

Baraj Ön Yüzü Geçirimsiz Beton Yüzeyinde Yeraltı Suyu Basıncı Kaynaklı Oluşan Deformasyon ve Onarımı

Murat Can¹

Temel Temiz²

Özet

Büyükkumla Deresi üzerinde İçme suyu amaçlı olarak inşa edilen Büyükkumla Barajı; Bursa İli, Gemlik İlçesi sınırları içerisinde olup 2012 yılında inşaatına başlanılarak 2022 yılında tüm imalatlar tamamlanarak su tutmaya başlamıştır. Barajın memba ve mansap batardoları güzergahı boyunca yapılan geçirimsiz perdeler ile baraja mansap ve memba bölgesinden gelecek olan yeraltı suyunun engellenmesi amaçlanmıştır. Ancak mansap bölgesi sol sahilden gelen yeraltı ve yüzeysel akış etkisi nedeniyle mansap batardosu ile gövde dolgusu arasında hapsolan su gövde içinde su seviyesinin yükselmesine neden olmuştur. Yükselen su seviyesi nedeniyle oluşan hidrostatik basınç etkisine bağlı olarak önyüz geçirimsiz beton plakta bulunan 15,16 ve 17 numaralı anolar da 5-10 cm deplasman gerçekleşmiştir. Bu deformasyona bağlı olarak mansaptan membaya doğru ortalama 8 lt/sn sızma gerçekleştiği ölçülmüştür. Ön yüz betonu anolarının tamirati için gövde içerisinde biriken suyun tahliyesi amacıyla baraj gövdesi mansap sevi ile mansap batardosu arasında kalan bölgede 2 derin su kuyusu açılmıştır. Bu işlem sonrası gövde içerisinde hapsolan su boşaltılarak membadaki su kotunun düşürülebileceği görülmüştür. Sonrasında önyüzü betonda oluşan deformasyonun tamirine yönelik geliştirilen metodoloji uygulanarak baraj gövdesinde geçirimsizlik yeniden sağlanmıştır. Sonuç olarak bu çalışmada, Büyükkumla Barajının mansap batardosu ile gövde arasında yer altı su seviyesinin yükselerek, gövde memba tarafından hidrostatik basınç etkisi ile önyüz geçirimsiz beton plakta deformasyona neden olması ve oluşan bu deformasyonun tamir edilerek barajda yeniden geçirimsizliğin sağlanması irdelenmiştir.

