

ORMANLARIN EROZYON VE SEDİMENTASYONA ETKİLERİ¹⁾

Prof. Dr. Ertuğrul GÖRCELİOĞLU²⁾

Kısa Özet

Orman örtüsü, yüzeysel akışı ve dere akımını düzenleyici etkisine paralel olarak erozyon ve sedimentasyonu da en az düzeye indirmektedir.

Havzalardaki orman örtüsü yüzdesinin artmasıyla erozyonun ve sediment veriminin azaldığı, buna karşılık havzalardaki tarım alanı yüzdesinin artmasıyla erozyonun ve sediment veriminin de arttığı araştırmalarla ortaya konmuştur.

Ormanlardaki çeşitli etkinliklerin erozyona ve derelerde sediment artışına yol açmaması için gerekli önlemlere titizlikle uyulmalıdır.

1. GİRİŞ

İyi nitelikli ormanın toprağı stabilize edici etkisi ve kesim-taşıma etkinliklerinin, yangınların, otlatmanın ve ağaçlandırmanın erozyon ve sedimentasyona etkileri, büyük ölçüde nitelikli ve bakımlı ormanla yüzeysel akış arasındaki bağıntıya benzer. Burada erozyonu en basit anlamda, yani toprak taneciklerinin yüzeysel akışla toprak yüzeyi üzerinde -tabaka erozyonu ya da çığır ve oyuntu erozyonu şeklinde- taşınması olarak düşünürsek, önemli miktarlarda yüzeysel akışa yol açan koşulların erozyona neden olacağı açıktır.

Daha önceki bir incelemede (GÖRCELİOĞLU 1996) gözden geçirilen çeşitli araştırmaların da gösterdiği gibi, orman toprağının çıplak bırakılması, üretim (kesim ve taşıma) etkinlikleri ve/veya otlatma sonucu sıkışması ya da şiddetli bir yangına maruz kalması durumunda yüzeysel akış erozyona yol açar. Dolayısıyla, ormanın tahripkar üretim ve taşıma etkinliklerinden, otlatmadan ve yangından korunması yüzeysel akışı ve erozyonu en düşük düzeye indirecektir. Kendi haline bırakılmış ve erozyona maruz kalmış arazinin ağaçlandırılması ve böylece yüzeysel akışın azalması, toprak kaybını kısa sürede ve büyük ölçüde azaltacaktır. İyi nitelikte bir ormanın karakteristik özelliğı yüzeysel akışın olmamasıdır; bu durumda erozyon da meydana gelmez.

1) Bu yazının hazırlanmasında, kaynak listesinde verilen Lull ve Reinhart'ın (1972) araştırmasından geniş ölçüde yararlanılmıştır.

2) İ.Ü. Orman Fakültesi Orman İnşaatı ve Transportu Anabilim Dalı

Ancak, iyi bir orman örtüsüne sahip bir havzanın sularını akıtan derelerde sediment taşınması ve bunun yer yer çökmesi (sedimentasyon) devam eder. Bu sedimentin kaynağı sadece havza yamaçlarındaki erozyon değil, daha çok yatak kıyılarındaki erozyondur. Belirli koşullarda, yüzeysel erozyonun varlığına rağmen sedimentasyonun olmaması ya da yüzeysel erozyon olmasına rağmen sedimentasyonun var olması mümkündür. Bu yazıda sadece asılı sediment üzerinde durulacak, genellikle daha iri materyalin yatak tabanı boyunca taşınmasını ifade eden yatak yükü hareketi dikkate alınmayacaktır.

