

## TOPRAK İÇİNDE VE DERELERDE SU İLETİMİ (1)

Yazan :

**David D. WOOLDRIDGE**  
A.B.D. Tarım Bakanlığı Orman Servisi  
Wenatchee, Washington

Çeviren :

**Ertuğrul GÖRCELİOĞLU**  
İ.Ü. Orman Fakültesi  
Or. İşletme İnşaatı Kürsüsü

### Ö Z E T

A.B.D.'de ormanlık alanlar bütün ülkenin kullanılabilir su ihtiyacının 3/4 ünü karşılamakta, fakat buna karşılık toplam yüzölçümünün ancak 1/3 ünü kaplamaktadır. Ortalama olarak, ormanlık alanların bu su verimi ormansız alanların su veriminden 6 kat fazladır. Ormanlık alanlarla ormansız yerler arasındaki en büyük farkları şöyle sıralayabiliriz:

- Ormanların sahip bulunduğu tepe çatılarının büyük ve etkin örtü alanı ve toprakaltı kök sistemleri.
- Orman ağaçlarının yaprak ve ibrelerinin ölü örtüye her yıl fazla miktarda katkıda bulunması.
- Orman örtüsü altındaki yüzey toprağı karakteristiklerinin uzun süre stabil kalması. Hidrolojik bakımdan bu karakteristikler (1) yağışın intersepsiyonu, (2) evapotranspirasyon ve (3) infiltrasyon süreçleri (Process) içinde önem taşırlar.

Bir toprak sistemi içinde su, sistemin fiziksel ve kimyasal koşullarının empoze ettiği potansiyel gerilimlere (toprak gerilimi ya da emme) bağlı olarak, toprakta tutulur ya da akar. Suyun bir sistem tarafından tutulması, adhezyon, kohezyon ve yüzey gerilimi sonucu ortaya çıkan kapillarite olayı nedeniyle olmaktadır. Suyun harekete geçmesi ise (1) yerçekimi kuvveti, (2) kapiller güç, (3) osmotik basınç, ya da (4) bir sıcaklık derecesi ile ilgili potansiyeller arasındaki dengesizlik sonucu

1) «Transport Phenomena in Atmospheric and Ecological Systems»den alınarak «The American Society of Mechanical Engineers» tarafından yayınlanan ve A.B.D. Tarım Bakanlığı Orman Servisince dağıtılan teknik broşürden dilimize çevrilmiştir.

ortaya çıkar. Suyun bu hareketi sırasında herhangi bir doğrultuda toprağın doymamış halde olmamasından doğan bir akış potansiyeli meydana gelebilir. Aşağıya doğru su akışı, ancak yer çekimine bağlı potansiyelin diğer etkenlerin potansiyellerini aşması halinde olmaktadır.

Su akışının şiddeti, toprağın rutubet muhtevasının artmasıyla doymamış toprağın geçirgenlik katsayısı da büyüyeceğinden- değişir. Maksimum toprak suyu akış şiddetleri, sağanak halindeki yağmur sularının yüzeysel akışa geçmeden açık kanal sistemlerine aktarılmasına yeterlidir. Toprak suyu akışı yeni bir katkı olmaksızın devam ederken, doymamış haldeki (unsaturated) geçirgenlik katsayısı küçülür ve akış şiddeti de azalır. Bu süreç, yüksek arazideki ormanlık havalarda bir taban suyu akışı kaynağı olmağa yetecek uzunlukta bir süre boyunca devam eder.

Orman ve dere arasında sık sık bir su rekabeti söz konusu olur ve biri diğerinin aleyhine çalışır. Orman amenajmancısının orman örtüsü üzerindeki kontrolü, dere akışında sınırlı bir kontrol olanağı yaratmaktadır.

## G İ R İ Ş

Sözlükte hidroloji, «suyun özellikleri, dağılışı ve yeryüzünde, toprak ve ana kayalar içinde ve atmosferde dolaşımı ile ilgilenen bir bilim» olarak tarif edilmektedir. Bilindiği gibi hidroloji, su ile ilgili değişik bilimsel disiplinlerin, bu arada meteoroloji, toprak bilimi, bitki fizyolojisi ve ekolojinin uygulamasıdır. Bu yazımızda hidroloji biliminin özellikle orman çevresiyle bağlantılı olarak toprak içinde ve yüzeyde suyun tutulması ve akışı ile ilgili bölümünü ele alacağız. Özellikle orman çevresine önem verilmesi, ormanların en büyük su kaynakları durumunda bulunmaları nedeniyle, uygun olacaktır.

## ORMANLAR VE DERE AKIŞI

A.B.D.'de bütün ormanlar 260 milyon hektarlık bir alanı, ya da başka bir deyişle ülkenin toplam yüzölçümünün 1/3 ünü kaplarlar. Bu orman alanları yaklaşık olarak toplam yağışın yarısını almakta, fakat ülkenin toplam kullanılabilir dere akışının 3/4 ünü sağlamaktadırlar. Bütün ülkede ortalama olarak yıllık yağış 76.20 cm ve yıllık yüzeysel akış ise 22.86 cm dir. Yağış ve yüzeysel akış arasındaki fark (53.34 cm) , evapotranspirasyon kaybı olarak sınıflandırılmaktadır. Or-

talama olarak ormanlık alanlara düşen yağış hemen hemen 114.3 cm yi bulmaktadır. A.B.D.'de, ormansız alanlara düşen yağış ise, ormanlık alanlara düşenin ancak yarısı kadar (55.88 cm) dir. Ormanlık alanlara düşen 114.3 cm yağışın yaklaşık olarak 50.8 cm kadarı yüzeysel olarak akışa geçer. Oysa ormansız alanlarda akışa geçen miktar yalnız 7.62 cm dir. Evapotranspirasyonla harcanan toplam su miktarı, ormanlık alanlarda (63.5 cm), ormansız alanlardakinden (48.26 cm) daha fazladır; fakat ortalama su verimi, ormanlık alanlarda yağışın % 44'üne ulaşırken, ormansız alanlarda bu oran ancak % 15 kadardır. Aktüel yüzeysel akış miktarları bakımından ise ormanların verimi 5.1525 m<sup>3</sup>/ha, ormansız alanların verimi 0.7725 m<sup>3</sup>/ha dir. Görülüyor ki ormanlık alanlardan akan su miktarı, ormansız alanlardan akan suyun 6 katından fazladır.

Geniş ölçüde farklı yağış ve orman tipleri bakımından ülkeyi genel olarak doğu ve batı kesimlerine ayırmak mümkündür. Doğu kesiminin 2/3 ünden fazlası yılda 101.6-152.4 cm arasında yağış almaktadır. Bu miktar, ülke çapındaki yağış ortalamasının çok üzerindedir ve yıl içinde aylara dağılışı da oldukça düzenlidir.

Batı kesiminde yağışlar, mevsimler arasındaki büyük dengesizliklerle, tipik bir deniz iklimi özelliği göstermektedir. Ortalama yıllık yağış, yerine göre 12 cm ile yüksek dağlık arazide- 254 cm arasında değişir. Haziran'dan Eylül'e kadar düşen yağış genellikle toplam yıllık yağışın % 10 undan daha azdır. Dağlık arazide yıllık yağışın büyük kısmı çoğu zaman kar şeklinde düşmektedir. İlkbahardaki kar erimesi dere akışına önemli bir katkıda bulunur ve çoğu zaman, yaz sonlarına doğru kullanılabilir suyun tek kaynağı bu kar erimesi olmaktadır. Farklı iklim bölgelerindeki akarsu sistemlerinin hidrolojisini, yazımızın daha sonraki bir bölümünde inceleyeceğiz.

## SU İLETİM SİSTEMLERİ

Toprak içinde ve derelerde su iletimi konusundaki temel mütalâalar, hidrograf analizi ile toprak içinde suyun tutulması ve akması konularında bazı terminolojik bilgilere ihtiyaç göstermektedir. Bu konulara, yağışın düzenini (dispozisyon) mütalâa ederek giriş yapmak mümkündür. Vejetasyonla kaplı alanlara düşen yağış üzerinde intersepsiyonun ve evapotranspirasyonun etkileri olmaktadır. İntersepsiyon; yaprak ve dallar, gövdeler ve ölü örtü tarafından geçici olarak tutulan ya da bunlar üzerinde alıkonarak biriken yağış miktarıdır ve çoğu zaman orman örtüsü (diri örtü) intersepsiyonu ve ölü ör-

çü intersepsiyonu olmak üzere iki gruba ayrılarak incelenir. Orman örtüsü intersepsiyonu doğrudan doğruya ibre ya da yapraklar, sürgünler ve küçük dallar üzerinde alınır. Dallardan ve ağaç gövdesinden aşağıya süzülme (gövde akışı), ormandaki ağaç türlerinin kabuk ve dallanma özelliklerine bağlı olarak değişik miktarlarda meydana gelmektedir. Yağışın bir kısmı, doğrudan doğruya ya da tepe çatısından damlama suretiyle toprağa ya da ölü örtüye ulaşır. Bunun miktarı, toplam yağışla taçlardaki intersepsiyon ve gövde akışları toplamı arasındaki farka eşittir. İntersepte edilmeyen yağış ya toprağa süzülür, ya da yüzeysel olarak akışa geçer. Toprağa süzülen su da ya depolanmakta, ya da toprak içinde akmaktadır. Depolanan su bitkilerin kullanılmasına elverişlidir. Yapraklar üzerinde tutulan (intersepte edilen) su ile transpirasyon kaybı arasında kompleks bir bağlantı vardır. Çoğu zaman, intersepte edilen suyun tamamı «intersepsiyon kaybı» olarak nitelendirilmektedir. Ne var ki, intersepsiyon kaybını, bitkinin transpirasyonla sarfedeceğinden fazla olarak buharlaşmak suretiyle havaya karışan su miktarı şeklinde tarif etmek gerekir.

