

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



SAYI: 112

DEVLET SU İŞLERİ
GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

DSİ TEKNİK BÜLTENİ

DSİ TEKNİK BÜLTENİ

Sahibi

DEVLET SU İŞLERİ
GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
Adına
Akif ÖZKALDI

Sorumlu Müdür

M. Fatih KOCABEYLER

Yayın ve Hakem Kurulu

Yakup DARAMA
Tuncer DİNÇERGÖK
Ali KILIÇ
Ali SARANER
Kemal ŞAHİN

Haberleşme Adresi

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

Tel (312) 399 2793
Faks (312) 399 2795
bulten@dsi.gov.tr

Basıldığı Yer

İdari ve Mali İşler Dairesi
Başkanlığı
Basım ve Foto-Film
Şube Müdürlüğü
Etlik - Ankara

SAYI : 112

YIL : TEMMUZ 2011

Yayın Türü

Yaygın süreli yayın
Üç ayda bir yayınlanır

ISSN

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

İÇİNDEKİLER

| | |
|--|----|
| HAVA VANALARININ SEÇİMİ, EBATLANDIRILMASI VE YERLEŞTİRİLMESİ Köksal Buğra ÇELİK | 1 |
| TEMEL ZEMİN TAŞIMA GÜCÜNÜN SİSMİK YÖNTEMLERLE HESAPLANMASI Erol Tahsin BOZ | 13 |
| HİDROLOJİK ÇALIŞMALARDA KULLANILAN SU BÜTÇESİ BİLEŞENLERİNİN HESABI İÇİN BİLGİSAYAR PROGRAMI Müfit Şefik DOĞDU | 19 |

DSİ TEKNİK BÜLTENİ'NİN AMACI

DSİ Teknik Bülteni'nde, su ile ilgili konularda, temel ve uygulamalı mühendislik alanlarında gönderilen bildirimler yayımlanır. Bildirimler, ilk önce konunun uzmanı tarafından incelenir ve değerlendirilir. Daha sonra, Hakem Kurulu uzman görüşünü de esas alarak bildirim yayımlanıp yayımlanmamasına karar verir. Bildirimlerin tamamı veya büyük bir kısmı diğer yayın organlarında yayımlanmamış olması gereklidir.

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, italic 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 sütün olarak yazılmalı ve sütün aralarındaki boşluk 10 mm olmalıdır.
12. Paragraf sola dayalı olarak başlamalı ve paragraflar arasında bir boş satır bırakılmalıdır.
13. Eşitlikler bilgisayarda yazılmalı ve numaralandırılmalıdır. 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 virgöl 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. Yayımlanan 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) 399 2793

Faks (312) 399 2795

E-posta bulten@dsi.gov.tr

Web <http://www.dsi.gov.tr/kutuphane/yayinlar.htm>

HAVA VANALARININ SEÇİMİ, EBATLANDIRILMASI VE YERLEŞTİRİLMESİ

Köksal Buğra ÇELİK
İnşaat Yüksek Mühendisi, DSİ 13. Bölge Müdürlüğü, ANTALYA
koksalc@dsi.gov.tr

(Makalenin geliş tarihi: 09.06.2011, Makalenin kabul tarihi: 14.02.2012)

ÖZET

Havanın mevcudiyeti boru hatlarının su taşıma kapasitesini etkiler. Hava kabarcıkları etkili kesit alanının düşmesine sebep olur. Pompajlı sistemlerde havanın mevcudiyeti enerji tüketiminin artmasına ve akışın azalmasına yol açar. Boru hatlarındaki havanın kontrolünde en çok kullanılan cihazlar hava vanalarıdır. Hava vanalarının tüm boru hattı boyunca doğru ebatlandırılması ve uygun yer seçimi çok önemlidir. Hava vanalarının üç temel görevi bulunmaktadır. Bunlar, dolun sırasında havanın boşaltılması, işletme sırasında havanın uzaklaştırılması ve tahliye esnasında boru çökmesinin önlenmesidir. Bu makale, hatlardaki hava mevcudiyetini, hava vanalarının seçimini, ebatlandırılmasını ve yerleştirilmesini Amerikan Su İşleri Birliği (AWWA) El Kitabı 51, Hava Tahliye, Hava/Vakum ve Bileşik Hava Vanaları'ndaki tavsiyeler doğrultusunda incelemeyi amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Hava Tahliye Vanaları, Hava/Vakum Vanaları, Bileşik Hava Vanaları, AWWA M51, Hava kabarcıkları, Boru hatları

SELECTING, SIZING, AND LOCATING AIR VALVES

ABSTRACT

The presence of air can affect the water carrying capacity of the pipelines. Air pockets can lead to reducing the effective cross section area. In pumping systems the presence of air can be reflected in increased energy consumption and flow reduction. Air valves are the most used devices for air control in the pipelines. The correct sizing and appropriate placing of air valves throughout the entire length of the pipeline is very important. Air valves have three primary purposes. These are evacuation of air during filling, removal of air during operation, and prevent pipe collapse during draining. This paper is intended to analyse air presence in the pipelines, selecting, sizing, and locating air valves according to the recommendations of American Water Works Association (AWWA) Manual 51, Air Release, Air/Vacuum, and Combination Air Valves.

Keywords: Air Release Valves, Air/Vacuum Valves, Combination Air Valves, AWWA M51, Air bubbles, Pipelines

1 GİRİŞ

Hava vanaları, boru hattı veya sisteminin doldurulması, boşaltılması veya işletilmesi sırasında hattaki havayı otomatik olarak tahliye eden veya hatta hava alan hidromekanik cihazlardır. Boru hattının emniyetli işletmesi ve verimi boru hattındaki havanın sürekli atılmasına bağlıdır. Boru hatlarındaki havanın kontrolü genellikle hava vanaları vasıtası ile sağlanmaktadır. Hava vanalarının üç temel amacı bulunmaktadır. Bunlar; hattın doldurulması esnasında havanın tahliye

edilmesi, işletme sırasında havanın boşaltılması ve hattın tahliyesi sırasında vakum sonucu borunun çökmesinin önlenmesidir.

Makalede boru hatlarındaki havanın oluşumu, boru hatlarına etkileri, hatlara hava girişinin sebepleri, hava vanası tipleri ve özellikleri, boru hattı boyunca yerleştirilme kriterleri, vana orifis çaplarının belirlenmesi ile ilgili genel öneriler Amerikan Su İşleri Birliği (AWWA) El Kitabı 51'in 2001 basımı temel alınarak incelenmiştir.

2 BORU HATLARINDAKİ HAVANIN OLUŞUMU VE SONUÇLARI

Standart şartlarda su hacimsel olarak en az % 2 oranında çözünmüş hava içerir, bu oran boru hattındaki suyun basınç ve sıcaklığına bağlı olarak daha fazla da olabilir. Henry Yasası'na göre bir çözelti içinde çözünen gazın miktarı çözelti üzerindeki gazın basıncı ile doğru orantılıdır. Bu sebeple su basınçlı hale getirildiğinde hava tutma kapasitesi son derece artar. Gazlı içeceklerde kabarcıkların kapağın açılmasından sonra oluşmasının sebebi akışkan üzerindeki basıncın azalması ve fazla karbondioksit gazının hızla açığa çıkmasıdır. Boru hatlarında da havanın çözünmesiyle benzer bir durum oluşabilir. Hava bir kez çözelti dışına çıkınca tekrar çözeltiye dönmeyerek hava kabarcıkları şeklinde boru hattının tepe noktalarında birikir. Boru hatlarında kısmi açık vanalar, kısmi dolu hatlardaki kaskad akımları, boru çapları ve eğimlerdeki değişimler sonucu akış hızındaki değişimler ve boru hattı yüksekliklerindeki değişimler sonucu oluşan düşük basınçlı zonlar sebebiyle boru hattındaki hava çözeltiden ayrışır. Hava kabarcıkları borunun en kesit alanını daraltarak suyun akışını azaltabilir ve hatta hava kabarcıkları hacminin yeterli olması durumunda boru hattındaki suyun akışını tamamen durdurabilir. Genellikle suyun akış hızı hava kabarcıklarını mansaptaki bir tepe noktasında biriktirmek üzere sürüklemeye yeterlidir. Hava kabarcıkları boru hattında oluşan yük kayıplarını artırır. Boru hattındaki ilave yük kayıpları akışı düşürür ve hattın pompajlı olması durumunda enerji sarfiyatını artırır. Boru hatlarında hava kabarcıklarının yerinin saptanması oldukça güç olup bunlar şebekenin toplam verimini düşürür. Hava kabarcıkları aynı zamanda su darbesi problemleri, boru hattında patlamalar, boru hattında gürültü gibi problemlere ve kontrol vanalarının, debi sayaçlarının ve diğer ekipmanların randımanlarının düşmesine sebep olur. Filtrelerde hapsolan hava kabarcıkları filtrelerin verimini düşürür. Çelik borularda, vana ve benzeri aparatlarda korozyonu hızlandırır [6].

2.1 Boru Hattına Hava Girişinin Sebepleri

Çözeltiden ayrılan havaya ek olarak, boru hatlarındaki basıncın atmosfer basıncının altına düştüğü, sızdıran birleşim noktalarından hatta hava girebilir. Pompa emişindeki vortekste, negatif basıncın olduğu pompa flanşlarında ve boru hattının hidrolik eğimin üzerinde olduğu tüm noktalarda bu durum mevcuttur. Hava, boru hattına pompanın tamamen durması sonrası hava/vakum ve bileşik hava vanaları ve boru hattı basıncının atmosfer basıncının altında olduğu noktalardaki hava tahliye vanalarının

orifislerinden vorteksi önleyecek şekilde tasarlanmamış pompa emme boruları yoluyla girebilir. Son olarak düşey türbin ve kuyu pompaları pompa kolonunda hava ile çalışmaya başlar ve bu hava çekvalf yolu ile boru hattına geçebilir.

3 HAVA VANASI TİPLERİ

Hava vanalarının üç temel kullanım amacı bulunmaktadır. Bunlar:

i. Hattın doldurulması sırasında havanın tahliye edilmesi

Boru doldurulurken boru hattına verilecek debi, işletme debisinin % 5'i ile %15'i arasında olmalıdır. Dolum esnasında hava çıkışına izin verecek büyük orifisli hava vanaları kullanılmalıdır. Burada büyük orifisten kastedilen 25 mm'den daha büyük çaplardır [4].

Bu tip hava vanaları boru hattı dolduktan sonra kapalı kalmak üzere tasarlanır. Bu sebeple işletme esnasında biriken az miktardaki havanın tahliyesi için kullanılamazlar. Bu vanalar boru hattındaki basınç atmosfer basıncının altına düştüğü anda açılırlar. Böylece boru hattına tekrar hava alınarak vakum oluşması önlenir.

ii. İşletme sırasında havanın boşaltılması

İşletme esnasında havanın tahliyesi için küçük orifisli hava vanaları kullanılır. Küçük orifis şamandıranın açılması için gerekli kuvvetin şamandıranın kapanması için gerekli kuvvet tarafından aşılmasını önler.

iii. Hattın boşaltılması sırasında boru çökmesinin önlenmesi

Tabii zemin üzerinde bulunan çelik boru hatlarında hızlı tahliye işlemleri veya boru hattının patlaması sırasında vakum oluşabilir.

Hava vanaları kullanım amaçlarına göre başlıca üç tipte imal edilmektedir [3].

- Hava/vakum vanaları veya tek büyük orifisli vanalar
- Hava tahliye vanaları veya tek küçük orifisli vanalar
- Bileşik hava vanaları veya çift orifisli vanalar

İstenen kapasiteye tek bir hava vanası ile erişilemezse en fazla dört adet hava vanası boru hattına tek bir T parçası ile bağlanmak kaydı ile kullanılabilir [4].

Hava vanaları don etkisinden korunmak için betonarme yapılarla don derinliğinin altına yerleştirilmeli ve bu yapılarda hava sirkülasyonu sağlanmalıdır.

Hava vanaları, hava tahliye vanaları, hava/vakum vanaları ve bileşik hava vanaları olmak üzere üç kısımda incelenecektir.

Bileşik hava vanaları, hava vanalarının tüm fonksiyonlarını yerine getirdiğinden arazide montaj hatalarına ve hatalı işletme şartlarına karşı her halükarda hattın korunmasını sağlamak amacıyla hava/vakum ve hava tahliye vanalarına alternatif olarak kullanılabilir. Bileşik hava vanalarının tek gövdeli bileşik hava vanası ve çift gövdeli bileşik hava vanası olmak üzere iki tip tasarımı mevcuttur. Çift gövdeli bileşik hava vanası, bir hava/vakum vanasına bağlanmış bir hava tahliye vanasından oluşur. Çift gövdeli bileşik hava vanasının bakımı esnasında hava/vakum vanası çalışırken hava tahliye vanası kapatılır ve tamirata yapılabilir. Tek gövdeli bileşik hava vanası ise daha ekonomik ve küçük ebatlı olma avantajlarına sahiptir.

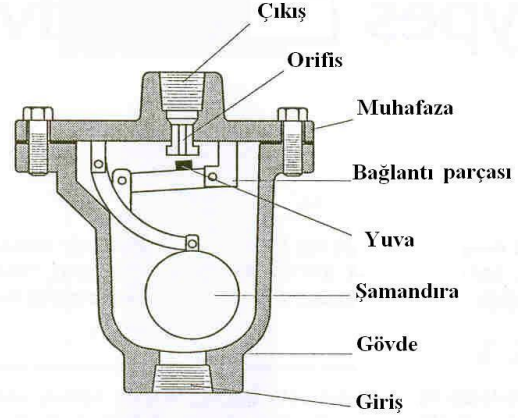
3.1 Hava Tahliye Vanaları

Hava tahliye vanaları veya diğer bir deyişle küçük orifisli vanalar, sistem atmosfer basıncının üstünde basınçlarda çalışırken boru hattında biriken küçük hava kabarcıklarının otomatik tahliyesinin sağlanması amacı ile tasarlanmıştır.

Tipik hava tahliye mekanizması Şekil 1'de gösterilmektedir. Hava tahliye vanaları boru hattı veya giriş bağlantısından oldukça küçük çapta olan çıkış orifisleriyle tanımlanır. Orifis çapları genellikle 1,6 mm ile 25 mm arasında değişirken giriş bağlantı çapları 13 mm ile 150 mm arasında değişir. Vana, havayı alınca açılır ve hava orifisle atılır. Su vanaya girerken şamandıra yükselerek orifisi kapatır. Boru sisteminde biriken hava vanaya girince su ile yer değiştirir, şamandıra düşer ve hava orifisle atılır. Uygun şamandıra ağırlığı ve manivela güç mekanizması ile tasarlanan hava tahliye vanası, maksimum işletme basıncına kadar olan her basınçta vananın açılmasına izin verir.

3.2 Hava/Vakum Vanaları

Hava/vakum vanaları ya da başka bir deyişle büyük orifisli vanalar büyük miktarda havayı hattın doldurulması esnasında otomatik olarak tahliye etmek, iç basınç atmosfer basıncının altına düştüğünde ise büyük miktarda havayı otomatik olarak hatta almak amacı ile tasarlanmıştır. Negatif basınç, su kolonu ayrılması, boru hattının tahliyesi, pompa arızaları veya boru hattının patlaması gibi sebeplerle oluşabilir.



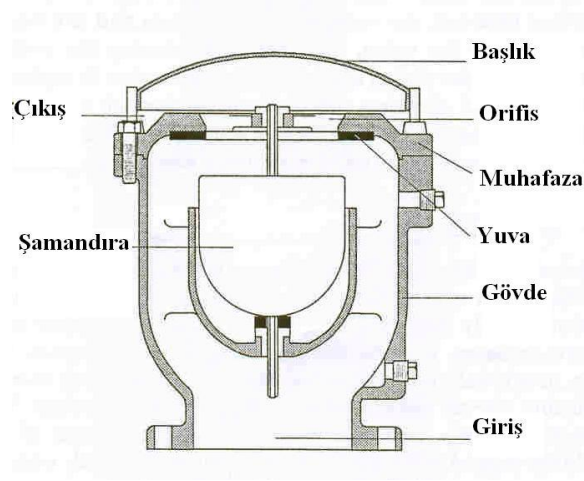
Şekil 1. Hava tahliye vanası [1]

Tipik bir hava/vakum vanası Şekil 2'de gösterilmektedir. Hava/vakum vanaları orifis çapları 13 mm ile 500 mm arasında değişmekte olup vana girişinin anma çapı ile uyumludur. Boru hattı su ile doldurulurken boru hattındaki hava, basınç dalgalarını minimize etmek için uniform bir şekilde atılmalıdır. Aynı şekilde pompaların ani durması veya boru hattı tahliye edilirken boru hattı içine hava alınarak boru hattının çökmesine ve sistemde basınç artışları oluşmasına sebebiyet veren vakum oluşması önlenmelidir. Hava/vakum vanasının çalışma prensibi orifis çapının oldukça büyük olması ve basınç altında açılmaması haricinde hava tahliye vanasına benzerdir. Hava/vakum vanası büyük miktarda havayı orifisi vasıtasıyla atar. Sistemin doldurulması sırasında su girerken şamandıra yükselerek orifisi kapatır. Hava/vakum vanası bir kere kapanınca boru hattı atmosfer basıncının üzerindeki basınçlarda çalışırken veya içerisinde su mevcutken yeniden havayı tahliye etmek amacıyla açılmaz.

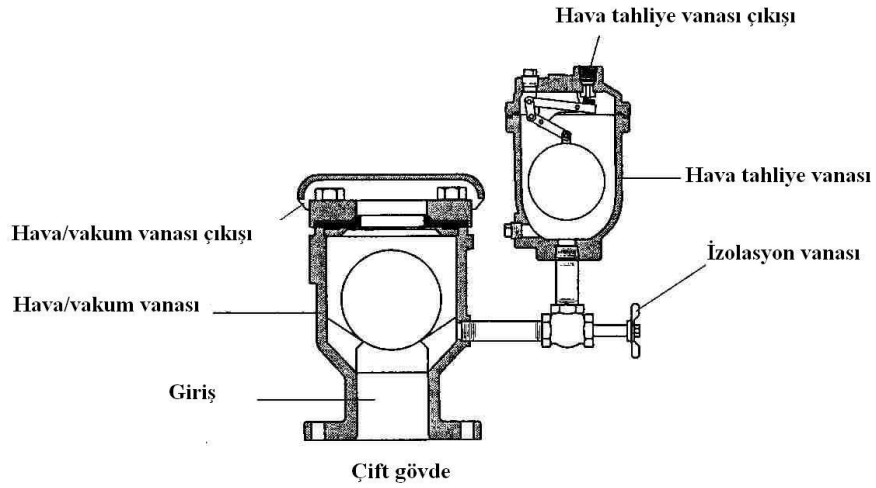
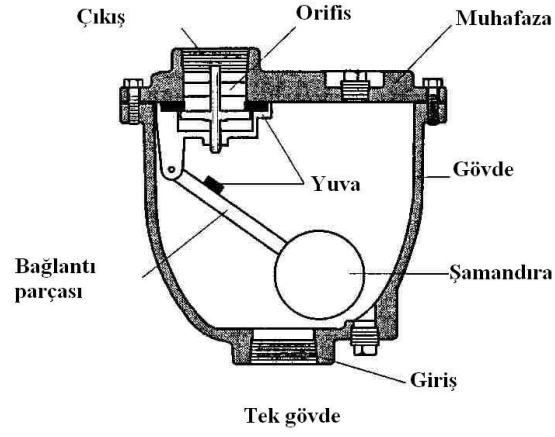
3.3 Bileşik Hava Vanaları

Bileşik hava vanaları hava/vakum vanalarının fonksiyonlarını yerine getirmek amacı ile tasarlanmış olup buna ilaveten basınç altında çalışırken küçük hava kabarcıklarını hava tahliye vanaları gibi boru hattından tahliye ederler.

Bileşik hava vanaları Şekil 3'de görüldüğü gibi tek gövdeli veya çift gövdeli olarak üretilmektedir.



Şekil 2. Hava/vakum vanası [1]



Şekil 3. Tek gövdeli ve çift gövdeli bileşik hava vanaları [1]

4 HAVA VANALARININ BORU HATTI BOYUNCA YERLEŞTİRİLMESİ

Hava tahliye, hava/vakum ve bileşik hava vanalarının boru hattı üzerinde uygun şekilde yerleőtirilmeleri de en az uygun vana çapının seçilmesi kadar önemlidir. Yanlış bir noktaya yerleőtirilmiş hava vanası görevini yerine getiremez. Aşağıda yerleşim yerleri ve vana tiplerine göre genel öneriler AWWA M51 çerçevesinde verilmiştir. Ancak belirtilenlerin dışında bazı noktalara da vana yerleştirilmesi gerekebilir. Tipik vana yerleşimlerini gösteren örnek bir iletim hattı profili Tablo 1'de verilmektedir. Hava vanaları şebekede hidrant ve servis elemanları vasıtası ile hapsolmuş havanın atıldığı küçük çaplı boru hatlarının olduğu sistemlerde gerekemeyebilir [1] .

