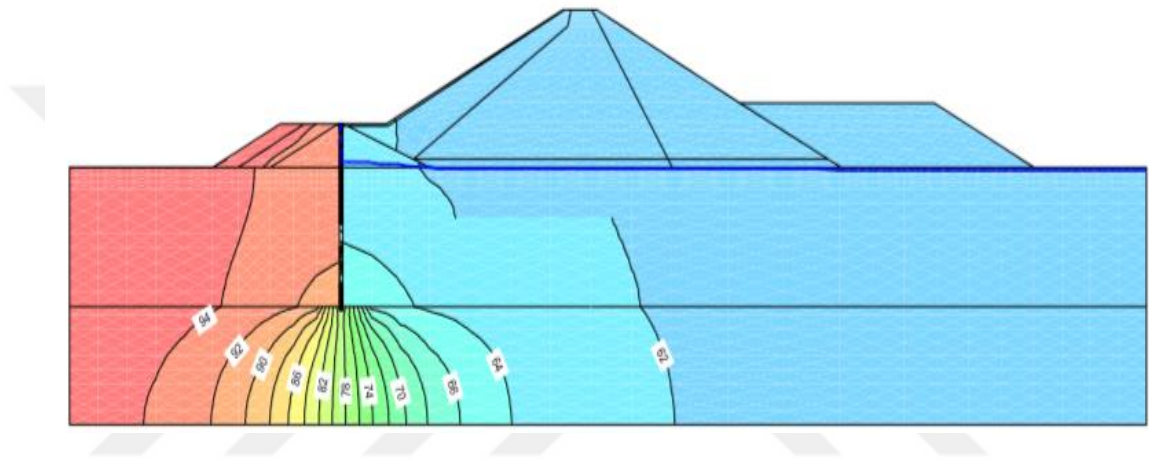
1995 yılında inşa edilen Sazlıdere Barajı gövdesi, inşaat aşamasında zemindeki alüvyon tabaka kaldırılmış ve gövde kireç taşı tabakası üzerine oturtulmuştur. Temelden 49 m yükseklikte bulunan baraj, su depolamaya başladıktan sonra gövde altında su kaçaqları meydana gelmiştir. 12 aylık enjeksiyon çalışmaları sonucunda sızmalar kabul edilebilir değerlere ulaştırılmıştır. Sazlıdere Barajı gövde altı sızmaları için matematiksel model olan sonlu farklar metodu kullanılmış olup akım fonksiyonları elde edilerek sızma debileri hesap edilmiştir. Kireç taşı için $k=10^{-5}$ m/s alınmıştır. Sonlu farklar metodu enjeksiyon uygulamalarında gövde akımlarının olduğu bölgedeki akım fonksiyonlarının belirlenmesinde uygulanmaktadır. Metodun uygulanması sonucu baraj gövdesinin altında sızdırmazlığın sağlanabilmesi için 55 m' lik enjeksiyon perdesinin yeterli olacağı görülmüştür (Eynur 2004).



Şekil 2.3. Sazlıdere Barajı'nda sonlu farklar metodu uygulama kesiti (Eynur 2004)

İzmir ilinde bulunan Şerefhisar Barajı 57,50 m yükseklikte bulunmaktadır. Kil çekirdek için kullanılan kil malzemesinden alınan numunelere göre $k=4 \times 10^{-6}$ m/s, $k=9,76 \times 10^{-6}$ m/s ve $k=2,28 \times 10^{-5}$ m/s üç farklı permeabilite değeri bulunmuştur. Ancak hesaplamalarda numune sonuçlarının ara değeri olan $k=8,88 \times 10^{-6}$ m/s ve $k=1,62 \times 10^{-5}$ m/s kullanılmıştır. Farklı permeabilite katsayıları için toplam su yükleri gövde boyunca belirlenmiş ancak Şerefhisar Barajında gerçek sızma değerleri ölçülmediği için sızma miktarları karşılaştırılmamıştır (Mesci 2006).

Türkiye'nin ilk ön yüzü asfalt kaplı kaya dolgu barajı olan Muratlı barajının inşaaşamasında ve dolum sırasında temeldeki sızma durumu incelenmiştir. Malzeme model parametreleri, önceki çalışmalardan seçilmiş ve sonrasında analizler yapılarak en uygun parametreler belirlenmiştir. Sonuçlar piyezometre ölçümleri ile karşılaştırıldığında, aşağı akış yönünde önemli ölçüde azalmalar tespit edilmiştir. Cut-off un ön tarafında yer alan piyezometreler rezervuar seviyesine göre değişiklik gösterirken, alt kısımdaki piyezometrelerin rezervuar dolgusundan fazla etkilenmediği görülmüştür. Eldeki verilerle yapılan analizle kıyaslandığında uyumlu olduğu görülmüştür (Ünsever 2007).

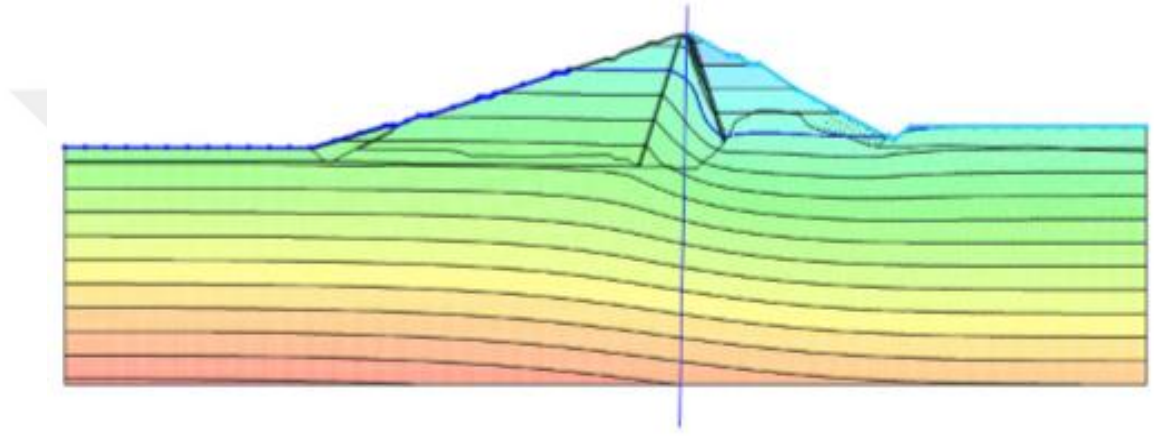


Şekil 2.4. Muratlı Barajı'na ait sızma analizi (Ünsever 2007)

Toprak dolgu bir baraj olan İlam Barajı üzerinde Seep/w programı kullanılarak sızma analizleri yapılmıştır. Baraj kesiti boyunca toplam akış hızı ve mesh boyutunun değerlendirilmesi için kaba, orta, ince ve yapılandırılmamış dört mesh boyutu göz önünde bulundurulmuş ve sonuç olarak, İlam Barajı için farklı mesh boyutu altındaki ortalama kaçak akış hızının, baraj kesiti boyunca saniyede 0,836 litreye eşit olduğu görülmüştür (Hasani ve ark. 2013).

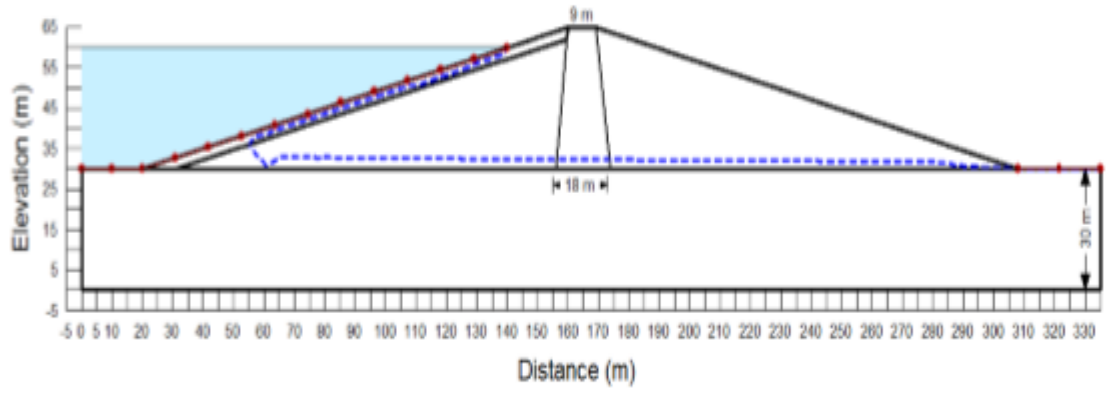
İçme suyu amaçlı yapılan ve Aydın ilinde bulunan İkizdere Barajı temelden 108,00 m yükseklikte bulunmaktadır. Barajda kil çekirdek içindeki sızmaları kontrol etmek amacıyla 44 adet piyezometre yerleştirilmiştir. Ancak çalışır vaziyette olan ve verileri kullanılabilen sadece 15 piyezometre olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca düzlemsel akım prensibi ile analizler yapılmıştır. Barajın çeşitli gövde kesitleri ve tabanı iki boyutlu olarak incelenmiştir. İncelemelerde kil çekirdek için deney sonuçlarına göre bulunmuş

olan permeabilite katsayısı $k=2,43 \times 10^{-8}$ m/s kullanılmıştır. Yapılan analizlerin amacı inşaat sonu baraj gövdesinde oluşan sızma değerleri ile teoride olması öngörülen sızma değerlerini karşılaştırmaktır. Analiz sonucunda ise piyezometre cihazlarından elde edilen okumaların analizlerde gözlenen sızma değerlerine göre daha az olduğu tespit edilmiştir. Kısaca İkizdere barajı gövdesinde oluşan sızma değerleri eldeki verilerle yapılan hesaplarla kıyaslanınca güvenli tarafta kaldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca sonlu elemanlar yöntemini kullanan Seep/w programının sızma hesaplarında oldukça fayda sağladığı ve çalışmalarını hızlandırdığı tespit edilmiştir (Çelik 2014).



Şekil 2.5. İkizdere Barajı $k=2,43 \times 10^{-8}$ m/s için sızma analizi (Çelik 2014)

Kula (2016) çalışmasında Acrylamide-grouted kum kolonları kullanarak dolgu barajlarda sızma ve ani su düşüşü sırasında memba şev stabilitesini kontrol etmiştir. Grouted kumun permeabilitesi $k=10^{-12}$ m/s alınmıştır. Ayrıca kum kolonlarına iletken katkı maddeleri eklenmiştir. Barajın membasında kullanılan malzeme freatik hattı düşürmüş, sızma miktarını azaltmış ve barajın stabilitesini kil çekirdekli durumuna göre iki kat arttırmıştır. Modelleme Seep/w programı ile yapılmıştır. Bu çalışmada permeabilite katsayısının danecik boyutu ve dağılımından etkilenmediği belirlenmiştir.



Şekil 2.6. Acrylamide-grouted kum kolonları kullanarak modellenen kesitte sızma analizi sonucu freatik hat (Kula 2016)



3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Büyükkumla Barajı

Gemlik Büyükkumla Barajı Marmara Bölgesi ve havzasındadır. Bursa İli, Gemlik İlçesinin 10 km kuzeybatısında, Büyükkumla deresi üzerinde yer almaktadır. Baraja ait genel yerleşim Şekil 3.1. de görülmektedir. Gemlik körfezinde bulunan yerleşim yerlerindeki içme ve kullanma suyu ihtiyacını karşılamak amacı ile Gemlik İçme Suyu Projesi kapsamında inşa edilmektedir;

- Büyükkumla Barajı,
- 45 km İshale Hattı,
- İçme suyu arıtma tesisi olmak üzere 3 aşamadan oluşmaktadır.

Bursa Gemlik Büyükkumla Barajı ile Gemlik İlçe Merkezi, Küçükumla, Büyükkumla, Narlı, Gençali, Kurşunlu ve Umurbey yerleşim yerlerine yılda 19 milyon m³ içme, kullanma ve endüstri suyu sağlanması amaçlanmaktadır.

Bursa Gemlik Büyükkumla Barajı tamamlandığında, Gemlik Körfezindeki en önemli su kaynaklarından biri olacaktır. Barajın yapım amacı 2045 yılına kadar Gemlik körfezinde bulunan yerleşim yerlerinin su ihtiyacının karşılanmasıdır.



Şekil 3.1. Genel yerleşim

3.1.1. Büyükkumla Barajı'na ait karakteristikler

Bursa Gemlik Büyükkumla Barajı; ön yüzü beton kaplı kaya dolgu tipindedir. Gövde dolgu hacmi 2 314 580 m³' tür. Akarsu yatağından yüksekliği 48 m, temelden yüksekliği 81 m, kret uzunluğu 385 m ve kret genişliği 10 m'dir. Kret kotu 68 m ve parapet üstü kotu 70 m'dir. Gövde dolgusundan tasarruf edilmesi ve kret yüksekliğinin sağlanabilmesi için 2 m yüksekliğinde parapet duvar projelendirilmiştir. Parapet duvar ile ön yüz beton arasındaki derz; normal su seviyesinin en az 0,5 m üzerindedir. Memba yüzü beton kaplama kalınlığı alt kotlarda 0,45 m'den başlayıp üst kotlarda 0,30 m'ye daralmaktadır. İşletme Kotu Su seviyesi 66,50 m olan barajın ölü hacimde su kotu (minimum su seviyesi) 27,50 m'dir. Büyükkumla barajına ait tipik gövde enkesiti Şekil 3.2'de gösterilmiştir.

Sol sahilde bulunan dolusavak yandan alıslı ve kontrolsüz olarak inşa edilmiştir. Dolusavak uzunluğu 158,50 m, kret genişliği 50 m'dir.

Su alma yapısı sol sahilde yamaca yaslı olarak inşa edilmektedir. Barajımız içme suyu amaçlı olduğu için su kalitesini korumak ve istenilen kottan su alımı yapabilmek için 26 m, 40 m ve 50 m kotlarında üç kademeli olarak projelendirilmiştir. 0,90 m çapında ve 130 m boyunca cebri boru kullanılmaktadır. Derivasyon ise 3 m çapında 285,50 m boyunda tünel ile sağlanmıştır.

Bursa Gemlik Büyükkumla Barajı ile ilgili karakteristik bilgiler Çizelge 3.1'de özetlenmiştir.

Çizelge 3.1. Baraj karakteristik özellikleri

BARAJ GÖLÜ

- Minimum Su Seviyesi : 27,50 m
- Normal Su Seviyesi : 66,50 m
- Maksimum Su Seviyesi : 68,14 m
- Hacim - Minimum Su Seviyesi : 0,51 hm³
- Hacim - Normal Su Seviyesi : 14,10 hm³
- Hacim - Maksimum Su Seviyesi : 15,25 hm³

BARAJ GÖVDESİ

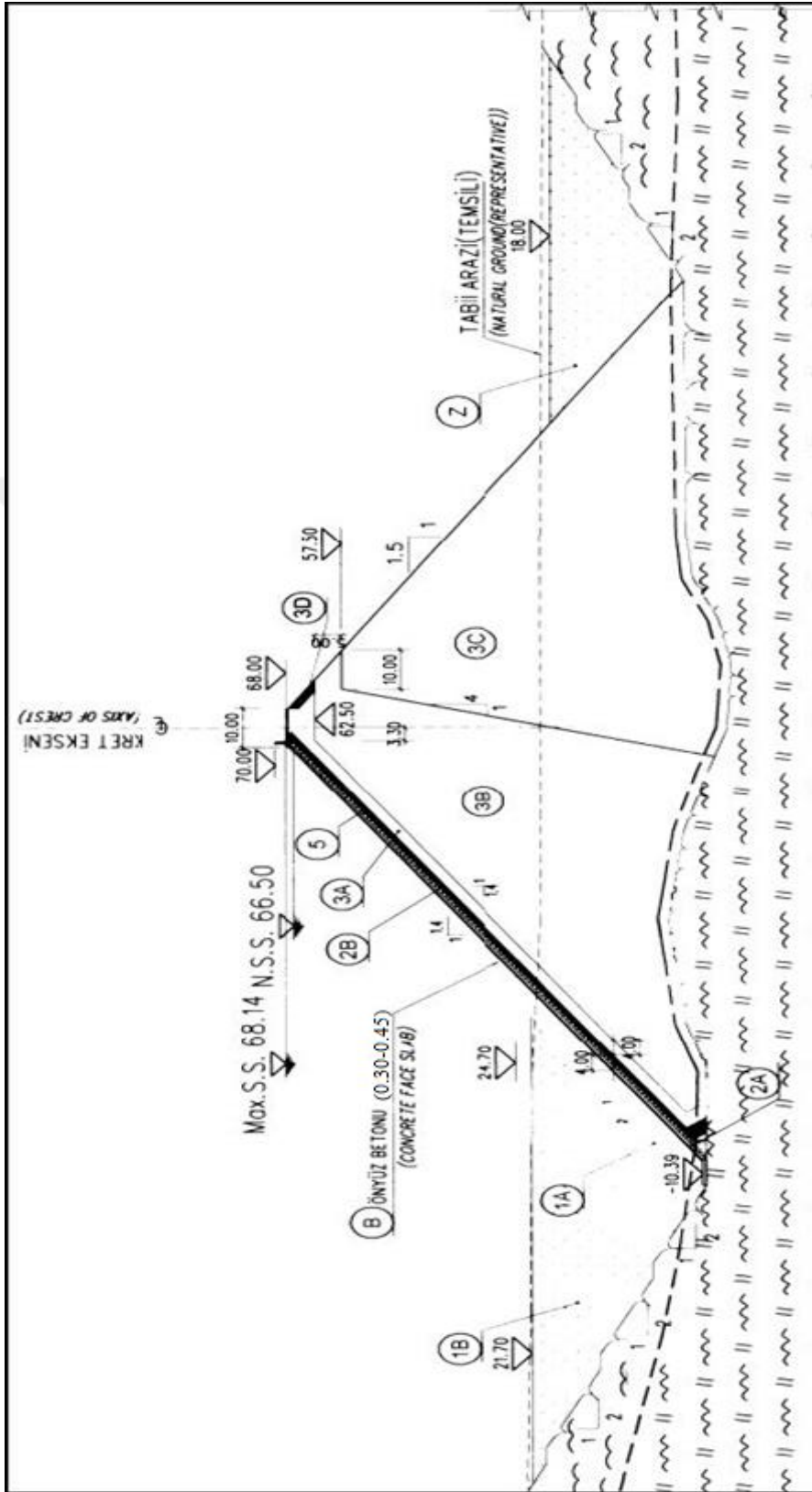
- Tipi : Ön yüzü beton kaplamalı kaya dolgu
- Parapet kotu / Kret Kotu : 70,00 m / 68,00 m
- Talveg Kotu : 20,00 m
- Barajın Talvegden Yüksekliği : 48,00 m
- Barajın Temelden Yüksekliği : 81,00 m
- Kret Uzunluğu : 385,00 m
- Kret Genişliği : 10,00 m
- Toplam Gövde Dolgu Hacmi : 2 314 580,00 m³
- Memba Şevi : 1 / 1,40
- Mansap Şevi : 1 / 1,50

DOLUSAVAK

- Yeri : Sol sahil
- Tipi : Yandan Alışlı, Serbest
- Yaklaşım Kanalı Kotu : 65,00 m
- Dolusavak Eşik Kotu : 66,50 m
- Kret (Eşik) Genişliği : 50,00 m

DERİVASYONTÜNELİ VE DİP SAVAK

- Yeri : Sol Sahil
- Cebri Boru Uzunluğu : 130,00 m
- Tünel Uzunluğu : 287,50 m
- Tünel İç Çapı : 3,00 m



Şekil 3.2. Büyükkumla Barajı tipik gövde enkesit

3.1.2. Baraj yeri jeolojisi

Baraj planlama aşaması çalışmalarında aks yeri, göl alanı, derivasyon tünel güzergahı ve dolusavak güzergahında 17 adet sondaj yapılarak zemin mühendislik çalışmaları ve laboratuvar deneyleri yapılmıştır.

Baraj tipinin seçiminde, baraj temelindeki alüvyon biriminin taşıma gücü ve baraj temelindeki sınılaşma riskini belirlemek amacı ile aks yeri memba ile mansabında 7 adet, dolusavak enerji kırıcı havuzu yerinde ise 1 adet olmak üzere toplam 8 adet 293,00 m derinliğinde temel sondaj kuyuları açılmıştır.

Çalışma sahası, permien yaşlı amfibol şist, hornblend şist, gnays, klorit şist, mermer mercekli mikaşist; tersiyer yaşlı diyabaz ile kuvarterner yaşlı alüvyon ve yamaç molozundan oluşan yüzlek birikintileri yer almaktadır.

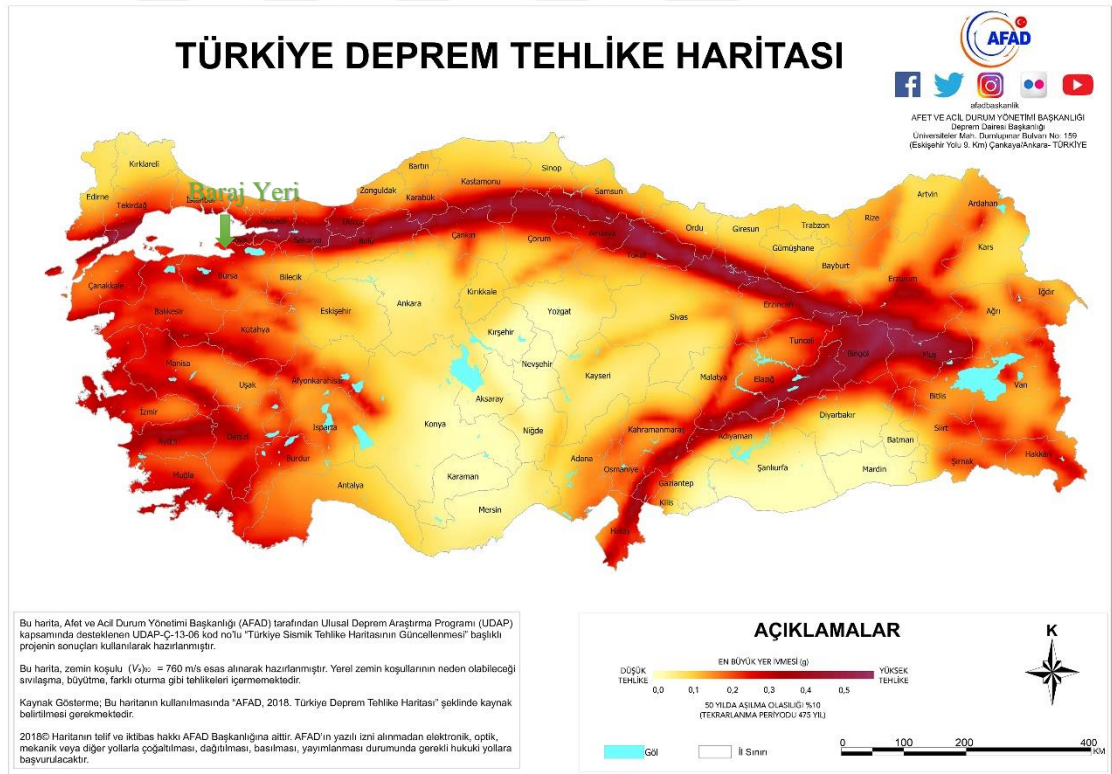
İznik ve Pamukova metamorfikleri olarak incelenen iki farklı tektonik birimden oluşur. İznik metamorfikleri, birbirinden üst Triyas - Orta Jura yaşlı karbonatlarla ayrılmış altta Karakaya formasyonu ile karşılaştırılabilen kırıntılı ve volkanik kayalar, üstte ise Üst Jura – Alt Kretase yaşlı olistostromal bir istif taşır. Pamukova metamorfikleri, İstanbul Paleozoyik istifleriyle denestirilebilen, granitik sokumlarla kesilmiş, çeşitli kırıntılı, karbonat ve volkanik kayalardan oluşmuş düşük dereceli metamorfik bir istif niteliğindedir.

