

Yeraltı Suları Dağılımının Elektriksel Benzer Model Yardımıyla İncelenmesi

Dr. Güney GÖNENÇ
A. Ertuğ SUBHI
ODTÜ

Ö Z E T

Yeraltı suları dağılımının çeşitli su çekme düzenleri ve iklim koşulları altında gelecekteki durumunun saptanması için kullanılan elektriksel benzer modele ilişkin temel bilgiler verilmekte, Ergene Havzası (Trakya) benzer modelini beslemek üzere ODTÜ de geliştirilen bir besleme cihazı ayrıntılarıyla anlatılmaktadır.

S U M M A R Y

Essentials of underground water simulation by electrical analog models are given. These models are used to forecast hydrological regimes under different climatic conditions and pumping schedules. Details of an excitation unit (realized in the Middle East Technical University, Ankara) to be used in connection with the Ergene Basin analog model is given.

1. GİRİŞ

Bu yazıda yeraltı suları dağılımının gelecekteki durumunun değişik su çekme düzenlerinde nasıl olacağını saptayabilmek için kullanılan elektriksel benzetimle ilişkin temel bilgiler verilmekte ve Ergene Irmağı Havzası benzer modelini beslemek için geliştirilen elektronik devreler tanıtılmaktadır. Sözü geçen model Stras-bourg Üniversitesinde, besleme devreleri ise ODTÜ Elektrik Mühendisliği bölümünde DSİ

Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltı Suları Dairesi desteğiyle gerçekleştirilmiştir.

Ergene Havzası, Türkiye'nin önemli yeraltı suyu kullanım bölgelerinden biridir. Sütutucu katman (aquifere) alanı yaklaşık olarak 6000 km² kadardır. Bu katman pliosen çağından kalma bir kum-kil oluşumdur. Kalınlığı 400 metreye kadar çıkabilen bu katmanın derinliği birkaç metreyle 50 metre arasında değişmektedir. Katmanda tutulan suyun sürekli çekim yaptığı

kabul edilen özel kuyular ile çekimi önceden belirlenmiş bir programa göre düzenlenebilen DSi kuyuları yardımıyla yararlanılmaktadır.

2. BENZETİM VE YERALTI SULARINA UYGULANMASI

İki sistemden birincisinde ikinci sistemdeki her öğeye karşılık gelen bir öğe varsa ve iki sistemin uyarma ve karşılık fonksiyonları arasında da bir benzerlik varsa; birinci sistem ikinci sistemin benzeridir (analog). En yalın benzeyim (analogy) örneği, temel sistemin sadece ölçek farkı ile tıpkısı olan bir sistemdir. Uygulamada, daha çok, bir sistemin hepten farklı bir fiziksel kategorider benzeri gözönüne alınır, örnek olarak elektrik alanlarının incelenmesinde kullanılan? iletken kâğıtlı, elektrolitik tanklı ya da titreşen zarlı modeller; ısı dağılımının incelenmesinde kullanılan çözümsel (analitik) ya da direnç-sığaçlı modeller sayılabilir.

Yeraltı sulan dağılımının incelenmesinde de en çok direnç-sığaç devrelerle gerçekleştirilen benzer modellerle karşılaşılır [2,3,4]. Biryapımlı (homojen) ve izotrop bir su tutucu katmanda suyun iki boyutlu devinimini belirleyen kısmi diferansiyel denklem,

$$d^*$$

olarak verilir. Burada h su yüksekliği m , S (D) depolama katsayısı (birim yükseklik değişmesi ve birim alan başına katmanın tutabildiği su hacmi, ooyutsuz) ve T geçirgenlik katsayısı m^2/sn dir [1]. Yukardaki (1) denkleminin sonlu farklar yaklaşımını bulmak için, iki boyutlu sututucu katmanın kenar uzunluğu a (m) olan karelerle bölümlendiğini düşünelim (Şekil 1a), 1 sayılı düğüm için, yaklaşık olarak,

$$3x2 \quad t - 2h_1 \quad (2)$$

$$6^2h$$

yazılabilir. Burada h_i , h n m i sayılı düğümdeki değerini göstermektedir. (2) değerlerini (1) de yerine koyarsak, 1 sayılı düğüm için,

$$(3) \quad 3t$$

elde edilir. (1) in sonlu farklar yaklaşımı olan (3) denklemini,

$$(h_i, -h) = \quad (4)$$

biçiminde yazılabilir, burada toplam, söz konusu düğümün çevresindeki 4 düğümü içerecektir.