Hidrantlar aynı zamanda boru hattındaki havanın tahliyesinde de bir araç olarak kullanılabilir. Deneyimler hidrantların ve servis

bağlantılarının performans açısından yeterli hava tahliyesini sağladıklarını göstermiştir [1] .

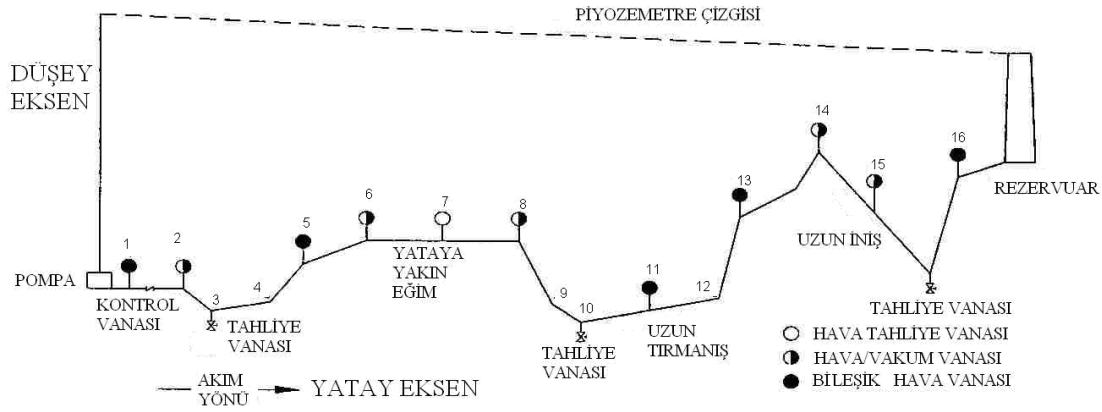
Boru eğiminin (+) olduğu yani akış yönü ile boru hattı eğiminin aynı olduğu aşağı doğru giden hatlarda gerekli hızlar sağlanır ise hava problemleri oluşmaz. Aşağı doğru giden bir boru hattında hava kabarcıklarının sürüklenmesi için gerekli hızların belirlenmesinde kullanılan denklem aşağıda verilmektedir [7] .

$$v = \sqrt{gD} (0,825 + 0,25\sqrt{\sin\theta}) \quad (4.1)$$

v = Boru hattındaki havanın sürüklenmesi için gerekli hız (m/s)

D = Boru iç çapı (m)

θ = Aşağı yönlü boru hattının açısı (°)



Şekil 4. Tipik vana yerleşimi [1]

Tablo 1. Tipik vana yerleşimini gösteren örnek boru hattı profili [1]

| No | Açıklama | Önerilen tipler | No | Açıklama | Önerilen tipler |
|----|--------------------------|---------------------------|----|--------------------------|-------------------------|
| 1 | Pompa deşarjı | Hava/vakum | 9 | Azalan aşağı yönlü eğim | Vanaya ihtiyaç yok |
| 2 | Artan aşağı yönlü eğim | Bileşik | 10 | Düşük nokta | Vanaya ihtiyaç yok |
| 3 | Düşük nokta | Vanaya ihtiyaç yok | 11 | Uzun tırmanış | Hava/vakum veya bileşik |
| 4 | Artan yukarı yönlü eğim | Vanaya ihtiyaç yok | 12 | Artan yukarı yönlü eğim | Vanaya ihtiyaç yok |
| 5 | Azalan yukarı yönlü eğim | Hava/vakum veya bileşik | 13 | Azalan yukarı yönlü eğim | Hava/vakum veya bileşik |
| 6 | Yatay başlangıç | Bileşik | 14 | Tepe nokta | Bileşik |
| 7 | Yatay | Hava tahliye veya bileşik | 15 | Uzun iniş | Hava/vakum veya bileşik |
| 8 | Yatay bitiş | Bileşik | 16 | Azalan yukarı yönlü eğim | Hava/vakum veya bileşik |

4.1 Önerilen Vana Tipleri ve Yerleşimleri

Hava vanaları aşağıda belirtilen noktalara yerleştirilmelidir.

Tepe noktaları:

Bileşik hava vanaları boru hattının tepe noktalarına boru hattı dolarken ve işletme sırasında hava tahliyesini, boru hattı tahliye edilirken hava girişini sağlamak ve vakuma karşı hattı korumak amacı ile yerleştirilir. Hava, tepe noktası yerine onun hemen mansabında birirmektedir. Bu sebeple birçok imalatçı firma, vananın uygulama sırasında tam olarak tepe noktasına yerleştirilmesi yerine boru hattı ile piyezometre hattının kesiştiği noktaya yani tepe noktasının birkaç metre mansabına yerleştirilmesini tavsiye etmektedir.

Daha önce de vurgulandığı gibi bileşik hava vanaları, hava vanalarının tüm fonksiyonlarını yerine getirdiğinden arazide montaj hatalarına ve hatalı işletme şartlarına karşı her halükarda hattın korunmasını temin etmek maksadı ile hava/vakum ve hava tahliye vanaları yerine de kullanılabilir.

Hat vanaları: (Tablo 1'de gösterilmemiştir)

Hava/vakum veya bileşik hava vanaları hat vanalarının tahliye edilen tarafına yerleştirilerek boru hattının tahliyesini kolaylaştırır.

Artan aşağı yönlü eğim:

Aşağı yönlü eğimde ani artışların olduğu noktalara bileşik hava vanaları yerleştirilmelidir.

Azalan yukarı yönlü eğim:

Yukarı yönlü eğimde ani azalışların olduğu noktalara hava/vakum veya bileşik hava vanaları yerleştirilmelidir.

Uzun tırmanışlar:

Boru hattının yükselmekte olduğu kesimlerde her 400 m ile 800 m mesafede bir hava/vakum veya bileşik hava vanası yerleştirilmelidir.

Uzun inişler:

Boru hattının aşağı yönlü olduğu kesimlerde her 400 m ile 800 m mesafede bir hava tahliye veya bileşik hava vanası yerleştirilmelidir.

Yatay kesimler:

Uzun yatay boru hattı başlangıç ve bitişlerine bileşik hava vanaları yerleştirilmeli, yatay kesimde de her 400 m ile 800 m mesafede

bir hava tahliye vanası ya da bileşik hava vanası yerleştirilmelidir.

Venturimetreler:

(Tablo 1'de gösterilmemiştir)

Hapsolmuş havanın sebep olduğu ölçüm hatalarının önlenmesi için venturimetrelerin membana hava tahliye vanaları yerleştirilmelidir.

Derin kuyu ve düşey türbin pompaları:

Derin kuyu ve düşey türbin pompalarının deşarj tarafına pompa çalışmaya başladığı zaman kuyu kolonundaki havanın uzaklaştırılması ve pompa durdurulduktan sonra hatta havanın tekrar alınması için hava/vakum vanaları yerleştirilmelidir. Bu tip pompalara monte edilen hava vanalarının seçimine pompa devridaimi sırasında debide meydana gelen önemli değişimler sebebiyle özel ihtimam gösterilmesi gerekir.

Sifonlar: (Tablo 1'de gösterilmemiştir)

Piyezometre hattının üstünde uzanan ve sürekli negatif basınç altında çalışan sifonlarda sürekliliği sağlamak amacı ile sifonun en üst noktasına havanın tahliyesi için bir hava tahliye vanası yerleştirilmelidir. Ancak, hava tahliye vanası çıkışı bir vakum kontrol cihazı ile teçhiz edilerek boru hattına hava alınması önlenmelidir. Daha fazla hava tahliye kapasitesi gerektiren sistemlerde benzer bir yaklaşım hava/vakum vanasının çıkışında bir vakum kontrol cihazı ile teçhiz edilmesi ile sağlanır.

5 VANA ORİFİS ÇAPLARININ BELİRLENMESİ

Boru hattı boyunca özellik arz eden noktalarda uygun vana orifis çaplarının seçilmesi oldukça önemlidir. Bu bölümde formül ve tablolara bağlı olarak su endüstrisinde kullanılan yaygın metodoloji sunulacaktır.

5.1 Basınçlı Hava Tahliyesi

Basınçlı hava tahliyesi için orifis çapı genellikle 1,6 mm ile 25 mm arasında değişmektedir. Ancak vananın giriş bağlantısının çapı 13 mm ile 150 mm arasında değişmekte olup küçük orifis çapları küçük girişli ve yüksek basınçlı vanalarda bulunur.

Boru hattından atılması gereken hava miktarının belirlenmesinde kesin bir metot yoktur [1].

Bunun sebebi boru hattına giren hava miktarının veya boru hattında basınç

değiştikçe çözelti dışına çıkan hava miktarının tahminindeki güçlüklerdir. Yaygın bir metot standart şartlarda boru hattındaki debinin % 2'si oranında bir kapasiteyi sağlamaktır. Bu metot standart şartlarda su içinde havanın % 2 oranında çözünürlüğüne dayanır. Hava, basınçlı boru hattı işletilirken tahliye vanası orifisinden atılır. Çıkış basıncınının 1.9 katını aşan durumlarda hava tahliye edilirken sonik (ses dalgası) akım oluşur. Çıkış basıncını atmosfer basıncı kabul ederek (1,01 bar, mutlak), giriş basıncınının 1,9 katını aşan (1,93 bar) giriş basınçlarında sonik akım oluşur. Sonik akımlarda hava hızı, ses hızı ile sınırlı olup yüksek basınçlarda hava deşarjının sınırlanmasına sebep olur.

Tablo 2'nin oluşturulmasında sonik akım hali ve debi katsayısı 0,7 kabulleri yapılmıştır. Debi katsayısı 0,7 yaklaşık bir değerdir. Gerçek vana ve boru debi katsayıları farklılık gösterebilir. Bu sebeple nihai vana çapının seçiminde vana imalatçılarının kapasite abakları dikkate alınmalıdır.

5.2 Hava Tahliyesi için Orifis Çapının Tayini

Boru hattının vana yerleştirilecek noktasındaki debi belirlenerek o debinin % 2'si tahliye edilecek hava hacmi olarak kabul edilir. Vananın işletme basıncı piyezometre kotundan vananın bulunduğu kot çıkarılarak saptanır. Basınç ve kapasite şartlarını sağlayan uygun orifis çapı tablodan seçilir.

Örnek 1: Debisi 0,66 m³/s olan bir boru hattının hava tahliye vanası konacak noktada piyezometre kotu ile vana kotu arasında 70,41 m'lik bir fark bulunmaktadır. Kullanılacak hava tahliye vanası orifis çapını bulunuz.

Boru hattında taşınan su hacminin % 2'sinin hava olduğu kabulü ile saniyede taşınan hava hacmi: 0,66 x 0,02 = 0,013 m³/s bulunur.

70,41 mss = 6,89 bar basınç farkı ile 4,76 mm orifis çaplı vananın 0,019 m³/s'lik hava tahliye edeceği Tablo 2'den okunur.

$$Q = 1,89 \times 10^{-3} Y d^2 C_d \sqrt{P_1 \Delta P / (T S_g)} \quad (5.1)$$

Q = Debi (m³/s)

Y = Genleşme katsayısı, hava akımı için 0,71

D = Orifis çapı (mm)

C_d = Debi katsayısı, 0,7

T = Giriş sıcaklığı, 520° Rankine (15,7 °C)

S_g = Özgül ağırlık, 1

ΔP = Basınç farkı, 0,47 P₁ (sonik akım için)

P₁ = Giriş basıncı (bar)

(boru hattındaki basınç + 1,01 bar)

(deniz seviyesinde atmosfer basıncı 1,01 bar olup yüksekliğe bağlı olarak basınç değişmektedir)

Sonik akımın altındaki durumlarda boru hattındaki basınç genelde 0,90 bar'ın altındadır.

$$Q = 4,11 \times 10^{-5} d^2 [\Delta P (P + 1,01)]^{1/2} \quad (5.2)$$

P = Boru hattındaki basınç (bar)

5.3 Boru Hattının Doldurulması için Gereklili Orifis Çapının Tayini

Boru hattının doldurulması sırasında hava, boru hattının doldurulması ile aynı hacimsel oranda tahliye edilmelidir.

Pompajlı hallerde tüm hat dolana kadar yalnızca bir pompanın çalışması birçok halde uygun olacaktır. Tavsiye edilen işlem boru hattını yavaş yavaş doldurarak hatta ani basınç artışlarının önlenmesidir. Tavsiye edilen dolum hızı 0,30 m/s'dir.

$$Q = q (\Delta P + 1,01) \quad (5.3)$$

Q = Debi (m³/s)

q = Dolum debisi (m³/s)

ΔP = Basınç farkı (bar)

Örnek 2: 0,66 m³/s debiyle doldurulmaya başlanan 1676 mm çapındaki bir boru hattında (dolum hızı v = 0,30 m/s) 0,14 bar basınç farkında havayı tahliye edecek vananın orifis çapını bulunuz.

$$Q = q (\Delta P + 1,01)$$

$$Q = 0,66 (0,14 + 1,01) = 0,76 \text{ m}^3/\text{s}$$

0,14 bar basınç farkı ile Tablo 3'ten orifis çapı 101,60 mm için hava tahliye kapasitesi 0,840 m³/s olarak okunur.

Tablo 2. Hava tahliye vanası orifisleri için hava kapasite çizelgesi ($C_d= 0,7$) [1]

| Hava tahliye vanası orifisleri için hava kapasite çizelgesi (m^3/s) | | | | | | | | | | |
|---|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Basınç Farkı (bar) | Orifis Çapı (mm) | | | | | | | | | |
| | 1,59 | 2,38 | 3,18 | 4,76 | 6,35 | 7,94 | 9,53 | 11,11 | 12,70 | 25,40 |
| 1,72 | 0,001 | 0,002 | 0,003 | 0,007 | 0,012 | 0,019 | 0,027 | 0,036 | 0,047 | 0,189 |
| 3,45 | 0,001 | 0,003 | 0,005 | 0,011 | 0,019 | 0,030 | 0,044 | 0,059 | 0,077 | 0,310 |
| 5,17 | 0,002 | 0,004 | 0,007 | 0,015 | 0,027 | 0,042 | 0,060 | 0,082 | 0,108 | 0,429 |
| 6,89 | 0,002 | 0,005 | 0,009 | 0,019 | 0,034 | 0,054 | 0,077 | 0,105 | 0,137 | 0,547 |
| 8,62 | 0,003 | 0,006 | 0,010 | 0,024 | 0,042 | 0,065 | 0,094 | 0,128 | 0,167 | 0,670 |
| 10,34 | 0,003 | 0,007 | 0,012 | 0,028 | 0,049 | 0,077 | 0,111 | 0,151 | 0,197 | 0,760 |
| 12,07 | 0,004 | 0,008 | 0,014 | 0,032 | 0,057 | 0,089 | 0,128 | 0,174 | 0,227 | 0,906 |
| 13,79 | 0,004 | 0,009 | 0,016 | 0,036 | 0,064 | 0,101 | 0,144 | 0,197 | 0,257 | 1,029 |
| 15,51 | 0,004 | 0,010 | 0,018 | 0,040 | 0,072 | 0,112 | 0,161 | 0,220 | 0,287 | 1,147 |
| 17,24 | 0,005 | 0,011 | 0,020 | 0,045 | 0,079 | 0,124 | 0,178 | 0,243 | 0,317 | 1,270 |
| 18,96 | 0,005 | 0,012 | 0,022 | 0,049 | 0,087 | 0,135 | 0,195 | 0,266 | 0,347 | 1,388 |
| 20,68 | 0,006 | 0,013 | 0,024 | 0,053 | 0,094 | 0,147 | 0,212 | 0,288 | 0,377 | 1,510 |

5.4 Boru Hattının Tahliyesi için Orifis Çapının Tayini

Boru hattının tahliyesinin gerektiği hallerde boru hattı kontrollü bir hızla (0,30-0,60 m/s arası) tahliye edilerek basınç artışları minimuma indirilmelidir. Tahliye vanasının bulunduğu noktaya en yakın tepe noktasında bulunan hava vanası boru hattından tahliye edilen hacimsel oranda havayı kabul edecek şekilde seçilmelidir.

5.5 Cazibeli Hal için Gerekli Orifis Çapının Tayini

Boru hattında güç kaynağında kesinti, borunun delinmesi veya patlaması ile meydana gelebilecek su kolonu ayrılması ve cazibeli akım sonucu suyun akış hızında ani değişimler meydana gelebilir.

Cazibeli akış, tepe noktalarında vakum oluşmasına sebebiyet verebilir. Su endüstrisinde kullanılan boruların büyük bir kısmı genelde tam vakum oluşması durumuna dayanıklıdır ancak büyük çaplı ve düşük sıklığa (stiffness) sahip borular negatif iç basınç sonucu çökebilir. Bu sebeple cazibeli hallerde hava vanaları orifis çapının doğru seçimi, boru hattının vakuma karşı korunması açısından oldukça önemlidir. Tepe noktalarındaki hava vanaları boru hattındaki negatif basınçların en aza indirilebilmesi, pompa ekipmanları ve boru hatlarını muhtemel hasarlardan korumak maksadı ile gerekli hava girişine izin verecek şekilde seçilmelidir. Tepe noktasına yerleştirilecek olan hava vanası, boru hattındaki su ile yer değiştirecek gerekli hava girişine izin verecek orifis çapına sahip olmalıdır.

Boru hattı için müsaade edilen negatif basınç kabul edilir bir emniyet katsayısı ile saptanmalıdır. Düşük sıklıklı, büyük çaplı çelik borularda çökme basıncı ince cidarlı çelik silindirlerin genel formülü ile hesaplanabilir [2].

Söz konusu formül, su altında ve tabii zemin üzerindeki borulara uygulanır. Gömlek tabakası uygun evsafıta seçilmiş ve iyi sıkıştırılmış gömülü borular vakum sonucu çökmeye maruz kalmazlar [2].

$$P_c = 4550541 (t/d)^3 \quad (5.4)$$

P_c = Çökme basıncı (bar)
 t = Boru cidar kalınlığı (mm)
 d = Boru ortalama çapı (mm)

Çap seçiminde kullanılan müsaade edilen basınç farkı aşağıdaki formülle bulunur.

$$\Delta P = P_c / SF \quad (5.5)$$

ΔP = Basınç farkı (bar)
 SF = Emniyet katsayısı, 3 veya 4 olarak seçilmelidir.

Hava girişi için debisi aşağıdaki formülle hesaplanabilir.

$$Q = 3,08 \times 10^{-2} C \sqrt{SD^5} \quad (5.6)$$

Q = Debi (m^3/s)
 C = Chezy katsayısı, çelik için 130
 S = Boru hattının eğimi (m/m)
 D = Boru iç çapı (mm)

Tablo 3. Büyük orifisler için hava tahliye kapasitesi çizelgesi ($C_d= 0,7$, $T= 15,5$ °C, deniz seviyesi) [1]

| Büyük orifisler için hava tahliye kapasitesi çizelgesi (m^3/s) | | | | | | | | | | | | |
|--|------------------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Basınç Farkı (bar) | Orifis Çapı (mm) | | | | | | | | | | | |
| | 25,40 | 50,80 | 76,20 | 101,60 | 152,40 | 203,20 | 254,00 | 304,80 | 355,60 | 406,40 | 457,20 | 508,00 |
| 0,07 | 0,037 | 0,150 | 0,336 | 0,599 | 1,345 | 2,393 | 3,733 | 5,380 | 7,315 | 9,533 | 12,082 | 14,961 |
| 0,10 | 0,046 | 0,183 | 0,411 | 0,732 | 1,642 | 2,921 | 4,564 | 6,607 | 8,920 | 11,657 | 14,772 | 18,217 |
| 0,14 | 0,052 | 0,210 | 0,472 | 0,840 | 1,893 | 3,360 | 5,239 | 7,551 | 10,288 | 13,451 | 17,037 | 21,002 |
| 0,17 | 0,059 | 0,235 | 0,529 | 0,939 | 2,110 | 3,752 | 5,852 | 8,448 | 11,468 | 15,008 | 18,972 | 23,409 |
| 0,21 | 0,064 | 0,256 | 0,576 | 1,024 | 2,308 | 4,101 | 6,418 | 9,203 | 12,554 | 16,377 | 20,766 | 25,627 |
| 0,24 | 0,069 | 0,276 | 0,623 | 1,104 | 2,487 | 4,422 | 6,890 | 9,958 | 13,545 | 17,698 | 22,370 | 27,609 |
| 0,28 | 0,074 | 0,295 | 0,665 | 1,180 | 2,652 | 4,719 | 7,362 | 10,619 | 14,442 | 18,878 | 23,881 | 29,497 |
| 0,31 | 0,078 | 0,312 | 0,703 | 1,251 | 2,813 | 5,003 | 7,787 | 11,232 | 15,291 | 19,963 | 25,296 | 31,243 |
| 0,34 | 0,082 | 0,329 | 0,741 | 1,317 | 2,959 | 5,239 | 8,212 | 11,846 | 16,093 | 21,049 | 26,618 | 32,895 |

Tablo 4. Büyük orifisler için hava giriş debisi çizelgesi ($C_d= 0,7$) [1]

| Büyük orifisler için hava giriş debisi çizelgesi (m^3/s) | | | | | | | | | | | | |
|--|------------------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Basınç Farkı (bar) | Orifis Çapı (mm) | | | | | | | | | | | |
| | 25,40 | 50,80 | 76,20 | 101,60 | 152,40 | 203,20 | 254,00 | 304,80 | 355,60 | 406,40 | 457,20 | 508,00 |
| 0,07 | 0,036 | 0,144 | 0,325 | 0,576 | 1,298 | 2,308 | 3,610 | 5,191 | 7,079 | 9,250 | 11,704 | 14,442 |
| 0,10 | 0,043 | 0,173 | 0,389 | 0,694 | 1,557 | 2,766 | 4,323 | 6,230 | 8,448 | 11,091 | 14,017 | 17,320 |
| 0,14 | 0,049 | 0,195 | 0,439 | 0,783 | 1,756 | 3,124 | 4,861 | 7,032 | 9,581 | 12,507 | 15,810 | 19,539 |
| 0,17 | 0,053 | 0,213 | 0,481 | 0,854 | 1,921 | 3,412 | 5,333 | 7,693 | 10,430 | 13,639 | 17,273 | 21,332 |
| 0,21 | 0,057 | 0,228 | 0,514 | 0,911 | 2,053 | 3,653 | 5,711 | 8,212 | 11,185 | 14,630 | 18,500 | 22,795 |
| 0,24 | 0,060 | 0,241 | 0,543 | 0,963 | 2,166 | 3,851 | 5,994 | 8,684 | 11,799 | 15,385 | 19,491 | 24,069 |
| 0,28 | 0,063 | 0,251 | 0,566 | 1,005 | 2,256 | 4,016 | 6,277 | 9,014 | 12,318 | 16,046 | 20,294 | 25,108 |
| 0,31 | 0,065 | 0,260 | 0,585 | 1,038 | 2,336 | 4,153 | 6,466 | 9,345 | 12,695 | 16,613 | 21,002 | 25,957 |
| 0,34 | 0,067 | 0,267 | 0,599 | 1,067 | 2,397 | 4,262 | 6,654 | 9,581 | 13,073 | 17,037 | 21,568 | 26,665 |

5.6 Hava Tahliye Vanası Orifis Çapının Seçimi

Boru hattının işletmesi sırasında biriken havanın tahliyesi için doğru hava tahliye vanası çapının seçimi önem arz etmektedir. Verilen bir orifis çapı için (örneğin 3 mm) çeşitli giriş çapları mevcuttur (13 mm ile 150 mm arasında). Giriş çapı, boru hattı bağlantısında hava/su değişimini en yüksek hale getirecek kadar büyük olmalıdır. Aynı zamanda boru hattına bağlantı çapı asla hava tahliye vanası giriş çapından daha küçük olmamalıdır.