Erozyon ve sedimentasyonun uygun bir çerçevede incelenbilmesi için, her ikisinin de yol açtığı zararların dikkate alınması gerekir. Erozyon, daha çok meydana geldiği yerde zararlı sonuçlar doğurur. Bunların arasında üst toprağın kaybı, verimliliğin düşmesi, yol ve köprü gibi tesislere verilen zararlar vardır. Erozyon aynı zamanda insanın göz zevkini de bozar ki bu, para ile ölçülemeyen bir zarardır. Öte yandan derelerdeki sediment evlere ulaştırılan kullanma suyunu kirletebilir, suda yaşayan canlılara zarar verir ve dere boyunun rekreasyonel çekiciliğini ortadan kaldırır. Sediment aynı zamanda baraj göllerinde, ulaşımda yararlanılan nehir ve kanallarda, sulama sistemlerinde, balıkların yumurta bıraktığı yerlerde ve taşkın zamanlarında tarım alanlarında, yollarda ve yerleşim yerlerinde de zararlı olur. Dere ve nehir yataklarında sedimentin depolanması ise yatak kapasitesini azaltarak taşkınları artırır. Sedimentin erozyon ürünü materyal olduğu düşünülürse, sedimentasyon zararlarının, erozyonun, meydana geldiği yer dışında yol açtığı zararlardan olduğu anlaşılır.

2. HİDROLOJİK SÜREÇLER

Erozyonla ilgili başlıca hidrolojik süreçler infiltrasyon ve toprak taneciklerinin yüzeysel akış ya da dere akışı tarafından taşınmasıdır. İntersepsiyon ise, orman örtüsü altında mineral toprağın yüzeye çıktığı olağan dışı durumlarda bir ölçüde etkili olabilir; zira ağaçlardan toprağa düşen yağmur damlalarının kütlesi ve kinetik enerjisi, doğrudan doğruya yere düşen damlalarından daha büyüktür ve dolayısıyla damla erozyonu yaratma potansiyeli daha fazladır.

Mineral toprağın ölü örtü ve humus tarafından tam anlamıyla korunduğu yukarı havza ormanlarının kapladığı yamaçların derelere sediment katkısı yok denecek kadar azdır. Bu durumda erozyon hemen tümüyle dere yatağında meydana gelir; deredeki akımın kazıcı ve taşıyıcı gücü toprak taneciklerini yatak tabanından ve yatak kıyılarından kopararak dere aşağısına doğru taşır. Zamanla akım miktarıyla yatağın uzunluğu, genişliği ve taşıma kapasitesi arasında denge oluşur. Arada bir oluşan yüksek akışlar sırasında yatakta aşırı yüklenme meydana gelir ve akım, yatağı genişletip boyunu uzatır. Bu nedenle, herhangi bir dereye fazlasıyla yüksek akışlar sırasında sediment beklenmelidir. Orman zemininin bozulduğu, kesim, taşıma, otlatma ve yangın nedeniyle toprağın kısmen sıkıştığı durumlarda infiltrasyon azalır ve sonuçta yüzeysel akış ve toprak erozyonu ortaya çıkar. Bu nedenle, toprak kaybı toprak erodibilitesiyle yamaç uzunluğunun ve eğiminin bir fonksiyonudur.

3. SEDİMENT VERİMLERİ

Bilindiği gibi, erozyon ürünü materyal parçacıklarına genel olarak **sediment** adı verilmekte, **sediment verimi** kavramı ise akarsuda taşınan yıllık ortalama sediment miktarının, havzanın birim alanına indirgenmiş değerini ($m^3/km^2/yıl$) ifade etmektedir.

Havzaların sediment verimini etkileyen faktörler çok çeşitlidir. Bunların en önemlilerinden biri havzanın büyüklüğü (yüzölçümü) dür. Havzaların sediment verimi, A.B.D.'deki 1096 ölçmeden elde edilen sonuçlara göre, havza alanı büyüdükçe azalmaktadır.

Nitekim yüzölçümü $26 km^2$ 'den daha küçük olan 650 havzanın ortalama sediment verimi

($1810 m^3/km^2/yıl$), yüzölçümü $2600 km^2$ 'den daha büyük olan 118 havzanın ortalama sediment veriminin ($238 m^3/km^2/yıl$) 7 katından daha fazladır (GOTTSCALK 1964).

Türkiye'deki akarsu havzaları için de benzer bir sonuç elde edilmiştir. Türkiye akarsu havzalarının ortalama sediment verimleri, yüzölçümleri $20 km^2$ 'den küçük havzalarda $2200 m^3/km^2/yıl$, $2500 km^2$ 'den büyük havzalarda ise $350 m^3/km^2/yıl$ olarak bulunmuştur (ULUGÜR 1972). Bu bulgulardan da, $20 km^2$ 'den küçük havzaların sediment verimlerinin, $2500 km^2$ 'den büyük havzaların sediment veriminin 6 katından fazla olduğu görülmektedir.