Sözü edilen bu süreçler, vejetasyona sahip bulunan bütün alanlarda meydana gelmekle beraber, en büyük önemi orman çevresi koşullarında kazanırlar. Ormanların tepe çatıları, yağışın intersepsiyonu ve toprak rutubetinin transpirasyonu için maksimum bir yüzey alanına sahip bulunmaktadır. Ekstansif kök sistemleri, fazla miktarlarda depolanmış toprak suyundan ormanların faydalanmasını mümkün kılar. Gerek yapraklı ve gerekse ibreli ağaçlar orman tabanına her yıl fazla miktarlarda yaprak ve ibre dökmekte, böylece alttaki flora ve fauna için iyi bir yaşama ortamı yaratmaktadır. Bu orgnizmaların faaliyetleri, yüzey topraklarının gözenekliliğinin ve dolayısıyla yüksek infiltrasyon kapasitelerinin devamını sağlar. Normal orman topraklarının çoğu, maksimum yağış şiddetinden çok daha yüksek bir infiltrasyon şiddetine sahiptir. Tarım arazisinin aksine orman çevresi toprak özellikleri toprak işlemeyle değiştirilmediği ve mevsimlik intersepsiyon ve transpirasyon rejimlerinde bir değişiklik olmadığı için hidrolojik bakımdan stabildir.

#### *Akarsu Hidrografları:*

Dere akışı, boyutları bilinen bir mecra kesitinden (akım seksiyonu) akan suyun yüksekliğini (elevation) ya da yükünü (head) ölçmek suretiyle incelenmektedir. Dere akışı normal olarak birim zamanında akan hacim olarak; örneğin m<sup>3</sup>/san olarak, belli alandan bir günde gelen miktar olarak, ya da yılda m<sup>3</sup>/ha olarak ifade edilir. Hidrograf-

lar, belli bir drenaj baseni için iklimin, toprakların, vejetasyonun ve topoğrafik durumun birbiriyle bağıntılı olarak yağışın düzeni (dispozisyonu) üzerine yaptıkları etkileri grafik olarak gösterirler.

Tipik bir basit hidrograf üç ana kısımdan meydana gelir. Bunlar yaklaşım kısmı, yükselme ya da konsantrasyon kısmı ve çekilme ya da düşüş kısmıdır. Yükselme kısmının özellikleri, havzadaki yağışın süre ve entansitesine ve yağıştan önceki rutubet (toprak rutubeti) koşullarına bağlıdır. Hidrografın en yüksek noktası (peak), yağış havzasından gelen dere akışındaki maksimum konsantrasyonu temsil eder. Grafiğin en yüksek noktaya ulaşması genellikle maksimum şiddetteki yağıştan belli bir süre sonra görülür. Gerileme (düşüş) kısımları, havzadaki değişik depolama komponentlerinden -maksimum bir içe akıştan sonra- suyun çekilmesini temsil etmektedir. Düşüş kısımları az-çok sağanak halindeki yağışla bağıntısızdır ve hava koşullarını ve değişik depolama kompartmanlarındaki boşalmayı karakterize ederler. Hidrograf düşüş eğrilerinin analizine «hidrograf ayırımı» (hydrograph separation) denilmektedir.

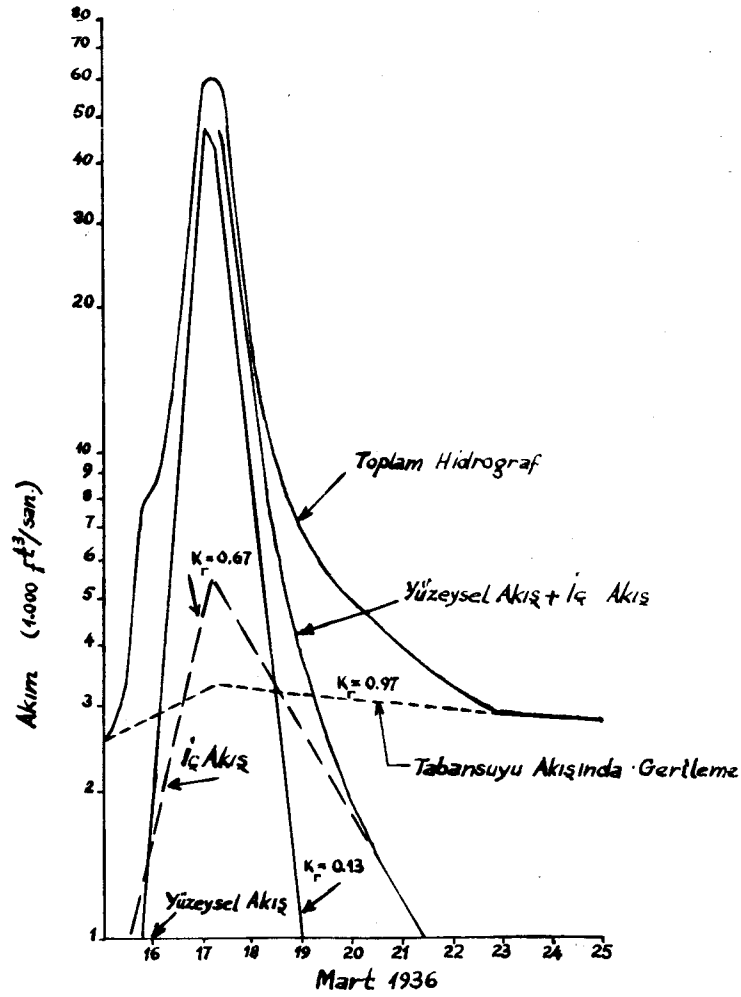
#### *Hidrograf Ayırımı:*

Bir yüksek su akışının hidrografı, üç ayrı akış kaynağı komponentine sahiptir. Bunlar sırasıyla taban akışı, toprak içi akışı ve yüzeysel akıştır. Hidrograf ayırımı, herbir akış kaynağı komponenti için ayrı bir gerileme karakteristiği kabul eder. Dere yatağındaki su depolanması ve toprak (taban) suyu, stabil taban akışına; yer çekimine uyarak toprak içinde akan toprak suyu fazlası toprak içi akışına; infiltrasyon hızını aşan şiddetteki yağmur suları da hızla akan yüzeysel akışa katılırlar. Akış komponentleri, hidrograf noktalarını (Şekil 1'de gösterildiği gibi) yarı-logaritmik bir kâğıt üzerine işaretlemek suretiyle analiz edilebilir (15)<sup>1)</sup>. Ayırımında akış komponentlerinin yaklaşık olarak bir doğru meydana getireceği kabul edilir ve bunun için karakteristik bir çekilme (düşüş) katsayısı, aşağıdaki genel depolanma eşitliğinden hesaplanabilir:

$$q_t = q_0 \cdot K_r$$

Burada (q<sub>t</sub>), (q<sub>0</sub>) başlangıç akışından sonraki (t) zaman süresi içindeki akış, (K<sub>r</sub>) ise çekilme (düşüş) katsayısıdır. Zaman süresi (t) çoğunlukla 24 saat olarak alınır; bununla birlikte küçük basenlerde çok

1) Parantez içindeki rakamlar, ilgili literatürün sıra numarasıdır Ç. N.).



ŞEKİL: 1

Gerileme (düşüş - recession) analizi metodunu gösteren -yarılogaritmik kâğıt üzerine çizilmiş - bir hidrograf (Kaynak 5'den).

daha kısa zaman süreleri kullanılmaktadır. Bu tekniğin uygulanışı ve sınırları üzerinde bundan sonraki bölümlerde durulacaktır.

#### Toprak - Su Teorisi :

Suyun toprak içindeki depolanma ve iletimi (transport), toprağın ve suyun kimyasal ve fiziksel özellikleriyle bağıntılıdır. Yüzeysel gerili-

mi, adhezyon, kohezyon ve sıvılarla ilgili yüzey fenomenleri, bu bağıntılarda büyük önem taşırlar. Adhezyon, ince bir su zarının (film), bir toprak partikülünün yüzeyi üzerinde tutulması (atraksiyon) dir. Kuru bir toprak ıslanınca, su moleküllerinin yüzeylerini genişletmesi ve kuru topraklara yapışması ile yüzey geriliminde ani bir değişme meydana gelmekte ve enerji açığa çıkmaktadır. Kohezyon, rutubetli topraklarda -su molekülleri arasında çekim gücü olarak- mevcuttur.

Toprağın ıslanması süreci içinde aynı derecede önem taşıyan bir husus da, toprağın rutubet muhtevasının değişmesine bağlı olarak su buharı basıncında meydana gelen değişikliktir. Buhar basıncı, toprak rutubetinin azalması ve serbest bir su yüzeyi üzerindeki yüksekliğin artması ile düşmektedir. İçbükey ya da dışbükey bir su yüzeyi üzerindeki buhar basıncı, düz bir su yüzeyi üzerindeki basınçtan daha azdır; çünkü daha büyük bir sıkışmanın mümkün olması nedeniyle, üst yüzeyi içbükey ya da dışbükey olan suyun yüzey alanı küçülmektedir. Bir toprak sistemi ancak çok az miktarda su ihtiva ediyorsa, sıvı haldeki su ile toprak atmosferi arasında yüzey teması var demektir. Bu temas yüzeylerinde meydana gelecek iç ya da dışbükeylik kavisi (yarıçapı) küçülecek ve bu durum doğrudan doğruya sıvı haldeki suyun enerjisini topraktaki suyun miktarı oranında etkileyecektir. Bu etkiler kapillarite sonucunda ortaya çıkar ve toprak -su sisteminin geometri ve kimyası ile ilgilidir. Kapillarite çoğu zaman küçük, düzgün delikli ve üniform tüplerde gösterilmektedir. Oysa bir toprak sistemi içinde kapiller boşluklar, tesadüfi bir düzende, değişik boyutlarda ve şekillerde mekâna uymuş olarak bulunurlar.

Toprak tarafından suyun tutulması iki şekilde olmaktadır:

1 — Yüzeysel adhezyonu vasıtasıyla ve moleküllerin toprak partikülleri üzerinde ince bir zar oluşturması suretiyle ki buna «adsorpsiyon» denilmektedir.

2 — Toprak partiküllerinin şekillendirdiği bir kalıp içinde -katı partiküller arasındaki gözeneklerde- kohezyonla «kapiller su» oluşması suretiyle. Bu şekildeki bir toprak -su sistemi, adsorbe edilmiş sudan oluşan ince bir zarla çevrelenmiş toprak partiküllerinden meydana gelmiştir. Fazla su, toprak partikülleri arasındaki düzensiz şekil ve kalınlıkta kapiller boşluklarda kapiller güçle tutulur.

