

ISSN: 1012 - 0726 (Baskı)
ISSN: 1308 - 2477 (Online)



SAYI: 122
YIL : EKİM 2016

DEVLET SU İŞLERİ
GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

DSİ

TEKNİK

BÜLTENİ

ÖNSÖZ

Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, 1954 yılında kurulduğundan bu yana ülkemizdeki bütün su kaynaklarının planlanması, yönetimi, geliştirilmesi ve işletilmesi ile ilgili bütün işlevleri üstlenmiş olup, temel misyonu; ülkemiz su kaynaklarından faydalanmak, zararlarından korunmak, bilim ve tekniğe uygun olarak, milli menfaatlerimizi gözeten bir yaklaşımla su ile ilgili toprak kaynaklarımızın geliştirilmesini sağlamaktadır. Geleceğe yönelik vizyonu ise; su kaynaklarımızın geliştirilmesi, korunması yönetilmesi konularında dünya lideri olmaktır. Önümüzdeki yıllar içerisinde teknolojik uygulamalar çok daha büyük hızla değişecek olup; artık bilginin erişebilir olması yanında çağ dışı kalmış bilgilerin güncellenmesi ihtiyacı artmıştır. Veri kaynaklarının araştırılması ve teknolojik ilerlemenin takip edilmesi için en başarılı yol, bireylerin bilgi transferlerini gerçekleştirdikleri ortak platformlar oluşturmaktır.

DSİ Genel Müdürlüğü tarafından “Sulama Sistemleri” temasında, 16-17 Aralık 2003’ de “Sulama Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi”, 09-11 Kasım 2005’de “II. Ulusal Sulama Sistemleri Sempozyumu” düzenlenmiş olup; 15-16 Ekim 2015 tarihinde ANKARA’ da yapılan “III. Ulusal Sulama Sistemleri Sempozyumu” ile de, güncel teknolojiden yararlanılarak su kaynaklarının geliştirilmesi, korunması ve yönetilmesi konularındaki gelişmeler değerlendirilmiştir.

15-16 Ekim 2015 tarihinde Ankara ATO Kongre Merkezi Oditoryum Salonu’nda üçüncüsü gerçekleştirilen “**Ulusal Sulama Sistemleri Sempozyumu**” ile DSİ Genel Müdürlüğü tarafından hükümet temsilcileri, kamu kuruluşları, akademisyenler, özel sektör temsilcileri, danışmanlar bir araya getirilmiş, suyun etkili ve verimli kullanımı konusundaki çalışmalar izlenerek, teknolojiye gelişmeler ve çözümler tartışılmış, araştırma sonuçları, karşılaşılan sorunlar, çözüm yolları ve deneyimlerin paylaşımına yönelik tartışma ortamları oluşturularak “Sulama Sistemleri” konusunda gerçekleştirilecek çalışmalara katkı sağlanmıştır.

DSİ Teknik Bülteni’nin bu sayısında Sempozyum esnasında sunulan 47 bildirden seçilen 5 bildiri yer almaktadır.

Mahir ÖZCAN

DSİ Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanı
DSİ Teknik Bülteni Sorumlu Müdürü

DSİ TEKNİK BÜLTENİ

Sahibi

DEVLET SU İŞLERİ
GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
Adına Genel Müdür
Murat ACU

Sorumlu Müdür

Mahir ÖZCAN

Yayın Kurulu (DSİ)

Murat Ali HATİPOĞLU
Kaya YILDIZ
Tuncer DİNÇERGÖK
M. Kemal KÖSEOĞLU
Şenay ÖZKAN
Ayhan KOÇBAY
Ali Alper ÇETİN
Vehbi ÖZAYDIN
Erkan EMİNOĞLU
Bekir YAPAN
Hasan ÇAKIRYILMAZ
Mehmet KÖSEOĞLU
Ali ŞAHİN

Haberleşme Adresi

DSİ Teknik Araştırma ve
Kalite Kontrol (TAKK)
Dairesi Başkanlığı
06100 Yüce-tepe -
Ankara

Tel (312) 454 38 00
Faks (312) 399 27 95
bulten@dsi.gov.tr

Basıldığı Yer

Destek Hizmetleri
Dairesi Başkanlığı
Basım ve Foto-Film
Şube Müdürlüğü
Etlük - Ankara

SAYI : 122

YIL : EKİM 2016

Yayın Türü

Yaygın süreli yayın
Üç ayda bir yayınlanır
(Ocak, Nisan, Temmuz,
Ekim)

ISSN 1012 - 0726

(Baskı)

1308 - 2477 (Online)

İÇİNDEKİLER

AÇIK KANALLARDA DEBİ VE EŞİK YÜKSEKLİĞİ DEĞİŞİMİNİN SU YÜZEYİ PROFİLLERİNE ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ Cahit YERDELEN, Cansu ÖZYAMAN	1
TARIMSAL SULAMALARDA GÜNEŞ ENERJİSİ Ali GÖKYEL, Deniz ULUSOY	13
SULAMA ŞEBEKELERİNDE PLANLANAN VE UYGULAMADA GERÇEKLEŞEN SULAMA MODÜLÜ ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA Cengiz KOÇ, Yıldırım BAYAZIT, M. Özgür YAYLI	27
TÜNEL DELME MAKİNESİ VE KONVANSİYONEL YÖNTEM İLE AÇILAN TÜNELLERDE KAPLAMA/SEGMENT TASARIMI Mehmet ALP	36
SULAMA UYGULAMALARI İÇİN TDR ÖLÇÜMLERİNDE KALİBRASYONUN ÖNEMİ Coşkun GÜLSER, Zeynep DEMİR	55

DSI TECHNICAL BULLETIN

Publisher

On behalf of
GENERAL
DIRECTORATE OF
STATE HYDRAULIC
WORKS Murat ACU
General Director

Director in charge

Mahir ÖZCAN

Editorial Board (DSI)

Murat Ali HATİPOĞLU
Kaya YILDIZ
Tuncer DİNÇERGÖK
M. Kemal KÖSEOĞLU
Şenay ÖZKAN
Ayhan KOÇBAY
Ali Alper ÇETİN
Vehbi ÖZAYDIN
Erkan EMİNOĞLU
Bekir YAPAN
Hasan ÇAKIRYILMAZ
Mehmet KÖSEOĞLU
Ali ŞAHİN

Contact Address

DSİ Teknik Araştırma ve
Kalite Kontrol (TAKK)
Dairesi Başkanlığı
06100 Yüce-tepe –
Ankara / TURKEY

Tel (312) 454 38 00
Faks (312) 399 27 95
bulten@dsi.gov.tr

Place of Publication

Destek Hizmetleri
Dairesi Başkanlığı
Basım ve Foto-Film
Şube Müdürlüğü
Etlik – Ankara / TURKEY

ISSUE: 122

YEAR: OCTOBER 2016

Publication Type

Widely distributed
periodical
Published quarterly
(January, April, July,
October)

ISSN

1012 - 0726 (Press)
1308 - 2477 (Online)

CONTENTS

THE EFFECT OF FLOWRATE AND OBSTRUCTION HEIGHT ON WATER SURFACE PROFILES IN OPEN CHANNELS Cahit YERDELEN, Cansu ÖZYAMAN	1
SOLAR POWER IN AGRICULTURAL IRRIGATIONS Ali GÖKYEL, Deniz ULUSOY	13
A STUDY ON IRRIGATION MODULE ACTUALIZED AND PLANNED IN IRRIGATION SCHEMES Cengiz KOÇ, Yıldırım BAYAZIT, M. Özgür YAYLI	27
DESİGN PRINCIPLES FOR EXCAVATION TUNNELS BY TUNNEL BORING MACHINE (TBM) AND CONVENTIONAL METHODS Mehmet ALP	36
IMPORTANCE OF CALIBRATION IN TDR MEASUREMENTS FOR IRRIGATION PRACTICES Coşkun GÜLSER, Zeynep DEMİR	55

DSİ TEKNİK BÜLTENİ'NİN AMACI

DSİ Teknik Bülteni'nde, su ile ilgili konularda, temel ve uygulamalı mühendislik alanlarında gönderilen bildirimler yayınlanır. Bildirimler, ilk önce konunun uzmanı tarafından incelenir ve değerlendirilir. Daha sonra, Hakem Kurulu uzman görüşünü de esas alarak bildirim yayınlanıp yayınlanmamasına karar verir. Bildirimlerin tamamı veya büyük bir kısmı diğer yayın organlarında yayınlanmamış olması gereklidir. **DSİ Teknik Bülteni Eylül 2016 tarihi itibari ile uluslararası veritabanı kuruluşu EBSCO tarafından taranmaya başlamıştır.**

DSİ TEKNİK BÜLTENİ BİLDİRİ YAZIM KURALLARI

1. Gönderilen yazılar kolay anlaşılır dilde ve Türkçe kurallarına uygun şekilde yazılmış olmalıdır.
2. Yazıların teknik sorumluluğu yazarına aittir (yazılardaki verilerin kullanılması sonucu oluşabilecek maddi ve manevi problemlerde muhatap yazardır).
3. Yayın Kurulu, bildirimler üzerinde gerekli gördüğü düzeltme ve kısaltmaları yapar.
4. Bildirimler bilgisayarda Microsoft Word olarak bir satır aralıkla yazılmalı ve Arial 10 fontu kullanılmalıdır. Bildirimler A4 normundaki kâğıdın her kenarından 25 mm boşluk bırakılarak yazılmalıdır.
5. Sadece ilk sayfada, yazı alanı başlangıcından sola dayalı olarak, italik 10 fontunda Arial kullanılarak ilk satıra "*DSİ Teknik Bülteni*" yazılmalıdır.
6. Konu başlığı: Yazı alanı ortalanarak, "*DSİ Teknik Bülteni*" yazısından sonra dört satır boş bırakıldıktan sonra Arial 12 fontu kullanılarak büyük harflerle koyu yazılmalıdır.
7. Yazar ile ilgili bilgiler: Adı (küçük harf), soyadı (büyük harf), yazarın unvanı ile bağlı olduğu kuruluş (alt satıra) ve elektronik posta adresi (alt satıra) başlıktan iki boş satır sonra ilk yazardan başlamak üzere Arial 10 fontu ile yazı alanı ortalanarak yazılmalıdır. Diğer yazarlar da ilk yazar gibi bilgileri bir boşluk bırakıldıktan sonra yazılmalıdır.
8. Türkçe özet, elektronik posta adresinden dört boş satır sonra, özetten bir boş satır sonra ise anahtar kelimeler verilmelidir. Aynı şekilde, Türkçe anahtar kelimelerden iki boş satır sonra İngilizce özet, bir boş satır sonra ise İngilizce anahtar kelimeler verilmelidir.
9. Bölüm başlıkları yazı alanı sol kenarına dayandırılarak Arial 10 fontu kullanılarak koyu ve büyük harfle yazılmalı. Bölüm başlığının üzerinde bir boş satır bulunmalıdır.
10. Ara başlıklar satır başında başlamalı, üstlerinde bir boş satır bulunmalıdır. Birinci derecedeki ara başlıktaki bütün kelimelerin sadece ilk harfi büyük olmalı ve koyu harflerle Arial 10 fontunda yazılmalıdır. İkinci ve daha alt başlıklar normal harflerle Arial 10 fontu ile koyu yazılmalıdır.
11. Yazılar kâğıda iki sütun olarak yazılmalı ve sütun aralarındaki boşluk 10 mm olmalıdır.
12. Paragraf sola dayalı olarak başlamalı ve paragraflar arasında bir boş satır bırakılmalıdır.
13. Eşitlikler bilgisayarda yazılmalı ve numaralandırılmalıdırlar. Eşitlik numaraları sayfanın sağına oturmali ve parantez içinde yazılmalıdır. Her eşitlik alttaki ve üstteki yazılardan bir boş satır ile ayrılmalıdır. Eşitliklerde kullanılan bütün semboller eşitlikten hemen sonraki metinde tanımlanmalıdır.
14. Sayısal örnekler verildiği durumlarda SI veya Metrik sistem kullanılmalıdır. Rakamların ondalık kısımları virgül ile ayrılmalıdır.
15. Yararlanılan kaynaklar metinde kaynağın kullanıldığı yerde köşeli parantez içerisinde numaralı veya [Yazarın soyadı, basım yılı] olarak belirtilmelidir. Örneğin: "..... basamaklı dolusavaklar için geometri ve eşitlikler [1]" veya "..... basamaklı dolusavaklar için geometri ve eşitlikler [Aktan, 1999]" gibi.
16. Kaynaklar yazar soyadlarına göre sıralanmalı, listelenirken yazar (veya yazarların) soyadı, adının baş harfi, yayın yılı, kaynağın ismi, yayınlandığı yer ve yararlanılan sayfa numaraları belirtilerek, köşeli parantez içerisinde numaralandırılmalı ve yazarken soldan itibaren 0,75 cm asılı paragraf şeklinde yazılmalıdır. Makale başlıkları çift tırnak içine alınmalı, kitap isimlerinin altı çizilmelidir. Bütün kaynaklara metin içinde atıf yapılmalıdır.
17. Çizelgeler, şekiller, grafikler ve resimler yazı içerisine en uygun yere gelecek şekilde yerleştirilmelidir. Fotoğraflar net çekilmiş olmalıdır. Şekil ve grafikler üzerine el yazısı ile ekleme yapılmamalıdır.
18. Bildirinin tamamı 20 sayfayı geçmemeli, şekil, çizelge, grafik ve fotoğraflar yazının 1/3'ünden az olmalıdır.
19. Sayfa numarası, sayfaların karışmaması için sayfa arkalarına kurşun kalem ile hafifçe verilmelidir.
20. Yazım kurallarına uygun olarak basılmış bildirim tam metni hem A4 kâğıda baskı şeklinde (2 adet) hem de dijital ortamda (CD veya DVD) yazışma adresine gönderilmelidir.
21. Yayınlanan bütün yazılar için "Kamu Kurum ve kuruluşlarınca ödenecek telif ve işleme ücretleri hakkındaki yönetmelik" hükümleri uygulanır.
22. Bildiriyi gönderen yazarlar yukarıda belirtilenleri kabul etmiş sayılırlar.
23. Yazışma adresi aşağıda verilmiştir:

DSİ TEKNİK BÜLTENİ

DSİ Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol (TAKK) Dairesi Başkanlığı

06100 Yüce-tepe ANKARA

Tel (312) 454 3800

Faks (312) 399 2795

E-posta bulten@dsi.gov.tr

Web <http://www.dsi.gov.tr/yayinlarimiz/dsi-teknik-bultenleri>

AÇIK KANALLARDA DEBİ VE EŞİK YÜKSEKLİĞİ DEĞİŞİMİNİN SU YÜZEYİ PROFİLLERİNE ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Cahit YERDELEN

Ege Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, 35040 Bornova, İzmir, Türkiye
cahit.yerdelen@ege.edu.tr

Cansu ÖZYAMAN

Ege Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, 35040 Bornova, İzmir, Türkiye
cansu.ozyaman@ege.edu.tr

(Makalenin geliş tarihi: 10.02.2016, Makalenin kabul tarihi:30.03.2016)

ÖZ

Açık kanal akımları su yüzeyinin atmosfer ile temas halinde olduğu akımlardır. Su yüzeyi profili ise, bir açık kanal akımında akım yolu boyunca elde edilecek akım derinliklerinin grafiği olarak tanımlanabilir. Başka bir ifadeyle akım yolu boyunca akım derinliklerinin grafiği, akımın su yüzeyi profilini verir. Açık kanal akımlarında 12 farklı tipte su yüzeyi profili oluşmaktadır. Bu çalışmanın amacı kabul gören 12 farklı tipdeki su yüzeyi profilinin gözlemlenmesi, gözlemlenen profillerde debi ve eşik boyutlarının değiştirilerek bu değişimlerin su yüzeyi profillerine ve hidrolik sıçrama mesafelerine olan etkisinin deneysel olarak incelenmesidir. Bu amaçla yapılan deneysel çalışmada 3 farklı debi ile kanala su verilerek, farklı eşik ve düşü yüksekliği, daralma mesafesi ve eğimlerde meydana gelen su yüzeyi profilleri gözlemlenmiş ve deney verileri elde edilmiştir. Düşü ve eşik yüksekliklerine göre değişen hidrolik sıçrama mesafeleri dikkate alınmıştır. Deneyler 5 m uzunluk, 0,18 m genişlik ve 0,2 m derinlikteki dikdörtgen açık kanalda yürütülmüştür. Pürüzlülük etkisinin işlem sonuçlarını etkilememesi için kanal duvarları hafif, dayanıklı şeffaf plastik malzemeden imal edilmiştir. Kanal eğimi değiştirilebilir. Manning denklemi yardımıyla kritik eğimler hesaplanmış, kanal eğimleri deneyler yapılırken bu kritik eğimler dikkate alınarak ayarlanmıştır. Deneyler kararlı akım şartlarında 66 farklı durumda yapılmıştır. Bunlardan 51 deney setinde profil başarıyla gözlemlenmiştir. Gözlem ve ölçümler irdelenmiş, elde edilen sonuçlar grafikler, görseller ve tablolar halinde sunulmuştur. Hidrolik sıçrama oluşan profillerde debi, eşik ve düşü yüksekliğinin, hidrolik sıçramanın eşiğe olan mesafesiyle doğru orantılı olduğu sonucuna varılmıştır. Bu sonuçlar ışığında hidrolik sıçramanın eşiğe olan mesafesinin eşik yüksekliği ve debiyle olan ilişkisinin daha fazla deney ve verilerle matematiksel bir fonksiyona dönüştürülebileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Açık kanal akımları, kararlı akım, su yüzeyi profilleri, eşik

THE EFFECT OF FLOWRATE AND OBSTRUCTION HEIGHT ON WATER SURFACE PROFILES IN OPEN CHANNELS

ABSTRACT

Open channel flow is defined as fluid flow with a free surface open to the atmosphere. The water surface profile is a measure of how the flow depth changes longitudinally. In other words, the graph of the flow depth along the path, gives a stream surface profile. 12 different types of water surface profiles are formed in open channel flow. The purpose of this study is to observe 12 different types of water surface profiles and to investigate the effect of flowrate and obstruction size on water surface profiles and hydraulic jump lengths. An experimental study was performed by sending three different flowrates to an open channel. Experiment data were obtained by using different obstruction heights, contraction distances and channel slopes. Experiments were performed in a rectangular open channel which is 5 meters long, 0.18 meters wide and 0.2 meters deep. In order to prevent the effect of roughness, channel walls were made of light, durable, plastic material. Channel slope was adjustable. Critical slopes were calculated with Manning equation and calculated slopes were used to adjust the channel slopes during

the experiments. 66 experiments were done in steady flow conditions. In 51 experiments water surface profiles were observed succesfully. Observations and measurements were examined and results were presented with tables, graphs and pictures. The results show that, flowrate and obstruction heights are directly proportional with the hydraulic jump lengths. By the help of the above mentioned results, it was concluded that the relationship of hydraulic jump lengths with the flowrate and obstruction height can be converted to a mathematical function by more experiments and data .

Keywords: Open channel flow, Steady flow, Water surface profile, Obstruction, Hydraulic jump

1 GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Amacı

Bilindiği üzere açık kanal akımlarında 12 farklı tipte su yüzeyi profili oluşmaktadır. 12 farklı su yüzeyi profili gözlemlenmiş, gözlemlenen profillerde debi ve eşik boyutlarının değiştirilerek bu değişimlerin su yüzeyi profillerine olan etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmanın temel amacı açık kanal akımlarında akım doğrultusunda oluşan boyuna su yüzeyi profilinin bağlı olduğu fiziksel parametrelerin belirlenmesidir. Bu amaç doğrultusunda daha kolay gözlemlenebilir ve ölçülebilir değerler ile bulgular elde edilmiştir.

1.2 Önceki Çalışmalar

Molinas ve Yang (1985), enerji ve momentum denklemlerinden faydalanarak geliştirdikleri model ile hidrolik sıçrama boyunca su yüzeyi profilinin hesaplanabileceğini göstermişlerdir. Modelin bütün kanal eğimi çeşitlerinde kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Modelin kullanılmasında kontrol kesitinin bir göl, savak, kapak veya doğal akarsu kesiti olabileceğini ve yük kaybı hesabı için Manning, Chezy veya Darcy-Weisbach denklemlerinden birinin kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Modelde kullanılan yöntemlerin ve hesap yönteminin adımları detaylıca tarif edilmiş ve modelin su yüzü profil hesaplamaları için kullanımını göstermek amacıyla örnekler kullanılmışlardır. Birsoy (2002) çalışmasında, bileşik kanallarda su yüzeyi profillerini belirlemek amacıyla bir bileşik kanal Froude sayısı tanımlayıp enerji ve momentum eşitlikleri ile birleştirmiştir. Hesaplamalar için C++ dilinde yazılmış bir bilgisayar programı (CCWASP) geliştirmiştir. Geliştirdiği programı test etmek için M2 profili elde edilebilen bir laboratuvar kanalında deneyler yapmıştır. Deney sonuçları ile program sonuçları karşılaştırdığında; program sonuçlarının deney sonuçlarına yakın ancak kullanılan yöntemle göre daha yüksek su yüzü profilleri elde edildiğini görmüştür. Bunun nedenini ise temel su yüzeyi eşitlikleri

bulunurken yapılan varsayımlar olarak izah etmiştir.

Örsel (2002), kritik altı açık kanal akımlarında bir eşikte oluşan yerel enerji kayıplarını ele alan bir çalışma yapmıştır. Çalışmasında, eşik şekli, eşik yüksekliği ve Froude sayısının yerel kayıplara etkisini deneysel olarak incelemiştir. Yerel enerji kaybını Froude sayısı ve bağlı eşik yüksekliğine bağlayan formüller önermiş ve eşikler için yerel kayıp katsayıları hesaplamış ve bunlar için pratik değerler önermiştir. Yerel enerji kayıplarının su yüzeyi profili üzerinde etkili olması ve deneysel çalışmalarında farklı şekil ve yüksekliklere sahip eşiklerin kullanılması bu çalışmada detaylı bir şekilde incelenmiştir.

Şeker (2006), laboratuvar kanalında gerçekleştirilen çalışmasında, iki boyutlu savak arkası akımda

PIV cihazı kullanılarak hız ölçümleri yapmıştır. Elde edilen deneysel bulgularla karşılaştırmak amacıyla sonlu elemanlar yöntemine dayalı geliştirilen ANSYS paket programı ile Laplace diferansiyel denklemi ve hareket denkleminin sayısal çözümlerini elde etmiştir. Daha sonra kanalda modellediği dikdörtgen ve üçgen savak üzerinde oluşan su yüzü profillerini VOF analizi ile teorik olarak belirlemiş ve deneysel ölçümlerle karşılaştırmıştır.

Öztürkmen (2008), açık kanal akımlarında ani değişim kesitlerinde su yüzü profilinin belirlenmesi problemini ele almıştır. Çalışmasında sabit debi ve sabit taban eğimine sahip bir açık kanal akımında farklı eşik tipleri için eşik memba ve mansabında akım doğrultusunda meydana gelen su yüzeyi değişimlerini gözlemiş ve ölçmüştür. Deneyler, laboratuvar şartlarında, dikdörtgen kesitli bir kanal üzerinde, kararlı akım durumu ve farklı geometrik şekil ve boyutlardaki 12 tane taban eğiği için tekrarlanmıştır. Kanalın, cidar pürüzlülüğü, taban eğimi ve genişliği ile akımın debisi sabit iken farklı geometri ve boyutlara sahip taban eşikleri ile oluşturulan her yerel değişim bölgesi için birer su yüzü profili elde edilmiştir. Böylece taban eşiklerinin geometrisi

ve boyutlarının su yüzü profili üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Konu üzerinde yapılan kapsamlı taramadan da görüleceği üzere yakın tarihte popülerliği artan bu konu, teknolojik ölçümlerle oldukça ilişkilidir. Su yüzeyi profilleri, mutlak değerli ve önemli olmakla beraber saha çalışmalarında bu denli hassas ve teknolojik çalışmak kolay değildir. Bizim çalışmamızda, daha kolay gözlemlenebilir ve ölçülebilir değerler ile bulgular elde edilmesi amaçlanmıştır.

1.3 Su Yüzeyi Profilleri

Su yüzeyi profillerini sınıflandırmada harf ve rakamdan oluşan bir kodlandırma şekli kullanılır. Harf, kanal taban eğiminin tipini, sayı ise üniform ve kritik derinliğe göre su derinliğinin bulunduğu bölgeyi tanımlar. Kanal taban eğim tiplerini gösteren harfler ve bu harflerin literatüre

nereden girdiği Tablo 1 de gösterilmiştir (Demirel, 2002).

Bir yüzey profili; eğer akım derinliği hem kritik hem de normal derinliğin üzerindeyse ($y > y_c$ ve $y > y_0$) 1 ile, eğer akım derinliği bu ikisi arasındaysa ($y_0 > y > y_c$) 2 ile ve eğer akım derinliği hem kritik hem de normal derinliğin altındaysa ($y < y_c$ ve $y < y_0$) 3 ile gösterilir. Görüldüğü üzere, belirli bir kanal eğimi tipi için üç farklı profil mümkün olmaktadır. Ancak yatay veya ters eğimli kanallarda akım asla üniform olamadığı için normal derinlik tanımlaması yapılmaz ve 1 tipinde akım görülmez. Ayrıca kritik eğimli kanallarda, normal ve kritik derinlikler özdeş olduğundan, 2 tipindeki akım oluşmamaktadır (Çengel, 2008). Bir bölgesinde eğimler kabarma eğrisi (pozitif eğim), iki bölgesindeki eğimler alçalma eğrisi (negatif eğim), olarak isimlendirilir.

Çizelge – 1 Su yüzü profili tipleri (Munson,1994)

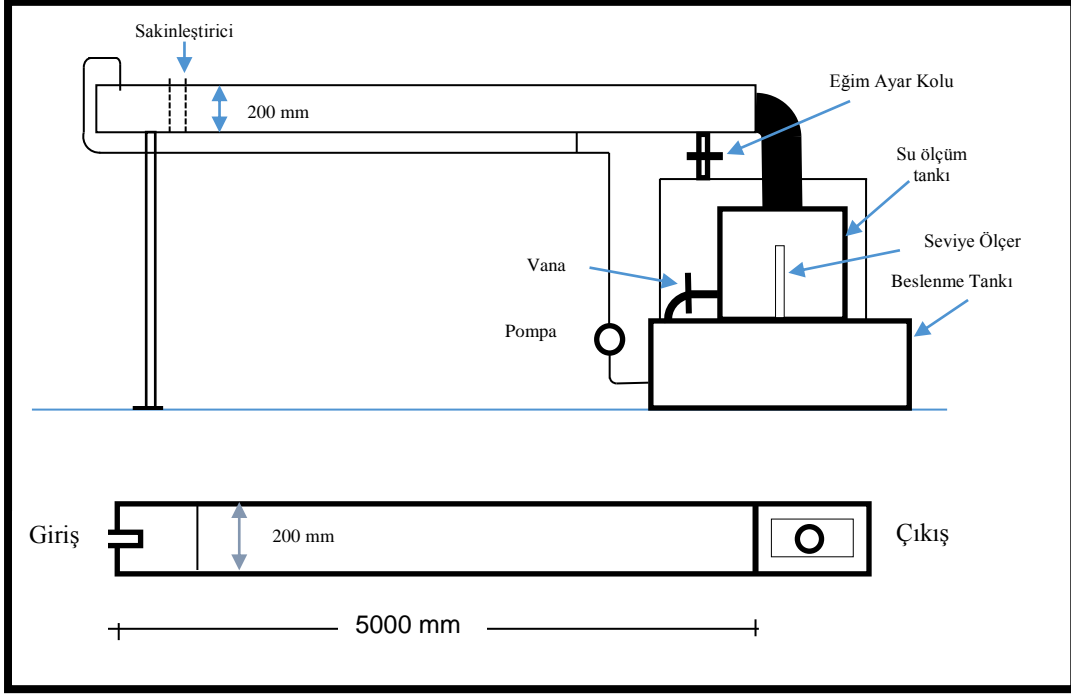
Eğim Tipi	Eğim Notasyonu	Froude Sayısı	Yüzey Profili Tipi
$J_0 < J_c$	Küçük (Tatlı) Eğim (Mild)	$Fr < 1$	M1
		$Fr < 1$	M2
		$Fr > 1$	M3
$J_0 = J_c$	Kritik Eğim (Critical)	$Fr < 1$	C1
		$Fr > 1$	C2
$J_0 > J_c$	Büyük (Sert) Eğim (Steep)	$Fr < 1$	S1
		$Fr > 1$	S2
		$Fr > 1$	S3
$J_0 = 0$	Yatay (Horizontal)	$Fr < 1$	H2
		$Fr > 1$	H3
$J_0 < 0$	Ters Eğim (Adverse)	$Fr < 1$	A2
		$Fr > 1$	A3

2 DENEY DÜZENİ VE DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1 Deney Kanalı

Deneyler, Ege Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik laboratuvarındaki, 5 m uzunluğunda, 0.18 m genişliğinde ve 0.20 m derinliğinde, yan duvarları pürüzsüz plexiglass, eğimi değiştirilebilir dikdörtgen kesitli kanalda yürütülmüştür (Şekil 1). Deney kanalında su devridaimi, 230 W gücündeki ve max debisi 2,83 lt/s olan pompa ile sağlamaktadır. Kanal çıkışından su ölçüm tankına dökülen su tekrar

besleme tankına geri dönmektedir. Kanal eğimi ayarlanabilir durumdadır. Su yüzeyi profillerini gözlemlmek için gerekli eğimler hesaplanmış ve her su yüzeyini gözlemlmek için farklı kanal eğimleri kullanılmıştır. Deneyler 3 farklı debi kullanılarak yürütülmüş, en düşük debi Q1, orta debi Q2, en yüksek debi Q3 olarak adlandırılmıştır. Q1=0,5 lt/s, Q2=1,5 lt/s, Q3=2,4 lt/s dir.



Şekil 1 - Kanalın Şematik Görünümü

2.2 Deneyin Yapılışı

H tipi profilleri gözlemleyebilmek için nivo ve metre yardımıyla kanal eğimi 0 olacak şekilde ayarlanmıştır. Eğim şartı sağlandıktan sonra H profillerinin gözlemlenmesi için gerekli düşünün sağlanması için, xpsden her biri 125 cm*18 cm*1.9 cm boyutlarında 3 parça kesilmiştir (Şekil 2). Bu parçalar kanalın başlangıcına koyularak düşünün oluşması sağlanmıştır. Bu parçalar üst üste konularak her bir debi için 1,9 cm, 3,8 cm,

5,7 cm olmak üzere üç farklı düşü yüksekliği oluşturulmuştur. H2 profilini gözlemleyebilmek için toplamda 9 farklı durum gözlenmiştir. Her bir durum için hidrolik sıçrama uzunlukları, su yükseklikleri ve diğer gerekli datalar kaydedilmiştir. Ayrıca her bir durum için birden fazla görsel alınmış bunlar daha sonra Excel'e grafiksel olarak aktarılmıştır.



Şekil 2 - H2 profilinde e=3.8 cm görüntüsü

3. Bölgede gözlemlenen su yüzeyi profilleri, kanal boyutlarının yetersizliği nedeniyle net gözlemlenememiştir. Bu yüzden yapılan deneylere çalışmada yer verilmemiştir.

M1 tipi profili gözlemlenebilmek için kanal eğimi $J=0.00355'$ e nivo ve metre yardımıyla ayarlanmıştır. M1 profilinin oluşması için $J < J_c$ şartı sağlanmalıdır. Ayarlanan eğim her 3 debide

de bu şartı sağlamaktadır. M1 profilinin oluşması için gerekli olan engeller iki farklı yükseklikte (5cm, 10cm) ve kanal genişliğinde kesilmiştir (Şekil 3). Daha sonra her bir debi için toplamda 6 farklı durum gözlemlenmiştir. Her bir durum için görseller alınmış daha sonra değerler Excel'e aktarılmıştır.

