

GİRİŞ DİRENCİNE VE MEYİLLİ ARAZİYE GÖRE DÜZENLENMİŞ HOOGHOUDT DRENAJ EŞİTLİĞİ (1)

Ersan GEMALMAZ (2)

Ali Osman DEMİR (3)

ÖZET : *Bu makalede düz arazilerin drenajında kullanılmak üzere geliştirilen Hooghoudt'in drenaj eşitliği, giriş direncine sahip, yatay ve birbirine paralel yüzeyaltı drenler için meyilli arazilerin drenajını kapsayacak biçimde düzenlenmiştir. Arazi yüzeyine gelmekte olan kararlı bir beslenmeyi almakta olan drenler, toprak yüzeyinin aşağısında eşit derinliklerdeki yatay hatlar boyunca yerleştirilmiştir. Düzenlenen bu eşitlikler, Fipps ve Skaggs (1989) tarafından tanımlanan sonlu elemanlar yöntemi ile bulunan sonuçlarla ve Zeigler (1972) tarafından tanımlanan kum tankı denemelerinin sonuçlarıyla karşılaştırılmış olup, iyi bir uyum göstermektedirler. Düzenlenmiş Hooghoudt eşitliğinin uygulanması, sayısal yöntemlerden ve ölçekli modellerden daha kolaydır.*

GİRİŞ

Son zamanlarda Fipps ve Skaggs (1989), meyilli arazilerin yüzeyaltı drenajı konusunda yayınlanan teorileri ve denemeleri yeniden gözden geçirmişler ve sonlu elemanlar yöntemine dayanan kendi analizlerini vermişlerdir. Burada, giriş direncine sahip, meyilli arazide yatay hatlar boyunca eşit derinliklerde birbirine paralel olarak yerleştirilen ve arazi yüzeyine üniform olarak dağılan kararlı bir beslenmeyi alan borulu drenler ile oluşturulan yüzeyaltı drenaj durumu göz önünde bulundurulmuştur.

Le Saffre (1987), meyilli arazilerin drenajında yer alan bütün parametreler arasındaki ilişkiyi gösteren analitik bir formülün henüz bugüne kadar bulunamadığına dikkati çekmiştir; bu nedenle, böyle formüllerin çıkarılışını göstererek geçirimsiz bir tabaka üzerine oturan drenler için basit bir çözüm vermiştir. Bu çözümler, diğer koşullar için kesin olmadığı gibi, giriş direncinin etkilerini de içermezler.

(1) R.J. Oosterbaan'ın, orijinal adı "Hooghoudt's Drainage Equation, Adjusted for Entrance Resistance and Sloping Land" olan bu makalesi henüz herhangi bir dergide yayınlanmamış olup, bizzat yazarından orijinal olarak alınmıştır.

(2) Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü.

(3) Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü.

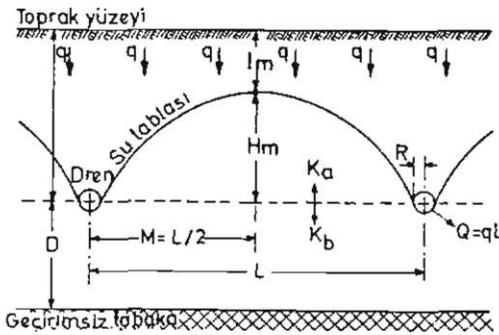
Aşağıda Hooghoudt eşitliği (Hooghoudt, 1940), geçirimsiz tabakaya olan belli bir derinliği, giriş direncini ve arazi meylini hesaba katan parametreler arasındaki ilişkilerin kesin ve oldukça basit matematiksel bir tanımlamasını mümkün kılacak biçimde düzenlenecektir.

Düzenlenen bu eşitlik, Fipps ve Skaggs (1989) tarafından tanımlanan aynı drenaj koşullarına uygulanacak ve elde edilecek Hooghoudt yönteminin sonuçları, Fipps ve Skaggs tarafından sonlu elemanlar yöntemi ile bulunan sonuçlarla karşılaştırılacaktır. Ayrıca, Zeigler (1972) tarafından anlatılan kum tankı denemelerinin sonuçları ile bir karşılaştırma yapılacaktır.