1 Dr., Devlet Su İşleri 1. Bölge Müdürlüğü, muratcan@dsi.gov.tr

2 Dr., Yalova Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, temel.temiz@yalova.edu.tr

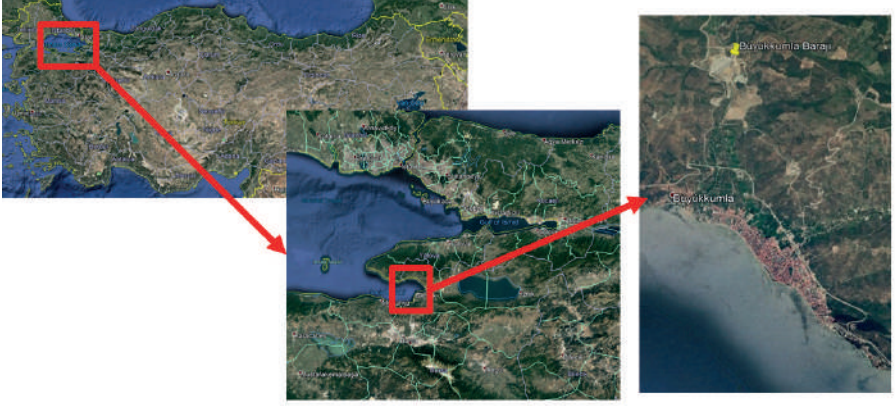
1. GİRİŞ

İnsanoğlu geçmişten günümüze mevcut su kaynaklarını daha fazla kullanabilmek için birçok teknik ile depolama amaçlamışlardır. Depolama başarısının ön plana çıktığı en önemli yapılarda barajlardır. Ayrıca barajlar çok işlevli olmaları bakımından da en önemli yapı tiplerinin başında gelmektedirler.[1] Ana amacı depolama olan barajlardaki gövde geçirimsizliği ise baraj güvenliği için en önemli etkenlerin başında gelmektedir. Baraj gövdesinde geçirimsizliği tehdit eden herhangi bir etkenin ortadan kaldırılmaması halinde ölümcül ve yıkıcı sonuçlar doğuracağı bilinmektedir.[2] Bu nedenle, olası yıkılma senaryolarında büyük yıkım ve kayıpların yaşanabileceği baraj yıkılmalarının önlenmesi öncelikli konulardandır. Bu çalışmada Bursa İli Gemlik İlçesi sınırları içerisinde yer alan içme suyu amaçlı olarak inşaa edilen önyüzü beton kaplı barajda geçirimsizliğini sağlayan önyüz betonda oluşan deformasyonun nedenleri ve onarılmasına ait süreç incelenmiştir.

2. ÇALIŞMA ALANI

Çalışma alanı, Bursa ili, Gemlik ilçesinin 9 km kuzey batısında yer alır. Baraj yerine ulaşım; Bursa ilinden 31 km asfalt yol ile Gemlik ilçesine, buradan 8 km asfalt yol ile Kumla'ya devlet karayolu ile, Kumladan da Büyükkumla deresi boyunca 2,5 km stabilize yol ile sağlanır (Şekil 1). Baraj gövdesinin inşaa edildiği Büyükkumla deresi Marmara denizine deşarj olmaktadır.

Baraj gövdesi ile Marmara denizi arasında kalan dere yatağı uzunluğu 2 200 m olup baraj temel kazılarında ortalama -15 m. kotuna kadar gövde altı temel kazısı yapılarak ana kaya bölgesine ulaşılmıştır. Bu nedenle Marmara denizinden ve/veya mansap kısmında bulunan mevcut gelmesi muhtemel yer altı suyunun engellenerek gövde imalatlarının kuru ortamda inşaa edilmesi için bu barajda mansap batardosu inşaa edilmiş ve batardo kret güzergahı boyunca slurry trench (geçirimsizlik perdesi) uygulaması yapılmıştır.



Şekil 1. Büyükkumla Barajı konum haritası

Baraj gövdesinin oturduğu zeminin jeolojik yapısı genel itibariyle şist olmakla birlikte dere yatağı güzergahında baraj aksı altında bulunan alüvyon tabaka -15 m. kotlarına kadar indiği görülmektedir [3].

Baraj gövdesinde ise geçirimsizlik baraj gövde memba şevi yüzeyine yapılan önyüzü beton kaplı tabaka ile sağlanması planlanmıştır. Bu amaçla baraj gövdesinin memba şevinin tamamını kaplayan betonarme imalatlar 16.10.2019 tarihinde tamamlanmıştır. Ancak önyüzü beton kaplama işleminin bitiminden kısa bir süre sonra 03.11.2019 tarihinde plaklarının alt bölgelerinde mansaptan membaya basınçlı su çıkışı meydana gelmiştir. Gövde dolgusu içerisinde biriken su nedeniyle oluşan iç basınç yüzünden barajın ön yüz betonu BP-15,16 ve 17 numaralı anolarında farklı miktarlarda deplasmanlar oluşmuştur. Bu deformasyonların gövde arkası rezervuar alanında su tutulmasına engel olmaması için deformasyon alanının onarılmasına yönelik bir metodoloji geliştirilerek gövde memba yüzeyinde yer alan betonarme plak tekrar geçirimsiz hale getirilmiştir [4].