Çalışma alanında yüzeyleyen metamorfik, magmatik ve çökel kayaç birimleri alttan üste doğru Permien yaşlı amfibol şist, hornblend şist, gnays, klorit şist, mermer mercekli mikaşist; tersiyer yaşlı diyabaz ile kuvarterner yaşlı alüvyon ve yamaç molozundan oluşan yüzlek birikintileri olarak sıralanmaktadır.

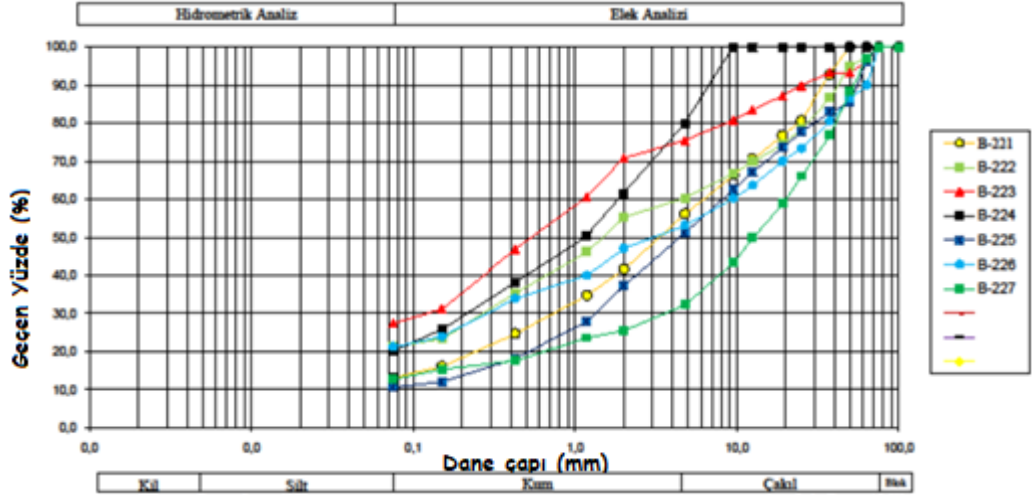
Baraj aks yerinden itibaren zemin göl alanından membaya doğru yaklaşık 750 m boyunca üstte bloklu, siltli (kum+çakıl) altta ise kumlu, siltli (çakıl+blok) olarak devam etmektedir. Membaya doğru ise alüvyonun granülometrisi giderek incelerek 2500 m uzaklıktaki denize kadar ulaşmaktadır. Yapılan laboratuvar çalışmaları sonunda örnekler SM, SC, GC, GP, GM ve GW-GC niteliğindedir. Alüvyonda bulunan blok oranının %5 ile %40 arasında, max büyüklüğün 80 cm olduğu görülmüştür. Örneklerin ortalama

granülometrisi %17 ince %41 kum %42 çakıldır. Alüvyona ait farklı sondajlardan elde edilen granülometri eğrileri Şekil 3.4. (a) ve (b) 'de gösterilmiştir. Baraj gövdesinin oturacağı kesimde, üstte çakıllı, kumlu (kil+silt); az çakıllı, killi, siltli kum ve bloklu, siltli (kum+çakıl) olarak görülmektedir. Altta ise bu seviyelerin tekrar tedrici yanal ve düşey geçişler ve klorit şist ve mikaşistlerin ardalanmalar göstermesinden sonra tamamen kumlu, siltli (çakıl+blok) seviyesi görülmektedir. Ardalanmaya ince seviyeler halinde killi şist ve serisit şistler de katılmaktadır. Genellikle gri, yeşilimsi ve pembemsi renkli olup ince yapraklanmalıdır. Yumuşak ve dağılgandır.

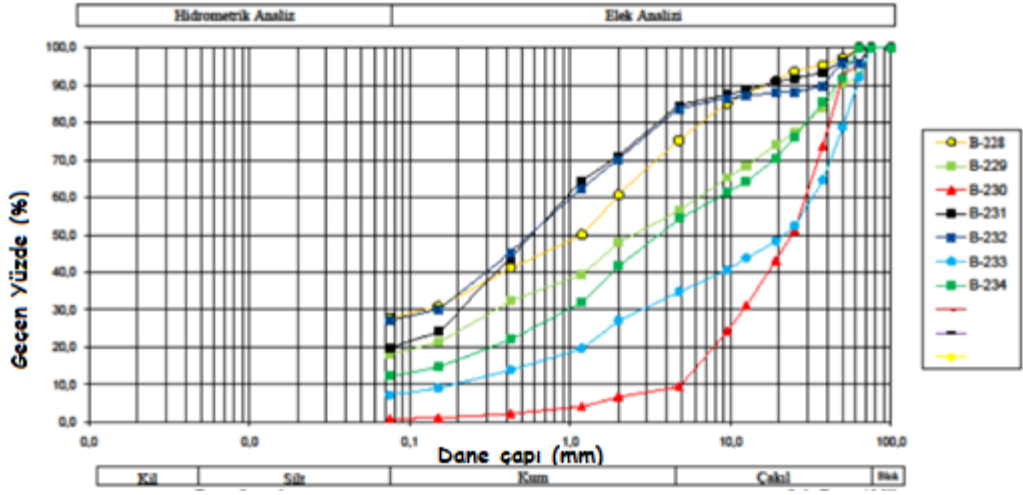
Çalışma alanı ve çevresinde Kuzey Anadolu Fay hattı bulunmaktadır. Saha, 1. derece riskli deprem bölgesinde yer almaktadır. Baraj yerinde belirgin bir faya rastlanmamıştır. Ancak Gemlik-İznik-Sapanca fay hattı baraj yerinin yaklaşık 3,5 km güneyinden geçmektedir. Baraj yerinin sismik aktivitesi fazladır (Şekil 3.3.).



Şekil 3.3. Büyükkumla Barajının Türkiye Deprem Tehlike Haritasındaki Yeri



(a)



(b)

Şekil 3.4. Alüvyona ait granülometri eğrileri

3.1.3. Tasarım esasları

Barajlarda doğru gövde tipi seçimi birçok parametreye bağlıdır. Temel zeminine ait jeolojik özellikler, topografik koşullar ve barajın inşa edileceği bölgenin deprem riski en önemli parametrelerdir. Öncelikle, Mevcut jeolojik birimler, kayalar, heyelan, yer altı suyunun varlığı ve fay hatları haritalara işlenir. Jeoteknik çalışmalarda genellikle 1/1000 ölçekli haritalar kullanılır. Ancak jeolojik açıdan sorunlu bir bölge varsa daha büyük ölçekli haritalar tercih edilir. Zemine ait jeolojik araştırmalar yapıp rezervuar alanına ve gövdenin oturacağı zemine ait jeolojik kesitler çıkarıldıktan sonra gövde de kullanılacak malzeme araştırılmasına başlanılır. Malzemeler mühendisler tarafından malzeme deneylerine uygun olarak seçilir. Zemin tipine, malzemenin kalitesine ve malzemenin yerine göre gövde tipi belirlenir.

İyi kalitede kaya malzeme kullanıldığında; memba şev eğimleri, 1,3/1,0 (Y/D) ve mansap şev eğimleri ise, 1,4/1,0 (Y/D) olarak seçilebilir. Zayıf nitelikte kaya malzeme kullanıldığında ise; stabilite problemini ortadan kaldırmak için şevler daha çok yatırılabılır. Bu durumda memba ve mansap eğimleri her iki taraf için de 1,5/1,0 (Y/D) seçilebilir. Eğimler malzemenin sıkışabilirlik kalitesine, malzeme deney sonuçlarına ve barajın bulunduğu bölgenin depremselliğine bağlı olarak değişebilir. Gövde memba görünüşü Şekil 3.5'te gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Gövde memba görünüşü (Askeroğlu 2012)

a: Ön Yüz Beton
b: Plinth
c: Gövde Zonları

d: Parapet Duvarı
e: Yardımcı Tesisler ile Birleşim.

Ön yüzü beton kaplı barajlarda sızıntıya karşı geçirimsizliği sağlayan yapı beton plaktır. 28 günlük beton dayanımları 20 MPa değerini sağlamalıdır. Beton plak genişliği 12-18 m arasında seçilebilir. Ön yüz betonun ano genişlikleri ülkemizde genel olarak 15 m seçilir. Sebebi ise beton dökümünü gerçekleştirdiğimiz finişer boyutlarıdır.

Ön yüz beton kalınlıkları ise Çizelge 3.2. deki formüllere göre hesaplanmıştır. Ön yüz beton kalınlığı su yüküne bağlı olarak değişir. Çizelge 3.2'de yapılan hesap ile en fazla su yüküne maruz kalan kalınlık hesaplanır. Aşağıdan yukarı doğru çıktıkça ön yüz beton

plağın kalınlığı su yüksekliğine bağlı olarak azalır. Ön yüz beton plak gövde dolgusunun bittiği yerde parapet duvara dayanır.

Çizelge 3.2. Ön yüz beton kalınlıkları (DSİ 2014)

$e=0,3\sim 0,4$ (a)	$H<60$
$e=e_0+k*H$ (b)	$H\leq 100$
$e=0,005H$ (c)	$H>100$

H: Topuk Plağı üzerindeki suyun yüksekliğidir.

k: Bir katsayı olup 0.002 ile 0.0065 arasında değişir. Her ülke kendi tecrübesine göre bir değer seçer.

k:0.0065 (Sıkıştırılmamış kaya dolgular için alınan bir katsayıdır.)

k:0.0020 (Brezilya da inşa edilen dolgu barajlarda alınan bir katsayıdır, ülkemizde de bu katsayı geçerlidir.)

k:0.0035 (Çin’de inşa edilen kaya dolgu barajlar için alınan bir kat sayıdır.)

e_0 :0.30~0.35 m arasında bir değer seçilir.

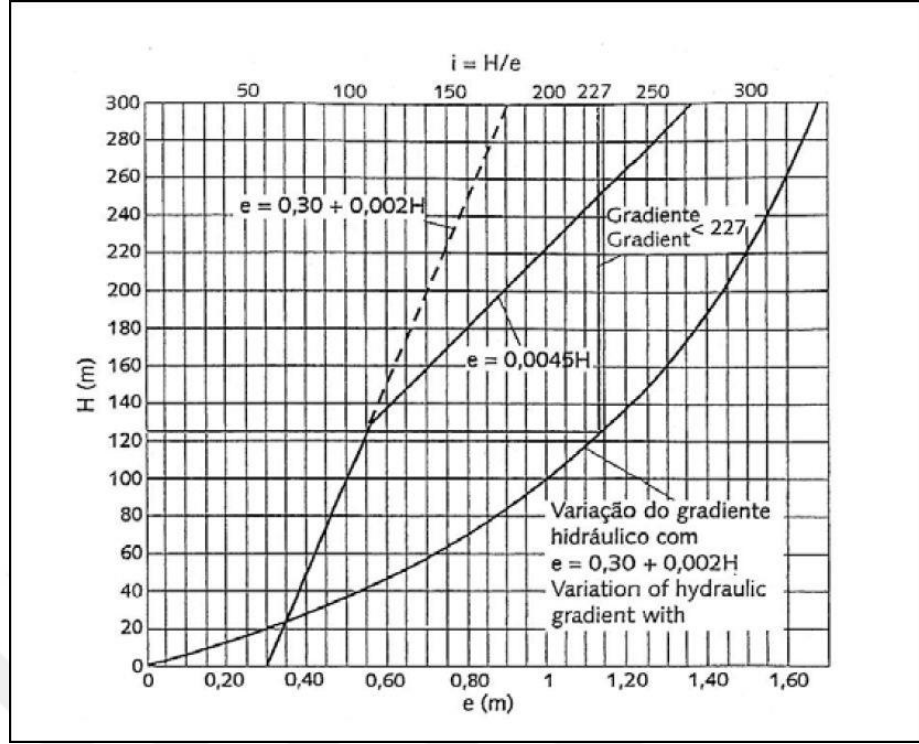
Ön yüz beton kalınlığı seçiminde hidrolik eğim de göz önünde bulundurulur. ICOLD hidrolik eğim için maksimum sınırı 200 olarak belirlemiştir. Ancak limit değer üzeri yapılan barajlar da bulunmaktadır.

$$G = \frac{H}{t} \leq 200 \quad (3.1)$$

G: Hidrolik eğim

t: Hesap yapılan kottaki kalınlık değeri

H: Hesap yapılan kot ile rezervuar su seviyesi arası kot farkı



Şekil 3.6. Hidrolik eğim ile ön yüz beton kalınlığı ilişkisi

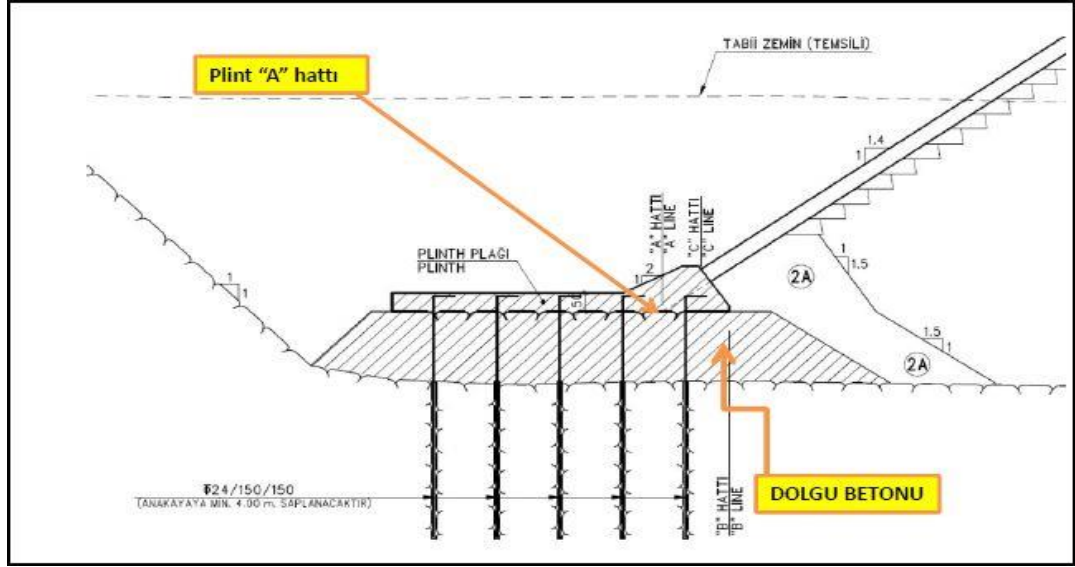
Ön yüz beton plağı ile zemin arasında plinth dediğimiz topuk plağı bulunmaktadır. Plinth, ön yüz betona temel görevi yapmaktadır. Ön yüz beton ile plinth arasında oluşan derzlerde su tutucu contalar ile sızdırmazlık sağlanır.

Topuk plağı kalınlığı, su yüküne (H) bağlı olarak aşağıdaki formülde verildiği şekilde değişmektedir;

$$\text{Topuk Plağı Kalınlığı} \quad T \text{ (m)} = 0,3 + 0,003 \times H \quad (3.2)$$

T: Plinth kalınlığı (m)

H: Plinth "A" hattı ile maksimum su seviyesi arasındaki fark' ı ifade etmektedir. A hattı Şekil 3.7'de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Topuk plağı (Plinth) (Askeroğlu 2017)

Enjeksiyonlar topuk plağı üzerinde yapılır. Bu sebeple dış topuk plağı 3 sıra enjeksiyona müsaade edecek şekilde minimum 4,00-5,00 m seçilmelidir. Toplam plak genişliği ise zemin cinsine göre belirlenir. Çizelge 3.3 kullanılarak, zemin cinsine göre C sütunundan topuk plağı genişliği için kullanılacak katsayı seçilir.

Çizelge 3.3. Ana Kayanın Durumuna Göre Topuk Plağı Genişliği (DSİ 2014)

A	B	C	D	E	F	G	H
I	Sürüklenmeyen	1/18	>70	I ile II	1 ile 2	<1	1
II	Az sürüklenbilir	1/12	50-70	II ile III	2 ile 3	1 ile 2	2
II	Sürüklenbilir	1/6	30-50	III ile IV	3 ile 5	2 ile 4	3
IV	Çok sürüklenbilir	1/3	0-30	IV ile VI	5 ile 6	>4	4

A: Ana kaya sınıflandırılması

B: Ana kayanın durumu

C: Minimum Oran (Topuk plağı genişliği/rezervuar su yüksekliği)

D: Kaya Kalitesi Sınıflandırması, RQD (%)

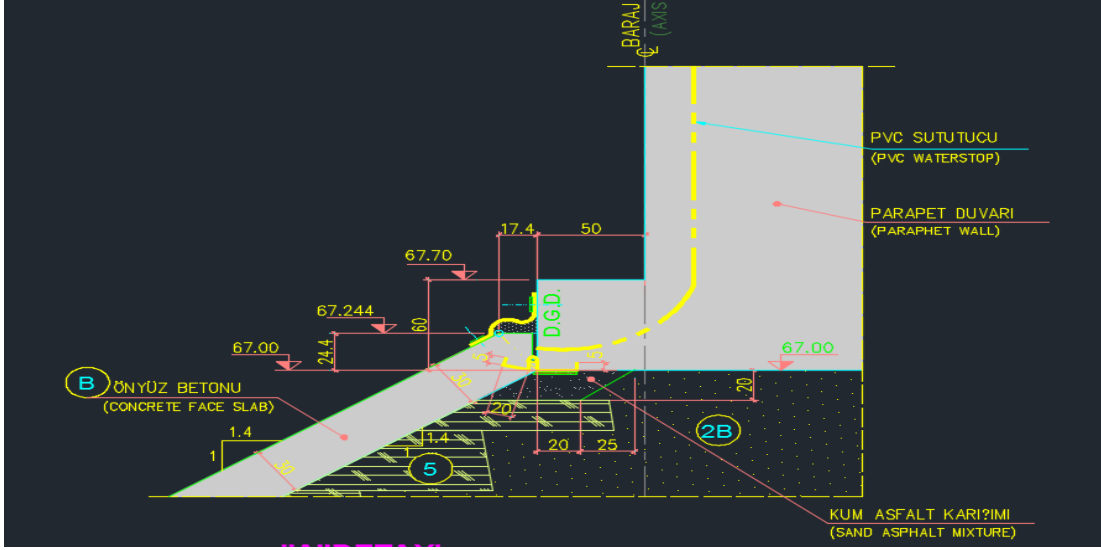
E: Ayırışma Derecesi

F: Süreklilik Derecesi

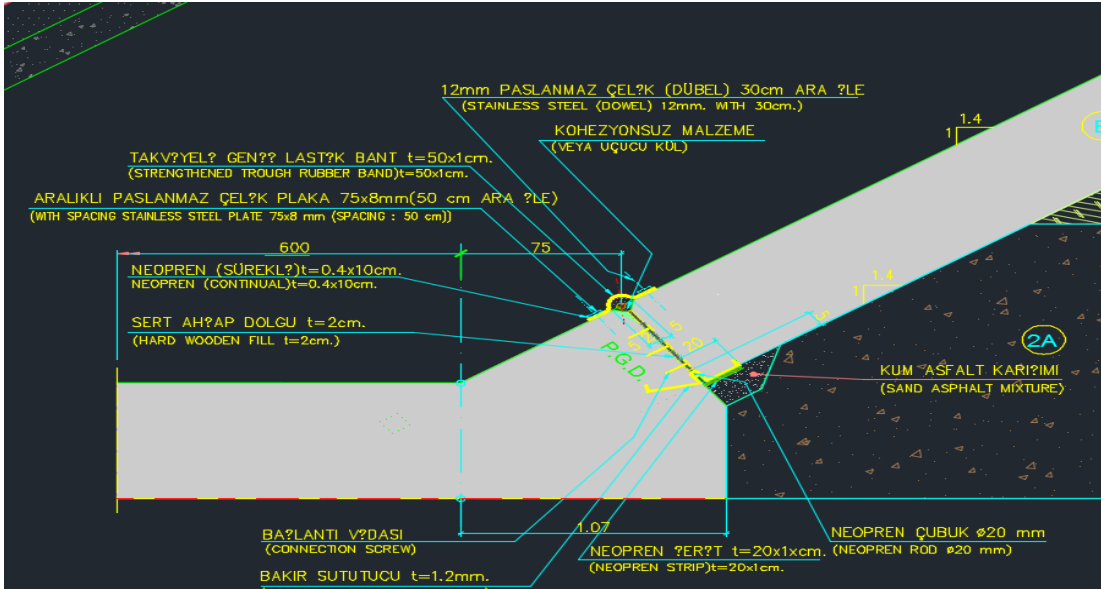
G: Ayırışmış makro süreksizliklerin sayısı, her 10.00 m' de bir

H: Kazı Klasi

Ön yüzü beton kaplı kaya dolgu gövde tipinde dolgu hacmini azaltmak ve rüzgâr etkisi ile sıçrayan dalgaları karşılamak için parapet duvar tasarlanır. Parapet duvar ile ön yüz beton birleşiminin, normal su seviyesinin 50 cm üzerinde olması gerekmektedir. Ön yüz beton plak-parapet duvar ve ön yüz beton plak-plinth birleşimlerinde bulunan derzler sızıntılara karşı su tutucular ile desteklenmelidir. Derz birleşim detayları Şekil 3.8’de ve Şekil 3.9’da gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Büyükkuşla Barajı ön yüz beton plak-parapet derz birleşim detayı

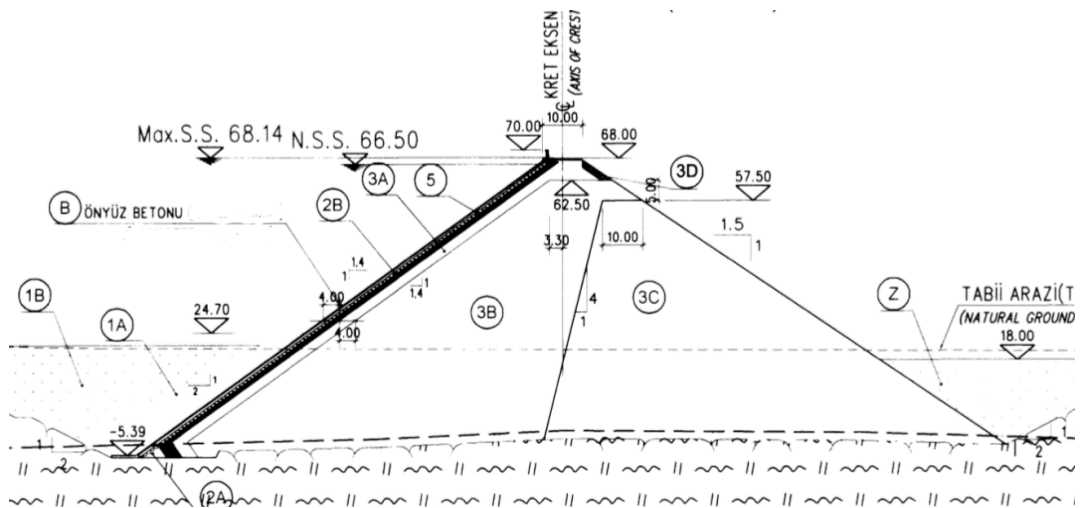


Şekil 3.9. Büyükkuşla barajı ön yüz beton plak- plinth derz birleşim detayı

Bu tasarım esaslarına göre, Büyükkumla Barajı'nın önyüzü beton kalınlığı ve plinth boyutları şu şekilde hesaplanmıştır. Ana kayanın durumuna göre topuk plağı genişliği hesabında Çizelge 3.3 kullanılmıştır. Gövdenin oturduğu yüzeylerden alınan karotlardan, anakayanın ayrışma derecesinin W1-W2 ve W2-W3 (E Sütunu) olduğu, RQD değerinin ise 50-80 (D Sütunu) aralığında olduğu gözlemlenmiştir. Bu verilere göre topuk plağı hesabı yapıldığında, Çizelge 3.3'e göre C sütunundan 1/18 ve 1/12 değerleri bulunmuştur. En alt kottaki topuk plağı için A hattından krete kadar olan yükseklik değeri kullanılmıştır. Büyükkumla Barajı'nda A hattından maksimum su seviyesine kadar olan yükseklik $H=78,00$ m'dir. Bu durumda minimum topuk plağı genişliği 4,33 m ile 6,50 m olarak hesaplanmıştır. Güvenli tarafta kalınarak topuk plağı genişliği 7,00 m olarak seçilmiştir.