Öte yandan Türkiye'deki akarsu havzalarının sediment verimlerini etkileyen başlıca iklim, havza ve akım özellikleri üzerine yapılan bir çalışmada (GÖRCELİOĞLU 1982), çeşitli büyüklük gruplarına giren havzalarda sediment veriminin hesaplanmasına olanak veren regresyon eşitliklerinde havzalardaki tarım, mer'a ve orman alanı yüzdelilerinin önemli belirleyici değişkenler olduğu görülmüştür.

A.B.D.'de yapılan çok sayıda araştırmanın sonuçlarına göre, ormanlık havzaların sediment üretimi $11.58 m^3/km^2/yıl$ ile $115.83 m^3/km^2/yıl$ arasında değişmektedir ve bu değerler tarım alanları için kabul edilen ve $2.5 ton/ha/yıl$ ile $12.5 ton/ha/yıl$ arasında değişen toprak kaybı tolerans limitlerinin oldukça altındadır (ANONİM 1961; GÖRCELİOĞLU 1988).

Bazı yağışlı yörelerde -örneğin Karadeniz bölgesinde- toprak kaymaları da önemli erozyon ve sedimentasyon kaynağı durumundadır. Çoğunlukla toprak kaymalarının eğimi %45'in üzerinde olan yamaçlarda meydana geldiği ve bunların oluşmasında insan etkinliklerinin pek rolü olmadığı görülmekte, böyle kaymaların önlenmesi de çoğunlukla mümkün olmamaktadır.

Son olarak, bir havzada orman varlığının oranı arttıkça sediment veriminin azaldığı söylenebilir. A.B.D.'de Potomac Nehri yandere havzalarında yapılan bir araştırmanın sonuçları da bunu açıkça göstermektedir (WARK/KELLER 1963):

Havzadaki Orman Örtüsü (%)	Havzanın Sediment Verimi ($ton/km^2/yıl$)
20	154.44
40	77.22
60	34.75
80	17.37
100	8.49

Bu değerler, bir havzada orman örtüsü yüzdesinin 5 kat artmasının, havzanın sediment veriminde 18 kat azalma sağladığını ortaya koymaktadır.

4. ORMANCILIK ETKİNLİKLERİNİN EROZYON VE SEDİMENTASYONA ETKİLERİ

4.1 Üretim

A.B.D.'de üretim (kesim ve taşıma) etkinliklerinin yapıldığı orman alanlarındaki erozyon ve bu alanların sediment verimleri, kesim, taşıma ve yollarla bağlantılı olarak Packer (1967) tarafından ayrıntılı olarak incelenmiştir.

Ağaçların kesilmesi, başlıbaşına bir erozyon nedeni değildir ve bunun yol açtığı erozyon yok denecek kadar azdır. Örneğin Coweeta'da olgun yaştaki bir yapraklı ağaç meşçeresinin traşla-

ma kesime tabi tutulması yüzeysel akışa ve dolayısıyla erozyona yol açmamıştır. Ancak, burada kesilen ağaçlar olduğu gibi ormanda bırakılmış ve traşlama alanı kısa sürede gelişen yoğun bir bitki örtüsü ile kaplanmış (HOOVER 1945/a). Öte yandan Hubbart Brook Araştırma Ormanında traşlama kesimden ve yer örtüsüne deneme amacıyla herbisit uygulanmasından sonra, kesimi izleyen 2 yıl içinde sediment verimi 4 kat artmıştır (PIERCE ve ark. 1970). Burada da kesimin ardından alanda yüzeysel akış oluşmadığından, sediment artışının dere yatağından kaynaklandığı belirtilmektedir.