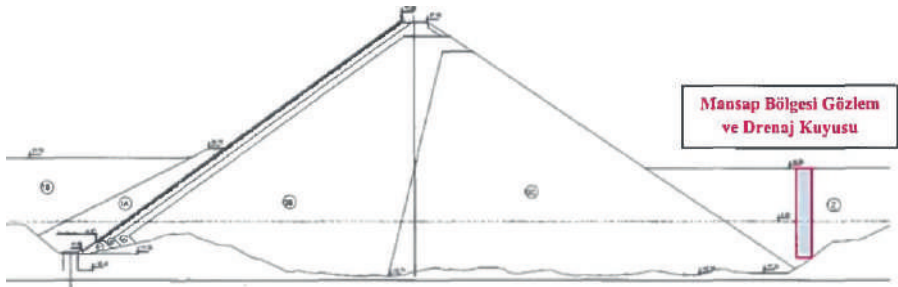
3. MATERYAL VE YÖNTEM

Büyükkumla barajının gövde dolgusunun tamamlanarak ardından baraj gövdesinde geçirimsizliği sağlayan önyüzü beton imatların tamamlanmasında kısa bir süre sonra baraj gövdesi içerisinde hapsolan suyun yarattığı iç basınç sebebiyle kırılma ve çatlama şeklinde ön yüzde yer alan betonarme yüzeye ait BP-15 ve BP-16 anolarda deformasyona olduğu tespit edilmiştir. Baraj yerinde yapılan incelemeler ile uygulama projeleri incelendiğinden de; barajın talveg kotu ile temel kazısının topuk plağı beton kotu arasında 33.00m'lik kot farkının bulunduğu görülmektedir (Şekil 2).



Şekil 2. Büyükkuşlu Barajı Önyüz Görünüşü ve Ano Yerleşim İzleri Planı [5]

Uygulama projeleri gereği barajın inşaatı döneminde dere yatağı talveg kotundan (mamba tarafında +21 m. mansap tarafında +19,00 m.) çok derinde bulunan gövde altı temel kazılarında; projesine göre deniz seviyesi kotundan aşağı kotlarda mamba tarafında - 11,05 m. mansap tarafında -20,00 m. kotuna kadar kazılar yapılmıştır. Bu kazılar sırasında gerek mamba tarafından gerek mansap tarafından yer altı ve yer üstü su akımını kesmeye yönelik yapılan mamba ve mansap batardoları ile bu batardoların kret güzergahından temel kazı kotu altına kadar slurry trench (geçirimsizlik perdesi) uygulamaları yapılmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. Barajı Gövdesi ve Temel Kazısı Enkesiti

Slurry trench (geçirimsizlik perdesi) [6-8] uygulamalarının nasıl yapılacağına dair barajın yapımı öncesinde hazırlanan kati proje aşamasında gerek gövde altı gerekse temel kayanın taşıma gücünü belirlemeye

yönelik 7 adet kuyuda 112 adet pressiyometre deneyi yapılmıştır. Yapılan değerlendirmelerde “plint plağı ve gövde altındaki alüvyonun tamamının kaldırılması” ile menba ve mansap batardoları için Slurry trench (bulamaç hendeği) önerilmiştir. Bu öneri doğrultusunda barajın yapımı sırasında memba batardosu ve mansap batardosu üzerinde slurry trench (geçirimsizlik perdesi) imatları 15.04.2015-28.08.2015 tarihleri arasında yapılmıştır. Yapılan uygulama ile ana kayaya en az 1 m soketleme yapılarak Slurry trench (geçirimsizlik perdesi) ile geçirimsizlik perdesi oluşturulmuştur (Şekil 5).

Memba batardosu slurry trench hattı uzunluğu 210,61 m olup, 39 adet 3,13 m uzunluğunda Birincil (P) anolar ve 3,13 m uzunluğunda 38 adet İkincil (S) anoları olmak üzere toplamda 77 ano bulunmaktadır. Ano derinlikleri 6,00-32,50 m arasında değişmektedir.