HOOGHOUDT DRENAJ EŞİTLİĞİ

Hooghoudt drenaj eşitliği (hooghoudt, 1940), yatay ve birbirine paralel hendekler, ya da boru drenler sistemi ile drene edilen düz bir alanın yüzeyaltı drenajında yer alan parametrelerin matematiksel bir ilişkisini vermektedir; buradaki paralel konumlu borular veya hendekler girişi dirençsiz, eşit derinliğe yerleştirilmiş ve arazi yüzeyine üniform olarak dağılan kararlı bir beslenmenin etkisi altında bırakılmış kabul edilirler (Şekil 1). Hooghoudt eşitliğinin en yaygın olarak bilinen biçimi Wesseling (1972). Hooghoudt eşitliğinin en yaygın olarak bilinen biçimi Wesseling (1972) tarafından verilmiştir. Bu eşitliğin hafif değiştirilen biçimi ise şöyledir :

$$q L = (8 H_m / L) (K_b D_e + K_a H_a) \quad (1)$$



Şekil 1. Hooghoudt eşitliğinde yer alan parametrelerin gösterilişi

Burada q , sutablasına doğru perkole olan suyun kararlı beslenmesi (m/gün veya m/saat); L , dren aralığı (m); H_m , drenler arası orta noktada dren merkezinden itibaren sutablası yüksekliği (m); K_b , dren düzeyinin aşağısındaki toprağın hidrolik iletkenliği (m/gün veya m/saat); K_a , dren düzeyinin yukarısındaki toprağın hidrolik iletkenliği (m/gün veya m/saat); D_e , dren düzeyinin aşağısında geçirimsiz tabakaya olan Hooghoudt'ın eşdeğer tabaka derinliği (m) ve $H_a = H_m / 2$, dren düzeyinin yukarısındaki sutablasının ortalama yüksekliği (m)'dir.

Eşdeğer tabaka derinliği (D_e), aşağıdaki gibi altta yer alan geçirimsiz tabakanın derinliğine (D) bağlıdır :

$$\text{Eğer } D \leq R \sqrt{2} \quad \text{ise } D_e = D \quad (2a)$$

$$R \sqrt{2} < D < L/4 \quad \text{ise } D_e = \pi D L^2 / (\pi (L - D/2)^2 + 8 D L \ln (D/R \sqrt{2})) \quad (2b)$$

$$D \geq L/4 \quad \text{ise } D_e = \pi L/8 \ln (L/\pi R)$$

Burada R , dren yarıçapı (m)'dir.

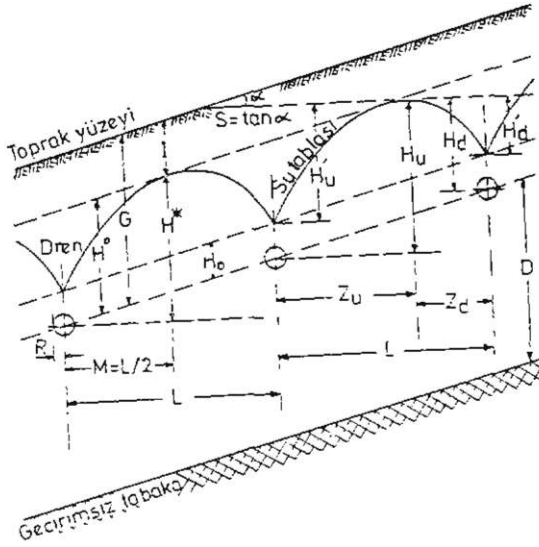
$L/8 < D < L/2$ için Eşitlik 2b ve 2c yaklaşık olarak aynı sonucu verirler. Wesseling (1972) tarafından belirtildiği gibi Eşitlik 2b, Hooghoudt teorisinin Labeye (1960) tarafından analizinin bir sonucudur. Bununla birlikte Wesseling $R \sqrt{2} < D < L/4$ olduğunda, D_e değeri için Hooghoudt eşitliğine değil de Ernsteşitliğine dayanan farklı bir ifade vermektedir. Bu ifadelerin ikisi de D_e değerleri konusunda yalnızca çok küçük bir fark gösterirler. Eşitlik 2a ve 2c Hooghoudt (1940) tarafından verilmiştir.