5.7 Hava/Vakum Vanası Orifis Çapının Seçimi

Doğru hava/vakum vanası çap seçimi boru hattı doldurulurken havanın tahliyesi ve negatif basınç durumunda hatta hava girişinin sağlanması açısından önem arz eder. Seçilen vana boru hattı doldurulurken havanın tahliyesi (boru hattı dolumu için çap seçimi), boru hattının tahliyesi sırasında hatta hava alımında (boru hattı tahliyesi için çap seçimi), boru hattının delinmesi halinde hatta hava alımında (cazibeli akış için çap seçimi) gerekli özellikleri taşımalıdır. Hava/vakum vanası giriş çapı genellikle orifis çapı ile aynıdır. Su kolonu ayrılmasının muhtemel olduğu kesimlerde

gereğinden büyük çaplı hava/vakum vanaları kullanılmamalıdır.

5.8 Bileşik Hava Vanası Orifis Çapının Seçimi

Doğru bileşik hava vanası çapının seçimi boru hattı dolarken hattaki havanın tahliyesi, negatif basınç oluşması durumunda hatta havanın alınması ve boru hattının işletmesi sırasında toplanan havanın tahliyesi bakımından önem arz etmektedir. Vananın orifis çapı belirtilen şartların tamamını sağlayacak genişlikte olmalıdır.

Hatta basınç altında biriken havanın tahliyesi, boru hattı tahliye edilirken hatta hava alınması, boru hattı doldurulurken hattaki havanın tahliye edilmesi, hattın patlaması halinde hatta hava alınması gibi hallerin tamamına uygun vana teçhizatı seçilmelidir. Tek gövdeli vanalar daha ekonomik, boyutları daha küçük, don etkisi ve bozulmaya karşı daha dayanıklıdır. Tek gövdeli vanalarda en büyük çap 200 mm'dir. Çift gövdeli teçhizatlar ise hava/vakum vanasına bağlantılı bir hava tahliye vanasından oluşur. Bileşik hava vanasının çapı genellikle hava/vakum vanasının orifis çapı ile aynıdır. Gereğinden büyük çapta seçilen bileşik hava vanaları su kolonu ayrılmasının muhtemel olduğu yerlerde kullanılmamalıdır.

6 SU DARBESİ

Boru hattında akış hızının ani olarak değişmesi sonucu basınçta meydana gelen artış su darbesi olarak adlandırılır. Su darbesi bilgisayar analizleri gerektiren oldukça karmaşık bir olaydır. Ancak genel işletme prensiplere dikkat edilmesi su darbesi etkilerini minimize edecektir.

6.1 Hava/Vakum ve Bileşik Hava Vanaları

Boru hattı doldurulurken su darbesi etkilerini en aza indirmek için boru hattının doldurulması sırasında hızın 0,30 m/s veya daha aşağıda tutulması tavsiye edilmektedir. Uygun tasarlanmış hava/vakum veya bileşik hava vanaları boru hattından havanın tahliyesine imkân verir. Ancak havanın tamamı boru hattından tahliye edilince hava/vakum veya bileşik hava vanasının şamandırası suyun teması neticesinde aniden kapanabilir.

Hava/vakum veya bileşik hava vanaları negatif basınç altında boru hattını çökmeye karşı korumak için kullanılırlar.

Boru hatları özellikle hattın doldurulması sırasında su darbesi etkilerine açıktır çünkü çökme kriterinin gerektirdiği orifis çapı özellikle yüksek debilerde doluşta minimum hava regülasyonuna müsaade eder. Bu ve benzeri büyük orifisli hava vanalarının kullanıldığı durumlarda hattın dolum hızının sıkı kontrolünün sağlanması önemlidir.

7 SONUÇ VE ÖNERİLER

1. Boru hatlarında hava mevcudiyeti hattın iletim kapasitesinin düşmesine sebep olur.
2. Su darbesi oluşması halinde hapsolmuş hava problemin boyutunu daha da artırır.
3. Boru hattındaki havanın etkisini en aza indirebilmek için hat dolarken hız 0,30 m/s'yi geçmemelidir.
4. Pompajlı hallerde tüm hat dolana kadar mümkünse yalnızca bir adet pompa çalıştırılmalıdır.
5. Boru hattının tahliyesinin gerektiği hallerde boru hattı kontrollü bir hızla (0,30-0,60 m/s arası) tahliye edilerek basınç artışları minimuma indirilmelidir.
6. Boru hattının tepe noktalarına ve sabit eğimli hatlara belirli aralıklarla hava vanaları yerleştirilmelidir.
7. Hat vanalarının membaında da mansabında olduğu gibi hava vanaları kullanarak havanın vanalardan geçmesi önlenmelidir.

8. Mümkün olan durumlarda bileşik hava vanalarının kullanımı tercih edilmelidir.

9. Boru eğiminin (+) olduğu yani akış yönü ile boru hattı eğiminin aynı olduğu durumlarda gerekli hızlar sağlanır ise hava problemleri oluşmaz.

10. Küçük çaplı boru hatlarında hava vanalarının işlevi çok az ya da hiç yoktur.

11. Hava sürüklenmesinin etkili yapılabilmesi için hatlarda gereken hızlar sağlanmalıdır.

12. Hidrantlar ve servis bağlantıları performans açısından yeterli hava tahliyesi sağlarlar.

13. Havanın tepe noktasının hemen mansabında birikmesi sebebiyle hava vanaları arazide tam olarak tepe noktası yerine boru hattı ile piyezometre hattının kesiştiği noktaya, tepe noktasının birkaç metre mansabına yerleştirilmelidir.

14. Boru hattında hava tahliye vanalarının yerleştirilmesi gereken yerlerde işletme basınçları vananın çalışması için gerekli işletme basıncını sağlayacak şekilde proje tasarımı yapılmalıdır. Vananın çalışması için yeterli işletme basıncı mevcut değilse yerine hava borusu kullanılmalıdır. Hava borusunun yüksekliği tabii zemin üzerinde en az 0 noktadaki işletme basıncı + 0,60 m olmalıdır [5].

15. Hava vanası seçiminden kastedilenin hava vanası gövde çapı değil hava vanası orifisinin çapı olduğu unutulmamalıdır.

16. Aynı noktada birden fazla hava vanası kullanılması gerekiyor ise en fazla dört adet hava vanası boru hattına tek bir T parçası ile bağlanmak kaydı ile kullanılabilir.

17. Hava vanaları tst ISO 9635-4'te belirtilen deneylere tabi tutulmalıdır.

8 KAYNAKLAR

- [1] AWWA, 2001. Air-release, air/vacuum, and combination air valves AWWA manual M51, American Water Works Association, Colorado.
- [2] AWWA, 1987. "AWWA manual M11: Steel pipe-a guide for design and installation", American Water Works Association, Colorado.
- [3] Estrada, Oscar Pozos, 2007. "Investigation on the effects of entrained air in pipelines", Institut für Wasserbau der Universität Stuttgart.
- [4] Falvey, Henry, T., 1980. Air-water flow in hydraulic structures, United States Department of the Interior, Water and Power Resources Service, Colorado.
- [5] Jr Aisenbrey, A. J., Hayes, R. B., Warren, H. J. ve diğerleri. 1978. Design of small canal structures, United States Department of Interior Bureau of Reclamation, Colorado.
- [6] Lauchlan, C. S., Escarameia, M., May, R. W. P. ve diğerleri. 2005. Air in pipelines-a literature review, H R Wallingford.
- [7] Sanks, R. L., 2001. Pumping station design, Oxford: Butterworth-Heinemann.

TEMEL ZEMİN TAŞIMA GÜCÜNÜN SİSMİK YÖNTEMLERLE HESAPLANMASI

Erol Tahsin BOZ

DSİ Genel Müdürlüğü Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltıları Dairesi Başkanlığı
Jeofizik Etütler ve Cihazlar Şube Müdürlüğü, Ankara – Türkiye
etboz@dsi.gov.tr

(Makalenin geliş tarihi: 11.05.2011, Makalenin kabul tarihi: 29.02.2012)

ÖZET

DSİ Genel Müdürlüğü faaliyet alanları kapsamında, yapılması düşünülen bir baraj için açılan temel zemin araştırma kuyularından birinde Jeofizik Etütler ve Cihazlar Şube müdürlüğü tarafından Sonik (full-waveform / compensated sonic) ve Yoğunluk (sidewall/compensated density) jeofizik kuyu ölçüleri alınmıştır. Alınan sonik ölçülerinden P ve S dalga hızları elde edilip, yoğunluk değerleri de kullanılarak, dinamik esneklik modülleri ve taşıma gücü kuyu boyunca hesaplanmıştır. Porozite (gözeneklilik) değeri sonik ölçüden elde edilmiştir. Aynı kuyuda Zemin ve Kaya Mekaniği Şube Müdürlüğü tarafından presiyometre deneyi yapılarak taşıma gücü hesaplanmış, kuyudan alınan karot örneklerinden de laboratuvarında porozite değerleri bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar karşılaştırıldıklarında değerlerin birbirine çok yakın olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: P dalgası, S dalgası, yoğunluk, taşıma gücü, porozite

CALCULATION OF BEARING CAPACITY OF SOILS USING SEISMIC METHODS

ABSTRACT

In order to construct a dam which is under the responsibility of the General Directorate of State Hydraulic Works (DSİ), various foundation investigation boreholes have been drilled. In one of these boreholes, sonic (full-waveform/compensated) and density (sidewall/compensated) measures were taken by Geophysical Investigation and Instrumentation Section. Along the borehole, dynamic elasticity modules and bearing capacity values were calculated from the P wave, S wave velocities and bulk density values. P and S wave velocities were derived from the sonic measurements. Porosity was evaluated from sonic log. In the same borehole (aforementioned) Menard pressiometer experiment was carried out by which bearing capacity was calculated by Soil and Rock Mechanic Section. From the carrot samples which were taken from the borehole, porosity values was calculated in the laboratory. Above findings were compared and it is noticed that result values are very close to each other.

Keywords: Compressional (P) wave, Shear (S) wave , bulk density, bearing capacity, porosity

1 GİRİŞ

Özellikle baraj, köprüyol ya da büyük alışveriş merkezleri gibi yapım maliyeti yüksek sayılabilecek mühendislik yapılarının inşaatlarından önce temel zemin araştırmaları özel bir önem kazanmaktadır.

Derin, geniş temel derinliğine ihtiyaç duyulacak /duyulabilecek yapılar için araştırma kuyularının derinliği ve sayısı da genellikle artmaktadır. Bu kuyularda yapının oturacağı zemini tanımak amacı ile zemin ve kaya mekaniği ile ilgili

yerinde deneylerle birlikte bu kuyulardan alınan karot örnekleri üzerinde laboratuvarında deneyler yapılmaktadır. Ancak bu deneylerin hem uzun zaman aldığı, hem de ekonomik olmadığı ortadadır.

Son yıllarda inşaat sektörünün hızla geliştiği ülkelerde, bu klasik yöntemlerle birlikte, aynı zemin araştırmalarını, daha kısa zaman ve daha düşük bir maliyetle aynı sonuca ulaştıran sismik yöntemler kullanılmaktadır. Bu sismik yöntemlerinden biri de kuyu jeofiziğidir. Kuyu

jeofiziği yönteminde ölçüler, kuyu tabanından yukarıya doğru ve sürekli olarak, tabakaların tam karşısından ya da tabakaya bitişik alınmaktadır. Bu sayede ölçüm doğrulukları yüksektir, derinlikle ilgili hatalar da santimetreler mertebesinde kalmaktadır.

Bilinildiği gibi hem zemin-kaya mekaniği ile ilgili, hem de laboratuvarda yapılacak deneylere karot örnekleri gerektiği için zaten araştırma kuyuları açılmaktadır. Aynı kuyularda jeofizik yöntemlerle de temel zemin özelliklerinin araştırılması, aynı kuyudan alınacak bilgi zenginliğini arttırmakta, niteliksel jeoteknik yorumların niceliksel olarak ifade edilmesine katkı sağlamaktadır. Bununla birlikte, pahalı ve uzun zaman alan karotlu sondaj sayısını optimum seviyelere çekmektedir.

Bu çalışmada, hem jeofizik kuyu ölçü yöntemi, hem de bu yöntemi kullanarak hesaplanan taşıma gücü (q_r) ve porozite değerinin, diğer zemin-kaya mekaniği ve laboratuvar yöntemleriyle elde edilen değerlerle çok yakın oldukları anlatılmaya çalışılacaktır [1-8].

2 YAPILAN ÇALIŞMADA KULLANILAN CİHAZ VE PROBLAR

2.1 Kullanılan Cihaz

Robertson Geologging marka (İngiltere yapımı) Micrologger II serisi kuyu log cihazıdır (Şekil 1). 500 m derinliğe kadar ölçü alma kapasitesine sahiptir. Ölçü alma ünitesi, arazide dizüstü bilgisayar ve bilgisayara yüklenen bir program ile çalışmaktadır.



Şekil 1. Micrologger II sistemi

2.2 Sonik Probu

(Full-waveform/ Compensated)

İçinde bulunan iki alıcı ve iki verici düzeneği ile sırayla her bir vericiden, bulunduğu derinlikte kuyu içi sıvısı vasıtasıyla tabakaya 23 kHz'lik ses dalgası/enerji verilir. Alıcılarla da gelen dalgalar microsanilyeler mertebesinde, sırayla, sürekli kaydedilirler. Böylece kuyu tabanından yukarıya doğru sürekli sonik ölçüler elde edilmiş olur.

Winlogger programıyla alınması sağlanan bu ölçüler wellcad adlı bir yazılım ile process

edilerek P ve S dalga hızları elde edilir. Kendini tutabilen, kayaç denilebilecek tabakalarda açılmış kuyularda iyi sonuçlar vermektedir.

Etrafına yerleştirilen merkezleyiciler ile kuyu içinde ortalanması sağlanır. Böylece ölçüye olumsuz etki verecek kuyu eğiminden, cidardaki oluşan boşluklardan en az etkilenmesi sağlanır.

Su ya da sondaj çamuru dolu kuyularda çalışabilir. Ölçüler ortalama 2,5 m/d hızla ve aşağıdan yukarıya doğru alınır. Sonik Prob 60 mm çapında ve 4,36 m uzunluğundadır.

2.3 Yoğunluk Probu

(Sidewall Compensated Density)

Kuyu içinde aşağıdan yukarıya doğru yapılan ölçümde, prob üzerinde verici olarak kullanılan (Cs 137) radyoaktif kaynaktan tabakalara ışınlar verilir, bir taraftan da alıcılar tarafından tabakalardan geçen ışınlar sayılır. Bu sayımlar tabakanın elektron yoğunluğuna, elektron yoğunluğu da kayaç yoğunluğuna orantılıdır. Elektron yoğunluğu kayaç yoğunluğuna (bulk density) dönüştürülerek g/cm^3 cinsinden tabakanın yoğunluğu ölçülür. Niceliksel bir skalada da eğri biçiminde kuyu boyunca çizdirilebilmektedir.

Yoğunluk ölçüsü alınırken, genellikle aynı anda kaliper/kuyu çapı ölçüsü de alınır. Bu işlemin amacı, hem probun kuyu cidarına yaslanarak radyoaktif ışınların tabakalara daha fazla girmesini sağlamak, hem de çamur kekinin ve kuyu cidarında oluşan boşlukların, yoğunluk ölçüsü üzerindeki olumsuz etkisini en aza indirmektir.

Yoğunluk logu porozitenin hesaplanması, zemin/kaya mekaniği çalışmalarında gerekli olan birim ağırlığın kolayca elde edilmesi bakımından en yararlı ölçülerinden biridir.

Yoğunluk probu 50 mm çapında ve 2,88 m uzunluğundadır.

3 TEMEL ZEMİN JEOLJİSİ (ÖZETİN ÖZETİ)

Genellikle bazik magma kompleksini, peridotit oluşturmakla beraber piroksenit, hornblend, diyorit, gabro, serpantinize dunit ve serpantin ile temsil edilir.

Peridotit, genellikle dayanımlı olmakla beraber, intrüzyon esnasında oluşan soğuma çatlaklarının yanında, bindirme esnasında da eklem ve çatlaklarının geliştiği görülür.

4 TEMEL ZEMİN TAŞIMA GÜCÜNÜN ELDE EDİLMESİ

Taşıma gücü değerlerinin hesaplanmasında kullanılan formül; [2] ve [6] numaralı kaynaklardan alınmıştır (Tablo1).

Sonik ve yoğunluk ölçüleri böyle bir magma kompleksi içinde peridotit ortamda, 90mm çapında açılan temel sondaj kuyusundan alınmıştır. Alınan sonik ölçüleri Wellcad paket programında işlenerek P ve S dalga hızları kuyu derinliği boyunca hesaplanmıştır. (Şekil 2).

5 JEOFİZİK KUYU ÖLÇÜLERİ VE PRESİYOMETRE İLE HESAPLANAN TEMEL ZEMİN TAŞIMA GÜCÜ DEĞERLERİ

Tablo 2' de D, temel derinliği (m) olmak üzere hem presiyometre ile hesaplanan hem de jeofizik yöntemlerle hesaplanan taşıma gücü değerleri her iki birimde de verilmiştir. Karşılaştırma yapılan derinlikler presiyometrenin çalıştırıldığı derinliklerdir.

Sismik yöntemle bulunan taşıma gücünde karşılaştırma yapabilmek için zorunlu olarak 5,10,15 metrelere denk gelen değerler alınmıştır. Bu yöntemde 30 m derinliğe kadar her santimetre için taşıma gücü değeri verilebilmektedir.

D= 5 m'de, $\gamma=27,27 \text{ kN/m}^3$ $V_s=2663 \text{ m/s}$
D=10 m'de, $\gamma=28,35 \text{ kN/m}^3$ $V_s=2868 \text{ m/s}$
D=15 m'de, $\gamma=28,15 \text{ kN/m}^3$ $V_s=3044 \text{ m/s}$

Yoğunluk ölçüleri birim ağırlığa (γ) çevrilmiştir.

6 JEOFİZİK KUYU ÖLÇÜLERİ VE LABORATUARDA ELDE EDİLEN POROZİTE DEĞERLERİ

Kuyu içinde sonik prob ile alınan ölçülerden elde edilen sonik hız (interval transit time) ile porozite hesaplaması için kullanılmıştır.

Tablo 3'de verilen derinlik aralıklarında ortalama hız alındığından sabit bir porozite değeri elde edilmiştir.

