# TOPRAK DOLGU BARAJ GÖVDESİ ÜZERİNDEN SULARIN SAVAKLANMASI DURUMUNDA KULLANILAN GÖVDE KORUMA METODLARI

**İhsan KAŞ (*), Dursun YILDIZ (**)**

***ÖZET***

*Su yapılarının boyutlandırılmasında teknolojik gelişimlerin kazandırmış olduğu avantajlar, yeni inşaat teknikleri ve hesap yaklaşımları zaman geçirmeden kullanılmalıdır. Son yıllarda orta yüksekli baraj ve gölet tipi kabartma yapılarının dolusavaklarının tasarımı, gelme olasılığı çok düşük olan taşkın tekerrür aralığı uzun büyük taşkın debilerine göre yapılması tercih edilmemektedir. Bunun yerine baraj gövdesinin mansap yüzünün kaplanması şeklinde alınan önlemlerle taşkın tekerrür debisinin önemli bir kısmını baraj gövdesi üzerinden savaklanmasına izin verilmektedir. Taşkın debisinin bir bölümünün gövde üzerinden savaklanması, yapılacak olan ve oldukça yüksek maliyetler oluşturan dolusavak yapısının proje debisini düşürmektedir. Proje debisini düşmesi beraberinde daha küçük bir dolusavak yapısı boyutlandırma ve maliyet düşüşü anlamına gelmektedir. Baraj gövdesi üzerinden suyun savaklanması durumunda yapılan gövde koruma metodu tipleri sınıflandırılacaktır. Türkiye'de henüz bu yaklaşımla yapılmış veya yeniden düzenlenmiş olan baraj yapımızın olmayışı ve son yıllarda dünyada yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanılması bu konu ile doğrudan ilişikli olan mühendislere yararlı olacağı görüşünü taşımaktayız.*

## 1. GİRİŞ

Tekerrür aralığı çok uzun olan büyük taşkın debileri için projelendirilen dolusavaklar çok büyük ve pahalı yapılar olmakta ve proje ekonomisini zorlamaktadır. Olası maksimum taşkın debisini (PMF) geçirmek üzere projelendirilen klasik dolusavaklar özellikle ABD'de artık oldukça pahalı dolusavak projeleri olarak değerlendirilmektedir. Bu nedenle bu konu araştırmacılar tarafından ele alınmış ve çeşitli çözüm alternatifleri önerilmiştir. Halen mevcut dolusavaklarda yapılacak düzenlemeler ve yeni dolusavak projeleri bu bakış açısı ile ele alınmaktadır.

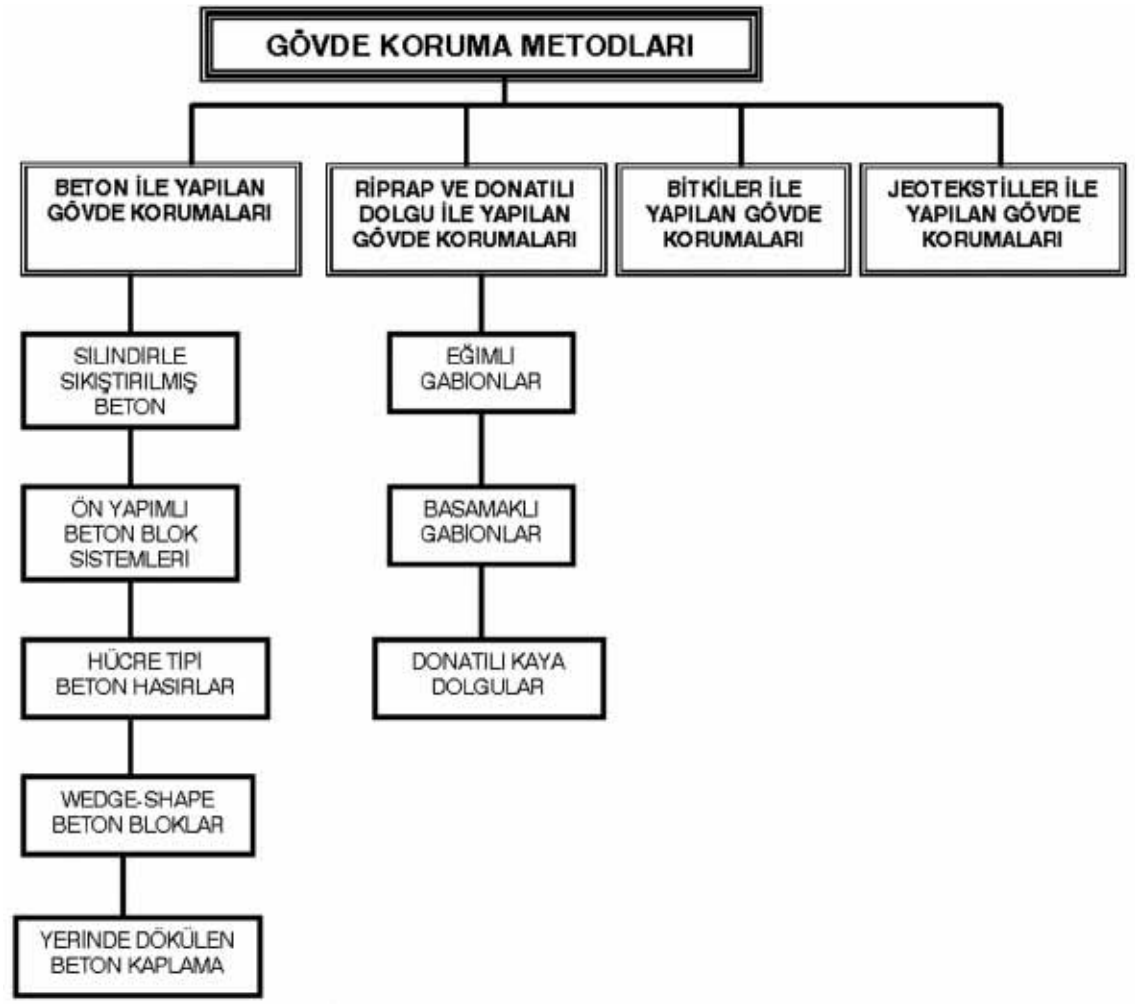
(*) DSİ Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi, Ankara

(**) DSİ İçme Suyu ve Kanalizasyon Dairesi, Ankara

Son yıllarda bazı projelerde proje hidrolojisinin ortaya çıkardığı verilerle baraj ömrü boyunca kullanılma olasılığı düşük görünen klasik dolusavaklar yerine geometrileri farklı ve deşarj kapasiteleri daha fazla olan labirent, radyal, " T " tipi ve " U " tipi dolusavakların kullanılması yönünde eğilimler başlamıştır. Deşarj kapasitesini artırma yönünde yapılan çalışmaların yanında bir de çeşitli metodlarla korunmuş baraj gövdesi üzerinden suyun aşması gibi daha düşük maliyetli ve taşkın debisi değerinin bir bölümünün gövde üzerinden emniyetli bir şekilde savaklanmasına izin vererek dolusavak yapısı proje debisi değerinin düşmesine olanak tanıyan yeni yaklaşımlar kabul görmektedir. Bu yöntemlerden birisi olan ve ani tehlike savağı gibi fonksiyon gösteren korunmuş bir baraj gövdesi, diğer hidrolik yapıların inşaatına olan ihtiyacı da en aza indirmektedir. ABD'de yapılan barajlarının güvenliği, son yıllarda 100 yıllık baraj ömrü için modern hidroloji teknikleri kullanılarak elde edilen değerler ile yeniden gözden geçirilmektedir. Bu çalışmalarda birçok baraj için daha önce kabul edilen olası maksimum taşkın debisinin çok büyük oranlarda arttığı ve bazı barajların dolusavak kapasitelerinin yetersiz kaldığı tespit edilmiştir. Bu durum, bu debinin gelmesi durumunda birçok toprak dolgu barajın gövdesinin üzerinden suyun aşacağını ortaya koymuştur. Bu durumda mevcut projelerde çeşitli tedbirler alınmaya başlanmış ve yeni projeler için de bu debileri geçirerek daha düşük maliyetli dolusavak alternatiflerinin uygulanması kabul görmeye başlamıştır.