Şimdi de Şekil 1b deki direnç-sığaç devresini gözönüne alalım, 1 sayılı düğümüne Kirşof kanununu uygularsak,

$$-E_1 + (E_2 - E_1) + (E_3 - E_1) + (E_4 - E_1) = -9t$$

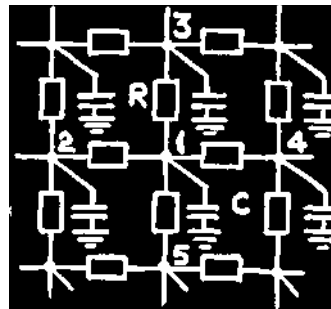
ya da

$$-E_1 + (E_2 - E_1) + (E_3 - E_1) + (E_4 - E_1) = -9t$$

$$2(E_1 - E_2) = C \quad (6)$$

denklemini elde ederiz. (4) ve (6) denklemleri karşılaştırırsa benzerlik hemen görülür, İki sistem arasındaki benzer öğeler aşağıda verilmiştir.

i



Z

K

O

(a)

(b)

**Şekil 1.(a) Karesel ağla bölünmüş sututucu katman, (b)
Direnç-sığaç şebekesinden- bir bölüm.**

yükseklik, h (m) verdi (debi), Q (m ³ /s) hacim, V (m ³) geçirgenlik, T (m ² /s) a ² , depolama, a ² S (m ²) yayınımkhk, a ² S/T (s) gerçek zaman, t _R (s)	gerilim, E (volt) akım şiddeti, I (amper) yük, q (kulon) iletkenlik, 1/R (mo) sığa, C (farad) zaman sabiti, RC (saniye) elektrik zamanı, t _E (saniye)
--	--

Yakardaki (1) denkleminde x,y ve t değişkenleri sürekli değişkenlerdir. Bu denklemi (4) denklemi biçimine sokmakla x ve y değişkenlerini kesikli hale getirmiş oluyoruz. Böylece, elektrik benzeri olarak, direnç ve sığaç gibi ayırık öğelerden kurulu bir devre kullanılmasına olanak sağlamış oluyoruz. Doğaldır ki (4) denkleminin çözümü (1) denkleminin çözümüne eşit değildir, aradaki fark karesel bölümlere sıklaştıkça (a küçüldükçe) azalacaktır. Bu da, verilen bir bölgenin direnç-sığaç modelinde düğüm sayısının arttırılmasıyla gerçeğe daha yaklaşan çözümlere varılacağı gösterir. Kullanılan modelde havza yaklaşık 70 (doğu-ba'tı) x 45 (kuzey-güney) lik bir karesel bölümlere içine alınmıştır. Yaklaşık olarak 4 km² lik alana bir düğüm karşılık gelmektedir (a = 2000 m).

Gerçek büyüklüklerle model büyüklükleri arasındaki bağıntılar aşağıdaki gibi belirlenmiştir. Bu seçimde, sonuçta ortaya çıkacak elektrik devresindeki direnç ve sığaçlann, gerilim ve

akımların uygun değerlerde olması gözönünde tutulmuştur [2].

h : 1 m
 _» E : 0,1 V
 Q : 1
 mVs_»I : 1
 mA V : 1 m³
 _» q : 5,78
 . 10-" kulon
 *. t_E : 5,5 .
 10-» sn
 t_R : 1 s

a. Sürekli pompalama akımı

Bu akım özel kuyulardaki sabit verdili (debili) kabul edilen pompalama düzenini temsil eder-Şekil 2 de sürekli pompalama akımı dalga şekli görülmektedir. Süresi 22-64 ms (13-37 yıl) arasında değiştirilebilen akım darbesinin genliği de ayarlanabilmelidir. En büyük genlik olarak $-0,7$ mA alınmıştır, bu 42000 lt/dak. lık bir verdiye karşılıktır. 48-140 ms olarak gösterilen süre ise modelin durulma süresidir. Böyle bir akım, uygulandığı düğümün temsil ettiği gerçek bölgedeki (yaklaşık 4 km²) özel kuyuların su çekiminin toplamına benzetilmiştir.

$-0,7$ mA

Bu durumda modeldeki dirençler kfi, sığaçlar nF, akımlar 0,1 mA ve gerilimler V aşamasında olmaktadır.

3. BENZETİM İÇİN GEREKLİ AKIMLAR

Model üzerinde deneylerin 13-37 yıllık gerçek zamana karşılık gelen 22-64 milisaniyelik model zamanı süreleri için yapılması öngörülmüştür. Sututucu katmana giren sular düğümlere giren akımlarla, çıkan sular çıkan akımlarla benzetilmiştir. Giren-çıkan sular (ve modelde kullanılacak akımlar) dört türdür. Bunlar aşağıda anlatılmaktadır.