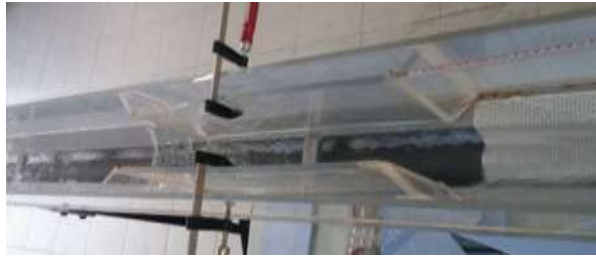


Şekil 3 - M1 Profilinde e=10 cm görüntüsü

M2 profili gözleminde M1 profili için ayarlanan $J=0.00355$ değiştirilmeden devam edilmiştir. M2 profilini gözlemleyebilmek için aynı H2 profilindeki gibi kanalda düşü oluşturulmalıdır. 3 farklı düşü yüksekliği oluşturularak 3 farklı debide toplam 9 farklı durum elde edilmiştir. S1 profilinin sağlanması için gerekli olan $J > J_c$ şartını sağlamak için kanal eğimi nivo ve metre yardımıyla, $J=0.02325$ eğimine ayarlanmıştır. S1

profilini oluşturmak için 2.5 cm ve 5cm yüksekliğinde ve kanal genişliğinde 2 farklı engel kullanılarak toplamda 6 farklı durum yaratılmıştır.

S2 profili gözlemlenirken $J=0.02325$ eğimli kanalda daralma oluşturulmuştur. Kanalda 6 cm ve 9 cm olmak üzere iki farklı daralma genişliği oluşturulmuştur (Şekil 4). Toplamda 6 farklı durum yaratılmıştır.



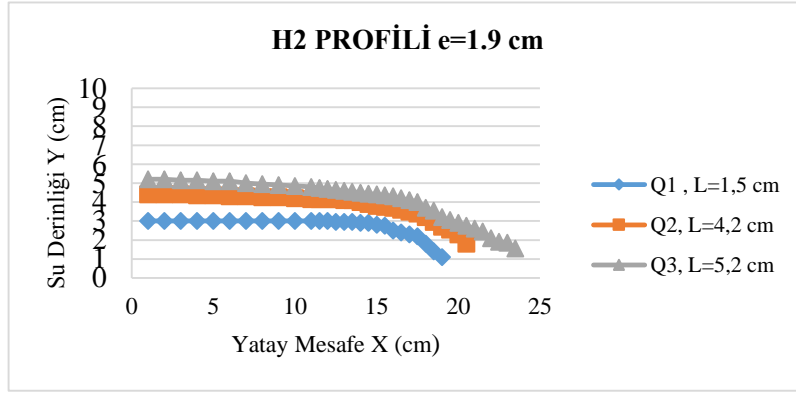
Şekil 4 - S2 Profili b=9 cm üstten görüntüsü

A2 profilinin için şu ana kadar incelenen profillerden farklı olarak kanalda ters eğim oluşturulmalıdır. Kanal eğimi -0.003 e getirilerek $J < 0$ şartı sağlanmıştır. Daha sonra 2.5 cm, 5 cm ve 10 cm yüksekliklerindeki engeller kanala ayrı ayrı yerleştirilerek 9 farklı durumda deneyler yapılmıştır.

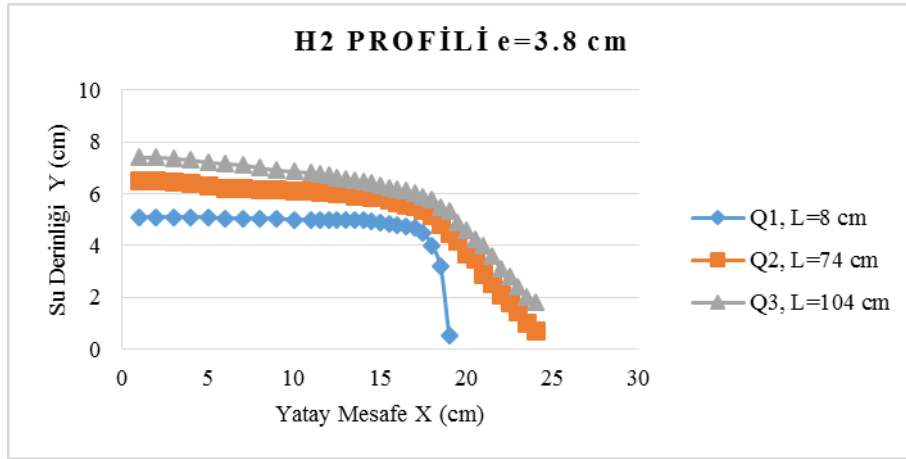
C1 profilinde, kanal eğimleri Q1 için $J_{kr1}=0.0129$, Q2 için $J_{kr2}=0.0103$, Q3 için $J_{kr3}=0.0069$ olarak ayarlanmıştır. Her bir debi için 2.5 cm ve 5 cm olan engeller konularak profil gözlemlenmiştir. Toplamda 6 farklı durum yaratılmıştır.

3 GÖZLEMLER VE BULGULAR

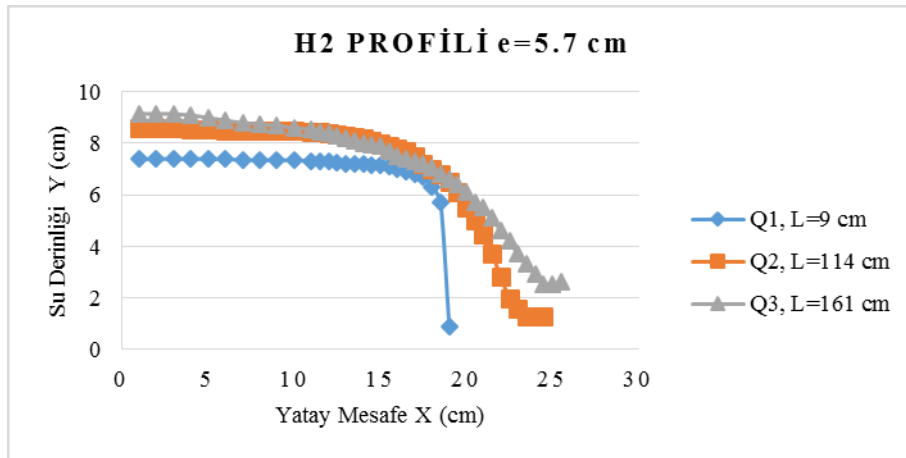
H2 profilinde düşü yüksekliği sabit iken, debi arttıkça yüzey profilinin yükseldiği, hidrolik sıçramanın düşüye olan mesafesinin de arttığı görülmektedir (Tablo 2). Ayrıca debi arttıkça suyun kanal tabanına daha dik bir açıyla düştüğü gözlemlenmiştir (Şekil 5,6,7). Debi sabit iken, eşik yüksekliği arttıkça yüzey profilinin yükseldiği, hidrolik sıçramanın eşığe olan mesafesinin de arttığı görülmektedir (Tablo 2). Ayrıca eşik yüksekliği arttıkça suyun düşüden daha dik bir açıyla düştüğü gözlemlenmiştir. Bu bulgular ışığında H2 profilinde debi ve eşik yüksekliğinin, yüzey profili ve hidrolik sıçrama mesafesiyle doğru orantılı olduğu söylenebilir.



Şekil 5 - H2 Profili e=1.9 cm'de su derinliği yatay mesafe grafiği



Şekil 6 - H2 Profili e=3.8 cm'de su derinliği yatay mesafe grafiği



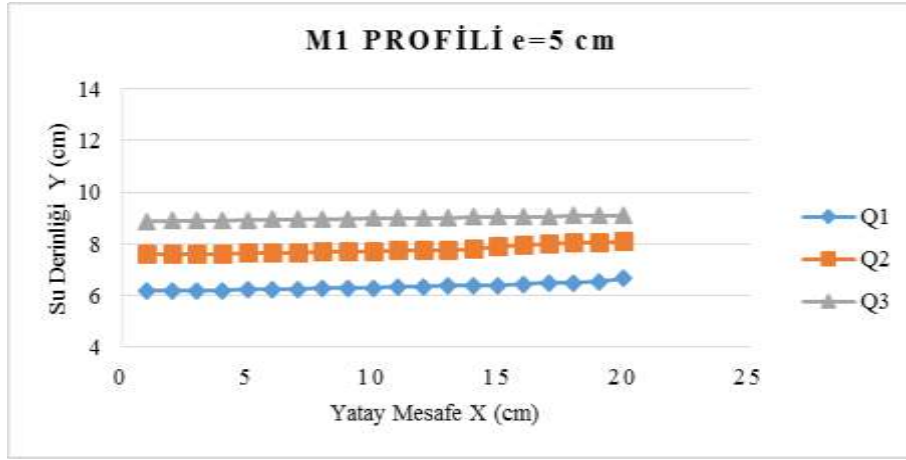
Şekil 7 - H2 Profili e=5.7 cm'de su derinliği yatay mesafe grafiği

Çizelge 2 - H2 Profilinde debi ve engel yüksekliklerine göre hidrolik sıçrama mesafeleri karşılaştırılma tablosu

H2	Q ₁ = 0,5 l/s	Q ₂ =1,5 l/s	Q ₃ =2,4 l/s
e ₁ =1,9 cm	1,5 cm	4,2 cm	5,2 cm
e ₂ =3,8 cm	8 cm	74 cm	104 cm
e ₃ =5,7 cm	9 cm	114 cm	161 cm

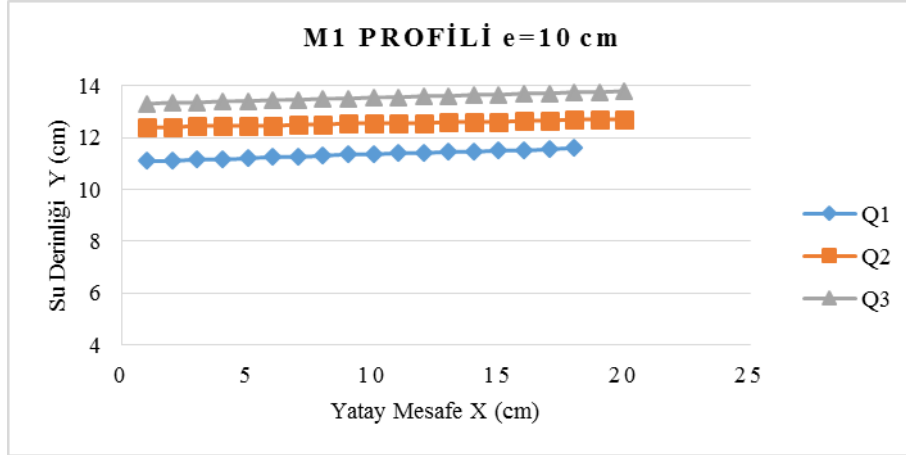
M1 profilinde eşik yüksekliği ve debi arttıkça yüzey profilinin yükseldiği görülmüştür. Bu iki parametrede arttığında yüzey profili eğimlerinin aynı

kaldığı görülmektedir. Ayrıca eşik yüksekliği arttığında su yüzeyi profillerinin arttığı gözlemlenmiştir (Şekil 8,9).



Şekil 8 - M1 Profili e=5 cm'de su derinliği yatay mesafe grafiği

5



Şekil 9 - M1 Profili e=10 cm'de su derinliği yatay mesafe grafiği

M2 profilinde düşü yüksekliği sabit iken debi arttıkça su yüzeyi profilinin yükseldiği, hidrolik sıçramanın düşüye olan mesafesinin de arttığı gözlemlenmektedir (Tablo 3). Düşme açısı ise debi arttıkça azalmaktadır. Ayrıca debiler

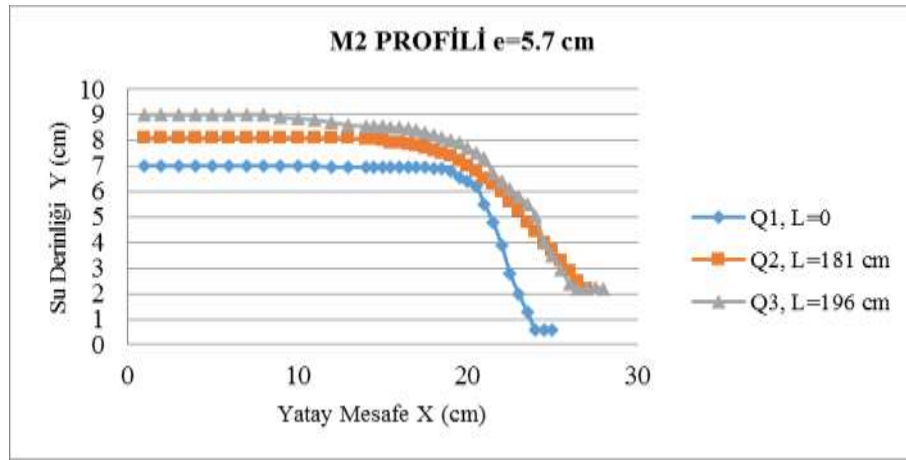
arttıkça su yüzeyi profillerinin birbirine çok yaklaştığı hatta Q2, Q3 debilerinde ve e₂, e₃ düşü yüksekliklerinde profillerin düşüden sonra neredeyse eşit hale geldiği görülmektedir (Şekil 10). Debi sabit iken düşü yüksekliği arttıkça yüzey profilinin yükseldiği, hidrolik sıçramanın

düşüye olan mesafesinin de arttığı gözlemlenmektedir (Tablo 3). Bu gözlemler ışığında M2 profilinde düşü yüksekliği ve debinin, yüzey profili ve hidrolik sıçrama mesafesiyle doğru orantılı olduğu söylenebilir.

Düşme açısı ise debi ile ters orantılı, düşü yüksekliğiyle doğru orantılıdır. Bütün bunlara ek olarak M2 ve H2 profillerinin birbirleri arasında tüm parametrelerde büyük bir benzerlik gösterdiği görülmüştür.

Çizelge 3 - M2 Profilinde debi ve engel yüksekliklerine göre hidrolik sıçrama mesafeleri karşılaştırılma tablosu

M2	Q ₁ = 0,5 l/s	Q ₂ =1,5 l/s	Q ₃ =2,4 l/s
e ₁ =1,9 cm	-	139 cm	158 cm
e ₂ =3,8 cm	-	165 cm	195cm
e ₃ =5,7 cm	-	181 cm	196 cm



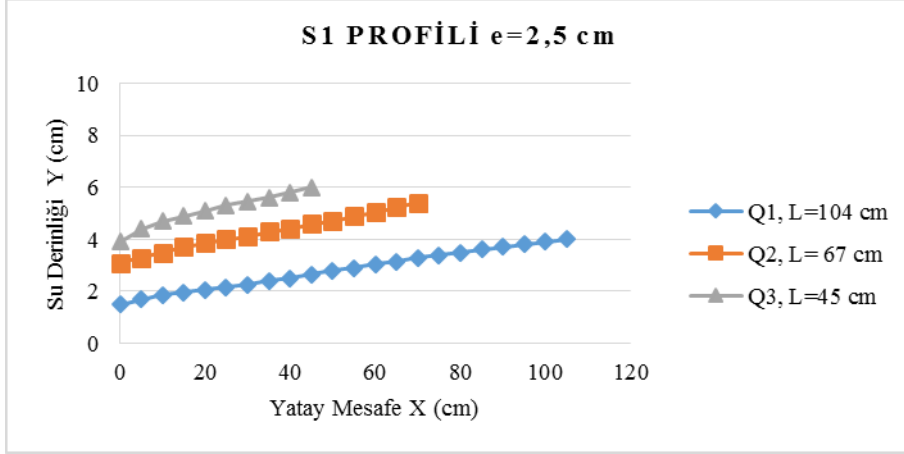
Şekil 10 - M2 Profili e=5.7 cm'de su derinliği yatay mesafe grafiği

S1 profilinde hidrolik sıçrama diğer hidrolik sıçrama oluşan profillerden farklı olarak, koyulan engelden önce oluşmaktadır. Hidrolik sıçramadan engele kadar olan su yüzeyi S1 profilinde eşik yüksekliği arttıkça su yüzeyi yükselmiş, hidrolik sıçrama mesafeleri artmış bunun doğal sonucu olarak da profillerin yatay uzunlukları artmıştır (Şekil 11,12). Bu durumun sonucu olarak kanalda profiller daha uzun mesafede gözlemlenmiştir.

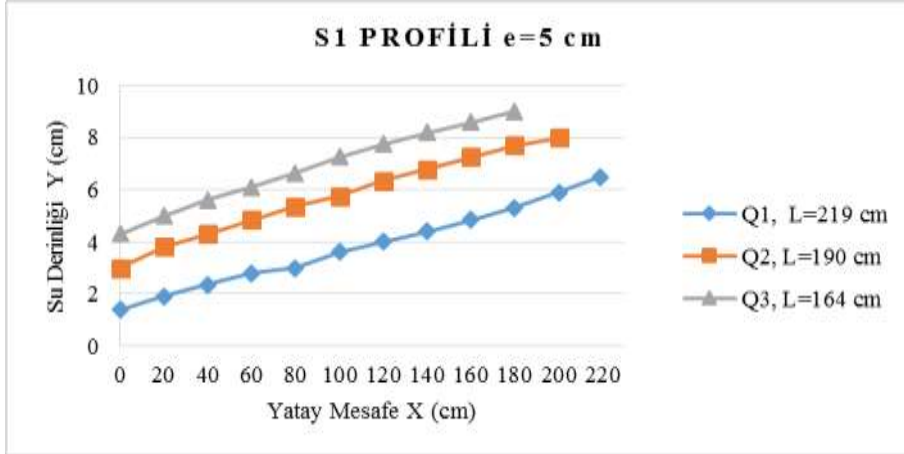
Debi arttıkça su yüzeyi yükselmiş, hidrolik sıçrama mesafeleri azalmış ve gözlemlenen yüzey profili kısalmıştır (Tablo 4). S1 profilinde literatürde gösterilen eşikten önce oluşan parabolik artış en iyi olarak minimum eşik olan e=2.5 cm ve maksimum debi olan Q₃'de gözlemlenmiştir. Diğer durumlarda profil daha doğrusal bir çizgi izlemektedir (Şekil 12). Bu profile diğer incelenen profillerin aksine debi ve eşik yüksekliği birine zıt etkiler göstermiştir

Çizelge - 4 S1 Profilinde debi ve engel yüksekliklerine göre hidrolik sıçrama mesafeleri karşılaştırılma tablosu

S1	Q ₁ = 0,5 l/s	Q ₂ =1,5 l/s	Q ₃ =2,4 l/s
e ₁ =2,5 cm	104 cm	67 cm	45 cm
e ₂ =5 cm	219 cm	190 cm	164 cm



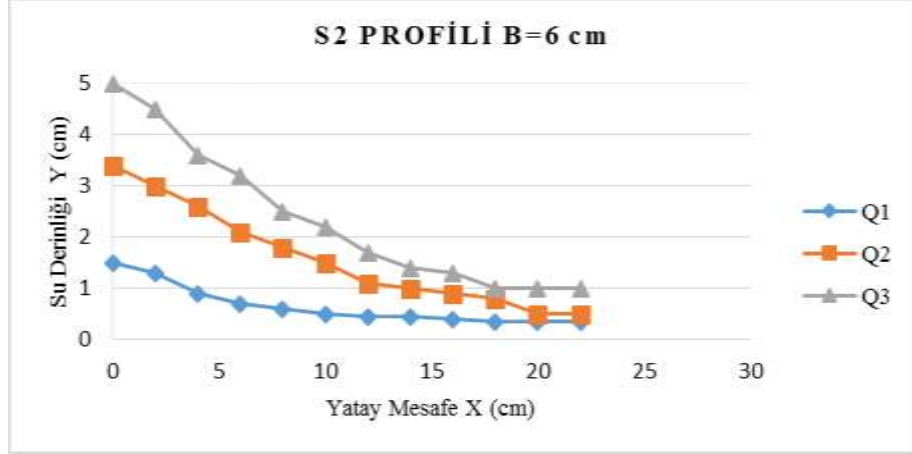
Şekil 11 - S1 Profili e=2.5 cm' de su derinliği yatay mesafe grafiği



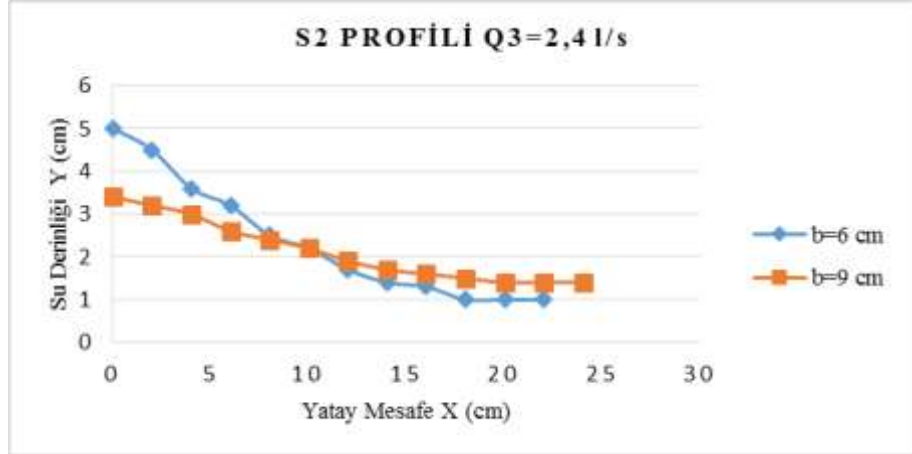
Şekil 12 - S1 Profili e=5 cm'de su derinliği yatay mesafe grafiği

S2 profilinde daralma genişliği sabit iken, debi artırıldığı zaman su yüzeyinin yükseldiği görülmektedir (Şekil 13). Aynı debide, daralma genişliği azaltıldığında, su yüzeyi seviyesindeki düşüş daha dik olmaktadır (Şekil 14).

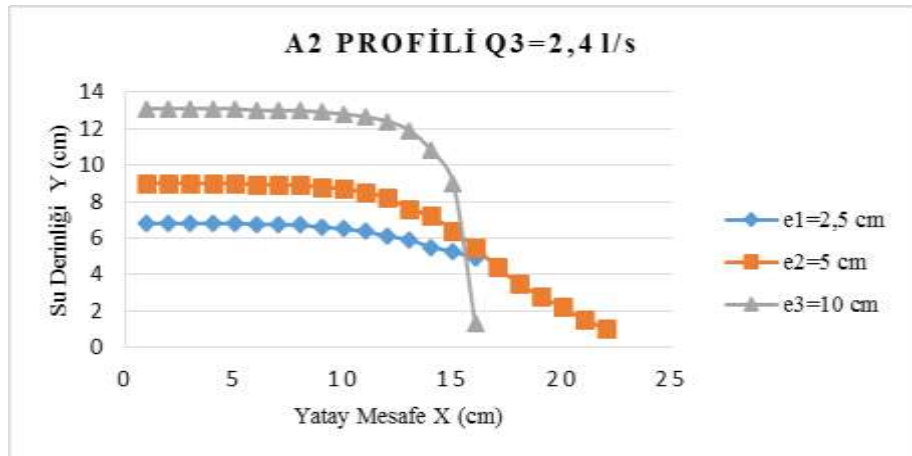
A2 profilinde düşü yüksekliğinin artmasıyla su yüzeyi profili yükselmiş, düşme açıları artmıştır. Debi değeri arttıkça su yüzeyleri yükselmiştir. Debi ve düşü yüksekliğinin su yüzeyi profiline benzer, düşme açılarında zıt bir etki yaptığı gözlemlenmektedir (Şekil 15).



Şekil 13 - S2 profili b=6 cm'de su derinliği yatay mesafe grafiği



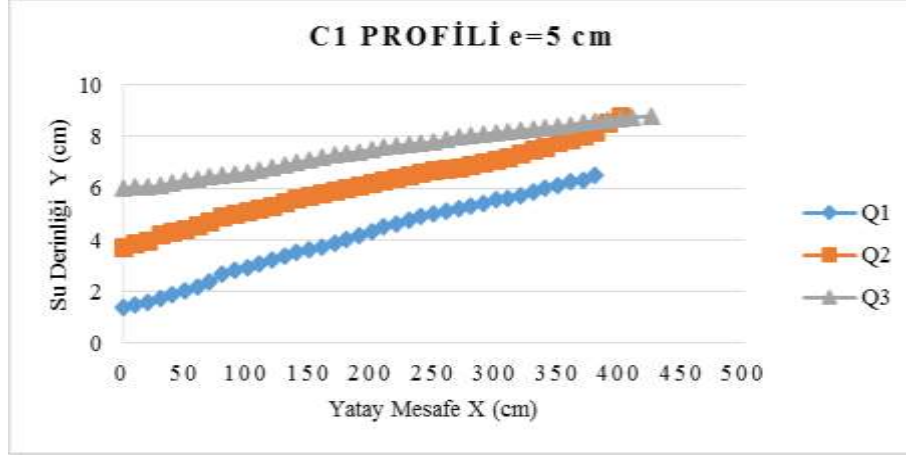
Şekil 14 - S2 Profili Q=2.4 l/s su derinliği yatay mesafe grafiği



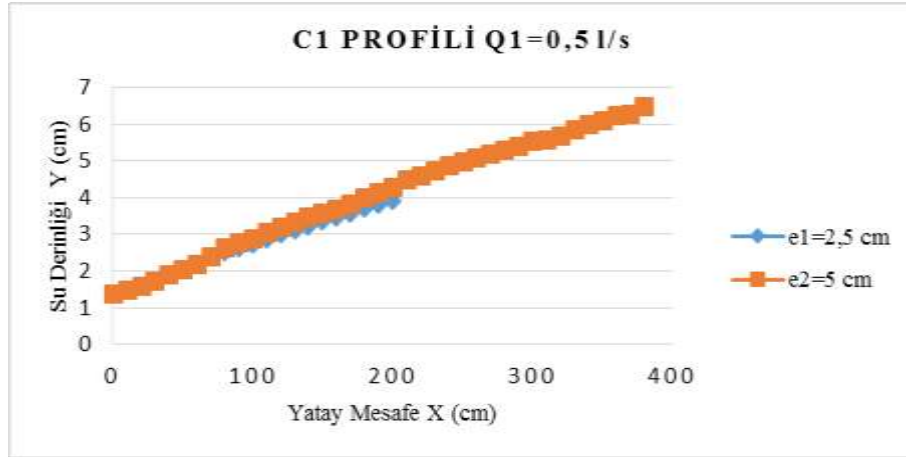
Şekil 15 - A2 Profili Q=2.4 l/s su derinliği yatay mesafe grafiği

C1 tipi profilde, debi değeri arttıkça, su yüzeyleri yükselmiş, gözlenen profillerin yatay uzunlukları artmış ve farklı debilerdeki profiller birbirine yaklaşmıştır (Şekil 16). Eşik yüksekliği arttığında ise su yüzeyleri yükselmiş ve

gözlenen profillerin yatay uzunlukları artmıştır (Şekil 17). Bu profilde debi ve eşik yüksekliğinin su yüzeyi profili üstünde benzer etkiyi gösterdiği anlaşılmaktadır.



Şekil 16 - C1 Profili e=5 cm'de su derinliği yatay mesafe grafiği



Şekil 17 - C1 Profili Q=0.5 l/s su derinliği yatay mesafe grafiği

4 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, açık kanal akımlarında oluşan 12 farklı su yüzeyi profilinin değişen şartlar altında gözlemlenmesi amaçlanmıştır. Toplamda yapılan 66 deneyin 51 tanesinde bir su yüzeyi profil tipi gözlemlenebilmiştir. Gözlemlenen su yüzeyi profil tiplerine farklı debi ve eşik boyutlarının etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Gözlem ve ölçümler irdelenmiş, elde edilen sonuçlar grafikler, görseller ve tablolar halinde sunulmuştur. Bu çalışmadan aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

H2 ve M2 profillerinde düşü yüksekliği ve debinin, su yüzeyi yükseklikleriyle ve hidrolik sıçramaların düşüye olan mesafeleriyle doğru orantılı olduğu gözlemlenmiştir. Düşme açılarıyla ise ters orantılı oldukları çıkarımı yapılabilir. M1 profilinde eşik yüksekliği ve debinin su yüzeyi yükseklikleriyle doğru orantılı olduğu görülmektedir. Eşik yükseklikleri arttığında profillerin birbirine yaklaştığı görülmektedir. S1 profilinde debi, su yüzeyi yükseklikleriyle doğru, hidrolik sıçramaların eşığe olan mesafeleriyle ve gözlemlenen profil uzunluklarıyla ters orantılıdır. S2 profilinde,

daralma genişliği azaldıkça, su yüzeyi seviyesindeki düşüşün daha ani olduğu görülmektedir. A2 profilinde debi ve eşik yüksekliği arttıkça su yüzeyi yüksekliklerinin de arttığı görülmektedir. Eşik yüksekliği arttıkça suyun daha dik bir açıyla düştüğü, debi arttıkça ise bu açının azaldığı görülmektedir. C1 profilinde debi ve eşik yükseklikleri su yüzeylerinin yüksekliklerine ve profil uzunluklarına doğru orantılıdır.

Hidrolik sıçrama oluşan profillerde (S1,M2,H2) debi ve eşik yüksekliğinin, hidrolik sıçramanın eşiğe olan mesafesiyle doğru orantılı olarak arttığı fakat istisna olarak S1 profilinde debi arttıkça hidrolik sıçramanın eşiğe olan mesafesinin azaldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca debi ve eşik yüksekliğinin bütün durumlarda su yüksekliğiyle doğru orantılı ve birbirine benzer bir etkileri olduğu elde edilmiştir.

Bu sonuçlar ışığında hidrolik sıçramanın eşiğe olan mesafesinin engel yüksekliği ve debiyle olan ilişkisinin daha fazla deney ve verilerle matematiksel bir fonksiyona dönüştürülebileceği görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] Birsoy, O., "Water Surface Profiles in Compound Channels", Yüksek Lisans Tezi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2002.
- [2] Çengel, Y.A., Cimbala, J.M., "Akışkanlar Mekaniği Temelleri ve Uygulamaları", Güven Kitapevi, İzmir 2008
- [3] Demirel, E., "Prizmatik Kanallarda T.D.A Su Yüzü Profillerinin Bilgisayar Destekli Hesabı", Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, 2002.
- [4] Molinas, A., Yang, C.T., "Generalized Water Surface Profile Computations", Journal of Hydraulic Engineering, cilt: 111, sayfa: 381-397, 1985.
- [5] Örsel, S.İ., "Local Losses at a Step in Sub-Critical Open Channel Flow", Yüksek Lisans Tezi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi. 2002
- [6] Öztürkmen, G., "Açık Kanallarda Su Yüzü Profiline Farklı Koşullar Altında Belirlenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi, 2008.
- [7] Sümer, A, Ünsal, Y., Beyazıt, M., "Hidrolik", Birsen Yayınevi, İstanbul, 1983.
- [8] Wilson, E.H., "Surface Profiles in Non-Prismatic Rectangular Channels", Water Power, cilt: 21, sayfa:438-43, 1969.
- [9] Yao, K.M., "Nonuniform Flow in Flat Rectangular Channels", ASCE J Hydraulic Div. cilt: 97, makale numarası: 8369, sayfa: 1343-8, 1971.
- [10] Yüksel, Y., "Teori ve çözümlü Problemleri ile Bilgisayar Uygulamalı Akışkanlar Mekaniği ve Hidrolik", Beta Yayınevi, İstanbul. 2000
- [11] Zaghoul Nabil A, Darwish A.Y., "Solution of gradually varied flow problems using the direct step method with the IBM PC Lotus 1-2-3 system", Environmental Software, cilt 2, numara: 4, sayfa: 199-206, 1987.