## 2. GÖVDE KORUMA METODLARI

Baraj gövdesinin taşkın debilerinde, suyun gövde üzerinden aşmasına dayanacak şekilde korunması veya barajın bu anlayışla projelendirilmesi son zamanlarda uygulanan düşük maliyetli bir alternatif olarak kabul görmektedir. ABD'de bugüne değin 107 irili ufaklı toprak dolgu kabartma yapısı, bu yapıların gövdelerinin üzerinden suyun aşması ile yıkılmıştır. Bunun üzerine bu projelerin hidrolojileri yeniden gözden geçirilmiş ve dolgu ve beton baraj gövdelerinin ani tehlike dolusavakları olarak projelendirilmesi amacı ile USBR tarafından oldukça geniş bir araştırma




*Şekil 1 - Gövde Koruma Metodları*

çalışması yapılmıştır. Gövde üzerinden suyun aşması durumunda toprak dolgu barajların kretini ve mansap yüzünü erozyona karşı koruma metodları son yıllarda oldukça detaylı bir araştırma konusu olmaktadır.

Genel olarak gövde koruma metodu tipleri Şekil 1'de de görüldüğü gibi 4 gruba ayrılmaktadırlar. Bunlar beton ile riprap ve donatılı dolgu, bitkiler ve jeotekstiller ile yapılan gövde korumalarıdır. Yapılış şekli ve kullanılan malzeme cinsine göre gövde koruma metodlarından beton ile yapılan gövde korumaları silindirle sıkıştırılmış beton (SSB), ön yapımlı beton blok, Wedge-Shape beton blok ve yerinde dökme beton ile yapılan olmak üzere 4 değişik tipte; riprap ve donatılı dolgu ile yapılan gövde korumaları ise eğimli gabionlar, basamaklı gabionlar ve donatılı kaya dolgu olmak üzere üç değişik tipte yapılmaktadırlar. Bu bildiride sadece beton ile yapılan gövde koruma sistemleri ayrıntılı olarak ele alınacak diğer gövde koruma sistemlerine değinilmeyecektir.

Taşkın debilerinin toprak dolgu baraj gövdesi üzerinden savaklanması durumunda gövde koruma metodları için 1983 yılından bu yana İngiltere, ABD ve eski Sovyetler Birliğinde çeşitli alternatifler üzerinde çalışmalar yapılmıştır, [1]. Bu konuyu ele alan ve maliyeti düşük bir yöntem arayışı içinde olan araştırmacılar, dolgu üzerine koruyucu bir tabaka kaplayarak baraj gövdesi üzerinden suyun aşmasına izin verilmesi doğrultusunda çalışmalar yapmıştır. Günümüzde bazı projelerde gövde dolgusunun mansap yüzünün korunarak akımın gövde üzerinden aşmasına izin verilmesi, taşkın koruma amaçlı dolusavakların kapasitelerinin arttırılması için gövde dolgusunun yükseltilmesi veya savak kapasitesinin arttırılması gibi daha pahalı ve zaman alıcı metodlara bir alternatif olarak kabul görmektedir.

Günümüzde gölet ve orta yüksekli barajlar olan ve gövde yükseklikleri 30 m'ye kadar su toplama sistemlerinde bu koruma sistemleri uygulama alanı bulmaktadır. 30 m'den daha yüksek dolgu barajlarda kullanılacak gövde koruma sistemleri yüksek debi ve hızlarda koruma tabakası stabilitesinin sağlanabilmesi için detaylı analizlerde ihtiyaç gösterirler. Daha yüksek barajların gövde koruma metodları için çeşitli ülkelerde araştırma çalışmaları devam etmektedir.

### 2.1. Silindirle Sıkılanmış Beton ile Yapılan Gövde Koruması

Son yıllarda, toprak dolgu barajların üzerinden suyun aşması durumu için kullanılan koruma metodlarından en yaygını silindirle sıkılanmış beton (SSB) (Roller Compacted Concrete) uygulaması olmuştur. Yakın geçmişte SSB teknolojisinde yaşanan gelişmeler, bu metodun toprak dolgu baraj gövdesinin düşük maliyetli bir şekilde korunmasına olanak tanıyan bir alternatif olarak da ele alınmasını sağlamıştır. Bu metodla yapılan birçok uygulamada baraj kreti ve baraj gövdesi mansap yüzü korunmuş ve taşkın anında suyun gövde üzerinden güvenli bir şekilde mansaba bırakıldığı tespit edilmiştir.

*Tablo 1 - ABD'de SSB Kullanılarak Gövde Dolguları Akımın Gövde Üzerinden Aşmasına Karşı Korunan Toprak Dolgu Barajlar, [1]*

| Barajın İsmi, İnşa Tarihi | Şehir/Eyalet | Maksimum Gövde Yüksekliği (m) | SSB Hacmi ($m^3$) | SSB Maliyeti ($m^3$/$) |
|---|---|---|---|---|
| Addicks (1988) | Houston,TX | 15 | 42532 Addiks and Barker | 103 |
| Ashton (1991) | Ashton, ID | 18 | 5744 | - |
| Barker (1988) | Houston, TX | 11 | 42392 Addicks and Barker | 103 |
| Bishop Creek No,2(1989) New Emergency Spillway | Bishop, CA | 12,5 | 2986 | 115 |
| Boney Falls(1989) | Escanaba, MI | 7,5 | 3621 | 78 |
| Brownwood Country Club (1984) | Brownwood, TX | 6 | 1045 | 55 |
| Butler Reservoir (1992) | Camp Gordon, GA | 13 | 6831 | |
| Comanche (1990) New Spillway | Estes Park,CO | 14 | 2613 | 88 |
| Comenche Trail (1988) | Big Spring, TX | 6 | 4852 | 51 |
| Goose Lake (1989) | Naderland, CO | 10,5 | 3135 | 67 |
| Goose Pasture (1991) | Breckenridge,CO | 20 | 3158 | 63 |
| Harris Park No.1 (1986) | Bailey, CO | 5,5 | 1717 | 62 |
| Holmes Lake Dam (1991) | Marshall, TX | 9,5 | 2090 | |
| Horsethief (1992) | Rapid City, SD | 20 | 4666 | 65 |
| Kemmerer City (1990) | Kemmerer,WY | 9,5 | 3061 | 98 |
| Lake Diversion (1992) New Emergency Spillway | Wchita Falls,TX | 26 | 34716 | 39 |
| Lake Lenape (1991) | Mays Landing,NJ | 5 | 2277 | 92 |
| Lima(1993) | Dell, MT | 16,5 | 11049 | 68 |
| Meadowlark Lake (1992) | Ten sieep, WY | 8,5 | 1903 | 86 |
| North Fark Toutle River (1980) Replacement Service Spillway | Castle Dele, WA | 11,5 | 13438 | 48 |
| North Potato Diversion (1992) New Spillway | Copperhill, TN | 10,5 | 3359 | 86 |
| Phillipsburg Dam No:3 (1992) | Phillipburg, PA | 6 | 1045 | |
| Ringtown No.5 (1991)Combinend Principal and Emergency | Ringtown, PA | 18 | 4703 | 60 |
| Rosebud (1993) | Rosebud, SD | 10 | 3882 | 102 |
| Saltick (1991) Two Emergency Spillways | Johnsontown, PA | 33,5 | 8287 | 103 |
| Spring Creek (1986) | Gunnison, CO | 16 | 3613 | 48 |
| Thompson Park No.3 (1990) | Amarillo, TX | 9 | 2038 | 68 |
| Umbarger (1993) | Canyon, TX | 12 | 21278 | 61 |
| White Cloud (1990) | White Cloud, MI | 4,5 | 746 | 108 |
| White Meadow Lake (1991) | Rockaway, NJ | 6 | 746 | |