Maksimum su yüksekliğine maruz kalan topuk plağı kalınlığı, formül 3.2 kullanılarak $T=0,54$ m olarak hesaplanmıştır. Ancak üst kotlara çıkıldıkça plinth üzerindeki su seviyesi azalacağından topuk plağı kalınlığı da H yüksekliğine bağlı olarak azalır. Baraj su yüksekliği $60 < H = 78 \leq 100$ m' dir. Bu sebeple Çizelge 3.2'den (b) formülü kullanılarak $e=0,45$ m olarak seçilmiştir. Üst kotlarda su yüksekliği azaldığı için doğrusal olarak ön yüz beton kalınlığı da azalır ve en üst seviyede $e=0,30$ m alınmıştır.

3.1.4. Gövde zonları



Şekil 3.10. Gövde zonları

1A Zonu (Kohezyonsuz Silt, İnce Kum Zonu)

Sıkıştırılmış geçirimsiz dolgu malzemesidir. Zemin Sınıflandırma Sistemi (USCS) standartlarındaki CL (düşük plastisiteli kil), CL (düşük plastisiteli kil) – ML (düşük plastisiteli silt) veya SC (killi kum) sınıflarından olmalıdır. Bu malzemenin 50 mm elekten tamamı, 5 mm elekten %70'den fazlası, 0,08 mm elekten %35 veya daha azı geçmelidir.

Bu zonun amacı ön yüz beton kaplamasında oluşan herhangi bir çatlak veya su tutuculardaki sorunlardan kaynaklanan sızıntı anında gölet veya baraj içerisindeki su basıncı ile boşlukları doldurarak sızıntıya ikinci bariyer oluşturmaktır (Şekil 3.11). Bu yüzden malzemenin kohezyonsuz olması gerekmektedir. Gövdeye paralel bir şekilde 20 cm'lik tabakalar şeklinde; el kompaktörü ile sıkıştırılarak serilir (DSİ 2014). Bu özelliklerde malzemenin bulunmaması durumunda uçucu kül; 1A zonu olarak teşkil edilebilir.



Şekil 3.11. 1A zonu (Askeroğlu 2012)

2A Zonu (Çevresel Derz Filtre Zonu)

Toprak ve toprak-kaya dolgu barajların tasarımında, geçirimsiz çekirdeğin mansap şevine ya da baca dren sistemi etrafına yerleştirilen filtre dolgulardır (ICOLD 1994).

1.5 m yüksekliğindeki bu zon; filtre malzemesi olan kum ve çakıldan oluşur. Sızıntıya karşı ikinci bir bariyerdir. Derzlerdeki su tutucularda herhangi bir sıkıntı anında silt ve kilin yıkanmasını engeller ve 1A zonuna filtre malzeme oluşturur.

2B Zonu (Yastık Zonu)

2B zonunun bordür betonu altındaki tabakaya verilen isimdir. Tabaka genişliği 2,00-4,00 m arasında değişir. Bu zon ön yüz betona destek olur.

3A Zonu (Geçiş Zonu)

3B ve 2B zonun arasındaki geçiş zonedir. Bu zon 2B zonuna filtre görevi yaparken, 3B zonunda da borulanmayı engeller. Baraj yüksekliğine bağlı olarak zon genişliği 2,00-4,00 m dir. Dane çapı 30~45 cm arasında değişir.

3B Zonu (Kaya Dolgu)

Baraj gövdesinde ön yüz beton kaplamanın davranışını belirleyen zonedir. Bu yüzden bu zonda kullanılacak malzeme kalitesi çok önemlidir. Sıkıştırılmada en az 300 l/m³ ve 7 bar su kullanılmalıdır. Maksimum dane çapı 60 cm olmalı ve maksimum 90 cm'lik katmanlar halinde yerleştirilerek titreşimli silindirlerle sıkıştırılmalıdır. Bu zonda kullanılacak malzemede 200 No'lu elekten geçen malzeme miktarı da dikkate alınarak yatay ve düşey drenaj önlemleri alınmalıdır (DSİ 2014).

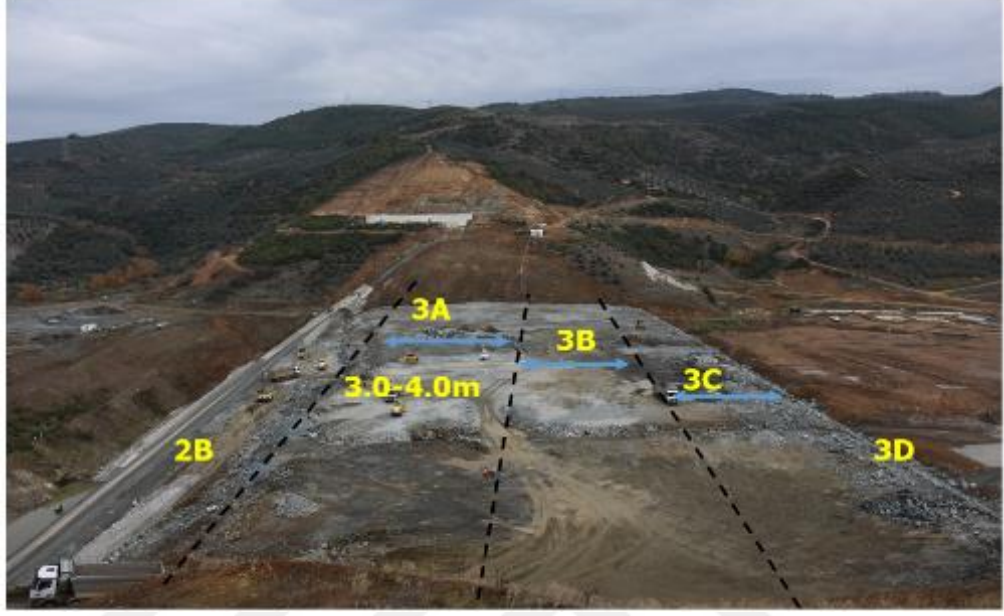
3C Zonu (Kaya Dolgu)

Sıkıştırılmada en az 300 l/m³ ve 7 bar su kullanılmalıdır. Maksimum dane çapı 90 cm'dir ve maksimum 120 cm'lik tabakalar halinde yerleştirilmelidir (DSİ 2014).

3D Zonu (Mansap Koruyucu Dolgu)

İş makineleri ile yerleştirilir ve Mansap yüzeyini koruma amaçlıdır. İdarenin uygun gördüğü kaya ocağından alınan kaya malzeme kullanılır. Dane çapı en az 1.00 m dir (DSİ 2014).

Büyükkumla Barajı gövde yapımı esnasında alınan görüntüsü üzerinde bahsedilen 2B, 3A, 3B, 3C ve 3D zonlarının lokasyonları Şekil 3.11’ de gösterilmiştir. 2A zonu bordür betonu altında kaldığı için Şekil 3.12’de görülmemektedir.



Şekil 3.12. Büyükkumla barajı 2B-3A-3B-3C-3D zonları

3.1.5. Yapım aşamaları

Bursa Gemlik Büyükkumla Barajı ve genel baraj yapım adımları aşağıda özetlenmiştir.

- İlk olarak çalışma sahasına ulaşım sağlanmıştır. Vana odası, dipsavak, malzeme ocaklarına ait baraj ulaşım yollarının ve baraj yapım çalışmalarının kuru bir ortamda yapılmasına özen gösterilmiştir.
- Ulaşım sağlandıktan sonra derivasyon amaçlı, işletme esnasında dipsavak amaçlı çalışmak üzere Derivasyon - Dipsavak tüneli imalatları yapılmıştır. Bunun için tünel uzunluğuna bağlı olarak 2 ya da daha fazla yaklaşım kazısı yapılmıştır.

Genellikle tünel giriş ve çıkış kazıları; portal kazıları olarak isimlendirilir (Şekil 3.13). Bu kazılardaki amaç derivasyon tüneli kazılarına güvenli bir şekilde başlanmasıdır. Gemlik Büyükkumla Barajı’nda tünel giriş ve çıkış portal kazıları yapılmış, tünel çıkış portal kazıları esnasında karşılaşılan zayıf zemin yapısı sebebi ile tel kafesli püskürtme beton ile destekleme yapılarak duraylılık sağlanmıştır (Şekil 3.14).



Şekil 3.13. Portal kazıları başlangıcı



Şekil 3.14. Püskürtme betonu uygulaması

Büyükkuşla Barajı'nda derivasyon 3,00 m çapında ve 287,50 m boyunda modifiye atnalı kesitli tünel ile sağlanmaktadır. Tünel patlatmaları yapılmadan önce portallar zemin akmalarına karşı çelik profillerle desteklenir. Bu şekilde tünel içine giriş güvenli bir şekilde sağlanmış olur. Patlatmalar yapıldıktan sonra dökülen malzemeler dışarı çıkarılır, çelik profillerle ve püskürtme betonla destekleme yapılarak tünele devam edilir.

Yukarda bahsi geçen imalatların devamında her iki ağızdan, klasik yöntem (delme-patlatma) ile tünel kazı ve desteklemelerine başlanmıştır. Tünel kazıları esnasında yapının tamamında 1,00 m aralıklı çelik iksalı tahkimat tipi uygulanmıştır (Şekil 3.15).



Şekil 3.15. (a) Tünel kazısı (b) Destekleme çalışmaları

Kazının tamamlanmasının ardından 6 m uzunluğundaki ano planı ile kaplama betonu imatları yapılmıştır. İlk olarak tünel taban betonu olan invert betonu dökülmüş ve daha sonra kemer kısmı dökülmüştür. Beton imatlarının tamamlanmasından 21 gün sonra kontak ve konsolidasyon enjeksiyonları yapılarak tünel derivasyon hazır hale getirilmiştir (Şekil 3.16).



Şekil 3.16. (a)-(b) Tünel beton kaplama ve (c)-(d) Tünel enjeksiyon çalışmaları

Gemlik Büyükkumla Barajı inşaatı kapsamındaki dipsavak derivasyon tüneli tamamlandıktan sonra memba ve mansap batardoları yardımı ile suyun yönü değiştirilerek derivasyon sağlanmıştır (Şekil 3.17).



Şekil 3.17. Derivasyon uygulaması

Derivasyon çalışmaları bittikten sonra gövde kazıları başlamıştır (Şekil 3.18). Ön yüzü beton kaplı kaya barajlarda topuk plağı kazılarının sızıntıyı engellemek amaçlı olarak düzgün olması gerekmektedir. Kazı sırasında buna dikkat edilerek düz yüzeyler elde edilmiştir.



Şekil 3.18. Gövde kazıları

Çalışma sahasının en önemli özelliği deniz seviyesi alt kotlarında kazı çalışmalarının yapılıyor olmasıdır. Kazı kotları 18,00 m kotuna geldiğinde yer altı suyu ve deniz suyu etkilerinden dolayı kazı alanımız su ile dolmuştur. Bu durumu engellemek amaçlı bulamaç hendeği (slurry trench) yapma zorunluluğu doğmuştur. Dolgular, sağlam ana

kaya üzerine inşa edilecektir. Bu sebeple kuru ortamda kazılara devam edilerek alüvyon tabakası sıyrılmış, sağlam zemine kadar inilmiştir (Şekil 3.19). Her cins dolgunun oturacağı yüzey, hazırlanıp temizlenmiştir. Buna sıyırma ve şekil verme kazısı denir. Dolgu malzemesi yerleştirilmeden önce dolgu temeli son bir defa daha temizlenmiştir. Böylece sıyırma kazısı imalatlarında ortaya çıkabilecek ters eğimli çıkıntılar temizlenerek yamaç ile kaya dolgu arasında iyi bir sıkışma sağlanmıştır.



Şekil 3.19. Temel kazıları

Kazı çalışmaları bittikten sonra dolguya geçilmiştir (Şekil 3.20). Dalguda kullanılacak malzemeler İdare tarafından uygun bulunan ariyet sahaları ve ocaklardan temin edilmiştir. Malzeme uygunlukları şartnamesinde belirtilen deneyler ile tespit altına alınmış ve uygunluğu kabul edilen malzeme, İdare'nin talimatları doğrultusunda dolguya yerleştirilmiştir. Bütün dolgularda belirlenen tabaka kalınlıklarından daha büyük boyutlarda malzeme olmamasına dikkat edilmiştir. Büyük boyuttaki parçalar, şekil olarak sıkıştırılan tabakanın içine gömülerek batmaya müsait olmalı, etrafında boşlukların oluşmasına sebebiyet vermemelidir. Bu sebeple sıkıştırılacak malzeme araçlardan boşaltılırken sulanmaya başlanır ve serilme ve sıkışma esnasında basınçlı su ile işleme devam edilir. Bu şekilde sivri köşelerin kırılması sağlanır. Böylece malzemenin sıkışma anında daha iyi yerleşmesi sağlanır.

Dolgu mambadan mansaba doğru ince ve ufak malzemelerden kalın ve iri malzeme kullanımı şeklinde sıralanır. Yamaca yaslanan kısımlarda; kaya silindirleri ile imalat

sağlıklı olmayacağından dolayı el kompaktörleri kullanır. Genellikle 4-8 pas ile sıkıştırma yapılır ve serilen tabakalar yaklaşık 250 lt/m³ olacak şekilde 7 bar basınç ile sulama yapılır (DSİ 2017).



Şekil 3.20. Gövde dolgusu

İnşaat aşamasında yüzey koruması olarak bordür betonu kullanılır. Bordür Betonu düşük dozajlı (70 – 75 kg/m³ çimento) kuru bir beton olup seri kalıpla 40 cm yüksekliğinde yapılmaktadır. Uygun şartlar altında günlük 1-2 döküm imalat hızına ulaşılabilir. Soğuk ve sıcak havalarda betonun korunması gerekmektedir. Dolgu tamamlandıça; filtre zonuna paralel olarak yükselir (Şekil 3.21). Bordür betonu imalatları bittikten sonra yüzey temizlenir ve ön yüz betonun dökümü sağlanır. Böylece aderans engellenerek; deprem anında ön yüz beton ile ayrı hareket etmeleri sağlanır.

Bordür betonları topuk plağı üzerinden başlar. Topuk plağının ana amacı baraj temeli ile beton kaplama arasında geçirimsiz bir bağlantı sağlamak ve kaplama betonunu temel kayasına bağlamaktır. Aynı zamanda enjeksiyon çalışmaları için de başlık betonu oluşturur. Plinth betonu imalatlarına başlamadan zayıf zonlar kaldırılır ve temizlenen yüzeyler dolgu betonu ile doldurulur. Döküntü malzemeler var ise su ve hava ile temizlenir.



Şekil 3.21. Bordür betonu

Ön yüz beton için ano genişlikleri genel olarak 15 m olarak tasarlanmaktadır. Bunun asıl sebebi derz çatlaklarını engellemektir. Betonda dayanımın 20 Mpa olması yeterli bulunmaktadır. Çünkü burada betondan beklenen asıl performans su geçirmez olması ve aşınmaya karşı dirençli olmasıdır.

Ön yüz beton dökümü genellikle finişer ile yapılır. Beton slumpı 3 – 8 cm arasındadır. Finişerle beton döküm hızı ortalama 1-1,5 m/sa' tir. Sabit raylar üzerine yerleştirilen finişer en alt kottan üst kotlara doğru beton dökümünü yapar. Anolar arasına su tutucular yerleştirilerek sızdırmazlık sağlanır. Beton dökümü ano atlayarak yapılır

Şekil 3.22.'de Büyükkumla Barajı yapım aşaması genel görünümü verilmiştir. Genel görünümde memba yüzeyinin temizlenerek beton dökümüne hazır hale getirildiği ve ön yüz beton döküm çalışmalarının devam ettiği görülmektedir. Ön yüz beton dökümünün yapılmadığı anolarda ise donatı çalışmaları devam etmektedir.



Şekil 3.22. Yapım aşaması genel görünüm

Derz araları sızıntıların en fazla olduğu bölgedir. Bu yüzden bu kısımlara bakır su tutucular yerleştirilir. Bakır su tutucular çok hassas oldukları için inşaat aşamasında ahşap takozlarla koruma altına alınırlar (Şekil 3.23). Bakır su tutucu birleşimleri kaynaklarla yapılır.



Şekil 3.23. Bakır su tutucuların ahşap takozlarla korunması

3.2. Bulamaç Hendeği (Slurry Trench)

Son zamanlarda yer altı sularını iyileştirmek, zeminin sıvılaşmasını önlemek ve yer altı sularının kirlenmesini önlemek için çeşitli yer altı duvarı uygulamaları yapılmıştır. Ancak bu duvarların kazı derinlikleri kısıtlıdır. Bu sebeple duvar boyunca homojen bir yapı elde etmek zordur. Derinlik arttıkça duvar elemanlarında kayma ve bozulma meydana gelebilir. Ayrıca hepsi tek bir amaca yönelik kullanıldığı için ekonomik olmayabilir. Mevcut özellikleri göz önüne alındığında; istenilen derinlikte inşa edilmesi, ekonomik olması, geçirimsiz olması ve kolay inşa edilebilir olması sebebi ile bulamaç hendeği tercih edilmektedir (Ariyama ve ark. 1994).

Bulamaç hendeği, baraj ve diğer yapıların inşası sırasında su sızıntılarını önlemek ve kazıların kuruda yapılmasını sağlamak amacı ile uygulanan bir yöntemdir. Temeli derin olan alüvyon dolgu barajların güvenliğinde önemli rol oynamaktadır. Ayrıca barajın altındaki sızıntının kontrolü ile direkt bağıntılıdır.

Bulamaç hendekleri yer altı suyunu kesmek veya kontrol etmek amacı ile tasarlanmaktadır (Püsküllüoğlu 2012). Alüvyon tabakasının kaldırılmasının mümkün olmadığı durumlarda; derin kazıların yapılacağı temellerde en etkili yöntem, bulamaç hendeğinin oluşturulmasıdır. Açılan hendekler içerisine geçirimsiz malzeme doldurularak istenilen sızdırmazlık elde edilmektedir.

Kısacası bulamaç hendeği yöntemi destekleyici akışkanlar ile hendekler açılmasıdır, taşıyıcılığı yoktur. Sızma boyunu uzatmak veya sızmayı engellemek için kullanılabilir. Kazı derinlikleri kullanılan makine cinsine göre değişmektedir. Uluslararası Büyük Barajlar Komitesi, farklı ekipmanlar için uygulanabilir en büyük kazı derinliklerini önermiştir (ICOLD 1985).

Temeli derin olan dolgu barajlarda barajın altındaki sızıntının kontrolü veya sızıntının azaltılması için kil çekirdek cut-off hendeği kullanılır. Ancak bu yöntem baraj gövdesinin oturacağı alüvyon tabakanın derin olduğu yerlerde oldukça pahalı ve zor bir yöntemdir. Bulamaç hendeği denemeleri Veder tarafından 1948 yılında başlamıştır. Ancak ilk kez 1950 yılında İtalya'daki Fedala Barajında ve Venafro'daki Volturna Nehri üzerindeki hidrolik çalışmalarda uygulanmıştır (Clayton 1992).

Ülkemizde de çeşitli uygulamaları mevcuttur. Bunlardan birincisi, Aslantaş Barajıdır. Bulamaç hendeği baraj temeli içerisinde uygulanmıştır (Karaoğullarından ve ark. 1977). İkinci uygulama, Tahtalı barajında baraj altı geçirimsizlik perdesi şeklinde olmuştur. Üçüncü uygulama ise Dalaman-Akköprü Barajı memba ve mansap batardolarında yapılmıştır.

Slurry trench uygulaması, kılavuz duvarların inşasından sonra hendeklerin kazılması ile başlar. Kazıdan hemen sonra hendek; bentonit, su ve bazen polimer katkı karışımı olan bir destekleme malzemesiyle doldurulur. Bu malzeme kazının desteklenmesi için kullanılır. Destekleme işleminden sonra, hendek bentonit, su ve çimentonun uygun bir karışımını içeren plastik beton ile doldurulur. Bu sırada bentonit kazıyı terk eder ve aynı anda plastik beton ile yer değiştirir. Bu işlem hendek ekseni boyunca şaşırtmalı olarak yapılır (Alp ve ark. 2014).

3.2.1. Kazı ekipmanları

Kazı-dolgu yöntemlerine göre kullanılan ekipmanlar değişiklik gösterebilir ancak genel olarak kullanılan ekipmanları aşağıda listelenmiştir.

a. Freze Kazıcı

Paletli bir ekskavatör üzerine monte edilmiş, 2,80x1,00 m boyutlu kazı yapabilen, 80,00 m derinliğe kadar inebilen kapasitede, düşey hareketi kontrol eden bir kılavuz üzerinde bulunan hidrolik kontrollü ucunda kesme işlemi için çark bulunan hendek kazma ekipmanıdır (Şekil 3.24). Birbirine ters olarak dönen kesici dişleri vardır ve iki adet çark zemini keserek ilerler. Her türlü zemin tipinde çalışabilir. Ekipmanlara bağlı olarak 150 m'ye kadar kazı yapabilir.



Şekil 3.24. Freze kazıcı

b. Kepçeli Kazıcı

Paletli bir ekskavatör üzerine monte edilmiş, 2,80x1,00 m boyutlu kazı yapabilen, 50 m derinliğe kadar inebilen kapasitede, düşey hareketi kontrol eden kablolu bir kılavuz ucunda bulunan hidrolik kontrollü kepçeli hendek kazma ekipmanıdır.

Genellikle Kelly Grab tipi kazıcı kullanılır (Şekil 3.25). Hidrolik paletli bir makine gövdesine veya hidrolik güç ünitesi ile donatılmış bir paletli vince monte edilmiş kelly adı verilen halatlı bir sistem ile taşınır. Teleskopik kol yardımı ile hendek içerisine indirilen kovaya grab ismi verilir. Grab çenesi açılıp kapanarak zemini yükleyip boşaltır.

Bu ekipman, gevşek zemin formasyonlarında kullanılmaktadır. Bu sebeple kaya bloklara denk geldiğinde kırıcı kullanılır. Ekipmanlara bağlı olarak 75 m'ye kadar kazı yapılabilir.