Yukarıda anlatmağa çalıştığımız toprak - su sistemini bir toprak fizikçisi suya özgü fizik terimlerle ve kapiller boşlukların çaplarıyla tarif edebilir. Bu değerleri de (erg/gr) cinsinden bir enerji sistemine, ya da (din/cm<sup>2</sup>) cinsinden bir gerilim sistemine eşitlemek, ayrıca bun-

ların her ikisini de atmosfer ya da milibar cinsinden çekme (emme) kuvvetine dönüştürmek mümkündür (Tablo 1). Gerilimler 1 atmosferi geçemez; ne var ki, toprak fizikçileri bir alet geliştirerek bunun sayesinde bir toprak - su sistemine, gerilimle eşdeğerli basınç uygulamayı başarmışlardır.

Klâsik düşünceye göre toprak suyu, az - çok birbirinden farklı üç gruba ayrılmaktadır ve bunlar 1) yerçekimi etkisindeki su, 2) kapiller su, 3) higroskopik sudur. Yerçekimi etkisindeki suyu Baver (6) «toprak tarafından tutulmayan ve yerçekimi etkisinde akan su» şeklinde tarif ediyor. Aynı şekilde kapiller su «kapiller boşluklarda ve devamlı bir zar halinde partiküller çevresinde yüzey gerilimi tarafından tutulan su» olarak tarif edilmektedir. Higroskopik su ise partikülün çekici kuvvetleri tarafından toprak partikülüne yakın olarak tutulmaktadır.

TABLO : 1

Suyun gözenek duvarı (yüzeyi) ile yaptığı «Islatma açısı»nın «0» olması halinde belli bir çaptaki dairesel bir gözenekten suyun çekilebilmesi için gerekli gerilim değerleri (14)

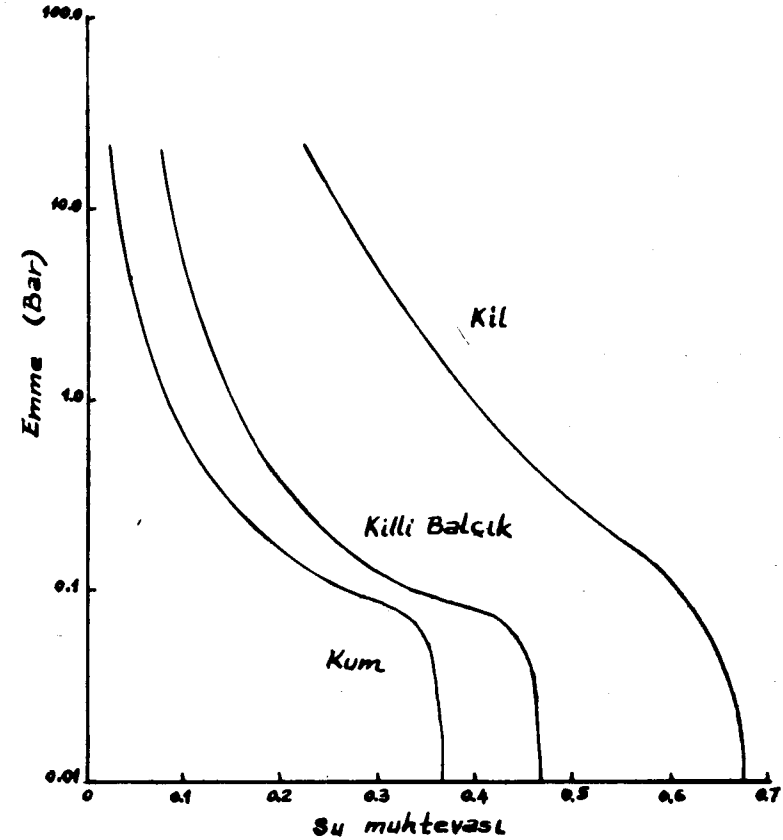
Gerilim (atmosfer)	Gerilim (cm olarak su sütunu)	Gerilim (din/cm <sup>2</sup> )	Gerilim (milibar)	Gözenek çapı (mikron)
0	0	0	0	49.44
0.058	60	$5.89 \times 10^4$	58.9	28.80
0.100	103	$1.01 \times 10^5$	101.0	8.62
0.333	344	$3.38 \times 10^5$	337.5	5.75
0.500	516	$5.06 \times 10^5$	506	2.87
1	1033	$1.01 \times 10^6$	1013	1.44
2	2066	$2.03 \times 10^6$	2027	0.96
3	3099	$3.04 \times 10^6$	3040	0.57
5	5165	$5.07 \times 10^6$	5067	0.29
10	10330	$1.01 \times 10^7$	10134	0.19
15	15495	$1.52 \times 10^7$	15201	

Not : Tablodaki değerler, (1) 1 atm = 1.033 cm su sütunu (yoğunluk 1 gr/cm<sup>3</sup>); (2) suyun yüzey gerilimi (20°C de) = +72.75 din/cm<sup>2</sup> (3) g = 981 din/gr olduğuna göre hesaplanmıştır.

Bu kabuller uyarınca yerçekimi etkisindeki su bir toprak sisteminde akacak ve toprağı «tarla kapasitesi» terimiyle ifade edilen bir durumda bırakacaktır. Bu kapiller su, toprak sisteminin kapiller gözenekleri içinde alıkonulmaktadır. Evapotranspirasyon ve diğer bitki ih-

tiyaçları için kullanılabilir durumdaki su, bu sudur. Kapiller su azalırken öyle bir an gelir ki, bu noktadan itibaren su bitkiler tarafından kullanılamaz olur; bu noktaya «pörsüme noktası» denilmektedir ve normal olarak aşağı yukarı 15 atmosferlik bir basınca eşittir. Bu noktadan itibaren toprak sisteminin rutubet muhtevası ancak adsorbe edilmiş suyun evaporasyonu yoluyla azalabilir.

Ortalama partikül boyutları birbirinden farklı olan üç ayrı toprakta suyun tutulması (Şekil 2)'de gösterilmiştir (8). Eşit gerilim ve enerji seviyelerinde, geniş kapiller gözeneklere sahip bulunan kumlar, killerden daha az su tutmaktadır. Bu eğriler aynı zamanda, toprakların «tarla kapasitesi» denilen ve yaklaşık olarak 1/10 bar'lık emme gücüne eşit olan bir özelliğe sahip bulunduğu şeklindeki klâsik inancı da yansıtmakta ve doğrulamaktadır.



ŞEKİL : 2

Değişik kapiller gözenek boyutlarına sahip topraklarda suyun tutulması (retention) (Kaynak 8'den).

Bu klâsik düşünce ve kabuller genel bir yoldan toprak rutubetinin nasıl muhafaza edildiğini açıklamaktadır. Bununla birlikte bu klâsik kabullerin, kapiller gözeneklerin boyut ve şekillerinin kesiksiz olarak devamıyla karakterize edilen doğal topraklarda uygulanması halinde bazı kısıtlamalar vardır. Kuru bir toprağı nemlendirmek üzere uygulanacak ilk su, suyun kuru toprak partiküllerinin yüzeyi üzerine hızla yayılarak adsorbe edilmesi sırasında bir miktar ısıyı serbest bırakacaktır. Adsorpsiyon suyu ihtiyacını karşılamaya yetecek miktarda su ilâve edilinceye kadar, sistemin buhar basıncı çok düşük olacaktır. Diğer taraftan toprak emmesi ya da gerilimi, su (rutubet) büyük bir enerjiyle tutulurken, oldukça yüksektir. Bu durumda su miktarındaki küçük artışlar (ilâveler) önce en küçük gözeneklerdeki kapiller suya katkıda bulunacaktır. Bu su, gerek buhar ve gerekse akış halindeki sistem içinde eşit bir dağılışı gösterecek ve bu eşit ölçüdeki dağılışı, gözenegin büyüklüğüne bağlı olan gerilim (kapiller enerji) dolayısıyla meydana gelecektir. Bundan sonraki (ek) su artışları, (Tablo 1) deki gerilim - gözenek çapı bağıntılarından da görüleceği üzere gittikçe daha büyük gözenekleri dolduracaktır. Bir gözenegin kapiller potansiyelinin gözenek çapıyla bağıntılı olması, suyun ıslak rejyondaki daha büyük gözeneklere girmeden önce daha kuru olan toprak kısmındaki küçük gözeneklere doğru akmasını sağlamaktadır. Bu durum suyun -buhar olarak ya da akışla- toprak içinde her doğrultuda dağılmasını mümkün kılar.

#### *Toprak Suyu Akışı:*

Toprak suyu, toprağın emme gücünde ya da geriliminde artış meydana gelmesi doğrultusunda ortaya çıkan bir potansiyel fark nedeniyle akar. Toprak suyu akışına yol açabilecek yeterlikte büyük potansiyel farkların meydana gelmesinde etkenler şunlar olabilmektedir:

a — Yerçekimi potansiyeli (serbest bir su yüzeyinden bir miktar yüksekte bulunan bir su kütesine, durumu nedeniyle etki yapan yerçekimi enerjisi).

b — Adhezyon potansiyeli (toprak partikülü yüzeyleri üzerindeki su moleküllerinin adhezyonundan doğan gerilim).

c — Hidrostatik potansiyel (toprak içinde hava-su yüzeyleri arasında yüzey gerilimi ile ilgili bulunan ve serbest bir su yüzeyinden itibaren yükseklikle bağıntılı olan gerilim).

d — Osmotik potansiyel (topraktaki çözeltilerin ve koloidal sistemlerin kimyasal özellikleri arasındaki farklardan doğan osmotik basınç).

e — Sıcaklık dereceleri (sıcaklık derecelerine bağlı olarak meydana gelen buhar hareketi potansiyeli - öncelikle bir yüzey toprağı fenomenini-).

Bunlardan (b), (c) ve (d) yi birbirinden ayırdetmek çok zordur ve bilindiği gibi bu üç potansiyel normal olarak «kapiller potansiyel» adı altında bir grupta toplanmaktadır.