Tablo 3. Sismik yöntem ve karotlardan laboratuvarda bulunan porozite değerleri

| Derinlik (m) | Laboratuvar Porozite Değeri (%) | Jeofizik Porozite Değeri (%) |
|---------------|---------------------------------|------------------------------|
| 6,00 – 6,30 | 2,9 - 3,8 - 2,2 | 3,5 |
| 12,00 – 12,17 | 3,5 - 3,2 - 3,8 | 3,5 |
| 18,00 – 18,19 | 2,9 - 2,9 - 3,5 | 3,5 |

Tablo 1. Zeminler ve kayalar için güvenlik katsayıları (n) ve zemin emniyet gerilmesi (q_a)

| Zemin Tipi | V_s aralığı (m/s) | n | $q_a=kN/m^2$ |
|--------------------------------------|--------------------------|-------------------|-----------------------------|
| 'Sert' kayaç | $V_s \geq 4000$ | $n=1,4$ | $q_a=0,071\gamma V_s$ |
| 'Yumuşak' zayıf kayalar ¹ | $750 \leq V_s \leq 4000$ | $n=4,6-0,0008V_s$ | $q_a=0,1\gamma V_s/n$ |
| Zeminler | $750 \geq V_s$ | $n=4,0$ | $q_a=0,025\gamma V_s \beta$ |

¹ 'Yumuşak' zayıf kayalarda $750 \leq V_s \leq 4000 \text{ m/s}$ için $n=4$ ile $n=1,4$ arasında doğrusal enterpolasyon yapılır.
 β : Temel genişliği ile zemin emniyet gerilmesinin azalmasını temsil etmesi için kullanılan çarpan
B: Temel genişliği olmak üzere;

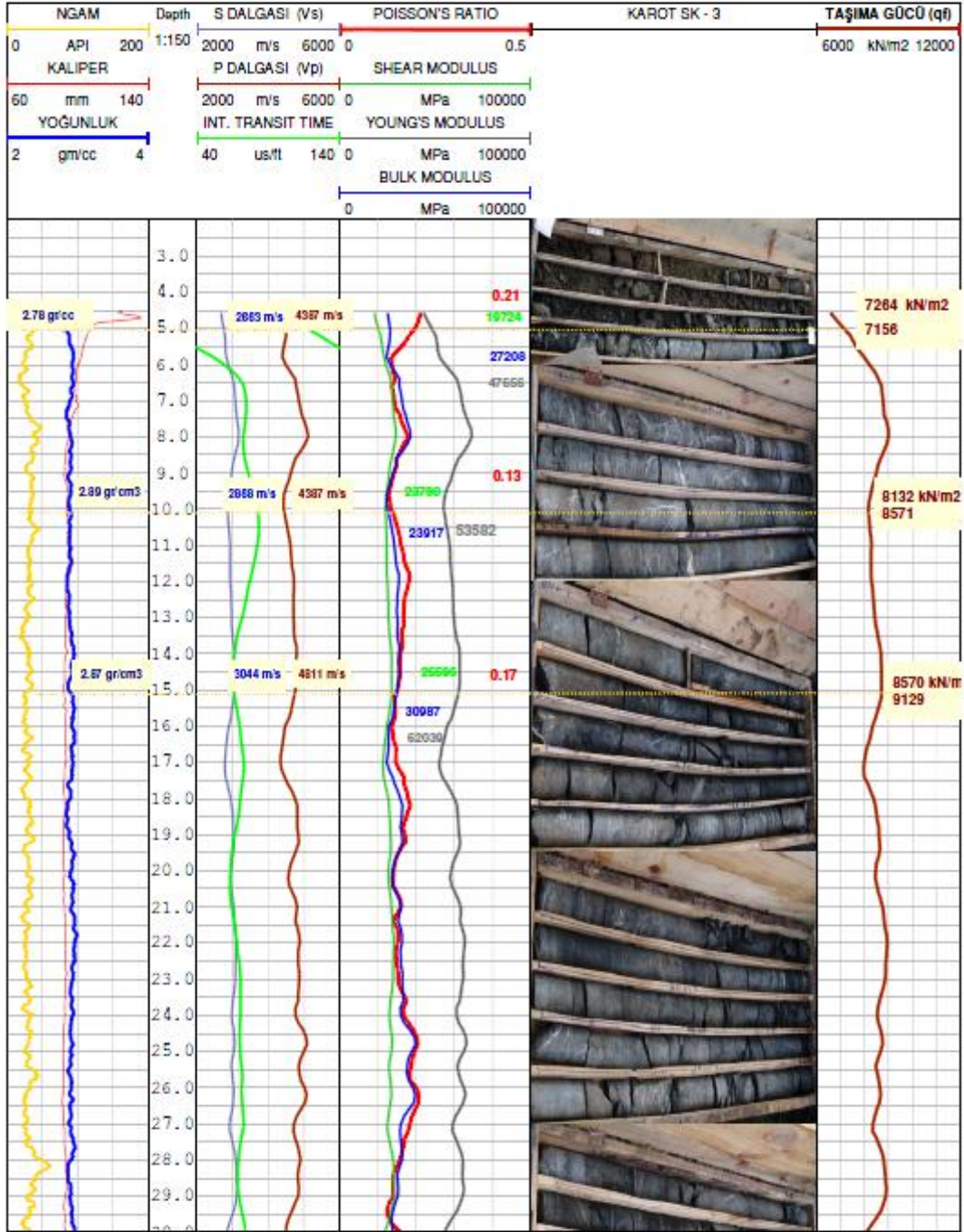
$0,0 \leq B \leq 1,20$ metre için $\beta= 1,00$

$1,2 \leq B \leq 3,00$ metre için $\beta= 1,13 - 0,11B$

$3,0 \leq B \leq 12,0$ metre için $\beta= 0,83 - 0,01B$

Tablo 2. Sismik yöntem ve presiyometre deneyinden elde edilen taşıma gücü değerleri

| Temel Derinliği | Taşıma Gücü kgf/cm ² – kN/m ² | |
|-----------------|--|--------------|
| | Jeofizik ölçüler | Presiyometre |
| 5 m | 74 – 7264 | 72,98 – 7156 |
| 10 m | 83 – 8132 | 87,40 – 8571 |
| 15 m | 87,4 – 8570 | 93,10 – 9129 |



Şekil 2. P-S dalgaları ve yoğunluk ölçülerinden elde edilen dinamik parametreler, taşıma gücü

7 SONUÇLAR

Sismik yöntem ile presiyometre deneyinden elde edilen taşıma gücü değerleri birbirine çok yakın değerlerdir (Tablo 2).

Sismik yöntem ile Laboratuarda karot örnekler üzerinden elde edilen porozite değerleri de neredeyse aynıdır (Tablo 3).

Kuyu jeofiziği ile ölçü alınan derinliğin her noktası için taşıma gücü değeri hem niceliksel hem de eğrisel olarak okunabilmektedir (Şekil 2).

Kuyu jeofiziği yöntemleriyle yani kuyu tabanından yüzeye kadar alınan sonik ve yoğunluk ölçüleriyle sadece taşıma gücü ve porozite değil aynı zamanda dinamik parametreler, poisson oranı tüm kuyu boyunca hesaplanabilmektedir.

Kuyu jeofiziği yöntemiyle, örneğin 30m derinliğinde bir araştırma kuyusunda yarım mesai gününde ölçüler alınabilmekte, yarım mesai gününde de değerlendirmeler yapıp sonuçlar verilebilmektedir.

Bu yöntemin avantajlarından biri de jeolojisi aynı sahada her araştırma kuyusunda karot alma ihtiyacını, zorunluluğunu ortadan kaldırmasıdır. Bir başka deyişle, pahalı ve uzun zaman alan karotlu sondaj sayısını optimum seviyelere çekmektedir.

8 KAYNAKLAR

- [1] Genç, D. 2008. Zemin Mekaniği ve Temeller, Jeoloji Mühendisleri Odası, Yayın No.100, Ankara.
- [2] Keçeli, A. 2000. 'Sismik Yöntemle Kabul Edilebilir veya Emniyetli Taşıma Kapasitesi Saptanması', Jeofizik, 14, 16-72.
- [3] Özkanlı, M. 1990. Log Yorumu Prensipler ve Uygulamalar, TPAO, Ankara.
- [4] Pekiner, Y. 2002. Kuyu logları Tekniğiyle Yeraltının Keşfi. Seçkin Yayıncılık.
- [5] Shlumberger Limited, Log Interpretation Charts, 1979.
- [6] Tezcan, S.S, Keçeli, A., Özdemir Z., Erkal A. 2007. 'Rapid Technique To Determine Allowable Bearing Pressure', International Earthquake Symposium, Kocaeli.
- [7] Turabik, A.,Tekin, S. Mersin Mezitli-Erçel Projesi Değirmençay Barajı Temel Zemin Etüt Raporu, DSİ Genel Müdürlüğü Jeoteknik Hizmetler ve YAS Dairesi Başkanlığı, Rapor No.323.
- [8] Ulusay, R., Hudson, J.A., The Complete ISRM Suggested Methods For Rock Characterization, Testing and Monitoring, 1974 – 2006.

HİDROLOJİK ÇALIŞMALARDA KULLANILAN SU BÜTÇESİ BİLEŞENLERİNİN HESABI İÇİN BİLGİSAYAR PROGRAMI

Müfit Şefik DOĞDU

Dr., Hidrojeoloji Yük.Müh., DSİ Genel Müdürlüğü, Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltısu Dairesi,
Karst Araştırma Şubesi, Devlet Mahallesi, İnönü Bulvarı, No:16, 06100 Çankaya ANKARA
mufitd@dsi.gov.tr

(Makalenin geliş tarihi: 07.04.2011, Makalenin kabul tarihi: 14.02.2012)

ÖZET

Hidrojeolojik incelemelerde miktara dayalı değerlendirmeler yapabilmek için çalışma yapılan alanın hidrolojik bütçesinin hesaplanması gerekmektedir. Hidrolojik bütçe ve bileşenlerinin belirlenmesindeki ana amaç havzaya ve/veya ovaya giren ve ovayı terk eden su miktarlarını hesaplamaktır. Bu çalışma kapsamında hazırlanmış olan bilgisayar programı ile aylık yağış-sıcaklık, alanın enlem derecesi ve alandaki toprağın su rezerv kapasitesi verilerinden itibaren potansiyel ve gerçek buharlaşma-terleme, rezerv su, eksik su, fazla su ve yeraltısuyuna içe akış gibi hidrolojik bütçe bileşenleri hesaplanması amaçlanmıştır. Hidrolojik bütçe ana bileşenlerinden olan ve havzaların ana beslenimini sağlayan yağış miktarının ölçümü ve alan için değerlendirilmesi diğer bütçe bileşenlerine göre daha kolaydır. Bunun aksine, hidrolojik bütçe hesaplamalarında havzadaki su kaybının bir ifadesi olan buharlaşma-terleme (ET) değerinin belirlenmesinde genellikle veri eksikliği nedeniyle zorluklar yaşanmaktadır. Bu çalışmaya konu olan bilgisayar programında hidrolojik bütçe bileşenlerinden potansiyel buharlaşma-terleme (ETp), hem az veri istemesi hem de uygulanabilirliğinin kolay olmasından dolayı Thornthwaite (1948) yöntemiyle hesaplanmıştır. Gerekli veri girişinden sonra, hazırlanmış program tarafından hesaplanan hidrolojik bütçe bileşenleri aylık ve yıllık değerler olarak kullanıcıya sunulmakta ve istenildiği takdirde hesaplanan bileşenler dosyaya da kayıt edilebilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Bilgisayar programı, hidrolojik bütçe, Thornthwaite yöntemi

A COMPUTER PROGRAMME FOR CALCULATIONS OF THE WATER BUDGET'S COMPONENTS USED IN HYDROLOGIC STUDIES

ABSTARCT

In hydrogeological investigations, hydrologic budget calculations of the study area must be done for evaluations based on quantitative. Main purpose of the hydrologic budget's calculations and their components are the determination of the water amount which inflow in and outflow from the basin and/or plain. Aim of computer program prepared in the scope of this study is calculations of the hydrologic budget components like potential and real evapotranspiration, reserve and deficit water, groundwater inflow by input data which comprise monthly precipitations and air temperatures, latitude of the area and reserve capacity of the soil in the area. Measurement and evaluation of the precipitation, which is the main component of the hydrologic budget and main recharge factor of the basin, is easier than the other components. On the contrary, in hydrologic budget calculations, determination of the evapotranspiration (ET), which is the expression of the water loss from the basin, is generally difficult due to the lack of meteorological data. In that presented computer programme, the potential evapotranspiration (ETp) has been calculated by using of Thornthwaite (1948) method which requires limited data and it is more practicable than the other methods. After entering the necessary input data into programme, hydrologic budget components which are computed by this programme in monthly and annual base have been submitted to the users and these calculated values can be stored also.

Keywords: Computer programme, hydrologic budget, Thornthwaite method

1 GİRİŞ

Hidrolojik bütçe, belirli bir zaman dönemi içinde bir havza veya havzanın bir parçasında kazanılan veya kaybedilen suların miktarsal olarak değerlendirilmesi için yapılmaktadır. Hidrolojik bütçe hesaplamalarında ana amaç havzaya giren ve havzayı terk eden su miktarlarını hesaplamaktır. Hidrolojik bütçe aşağıdaki genel eşitlik ile ifade edilmektedir.

$$\Delta Q = Q_{\text{beslenme}} - Q_{\text{boşalma}} \quad (1)$$

Burada:

Q_{beslenme} : Havzaya giren veya havzayı besleyen su miktarı

$Q_{\text{boşalma}}$: Havzadan çıkan veya havzadan boşalan su miktarı

ΔQ : Havzadaki su depolamasındaki değişimdir ve uzun yıllar ortalaması kullanıldığında genellikle depolamada bir değişikliğin olmadığı ($\Delta Q=0$) kabul edilir.

Hidrolojik bütçenin ana elemanlarını yağış (P: precipitation), buharlaşma-terleme (ET: evapotranspiration), süzülme (I: infiltration), yüzey akışı (R: surface runoff) ve yeraltısuyu akımı (G: groundwater inflow) oluşturmaktadır (Şekil 1). Eşitlik (1)'de verilmiş olan genel hidrolojik bütçe denklemi ana bütçe elemanları cinsinden tekrar yazılırsa,

$$P = R + ET + G \pm I \pm \Delta Q \quad (2)$$

eşitliği elde edilir. Bu eşitlikte süzülme (I) yüzey sisteminden kayıp fakat bunun yanında yeraltısuyu için kazanç olmasından dolayı artı-eksi (\pm) işareti ile gösterilmiştir. Hidrolojik bütçe eşitliğindeki her bir değişkenin birimi drenaj havzası üzerindeki su yüksekliği (mm veya cm) cinsinden hesaplanabilir. Bu derinlik drenaj alanının ya da su havzasının yüzey alanı ile çarpılmasıyla havza için kazanılan ya da kaybedilen su miktarı hacimsel olarak belirlenebilmektedir.

Buharlaşma-terleme (ET) hidrolojik sistemin önemli bileşenlerinden birisidir ve kara yüzeyinde gelişen iklimle ilgili süreçlerin anlaşılması için hidrolojik çalışmalarda belirlenmesi gerekli bir parametredir. ET yeraltısuyu akım analizleri için buharlaşma ve beslenme oranının hesaplanmasında da vazgeçilmez bir faktördür [1, 2].

ET'yi tanımlamak için literatürde genelde üç terim kullanılmaktadır [32]. Bunlar:

I) Serbest su buharlaşması: göl ve baraj rezervuarından, derelerden vb. gibi açık su kütlelerinden olan buharlaşmayı ifade eder [22].

II) Gerçek buharlaşma-terleme (ETa): doğal şartlar altında ve eldeki mevcut su miktarı ile yüzey veya yeryüzüne yakın sulardan olabilecek tüm buharlaşma süreçlerini ve miktarını içerir [19] ve en çok potansiyel buharlaşma-terleme (ETp) değeri kadar olabilir.

III) Potansiyel buharlaşma-terleme (ETp): bitki suyu ihtiyacında eksikliğe neden olabilecek tüm su kayıplarını ifade etmektedir [27, 28]. ETp'nin başka bir tanımı ise, suyun limitsiz olma durumunda (bu sadece bir kabuldür) yüzeyden buharlaşma ve terlemeyle olabilecek kayıpların tümü şeklindedir [8].

Ekolojik sistem ve zirai çalışmaların verimliliği gerçek buharlaşma-terleme (ETa) değeriyle yakından ilişkilidir. Pratikte, toprak nemi ve ETp ile ilgili bilgilerin kullanılmasıyla ETa hesaplanabilmektedir [7, 9].

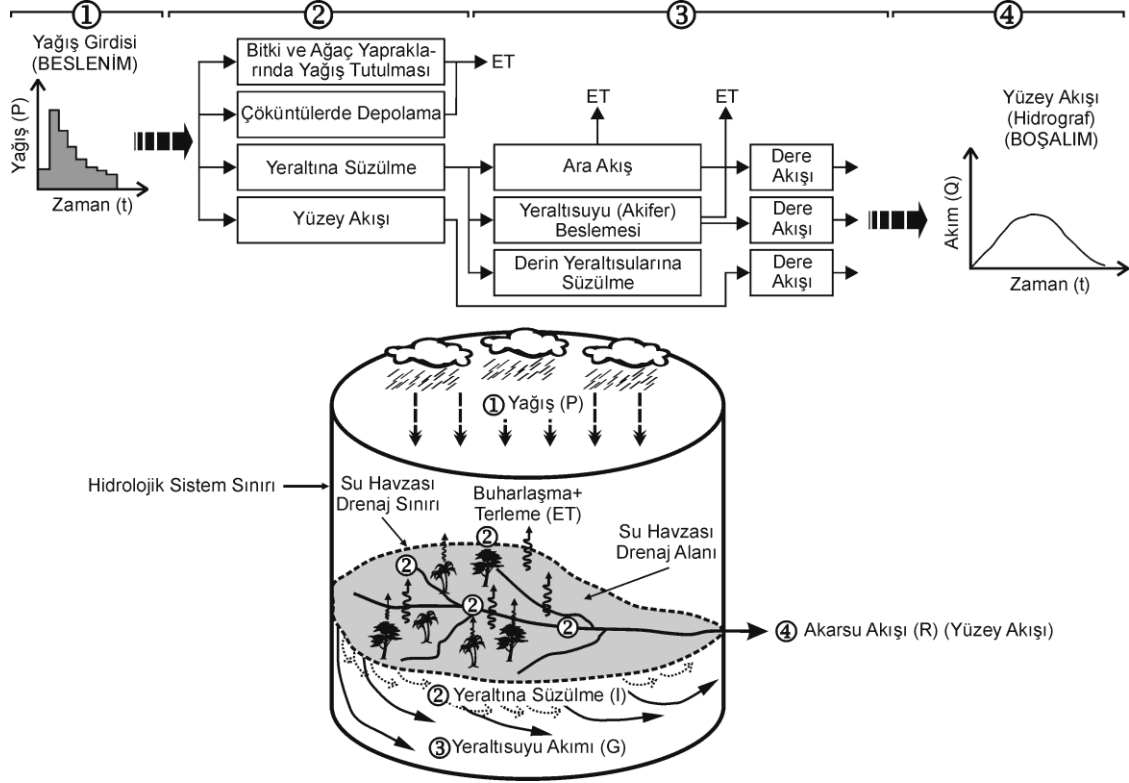
ETp'nin ve serbest su yüzeyinde buharlaşmanın tahmininde kullanılan birçok yöntem bulunmaktadır [31]. Bu yöntemler kullandıkları parametreler açısından beş grupta toplanabilir: a) su bütçesi parametrelili (ör.: [12]), b) kütle transferi yöntemleri (ör.: [13]), c) birleşik parametrelili (ör.: [21]), d) radyasyon parametrelili (ör.: [23]) ve e) sıcaklık tabanlı hesaplamalardır (ör.: [5, 28]).

Yukarıda verilen yöntemlerden hangisinin bir bölge için ETp'nin belirlenmesinde daha doğru sonuç verdiği üzerine birçok araştırmacı [1, 3, 6, 10, 11, 15, 17, 20, 24, 25, 26, 29, 31 ve 32] tarafından çalışmalar yapılmıştır ve bu çalışmalara günümüzde de devam edilmektedir. Yöntemde kullanılan meteorolojik parametrelerin (verilerin) sağlanabilirliği, bölgenin bitki örtüsü, coğrafi konumu-yapısı ve/veya yöntemde kabul edilen varsayımların diğer bölgelere uymaması vb. gibi nedenlerden dolayı, bir yöntemin dünyadaki tüm bölgelerde doğru sonuç vermesi mümkün değildir. Bu nedenlerden dolayı ETp'nin hesaplanması için birçok yöntem ortaya çıkmıştır ve yöntem sonuçları kullandıkları alanın özelliklerine göre değişiklik gösterebilmektedir.

Birçok yöntem içinde, ETp hesabı için genellikle en çok kullanılanlar Penman (1948) ve Thornwaite (1948) yöntemleridir. Penman (1948) yönteminde: bitki yüzeyindeki net radyasyon, toprak ısı akısı yoğunluğu, 2 m yükseklikteki ortalama hava sıcaklığı ve rüzgâr hızı, doymuş buhar basıncı, gerçek buhar basıncı gibi oldukça kapsamlı veriler istenmesi nedeniyle bu yöntemin birçok alanda uygulanması oldukça güçtür.