Taşımanın etkilerine gelince, Fernow Ormanında 50 yaşındaki yapraklı ağaç meşçerelerinde kesimden sonraki taşımadan kaynaklanan erozyon ve sedimentasyon, esas itibariyle sürütme yollarının güzergah belirlenmesinde ve drenajında gösterilen özene bağlı olarak toprakta meydana gelen bozulmanın derecesiyle bağlantıya getirilmiştir. Taşımaya (sürütmeye) bağlı olarak toprakta meydana gelen bozulma beş dereceye ayrılmış (REINHART ve ark. 1963), bunların ve daha sonraki bir uygulamanın (HORNBECK 1967) sonucunda ölçülen asılı sediment miktarları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1: Sürütmenin Sediment Verimiyle İlişkisi

Sürütme Yolunun Durumu	Kesilen Ağaç Oranı (Hacim) (%)	Maksimum Asılı Sediment (ppm)	Asılı Sediment Miktarı Sınıfları İtibariyle Örneklerin Yüzdesi			
			0-10	11-99	100-999	1000 +
Yol planı yok, drenaj yok	86	56000	62	20	12	6
Yol planı yok, yol drene edilmiş	59	5200	85	8	4	3
Yol orta derecede planlanmış, drenaj var	31	210	96	4	-	-
Dikkatli planlama, drenaj var	20	25	99	1	-	-
Kontrol (hiçbir şey yapılmamış)	0	15	100	-	-	-
Dikkatli planlama, drenaj var	100	83	95	5	-	-

Reinhart ve arkadaşlarının (1963) araştırmasında üzerinde durulan bir husus da, kesim ve taşımadan (sürütmeden) sonra sedimentasyonun hangi hızda (ne kadar sürede) ortadan kalktığı olmuştur. Üretim etkinlikleri sırasında, en fazla erozyona uğrayan havzada ölçülen sediment miktarı (deredeki asılı sediment oranı) ortalama 490 ppm olarak bulunmuş, üretimi izleyen birinci yılda bu değer 38 ppm'e, ikinci yılda ise 1 ppm'e düşmüştür.

Hornbeck'in (1967) traşlama kesime ilişkin araştırmasına konu olan alanda ise sürütme yolları dikkatle planlanmış, drene edilmiş ve bakıma tabi tutulmuştur. Bu araştırma alanında maksimum sediment verimi 83 ppm olmuş, sediment örneklerinin % 95'inde asılı sediment miktarı 0-10 ppm arasında kalmıştır. Bu sonuç, ormanlık bir havzada dikkatli davranılarak yapılacak traşlama kesimin ve sürütme suretiyle bölmeden çıkarmanın su kalitesinde ciddi bir bozulmaya neden olamadan gerçekleştirilebileceğini göstermektedir.

Orman yolları ve bunların koruma önemi alınmamış kazı ve dolduruları, ormanlık havzalardan gelen sedimentin başlıca kaynağıdır. Orman yollarının sedimente katkısı, ağaçların kesilmesinin ve taşınmasının katkısından daha fazladır. Genellikle, kamyon yolları, sürütme yolları ve istif yerleri toplamı düşünülürse, alanın en az % 10'u çıplaktır ve bu çıplak alanın oranı % 20'ye kadar çıkabilir. Düşük standartlı yolların üretim çalışmalarının bitmesinden sonra -rekreasyon ya da diğer kullanımlar nedeniyle- kapatılmaması durumunda erozyon ve sediment sorunu sürüp gider.

Yol kazıları, çok fazla miktarlarda sediment üretebilmektedir. Örneğin A.B.D'nin Georgia eyaletinde genellikle killi arazide açılan karayolları şevlerinde yapılan bir araştırma (DISEKER/RICHARDSON 1961), düşük (1:3) eğimli kazı şevlerinin yıllık ortalama sediment veriminin 40 ton/ha olduğunu, bu değer orta (1:1.3) eğimli kazı şevlerinde 55.6 ton/ha'a, dik (1:1) eğimli kazı şevlerinde 78 ton/ha'a çıktığını göstermiştir. Aynı araştırma, kuzeybatı bakılı kazı şevlerinin 3 yıllık sediment verimi ortalamasının 82 ton/ha olduğunu, güneydoğu bakılı kazı şevlerinde ise bu değer 36.4 ton/ha'da kaldığını ortaya koymuştur. Bu toprak kayıpları, aynı bölgedeki orta eğimli tarım alanlarındaki ortalama toprak kayıplarının 15 katından daha fazladır.