Şekil 3.25. Kelly Grab kazıcı

c. Kum Arıtma Tesisi

Hendek kazılarında bentonit karışımı sürekli olarak kullanıldığı için ayrışan diğer malzemelerle karışır ve özelliğini yitirmeye başlar. Bentoniti süspansiyon halindeki zemin parçacıklarından ayırmak ve tekrar kullanmak için desander adlı kum eleme üniteleri kullanılır. Kullanılmış bulamaçtan kum ve diğer malzemeleri desander sistemi ile ayrılır. Bu sistem, karışıma girecek malzemenin de dane boyutunu ayarlar. Desander sistemi Şekil 3.26' da gösterilmiştir.



Şekil 3.26. Desander sistemi (Kum eleme üniteleri)

3.2.2. Bentonit işleme tesisi ekipmanları

Bentonit İşleme tesisleri bulamaç hendeği yapım sahasına olabildiğince yakın olmalıdır. Tesis içerisinde ekipmanlar hazır olmalıdır. Şekil 3.27’de bentonit işleme tesisi gösterilmektedir.



Şekil 3.27. Bentonit işleme tesisi

a. Bentonit Çamuru Hazırlama Tesisi Mikseri

500 m³/sa kapasiteli ve tartım sistemine sahip olan mikserlerdir. Toz haldeki bentoniti suyla karıştırarak projesindeki değerlere göre bulamaç elde edilmesini sağlar.

b. Bentonit Çamuru Basma Pompaları

Ortalama 450 m³/sa debili ve 20 m yüksekliğe basabilen, dizel ya da elektrik motor tahrikli 3 adet pompa kullanılır. Bentonit çamurunu saha içerisine transfer eder, tesise geri aktarımda ise dalgıç tipi pompalar kullanılır.

c. Bentonit Çamuru Karıştırma ve Depolama Havuzları

4 adet 100'er m³ kapasiteli bentonit depolama tankı ve depolama sırasında karıştırmayı sağlayacak 250 m³/sa kapasiteli kompresör kullanılır.

Mikserde hazırlanan bentonit tanklarda veya havuzlarda muhafaza edilir. Borular yardımı ile havuzlara aktarılır. Havuzların hacmi günlük bentonit ihtiyacının yaklaşık 2 katı kadar olmalıdır. Havuzlarda dinlenmeye bırakılan bentonit kompresörler yardımı ile borulardan hava üflenerek karıştırılır. Viskoziteyi korumak ve havuz tabanına çöken malzemeyi karıştırmak için belirli sürelerde hava sirkülasyonu yapılır. Hava sirkülasyonu yapan bentonit havuzu Şekil 3.28'de gösterilmiştir.



Şekil 3.28. Bentonit dinlendirme havuzu ve hava sirkülasyonu

d. Plastik Beton Hazırlama Mikseri

Beton hazırlama tesisinde agrega, çimento ve su tartılarak kullanılır. Karıştırıcı düşey eksenlidir. Karışım hesaplamalarında agregadaki su muhtevası dikkate alınır. Çimento helezonlar yardımıyla miksera aktarılır. Ekipman kapasiteleri Çizelge 3.4' te verilmiştir.

Çizelge 3.4. Ekipman kapasiteleri (Coyne ve Bellier 2011)

Mikser kapasitesi	50~55 m ³ /sa
Mikser hacmi	1500 litre
Yıldız agrega silosu	4 gözlü
Agrega kantarı	2,50 kg
Çimento kantarı	500 kg
Su sayacı	200 l/s

e. Plastik Beton Basma Pompaları

Plastik beton pompa vasıtasıyla tremi borularına iletilir. Hidrolik pistonlar ve ana pompa kapalı devre içinde çalışır. Transfer borusu sürgüsüz “elefant” sisteminde ve borular düz olmalıdır. Beton basılırken taşma ve kayıplara sebebiyet vermeyecek şekilde sağlam olmalıdır. Doldurma ağzı aynı anda üç adet transmikser çalışabilecek boyutta olmalıdır.

f. Yardımcı Tesisler

Silolar

50 tonluk 1 adet bentonit silosu, 100 tonluk 2 adet kum silosu,100 tonluk 1 adet çimento silosu kullanılabilir. Silolar çimento ve bentoniti depolamak için kullanılır.

Borular

Bentonit dinlendirme tankından kazı hendeğine sürekli bentonit temin edebilecek, yer değiştirme esnasında kazı hendeğinden çıkacak bentonit çamurunu kum arıtma tesislerine götürecek yeterli çap ve miktarda boru olmalıdır. Muhtelif çaplarda PVC veya çelik borular kullanılır. Saha içerisindeki aktarımı sağlar.

Tamirat Atölyeleri ve Depo

Fazla malzemeyi depolayabilmek için uygun yerlere ve yeterli kapasitede depolara ihtiyaç vardır.

Elektrik Tesisatı

Şantiye içerisinde gerekli yerlerde 200 kVA' lik bir jeneratör bulundurulmalıdır.

Şantiye Laboratuvarı

Bentonit çamuru ve plastik beton karışım özelliklerinin kalite kontrolü için şantiye içerisinde laboratuvarlar kurulmalıdır. Laboratuvarda yeterli sayıda kalibre edilmiş Marsh hunisi, kum ölçme düzeneği, yoğunluk tayini için gerekli aparatlar, çökme miktarını ölçmek için plastik tüpler, örnek alma moldları veya tüpleri ve PH metre veya turnusol kâğıtları bulunmalıdır. Ayrıca, plastik betonun tek eksenli basınç dayanımı, elastisite modülü ve permeabilite deneyleri için yeterli sayıda 50x100 mm silindir kalıplar bulundurulmalıdır. Bu kalıplarla silindir numuneler alındıktan sonra su muhtevasını kaybetmeyecek şekilde su içerisinde korunacak ve deney anına kadar zarar görmeden saklanacaklardır. Gerekli olduğunda farklı ebattaki numune kalıpları da kullanılabilir. Kurulu laboratuvarlarda rutin deneyler için yeterli miktarda araç ve gereçler bulundurulmalıdır.

Yardımcı Ekskavatör

İhtiyaç halinde kullanılmak üzere şantiyede bir yardımcı ekskavatör bulundurulur.

Taşıyıcı Kamyonlar ve Loader

Kazı malzemesi ve diğer ekipman nakli için yeteri sayıda kamyon ve loader şantiyede bulunmalıdır.

3.2.3. Malzemeler

a. Bentonit

Bentonit çamurunda ve plastik beton karışımında kullanılacak bentonit tozu doğal sodyum bazlı ve TS 977 ve TS EN 13500 normlarına uygun olacaktır. Yaş elek analizinde 200 Nolu elekte kalan en çok %1,5, kuru elek analizinde 100 Nolu elekten geçen en az %98, rutubet oranı ise en çok %10 olacaktır.

Bentonit hendek kazıları sonrası göçük oluşmasını engellemek amacı ile hendek desteklemesini yapar. Sudan yoğun bir malzeme olduğu için hendek içerisine doldurularak zeminin her hangi bir desteklemeye ihtiyacı olmadan hendeğin şeklini korumasına yardımcı olur. Bentonitin kullanılabilmesi için herhangi bir kimyasal tepkimeye girmemesi gerekmektedir. Kazıda kullanılan bentonit içerisindeki zemin parçalarını ayrıştırmak için desanderler kullanılır. Bentonit bulamaçları Çizelge 3.5'deki değerleri sağlamalıdır.

Çizelge 3.5. Bentonit bulamacının özellikleri (TS EN 1538)

Özellik	Kullanım Safhaları		
	Taze	Tekrar Kullanım İçin	Betonlamadan Önce
Birim Hacim Kütlesi (g/cm ³)	<1,10	<1,25	<1,15
Marsh Değeri	35-50	32-60	32-50
Akışkan Kaybı	<30	<50	-
pH	7-11	7-12	-
Kum İçeriği (%)	-	-	<4
Filtre Keki (mm)	<3	<6	-

Marsh Değeri; vizkosite akış özelliklerinin göreceli olarak değişim değeridir. Bir Marsh Hunisi ve Marsh Ölçüm Tası kullanarak ölçülür. Marsh hunisi deneyi 946 cm³ sıvının 0,50 cm iç çaplı 30 cm uzunluğundaki huniden akma zamanı dikkate alınarak yapılır. Marsh hunisi kullanıldıktan sonra çok titizlikle temizlenerek ve yerine konulmalıdır.

Temizlenmediği takdirde huninin ağzında kuruyan çamur veya pislikler çamurun bentonitin akış hızını değiştireceğinden ölçüm sonuçları yanlış çıkacaktır.

Marsh değerinin hesap adımları şu şekildedir:

- Marsh hunisi alt ucu parmakla kapatılarak dik durumda tutulur ve huni eleğine sondaj sıvısı elek seviyesine gelene kadar dökülür.
- Huninin ucundan parmak çekilirken kronometrede çalıştırılır. Sondaj sıvısının 946 ml' lik ölçüm tasını doldurması için geçen zaman ölçülür.
- Akış zamanı saniye cinsinden huni viskozitesi olarak kabul edilir.
- Ölçüm sırasında sondaj sıvısının sıcaklık değeri raporlanır.

b. Su

Bulamacın karakteristiğini ve kalitesini etkileyen en önemli unsurlardan birisi de temiz su kullanılmasıdır.

Uygun su kriterleri aşağıda verilmiştir;

pH = 7+1

Sertlik < 50 ppm

Toplam Çözünmüş Toprak < 500 ppm

Yağlar, organik maddeler, asitler vs. istenmeyen maddeler < 50 ppm

c. Çimento

Plastik Beton yapımında TS EN 197 standartlarına ve teknik şartnameye uygun çimento kullanılmalıdır.

d. Kum/İnce Agreg

Plastik betonda kullanılacak kum temiz olmalı, içerisinde reaksiyona sebep olacak maddeler bulunmamalıdır. Kuru, gevşek birim hacim ağırlığı 1,5 t/m³ olmalıdır. Elek analizi dane dağılımı Çizelge 3.6'teki gibi olmalıdır.

Çizelge 3.6 Elek analizi dane dağılımı

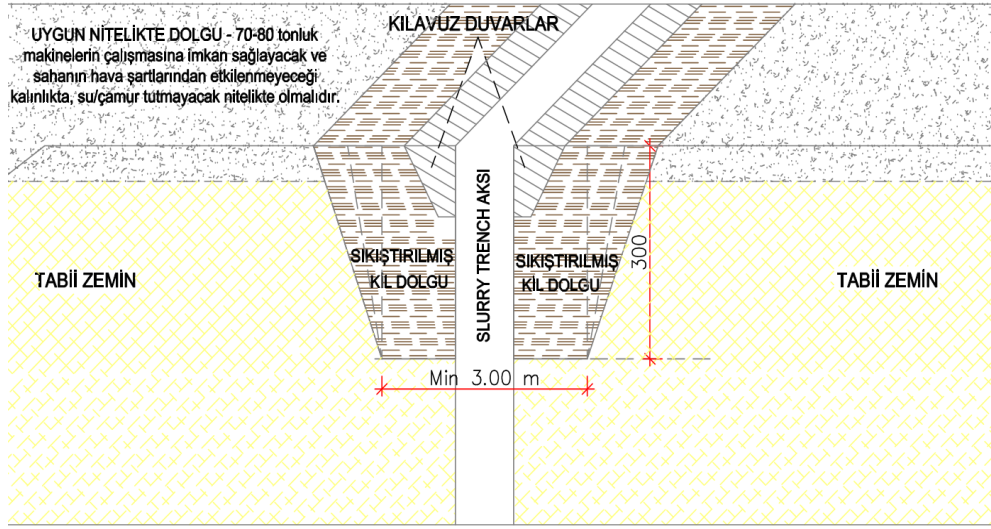
Elek No.	Elek Göz Açıklığı, mm	Elekten Geçen % (Aralık)	
No.4	4,75	95	100
No. 8	2,38	75	90
No.16	1,19	50	75
No.30	0,60	35	60
No.50	0,30	20	40
No.100	0,15	12	22
No.200	0,075	8	16
Pan	0	0	0

e. Katkı Malzemeleri

Gerekli olduğu durumlarda plastik beton karışımının priz süresini uzatmak için kullanılır.

3.2.4. Bulamaç hendeği (Slurry Trench) yönteminin uygulanması

Bulamaç hendeğinin inşasına başlamadan önce gerekli stabilite önlemleri alınır. Bu çalışma alanı 70-80 tonluk makinelerin çalışmasına imkan verecek nitelikte olmalıdır. Bu sebeple donatılandırılmış kılavuz duvarlar inşa edilir. Bahse konu duvarlar açılacak hendeklerin iki tarafına yapılır. Amacı duvar çizgisini kontrol etmek ve kazının başlamasına imkan tanımaktır. Kılavuz duvarlar sağlam bir zemin üzerine oturmalıdır. Çalışma platformunun, slurry trench üst kotundan yaklaşık olarak 0,5~1 m üstünde olması önerilir (Şekil 3.29).



Şekil 3.29. Kılavuz duvarlar (İspir 2014)

Kılavuz duvar inşasından sonra dikdörtgen şeklinde hendek kazıları yapılır. Hendekler kılavuz hattı projesine uygun bir şekilde açılır. Genellikle Kelly Grab kazıcı kullanılarak hendek kazılarına başlanır. Grab'li kazılarda imalat platform seviyesinden başlanır. Ancak Freze'li kazılarda ilk 3 m kadar ekskavatör ile kazıya başlanır.

Daha sonra hendek içerisi doldurulur. Hendek duvarlarının göçmesini engellemek için hendek içleri bentonit ile doldurulur. Bu şekilde hendek stabilitesi sağlanmış olur. Kazılan malzeme hendek dışına alındıkça bentonit de hendeğe doldurulur. Bu sebeple kazı esnasında yeterli miktarda akışkanın hazır olarak bulunması gerekir. Bentonit hendek içerisine doldurularak destekleme yapılmış olur. Bentoniti destekleyici yapan en önemli unsur jel dayanımıdır. Doğal zemin duvarına basınç uygular ve stabiliteyi sağlar.

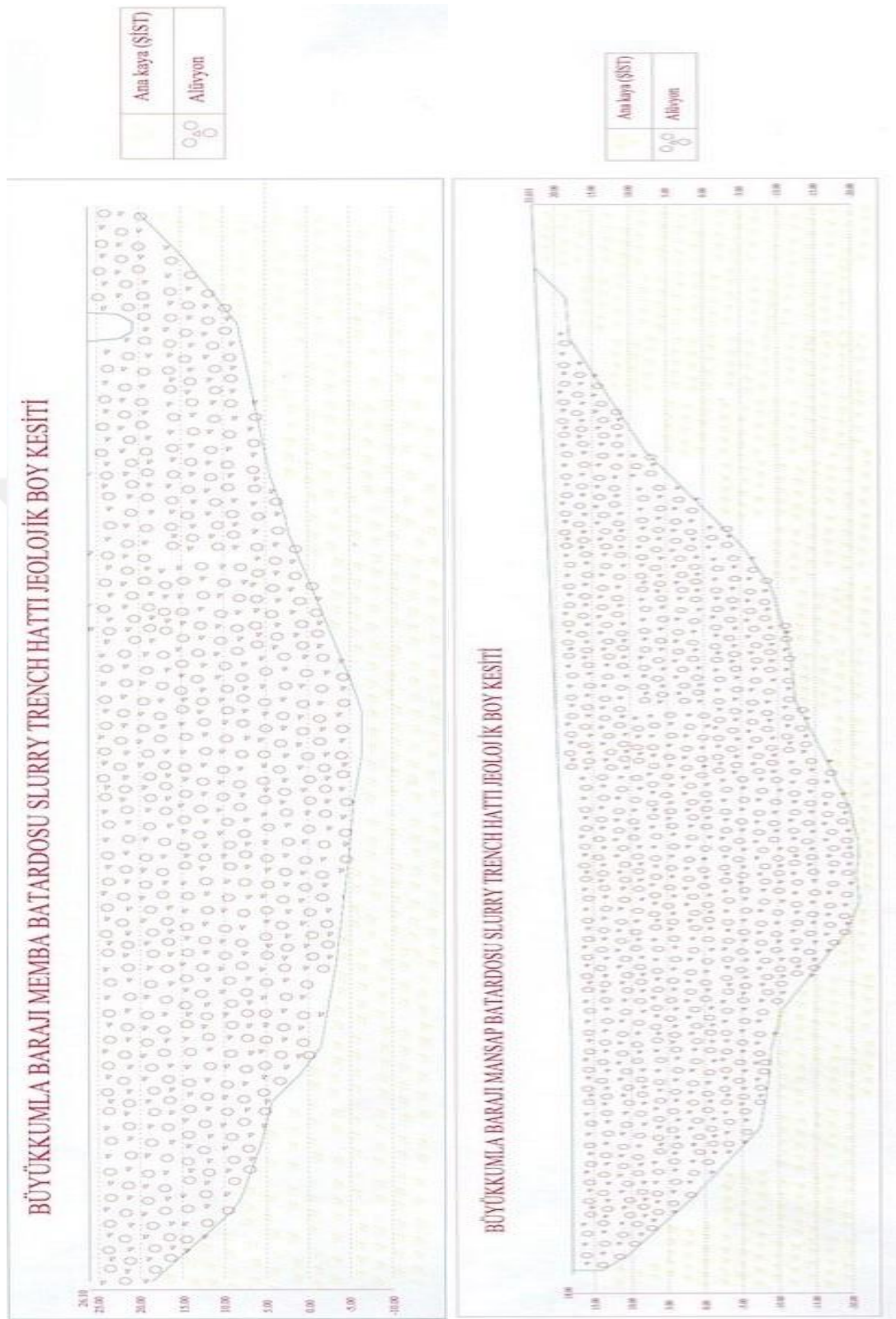
Kazı desteklenmesinde Sodyum Bentonit kullanılır. Diğer malzemelerden yoğunluk olarak daha düşüktür. Bu sebeple hendek geri dolgu ile dolmaya başladığı anda bentonit hendeği boşaltmaya başlar. Hendekten taşan bentonit toplanarak bentonit havuzlarında tekrar kullanılmak için depolanır.

Panel uzun süreli açık kalmamalıdır. Betonlamaya hemen geçilmelidir. Panelin uzun süreli açık kalması halinde, betonlama öncesi panellerin tekrardan temizlenmesi gerekmektedir.

3.2.5. Büyükkumla Barajı'nda bulamaç hendeği yönteminin uygulanması

Büyükkumla Barajı'nda çalışmalara ilk olarak memba ve mansap batardoları temelinde jeolojik kesitler çıkarılarak başlanmıştır (Şekil 3.30) Daha sonra, jeolojik yapıya uygun slurry trench projelendirilmiştir. Projelendirmeler alüvyon zeminden ana kayaya en az 1,00 m soketleme olacak şekilde yapılmıştır.

Hazırlanan jeolojik kesitlerden sonra, topograflar kazı alanlarını belirlemiştir. Büyükkumla Barajı memba batardosu ve mansap batardosu üzerinde bulunan slurry trench (geçirimsizlik perdesi) imalatına 15.04.2015 tarihinde başlanılmış olup 28.08.2015 tarihinde tamamlanmıştır. Slurry trench imalatı kazı işlerinde 1 adet Hidrolik Kelly Grab, 2 adet vinç, 2 adet bentonit çamuru üretim santrali, 4 adet bentonit çamuru dinlendirme havuzu ve 2 adet desander kullanılmıştır.

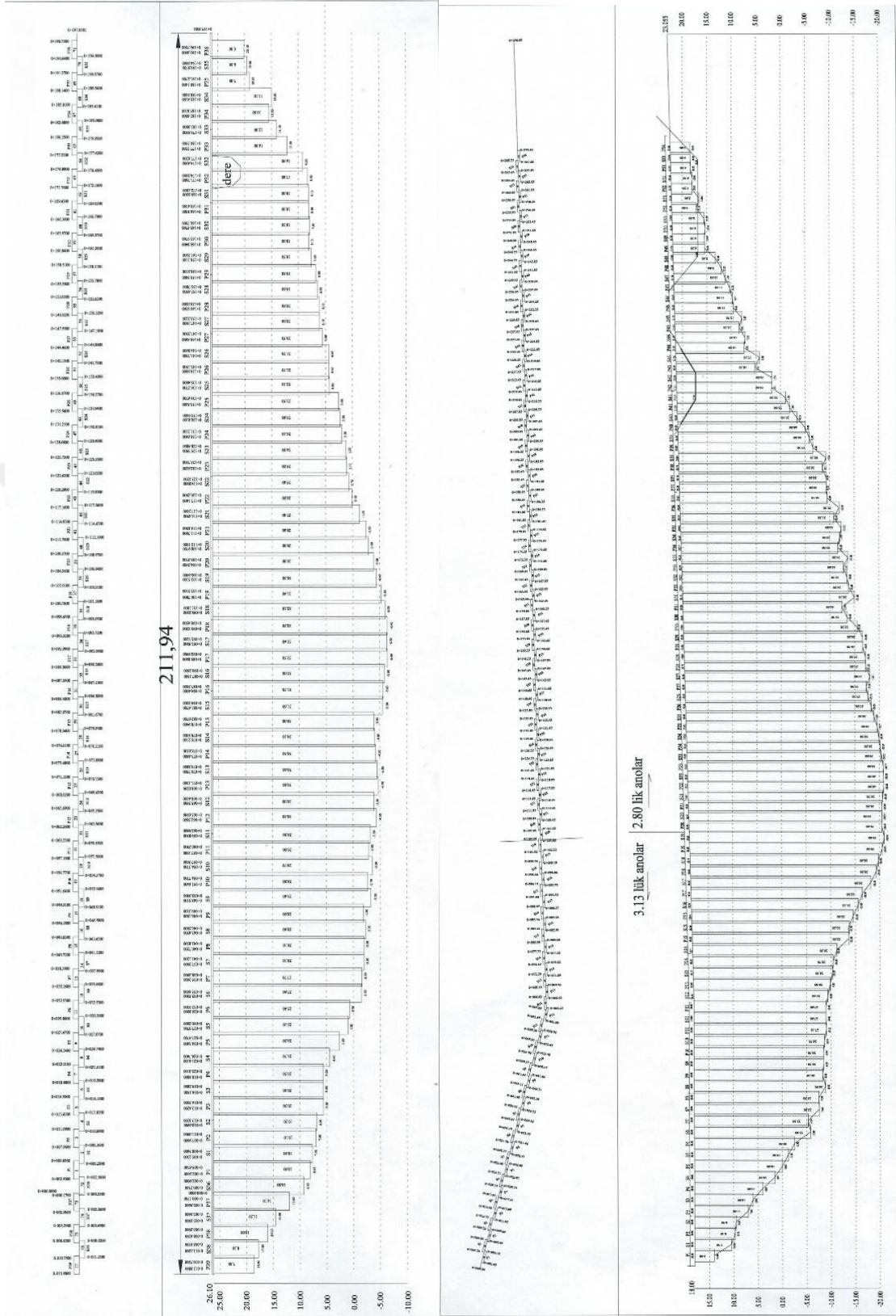


Şekil 3.30. (a) Memba jeolojik kesiti (b) Mansap jeolojik kesiti

Memba batardosu slurry trench hattı uzunluğu 211,94 m olup 39 adet 3,13 metre uzunluğuunda Birincil (P) anolar ve 3,13 m uzunluğuunda 38 adet İkincil (S) anolar olmak üzere toplamda 77 ano bulunmaktadır (Şekil 3.31-a.). Birincil anolara ana paneller (anoları) ikincil anolara ise kesme panelleri (anoları) denir.