TARIMSAL SULAMALARDA GÜNEŞ ENERJİSİ

Ali GÖKYEL

Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Proje ve İnşaat Dairesi Başkanlığı, Ankara
aligokyel@dsi.gov.tr

Deniz ULUSOY

Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Proje ve İnşaat Dairesi Başkanlığı, Ankara
deulusoy@dsi.gov.tr

(Makalenin geliş tarihi: 10.02.2016, Makalenin kabul tarihi:30.03.2016)

ÖZ

Temel yaşam kaynağı olan su; doğaya hayat verdiği gibi, biz insanoğluna da kullanımı konusunda büyük sorumluluk yüklemektedir. Günümüzde hızla tükenen su kaynakları, suyun ve kullanım şartlarının önemini iyiden iyiye ön plana çıkarmaktadır. Suyun yaşam kaynağı oluşunun en güzel örneği tarımdır. Su; toprağa verdiği bereketle, tüm canlıların en temel ihtiyaçlarını gidermekte ne kadar vazgeçilmez olduğunu kanıtlamaktadır. Tarıma yön vermek de biz insanoğluna düşmektedir. Gelişen teknolojilerle tarım alanlarını daha verimli kullanmak için mühendislik şartları zorlanmalıdır. Özellikle kamu kurumları bu konuda yol gösterici olmalı, hem su kaynaklarının hem de kamu kaynaklarının korunarak, tarımsal sulama gerçekleştirilmesinde getireceği yeniliklerle özel sektöre ve çiftçiye liderlik etmelidir. Tarımda teknoloji kullanımının en tipik örneği olan terfi merkezleri, birçok disiplini içinde barındırmaktadır. Su ve enerji giderlerini azaltacak tekniklerin geliştirilmesi mühendislik gereğidir. Bu çalışmada, Pompajlı sulamalarda enerji bedelleri nedeniyle işletilemeyen tesislerin güneş enerji santralleri ile desteklenmesi incelenmiş, tarımsal sulamada yetkili kuruluş olan Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü'nün ar-ge kapsamında yaptığı çalışmalarına değinilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi, Fotovoltaik, Pompaj sulama

SOLAR POWER IN AGRICULTURAL IRRIGATIONS

ABSTRACT

Water being vital life source not only vitalizes nature but also gives us great responsibility regarding its usage. Fast depletion of water resources today features the significance of water and its terms of use thoroughly. Agriculture is the best example for water's being life source. Water through the abundance it grants to the land proves how indispensable it is for meeting the crucial needs of all livings. It is our duty to direct the agriculture. Engineering methods should be forced in order to use agricultural areas with developing technologies more productive. Especially public institutions should be encouraging in this topic and should guide private sector and farmers regarding innovations that would be seen in realizing agricultural irrigation through protection of water resources and public resources. Elevation centers that are typical examples of technology usage in agriculture contain many disciplines. Developing techniques to decrease water and energy cost is part of engineering. In this study it was examined support that solar energy santrals give to facilities that could not be operated as result of energy cost in pumping irrigations. R&D studies carried out by General Directorate of State Hydraulic Works which is authorized institution in agricultural irrigation also were mentioned.

Keywords: Solar power, photovoltaic, pumping irrigation

1 GÜNEŞ ENERJİSİ

Güneş ışığından enerji elde edilmesine dayalı bir teknolojidir. Güneş'in yaydığı ve Dünya'mıza da ulaşan enerji, Güneş'in çekirdeğinde yer alan füzyon süreci ile açığa çıkan ışınım enerjisidir. Güneşteki hidrojen gazının helyuma dönüşmesi füzyon sürecinden kaynaklanır. Dünya atmosferinin dışında Güneş ışınımının şiddeti, aşağı yukarı sabit ve 1370 W/m² değerindedir; ancak yeryüzünde 0-1100 W/m² değerleri arasında değişim gösterir. Bu enerjinin Dünya'ya gelen küçük bir bölümü dahi, insanlığın mevcut enerji tüketiminden kat kat fazladır. Güneş enerjisinden yararlanma konusundaki çalışmalar özellikle 1970'lerden sonra hız kazanmış, Güneş enerjisi sistemleri teknolojik olarak ilerleme ve maliyet bakımından düşme göstermiş, Güneş enerjisi çevresel olarak temiz bir birincil enerji kaynağı olarak kendini kabul ettirmiştir.

Güneş Enerjisinin avantajları:

Tükenmeyen ve temiz enerji kaynağıdır.

Bol miktarda bulunur.

Dışa bağımlılığı yoktur.

Kurulum maliyeti hariç ucuz bir kaynaktır.

Nakliye problemi yoktur

Bedava bir kaynaktır.

Bu nedenle Güneş Enerjisi SÜRDÜRÜLEBİLİR bir özelliğe sahiptir. Elektrik kullanımının olduğu her alanda güneş enerjisi kullanılabilir.

Dünyaya düşen solar radyasyon miktarı, dünyanın talep ettiği enerji ihtiyacından çok daha fazladır. Dünya yüzeyine ulaşan ışınlar, toplam enerji tüketiminin 10.000 katı fazlasıdır. Yıllık ortalama birim metrekare başına düşen güneş enerjisi miktarı Avrupa'da 1.000 kWh, Ortadoğu'da ise 1.800 kWh'dir. Yapılan çalışmalara göre Avrupa yüzeyinin yaklaşık %0,71'inin güneş panelleri ile kaplanması

halinde; Avrupa'nın ihtiyaç duyduğu tüm enerji karşılanabilecektir. IEA(International Energy Agency)'nın yapmış olduğu bir çalışmaya göre ise dünyadaki çöllerin %4'lük kısmının güneş panelleriyle kaplanması durumunda tüm dünya birincil enerji ihtiyacı karşılanabilecektir.

1.1 GÜNEŞ ENERJİSİNDEN ELEKTRİK ÜRETİMİ

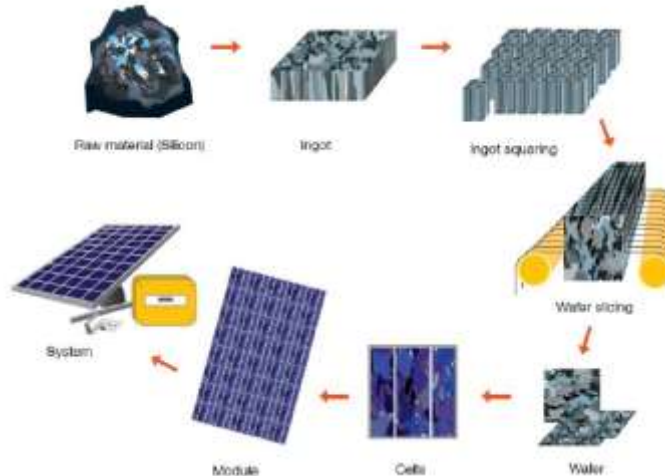
Güneş enerjisinden elektrik üretiminde iki yol mevcuttur:

Birincisi güneşin ısısından faydalanıp türbin yardımıyla geleneksel yöntemlerle enerji üretmektir.

Diğer yöntem ise sunumda inceleyeceğimiz fotovoltaik panellerdir. Fotovoltaik paneller güneş ışığını direk olarak elektrik enerjisine dönüştüren yarı-iletken teknolojilerdir.

1.2 FOTOVOLTAİK PANEL YAPISI

Fotonlar üzerlerinde belirli bir enerji taşımaktadır. Taşınan bu enerji güneş panellerinde elektrik üretmek amacıyla kullanılmaktadır. Güneşten gelen enerji, paneller tarafından soğurularak sistem içerisindeki diğer elemanlara iletilmekte ve en sonunda günlük hayatta kullandığımız elektrik enerjisi ortaya çıkmaktadır. Fotovoltaik hücreler daha yüksek akım, gerilim veya güç seviyesi elde etmek için elektrikselsel olarak seri veya paralel bağlanırlar. Fotovoltaik modüller çevre etkilerine karşı sızdırmazlık sağlayacak şekilde birbirine eklenmiş fotovoltaik hücreler içerirler. Fotovoltaik paneller elektrik kabloları ile birbirine bağlanmış iki veya daha çok sayıda Fotovoltaik modül içerirler. Fotovoltaik diziler ise belli sayıda Fotovoltaik modül veya panel içeren enerji üretim ekipmanlarıdır [1].



Şekil 1 - Panel üretim aşamaları

1.3 FOTOVOLTAİK PANEL TEKNOLOJİLERİ



Şekil 2 - Panel tipleri

1.3.1 MONO KRİSTAL PANEL

Kalite ve verimlilik açısından mono kristal güneş pilleri yüksek verimli mono kristal hücrelerden oluşmuşlardır. Bu paneller aynı gücü üreten Polikristal panellere göre %1-2 daha küçük alana sahiptir. Buna karşın üretiminde kullanılan teknoloji sebebiyle üretim süreci uzundur. Yine de mono kristal güneş pilleri uzun vadeli yatırım için en iyi seçenektir. Güneş pilinin mono kristal olması demek tüm hücrenin sadece kristalden oluşması ve materyalin atomsal yapısının homojen olması demektir. Doğada bulunan tüm kristalin bileşimler aslında polikristalindir, sadece elmas neredeyse mükemmel mono kristal özelliğe sahiptir.

1.3.2 POLİKRİSTAL PANEL

Kalite ve verimlilik açısından Polikristal güneş pilleri monokristalin güneş pillerinden biraz daha düşük verimli hücreler ile üretilmiştir. Ancak buna rağmen kullanım alanı daha yaygındır. Bunun en büyük nedeni ise daha kolay ulaşılabilir ve buna bağlı olarak daha uygun fiyatla bulunabilmesidir. Bu nedenle verimlilik/maliyet oranını hayli yüksektir. Polikristal şu anlama gelir: materyalin monokristale göre tek kristalden oluşmaması; yani materyalin tam olarak homojen olmaması demektir.

1.3.3 İNCE FİLM PANEL

Işık yutma oranı yüksek olan bu hücreler, düşük verimlilikleri nedeni ile pazar payının küçük bir bölümünü oluştururlar. İnce film fotovoltaik malzeme genellikle çok kristalli malzemelerdir. Başka bir deyişle ince film yarı-iletken malzeme, büyüklükleri bir milimetrenin binde birinden milyonda birine değin değişen damarlardan oluşmaktadır. Bu panellerin verimlilik oranları %7-14 arasında değişmektedir.

1.3.4 ESNEK PANEL

Geleneksel güneş panellerine ALTERNATİF olarak, özellikle çatı uygulamaları için geliştirilmiş bir teknolojidir. PV

konstrüksiyonlarının çatıya entegresinin zor olduğu uygulamalarda çatı izolasyonuna zarar vermeden monte edilebilir. Birçok uygulamada enerji üretiminin yanında çatı membranı olarak da kullanılabilir. Kristal ve ince film hücrelerden oluşan güneş paneli çeşitleri mevcuttur. İnce film hücrelerden oluşan panellerin en önemli özelliği esnek olması ve serme tipte uygulanabilmesidir. Herhangi bir konstrüksiyon ihtiyacı yoktur. Ayrıca kristal yapılu güneş panellerine göre ağırlık dağılımında avantaj sağlar. Cam içermediği için kırılma tehlikesi yoktur. En büyük özelliği ise taşınabilir olmasıdır.

1.4 GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLERİNİN AVANTAJLARI

Kurulan sistem hangi şartlarda olursa olsun devamlı olarak ihtiyaç olan enerji miktarını karşılayacak niteliktedir. Sistemler uzun ömürlüdür. Güneş paneli üreticileri ürünlerine minimum 20 sene performans garantisi vermektedirler. Fotovoltaik sistemlerin en önemli özelliği statik sistem olmalarıdır. Hareketli parçaları olmaması sebebiyle bakımsızdırlar. Hammaddede olarak sonsuz kaynak güneşi kullanırlar. Baska bir yakıt ya da benzeri maliyeti yoktur. Ekstradan bir yakıt kullanmadıkları için patlamalara karşı güvenlidirler. Fotovoltaik sistemler hareketsiz ve sessiz çalışarak gürültü kirliliği yaratmazlar. Mevcut fotovoltaik sistemin ihtiyaç duyulan enerji tüketimini karşılayamaması durumunda sisteme yeni güneş paneli entegrasyonu çok kolaydır. Sistem istendiği şekilde büyütülebilir. Enerji üretimi sırasında çevreye zararlı hiçbir atık oluşmamaktadır.

1.5 GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLERİNİN DEZAVANTAJLARI

Diğer enerji kaynakları ile kıyaslandığında ilk yatırım maliyeti en yüksek enerji türüdür. Güneşten gelen radyasyon değeri sistemin kurulacağı enlem değerine göre değişiklik göstermektedir. Buna lokal hava şartları da eklendiğinde sistemin kurulacağı yere göre

sistem tasarımına çok dikkat edilmelidir. Fotovoltaik sistemlerde enerji depolama için kullanılan aküler sistem maliyetini ciddi miktarda arttırmaktadır. Güneş panelleri verimleri ticari olarak %6 - %20 seviyesindedir. Yani güneşten gelen enerjinin en fazla %20'sini elektrik enerjisine dönüştürebilmektedir. Sistemler düşük verimli olduklarından dolayı kapladıkları alan fazladır.

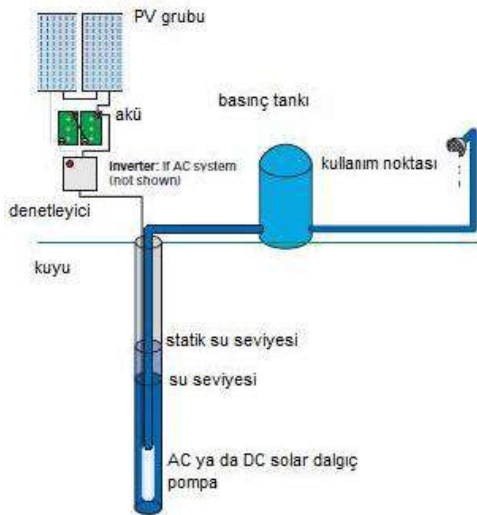
1.6 FOTOVOLTAİK PANEL TEKNOLOJİSİNİN UYGULAMA ALANLARI

Fotovoltaik uygulamalardan, elektrik enerjisine ihtiyaç duyulan her yerde yararlanılabilir. Güneş ışığından, bulutlu havalarda ve gece yararlanamama durumunun üstesinden ise, daha önce üretilen enerjinin akülere depolanması ile gelinebilir. Uygulamalar aşağıda sıralanmıştır [2].

Doğrudan Bağlanmış Fotovoltaik Sistem
Tek Başına Uygulamalar
Şebekeye Bağlı Sistemler
Hibrit Sistemler

1.6.1 DOĞRUDAN BAĞLANMIŞ FOTOVOLTAİK SİSTEMLER

Doğrudan bağlanmış fotovoltaik sistemde; fotovoltaik panel, yapılan işle doğrudan bağlanmıştır. Bundan dolayı; enerji güneş ışığı olduğu sürece kazanılır bu nedenle çok sınırlı miktarda uygulama gerçekleştirilir. Su pompalama sistemi sadece güneş olduğu sürece çalışır ve genellikle elektrik depolamak yerine su depolanır.

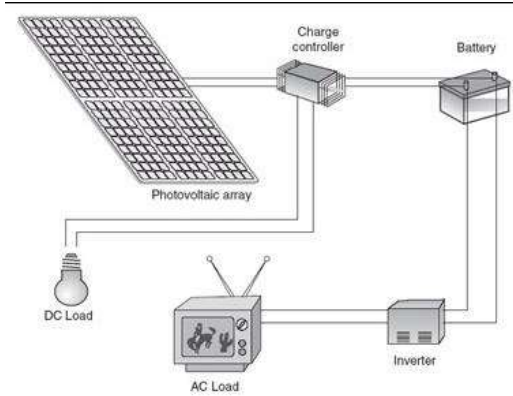


Şekil 3 - Doğrudan bağlanmış sistem

1.6.2 TEK BAŞINA UYGULAMALAR

Tek başına fotovoltaik sistemler, elektrik şebekesine erişimin olmadığı veya zor olduğu yerlerde kullanılır. Böyle bir sistem, elektrik şebekesinden bağımsızdır ve üretilen enerji genellikle bataryalarda depolanır. tipik bir tek sistem, fotovoltaik modüller, bataryalar ve şarj kontrolcüsünü içermektedir. Ayrıca, fotovoltaik modüller tarafından üretilen doğru akımı, normal uygulamalarda kullanabilmek için alternatif akıma çeviren bir invertör de sisteme dahil edilebilir.

Güneş enerjili bahçe, sokak, cadde aydınlatmaları, Şebekeden uzak konutların enerji ihtiyaçlarının karşılanması, GSM baz istasyonları; televizyon radyo istasyonlarının enerji ihtiyaçlarının karşılanması, Trafik lamba ve işaretçilerinin enerji ihtiyaçlarının karşılanması, Yelkenliler ve teknelerin enerji ihtiyaçlarının karşılanması, Şebekenin ulaşmadığı yerlerde güneş enerjili sulama, Tatlı su temini, içme suyu üretimi.



Şekil 4 - Tek başına sistem

1.6.3 ŞEBEKESİNE BAĞLI SİSTEMLER

Bu tip fotovoltaik sistemler, Şekilde görüldüğü gibi yerel elektrik enerjisi ağına bağlıdır. Gündüzleri, fotovoltaik sistem tarafından üretilen elektrik enerjisi hemen kullanılır ya da elektrik sağlayıcı firmalara satılır. Güneş ışığı olmadığı zamanlarda, elektrik enerjisi fotovoltaik sistem tarafından üretilmeyeceği için, kullanım için gerekli güç ağıdan satın alınır. Sonuçta, şebeke, bataryalara ihtiyaç duymadan, bir çeşit elektrik depolama sistemi olarak görev yapmaktadır.

Özellikle 1990'lı yılların ikinci yarısı itibariyle dünya genelinde oldukça fazla uygulamaları yapılmaya başlanmıştır. Bu dönem itibariyle güneş paneli fiyatlarında meydana gelen ucuzlamalar ve devletlerin güneş enerjisi yatırımlarına vermiş oldukları teşvikler sayesinde bu sistemler dünya genelinde oldukça popüler

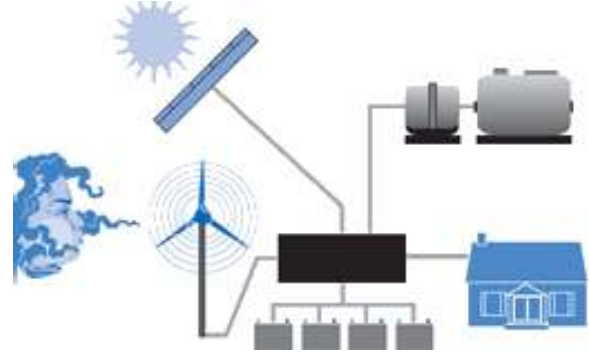
hale gelmiştir. Bu teşvikler sayesinde sadece santral bazında uygulamalar değil, bireysel tüketicilerin, fabrika sahiplerinin ve alışveriş merkezlerinin kendi enerjilerini fotovoltaikten üretmeleri sağlanmıştır. Teşviklerin temelinde; evlerde, fabrika ya da alışveriş merkezlerinde güneşten üretilen enerjinin devlete satılması yer almaktadır. Yani devletten birim elektriği aynı fiyata alacaklar fakat çok daha pahalı bir fiyata aynı birim elektriği devlete satacaklardır. Bu uygulama daha çok Avrupa'da geçerlidir. Amerika'da ise genelde hükümet "net metering" denen bir teşvik yöntemi uygulamaktadır. Güneş enerjisi sistemi kurulan yapılarda çift taraflı sayaçlar mevcuttur. Bu sayaçlar sayesinde üretilen ve tüketilen elektrik hesaplanabilmektedir. Üretilen elektrik tüketilenden fazla ise devlet ödeme yapacaktır. Harcanan üretilenden fazla ise aradaki fark kadar devlete ödeme yapılacaktır; yani mahsuplaşma olacaktır. Amerika'da ayrıca güneş enerjisi sistemleri kurulumu için eyaletler bazında değişmek üzere %50'ye varan hibe fonları da mevcuttur. Dünya üzerinde şebeke bağlantılı sistemler gün geçtikçe çok daha fazla önem kazanmaktadır.



Şekil 5 - Şebekeye bağlı sistem

1.6.4 HİBRİT SİSTEMLER

Hibrit sistemde, birden farklı tipte elektrik üreticisi mevcuttur. İkinci tip elektrik üretici sistem yenilenebilir bir enerji (güneş enerjisi, rüzgar enerjisi gibi) veya geleneksel enerji çeşidi (jeneratör ya da şehir elektrik şebekesi) olabilir. EPIA'nın yapmış olduğu çalışmaya göre 2013 yılı itibarıyla global kümülatif fotovoltaik kurulu gücü 140 GW mertebesine ulaşmıştır. Avrupa ülkeleri bu anlamda 80 GW'ı aşkın kurulu gücüyle %57'nin üzerinde bir paya sahiptir. Avrupa 2013 yılında yaklaşık 11 GW yeni kurulum ile kümülatif kapasitesini 81,5 GW'a çıkartmıştır.



Şekil 6 - Hibrit sistem

1.7 FOTOVOLTAİK(PV) SİSTEMLERE GLOBAL BAKIŞ

EPIA(European Photovoltaic Industry Association)'nın yayınlamış olduğu Global Market Outlook raporuna göre 2013 yılı itibarıyla global kümülatif fotovoltaik kurulu gücü 140 GW mertebesine ulaşmıştır. Avrupa ülkeleri bu anlamda 80 GW'ı aşkın kurulu gücüyle %57'nin üzerinde bir paya sahiptir.[3]

(Türkiye'de Toplam Kurulu Güç(2015): 71,91 GW)

1.8 GÜNEŞ ENERJİSİ TEŞVİKLERİ

1.8.1 ALMANYA

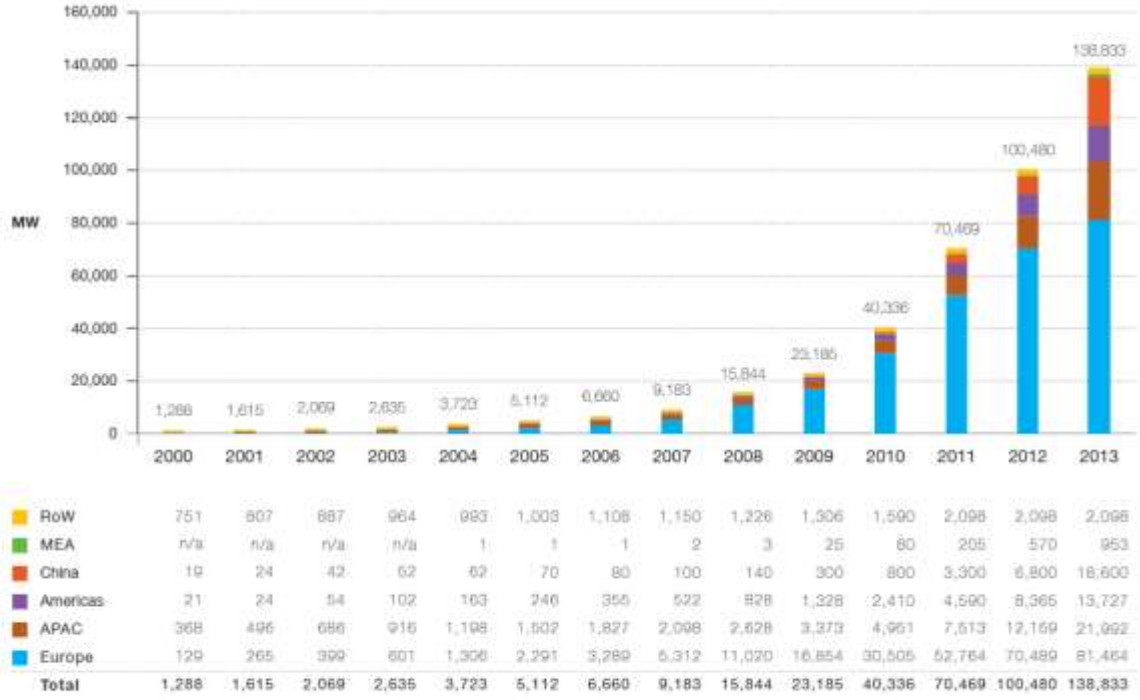
Almanya, 900 kWh/m²-yılılık bir ortalama ışınım şiddetine sahiptir. 2013 yılsonu itibarıyla Almanya'daki toplam fotovoltaik kurulu güç 36.000 MW idi. (Türkiye'de ise ortalama yıllık toplam ışınım şiddeti 1311 kWh/m² toplam fotovoltaik kurulu güç 142 MW) Türkiye ile kıyaslandığında oldukça düşük bir ışınım şiddetine sahip olmasına karşın güneş enerjisinden elektrik üretilmesinde Dünya'da İspanya'dan sonra ikinci konumdadır.

Fotovoltaik sistemler için uygulanmakta olan şebekeyi besleme tarifeleri:

0 – 1000 kWp arasındaki sistemler:

Yere kurulu solar PV sistemler için 0,3194 Euro/kWh, binalara ve ses kesme duvarlarına kurulan solar PV sistemler için 0,3958 Euro/kWh 1000 kWp ten daha büyük sistemler:

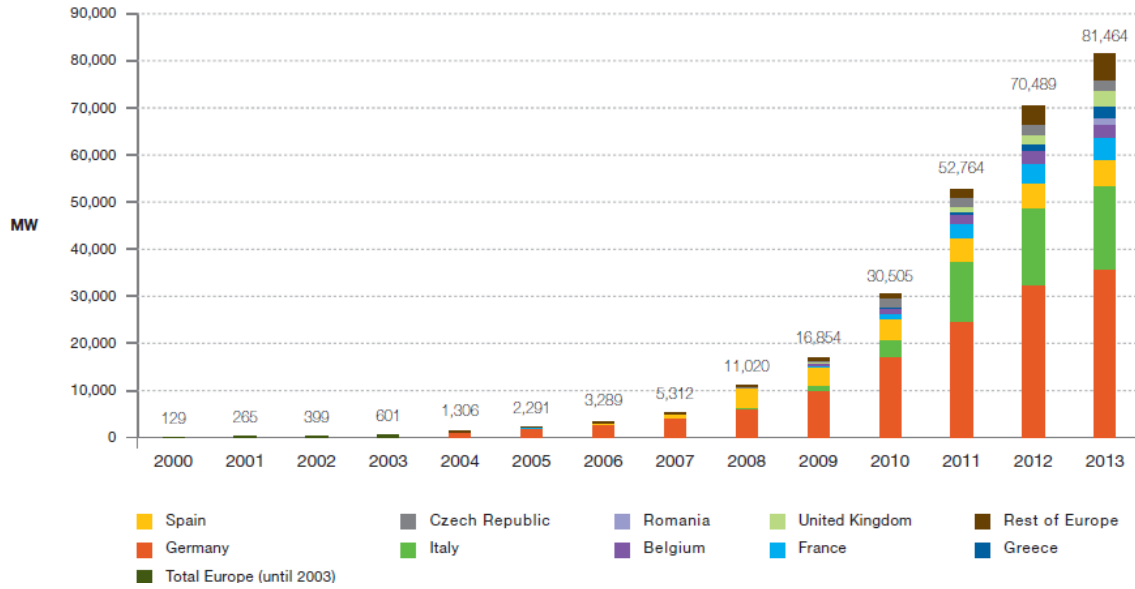
Yere kurulu solar PV sistemler için 0,3194 Euro/kWh, binalara ve ses kesme duvarlarına kurulan solar PV sistemler için 0,3300 Euro/kWh Sözleşme süreleri 20 yıldır ve bu değerler sabit tutulmaktadır.



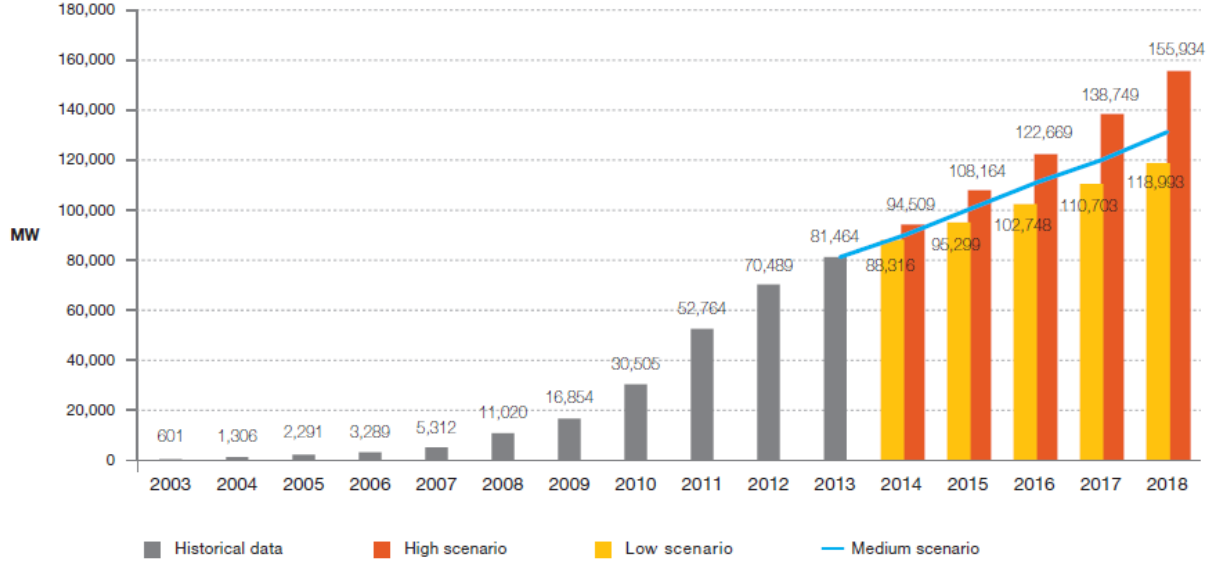
RoW: Rest of the World, MEA: Middle East and Africa, APAC: Asia Pacific.
Methodology used for RoW data collection has changed in 2012.

Şekil 7 - 2000-2013 arası küresel PV toplam kurulum kapasitesi

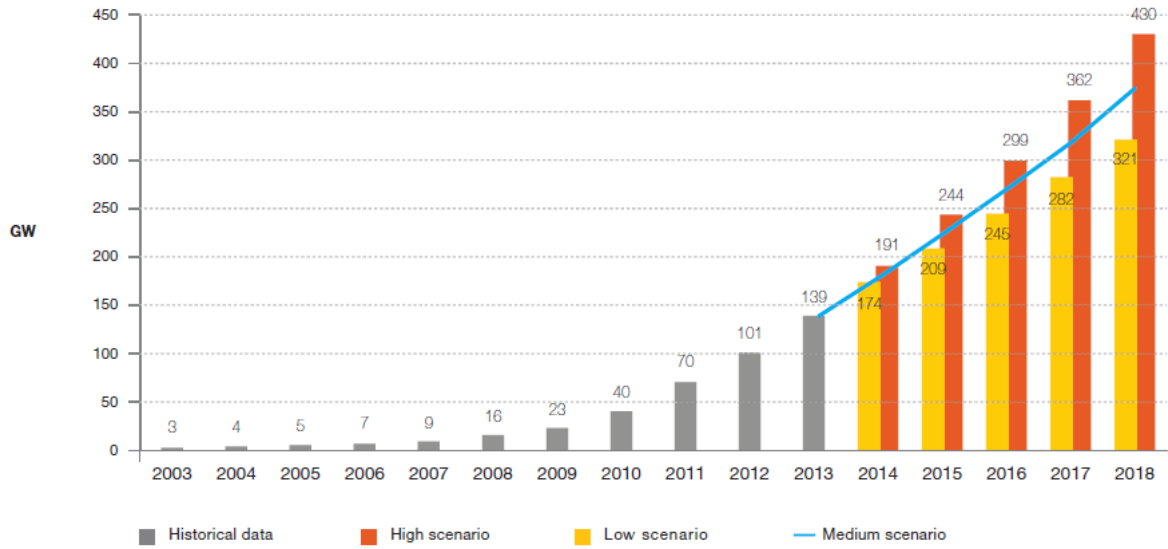
Avrupa 2013 yılında yaklaşık 11 GW yeni kurulum ile üretim kapasitesini 81,5 GW 'a çıkartmıştır.



Şekil 8 - 2000-2013 arası küresel PV toplam kurulum kapasitesi



Şekil 9 - 2018 e kadar Avrupa toplam PV Pazar senaryosu



Şekil 10 - 2018 e kadar küresel PV senaryosu

1.8.2 FRANSA

Yere kurulan sistemler için Fransa Ankarasında 0,32823 Euro/kWh, Korsika gibi adalarda 0,42 Euro/kWh

Çatıya kurulan veya bina entegre sistemler için tüm Fransa'da 0,60176 Euro/kWh

Kontrat süreleri 20 yıl olup enflasyon oranlarına göre tarifeler güncellenmektedir. Vergi kesintileri şeklinde farklı yenilenebilir enerji teşvik mekanizmaları da mevcuttur.