Toprak kayıpları, orman yollarının niteliklerine göre değişmektedir. Örneğin A.B.D.'de, Fernow Araştırma Ormanında, kısa mesafeler dışında eğimi % 10'u geçmeyen ve gerekli yerlerde yüzey drenajı (enine drenaj) yapılmış olan yüksek nitelikli bir orman yolunun yaklaşık 160 m'lik bir bölümünde, tomruk taşımalarının sona ermesini izleyen ilk yıl içinde yolun her bir metresinin sediment verimi 0.04828 m³ (48.28 dm³) olmuştur; eğimi % 20'yi geçmeyen ve yaklaşık 40 m aralıklarla yüzey drenajı yapılmış olan iyi nitelikli bir orman yolunda bu değer 0.06035 m³ (60.35 dm³) tür; eğimi kısıtlanmamış, fakat en az 40 m aralıklarla yüzey drenajı yapılmış orta nitelikli bir orman yolunda sediment verimi 0.06499 m³ (64.99 dm³) olmuştur; eğim ve konum bakımından herhangi bir kısıtlamanın sözkonusu olmadığı ve enine drenajın yapılmadığı düşük nitelikli bir orman yolunda ise sediment verimi 0.08449 m³ (84.49 dm³) olarak belirlenmiştir (WEITZMAN/TRIMBLE 1952).

Sürütme yollarına gelince, bunlar ne kadar çok kullanılırsa toprak kaybı da o kadar fazla olmaktadır.

Gerek kesim ve bölmeden çıkarmanın, gerekse orman yollarının kombine etkilerinden kaynaklanan sediment miktarı yerden yere farklı olmaktadır. Örneğin Coweeta'da kesim ve taşıma yapılan bir alanın sediment verimi 4 ppm'den 93 ppm'e çıkmış, buradaki 3.7 km'lik bir orman yolunun belirli enkesitlerinde 4 yıl boyunca yinelenen ölçümlerle, bu süre içinde yolun 5237.23 m³ toprak kaybettiği belirlenmiştir (HOOVER 1952). Bu durum, 752 ha'lık havzanın sularını akıtan dereye su kalitesini öylesine bozmuştur ki, buna yol açan kesimden sağlanan tomruğun getirisinin suyun kullanımı için gereken arıtma işlemlerinin maliyetini karşılayamayacağı hesaplanmıştır (HURSH 1951).

Ancak, dikkatle uygulanacak bir kesim, bölmeden çıkarma ve taşımanın sediment verimini en düşük düzeyde tutabildiği de çeşitli araştırmalarla ortaya konmuştur (BLACK/CLARK 1958; VOGENBERGER/CURRY 1959).

4.2 Yangın

Ormanda arada bir meydana gelen yangınlar ve pek sık tekrarlanmayan kontrollü yakmalar, yüzeysel akış yaratmamakta ve erozyona neden olmamaktadır.

Tekrarlanan ve ölü örtü ile humusu yok eden kontrollü yakmalar ise önemli miktarda yüzeysel akış oluşturabilmekte, dolayısıyla erozyona ve sediment oluşumuna yol açabilmektedir.

4.3 Otlatma

Ormanda hayvan otlatılmasından kaynaklanan erozyona ilişkin araştırma ve veriler oldukça azdır. Bu araştırmaların sonuçları, otlatma nedeniyle erozyonun yavaş bir tempoda gelişebileceğini ve pek şiddetli olmayacağını göstermektedir.

Örneğin Coweeta'daki bir havzada orman altındaki otlatmanın havzadaki dereye sediment katkısı, ancak otlatmanın dokuzuncu yılında gerçekleşmiştir. Bundan kısa bir süre sonra, bir sağanak yağışın dereye ilettiği sediment 108 ppm olmuş, otlatma yapılmayan komşu ormanlık havzanın eşzamanlı sediment oranı ise sadece 30 ppm olarak ölçülmüştür (JOHNSON 1952).

Ormanda otlama konusundaki araştırmaların çoğu, aynı orman alanında yemlik ot üretimi ile tomruk üretiminin birlikte (aynı dönemde) yapılmasının uygun olmadığını göstermiştir. Ancak, bazı yer ve durumlarda böyle bir çok yönlü yararlanmanın zararlı olmadığı da görülmüştür; uygun bir amenajman gerçekleştirildiği takdirde otlama fazla bir erozyona ya da diğer zararlılara yol açmayabilir.