ETp hesaplamalarında, her ne kadar Penman (1948) yöntemi kadar hassas sonuçlar vermese de, sadece aylık sıcaklık ve yağış gibi sınırlı ve her alanda kolaylıkla sağlanabilecek veriye ihtiyaç duyduğu için, Thornthwaite (1948) yöntemi ETp değerinin belirlenmesinde sıklıkla kullanılan bir yöntemdir.

Bunun tersine, Thornthwaite yönteminin potansiyel koşullar altında ölçülmüş hava sıcaklık değerleri için türetilmiş bir yöntem olduğunu ve sadece toprak nemi sorunun (yeterli nem) olmadığı zamanki ETp değerini temsil edebileceği de belirtilmektedir [18].



Şekil 1. Yağış girdisinin hidrolojik sistemde dağılımı
(*I. Yolcubal'ın ders notlarından değiştirilerek alınmıştır [14, 30]*)

Genellikle Thornthwaite yöntemi kurak alanlarda (arid area) düşük, nemli alanlarda (humid area) ise yüksek ETp değeri vermektedir [1]. Değişik yöntemlerle belirlenmiş olan ETp değerleri arasındaki farklılıklar Şekil 2'de verilmiştir. Genellikle Thornthwaite yöntemi ile hesaplanan ETp değeri tava ve Penman yöntemi ile belirlenen değerlerden düşük olmaktadır (Şekil 2a). Bunun yanı sıra, sıcak aylar için Thornthwaite yöntemi ile hesaplanan ETp değeri, gözlenen ETp değerinden büyük olabilmektedir (Şekil 2b). Yeraltısuyu beslenimi ile ilgili yapılan bir çalışmada ([4]), Thornthwaite yönteminin yarı kurak bölgelerde ETp'nin belirlenmesinde hala etkili olarak kullanılabileceği belirtilmiştir.

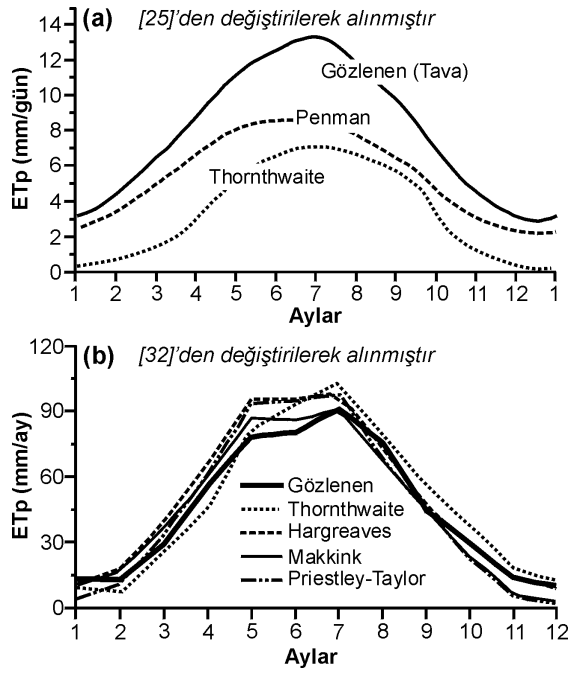
Sunulan bu çalışma kapsamında, yukarıda anlatılan ve ayrıntılı çalışmalar gerektiren hangi yöntemin ETp hesaplamasında daha doğru sonuç verdiğine ilişkin bir tartışmaya girilmemiştir. Bu çalışmada amaç: hazırlanmış olan bilgisayar programı ile hidrolojik bütçe

elemanlarından potansiyel buharlaşma-terleme, yüzeysel akışı, yeraltısuyuna akış vb. gibi parametrelerin hesaplanmasıdır.

Aşağıda özellikleri açıklanmaya çalışılan bilgisayar programının derlenmiş hali (*.Exe formatında) veya program kodu bu konuda çalışan tüm araştırmacılara açıktır ve yazardan talep edildiği takdirde isteyen elektronik posta ile ücretsiz olarak gönderilecektir.

2 BİLGİSAYAR PROGRAMININ ANA YAPISI
Hidrolojik çalışmalarda kullanılan su bütçesi bileşenlerinin hesabı için oluşturulan bilgisayar programı Microsoft QuickBASIC (sürüm 4.5) programlama dilinde hazırlanmış ve program kodu Ek 1'de sunulmuştur. Bu çalışma kapsamında oluşturulmuş bilgisayar programına ait akış şeması Şekil 3'de sunulmuştur.

Su bütçesi bileşenlerini hesaplayan bilgisayar programı iki ana bölümden oluşmaktadır.

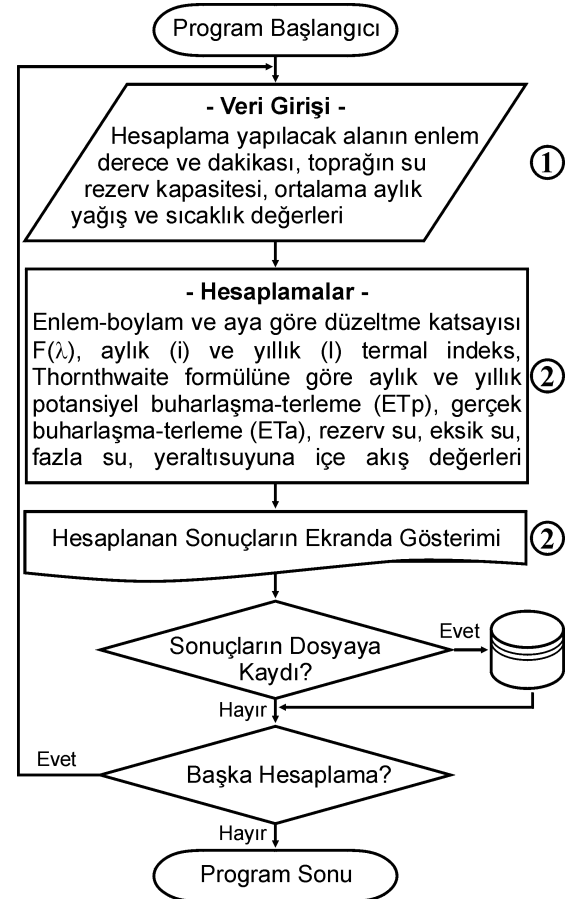


Şekil 2. Gözlenen ve değişik yöntemlerle hesaplanan a) günlük ve b) aylık ETp değerlerinin karşılaştırılması

Birinci bölüm hesaplamalar için gerekli veri girişini ve ikinci bölüm ise yapılan hesaplamalar ve sonuçlarını içermektedir. Programın veri girişi bölümünde (Şekil 4) kullanıcıdan hesaplama yapılacak alanın enlem derece ve dakikası, toprağın su rezerv kapasitesi, alandaki ortalama aylık yağış ve sıcaklık değerlerinin girilmesi istenmektedir. Hesaplama sonuçlarının kullanıcıya sunulduğu ikinci bölümde ise aylık olarak Thornthwaite yöntemine göre hesaplanmış olan potansiyel buharlaşma-terleme (ETp), gerçek buharlaşma-terleme (ETa), rezerv su (RSu), eksik su (ESu), fazla su (FSu) ve yeraltısuyuna içe akış (YIA) değerleri ve bunların yıllık toplamı verilmektedir (Şekil 5). Yine bu bölümde hesaplanan su bütçesi bileşenlerinin bir dosyaya kayıt edilmesi (kayıt edilen dosya Excel vb. gibi programlarla da kullanılabilir), Şekil 6) ve başka hesaplama yapılıp-yapılmayacağı gibi sorgulamalar da yer almaktadır.

3 PROGRAMDA YAPILAN HESAPLAMALAR

Programın ana konusunu oluşturan potansiyel buharlaşma-terleme (ETp), gerçek buharlaşma-terleme (ETa), rezerv su (RSu), eksik su (ESu), fazla su (FSu) ve yeraltısuyuna içe akış (YIA) gibi hidrolojik bütçe bileşenlerinin hesaplanmasında kullanılan eşitlikler ve açıklamaları aşağıda sunulmuştur.



Şekil 3. Programın akış şeması

3.1 Potansiyel Buharlaşma-Terleme (ETp)

Programda aylık ETp değeri aşağıda verilmiş olan Thornthwaite (1948) eşitliği ile hesaplanmıştır.

$$ETp = 16 (10 T/I)^a F(\lambda) \quad (3)$$

Burada,

ETp: Aylık potansiyel buharlaşma-terleme (mm)

T: Aylık ortalama hava sıcaklığı (°C)

I: Yıllık sıcaklık verimi

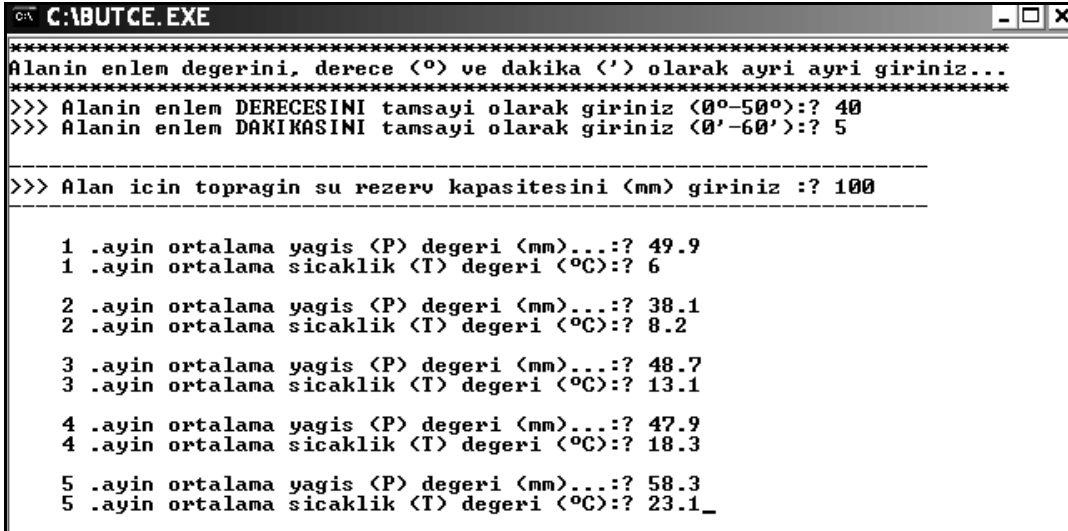
(aylık termal indekslerin (i) toplamıdır),

I: Aylık termal indeks = $(T/5)^{1.514}$

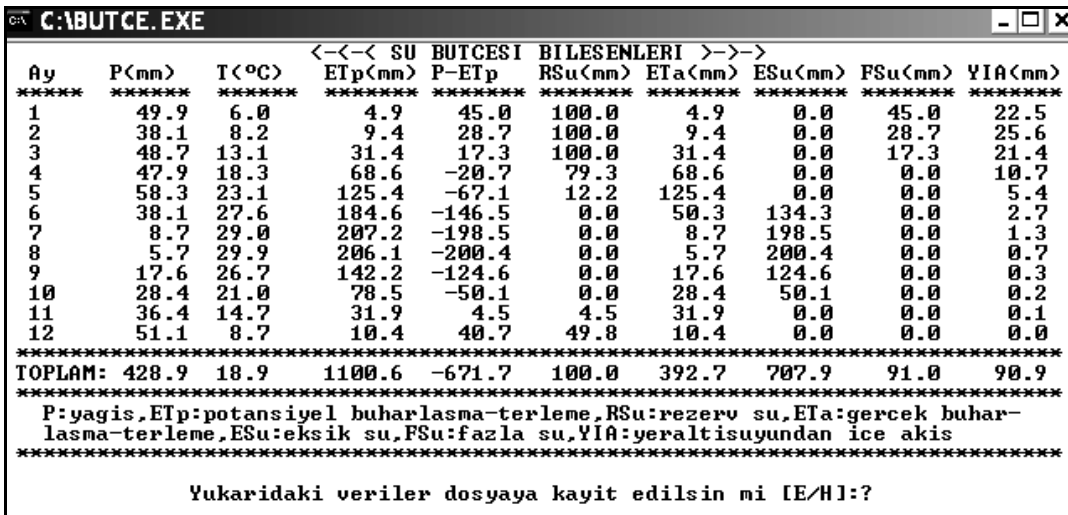
a: $(6,75 \times 10^{-7} \times I^3) - (7,71 \times 10^{-5} \times I^2) + (1,79 \times 10^{-2} \times I) + 0,49239$

F(λ): Alanın enlem derecesine ve aya bağlı düzeltme katsayısıdır (Çizelge 1).

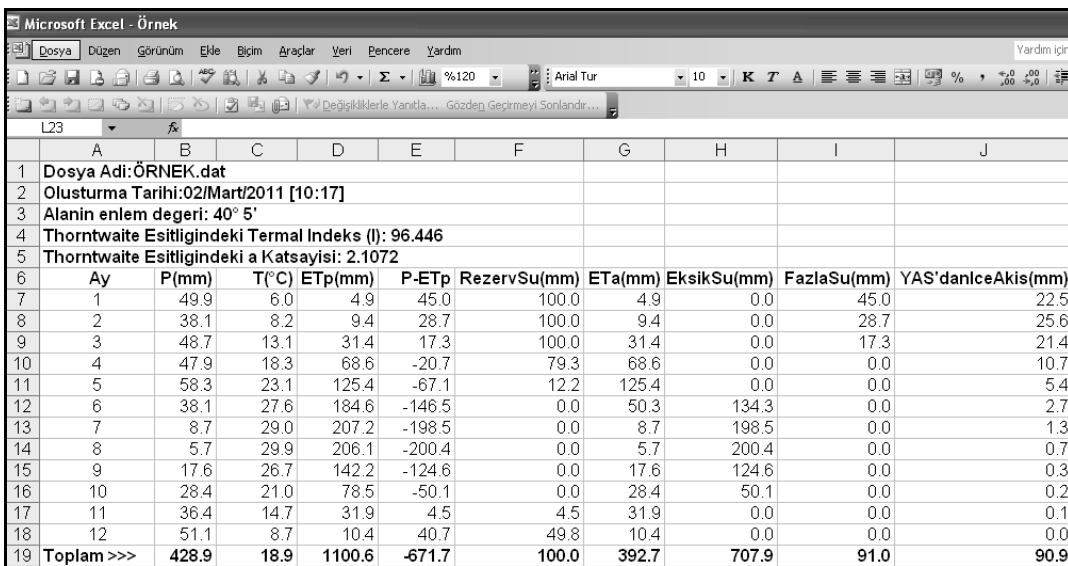
ETp miktarının düzeltilmesinde kullanılan F(λ) değerlerinin ara enlem derecelerine karşılık gelen değerlerinin de bilgisayar programında hesaplanması için Çizelge 2'de verilmiş olan eşitlikler kullanılmıştır.



Şekil 4. Veri giriş ekranı



Şekil 5. Hesaplama sonuçlarının gösterildiği ekran



Şekil 6. Programda hesaplanan ve kayit edilen su bütçesi bileşeni değerlerinin Excel dosyasındaki görünümü

Çizelge 1. Enlem derecesi ve aya bağlı düzeltme katsayısı ($F(\lambda)$) değerleri [16]

| Kuzey Enlemleri ^(a) | - A y l a r - | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 0° | 1,04 | 0,94 | 1,04 | 1,01 | 1,04 | 1,01 | 1,04 | 1,04 | 1,01 | 1,04 | 1,01 | 1,04 |
| 5° | 1,02 | 0,93 | 1,03 | 1,02 | 1,06 | 1,03 | 1,06 | 1,05 | 1,01 | 1,03 | 0,99 | 1,02 |
| 10° | 1,00 | 0,91 | 1,03 | 1,03 | 1,08 | 1,06 | 1,08 | 1,07 | 1,02 | 1,02 | 0,98 | 0,99 |
| 15° | 0,97 | 0,91 | 1,03 | 1,04 | 1,11 | 1,08 | 1,12 | 1,08 | 1,02 | 1,01 | 0,95 | 0,97 |
| 20° | 0,95 | 0,90 | 1,03 | 1,05 | 1,13 | 1,11 | 1,14 | 1,11 | 1,02 | 1,00 | 0,93 | 0,94 |
| 25° | 0,93 | 0,89 | 1,03 | 1,06 | 1,15 | 1,14 | 1,17 | 1,12 | 1,02 | 0,99 | 0,91 | 0,91 |
| 26° | 0,92 | 0,88 | 1,03 | 1,06 | 1,15 | 1,15 | 1,17 | 1,12 | 1,02 | 0,99 | 0,91 | 0,91 |
| 27° | 0,92 | 0,88 | 1,03 | 1,07 | 1,16 | 1,15 | 1,18 | 1,13 | 1,02 | 0,99 | 0,90 | 0,90 |
| 28° | 0,91 | 0,88 | 1,03 | 1,07 | 1,16 | 1,16 | 1,18 | 1,13 | 1,02 | 0,98 | 0,90 | 0,90 |
| 29° | 0,91 | 0,87 | 1,03 | 1,07 | 1,17 | 1,16 | 1,19 | 1,13 | 1,03 | 0,98 | 0,90 | 0,89 |
| 30° | 0,90 | 0,87 | 1,03 | 1,08 | 1,18 | 1,17 | 1,20 | 1,14 | 1,03 | 0,98 | 0,89 | 0,88 |
| 31° | 0,90 | 0,87 | 1,03 | 1,08 | 1,18 | 1,18 | 1,20 | 1,14 | 1,03 | 0,98 | 0,89 | 0,88 |
| 32° | 0,89 | 0,86 | 1,03 | 1,08 | 1,19 | 1,19 | 1,21 | 1,15 | 1,03 | 0,98 | 0,88 | 0,87 |
| 33° | 0,88 | 0,86 | 1,03 | 1,09 | 1,19 | 1,20 | 1,22 | 1,15 | 1,03 | 0,97 | 0,88 | 0,86 |
| 34° | 0,88 | 0,85 | 1,03 | 1,09 | 1,20 | 1,20 | 1,22 | 1,16 | 1,03 | 0,97 | 0,87 | 0,86 |
| 35° | 0,87 | 0,85 | 1,03 | 1,09 | 1,21 | 1,21 | 1,23 | 1,16 | 1,03 | 0,97 | 0,86 | 0,85 |
| 36° | 0,87 | 0,85 | 1,03 | 1,10 | 1,21 | 1,22 | 1,24 | 1,16 | 1,03 | 0,97 | 0,86 | 0,84 |
| 37° | 0,86 | 0,84 | 1,03 | 1,10 | 1,22 | 1,23 | 1,25 | 1,17 | 1,03 | 0,97 | 0,85 | 0,83 |
| 38° | 0,85 | 0,84 | 1,03 | 1,10 | 1,23 | 1,24 | 1,25 | 1,17 | 1,04 | 0,96 | 0,84 | 0,83 |
| 39° | 0,85 | 0,84 | 1,03 | 1,11 | 1,23 | 1,24 | 1,26 | 1,18 | 1,04 | 0,96 | 0,84 | 0,82 |
| 40° | 0,84 | 0,83 | 1,03 | 1,11 | 1,24 | 1,25 | 1,27 | 1,18 | 1,04 | 0,96 | 0,83 | 0,81 |
| 41° | 0,83 | 0,83 | 1,03 | 1,11 | 1,25 | 1,26 | 1,27 | 1,19 | 1,04 | 0,96 | 0,82 | 0,80 |
| 42° | 0,82 | 0,83 | 1,03 | 1,12 | 1,26 | 1,27 | 1,28 | 1,19 | 1,04 | 0,95 | 0,82 | 0,79 |
| 43° | 0,81 | 0,82 | 1,02 | 1,12 | 1,26 | 1,28 | 1,29 | 1,20 | 1,04 | 0,95 | 0,81 | 0,77 |
| 44° | 0,81 | 0,82 | 1,02 | 1,13 | 1,27 | 1,29 | 1,30 | 1,20 | 1,04 | 0,95 | 0,80 | 0,76 |
| 45° | 0,80 | 0,81 | 1,02 | 1,13 | 1,28 | 1,29 | 1,31 | 1,21 | 1,04 | 0,94 | 0,79 | 0,75 |
| 46° | 0,79 | 0,81 | 1,02 | 1,13 | 1,29 | 1,31 | 1,32 | 1,22 | 1,04 | 0,94 | 0,79 | 0,74 |
| 47° | 0,77 | 0,80 | 1,02 | 1,14 | 1,30 | 1,32 | 1,33 | 1,22 | 1,04 | 0,93 | 0,78 | 0,73 |
| 48° | 0,76 | 0,80 | 1,02 | 1,14 | 1,31 | 1,33 | 1,34 | 1,23 | 1,05 | 0,93 | 0,77 | 0,72 |
| 49° | 0,75 | 0,79 | 1,02 | 1,14 | 1,32 | 1,34 | 1,35 | 1,24 | 1,05 | 0,93 | 0,76 | 0,71 |
| 50° | 0,74 | 0,78 | 1,02 | 1,15 | 1,33 | 1,36 | 1,37 | 1,25 | 1,06 | 0,92 | 0,76 | 0,70 |