Mansap batardosu slurry trench hattı uzunluğu ise 270,65 m olup, 0+000 – 0+104,65 metreler arası 3,13 m uzunluğunda 19 adet *P* anosu ve bu *P* anolarını kesen 19 adet 3,13 m uzunluğunda *S* anoları, 0+104,65 – 0+269,92 metreleri arası 2,80 m uzunluğunda 35 adet *P* anosu ve bu anoları sağından ve solundan 0,40 m kesen 34 adet *S* anoları olmak üzere toplamda 107 ano bulunmaktadır. Ano boyları 4,00-40,00 m arasında değişmektedir (Şekil 5.)

Gövde altındaki bulunan alüvyon zonun tamamen kaldırılması için memba-mansap batardosu olarak slurry trench (geçirimsizlik perdesi) imatlarının tamamlanması beklenmiştir.



Şekil 4. Büyükkumla Barajı Slurry Trench (Geçirimsizlik Perdesi) Uygulaması

Slurry Trench imalatlarının hem memba hem de mansap batardoları üzerinden tamamlanması sonrasında baraj ana gövde dolgu imalatlarına başlanması için gövde altı kazılarına başlanılarak -15 kotuna kadar oluşturulan bir temel çukuru ile bu bölgede yoğun olarak yer alan alüvyon (yer yer bloklu çakıllı-kumlu siltli kil) tabaka kazılmıştır (Şekil 4).



Şekil 5. Büyükkuşlu Barajı Gövde Sıyırma Kazı Alanı

Kazılan bu kısımdan dolguya uygun olan kısımlar ayrıştırılarak daha sonra dolguda kullanılmak üzere depo edilmiştir. Kazı işlemleri sonrasında baraj gövdesi kaya dolgu olarak teşkil edilmiş ve 30.04.2018 tarihinde baraj gövde dolguları tamamlanarak barajın oturma süreci takip edilmiştir. Barajda geçirimsizliği sağlayacak olan baraj önyüzü beton kaplama zonunun inşaatı 16.10.2019 yılında tamamlanmıştır. Ön yüzü beton tabakanın inşaatı sonrasında memba-mansap batardoları ve gövde temel şevleri arasında kalan bölge geri dolgu ile doldurularak gövde imalatları tamamlanmıştır (Şekil 4).



Şekil 6. Büyükkuşlu Barajı Gövdesi

Baraj gövdesi önyüzü beton kaplama işleminin bitiminden kısa bir süre sonra 03.11.2019 tarihinde betonarme anoların alt bölgelerinde mansaptan membaya basınçlı su çıkışı meydana gelmiştir. Gövde dolgusu içerisinde biriken su nedeniyle oluşan basınç nedeniyle barajın ön yüzünde BP-15,16 ve 17 numaralı anolarda farklı miktarlarda deplasmanlar oluşmuştur.

Mansapta oluşan su basıncı nedeniyle hareket eden önyüzü beton anolarının onarımı için iki aşamalı bir yöntem izlenmiştir. İlk aşamada gövde içinde membaya doğru oluşan su akışı önlemek için gerekli drenaj kuyusu, gözlem kuyusu ve tahliye kanalı imalatları yaptırılmıştır. Sonrasında mevcut hapsolan su tamamen boşaltılarak gövde içi basınç yok edilmiş ve ortam kuru, çalışmaya elverişli hale getirilmiştir. Son aşamada ise deformasyon oluşan anolarda deplasmanın seviyenin yaklaşık olarak 2 m üzeri röper alınarak beton anolar kesilerek kırılacak, mevcut donatılar kesilerek uzaklaştırılmış, beton altı temizliği yapılarak onaylı yapım projesinde gösterildiği şekilde ve türde donatılar yeniden yerleştirilerek ve ano arası derzlerde yeniden teşkil edilmiştir.