1.8.3 İNGİLTERE

Fon mekanizması güneş enerji sistemlerinin kurulumunda kW başına 2000 Sterlin teşvik vermektedir.

Maksimum teşvik miktarı 2500 Sterlindir ve toplam kurulum masraflarının %50'sini geçmemektedir.

2011 Ocak ayında 50 Kw üzerindeki solar elektrik sistemlerine ağırlık veren teşvik sistemi sayesinde yıl içinde

Kurulu güce sahip solar sistemi devreye alınmıştır.

1.8.4 İSPANYA

Güneş enerjisi teşvikleri için şebekeyi besleme tarifesi şu şekildedir;

Binaya entegre sistemlerde; 20 kWp'ten küçük sistemler için: 0.34 Euro/kWh, 20 kWp'ten büyük sistemler için: 0.32 Euro/kWh, Yere kurulmuş sistemler için: 0.32 Euro/kWh

1.8.5 YUNANİSTAN

100 KwPp'ten daha küçük solar PV sistemler: Anakarada 0,45 Euro/kWh, adalarda 0,50 Euro/kWh

100 kWp'ten daha büyük solar PV sistemler: Anakarada 0,40 Euro/kWh, adalarda 0,45 Euro/kWh

Kontrat süreleri 20 yıldır ve yıllık enflasyona göre endekslenmiştir.

1.8.6 TÜRKİYE'DE TEŞVİKLER

Güneş enerjisine dayalı üretim tesislerinde devlet 10 yıl alım garantisi vermektedir. Enerji bedeli 0,133 Usd/kWh dir. Ayrıca yerli imalat durumuna göre 5 yıl belli oranlarda teşvik vermektedir.

Çizelge 1 - Güneş enerjisi üretim desteği

I Sayılı Cetvel (29/12/2010 tarihli ve 6094 sayılı Kanunun hükmüdür.)	
Yenilenebilir Enerji Kaynağına Dayalı Üretim Tesis Tipi	Uygunlaşarak Fiyatlar (ABD Doları cmt/kWh)
a. Hidroelektrik üretim tesisi	7,3
b. Rüzgar enerjisine dayalı üretim tesisi	7,3
c. Jeotermal enerjisine dayalı üretim tesisi	10,5
d. Biyokütleyle dayalı üretim tesisi (çöp gazı dahil)	13,3
e. Güneş enerjisine dayalı üretim tesisi	13,3

Çizelge 2 - Güneş enerjisi yerli yatırım desteği

II Sayılı Cetvel (29/12/2010 tarihli ve 6094 sayılı Kanunun hükmüdür.)		
Tesis Tipi	Yurt İçinde Gerçekleşen İmalat	Yerli Katkı Oranı (ABD Doları cmt/kWh)
C- Fotovoltaik güneş enerjisine dayalı üretim tesisi	1- PV panel entegrasyonu ve güneş yapısal mekanikliği imalatı	0,8
	2- PV modülleri	1,3
	3- PV modülünü oluşturan hücreler	3,5
	4- İnvertör	0,8
	5- PV modülü üzerine güneş ışığını odaklayan malzeme	0,5

1.9 TÜRKİYE'DE ENERJİ POLİTİKALARI

Türkiye'nin Enerji Profili ve Stratejisine göre; Hızla artan enerji talebi neticesinde Türkiye'nin başta petrol ve doğal gaz olmak üzere enerji ithalatına bağımlılığı artmaktadır. Ülkemizin halihazırda toplam enerji talebinin yaklaşık %26'sı yerli kaynaklardan karşılanmaktayken, kalan bölümü çeşitlilik arzeden ithal kaynaklardan karşılanmaktadır. Ülkemiz, çok boyutlu enerji stratejisi çerçevesinde, kaynak ülke ve güzergâh çeşitliliğine gidilmesini, enerji karışımında yenilenebilir enerjinin payını arttırırken, nükleer enerjiden de yararlanılmaya başlanılmasını, enerji verimliliğinin arttırılmasına yönelik çalışmalarda bulunulmasını ve aynı zamanda Avrupa'nın enerji güvenliğine katkıda bulunulmasını amaçlamaktadır [4].

Enerji tasarrufu ve verimliliği, enerji arz güvenliğinin sağlanması, dışa bağımlılık risklerinin azaltılması, çevrenin korunması ve iklim değişikliğine karşı mücadelenin etkinliğinin arttırılmasının sağlanması gibi 2023 yılı ulusal strateji hedeflerimizin ve enerji politikalarımızın en önemli bileşenlerinden biridir.

Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğüne hazırlanan, Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına (GEPA) göre, yıllık toplam güneşlenme süresi 2.737 saat (günlük toplam 7,5 saat), yıllık toplam gelen güneş enerjisi 1.527 kWh/m².yıl (günlük toplam 4,2 kWh/m²) olduğu tespit edilmiştir.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının 2010–2014 stratejik planına göre enerji hedefi altında; Enerji yönünden dışa bağımlılığı azaltmak adına, Türkiye'nin yerli ve yenilenebilir kaynak potansiyellerinin belirlenmesi ve bu kaynaklarının tamamının enerji üretimi için seferber edilmesi öncelikli hedefler arasındadır [5].

2011 yılı TÜİK raporuna göre Türkiye yenilenebilir enerji kaynak potansiyeli ve çeşitliliği bakımından oldukça zengin bir ülke olmasına rağmen enerjide dışa bağımlı bir ülke konumundadır. 106 milyar dolarlık dış ticaret açığının yarıya yakını enerji ithalatından kaynaklanmaktadır. Sürdürülebilir bir kalkınma için enerji üretiminde yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının payının artırılması gerekliliği açıkça görülmektedir [6].

Çizelge 3 - Enerji İthalatının Ekonomideki yeri

Sayfa/Page | 122

İGÜSBD
Cilt: 1 Sayı: 2
Ekim /
October 2014

	Enerji İthalatı (Milyar USD)	Toplam İthalat (Milyar USD)	Enerji İthalatının Toplam İthalat İçindeki Payı (%)	Cari Açık (Milyar USD)	Enerji İthalatının Cari Açık İçindeki Payı (USD)	Enerji Giderleri Hariç Cari Açık (Milyar USD)	Ham Petrol Varil Fiyatları (USD)
2006	29	139	21	32	90	3.4	58
2007	33	170	20	38	88	4.6	64
2008	48	202	23	41	116	-6.8	91
2009	29	140	21	13	223	-16.5	53
2010	38	185	20	46	82	8.1	91
2011	54	240	22	77	70	23	87
2012*	40	156	24	34	113	-4.7	108

Kaynak: TCMB ve TÜİK, 2012 yılı verileri, ilk 8 aylık dönemi kapsamaktadır.

2011 yılında 54 Milyar Dolarlık enerji ithal edildiği, bunun toplam ithalatın %22.5'ine, cari açığın %70'ine karşılık geldiği görülmektedir. Ülkemizde önümüzdeki yıllarda öngörülen büyük baraj ve sulama projeleri vasıtasıyla sulamaya açılacak binlerce dönüm arazi söz konusudur. Bu duruma gösterilecek en çarpıcı örneklerden biri ülkemizin en büyük yatırım projesi olan GAP projesi kapsamında bulunan bu sulama alanlarında yeni enerji hatları oluşturulması

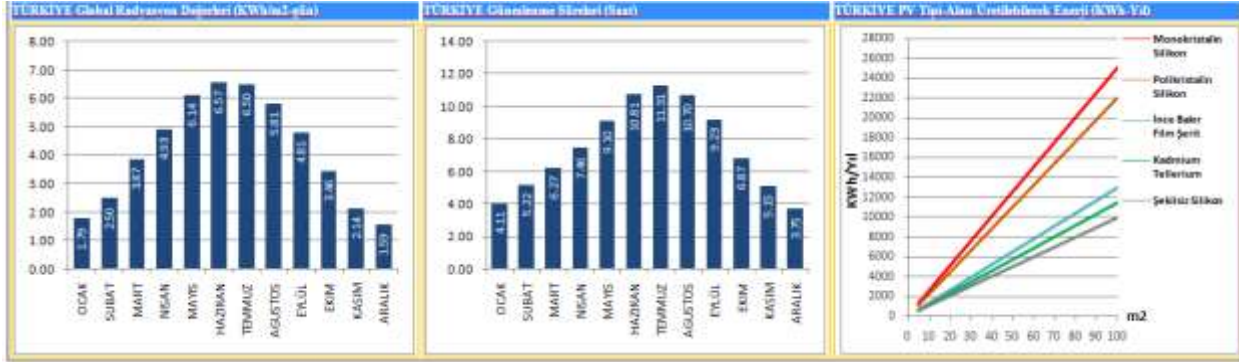
gereği ve elektrik enerjisindeki cömertçe kullanımın ülkemize gittikçe artan yükler getirdiği göz önüne alınırsa, PV destekli sulama uygulamalarına zaman kaybetmeden yönelmek gerektiği kaçınılmazdır. Ayrıca, GAP bölgesi güneş enerjisi potansiyeli değerleri Türkiye ortalamasının çok üzerinde seyretmekte olup PV destekli sulama uygulamaları için ideal bir yapı sergilemektedir [7].

2 TÜRKİYE'DE GÜNEŞ ENERJİ POTANSİYELİ



Şekil 11 - Türkiye Güneş Haritası

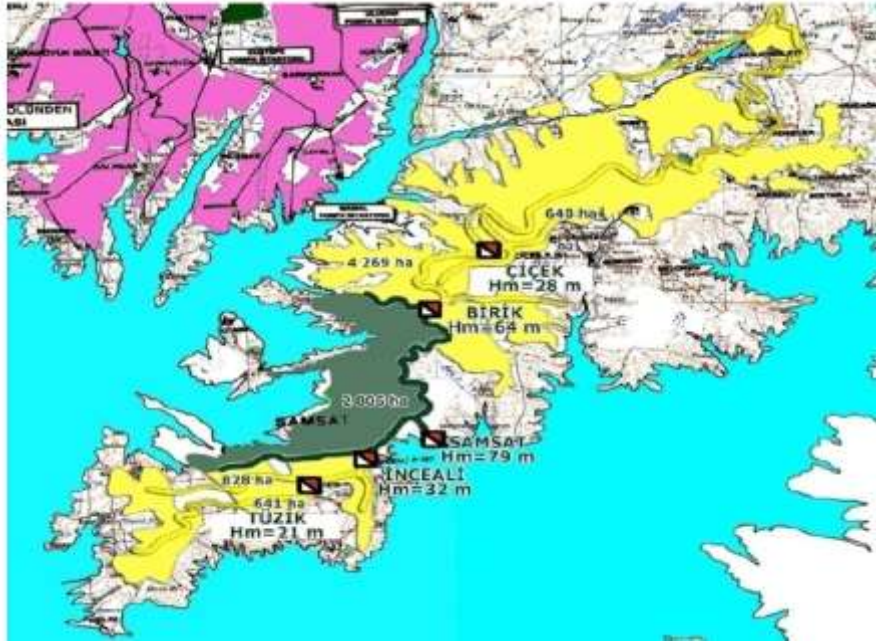
Çizelge 4 - Güneş radyasyon değerleri ve güneşlenme süreleri



2.1 SAMSAT POMPAJ SULAMASI

Ülkemizin enerji politikalarındaki dışa bağımlılığın azaltılması ve yenilenebilir enerji üretiminin enerji dağılımındaki oranını artırılması stratejisine uyumlu olarak ve DSİ misyonu çerçevesinde Samsat Sulamasının tekrar işler hale getirilerek bugüne kadar yapılmış olan yatırımların faydaya dönüşmesi amacıyla AR-

GE projesi kapsamında Güneş Enerjisi Santrali kurulmasına karar verilmiş ve ihalesi yapılmıştır. Atatürk Baraj gölünün sağ sahilinde Samsat ilçesi civarındaki arazilerin sulanması amacıyla aşağıda verilen planlama çerçevesinde 8337 ha alanın sulanması öngörülmüştür. Bugün için yeşil renk ile gösterilen 2806 ha'lık 1. Kısım inşaatı ikmal edilmiştir.



Şekil 12 - Samsat Sulaması vaziyet planı

Samsat Pompaj Sulaması 1. Kısım İnşaatı 22.10.2008 tarihinde tamamlanarak 2806 ha alanın sulanması sağlanmıştır. 1. Kısım Kapsamında yapılan P1 ANA Pompa istasyonunun basma yüksekliği 75 metre, kanal

uzunluğu 23 994 metre olup pompa gücü 2x2.5 MW gücündedir. Faydalanan toplam çiftçi sayısı 350 civarındır. 2015 yılı fiyatlarıyla tesis maliyeti 39.357.828x1,364 TL= 53.684.077 TL dir.

Çizelge 5 - Gerçekleşme ve Ödeme Durumu

2008 SONU İTİBARIYLA GERÇEKLEŞME VE ÖDEME DURUMU

Gerçekleşme Durumu

Parasal Gerçekleşme	% 96,84
Fiziki Gerçekleşme	% 100

Ödeme Durumu

Sözleşme Fiyatları İle Ödeme	1 956 436 TL
Fiyat Farkı Olarak Ödeme (KDV+Malzeme+F.F.dahil)	36 719 038 TL
Kamulaştırma İçin Ödeme	682 354 TL
Toplam Ödeme	39 357 828 TL

Tesis bilgileri:

Sulama Alanı	: 2 638 hektar
İşletmeye Açılış Tarihi	: 2009
Ünite Adedi	: 2
Toplam Kurulu Gücü	:5000 kW
Toplam Kapasitesi	:5000 l/s
Devredildiği Kurum	:Samsat Sulama Birliği
Devredilme Tarihi	:15.07.2009

2012 Yılı Toplam Elektrik Tüketimi: 2 117 002 kWh

Çizelge 6 - Samsat Pompaj Sulama Sonuçları

YILI	SULAMA ALANI	TOPLAM SULANAN ALAN	TOPLAM SULAMA ORANI
	ha	ha	%
2009	2 638	2 100	80
2010	2 638	564	21
2011	2 638	744	28
2012	2 638	1 070	41

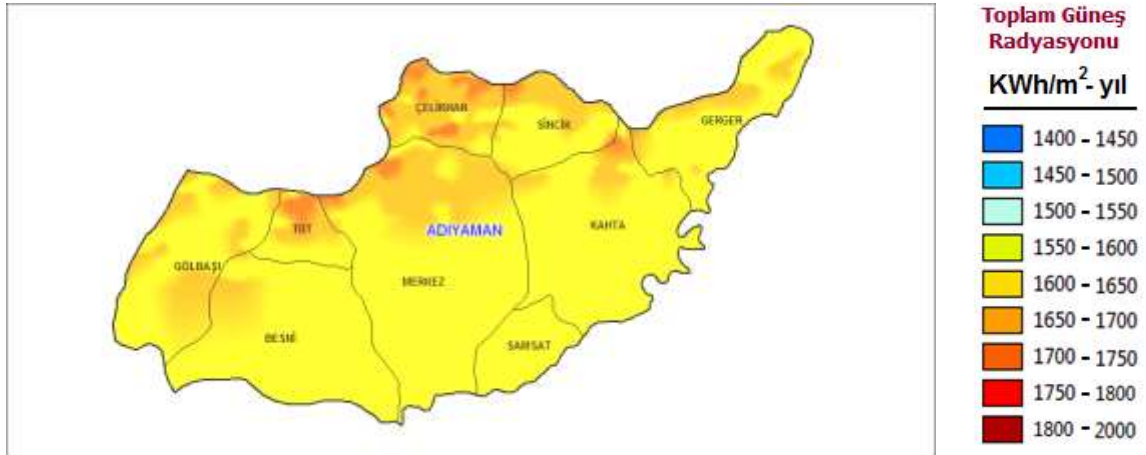
Samsat Sulama Birliğinin 2013 yılı itibarı ile toplam elektrik borcu 2 300 000 TL dir. 2013 yılında mevcut elektrik borcunu ödeyemediğinden pompalar çalıştırılmamıştır.

Son 3 yılda tüketilen elektrik enerjisi değerleri aşağıda verilmektedir.

2010 Yılı Toplam Elektrik Tüketimi: 2 041 200 kWh

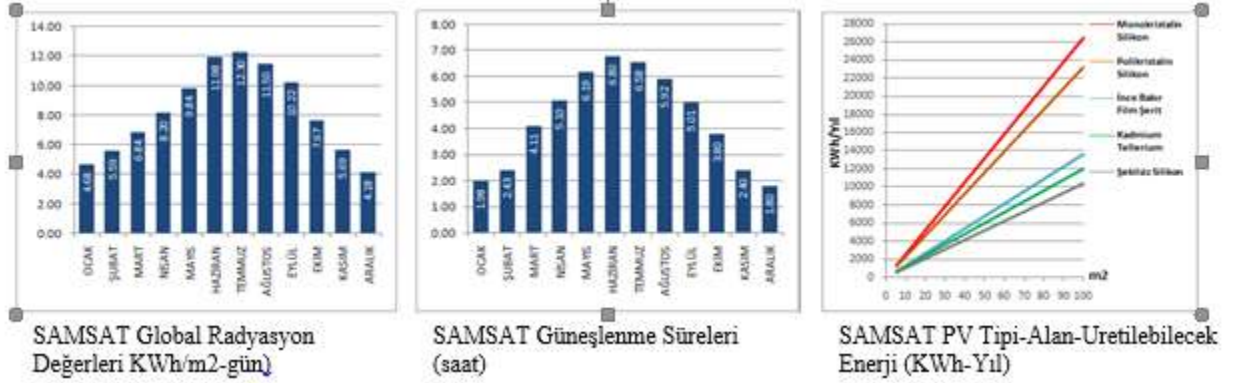
2011 Yılı Toplam Elektrik Tüketimi: 3 210 329 kWh

2.2 SAMSAT GÜNEŞ POTANSİYELİ



Şekil 13 - Adiyaman Güneş Haritası

Çizelge 7 - Güneş radyasyon değerleri ve güneşlenme süreleri



Çizelge 8 - Samsat GES üretim değerleri

2MWp (Samsat)		
Ay	Günlük Enerji Üretimi(kWh)	Aylık Enerji Üretimi(kWh)
Ocak	2970	92100
Şubat	3670	103000
Mart	4940	153000
Nisan	5210	156000
Mayıs	5550	172000
Haziran	5960	179000
Temmuz	5930	184000
Ağustos	5870	182000
Eylül	5670	170000
Ekim	4900	152000
Kasım	3800	114000
Aralık	3050	94700
Toplam	57250	1750000

Kurulması planlanan GES 2x1MWp kurulu gücünde olup yıllık $2 \times 1750000 = 3500000$ kWh enerji üretecektir. Ges teşviklerinden dolayı enerji satış fiyatı 0,133\$/kWh yaklaşık 0,38TL/kwh dir. Ges enerji getirisi 1330000 TL olacaktır.

2012 yılı sulama verilerine göre 1070ha alan için 2117000kWh enerji ihtiyacı olduğuna göre; 2683 ha alan için enerji ihtiyacı 5308000 kWh olur. Sulama birliği enerji aboneliği 3 zamanlı tarımsal sulama olduğundan 2012 yılı ortalama enerji maliyeti 0,18 TL olup 2015 yılı enerji bedeli ortalama 0,23 TL dir. Sulama için gerekli enerji tüketim bedeli $(5308000 \text{ kWh} \times 0,23 \text{ TL} =) 1220840$ TL olmaktadır

2012 yılı sulama birliğinin belirlediği sulama fiyatı 80TL/da alınarak toplam 2000ha arazi sulanırsa yıllık 1600000TL sulama geliri elde edilebilecektir.

Çizelge 9 - Samsat GES Gelir Gider Tablosu

YIL	Gelirler			Giderler				Enerji Borcu Karşılama süresi	GES Karşılama süresi	Enerji Borcu+ GES Karşılama süresi
	GES	Sulama	Toplam	GES	Enerji	Sulama	Toplam			
1				7.000.000	2.300.000		9.300.000			
2	1.330.000	1.600.000	2.930.000	70.000	1.220.840	100.000	1.390.840	-760.840	-5.460.840	-7.760.840
3	1.330.000	1.600.000	2.930.000	70.000	1.220.840	100.000	1.390.840	778.320	-3.921.680	-6.221.680
4	1.330.000	1.600.000	2.930.000	70.000	1.220.840	100.000	1.390.840	2.317.480	-2.382.520	-4.682.520
5	1.330.000	1.600.000	2.930.000	70.000	1.220.840	100.000	1.390.840	3.856.640	-843.360	-3.143.360
6	1.330.000	1.600.000	2.930.000	70.000	1.220.840	100.000	1.390.840	5.395.800	695.800	-1.604.200
7	1.330.000	1.600.000	2.930.000	70.000	1.220.840	100.000	1.390.840	6.934.960	2.234.960	-65.040
8	1.330.000	1.600.000	2.930.000	70.000	1.220.840	100.000	1.390.840	8.474.120	3.774.120	1.474.120
9	1.330.000	1.600.000	2.930.000	70.000	1.220.840	100.000	1.390.840	10.013.280	5.313.280	3.013.280
10	1.330.000	1.600.000	2.930.000	525.000	1.220.840	100.000	1.845.840	11.097.440	6.397.440	4.097.440
11	1.330.000	1.600.000	2.930.000	70.000	1.220.840	100.000	1.390.840	12.636.600	7.936.600	5.636.600
12	1.330.000	1.600.000	2.930.000	70.000	1.220.840	100.000	1.390.840	14.175.760	9.475.760	7.175.760
13	1.330.000	1.600.000	2.930.000	70.000	1.220.840	100.000	1.390.840	15.714.920	11.014.920	8.714.920
14	1.330.000	1.600.000	2.930.000	70.000	1.220.840	100.000	1.390.840	17.254.080	12.554.080	10.254.080
15	1.330.000	1.600.000	2.930.000	70.000	1.220.840	100.000	1.390.840	18.793.240	14.093.240	11.793.240
16	1.330.000	1.600.000	2.930.000	70.000	1.220.840	100.000	1.390.840	20.332.400	15.632.400	13.332.400
17	1.330.000	1.600.000	2.930.000	70.000	1.220.840	100.000	1.390.840	21.871.560	17.171.560	14.871.560
18	1.330.000	1.600.000	2.930.000	70.000	1.220.840	100.000	1.390.840	23.410.720	18.710.720	16.410.720
19	1.330.000	1.600.000	2.930.000	70.000	1.220.840	100.000	1.390.840	24.949.880	20.249.880	17.949.880
20	1.330.000	1.600.000	2.930.000	525.000	1.220.840	100.000	1.845.840	26.034.040	21.334.040	19.034.040
21	1.330.000	1.600.000	2.930.000	70.000	1.220.840	100.000	1.390.840	27.573.200	22.873.200	20.573.200
22	1.330.000	1.600.000	2.930.000	70.000	1.220.840	100.000	1.390.840	29.112.360	24.412.360	22.112.360
23	1.330.000	1.600.000	2.930.000	70.000	1.220.840	100.000	1.390.840	30.651.520	25.951.520	23.651.520
24	1.330.000	1.600.000	2.930.000	70.000	1.220.840	100.000	1.390.840	32.190.680	27.490.680	25.190.680
25	1.330.000	1.600.000	2.930.000	70.000	1.220.840	100.000	1.390.840	33.729.840	29.029.840	26.729.840
26	1.330.000	1.600.000	2.930.000	70.000	1.220.840	100.000	1.390.840	35.269.000	30.569.000	28.269.000
								1,49	4,55	6,04

Çizelge 10 - Samsat Pompaj Sulama ile sağlanan katma değer artışı

YILI	ÜRETİM DEĞERİ			Gayri Safi Milli Zirai Gelir		
	Projesiz Durumda (TL/da)	Sulanan Alanda (TL/da)	Sulama Sağlanan (TL/da)	İle Artış	Projesiz Durumda (TL/da)	Sulanan Alanda (TL/da)
2009	132	653	521	86	424	339
2010	250	420	170	162	273	111
2011	226	542	316	147	352	205
2012	224	691	467	145	449	304

Yapılacak GES ile, Enerji bedeli nedeniyle çalıştırılmayan Pompaj Sulama Sistemi sürdürülebilir bir işletme haline gelecek olup 2008 yılı fiyatlarıyla 39.357.828 TL (2015 yılı fiyatları ile 53.684.077TL) maliyet ile yapılmış tesis işler hale gelip katma değer üretecektir. Bu nedenle yöre halkı üretim geliri (2012 yılı fiyatları ile 9.340.000 TL) ve gayri safi milli zirai gelirimiz (2012 yılı fiyatları ile 6.080.000 TL) artacaktır.

3 SONUÇ VE ÖNERİLER

Ar-Ge projesi kapsamında imalatı yapılacak GES'in üretim değerleri ve sulamaya yaptığı katkılar takip edilerek uygulama sonrası geri bildirimlerle planlama raporu revize edilmelidir. Uygulama üretim değerlerine göre verimliliği hesap edilerek enerji bedelinden dolayı işletilemeyen tesislere çözüm olup olmayacağı irdelenmelidir.

4 KAYNAKLAR

- [1] Koner P.K.: "Optimization Techniquesfor A Photovoltaic Water Pumping System", Renewable Energy, vol.6, p.53-62, (1995).
- [2] Kalogirou, S.: "Solar Energy Engineering Processes and Systems", Academic Pres, ISBN-13: 978-0-12-374501-9, (2009).
- [3] Global Market Outlook for Photovoltaics 2014-2018 | EPIA (2014)
- [4] http://www.mfa.gov.tr/turkiye_nin-enerji-stratejisi.tr.mfa
- [5] <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Enerji-Verimliliği>
- [6] <http://sablon.sdu.edu.tr/fakulteler/iibf/dergi/files/2013-3-5.pdf>
- [7] Yeşilata B., Aktacir A.: "Fotovoltaik Güç Sistemli Su Pompalarının Dizayn Esaslarının Araştırılması", Mühendis ve Makine Dergisi, 29-34, (2001).

SULAMA ŞEBEKELERİNDE PLANLANAN VE UYGULAMADA GERÇEKLEŞEN SULAMA MODÜLÜ ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA

Cengiz Koç
Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bilecik
cengiz.koc@bilecik.edu.tr

Yıldırım Bayazıt
Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bilecik
yildirim.bayazit@bilecik.edu.tr

M. Özgür Yaylı
Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bilecik
ozguryayli@msn.com

(Makalenin geliş tarihi: 10.02.2016, Makalenin kabul tarihi:30.03.2016)

ÖZ

Bu çalışmada, sulama şebekelerinin planlama aşamasında hesaplanan ve işletme aşamasında gerçekleşen sulama modülünün incelenmesi ve değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Sulama modülü, 1 hektarlık sulama alanındaki bitkilerin ihtiyacı olan aylık sulama suyu ihtiyacını karşılayan ve bir ay boyunca sürekli olarak aktığı kabul edilen sabit bir debidir. Sulama şebekelerinde planlama aşamasında hesaplanan sulama modülü, belirlenen işletme yöntemi ve fleksibilite katsayısı dikkate alınarak sulama sistemleri boyutlandırılmaktadır. Ancak, işletme aşamasına geçildiğinde planlama sulama modülü ile uygulamada gerçekleşen işletme modülünün ne derece örtüştüğü, bitki deseninde oluşan değişiklikler, tarla sulama yöntemindeki farklılıklar, su taleplerindeki artış veya azalışlar inşa edilen sistemin kapasitesini etkilemekte, buna bağlı olarak seçilen işletme yönteminin ne ölçüde sürdürülebilir olduğu, sistem hakkında geri bildirim (feed-back) ve daha sonra yapılacak sulama planlamalarına katkı vermesi önem arz etmektedir. Çalışma alanı olarak Büyük Menderes havzasında yer alan Aydın ovası sulama şebekesine ait 2500 ha alana sahip A2 sulama alanı seçilmiştir. Bu alan için hesaplanan planlama sulama modülü $q=1,16$ l/s/ha olup, şebeke talep işletme yöntemine göre projelendirilmiştir. Çalışmada yöntem olarak; uygulamada gerçekleşen bitki deseni ve yüzde dağılımları, fiilen sulanan alanlar, talep yöntemine göre yapılan sulama programları ve su dağıtımı, sulama şebekesine alınan sular, kayıpsız, %5, %10, %15 işletme kayıpları dikkate alınarak Excel programı ile hesaplanan uygulama sulama modülü ile planlama sulama modülü karşılaştırılmıştır. Sulama alanında gerçekleşen bitki desenine göre Temmuz ayı için hesaplanan sulama modülü, incelenen 1999-2014 yılları arasında 1,01-1,15 l/s/ha olarak, kanala alınan sular temel alındığında, işletme kayıpsız hesaplanan modül, 1,07-1,23 l/s/ha, %5 işletme kayıplı kanala alınan sulara göre hesaplanan modül 1,02-1,19 l/s/ha, %10 işletme kayıplı modül ise 0,97-1,10 aralığında gerçekleşmiştir. İncelenen sulama alanı için hesaplanan Temmuz ayı sulama modülleri genel olarak planlama sulama modülüne yakın ve altındaki değerlerde gerçekleştiği için planlama modülü ile uyumludur. Sonuç olarak, çalışmadan elde edilen modül değerleri hesaplanarak planlama ve işletme koşulları karşılaştırılmış, sistem kapasitesi ve sistemin ekonomik analizi makro düzeyde değerlendirilmiş, sistem hakkında gerekli geri bildirimler elde edilmiş ve sulama şebekelerinin planlama aşamasında yapılması gerekenler hakkında önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar kelimeler: sulama şebekesi, sulama modülü, işletme yöntemi, sulama suyu, Aydın

A STUDY ON IRRIGATION MODULE ACTUALIZED AND PLANNED IN IRRIGATION SCHEMES

ABSTRACT

In this study, irrigation modules calculated in the planning phase and the operational phase of the irrigation schemes are examined and evaluated. Extent of the overlapping between the irrigation planning module and the actual module realized during the operational phase of the system depends on changes in the cropping patterns, differences in the effects of farm irrigation on the capacity of the constructed system, the increases or decreases in the demand for water, as well as the extent of sustainability according to the selected operation method. All of these provide the system with feedback, which then has an important contribution to irrigation planning. The study area is selected as A2 Irrigation Scheme Area, which is located in the Büyük Menderes basin with an area of 2500 ha. Irrigation planning modules calculated for this area is $q = 1,16$ l/s/ha and scheme has been designed to the demand operation method. For the study; actual irrigation module has been compared with the planning irrigation module by using Excel software and taking parameters such as actual crop pattern and percentage distributions, actually irrigated areas, water distribution and irrigation schedules made according to the demand method, water intake of irrigation schemes which have been calculated without losses, as well as with 5%, 10%, and 15% losses. The irrigation module calculated for July compared to actual plant design in the irrigation areas is studied between the years of 1999-2014 giving a value between 1,01 to 1,15 l/s/ha, whereas the module calculated with no operational losses comes out between 1,07 to 1,23 l/s/ha. In addition, the module calculated according to water intake with 5% losses was found to be in the interval of 1,02 to 1,19 l/s/ha, while the module with 10% of loss was in the range of 0,97 to 1,10. The July irrigation modules calculated for the irrigation area studied generally conforms to the planning module, as it has received values close to or below the value of irrigation planning modules.

Keywords: Irrigation scheme, irrigation module, operational method, irrigation water, Aydın, Turkey

1 GİRİŞ

Sulama amaçları için iyi planlanan, projelene ve inşa edilen dağıtım şebekesi, su kullanıcılar veya sulama yönetimi için işletme ve yönetim sorunlarına neden olmaksızın istenen zaman ve miktarda gereksinim duyulan suyu dağıtmalıdır. Sulama sistemlerinin uygun biçimde projelendirilmesi bazı önemli sonuçları ortaya koymaktadır. Bunlar, yöre halkının sağlığı, doğal kaynakların boşa gitmesi, su kirliliği, işletme güvenliği ve ekonomik etmenler olarak sınıflandırılmaktadır. Ekonomik etmenler ise sulama sisteminin ekonomik ömrünü, sulamanın ekonomik faydasını ve sulama giderlerini içermektedir. Suyun homojen olarak uygulanmadığı zayıf projelenmiş sulama sistemlerinde su ve su ile uygulanan kimyasal maddeler boşa gitmektedir. Bazı alanlar aşırı sulanmakta, bazı alanlar ise yeterince sulanamamaktadır. Sulama yöneticileri talep edilen suyun miktarını doğru uygulamalarına karşın, eksik sulanmış alanlarda su stresi nedeniyle verim ve kalite azalmaları, aşırı sulanmış alanlarda ise su ve kimyasal maddelerin yıkanması nedeniyle verim ve kalite azalmaları oluşmaktadır.