Dengede bulunan ve eşit sıcaklıkta (izotermal) olan bir toprak-su sisteminde yerçekimi potansiyeli, diğer potansiyellerin toplamına eşittir; bu nedenle potansiyellerin herhangi birinde meydana gelecek bir değişiklik, suyun akmasına yol açacaktır. Daha rutubetli (ıslak) topraklarda toprak suyunun akması da yerçekimi potansiyeli etkisiyle olmaktadır. Ancak toprakların kurumması ve sıcaklık derecelerinin çok yüksek olması halinde diğer potansiyeller önem kazanırlar.

Tanınmış «Darcy kanunu», doymamış haldeki kum ya da çakıl yatak (tabaka) içinde suyun yerçekimine bağlı hareketinin hızı (akım şiddeti) ile bağıntılı bulunmaktadır. Bu kanun matematik olarak şu şekilde ifade edilmiştir:

$$Q = \frac{K \cdot (H + e)}{e}$$

Bu formülde  $Q$  = birim alandaki akış şiddeti;  $K$  = yatağın (tabakanın) hidrolik iletkenliği (ya da geçirgenlik katsayısı);  $H$  = hidrolik yükseklik;  $e$  = yatak (zemin) kalınlığıdır.  $(H + e)/e$  ise hidrolik eğime eşittir. Richards (17), Darcy'nin bu formülünde, doymamış haldeki toprak koşullarına da uygulanabilmeyi sağlamak üzere değişiklik yapmıştır. Toprağın doymamış olması halinde, yatağın geçirgenlik katsayısı sabit olmayıp, rutubet muhtevasına bağlı olarak değişmektedir. Richards, yatağın geçirgenlik katsayısını «doymamış geçirgenlik katsayısı» şeklinde değiştirmiştir ki bu, literatürde «kapiller iletkenlik» olarak da kullanılmaktadır. Böylelikle meydana gelen akış modeli, toprağın rutubet muhtevasına bağlı olarak değişen bir iletim (transmisyon) alanına sahip bir model olmaktadır. Toprağın rutubet muhtevası artınca, belli bir toprak kesitinde suyun kapladığı alan da büyümekte, bu ise daha fazla su akışına, ya da doymamış geçirgenlik katsayısının büyümesine olanak sağlamaktadır. Toprak rutubetinin azalması halinde ise doymamış geçirgenlik katsayısı da küçülmekte ve akış hızı büyük ölçüde azalmaktadır.

Doymamış haldeki bir toprak sisteminde, toprak daha kuru bir du-

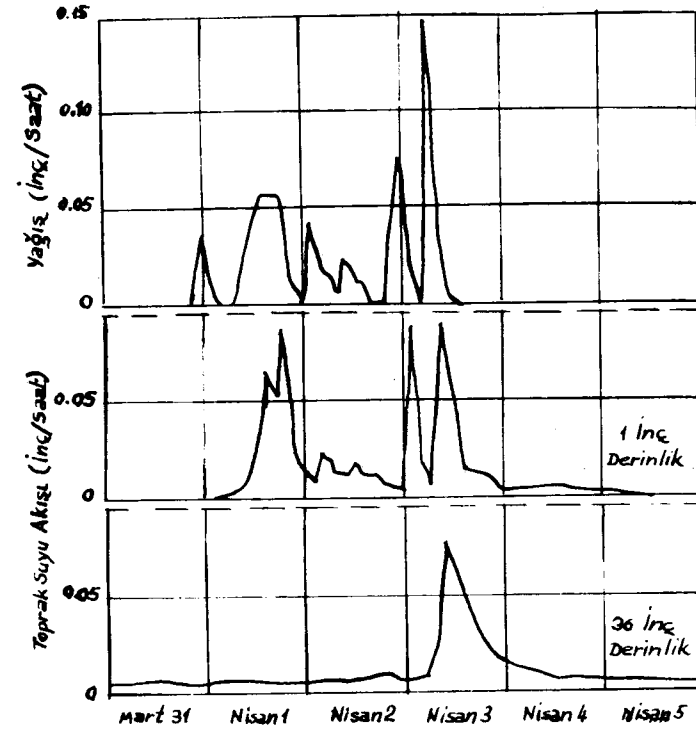
ruma geldiği takdirde, akış potansiyeli de, toprak içinde su akışını etkileyen potansiyellerden herhangi birinin bir fonksiyonudur. Böyle durumlarda, toprak içinde suyun her doğrultuda hareket edebileceği bir akış potansiyeli meydana gelebilir. Suyun aşağıya doğru akması ise ancak yerçekimi etkisiyle ortaya çıkan potansiyel farklarının, diğer etkenlerin meydana getirdiği potansiyelden fazla olması halinde mümkündür.

Böyle bir toprak sisteminde, toprak içindeki emme derecelerine (kapiller potansiyel) bağlı olarak suyun kapiller bir yükselme yapması, ya da yatay doğrultuda akması da mümkündür.

#### Doğal Sistemlerde Toprak Suyu Akışı :

Doğal toprak-su sistemlerinin akışa ve suyun tutulmasına yukarıda anlatıldığı şekilde- gösterdikleri aktüel reaksiyonun (davranış) araştırılması orman örtüsü altındaki müdahale görmemiş topraklarda (7) yapılmıştır. Araştırma alanı ve arazide kullanılan aletler de Cole (1) tarafından açıklanmış bulunuyor. (Şekil 3), yağmur entansitesi ile toprağın 1 ve 36 inç derinliklerindeki akış miktarları arasındaki bağıntıyı grafik olarak göstermektedir. 1 inç derinlikteki akış miktarları ile yağış miktarları arasında -ormanın tepe çatısını ve ölü örtüyü ıslatmak için gerekli yağış miktarı (intersepsiyon) hariç tutulursa - büyük bir benzerlik vardır. 36 inç derinlikte ise toprak suyu akışı aynen bir dere akışı hidrografını andırmaktadır. Yağmurun toprağa sızması sırasında doymamış geçirgenlik katsayısı artacağı için, su toprak içinde düşey doğrultuda hareket eder. Islanma süreci, üstteki ıslak horizonla alttaki daha kuru topraklar arasında kapiller potansiyel bakımından bir dengesizliğe sebep olmaktadır. Herhangi bir sistemde akış hızı, doymamış geçirgenlik katsayısındaki ve kapillerlik derecesindeki değişikliklerle bağıntılıdır. Akış ölçmeleriyle aynı anda yapılan aktüel toprak rutubeti muhtevası tesbitleri, toprak rutubeti muhtevsındaki küçük değişmelerin akış şiddetinde büyük değişikliklere yol açtığını göstermektedir. Maksimum akış şiddetinde, toprağın rutubet muhtevası tarla kapasitesinin ender olarak % 4-5 kadar üzerindedir.

Akış sisteminin dinamik özellikleri, toprağın 36 inç derinliğindeki toprak suyu akış şiddetlerinde saptanan günlük değişimleri gösteren grafikte (Şekil 4) görülmektedir. Toprak rutubetinin transpirasyon nedeniyle azalması, toprak içinde bir kapiller güç yaratarak yerçekimi etkisiyle meydana gelen akış potansiyelini azaltır. Şekilde gösterilen günler içinde maksimum akış şiddetleri -10 Haziran hariç- hergün gece yarısına yakın olmuştur. Bu sırada çok hafif bir yağmur orman örtü-



ŞEKİL : 3

Yağışla bağıntılı olarak toprağın 1 ve 36 inç derinliklerinde toprak suyu akışı (Kaynak 7'den).

sünü ıslatmakta, transpirasyon ve kapiller gücü zayıflatmakta ve böylece 36 inç derinlikteki toprak suyu akışının şiddetinde artışa yol açmaktadır. Burada, genel duruma uymayan 10 Haziran günü yağmurun ancak ormanın tepe çatısını ıslatabildiğini, fakat ormanın ölü örtü tabakasını, ya da orman toprağını tam olarak ıslatmağa yeterli olmadığını gözden kaçırmamak gerekir.

Kuzey Karolina'daki Coweeta Hidrolojik Laboratuvarında Hewlett'in (10) yaptığı araştırmalar da bu akış karakteristiklerini doğrular niteliktedir. Hewlett, % 40 eğimli bir yamaç üzerinde derinliği 18 inç (45.72 cm), genişliği 24 inç (59.96 cm) ve uzunluğu 30 feet (914.4 cm) olan suni bir toprak sütunu hazırlamış, toprak sütununu, uzun süreli entansif bir yağışa eşdeğerde su ile doymun hale getirmiş ve sonra drene olmağa bırakmıştır. Alışıl gelmiş kabul ve düşünüşlere göre toprakta yer çekimi etkisindeki suyun 1-2 gün içinde drene olması ve

bundan sonra hiç akış olmaması gerekiyordu. Oysa Hewlett, akışın başlamasından 71 gün sonra drenajın halâ devam etmekte olduğunu görmüştür. Hewlett'in elde ettiği veriler (Şekil 5) e aktarılmış olup, akışla (ft<sup>3</sup>/saat) zaman (gün) arasındaki bağıntıyı ortaya koymaktadır.

Toprak içinde suyun yanlara doğru (lateral) hareketi LaRock (2) tarafından, üzerleri plâstik bir filmle kaplanmış parsellerde yapılan denemelerle tesbit edilmiştir. LaRock'un tesbitlerine göre 22.9 mm (0.9 inç) lik bir yağışı takiben parselin 152.4 cm (5 ft.) içinde ve 40.5 cm (16 inç) derinlikte toprak suyu akışı artmıştır. Bu gözlem süresince toprakların tarla kapasitesine çok yakın olduğu kaydedilmektedir.