4.4 Ağaçlandırma

Erozyonun önlenmesi için her zaman ağaçlandırma yapılması gerekmez. Eski tarım alanlarını kaplayan vejetasyon, ağaçlandırma yapılmadan da toprağı stabilize etmeye yeterli olabilmektedir. Örneğin A.B.D 'de (Batı Virginia'da), yirmi yıl önce terkedilmiş tarım alanlarının doğal olarak yeterli bir vejetasyonla kaplandığı ve buraların toprak kaybının, müdahale görmemiş orman alanlarının toprak kaybından çok az farklı olduğu saptanmıştır (HORNBECK/TROEN-DLE 1969).

Öte yandan Tennessee'de aşırı ölçüde erozyona uğramış durumdaki 4 288 ha'lık bir havzanın 1/3'ünün ağaçlandırılması, havzanın sediment verimini 1935-1955 yılları arasında % 96 oranında azaltmıştır (TVA 1961). Aynı yörede başka bir havzanın 2/3'ünün ağaçlandırılması da 1942-1960 yılları arasında havzanın sediment verimini % 96 oranında düşürmüştür (TVA 1962).

5. POTANSİYEL AMENAJMAN OLANAKLARI

A.B.D.'de küçük ormanlık havzaların yıllık sediment verimi 3.86 ton/km² ile 5.79 ton/km² arasında değişmekte, daha büyük havzalarda bu değerler 11.58 ton/km² ile 34.75 ton/km² arasında bulunmaktadır (ANONİM 1962). Özellikle A.B.D.'nin doğu kesiminde yer alan ve ülke ormanlarının yaklaşık % 1'ini oluşturan orman alanlarında ise sediment verimi bu miktarların üzerindedir ve buralarda erozyon kontrol çalışmalarının yapılması öngörülmektedir.

Orman alanlarında erozyon kontrol probleminin büyüklüğünü belirleyen hususların başında toprağın tedirgin edilmesi, topoğrafya ve toprağın taşlılığı gelmektedir. Toprağın bozulma derecesi en önemli faktördür. Şimdiye kadar yapılmış araştırmalar, tedirgin edilmemiş ve doğal durumu bozulmamış orman toprağında esas itibarıyla erozyon meydana gelmediğini göstermektedir. Bazı istisnalar dışında, orman toprağının sürütme, yangın ya da otlama nedeniyle koruyucu örtüden yoksun kalması erozyona yol açmaktadır.

Toprağın tedirgin edildiği orman alanlarında potansiyel erozyon kısmen topoğrafyaya ve aynı zamanda toprakların taşlılığına bağlıdır. Erozyon potansiyelinin daha büyük olduğu tepelik ve dağlık alanlarda toprak kayıpları, taşlı toprakların bir erozyon kaldırımı (Bkz.: GÖRCELİOĞLU 1984) oluşması sonucunda erozyon sürecini kısa sürede yavaşlatması nedeniyle azalabilmektedir. Örneğin Fernow Araştırma Ormanında kesim ve taşıma operasyonu sırasında dere-deki sediment oranı ortalama 490 ppm olmuş, üretim çalışmalarını izleyen ilk yılda bu oran 38 ppm'e, ikinci yılda da 1 ppm'e inmiştir (REINHART ve ark. 1963). Bu hızlı iyileşme birçok ormanlık alanlarda görülmekte ve bu durum, defalarca kesim yapılmasına rağmen ormanlık alanların yüksek kalitede su üretmeye devam etmesinin nedenini de açıklamaktadır.

Ne var ki kesim alanlarının kendi kendine iyileşmesi, ancak su kalitesinde önemli bozulmaların meydana gelmesinden sonra etkisini göstermektedir. Örneğin bir sürütme yolunun kısa bir bölümünün, ormanlık havzayı drene eden dereye dik eğimli tarım alanından daha fazla sediment katkısında bulunduğu belirlenmiştir (HOOVER 1945/b).

Topraklar taşlı olmadığı takdirde ise, sürütme yollarından özellikle killi alt toprağın her sağanak yağışta derelere kadar taşınması uzun yıllar devam edebilmektedir.