1

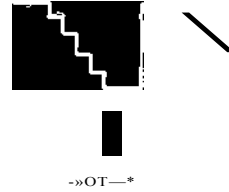
|<-22-64->|<—
48-140 ms

»1

Şekil 2. Sürekli pompalama akımı.

b. Programlı pompalama akımı

Bu akım biçimi, gözlem süresinin sırayla 3/20, 3/20, 3/20, 3/20, 8/20 lik beş bölümü için beş ayrı verdi değerine programlanmış olarak çekiş yapabildiği düşünülen DSİ kuyularındaki pompalama düzenini temsil eder. En büyük değer yine $-0,7$ mA olması öngörülmüştür. Tipik bir dalga biçimi Şekil 3 te görülmektedir.



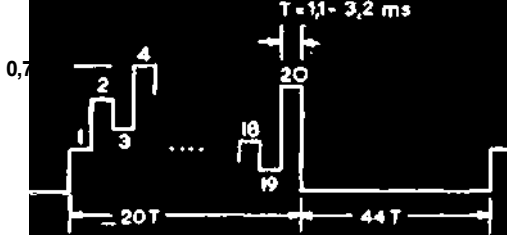
T • t, l - l, t
m»

Şekil 3. Programlı pompalama akımı.

c. Süzülme akımları

Süzülme yoluyla sututucu katmana giren suyu (örneğin yağmur suyu) temsil eder, giren su-

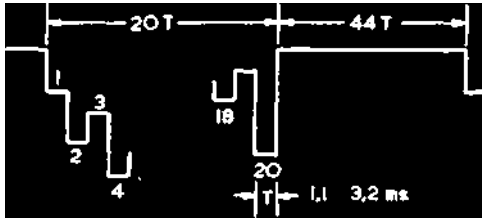
ya karşılık olduğu için pozitif yönlüdür. Gözlem süresinin 1/20'lik 20 bölümü için farklı değerlerde olabilmesi öngörülmüştür. Tipik bir süzülme eğrisi Şekil 4 te görülmektedir.



Şekil 4. Süzülme akma.

ç. Kaçak akımları

Sututucu katmandan kaçak olarak çıkan suyu temsil eder. Kaçak akımı dalga biçimi süzülme akımı dalga biçiminin tıpkısıdır, sadece negatif yönlüdür ve genliği bağımsız olarak ayarlanabilir. Tipik bir kaçak akım dalga biçimi Şekil 5 te görülmektedir.



Şekil 5. Kaçak akım.

4. BESLEME DEVRELERİ

Model üzerinde deneyler, gerekli akımların uygun düğümlere uygulanması ve istenen düğümlerde gerilimin zamana göre değişiminin incelenmesiyle gerçekleştirilecektir. Böyle bir deneyde çeşitli akımları üreten, birbiriyle eşzamanlı olarak çalışan, fakat genlikleri birbirinden bağımsız olarak ayarlanabilen çok sayıda akım kaynağı gereklidir. Gerçekleştirilen cihazda 40 tane sürekli pompalama, 20 tane programlı pompalama, 14 tane süzülme, 5 tane de kaçak akımı kaynağı bulunmaktadır. Bütün bu kaynaklar bir tek cihaz içinde toplanmıştır. Bu cihazın öbek diyagramı Şekil 6 da görülmektedir. Cihaz, beş ana bölümden oluşmaktadır :

- darbe üretici,
- sürüklü pompalama birimi,
- programlı pompalama birimi,
- süzülme-kaçak birimi,

d. yukardaki dört birime güç sağlayan güç kaynağı.

Bu birimler aşağıda sırayla anlatılmaktadır.

4.1. Darbe üretici

Darbe üretici şu darbeleri üretir (Şekil 7):

a. Peşpeşe gelen 21 tane eşit süreli darbe. Bu 21 işaret, I_0, I_1, \dots, I^{20} olarak adlandırılmıştır. Darbelerin süreleri (T) 1,1 ms ile 3,2 ms arasında ayarlanabilir.

b. Programlı pompalama için kullanılacak olan A_j, A_2, \dots, A_n işaretleri.

Temel darbeyi şeması Şekil 8 de verilen bir astabil (periyodu $T = 1,1 - 3,2$ ms) üretir. Astabilin çıkışı bir ortak toplayıcın devreden (Şekil 9) geçtikten sonra 64 e kadar sayan bir sayaç devresine uygulanır. Sayaç devresi Şekil 10 da görülmektedir. Bu devre altı tane T flip-floptan oluşur. T flip-floplar, şeması Şekil 13 te görülen J—K flip-flopun J ve K girişleri birbirine bağlanarak elde edilmiştir. J ve K girişleri birbirine bağlanarak elde edilen tetikleme girişleri Şekil 10 da T_A, T_B, \dots, T_F olarak adlandırılmıştır. Flip-flopların doğru çıkışları A,

B, ..., F ve çevrik çıkışları A, B, \dots, F kod açıcı devreye uygulanırlar. Şeması Şekil 11 de verilen kod açıcı devre, çıkışında Şekil 7 de gösterilen I_0, I_1, \dots, I^{20} işaretlerini verir. Ayrıca beş tane VEYA geçiti $I_j - I^j$ işaretlerinden uygun olanlarını giriş olarak almakta ve çıkış olarak A_j, A_2, \dots, A_n işaretlerini vermektedir. VEYA geçitlerinin giriş ve çıkış işaretleri aşağıda gösterilmiştir.