Mansap batardosu slurry trench hattı uzunluğu ise 270,65 m olup 0+000 – 0+104,65 metreler arası 3,13 m uzunluğuunda 19 adet P anosu ve bu P anolarını kesen 19 adet 3,13 m uzunluğuunda S anosu, 0+104,65 – 0+269,92 metreleri arası 2,80 m uzunluğuunda 35 adet P anosu ve bu anoları sağından ve solundan 0,40 m kesen 34 adet S anosu olmak üzere toplamda 107 ano bulunmaktadır (Şekil 3.31-b)





Şekil 3.31. (a) Mamba batardosu slurry trench hattı (b) Mansap batardosu slurry trench hattı

Büyükkuşla Barajı slurry trench imalatında kullanılacak plastik beton karışım miktarları DSİ Genel Müdürlüğü TAKK Dairesi laboratuvarlarında yapılan agrega, bentonit ve çimento deneylerinin sonuçlarına göre belirlenmiş olup uygun plastik beton karışım oranları 1 m³ beton için Çizelge 3.7’de verilmiştir.

Çizelge 3.7. Büyükkuşla Plastik Beton Karışım Oranları (1 m³ beton için)

Malzeme	Karışım Oranları (kg)	Yoğunluk (g/cm ³)	Mutlak Hacim (dm ³)	1m ³ için Miktarlar (kg/m ³)
Doğal İnce Agrega	850	2,68	317,16	680,4
Çimento	350	3.10	112,90	280,2
Bentonit	50	1,038	819,23	40,0
Su	800			640,4
Toplam	2050	1,64	1249,3	1640,9

Ano genişlikleri kazı makinası boyutlarına göre; 3,13 ve 2,80 m olarak tasarlanmıştır. Öncelikle birincil ano panellerinin (P) kazısına başlanılır. Ana panel geri dolgu işlemleri bittikten sonra ise ikincil ano olan kesme (S) panelleri kazılır (Şekil 3.32.). Bu sayede zemin göçmelerini en aza indirerek panellerin tek doğrultu üzerinde olması sağlanır.



Şekil 3.32. Hendeklerin kazılması

İkincil panellerin kazısına birincil panellerin kazısı tamamlanıp plastik beton priz aldıktan sonra başlanır. Genellikle birincil ve ikincil panel arasındaki döküm 48 saat dikkate alınarak yapılır.

Ayrıca kesme panel kazıları yapılırken geri dolgu ile doldurulmuş olan ana panellerden kesilerek 0,40 m bindirme yapılır. Bindirme boyları ano büyüklüğüne göre belirlenir ancak bu oran genellikle %8-10 arasında değişir. Bu sayede anolar arasındaki zemin tabakası temizlenir ve anolar arası süreklilik sağlanır.

Kelly grab kazı makinası alüvyon malzemeyi temizleyip ana kayaya ulaştığında artık malzeme alamaz ve vinçlerle 0,50 1,00 m arasında anakayaya soketleme yaparak kazıyı sonlandırır. Kazıdan çıkan malzemeler ekskavatör yardımı ile kamyonlara yüklenir ve depo sahasına sevk edilir.

Kazı işlemlerine başlamadan bentonit sirkülasyonu yapılır ve bentoniti hendeklere dolduracak borular hazırlanır. Kazı başladıktan sonra hendeğe hızla bentonit pompalanmaya başlanır. Kazı sırasında göçmeleri engellemek için hendek sürekli bentonit ile dolu olmalıdır (Şekil 3.33). Kazı esnasında bir miktar bentonit zeminle karışarak dışarı atılarak kullanılmaz hale gelebilir.



Şekil 3.33. Hendeklerin bentonit ile desteklenmesi

Slurry trench malzemesi hendeğe doldurulana kadar bentonit ile destekleme yapılır. Bentonit ile dolu hendek istenilen derinliğe ulaştıktan sonra hendek içerisine kalıcı plastik beton malzeme doldurulur. Betonlama için vakit kaybedilmemelidir. Çünkü bentonitte zamanla çökme meydana gelecek ve jel dayanımı etkisini kaybedecektir. Kazılar bitip çukur bentonit ile doldurulduktan sonra geri dolgu denilen plastik beton dökümüne geçilir. Plastik beton dökümü tremie tekniği ile aşağıdan yukarı doğru yapılır. Bu şekilde tremie borusu hendek dibine kadar indirilir. Bu sayede plastik beton ve zemin arasında bentonitin kalması engellenir (Şekil 3.34). Döküm beton pompası ile yapılırsa bentonit ve slurry karışımına sebep olabilir.



Şekil 3.34. Bentonit ile dolu hendeğe tremie borusunun yerleştirilmesi

Plastik betonun bentonit ile karışmasını engellemek için beton direk bentonit içerisine boşaltılmaz. Tremie borusu bentonit içerisine en az 3 m daldırılır. Bu durum hendek derinliğine göre de değişebilir. Tremie borusunun hendek tabanına indiğinden emin olunduktan sonra plastik beton dökümüne başlanır. Betonlama aralıksız devam etmeli ve beton dökümü sırasında tremie borusu bentonit içerisinde kalmalıdır (Şekil 3.35).



Şekil 3.35. Panellere slurry dökümü sırasında bentonit çamurununun dışarı çıkışı

Hendek geri dolgu malzemesi ile dolduruldukça içerdeki bentonit dışarı taşar. Taşan bentonit tekrar temizlenerek kullanılmak için borularla bentonit havuzuna taşınır. Bu sırada bentonit kayıpları olur.

Beton döküm hızı 3 m/saat'ten az olmamalıdır. Betonlama işlemine hendek dolup kılavuz duvar hizasından taşana kadar devam edilir. Fazlalık kısım daha sonra tıraşlanır. Bu sayede beton üst kotunun daha güvenli bir kotta kalması sağlanır. Ayrıca beton yüzeyi daha düzenli olur (Şekil 3.36).



Şekil 3.36. Tamamlanmış slurry trench imalatı

3.2.6. Bulamaç hendeği (Slurry Trench) yönteminin avantajları ve dezavantajları

Bulamaç Hendeği (Slurry Trench) yönteminin avantajları ve dezavantajları aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

Avantajları;

- Ana kayaya kadar ulaştığından uygulaması doğru yapılırsa tamamen geçirimsizliği sağlayan bir perde üretilir.
- Geçici veya sürekli bir yapı elemanı olarak kullanılabilir.
- Derin kazıların bentonit ile desteklenmesi mümkündür. Bu sayede istenilen derinlik kontrol altındadır.
- Her türlü zemin tipinde uygulanabilir.

- Zaman tasarrufu sağlar.
- Derin kazılarda ekonomik bir yöntemdir.
- Basit bir imalattır.
- Slurry trench imalatları hem geçirimsizlik perdesi hem de temel destekleme uygulamalarında kullanılabilen ekonomik bir yöntemdir.

Dezavantajları;

- Kılavuz duvarlar sebebi ile düşük derinliklerde ekonomik değildir (Boyes 1975).
- Kazılan hendeklerin duyarlılığının sağlanması zordur.
- Saha imalatları sırasında panellerin derinliği ve konumu sürekli kontrol edilmeli ve akslarda kaymalar engellenmelidir.

3.2.7. Bulamaç hendeği (Slurry Trench) yönteminin laboratuvar ve arazi çalışmaları

İmalatlardan önce yapılan laboratuvar çalışmaları;

- Sahada kullanılacak malzemeler laboratuvara gönderilerek karışım oranları belirlenir. Bu konuda nitelikli laboratuvarlardan faydalanılmalıdır.
- Oluşturulan karışımdan en az iki örnek numune alınır ve bu örnekler üzerinde testler yapılır.
- Viskozite değeri Mars Hunisi ile ölçülür.
- Sabit hacimli kaplarla Özgül Ağırlık belirlenir.

Büyükkuşla Barajı Slurry Trench karışım oranlarına ait deney sonuçları Ek.1 de verilmiştir.

İmalat sırasında yapılan laboratuvar çalışmaları;

- 36 mm iç çapında 72 mm boyunda ve 50 mm iç çapında 100 mm boyunda olmak üzere iki tip PVC tüpler ile örnek numuneler alınır. Örnek tüpleri kesinlikle alüminyum olmamalıdır. Örnek tüplerinin içi temiz, pürüzsüz ve kuru olmalıdır. Dolu tüpler lokasyon, derinlik ve tarih yazılarak etiketlenir.
- Alınan örneklerin su ve hava ile teması engellenir ve 14 gün boyunca titreşim ve darbeden korunur. Katılaşma sonrası laboratuvarlara gönderilir.
- Alınan örnekler üzerinde iki adet dayanım ve permeabilite deneyleri yapılır.

- Bu deneyler üç eksenli permeabilite, elastisite modülü ve tek eksenli mukavemet deneyleridir.

Arazi deneyleri;

- Rasat kuyu tabanı alüvyon içinde, pompaj kuyusu tabanı ise ana kaya içerisinde olacak şekilde gözlem ve su sondaj kuyuları açılır. Slurry Trench imalatından sonra ise aynı kuyulardaki su seviyeleri ölçülerek kayıt altına alınır ve bu değerlere göre perdenin geçirimsizliği değerlendirilir.
- Slurry Trench imalatından 40 gün sonra permeabilite, tek eksenli basınç dayanımı ve elastisite modülünün tespiti için karotlu sondaj kuyuları açılır.

Büyükkuşla Barajı Slurry Trench uygulamasına ait geçirimsizlik kontrolü deney sonuçları Ek.2 de verilmiştir.

4.BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. Sızma Analizi

Sızma Analizi, temelden ve baraj gövdesinden meydana gelebilecek sızıntı miktarının hesaplanması, sızma problemlerini kontrol altına almak veya sızmayı azaltmak için gereklidir (Soleymani ve Akhtarpur 2011). Geoteknik mühendisliğinde sızma davranışını tahmin etmek birçok değişken nedeni ile zordur. Sızma sorunlarının değerlendirilebilmesi için kapsamlı bir araştırma yapılmalıdır.

Hidrodinamik kurallara göre su kendisine sürtünmesiz ve en rahat yolu seçerek gövde içerisinde borulanmalara sebep olabilir. Dolgu barajlarda bu kaçınılmazdır (Mortazavi ve ark. 2015). Yüzeylerde gözlemlenen sızmalar iç kısımlardaki borulanmalar ve tehlikeli sızıntılar hakkında bilgi verebilir. Sızmanın zamana bağlı artıp azalması borulanmaların kendi kendine tıkanması veya büyümesi sürecini gösterebilir (USBR 2014).

Sızma analizinin başlangıcı 1856' da Darcy kanunlarının kullanılmasıyla başlamıştır. Henri Darcy, dikey akış boyunca küçük kum numuneleri üzerinde deney yapan Fransız bir mühendistir. Kum örnekleri yaptığı deneylerle laminer akımın, kesit alanı ve kuma uygulanan hidrolik gradyandaki farkla ilgili olduğunu göstermiştir. Darcy kanunları;

$$Q = Axkxi \quad (4.1)$$

formülü ile gösterilir. Formülde;

Q: Debi

k: Hidrolik iletkenlik katsayısı

i: Hidrolik eğim

A: Kesit Alanı ifade etmektedir.

Sayısal modellemenin fiziksel modellemeye göre birçok avantajı vardır. Belirgin avantajları aşağıda belirtilmiştir.

- Sayısal modelleme fiziksel modellemeye çok yakındır. Fiziksel modellemeyi inşa etmek uzun zaman alabilirken sayısal modelleme dakikalar, saatler ve ya günler içerisinde yapılabilir.
- Fiziksel modelleme genellikle kısıtlı şartlar altında yapılır. Sayısal modelleme incelemesi çeşitli geniş ve değişik senaryolar için kullanılabilir.
- Sayısal modellemede yer çekimi kuvveti hesabı zor değildir. Yer çekimi ölçülemez. Laboratuvar modellemesi ile sınırlıdır. Merkezkaç kuvveti genellikle bu limitin üzerindedir.
- Sayısal modelleme ile deneyi yapan kişinin fiziksel olarak bir tehlikesi yoktur. Fiziksel modelleme bazen ağır ekipmanlar gerektirir ve bu durum işçi güvenliğini ilgilendirir.
- Sayısal modelleme herhangi bir yerde bulunan kesit için bilgi ve sonuç sağlar. Fiziksel modelleme sadece tepkileri ve alet noktalarını dışardan gözlemler.
- Sayısal modelleme çok çeşitli sınır şartlarına uyum sağlar. Buna karşılık fiziksel modelleme de bu durum kısıtlıdır (Geo-Studio 2012).

Bu çalışmada, Slurry trench geçirimsizlik perdesinin yeterliliğini ölçebilmek ve imalat sonrasında gövde altında oluşabilecek sızma miktarının tespit etmek amacıyla sonlu elemanlar yöntemini kullanan Seep/w ve Midas Gts Nx bilgisayar yazılımları ile sızma analizi yapılmıştır.

Memba batardosuna ait kret kotu 26 m, mansap batardosuna ait kret kotu ise 18 m'dir. Memba ve mansap şev eğimleri 1/1 olacak şekilde modellemesi Seep/w ve Midas Gts Nx programlarında dizayn edilmiştir. Modellemede kullanılan malzemelerin permeabilite değerleri Çizelge 4.1.'de verilmiştir. Memba tarafı yer altı suyu seviyesi 23 m, mansap batardosu tarafı yer altı suyu seviyesi 8 m'dir. Bu bilgiler kullanılarak modellemeler yapılmıştır. Permeabilite, sızma davranışında en önemli faktör olup ölçülmesi zor bir parametredir. Bu analizlerde kullanılan permeabilite değerleri, Büyükkumla Barajı Doğal Yapı Gereçleri Raporundan ve Slurry Trench Raporundan alınmıştır.

Çizelge 4.1. Modellemede kullanılan malzemelerin permeabilite değerleri

Malzeme	k (m ³ /sn)
Kaya Dolgu	1x10 ⁻⁴
Filtre Malzemesi	1x10 ⁻³
Kil	6x10 ⁻⁸
Alüvyon	1x10 ⁻³
Ana Kaya	1x10 ⁻⁶
Bulamaç Hendeği	1x10 ⁻⁹

Çizelge 4.2’de ise zeminlerin permeabilite değerlerine göre malzemelerin kullanım alanları ve drenaj özellikleri gösterilmiştir. Modellemede kullanılan malzemeler için; filtre ve kaya malzemesinin iyi drenaj özelliğinde olduğu, kil malzemesinin ise geçirimsiz malzeme sınıfında kaldığı görülmektedir.

Çizelge 4.2. Zeminlerin permeabilite değerleri (Çilingir 2007)

	10 ²	10	10 ⁰	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹
Drenaj Özellikleri				İyi Drenaj				Zayıf Drenaj			Geçirimsiz	
Toprak Baraj Ve Seddelerde Kullanılma Yeri	Toprak Baraj Ve Seddelerin Geçirimli Kısımlarında						Toprak Baraj Ve Seddelerin Geçirimsiz Kısımlarında					
Zemin Cinsi	Temiz Çakıl				Temiz Kum, Temiz Kum Ve Çakıl Karışımı		Çok İnce Kum, Organik Ve İnorganik Silt, Kum, Silt Kil Karışımı			Geçirimsiz Topraklar Tahallül Etmiş Kısımlar Altındaki Homojon Killer		

4.2 Seep/w Sızma Analizleri

Sızmaya ilişkin geçerli diferansiyel denklemleri çözmek için sonlu elemanlar yaklaşımını yapabildiğimiz Seep/w yazılımı kullanılmıştır. Seep/w, gözenekli zeminlerde sızma problemlerini gidermek için kullanılan Geo-Slope yazılımının bir alt programıdır (Ashad ve Babar 2014).

Seep/w Programı, iki boyutlu sızma için;

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial H}{\partial y} \right) + Q = \frac{\partial \Phi}{\partial t} \quad (4.2)$$

formülüne göre hesaplamaları yapar. Formülde,

H: Hidrolik düşü

k_x ve k_y : sırasıyla x ve y yönlerinde hidrolik iletkenlik

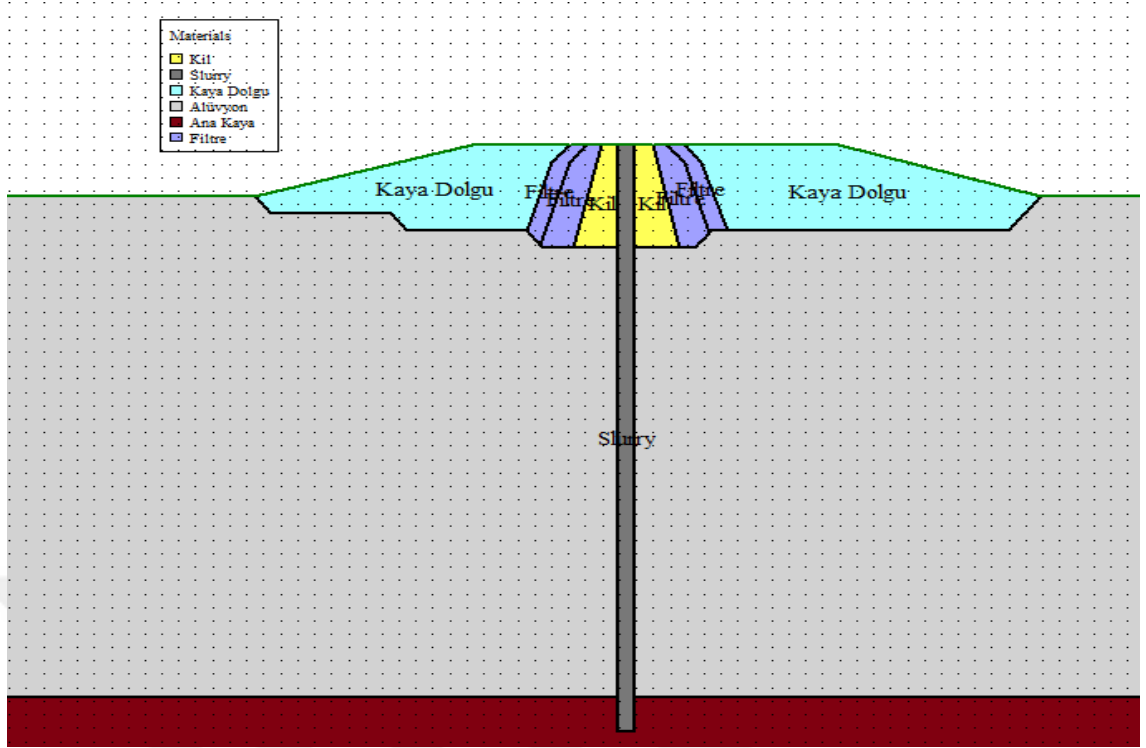
Q: Su miktarı

t: Zaman

Φ : Hacimsel su içeriği' ni vermektedir.

Bu denklem, x ve y yönünde uygulanan akımın zamana bağlı olarak hacimsel su içeriğine eşit olduğunu gösterir. Kararlı durum koşullarında, sisteme giren ve çıkan akış her zaman eşittir (Geo-Studio 2012).

Seep/w programı ile yapılan memba batardosuna ait modelleme Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Seep/w sonlu elemanlar yazılımı ile memba batardosu ve slurry trench en kesit modellemesi

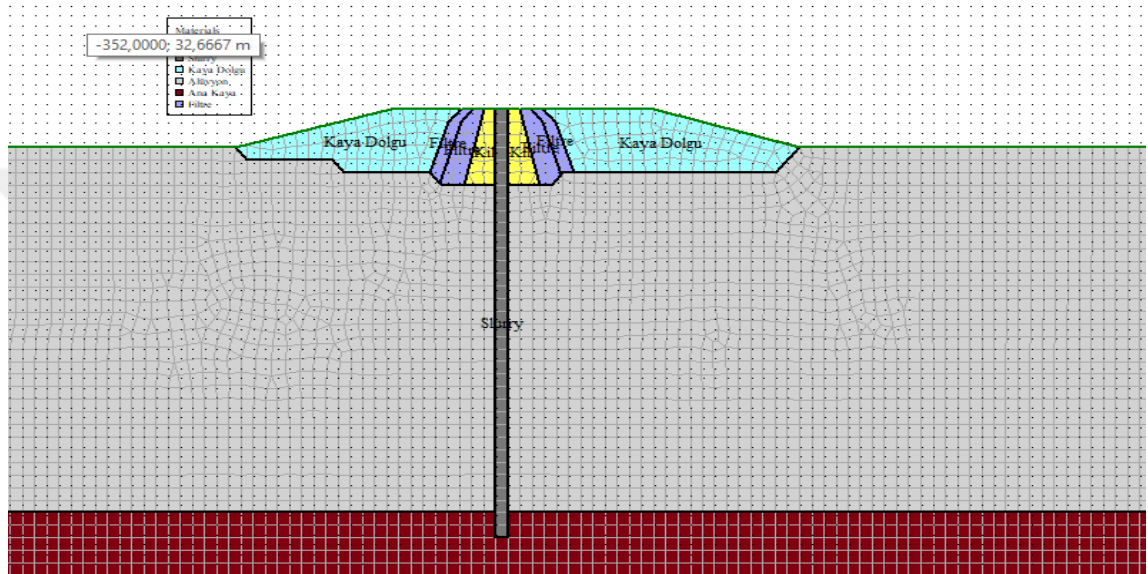
Modelleme yapıldıktan sonra sonlu eleman ağı (mesh) boyutları belirlenmiştir. Mesh boyutunun 5mx5m' den 1mx1m olarak değiştirildiğinde; sızmanın azaldığı ancak freatik hattın değişmediği Kula (2016)' nın çalışmasında bildirilmiştir. Bu nedenle, çözüm için en uygun değer 1mx1m olacağına karar verilmiştir. Program genel olarak karesel ağlar oluştursa da belirli bölgelerde üçgensel ağlar kullanmıştır. Modelleme Şekil 4.2' de gösterilmiştir. Kullanılan mesh boyutlarına göre 77 024 adet düğüm noktası ve 76 380 eleman oluşturulmuştur.

Modelde sınır koşulları toplam su yükseklikleri kullanılarak tanımlanmıştır. Sabit durum analizinde sınır koşulları olarak memba ve mansapta arazide ölçülen yer altı su seviyeleri girilmiştir. Bu su seviye değerleri, membada 23 m, mansapta ise 8 m'dir.