4. BULGULAR VE İRDELEME

Barajın gövdesinde geçirimsizliği sağlayan önyüzü beton imalatların tamamlanmasından hemen sonra baraj gövdesi içerisinde hapsolan suyun yarattığı iç basınç sebebiyle oluşan ön yüzde yer alan betonarmede kırılma ve çatlama şeklinde deformasyonlar oluşmuştur (Şekil 7). Bu deformasyonların BP-15 ve BP-16 anolarında gerçekleştiği ve oluşan hareketlerin yerinde yapılan ölçümler neticesinde 13 cm. seviyesinde olduğu belirlenmiştir (Şekil 8). Deformasyona uğrayan anoların talveg bölgesinin akışa göre sağ tarafında olduğu tespit edilmiştir. Bu tespit bize; mansaptan memba'ya doğru ilerleyen su basıncının bu anolarda maksimum seviye ulaştığını göstermektedir.

Anolarda oluşan deformasyon nedeniyle gövde içinde ve mansap kısmında biriken su basınçlı bir şekilde kendiliğinden tahliye olmuş ve su basıncı düşerek kendiliğinden bileşik kaplar kanununa uygun şekilde stabil duruma gelmiştir. Öncelikle gövde bölgesi altında kalan bu suyun tahliye edilerek gövdede su seviyesinin düşürülmesi gerekmektedir. Bu amaçla Gövde içinde sıkışan su basıncının ortamdaki uzaklaştırılması için gerekli tahliye işlemlerinin yapılmasına yönelik olarak 1 adet gözlem ve 1 adet tahliye kuyusu açılarak pompa marifetiyle suyun ortamdaki kontrollü bir şekilde uzaklaştırılması sağlanmıştır (Şekil 3). Mansap şev dibinde yapılan tahliye kuyularından pompa ile dışarı atılarak düşürülen su seviyesi önyüz betonunda deformasyon onarımı için yapılacak kırma işlemi ile beton anolarda ve derz aralarında yapılacak onarıma yönelik iş ve işlemlerin uygulanması için gerekli ortam oluşturulmuştur. Ayrıca mansap bölgesine

açılan bu iki kuyu ile hem su tutma sürecinde hem de barajın işletilmesi döneminde baraj gövdesi içinde oluşması muhtemel hidrostatik etki takip edilerek kontrolsüz bir kaldırma kuvveti etkisi ile yeniden oluşacak ano deformasyonlarının önüne geçilecektir.



Şekil 7. Barajın Önyüzü Beton Anosunda Deforme Kısım



Şekil 8. Barajın Önyüzü Beton Anolarında Deforme Olan Hareket

Gövde memba yüzünde yapılacak onarım işleri ile gövde mansap tarafında yapılacak işlemler olarak iki başlık altında çalışmalar yapılmıştır. Öncelikle ilk aşamada mansapta açılacak iki kuyu ile ortamda bulunan suyun tahliyesi ve ortamın kuru tutulması gerekmektedir.

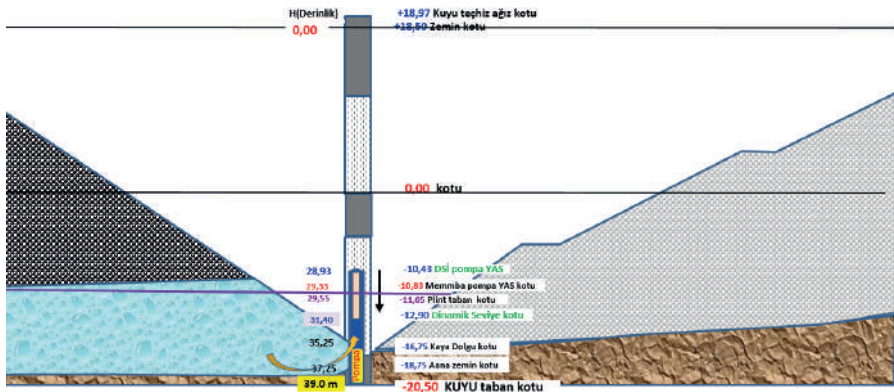


Şekil 9. Barajın Mansap Kısımında Açılan Tahliye Kuyuları

Barajın önyüzü beton anolarında oluşan deformasyonun tamirâtı için gövde içerisinde sıkışan suyun ortamdan uzaklaştırılması için barajın mansap kaya dolgusu ile mansap batardosu arasındaki random dolgusu üzerinden 2 adet sondaj kuyusu (zaiyat dolgu+10 m kaya dolgu+2 m temele girecek şekilde) açılmıştır (Şekil 9 ve 10).