#### Toprak Rutubeti ve Dere Akışı:

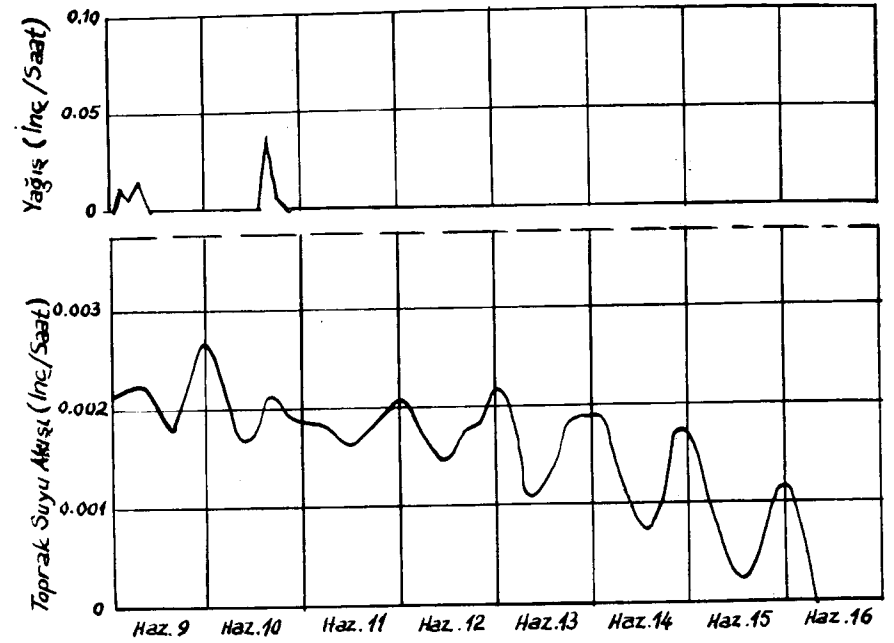
Toprak-su teorisi ve toprak içinde suyun aktüel hareketi, hidrograf ayırımında anlatılan üç dere akışı komponentinin modifikasyonunu gösterir. Cole (7) tarafından ortaya konduğu ve (Şekil 3) de gösterildiği üzere, toprağın doymamış geçirgenlik katsayısındaki değişmelere bağlı olarak toprak suyu akışında meydana gelen değişiklikler, taban suyunun katkısı olmadan doymamış toprak içindeki akıştan bir dere akışı meydana getirmeğe yeterlidir. Gözlenen akış miktarları aynı zamanda küçük akarsularda maksimum akışların (sel) meydana gelmesi için gerekli olandan da fazladır. 1 mil kare (2.59 km<sup>2</sup>) lik bir havzada saatte 0.1 inç tutarındaki yağmurun tutulması halinde saatte 0.1 inçlik üniform bir toprak suyu akışı meydana geldiği kabul edilirse, bu takdirde belli süredeki dere akışını hesaplamak üzere Rasyonel formül kullanılabilir. Rasyonel formül:

$$Q = C.I.A. \quad \text{dir.}$$

Burada  $Q$  = dere akışı (ft<sup>3</sup>/san),  $C$  = yüzeysel akış katsayısı (bu durumda 1'dir.),  $I$  = yağış entansitesi (inç/saat).  $A$  = yağış havzası alanı (acre)<sup>1)</sup> dir. Bu koşullar altında 1 mil karelik alandan bir saniyede akacak su miktarı 64 ft<sup>3</sup> tür ve bu değer, şimdiye kadar saptanmış akım miktarlarının çok üzerindedir.

Buna benzer bir şekilde, saatte 0.001 inç'lik düşük akım şiddetlerinin 1 mil kareden 1 saniyede 0.64 ft<sup>3</sup> lük minimum bir dere akışı meydana getirmeğe yeterli olduğunu söyleyebiliriz. Cole'un (7) çalışma-

1) 1 Acre = 0.4 hektar (Ç. N.).



ŞEKİL : 4

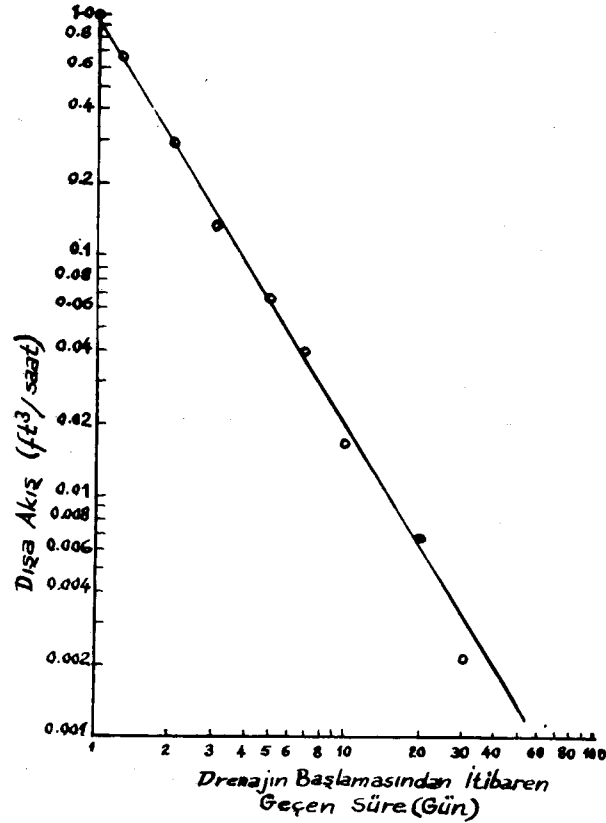
Transpirasyonun etkilediği kapiller potansiyelle bağıntılı olarak toprak suyu akışında meydana gelen günlük değişimler (Kaynak 7 den).

larından elde edilen bu değerler, Hewlett'in verdiği sonuçlarla da uyusmaktadır. Sözü edildiği gibi Hewlett, toprak içinde düşük hızla akan suyun minimum bir dere akışı sağlamağa yeterli olduğunu hesaplamıştır.

Horton ve Hawkins (13), toprak içindeki suyun, tarla kapasitesine yakın rutubet muhtevasında yer değiştirme (displacement) suretiyle hareket ettiğini ve akışın önce büyük gözeneklerde değil, küçük kapiller gözeneklerde başladığını göstermişlerdir. Bunlar, yer değiştirme suretiyle meydana gelen bu akışı, önce Tritium (H<sub>3</sub>) ihtiva eden su ile toprağı nemlendirmek ve sonra toprak suyunda hergün 1 inç artış meydana getirmek suretiyle göstermeyi başarmışlardır. Tritium ihtiva eden suyun çok az bir karışmayla toprakta yer değiştirdiği görülmüştür.

Bu sonuçlar, belli süredeki dere akışının, toprak tabakasının doymamış geçirgenlik katsayısına bağlı olduğu bir toprak - dere akışı





ŞEKİL: 5

Toprak modelinden dışa akışla (outflow), drenajın başlamasından itibaren geçen süre arasındaki bağıntı.

modeli ortaya koymaktadır. Yüksek toprak rutubeti muhtevaları, katsayıların ve yüksek akım hızlarının potansiyelinin büyümesine ve sonuç olarak da fazla miktarda dere akışına yol açmaktadır. Tarla kapasitesine yakın bir toprağa yağmurun büyük bir katkıda bulunması bu katkıya eşdeğerde suyun hızla yer değiştirerek dereye katılması sonucunu doğurur. Dere akışında meydana gelen artış, belli bir miktar yağmurun toprak içinde akarak dereye katılmasının değil, fakat daha çok, yağmurun depolanmış toprak suyunun yerini almasının ve yağmura eşdeğerde toprak suyunun dereye karışmasının sonucudur. Bu yer değiştirme ve dere akışına karışma çok çabuk olur. Yağmur dinince, azalmağa başlayan doymamış geçirgellik katsayısına bağlı bir hızla su

topraktan drene olmağa başlar. Bu sırda toprak ve dere akışı için tesbit edilen düşüş eğrileri, eğim bakımından birbirine çok benzerler.

Seattle yakınındaki küçük bir havzada şehirleşmenin etkileri üzerine yapılan ön araştırmalar (3), bu modele uymaktadır (Şekil 6). Mercer Creek adındaki bu havza önceleri yarı - kırsal ve ormanlık bir arazi durumundayken, 10 yıl içinde çok sayıda büyük alış - veriş merkezlerine, altı şeritli bir anayola ve birçok - kaldırım - tali yollara, ayrıca orta derecede nüfus yoğunluğuna sahip bir şehir durumuna gelmiştir. Havzadaki bu önemli yüzey değişikliklerinin özellikle yüzeyel akışı etkileyen komponentlerin dağılımını büyük ölçüde etkilemesi kadar normal birşey olamazdı. Nitekim «gerileme» eğrisinde küçük değişmeler görülmektedir (Şekil 6); fakat bir yüzey akışı komponentini toprak içi akışından ayırdetmek mümkün değildir ve taban akışının bu değişikliklerden etkilenmediği görülmektedir ( $K_r$  değerleri 0.87 ve 0.85).

Hewlett ve Hibbert (12), yüzey akışı, toprak içi akışı ve taban akışı terimleri yerine «çabuk» ve «geciktirilmiş» akış terimlerini tavsiye etmişlerdir. Bu araştırmacılar «çabuk» akışı, «1 mil kareden saatte 0.05 ft<sup>3</sup> lük bir dere akışı yükselmesinden fazla olan su» şeklinde belirtiyorlar. Bu terimleri kabul edersek şehirleşme ile «çabuk» akışta ortaya çıkan değişikliği açıklamak, ayrıca çabuk ve geciktirilmiş akış için bir azalma (gerileme) katsayısı hesaplamak mümkün olur. Dere akışı ile yağış arasındaki bağıntıların çok sayıdaki değişkenlerinin analizi (multivariate analysis), şehirleşme sonucu ortaya çıkan çabuk akış artışını (Şekil 6) göstermektedir. Bu eşitlikler şunlardır:

$$\text{Dere akışı (1955)} = 0.835 (X_1) + 0.099 (X_2) + 0.096 (X_3)$$

$$\text{Dere akışı (1960)} = 0.763 (X_1) + 0.198 (X_2) + 0.082 (X_3)$$

$$\text{Dere akışı (1965)} = 0.655 (X_1) + 0.296 (X_2) + 0.063 (X_3)$$

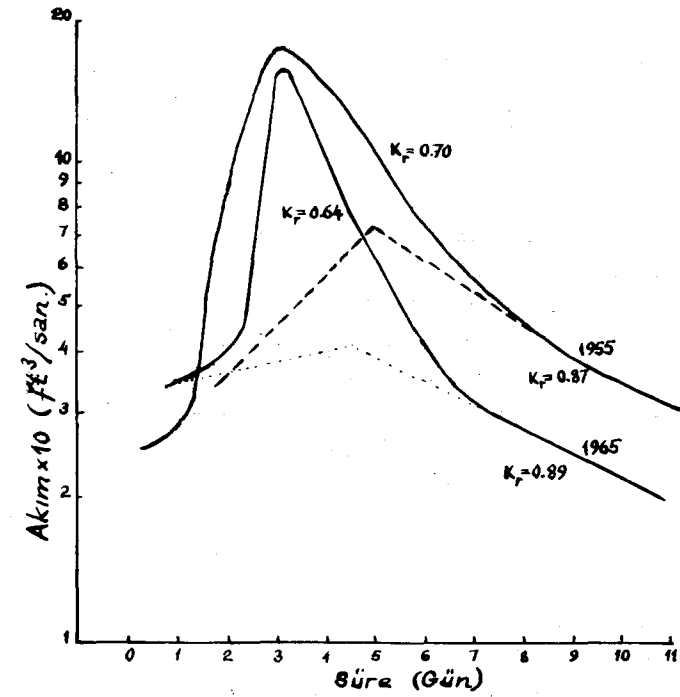
Burada  $X_1$  = Bir önceki günde meydana gelen ortalama günlük akış (ft<sup>3</sup>/san),  $X_2$  = Gözlemin yapıldığı günkü yağış miktarı (inç),  $X_3$  = Bir önceki günde meydana gelen yağış miktarıdır. Her eşitlik, değişkenler arasındaki % 90 dan fazla bir değişmeye (varyasyon) sahiptir. Bir önceki gün meydana gelen akışın katsayıları 1965 e oranla 1955 de daha yavaş bir akım olduğunu göstermektedir. Gözlemin yapıldığı günkü yağış katsayıları, 1965 teki yağış gününde 1955 dekine oranla 3 misli akış meydana geldiğini ortaya koyuyor. Akış şeklindeki bu dramatik değişmelere rağmen hidrograf ayırımı teknikleri yüzeyel akış ve

toprak içine akış arasında çok küçük bir fark göstermekte, ya da hiç fark göstermemektedir (Şekil 6). Gerçekte, akışın ayrı kaynaklara sahip olmaması nedeniyle hidrograf ayırımı yapılamaz. Çoğu zaman yağmur geçirimsiz yüzeyler üzerinde toplanacak ve -toprağa sızıncaya kadar- yüzeyde akacaktır. Başka durumlarda ise, toprağa sızmış bulunan su altta geçirimsiz bir materyale rastlayıp bunun üzerinde tekrar yüzeye çıkabilecek ve sonra geçici (kısa ömürlü) bir kanal içinde fasıllı olarak akabilecektir. Dereye karışacak suyun bütün bu muhtemel durumlarının grafik bir teknikle ayırma tabi tutulması oldukça kuşku lu sonuçlar verir.

«Çabuk» ve «geciktirilmiş» akış düşüncesi, doğal toprak sistemleriyle de daha çok uyusmaktadır. Yağmur şiddetinin infiltrasyon hızını çok ender olarak aşması nedeniyle orman topraklarında yüzeyel akış çok seyrek görülür. Orman topraklarının temsil ettiği toprak modeli, doymamış geçirgenlik katsayısı tarafından düzene sokulmuş bir akış sistemine sahiptir ve herhangi bir hacimdeki akışlara yol açabilecek toprak içine akış komponentine yeteri kadar kısa sürede cevap vermektedir. Doymamış toprak içindeki akış hızları, toprağın doymamış geçirgenlik katsayısına bağlıdır. Rutubet muhtevasının azalmasıyla birlikte doymamış geçirgenlik katsayısı da -çabuk akış geciktirilmiş akışa dönüşüncye kadar- azalmaktadır.

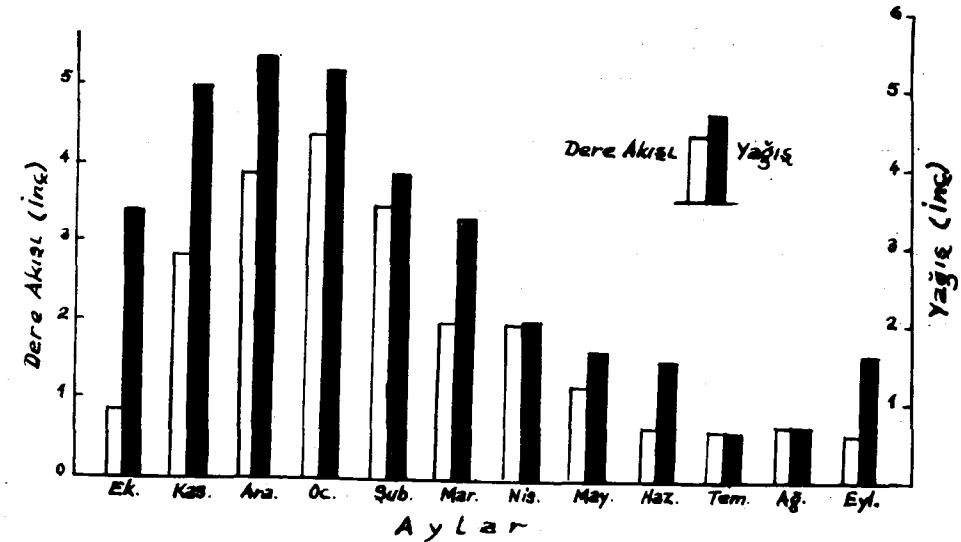
### DERELER İÇİNDEKİ SU

Normal bir drenaj baseninde, havza dahilindeki arazi yüzeyleri bir sistem meydana getirmektedir. Bu sistemde yağış bir katkı (input), dere akışı ise bu katkı sonucu elde edilen bir değer (output) olarak düşünülebilir. Suyun ya da toprak ve kaya materyallerinin durumlarından doğan potansiyel enerji, kinetik enerjiye (ya da ısıya) dönüşmekte ve bu materyallerin hareketi ile etkisini göstermektedir. Drenaj basenleri enerji ve maddenin sakınımı (kaybolmazlığı) ile ilgili bütün kanunlara uymaktadırlar. Bir havzanın, iklim, toprak, vejetasyon ve topografik koşulları arasında oldukça nazik bir dengeye sahip bulunan biyolojik bir sistem olduğunu öncelikle hatırla tutmak zorundayız. Kantitatif arazi formu analiziyle uğraşan tasarı bilimi, akarsuyun düzen ve uzunluğunu, ayrıca nehir baseninde «basen tipi» drenaj sıklığını (yoğunluğunu) ve dere frekansını konu edinmektedir. Bu yazımızda, drenaj basenlerinin kantitatif jeomorfolojisinin incelenebileceğini ve bunun fiziksel ve biyolojik kanunların bir fonksiyonu olduğunu kaydetmekle yetineceğiz. Yüzey sularının meydana getirdiği dere akışının ve



ŞEKİL : 6

«Mercer Creek» havzasındaki şehirleşmenin, akış karakteristiklerine etkisini gösteren hidrograflar.



ŞEKİL : 7

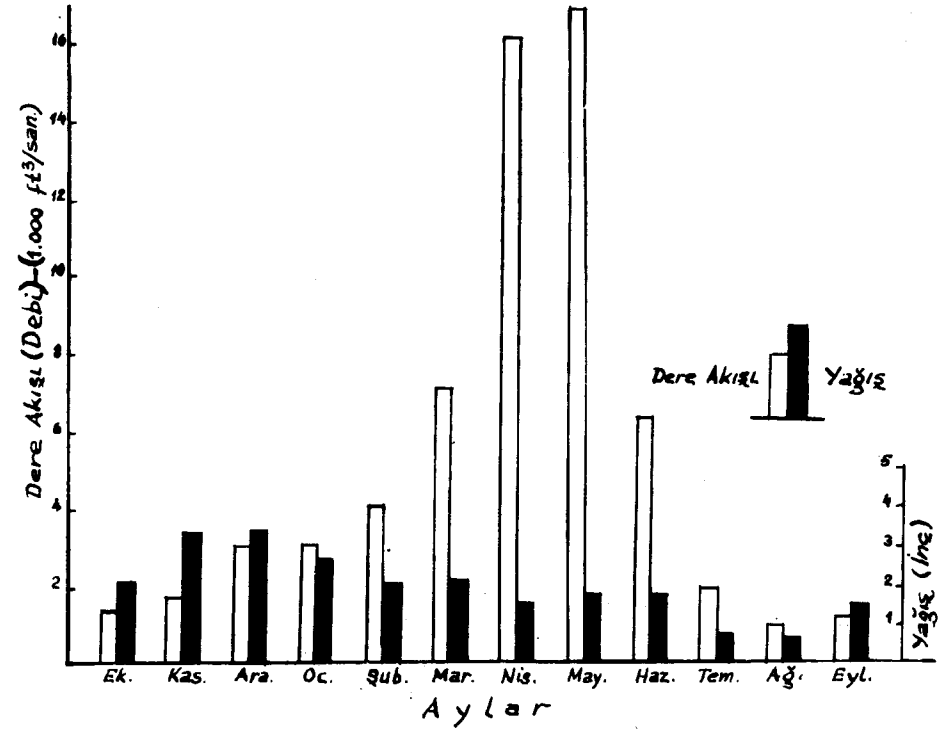
Bir deniz iklimi için, aylık ortalama yağışla bağıntılı olarak aylık dere akışı (Seattle yakınında Mercer Creek deresi, 1965).

taban suyunun iklim, hava ve insan faaliyetleri arasındaki birçok kompleks bağıntılar tarafından miktar ve kalite bakımından önemli ölçüde etkilendiği bir gerçektir.