Tarım alanları için büyük yatırımlar gerektiren sulama projelerinde en önemli yatırım payını su iletim ve dağıtım kanallarının yapımı almaktadır.

Ülkemizde kamu kuruluşları tarafından yapımı sürdürülen sulama şebekeleri, tarım alanlarında bitki gelişimi için gerekli olan su ihtiyacını dengeli bir biçimde karşılayan tesislerdir. Ana, sekonder (yedek) ve tersiyer kanal gibi ünitelerden oluşan su iletim ve dağıtım sistemlerinin görevi sulama suyunu su alım noktasından bitkiye kadar ulaştırmaktır. Ayrıntılı olarak su kaynağının incelenmesi ve sistemin işletme yöntemi seçildikten sonra dağıtım sistemine ilişkin gerekli tasarım verilerini elde etmenin genel işlemi; bitki yoğunluğu ile yetiştirilecek bitkilerin dağılım alanlarını belirlemek ve şebekelerin başlangıç yerleşimini hazırlamaktır. Bu durum, aynı zamanda, gerekli yapıların tipini, kapasitesini, sayısını, ana kanalların büyüklüğünü, yapıldığı bölge koşullarını, su seviyesini, akış kontrolünü, hâkim alanların şeklini ve büyüklüğünü içermektedir [1]. Su kaynağının hizmet ettiği alanlar ile bitki desenindeki farklılıklar toplam proje alanında düzensizlikler meydana getirebilmektedir. Proje alanının farklı kısımları için pik kaynak kullanım süreci farklı zamanlarda olabilmektedir. Bu şekilde belirlenen kaynak planları, ağırlıklı olarak aylık kaynak verilerini kullanan kaynak gereksinimlerinden büyük ve sürekli olarak farklılık gösterebilmektedir [2]. Bitki yoğunluğu ve çeşitliliğindeki değişimler kaynak

gereksinimlerinde farklılıklara neden olduğu için sulama program ölçütlerinde birtakım ilave esneklikler yapılmaktadır. Bu nedenle, planlama aşamasında normal tahminlere göre yapılan bir projeyi etkin şekilde işletmek uzun yıllar almaktadır. Kaynak gereksinimde oluşan bir artış, tarla sulama yöntemi ve proje işletmesindeki iyileştirmeleri temel alan su tasarrufları ile karşılanmalıdır.

Su dağıtımı ve denetimindeki farklı stratejiler tüm dünyadaki sulama şebekelerinde kullanılmaktadır. Modası geçmiş sulama şebeke tasarım tipleri gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde görülmektedir. Uzun yıllar önce Amerika Birleşik Devletleri, Batı Avrupa ve Avustralya'daki birçok sulama projesi su ve enerji kullanımını açısından yetersiz olup, acil bir modernizasyonu gerektirmektedir [3]. Gelişmekte olan ülkelerin çoğunda, akış oranı, süreklilik ve sıklığının su kaynağı ile sabitlendiği esnek olmayan bir su dağıtım sistemi kullanılmaktadır. Bu uygulama günümüzde değişik sulama sistemlerinde de uygulanmaktadır. Su kullanıcılar su kaynağını sürekliliği yönünden çok fazla esnekliğe sahip değildir. Su mevcut olduğunda suyu kullanırlar veya bitkilerin suya ihtiyacı olup, olmadığına bakmaksızın suyu boşa harcarlar [4]. Su dağıtım yönteminin birkaç çeşidi bulunmaktadır. Ancak, talep ve kaynak yöntemi olmak üzere iki temel unsurda toplanabilir. Türkiye'de resmi olarak talep yöntemi uygulanmasına karşın, gerçekte birçok projede kaynak yöntemi kullanılmaktadır. Sulama şebekeleri planlama raporunda belirlenen bitki desenine göre tasarlanmakta, ancak uygulamada bitki deseni ve işletme sürecinde önemli sorunlar yaratan yıllık değişimler gösterebilmektedir [5]. Fiziki, sosyo-ekonomik ve teknik bilgi temel alındığında; rotasyon, sürekli akış ve talep dağıtımları gibi değişik kanal su dağıtım tipleri yıllardır uygulanmaktadır. Sulama kanallarının rotasyon programı Çin, Pakistan ve Hindistan gibi gelişmekte olan ülkelerin büyük sulama şebekelerinde kullanılmaktadır [6].

Bu çalışmada, Türkiye'nin batısında, Büyük Menderes havzasında yer alan Aydın ovası sulaması A2 sulama alanında işletmeye geçildikten sonra proje alanında gerçekleşen

bitki deseni, işletme kayıpsız, %5 ve %10 işletme kayıplı kanala alınan suya göre hesaplanan sulama işletme modüllerinin; sulama şebekelerinin planlama aşamasında düşünülen bitki deseni, ekim alanı, bitki su tüketimi ve sulama kayıpları temel alınarak hesaplanan planlanma sulama modülü ($qP=1,16$ l/s/ha) ile uyumluluğu araştırılmıştır.

2 MATERYAL VE YÖNTEM

2.1 Materyal

Bu çalışmada, materyal olarak Aşağı Büyük Menderes havzasında Devlet Su İşleri tarafından inşa edilen Aydın ovası sulama şebekesi içerisinde yer alan A2 sulama alanı alınmıştır. Araştırma alanı, $37^{\circ}51'$ kuzey enlemi ve $32^{\circ}52'$ doğu boylamlarında Aydın il merkezinin yaklaşık 3 km güneyi ile Büyük Menderes nehri arasında kalan arazilerin İncirliova ilçesi Osmanbükü köyü arazilerine kadar uzanan kısmını içerisine almaktadır (Şekil 1). A2 sulama alanı brüt 2500 ha, net 2158 ha dır. Sulama alanını oluşturan parsellerin önemli bir bölümü 10 da'dan daha küçük yüz ölçüme sahiptir. Sulama alanında etkin bitki deseni pamuk olup, mısır, hububat, domates, yem bitkileri ve II. ürün mısır bitkilerinin ekimi yapılmaktadır. Planlama aşamasında bitki deseni olarak %48 pamuk, %16 mısır, %13 sebze, %10 yem bitkisi, %6 Meyve, %4 II. Ürün mısır, %3 fidan düşünülmüştür. Aydın Ovası A2 Sulama sahası Büyük Menderes nehrinin taşkın sahasında bulunmaktadır. Büyük Menderes nehrinin akış hızı çok düşük ve taşıdığı malzeme kil-silt boyutundadır. Bu nedenle, bölgenin ve araştırma alanının jeolojik yapısını Alüvyon malzeme oluşturmaktadır [7].

Bölge Akdeniz ikliminin etkisinde olup kışlar çok yağışlı ve mutedil, yazlar ise sıcak ve kuraktır. Yıl içinde en yüksek sıcaklık $43,8^{\circ}\text{C}$, en düşük sıcaklık $3,5^{\circ}\text{C}$, ortalama sıcaklık ise $17,7^{\circ}\text{C}$ dir. Sulama alanının deniz seviyesinden ortalama yüksekliği 32,50 m, tahmini yıllık yağış miktarı ise 656,1 mm' dir. Su kaynağı Büyük Menderes nehri, depolama tesisleri ise Kemer ve Adıgüzel barajlarıdır. Sulama alanında planlanan ve uygulamada gerçekleşen bitki deseninin su tüketim değerleri Blaney-Cridde yöntemi ile hesaplanmıştır [8].



Şekil 1 - A2 Sulama Alanının Türkiye Üzerindeki Konumu

Araştırma alanında A2 ana sulama kanalının toplam uzunluğu 11351 m olup, 9007 metresi trapez kesitli klasik kanal, 2344 metresi ise kanaletli sistemde inşa edilmiştir. Ana kanal debisi 2.780 m³/s dir. A2 ana kanalına bağlı 28 adet sekonder (yedek) kanal inşa edilmiş ve toplam uzunluğu 56395 m dir. Tersiyer kanal sayısı 34 adet ve toplam uzunluğu 39001 metredir. Sekonder ve tersiyer kanalların tümü

kanalet sisteminde inşa edilmiştir. Tablo 1 de A2 ana sulama kanalına ait kesitler ve hidrolik özellikler verilmektedir [9]. A2 sulama alanının proje sulama randımanı %54 dür. Su iletim randımanı %90, tarla sulama randımanı ise %60 olarak belirlenmiştir [8]. Araştırma alanı için gereksinim duyulan ortalama yıkama suyu gereksinimi 0.24 olarak hesaplanmıştır [10].

Çizelge 1 - A2 ana sulama kanalına ilişkin kesitler ve hidrolik özellikler

Kesit No	Eğim (j)	Debisi (Q) (m ³ /sn)	Km' si				Taban Genişliği (m)	Su Yüksekliği (m)
			0 +	025 -	1 +	874		
1	0,0001	2,778	0 +	025 -	1 +	874	2,20	1,28
2	0,0001	2,692	1 +	874 -	2 +	607	2,20	1,26
3	0,0001	2,608	2 +	607 -	4 +	000	2,20	1,24
4	0,0001	1,938	4 +	000 -	5 +	536	1,60	1,00
5	0,0001	1,569	5 +	536 -	7 +	580	1,40	0,94
6	0,0001	1,161	7 +	580 -	8 +	000	1,40	0,85
7	0,0001	1,161	8 +	000 -	9 +	007	1,20	0,85
8	0,0001	0,820	9 +	000 -	11 +	351	Tip 1000 Kanalet (Çıkış Tipi)	

2.2 Yöntem

2.2.1 Planlama sulama modülü

Bir sulama şebekesinin boyutlandırılmasında en önemli unsur sulama modülüdür. Çünkü kanalların tasarım kapasiteleri $Q = A_{net} \times q$ formülü ile hesaplanmaktadır. Sulama sahasının; bitki deseni, ekim alanı oranları, bitki su tüketimi, iklim koşulları, toprak özellikleri, sulama kayıplar (iletim + tarla sulama kayıpları) gibi parametrelere göre belirlenmiş, su ihtiyacını gösteren sulama modülü, maksimum su ihtiyacı oluşan ayda, bir hektara bir saniyede verilmesi

gerekli, litre cinsinden su miktarı olup, araziye 30 gün 24 saat boyunca sürekli bir biçimde verildiği kabul edilen bir debidir.

Bir ay süreyle aktığı kabul edilen sulama suyu ihtiyacı çiftlik sulama suyu ihtiyacı ise bu modüle, planlama çiftlik sulama modülü denir. Eğer bir ay süreyle aktığı kabul edilen sulama suyu ihtiyacı diversiyon sulama suyu ihtiyacı ise bu modüle, planlama sulama modülü denir. Araştırma alanı için planlama sulama modülü 1,16 l/s/ha olarak hesaplanmıştır [11].

Planlama çiftlik sulama modülü (l/s/ha):

$$(U_t \times [10]^4) / ((30 \text{ veya } 31) \times 24 \times 60 \times 60) = q\check{c} \text{ (E.2,1)}$$

Planlama sulama modülü (l/s/ha):

$$(U_k \times [10]^4) / ((30 \text{ veya } 31) \times 24 \times 60 \times 60) = q \text{ (E.2,2)}$$

$U_t \times 104$: Bir hektara verilen aylık çiftlik sulama suyu ihtiyacı (mm)

$U_k \times 104$: Bir hektara verilen aylık diversiyon sulama suyu ihtiyacı (mm)

2.2.2 İşletme sulama modülü

İşletme sulama modülü, gerçekleşen bitki desenine göre kullanılması gereken sulama suyu, kayıplı ve kayıpsız kanala alınan sular, bir aylık süreç ve sulama alanında fiilen sulanan alanın bir fonksiyonudur.

$$W_k / ((30 \text{ veya } 31) \times 24 \times 60 \times 60) \times 1000 = S \text{ (E.2.3)}$$

İşletme sulama modülü (l/s/ha)

$$S / A_f = q_i \text{ (E.2.4)}$$

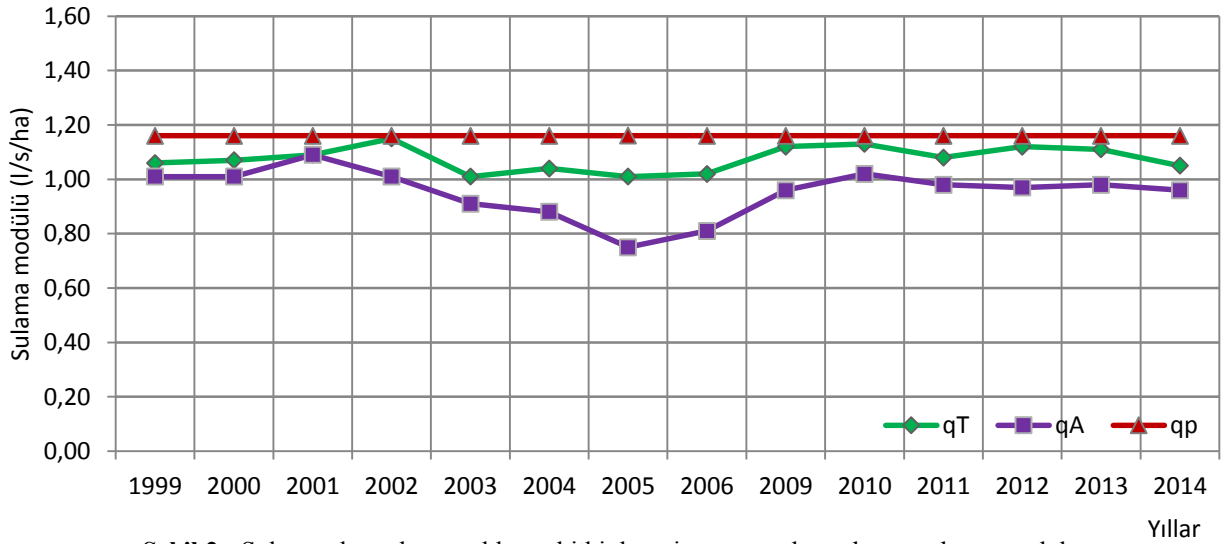
W_k , kanala alınan su miktarı (m^3 /ay); S , kanala alınan su miktarı (l/s); A_f , sulama alanında fiilen sulanan alan; q_i , ilgili aya ilişkin işletme sulama modülü (l/s/ha)

3 ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

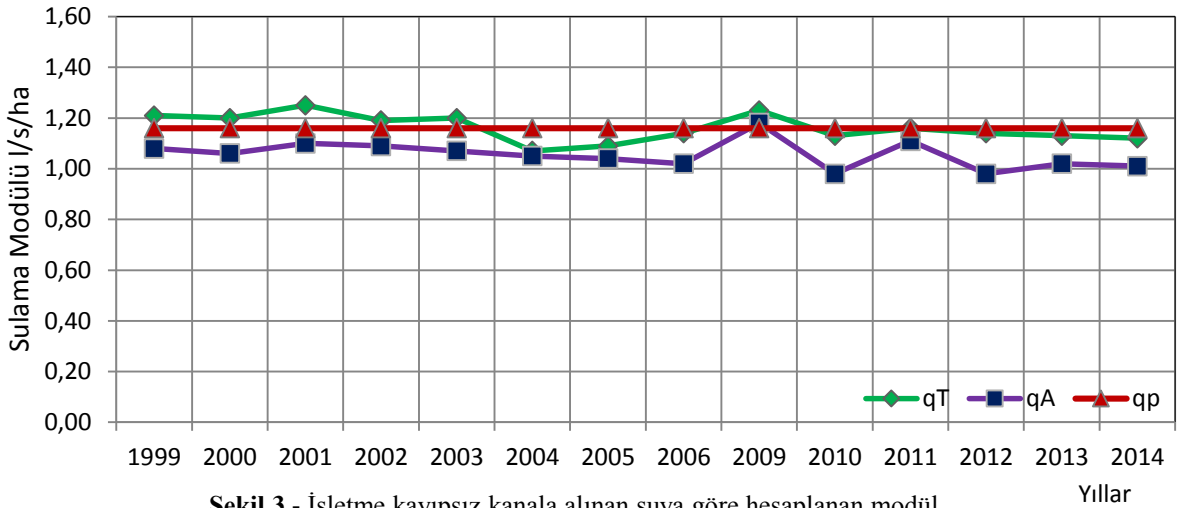
Bu çalışmada, araştırılan proje alanında işletmeye geçildikten sonra gerçekleşen bitki desenine göre hesaplanan sulama modülü, kanala alınan suya göre hesaplanan işletme kayıpsız sulama modülü, kanala alınan suya göre %5 ve %10 işletme kayıpları dikkate alınarak hesaplanan sulama modüllerinin; sulama şebekelerinin planlama aşamasında düşünülen bitki deseni, ekim alanı, bitki su tüketimi ve sulama kayıpları (iletim + tarla) göz önüne alınarak hesaplanan planlanma sulama modülü ($q_P=1,16$ l/s/ha) ile uyumluluğu araştırılmıştır. Diğer bir söylem ile proje alanı için planlanan sulama modülü ile işletme aşamasında gerçekleşen sulama modülü karşılaştırılmıştır. Proje alanında işletmeye geçildikten sonra 1999-2014 yılları arasında gerçekleşen bitki desenine göre hesaplanan sulama modülü Temmuz ayı için (q_T) 1,01-1,15 l/s/ha, Ağustos ayı için (q_A) ise 0,61-1,09

aralığında gerçekleşmiştir (Şekil 2). Araştırma alanında 2007-2008 yılları aşırı derecede su eksikliği çekilen kurak yıllar olduğu için işletme aşamasındaki sulama modülü hesaplamalarında göz önüne alınmamıştır. İncelenen yıllarda en yüksek işletme sulama modülü 2002-Temmuz ayında gerçekleşmiştir. Ancak, bu değer planlama sulama modülünün altındadır. 2002-Ağustos ayında ise 1,09 l/s/ha olarak hesaplanmıştır. Planlama sulama modülü en yüksek bitki su tüketiminin gerçekleştiği Temmuz ayına göre hesaplanmasına karşın, değerlendirme yapabilmek için Ağustos ayına ilişkin sulama modülleri de hesaplanmıştır. Planlanan ve gerçekleşen bitki desenine göre hesaplanan sulama modül değerleri açısından bir sorun olmadığı görülmektedir. Ancak, planlanan modülün gerçekleşen bitki desenine göre bir miktar yüksek olması araştırma alanında tasarlanan kanal kapasitelerini bir miktar artırmış, inşaat ekonomisi yönünden çok az olumsuzluğa neden olmuştur. Ancak, planlama Temmuz ayı sulama modülünü temel aldığı için 1,15 ve 1,16 l/s/ha değerleri arasında 0,99 oranında bir örtüşme nedeniyle oluşabilecek inşaat ekonomisi olumsuzluğu göz ardı edilebilir.

Kanal işletme kayıpları (ana kanal tahliye prizi, sekonder ve tersiyer kanal sonları) dikkate alınmaksızın kanala alınan suyun tümünün sulamada kullanıldığı varsayımı temel alınarak incelenen yıllar için hesaplanan sulama modülü, Temmuz ayı için (q_T) 1,07-1,25 l/s/ha, Ağustos ayı için (q_A) 0,98-1,11 l/s/ha arasında değişmektedir (Şekil 3). Temmuz ayı planlama modülünü dikkate alındığı için 2001 yılı kanala alınan suya göre hesaplanan Temmuz ayı sulama modülü 1,25 l/s/ha olarak planlama modülünün bir miktar üzerinde gerçekleşmiştir. 1999-2000-2001-2002-2003-2009 yılları Temmuz aylarına ilişkin sulama modülleri planlama modülünün üzerinde gerçekleşmiştir. Ancak, kanala alınan suların bir miktarı tahliye prizleri, sekonder ve tersiyer kanal sonlarından kullanılmadan tahliye edildiği dikkate alındığında yüksek çıkan Temmuz ayı modüllerinin bir sorun yaratmayacağını söyleyebiliriz. İncelenen yıllarda Ağustos ayında gerçekleşen en yüksek modül 1,16 l/s/ha olup, planlama sulama modülünün altında gerçekleşmiştir. Kanala alınan suyun kayıpsız tümünün sulamada kullanılması mümkün olmadığına göre bu koşulda hesaplanan sulama modülleri sulama işletme hizmetleri yönünden bir sorun yaratmayacaktır.



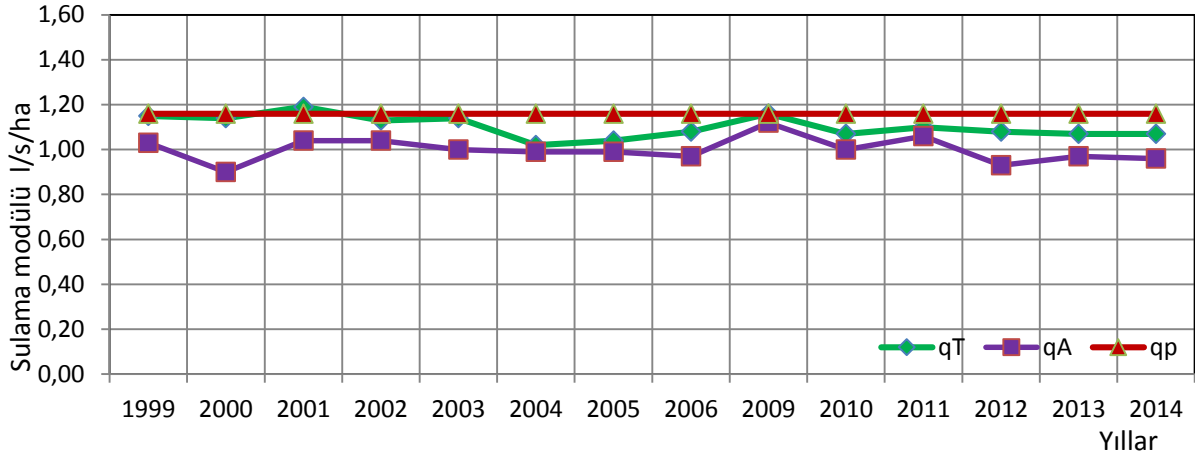
Şekil 2 - Sulama alanında gerçekleşen bitki desenine göre hesaplanan sulama modülü



Şekil 3 - İşletme kayıpsız kanala alınan suya göre hesaplanan modül

Kanala alınan sularda %5 oranında işletme kayıpları olduğu varsayımına göre hesaplanan sulama modülü incelenen yıllarda Temmuz ayı için (qT) 1,02-1,19 l/s/ha, Ağustos ayı için (qA) ise 0,90-1,12 l/s/ha arasında bir değişim göstermiştir (Şekil 4). İncelenen süreçte sadece 2001-Temmuz ayında 1,19 l/s/ha olarak gerçekleşen işletme sulama modülü planlama modülünden 1,025 kat daha fazla gerçekleşmiştir. Bu değer işletme çalışmalarını sıkıntıya sokabilecek bir miktar olmadığı için göz ardı edilebilir. Hesaplanan veriler dikkate

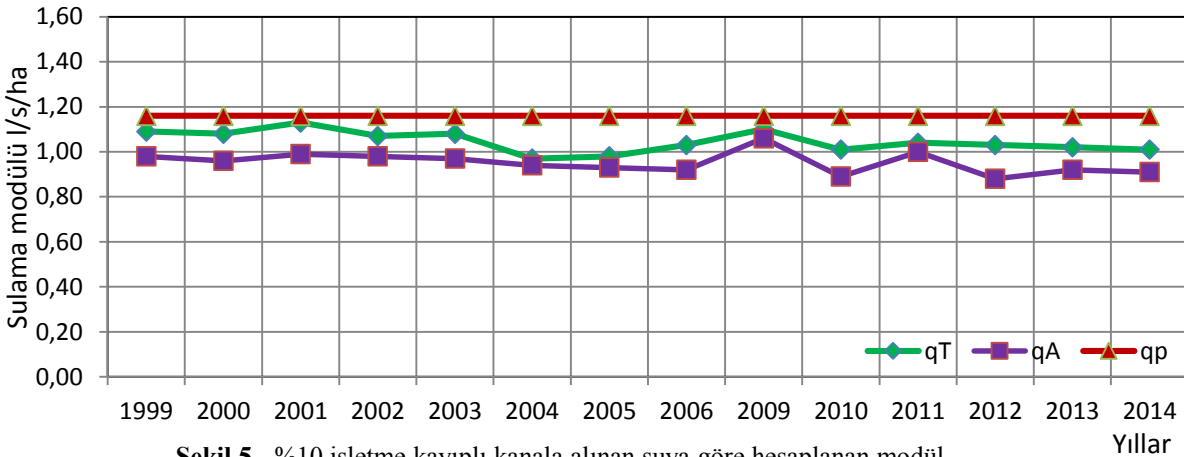
alındığında planlama aşamasında hesaplanan sulama modülü ile %5 işletme kaybı temel alınarak hesaplanan sulama modül değerleri arasında bir sorun bulunmamaktadır. Sulama şebekesi talep işletme yöntemine göre tasarlandığı için oluşabilecek sıkıntılar sistemin işletilmesi aşamasında alınan taleplerin sulama planlamasına yansıtılması ile ortadan kaldırılabilir. Ayrıca, sulama alanında tarımı yapılan bitki desenindeki değişim talep yığılmalarını engelleyebilir.



Şekil 4 - %5 işletme kayıplı kanala alınan suya göre hesaplanan modül

Kanala alınan sulara %10 işletme kayıpları oluşabileceği varsayımıyla hesaplanan işletme sulama modülü incelenen yıllarda Temmuz ayında (qT) 0,97-1,10 l/s/ha, Ağustos ayında (qA) ise 0,91-1,06 l/s/ha arasında değişim göstermiştir (Şekil 5). Hesaplanan işletme modül değerleri planlama modül değerinin altında gerçekleşmiştir. Bu varsayım göre yapılan sulama işletmeciliğinde bir sorun ile

karşılaşmamaktadır. Ancak, bu varsayım göre yapılabilecek bir tasarım sulama inşaat giderlerini belli bir oranda azaltabilir. Bu varsayımlar dikkate alındığında kanal kayıplarını azaltan bir işletme yöntemi daha planlı bir su dağıtımını zorunlu kılmaktadır. Kanala alınan suyun kanal kapasitesi dikkate alınarak talepler doğrultusunda planlanması modül ve tasarım debisi kaynaklı sorunları ortadan kaldıracaktır.



Şekil 5 - %10 işletme kayıplı kanala alınan suya göre hesaplanan modül

4 SONUÇ VE ÖNERİLER

İncelenen araştırma alanında işletme aşamasında gerçekleşen bitki deseni, işletme kayıpsız kanala alınan sular ve %5 ve %10 işletme kayıplı kanala alınan sulara göre belirlenen işletme sulama modülleri ile planlama aşamasında hesaplanan sulama modül değeri açısından kayda değer bir sorun bulunmamaktadır. Bu bağlamda, sulama

şebekesindeki tüm kanal sisteminin tasarım debileri açısından da bir sıkıntı bulunmamaktadır. Bu durum, bize incelenen sulama şebekesinin planlama aşamasında yapılan çalışmaların çok özenli ve takdire değer olduğu sonucunu vermektedir. Her zaman iyi planlama, iyi projeyi, iyi proje de iyi işletme koşullarını yaratır deyimini bir kez daha haklı kılmaktadır. Planlama değerlerinin işletme

koşullarında elde edilen veriler ile örtüşmesi yâda yakın değerlerde olması planlamanın başarısını ortaya koymakta ve sistemden beklenen faydaların beklenen süre içerisinde gerçekleşmesine olanak sağlamaktadır.

Hesaplanan işletme sulama modülünün planlama sulama modülünden küçük veya büyük değerlerde olması sulama sistemi işletmesi, sistem tasarımı (kapasite, boyutlandırma) ve inşaat maliyeti yönünden önem taşımaktadır. Planlama sulama modülünden küçük olması birim zamanda birim alana daha az su verilmesine neden olmaktadır. Bu durum, proje alanında yetiştirilen bitkilerin gereksinim duyduğu sulama suyu miktarını yeterince alamayacakları anlamına gelmektedir. Planlama modülünden büyük olması durumunda ise birim alana birim zamanda daha fazla su verilmesine neden olmaktadır. Bu durum, proje alanındaki bitki deseninin zaman içerisinde değişmesinden yâda ekim alanlarının çeşitli nedenlerle azalmasından kaynaklanmış olabilir. Bu koşul, proje alanında yetiştirilen bitkilerin belirlenen sulama aralığında sulanmasını sınırlandırabilir. Bu nedenle, işletme sulama modülünün planlama sulama modülünden çok büyük ve küçük değerlerde olması istenmez. Bu tür durumlarda modüllerin örtüşme oranları doğrultusunda işletme sulama programları ve talep yönetimi esnekliği içerisinde alınabilecek önlemler ile sorunlar ortadan kaldırılabilir.

Planlama sulama modülü proje alanında yetiştirilecek bitki deseni, yoğunluğu ve ekim alanları miktarıyla ilişkili olduğu için proje alanı bitki deseni belirleme çalışmaları özenle yürütülmeli ve gerçeğe yakın belirlenmelidir. Yöresel ekim alışkanlıkları ve pazar koşulları olmayan bitki desenleri dikkate alınmamalıdır.

Planlama sulama modülünün doğrudan sistem tasarımını belirlemesi ve bu bağlamda, inşaat maliyetini etkilemesi özenli bir arazi ve büro çalışmasını gerektirmektedir. Özellikle, proje alanında yetiştirilmesi düşünülen bitkilere ilişkin bitki-su tüketim değerlerinin hesaplanmasında daha fazla parametreyi temel alan ampirik yöntemlerin kullanılması özendirilmelidir. Tarla sulama yönteminin ve tarla su uygulama randımanının belirlenmesinde yörede tarım yapan kişilerin sulama alışkanlıkları ve sosyo-ekonomik yapıları göz önüne alınmalıdır. Doğrudan proje kriterleri budur, mutlaka bu uygulanmalıdır mantığından uzaklaşılmalı, yöre ve koşula göre daha mükemmel öneriler ortaya konmalıdır.

Araştırma alanında arazi toplulaştırma ve arazi tesviye çalışmalarının gerçekleştirilmesi, bu

bağlamda tersiyer aralıklarının en fazla 200 m olacak şekilde tasarlanması planlama ve işletme modülünün örtüşmesine olumlu katkılar sağlamaktadır. Bu nedenle, sulama proje alanlarına sulama şebekeleri inşa edilmeden önce arazi toplulaştırma ve tesviye projelerinin uygulanması projenin başarısını artıracaktır [12].

İşletme sulama modülünün hesaplanması planlama kriterleri için geri besleme (feed-back) sağlayacağı için planlama ve proje kriterlerinin değiştirilmesi ya da daha mükemmel olmasına katkı sunacaktır. Her işletme sisteminde olduğu gibi mutlaka geri besleme ve performans verileri hesaplanmalı, değerlendirilmeli ve özellikle planlama kriterleriyle karşılaştırılmalıdır.

Doğru, özenli, iklim değişikliği ve işletme koşullarındaki bazı varsayımları dikkate alarak hesaplanan planlama sulama modülü, doğrudan kanal kapasitelerinin belirlenmesi (tasarım debisi) ve sulama şebeke inşaat ekonomisini etkilediği için mevcut parasal kaynakların daha iyi değerlendirilmesi ve beklenen faydaların istenen sürede gerçekleşmesini sağlayacaktır.

Araştırma alanında fiilen sulanan alanlarda yıllara göre değişim (azalma-artma) işletme sulama modülünü etkilemekte, bu durum sulama şebekesi işletmeciliğini sıkıntıya sokmakta veya rahatlatmaktadır.

Kanala alınan suların doğru ve hassas şekilde ölçülmesi daha sağlıklı sulama işletme modül değerinin hesaplanmasına olanak sağlayacaktır. Bu nedenle, kanala alınan suların uzaktan algılama yöntemleriyle istenen sıklıkta ve doğrulukta ölçülmesi doğru verilerin elde edilmesine katkı verecektir.