Birinci kuyunun açılırken kuyu logu (Şekil 10)'da görüldüğü gibi gövde (kaya) dolgusunda 2,0 m ve ana kayada 2,0 m geçilerek şekilde delgi yapılmıştır. Bu işlemden sonra membadaki biriken suyun tahliyesini yapan geçici pompanın olduğu yerdeki su kotları ile kuyu ağzından okunan yeraltı su seviyesindeki kotlar tespit edilmiştir. Sonrasında kuyuda mekanik dalgıç pompa teçhizi, granülometrik malzeme ile filtrasyon yapılması ve 20 l/s ile pompa tecrübesi yapılmıştır. Tahliye sırasında kuyudaki su kotu plint kotunun 5,0 m kadar altına indirilmiş ve membada su seviyesinde düşüş yaşandığı tespit edilmiştir.

Gövde içinde biriken suyun bu şekilde tahliye edilmesi ile birlikte düşen yer altı su seviyesi nedeniyle kuruya çıkan memba tarafında yer alan ve deplasmanın olduğu betonarme anoların onarılması işlemlerine başlanmaya hazır hale gelinmiştir.

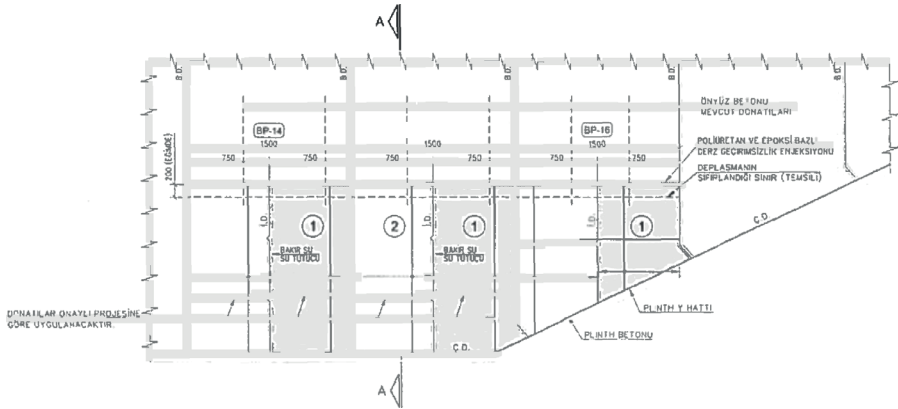


Şekil 10. Barajın Mansap Kısımında Açılan Tahliye Kuyuları Kesiti



Şekil 11. Barajın Önyüzü beton Anolarında Tamirat İçin Yapılan Hazırlık.

Hidrostatik etki nedeniyle deformasyon gösteren anoların ve bu anolar arasında mevcut bakır su tutucuların bulunduğu bölgelerde onarım işlemlerine başlanılmadan önce işyerinde yapılan ölçümlerde, BP-15,16 ve 17 numaralı anolarda deplasmanın sıfırlandığı kotun 2m üzerine kadar ön yüzü betonunun iki parça halinde kesilmiştir. Kesilen betonarme parçalar ve donatıları ortamdaki uzaklaştırılmıştır (Şekil 11). Bu aşamadan hemen sonra uygulama projesinde bulunan betonarme anoya ait tüm detaylar Şekil 12’de görüldüğü şekli ile derz arası tedbirlerin alınması kaydıyla yenilenerek onarılmıştır.