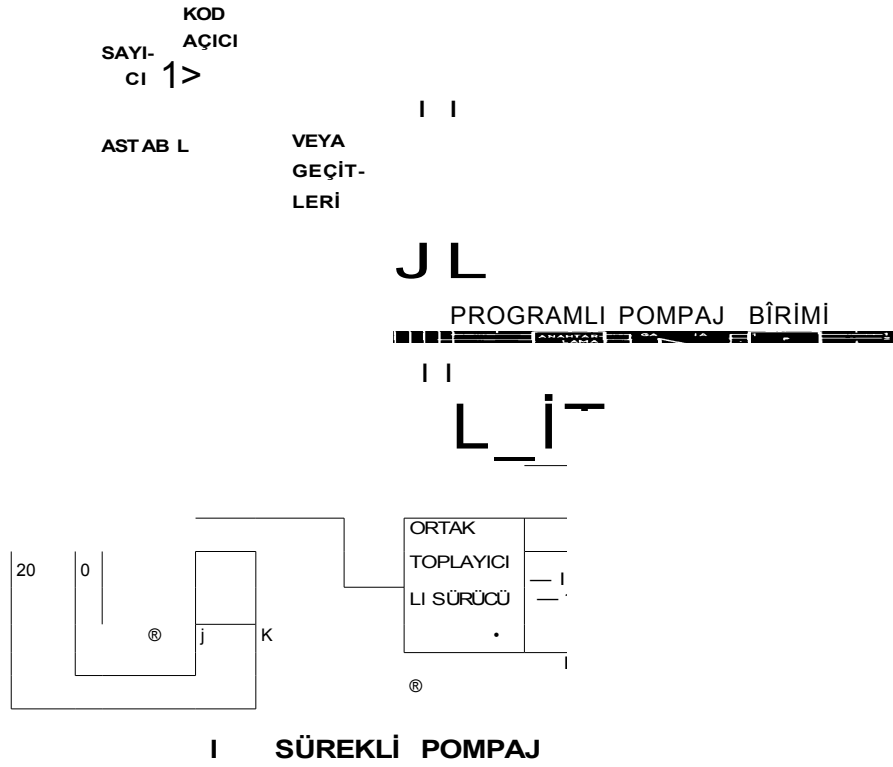
VEYA geçit no.	su	giriş sayısı	giriş işaretleri	çıkış işareti
1		3	I_1, I_2, I_3	A_1
2		3	I_4, I_5, I_6	A_2
3		3	I_7, I_8, I_9	A_3
4		3	I_{10}, I_{11}, I_{12}	A_4
5		8	I_1, I_2, \dots, I_8	A_5

VEYA geçitlerinden birinin şeması Şekil 12 de verilmektedir.

4.2. Sürekli pompalama birimi

Sürekli pompalama birimi Şekil 2 de görülen akımları üretmektedir. G ile gösterilen J—K flip-flopun J girişine I^j , K girişine I^{j+1} darbesi uygulanmıştır. G flip-flopunun şeması Şekil 13

(DARBE ÜRETİCİ BİRİM) (SÜZÜLME-KAÇAK BİRİMİ)



Şekil 6. Cihazın öbek diyagramı.

te görülmektedir. Flip-flopun çevrik çıkışı G nin I_0 ve I^{\wedge} ile olan zaman ilişkisi Şekil 14 te