Dolgu içerisinde sızmadan kaynaklı akım ağları bulunmaktadır. Akım ağlarında bir üst yüzey vardır. Üst sınırı oluşturan akım çizgisine freatik hat denir. Freatik hat boyunca su basıncı atmosferik olduğu için bu yüzeye serbest su yüzeyi de denir. (Çilingir 2007). Dolgu gövdesindeki sızmalarda freatik hattın mansap şevini kestiği nokta ve sızma

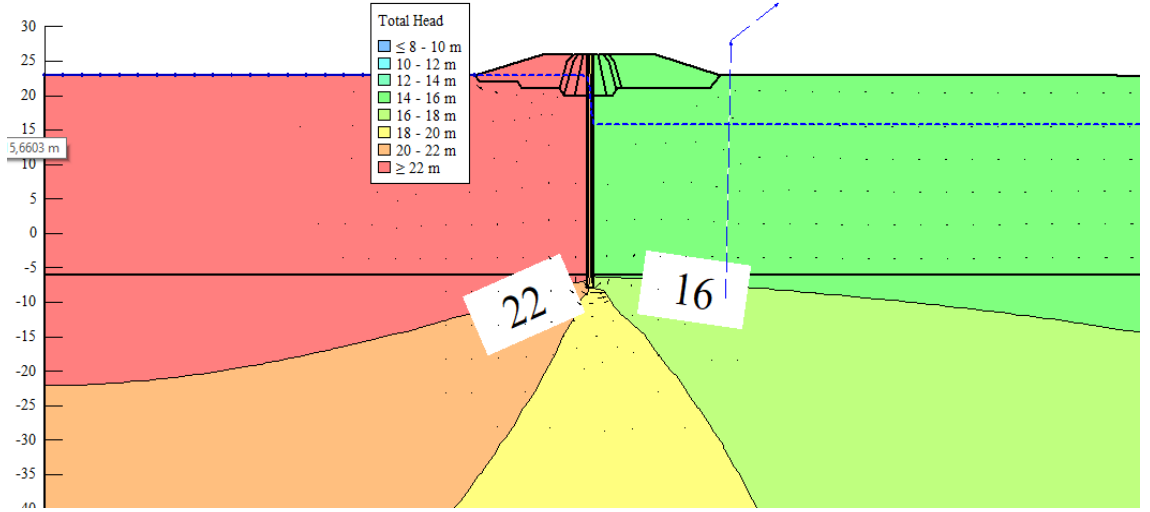
miktarlarının belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Freatik hat dolgu seviini ne kadar üst kotlarda keserse şevin göçme riski o derece artar (Çilingir 2007).

Yapılan sızma hesaplamaları sonucunda, sızma miktarı kabul edilebilir değerin üzerine ve gövdeye zarar verebilecek düzeydeyse, filtre malzemeler ile suya yön verilir ve freatik hattın yapıya zarar vermesi engellenir. Bu sayede mansap şevindeki kaymalar engellenerek baraj güvenliği sağlanmış olur (Sağlıca 2013)



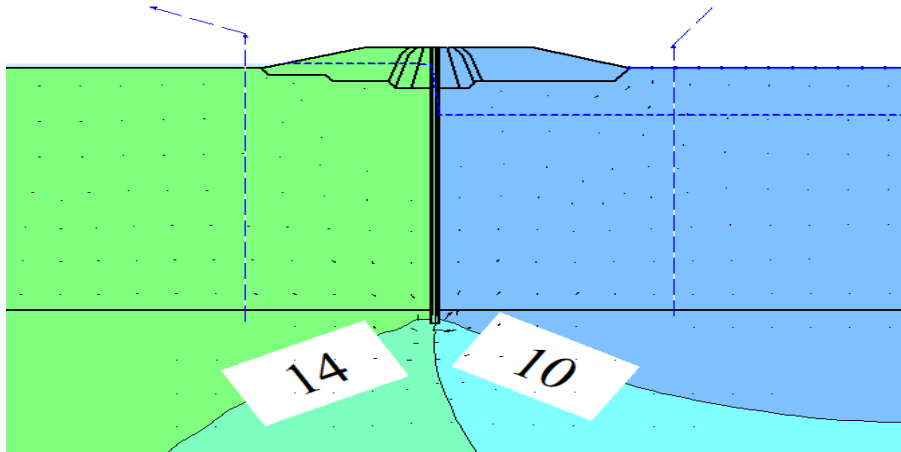
Şekil 4.2. Seep/w sonlu elemanlar yazılımı ile memba batardosu ve slurry trench sonlu eleman ağı modellemesi (1mx1m)

Modelleme yapıldıktan sonra sızma analizi yapılarak eş potansiyel eğrileri, sızan toplam debi ve toplam yükler elde edilmiştir. Arazi ölçümleri ise memba batardosunun membasında ve mansabında 25 m derinliğinde açılan dört adet kontrol kuyuları yardımı ile yapılmıştır. Şekil 4.3' te görüldüğü üzere memba batardosunun membasında toplam yük 22 m'dir. Memba batardosunun analiz sonuçlarının arazi ölçümleri ile uyumlu olduğu görülmüştür. Memba batardosunun mansabında ise toplam yük 16 m' de kalmakta ve su vektörleri bulamaç hendeğinden sonra azalmaktadır. Bu kısımda açılan kontrol kuyularından alınan ölçümlere göre toplam yükün 13 m olduğu ve programın güvenli tarafta kaldığı tespit edilmiştir.



Şekil 4.3. Seep/w sonlu elemanlar yazılımı ile sızma analizi sonucu memba batardosunda toplam yükler ve freatik hat

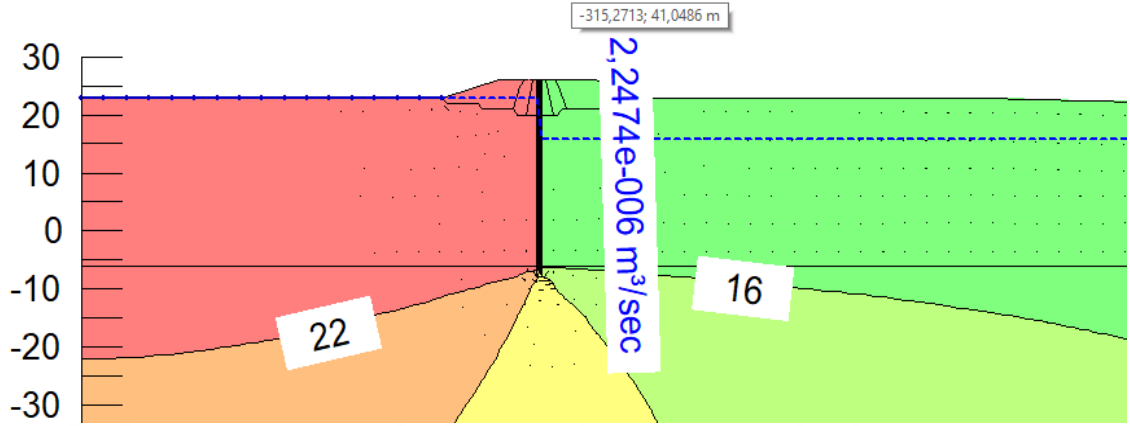
Şekil 4.4'te mansap batardosunun sızma analizi sonuçları görülmektedir. Arazi ölçümleri ise mansap batardosunun membasında ve mansabında 30 m derinliğinde açılan dört adet kontrol kuyuları yardımı ile yapılmıştır. Mansap batardosunun membasında toplam yük 10 m'dir. Arazide sondaj kuyularından alınan ölçümlerin de ortalama 10 m olduğu görülmüştür. Mansap batardosunun mansabında ise toplam yük 14 m' de kalmaktadır. Arazide ise bu sonuçların kontrol kuyularında ortalama 8 m olduğu görülmüştür.



Şekil 4.4. Seep/w sonlu elemanlar yazılımı ile sızma analizi sonucu mansap batardosunda toplam yükler ve freatik hat

Şekil 4.5' te memba batardosu için sızma debileri gösterilmiştir. Memba batardosu için hız vektörlerinin ana kayada azaldığı ve ana kayadaki sızma debisinin $2,24 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{sn}$

olduğu görülmüştür. Ana kayaya 2,00 m soketlenen slurry trench sızmayı azaltarak suyun yükselmesini engellemiştir.

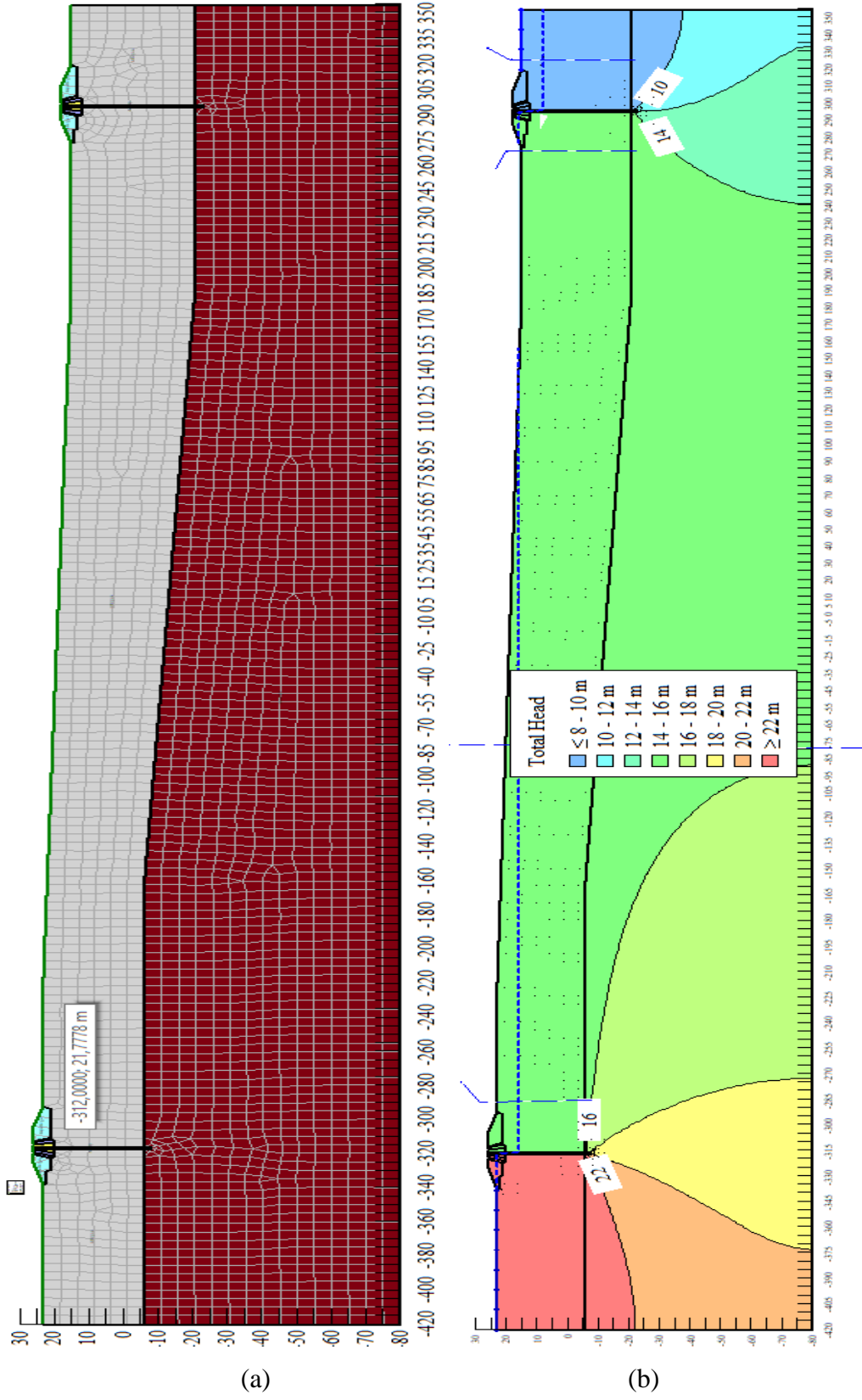


Şekil 4.5. Seep/w sonlu elemanlar analizi ile memba batardosu sızma değerleri

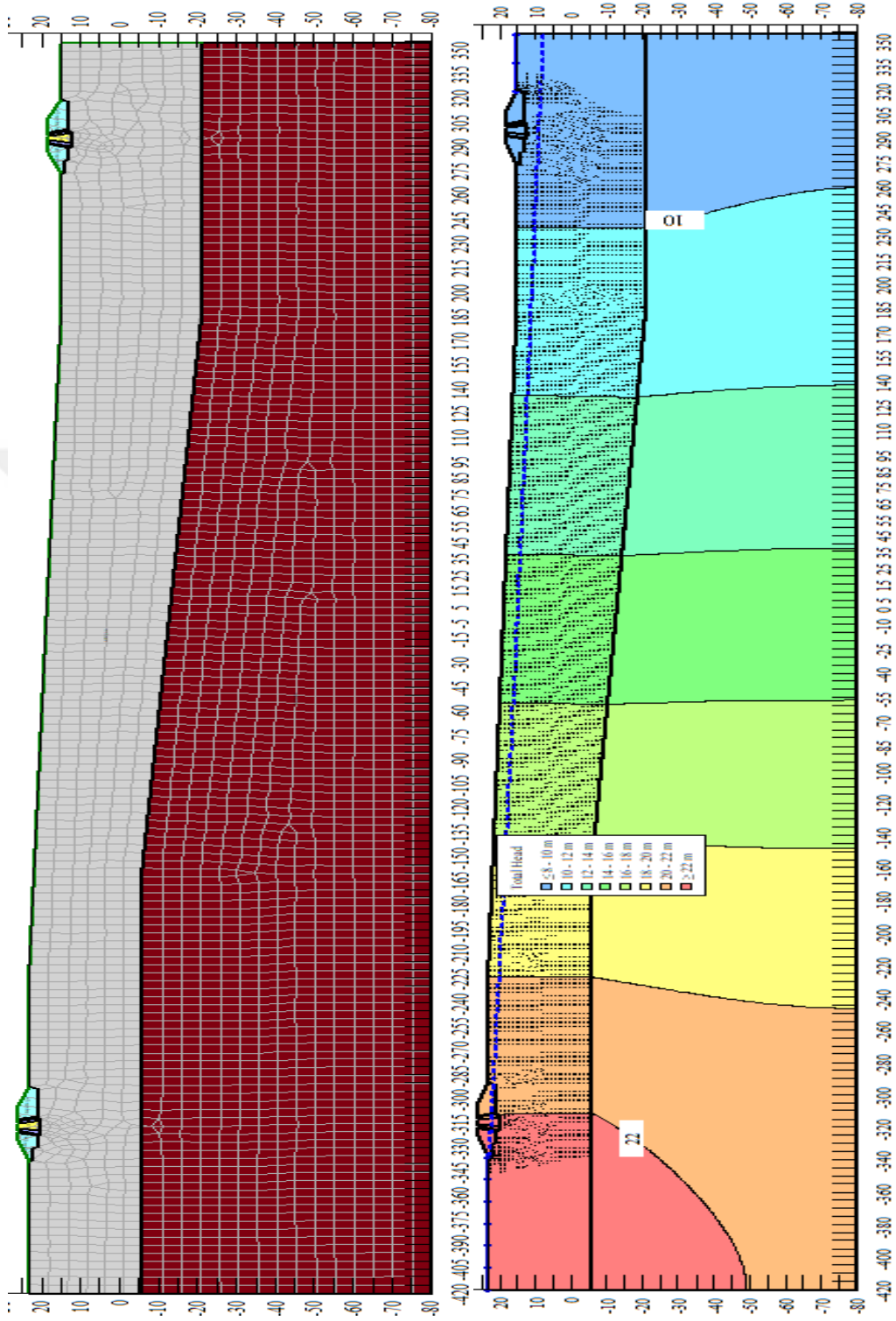
Şekil 4.6 (a)' da memba ve mansap batardosu gerçek zemin koşullarına uygun olarak birlikte gösterilmiştir. Modelleme, baraj temel kazısı yapılmadan öncesini yansıtmaktadır.

Şekil 4.6 (b)' deki kırmızı bölge su hareketinin yoğun olduğu kısımdır. Su vektörleri boyutlarının bu kısımda büyük olması su hareketinin fazla olduğu anlamına gelir. Vektörler mavi bölgede küçülerek sızmanın azaldığını gösterir. Ayrıca mavi kısım sızma yönünden güvenli bölgedir. Su vektörleri geçirimsizlik perdesinden sonra azalmaktadır. Şekilde freatik hat mavi kesik çizgi ile gösterilmiştir. Freatik hat, kil dolgu ve geçirimsizlik perdesi içerisinde azalarak ana kaya içerisinde kalmıştır. Bu durum geçirimsizlik perdesinin geçirimsizliğini ispat etmektedir. geçirimsizlik perdesi uygulaması sayesinde su seviyesi düşürülmüş ve sızma kontrol altına alınmıştır.

Bulamaç hendeğinin etkisini görmek amacıyla, memba ve mansap batardoları bulamaç hendeği olmadan modellenmiştir. Oluşturulan model Şekil 4.7'de analiz sonucu ile birlikte verilmiştir. Analiz sonuçlarına göre bulamaç hendeği yapılmaması durumunda memba batardosunda toplam yükün 22 m olduğu, mansap batardosunda ise 10 m olduğu görülmüştür. Memba ve mansap batardosunda kil malzemesinden kaynaklı olarak toplam yükün çok az düştüğü söylenebilir. Bulamaç hendeği olması durumunda ise toplam yük farkının daha belirgin olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.6.a-b).



Şekil 4.6. Seep/w ile zemine ait (a) genel modelleme ve (b) analiz sonuçları



Şekil 4.7. Seep/w sonlu elemanlar yazılımı ile memba ve mansap batardoları modellemesi

4.3. Midas Gts Nx Sızma Analizleri

Sızıntı güvenlik faktörlerinde belirleyici rol oynar. Bu sebeple modellemede zemin profili jeolojik kesite uygun olarak ele alınmıştır. Büyükkumla Barajı memba ve mansap modellemesi geoteknik mühendisliği problemlerini çözmek için özel olarak kullanılan Midas Gts Nx ile gerçekleştirilmiştir. Midas Gts Nx, yazılımı geometrik modelleri oluşturmayı, aynı zamanda sonlu elemanlar yöntemi ile hızlı analiz yapabilmeyi sağlamaktadır (MIDAS GTS Tutorial Manual 2009).

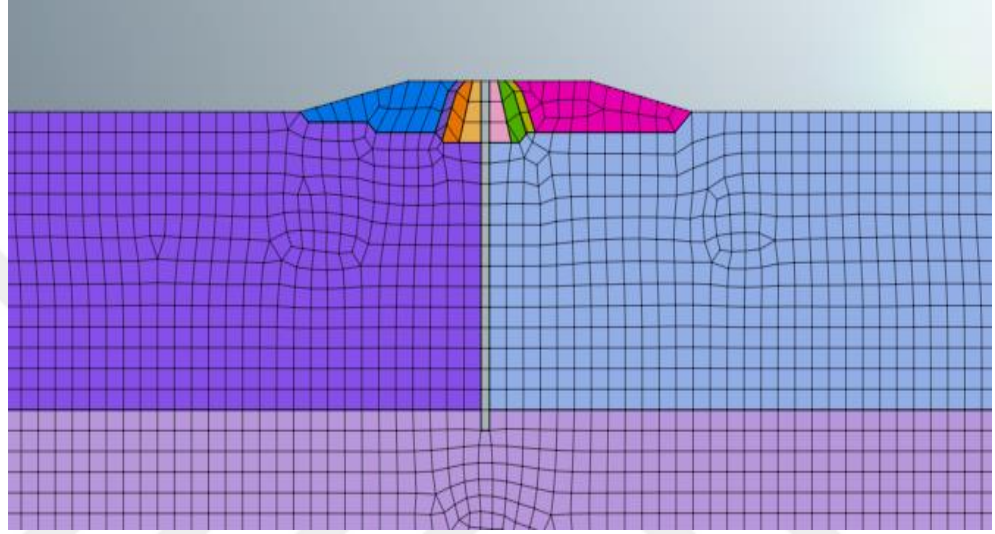
Sızma için yapılan modellemelerde kohezyon, sürtünme açısı gibi dayanım parametreleri pratik nedenlerle göz ardı edilir. Sızma modellemelerinde en kritik parametre permeabilite değeridir (Nam ve ark. 2014). Permeabilite için Seep/w analizlerinde de kullanılan Çizelge 4.1'deki değerler kullanılmıştır. Zeminin x ve y boyutlarındaki permeabilite değerlerinin değişmediği yani izotropik bir malzeme olduğu kabul edilmiştir. Yazılım, Seep/w sonlu elemanlar yazılımında olduğu gibi Darcy Kanunlarına göre sızma analizi yapmaktadır.

Modellemede kararlı hal (Steady State) analizi yapılmıştır. Sınır koşulları Seep/w yazılımında olduğu gibi toplam su yükseklikleri kullanılarak belirlenmiştir.

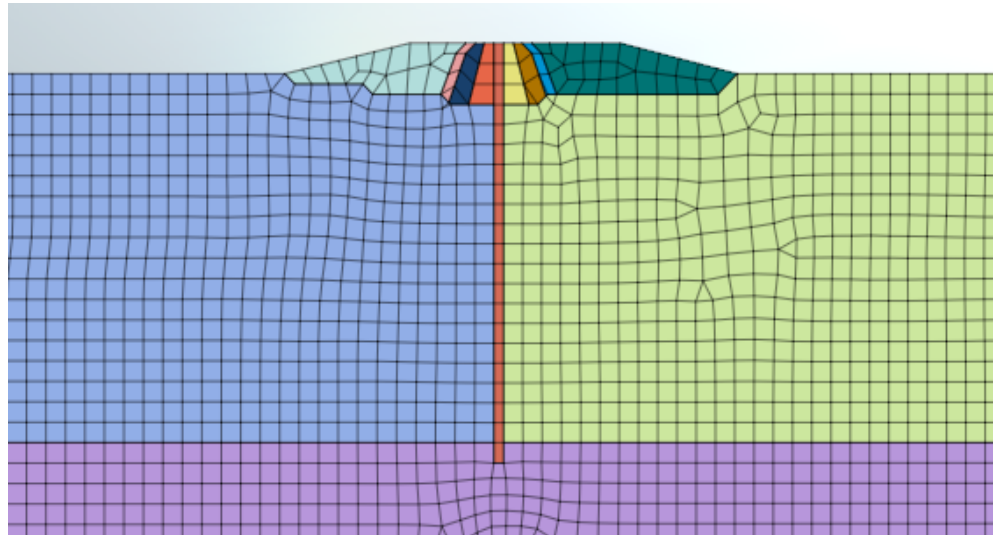
Memba ve mansap batardoları gerçek inşaat koşullarına göre modellenmiştir. Dolguda kullanılan malzemeler için Mohr-Coulomb, slurry trench için ise elastik malzeme modellemesi kullanılmıştır. Zeminlerin elasto-plastik davranışını temsil eden ilk malzeme modeli olan Mohr-Coulomb malzeme modeli en sık kullanılan malzeme modelidir. Slurry trench için seçilen elastik model de yapısal eleman davranışını en iyi şekilde yansıtan modellerden biridir.

Modelleme de üçgen ve kare ağlar birlikte kullanılmıştır. Midas Gts Nx programında iki çeşit eleman ağını birlikte kullanmak mümkündür, böylece düzensiz bölgelerde ağ oluşumu kolaylaşır. Bu modellemede, 1mx1m ağ boyutu seçilmiştir. Kullanılan mesh boyutlarına göre 19 756 adet düğüm noktası ve 19 625 eleman oluşturulmuştur.

Yazılımda üç boyutlu çalışmakta mümkündür. Ancak, baraj, batardo gibi düzlemsel deformasyona maruz kalan yapılarda iki boyutlu modelleme gerçekçi sonuçlar elde etmek için yeterli olmaktadır. Midas Gts Nx yazılımı yardımı ile oluşturulan iki boyutlu memba batardosu modelli Şekil 4.8’ de gösterilmiştir. Şekilde gösterilen model simetrik bir modeldir. Fakat, aynı malzeme kullanılsa bile program oluşturulan her bir alan için farklı bir renk atamaktadır.