Eğer drenler açık hendek değil de gömülü borular ise, yukarıdaki eşitliklerin $R = W/\pi$ şeklinde hesaplanacak bir eşdeğer yarıçap değerinin kullanılması ile uygulanması mümkün olabilir; burada W , hendeğin ıslak çevresidir.

Yukarıdaki eşitlikler anizotropik hidrolik iletkenliği hesaba katacak tarzda düzenlenebilirler (Boumans, 1979). Bu eşitlikler Oosterbaan (1986) tarafından tanımlanan ilkelerin kullanılması ile, aşağıya doğru düzey akışın direncini hesaba katmak için de düzenlenebilirler. Ayrıca bu eşitlikler, eğer 8 katsayısı yerine $6.4 \cong 2\pi$ konulacak olursa, zamanla düşen sutablasına sahip drenaj koşulları için de kullanılabilirler (Oosterbaan ve ark., 1989).

GİRİŞ DİRENCİNE SAHİP BORULU DRENLERLE MEYİLLİ ARAZİLERİN DRAJAJI

Giriş direncine sahip boru drenlerle meyilli arazilerin drenajında yer alan parametreler Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 2. Giriş direncine sahip dren boruları ile meyilli arazilerin drenajında yer alan parametreler

Şekilde kullanılan simgeler aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır :

- D, geçirimsiz tabakanın dren merkezinden itibaren derinliği (m);
- G, toprak yüzeyinden itibaren dren merkezinin derinliği (m);
- H_0 , giriş yükü diye adlandırılan ve drenin hemen üzerinde bulunan sutablasının dren merkezinden itibaren yüksekliği (m);
- H_u , drenler arası su ayırma çizgisindeki sutablasının dren merkezinden itibaren ölçülen meyil yukarı yöndeki yüksekliği (m);
- $H'_u = H_u - H_0$ (giriş yükü nedeniyle azalan H_u);
- H_d , drenler arası su ayırma çizgisindeki sutablasının dren merkezinden itibaren ölçülen meyil aşağı yöndeki yüksekliği (m);
- $H'_d = H_d - H_0$ (giriş yükü nedeniyle azalan H_d);
- H^* , drenler arası orta noktada meyil aşağı yöndeki en yakın drenin merkezinden itibaren ölçülen su tablası yüksekliği (m);

- H^0 , drenler arası orta noktada drenlerin merkezinden geçen meyilli hattın itibaren ölçülen sutablası yüksekliği (m);
- I , drenler arası orta noktada, toprak yüzeyinden itibaren ölçülen sutablası derinliği (m);
- L , dren aralığı (m);
- $M = L / 2$ (dren aralığının yarısı; m);
- S , arazinin meyili (m/m);
- Z_u , drenler arası su ayırım çizgisinin drenenden itibaren meyil yukarı yönde ölçülen uzaklığı (m);
- Z_d , drenler arası su ayırım çizgisinin drenenden itibaren meyil aşağı yönde ölçülen uzaklığı (m)'dir.

HOOGHOUDT EŞİTLİĞİNİN GİRİŞ DİRENCİ İÇİN DÜZENLENMESİ

Hooghoudt eşitliği, dren çevresindeki tabansuyu akışının giriş direncini hesaba katmak için Oosterbaan ve ark. (1989, 1990 a ve b) tarafından tartışması yapılan ilkelerin uygulanması ve aşağıdaki değerlerin yerlerine konulması ile düzenlenebilir :

H_m için $H'_m = H_m - H_0$ (giriş yükü nedeniyle azalan H_m);

D için $D'' = D + H_0$ (giriş yükü nedeniyle artan D);

H_a için $H'_a = H_a - H_0$ (giriş yükü nedeniyle azalan H_a);

R için $R'' = R + H_0$ (giriş yükü nedeniyle artan R).

Bu ifadelerde yer alan H_0 , daha önce tanımlanan giriş yüküdür.

Giriş yükü doğrudan doğruya tayin edilebileceği gibi, çapsal akış görüşü uyarınca da (Oosterbaan, 1990 a) bulunabilir.

$$H_0 - R = (E q M / \pi) \ln (H_0 / R) \quad (3)$$

Burada E , giriş direnci olup (gün/m veya saat/m), diğer simgeler daha önce tanımlandığı gibidir. $E = 1 / K_e$ olup, K_e ise akışın ikincil daralmasını da içermek üzere dren çevresindeki malzemenin etkili hidrolik iletkenliğidir (m/gün veya m/saat).