Erozyon kontrolü planlama ile başlar. Üretim yapılan bölmelerin sediment veriminin neredeyse % 90'ının yollardan geldiği (PACKER/CHRISTENSEN 1964) düşünülürse, planlama yol yoğunluğunun minimumda tutulmasını sağlayacak önlemlerle başlar. Bu ise bölmeden çıkarma/taşıma yönteminin ve yol konumunun seçilmesiyle bağlantılıdır.

Yol konumunun (güzergahın ve yol özelliklerinin) önceden planlanması ile hem yolun kaplayacağı alan, hem de yol eğimi azaltılabilir. Örneğin Fernow Araştırma Ormanında plansız yapılan bir yol şebekesi alanın % 4.8 ile % 7.0'sini kaplarken ve eğim % 14 - % 24 arasında değişirken, planlı bir yol şebekesi alanın % 2.5 ile % 4.6'sını kaplamış ve eğim % 9 - % 14 arasında kalmıştır. Dikkatli bir planlama ile sürütme yollarının kapladığı alan da % 40 oranında azaltılabilir (MITCHELL/TRIMBLE 1959).

Eğim-uzunluk ilişkileri ve kullanım yoğunluğu yol konumunu (güzergah) etkileyebilir. Örneğin % 4'lük bir eğim drenaj sorunlarını azaltırken, % 8'lik bir eğim yol uzunluğunu yarıya indirir ve modern araçlara bir zorluk çıkarmaz. Taşıma süresi de daha kısa olacaktır.

Orman yollarında erozyonun kontrolü, uygun bir güzergahın yanı sıra, yüzeysel akışın yol yüzeyini ciddi ölçüde aşındıracak bir derinlik ve hıza ulaşmasını önleyecek bir drenajı ve aynı zamanda yoldan gelen yüzeysel akışın yamaç aşağısındaki dereye kadar ulaşmasının engellenmesini gerekli kılar. Packer ve Christensen'e (1964) göre, ikinci derece orman yolları üzerinde derinliği 2.5 cm'yi geçen çizgi erozyonunun oluşması, yolun hızla bozulmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, yol üzeri çapraz drenlerin aralıkları, çizgi erozyonunun derinliği 2.5 cm'yi aşmama-yaç şekilde belirlenmelidir. Ayrıca sedimenti dere yatağına ulaştırmaktan alıkoyacak koruyucu şeritlerin genişlikleri, çapraz drenlerin çıkış ağzından itibaren sedimentin yamaç aşağısına doğru ulaşabileceği mesafeye göre ayarlanmalıdır.

Çapraz dren aralıkları ve koruyucu şerit genişlikleri büyük ölçüde eğime göre belirlenmiştir. Örneğin A.B.D.'de beldelerin su gereksinimini sağlayan havzalar için Trimble (1959), kamyon yollarında ya da yoğun biçimde kullanılan sürütme yollarında maksimum eğimlerin -çok kısa mesafeler dışında- % 10'un altında kalmasını tavsiye etmiştir. Böyle yollarda çapraz dren aralıkları kabaca;

$$L = 305 / p \quad (m)$$

formülüyle hesaplanabilir. Burada L = dren aralığı (m), p=eğim değeri (örneğin % 5 eğim için p=5) dir. Buna göre çapraz dren aralığı % 5 eğimli yol kesiminde 61 m, % 10 eğimli yol kesiminde 30.5 m olmalıdır.

Öte yandan yine A.B.D. (New Hampshire)'de yol ile dere yatağı arasındaki minimum uzaklık;

$$L_{min} = 7.62 + (0.6096 \times p) \quad (m)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Burada L_{min} = yol ile dere yatağı arasındaki mesafe (m), p= yol ile dere arasındaki yamacın eğim değeri (örneğin % 5 eğim için p=5) dir. Dolayısıyla % 20 eğimli bir yamaçta yolun dereye uzaklığı en az 19.8 m olacaktır (TRIMBLE/SARTZ 1957). Drenlerin çıkış ağzları aşağısına yapılacak su dağıtma tesisleri, koruma şeritlerinin daha dar olması olanak sağlar.