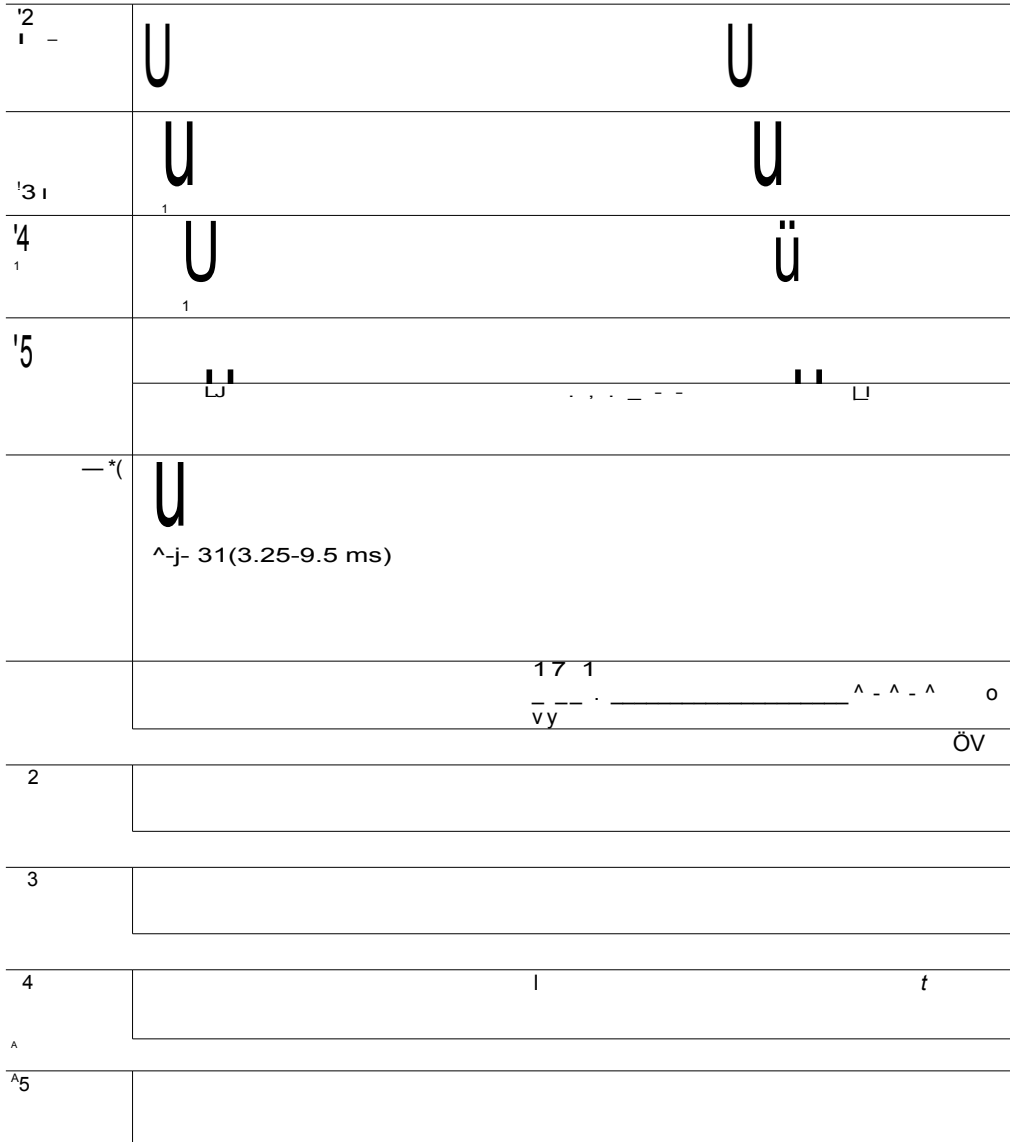
gösterilmiştir. G işareti altı tane ortak toplayıcı-cılı sürücülerden (Şekil 15) geçirilerek 40 tane S tipi akım kaynağının girişlerine uygulanır. S tipi akım kaynağının şeması Şekil 16 da görülmektedir. Akım kaynakları, çıkışlarında, Şekil 2 de

gösterilen akımları üretir. Her akım kaynağının verdiği akım potansiyometreler yardımıyla bağımsız olarak 0 ile $-0,7$ mA arasında ayarlanabilir. Akım kaynakları için doyma sınır yük direnci 10 kfi dur. Yük direncinin 10 kfi dan büyük olması halinde, devrenin doyması potansiyometrenin kısılması ile önlenir.

64 T (70-204ms)

*— T (i,1-3,2ms)

J=



<9-26ms)

Şekil 7. Darbe üretici birimin ürettiği dalga biçimleri.

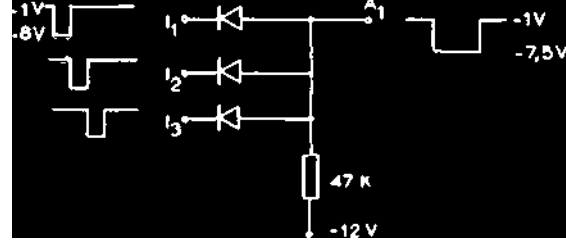
AA BB C

Şekil 11. Kod açıcı devre.

Şekil 10. Sayaç devresi.

4.3. Programlı pompalama birimi

Programlı pompalama birimi Şekil 3 te gösterilen akımları üretir. Bu birimde beşer beşer üç grupta toplanmış 15 anahtarlama devresi ilk katı oluşturur. Gruplar A, B ve C olarak adlandırılmıştır. Her gruptaki birinci devreye A₁, ikinci devreye A₂ ... , beşinci devreye A₅

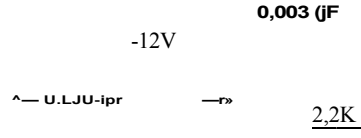


Şekil 12. 1 numaralı VEYA geçitli.