Sonlu elemanlar yönteminde E 'nin veya K_e 'nin etkisini hesaba katmak için Fipps ve Skaggs, gerçek dren yarıçapı olan $R = 0.05$ m yerine $r = 0.01$ m olan bir eşdeğer yarıçap kullanmışlardır, bu durumda giriş yükü için Eşitlik 3

$$H_0 - R = (q M / \pi K) \ln (H_0 / r) \quad (3a)$$

şeklinde yazılır. Fipps ve Skaggs tarafından verilen örnekte şu veriler yer almaktadır : $q = 0.0022$ m/saat, $M = L/2 = 15$ m, ve $H_0 = 0.2$ m. Bu son değer söz konusu makaledeki şekilden ölçülmüştür. Bu şekil bu makalede verilen Şekil 3'tür. Böylece Eşitlik 3a'dan bulunan $H_0 = 0.209$ m değeri, yukarıda verilen $H_0 = 0.2$ m'ye yakındır.

HOOGHOUDT EŞİTLİĞİNİN EĞİMLİ ARAZİLER İÇİN DÜZENLENMESİ

Hooghoudt drenaj eşitliğinde, drenler arası su ayırım çizgisi (ve dolayısıyla bir drenin etki bölgesi), drenen itibaren $M = L/2$ mesafede yer alır; yani drenler arası orta noktadan geçer. Tesviye hattı boyunca yerleştirilen drenlere sahip meyilli arazilerde ise, meyil yukarı yöndeki etki alanı (Z_u) meyil aşağı yöndekinden (Z_d) daha büyüktür. Bu, su ayırım çizgisinin drenler arası orta noktada bulunmadığı anlamına gelir (Şekil 2, 4 ve 5).

Bununla birlikte Hooghoudt eşitliği (Eşitlik 2) L'nin yerine $2 Z_u$, ya da $2 Z_d$ 'nin her ikisinin alınması ve Oosterbaan (1975) tarafından verilen ilkelerin kullanımı ile meyilli arazilere göre düzenlenebilir; böylece Eşitlik 1, iki eşitlik dizisine dönüşür. Daha sonra, drenler arası orta noktadaki sutablasının dren düzeyinden itibaren yüksekliğinin (H_m) yerini sırasıyla, Z_u ($H_u > H_m$) mesafesindeki sutablası yüksekliği (H_u) ve Z_d ($H_d < H_m$) mesafesindeki sutablası yüksekliği (H_d) alır.

Ayrıca, drenler arası orta noktadaki sutablasının dren düzeyinden itibaren ortalama yüksekliğinin (H_a) yerini, su ayırım çizgisindeki (yani sırasıyla Z_u ve Z_d 'deki) sutablasının drenlerin merkezlerini birleştiren eğimli hattın itibaren yüksekliğinin yarısı alır; bu da sırasıyla

$$H_{au} = (H_u - S Z_u) / 2 \text{ ve } H_{ad} = (H_d + S Z_d) / 2$$

demektir ki burada S, eğimi göstermektedir.

Son olarak, dren çapı R'nin yerini $R_u = R Z_u / M$ ve $R_d = R Z_d / M$ alır; çünkü su drenlere üst taraftan nispeten daha büyük bir çevresel kısımdan girmektedir.

Bu durumda şu ilişkiler geçerlidir :

$$Z_u + Z_d = 2 M \quad (4a)$$

$$H_u - H_d = S (Z_u + Z_d) \quad (4b)$$

$$Q = q (Z_u + Z_d) \quad (4c)$$

Burada Q, 1 m dren uzunluğuna gelen kararlı boşalım miktarıdır ($m^3/gün/m = m^2/gün$).

Bu yapılan düzenlemelerin uygulanabilmesi için genel koşul $Z_u < L$ ve $Z_d > 0$ 'dır. Aşırı dik eğimlerde ($S > \% 10$) bu koşullar muhtemelen karşılanamaz; fakat bu taktirde drenaj da gerçekçi bir öneri olmaktan çıkar. Bundan başka düzenlenen bu eşitlikler sınır drenleri için, yani sistemin ilk ve son drenleri için geçerli değildirler.

