

Alternatif kanal kaplama sistemlerinin tasarımı ve faydaları

Muhammad RIAZ*, Zekai ŞEN

İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Su Mühendisliği Programı, 34469, Ayazağa, İstanbul

Özet

Sulama kanallarından sızma kayıpları yeraltı suyu beslenmesi ve drenaj problemleri için çevresel olarak, kritik bir anlam ifade eder. Sulama dağıtım sistemlerindeki sızmalar komşu bölgede bulunan kanallarda su girişimine sebep olurken aynı zamanda güvenli ve verimli olarak sağlanan su miktarı da azalmaktadır. Tuzlu yeraltı suyu söz konusu olduğunda, sızma ile meydana gelen su kaybı temiz su kaynaklarının yok olmasına yol açmaktadır. Fordwah Eastern Sadiqia South (FESS) proje alanı Pakistan Bahawalnagar Bölgesinde Lahore kentinin 300 km güneyine düşen, Bahawalnagar, Chishtian ve Haroonabad gibi üç farklı alandan oluşmaktadır. Tarım yoğunluğu %80 (her dönem için %40) olan bir yer için uygulanacak orijinal tasarım debisi (water duty) 1000 hektarda 1.21 m³/s dir. Fazla derin olmayan yeraltı suları kullanılarak tarım yoğunluğu %130 oranında arttırılmıştır. Fakat bu, önemli ölçüde tuzlama ve su girişimi problemlerine yol açmıştır. Kanal kaplama projelerinin amacı sulama kanallarında meydana gelen sızma kayıplarını azaltarak su girişimi ve tuzlanma olaylarını azaltmaktır. Bu projede debileri 2.83 m³/s den küçük olan ve 4 yıllık inşaat süresince yaklaşık 160 km'si döşenen ufak kanallar üzerinde yoğunlaşmıştır. Bu çalışmada hem verimi artırmak için hem de deney amaçlı olarak proje alanında kurulmuş kanal kaplama sistemleri incelenmiştir. Tasarım için gerekli yaklaşım çerçevesi, mevcut kanal sistemlerinin kaplanmasında karşılaşılan zorluklar ile beraber bu çalışmada sunulmuştur. Farklı sızma ölçüm teknikleri karşılaştırılmış ve içlerinden en pratik olan yöntem seçilmiştir. Geosentetik malzemelerin kaplama amaçlı kullanımı ve beklenen faydalar araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sızma, ölçüm, yeraltı suyu, su girişimi ve tuzluluk, kanal kaplama teknikleri ve faydaları.

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Muhammad RIAZ; aizariaz@hotmail.com; Tel: (212) 285 67 37.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Su Mühendisliği Programı'nda tamamlanmış olan "Sızma ölçümleri ve en uygun kanal kaplama malzemesi için hassas yöntem seçimi (bulanık mantık tekniğinden yararlanarak)" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 21.10.2005 tarihinde dergiye ulaşılmış, 02.02.2006 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.03.2007 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Aspects of design and benefits of alternative lining systems

Extended abstract

Seepage losses from irrigation channels have widely been identified as environmentally critical for the resulting groundwater accessions and associated drainage problems. Seepage from irrigation distribution system causes waterlogging in the area adjacent to channels while simultaneously reducing the amount of water available for safe and productive use. In case of saline groundwater conditions, water lost to seepage ultimately turns as an irretrievable loss of valuable fresh water resource.

Seepage from channels is a dynamic process that is complicated by a variety of factors; non uniformity of soil, water quality, sedimentation, erosion, soil permeability, fluctuating water tables and water levels in the canals and also periodic filling and drying up of the canals. A reliable estimation of seepage loss quantities from canals become crucially important while evaluating performance of an irrigation channels and drainage scheme.

Pakistan has one of the largest irrigation systems in the world. Irrigated area of Pakistan is 17.12 million hectares out of which 11.51 million hectares is being irrigated by the canal networks. The network of irrigation system consists of dams, barrages, link canals, distributaries, minors and watercourses. Lack of innovation in this system, according to economic and social changes, has not occurred since operation of this system. With the passage of time, degeneration in the century, old irrigation system has brought its efficiency down to 50 %. Mostly the canals are unlined and are being silted up due to the choking of the system day by day. Huge quantities of water are usually lost from unlined channels

The US Bureau of Reclamation (1954) quoted by Kraatz (1977) reported that 37 % of all water diverted on 46 of its projects was lost in conveyance. Additionally, 23% was attributed to seepage and 14% to waste. Saran et al. (1967) stated losses of around 47% in irrigation canals in India, 33% to 60% in USA and 25 to 60% in Mexico. In Pakistan the individual canal losses range from 10% to 40% although these figures

represent total losses including evaporation, wastage and transpiration.

Although the reason for these losses are investigated by performing numerical model solutions for a series of examples with different conditions at the lower boundary of the aquifer no field tests are discussed so far according to the prevalent field conditions. This study is conducted in evaluating the different methods for seepage measurements from canals under flowing and non flowing conditions. Some other latest test techniques have also be discussed in this research study. A technical and cost comparison of different tests have been made using fuzzy logic technique, and the most suitable and precise test has been selected for seepage evaluation.

Fordwah Eastern Sadiqia South (FESS) project area is located in Pakistan approximately 300 km South of Lahore in Bahawalnagar District in three places, namely, Bahawalnagar, Chishtian and Haroonabad. The original design water duty was 1.21 m³/sec per 1000 hectare, implying a cropping intensity of about 80 percent (40 percent in each season). With the improved supplies supplemented by sub-irrigation from shallow ground water, the cropping intensity has increased to over 130 percent. This has resulted in significant salinity and water logging problems in the area.

The objective of the canal lining project is to reduce waterlogging and salinity through the reduction of seepage losses from the irrigation channels. The project targeted the minor channels with discharges of less than 2.83 cumec (100 cusec), and a total length of approximately 160 km (100 miles) is lined during the four years construction period.

This paper describes the proposed canal lining systems installed in the project area both for the main production component and also for experimental purposes. An outline of the design approach is given with discussion on the difficulties in lining of the existing canal systems. Different seepage measurements techniques are also discussed with the most practical method selection. The use of geosynthetic lining materials is also presented including the expected benefits..

Keywords: Seepage, measurement, ground water, water logging and salinity, construction techniques, benefits.

Giriş

Fordwah Eastern Sadiqia South (FESS) sulama ve kurutma projesi Pakistan'ın Bahawalnager Bölgesi'nde bulunan yaklaşık 105 000 hektar alandan oluşmaktadır. Bu alanın tuzlu yeraltı suyu ile akiferleri bulunmaktadır. Proje, sızma kayıplarının kontrol edilmesi suretiyle kanal taşıma verimliliğinin artırılması ve su kaynaklarının yetersizliğinin ortadan kaldırılması için tasarlanmıştır.