(a) Türkiye, 36° - 42° kuzey enlemleri arasında yer almaktadır

Çizelge 2. Düzeltme katsayısı ($F(\lambda)$) hesaplama denklemleri

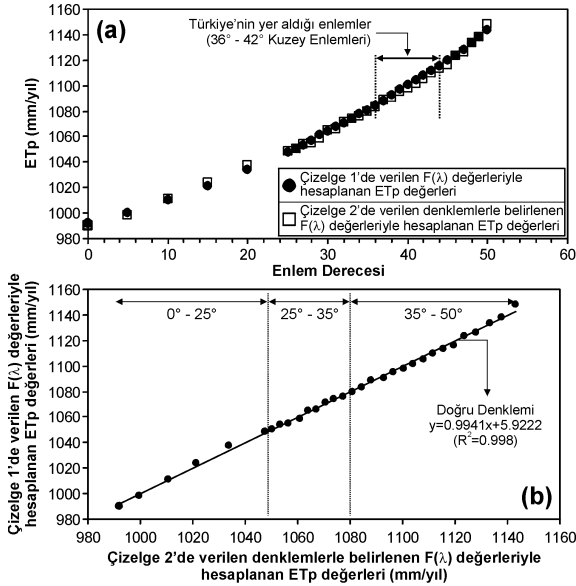
| Aylar | $F(\lambda)$ 'yi Hesaplama Denklemi ^{(a), (b)} | R^2 ^(c) |
|-------|--|----------------------|
| 1 | $y = -7 \times 10^{-5} x^2 - 0,0023x + 1,0312$ | 0,9938 |
| 2 | $y = -4 \times 10^{-5} x^2 - 0,0010x + 0,9349$ | 0,9910 |
| 3 | $x = 0 \rightarrow y = 1,04; 0 < x < 43 \rightarrow y = 1,03; x \geq 43 \rightarrow y = 1,02$ | - |
| 4 | $y = 3 \times 10^{-5} x^2 + 0,0013x + 1,0119$ | 0,9943 |
| 5 | $y = 6 \times 10^{-5} x^2 + 0,0025x + 1,0475$ | 0,9964 |
| 6 | $y = 7 \times 10^{-5} x^2 + 0,0032x + 1,0147$ | 0,9984 |
| 7 | $y = 6 \times 10^{-5} x^2 + 0,0033x + 1,0444$ | 0,9964 |
| 8 | $y = 4 \times 10^{-5} x^2 + 0,0020x + 1,0427$ | 0,9935 |
| 9 | $0 \leq x < 10 \rightarrow y = 1,01; 10 \leq x < 29 \rightarrow y = 1,02; 29 \leq x < 38 \rightarrow y = 1,03$ $38 \leq x < 48 \rightarrow y = 1,04; 48 \leq x < 50 \rightarrow y = 1,05; x \geq 50 \rightarrow y = 1,06$ | - |
| 10 | $y = -2 \times 10^{-5} x^2 - 0,0013x + 1,0363$ | 0,9855 |
| 11 | $y = -6 \times 10^{-5} x^2 - 0,0022x + 1,004$ | 0,9958 |
| 12 | $y = -8 \times 10^{-5} x^2 - 0,0024x + 1,0307$ | 0,9958 |

(a) $y = F(\lambda)$ ve x : Alanın enlem derecesi

(b) Denklemler Çizelge 1'deki değerler kullanılarak hesaplanmıştır.

(c) Regresyon katsayısı

Çizelge 2'de sunulmuş olan eşitlikler, Çizelge 1'deki enlem derecesi ve aya bağlı $F(\lambda)$ değerleri kullanılarak oluşturulmuştur. Çizelge 1'de verilen $F(\lambda)$ değerleri yerine, Çizelge 2'de verilmiş olan denklemlerle hesaplanan $F(\lambda)$ değerlerinin ETp hesabında kullanılmasıyla ne kadar bir hata yapılacağı irdelenmeye çalışılmıştır. Denklemlerle bulunan ve doğrudan tablodan okunan $F(\lambda)$ 'nın, aylık yağış ve sıcaklık değerlerinin (bk. Şekil 5'deki 2. ve 3. kolondaki değerlere) eşitlik (3)'de kullanılmasıyla hesaplanan ETp değerlerinin arasında oldukça küçük farklar olduğu belirlenmiştir (Şekil 7). Bu fark, 36° - 42° kuzey enlemleri arasında kalan ülkemiz için yıllık bazda ~ 0.14 (~ 1.5 mm) gibi bir değere karşılık gelmektedir ki, bu gibi çalışmalarda ihmal edilebilecek bir büyüklüktür.



Şekil 7. Çizelge 1'de verilen ve Çizelge 2'de gösterilen denklemlerle belirlenen $F(\lambda)$ değerleriyle hesaplanan ETp değerlerinin; a) enlem derecesine göre değişimi ve b) karşılaştırılması

3.2 Rezerv Su (RSu)

Su bütçesi hesabında toprağın rezerv su (RSu) kapasitesindeki aylık değişim, yağış (P) ile potansiyel buharlaşma-terleme (ETp) arasındaki fark ile saptanmaktadır. P ile ETp farkının 0'dan büyük olduğu ($P-ETp>0$) aylarda RSu miktarı, programın ilk veri girişinde belirtilen toprağın RSu kapasitesi değeridir (bk. Şekil 5). Bu değer (RSu) genellikle 100 mm olarak seçilir fakat alandan alana değişebilecek farklı toprak çeşitleri ve koşullarında bu değer 40 ile 200 mm arasında değişen değerler de alabilmektedir [16]. Su bütçesinin doğruluğu için alanda toprak örtüsünün olması gerekmektedir.

P ile ETp farkının 0'dan küçük ($P-ETp<0$) olduğu aylarda, ihtiyaç duyulan (eksik kalan) ETp miktarı toprağın RSu kapasitesinden karşılanır (genellikle nisan ve mayıs ayında bu durumla karşılaşmaktadır, bk. Şekil 5). P ile ETp farkının 0'dan küçük olduğu aylar süresince, RSu sıfır olana kadar ETp miktarının karşılanabilmesi için RSu tüketilir.

Gelecek aylarda P ile ETp farkının 0'dan büyük ($P-ETp>0$) olduğu durumlarda (genellikle kasım ve aralık aylarında, bk. Şekil 5) ise toprak rezerv su kapasitesini (RSu) tekrar kazanır.

3.3 Gerçek Buharlaşma-Terleme (ETa)

Sunulan bilgisayar programda aylık ETa değeri aşağıda basamaklar halinde verilmiş olan şartlar kontrol edilerek hesaplanmaktadır.

i) Yağışın (P) potansiyel buharlaşma-terlemeden (ETp) büyük ($P-ETp>0$) olduğu durumda, o ayki gerçek buharlaşma-terleme (ETa), potansiyel buharlaşma-terleme (ETp) değerine eşittir.

$$P - ETp > 0 \Rightarrow ETa = ETp \quad (4)$$

ii) Yağışın (P) potansiyel buharlaşma-terlemeden (ETp) küçük ($P-ETp<0$) olduğu durumda ve toprağın rezerv suyunun 0 ($RSu=0$), olduğu durumda o ayki gerçek buharlaşma-terleme (ETa), yağış (P) değerine eşittir.

$$(P - ETp < 0 \text{ ve } RSu = 0) \Rightarrow ETa = P \quad (5)$$

iii) Yağış (P)'in potansiyel buharlaşma-terlemeden (ETp) küçük ($P-ETp<0$) olduğu durumda ve bir önceki ayda toprağın rezerv suyunun 0'dan büyük ($RSu>0$) olduğu durumda, o ayki gerçek buharlaşma-terleme (ETa), yağış (P) ve toprağın rezerv suyu (RSu) değerlerinin toplamına eşittir (yukarıda verilen basamakların kontrolü için bk. Şekil 5).

$$(P - ETp < 0 \text{ ve } RSu > 0) \Rightarrow ETa = P + RSu \quad (6)$$

3.4 Eksik Su (ESu)

ESu, fiziksel şartların sağlanması durumunda, yeraltısuyundan en çok ne kadar suyun buharlaşabileceğini gösteren miktardır. Pratikte, yeraltısuyu seviyesinin yer yüzeyinden itibaren 10-15m derinde olduğu durumda, yeraltısuyundan buharlaşma olmadığı kabul edilir. Yeraltısuyu seviyesi yeryüzüne belirtilen derinlikten daha yakınsa, bütçedeki ESu miktarı yeraltısuyundan karşılanmaktadır. Programda eksik su (ESu) değeri aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmaktadır.

$$ESu = ETp - ETa \quad (7)$$

3.5 Fazla Su (FSu)

FSu, fiziksel şartların (yüzeyde yüksek hidrolik iletkenliğe sahip geçirimli litolojilerin olması vb.) sağlanması durumunda, yeraltısuyunun ne kadar beslenebileceğini gösteren miktardır. FSu, rezerv suyun belirlenen kapasite değerine (Şekil 5'teki önekte bu değer 100 mm'dir) ulaşmasından sonra yağmur tarafından oluşturulur. Programda fazla su (FSu) değeri aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır.

$$FSu = P - ETp \quad (8)$$

3.6 Yeraltısuyuna İçe Akış (YIA)

Programda YIA değeri fazla su (FSu) değeri kullanılarak hesaplanmaktadır. YIA değeri aşağıda basamaklar halinde verilmiş olan şartlar kontrol edilerek hesaplanmaktadır.

i) Kurak dönem sonrasındaki FSu miktarının 0'dan farklı olduğu (FSu>0) ilk ayda YIA değeri FSu değerinin yarısına eşit olmaktadır.

$$FSu > 0 \Rightarrow YIA = FSu/2 \quad (9)$$

ii) Bundan sonraki aylarda ise YIA değeri, bir önceki ayın YIA değeri ile o ayki FSu değerinin toplamının yarısına eşittir.

$$YIA_n = (YIA_{n-1} + FSu_n)/2 \quad (10)$$

Burada, n ve n-1 alt indisleri sırasıyla hesap yapılan ay ve bir önceki ayı belirtmektedir.

4 TARTIŞMA ve SONUÇLAR

Hidrojeolojik çalışmalarda yeraltısuyunun besleniminin hesaplanmasında ilk yapılması gereken ova ve/veya havza için hidrolojik bütçenin oluşturulmasıdır. Hidrolojik bütçe ana bileşenlerinden olan ve yeraltısularının beslenimini sağlayan yağış miktarının ölçümü ve alan için değerlendirilmesi diğer bütçe bileşenlerine göre daha kolaydır. Hidrolojik bütçe hesaplamalarında genellikle bölgedeki buharlaşma-terleme (ET) değerinin belirlenmesinde zorluklar yaşanmaktadır. Çok ayrıntılı veya hassas bir ET değerinin hesaplanması için birçok meteorolojik veriye (ör. yüzeyindeki net radyasyon, toprak ısı akısı yoğunluğu, 2 m yükseklikteki ortalama hava sıcaklığı ve rüzgâr hızı, doymuş buhar basıncı, gerçek buhar basıncı vb.) ihtiyaç duyulmaktadır ki bu bilgileri çalışılan her alan için sağlamak neredeyse imkânsızdır. ET hesaplamalarında her ne kadar diğer yöntemler kadar ayrıntılı ve çok veri istemese de ve o yöntemler kadar hassas sonuçlar vermese de, sadece aylık sıcaklık ve yağış gibi sınırlı ve her alan için sağlanabilecek veriye ihtiyaç duyulduğu için Thornthwaite (1948) yöntemi potansiyel buharlaşma-terleme (ETp) değerinin belirlenmesinde sıklıkla kullanılan bir yöntemdir.

Bu çalışmayla; Thornthwaite yöntemi ile ETp hesabı ve bu değerlerden itibaren hidrolojik bütçe bileşenlerini (gerçek buharlaşma-terleme, rezerv su, eksik su, fazla su ve yeraltısuyuna içe akış) belirleyen bir bilgisayar programının hazırlanması ve ilgili kullanıcıların hizmetine sunulması amaçlanmıştır. Hazırlanan bu programda buharlaşma-terleme değeri Thornthwaite (1948) yöntemine göre belirlenmektedir. Programı kullanacak kişiler aşağıda verilen yöntemle ilgili bilgilere ve uyarılara dikkat etmelidir.

- Eğer alan için kapsamlı meteorolojik verilere ulaşılabiliyorsa, ETp hesabı için bu verileri de hesaba katan ve nispeten daha doğru sonuçlar veren yöntem(ler) (ör. Penman yöntemi) kullanılmalıdır.

- Thornthwaite yöntemi kurak alanlarda düşük, nemli alanlarda ise yüksek ETp değeri verebilmektedir.

- Thornthwaite yöntemi ile hesaplanan ETp değeri tava ve Penman yöntemi ile belirlenen değerlerden düşük olmaktadır. Bunun yanı sıra, sıcak aylar için Thornthwaite yöntemi ile hesaplanan ETp değeri gözlenen ETp değerinden büyük olabilmektedir.

5 KAYNAKLAR

- [1] Alkaeed, O., Flores, C., Jinno, K. ve Tsutsumi, A., "Comparison of Several Reference Evapotranspiration Methods for Itoshima Peninsula Area, Fukuoka-Japan", *Memoirs of The Faculty of Engineering, Kyushu University*, 66(1): 1-14, 2006
- [2] Allen, G.R., Pereira, L.S., Raes, D. ve Smith, M., "Crop Evapotranspiration-Guidelines for Computing Crop Water Requirements", *FAO Irrigation and Drainage Paper 56*, FAO, Rome, Italy, 78-86, 1998.
- [3] Amatya, D.M., Skaggs, R.W. ve Gregory, J.D., "Comparison of Methods for Estimating REF-ET", *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 121(6), 427-435, 1995.
- [4] Benjamin N.N., Jacques, M. ve Jean, S.R., "Groundwater Recharge from Rainfall in The Southern Border of Lake Chad in Cameroon", *World Applied Sciences Journal 2 (2)*: 125-131, 2007.
- [5] Blaney, H.F. ve Criddle, W.D., "Determining Water Requirements in Irrigated Area from Climatological Irrigation Data", *US Department of Agriculture, Soil Conservation Service, Tech. Paper No. 96*, 48 p., 1950.

- [6] Castaneda, L. ve Rao, P., "Comparison of Methods for Estimating Reference Evapotranspiration in Southern California", *Journal of Environmental Hydrology*, Vol. 13, Paper 14, 2005.
- [7] Chen, D., Gao, G., Xu, C.H., Guo, J. ve Ren, G., "Comparison of The Thornthwaite Method and Pan Data With The Standard Penman-Monteith Estimates of Reference Evapotranspiration in China", *Climate Research*, 28: 123-132, 2005.
- [8] Domenico, P.A. ve Schwartz, F.W., Physical and Chemical Hydrogeology, John Wiley and Sons Inc., 824 p., 1990.
- [9] Dyck, S., Overview on The Present Status of The Concepts of Water Balance Models, In: Van der Beken A, Herrmann A (editors), *Proc. Hamburg Workshop on New Approaches in Water Balance Computations*, IAHS Publications, 148:3-19, 1983.
- [10] Fang, W. ve Imura, H., "Comparison of Empirical PET Estimation Methods in The Yellow River Basin", *Journal of Environmental Systems Research (Japan)*, 31:217-225, 2003.
- [11] Fitzgerald, P.D., "The Estimation of Soil Moisture Deficits by Penman's and Thornthwaite's Method in Mid Canterbury", *Journal of Hydrology (New Zealand)*, 13 (1): 32-40, 1974.
- [12] Guitjens, J.C., "Models of Alfalfa Yield and Evapotranspiration", *Journal of The Irrigation and Drainage Division, Proceedings of The American Society of Civil Engineers*, 108(IR3): 212-222, 1982.
- [13] Harbeck, G.E., "A Practical Field Technique for Measuring Reservoir Evaporation Utilizing Mass-transfer Theory", *U.S. Geol. Surv., Paper No.:272-E*, 101-105, 1962.
- [14] JMO (Jeoloji Mühendisleri Odası), Uygulamalı Hidrojeoloji Semineri-II Ders Notları, Ders Notu Yazarları (soyadına göre alfabetik sıra): Aktaş, S.D., Apaydın, A., Doğdu, M.Ş., Kırmızıtaş, H., Yağbasan, Ö., Yazıcıgil, H. ve Yolcubal, İ., 19-22 Şubat 2008, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, 375 s., Ankara, 2008.
- [15] Lu, J., Sun, G., McNulty, S.G. ve Amatya, D.M., "A Comparison of Six Potential Evapotranspiration Methods for Regional Use in The Southeastern United States", *Journal of the American Water Resources Association*, 41(3): 621-633, 2005.
- [16] Marsily, G., Quantitative Hydrogeology, Academic Press Inc., 440 p., London, 1986.
- [17] Mbagwu, J.S.C., "A Comparison of Five Empirical Models for Estimating Reference Evapo-Transpiration in Nigeria", *Beitr. Trop. Landwirtschaft. Veterinärmed.*, 26(1): 47-54, 1988.
- [18] Mintz, Y. ve Walker, G.K., "Global Fields of Soil Moisture and Land Surface Evapotranspiration Derived From Observed Precipitation and Surface Air Temperature", *Journal of Applied Meteorology*, 32: 1305-1334, 1993.
- [19] Morton, F.I., "Operational Estimates of Areal Evapotranspiration and Their Significance to The Science and Practice of Hydrology", *Journal of Hydrology*, 66: 1-76, 1983.
- [20] Neuwirth, F., "Analysis of Long Standing Measurements of The Potential Evaporation in Vienna, Measured by The Wild Evaporimeter and by The Class-A-Pan as Also in Comparison with The Values, Estimated by The Methods of Penman, Thornthwaite and Turc", *Journal of Meteorology and Atmospheric Physics*, 30(1-2): 119-133, 1982.
- [21] Penman, H. L., "Natural Evaporation from Open Water, Bare Soil and Grass", *Proceedings of Royal Society of London*, 193: 120-145, 1948.
- [22] Peterson, T.C., Golubev, V.S. ve Groisman, P.Y., "Evaporation Losing Its Strength", *Nature*, 377: 687-688, 1995.
- [23] Priestley, C.H.B. ve Taylor, R.J., "On The Assessment of The Surface Heat Flux and Evaporation Using Large-Scale Parameters", *Monthly Weather Review*, 100: 81-92, 1972.
- [24] Rosenberry, D.O., Stannard, D.I., Winter, T.C. ve Martinez, M.L., "Comparison of 13 Equations for Determining Evapotranspiration From A Prairie Wetland-Cottonwood Lake Area-North Dakota-USA", *Wetlands*, 24(3): 483-497, 2004.
- [25] Sellers, W., "Potential Evapotranspiration in Arid Regions", *Journal of Applied Meteorology*, 3: 98-104, 1964.
- [26] Sharma, T.C., "Evaluation of Evapotranspiration in Tropical Central Africa", *Hydrological Sciences Journal*, 33(1): 31-40, 1988.
- [27] Thornthwaite, C.W., "Report of The Committee on Transpiration and Evaporation", *Transaction of The American Geophysical Union*, 25(5): 683-693, 1944.
- [28] Thornthwaite, C.W., "An Approach Toward a Rational Classification of Climate", *Geographical Review*, 38:55-94, 1948.
- [29] Videnov, P., Ivancheva, J. ve Tzenkova, A., "Comparison of Different Methods for Estimation of Potential Evapotranspiration", *Conference on Water Observation and Information System for*

- Decision Support, BALWOIS (Water Observation and Information System for Balkan Countries), 7 p., Ohrid, FY Republic of Macedonia, 25-29 May 2004.
- [30] Viessman, W. ve Lewis, G.L., Introduction to Hydrology, 5th edition, Prentice Hall, 624 p., 2003.
- [31] Xu, C.Y. ve Singh, V.P., "Cross Comparison of Empirical Equations for Calculating Potential Evapotranspiration with Data from Switzerland", *Water Resources Management*, 16: 197-219, 2002.
- [32] Xu, C.Y. ve Chen D., "Comparison of Seven Models for Estimation of Evapotranspiration and Groundwater Recharge Using Lysimeter Measurement Data in Germany", *Hydrol. Process.*, 19: 3717-3734, 2005.