Şekil 12. Onarımı Yapılan Anolara Ait Betonarme Kesit Detayı

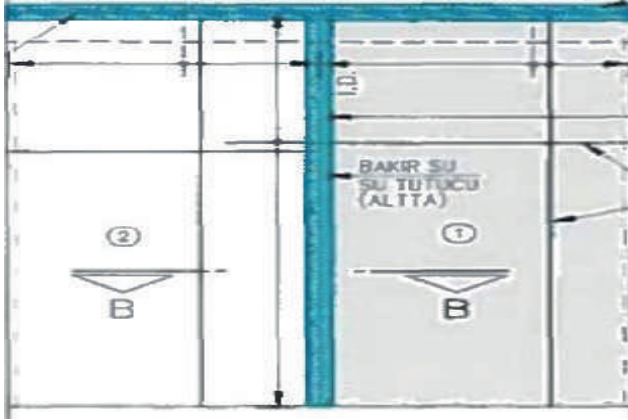
Bu onarım esnasında su tutucuların bulunduğu bölgelerde onarım işlemleri yapılırken Şekil 14. ve Şekil 15. de bulunan kesitlere ait detaylara dikkat edilmiştir. Kesilerek tabanı açığı çıkan anonun aşağıya kaymasını engellemek için Şekil 14’de gösterilen sıralı olarak, önce 1 nolu kesit daha

sonrasında 2 nolu kesitin bulunduğu ano kırılmıştır. Anolar arası büzülme derzi uygulaması yapılarak gövde içine dolu rezervuardan su girişi olma ihtimali engellenmiştir. Kesilen bu anolara Şekil 12 de yer alan donatı detaylarına uygun donatıları yerleştirilerek beton dökümü gerçekleştirilmiştir. Ancak 1 nolu anoda yapılan tamir sonrası betonun priz süresi olarak yedi gün beklenilmiş ve sonrasında 2 nolu ano için aynı işlemler yapılmıştır.

Bu onarımlar Şekil 13 ve 14'de buluna kesitlerde gösterilen sızdırmazlığa ait detaylara dikkat edilerek derz araları yapılırken Poliüretan ve Epoksi Bazlı Derz Geçirimsizlik Enjeksiyonu işlemi yapılmıştır. Betonarme anoların tamiri tamamlandıktan sonra prizini anolar arasına Esnek Poliölefin (FPO) su tutucu derz bandı uygulaması yapılmıştır. Bu bantları korumak için üzerine Takviyeli Siyah Lastik Bant kaplama uygulaması yapılmıştır. Bu kaplama uygulaması 50 cm ara ile 12 mm'lik paslanmaz dübeller ile sabitlenmiştir.



Şekil 13. Onarım Yapılacak Her Anoda Uygulanacak Tipik Detaylar (Enkesit)



Şekil 14. Onarım Yapılacak Her Anoda Uygulanacak Tipik Detaylar (Boykesit)

Onarımlar sırasında olumsuz bir durum yaşanmaması için memba ve mansapta bulunan pompalar imalatlar tamamlanana kadar hazırda bekletilmiştir. Memba batardosu ile gövdenin önyüzü beton plakları arasında kalan boşlukta random dolgu imalatı 18.50 kotuna gelene kadar mansapta bulunan sondaj kuyuları aktif çalıştırılarak gövde içindeki su seviyesi hep düşük tutulmuştur. Önyüzü beton anolarda yapılan tamiratların

tamamlanmasını müteakip sondaj kuyularında bulunan dalgıç pompa ile yeraltı suyunun tahliye işlemleri durdurulmuştur.

5. SONUÇLAR

Büyükkuşla Barajı önyüzü beton kaplı kaya dolgu tipinde bir baraj olarak inşa edilmiş olup kaya dolgu barajlarda gövdeyi teşkil eden değişik çaplarda ki kayalardan oluşan zonlarının sıkıştırılması sırasında teknik şartnamesi gereğince kaya malzeme içerisine püskürtülen sular ile yıkanarak sıkıştırılmaktadır. Yıkanan kaya dolgu malzemesi üzerinde yer alan toprak ve küçük daneli ince malzemeler ile birlikte alt kotlara ilerlemektedir. Ancak bu su miktarı çok yüksek hacimlerde olmamakla birlikte gövde içi zonlarda ki farklı çaplardan teşkil olunan tabakalar arasında aderansında güçlü olmasını sağlamaktadır.