Projenin planlanması ve uygulanmasında bulunan kritik ara elemanları en iyi şekilde kullanabilmek için, sulama ve kurutma işlemini yerine getiren bileşenlerinin çok iyi bir şekilde araştırılması gerekmektedir. Araştırılan bileşenler i) Tahıl üretiminde su girişimi ve tuzluluğunun etkisinin değerlendirilmesi, ii) Sulama ve kurutma projelerinin, arazi ve su potansiyelinin genel anlamda planlanabilmesi ve işletilebilmesi için gelişmiş teknolojilerin ortaya konması, iii) Farklı tipteki kanal kaplama malzemelerinin değerlendirilmesi, ve iv) Bitki su ihtiyacı ile mevcut su kaynaklarını değerlendirerek sulama yöntemlerinin geliştirilmesidir. Buna örnek olarak entegre sulu tarım yönetimi ve tarım açılım desteği gösterilebilir. Bu makalenin amacı ise farklı tipteki kanal kaplama malzemelerinin performansının araştırılmasıdır.

Kanal kaplama işlemi farklı malzemeler/typler ve özellikler kullanılarak farklı inşaat metotları ile birlikte uygulanabilir. Pakistan şartlarında farklı malzeme /typlerin ve inşaat tekniklerinin uygunluğunun incelenmesi konusunda şimdiye kadar pek az çalışma yapılmıştır. Kanal kaplamasında farklı malzemelerin / typlerin kullanımına karşı, sızma kontrolü, verimlilik dayanım süresi, inşaat teknikleri ve ekonomik uygunluk gibi bir çok parametrenin birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. FESS kanal kaplama programında özellikle geosentetikler olmak üzere çeşitli yeni kaplama malzemeleri çeşitli deneyler ile göz önünde bulundurularak gerekli öneriler sunulmuştur.

0.2 ile 3 mm'lik tabaka halinde esnek bir malzeme olan geomembranlar kanal kaplaması için sıkça kullanılmaktadır. Geomembran olarak kul-

lanılan birçok malzeme ve alaşımı vardır. Genelde bu malzemeler monomerlerin kimyasal bileşimi ile oluşan polimerlerdir. Bu malzemeler elastomerler (rubbers) ve termoplastik malzemeler olarak ikiye de ayrılabilirler. Termoplastik malzemeler polyolefinler ve polyolefin olmayanlar şeklinde ayrılabilirler. Polyolefinlere polipropilin türleri ve polietilenler örnek gösterilirken, polyolefin olmayanlara PVC (Polyvinyi chloride) örnek gösterilebilir. Polyolefin sadece karbon ve hidrojen içerirken kimyasal olarak tepkimeye girememesinden dolayı sadece ısı ile şekillendirilebilir. Polyolefin olmayanlar birleşim yerleri için kullanılan çözeltilere karşı kimyasal tepkime gösterirler. Elastomerler de çözücü/bağlayıcılar ile birleştirilebilirler. Geomembranların özellikleri, kimyasal kompozisyonlarına göre türleri arasında çok büyük farklılıklar gösterirler (Koerner, 1989 ve 1990).

Geomembranlarının özellikleri, standart testleri ile ölçülür. (ASTM, 1995 ve Rollin ve Rigo 1991). Kaplama işleminde özellikle delinmeye, yırtılmaya, eskimeye ve ultra-viyole ışınlarına karşı dayanıklı geomembranlar kullanılır. Bu özellikler Bahawalnagar-Pakistan'da bulunan Engineer's Geosynthetics Laboratuvarında test edilmiştir.

Bu çalışmada özellikle FESS projesinde yapılan kaplama işlemlerinin tasarım ve uygulaması konuları üzerinde durulmuştur.

Kanal kaplaması üzerinde çalışma alanı deneyleri

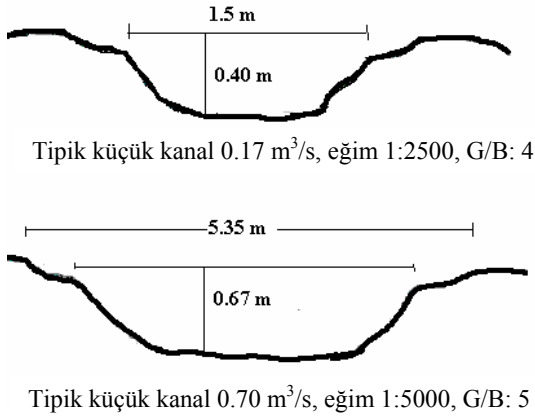
Uygulama teknikleri

Deneylerin amacı Punjab şartlarında sızma ile meydana gelen su kaybını azaltarak ve çevirme kanalı inşa etmeden uygulama yaparak, mevcut kanalları en az maliyet ile kaplama alternatiflerini araştırmaktır. Kanallara yapılacak en uygun ve en ekonomik kaplama tipleri deneysel çalışmalar ile tespit edilmeye çalışılmıştır. Deney planı 1995 yılında tasarlanmış (Mott Macdonald, 1995) olup China Beijing Corp (1995-2001) tarafından sahada uygulaması yapılmıştır.

Kaplanacak kanallarda doğal şartlar

FESS bölgesinde bulunan mevcut kanallar Punjab’ın düz kısımlarındaki tipik alüvyonlu sulama kanallarından oluşmaktadır. Burada test edilen kanalların küçükleri 1.8 m genişliğinde ve debisi $0.11 \text{ m}^3/\text{s}$ iken büyük olanları 18.28 m genişliğinde ve $11.32 \text{ m}^3/\text{s}$ ’lik bir debi geçirmektedir. Kanal eğimleri 1/10000 ile 1/2000 arasında değişirken geniş kanalların genelde eğimi azdır. Deneylerin büyük bir kısmı $0.28 \text{ m}^3/\text{s}$ ’den daha az debi taşıyan kanal kollarında yapılırken, bazen de $11.32 \text{ m}^3/\text{s}$ debi taşıyan kanal kolları kullanılmıştır. (Şekil 1)

Tipik kaplanmamış FESS kanal kesitleri



Şekil 1. Tipik kaplanmamış proje kanal kesitleri

Temel kanal kaplama tipleri

Deneylerde, geomembranların ve geotekstillerin sert ve toprak yüzeylerde çeşitli kombinasyonları kullanılarak farklı kaplama tipleri denenmiştir. Mevcut kanalların en düşük maliyet ile kaplama olanaklarının araştırılması amaç edinilmiştir. Kaplama maliyetlerini en aza indirecek yollardan biri de verimlilikten ödün vermeden ucuz imalatlar yapmaktır. Diğer taraftan maliyeti artıran önemli bir unsur olarak çevirim (diversion) kanalları karşımıza çıkmaktadır.

$100 \text{ m}^3/\text{s}$ ’den daha az debi taşıyan kanallardaki deneysel kaplama tiplerinin hepsinde ince fakat iyi kalite geomembranlar kullanılmıştır. Bunlara örnek olarak esnek polipropilen alaşımı (FPA-flexible polypropylene alloy) gösterilebilir. Isıtma tekniği kullanılarak 0.5 mm kalınlığında, paketleme genişliği yaklaşık 5.79 m olarak çift

sıkıştırma metodu veya kaynak yaparak imal edilirler. Bu ise kaplama bileşenine ve 0.75 mm kalınlığında düşük kalite yoğun polipropilen (VLDPE- verylow density Polypropylene) ve biraz daha geniş toprak kullanılan geniş kanallardaki deneyler ile ters düşmektedir.