EK 1. SU BÜTÇESİ HESABI İÇİN BİLGİSAYAR PROGRAMI KODU

(Kod QuickBASIC (sürüm 4.5) programlama diliyle yazılmıştır)

```
DIM P(12): DIM ETp(12): DIM PeksiEtp(12): DIM RS(12): DIM  
ETa(12): DIM ES(12): DIM FS(12): DIM GIF(12): DIM flamda(12):  
DIM T(12): DIM kucuki(12)  
1 : CLS : PRINT : PRINT  
PRINT *****  
PRINT **  
PRINT **<<< SU BUTCESI HESAP ROGRAMI >>> **  
PRINT **  
PRINT **          H A Z I R L A Y A N          **  
PRINT **          Mufit Sefik DOGDU          **  
PRINT **          (mufitd@dsi.gov.tr)          **  
PRINT **  
PRINT **          DSI Genel Mudurlugu          **  
PRINT **          Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltisulari Dairesi **  
PRINT **          Karst Arastirma Subesi          **  
PRINT **          Mart - 2006          **  
PRINT **  
PRINT *****  
LOCATE 20, 20: PRINT "Program hakkında aciklama icin  
<A> tusuna."  
LOCATE 21, 20: PRINT "devam etmek icin herhangi bir  
tusa basiniz..."  
DO  
  c$ = INKEY$  
  LOOP UNTIL c$ <> ""  
  c$ = UCASE$(c$)  
  IF c$ <> "A" THEN GOTO 3200  
  
REM *** PROGRAM HAKKINDA ACIKLAMA ***  
CLS : PRINT  
PRINT *****  
PRINT **<<< SU BUTCESI HESAP ROGRAMI >>> **  
PRINT **  
PRINT **Bu program;klavyeden girilen aylik yagis ve  
  sicaklik degerleri,ala- **  
PRINT **nin enlem derecesi,alandaki topragin su rezerv  
  kapasitesi vb. bilgi- **  
PRINT **leri kullanarak alandaki yillik su butcesi hesabini  
  yapmaktadir. Aylık **  
PRINT **buharlasma-terleme (ETp) degerlerinin hesabi  
  Marsily (1986) de veril- **  
PRINT **mis olan < Thorntwaite Esitligi > ile yapilmaktadir  
  (Marsily,G.,1986, **  
PRINT **Quantitative Hydrogeology, Academic Pres  
  Inc., 440 p., London). **  
PRINT **Thorntwaite Esitligi'yle ilgili aciklama icin < T >  
  tusuna basiniz. **  
PRINT *****  
LOCATE 23, 19: PRINT "Devam etmek icin herhangi bir  
tusa basiniz..."  
DO  
  c$ = INKEY$  
  c$ = UCASE$(c$)  
  LOOP UNTIL c$ <> ""  
  IF c$ <> "T" THEN GOTO 3200  
  
REM *** THORNTWAITE ESITLIGIYLE ILGILI ACIKLAMA ***  
CLS : PRINT  
PRINT *****  
PRINT " * Potansiyel buharlasma-terleme (ETp)  
  hesabinda kullanılan Thorntwaite **  
PRINT " * Esitligi:  $ETp = 16 \times [10 \times T / I]^a \times F$  (Marsily,  
  1986) seklindedir. **  
PRINT " * Burada; ETp:aylık buharlasma terleme (mm), **  
  T:aylik ortalama hava **  
PRINT " * sicakligi (°C), F:alanin enlem derecesine gore  
  belirlenen duzeltme **  
PRINT " * katsayisi (Marsily,1986'dan bulunabilir [F]leri  
  gormek icin < F > **  
PRINT " * tusuna basiniz], l:yillik sicaklik indeksi (ayri **  
  ayri hesaplanan 12 **  
PRINT " * aya ait sicaklik indeksleri(i)'nin toplamiyla  
  bulunur (i=(T/5)^1.514) **  
PRINT " *  $a=(6.75 \times 10^{-7} \times I^3) - (7.71 \times 10^{-5} \times I^2) + (1.79$   
   $\times 10^{-2} \times I) + 0.49239$  **  
PRINT *****  
LOCATE 22, 19: PRINT "Devam etmek icin herhangi bir  
tusa basiniz..."
```

```
DO  
  c$ = INKEY$  
  c$ = UCASE$(c$)  
  LOOP UNTIL c$ <> ""  
  IF c$ <> "F" THEN GOTO 3200
```

```
REM *** THORNTWAITE ESITLIGI'NDEKİ "F" KATSAYILARI ***  
CLS: LOCATE 2, 10: PRINT "<<< Kuzey Enlem Dereceleri ve  
Aylara Gore "F" Katsayilari >>>"  
LOCATE 3, 6: PRINT "Enlem": LOCATE 3, 16: PRINT "1"  
LOCATE 3, 21: PRINT "2": LOCATE 3, 26: PRINT "3"  
LOCATE 3, 31: PRINT "4": LOCATE 3, 36: PRINT "5"  
LOCATE 3, 41: PRINT "6": LOCATE 3, 46: PRINT "7"  
LOCATE 3, 51: PRINT "8": LOCATE 3, 56: PRINT "9"  
LOCATE 3, 60: PRINT "10": LOCATE 3, 65: PRINT "11"  
LOCATE 3, 70: PRINT "12": LOCATE 4, 6: PRINT "*****"  
LOCATE 4, 14: PRINT "*****": LOCATE 4, 19: PRINT "*****"  
LOCATE 4, 24: PRINT "*****": LOCATE 4, 29: PRINT "*****"  
LOCATE 4, 34: PRINT "*****": LOCATE 4, 39: PRINT "*****"  
LOCATE 4, 44: PRINT "*****": LOCATE 4, 49: PRINT "*****"  
LOCATE 4, 54: PRINT "*****": LOCATE 4, 59: PRINT "*****"  
LOCATE 4, 64: PRINT "*****": LOCATE 4, 69: PRINT "*****"  
LOCATE 5, 7: PRINT "0": LOCATE 5, 14: PRINT "1.04"  
LOCATE 5, 19: PRINT "0.94": LOCATE 5, 24: PRINT "1.04"  
LOCATE 5, 29: PRINT "1.01": LOCATE 5, 34: PRINT "1.04"  
LOCATE 5, 39: PRINT "1.01": LOCATE 5, 44: PRINT "1.04"  
LOCATE 5, 49: PRINT "1.04": LOCATE 5, 54: PRINT "1.01"  
LOCATE 5, 59: PRINT "1.04": LOCATE 5, 64: PRINT "1.01"  
LOCATE 5, 69: PRINT "1.04": LOCATE 6, 7: PRINT "5"  
LOCATE 6, 14: PRINT "1.02": LOCATE 6, 19: PRINT "0.93"  
LOCATE 6, 24: PRINT "1.03": LOCATE 6, 29: PRINT "1.02"  
LOCATE 6, 34: PRINT "1.06": LOCATE 6, 39: PRINT "1.03"  
LOCATE 6, 44: PRINT "1.06": LOCATE 6, 49: PRINT "1.05"  
LOCATE 6, 54: PRINT "1.01": LOCATE 6, 59: PRINT "1.03"  
LOCATE 6, 64: PRINT "0.99": LOCATE 6, 69: PRINT "1.02"  
LOCATE 7, 7: PRINT "10": LOCATE 7, 14: PRINT "1.00"  
LOCATE 7, 19: PRINT "0.91": LOCATE 7, 24: PRINT "1.03"  
LOCATE 7, 29: PRINT "1.03": LOCATE 7, 34: PRINT "1.08"  
LOCATE 7, 39: PRINT "1.06": LOCATE 7, 44: PRINT "1.08"  
LOCATE 7, 49: PRINT "1.07": LOCATE 7, 54: PRINT "1.02"  
LOCATE 7, 59: PRINT "1.02": LOCATE 7, 64: PRINT "0.98"  
LOCATE 7, 69: PRINT "0.99": LOCATE 8, 7: PRINT "15"  
LOCATE 8, 14: PRINT "0.97": LOCATE 8, 19: PRINT "0.91"  
LOCATE 8, 24: PRINT "1.03": LOCATE 8, 29: PRINT "1.04"  
LOCATE 8, 34: PRINT "1.11": LOCATE 8, 39: PRINT "1.08"  
LOCATE 8, 44: PRINT "1.12": LOCATE 8, 49: PRINT "1.08"  
LOCATE 8, 54: PRINT "1.02": LOCATE 8, 59: PRINT "1.01"  
LOCATE 8, 64: PRINT "0.95": LOCATE 8, 69: PRINT "0.97"  
LOCATE 9, 7: PRINT "20": LOCATE 9, 14: PRINT "0.95"  
LOCATE 9, 19: PRINT "0.90": LOCATE 9, 24: PRINT "1.03"  
LOCATE 9, 29: PRINT "1.05": LOCATE 9, 34: PRINT "1.13"  
LOCATE 9, 39: PRINT "1.11": LOCATE 9, 44: PRINT "1.14"  
LOCATE 9, 49: PRINT "1.11": LOCATE 9, 54: PRINT "1.02"  
LOCATE 9, 59: PRINT "1.00": LOCATE 9, 64: PRINT "0.93"  
LOCATE 9, 69: PRINT "0.94": LOCATE 10, 7: PRINT "25"  
LOCATE 10, 14: PRINT "0.93": LOCATE 10, 19: PRINT "0.89"  
LOCATE 10, 24: PRINT "1.03": LOCATE 10, 29: PRINT "1.06"  
LOCATE 10, 34: PRINT "1.15": LOCATE 10, 39: PRINT "1.14"  
LOCATE 10, 44: PRINT "1.17": LOCATE 10, 49: PRINT "1.12"  
LOCATE 10, 54: PRINT "1.02": LOCATE 10, 59: PRINT "0.99"  
LOCATE 10, 64: PRINT "0.91": LOCATE 10, 69: PRINT "0.91"  
LOCATE 11, 7: PRINT "26": LOCATE 11, 14: PRINT "0.92"  
LOCATE 11, 19: PRINT "0.88": LOCATE 11, 24: PRINT "1.03"  
LOCATE 11, 29: PRINT "1.06": LOCATE 11, 34: PRINT "1.15"  
LOCATE 11, 39: PRINT "1.15": LOCATE 11, 44: PRINT "1.17"  
LOCATE 11, 49: PRINT "1.12": LOCATE 11, 54: PRINT "1.02"  
LOCATE 11, 59: PRINT "0.99": LOCATE 11, 64: PRINT "0.91"  
LOCATE 11, 69: PRINT "0.91": LOCATE 12, 7: PRINT "27"  
LOCATE 12, 14: PRINT "0.92": LOCATE 12, 19: PRINT "0.88"  
LOCATE 12, 24: PRINT "1.03": LOCATE 12, 29: PRINT "1.07"  
LOCATE 12, 34: PRINT "1.16": LOCATE 12, 39: PRINT "1.15"  
LOCATE 12, 44: PRINT "1.18": LOCATE 12, 49: PRINT "1.13"  
LOCATE 12, 54: PRINT "1.02": LOCATE 12, 59: PRINT "0.99"  
LOCATE 12, 64: PRINT "0.90": LOCATE 12, 69: PRINT "0.90"  
LOCATE 13, 7: PRINT "28": LOCATE 13, 14: PRINT "0.91"  
LOCATE 13, 19: PRINT "0.88": LOCATE 13, 24: PRINT "1.03"  
LOCATE 13, 29: PRINT "1.07": LOCATE 13, 34: PRINT "1.16"  
LOCATE 13, 39: PRINT "1.16": LOCATE 13, 44: PRINT "1.18"  
LOCATE 13, 49: PRINT "1.13": LOCATE 13, 54: PRINT "1.02"  
LOCATE 13, 59: PRINT "0.98": LOCATE 13, 64: PRINT "0.90"  
LOCATE 13, 69: PRINT "0.90": LOCATE 14, 7: PRINT "29"  
LOCATE 14, 14: PRINT "0.91": LOCATE 14, 19: PRINT "0.88"  
LOCATE 14, 24: PRINT "1.03": LOCATE 14, 29: PRINT "1.07"  
LOCATE 14, 34: PRINT "1.16": LOCATE 14, 39: PRINT "1.16"  
LOCATE 14, 44: PRINT "1.18": LOCATE 14, 49: PRINT "1.13"  
LOCATE 14, 54: PRINT "1.02": LOCATE 14, 59: PRINT "0.98"
```

```

LOCATE 14, 64: PRINT "0.90": LOCATE 14, 69: PRINT "0.90"
LOCATE 15, 7: PRINT "30": LOCATE 15, 14: PRINT "0.90"
LOCATE 15, 19: PRINT "0.87": LOCATE 15, 24: PRINT "1.03"
LOCATE 15, 29: PRINT "1.08": LOCATE 15, 34: PRINT "1.18"
LOCATE 15, 39: PRINT "1.17": LOCATE 15, 44: PRINT "1.20"
LOCATE 15, 49: PRINT "1.14": LOCATE 15, 54: PRINT "1.03"
LOCATE 15, 59: PRINT "0.98": LOCATE 15, 64: PRINT "0.89"
LOCATE 15, 69: PRINT "0.88": LOCATE 16, 7: PRINT "31"
LOCATE 16, 14: PRINT "0.90": LOCATE 16, 19: PRINT "0.87"
LOCATE 16, 24: PRINT "1.03": LOCATE 16, 29: PRINT "1.08"
LOCATE 16, 34: PRINT "1.18": LOCATE 16, 39: PRINT "1.18"
LOCATE 16, 44: PRINT "1.20": LOCATE 16, 49: PRINT "1.14"
LOCATE 16, 54: PRINT "1.03": LOCATE 16, 59: PRINT "0.98"
LOCATE 16, 64: PRINT "0.89": LOCATE 16, 69: PRINT "0.88"
LOCATE 17, 7: PRINT "32": LOCATE 17, 14: PRINT "0.89"
LOCATE 17, 19: PRINT "0.86": LOCATE 17, 24: PRINT "1.03"
LOCATE 17, 29: PRINT "1.08": LOCATE 17, 34: PRINT "1.18"
LOCATE 17, 39: PRINT "1.19": LOCATE 17, 44: PRINT "1.21"
LOCATE 17, 49: PRINT "1.15": LOCATE 17, 54: PRINT "1.03"
LOCATE 17, 59: PRINT "0.98": LOCATE 17, 64: PRINT "0.88"
LOCATE 17, 69: PRINT "0.87": LOCATE 18, 7: PRINT "33"
LOCATE 18, 14: PRINT "0.88": LOCATE 18, 19: PRINT "0.86"
LOCATE 18, 24: PRINT "1.03": LOCATE 18, 29: PRINT "1.09"
LOCATE 18, 34: PRINT "1.19": LOCATE 18, 39: PRINT "1.20"
LOCATE 18, 44: PRINT "1.22": LOCATE 18, 49: PRINT "1.15"
LOCATE 18, 54: PRINT "1.03": LOCATE 18, 59: PRINT "0.97"
LOCATE 18, 64: PRINT "0.88": LOCATE 18, 69: PRINT "0.86"
LOCATE 19, 7: PRINT "34": LOCATE 19, 14: PRINT "0.88"
LOCATE 19, 19: PRINT "0.85": LOCATE 19, 24: PRINT "1.03"
LOCATE 19, 29: PRINT "1.09": LOCATE 19, 34: PRINT "1.20"
LOCATE 19, 39: PRINT "1.20": LOCATE 19, 44: PRINT "1.22"
LOCATE 19, 49: PRINT "1.16": LOCATE 19, 54: PRINT "1.03"
LOCATE 19, 59: PRINT "0.97": LOCATE 19, 64: PRINT "0.87"
LOCATE 19, 69: PRINT "0.86": LOCATE 20, 7: PRINT "35"
LOCATE 20, 14: PRINT "0.87": LOCATE 20, 19: PRINT "0.85"
LOCATE 20, 24: PRINT "1.03": LOCATE 20, 29: PRINT "1.09"
LOCATE 20, 34: PRINT "1.21": LOCATE 20, 39: PRINT "1.21"
LOCATE 20, 44: PRINT "1.23": LOCATE 20, 49: PRINT "1.16"
LOCATE 20, 54: PRINT "1.03": LOCATE 20, 59: PRINT "0.97"
LOCATE 20, 64: PRINT "0.86": LOCATE 20, 69: PRINT "0.85"
LOCATE 21, 7: PRINT "36": LOCATE 21, 14: PRINT "0.87"
LOCATE 21, 19: PRINT "0.85": LOCATE 21, 24: PRINT "1.03"
LOCATE 21, 29: PRINT "1.10": LOCATE 21, 34: PRINT "1.21"
LOCATE 21, 39: PRINT "1.22": LOCATE 21, 44: PRINT "1.24"
LOCATE 21, 49: PRINT "1.16": LOCATE 21, 54: PRINT "1.03"
LOCATE 21, 59: PRINT "0.97": LOCATE 21, 64: PRINT "0.86"
LOCATE 21, 69: PRINT "0.84": LOCATE 22, 7: PRINT "37"
LOCATE 22, 14: PRINT "0.86": LOCATE 22, 19: PRINT "0.84"
LOCATE 22, 24: PRINT "1.03": LOCATE 22, 29: PRINT "1.10"
LOCATE 22, 34: PRINT "1.22": LOCATE 22, 39: PRINT "1.23"
LOCATE 22, 44: PRINT "1.25": LOCATE 22, 49: PRINT "1.17"
LOCATE 22, 54: PRINT "1.03": LOCATE 22, 59: PRINT "0.97"
LOCATE 22, 64: PRINT "0.85": LOCATE 22, 69: PRINT "0.83"
LOCATE 23, 5: PRINT "*****"
LOCATE 24, 21: PRINT "2. sayfayı gormek icin bir tusa basiniz..."
DO
c$ = INKEY$
LOOP UNTIL c$ <> ""
CLS: LOCATE 2, 25: PRINT "<<< F Katsayilari (devam ediyor) >>>"
LOCATE: LOCATE 3, 6: PRINT "Enlem"
LOCATE 3, 16: PRINT "1": LOCATE 3, 21: PRINT "2"
LOCATE 3, 26: PRINT "3": LOCATE 3, 31: PRINT "4"
LOCATE 3, 36: PRINT "5": LOCATE 3, 41: PRINT "6"
LOCATE 3, 46: PRINT "7": LOCATE 3, 51: PRINT "8"
LOCATE 3, 56: PRINT "9": LOCATE 3, 60: PRINT "10"
LOCATE 3, 65: PRINT "11": LOCATE 3, 70: PRINT "12"
LOCATE 4, 6: PRINT "*****": LOCATE 4, 14: PRINT "*****"
LOCATE 4, 19: PRINT "*****": LOCATE 4, 24: PRINT "*****"
LOCATE 4, 29: PRINT "*****": LOCATE 4, 34: PRINT "*****"
LOCATE 4, 39: PRINT "*****": LOCATE 4, 44: PRINT "*****"
LOCATE 4, 49: PRINT "*****": LOCATE 4, 54: PRINT "*****"
LOCATE 4, 59: PRINT "*****": LOCATE 4, 64: PRINT "*****"
LOCATE 4, 69: PRINT "*****": LOCATE 5, 7: PRINT "38"
LOCATE 5, 14: PRINT "0.85": LOCATE 5, 19: PRINT "0.84"
LOCATE 5, 24: PRINT "1.03": LOCATE 5, 29: PRINT "1.10"
LOCATE 5, 34: PRINT "1.23": LOCATE 5, 39: PRINT "1.24"
LOCATE 5, 44: PRINT "1.25": LOCATE 5, 49: PRINT "1.17"
LOCATE 5, 54: PRINT "1.04": LOCATE 5, 59: PRINT "0.96"
LOCATE 5, 64: PRINT "0.84": LOCATE 5, 69: PRINT "0.83"
LOCATE 6, 7: PRINT "39": LOCATE 6, 14: PRINT "0.85"
LOCATE 6, 19: PRINT "0.84": LOCATE 6, 24: PRINT "1.03"
LOCATE 6, 29: PRINT "1.11": LOCATE 6, 34: PRINT "1.23"
LOCATE 6, 39: PRINT "1.24": LOCATE 6, 44: PRINT "1.26"
LOCATE 6, 49: PRINT "1.18": LOCATE 6, 54: PRINT "1.04"
LOCATE 6, 59: PRINT "0.96": LOCATE 6, 64: PRINT "0.84"
LOCATE 6, 69: PRINT "0.82": LOCATE 7, 7: PRINT "40"