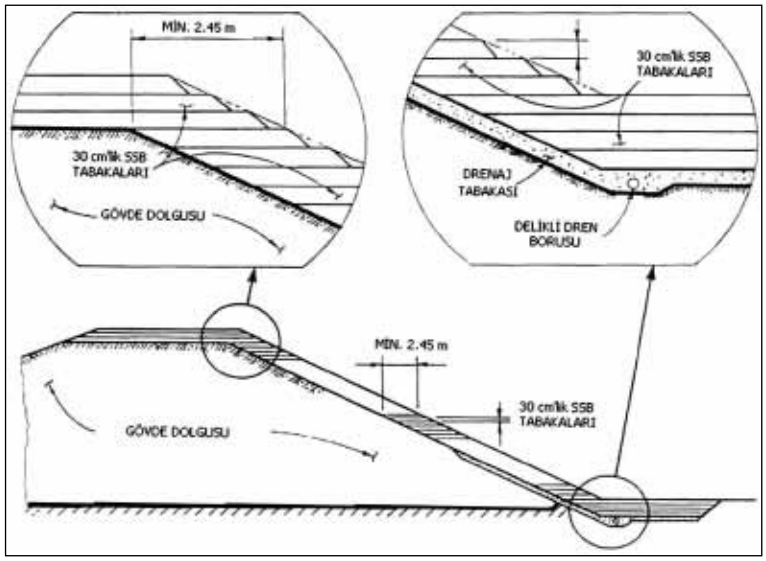
### 2.1.1. Gövde Mansap Yüzü Basamaklı Olarak Yapılan SSB'ler

ABD'de SSB kullanılarak gövde dolguları akımın gövde üzerinden aşmasına karşı korunan barajlar ve özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Bugüne değin SSB ile korunan birçok toprak dolgu barajda Şekil 2'de verilen tipik sistem uygulanmıştır. Bu sistemde öncelikle gövde kreti belirli bir kota kadar alçaltılmakta ve sonra gövde mansap yüzü ile topuk bölgesi, koruma tabakası için hazırlanmaktadır. Daha sonra tecrit tabakası ve gerektiğinde filtre tabakası ile delikli drenaj borularını içeren drenaj sistemi kurulmaktadır. Bu işlemden sonra mansap yüzüne topuk bölgesinden başlayarak 30 veya 60 cm kalınlığındaki SSB tabakaları serilmektedir. Bu serme ve sıkıştırma işlemi en az 2,5 m genişliğinde yapılmaktadır.

Gövde dolgusu mansap yüzü eğimine bağlı olarak bu tabakalar, gövdeye dik doğrultuda 70 ile 98 cm kalınlığında bir koruma tabakası oluştururlar. SSB tabakaları, gövde dolgu yüzeyi boyunca sağ ve sol sahile kadar serilirler. Ancak gerektiğinde sağ ve sol sahil yüzeylerini de korumak amacıyla bu yüzeylerde belirli bir mesafeye kadar da uzatılabilirler. Bu sistemin gövdeyi koruması yanında diğer bir avantajı da gövde üzerinden aşan akımın enerjisinin büyük bir bölümünü basamaklar yardımı ile sönümlemesidir. Bu durum, mansaptaki büyük enerji kırıcı yapılara ve koruma yapılarına duyulan ihtiyacı da azaltmaktadır.

Bu sistemde kullanılan ve koruma tabakası altında yer alan drenaj sistemi gövde ve SSB tabakası birleşimindeki boşluk basıncını azaltmaktadır, (Şekil 2).

Standart SSB serme teknikleri, inşaat ekipmanını yerleştirmek için geniş serme alanına ihtiyaç duymaktadır. Bundan dolayı SSB koruması normal olarak 2,5 m veya daha geniş tabakalar halinde serilir. Bu da maliyetin düşürülmesi çabalarını ve bu metodun daha yüksek toprak dolgu barajlar için uygun bir alternatif olmasını kısıtlamaktadır. Dolgu üzerine geçirimsiz bir malzeme tabakasının uygulandığı her türlü koruma projesi, dolgudaki drenajı ve kaldırma kuvvetlerinin (uplift pressure) etkilerini de gözönüne almak durumundadır. Klasik silindirle sıkılanmış beton uygulanması durumunda SSB'de oluşabilecek çatlaklara ve drenaj sisteminin yerleştirilmesine özel önem verilmektedir. Suyun gövde üzerinden aşması durumunda gövde üzerinden veya SSB tabakasının çatlakları arasından geçen suyun gövde içerisinde hidrostatik basınçlar oluşturması önlenmelidir. Bu durumda pahalı drenaj toplama ve iletim sistemleri yerine doğrudan koruma tabakası içerisinde oluşturulan dren sistemi tercih edilebilir. SSB tabakasının basamak şeklindeki tipik geometrisi, basamağın mansap ucunda akımın yapıdan ayrıldığı alçak basınç bölgeleri yaratır. Ancak 2/1 (yatay/düşey) dolgu eğiminde yatay basamaklar üzerinde yapılan çalışmalarda, en düşük basınçların bile pozitif kaldığı görülmüştür.




*Şekil 2 - Silindirle sıkılanmış basamaklı beton kaplama tabakası, [1]*

### 2.1.2. SSB ile yapılan eğimli koruma tabakası

Dolgu barajların mansap gövde yüzünü koruma metodlarından birisi de SSB'nin doğrudan dolgu yüzeyine tatbik edilmesidir. Bu metodda SSB malzeme eğimli gövde mansap yüzeyi genişliğince ve aşağıdan yukarıya doğru serilip sıkıştırılmaktadır. Ancak $\alpha = 21.8°$ veya daha düşük eğimlerde serme ve vibrasyon ekipmanını işletebilmek için bir vinç sisteminin kurulması gerekli olmaktadır. Bu metodda kullanılan malzeme miktarı yine SSB kullanılarak yapılan basamak tipli koruma tabakasından önemli ölçüde az olmaktadır. Ancak bu şekilde serilen SSB tabakasının daha az enerji sönümlemesi ve serme işleminin daha zor olması nedenleriyle birim maliyeti daha yüksek olmaktadır. ABD'nin Teksas eyaletindeki Addicks ve Barker göletlerinin gövde mansap yüzleri bu yöntemle korunmuştur, [1].

SSB ile gövde mansap yüzü korumasının maliyeti büyük oranda, proje bölgesi koşullarına, agrega malzemesi yatağının bölgeye uzaklığına ve serilecek SSB miktarına bağlı olarak değişmektedir. SSB ile yapılan toprak dolgu baraj korumasının 1 $m^3$'ünün maliyeti 39$ ile 108$ arasında değişmektedir. Şimdiye değin SSB ile koruma yapılan en yüksek baraj gövdesi yüksekliği 20 m olmasına rağmen daha yüksek barajlarda da bu yöntemin teknik olarak uygulanabilmesinin mümkün olduğu ve daha yüksek barajlar için daha düşük birim maliyetler elde edilebilceği ileri sürülmektedir, [1].

### 2.2. Ön Yapımlı Beton Blok Sistemleri (Precast Concrete Blocks) ile Yapılan Gövde Koruması

Baraj gövdesi koruma alternatifleri arasında yer alan tekil bloklarla koruma veya silindirle sıkıştırılmış beton ile koruma yöntemlerinin, ön yapımlı beton basamak kaplaması yöntemi ile maliyet açısından rekabet içindedir. Bu tipler diğer koruma metodlarına göre daha etkili çalışmaktadır.

Bu tiplerde yapılan uygulamalara örnek eski Sovyetler Birliğinde özellikle kama şeklinde birbiri üzerine oturan beton bloklar (Wedge Shape Block), servis ve ani tehlike dolusavaklarıdır. Bunlar gövdenin ve batardoların üzerinden su aşması durumuna karşı gövdenin korunması amacı ile çok başarılı bir şekilde kullanılmıştır.