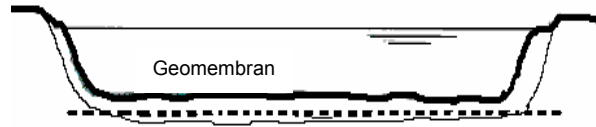
Toprak örtüsü altındaki geomembranlar

Bu grup kaplama tipleri sadece kanal su ile dolu olduğu zaman kanal yatağı ile su altında yaşayan hayvanlar arasında temas mesafesini koruyacak kadar yeterli derinlikte olan kanallarda kullanılır. Bunlara örnek olarak 1.22 m’den daha derin kanallarda hayvanlar için her zaman geçiş olan kanal şevlerinde ancak gerekli tedbirler alındıktan sonra kullanılır. Kanal yatağındaki geomembranların üstünün toprak ile (her şartta kanal yatağına toplanacak olan ince malzeme) örtülmesi gerekir. Bu örtünün amacı uzun zamanda oluşacak su akışından ve kanal kapatıldığı zaman hayvanlardan, kanaldan inşaat malzemesi olarak kum çekenlerin verdiği zararlardan ve ileride hidrolik ve sediment birikiminden dolayı meydana gelen yatak seviyesindeki değişimlerden doğacak şartlardan korumaktır. Deneylerde 0.30-0.45 ve 0.61 m kalınlıklı kum örtüsü tabakaları kullanılmıştır. Bu grup içerisinde bulunan iki temel tip aşağıdaki şekilde gösterilebilir (Snell, 1999).

Tip A: Kanal yatağına ve şevlere kaplanan geomembranlar, şevlerde bulunan geomembranlar geotekstillere ve birkaç metre kalınlığındaki sıkıştırılmış kohezyonlu toprak ile korunmuş (Şekil 2).

Tip B: Sadece kanal tabanında kaplanan geomembran toprak örtüsünü altında ve geotekstil kullanılmamış (Şekil 3).

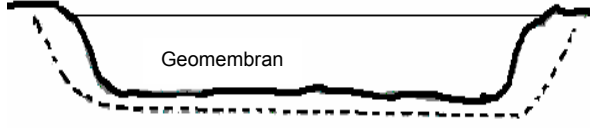
Kanal tabanında ve şevlerde toprak örtüsü altında geomembran, Tip-A



Ana malzeme ve biriken malzeme arasındaki arayüz

Şekil 2. Kanal tabanında ve şevlerde toprak örtüsü altında geomembran

Sadece kanal tabanında toprak örtüsü altında geomembran, Tip-B



Şekil 3. Sadece kanal tabanında toprak örtüsü altında geomembran

Sert kaplama altındaki geomembranlar

Küçük kanallar 0.4 m ila 1.22 m arasında değişen çok az derinliklere sahip olduklarından, birincil olarak hayvanlardan korunmak amacıyla, geomembran tabakasının üstüne toprak tabakası serilmesi pek gerçekçi olmayacaktır. Bu yüzden eğer geomembran kullanacaksa sert bir kaplamaya ihtiyaç olacaktır. Bu gruba ait deneyler, çok çeşitli sert kaplamalara ek olarak geomembran içermeyen birkaç çeşit kaplama tipinin denenmesinden oluşmaktadır. Su geçirmezlik, bağlantı yerlerinin iyi yapıştırılması ile sağlanmaya çalışılmıştır. 2.83 m³/s'den daha az debi geçiren küçük kanallarda, deneylerin bir çoğunda su geçirmez element olarak geomembranlar, onları hasardan koruma amaçlı beton plakalar ile birlikte kullanılmıştır. Bu tiplerin bazılarında geomembranlar kullanılmamış olup, bir çeşidinde tuğla kaplama yapılmıştır. Bazı deneylerde, uygulama esnasında geomembranı korumak ve yaş betonunun eğimli yüzeylerde kaymasını engellemek amacıyla, geomembran ile beton arasında geotekstiller kullanılmıştır. 7 farklı temel kaplama tipi denenirken, bunların beşinde önceden kalıplanmış betonlar kullanılmıştır (Bazılarında, beton birleşim yerlerinde yapıştırıcı veya birleştirici malzemeler kullanılmamıştır) (FESS, 1995).

Deney programı hakkında görüşler

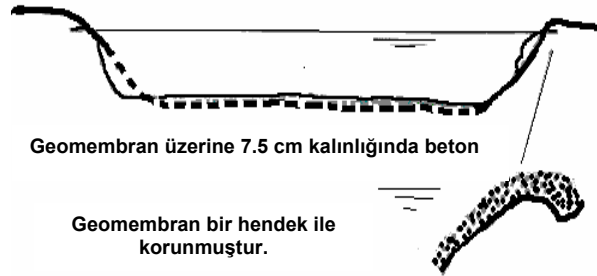
Yedi adet temel kaplama tipi ve onların varyasyonları deney sayısını 25'e çıkarmıştır. Ana tipler listesinin içinde yer alan bazıları yapılan çalışmanın sonuna doğru geliştirilmiştir. Burada varyant olarak bilinen diğer çeşitlerden elde edilen deneyimlerin büyük faydası olmuştur. Örneğin 1b ve 3 tipleri başlangıç listesinde yer almına rağmen yaklaşık bir yıl sonra bu iki çeşidin

de özelliklerini kapsayan Tip-9 geliştirilmiştir. Deneylerin yapıldığı kanal uzunlukları 14.63 m ile birkaç yüz kilometre arasında değer alırken toplamda 32 km'ye kadar ulaşmaktadır.

Tablo 1. Temel kaplama tipleri

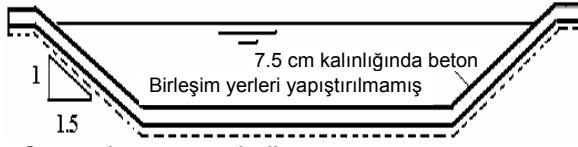
No	Kaplama tipi	Tanımı
1	Tip 1	Geomembran üzerine matress dolgulu beton, geotekstil yok 11.33 m ³ /s'lik kanalda test edilmiş (Şekil 4).
2	Tip 5b	Trapez kesit, bağlantı yerleri yapıştırılmış 75 mm kalınlığında yerinde dökülmüş beton, geomembran ve geotekstil yok.
3	Tip 5c	Trapez kesit, Geomembran üzerine 75 mm kalınlığında yerinde dökülmüş beton (Şekil 5)
4	Tip 9	Trapez kesit, Geomembran üzerine 50 mm kalınlığında önceden kalıplanmış beton konulmuş (Şekil 6).
5	Tip 6	Trapez kesit, Geomembran üzeri 115 mm'lik harçlı tuğla ile kaplanmış (Şekil 7)
6	Tip 2b	Geomembran üzerine hem beton var hem de şevlerde dikey döşenmiş önceden kalıplanmış birimler var (Şekil 8)
7	Tip 4g	Geomembran üzerinde parabolik önceden kalıplanmış beton ünitesi var (Şekil 9).