Elekt
rik
Mühe
ndisli
ği
203

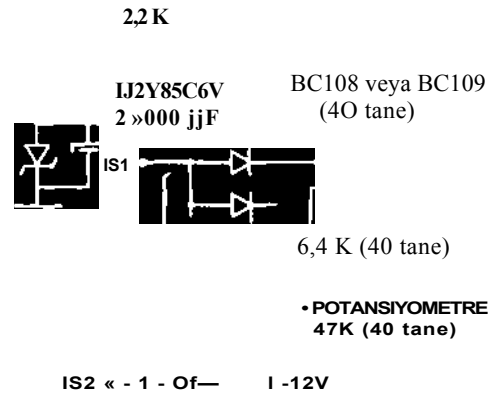
la Şekil 3 te görülen programlı pompalama eğrisinin herbir bölümünün genliği öbür bölümlerden bağımsız olarak ayarlanabilmektedir.

Şekil 13. J—K flip-flop.

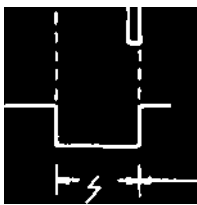


(40) *

çıkış



* IS1.....IS4 için 8,



48-140ms
-fc 22-64 ms
Şekil 14. J, K ve Ğ
gerilimleri.

-04V
-10.4V (

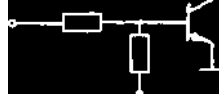
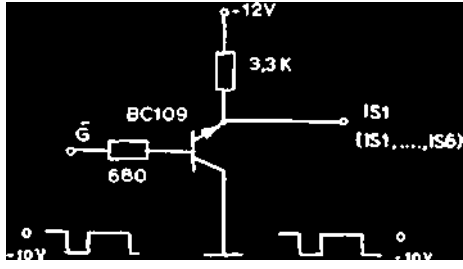
Seldi 16. S tipi akım
kaynağı.

12V
8.2K

8.2K
«12V

GA
(GB)
(GC)

Şekil 15. Ortak toplayıcılı sürücü.



12V 6V

3Ç 8.2 K



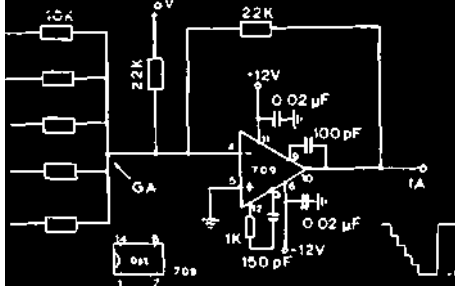
Her gurup için birer tane olmak üzere toplam üç tane olan toplayıcı devrelerden birinin şeması Şekil 18 de gösterilmiştir. Toplayıcı devreden çıkan işaret P tipi akım kaynaklarına uygulanır. Toplam 20 tane P tipi kaynak vardır,

»6V

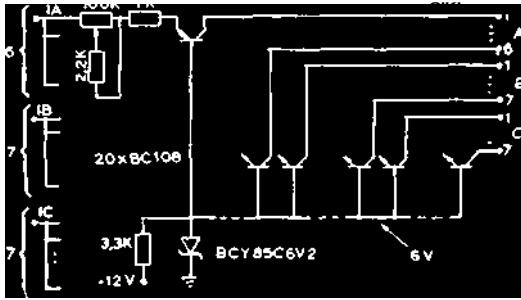
Değeri gösterilmeyen direnç değerleri: 10 K.
Tranzistorlar: A Gurubu BC 237, B ve C Gurupları BC 108.

Şekil 17. Programlı pompalama anahtarlama devresi.

bunlardan 6 sı girişlerini A gurubu 'toplayıcı devresinden; 7 si B gurubu, geri kalan 7 si de C gurubu toplayıcı devresinden alırlar. Böylece aynı anda üç ayn programlama tipinden olmak üzere 20 programlı pompalama akımı elde edilmektedir. P tipi akım kaynaklarının şeması Şekil 19 da görülmektedir. 100 kn luk potansiyometreler ile her çıkış akımı dalga şeklinin toplam genliği 0 ile —0,7 mA arasında değiştirilebilir. Doyma sının yük direnci yine 10 kf olarak saptanmıştır.



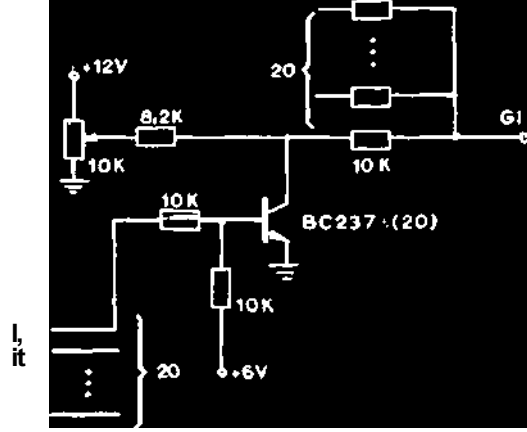
Şekil 18. Programlı pompalama toplayıcısı.
Şekil 19. P tipi akım kaynağı.