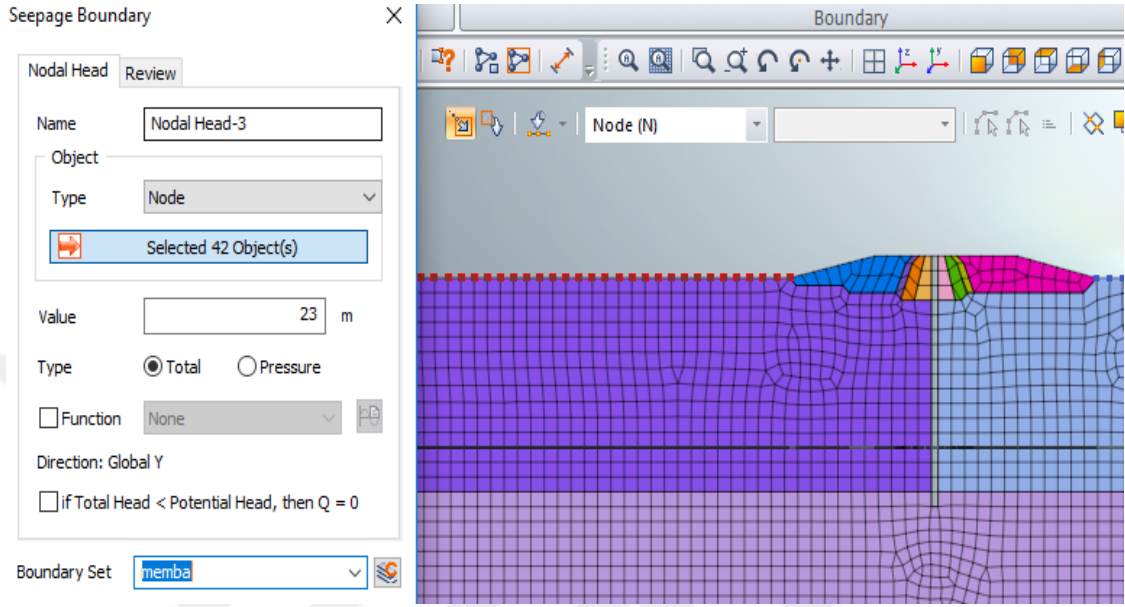
(a)



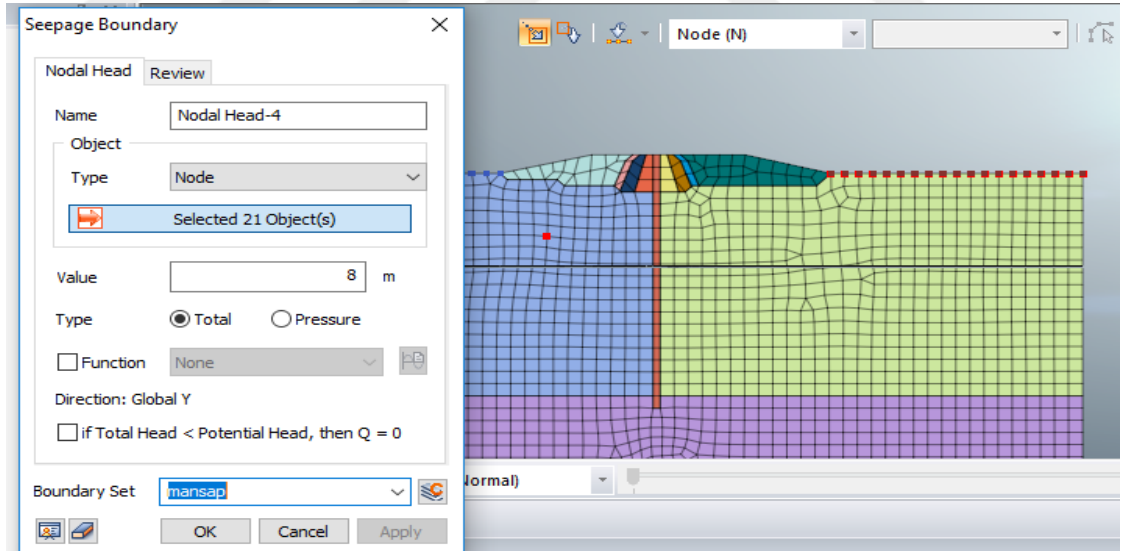
(b)

Şekil 4.8. Midas Gts Nx sonlu elemanlar yazılımı ile (a) memba batardosu (b) mansap batardosu modellenmesi

Şekil 4.9.(a) ve (b)'de su yüksekliklerinin tanımlanması gösterilmiştir. Yer altı suyu memba tarafında 23 m' de, mansap tarafında ise 8 m' de etki etmektedir. Sınır şartı olarak bu su yükseklikleri tanımlanmıştır.



(a)



(b)

Şekil 4.9. Midas Gts Nx sonlu elemanlar yazılımı ile (a) memba batardosu (b) mansap batardosu yer altı suyu tanımlanması

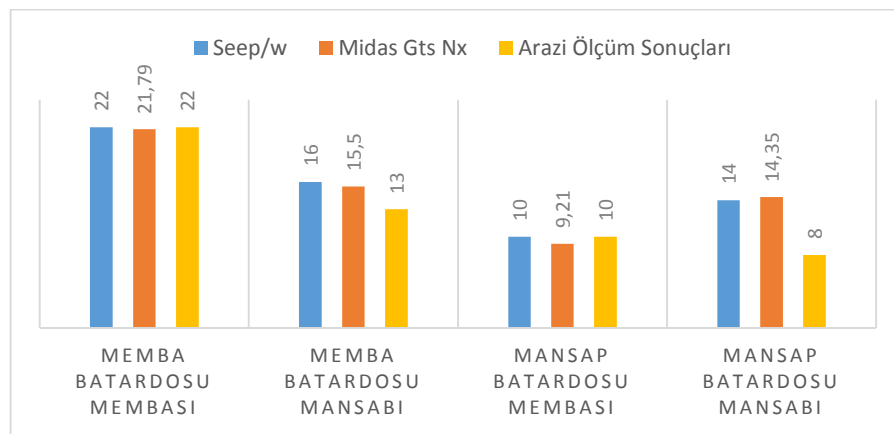
Modelleme ve sınır şartları programa girildikten sonra analiz yapılmıştır. Analiz sonuç değerleri ve akım ağları Şekil 4.11’de gösterilmiştir. Şekil 4.11. (a) ‘da memba ve mansap batardoları için toplam yükler, Şekil 4.11. (b) de ise akım ağları verilmiştir.

Analiz sonrası, Midas Gts Nx sonlu elemanlar yazılımı ile Seep/w sonlu elemanlar yazılımlarından elde edilen memba ve mansap toplam yükler karşılaştırılmıştır. İki programa ait sonuçlar ve arazi ölçüm sonuçları Çizelge 4.3 ve Şekil 4.10’da özetlenmiştir. Karşılaştırma sonucunda her iki yazılımda birbirine uyumlu değerler hesaplanmıştır.

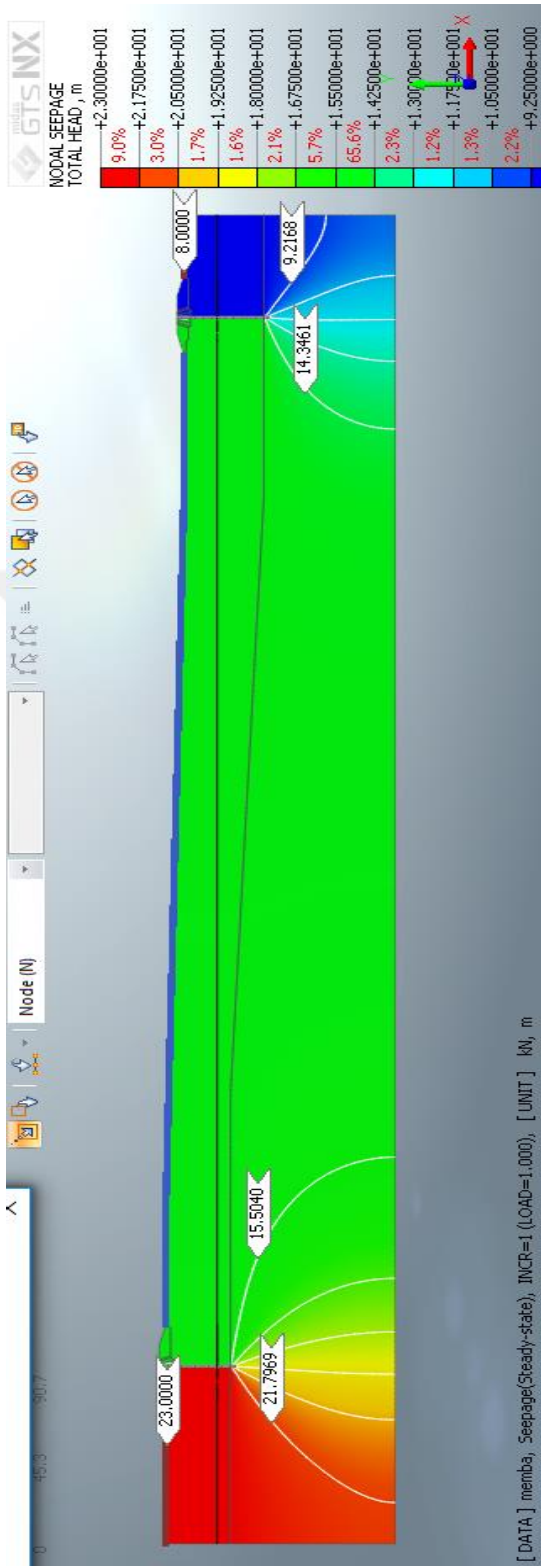
İki analiz sonucunda da memba batardosunun ve mansap batardosunun membalarından elde edilen toplam yükler arazi ölçüm sonuçlarına yakın değerler vermiştir. Ancak batardoların mansaplarından alınan ölçümler analiz sonuçlarına göre daha düşük kalmıştır. Bu durumda programların güvenli tarafta kaldığı söylenebilir. Ayrıca mansap batardosunda analiz ve arazi ölçüm sonuçlarının arasındaki farkın yüksek olmasının sebebinin arazideki ölçümlerin sağlıklı olmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çizelge 4.3. Analizler ve arazi ölçümleri sonucu elde edilen toplam yükler

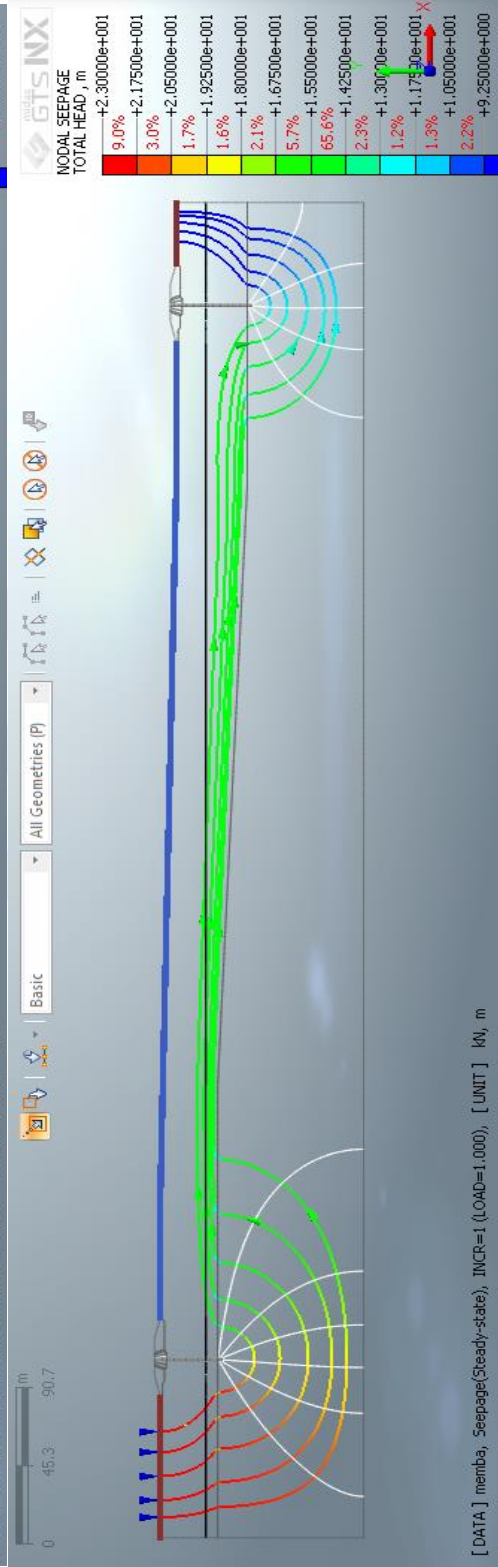
	Seep/w	Midas Gts Nx	Arazi Ölçüm Sonuçları
MEMBA	22 m	21,79 m	22 m
	16 m	15,50 m	13 m
MANSAP	10 m	9,21 m	10 m
	14 m	14,35 m	8 m



Şekil 4.10. Analizler ve arazi ölçümleri sonucu elde edilen toplam yüklerle ait karşılaştırma



(a)



(b)

Şekil 4.11. Midas Gts Nx sonlu elemanlar yazılımı ile hesaplanan (a) toplam yükler ve (b) akım ağları

5. SONUÇ

Bu çalışmada, temelden yüksekliği 81 m olan ön yüzü beton kaplı kaya dolgu tipindeki Büyükkumla Barajı inşasından bahsedilmiş ve gövde tasarımı kısaca değerlendirmeye tabi tutulmuştur. Ayrıca Büyükkumla Barajı'nın gövde kazıları esnasında ve içme suyu amaçlı yapılan barajın kullanımı sırasında, yer altı suyunun ve deniz suyu etkisinin kontrol altına alınması için, memba ve mansap batardosu altında yapılan bulamaç hendeği uygulamalarından bahsedilmiştir.

Baraj gövde kazıları deniz seviyesinin altında gerçekleştiği için yer altı suyu ve deniz suyu kazı alanında problem haline gelmiştir. Memba ve mansap batardoları altına bulamaç hendeği yapılarak suyun kazı alanına sızması azaltılmıştır. Mansap batardosu altında bulunan bulamaç hendeği memba tarafındakinden daha uzun inşa edilmiştir. Bunun sebebi ise deniz suyu etkisinin baraj çalışma sahasına kadar ulaşmasıdır. Bulamaç hendeği yapımında özel kazı ekipmanları ve çeşitli malzemeler kullanılır. Bu sebeple şantiye alanında bu uygulamaya özel tesisler kurulmak zorundadır. Slurry trench kazı çalışmalarından sonra sodyum bentonit ile kazı desteklemeleri yapılır ve hendek geri dolgu ile doldurularak uygulama tamamlanır.

Bulamaç hendeği uygulamasına istinaden sonlu elemanlar yöntemiyle memba ve mansap batardosu modellemesi ve sızma analizleri yapılmıştır. Analizler Seep/w ve Midas Gts Nx sonlu elemanlar yazılımları ile gerçekleştirilmiştir.

Seep/w analizlerinde Van Genuchten tahmini metodu kullanılmıştır. Midas Gts Nx programında ise malzeme modeli olarak Elastik ve Mohr Coulomb kullanılmıştır. Malzemeler çözüm kolaylığı sağlaması açısından izotropik kabul edilmiştir.

Seep/w ve Midas Gts Nx programlarında 1mx1m mesh boyutları kullanılmıştır. Daha gerçekçi sonuçlar verdiği için, sonlu eleman ağı boyutlarının 1mx1m seçilmesine karar verilmiştir. Her iki yazılımda da üçgen elemanlar ve karesel elemanlar birlikte kullanılmıştır.

Modellemeler, gövde kazılarına başlanılmadan önceki zemin şartları göz önünde bulundurularak hazırlanmıştır. Seep/w sonlu elemanlar yazılımı ile yapılan sızma analizi

sonuçları Midas Gts Nx sonlu elemanlar yazılımı ile yapılan sızma analizi sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Her iki yazılımda da benzer sonuçlar elde edildiği görülmüştür

Modellemeler sonucu elde edilen toplam yükler arazi ölçüm değerleri ile de karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma kapsamında arazide yapılan sondaj kuyuları ve kontrol kuyuları ölçüm sonuçları kullanılmıştır. Arazide alınan ölçümler ile analiz sonuçlarının her iki batardonun da memba tarafında yakın değerler verdiği görülmüştür. Sonuçların, Muratlı Barajı'nda çıkan sonuçlar gibi gerçek ölçümlerle yakın olduğu tespit edilmiştir (Ünsever 2007).

Batardoların mansap taraflarında ise analizden elde edilen değerlerin gerçek değerlerden yüksek çıktığı ve programların güvenli tarafta kaldığı tespit edilmiştir. İkizdere barajı'nda yapılan analizlerde de sızmaların gerçek değerlerden yüksek çıktığı ve programın güvenli tarafta kaldığı gözlemlenmiştir (Çelik 2014).

Gerçek sızma değerleri ölçülmediği için sızma değerleri karşılaştırılamamıştır.

Sonuç olarak sızma analizlerinde kullanılan Seep/w ve Midas Gts Nx programlarının sızma hesaplarında oldukça fayda sağladığı, çalışmalarını hızlandırdığı ve sızma davranışını doğru bir şekilde tespit edebildiği gözlemlenmiştir. İleriki çalışmalarda, toplam yükün değişimin etkisini gözlemek amacı ile geçici durum analizleri ve gövde dolgusu tamamlandıktan sonraki davranışı incelemek için gövde altı sızma analizleri yapılabilir.

KAYNAKLAR

- Alp, Ö. K., Büyükçoban, H., Pelen, G. M. 2014.** Bulamaç Hendeği Yöntemi ile Geçirimsizlik Perdesi İmalatı, Aslancık Barajı ve HES Örneği. 2. Barajlar Kongresi, 13-15 Şubat, İstanbul, 7-11.
- Altun, S., Göktepe, A.B. ve Eriş, E. 2004.** Önyüzü Beton Kaplamalı Kaya Dolgu Barajlar ve Dinamik Etkiler Altındaki Davranışları.
- Ariyama, M., Naito, T., Ohya, H., Arai, M. 1994.** Trust Method–Thin Slurry Walls., Automation and Robotics in Construction Xi. Elsevier, 1994. 199-206.
- Arshad, I., & Babar, M. M. 2014.** Comparison of SEEP/W Simulations with Field Observations for Seepage Analysis through an Earthen Dam (Case Study: Hub Dam-Pakistan). *Published in International Journal of Research*, 8(1): 619-634.
- Askeroğlu, M.H. 2012.** Önyüzü Beton Kaplı Barajların Türkiye Pratiğinden Örnekler, 1. Barajlar Kongresi, 11-12 Ekim 2012, Ankara.
- Askeroğlu, M.H. 2017.** Ön Yüzü Beton Kaplı Barajlar, ÖYBK&SSB Çalıştayı, 30 Ekim-3 Kasım 2017, Antalya.
- Boyes, R. G. H. 1975.** Structural and cut-off diaphragm walls.
- Clayton 1992.** Retaining Structures. ss 373-378. Jolivet, P., Thomas Telford Publishing, London, 803s.
- Cooke, J.B. and Sherard, J.L. 1987.** Concrete-Faced Rockfill Dam: I, *Journal of Geotechnical Engineering*, 113 (10): 1096-1112.
- Coyne ve Bellier Mühendislik Müşavirlik Ltd. Şti. 2011.** Büyükkumla Barajı Bulamaç Hendeği Geçirimsizlik Perdesi İnşaatı Özel Teknik Şartnamesi, Ankara
- Çelik, B. 2014.** Aydın İkizdere Barajı Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Sızma Analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim dalı, Ankara.
- Çilingir, H. 2017.** Toprak Dolgu Barajların Gövdelerindeki Sızmaların Sonlu Elemanlar Yöntemi ile İncelenmesi: Büyükçekmece Barajı Uygulaması. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim dalı, İstanbul.
- Dalkır, Ö. 2017.** Ön Yüzü Beton Kaplı Dolgu Barajlar, ÖYBK&SSB Çalıştayı, 30 Ekim-3 Kasım 2017, Antalya.
- DSİ 2014.** Dolgu Barajlar Tasarım Rehberi, Rehber No:003, 1.Barajlar Kongresi, Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Emiroğlu, M.E. 1998.** Ön Yüzü Beton Kaplı Kaya Dolgu Barajların Avantajları ve İnşasındaki Son Gelişmeler, Türkiye Mühendislik Haberleri, *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası*, 43(393): 47-56.
- Ergeneman, I. 2012.** Ön Yüzü Beton Kaplı Barajlar, 1.Barajlar Kongresi, 11-12 Ekim 2012, Ankara.
- Eynur, Z. 2004.** Baraj Altındaki Sızmaların Analiz ve Kontrolü: Sazlıdere Barajı Uygulaması. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim dalı, İstanbul.
- Freitas, M.S. 2005.** Deformations and Cracking in Concrete Face Rockfill Dams, Proceedings of Symposium on 20 Years for Chinese CFRD Construction, English Part, 169-176.
- Fitzpatrick, M., Cole, B.A., Kinstler, F.L. and Knoop, B.P. 1985.** Design of concrete faced rockfill dams, Concrete face rockfill dams-design,construction and performance, J.B Cooke and J.L Sherard (Eds), ASCE, 896, 410-434 p.

- Gan J.K., Mc Donald L. A. 1999.** Mardi Dam A Case Study on Permeable Structures. Dam Foundations Problems and Solutions, 67. Annual Meeting of International Commission on Large Dams (ICOLD), September, Antalya.
- Geo-studio 2012.** Stability and Seepage Modeling.Users Guide July Edition, Geo Slope International Ltd., Canada.
- Hasani, H., Mamizadeh, J., & Karimi, H. 2013.** Stability of slope and seepage analysis in earth fills dams using numerical models (Case Study: Ilam Dam-Iran). *World Applied Sciences Journal*, 21(9):1398-1402.
- ICOLD 1985.** Filling Materials for Watertight Cutoff Walls, International Commission on Large dams, Bulletin 51.
- ICOLD 1994.** Use of granular Filters and Drains in Embankment Dams, International Commission on Large Dams, Bulletin 95.
- İspir, M. E. 2014.** Slurry Trench Bulamaç Hendekleri ile Geçirimsizlik Perdesi İmalatı, Jeoteknik Seminer ve Uygulamalı Çalışmalar Çalıştayı, 10-14 Kasım 2014, İstanbul.
- Karaoğullarından, T., Özgüzel, N., Akçanbaş, N. 1977.** Alüvyonda Bulamaç Hendeği (Slurry Trench) Yöntemiyle Sızdırmazlık Perdesi Yapımı, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 1(3): 28-35
- Kartal, M. E. 2010.** Ön Yüzü Beton Kaplı Kaya Dolgu Barajların Güvenilirlik Analizi. *Doktora Tezi*, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim dalı, Trabzon.
- Kula, H. I. 2016.** Developing Smart Grauted Sand Columns for Real Time Monitoring of The Stability, Seepage and Rapid Drawdown in Earth Dams. *The Degree Master of Science in Civil Engineering*, University of Huston, Huston.
- Leps., Cashatt, C.A. and Janopaul, R.N. 1985.** New exchequer dam, California, design of concrete faced rockfill dams, Concrete face rockfill dams-design,construction and performance, J.B Cooke and J.L Sherard (Eds), ASCE, 361, 15-26 p.
- Mesci, S. B. 2006.** Dolgu Baraj Gövdelerindeki Sızmaların ve Freatik Hattın İncelenmesi: Seferhisar Barajı Uygulaması, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- MIDAS Gts Nx Tutorial Manual 2009.** MIDAS Information Tech. Co. Ltd.
- Mortazavi S. M., Soleimani S. 2015.** Leakage Analysis of Embankment Dams Using SEEP/W, 3D SEEP Software, *Appl. Environ. Biol. Sci.*, 5(10):122-128.
- Nam, S., Gutierrez, M. S., Diplas, P., & Petrie, J. 2014.** Sensitivity of transient seepage analysis to variation of the input parameters. *Geo-characterization and Modeling for Sustainability* pp. 4097-4104.
- Özkuzukıran, R. S. 2005.** Settlement Behaviour Of Concrete Faced Rockfill Dams: a Case Study, *Yüksek Lisans Tezi*, Ortadoğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.
- Püsküllüoğlu, A., Türkmen, S. 2012.** Ceyhan Hidroelektrik Santrali Projesi (Cevdetiye-Osmaniye) Regülatör Yapılarındaki Geçirimsizleştirme Yöntemleri, *Ç. Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 27(4):91-100.
- Rulon, J. J., Rodway, R., & Freeze, R. A. 1985.** The development of multiple seepage faces on layered slopes. *Water Resources Research*, 21(11):1625-1636.
- Sağlıca, O. 2013.** Dolgu Baraj Gövdelerinde Sızma Analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.
- Soleymani, S., Akhtarapur, A. 2011.** Seepage analysis for Shurijeh reservoir dam using finite element method, American Society of Civil Engineers, March 13-16, Dallas, Texas, 3227-3234.