Bir diğer çalışma ise 1986 yılında İngiltere Yapı Endüstriyel Araştırma ve Bilgi Birliğinde de (CIRIA), parçalı beton blok sistemleri ile ilgili olarak hidrolik araştırmalara başlanmış ve kıyılarda, limanlarda ve büyük rezervuarlarda dalga etkisi hasarlarını en aza indirmek için çalışmalar yapılmıştır, [2]. USBR'ın Baraj Güvenliği Bölümü de CIRIA'nin yaptığı bu araştırmalara bir teknik işbirliği programı çerçevesinde katılmıştır. Daha sonra USBR mühendisleri, ABD Federal Karayolları Kuruluşunun (US.Federal Highway Administration) ve SLA müşavirlik şirketinin yol şevlerinin erozyona karşı korunması çalışmalarından haberdar olmuş ve bu organizasyonlar ile ilişki kurmuştur. Bu ilişkiler sonrasında USBR, bu sistemin dolgu barajların korunması amacı ile uygulanabilirliğini düşünerek SLA tarafından yürütülen parçalı beton blok sistemleri ile ilgili araştırmalara başlamıştır. Genel olarak İngiltere, eski Sovyetler Birliği ve ABD'de bu alanda yapılan araştırma çalışmaları, parçalı beton blok sisteminin yüksek hız ve gerilmeler altında düşük bir maliyet ile yapıya büyük bir stabilite sağlayacağını ortaya koymuştur.

Bloklarla koruma sistemi USBR'da 1993 yılında açık havadaki büyük deney düzeneğinde teste tabi tutulmuştur. Koruma sistemi yapılan testler boyunca stabil kalmıştır. Daha sonra daha olumsuz koşullardaki durumun görülmesi amacıyla düzenekteki bazı bloklar kırılmış ve yerleri değiştirilmiştir. Buna rağmen koruma sisteminin mükemmel bir performans gösterdiği ileri sürülmektedir [3]. Laboratuvar sonuçları ve açık havadaki prototip deneyi setinden elde edilen sonuçların kıyaslanması ile $\alpha=26.56°$ eğiminde bir toprak dolgu gövdenin mansap yüzünün korunması için elde edilen proje kriterleri aşağıdaki bölümlerde verilmiştir.

Koruma blokları

a- Basamak yüksekliği,

b- Basamak yüzeyinin uzunluğu ve eğimi,

c- Gövde dolgu eğimi,

d- Drenaj yarıkları ve

e- Blok kalınlığın bir fonksiyonu olarak projelendirilir.

Yapılan çalışmalarda $\alpha=26.56°$ eğimli bir gövde mansap yüzü için en uygun blok şekli 15° eğimli blok olarak elde edilmiştir, [3]. Blokların projelendirilmesinde en önemli kriter dolgu barajın eğimi ve blok tabakası üstü eğimi arasındaki farkı sabit tutmak olarak açıklanmaktadır. Yapılan çalışmalarda etkili bir drenaj için bloklar ve gövde dolgusu eğimleri arasındaki en uygun açı 11° olarak elde edilmiştir, [3]. Ancak bu kriter sadece bu farkın 11° den daha fazla oluştuğu gövde mansap yüzü eğimleri için geçerlidir.

Uygun seçilmeyen blok eğimleri, çok düşük normal kuvvetler ve çok geniş negatif basınç bölgeleri oluşturmak suretiyle yapının stabilitesini bozabilirler. Buna ek olarak diğer bir genel proje kriteri ise basamak uzunluğu/basamak yüksekliği oranının 4-6 arasında bir değer olması şeklinde önerilmiştir, [4]. Bu kriter, seçilecek basamak yüksekliği ve uzunluğu ile jetin basamak üzerine uygun bir bölgeye çarpmasının sağlanması açısından önem taşımaktadır.

Dolgu barajların gövdelerinin bloklarla korunmasındaki en önemli konulardan birisi de koruma tabakasının stabilitesidir. Bu tabakanın stabilitesinde herhangi bir bozulma gövde üzerinden suyun aştığı durumda barajın yıkılması sonucunu doğurabilir. Bu nedenle blok geometrisi için tabandaki kaldırma kuvvetini azaltacak ve bloklar üzerine gelen hidrolik yükleri arttıracak bir optimum çözüm aranmıştır. Laboratuvar çalışmaları, blokların kaldırma kuvvetine karşı dirençleri ile birlikte akımın blok yüzeyine uyguladığı kuvvetin blokları doğal olarak stabil tuttuğunu ortaya koymuştur.



*Foto 1 - Açık Havadaki Test Düzeneğinde Kullanılan Beton Bloklar, [5]*

### 2.3. Hücre Tipi Beton Hasırlar (Cellular Concrete Mats) ile Yapılan Gövde Koruması, [1]

Hücre tipi beton hasır koruma metodu orijinal olarak sahil koruması için geliştirilmiş olup daha sonra toprak dolgu baraj gövdelerinin mansap yüzünün korunması amacıyla kullanılmıştır. Bu beton koruma hücreleri aynı zamanda mafsallı beton bloklar (articulated concrete blocks) olarak da adlandırılmaktadır. Bu koruma sistemi kablolarla birbirlerine bağlanan hücre tipi prefabrik beton bloklardan oluşan ve serildiği yere sabitlenen hasır tabakalardan ibarettir. Bu sistem daha çok dalgakıranlarda, sulama kanalı şev korumasında ve deniz kıyısı korumasında kullanılmaktadır. Missisipi nehri boyunca şev erozyonunu önlemek amacıyla da bu metod kullanılmıştır.

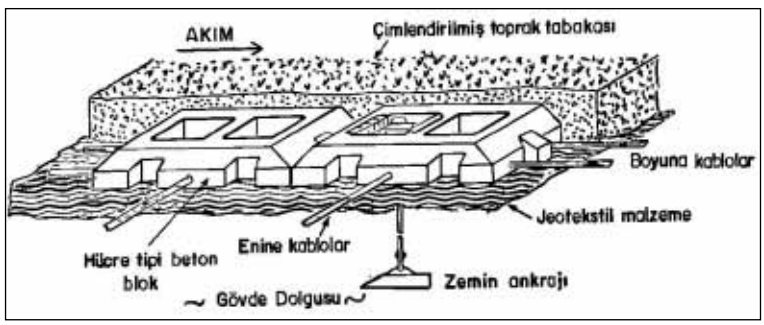
Sistemdeki beton blokların imalatı aşağıda belirtilen iki ayrı şekilde yapılmaktadır

a- Mekanik olarak basitçe birbirine geçmeli tip

b- Kablolarla birbirine bağlanan tip

Blok tasarımı dolu gövdeli olarak yapılabildiği gibi kaldırma basınçlarını sönümlemek ve aynı zamanda aralarında bitki yetişmesine olanak tanımak amacıyla boşluklu olarak da yapılmaktadır. Bu koruma tabakası altına jeotekstil serilerek bloklar ankraj ile zemine bağlanmış ve bloklar arasında bulunan boşluklar çim tabakaları ile kaplanmıştır. Hücre tipi beton hasırlar kohezyonlu bir zemin üzerine döşenerek 8 m/s'lik akım hızına kadar test edilmiş ve herhangi bir problem oluşmadığı gözlenmiştir.

Hücre tipi beton hasır sisteminin tasarımında, gövde kretinin hemen mansabında oluşan negatif basınç bölgesi etkisinin de gözönüne alınması önem taşımaktadır. Gövde üzerinden aşan akım derinliğinin 60 cm olduğu bir durum için yapılan araştırmalar sonunda, gerekenden daha hafif bloklar kullanılarak yapılan koruma tabakasının hasara uğradığı tespit edilmiştir. Gövde üzerinde oluşan negatif basınç değeri, akım derinliğine, akım hızına ve gövde eğimine bağlı olarak değişmektedir. Hücre tipi beton blokların boşluklu yapısı nedeniyle su, hem dolgu malzemesi içine hemde dolgu dışına doğru sızabilmektedir. Bu nedenle bu tip koruma sistemi jeotekstil filtre malzemesi, ankrajlar ve bitki koruma tabakası ile birlikte uygulanmaktadır (Şekil 3).



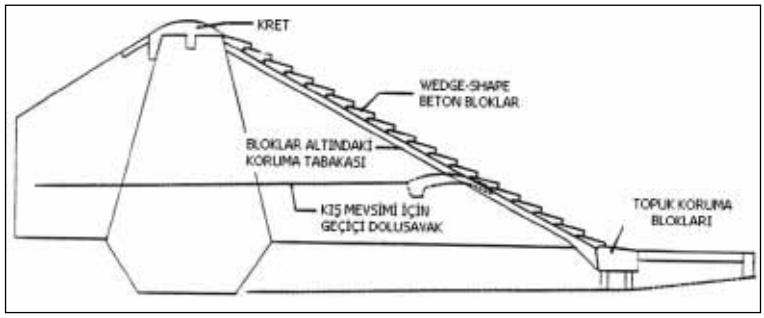

*Şekil 3 - Hücre Tipi Beton Hasır Koruma Tabakası Sisteminin Şematik görünüşü,[6]*

Hücre tipi beton hasır ile gövde korumanın ABD'deki ilk uygulaması Blue Ridge Parkway göletinde gerçekleştirilmiştir. Bunun yanısıra Bass Lake, Price Lake ve Trout Lake Göletlerinde de prefabrik beton bloklar ile gövde koruması yapılmıştır.