Beton dolgu altında geomembran, Tip-I



Şekil 4. Beton dolgu altında geomembran

Geomembran üzerine sahada dökülmüş beton, Tip 5C

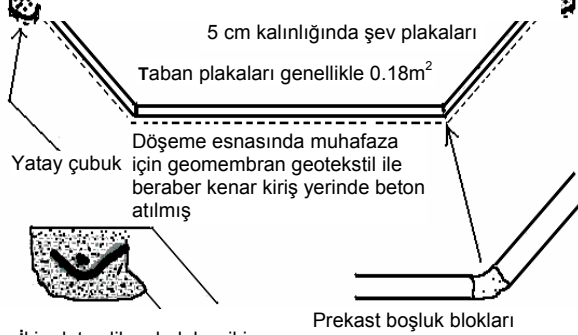


Geomembran ve geotekstil

Varyasyonları: Tip 5k 6cm kalınlığındadır.
Tip 5n 5 cm kalınlığındadır.
Tip 5b de geomembran yoktur.
fakat birleşim yerleri yapıştırılmıştır.

Şekil 5. Geomembran üzerine sahada dökülmüş beton

Geomembran üzerinde prekast beton Tip-9



Yatay çubuk

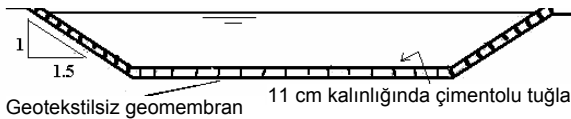


iki adet çelik çubuk her iki prekast tarafından esnemeye sebep olur.

Varyasyonları: Tip 8 çok küçük kanallar için
Tip 3 ve 3a yerinde kenar kirişi yoktur.

Şekil 6. Geomembran üzerinde prekast beton

Geomembran üzerine çimentolu tuğla döşeme, Tip-6



Geotekstilsiz geomembran

11 cm kalınlığında çimentolu tuğla

Şekil 7. Geomembran üzerine çimentolu tuğla döşeme

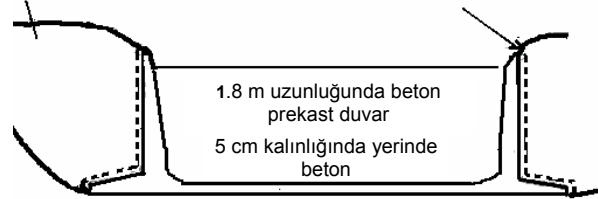
Deneysel kaplama çalışmalarında bazı yeni ve henüz denenmemiş kaplama uygulama yöntemleri kullanılmıştır. Fakat bazılarının deneme aşamasında iyi sonuçlar vermemesi önceden beklenmektedir. Bazı çeşitlerin yerel fiziksel etkilerin altında başarısız olmasına ve bazılarının da geçerli aranjman ve ölçek şartları altında

iyi sonuç vermemesine rağmen diğer durumlar için halen bir potansiyele sahiptir. Yeterince büyük bir projede modern kalıplama yöntemlerinin kullanımı buna örnek olarak gösterilebilir. İyi sonuçlar verdiği kanıtlanan bazı yöntemlerin şartlara uygun olması şartı ile gelecekte projelerde kullanılması önerilmektedir.

Düsey prekaste duvar yerinde montaj Tip-2b

Prekaste duvarların yerleştirilmesi esnasında şevlerin düzeltilmesi gerekmiyor.

Tip 9 daki gibi yerinde beton kenar kirişi



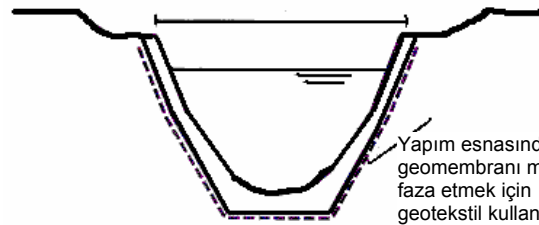
Geotekstilsiz geomembran

Varyasyonları: Tip 2a da sadece kanal tabanı altında beton vardır. Duvarlar birbirleri ile yapıştırılmıştır.
Tip 2c Geomembran yoktur. Taban betonu ve duvarlar birbiri ile yapıştırılmıştır. Beton kalınlığı 7.5 cm'e artırılmıştır.

Şekil 8. Düsey prekast duvar yerinde montaj

Parabolik prekast beton kanal Tip-4g

0.88 m, 1.16 m, ve 1.35 m (3 adet standart boyut)



Yapım esnasında geomembranı muhafaza etmek için geotekstil kullanılmış

Varyasyonları: Tip 4sg, 4mg ve 4lg geomembranlı üç adet boyutu ifade eder. 60 cm ve 120 cm uzunluğunda düzlemsel ek yerleri vardır.
Tip 4s, 4m ve 4l de Geomembran yoktur. Parçalar arasındaki ek yerleri yapıştırıcı tıpa ve soketlidir.

Şekil 9. Parabolik prekast beton kanal

Deney sonuçları Görüşler ve kriterler

Kaplama tiplerinin belirlenmesinde 4 ana başlık vardır.

- Uygulama kolaylığı

- Su geçirmezlik (yapım aşamasında su geçirmezliğin aşılması)
- Sağlamlık (uzun vadede su geçirmezliğin sağlanması)
- Bağlı maliyetler

Temel kaplama tipleri ve onların çeşitli varyasyonları yukarıdaki kriterler göz önünde tutularak araştırılacaktır. Bu değerlendirmede ayrıca kaplamadan önceki ve sonraki sızma ölçümleri de kullanılacaktır. Fakat bunlar çoğu kere kişisel görüşlere ve işi yapan ve denetleyenlerin ortak gözlemlerine dayanmaktadır. FESS bölgesindeki şartlara bağlı olarak karşılaştırmalar temel düzeyde kalırken, diğer şartlar altındaki performanslar da burada işlenmiştir.

Elde edilen sonuçlar FESS kanal kaplama projesinin yürütülmesi esnasında tecrübe edilen kaplama denemelerine ait gözlemlere dayanmaktadır. Fakat, herhangi bir bölge için ve daha geniş bir ölçekte veya farklı yapısal düzenlemeler ile birlikte kullanımı için genişletilebilir. (Ek 1.)

Sızma araştırmaları

Kaplamadan önceki ve sonraki sızma miktarlarının karşılaştırılması iyi bir değerlendirme kriteri olarak karşımıza çıkmaktadır. Kanal kaplamasından önceki ve sonraki sızma kayıplarının tahmini için 1F / 3R Qaziwala, 3R /Hakra, 1R /Bahadarwala, Najibwah, Shadab ve 2L / 3R kanallarında sert tabaka üstü kaplama tipi havuz deneyleri yapılmıştır. Sızma seviyesinde meydana gelen azalma yüzdeleri Tablo 2 ve Ek 2' de gösterilmiştir.

Sert tabaka üstü kaplama

Sert tabaka için çeşitli varyasyonların performansları aşağıda özetlenmiştir.