Baraj temel kotu talveg kotundan çok aşağı kotlara kadar inmeyen ve sıyırma kazısı derinliği fazla olmayan baraj ve gölet dolgularında bu işlem veya yeraltı suyu hareketleri nedeniyle gövdenin temeli içinde su basıncı oluşmamaktadır. Bu durum gövde stabilitesini bozmamakta ve yapılan imalatlar güvenli tarafta kalmaktadır. Ancak Büyükkuşla barajı gibi önyüzü beton kaplı barajlarda gövdenin oturduğu zemin altında alüvyon derin bir bant olması halinde ve sıyırma kazısı derinliklerinin fazla olduğu durumlarda gövde içinde mansapta oluşan yeraltı suyu basıncı tehlike oluşturabilmektedir. Barajların menba ve/veya mansap kısmına yapılan batardolar, enjeksiyonlar ve slury trench (bulamaç hendeği) gibi uygulamalar baraj gövde içine yerüstünden ve yeraltından gelen suları engellemekte ancak gövde bölgesine etki eden yüzey ile yanal yamaçlardan gelme ihtimali olan suları önleyememektedir.

Gövde içerisinde biriken sular zamanla iç basınç oluşturmakta ve ortamdaki uzaklaştırılmadığı takdirde özellikle önyüzü beton kaplı barajlarda olduğu gibi yapılan imalatlara hasar verebilmektedir. Büyükkuşla Barajının gövde dolgusu içerisinde biriken suların önyüz beton imalatlara zarar verdiği gibi homojen dolgu barajlarda ise borulanma ve sıvılaşma şeklinde gövde de etki yapabileceği ihtimali taşımaktadır. Bu nedenle baraj gövdesinin özellikle mansap kısmında açılacak su kuyuları yardımı ile yeraltı su seviyeleri takip edilmeli ve gerekir ise tahliye edilmelidir. Ayrıca gövde içerisinde biriken suların tahliyesi için farklı yöntemler denenmelidir. Örnek olarak uygulanan yöntem ise menbadan plint topuk betonundan gövde içerisine eğimli sondalar açılarak suyun tahliye edilmesi şeklindedir.

Söz konusu açılacak kuyular; barajda su tutulması ve işletme aşamasında gözlem su seviyesi düşürme vb amaçları için mutlaka muhafaza edilmelidir.

KAYNAKLAR

- [1] Aldemir A, Remedies For Thermal Strain Related Problems, 5th International Symposium On Dam Safety, İstanbul, 2018
- [2] You L, Li C, Min X, et al. Review of dam-break research of earth-rock dam combining with dam safety management, [J]. Procedia Engineering, 2012, 28: 382-388.
- [3] Devlet Su İşleri 1. Bölge Müdürlüğü Büyükkumla Barajı Planlama Raporu.
- [4] Büyükkumla Barajı Önyüz Betonu Onarım Metodolojisi.
- [5] <https://www.dsi.gov.tr/Haber/Detay/2053>
- [6] Unsever Y. S., Cakir E. N. Büyükkumla Barajı'nda Bulamaç Hendeği Yöntemi ile Geçirimsizlik Perdesi Uygulaması ve Sızma Analizi. SDÜ Fen Bil Enst Der. 2019; 23(3): 974-980.
- [7] Karaoğullarından, T., Özgüzel, N., Akçanbaş, N. 1977. Alüvyonda Bulamaç Hendeği (Geçirimsizlik perdesi) Yöntemiyle Sızdırmazlık Perdesi Yapımı. Jeoloji Mühendisliği Dergisi, (3), 28-35.
- [8] Tosun, H., Ünal, S. M., Türköz, M. 2002. Dolgu Barajlarda Bulamaç Hendeği Yöntemi ile Plastik Beton Perde İnşası ve Bir Uygulama. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 9. Ulusal Kongresi, 21-22 Ekim, Eskişehir, 48-57.