Literatürde bulunan sonuçlar ile düzenlenen Hooghoudt eşitliğinin sonuçlarının karşılaştırılmasını kolaylaştırmak için Eşitlik 1, H_u' değişkenine göre ikinci dereceden olarak şu şekilde yazılır :

$$K_a (H_u')^2 + B H_u' - C = 0$$

yukarıdaki ifadede

$$B = 2 K_b D''_u - K_k S Z_u \text{ ve } C = q Z_u^2$$

olduğundan H_u' 'nin çözümü de

$$H_u' = (-B + \sqrt{B^2 + 4 K_a C}) / 2 K_a$$

şeklini alır. Burada D''_u , giriş direnci ve meyil için D_e 'nin düzenlenen değeridir.

SONUÇLARIN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI

Şekil 3, Fipps ve Skaggs (1989) tarafından verilen orijinal şekilden yararlanılarak hazırlanmış olup, orijinal şekilden şu sonuçlar çıkarılabilir : $Z_u = 24$ m, $Z_d = 6$ m, $H_u = 1.8$ m ve $H_d = 0.3$ m. Eğim $S = 0.05$ ve dren aralığı $L = 30$ m olduğundan eşitlik 4a ve 4b doğrulanmaktadır.

İlaveten Fipps ve Skaggs'ın verilerine göre, $H_o = 0.2$ m, $H_u = 1.8$ m, $D = 2$ m ve $R = 0.05$ m'doır. Böylece giriş direnci için düzenlemeler aşağıdaki gibi yerleştirmeler şeklinde olacaktır :

$$H'_u = 1.8 \text{ m için } H'_u = H_u - H_o = 1.6 \text{ m}$$

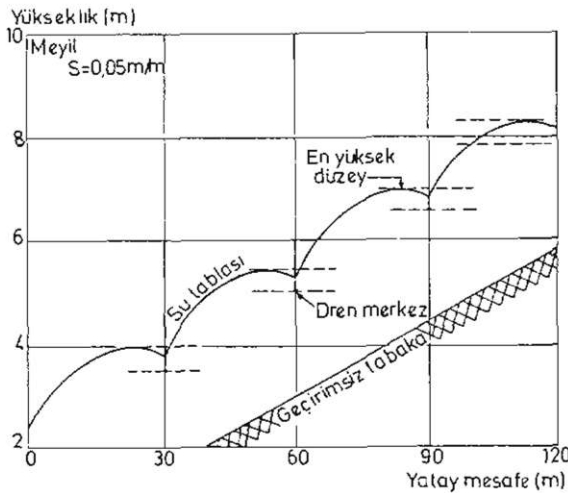
$$D'' = 2 \text{ m için } D'' D + H_o = 2.2 \text{ m}$$

$$R'' = 0.05 \text{ m için } R'' R + H_o = 0.25 \text{ m}$$

Aynı zamanda $Z_u = 24$ m ve $M = L/2 = 15$ m olduğundan bu değerleri tekrar yerine

koymakla

$R'' = 0.25$ m ile $R''_u = R' Z_u / M = 0.4$ m değerleri elde edilir. Burada mevcut öteki veriler ise $q = 0.0022$ m/saat ve $K_a = K_b = 0.158$ m olmaktadır. Bu durumda eşitlik 5, $H'_u = 1,68$ m değerini verirken $H_u = H'_u + H_o = 1,88$ m olmaktadır. Bu değerler ise sırasıyla verilmiş olan $H'_u = 1,6$ m ve $H_u = 1.8$ m değerlerinden büyük ölçüde farklı olan değerler değildir. Ve fark % 5'tir. Böylece düzenlenmiş Hooghoudt eşitliğinin durumu tanımlamada yeterli olduğu sonucuna varılabilir.



Şekil 3. Sonlu elemanlar yöntemi ile bulunan sutablasının biçimi (Fipps ve Skaggs, 1989).