- a) Tip 1b ve 1c geomembran üzerinde bulunan birbirine geçmeli plakalar, geotekstili ve geotekstilsiz durum için önemli ölçüde artık sızma kayıpları görülmüştür. Önceden kalıplanmış beton plakalarının keskin kenarlarının geomembranda ufak delikler açtığı deney düzeneğini kuranlar tarafından rapor edilmiştir.
- b) Tip 2c (T şekilli önceden kalıplı, bağlantı yerleri kapatılmış ve geotekstilsiz, geo-

membransız) %91 oranında sızmada azalma gözlenmiştir. Tip 2b (T şekilli önceden kalıplanmış beton plakalar, geomembranlı, geotekstili ve bağlantı yerleri kapatılmamış) zayıf olarak sızmayı engelleme kapasitesi göstermiştir. Tip 2a (T-şekilli şevlerde, bağlantı yerleri kapatılmış, önceden kalıplanmış beton ve kanal yatağında geomembranlı) kanal şevlerinin dış kenarlarında açılan sondalar kaplama profillerin bağlanma yerlerinde açıklarla beraber kaplanması kötü döşenmesine sebep olmaktadır. Yukarıdaki tipler için sızma testleri kanalın kapalı bulunduğu 2003 yılında büyük debiler için tekrarlanmıştır. Tip 2a (%25), 2b (%68) ve 2c (%67) için sızma kayıplarında azalmalar gözlenmiştir.

- c) Önceden kalıplanmış 50 mm'lik beton plakalı geomembranlar, geotekstil kullanıldığı ve kullanılmadığı zaman sırasıyla %81 ve %86 oranında sızma kontrolü sağlamıştır.
- d) Kısmen geotekstil kullanılan parabolik geomembranlar, bağlantı yerlerinin kapatılmadığı 41 g tipi için sızma kayıplarında %74 oranında orta derece bir başarı sağlamıştır.
- e) Bağlantı yerlerinin kapatıldığı geomembran ve geotekstillerin kullanılmadığı tip 4I için sızma kayıplarında orta derecede %72' lik bir azalma sağlamıştır.
- f) Tip 4, geomembransız bağlantı yerleri kapatılmış parabolik öngerilmeli durumda kaplamadan önceki sızma 68 mm/gün iken kaplamadan sonra 5 mm/gün değerine inerek iyi bir başarı sağlamıştır. Bu sızma kontrolü bağlantı yerinin ıslak yüzeyindeki kirecin uzaklaştırılması ve bağlantı yerlerinde kalıplanmış birimler ile temas sağlayarak başarılmıştır.
- g) Sahada dökülmüş 76 mm kalınlığında bağlantı yerleri kapatılmış ve altında geotekstil ve geomembran bulunan Tip 5a yüksek derecede %97 sızma kontrolü sağlamıştır.
- h) Klasik yöntem olan Geomembransız sahada dökülmüş beton kaplamalı Tip 5b ile orta derecede yani %73 oranında sızma kontrolü sağlamıştır.
- i) Sahada dökülmüş betonun altında geomembran kullanan tip 5c, ölçülebildiği ka-

- darı ile neredeyse sıfıra yakın sızma göstermiştir. Bu tip mevcut kaplamayı ince bir geomembran ile ikiye katladığı için, yüksek sızma kontrolü sağladığı tahmin edilmektedir.
- j) 76 mm kalınlığında geotekstil kullanılmamış geomembranda ve alanda dökülmüş betonun bileşim yerleri kapatılmamış Tip 5cd kaplama tipinde yaklaşık %99 gibi yüksek bir oranda sızmada azalma sağlanmıştır.
- k) Geomembranın üstüne 50 mm kalınlığında çalışma yerinde dökülmüş betonun geotekstil ile beraber kullanıldığı ve birleşim yerlerinin kapatılmadığı Tip 5n kaplama tipi içinse %99 oranında sızma kayıplarında azalma sağlanmıştır.
- l) Tip 6 %97 oranında sızma kayıplarını azaltırken kaplama sonrası sızmalar ihmal edilebilecek düzeydedir.
- m) Önceden kalıplanmış beton plakalar, Geomembran üzerine geotekstil ile beraber kullanıldığı Tip 7'de %76 gibi orta derecede sızmada azalma sağlanmıştır.
- n) Önceden kalıplanmış 50 mm kalınlığında, geomembransız, geotekstilsiz ve bileşim yerleri kapatılmamış Tip 8'de yine %98 gibi yüksek bir oranda sızma kayıplarında düşüş görülmüştür.
- o) Geomembranın üstüne 50.8 mm kalınlığında önceden kalıplanmış beton plakalar, bileşim yerleri için çimento kullanılmış, geotekstilli ve geotekstilsiz durumu gösteren Tip 9 üzerinde yapılan testlerde önceden 39 mm/gün olan sızma hızı 3 mm/gün değerine düşmüştür.
- p) 3R-Hakra Seçenek 3 tipi yani beton altında geomembran için %90 oranında sızma kontrolü sağlanmıştır.

Tablo 2. Kaplamadan önceki ve sonraki sızma

Test #	Kanal #	Linin Tip	Kanal geometrisi			Sızma oranı mm/gün		Azaltma %
			Q kms	TG m	D m	önce	sonra	
1	1R/3R	2a	2.6	4.5	1.2	39.62	29.57	25.38
2	1R/3R	2c	2.6	4.5	1.2	39.62	13.11	66.92
3	1R/3R	2b	2.6	4.6	1.2	39.62	12.50	68.46
4	1R/3R	9	2.6	3.3	1.3	39.62	3.05	92.31
5	1R/3R	5n	2.6	2.9	1.3	39.62	0.30	99.23
6	1R/3R	5cd	2.6	2.4	1.2	67.06	0.61	99.09
7	1R/3R	1b	2.6	2.8	1.2	67.06	26.82	60.00
8	1R/3R	5b	1.7	2.4	1.1	67.06	18.29	72.73
9	1R/3R	5c	1.7	2.4	1.1	54.86	1.37	97.50
10	1R/3R	6	1.1	2.1	0.8	60.05	1.62	97.31
11	1R/3R	2b	0.9	2.5	0.8	36.58	25.30	30.83
12	1R/3R	2c	0.9	2.5	0.8	36.58	3.35	90.83
13	1R/3R	2a	0.9	2.5	0.8	41.45	36.58	88.24
14	1R/3R	1c	0.9	1.8	0.8	35.97	18.59	48.31
15	1R/3R	3b	0.3	0.9	0.6	39.62	5.79	85.38
16	1R/3R	3a	0.3	0.9	0.6	39.62	7.62	80.77
17	1R/3R	7	0.3	0.9	0.6	39.62	8.84	77.69
18	1R/(Bah)	4	0.1	0.9	0.3	69.19	10.97	84.14
19	3R/Hakra	Op1	8.7	11.9	1.3	30.48	15.54	49.00
20	-	Op3	8.7	11.9	1.3	24.38	2.44	90.00
21	-	Op2	7.8	10.7	1.3	36.58	7.92	78.33
22	Najibwah	5a	1.2	4.3	0.8	36.58	1.22	96.67
23	Shadab	8	0.1	0.9	0.3	60.96	0.91	98.50
24	2L/3R	4lg	0.3	1.5	0.4	60.96	16.46	73.00
25	2L/3R	4l	0.3	1.5	0.4	60.96	17.37	71.50

Toprak örtülü kaplama

Farklı kaplama tipleri için, kaplamadan sonraki havuz testleri toprak örtüsünün bulunduğu durumda sızma kayıplarının tahmin edilmesi istenir. Sızmada meydana gelen azalmalar Tablo 2, Şekil 11 ve 12’de gösterilmiştir.