### 2.4. Wedge Shape Beton Bloklar ile Yapılan Gövde Koruması [1]

Eski Sovyetler Birliğinde özellikle yerleşim birimlerine çok uzak bölgelerdeki barajlarda betonarme beton bloklar yerine prefabrik beton blok kullanımının çok daha ekonomik bir alternatif olabileceği değerlendirilmiştir. Bugüne değin yapılan araştırmalar, beton bloklardaki hasarların büyük bir bölümünün blokların uygun yerleştirilmemesinden kaynaklanan türbülanslı akım koşullarında oluştuğunu ortaya koymuştur. Bir bloğun diğerinden daha yüksek bir konumda olması nedeni ile dinamik kuvvetlerin itkisini alması ve bu itkiyi diğer bloklara da yayması, stabilitenin bozulmasının başlangıcı olmaktadır. Hızlı akım koşulları altında bu dinamik itkiyle birlikte tabandaki kaldırma kuvveti toplamının, blok ağırlığı ve bağlantı yerlerindeki sürtünme kuvvetini yenmesi halinde blok memba yüzünden itibaren kalkmaya başlamaktadır. Bu durum mansaptaki diğer blokların stabilitesini de bozarak sistemin tümüyle hasara uğramasına neden olmaktadır. ABD ve İngiltere'de de yapılan çalışmalarda bu tip hasarların düz yüzeyli veya bloğun memba ucunun stabilitesi bir üstündeki diğer blok tarafından korunan wedge-shape bloklarla önlenebileceği düşünülmüştür.

Bu tip yapılarda gövde kreti, beton malzeme kullanılarak keskin kenarlı veya hafif bir eğrilik verilmiş dolusavak kreti şeklinde yapılmaktadır. Beton kretin memba bölümü ise yaklaşım akımının aşındırma etkisini en aza indirebilmek için hızın düşük olduğu bölgeye kadar uzatılmaktadır. Bu tasarımda akımın üzerine düştüğü herbir basamak platformu akımın bir bölümünü etkili bir şekilde membaya doğru bir çevrim bölgesi içerisine yönlendirir. Basamak yüzeyine akım doğrultusunda bir eğim verilmesi durumunda akım ipçiklerinin çarpma sonrasında membaya dönen bölümünün gücü azalır. Bu durum her bir basamağın memba ucunda oluşan basıncın büyük oranda düşmesine neden olur. Konu ile ilgili araştırmacılardan Pravdivets de kama şeklindeki kaplama bloklarını geliştirirken bu prensipleri gözönüne almıştır. Basamaklı bloklar granüler malzemeli gövdelerde $\alpha=26.5°$ ve $\alpha=14°$'lik eğimlerde başarı ile kullanılmaktadır. Wedge Shape bloklarla yapılan gövde koruma sistemleri 23 m/s'lik akım hızlarına kadar denenmiş ve sistemin sorunsuz bir şekilde çalıştığı belirlenmiştir (Şekil 4).




*Şekil 4-Dolgu Gövdeli Barajlara Uygulanan Wedge Shape Bloklu Koruma Sistemi, [1]*

Basamaklı beton blok koruma sistemlerinin sağladığı temel avantajlar aşağıda verilmiştir.

a- Bu beton blokların memba ucu geometrisi ve yerleşim şekli, akımın blok yüzeyine blokları kaldırmaya yönelik ek bir dinamik kuvvet uygulamasına olanak tanımazlar.

b- Akım, her bir bloklu basamağın mansap ucunda düşük basınçlı ayrılma bölgeleri oluşturur. Bu bölgeler altta yeralan drenaj boruları ile bağlantılı olup dolgu içine sızan akımın oluşturacağı kaldırma kuvvetini kontrol ederler.

### 2.5. Yerinde Dökme Beton ile Yapılan Gövde Koruması (Cast in Place Concrete)

Situ beton olarak da adlandırılan yerinde dökme beton sistemi, basamaklı veya düz yüzeyli sürekli donatılı beton (CRS) ve basamaklı ve düz yüzeyli silindirle sıkıştırılmış beton (SSB) tiplerini kapsar. SSB'ler ile yapılan gövde koruması ile ilgili olarak Bölüm 2.1'de bilgi verilmiş olup CRS ile yapılan korumalardan ise bu bölümde söz edilecektir. Bu güne kadar CRS ile koruma yapılan bazı projelerin listesi Tablo 2'de verilmiştir. Bu projelerin bir çoğunda, yüzeyi beton kaplı kaya dolgu barajlarda sıkca kullanılan memba yüzü kaplamalarına benzer şekilde, barajın masap yüzeyinin tamamına sürekli bir beton kaplama uygulanmıştır.

Donatılı koruma betonu, diğer koruma alternatiflerine nazaran bazı teknik avantajlar sağlamaktadır. Bu sistemdeki sürekli donatılama, çatlak açılmalarını kontrol ederek yapının yekpare olarak davranmasını sağlamanın yanısıra, alt yüzey drenajı, uygun kret profili ve topuktaki hidrolik sıçrama bölgesinde uygun koruma olanağı gibi bazı tasarım avantajları da sağlamaktadır [7].

*Tablo 2 - ABD'de Gövde Koruması İçin Yerinde Dökme Beton Kullanılan Projeler (USBR), [1]*

| Proje Adı | Baraj Tipi | Baraj Yüksekliği (m) | Üzerinden Aşan Su Derinliği (m) | Proje sahibi |
|---|---|---|---|---|
| A.R.Bowman Barajı (Oregon (1)) | Toprak dolgu | 75 | 6 | USBR |
| Baldhill Barajı (Kuzey Dakota) | Toprak dolgu | 12,50 | 2 | CEO |
| Coralville Lake | Toprak dolgu | 31 | 8 | CEO |
| Buckeye FRS No. (2), (Arizona) | Toprak dolgu | 6,5 | 0,5 | Moricopa Şehri Bölge Taşkın Kont. Servisi/ SCS |
| Meeks Cabin Barajı (Wyoming) | Zonlu toprak ve kaya dolgu | 57 | (2) | USBR |
| Cabin Creek Barajı Barajı (Colorado) | Zonlu toprak ve kaya dolgu | 21 | 2 | Halkla İlişkiler Ser. Şirketi Harza Müh. |

*(1) Önerilen, (2) Gövde dolgusu içerisinden geçen 9x4,5 m'lik beton menfez*

### 2.6. Riprap ve Donatılı Kaya Dolgu ile Yapılan Gövde Koruması

Ripraplar genel olarak, yoğun yağışlar süresince gövdenin mansap yüzünü erozyondan korumak için kullanıldığından gövde üzerinden aşan akımlara karşı gövde koruması için yetersiz kalırlar. Dik eğimli gövde üzerindeki akımlar için standart akım ve sediment taşınım eşitlikleri ile analizler yapmak mümkün olmamaktadır. Riprap malzeme ile yapılacak gövde korumalarındaki riprap tasarım kriterinde ana ilke, kullanılan taşın hareketinin önlenmesi ve riprap tabakasının hasar görmemesini sağlamak olmalıdır.

Riprapın gövde üzerinden aşan akıma karşı direnci malzeme özelliklerine (ortalama büyüklük, şekil, dane dağılımı, porozite ve birim ağırlık), hidrolik karakteristiklere veya gövde mansap yüzü eğimine, ve birim debiye bağlı olarak değişmektedir.