#### Dere Akışı ve İklim:

İklim ve hava arasındaki farkı bilmek zorundayız. Normal olarak iklim, günlük hava durumunun uzun süreli ortalaması şeklinde mütalâa edilmektedir; hava ise hergün karşılaşılan durumdur. Hidrolojik amaçlar için -deniz ve kara iklimi olmak üzere- iki ana iklim tipi düşünmek uygun olur. Bu iklim tiplerinin ayırımı, yağışın yıllık dağılışı esas alınarak yapılmıştır. Deniz iklimi, karaların denizden gelen rüzgârlara açık olan kıyı bölgelerinde görülür ve buraları yağışlı mevsimlerde -genellikle kış aylarında- fazla miktarda yağmur alır. Kara ikliminde ise yıl içindeki yağışın aylara dağılışı aşağı yukarı birbirine eşit miktarlarda olmaktadır. Deniz ve kara iklimlerinde en önemli etken sıcaklık rejimidir ve bu, bir basenin hidrolojisini şiddetle etkiler. Bir kara ya da deniz ikliminde yağış kar şeklinde olduğu takdirde, kar erimesinin başladığı mevsime kadar dere akışında anormal bir artış meydana gelmez. Yağışla dere akışı arasındaki bağıntılar, aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir; bu şekiller deniz ikliminde yağmur ve kar yağışını, karasal yağışı ve bunların sonucu olarak dere akışındaki değişiklikleri ortaya koymak üzere seçilmiş bulunuyor.

Mercer Creek (Şekil 7), Seattle'ın (Washington) hemen doğusundaki küçük bir alçak arazi havzası olup, yağışın hemen hemen tamamını yağmur şeklinde almaktadır. Bu havzadaki yüzeysel akış kayıtları kısa bir geçmişe sahiptir; ne var ki 1965 su yılı, Washington eyaleti ortalamasına yakındır. Maksimum dere akışı ile maksimum yağış arasında yakın bir paralellik göze çarpıyor. Eylül, Ekim ve Kasım ayları, yağışın yüzeysel akıştan fazla olmasından anlaşılacağı gibi, toprağın suyu depolama (dolma) periyodudur. Aralık, Ocak ve Şubat aylarında yüzeysel akış hemen hemen yağışa eşittir. Yağışın mevsimlere dağılışındaki dengesizlik, yüzeysel akış ve yağışın 2/3 ünün kış aylarında meydana gelmesinden de açıkça görülüyor. Kaynakları Cascade silsilesinde bulunan batı Washington'daki drenaj basenleri de buna çok benzeyen bir şekilde yağış almaktadır; ancak, sonbahar yağmurları nedeniyle yıllık hidrografta erken bir akış yükselmesi görülür. Sıcaklığın donma noktası altına düşmesi ve karın birikmesi ile Ocak, Şubat ve Mart aylarında dere akışı azalmakta, Mayıs ve Haziran'da ise yüksek dağlardaki karların erimesiyle dere akışı maksimum seviyelere yükselmektedir.

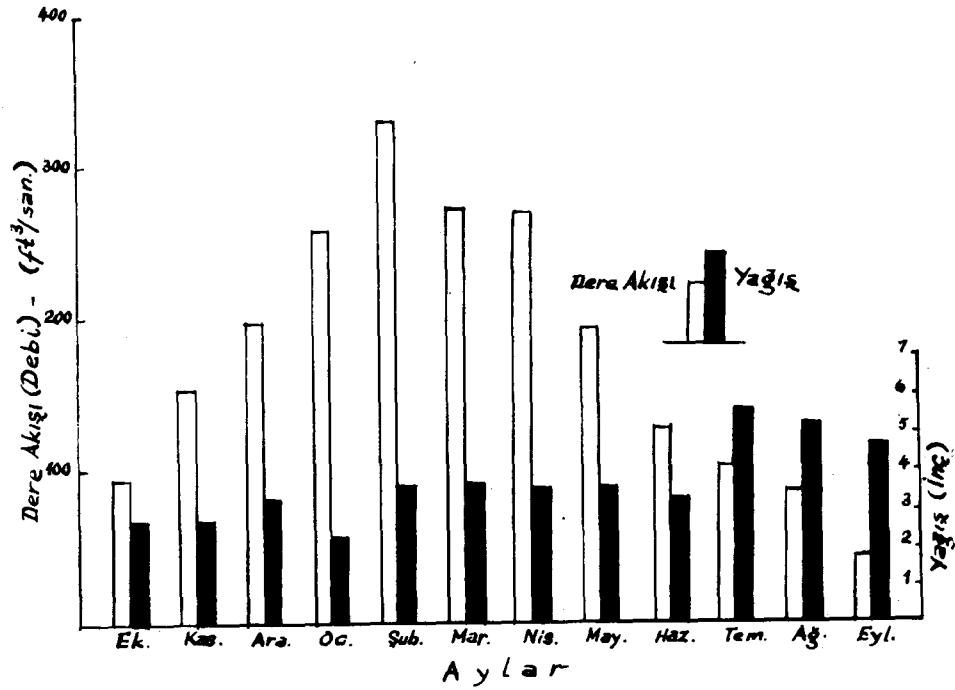


ŞEKİL : 8

Kışın ortalama sıcaklığı 0°C nin altında olan bir deniz iklimi için, aylık ortalama yağışla bağıntılı olarak aylık ortalama dere akışı (Spokane Nehri, Washington).

(Şekil 8) deki dere akışının yağışla bağıntısı, yağışın çoğu kar şeklinde düşen ve sıcaklık dereceleri kışın donma noktasının altına inen bir deniz iklimini gösteriyor. Spokane Nehri Nisan ve Mayıs aylarında ise düşük bir akış göstermektedir. (Şekil 8) de görülen yağış ve dere akışı bağıntıları, Cascade silsilesi sırtları ile Continental Divide'in doğu yamaçları arasında kalan havzaların birçoğu için tipiktir.

Clayton (Kuzey Karolina) yakınındaki Neuse Nehri, tipik bir karasal iklime örnek olmak üzere seçilmiştir (Şekil 9). Bu muntıkada uzun süreli yağış ortalaması yılın her ayında aşağı yukarı birbirine eşittir ve aylık ortalama yağış 3-5 inç (7.62 - 12.7 cm) arasında bulunmaktadır. Buna karşılık dere akışının gösterdiği durum suyun mevsimlere göre vejetasyon tarafından kullanılmasını ortaya koymaktadır. Karasal iklim zonundaki ormanlık alanlar genellikle -güneydeki çam



ŞEKİL : 9

Bir karasal iklim için, aylık ortalama yağışla bağıntılı olarak aylık ortalama dere akışı (Clayton yakınında Neuse Nehri, N.C.).

rejyonu hariç tutulursa- yapraklı ağaçlardan oluşmuştur. Ekim-Mayıs ayları arasındaki periyot, yapraklı ağaçlar için uyku mevsimidir. Bu periyotta transpirasyon yoktur ve intersepsiyon kayıpları büyük ölçüde azalmıştır; dolayısıyla dere akışı artar. Haziran - Eylül arası ise ormanların en fazla su sarfettiği mevsimdir ve bu mevsimde yağış biraz daha yüksek olmasına rağmen dere akışı minimumdandır. Ekim ayında vejetasyonun kullandığı su miktarı azalınca, toprakta su birikmeğe (depolanmağa) başlar. Toprağın rutubet muhtevasının yükselmesi doymamış geçirgenlik katsayısını da büyüteceğinden, toprak içinde dere akışına katılmağa hazır su miktarı hızla çoğalır. İklimle dere akışı arasındaki bu üç bağıntı üzerine, fazla miktarda yağışın ya da yağmur alamayan kuru arazi kesimlerinin kuvvetli etkileri olmaktadır. Örneğin, Washington eyaletinin güneybatı kıyısındaki alçak arazide bulunan derelerin birçoğu yılda 80-100 inç (203 - 254 cm) lik aktüel bir yüzeysel akışa sahip bulunmaktadır. Daha kuzeyde kalan ve yukarı

kısımları Olympic Dağlarında bulunan Quinault ve Hoh nehirleri yılda 150 - 180 inç (381 - 457.2 cm) lik bir yüzeysel akışa sahiptir. Olympic Dağlarının doğu tarafında ve bu dağların yağışı engellediği bölgede kalan ve biraz önceki nehirlerin birkaç mil ötesinde bulunan Snow Creek havzasında ise yıllık yüzeysel akış ancak 20 inç (50.8 cm) kadardır. Buna benzer karşılaştırmaları, kışın kar yağışının egemen olduğu bir deniz ikliminin sürdüğü doğu Washington'da da yapmak mümkündür. Kaynağı Cascade silsilesinde bulunan Wenatchee Nehrinin yıllık su verimi 70 - 80 inç (178 - 203 cm) dir ve yıllık su verimi 4 - 5 inç (10.2 - 12.7 cm) olan Spokane Nehri ile karşılaştırılınca, arada büyük bir fark olduğu açıkça görülür.

Alışılmamış hava durumları, alışılmamış hidrolojik koşulların ortaya çıkmasına yol açar. Yağışsız periyotların uzaması dere akışının fazlasıyla azalmasına yol açmakta ve bunu çeşitli kullanma yerleri ve şekilleri için su ihtiyacının karşılanması problemleri ile birlikte, su miktarının azalmasıyla ortaya çıkan kirlenmenin yok edilmesi problemleri izlemektedir. Şiddetli yağışların uzun süre devam etmesinden meydana gelen fazla suyun doğurduğu problemler de en az kuraklığın doğurduğu problemler kadar önemlidir. Orman vejetasyonunun uygun müdahalelerle idare edilmesi ile düşük dere akışlarını -taşkınlarla yol açmadan düzene sokmak mümkündür.

## ORMANDA KESİM VE DERE AKIŞI

Bir orman meşceresinin traşlanarak ortadan kaldırılması başlangıçta pratik olarak intersepsiyon kaybını ve transpirasyon kaybını sifıra indirir. Orman traşlanmasının toptan etkilerinin su verimini artırdığı birçok araştırmalarla ortaya konmuştur. Kuzey Karolina'nın batısındaki Coweeta Hidrolojik Laboratuvarı'nda yapılan bir araştırma, bir kesimden 20 yıl sonra aynı kesimin tekrarlanması halinde aynı su verimi artışının elde edileceğini göstermiştir (11). 38 acre (15.2 ha) lik bir havzada 1942 yılında yapılan ilk traşlama kesimini izleyen ilk yıl içinde 16 inç (40.64 cm) lik yıllık su verimi artışı meydana gelmiştir. Yıllar geçtikçe başlangıçtaki bu artış yavaş yavaş azalmış ve 1962 yılında 4 inç (9.16 cm) e düşmüştür. 1963 yılında tekrarlanan traşlama kesiminin arkasından, su verimi yeniden 16 inç (40.64 cm) e yükselmiştir. Buna benzer başka bir araştırmada, orman traşlanmış ve gelişen vejetasyon her yıl kesilmiştir. Bu havzada yıllık su verimindeki artışın 10 inç (25.4 cm) civarında -ya da başlangıçtaki maksimum artışın 2/3 ü civarında- sabit kaldığı görülmüştür.