- a) 457 mm toprak örtülü ve geomembran ile kaplanmış yatak, 3R-Hakra opsiyon 1 tipi 15.5 mm/gün hızında bir sızma göstermiştir. Bu ise sızma kaybında %49’luk bir başarıya denk gelmektedir.
- b) Yine 457 mm’lik toprak örtüsü ve hem yatay hem de şev yüzeyleri geomembran ile kaplanmış, 3R-Hakra opsiyon 2 yaklaşık %78 oranında sızma kontrolü sağlanmıştır.

Sonuç ve tartışma

Bütün bu deneylerden sonra, teknik ve maliyet karşılaştırmaları esas alınarak bazı sonuçlar çıkarılabilir. Bütün şartlar için tek bir kaplama türü önerilememiştir. Klasik yerinde beton kaplama metodu ile yapılan karşılaştırmalar, geomembranların kullanılmasının yarar sağladığını kanıtlamıştır.

Klasik kaplamadaki bileşim yerleri ve uzun dönem dayanımı göz önüne alındığında, geomembranların (Tip5c) maliyet bakımından çok az fark etmesi bunun yanında dayanımlılık ve su geçirmezlikteki başarısı ön plana çıkmaktadır. Bu yüzden küçük kanallar için yerinde monte geomembranları kullanmak avantajlıdır. Geomembranın koruyucu örtüsü olarak kullanılan yerinde dökülen beton kaplamaya alternatif olarak önceden kalıba konmuş beton plakaları (Tip9) kullanmak özellikle çevirme kanallarına ihtiyaç duyulmadan hızlı bir şekilde uygulamanın gerektiği yerlerde düşünülmelidir. Düşey kenarlı hibrid tasarım (Tip 2) oldukça pahalı olmasına karşın bazı çok özel durumlar için kullanılabilir. Geomembran tabakasına çok rahat ulaşılabilen derinlikteki kanallarda, hayvanların vereceği zararı önlemek amacıyla yatak tabanında kum örtüsü ve yan şevlerde sert kaplamalar kullanmak önerilebilir. Sert kaplama için en iyi tür mattres dolgululu beton (TipN) olmakla beraber, maliyeti azaltmak için yerel olarak kolayca bulunabilen dolgu malzemeleri kullanılabilir. Bazı

özel şartlar altında Tip M yerine maliyeti azaltan fakat yerleştirilmesi zor ve yavaş olan harçsız tuğla döşenmesi düşünülebilir. Bütün bu kriterler hesaba katıldığında en iyi 3 kaplama tipi şunlar olarak karşımıza çıkar. (Ek 5.)

- Yerinde dökülen beton altına konulan geomembran (Tip-5c)
- Önceden kalıplanmış beton plakaların altına yerleştirilen geomembran (Tip-9)
- Akarsu yatağı tabanında kısım örtüsü altında geomembran ve yan şevlerde plastik malzemedan yapılmış tabaka (Tip-N)

Gelecekteki çalışmalar

Bu makalede göz önüne alınmayan, zaman ve kaynak kısıtları problemleri için bazı geliştirilmiş metotlar mevcuttur. Potansiyel avantajı olan geosentetik kil tabakalarının (GCL Geosyntheseclay) kullanılması buna örnek olarak gösterilebilir. GCL arasında bentonit kil bulunan iki geotekstil tabakasında oluşur. Elde edilen kaplama malzemesi kanala bentonit ile beraber susuz bir ortamda döşenir. Suyla temas ettiği zaman geçirimsizliği oldukça düşük bir tabaka meydana getirir. Geomembrana göre avantajı, geçirimsiz tabakanın kazayla veya başka bir nedenle meydana gelen hasarı kendi kendine onarabilmesidir. Maliyet ve teknik olabirlik projenin yapıldığı yakın bir yerde bulunacak olan bentonit malzemesine bağlıdır.

Kanal kaplamasının hızlı bir şekilde yapılması için sene boyunca kanalın bir ay kapatılması gibi uygulama tekniklerinin geliştirilmesi gerekir. Araştırmaya değer olan diğer bir konu ise kanal kaplama sisteminde geomembranın üzerine koruyucu örtü olarak kullanılan toprak ve betonu stabilize etmek için sentetik geosellerin ve geogridlerin kullanılmasıdır. Gelecekteki bir kanal kaplama projesinde klasik ürünlerin yanı sıra bu modern ürünlerin kullanılması tavsiye edilmektedir.

Bu çalışmada mevcut kanallarda kaplamanın su altında yapılmasından bahsedilmemiştir. Bu tür deneyler ve tekniklerin potansiyel uygulamaları bilinmektedir. Teknik problemler göz önüne alınabilmesine rağmen basit metotlar halen geliştirilememiştir.

Burada sulama kanallarının işletilmesinin en az kesintiye uğratılarak, kaplama projelerinin planlanması ve tasarımı hakkında bazı görüşler ve gerçekler ortaya konmuştur. Bu gibi projeler, çalışma alanının özel ve yerel şartlarının yanı sıra büyüklüğü de göz önüne alınarak planlanmalıdır. (Bazı süreçler sadece büyük miktarlarda olabilirken, bazıları da sade küçük projeler için uygulanabilmektedir.)

Teşekkür

Bu çalışmadaki saha araştırmaları ve gerekli analizler Punjab Irrigation Department, the Mott Macdonald Canal Lining Consultants ve China Beijing Lining Contractor ile yapılan bir işbirliği sonucu ortaya çıkmıştır.

Kaynaklar

ASTM, (1995). Standards on Geosynthetics. *Fourth Edition, ASTM 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428-2959, USA.*

FESS, (1995). Tender Documents Lining in FESS project area, *Canal Lining component.*
 Koerer, R.M., (1989). Durability and Aging Geosynthetics., *Ed. Elsevier Applied Science, 1989.*
 Koerer, R.M., (1990). The Seaming of Geosynthetics, *ed Elsevier Applied Science, 1989.*
 Kraatz, D. B., (1977). Irrigation canal lining, *Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.*
 Mott Macdonald, (1995). Design Report FESS Project, *Canal Lining Component.*
 Rollin, A. ve Rigo, J.M., (1991). Geomembrane, Identification and Performance Testing, *ed. Chapman and Hall, 1991.*
 Saran, R., Dwivedi, N. K. ve Sangal, S. P., (1967). Lining Watercourses, Central Board of Irrigation and Power, Pub. No.82, New Delhi, India.
 Snell, M.J., (1999). Canal Lining Advisory Consultancy, *Final report FESS project.*
 USBR., (1954)., Lining for irrigation canals, *US Bureau of Reclamation, Philadelphia USA*
 World Bank, (1992). Staff Appraisal Report (SAR), *FESS irrigation project.*