Bu konuda çalışma yapanlardan Knauss riprapı boyutlandırmak için birim debi, eğim, kaya istiflenmesi ve hava konsantrasyonuna bağlı olarak bir kaya stabilitesi fonksiyonu geliştirmiştir. Knauss bir dik eğimli gövde üzerindeki riprap stabilitesinde, kritik hızın artmasıyla akımın havalanması arasındaki ilişkiyi belirlemeye çalışmıştır. Ayrıca USBR'da, 15,24 m yükseklikli ve $\alpha$=26.56° mansap eğimli bir gövde üzerinde prototip boyutlarındaki kayalarla büyük ebatlı bir test kanalı kurulmuştur. Bu çalışmada çeşitli eğimler ve 3,72 $m^2/s$'nin üzerindeki birim debiler için Knauss'ın tasarım eğrileri tahkik edilmiştir, [8]. USBR'da, $\alpha$=9.46° eğimli ve 9 m uzunluğunda bir kanalda uygun bir filtre tabakasının üzerine serilen 15 - 61 cm'lik riprap tabakanın stabilitesi de test

edilmiştir. Bu çalışmada q= 3,72 m²/s'lik bir birim debide riprapın derhal akıma karışarak (fluizidized) taşındığı gözlenmiştir. Çalışmalarda 9,15 m/s'yi aşan akım hızlarına kadar çıkılmıştır, [8].

Bu çalışmalardan sonra Colarado State Üniversitesinde prototipe yakın boyutlardaki bir test kanalında tg $\alpha$=0.01, 0.02, 0.08, 0.10 ve 0.20 eğimli şev üzerine yerleştirilmiş ripraplarla yapılan çalışmalarda ripraplar, alt tabaka kumu ve yatak çakılı meydana çıkıncaya kadar akıma maruz bırakılmıştır, [1]. Köşeli taşlar kullanılarak yapılan 21 adet test sonucu esas alınarak $D_{50}$ (inch) riprap tabaka ortalama taş boyutu için elde edilen eşitlik aşağıda verilmiştir, [1]. Burada "$q_f$" (ft²/s) cinsinden birim debi, "S " ise gövde mansap yüzü eğimidir.

$$D_{50} = 5{,}23 * S^{0{,}43} * q_f^{0{,}56} \quad \text{..... (2.10)}$$

Riprap tabaka stabilitesinde diğer önemli bir parametre de taş şeklidir. Köşeli taşlar kamalanan veya birbirine kenetlenen ve benzer dane çaplı köşeli olmayan taşlarla karşılaştırıldıklarında boşlukların dolması açısından avantaj sağlamaktadır. Bu durum detaylı hazırlanmış riprap şartnamelerinin stablite açısından önemini ortaya koymaktadır.

Witter ve Abt yaptıkları çalışmada [1] riprap tabakanın stabilitesindeki malzeme gradasyonu etkisini araştırmıştır. Stabilite katsayısı, hasar anındaki birim debinin, Cu=2,15 iken hasar gören riprapdaki birim debiye oranı olarak belirlenmiştir. Yapılan çalışmalarda stabilitenin, üniformluluğun azalması ile arttığı, 1,8 ile 3,0 arasındaki Cu değerleri için stabilitede %10 civarında bir artış ve azalma olduğu bulunmuştur.

### 2.6.1. Eğimli Gabion ile Yapılan Gövde Koruması

Gövde üzerinden suyun aşması durumu için yapılan analizlerde riprapın tek başına stabil olmadığı ortaya çıkarsa stabiliteyi sağlamak amacıyla Gabion koruma sistemleri değerlendirilmektedir. Gabion koruma sistemlerinin değişik tipleri üzerinde yapılan testlerde bu sistemin q= 3,72 m²/s'lik birim debi ve 9 m/s'lik akım hızlarına kadar güvenli bir şekilde çalıştığı tespit edilmiştir. Ancak bu durumda gabion malzemelerin yeterli büyüklükte olması ve toprak dolguya sağlam bir şekilde ankrajlanması gerekmektedir. Gabionlarda tel örgünün deformasyonu sonucunda kaya dolguların mansaba hareketini ve alt tabakadaki filtre malzemesinin meydana çıkmasını önlemek için gabionların köşeli taşlarla sıkıca istiflenmesine özen gösterilmesi tavsiye edilmektedir.

ABD'de New Jersey'de Lake Valhalla üzerinde 4,57 m yüksekliğindeki toprak dolgu gövdenin mansap yüzü, akımın gövde üzerinden aşması durumu için 30,48 cm kalınlığında gabion koruma tabakası ile korunmuştur. Bu kabartma yapısında önce gövdenin mansap yüzündeki bitki örtüsü ve üst zemini sıyrılmıştır. Daha sonra serilen jeotekstil üzerine 2,54-1,25 cm'lik çakılların yerleştirilmesi ile düşük olan orijinal eğim doldurularak mansap yüzü $\alpha$=26.56°'lik bir eğime getirilmiştir. Bölge piknik ve dinlenme yeri olarak planlandığından gövdenin mansap eğimi ve topuktan itibaren 2.7 m uzunluğundaki bölge PVC kafesli 1,90 cm'lik gabionlar ile kaplanmış ve rekreasyon alanlarının yanı 20 cm kalınlığında bir çim tabakası ile örtülmüştür. Bu projede uygulanan 1338 m²'lik gabion koruma ve diğer yapısal düzenlemelerin inşası 1988 yılında 15 haftalık bir sürede tamamlanmıştır [1].

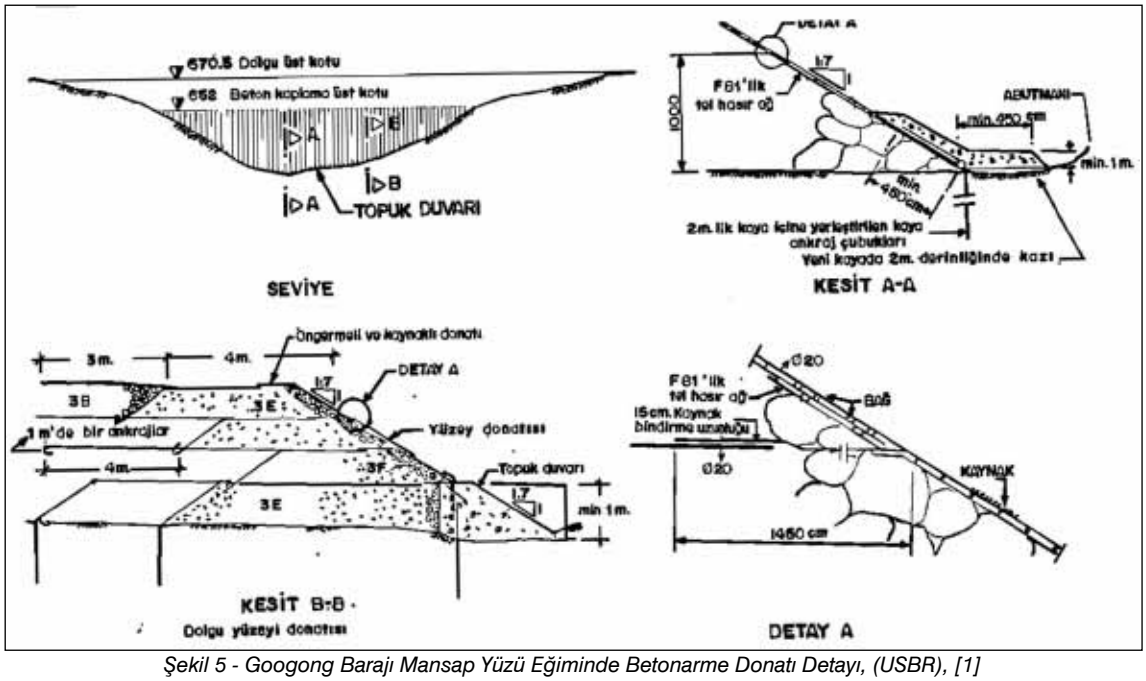
### 2.6.2. Donatılı Kaya Dolgu ile Yapılan Gövde Koruması

Gövde üzerinden aşan akımlara maruz kalan kaya dolgu barajların mansap yüzlerini korumak için donatılı ankrajlanmış çelik ağ sistemleri dünyada yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sistemler, gövde üzerinden suyun aşması süresince yüzey erozyonunu önlemekte ve kaya dolgunun kayma hasarlarına karşı korunmasını sağlamaktadır. Avustralya Qucesland'daki Borumba Barajı ve ABD'deki Pit 7 Afterday Barajında her bir tabakada ankrajlanmış çelik çubuklu bir grid sistem kullanılmıştır. Avustralya Tasmania'da bulunan Cethana Barajında ve Pallona Barajı memba batordosunda ise birbirine geçmeli bir gabion ağı kullanılmıştır. Güney Afrika'daki Xonxa ve Bridle Drift barajlarında ve Batı Avustralya'daki Ord Nehri Barajında ankrajlanmış kaynaklı çelik ağ şeklinde bir koruma sistemi kullanılmıştır. Bu projelerin herbirinde toprak dolgu üzerinden suyun aşması durumunda koruma tabakasının performansları Fokkema [10] tarafından tespit edilmiştir. Bu barajlardan Cethane Barajında başlangıçta zincir bağlantılı bir ağ sistemi kullanılmış ancak bu sistemde gövde üzerinden suyun aşması sonrasında hasarların oluştuğu gözlenmiştir.