A.B.D.'nin doğusundaki fazla yağış alan bölgelerde, su veriminde sağlanan artış, traşlanan orman meşcerelerinin yüzdesiyle orantılı olmaktadır. Özellikle meşcerenin büyük bir bölümü traşlandığı zaman yazın dere akışları çok azalmaktadır. Doğu bölgelerinde orman kesiminin maksimum akışlar üzerine etkileri, mevsime ve var olan toprak rutubeti koşullarına göre değişik olmaktadır. Coweeta'da elde edilen sonuçlar, su verimindeki artışın sel sularına katkısının önemsiz olduğunu göstermiştir. Hewlett, kesim yapılan bir havzada su verimindeki en büyük artışın Ekim ayında meydana geldiğini hesaplamıştır (11). Bu artış 2.4 inç (6 cm) e ulaşıyordu ve Ekim ayı boyunca mil kareden saniyede 2 ft<sup>3</sup> lük bir akışa eşitti. Ekim ayında aynı zamanda bölge için rekor olan bir taşkın da tesbit edilmiştir. Hewlett, 2 ft<sup>3</sup>/san/mil<sup>2</sup> lik bir artışın, 200 ft<sup>3</sup>/san/mil<sup>2</sup> lik bir yüksek akış rekoru ve selin tahrip potansiyeli üzerine fazlaca etkili olabileceğini düşünmenin yersiz olacağını kaydediyor. Ormanların kesilmesiyle su veriminde meydana gelen buna benzer artışlar, A. B. D.'nin diğer kısımlarında da görülmektedir. Yüksek rakım, kar zonu ve havza amenajmanı konularında daha tanınmış araştırmalardan biri, Kolorado'daki Fraser Deneme Ormanı'nda yapılmıştır. 185.6 ha (714 acre) genişlikteki bir göknar, ladin ve çam ormanı atlamalı şeritler halinde arada kesilmemiş şeritler bırakmak suretiyle- traşlanmış ve havzadaki dikili ağaçların aşağı yukarı yarısı böylece kesilmiştir. Bu kesimi izleyen yıl içinde su veriminin % 25 oranında arttığı ve bu artışın 1965 yılına kadar aynen kaldığı görülmüştür (4). Coweeta'daki araştırma sonuçlarının aksine bu kar zonu araştırmasında su verimindeki artışın büyük kısmı ilkbahardaki kar erimesi periyodunda meydana gelmiş ve dolayısıyla bu artış, sel sularına (yüksek akışlara) önemli ölçüde katkıda bulunmuştur.

Kar erimesinin hızı üzerinde etkili olabilecek bazı kontrol olanakları -Sierra Nevada (Kaliforniya)'da yapılan araştırmaların da gösterdiği gibi- vardır. Adı geçen araştırmalarda traşlama şeritlerinin genişlik ve durumları yalnız su verimini arttırmak üzere toplam kar birikmesini çoğaltacak şekilde değil, fakat aynı zamanda karın erime hızını yavaşlatacak ve yazın su akış süresini uzatacak şekilde düzenlenmişti. Bu araştırmalardan sağlanan bulgular, Anderson'un (5) «duvar ve basamak metodu» adını verdiği bir kesim şeklinin geliştirilmesine yol açmıştır. Ülkenin doğusunda yapılan araştırmalar gibi bu araştırmalar da ormanların kesilmesi sonunda dere akışlarındaki azalmaların (alçak akışların) arttığını ortaya koymuş bulunuyor.

Orman vejetasyonuna uygun müdahalelerde bulunmak suretiyle suyun muhafazası, evaporasyonla sarfedilmeğe hazır suya sahip bulu-

nan yüzeylerin değişikliğe uğratılmasının bir sonucudur. Bu yüzeyleri Goodell dört kategoriye ayırmaktadır (9):

1. Yaprakların ve bitki gövdelerinin dış yüzeyleri
2. Bitkilerin iç yüzeyleri
3. Toprak yüzeyi
4. Birikmiş kar yüzeyi

Suyun buharlaşması için bu yüzeyleri ısı enerjisinin etkilemesi gerekir. Ormanda yapılan kesimler, bitkilerin hem dış, hem iç yüzeylerini ortadan kaldırmak suretiyle bu yüzeylerden buharlaşacak suyun muhafazasına olanak sağlar; fakat bunun yanısıra kesimler toprak yüzeyini daha büyük bir evaporasyon kaybına maruz bırakmaktadır. Belli bir havzada optimum bir bitki örtüsü dağılımı sağlamak amacıyla orman vejetasyonuna uygun müdahalelerde bulunmak, amenajman amaçlarına bağlı olarak maksimum odun ya da su üretimini mümkün kılabilir.

### Ö Z E T

Yağışı havzaya bir katkı, dere akışını ise bu katkı sonucunda elde edilen bir değer olarak düşünmek mümkündür. Orman -toprak- su sistemleri bir enerji dengesi esasına göre çalışırlar. Bu sisteme aşırı miktarlarda su katkısı olursa, toprak suyunu tutan enerji sıfıra iner ve akış hızı birden artarak, yağıştan alıkonan önemli miktarda toprak suyunun dere akışı şeklinde boşalmasına yol açar. Yağış dinince toprak suyunun akışı gittikçe azalarak devam eder ve bu durum, suyu toprak içinde tutan kapiller güç, yerçekimi kuvvetine eşit olup bir denge kuruluncaya kadar sürer. Bu noktada (tarla kapasitesi). toprak suyu gerilimi yaklaşık olarak bir atmosferin onda birine eşit olacaktır. Orman ağaçları bu dengeyi bozarlar ve transpirasyon kayıpları daha kuru topraklarda 15 atmosferden bile daha büyük bir gerilime (basınca) sebep olabilir. Kök yüzeyleri çevresindeki toprak suyunun kullanılması ile, suyun daha az bir gerilimle tutulduğu daha rutubetli zonlarla bu zonlar arasında kapiller bir fark meydana gelecektir. Böyle durumlarda toprak suyu, dengeyi yeniden sağlamak üzere akışa geçer.

Gerek dereler ve gerekse orman ağaçları topraktan suyu çekip alabildiklerinden, çoğu zaman bunların birinin toprak suyunu alması, diğerinin aleyhine olmaktadır. Eğer ormanlar toprakta tutulan suyu transpirasyonla hacamasalardı, o takdirde, bir yağıştan sonra daha

fazla miktarlarda toprak suyunun yer değiştirme (displacement) suretiyle dere akışına katılması mümkün olurdu. Bu düşünüş, orman vejetasyonuna yapılacak uygun müdahalelerle su verimi üzerinde istenilen yönde değişiklik yapılması prensibinin esasını oluşturmuştur.

#### KAYNAKLAR

1. Cole, D.W.: «The release of elements from the forest floor and migration through associated soil profiles (a lysimeter study)», 1963. (Unpublished Ph D. thesis on file at Univ. of Wash., Seattle.)
2. La Rock, R.G., Jr.: «Some moisture characteristics of an Everett soil». 1967. (Master's thesis on file at Univ. of Wash., Seattle.)
3. Wooldridge, D.D.: Unpublished data on impact of urbanization on streamflow. Univ. of Wash., Seattle., 1966.
4. Storey, H.C.: «Watershed management research.» Talk presented to a Graduate Seminar, Univ. of Wash., Dec. 1965.
5. Anderson, H.: 1963. «Managing California's snow-zone lands for water.» U.S. Forest Serv. Res. Pap. PSW-6.
6. Baver, L.D.: 1956. «Soil physics» 3<sup>rd</sup> ed. John Wiley and Sons, Inc., New York.
7. Cole, D.W.: 1967. «The Forest Soil - retention and flow of water.», Soc. Amer. Forest. Proc. (1966) : 150-154.
8. Gardner, W.R.: 1960. «Dynamic aspects of water availability to plants» Soil Sci. 89(2) : 63-73.
9. Goodell, B.C.: 1966. «Watershed treatment effects on evapotranspiration». Int. Symp. Forest Hydrol., Nat. Sci. Found. Advanced Sci. Seminar Proc. 1965 : 477-482.
10. Hewlett, J.D.: 1961. «Soil moisture as a source of baseflow from steep mountain watersheds.» U.S. Forest Serv. Southeast. Forest Exp. Sta. Pap. 12.
11. Hewlett, J.D.: 1967. «Will water demands dominate forest management in the East?» Soc. Amer. Foresters Proc. (1966) : 154-158.
12. Hewlett, J.D.; Hibbert, A.R.: 1966. «Factors affecting the response of small watersheds to precipitation in humid areas.» Int. Symp. Forest Hydrol., Nat. Sci. Found. Advanced Sci. Seminar Proc 1965 : 275-290.
13. Horton, J.H.; Hawkins, R.H.: 1955. «Flow path of rain from the soil surface to the water table.» Soil Sci. 100(6) : 377-383.
14. Kirkham, D.: 1964. «Soil physics». Handbook of Applied Hydrology, Sect. 5, Ed. by V.T. Chow. Mc Graw-Hill Book Co., New York.
15. Linsley, R.K., Jr., Kohler, M.R., Paulhus, J.L.H.: 1958. «Hydrology for Engineers». Mc Graw-Hill Book Co., New York.
16. Remson, Irwin; Randolph, J.R.: 1962. «Review of some elements of soil-moisture theory.» U.S. Geol. Surv. Prof. Pap. 411-D.
17. Richards, L.A.: 1931. «Capillary conduction of liquids through porous mediums.» Physics 1 : 318-333.