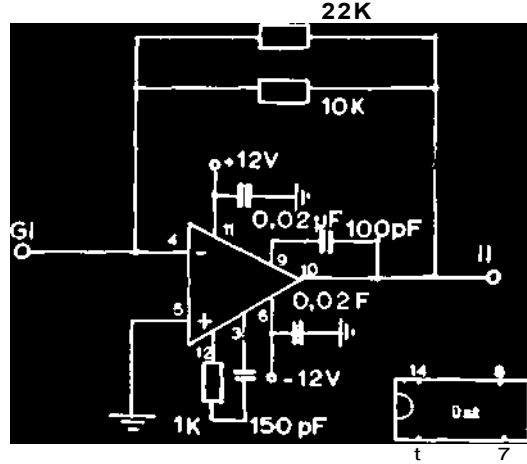
4.4. Süzülme - kaçak birimi

Süzülme-kaçak birimi Şekil 4 ve 5 de görülen işaretleri üretir. Hem süzülme hem kaçak dalga biçimleri için ortak olan anahtarlama devreleri (Şekil 6) 20 tanedir ve bunların birincisi giriş olarak I_1 , ikincisi I_2 , ..., 20 ncisi I^{20} işaretini alırlar. Anahtarlama devrelerinin şeması Şekil 20 de görülmektedir. Herbir anahtarlama devresinin potansiyometresiyle süzülme-kaçak akım dalga biçimindeki T süreli parçacıkların genlikleri birbirinden bağımsız olarak ayarlanabilir. 20 tane anahtarlama devresinin çıkışları şeması Şekil 21 de görülen toplama devresinde toplanır. Toplamıyla elde edilen işaret bir yandan 14 tane süzülme akım kaynağına, öte yandan da bir çeviriciden geçirilerek 5 tane kaçak akım kaynağına giriş olarak uygulanır.

Süzülme akım kaynağının şeması Şekil 23 te, bir işlem yükseltici ile oluşturulan çeviricinin şeması Şekil 22 de ve kaçak akım kaynağının şeması Şekil 24 te görülmektedir. Her iki tür akım kaynağı için de doyma sınırı yük direnci 10 kf olarak öngörülmüştür.

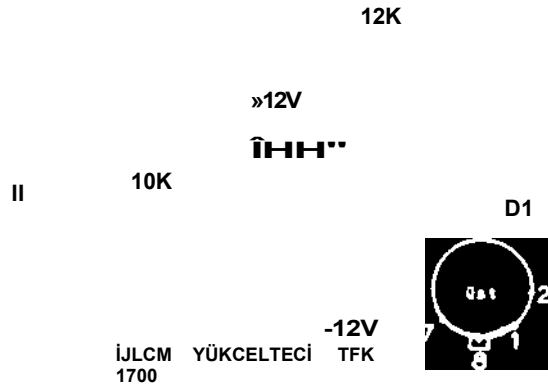


Şekil 20. Süzülme-kaçak anahtarlama devresi.