Sulama alanında hangi tarla sulama yöntemi uygulanacak (tava, karık, yağmurlama, damla) ise o yöntemle ilişkin sulama modülü hesaplanmalıdır. Eğer yöntem değişikliği olacak ise yeni modül tekrar hesaplanmalıdır. Sulama sistemlerinin tipine göre iletim ve tarla su uygulama randımanları farklılık gösterdiğinden sulama modülünde farklılık göstermektedir.

5 KAYNAKLAR

- [1] Koç, C., "Sulama Sistemlerinin Dizaynı ve İşletilmesi". Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü. DSİ Teknik Bülteni. 72 (1990) 28-34.
- [2] Burt, C.M., "Essential water delivery policies for modern on-farm irrigation management. In: Irrigation scheduling: From Theory to Practice", Proceedings ICID/FAO Workshop, Sept. 1999, Rome, Water Report No. 8 FAO, Rome, Italy. 1999.

- [3] Plusquellec, H., "How Design Management and Policy Affect the Performance of Irrigation Projects". Emerging Modernization Procedures and Design Standards. FAO, ISBN 974-680-215-1Bangkok, Thailand. 2002.
- [4] Reddy, M., "Technical Management of Irrigation Systems. In: Operation of irrigation conveyance systems". International Capacity Building Program on Participatory Irrigation Management. INPIM Train Module. December 5-15 2004, Menemen-İzmir, Turkey. 2004.
- [5] Tekinel, O., 2001, "Participatory Approach in Planning and Management of Irrigation Systems". Advanced Short Course on Appropriate Modernization and Management of Irrigation Systems 2-15 September, 2001, Kahramanmaras University, Kahramanmaras, Turkey
- [6] Maffiotra, S.P., "the Warabandi System and its Infrastructure", Central Board of Irrigation and Power, New Delhi, India. 1982
- [7] DSİ., "Aydın Ovası Sulaması Planlı Su Dağıtım Uygulama Raporları". Çevre ve Orman Bakanlığı, DSİ Genel Müdürlüğü, DSİ XXI. Bölge Müdürlüğü, Aydın. 2002-2006.
- [8] Koç, C., "Büyük Menderes Havzası Sulama Şebekelerinde Organizasyon-Yönetim Sorunları ve Yeni Yönetim Modelleri Üzerine Araştırmalar". Doktora Tezi (Basılmamış), Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, İzmir, 183s. 1998
- [9] DSİ. "Aydın Ovası Sulaması Tesis Tanıtma Föyü". Çevre ve Orman Bakanlığı, DSİ Genel Müdürlüğü, DSİ XXI. Bölge Müdürlüğü, Aydın. 1992.
- [10] Koç, C., "The Environmental Effects of Salinity Load in Great Menderes Basin Irrigation Schemes", Environmental Monitoring and Assessment, ISSN 0167-6369, Volume 146 (2008) 479–489.
- [11] DSİ. "Aydın Ovası Sulaması Planlama Raporu". Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Aydın 21. Bölge müdürlüğü. Aydın, 450s, 1984.
- [12] Koç, C., "An Investigation on Water Delivery Methods Actualized in Practice and Suggested in Project of Irrigation Schemes", International Symposium on Water and Land Management for Sustainable Irrigated Agriculture in memory of Prof. Dr. Osman Tekinel, Sütçü İmam University, RIHN, CIHEAM, TÜBİTAK, Çukurova University, Adana, Abstract page 289 Turkey, 2006.

TÜNEL DELME MAKİNESİ VE KONVANSİYONEL YÖNTEM İLE AÇILAN TÜNELLERDE KAPLAMA/SEGMENT TASARIMI

Mehmet ALP
DSİ Genel Müdürlüğü, Proje ve İnşaat Dairesi Başkanlığı, Ankara,
mehmetalp@dsi.gov.tr

(Makalenin geliş tarihi: 10.02.2016, Makalenin kabul tarihi:30.03.2016)

ÖZ

Su, kanalizasyon ve metro tünelleri gibi yapıların açılması sırasında, çevreye ve yer üstündeki yapılara zarar verilmemesi için kullanılacak kazı yönteminin seçimi son derece önemlidir. Teknolojik gelişmelerle birlikte konvansiyonel (klasik) tünel açma teknikleri yanında Tünel Delme Makineleri de (TDM) sıklıkla kullanılmaya başlanılmıştır. Sulama tünellerinde (3 km'yi geçen tünellerde) konvansiyonel yöntem ve TDM ile açılan yöntem arasında yapılan maliyet mukayesesi sonucuna göre tünel açma yöntemine karar verilmektedir.

Her ne kadar ilk yatırım maliyeti yüksek olsa da TDM'leri, istenilmeyen sorunları engelleme açısından ve imalat hızı nedeniyle günümüzde tercih edilmeye başlanılmıştır. TDM'ler, çevresel etkileri minimuma indirmekte ve daha emniyetli çalışma şartları sağlamaktadır.

Tünel delme makinesi ve konvansiyonel yöntem ile açılan tünellerde projelendirme farklılıkları önem arz etmektedir. Bu çalışmada, tünel delme makinesi ve konvansiyonel yöntem ile açılan tünellerde projelendirme esasları üzerine bir değerlendirme yapılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Tünel Delme Makinesi (TDM), konvansiyonel (klasik) tünel, segment tasarımı

DESİGN PRINCIPLES FOR EXCAVATION TUNNELS BY TUNNEL BORING MACHINE (TBM) AND CONVENTIONAL METHODS

ABSTRACT

During the excavation of water, sewer and underground tunnels, the selection of the excavation method to prevent damage to environment and above-ground structure is extremely important. With the technological advances, Tunnel Boring Machines (TBM) also has been used frequently for excavation tunnel besides the conventional (classical) tunneling techniques. According to the results of cost comparison between the conventional method and TBM method, it is decided to tunneling method for Irrigation tunnels (of minimum 3 km length).

Although initial investment costs of TBM method are high, TBMs have been started to prefer today in terms of production speed and preventing undesirable problems. TBMs minimize environmental impact and ensure a safer working conditions.

Design principles for excavation tunnel by tunnel boring machines and conventional methods are important. In this study, an assessment will be made on the basis of design principles for excavation tunnel by tunnel boring machines and conventional methods.

Keywords: Tunnel Boring Machines (TBM), conventional (classical) tunnel, segment design

1 GİRİŞ

Sulama tünelleri, kanal güzergâhı olarak yamacın dolaşılmasının, gerek topoğrafik gerek jeolojik nedenlerle mümkün olmadığı veya kanal boyunun çok uzaması nedeniyle ekonomik açıdan uygun görülmeyen durumlarda yapılan sanat yapılarıdır. Bunun dışında, güzergâh üzerindeki bir yerleşim yeri veya önemli bir tesisten kaçınmak için de tünel yapılması zorunlu sebep olabilir.

Yapılacak maliyet mukayesesi hesapları sonucunda tünel alternatifinin kanala nazaran daha ekonomik çıkması durumunda teknik yapılabilirlik de göz önünde bulundurularak kanalın devamlılığı tünel ile sağlanır.

2 TÜNELLERDE TEMEL KAVRAMLAR

2.1 Tünel Güzergâhının Seçimi

Sulama tünelleri; kanal güzergâhının münhani boyunca devamlılığı mümkün olmadığı durumlarda, güzergâh üzerindeki bir yerleşim yeri veya önemli bir tesisten kaçınmak için ve kanal boyunun çok uzaması nedeniyle yapılacak maliyet mukayesesi hesapları sonucunda tünel alternatifinin daha ekonomik çıkması durumunda kanalın devamlılığı için yapılır. Pahalı ve inşası zor yapılar olması nedeniyle, genellikle tünel güzergâhları iki nokta arasında bağlayan en kısa düz hat olarak seçilir. Ancak, güzergâhın doğrusal olmasını mümkün olmayan topoğrafik durum veya fay hattından kaçınmak gibi önemli

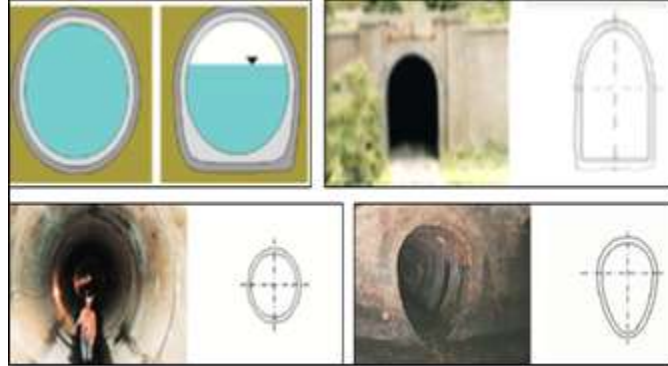
jeolojik nedenlerle güzergâh üzerine zorunlu olarak kurp veya kurplar koymak gerekebilir.

2.2 Tünel Açılmasında Jeoteknik Çalışmalar

Tünel mühendisliğinde en önemli unsur tünel güzergâhının jeolojisidir. Jeolojik verilerin doğru olarak araştırılması ve saptanması çok önemlidir. Tünelde maliyetin artması ve inşaat süresinin uzaması, genellikle zorunluluk sebebiyle proje ve güzergâh değiştirilmesinden veya jeolojik çalışmaların yeteri kadar yapılmamış olmasından kaynaklanmaktadır. Tünelde zemin davranışının ve zemine ait jeoteknik özelliklerin önceden bilinmesi; tünel inşaatı sırasında çıkabilecek potansiyel sorunlara önceden çözüm getirmek tünel tasarımı açısından önemlidir. Bu nedenle yüzey araştırmaları ile birlikte yeraltı çalışmaları da detaylı olarak yapılmalıdır. Yeraltı araştırmalarında; sondaj, araştırma çukuru, galeri ve jeofizik araştırma yöntemleri kullanılır.

2.3 Tünellerin Sınıflandırılması

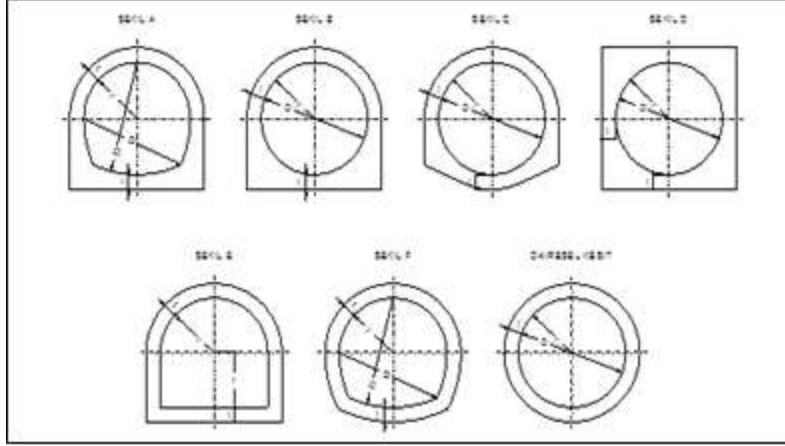
Tüneller iç basınç durumuna göre basınçlı ve serbest akımda çalışan basınçsız tüneller olarak sınıflandırılabilir. Basınçsız tüneller; demiryolu, karayolu tünelleri, metrolar, maden ocağı tünelleri ve kanal vazifesi gören tünellerdir. Basınçlı tüneller ise; genelde enerji maksatlı tünellerdir. Serbest akımda çalışan basınçsız tüneller için hidrolik açıdan uygun kesit tipi atnalıdır.



Şekil 1 - Çeşitli tiplerde tünel en kesitleri

Dairesel kesitlerde iç hidrostatik basınçlar uniform olarak dağıldığından ve teorik olarak iç ve dış yükler dairesel kesitlerde en iyi şekilde karşılandığından bu tip kesitler daha çok basınçlı tünellerde tercih edilir. Tünel tip kesitleri,

her türlü yüke göre gerilme analizleri yapılmış olan Bureau of Reclamation yayınlarından "Beggs Deformeter Stress Analysis of Single Barrel Conduits" adlı kitapta tüm yük durumları için incelenmiştir [1].

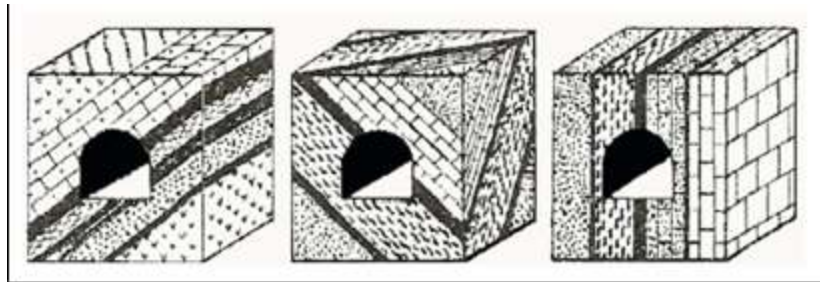


Şekil 2 - Tünel tip kesitleri

2.4 Tünel Girişinde Gerekli Minimum Örtü Kalınlığı, Kemerlenme

Kayaçlar, içinde bir kazı yapıldığında gerilmelerin etkisi ile açılan boşluğa doğru hareket etmek ister ve bu hareketi birbirlerine dayanarak bir dereceye kadar önlerler. Sonuçta denge oluşur. İşte bu denge haline 'Kemerlenme' denir. Kemerlenme kayaçlarda açılan boşlukların destek gerekmeden durabilme özelliği olarak da tarif edilebilir. Kemerlenme, kayacın jeolojik özelliklerine, doğrultu eğimi ile

tünel doğrultusu arasındaki ilişkiye, desteksiz kalan kısmın uzunluğuna bağlı olarak değişir. Masif, çatlaksız sert kayalarda kemerlenme fazladır ve tünel desteğe gerek duymadan açılabilir. Bir tünel kaplaması üzerine gelecek toplam basınç ve bu basıncın tünel güzergahı boyunca dağılım şekli doğrudan doğruya, tünelin içinde yer alacağı kayacın tabakalanma şekline bağlıdır. Kaya tabakalarını farklı biçimde kesen tüneller Şekil 3.'de gösterilmiştir [2].



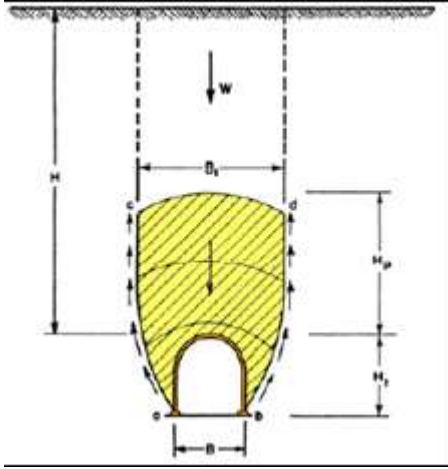
Şekil 3 - Kaya tabakalarını farklı biçimde kesen tüneller

Kemerlenme etkisinden dolayı, tünel giriş ve çıkışında üst kaplamadan itibaren belirli bir örtü

kalınlığı şartı aranır. Minimum örtü kalınlığı $H > 2,5-3,0 D$ (D: Tünel çapı) alınabilir.



Resim 1 - Tünel girişi



Şekil 4 - Tünel üzerinde oluşan kemerlenme

2.5 Tünelde Yeraltısu (YAS)

Tünel güzergâhında açılacak sondajlarla yeraltısu seviyesi araştırılmalıdır. Tünelin yeraltısu seviyesi altında açıldığında, tünel açımı sırasında yeraltı su seviyesinde bir hareketlilik başlar. Süreksizlikler, boşluklar ve damarlar boyunca gelen su akımı açılan tünel boşluğuna doğru yönelir. Killi ve çok sık çatlaklı kayalar tünel boşluğuna hareket ederek tünel açılmasını zorlaştırır. Özellikle sıkışma ve şişme kapasitesi yüksek karakterli kaya ortamlarında tünel kazısı oldukça güçleşebilir.

Tünel drenajı, tünellerde taban kaplama betonu seviyesi altına su miktarına göre yerleştirilen $\Phi 200-500$ mm drenaj büzleri ile sağlanır. YAS altındaki bazı tünellerde büyük su hacmi ile karşılaşmakta ve inşaat büyük ölçüde aksayabilmektedir. Bu durumda, drenaj büzü yetersiz kalmakta olup tünel içinde belli aralıklarla açılacak su toplama çukurları ve buradan yapılacak pompajlı tahliyelerle suyun boşaltımı sağlanabilir.

Zamantı tünelinin kazısı sırasında $0,435$ m³/s, Silvan tüneline ise $1,60$ m³/s su çıkışı meydana gelmiştir. Bu durum tünellerde çalışmayı imkânsız hale getirmiştir. Zamantı tüneline $\Phi 800$ mm'lik boru tünelin tabanına döşenerek su uzaklaştırılmış, Silvan tüneline ise kimyasal enjeksiyon yapılarak çalışma şartları sağlanmıştır. Bu çalışmalar tünel inşaatı aşamasında beklenmeyen durumlar olması sebebiyle tünel maliyetinde artışlara neden olmuştur.



Resim 2 - Silvan tüneli kazısı sırasında karşılaşılan su çıkışı

2.6 Tünellerde Enjeksiyon

Enjeksiyon, tünel çevresindeki kayada boşlukların doldurularak kaya kalitesinin iyileştirilmesi işlemidir. Tünelleri sağlamlaştırmak; beton kaplama ile kayayı çimento ile birbirine bağlamak, kaya içindeki çatlakları doldurarak geçirimsiz hale getirmek şeklinde tanımlanabilir. Enjeksiyon çalışmaları genelde iki aşama halinde yapılır. İlk aşama Kontak Enjeksiyonudur. Tünelde kaplama çalışmaları tamamlandıktan sonra tünel betonu ile zemin arasında kalan boşluğun doldurulması işlemine Kontak Enjeksiyonu denir. Tünel betonunun dökülmesi sırasında tünel tavanı ile kemer betonu arasında yerçekimi etkisinden kaynaklanan beton boşlukları oluşur. Bu boşluklar enjeksiyon ile doldurulmadığı zaman boşluklara dolan basınçlı su betonu zorlayacaktır. Ayrıca bu durum tünelde göçüklerin olmasına neden olabilir. Zemin içinde kalan boşlukların doldurulması işlemine ise Konsolidasyon Enjeksiyonu denir. Konsolidasyon enjeksiyonunun başlıca amacı beton çevresindeki kayaların stabilitesinin sağlanmasıdır.

3 TÜNELLERDE KAYA SINIFLANDIRMASI

Tünellerin projelendirilmesi ve inşaatı aşamasında, emniyet ve ekonomi göz önünde bulundurulması gereken iki önemli faktördür. Tünellerin emniyetle inşa edilebilmeleri için inşaat öncesi jeolojik etüt ve araştırmaların gereken hassasiyetle yapılarak projelendirilmesi büyük önem taşımaktadır. Tünel açma ve destekleme işleri için çeşitli kaya sınıflamaları yapılmıştır. Bunlardan en çok kullanılanlar;

- Terzaghi kaya sınıflandırması,
- RMR (Rock Mass Rating) kaya sınıflandırması ve
- Q (NGI = Norveç Jeoteknik Enstitüsü) kaya sınıflandırmasıdır.

3.1 Terzaghi Kaya Sınıflandırması

Terzaghi kaya sınıflandırması kayaları 9 grupta toplanmış ve her grup için fiziksel özellikler, düşey yük aralıkları ve destek tipleri belirtilmiştir.

Çizelge 1 - Terzaghi kaya sınıflandırması ve yükleri ve destekleme tipleri

No	Fiziksel özellik	Düşey yük	Destekleme tipi
1	Sağlam ve çatlaksız	0	Kaya bulonu veya az destek
2	Sağlam tabakalı veya şistsel	0-0,5 B	Kaya bulonu ve/veya az destek
3	Eklemlili ve çatlaklı	0-0,25B	Kaya bulonu ve/veya destek
4	Parçalı ve kil çatlaklı	0,25B-0,35(B+Ht)	Sık kaya bulonu (2 m aralıklı) ve/veya destek
5	Çok parçalı ve kil çatlaklı	(0,35-1,10)(B+Ht)	Dairesel destek ve flexible kaplama
6	Tamamen parçalanmış	1,10(B+Ht)	Dairesel destek ve flexible kaplama
7	Az şişen	(1,10-2,10)(B+Ht)	Dairesel destek ve flexible kaplama
8	Orta derecede şişen	(2,10-4,50)(B+Ht)	Dairesel destek ve flexible kaplama
9	Çok şişen	(B+Ht)'ye bağlı kalmadan 250 ft'e kadar çıkabilir	Dairesel destek ve flexible kaplama

Tünel ile ilgili yapılan jeolojik etütlerde, deneylere bağlı olarak düşey yük katsayıları kesin olarak belirtilmemiş ise Tablo 1'de belirtilen katsayılardan faydalanılır. Terzaghi bu tabloyu hazırlarken uzun yıllar laboratuvarında deneyler yaparak zemin kemerlenmesini incelemiştir.

3.2 RMR (Rock Mass Rating) Kaya Sınıflandırması

Bu sınıflandırmada; sağlam kayanın tek eksenli basınç dayanımı, RQD değeri, eklem aralığı, eklem koşulları, eklem su durumu ve süreksizliklerin tünel eksenine göre durumu dikkate alınarak değerlendirme yapılır. RMR sistemine göre kaya kütlelerinin sınıflandırılmasında aşağıda belirtilen parametreler esas alınmaktadır.

- Kayanın tek eksenli basınç dayanımı (MPa),
- RQD kaya niteliği (%),
- Çatlakların ara uzaklığı (m),
- Çatlakların durumu (ayrışma, pürüzlülük, dolgu ve açıklık),
- Yeraltısuyu koşulları,
- Çatlakların doğrultu ve eğimi.

Çizelge 2 - RMR (Rock Mass Rating) kaya sınıflandırması

Sınıf No	RMR Puanı	Tanımlama
I	100-81	Çok iyi kaya
II	80-61	İyi kaya
III	60-41	Orta kaya
IV	40-21	Zayıf kaya
V	<20	Çok zayıf kaya

3.3 Q (NGI = Norveç Jeoteknik Enstitüsü) Kaya Sınıflandırması

Q (NGI) sistemi 1974 yılında, Norveç Jeoteknik Enstitüsü araştırmacıları tarafından ortaya konmuştur. Q kaya sınıflamasını belirten eşitlik aşağıda verilmiştir.

$$Q = \frac{RQD}{J_n} * \frac{J_r}{J_a} * \frac{J_w}{SRF}$$

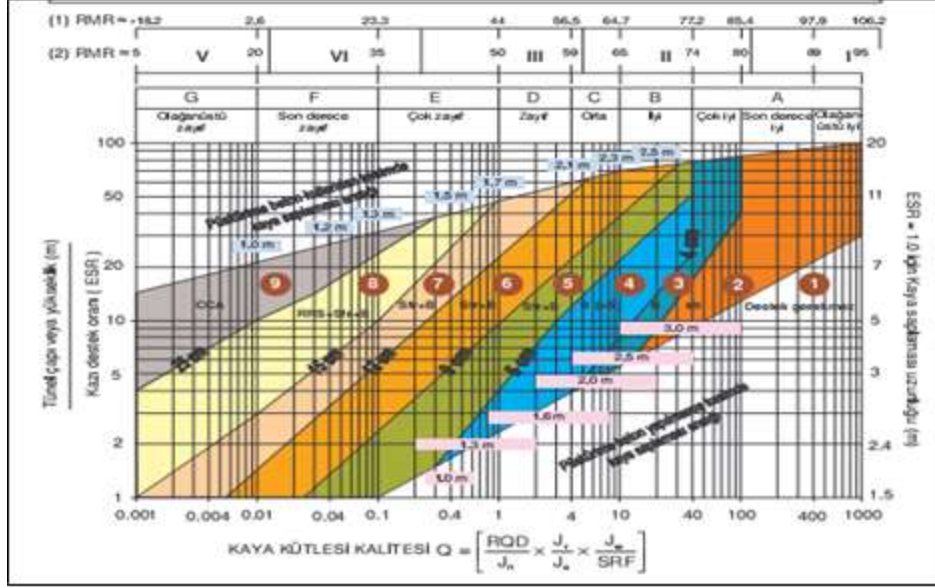
Burada;

Q: Kaya kütlesi niteliğini,
RQD: Kaya kalitesinin belirlenmesini (%),
J_n: Çatlak sistemi değerini,
J_r: Çatlak pürüzlülük değerini,
J_a: Çatlak ayrışma değerini,
J_w: Çatlak suyu azaltma faktörünü ve
SRF: Gerilme azaltma faktörünü ifade eder.

Q kaya kütlesi tanımlama sisteminde Q değerlerine bağlı olarak Terzaghi kaya sınıflandırmasında olduğu gibi 9 grupta kaya kütlesi tanımlanmıştır. Tünelin destek gerektirip gerektirmeyeceğini belirlemek için Eşdeğer Boyut (De) olarak bir kavram tanımlanmıştır. Eşdeğer Boyut (De) = En, çap veya yükseklik (m) / Kazı destek oranı (ESR) formülü ile hesaplanır. Q kaya kütlesi ve Eşdeğer boyut (De) değerleri kullanılarak Şekil 5'ten tünel destek tipi belirlenir.

Çizelge 3 - Q (NGI) kaya sınıflandırması

Q	Tanımlama
0,001-0,01	Olağanüstü zayıf
0,01-0,1	Aşırı zayıf
0,1-1	Çok zayıf
1-4	Zayıf
4-10	Orta
10-40	İyi
40-100	Çok iyi
100-400	Aşırı iyi
400-1000	Olağanüstü iyi kayaç



Şekil 5 - Q (NGI) kaya sınıflandırmasında destek sisteminin belirlenmesi

Burada;

- 1-Destek gerekmez
- 2-Lokal kaya sıklaması(bulonlama) (sb)
- 3-Sistemik kaya sıklaması (B)
- 4-Sistemik kaya sıklaması ve 4-5 cm kalınlığında takviyesiz püskürtme beton (B(+S))
- 5-Kaya sıklamalı, çelik kafes takviyeli 5-9 cm kalınlığında püskürtme beton (Sfr+B)
- 6-Kaya sıklamalı, kafes takviyeli 9-12 cm kalınlığında püskürtme beton (Sfr+B)
- 7-Kaya sıklamalı, kafes takviyeli 12-15 cm kalınlığında püskürtme beton (Sfr+B)
- 8-Kaya sıklamalı, çelik iksalı, kafes takviyeli 15-25 cm kalınlığında püskürtme beton (Sfr+B)
- 9-Beton kemerli (CCA) 'yi ifade eder [3, 10].

4 TÜNEL AÇMA YÖNTEMLERİ

Tünel projesi hazırlanmadan tünel açma önce yöntemi belirlemek için çalışmalar yapılması gerekir. Tünel açma yöntemine; tünel kazı çapı ve uzunluğu, kazı yapılacak güzergâhın jeolojik ve hidrojeolojik özellikleri, tünel üzerindeki örtü kalınlığı, yapım süresi ve maliyeti göz önüne alınarak karar verilir. Belirtilen parametrelerden en önemlisi ve yöntem belirlemede asıl belirleyici olan tünel çapı ve tünel uzunluğudur. Jeolojik, topoğrafik ve proje özellikleri gibi şartlarla birlikte tünel uzunluğunun 3,0 km civarında olması halinde ekonomik mukayese yapılarak tünel açma yöntemi belirlenmelidir.

En yaygın kullanılan tünel açma yöntemleri:

- Konvansiyonel (Klasik) Tünel Açma Yöntemi (del-patlat),
- Tünel kazma makinesi (roadheader) ile tünel açma,

- Boru itme yöntemi (pipe – jacking) ile tünel açma ve
- Tam kesit tünel delme makinesi (TBM=TDM) ile açılan tünel açma yöntemleridir.

Burada, tünel delme makinesi (TDM) ve konvansiyonel (klasik) tünel açma yöntemi ile açılan tünellerde yapılması gereken proje çalışmaları incelenecektir.

4.1 Konvansiyonel (Klasik) Tünel Açma Yöntemi

Del-patlat yöntemi de denilen bu yöntemde gerekmesi halinde kullanılan patlayıcı madde özelliklerinin bilinmesi ve delik geometrisinin önemli bir çalışma sonucu oluşturulması gerekmektedir. Bu yöntem hemen hemen her türlü kaya şartlarında emniyet ve başarı ile kullanılmaktadır.

Yapım aşamaları şunlardır:

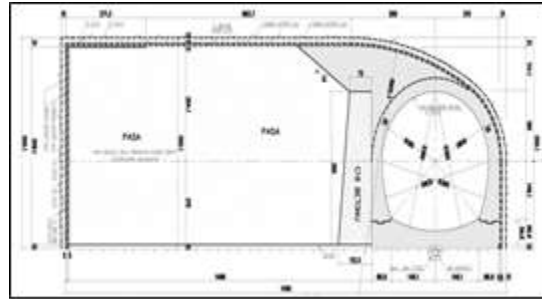
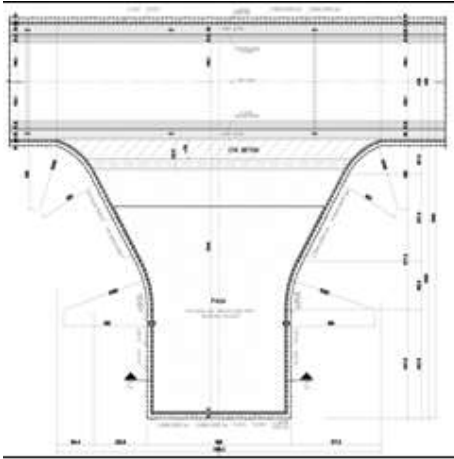
- Tünel aynasında patlayıcıların yerleştirileceği delikler açılır.
- Açılan deliklere daha önceden hesaplanmış miktarda patlayıcılar yerleştirilir
- Deliklerde bulunan patlayıcılar ateşlenir ve patlatmadan meydana gelen gazların giderilmesi için havalandırma yapılır.
- Düşme ihtimali olan kayaç parçaları düşürülür, gerekli durumlarda yeni açılan kısma iksa yapıldıktan sonra çıkan kazı malzemesi taşınır.
- Tünel kazısı ve desteklemeleri tamamlandıktan sonra beton kaplaması yapımına başlanır.

Bu yöntemde; ilk malzeme ve teçhizatın ucuzluğu, hemen hemen her türlü kayaç koşullarında kullanılabilirliği gibi üstünlükleri yanında ilerlemenin yavaş olması, aşırı sökülmenin önüne geçilememesi dolayısıyla da

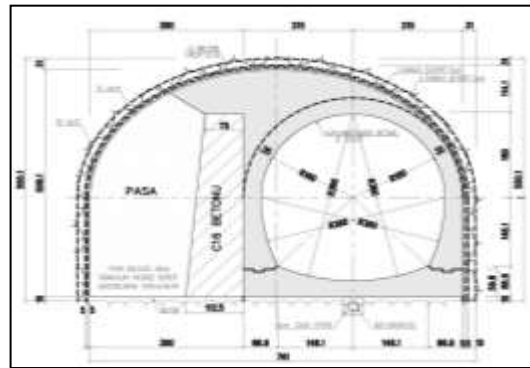
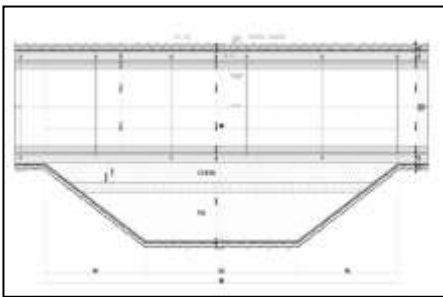
tünel en kesitinin aynen açılmasının mümkün olmaması, çevredeki kayaçları yumuşatması, ne kadar hassasiyet gösterilirse gösterilsin patlatmanın sebep olduğu gevşemelerden kaçınılamaz olması gibi sakıncaların bulunduğunu belirtmek gerekir. Fakat kaya şartlarının tünel güzergâhı boyunca değiştiği durumlarda veya çok yüksek mukavemetli kayalarda uygulanabilecek en uygun yöntem olabilir.

4.1.1 Tünellerde Karşılaşma, Trafo ve Manevra Cepleri

Tünel ilerleme hızının sağlanabilmesi, tünel kazılarında ve beton kaplama yapımında nakliye araçlarının karşılaşma ve dönüş yerleri için ve dinamit atımlarında sığınak olarak kullanılmak üzere yaklaşık 250 m aralıkla cep yapılır. Karşılaşma ve manevra ceplerinin yapılmaması durumunda tünel kazı çalışmaları aksamakta ve yapım süresi uzamaktadır.