Bu konudaki bir diğer çalışma ise Avustralya'daki Quenbeyan nehri üzerinde yer alan 60 m yüksekliğe ve 360 m uzunluğa sahip toprak ve kaya dolgu tipindeki Googong Barajında yapılmıştır, (Şekil 5). İnşaat esnasında gövde yüksekliği dere yatağından itibaren 17 m ve 40 m arasında iken mansaptaki risk değerlendirilerek gövdenin tamamlanmış olan bölümü, gövde üzerinden suyun aşması olasılığına karşı korunmuştur.

### 2.6.3. Basamaklı gabion ile yapılan gövde koruması

Koruma sisteminde çok büyük bir yapısal stabilite ve aynı zamanda basamaklar üzerinde enerji sönümlenmesinin istendiği durumlarda, gövde koruması için basamaklı gabion savaklar önerilmektedir. Bu konuda 15 ve 23 cm'lik taşların yeraldığı 3 m'lik altıgen ağlı sepetler kullanılarak değişik basamak konfigrasyonları için 1/5 ölçekli hidrolik model çalışmaları yapılmıştır. Yapılan çalışmalar, tan $\alpha$=1/1,




*Şekil 5 - Googong Barajı Mansap Yüzü Eğiminde Betonarme Donatı Detayı, (USBR), [1]*

1/2 ve 1/3 eğimli şevler üzerinden 3,05-4,88 m'lik yüksekliklerden 0,7-2,78 m²/s'lik debiler savaklanarak yapılmıştır. Bu araştırmalarda, akım koşullarının tespitine yönelik, mansapta arta kalan enerji yüksekliği ölçümleriyle basamaklar boyunca sönümlenen enerji miktarını belirlemeye yönelik ve enerji kırıcı havuz tasarım kriterlerinin belirlenmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır [11].

Yapılan çalışmalarda nap ve sıçramalı (skimming flow) akım olmak üzere iki tip akım oluşmuştur. Nap akımında, akımın aşağıdaki basamağa çarpıp dağılması sonucu oluşan türbülans ile akımın enerjisinin büyük bir bölümü sönümlenmektedir. Yüksek debilerde ve 5,50-6,10 m/s hızda, nap akımı sıçramalı akım (skimming flow) tipine geçmiştir.

Gabion tasarımında ek yükleri karşılaması bakımından emniyetli tarafta kalmak amacıyla basamaklar üzerindeki koruma betonlarına 5-10 cm ilave edilmesi de önerilmektedir. Bunun yanısıra stabilitenin ve sönümlenen enerji miktarının arttırılması için gabionların uç kısımlarının membaya doğru yaklaşık %10 kadar kalınlaştırılması ve tasarımda kullanılacak maksimum birim debinin ise 2,78 m²/s ile sınırlandırılması önerilmektedir, [1].

*Tablo 3 - Bitkilendirilmiş baraj gövdeleri ve rıhtım şevleri üzerinden su aşması durumunda elde edilensonuçlar, [1]*

| Adı | Yapı Yüksekliği (m) | Yapıda Kullanılan Malzeme | Gövde Üzerinden Aşan Maksimum Akımın Derinliği (m) | Akımın Gövde Üzerinden Aşma Süresi (saat) | Hasarın Boyutu |
|---|---|---|---|---|---|
| Little Blue Nehri Rıhtımı, MO. | 4.57 | Kil | 0.31 | 12 | O / B(2) |
| Elm Fork, Tex. Site 9 | 10.98 | Kil | 0.12 | 3 | MD |
| Colorado Taşkın Öteleme Yapısı | | | | | |
| M - 1 | 11.58 | SC-CL | 0.40 | 2 - 4 | O |
| S - 1 | 7.01 | SC-CL | 0.23 | 2 - 4 | O |
| W -1 | 14.93 | SC-CL | 0.91 | 1 - 2 | MD |

*(1) B = Bozulmuş, MD = Makul Hasar, O = Çok az hasar veya hasarsız*

*(2) 1977 yılında üzerinden su aşmasında bozulma yok, 1982 yılında üzerinden su aşmasında 12.nci saatten sonra bozulma başladı.*

### 2.7. Diğer Koruma Sistemleri ile Yapılan Gövde Koruması

#### 2.7.1. Bitkiler ile Yapılan Gövde Koruması

Dolgu baraj gövde mansap yüzü koruma alternatiflerinden biri de bitkilerle yapılan korumalardır. Kohezif malzemeli gövdelerde uygulanan bazı bitki kaplamaları ile gövdenin 2.75 m/s'yeye kadar akım hızına karşı emniyetli bir şekilde korunduğu gözlenmiştir, [12]. Ancak bu koruma yöntemi sadece kısa süreli akımlar için yeterli koruma sağlayabilmektedir. Çimlendirilmiş baraj gövdesi ve rıhtım şevleri için yapılan bazı uygulamalarda akımın gövde üzerinden aşma süreleri ve koruma

tabakasının davranışları hakkındaki çalışmaların sonuçları özetlenerek Tablo 5'de verilmiştir. Bunun yanısıra 25 m uzunluğunda ve $\alpha$=21.8° şev eğimine sahip 1 m genişlikli trapez kesitli ve sadece çimle kaplanmış bir deney kanalında yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar da özetlenerek Tablo 4'de verilmiştir.

*Tablo 4 - CIRIA Tarafından Çimlendirilmiş Kanalda Yapılan Testlerin Sonuçları [1]*

| Deney No | Süre (saat) | Debi (lt/s) | Debi* (lt/s) | Çalışma sonrasında kanalın durumu |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.75 | 68 | 260 | Bastırılmış |
| 2 | 1.50 | 68 | 260 | Bastırılmış |
| 3 | 3 | 68 | 260 | Bastırılmış |
| 4 | 0.40 | 187 | 343 | Hasar görmüş veya aşınmış |
| 5 | 0.25 | 243 | 371 | Hasar görmüş veya aşınmış |

** Kreten itibaren 15 m uzunluktaki kanalda yapılan çalışma.*

Bu tip gövde koruma yöntemi kullanılan yüzeylerin çimlendirilmesinde zayıf alanların daha sık (yoğun) olarak çimlendirilmesine özen gösterilmelidir. Bu koruma yönteminde gübreleme, biçme ve hasar görmüş bölgelerin onarılması ile sistemin sürekliliğinin sağlanması zorunluluğu vardır. Ayrıca bitki kaplamanın hayvanlar ve motorlu araçlar gibi dış kaynaklı hasarlara karşı da çok iyi korunması gerekmektedir.

ABD Ziraat Araştırma Servisi tarafından eğimli yüzeylerde bitki kaplamaların oyulma analizi için bir yöntem geliştirilmiştir [13]. Bu çalışmalarda zemin yüzeyindeki efektif kesme gerilmesi belirlenmiş ve zeminin izin verilebilir kayma gerilmesi ile karşılaştırılmıştır. Bu koruma yönteminde izin verilebilir hız değerleri, kaplamada kullanılan bitki türüne bağlı olarak erozyona dayanıklı zeminlerde 1.00 m/s ile 2.50 m/s arasında, kolayca aşınan zeminlerde ise 0.75 m/s ile 1.80 m/s arasında değişmektedir. İzin verilebilir kayma gerilmesi ise bitkisel kaplamanın sınıfına bağlı olarak 1,71 kg/m² ile 18 kg/m² arasında değişmektedir.