Drenler arası orta noktada ($M = L/2$ mesafesinde) meyil aşağı yöndeki drenin merkezinden itibaren ölçülen sutablası yüksekliği H^* , Eşitlik 1'ir $Z_u - M$ bölgesindeki esas yatay akışa uygulanması ile bulunur. Burada L yerine $2(Z_u - M)$, D yerine $D + H^*$, H_m yerine $H_u - H^*$ ve H_a yerine $(H_u - H^*)/2$ 'nin kullanılmasıyla eşitlik aşağıdaki şekle dönüşür :

$$H^* = \sqrt{(H_u + D)^2 - q(Z_u - M)^2 / K} - D \quad (6)$$

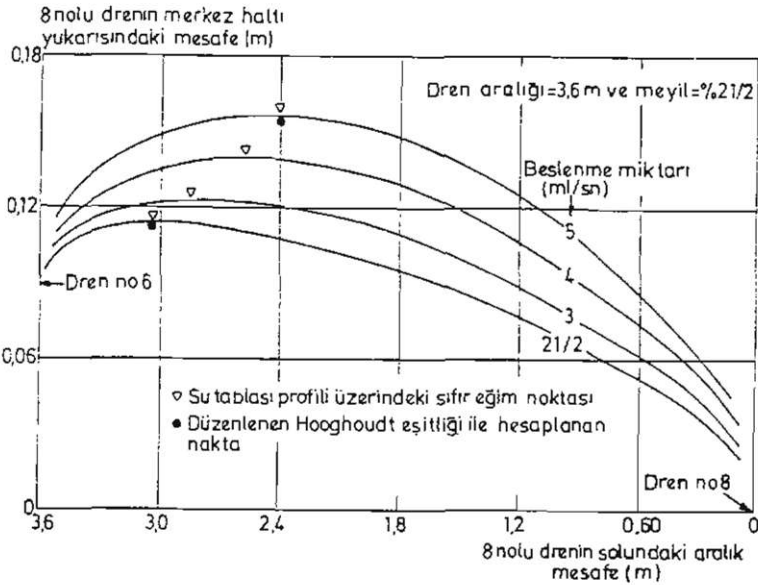
Daha önceki verilerin Eşitlik 6'da yerlerine konulmasıyla $H^* = 1.73$ m bulunur. Eğer

$$H^0 = H^* - S M \quad (7)$$

eşitliği kullanılırsa $H^0 = 0.98$ m bulunur. Burada H^0 , drenler arası orta noktada drenlerin merkezinden geçen eğim hattından itibaren ölçülen sutablası yüksekliğidir (Şekil 2 ve 4).

Eğer arazi eğimli olacak yerde düz olsaydı, drenler arası orta noktada dren merkezinden itibaren dikkate alınan sutablası yüksekliğini (H_m) hesaplamak için Eşitlik 1, yine giriş direnci düzenlemesi yapılarak kullanılabilirdi. Böyle bir hesaplama $H_m = 0.94$ m sonucunu verecektir ki, buradan da $H^0 (= 0.98$ m) ve H_m arasındaki farkın küçük olduğu görülmektedir. Sonuç olarak, aynı koşullara sahip meyilli arazilerde ve düz arazilerde, drenaj ile oluşan minimum sutablası derinlikleri hemen hemen aynı olmaktadır.

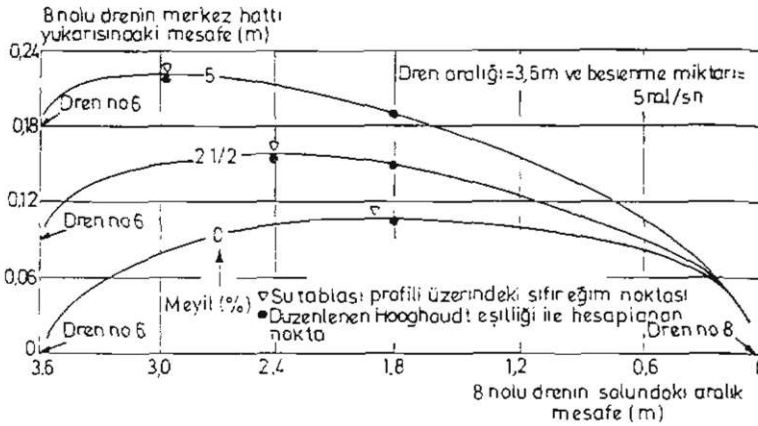
Bu nedenle düzenlenmiş Hooghoudt eşitliği, eğimli arazilerdeki drenaj sistemleri sanki düz arazide projeleniyormuş gibi planlandığında, sutablası derinliklerinde önemli bir hata olmayacağı şeklindeki genel görüşe (Fipps ve Skaggs, 1989) uygun düşen sonuçlar vermektedir.