Şekil 6 - Manevra cebi planı ve kesiti



Şekil 7 - Karşılaşma cebi planı ve kesiti

4.1.2 Yaklaşım Tüneli

Uzun tünellerde proje çalışmaları sırasında mümkün olduğu kadar yaklaşım tüneli yapımı düşünülmelidir. Belirlenen yaklaşım tünelinin uzunluğu ile yaklaşım tünelinin çalışmaya kazandıracağı hız ve sağlayacağı ekonomik katkı değerlendirilerek yaklaşım tünelinin yapılıp yapılmamasına karar verilmelidir.

Tünel uzunluğu, topoğrafik şartlar ve işin ekonomisi dikkate alınarak, tünele bir veya birden fazla yaklaşım tüneli açılıp açılmayacağı konusunda gerekli inceleme ve araştırmalar yapılmalıdır.

4.1.3 Ödeme Hattı

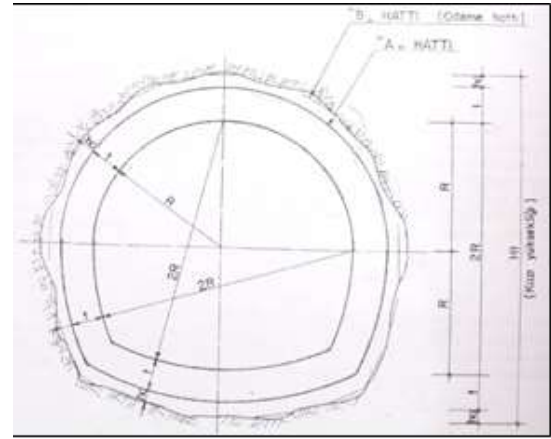
Tünelde yüzey desteklemesi yapılmayan kısımlarda, kaplama betonun dış yüzü A hattı olarak kabul edilecektir. A hattı içerisinde kazılmamış yer bırakılmayacaktır. B hattı ise ödemeye esas oluşabilecek kaya parçalanmalarını ve dökümlerini ifade eden bir mesafedir. Yüzey desteklemesi yapılan (çelik iksa, tel kafes, ön kaplama betonu, püskürtme betonu vs.) yerlerde ise destek imalatlarının dış yüzü A hattı olarak kabul edilecektir.

4.1.4 Tünellerde Kazı Destekleme Tipleri

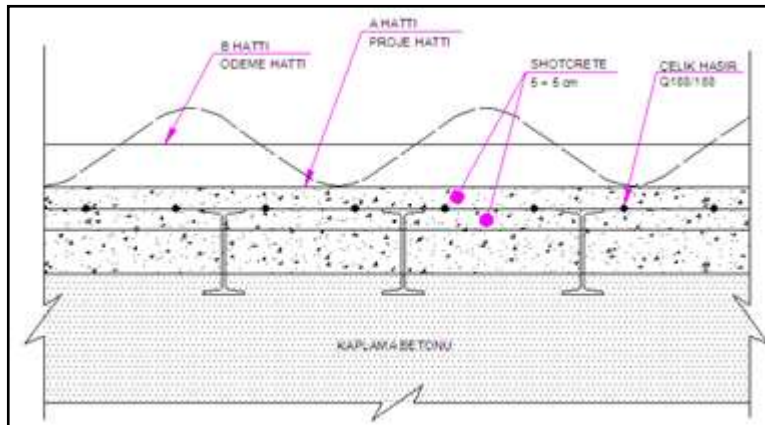
Yeraltında açılan boşluğun aynı geometride kalabilmesini sağlamak için, bozulmasına neden olacak faktörlerin ortadan kaldırılması veya başka bir tedbirle desteklenmesi gerekir. Kazı sonrası tünel çevre kayasında oluşan yeni gerilmeler deformasyona neden olur. Bu

deformasyona karşı tünelin doğal kemerlenme ile kendisini tutabilme süresi içinde bazı destek sistemleri ile direncinin artırılması gerekir. Bunun için çelik iksa, püskürtme betonu, tel kafes, kaya bulonu, süren vb. destekleme elemanları kullanılır [4].

Tünelde kazı çalışmaları sırasında alınacak tedbirlerden, zemin sınıfına göre bazen bir tanesi bazen de birden fazlası uygulanır. Proje hazırlığı aşamasında; "Mühendislik Jeolojisi Raporu"na göre tünelde karşılaşılması muhtemel zemin sınıfları için ayrı ayrı olmak üzere kazı destek projeleri hazırlanır. Bu projelere göre kazı çalışmaları yapılır.



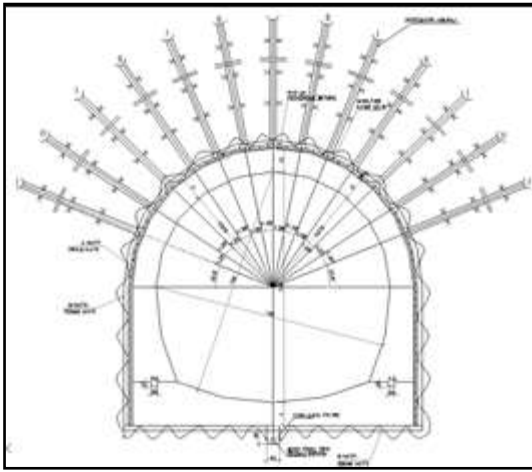
Şekil 8 - Klasik tünel tip kesiti



Şekil 9 - Klasik tünelde kaplama ve destekleme kesiti



Resim 3 - Tünelde püskürtme betonu, süren ve çelik iksa uygulaması



Şekil 10 - Tünelde sistematik kaya bulunu uygulaması

4.1.5 Konvansiyonel (Klasik) Tünel Açma Yönteminin Avantajları/Dezavantajları

- İlk malzeme ve teçhizatın ucuzdur,
- Hemen hemen her türlü kayaç koşullarında kullanılabilir,
- Kaya şartlarının tünel güzergâhı boyunca değiştiği durumlarda veya çok yüksek mukavemetli kayalarda uygulanabilecek en uygun yöntem olabilir.
- Tünel açım hızı yavaştır,
- Kaplama yapım süresi geciktüğinden tünel çevresindeki kayaçları yumuşatır,
- Aşırı sökülmenin önüne geçilememesi sebebiyle tünel en kesitinin projesine uygun açılması zordur, ne kadar hassasiyet gösterilirse gösterilsin patlatmanın sebep olduğu gevşemelerden kaçınılamaz olması gibi sakıncaların bulunduğunu belirtmek gerekir.

- Emniyetli kazı şartlarının sağlanabilmesi için maliyeti yüksek tünel desteklemelerinin yapılması gerekmektedir.

4.2 Tam Cepheli Tünel Delme Makinesi (TBM=TDM) ile Açılan Tünel Açma Yöntemi

Bu tür makineler için "Fullface Tunelling Machine" veya sadece "Tunnel Boring Machine" (TBM) deyimleri kullanılmaktadır. Makine ile tünel açımından söz edildiğinde ilk akla gelen tam kesit makinelerdir. Küçük çaplı (2-3 m) tünel kesitlerinde kullanılmaya başlanan bu makineler, son zamanlarda 18-19 m çapındaki tünellerde de başarılı olarak kullanılmaktadır.

Tünel delme makinesinin çalışma aşamaları;

- Kazı yapılması,
- Segmentlerin yerleştirilmesi,
- Segmentlerle kazı yüzeyi arasına yastık dolgusu yapılması,
- Enjeksiyon yapılmasıdır.



Resim 4 - Tam kesit tünel delme makinesi

Tünel delme teknikleri geçmişten günümüze çok büyük değişim göstermiştir. Özellikle tünel delme makinelerinin hızla gelişmesi, zemin şartları ne olursa olsun her durumda tünel açılabilmesini de beraberinde getirmiştir. İnşaat hızı göz önüne alındığında tünel delme makineleri ile kazı güvenli ve çoğu zaman avantajlıdır.

Tam cepheli tünel delme makineleri, kalkanlı (single) ve kalkansız (ripper) TDM olmak üzere iki grupta sınıflandırılabilir.

Günümüzde en çok tercih edilen kalkanlı tünel delme makinesi çeşitleri;

- **Tek Kalkanlı (Single Shield) TDM,**
- **Çift Kalkanlı (Double Shield) TDM,**
Sağlam zemin koşullarında açılacak tünellerde tek veya çift kalkanlı TDM tercih edilmektedir.
- **EPB / Slury (Zemin Basınç Dengeleyici) TDM,**

Zayıf zemin koşulları ve yeraltısuyu bulunan zemin formasyonunda geçen tünellerde yan ve üst basınçları dengeleyip deformasyona izin vermeyen EPB tipi kullanılmalıdır.

- **Karışık (Mixshield) TDM'ler ise,**
Zemin koşullarının değişken olduğu güzergâhlarda ise karışık tip TDM seçilmesi uygun olacaktır.

TDM seçiminde, detaylı hazırlanmış olan jeolojik rapor incelenerek doğru seçimin yapılmasına dikkat edilmelidir.

4.2.1 TDM Giriş Platformu

Tünel delme makinesinin montajının yapılacağı, kazı malzemesinin ilk depolanacağı, segment üretim tesisi ve segment depolama alanı için tünelin çıkışına bir alan oluşturulur. Arazi şartlarının durumuna göre segment üretim tesisi farklı bir alanda yapılabilir.



Resim 5 - Tünel delme makinesi giriş platformu

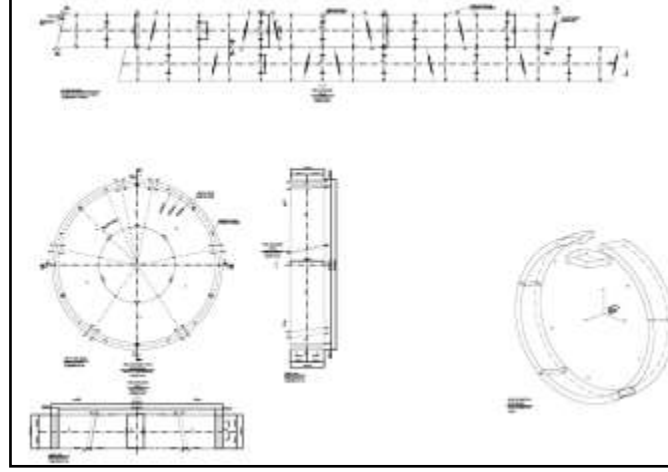


Resim 6 - Segment fabrikası, segment donatısı ve kalıbı

4.2.2 TDM İle Açılan Tünelde Segment Tasarımı

TDM ile açılan tünellerde kaplama olarak prefabrik üretilmiş segment betonu kaplamalar kullanılır. Segmentler bal peteği, trapez, üniversal vb. tipte olabilir. Üniversal tip segment

uygulamada başarılı sonuçlar sağlamaktadır. TDM segment tasarımında C40-C45 beton sınıfı kullanılmaktadır. Ayrıca TDM ile açılacak tünel güzergahında gerekmesi halinde, TDM'nin ve segmentlerinin sorunsuz bir şekilde geçebileceği dönüş kurp açıları kullanılmalıdır.



Şekil 11 - Üniversal tip tünel segmenti ve halka görünümü

Çizelge 4 - İç çapa göre yaklaşık segment kalınlıkları ve uzunlukları

Tünel İç Çapı, D (m)	Segment Kalınlığı, t (cm)
2-5	15-25
5-8	20-40
> 8	30-75

Çizelge 5 - Yaklaşık segment adeti ve uzunlukları

Tünel İç Çapı, D (m)	Segment Adeti	Segment Halka Uzunluğu, L (cm)
2-5	3-6	75-150
5-8	6-9	125-200
> 8	> 9	150-225

Tünele ait jeolojik raporda; jeolojik arazi gözlemleri, temel sondajları, yerinde ve laboratuvar deneylerinden elde edilen jeolojik-jeoteknik veriler detaylı olarak değerlendirilerek tünel jeolojisi belirlenmelidir. Jeolojik parametreler tespit edilmelidir [5].

Örnek bir çalışmadan alınan verilerle segment tasarımı değerlendirilecektir [6].

Segment kaplama tasarımı için en kritik jeolojik kesitler belirlenir. Tünel delme makinesi ile açılan tünellerde jeolojik rapor detaylı olmalı, tünelde karşılaşılabilecek jeolojik sorunlar kapsamlı şekilde irdelenmelidir. Tünel güzergâhında fay hattı bulunuyorsa deprem analizlerinde dikkate alınmalıdır. Tünel jeolojik raporundan tünel güzergâhının jeolojik kesitlerine ait zemin parametreleri tespit edilir.

Çizelge 6 - Tünel güzergahı jeolojik formasyon dağılımı

Başlangıç Km	Bitiş Km	Uzunluk [m]	Jeolojik Birim	Min. Örtü Kalınlığı [m]	Ortalama Örtü Kalınlığı [m]	Max. Örtü Kalınlığı [m]
0+000	0+635	635	Gercüş	38	118	198
0+635	2+190	1555	Mıdyat	220	259	298
2+190	3+530	1340	Gercüş	255	293.5	332
3+530	4+590	1060	Mıdyat	82	169.5	257
4+590	4+950	360	Germik	129	143	157
4+950	5+300	350	Silvan	27	78	129

Çizelge 7 - Tünel güzergâhında kritik jeolojik kesitlere ait parametreler

Kesit	KM Değişimi	Jeolojik Birim	Analiz Kesiti	Örtü Kalınlığı [m]	Yeraltı Suyu Yüksekliği [m]	γ [kN/m ³]	C [kPa]	ϕ [°]	E [MPa]	ν	K_0
A	0+350	Gercüş	Max. Yeraltı Suyu Seviyesi	198	77	24.5	700	40	1800	0.31	0.45
B	2+950	Gercüş	Max. Örtü Kalınlığı	332	-	24.5	900	35	1800	0.31	0.45
C	3+530	Mıdyat	Mıdyat takı Max. Örtü Kalınlığı	257	-	25.5	480	27	1270	0.33	0.49
D	4+340	Mıdyat	Min Örtü Kalınlığı	82	-	25.5	250	35	1270	0.33	0.49
E	4+700	Germik	Germik teki Max. Örtü Kalınlığı	157	-	25	380	29	1720	0.3	0.43

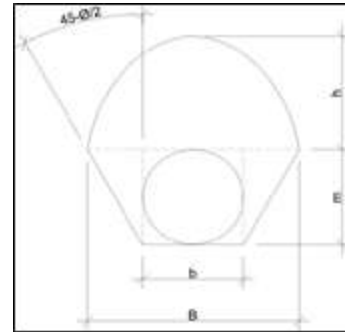
Yukarıdaki tabloda beş farklı jeolojik analiz kesiti belirlenmiştir. Tünel yeraltısuyu altında ise su yükü (Kesit A'da) hesaplamalarda tünele etki ettirilmelidir.

Tasarım Yüklerinin Hesaplanması;

Belirlenmiş olan her bir analiz kesiti için; yapının dairesel şeklinden dolayı zeminde oluşacak kemer etkisini dikkate alan "Protodyakonov Teorisi", tünel etrafındaki kaya kütlelerinin doğal haldeki gerilmenin dağılımı ile tünel segment kaplaması tamamlandıktan sonraki yeniden dağılımını dikkate alan "Karakteristik Eğri Teorisi" (Characteristic Line Method) metodu ve Terzaghi tarafından önerilen formulasyona göre tasarım yükü hesabı yapılabilir. Her bir kesit için kritik sonuç veren metot dikkate alınmalıdır.

4.2.2.1 Protodyakonov Teorisi'ne Göre Zemin Yükü Hesabı

Protodyakonov Teorisi'ne göre tünel kazısı sırasında meydana gelebilecek kaya yükü; kırılma yüzeylerinin kesişim noktasından başlayan bir parabol ve tünel kesitinin tam altından geçecek yatay bir çizgi tarafından çevrelenen zeminin yükü olarak kabul edilebilir.



$$h = B/(2f)$$

$$B = b + 2 m \tan (45 - \phi/2)$$

ϕ = İçsel sürtünme açısı
 f = Dayanım faktörü (sertlik katsayısı)
 $m = b =$ Tünel dış çapı

Şekil 12 - Protodyakonov parabolü

Burada dayanım faktörü (f), tünel jeolojisine göre belirlenmelidir [2].

Çizelge 8 - Dayanım faktörü (sertlik katsayısı, f) ve içsel sürtünme açıları (ϕ)

Zemin Cinsi	Dayanım faktörü (sertlik katsayısı, f)	İçsel Sürtünme Açıları (ϕ)
Adi kumtaşı, demir cevherleri	6,0	80°
Kumlu şistler, şistli kumtaşı	5,0	75°
Sert killi şistler, gevşek kumtaşı ve kalkerler, yumuşak konglomera	4,0	75°
Çeşitli gevşek şistler, sert marn	3,0	71°
Yumuşak şist, çok yumuşak kalker, kaya tuzu, donmuş toprak, adi marn, kırıklı kumtaşı, taşlaşmış toprak	2,0	63°
Çakıllı zeminler, kırıklı şistler, yumuşak konglomera, sert taş kömürü, sert kil	1,5	56°
Sert kil, taş kömürü	1,0	45°
Hafif kumlu kil, löslar	0,8	38°
Turbalar, kumlu kil, rutubetli kum	0,6	30°
Kum, ince çakıl, kazılmış zeminler, kazılmış kömür	0,5	26°
Balçık ve diğer topraklar	0,3	16°

Protodyakanov Teorisine göre tünele etkileyen zemin yüksekliği ve düşey-yatay zemin yükleri hesaplanır.

Çizelge 9 - Tünel segmentine etkileyen yükler

Parametreler		Birim	A	B	C	D	E	F
Kohezyon	C	kPa	700	900	480	250	380	100
Birim ağırlık	γ	kN/m ³	24.50	24.50	25.50	25.50	25.00	24.00
İçsel sürtünme açısı	ϕ	°	40	35	27	35	29	20
İçsel sürtünme açısı	ϕ	rad	0.698	0.611	0.471	0.611	0.506	0.349
Poisson oranı	ν		0.31	0.31	0.33	0.33	0.30	0.30
Yatay / Düşey gerilme oranı	K_0		0.45	0.45	0.49	0.49	0.43	0.50
Tünel yarıçapı	R_0	m	3.80	3.80	3.80	3.80	3.80	3.80
Protodyakanov dayanım faktörü	f		2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	0.50
Hesaplanan Değerler	b		7.60	7.60	7.60	7.60	7.60	7.60
	m		7.60	7.60	7.60	7.60	7.60	7.60
	B		14.69	15.51	16.91	15.51	16.55	18.24
Sonuçlar		Birim	A	B	C	D	E	F
Protodyakanov yüksekliği	h	m	3.67	3.88	4.23	3.88	4.14	18.24
Kaplamaya etkileyen düşey yük	p_v	kPa	90	95	108	99	103	438
Kaplamaya etkileyen yatay yük	p_h	kPa	40	43	53	49	44	219

4.2.2.2 Karakteristik Eğri Metoduna (Characteristic Line Method) Göre Zemin Yükü Hesabı

Tünel kazılarında; kazıdan önce kayadaki mevcut gerilme, tünel çevresindeki kaya kütlelerinde ve tamamlanmış tünel kaplamasında yeniden dağılıma sebep olur. Gerçekte tünel kazısı sırasında dengelenmemiş bir kuvvet ortaya çıkar, tünelin stabilitesini sağlamak için dengelenmemiş kuvveti kısmen tünel etrafındaki kayadaki tekrar dağılımı ve kısmen de tamamlanmış kaplamanın verdiği sıkıştırma basıncı tarafından denge durumuna ulaştırıldığı düşünülür.

Tünelde, [λ x kuvvet (p_0)] kadarlık kuvvetin kaplama tamamlanmadan önceki kaya

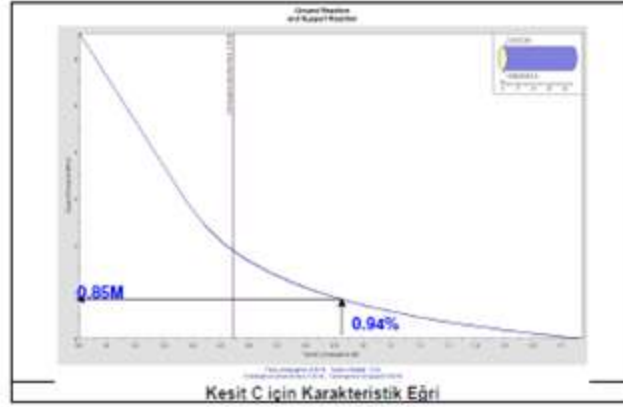
kütlesinde oluşan yeniden dağılım tarafından dengelenir ve bu kazı yapılan kesitte kaplama tamamlanmadan oluşan yeni durumdur. [(1 - λ) x kuvvet (p_0)] kadarlık kuvvetin ise analiz yapılan kesite ait tamamlanmış tünel kaplaması tarafından karşılandığı kabul edilir.

P_0 tünelde oluşan kuvveti, λ katsayısı ise "Gevşeme Katsayısı" olarak adlandırılır ve 1 ve 0 arasında değişir. (1;kaplamada hiç basınç yokken ve kaya kütleindeki yeniden dağılım tamamlandıktan sonra, 0; kaplama tarafından karşılanan basınç, kaya kütleinin kazıdan önceki doğal iç basıncı p_0 'a eşit olunca kullanılır).

Kaya ortamındaki derin tünellerde oluşan kuvvetin (p_0) büyük kısmı kaplama tamamlanmadan önce kemer etkisi sebebiyle

kaya kütlesi içerisindeki yeniden dağılım $[\lambda \times p_0]$ tarafından dengelenir. Bu nedenle genellikle $[(1 - \lambda) \times p_0]$ kadarlık kısım başlangıç gerilmesinden

daha küçüktür. Belirlenen kuvvetlere göre kaplamaya aktarılan yük; tünel karakteristik eğrisine göre belirlenir. [6].



Şekil 13 - Karakteristik eğri metodu ile hesaplanan yük

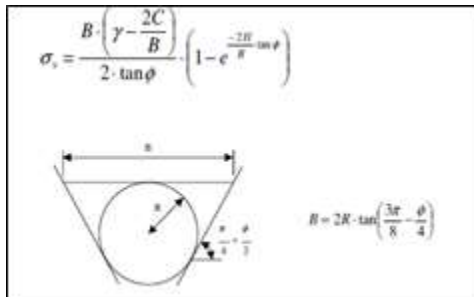
Çizelge 9 - Karakteristik eğri metodu ile hesaplanan yükler

Hesaplanan Değerler		Birim	A	B	C	D	E	F
Kaplama gelen düşey yük	p_v	MPa	0.00	0.60	0.85	0.00	0.00	0.30
		kPa	0	600	850	0	0	300
Kaplama gelen yatay yük	p_h	kPa	0	270	419	0	0	150
Yeraltı suyu yüksekliği	h_w	m	77	0	0	0	0	20
Kaplama gelen düşey yük (yeraltı suyu dikkate alınarak)	p_v	kPa	0	600	850	0	0	300
Kaplama gelen su yükü	p_w	kPa	770	0	0	0	0	200
Toplam düşey yük	Σp_v	kPa	770	600	850	0	0	500
Kaplama gelen yatay yük	p_h	kPa	770	270	419	0	0	350

Jeolojik kesitlerden kritik değer verenlerden; A, D ve E için Protodyakonov Teorisi, B, C ve F için ise Karakteristik Eğri Metodu dikkate alınmalıdır.

4.2.2.3 Terzaghi Tarafından Önerilen Formülasyona Göre Zemin Yükü Hesabı

Düşey yük hesabı;



σ_v : tünel üzerindeki gevşeyen zemin yükü (ton/m²)

B: tünel üzerindeki gevşeyen zemin genişliği (m)

γ : zemin birim ağırlığı (ton/m³)

C: kohezyon (ton/m²)

ϕ : İçsel sürtünme açısı (°)

H: zemin derinliği (m)

R: ortalama tünel yarıçapı (m)

Yatay yük hesabı;

$K_0 = \gamma / (1 - \gamma)$ veya $K_0 = 1 - \sin \phi$ formülleriyle bulunur.

Zemin yükü, çok bloklu ve çatlaklı olan kayalarda 0.7~2.2D kadar alınabilir. Olası bir kaya kütlesi sıkışması durumuna karşılık hesaplarda iki tünel çapı (2D) kadar örtü kalınlığı dikkate alınabilir. Bu yaklaşıma göre düşey ve yatay zemin yükü;

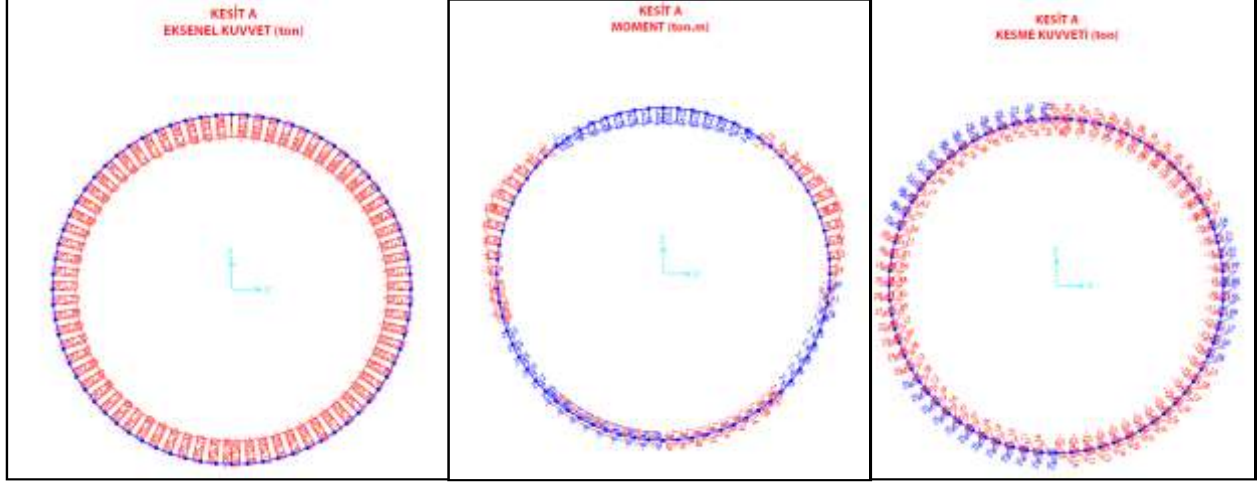
$\sigma_{düşey} = 2 \times D \times \gamma$

$\sigma_{yatay} = K_0 \times \sigma_{düşey}$ 'dir [7].

Yukarıda belirtilen yöntemlerle bulunan kritik kesit yükleri dikkate alınarak yük

kombinasyonları oluşturularak SAP2000 programında hesaplamalar yapılır. Yük kombinasyonlarında tünel kesitine; zati yük, düşey zemin yükü, yatay zemin yükü, yer altı suyu basıncı ve tünel iç su basıncı farklı yük

kombinasyonları ile uygulanır. Bu yüklere ilave olarak, şişme potansiyeli olan zeminlerde zemin şişme yükü ile tünelin fay hattına yakın olması durumunda deprem yükü de analizlerde dikkate alınır.



Şekil 14 - Analiz sonuçları

Çizelge 10 - Analiz sonuçları

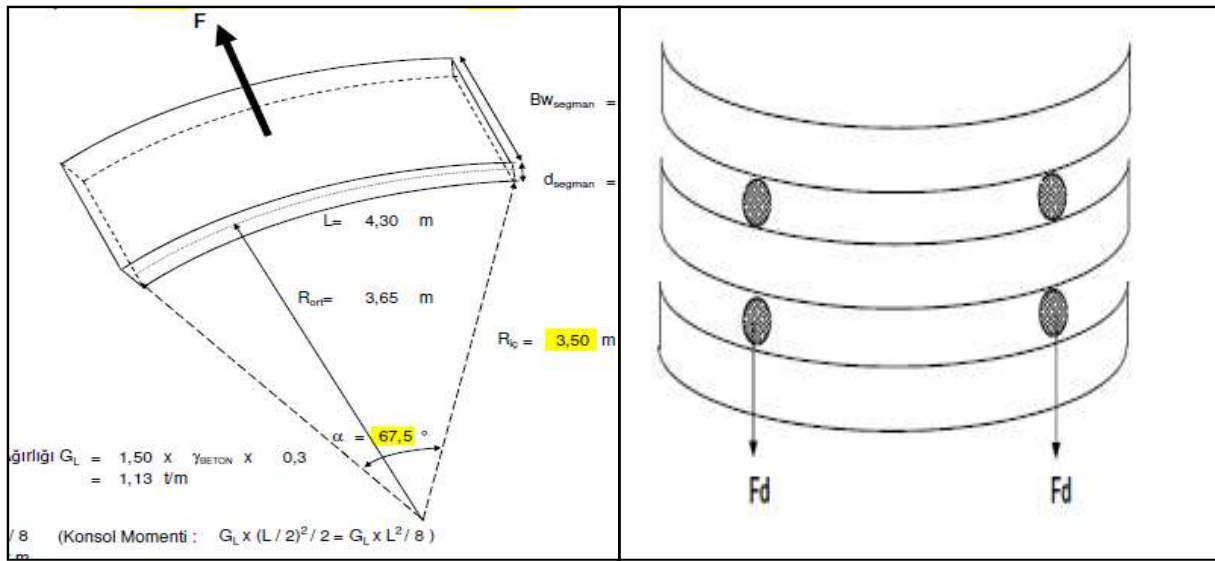
		L = 1,5 m Segman Genişliği İçin Analiz Sonuçları				
	Kombinasyon	M _{max} (t.m)	N (t)	M (t.m)	N _{max} (t)	V _{max} (t)
KESİT A	COMB-1	10,29	675,76	6,59	676,21	37,85
	COMB-2	10,27	591,68	0,49	595,84	31,39
KESİT B	COMB-3	12,11	500,08	2,03	505,16	32,50
	COMB-4	12,52	449,60	1,76	454,36	30,67
KESİT C	COMB-5	16,67	718,28	4,42	722,12	46,25
	COMB-6	17,23	667,41	3,63	670,72	44,66
KESİT D	COMB-7	2,60	90,26	0,37	97,63	6,11
	COMB-8	3,44	39,03	0,14	46,47	4,81
KESİT E	COMB-9	2,74	91,41	0,26	99,14	6,25
	COMB-10	3,38	40,44	0,06	48,29	4,88
KESİT F	COMB-11	8,64	320,32	7,24	320,69	22,38
	COMB-12	7,37	256,92	1,74	263,70	21,88

Analizler; momentler (M), aksenal kuvvetler (N) ve kesme kuvvetleri (V) hesaplanır. Analiz sonuçlarından kritik olanlara göre donatı hesapları yapılır.

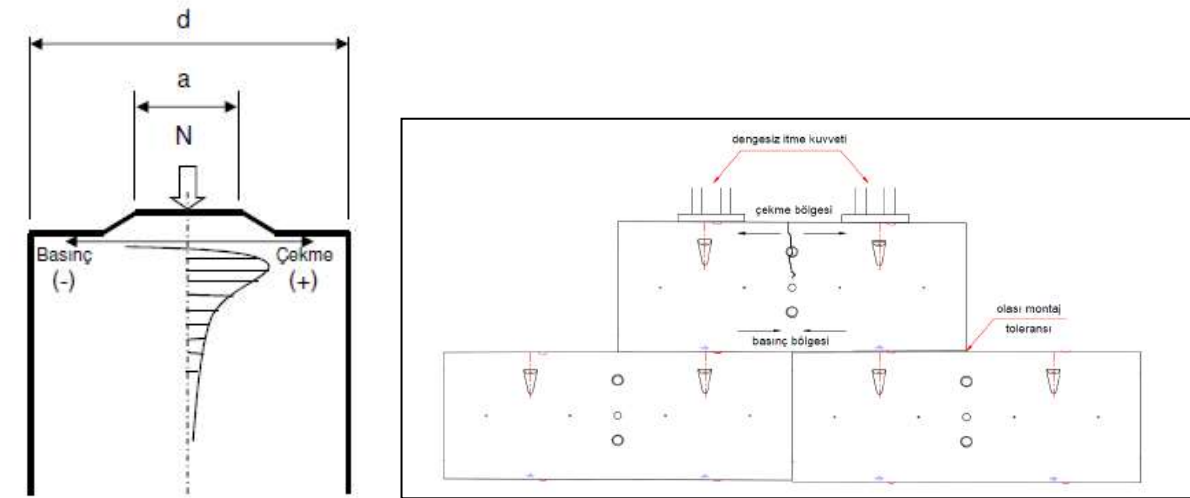
Ayrıca segment için; kesme hesabı, segment kaldırma hesabı, segment depolama hesabı, segment birleşim noktaları için ezilme analizleri yapılmalıdır [6].