### 2.7.2. Jeotekstiller ile Yapılan Gövde Koruması

Jeotekstil malzemeler şevlerin erozyona karşı direncini artırmak amacıyla kullanılmaktadır. Gövde koruma amacı için kullanılan jeotekstiller üç ana kategoride sınıflandırılmaktadır.

- Ara boşluklarında bitki yetişmesine olanak tanıyan doğal veya sentetik (polimer) fiber kullanılarak yapılan örgü ağ ve dokuma.
- Altı zeminle doldurulmuş ve çim tohumu atılmış açık sentetik hasır kafes sistem.
- İçi asfalt veya kaya ile doldurulmuş sentetik hasır veya kapalı tel kafes sistem.

Yapılan araştırmalar, jeotekstilin uygulandığı koşullarda alt zemin ile malzeme arasında, alttan kaldırma kuvveti iletmeyen bir ortamın sağlandığını göstermiştir. Burada dikkat edilecek en önemli husus, akım boyunca zeminin altındaki jeotekstil sisteminin korunmasıdır. Bunun için de sık bir dokuma veya kök sistemi kurulması önerilmektedir. Sistemin etkili ve sorunsuz bir şekilde çalışması çevre koşullarına, koruma ve bakım çabalarına bağlı bulunmaktadır.

CIRIA tarafından Jackhouse Barajı'nda gövde koruması olarak uygulanan jeotekstillerin, çok farklı doğal koşullarda ve gövde üzerinden aşması durumunda etkili bir şekilde çalıştığı gözlenmiştir.

Çimlendirilmiş kanallarda sürekli basamaklı 4 tip

*Tablo 5 - Sürekli Basamaklı Çimlendirilmiş Kanallarda CIRIA Tarafından Yapılan Çalışmaların Sonuçları, [1]*

| Kanal | Süre (saat) | Debi (lt/s) | Akım hız (2) (m/s) | Performans |
|---|---|---|---|---|
| Lotrak | 0.75, 1, 3.50 | 68 | 3.00 | İyi |
| | 0.75, 1.50, 3 | 221 | 4.12 | İyi |
| | 5 dakika | 411 | 5.79 | İyi |
| | 0.75, 1.50, 3 | 289 | 5.09 | Çökme belirtisi |
| | 0.75, 1.50, 2 | 430 | 6.10 | Çökmüş |
| | 0.75 | 572 | 26.61 | Hasarlı |
| Netion | 0.75, 1.50, 3 | 68 | 3.00 | İyi |
| | 0.75 | 198 | 4.51 | İyi |
| | 2 | 246 | 4.78 | İyi |
| | 2.5 | 303 | 5.21 | İyi |
| | 1, 1.50, 2.75 | 351 | 5.61 | Çökme belirtisi |
| | 1.25 | 733 | 7.01 | ----- |
| | 1.25 | 1070 | 8.23 | Hasarlı |
| Enkamat 7220 | 0.25 | 54 | 2.59 | İyi |
| | 0.50 | 110 | 3.00 | İyi |
| | 1.50 | 71 | 2.80 | İyi |
| | 3 | 57 | 2.71 | İyi |
| | 0.75, 1.50, 3 | 190 | 3.81 | Çökme belirtisi |
| | 0.75 | 439 | 5.79 | Çökme belirtisi |
| | 1.50, 3 | 360 | 5.21 | Çökme belirtisi |
| | 1.50 | 620 | 1.01 | Hasarlı |
| Enkamat A20 | 0.75, 1.50, 3 | 176 | 3.90 | İyi |
| | 0.75, 1.50 | 459 | 5.49 | İyi |
| | 1 | 521 | 5.70 | Hasar No 1 |
| | 0.25 | 360 | 5.09 | İyi |
| | 1 | 490 | 5.61 | İyi |
| | 1 | 544 | 5.79 | İyi |
| | 10 dakika | 796 | 6.49 | Hasar No 3 |

*Not: 1. Akım hızları kanalın orta yarısındaki ortalama akım derinlikleri ile hesaplanmıştır.*

*2. Kretten itibaren eğimli uzunluğu 15 m olan kesitteki akım hızını ifade etmektedir.*

jeotekstille CIRIA'nın yapmış olduğu testlerin sonuçlarının özetini içeren bilgiler Tablo 5'de verilmiştir. Jeotekstil ile koruma sisteminin 3 - 5.5 m/s'lik hızlara sahip akımlara karşı gövdenin erozyondan korunması çalışmalarında oldukça tatminkar sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

## 3. SONUÇLAR

Son yıllarda gövde mansap yüzü korunarak dolgu barajların üzerinden akımın aşmasına izin verilmesi metodu yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu amaçla uygulanan gövde koruma alternatifleri aşağıda sıralanmıştır. [8]

a- SSB (Silindirle Sıkılanmış Beton)

b- Ön yapımlı beton blok sistemleri (Precast Concrete Block)

c- Yerinde dökme beton (cast-in place concrete)

d- Riprap kaplama ve sürekli betonarme betonu ile kaplama (CRCS)

e- Bitkisel koruma tabakası

f- Jeotekstiller

Bu metodlardan en yaygın olarak kullanılanları beton ile yapılan kaplamalar olmaktadır. Gerek uygulama teknikleri ve gerekse akıma maruz kalmaları durumundaki dayanımları yönünden tercih edilen bu kaplama tiplerinin kullanım alanları giderek yaygınlaşmaktadır.

## 4. KAYNAKLAR

[1] Alternatives for Overtopping Protection of Dams, ASCE, 1994, Newyork - USA.

[2] Clopper E.P., "Protecting Embankment Dams with Concrete Block System", Hydro Rewiew, April, 1991.

[3] Frizell H.K., "Stepped Overlays Can Protect Your Embankment Dam During Overtopping" ,

[4] Baker R., "Performance of Wedge- Shaped Blocks in High Velocity Flow" CIRIA Research Project 407 Stage 2, Universty of Salford, England, August 1991.

[5] Yıldız D., "Environmental, Dam Safety and River Operation Technical Training Programme Evaluation Report", Mayıs-1992, DSİ TAKK Dairesi Başkanlığı, ANKARA.

[6] Wooten, R. Lee, George R. Powledge, and Stephen L. Whiteside, "Dams Going Safely Over the Top," Civil Engineering, Volume 62, No. 1, pp. 52-54, January 1992.

[7] Hensley, Perry J. and Charles C. Hennig, "Overtopping Protection for A. R. Bowman Dam," ASCE Proceedings of the 1991 National Conference, Nashville, Tennessee, pp 130- 135, 1991.

[8] Eggers, Gregory, Michael Newbery, and Eugene Geinperline, "Twice the Spillway at Half the Price," Modifications of Dams to Accommodate Major Floods, Twelfth Annual USCOLD Lecture Series, Fort Worth, Texas, April 1992.

[8] Dodge, R.A., "Overtopping Flow on Low Embankment Dams-Summary Report of Model Tests" Report REC-ERC-88-3, Bureau of Reclamation, Denver, Colorado,1988.

[10] Fokkema, A., M. R. Smith, and J. Flutter, "Googong Dam Flood Diversion and Embankment Protection During Construction," Technical Session on Flow over Rockfill Dams: 17th A.G.M., Adelaide, Australia.

[11] Peyras, L., P. Royet and G. Degoutte, "Flow and Energy Dissipation Over Stepped Gabion Weirs," Journal of Hydraulic Eng. American Society of Civil Eng.Volume 118, No. 5, May 1992.

[12] Powledge, George, et. al., "Mechanics of Overflow Erosion on Embankments, I) Research Activities, II) Hydraulic and Design Considerations", American Society of Civil Engineers, Journal of Hydraulic, Vol. 115, No. 8, August 1989.

[13] Temple, D.M.1 et al, "Stablility Design of Grass-Lined Zopen Channels", USDA, Agric. Handbook No. 667, Agric. Res. Serv., Beltsville, M.D., 1987.