Şekil 4. Kum tankı modellerinde değişik beslenme miktarlarıyla hesaplanarak bulunan sutablası yükseklikleri (Zeigler, 1972).

SONUÇLARIN KUM TANKI MODELLERİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI

Şekil 4 ve 5, Zeigler (1972) tarafından verilen şekillerin yeniden çizimidir. Daha önce açıklandığı gibi bunlar benzer drenaj koşulları için bir kum tankında yürütülen denemelerin sonuçlarını göstermektedirler. Şekil 4, $S = 0.025$ m/m'lik meyile sahip bir kum tankında, $q = 0.00812$ m/saat'ten $q = 0.0161$ m/saat'e kadar değişen kararlı beslenme koşullarındaki sutablalarının biçimlerini göstermektedir. Beslenme miktarı artarken, meyil yukarı yöndeki etki alanı Z_u 'nun azaldığı görülmektedir. Şekil 5, kararlı beslenme $q = 0.0161$ m/saat olduğunda, $S = 0$ 'dan $S = \% 5$ 'e kadar değişen meyillerdeki sutablalarının biçimlerini göstermektedir. Yine aynı şekilden eğim arttıkça Z_u bölgesinin de arttığı görülmektedir.



Şekil 5. Kum tankı modellerinde değişik meyillerle hesaplanarak bulunan sutabası yükseklikleri (Zeigler, 1972).

Zeigler (1972) tarafından ayrıca şu ek bilgiler de verilmektedir :

$L = 3.66$ m, $D = 0.61$ m, $K_a = K_b = 0.619$ m/saat.

Toplam yarıçap $R = 0.061$ m olacak biçimde drenler geçirgen bir zarfla sarılmıştır. Giriş dirençleri şekillerden açıkça anlaşılammaktadır. Bununla birlikte 0.195 - 386 mm/gün'e kadar değişen aşırı yüksek beslenme miktarlarından ötürü bir miktar giriş direncinin oluşması beklenir. Bu nedenle $q = 0.00812$ m/saat olduğunda

$H_0 = 0.01$ m ve $q = 0.0161$ m/saat olduğunda ise $H_0 = 0.02$ m olarak hesaplanır. Bunlar sırasıyla, düzenlenen dren yarıçapını ($R'' = R + H_0 = 0.7$ m ve $R'' = 0.08$ m) vermektedirler.

Bu durumda, düzenlenen Hooghoudt eşitliği (Eşitlik 5) ile drenler arası orta noktadaki maksimum sutablası yüksekliği, mevcut verilerden yararlanarak hesaplanabilir. Burada, Zeigler tarafından verilen durumlardan bazıları kullanılmaktadır. Deneme sonuçları ile hesaplama sonuçları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Düzenlenen Hooghoudt Eşitliğinin Sonuçları ile Eğimli Bir Kum Tankı Modelindeki Deneysel Sonuçların Aynı Verilerin Kullanılmasıyla Karşılaştırılması.

Değişken	Kaynak	S = 0.025 q = 0.00812	S = 0.025 q = 0.0161	S = 0.050 q = 0.0161	S = 0.000 /m/m) q = 0.0161 (m/saat)
Z_u , m	Şekil 4 ve 5	3,08	2,44	2.98	1,84
H_u , m	Şekil 4 ve 5	0,117	0,159	0,225	0,105
H_u ,m	Eşitlik 5	0,115	0,152	0,208	0,104
H^* , m	Şekil 4 ve 5	0,100	0,151	0,194	0,105
H^* , m	Eşitlik 6	0,101	0,147	0,187	0,104
H^0 , m	Şekil 4 ve 5	0,054	0,105	0,102	0,105
H^0 , m	Eşitlik 7	0,052	0,098	0,095	0,104

Tablo 1, deneysel olarak ölçülen değerlerle hesaplanan H_u , değerlerinin iyi bir uyum içinde olduğunu göstermektedir. Maksimum fark (S = 0.05 m/m'lik meyile ve $q = 0.0161$ m/saat'lik debiye sahip sütündeki) % 7'ye varmaktadır. Bu nedenle, düzenlenen Hooghoudt eşitliğinin bu durumları yeteri derecede tanımladığı sonucuna varılır.