```

```

LOCATE 7, 14: PRINT "0.84": LOCATE 7, 19: PRINT "0.83"
LOCATE 7, 24: PRINT "1.03": LOCATE 7, 29: PRINT "1.11"
LOCATE 7, 34: PRINT "1.24": LOCATE 7, 39: PRINT "1.25"
LOCATE 7, 44: PRINT "1.27": LOCATE 7, 49: PRINT "1.18"
LOCATE 7, 54: PRINT "1.04": LOCATE 7, 59: PRINT "0.96"
LOCATE 7, 64: PRINT "0.83": LOCATE 7, 69: PRINT "0.81"
LOCATE 8, 7: PRINT "41": LOCATE 8, 14: PRINT "0.83"
LOCATE 8, 19: PRINT "0.83": LOCATE 8, 24: PRINT "1.03"
LOCATE 8, 29: PRINT "1.11": LOCATE 8, 34: PRINT "1.25"
LOCATE 8, 39: PRINT "1.26": LOCATE 8, 44: PRINT "1.27"
LOCATE 8, 49: PRINT "1.19": LOCATE 8, 54: PRINT "1.04"
LOCATE 8, 59: PRINT "0.96": LOCATE 8, 64: PRINT "0.82"
LOCATE 8, 69: PRINT "0.80": LOCATE 9, 7: PRINT "42"
LOCATE 9, 14: PRINT "0.82": LOCATE 9, 19: PRINT "0.83"
LOCATE 9, 24: PRINT "1.03": LOCATE 9, 29: PRINT "1.12"
LOCATE 9, 34: PRINT "1.26": LOCATE 9, 39: PRINT "1.27"
LOCATE 9, 44: PRINT "1.28": LOCATE 9, 49: PRINT "1.19"
LOCATE 9, 54: PRINT "1.04": LOCATE 9, 59: PRINT "0.95"
LOCATE 9, 64: PRINT "0.82": LOCATE 9, 69: PRINT "0.79"
LOCATE 10, 7: PRINT "43": LOCATE 10, 14: PRINT "0.81"
LOCATE 10, 19: PRINT "0.82": LOCATE 10, 24: PRINT "1.02"
LOCATE 10, 29: PRINT "1.12": LOCATE 10, 34: PRINT "1.26"
LOCATE 10, 39: PRINT "1.28": LOCATE 10, 44: PRINT "1.29"
LOCATE 10, 49: PRINT "1.20": LOCATE 10, 54: PRINT "1.04"
LOCATE 10, 59: PRINT "0.95": LOCATE 10, 64: PRINT "0.81"
LOCATE 10, 69: PRINT "0.77": LOCATE 11, 7: PRINT "44"
LOCATE 11, 14: PRINT "0.81": LOCATE 11, 19: PRINT "0.82"
LOCATE 11, 24: PRINT "1.02": LOCATE 11, 29: PRINT "1.13"
LOCATE 11, 34: PRINT "1.27": LOCATE 11, 39: PRINT "1.29"
LOCATE 11, 44: PRINT "1.30": LOCATE 11, 49: PRINT "1.20"
LOCATE 11, 54: PRINT "1.04": LOCATE 11, 59: PRINT "0.95"
LOCATE 11, 64: PRINT "0.80": LOCATE 11, 69: PRINT "0.76"
LOCATE 12, 7: PRINT "45": LOCATE 12, 14: PRINT "0.80"
LOCATE 12, 19: PRINT "0.81": LOCATE 12, 24: PRINT "1.02"
LOCATE 12, 29: PRINT "1.13": LOCATE 12, 34: PRINT "1.28"
LOCATE 12, 39: PRINT "1.29": LOCATE 12, 44: PRINT "1.31"
LOCATE 12, 49: PRINT "1.21": LOCATE 12, 54: PRINT "1.04"
LOCATE 12, 59: PRINT "0.94": LOCATE 12, 64: PRINT "0.79"
LOCATE 12, 69: PRINT "0.75": LOCATE 13, 7: PRINT "46"
LOCATE 13, 14: PRINT "0.79": LOCATE 13, 19: PRINT "0.81"
LOCATE 13, 24: PRINT "1.02": LOCATE 13, 29: PRINT "1.13"
LOCATE 13, 34: PRINT "1.29": LOCATE 13, 39: PRINT "1.31"
LOCATE 13, 44: PRINT "1.32": LOCATE 13, 49: PRINT "1.22"
LOCATE 13, 54: PRINT "1.04": LOCATE 13, 59: PRINT "0.94"
LOCATE 13, 64: PRINT "0.79": LOCATE 13, 69: PRINT "0.74"
LOCATE 14, 7: PRINT "47": LOCATE 14, 14: PRINT "0.77"
LOCATE 14, 19: PRINT "0.80": LOCATE 14, 24: PRINT "1.02"
LOCATE 14, 29: PRINT "1.14": LOCATE 14, 34: PRINT "1.30"
LOCATE 14, 39: PRINT "1.32": LOCATE 14, 44: PRINT "1.33"
LOCATE 14, 49: PRINT "1.22": LOCATE 14, 54: PRINT "1.04"
LOCATE 14, 59: PRINT "0.93": LOCATE 14, 64: PRINT "0.78"
LOCATE 14, 69: PRINT "0.73": LOCATE 15, 7: PRINT "48"
LOCATE 15, 14: PRINT "0.76": LOCATE 15, 19: PRINT "0.80"
LOCATE 15, 24: PRINT "1.02": LOCATE 15, 29: PRINT "1.14"
LOCATE 15, 34: PRINT "1.31": LOCATE 15, 39: PRINT "1.33"
LOCATE 15, 44: PRINT "1.34": LOCATE 15, 49: PRINT "1.23"
LOCATE 15, 54: PRINT "1.05": LOCATE 15, 59: PRINT "0.93"
LOCATE 15, 64: PRINT "0.77": LOCATE 15, 69: PRINT "0.72"
LOCATE 16, 7: PRINT "49": LOCATE 16, 14: PRINT "0.75"
LOCATE 16, 19: PRINT "0.79": LOCATE 16, 24: PRINT "1.02"
LOCATE 16, 29: PRINT "1.14": LOCATE 16, 34: PRINT "1.32"
LOCATE 16, 39: PRINT "1.34": LOCATE 16, 44: PRINT "1.35"
LOCATE 16, 49: PRINT "1.24": LOCATE 16, 54: PRINT "1.05"
LOCATE 16, 59: PRINT "0.93": LOCATE 16, 64: PRINT "0.76"
LOCATE 16, 69: PRINT "0.71": LOCATE 17, 7: PRINT "50"
LOCATE 17, 14: PRINT "0.74": LOCATE 17, 19: PRINT "0.78"
LOCATE 17, 24: PRINT "1.02": LOCATE 17, 29: PRINT "1.15"
LOCATE 17, 34: PRINT "1.33": LOCATE 17, 39: PRINT "1.36"
LOCATE 17, 44: PRINT "1.37": LOCATE 17, 49: PRINT "1.25"
LOCATE 17, 54: PRINT "1.06": LOCATE 17, 59: PRINT "0.92"
LOCATE 17, 64: PRINT "0.76": LOCATE 17, 69: PRINT "0.70"
LOCATE 18, 5: PRINT "*****"
LOCATE 20, 18: PRINT "Devam etmek icin bir tusa basiniz..."
DO
c$ = INKEY$
LOOP UNTIL c$ <> ""
3200 : CLS
REM *** ALANIN ENLEM DEGERI, TOPRAK SU REZERV ***
REM *** KAPASITESI vb. BILGILERIN GIRISI ***
PRINT "*****"
PRINT "Alanin enlem degerini, derece (°) ve dakika (') olarak ayri ayri giriniz..."
PRINT "*****"
PRINT ">>> Alanin enlem DERECESINI tamsayi olarak giriniz (0°-50°):";

```

```

INPUT edd
edd = INT(edd)
IF edd < 0 OR edd > 50 THEN
  PRINT "Enlem derecesi 0° - 50° arasinda olmalidir..."
  PRINT "Devam etmek icin bir tusa basiniz..."
DO
  c$ = INKEY$
LOOP UNTIL c$ <> ""
GOTO 3200
END IF
PRINT ">>> Alanin enlem DAKIKASINI tamsayi olarak giriniz (0' - 60'):";
INPUT edk
edk = INT(edk)
IF edk < 0 OR edk > 60 THEN
  PRINT "Enlem dakikasi 0' - 60' arasinda olmalidir..."
  PRINT "Devam etmek icin bir tusa basiniz..."
DO
  c$ = INKEY$
LOOP UNTIL c$ <> ""
GOTO 3200
END IF
aed$ = STR$(edd) + "°" + STR$(edk) + ""
cedk = edk / 60
edd = edd + cedk

REM *** F(LAMDA) KATSAYISI HESABI ***
flamda(1) = (-7 * (10 ^ -5) * edd ^ 2) - (.0023 * edd) + 1.0312
flamda(2) = (-4 * (10 ^ -5) * edd ^ 2) - (.001 * edd) + .9349
IF edd = 0 THEN flamda(3) = 1.04
IF edd > 0 AND edd < 43 THEN flamda(3) = 1.03
IF edd >= 43 THEN flamda(3) = 1.02
flamda(4) = (3 * (10 ^ -5) * edd ^ 2) + (.0013 * edd) + 1.0119
flamda(5) = (6 * (10 ^ -5) * edd ^ 2) + (.0025 * edd) + 1.0475
flamda(6) = (7 * (10 ^ -5) * edd ^ 2) + (.0033 * edd) + 1.0137
flamda(7) = (6 * (10 ^ -5) * edd ^ 2) + (.0033 * edd) + 1.0444
flamda(8) = (4 * (10 ^ -5) * edd ^ 2) + (.002 * edd) + 1.0427
IF edd >= 0 AND edd < 10 THEN flamda(9) = 1.01
IF edd >= 10 AND edd < 29 THEN flamda(9) = 1.02
IF edd >= 29 AND edd < 38 THEN flamda(9) = 1.03
IF edd >= 38 AND edd < 48 THEN flamda(9) = 1.04
IF edd >= 48 AND edd < 50 THEN flamda(9) = 1.05
IF edd > 49 AND edd <= 50 THEN flamda(9) = 1.06
flamda(10) = (-2 * (10 ^ -5) * edd ^ 2) - (.0013 * edd) + 1.0363
flamda(11) = (-6 * (10 ^ -5) * edd ^ 2) - (.0022 * edd) + 1.004
flamda(12) = (-8 * (10 ^ -5) * edd ^ 2) - (.0024 * edd) + 1.0307
PRINT
PRINT "-----"
PRINT " Alan icin topragin su rezerv kapasitesini (mm) giriniz :";
INPUT rezervsu
RS(1) = rezervsu
PRINT "-----"
PRINT

REM *** YAGIS ve SICAKLIK VERISI GIRISI ***
FOR i = 1 TO 12
  PRINT " "; i; ".ayin ortalama yagis (P) degeri (mm)....";
  INPUT P(i)
  PRINT " "; i; ".ayin ortalama sicaklik (T) degeri (°C):";
  INPUT T(i)
  PRINT
NEXT i
topi = 0

REM *** TERMAL INDEKS (I) ve "a" KATSAYISI HESABI ***
FOR i = 1 TO 12
  IF T(i) < 0 THEN T(i) = 0
  kucuki(i) = (T(i) / 5) ^ 1.514
  topi = topi + kucuki(i)
NEXT i
a = (6.75 * (10 ^ (-7)) * (topi ^ 3)) - (7.71 * (10 ^ (-5)) * (topi ^ 2)) +
(1.79 * (10 ^ (-2)) * topi) + .49239

REM *** AYLIK ETp HESABI ***
FOR i = 1 TO 12
  ETp(i) = 16 * ((10 * T(i) / topi) ^ a) * flamda(i)
NEXT i

REM *** P - ETp HESABI ***
FOR i = 1 TO 12
  PeksiEtp(i) = P(i) - ETp(i)
NEXT i

REM *** REZERV SU HESABI ***
FOR i = 1 TO 12
  IF i = 1 THEN
    RS(1) = rezervsu
    ETa(1) = ETp(1)
    GOTO 10
  END IF
  IF (PeksiEtp(i) > 0) AND (RS(i - 1) < rezervsu) THEN
    ekle = PeksiEtp(i) + RS(i - 1)
    RS(i) = ekle + RS(i - 1)
    IF RS(i) >= rezervsu THEN RS(i) = rezervsu
  END IF
  IF (PeksiEtp(i) > 0) AND (RS(i - 1) = rezervsu) THEN
    RS(i) = RS(i - 1)
  END IF
  IF PeksiEtp(i) = 0 THEN RS(i) = RS(i - 1)
  IF (PeksiEtp(i) < 0) AND (RS(i - 1) > 0) THEN
    RS(i) = RS(i - 1) + PeksiEtp(i)
    IF RS(i) < 0 THEN RS(i) = 0
  END IF
  IF (PeksiEtp(i) < 0) AND (RS(i - 1) <= 0) THEN RS(i) = 0
10 : NEXT i

REM *** GERCEK BUHARLASMA-TERLEME (ETa) HESABI ***
FOR i = 1 TO 12
  IF PeksiEtp(i) > 0 THEN ETa(i) = ETp(i)
  IF PeksiEtp(i) = 0 THEN ETa(i) = ETp(i)
  IF (PeksiEtp(i) < 0) THEN
    IF (P(i) + RS(i - 1)) >= (ETp(i)) THEN ETa(i) = ETp(i)
    IF (P(i) + RS(i - 1)) < (ETp(i)) THEN ETa(i) = P(i) + RS(i - 1)
  END IF
NEXT i

REM *** EKSİK SU HESABI ***
FOR i = 1 TO 12
  ES(i) = ETp(i) - ETa(i)
NEXT i

REM *** FAZLA SU HESABI ***
FOR i = 1 TO 12
  IF i = 1 THEN
    RS(1) = rezervsu
    FS(1) = P(i) - ETp(i)
    IF FS(i) <= 0 THEN FS(i) = 0
    GOTO 20
  END IF
  IF RS(i - 1) < rezervsu THEN
    eksik = rezervsu - RS(i - 1)
    yagis = P(i) - eksik
    FS(i) = yagis - ETp(i)
    IF FS(i) <= 0 THEN FS(i) = 0
  END IF
  IF RS(i - 1) = rezervsu THEN
    FS(i) = P(i) - ETp(i)
    IF FS(i) <= 0 THEN FS(i) = 0
  END IF
20 : NEXT i

REM *** YERALTISUYUNA ICE AKIS HESABI ***
sayac = 0
FOR i = 1 TO 12
  IF FS(i) = 0 THEN
    sayac = sayac + 1
    IF sayac = 1 THEN baslangic = i
  END IF
NEXT i
sab = sayac + baslangic
IF sab = 12 THEN GIF(12) = FS(12) / 2
IF sab > 6 THEN
  FOR i = sab TO 12
    GIF(i) = (FS(i) + GIF(i - 1)) / 2
    PRINT i, FS(i), GIF(i)
  NEXT i
END IF
FOR i = 1 TO (sab - 1)
  IF i = 1 THEN
    GIF(1) = (GIF(12) + FS(1)) / 2
    GOTO 30
  END IF
  GIF(i) = (FS(i) + GIF(i - 1)) / 2
30 : NEXT i

REM *** YILLIK TOPLAMLARIN HESABI ***
rstop = rezervsu; ptop = 0; etptop = 0; peksietptop = 0
ETatop = 0; estop = 0; fstop = 0; giftop = 0
FOR i = 1 TO 12
  ptop = ptop + P(i)
  etptop = etptop + ETp(i)
  peksietptop = peksietptop + PeksiEtp(i)

```

```

ETatop = ETatop + ETa(i)
estop = estop + ES(i)
fstop = fstop + FS(i)
giftop = giftop + GIF(i)
NEXT i

REM *** ORTALAMA SICAKLIK HESABI ***
ortsic = 0
FOR i = 1 TO 12
    ortsic = ortsic + T(i)
NEXT i
ortsic = ortsic / 12

REM *** EKRANA YAZDIRMA BOLUMU***
CLS
LOCATE 1, 24: PRINT "<-<-< SU BUTCESI BILESENLERI >>->"
LOCATE 2, 2: PRINT " Ay"
LOCATE 3, 2: PRINT "*****"
LOCATE 2, 9: PRINT "P(mm)"
LOCATE 3, 9: PRINT "*****"
LOCATE 2, 17: PRINT "T(°C)"
LOCATE 3, 17: PRINT "*****"
LOCATE 2, 25: PRINT "ETp(mm)"
LOCATE 3, 25: PRINT "*****"
LOCATE 2, 33: PRINT "P-ETp"
LOCATE 3, 33: PRINT "*****"
LOCATE 2, 41: PRINT "RSu(mm)"
LOCATE 3, 41: PRINT "*****"
LOCATE 2, 49: PRINT "ETa(mm)"
LOCATE 3, 49: PRINT "*****"
LOCATE 2, 57: PRINT "ESu(mm)"
LOCATE 3, 57: PRINT "*****"
LOCATE 2, 65: PRINT "FSu(mm)"
LOCATE 3, 65: PRINT "*****"
LOCATE 2, 73: PRINT "YIA(mm)"
LOCATE 3, 73: PRINT "*****"
FOR i = 1 TO 12
    LOCATE (3 + i), 2: PRINT i
    LOCATE (3 + i), 9: PRINT USING "####.#"; P(i)
    LOCATE (3 + i), 17: PRINT USING "##.#"; T(i)
    LOCATE (3 + i), 25: PRINT USING "####.#"; ETp(i)
    LOCATE (3 + i), 33: PRINT USING "####.#"; PeksiEtp(i)
    LOCATE (3 + i), 41: PRINT USING "####.#"; RS(i)
    LOCATE (3 + i), 49: PRINT USING "####.#"; ETa(i)
    LOCATE (3 + i), 57: PRINT USING "####.#"; ES(i)
    LOCATE (3 + i), 65: PRINT USING "####.#"; FS(i)
    LOCATE (3 + i), 73: PRINT USING "####.#"; GIF(i)
NEXT i
LOCATE 16, 2: PRINT "*****"
LOCATE 17, 2: PRINT "TOPLAM."
LOCATE 17, 9: PRINT USING "####.#"; ptop
LOCATE 17, 17: PRINT USING "##.#"; ortsic
LOCATE 17, 25: PRINT USING "####.#"; etptop
LOCATE 17, 33: PRINT USING "####.#"; peksietptop
LOCATE 17, 41: PRINT USING "####.#"; rstop
LOCATE 17, 49: PRINT USING "####.#"; ETatop
LOCATE 17, 57: PRINT USING "####.#"; estop
LOCATE 17, 65: PRINT USING "####.#"; fstop
LOCATE 17, 73: PRINT USING "####.#"; giftop
LOCATE 18, 2: PRINT "*****"
LOCATE 19, 4: PRINT "P: yagis, ETp: potansiyel buharlasma
    terleme, RSu: rezerv su, ETa: gercek buhar-"
LOCATE 20, 4: PRINT "Iasma-terleme, ESu: eksik su, FSu: fazlasu
    ,YIA: yeraltisuyundan ice akis"
LOCATE 21, 2: PRINT "*****"
LOCATE 23, 15: PRINT "Yukaridaki veriler dosyaya kayit edilsin mi
    [E/H]:";

INPUT a$
a$ = UCASE$(a$)
IF a$ = "E" THEN

REM *** DOSYAYA KAYIT ***
    ayy$ = LEFT$(DATE$, 2)
    gunn$ = MID$(DATE$, 4, 2)
    yill$ = RIGHT$(DATE$, 4)
    IF ayy$ = "01" THEN ayy$ = "Ocak"
    IF ayy$ = "02" THEN ayy$ = "Subat"
    IF ayy$ = "03" THEN ayy$ = "Mart"
    IF ayy$ = "04" THEN ayy$ = "Nisan"
    IF ayy$ = "05" THEN ayy$ = "Mayis"
    IF ayy$ = "06" THEN ayy$ = "Haziran"
    IF ayy$ = "07" THEN ayy$ = "Temmuz"
    IF ayy$ = "08" THEN ayy$ = "Agustos"
    IF ayy$ = "09" THEN ayy$ = "Eylul"

```

```

IF ayy$ = "10" THEN ayy$ = "Ekim"
IF ayy$ = "11" THEN ayy$ = "Kasim"
IF ayy$ = "12" THEN ayy$ = "Aralik"
zaman$ = LEFT$(TIME$, 5)
tarih$ = gunn$ + "/" + ayy$ + "/" + yill$ + "[" + zaman$ + "]"
LOCATE 23, 15: PRINT " "
LOCATE 23, 15: PRINT "Bir dosya adi giriniz (max. 8 karakter)";
INPUT da$
da$ = UCASE$(da$)
uz = LEN(da$)
IF uz > 8 THEN da$ = LEFT$(da$, 8)
da$ = da$ + ".dat"
aed$ = "Alanin enlem degeri:" + aed$
terin$ = "Thorntwaite Esitligindeki Termal Indeks (I):" + STR$(topi)
akat$ = "Thorntwaite Esitligindeki a Katsayisi:" + STR$(a)
OPEN da$ FOR APPEND AS #1
baslik$ = "Dosya Adi:" + da$
doz$ = "Olusturma Tarihi:" + tarih$
WRITE #1, baslik$
WRITE #1, doz$
WRITE #1, aed$
WRITE #1, terin$
WRITE #1, akat$
WRITE #1, " Ay", "P(mm)", "T(°C)", "ETp(mm)", "P-ETp",
"RezervSu(mm)", "ETa(mm)", "EksikSu(mm)", "FazlaSu(mm)",
"YAS'danIceAkis(mm)"
FOR i = 1 TO 12
    WRITE #1, i, P(i), T(i), ETp(i), PeksiEtp(i), RS(i), ETa(i),
        ES(i), FS(i), GIF(i)
NEXT i
WRITE #1, "*****"
WRITE #1, "Toplam >>>", ptop, ortsic, etptop, peksietptop, rstop,
    ETatop, estop, fstop, giftop
CLOSE #1
LOCATE 23, 15: PRINT " "
LOCATE 23, 5: PRINT da$; " dosyasi olusturuldu, devam etmek
    icin bir tusa basiniz..."

DO
    c$ = INKEY$
    LOOP UNTIL c$ <> ""
    LOCATE 23, 5: PRINT " "
END IF
LOCATE 23, 15: PRINT " "
LOCATE 23, 22: PRINT "Baska hesaplama yapacak misiniz [E/H]";
INPUT cev$
cev$ = UCASE$(cev$)
IF cev$ = "E" THEN GOTO 1
END

REM *** PROGRAM SONU ***

```