EKLER

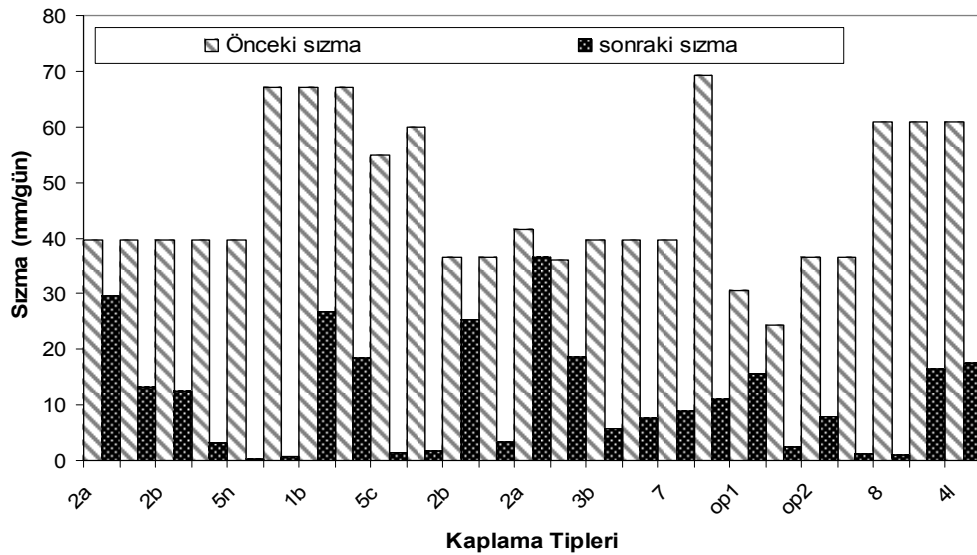
Ek 1. Deney sonuçlarının özeti

Temel kaplama tipleri	Uygulama kolaylığı	Su geçirmezliği	Dayanımı
Kanal tabanı üzerinde geomembran, toprak örtüsü altında (Tip B)	Orta, toprak dolgu esnasında yırtılma tehlikesi. Yüksek yeraltı su seviyesi problem oluşturabilir.	Zayıf. Çok iyi uygulanmış kaplama ile %60 civarında sızmada azalma.	Eğer toprak örtü kalınlığı 50 mm'nin üstünde ise iyi, bu kalınlığın daha azında ise şüpheli.
Kanal tabanı ve şevlerde geomembran, toprak örtüsü altında (Tip A)	Taban için yukarıdakiler geçerli, şevler için çok zaman gerekiyor, şev boyları dar ise bazı problemler çıkıyor. Stabilité açısından şüpheli, dikkatli olarak dolgu gerektiriyor.	Şevlerdeki toprak örtüsü bozulmazsa çok iyi olabilir.	Orta, eğer iki sene boyunca sürerse ve banketlerdeki birikintiler kaldırılırsa.
Beton altında geomembran (Tip I)	Orta, ilk deneyimden sonra. Minimum toprak işi, düzenli kesitlere uygulanabilir.	İyi. Uygulama esnasında geomembran ciddi ölçüde zara görebilir.	Şüpheli. Yoğun hayvan geçişinden dolayı banketlerin üst kısmı zarar görebilir.
Toprak örtüsü altında tabanda geomembran ve şevlerde plastik tabaka (Tip N, denenmemiş)	Orta, Şevlerdeki şilte kanal kapandığı esnada yerleştirilebilir. Kanalda akış olduğu zaman sular altında kalabilir.	Uygulama esnasında geomembranın hasar görmesi engellenirse iyi bir geçirimsizlik sağlar.	Tip I gibi bir davranış gösterir.
Trapez kanalda yerinde dökülmüş beton, geomembransız (Tip 5b)	Orta, büyük ölçekte toprak işi gerektiriyor (hem sıkıştırma hem de tesviyeleme)	Orta, birleşme yerlerinin izolasyonunda kullanılan malzemenin kalitesine ve uygulama titizliğine bağlı	Zayıf, Ek yerlerindeki yapıştırıcı malzeme hassas ve iyi bir bakım çalışması gerektiriyor.

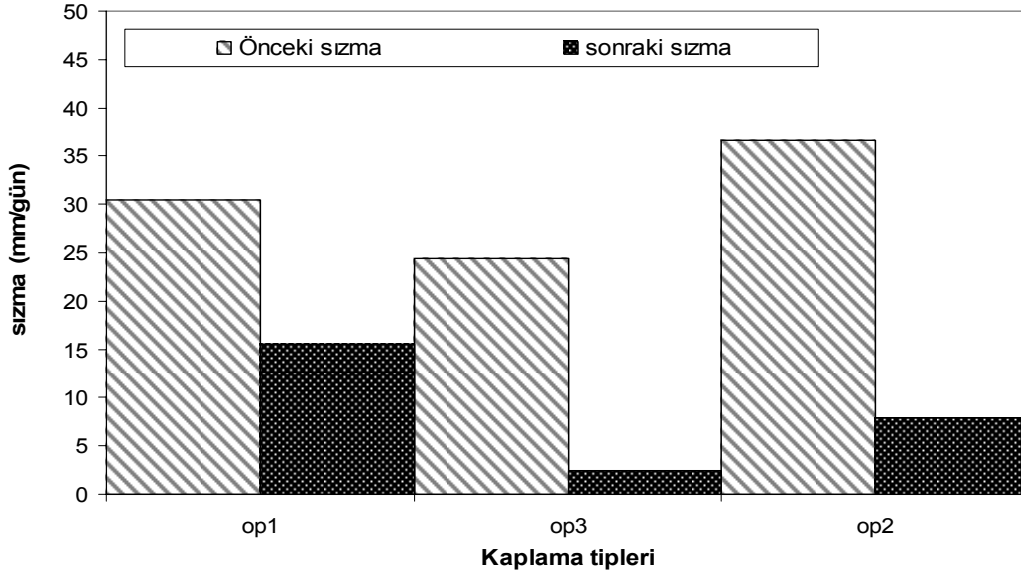
Alternatif kanal kaplama sistemleri

Temel kaplama tipleri	Uygulama kolaylığı	Su geçirmezliği	Dayanımı
Yerinde dökülmüş beton altında geomembran (Tip 5c)	Orta. Büyük ölçekte toprak işi gerektiriyor, hem sıkıştırma hem de tesviyeleme. Eğer geomembran yeterince esnek ise geosentetiklerin yerleştirilmesi sorun oluşturmuyor.	İyi, geotekstil betonun kaymasını önüyor, aynı zamanda yapım sırasında geomembranı koruyor.	Geomembranlar ek yerlerinde yapıştırıcı olmadan kullanıldığı zaman iyi bir yalıtım sağlıyor.
Trapez kanalda prekaste beton altında geomembran (Tip 9)	Orta. Büyük ölçekte toprak işi gerektiriyor, hem sıkıştırma hem de tesviyelere. Beton plakaların kalıplanması kolay. Plakaların yerleştirilmesi özen gerektiriyor. Tip I (Birbirine geçmeli parçalar) nın bir çeşidi. İyi bir kalıplama yapabilmek için geniş ölçekte kullanmak gerektiriyor. Ekonomik.	Geomembranın yerleştirilmesi sırasında dikkat edilmesi durumunda iyi, geotekstiller buna yardım için kullanılabilir.	İyiye yakın orta. Geomembran zarar görebilir ve beton plakaların birleşim yerlerinden kaçak olabilir (Eğer buralar için çimento ile kaplama yapılırsa tehlike azalır.) Tip 3b çalınmaya elverişli.
Tuğla örülmüş ve altında geomembran (Tip 6)	Orta. Büyük ölçekte toprak işi gerektiriyor, hem sıkıştırma hem de tesviyeleme. Tuğlaların örülmesi zaman alıyor.	İyi. Geotekstil gerekmiyor.	Oldukça iyi. Köşelerdeki tuğlalar değiştirme ve tamir için elverişli. Alternatif seramikler tavsiye edilmiyor.
Düşey prekaste duvarlar, yerinde uygulama (Tip 2b)	Prensipinde kolay, çok az toprak işi gerektiriyor. Şev düzenlemesine ihtiyaç yok. Uygulama için biraz pratik yapmaya gerek var. Ulaşımın zor olduğu yerlerde avantajlı.	İyi olması bekleniyor. (Şevlerin en yüksek yerine kadar geomembran kullanılmış: Tip2b: Tip 2a için kötü, Tip 2c için orta)	Oldukça iyi. Çalınmaya karşı korunaklı, geomembran çok iyi kaplanmış.
Prekaste parabolik kanalların altında Geomembran (Tip 4g)	Kalıplama işlemleri zor. Akdeniz ülkelerinde olduğu gibi geniş ölçekte üretim durumunda avantajlı, uygulaması kolay.	İyi, geomembran il. Geomembran olmayan Tip 4 içinse orta.	Oldukça zayıf. Geomembran ek yerlerine zamanla yerleşen maddelere karşı duyarlıdır. Tip 4, geomembransız ek yerlerinde kayıplara karşı hassas.