Üstelik Tablo 1, $q = 0.0161$ m/saat'lik debiye sahip bütün durumlar için H^0 değerlerinin (yani drenler arası orta noktada, drenlerin merkezlerini birleştiren hattın yukarısındaki sutablası yüksekliği) esasen aynı olduklarını göstermektedir. Bu durum, eğimli arazilerin dermajının sanki düzmüş gibi ele alınabileceği hususunu tekrar doğrulamaktadır.

SONUÇ

Hooghoudt drenaj eşitliği, küçük ve basit düzenlemelerle drenaj koşullarının pek çoğuna uyarlanabilir. Bu makalede eşitlik, giriş direncini ve arazi eğimini hesaba katmak için basit bir cep hesap makinası ile hesaplanabilen matematiksel ifadeler verebilecek şekilde düzenlenmiştir; bundan önceki çalışmalar bunu mümkün kılmamaktaydı. Zira şimdiye kadarki çalışmalarda eğimli arazilerin drenajı başlıca sayısal veya ölçekli modellere dayanılarak analiz edilmekteydi.

Düzenlenen eşitlikler, benzer drenaj koşulları altında, kum tankı ve sonlu elemanlar modellerine ait literatürden alınan verilerle karşılaştırılmıştır. Aradaki farkların çok küçük olması, düzenlenen Hooghoudt eşitliğinin tamamen doğru olduğunu göstermektedir.

KAYNAKLAR

- Boumans, J.H., 1979. "Drainage Calculations in Stratified Soils Using the Anisotropic Soil Model" In 'Proceedings of the International Drainage Workshop' Ed. by J. Wesseling. ILRI Pub. No. 25; pp. 108-123, Wageningen.
- Fipps, F. and R.W. Skaggs, 1989 "Influence of Slope on Subsurface Drainage of Hillsides" Water Resour Res., 25 : 1717-1726.
- Hooghoudt, S. B., 1940 "General Consideration of the Problem of Field Drainage by Parellel Drains, Ditches, Watercourses, and Channels" Publ. No 7, Bodenkundig Instituut, Groningen.
- Le Saffre, B., 1987. "Analytical Formulae for Traverse Drainage of Sloping Lands With Constant Rainfall" Irrig. Drain. I. 105-121.
- Oosterbaan, R.J., 1975. "Interception Drainage and Drainage of Sloping Lands" Bull. of the Irrig. Drain. and Flood Contr. Res. Council of Pakistan 5 : 1-16.
- Oosterbaan, R.J., 1986. "Tubewell - Spacing Formulas for Subsurface Drainage" In 'Hydraulic design in Water Reseources Engineering : Land Drainage' Ed. by K.V.H. Smith and D.W. Rycroft. Proc. of the 2nd Int. Con., Southampton University, U.K.
- Oosterbaan, R.J., A. Pissarra, and J.G. van Alphen, 1989. "Hydraulic Head and Discharge Relations of Pipe Drainage System With Entrance Resistance" Proc. 15th European Con. On Agricultural Water Management, Vol III : Installation and Maintenance of Drainage and Irrigation Systems. 86-98. Dubrovnik.

- Oosterbaan, R.J., 1990a. "Single Pipe Drains With Entrance Resistance Above a Semi-Confined Aquifer" Symp. on Land Drainage For Salinity Control in Arid and Semi-Arid Regions. 3 : 36-46. Cairo, Egypt.
- Oosterbaan, R.J., 1990b. "Parallel Pipe Drains Above a Semi-Confined Aquifer With Upward Seepage" Symp. on Land Drainage for Salinity Control in Arid and Semi-Arid Regions. 3 : 26-35. Cairo, Egypt.
- Wesseling, J., 1973. "Subsurface Flow into Drains" in 'Drainage Principles and Applications; Vol. II : Theories of Field Drainage and Watershed Runoff ILRI Publ. No : 16, 2-56, Wageningen.
- Zeigler, E.R., 1972. "Laboratory Tests to Study Drainage From Sloping Land" Report REC-ERC - 72 - 4, Engineering and Research Center, Bureau of Reclamation, Denver, Colorado.