Resim 7 - Segment taşınması ve segmente TDM'nin piston etkisi



Şekil 15 - Segment kaldırma, segment depolama durumu



Segment Birleşimindeki Gerilme

Şekil 16 - Segment birleşim noktaları

4.2.2.4 TDM ile Açılan Tünellerin Avantajları/Dezavantajları

Avantajları;

- Günümüzde TDM'leri her çeşit zeminde kullanmak mümkündür.
- Kazı sırasında yüksek güvenlik ve hız sağlamaktadır.
- Kesitleri düzgün şekilde açtığı için gereksiz kesit fazlası kazı yapılmamaktadır.
- İleri düzeyde mekanizasyon imkânı sunulduğu için el işçiliğinden tasarruf yapılmaktadır. Bu da kazanın ve ağır işçiliğin azalmasını sağlamaktadır.
- Tünel kazısı düzenli bölümler halinde yapıldığından yükleme ve taşınması daha kolaydır.
- Tünel segmenti, klasik tünel kaplamasına göre daha narin ve donatı miktarı daha azdır.
- Kayanın uygun olması durumunda günlük ilerleme hızı ortalama 30-35 metreye kadar ulaşabilir.
- En önemli avantajlarından biri, kayaç formasyonlarının kırılıp çatlama ve aşırı sökülmenin en az olmasıdır. Buna bağlı olarak destekleme masrafları önemli ölçüde azalmaktadır.

Dezavantajları;

- İlk yatırım maliyetleri yüksektir.
- TDM'in zemine batmaması ve su altında kalması için jeolojik ve jeoteknik araştırmalara daha çok önem verilmelidir.
- Aynadan gelebilecek büyük miktarda su, makine başlığının arızalanmasına yol açabilir.
- TDM'in montajı, demontajı, nakliyesi ve tünel içinde tamiri güçtür.
- Makinelerin nakil ve montaj sürelerinin uzun olması nedeniyle kısa tünellerde veya orta uzunlukta olan çok geniş çaplı tünellerde kullanışlı değildir.
- Tozlanmayı ve ısınmayı düşürmek için ve ayna yakınında çalışmaya uygun şartları sağlamak için, havalandırma sistemi önem arz etmektedir.
- Kaya şartlarının değişmesi durumlarında gerekli teknik ve malzeme ayarlamaları daha zordur.
- Çok sert kayada makine ile tünel açımının maliyeti yüksektir ve bu nedenle alışıla gelmiş yöntem kadar ekonomik olmayabilir.

- Şişen, sıkışan, akan zemin ihtiva eden aşırı ayrışmış ve kırıklı kaya zonlarında tünel açma makinelerinin verimi çok düşüktür.
- TDM'ler genellikle projenin amacına göre özel yapılmıştır. Bu nedenle elde jeolojik şartlar hakkında doğru bilgi olmaması halinde aniden değişen yeraltı jeolojik şartlarını karşılayacak şekilde bir makinenin yapım ve inşası mümkün olmayabilir.

5 SONUÇ VE ÖNERİLER

- Tünellerin projelendirmesi aşamasında; proje güzergâhının jeolojisine, geçilecek formasyonların jeoteknik özelliklerine, bölgenin tektonizmasına ve yeraltısuyu durumuna özel önem verilerek yeterli sayıda ve derinlikte sondaj ile arazi ve laboratuvar deneyleri yapılmalıdır.
- Tünel uzunluğu, fay hattı, yeraltısuyu, zemin değişimleri zehirli ve patlayıcı özelliğe sahip gazlar vb. hususlar tünel açım tekniğini belirlerken değerlendirilmelidir.
- Tünelde çalışma koşulları, enjeksiyon, havalandırma, ulaşım gibi hususlar dikkate alınarak tünel iç çapı; uzunluğu 7,5 km'ye kadar olan tünellerde en az 4,00 m, daha uzun tünellerde ise en az 4,50 m ve 0,50 m'nin katları şeklinde seçilmelidir.
- TDM seçiminde, tünelin jeoteknik etüt raporunda belirtilen birimlerin özellikleri dikkate alınarak;
 - Zayıf zemin ve yeraltısuyu bulunan zemin formasyonunda geçen tünellerde yanal ve üst basınçları dengeleyip deformasyona izin vermeyen EPB/EPB Slurry tipi TDM,
 - Sağlam zemin koşullarında açılacak tünellerde tek veya çift kalkanlı TDM ve
 - Zemin koşullarının değişken olduğu güzergâhlarda ise karışık tip TDM seçilmesine dikkat edilmelidir.
- Klasik yöntemle açılacak tünellerde; destekleme tipleri (püskürtme betonu, bulon, süren, çelik iksa vb.), yaklaşım tüneli, manevra ve karşılaşma cepleri, kaplama kalınlığı ve daha fazla donatı miktarı maliyet hesaplarında göz önünde bulundurulmalıdır. İnşaat kolaylığı açısından, her jeolojik formasyona uygun destekleme projeleri hazırlanmalıdır.

- TDM giriş-çıkış alanları, segment, üretimi, yeraltısuyunun kontrolü vb. maliyetler hesaplanmalıdır. TDM ile açılan tünellerde segment kalınlıkları klasik tünel beton kaplamasına göre daha narin ve donatı miktarı daha az olmaktadır. Gerekmesi halinde fay hatları veya çok farklı jeolojik formasyonlar için farklı segment projeleri hazırlanmalıdır.

6 KAYNAKLAR

- [1] "Beggs Deformeter Stress Analysis of Single Barrel Conduits", US Department of the Interior Bureau of Reclamation, 1986
- [2] Yıldız, K., "Hidroelektrik Santraller Hesap Esasları ve Projelendirilmesi", Ankara, 1992.

- [3] "DSİ Tünellerin Projelendirilmesi ve İnşası Semineri" Cilt I, Adana, 1986
- [4] Doğan, E., "Sulama Tünellerinin Projelendirilmesi", Ankara, 1996
- [5] Arioğlu, E., 2011. Tünel Ders Notları, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [6] "Babakaya Tüneli Segment Raporu", 2013
- [7] Terzaghi, K., "Rock Defects and Loads on Tunnel Supports"
- [8] "Seismic Design and Analysis of Underground Structures", International Tunnelling Association (ITA), 2001
- [9] "Seminer Notları", 2013
- [10] Bhawani Singh, Rajnish K. Goel, John A. Hudson Freng, "Tunnelling in Weak Rocks", Elsevier Geo-Engineering Book Series Volume 5, 2006
- [11] <http://www.herrenknecht.com>
- [12] <http://www.selitunnel.com/>

SULAMA UYGULAMALARI İÇİN TDR ÖLÇÜMLERİNDE KALİBRASYONUN ÖNEMİ

Coşkun GÜLSER
Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Samsun
cgulser@omu.edu.tr

Zeynep DEMİR
Toprak Gübre ve Su Kaynakları Merkez Araştırma Enstitüsü, Ankara
zeynep.demir@gthb.gov.tr

(Makalenin geliş tarihi: 10.02.2016, Makalenin kabul tarihi:30.03.2016)

ÖZ

Bu çalışmada kumlu killi tın bünyeye sahip farklı düzeylerde organik madde içeren bir toprakta TDR ile ölçülen (θ TDR) ve gravimetrik olarak belirlenen hacimsel su içeriği (θ) değerleri karşılaştırılmış, toprak nem içeriğinin belirlenmesi amacıyla yapılan TDR ölçümlerinde kalibrasyonun önemi tartışılmıştır. Araziye $1 \times 2 \text{ m}^2$ boyutundaki parsellere % 0, % 3, % 6 ve % 9 oranında çeltik kavuzu kompostu uygulamaları, toprağın 0-20 cm katmanındaki organik madde içeriğini % 1.09 ile % 6.29 arasında, hacim ağırlığı değerlerini ise 0.589 g/cm³ ile 1.020 g/cm³ arasında değiştirmiştir. Sulama uygulamaları için parsellerde gravimetrik olarak belirlenen hacimsel su içerikleri % 18.3 ile % 36.50 arasında değişirken, TDR ile ölçülen hacimsel su içerikleri ise % 38.0 ile % 72.0 arasında değişim göstermiştir. Kompost uygulamaları ile toprakta organik madde düzeyindeki artışlar hacim ağırlığı değerlerinin azalmasına, toplam gözenekliliğin ise artmasına neden olmuştur. Toprakların organik madde düzeyleri ile hacim ağırlığı (-0.703**), nispi doyumluk (-0.738**), gravimetrik olarak belirlenen hacimsel su içerikleri (-0.748**) ve TDR ile belirlenen hacimsel su içeriği (-0.580**) değerleri arasında istatistiksel olarak çok önemli düzeyde negatif korelasyonlar saptanmıştır. TDR okumalarıyla belirlenen θ TDR değerleri, hacim ağırlığı (0.617**) ve nispi doyumluk (0.596**) değerleri ile istatistiksel olarak çok önemli düzeyde korelasyonlar elde edilmiştir. Araziye TDR ile belirlenen θ TDR değerlerinin kalibrasyonu amacıyla gravimetrik olarak belirlenen hacimsel su içerikleri ve toprakların hacim ağırlıklarının kullanıldığı ikinci dereceden çoklu regresyon eşitliği oluşturulmuştur. Gravimetrik olarak ölçülen θ değerleri, θ TDR değerlerine (0.598**) oranla kalibrasyon eşitliğinden hesaplanan hacimsel su içeriği (θ E) değerleri (0.842**) ile daha yüksek korelasyon göstermiştir. θ değerleri ile θ TDR değerleri arasındaki hata kareler ortalamasının karekökü (RMSE) 0.244 ve nispi hata % 88.06 olarak belirlenirken, θ E ile θ değerleri arasındaki RMSE 0.023 ve nispi hata % 8.81 olarak hesaplanmıştır. TDR okumalarının ikinci dereceden kalibrasyon eşitliğinde kullanılmasıyla ölçülen θ E değerleri, farklı düzeyde organik madde içeriğine sahip topraklarda sulama uygulamalarında yapılabilecek hata oranlarını en aza indirmiş ve gerçek θ değerlerine daha yakın sonuçların elde edilmesini sağlamıştır.

Anahtar Kelimeler: TDR, çoklu regresyon, kalibrasyon, organik madde, hacimsel su

IMPORTANCE OF CALIBRATION IN TDR MEASUREMENTS FOR IRRIGATION PRACTICES

ABSTRACT

In this study, volumetric water contents measured by TDR (θ TDR) and gravimetrically in a sandy clay loam soil having different organic matter levels were compared and importance of calibration in TDR measurements for determining soil moisture content was discussed. In a field study, 0, 3, 6 and 9 % of compost applications into 0-20 cm depth of sandy clay loam soil increased soil organic matter content (SOM) from 1.09% to 6.29% and decreased bulk density from 1.02 g/cm³ to 0.589 g/cm³. While the volumetric water contents (θ) in the field measured gravimetrically changed between 18.30% and 36.50%, TDR measurements (θ TDR) changed between 38.00% and 72.00%. Increments in soil organic matter content by compost application caused to reduce in soil bulk density and to increase total porosity.

Soil organic matter content gave significant negative correlations with bulk density (-0.703**), relative saturation (-0.738*), volumetric water content determined by gravimetrically (-0.748**) and volumetric water content determined by TDR (-0.580**) values. TDR measurements (θ TDR) had significant positive correlations with bulk density (0.617**) and relative saturation (0.596**). In order to calibrate θ TDR values determined in field with TDR, a second order multiple regression equation was obtained using volumetric water contents determined by gravimetrically and bulk densities of soils. θ values measured gravimetrically showed a higher correlation with estimated volumetric water contents (θ E) using the calibration equation (0.842**) than θ TDR (0.598**) values. Root mean square error (RMSE) (0.244) and relative error (88.06%) between θ and θ TDR were higher than RMSE (0.023) and relative error (8.81%) between θ and θ E. values. θ E estimated using TDR measurements in the second order calibration equations decreased errors in soil moisture measurements including different organic matter contents and gave the more realistic results with θ values.

Keywords: TDR, multiple regression, calibration, organic matter, volumetric water

7 GİRİŞ

Toprakta hacimsel su içeriğinin izlenmesinde kullanılan Time domain reflectometre (TDR) aleti doğal kaynakların yönetimi, çevresel izleme, hassas tarım uygulamaları ve sulama programları gibi birçok araştırma alanında kullanılmaktadır. Hacimsel su içeriğinin (θ) bilinmesi tarımsal uygulamalarda optimum su kullanımı için sulamanın başlatılması ve durdurulması ve iyi kaliteli ürün elde edilmesinde [1] olduğu kadar aynı zamanda çevre kalitesi bakımından da toprakta besin elementi kaybı ve kimyasal madde taşınımının azaltılmasında son derece önemlidir [2]. Sulama uygulamalarında toprak nem içeriğinin ölçülmesi ve izlenmesi amacıyla farklı hassasiyet, işgücü, fiyat ve kullanım kolaylığına sahip birçok alet ve yöntem kullanılmaktadır [3]. Toprak nem içeriğinin TDR ile ölçümündeki temel prensip toprak nem içeriğine göre dielektrik sabitesindeki '□' değişimidir. Elektromanyetik dalganın bir vakum içerisindeki yayılma hızı ışık hızı (c) (3×10^8 m s⁻¹) ile benzerdir. İki metal çubuk arasındaki elektromanyetik dalganın hızı (v) ortamın dielektrik sabitesi ile $v=c/\sqrt{\epsilon}$ şeklinde ifade edilebilir. Elektromanyetik dalganın yayılma hızı (v) belirli bir seyahat zamanında (t) dalganın seyahat ettiği mesafeye (2L) bağlı olarak $v=2L/t$ şeklinde yazıldığında, bir ortama ait elektromanyetik dalganın yayılma hızından ölçülen dielektrik sabitesi $\epsilon=\left(\frac{ct}{2L}\right)^2$ olarak yazılır [4]. Su içeriği dışında TDR ölçümünde etkili olan faktörlerden bazıları kil içeriği, toprağın mineralojisi, organik madde içeriği, yüzey alanı ve hacim ağırlığı olarak bilinmektedir [5, 6, 7, 8, 9]. Jones ve ark. [10], hacimsel dielektrik sabitesini azaltan kil ve organik maddeye bağlı su ve toplam su içeriğine bağlı olarak TDR ölçümlerinde bireysel kalibrasyonun yapılması gerektiğini bildirmişlerdir.

Bu çalışmanın amacı kumlu killi tın bünyeye sahip farklı düzeylerde organik madde içeren bir toprakta TDR ile ölçülen (θ TDR) ve gravimetrik olarak belirlenen hacimsel su içeriği (θ) değerlerini karşılaştırmak ve toprak nem içeriğinin belirlenmesi amacıyla yapılan TDR ölçümlerinde kalibrasyonun önemini ortaya koymaktır.

8 MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışma Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi deneme sahasında yürütülmüştür. Çeltik kavuzu kompostu kumlu killi tın bünyeli toprağın 0-20 cm katmanına %0, %3, %6 ve %9 oranlarında üç tekrarlamalı olacak şekilde karıştırılmıştır. Çalışmada kullanılan kompost %21.14 C ve %0.55N içeriğine sahip olup C:N oranı 38.32'dir. Bazı toprak özelliklerinden tanecik büyüklük dağılımı hidrometre yöntemiyle [11], toprak reaksiyonu (pH) 1:1 (w:v) toprak su çözeltilisinde pH metreyle, elektriksel iletkenlik (EC25°C) aynı toprak su çözeltilisinde EC metreyle; toprak organik maddesi (OM) Walkley-Black yöntemiyle [12] belirlenmiştir. Deneme sahası toprağı kumlu killi tın bünyeli (%50.10 kum, % 26.53 silt, %23.37 kil); hafif alkalın pH (7.64)'lı ve tuzsuz (1.22 dS m⁻¹) olarak değerlendirilmiştir (Soil Survey Staff., 1993). Toprak hacim ağırlığı (BD) bozulmamış toprak örneklerinde belirlenmiştir [11]. Nispi doygunluk (RS) değerleri; $RS = \theta / F$ eşitliğinden hesaplanmıştır. Burada, θ arazi koşullarında hacimsel su içeriği, F toplam gözenekliliktir. Hacimsel su içeriği (θ) ve toplam gözeneklilik (F); $\theta = \text{gravimetrik nem içeriği (W)} \times \text{BD (g cm}^{-3}) / \text{suyun yoğunluğu (g cm}^{-3})$, ve $F = [1 - (\text{BD (g cm}^{-3}) / 2.65 (\text{tanecik yoğunluğu, g cm}^{-3}))]$ eşitlikleri yardımıyla hesaplanmıştır. Her bir parselin toprak nem içeriği Field Scout TDR 300 yardımıyla ölçülmüştür. Toprak özelliklerinin

TDR ölçümleri üzerine doğrudan ve dolaylı etkileri TARIST [13] programında iz (path) analizi ile belirlenmiştir [14]. TDR okumaları ve toprak özellikleri arasındaki korelasyonlar ve hacimsel su içeriğinin tahini için oluşturulan pedotransfer eşitlik (θ_E) Minitab 13.2 programında yapılmıştır. Hata kareler ortalamasının karekökü (RMSE) yapılan tahmindeki hassaslığı test etmek için hesaplanmıştır.

9 SONUÇLAR VE TARTIŞMA

TDR ölçümleri ve bazı toprak özelliklerine ait tanımlayıcı istatistikler Tablo 1'de ve bunlar arasındaki korelasyonlar Tablo 2'de verilmiştir. Kompost uygulamaları toprağın OM içeriğini %1.09 'dan %6.29'a artırırken, hacim ağırlığı (BD) değerlerini 1.22 g cm⁻³ 'den 0.589 g cm⁻³'e azaltmış ve toplam gözeneklilik (F) değerlerini %61.50'den %77.80'e artırmıştır. Toprak OM içeriği F (0.703**) ile önemli pozitif ve BD (0.703**) ile önemli negatif ilişki vermiştir.

Çizelge 1 - Toprak özellikleri ve TDR ölçümleri için tanımlayıcı istatistikler

	Minimum	Maksimum	Ortalama	Std. Sapma
TDR	0.38	0.72	0.56	0.098
W	0.31	0.42	0.35	0.027
θ	0.18	0.36	0.27	0.044
θ_E	0.20	0.32	0.27	0.035
BD, g cm ⁻³	0.59	1.02	0.79	0.144
F	0.61	0.78	0.70	0.054
RS	0.23	0.59	0.39	0.094
OM, %	1.09	6.29	3.87	1.529

Çizelge 2 - Toprak özellikleri arasındaki korelasyonlar

	θ	θ_E	W	BD	F	RS	OM
TDR	0.59**	0.84**	-0.18	0.62**	-0.62**	0.60**	-0.58**
θ		0.89**	-0.02	0.91**	-0.92**	0.99**	-0.75**
θ_E			-0.34	0.94**	-0.94**	0.91**	-0.73**
W				-0.42*	0.42*	-0.17	-0.07
BD					-1.00**	0.96**	-0.70**
F						-0.96**	0.70**
RS							-0.74**

Gravimetrik olarak ölçülen hacimsel su içeriği %18.30 ve %36.50 arasında değişirken, TDR ile ölçülen hacimsel su içeriği (θ_{TDR}) %38.00 ile %72.00 arasında değişmiştir (Tablo 1). Toprak OM içeriği θ_{TDR} ile çok önemli pozitif korelasyon vermiştir (-0.580**). TDR ölçümleri (θ_{TDR}) BD (0.617**) ve nispi doymunluk (RS) (0.596**) değerleri ile çok önemli pozitif korelasyonlar göstermiştir. Tomer ve ark. [7] hacim ağırlığındaki değişimlerin dielektrik sabitesinde önemli değişimlere yol açtığını ve hacim ağırlığı 1 g cm⁻³'ten daha düşük

topraklarda materyalin hacim ağırlığı ile doğrudan ilişkili olan TDR ölçümleri için özel kalibrasyonlar gerektiğini bildirmişlerdir. Eğer BD önemli derecede yüksekse (>1.7 g cm⁻³) TDR sinyallerinin nem içeriğinin üzerinde olduğu, eğer BD değerleri nispeten daha düşükse TDR sinyallerinin daha düşük olduğu belirtilmiştir. Bu durum toprak kütleindeki artış ve hava hacmindeki azalma ile havaya oranla toprak ortamında daha yüksek dielektrik sabitesinin elde edilmesi ile ilişkilidir [15, 16].

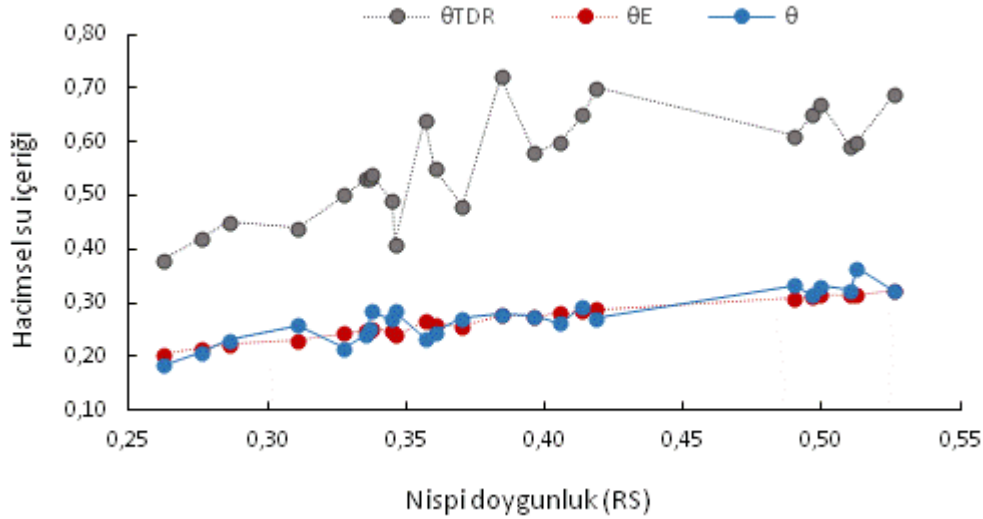
İz analizi sonuçlarına göre (Tablo 3), Toprak özelliklerinden bazılarının TDR okumaları üzerine doğrudan etkileri BD (%61.78) > OM (%42.20) > θ (%23.34) > gravimetrik toprak nem içeriği (W) (%8.34) şeklinde sıralanmaktadır. Toprak OM, θ ve W içerikleri TDR ölçümleri üzerine en yüksek dolaylı etkilerini ise BD değerleri üzerinden göstermiştir. TDR ile ölçülen

hacimsel su içeriklerini (θ_{TDR}) kalibre etmek için oluşturulan ikinci dereceden pedotransfer eşitlikle (çoklu regresyon) hacimsel su içerikleri (θ_E) hesaplanmıştır.

$$\theta_E = 0.013 + 0.571 \text{ TDR} - 0.014 \text{ BD} - 0.37 \text{ TDR}^2 + 0.103 \text{ BD}^2$$

Çizelge 3 - Toprak özelliklerinin TDR ölçümleri üzerine doğrudan ve dolaylı etkileri

	Doğrudan etki, %	Dolaylı etkileri, %			
		BD	OM	W	θ
BD	61.78	-	15.63	1.25	21.34
OM	42.20	38.46	-	0.78	18.55
W	8.34	71.94	18.28	-	1.44
θ	23.34	56.60	19.99	0.07	-



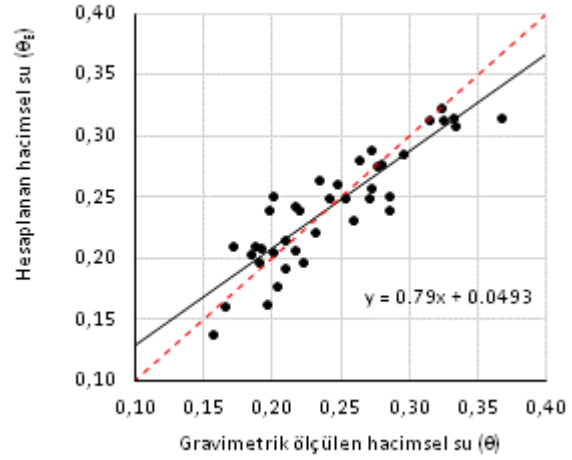
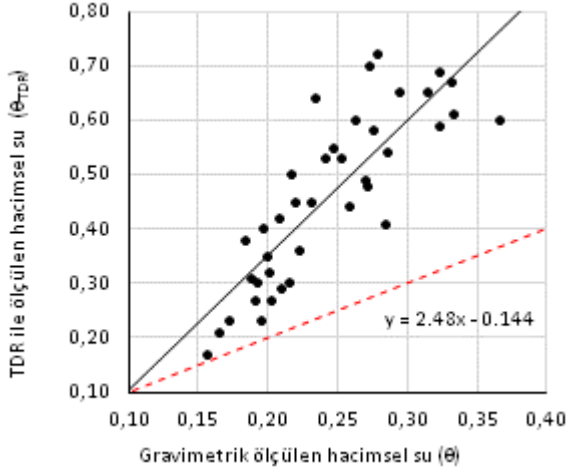
Şekil 1 - Farklı nispi doyum oranlarında TDR ile ölçülen (θ_{TDR}), hesaplanan (θ_E) ve gravimetrik olarak ölçülen hacimsel su (θ) içeriklerinin karşılaştırılması.

Farklı nispi doyum oranlarında TDR ile ölçülen (θ_{TDR}), hesaplanan (θ_E) ve gravimetrik olarak ölçülen hacimsel su (θ) içeriklerinin karşılaştırılması Şekil 1'de verilmiştir. Gravimetrik olarak ölçülen hacimsel su (θ) içeriklerinin pedotransfer eşitlikten hesaplanan hacimsel su içerikleriyle (θ_E) (0.842**) TDR ile ölçülen hacimsel su içeriklerine göre (θ_{TDR}) (0.598**) daha yüksek ilişki göstermiştir (Şekil 1). Gravimetrik olarak ölçülen hacimsel su içeriği

(θ) ile TDR'la ölçülen hacimsel su içeriği (θ_{TDR}) arasındaki regresyon katsayısı (2.48), θ ve hesaplanan hacimsel su içeriği (θ_E) arasındaki regresyon katsayısından (0.79) daha yüksek bulunmuştur. Regresyon katsayısının 1'e yakın olması durumunda ilişkinin tahminindeki doğruluk derecesinin arttığı bilinmektedir. θ ve θ_{TDR} değerleri arasındaki hata kareler ortalamasının karekökü (RMSE) (0.244) ve nispi hata (%88.06), θ ve θ_E değerleri arasındaki

RMSE (0.023) ve nispi hatadan (%8.81) daha yüksek bulunmuştur. Serrarens ve ark. [17], toprak-prob temasının ve toprak sıkışmasının TDR ölçümlerinin hassaslığını önemli derecede etkilediğini bildirmişlerdir. Bu çalışmada toprak OM'nin artması BD değerlerini azaltmış ve F

değerlerini artırmıştır. Bu nedenle, gravimetrik olarak ölçülen hacimsel su içeriği (θ) ve aynı zamanda TDR ile ölçülen hacimsel su içeriği değerleri (θ_{TDR}) kumlu killi tınlı toprakta OM içeriğinin artmasıyla önemli düzeyde azalmıştır (Tablo 2).



Şekil 2 - Gravimetrik olarak ölçülen hacimsel su içerikleri (θ) ile TDR ile ölçülen (θ_{TDR}) ve hesaplanan (θ_E) hacimsel su içerikleri arasındaki regresyonlar.

TDR ölçüm değerlerinin ikinci derecede pedotransfer eşitlikte kullanılması ile hesaplanan hacimsel su içerikleri (θ_E) TDR ölçümlerine göre tahmin edilen hacimsel su içeriği değerlerinde RMSE ve nispi hata değerlerini azaltmıştır. Toprak OM içeriğinin artması toprakta nispi doygunluk düzeyini önemli derecede azaltması nedeniyle hacimsel su içeriği ve TDR ölçümlerinin de önemli derecede azalmasına neden olmuştur. Eğer farklı OM düzeylerine sahip bir arazi çalışması planlanmışsa, aynı tekstür sınıfındaki toprakta TDR ile ölçülen hacimsel su içeriklerinin daha hassas olması için toprağın hacim ağırlığı değerlerine göre kalibre edilmesi gerekir.

10 KAYNAKLAR

- [1] Hanson, B., Schwankl, L., Fulton, A., "Scheduling Irrigations: When and how much water to apply" Water Management Series publication number 3396. Davis, California, Department of Land, Air and Water Resources, University of California, 2004.
- [2] Leib, B.G., Hattendorf, M., Elliott, T., Matthews, G., "Adoption and adaptation of scientific irrigation scheduling:Trends from

Washington, USA as of 1998" Agricultural Water Manag., 55, pp 105-120, 2002.

- [3] Ley, T. W., R. G. Stevens, R. R. Topielec, and W. H. Neibling. "Soil water monitoring and measurement" A Pacific Northwest Publication. Washington, Oregon and Idaho. PNW 475, Oregon State University, 1994.
- [4] Fellner-Feldegg, H., "The measurement of dielectrics in the time domain" J. of Phys.& Chem., v.73, p.616-623, 1969.
- [5] Regalado, C.M., Muñoz-Carpena, R., Socorro, A.R., Hernández Moreno, J.M., "Time domain reflectometry models as a tool to understand the dielectric response of volcanic soils" Geoderma 117 (3-4), 313-330, 2003.
- [6] Weitz, A.M., W.T. Grauel, M. Keller y E. Veldkamp. 1997. Calibration of time domain reflectometry technique using undisturbed soil samples from humid tropical soils of volcanic origin. Water. Resour. Res., 33:1241-1249.
- [7] Tomer, M.D., Clothier, B.E., Vogeler, I., Green, S., "A dielectric-water content relationship for sandy volcanic soils in New

- Zealand" *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63, 777–781, 1999.
- [8] Topp, G.C., Yanuka, M., Zebchuk, W.D., Zegelin, S., 1988. Determination of electrical conductivity using time domain reflectometry: soil and water experiments in coaxial lines. *Water Resour. Res.* 24, 945–952.
- [9] Roth, C.H., M.A. Malickiy, Plagge, R., "Empirical evaluation of the relationship between soil dielectric constant and volumetric water content as the basis for calibrating soil moisture measurements by TDR" *Journal Soil Sci.*, 43:1-13, 1992.
- [10] Jones, S.B., Wraith, J.M., Or, D., "Time domain reflectometry measurement principles and applications" *Hydrol. Process.* 16, 141–153. DOI: 10.1002/hyp.513, 2002.
- [11] Demiralay, I., "Methods of Soil Physical Analysis". Atatürk Univ. Faculty of Agric. Publ., Erzurum, 111-120, 1993.
- [12] Kacar, B., "Chemical analysis of plant and soil analysis" Ankara Univ. Faculty of Agric. Publ. No. 3 Ankara, 1994.
- [13] TARIST, General Statistic Version 4.01 Dos. Egean Forestry Research Institute-Egean Univ. Agricultural Faculty, Izmir, Turkey, 1994.
- [14] Wright, S. 1968. *Path Analysis: Theory, Evolution and Genetics of Populations*. Vol. I. Genetic and Biometrical Foundations. Univ. Chicago Press, IL USA.
- [15] Dirksen, C., Dasberg, S., "Improved calibration of time domain reflectometry soil water measurements" *Soil Science Society of America Journal*, v.57, p.660-667, 1993.
- [16] Ponizovsky A., Chudinova S.M., Pachepsky Y.A., "Performance of TDR calibration models as affected by soil texture" *Journal of Hydrology* 218: 35–43, 1996.
- [17] Serrarens, D., MacIntyre, J.L., Hopmans, JW, Bassoi, L.H., "Soil moisture calibration of TDR multilevel probes" *Scientia Agricola*, v.57, n.2, p.349-354, 2000.