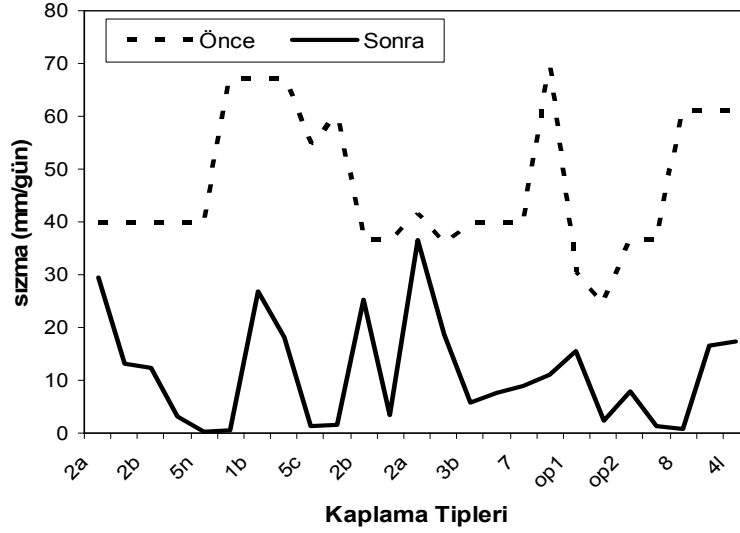
Ek 2. Kaplamadan önceki ve sonraki sızma (Sert kaplama altında)



Ek 3. Kaplamadan önceki ve sonraki sızma (Toprak kaplama altında)



Ek 4. Kaplamadan önceki ve sonraki sızma



Ek 5. Kaplama tipleri arasında teknik ve maliyet olarak karşılaştırma

Temel kaplama tipleri	Uygulama kolaylığı	Su geçirmezliği	Dayanımı	Maliyet (US \$)
Kanal tabanı üzerinde Geomembran, toprak örtüsü altında (Tip B)	Orta	Zayıf. Çok iyi uygulanmış kaplama ile %60 civarında sızma azalma	Derin kanallar için oldukça iyi	Ucuz, hem birim boy başına hem de birim alan başına (US\$ 5/m ² .yatak alanı)
Kanal tabanı ve şevlerde geomembran, toprak örtüsü altında (Tip A)	Zayıf	Şevlerdeki toprak örtüsü bozulmazsa çok iyi olabilir.	Şüpheli.	Tip N yerel fabrika malzemeleri kullanmadıkça, Tip N'den daha ucuz; yaklaşık, US\$ 11/ m ²

Alternatif kanal kaplama sistemleri

Temel kaplama tipleri	Uygulama kolaylığı	Su geçirmezliği	Dayanımı	Maliyet (US \$)
Beton altında geomembran (Tip 1)	Orta	İyi. Uygulama esnasında geomembran ciddi ölçüde zarar görebilir.	İyiye yakın orta sadece derin kanallar için	Yerel fabrika ürünleri kullanmadıkça çok pahalı, nerdeyse US\$ 30/ m ² .
Toprak örtüsü altında tabanda geomembran ve şevlerde mattress (Tip N, denenmemiş)	Orta	Uygulama esnasında geomembranın hasar görmesi engellenirse iyi bir geçirimsizlik sağlar.	İyiye yakın orta sadece derin kanallar için	Yerel fabrika ürünleri kullanmadıkça pahalı, yaklaşık US\$ 18/ m ² .
Trapez kanalda yerinde dökülmüş beton, geomembransız (Tip 5b)	Orta. Geniş ölçekte toprak işi hazırlığı.	Orta, Birleşme yerlerinin izolasyonunda kullanılan malzemenin kalitesine ve uygulama titizliğine bağlı	Zayıf, ek yerleri hassas ve iyi bir bakım gerekiyor.	2.85 cms (100cfs) için Tip 5c'den %20 daha ucuz. Küçük kanallar için.
Yerinde dökülmüş beton altında geomembran (Tip 5c)	Orta. Geniş ölçekte toprak işi hazırlığı.	İyi, geotekstil betonun kaymasını önüyor, aynı zamanda yapım sırasında geomembranı koruyor.	İyi	Pahalı, US\$ 16 to 18 / m ² küçük kanallar için.
Trapez kanalda prekaste beton altında geomembran (Tip 9)	Orta. Geniş ölçekte toprak işi hazırlığı, prekaste uygulamayı ekonomik kılmak için büyük ölçekte üretim gerekir.	Geomembranın yerleştirilmesi sırasında dikkat edilmesi durumunda iyi, geotekstiller buna yardım için kullanılabilir.	İyiye yakın orta	Tip 5c'den biraz pahalı fakat çevrim kanalı yapılmazsa daha ucuz.
Tuğla örülmüş ve altında geomembran (Tip 6)	Orta. Tuğlaların örülmesi çok yavaş.	İyi . Geotekstil gerekmiyor.	Oldukça iyi	Tip 5c ile aynı maliyet
Düşey prekaste duvarlar, yerinde uygulama (Tip 2b)	Prensipite kolay; ulaşımın sınırlı olduğu bölgelerde kullanmak avantajlı.	İyi olması bekleniyor. (Şevlerin en yüksek yerine kadar geomembran kullanılmış: Tip2b: Tip 2a için kötü, Tip 2c için orta)	Oldukça iyi	Trapezler için çok pahalı, yaklaşık US\$ 27 - 40/ m ²
Prekaste parabolik kanalların altında geomembran (Tip 4g)	Kalıplaması ve işlenmesi zor, sınırlı ulaşım olması halinde bile kurulması nispeten kolay.	İyi, geomembran ile ve geomembran olmayan Tip 4 içinse orta.	Zayıfa yakın orta	(İncelenmedi)