Sonar Sondaj ve Jeolojik Araştırma Geoteknik Hizmetleri A. Ş. 2014. Büyükkumla Geçirimsizlik Perdesi Yapım Raporu, Ankara.

TS EN 1538. European Standard

United States Department of the Interior Bureau of Reclamation, 1977. Soils Engineering Branch, Division of Research, Denver.

US Bureau of Reclamation, 1987. Design of Small Dams.

US Bureau of Reclamation, 2014. Seepage Manueli

Ünsever, Y. S. 2007. An Analysis of Deformation Behavior of Muratlı Asphalt Faced Rockfill Dam, , *Yüksek Lisans Tezi*, Ortadoğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Ankara.

Yenigün K. ve Yüzcül, F. 2013. Baraj Güvenliği Açısından Tip Seçimi: ÖYBK Barajlarda Etken Faktörler ve Ilısu Barajı Örneği, Bursa Uluslararası Su Kongresi ve Sergisi, Bursa, 22-24.

Yenigün K. ve Yüzcül, F. 2014. Baraj Elemanlarının Tasarım ve Yapım Aşamasında Baraj Güvenliği Kıstasıyla İrdelenmesi; Ilısu Barajı Örneği, 4. Ulusal Baraj Güvenliği Sempozyumu, 9-11 Ekim, Elazığ.

EKLER

EK 1 Slurry Trench Karışım Oranlarına Ait Deney Sonuçları

EK 2 Slurry Trench Uygulamasına Ait Geçirimsizlik Kontrolü Deney Sonuçları





EK 1

Slurry Trench Karışım Oranlarına Ait Deney Sonuçları

Sayfa 8 / 17 Page		DSİ TAKK DAİRESİ BAŞKANLIĞI Beton Malzeme Laboratuvarı Şube Müdürlüğü Esenboğa Yolu, Çankırı Yol Ayrımı Altınova/ANKARA Tel : (312) 399 27 96 Fax: (312) 399 27 95 E-posta: takk@dsi.gov.tr Elektronik Ağ: www.dsi.gov.tr		AB-0010-T	
				14-0828/2-son	
				04-15	
Numune i Gönderen	: DSİ I. Bölge Müdürlüğü-Bursa	Numune Kabul Tarihi	: 12.11.2014		
Ait Olduğu Proje	: Bursa Gemlik Büyük Kumla Barajı	Deney Başlama Tarihi	: 13.11.2014		
Numune Tarihi	: Bir Sınıf Agregası Numunesi, Bir Tip Çimento (CEM I 42,5 R Bolu Çimento), Üç Farklı Bentonit (Karakaya Bentonit, AMCOL Bent Drill Sec.9, AMCOL Bent Drill Sec.10)	Deney Bitiş Tarihi	: 24.04.2015		
5.1. Plastik Beton (Slurry Trench) Karışım Tasarımı Geçirimsiz perde duvarı inşaatı işinde kullanılması düşünülen plastik beton karışım oranlarının belirlenmesi ve istenilen taze ve sertleşmiş beton özelliklerinin elde edilebilmesi amacıyla her bir bentonit tipi için farklı karışım tasarımları hazırlanmıştır. Bu tasarımlardan 7, 14, 28 günlük basınç dayanımı ve elastisite modülü deneyleri için, ayrıca 7, 14, 28 ve 40 günlük permeabilite deneyleri için (50x100) mm boyutlarında silindirik şekilli numuneler alınmıştır. Numuneler üzerinde, her bir bentonit tipi için gerçekleştirilen deney sonuçları bu raporda verilmiştir. Plastik beton karışım tasarımlarının yoğunlukları aşağıdaki çizelgeler içinde verilmekte olup yapılan çökme deneylerinde herhangi bir ayrışmaya rastlanmamıştır. Bentonit çamurunun yoğunluğu ortalama 1,04 g/cm ³ olarak tespit edilmiş ve viskozitesi ise 1 gün sonunda 4,75 mm çaplı marsh hunisinden akma süresi olarak ortalama 45 - 50 s ölçülmüştür. Plastik betonların taze haldeki slump hunisindeki yayılma değeri 45 – 55 cm arasında gerçekleşmiştir. Karışım oranları kütleli ve hacimsel (1 m ³ için karışım oranları) olarak iki şekilde verilmiştir. Plastik beton karışımlarında kullanılan ince agreganın rutubet değerleri düzenli olarak ölçülerek betonda gerekli rutubet düzeltmenin uygulanması ile imalatı gerçekleştirilmelidir.					
Deney Sorumlusu Hakan İbrahim SOYSAL Kimya Mühendisi		Onaylayan Aydın SAĞLIK Beton Malzeme Laboratuvarı Şube Müdürü			
Notlar 1) Deneyler, talep sahibi tarafından laboratuvarımıza teslim edilen deney numuneleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. 2) (*) işaretli olan deney/deneyler, akredite olunan deneyi/deneyleri göstermektedir. Ölçüm belirsizliği, deney süresindeki belirsizlikleri kapsamaktadır ve % 95 (k=2) güven aralığında hesaplanmıştır. 3) Bu rapor Lab.No : 14-0828/2-son sayılı on yazı ile bir bütündür. 4) Deney tekrarı istenmesi halinde laboratuvarımızda numune kalmamıştır. <input type="checkbox"/> Şahit numune 1 Ay süre sonunda imha edilecektir. <input checked="" type="checkbox"/>					
Bu rapor, laboratuvarın yazılı izni olmadan kısmen kopyalanıp çoğaltılamaz. Elektronik imzalı olanlar hariç, imzasız ve mührsüz raporlar geçersizdir. This report shall not be reproduced other than in full except with the permission of the laboratory. Unless electronically signed, testing reports without signature and seal are not valid.					

Sayfa 10 / 17 Page	DSİ TAKK DAİRESİ BAŞKANLIĞI Beton Malzeme Laboratuvarı Şube Müdürlüğü Esenboğa Yolu, Çankırı Yol Ayrımı Alınova/ANKARA Tel : (312) 399 27 96 Fax: (312) 399 27 95 E-posta: takk@dsi.gov.tr Elektronik Ağ:www.dsi.gov.tr		AB-0010-T
			14-0828/2- son
			04-15
Numune Gönderen	: DSİ 1. Bölge Müdürlüğü-Bursa	Numune Kabul Tarihi	: 12.11.2014
Ast Olduğu Proje	: Bursa Gemlik Büyük Kumla Barajı	Deney Başlama Tarihi	: 13.11.2014
Numune Tarihi	: Bir Sınıf Agregası Numunesi. Bir Tip Çimento (CEM I 42,5 R Bolu Çimento), Üç Farklı Bentonit (Karakaya Bentonit, AMCOL Bent Drill Sec.9, AMCOL Bent Drill Sec.10	Deney Bitiş Tarihi	: 24.04.2015

Çizelge 8 – Plastik beton tasarımı için KARAKAYA-PB-8 karışım oranları.

Malzeme	Karışım Oranları, kg	Yoğunluk, g/cm ³	Mutlak Hacim, dm ³	1 m ³ İçin Miktarlar, kg/m ³
Doğal İnce Agregası	800	2,68	298,51	687,0
Çimento	300	3,10	96,77	257,6
Bentonit	50	1,040	769,23	42,9
Su	750			644,0
Toplam	1900	1,63	1164,5	1631,6

Çizelge 9 – Plastik beton tasarımı için KARAKAYA-PB-9 karışım oranları.

Malzeme	Karışım Oranları, kg	Yoğunluk, g/cm ³	Mutlak Hacim, dm ³	1 m ³ İçin Miktarlar, kg/m ³
Doğal İnce Agregası	850	2,68	317,16	680,4
Çimento	350	3,10	112,90	280,2
Bentonit	50	1,038	819,23	40,0
Su	800			640,4
Toplam	2050	1,64	1249,3	1640,9

5.1.1 Karakaya Bentonit İle Yapılan Plastik Beton Karışım Tasarımı Deney Sonuçları

Plastik beton tasarımlarına ait tek eksenli basınç dayanımı ve elastisite modülü deney sonuçları Çizelge 10'da, Zemin Mekaniği Laboratuvarında yapılan permeabilite deney sonuçları Çizelge 11'de verilmiştir.

Deney Sorumlusu Hakan İbrahim SOYSAL Kimya Mühendisi	Onaylayan Aydın SAĞLIK Beton Malzeme Laboratuvarı Şube Müdürü
--	---

Notlar:

- 1) Deneyler, talep sahibi tarafından laboratuvarımıza teslim edilen deney numuneleri üzerinde gerçekleştirilmiştir.
- 2) (*) işaretli olan deney/deneyler, akredite olunan deneyi/deneyleri göstermektedir. Ölçüm belirsizliği, deney süresindeki belirsizlikleri kapsamaktadır ve % 95 (k=2) güven aralığında hesaplanmıştır.
- 3) Bu rapor Lab No: 14-0828/2-son sayılı ön yazı ile bir bütündür.
- 4) Deney tekrarı istenmesi halinde laboratuvarımızda numune kalmamıştır. Şahit numune 1 Ay süre sonunda imha edilecektir.

Bu rapor, laboratuvarın yazılı izni olmadan kısmen kopyalanıp çoğaltılamaz. Elektronik imzalı olanlar hariç, imzasız ve mührsüz raporlar geçersizdir.
This report shall not be reproduced other than in full except with the permission of the laboratory. Unless electronically signed, testing reports without signature and seal are not valid.

Sayfa 11 / 17 Page	DSİ TAKK DAİRESİ BAŞKANLIĞI Beton Malzeme Laboratuvarı Şube Müdürlüğü Esenboğa Yolu, Çankırı Yol Ayrımı Altınova/ANKARA Tel : (312) 399 27 96 Fax: (312) 399 27 95 E-posta: takk@dsi.gov.tr Elektronik Ağ: www.dsi.gov.tr		AB-0010-T
			14-0828/2-son
			04-15
Numuneyi Gönderen :	DSİ 1. Bölge Müdürlüğü-Bursa	Numune Kabul Tarihi :	12.11.2014
Ait Olduğu Proje :	Bursa Gemlik Büyük Kumla Barajı	Deney Başlama Tarihi :	13.11.2014
Numune Tanımı :	Bir Sınıf Agregası Numunesi, Bir Tip Çimento (CEM I 42,5 R Bolu Çimento), Üç Farklı Bentonit (Karakaya Bentonit, AMCOL Bent Drill Sec.9, AMCOL Bent Drill Sec.10	Deney Bitiş Tarihi :	24.04.2015

Çizelge 10 – Tek eksenli basınç dayanımı ve elastisite modülü deney sonuçları

Plastik Beton Karışım Kodu	7 Günlük Basınç Dayanımı kPa	7 Günlük Elastisite Modülü MPa	14 Günlük Basınç Dayanımı kPa	14 Günlük Elastisite Modülü MPa	28 Günlük Basınç Dayanımı kPa	28 Günlük Elastisite Modülü MPa
KARAKAYA-PB-4	570,3	233	431,1	355	288,5	256
KARAKAYA-PB-7	1070,1	157	955,1	190	453,2	448
KARAKAYA-PB-8	913,3	92	586,3	260	250,0	391
KARAKAYA-PB-9	406,9	497	661,8	456	1352,7	220

Çizelge 11 – Plastik beton karışımlarına ait permeabilite deney sonuçları.

Plastik Beton Karışım Kodu	Permabilite, cm/s			
	7 Günlük	14 Günlük	28 Günlük	40 Günlük
KARAKAYA-PB-4	$7,20 \times 10^{-6}$	$7,92 \times 10^{-6}$	$6,09 \times 10^{-6}$	$2,37 \times 10^{-6}$
KARAKAYA-PB-7	$1,03 \times 10^{-5}$	$3,92 \times 10^{-6}$	$3,60 \times 10^{-6}$	$4,43 \times 10^{-6}$
KARAKAYA-PB-8	$5,65 \times 10^{-6}$	$4,32 \times 10^{-6}$	$2,38 \times 10^{-6}$	$9,89 \times 10^{-7}$
KARAKAYA-PB-9	$2,28 \times 10^{-6}$	-	$1,85 \times 10^{-6}$	$2,28 \times 10^{-7}$

Deney Sorumlusu Hakan İbrahim SOYSAL Kimya Mühendisi	Onaylayan Aydın SAĞLIK Beton Malzeme Laboratuvarı Şube Müdürü
--	---

Notlar:

- Deneyler, talep sahibi tarafından laboratuvarımıza teslim edilen deney numuneleri üzerinde gerçekleştirilmiştir.
- (*) işaretli olan deney/deneyler, akredite olunan deneyi/deneyleri göstermektedir. Ölçüm belirsizliği, deney süresindeki belirsizlikleri kapsamaktadır ve %95 (k=2) güven aralığında hesaplanmıştır.
- Bu rapor Lab.No: 14-0828/2-son sayılı ön yazı ile bir bütündür.
- Deney tekrarı istenmesi halinde laboratuvarımızda numune kalmamıştır / Sahit numune 1 Ay süre sonunda imha edilecektir.

Bu rapor, laboratuvarın yazılı izni olmadan kısmen kopyalanıp çoğaltılamaz. Elektronik imzalı olanlar hariç, imzasız ve mühürsüz raporlar geçersizdir.
This report shall not be reproduced other than in full except with the permission of the laboratory. Unless electronically signed, testing reports without signature and seal are not valid.

Sayfa 17 / 17 Page	DSİ TAKK DAİRESİ BAŞKANLIĞI Beton Malzeme Laboratuvarı Şube Müdürlüğü Esenboğa Yolu, Çankırı Yol Ayrımı Altınova/ANKARA Tel : (312) 399 27 96 Fax: (312) 399 27 95 E-posta: takk@dsi.gov.tr Elektronik Ağ: www.dsi.gov.tr		AB-0010-T
			14-0828/2- son
			04-15
Numuneyi Gönderen	: DSİ I. Bölge Müdürlüğü-Bursa	Numune Kabul Tarihi	: 12.11.2014
Ait Olduğu Proje	: Bursa Gemlik Büyük Kumla Barajı	Deney Başlama Tarihi	: 13.11.2014
Numune Tanımı	: Bir Sınıf Agrega Numunesi, Bir Tip Çimento (CEM I 42,5 R Bolu Çimento), Üç Farklı Bentonit (Karakaya Bentonit, AMCOL Bent Drill Sec.9, AMCOL Bent Drill Sec.10	Deney Bitiş Tarihi	: 24.04.2015
6. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ			
<p>Bursa Gemlik Büyük Kumla Barajı İnşaatı işinde kullanılması planlanan plastik beton (Slurry Trench) karışım tasarımının belirlenmesine yönelik olarak Daire Başkanlığımız Beton Malzeme Laboratuvarı Şube Müdürlüğünde üç farklı bentonit tipi için farklı karışım tasarımları hazırlanmış olup deneylere ait sonuçlar bu rapor içerisinde verilmiştir.</p> <p>Bursa-Gemlik Projesi Büyük Kumla Barajı Bulamaç Hendeği Geçirimsizlik Perdesi İnşaatı Özel Teknik Şartnamesinde, hedef permeabilite değerinin 1×10^{-6} cm/saniye'den az olması, tek eksenli mukavemet deneyi sonuçlarının hiç birinin 100 kPa değerinin altında olmaması ve elastisite modülü değerinin ise alüvyonun elastisite modülüne uygun olması istenilmektedir. Karışım tasarımlarına ait elastisite modülü deney sonuçları rapor içerisinde verilmiştir. Özel teknik şartnamede verilen permeabilite ve basınç dayanımı kriter değerleri dikkate alındığında, tüm tasarımlar için 7,14 ve 28 günlük tek eksenli basınç dayanımı deney sonuçlarının 100 kPa değerinin üzerinde olduğu görülmektedir. 1×10^{-6} cm/saniye'den daha az olması istenilen permeabilite değerini ise 40 günlük deney sonuçları göz önüne alındığında Karakaya Bentonit ile hazırlanmış olan KARAKAYA-PB-9 ve AMCOL Bent Drill Sec.10 Bentonit ile hazırlanan SEC/10-PB-9 kodu ile verilen karışımların sağladığı görülmektedir.</p>			
Deney Sorumlusu Hakan İbrahim SOYSAL Kimya Mühendisi		Onaylayan Aydın SAĞLIK Beton Malzeme Laboratuvarı Şube Müdürü	
<p>Notlar:</p> <p>1) Deneyler, talep sahibi tarafından laboratuvarımıza teslim edilen deney numuneleri üzerinde gerçekleştirilmiştir.</p> <p>2) (*) işaretli olan deney/deneyler, akredite olunan deneyi/deneyleri göstermektedir. Ölçüm belirsizliği, deney süresindeki belirsizlikleri kapsamaktadır ve % 95 (k=2) güven aralığında hesaplanmıştır.</p> <p>3) Bu rapor Lab.No.: 14-0828/2-son sayılı ön yazı ile bir bütündür.</p> <p>4) Deney tekrarı istenmesi halinde laboratuvarımızda numune kalmamıştır. <input type="checkbox"/> Şahit numune 1 Ay süre sonunda imha edilecektir. <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>Bu rapor, laboratuvarın yazılı izni olmadan kısmen kopyalanıp çoğaltılamaz. Elektronik imzalı olanlar hariç, imzasız ve mühürsüz raporlar geçersizdir. <i>This report shall not be reproduced other than in full except with the permission of the laboratory. Unless electronically signed, testing reports without signature and seal are not valid.</i></p>			
F 0 16 00 06 Rev 03/ Eylül 2014			



EK 2
Slurry Trench Uygulamasına Ait Geçirimsizlik Kontrolü Deney Sonuçları

BÜYÜK KUMLA BARAJI MEMBA TARAFI SLURRY TRENCH GEÇİRİMLİLİK KONTROLÜ

K.K-4



K.K-2



SLURRY TRENCH

K.K-3



07.03.2016
Kamil KESKİN
Jeoteknik Hizmetler
Başmühendisi



S.K

ABİ GIBİDİR.

K.K-1



Kamil KESKİN
Jeoteknik Hizmetler
Başmühendisi

Aziz KAPLAN
Jeoteknik Hizmetler
Şube Müdürü
01.03.2016

Sondaj Kuyusunun Derinliği : 36.00 mt.

Kontrol Kuyularının Derinliği : 25.00 mt.

SAAT	S.K	K.K-1	K.K-2	K.K-3	K.K-4
13.45	4.00m	3.90m	13.00m	3.80m	12.50m
14.00	28.00m	4.40m	13.00m	3.80m	12.50m
14.15	31.00m	4.50m	13.00m	3.80m	12.50m
14.30	31.00m	4.50m	13.00m	3.90m	12.50m
14.45	30.50m	4.50m	13.00m	4.00m	12.50m
15.45	31.00m	4.50m	13.00m	3.90m	12.50m
16.45	30.50m	4.50m	13.00m	3.90m	12.50m
17.15	30.50m	4.50m	13.00m	3.90m	12.50m
18.15	30.50m	4.50m	13.00m	3.90m	12.50m
19.45	30.40m	4.50m	13.00m	3.90m	12.50m
20.45	30.50m	4.50m	13.00m	3.90m	12.50m
21.45	30.50m	4.50m	13.00m	4.00m	12.50m
22.45	30.50m	4.50m	13.00m	4.00m	12.50m
23.15	30.50m	4.50m	13.00m	4.00m	12.50m
00.15	30.50m	4.50m	13.00m	4.00m	12.50m
01.45	30.50m	4.50m	13.00m	4.00m	12.50m

Santiye Sepi Vk.
Anıl BAKAR

Anıl PALA

Aziz KAPLAN
Jeoteknik Hizmetler
Şube Müdürü

Tarih: 26.02.2016

BÜYÜK KUMLA BARAJI MANSAP TARAFI SLURRY TRENCH GEÇİRİMLİLİK KONTROLÜ

K.K-8

K.K-6



SLURRY TRENCH

K.K-7

02.03.2016
Kamil KESKİN
Jeoteknik Hizmetler
Başmühendisi



S.K

~~AMİRE ÇİFTİÇİ~~

K.K-5



Kamil KESKİN
Jeoteknik Hizmetler
Başmühendisi

02.03.2016
Aziz KAPLAN
Jeoteknik Hiz. ve Yç.
Şube Müdürü

Sondaj Kuyusunun Derinliği : 44.00 mt.
Kontrol Kuyularının Derinliği : 30.00 mt.

SAAT	S.K	K.K-5	K.K-6	K.K-7	K.K-8
12.05	10.00m	8.70m	10.70m	8.30m	12.60m
12.15	17.70m	10.00m	10.70m	10.50m	13.80m
12.30	19.10m	10.50m	10.70m	11.00m	14.10m
12.45	20.80m	10.50m	10.70m	11.30m	14.10m
13.00	22.30m	10.60m	10.70m	11.40m	14.10m
14.00	26.60m	11.10m	10.90m	11.70m	14.20m
15.00	29.00m	11.10m	11.00m	11.80m	14.30m
16.00	31.00m	11.20m	11.10m	11.80m	14.30m
17.00	31.00m	11.20m	11.10m	11.80m	14.30m
18.00	31.00m	11.30m	11.10m	11.80m	14.30m
19.00	31.00m	11.30m	11.20m	11.90m	14.30m
20.00	31.00m	11.30m	11.20m	11.90m	14.30m
21.00	31.00m	11.30m	11.20m	11.90m	14.30m
22.00	31.00m	11.30m	11.20m	11.90m	14.30m
23.00	31.00m	11.30m	11.10m	11.90m	14.30m
24.00	31.00m	11.30m	11.20m	11.90m	14.30m

Santiye Şefi: V.k.
ANILBAHAR

Amir F. ÖZEL

AZİZ KAPLAN

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Eda Nur ÇAKIR
Doğum Tarihi : 05.03.1990
Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu
Lise : Erdoğan Akdağ Anadolu Öğretmen Lisesi, Yozgat
Lisans : Erciyes Üni., Müh. Fak., İnşaat Mühendisliği, Kayseri.
Yüksek Lisans : Uludağ Üni., Fen Bil. Ens., Geoteknik, Bursa.

Çalıştığı Kurum : Devlet Su İşleri 1. Bölge Müdürlüğü, Bursa.

İletişim (e-posta) : edanur@dsi.gov.tr