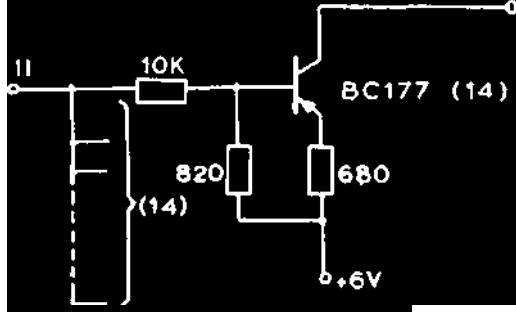


İŞLEM YÜKSELTECİ TFK 3709 Şekil

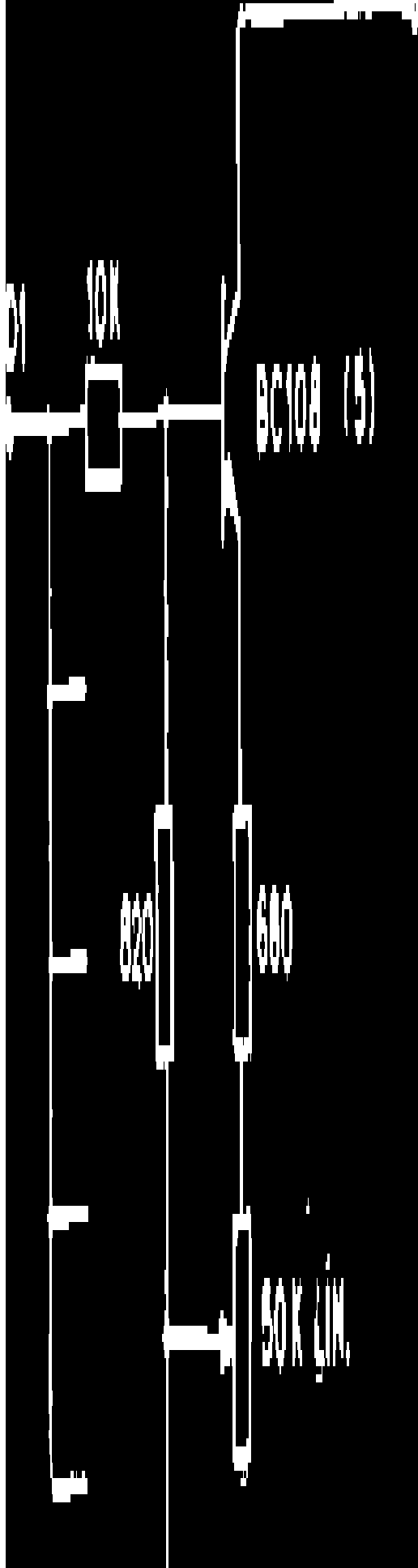
21. Süzülme-kaçak toplayıcı devresi.



Şekil 22. Kaçak çevirici devresi.



Şekil 23. Süzülme akım kaynağı.
-6V

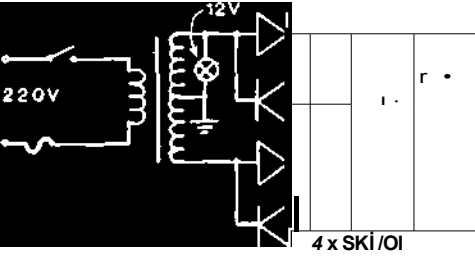


4.5. Güç kaynağı

Güç kaynağı (Şekil 25) gerekli doğru gerilimleri sağlar, doğrultucu devresi ve dört tane regülatör devresinden oluşur. Üretilen doğru gerilimlerle her gerilime ilişkin akım harcamaları şöyledir: +12 V, 75 mA; -12 V, 275 mA; f 6 V, 27 mA; ve -6 V, 4 mA.

5. SONUÇ

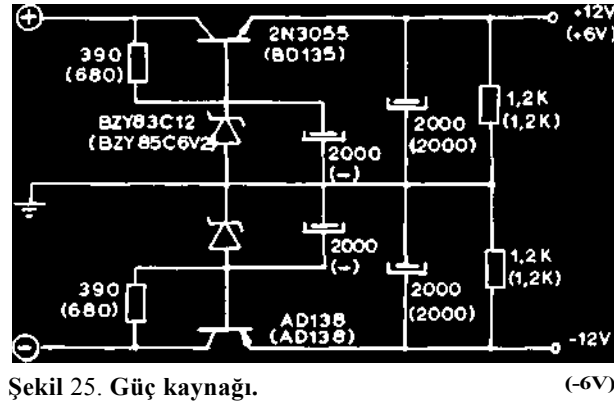
Şekil 24. Kaçak akım kaynağı.



TEŞEKKÜR

Değerli yardımlarından dolayı ODTÜ Elektrik Mühendisliği bölümünden sayın Erbil Payzına, DSİ Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltı Sulan Dairesinden sayın Muammer Yarahoglu ve sayın Oktay Tancaya teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR



Şekil 25. Güç kaynağı.

Yukarda anlatımı yapılan besleme devreleri yardımıyla model üzerinde,

- Özel kuyuların sayılan ve çekimleri,
- Programlı DSİ kuyularının su çekim programları, çekim büyüklükleri,
- Çeşitli yağmur büyüklükleri olasılıkları ile ilişkili çeşitli hipotezler oluşturulmuş [2] ve yirmi yıllık dönem (1970-1990) sonunda sututu-cu katmandaki su yüksekliklerinin her hipoteze göre ne olacağı çeşitli düğüm gerilimlerinin osiloskopla incelenmesiyle saptanmıştır. Havza nın yıllara göre eş sudüşümü eğrilerinin çizilmesi de olanaklıdır. Bu sonuçlar bu yazıda ve rilmemektedir.

- Karplus, W. J., Analog Simulation, Solution of Field Problems, New York : McGraw Hill, 1958.
- Italconsult, Ergene Basin Groundwater Development Project, Technical Report, vol. 3, Rome: 1970.
- Bear J. ve Schvarz, J., Underground Water Storage Study, Technical Report No. 16, Tel Aviv, Tahal-Water Planning for Israel, 1966.
- Tanca, Oktay, Analog Model Sistemleri ve Yeraltı Suyu Problemlerine Tatbiki, Ankara : DSİ, 1971.