6. DİĞER ARAZİ KULLANIMLARI

Yüzeysel akışın artmasıyla birlikte, erozyon ve sediment verimi de -yüzeysel akıştaki artışla orantılı olmayacak şekilde- fazlasıyla artar. Bunun nedeni, erozyonun yüzeysel akışın hacmi ile birlikte yüzeysel akışın hızı ile de bağlantılı olmasıdır; diğer hususlar aynı olmak kay-

dıyla, hacim arttıkça hız da artar. Arazi kullanma şeklinin etkileri, özellikle ormanlık bir alanla bir tarım alanının sediment verimi karşılaştırıldığında çarpıcı biçimde ortaya çıkmaktadır.

Örneğin A.B.D.'nin Wisconsin eyaletinde yapılan ölçümlerden elde edilen sonuçlar (LULL/REINHART 1972) şöyledir:

Havzada Arazi Kullanımı	Asılı Sediment (ppm)
Tarım alanı (çapa kültürü)	238 000
Yoğun otlatılan çayırlar	82 000
Hafif otlatılan çayırlar	13 000
Ağır otlatılan ağaçlık alan	55 900
Kaba yonca otlığı	19 800
Kesim yapılmış orman	3 600
Eski (terkedilmiş) tarım alanı	300
Müdahale görmemiş orman	100

6.1 Tarım Arazisi

Diğer hususlar aynı olmak kaydıyla, bir havzadaki tarım alanı yüzdesi büyüdükçe havzanın sediment verimi de artar. Potomac Nehri baseninde yapılan bir araştırma, tarım alanı oranı % 5-25 olan havzaların ortalama yıllık sediment veriminin 7.7-77.2 ton/km², tarım alanı oranı % 25-50 olan havzaların ortalama yıllık sediment veriminin 38.6-193 ton/km² olduğunu göstermiştir. Regresyon sonuçları şöyledir (WARK/KELLER 1963):

Havzadaki Tarım Alanı Oranı (%)	Havzanın Sediment Verimi (ton/km ² /yıl)
10	30.89
20	46.33
30	57.92
40	77.22
50	96.53

Bir ormanlık havzanın tümüyle tarım alanına dönüştürüldüğü bir çalışmada, başlangıçta 174.64 kg/ha/yıl olan ortalama toprak kaybının, 10 yıllık tarım etkinliği süresince ortalama 2 260 kg/ha/yıl'a çıktığı belirlenmiştir (DILS 1953).

6.2 Otlak Alanları

Otlak alanlarının taşkın akışlara katkısı fazla olduğu halde, toprak kaybı çok azdır. Örneğin dağlık arazideki bir çiftliğin otlayan hayvanlar tarafından fazlasıyla çiğnenmiş otlak alanı, bir sağanak yağışın çiflik arazisinde oluşturduğu yüzeysel akışa % 60 oranında katkı sağladığı halde, toprak kaybının ancak 1/3'ü bu otlaktan gelmiştir (DILS 1953).

Aşlında ormanlık havzaların sediment üretimi ile otlak olarak kullanılan havzaların sediment üretimini karşılaştıran araştırma çok azdır. Bunun nedeni, otlak alanlarının sediment veriminin nispeten önemsiz kalması olabilir.

6.3 Kentsel Gelişim Alanları

Herhangi bir alanda toprağı asfalt ya da beton kaplama kadar stabilize edebilen başka bir şey yoktur; böyle alanlardan gelen yüzeysel akış, kaplanmış alanın aşağısında kalan korunmamış toprakta erozyona yol açar.

Kentsel alanların ürettiği sedimentin büyük bölümü yol ve kanal kıyılarıyla inşaat çalışmalarının yürütülme olduğu yerlerden gelir. Bu konuda topoğrafyanın (eğimin) önemli bir etkisi söz konusudur. Nitekim hafif eğimli düz bir arazideki yoğun bir yerleşim alanının sediment verimi 9.65 ton/km²/yıl ile 38.61 ton/km²/yıl arasında değişirken, yamaç yukarılarındaki daha yüksek eğimli bir yoğun yerleşim alanının sediment veriminin 28.96 ton/km²/yıl ile 193.05 ton/km²/yıl arasında değiştirdiği saptanmıştır (ANDERSON/McCALL 1968).

İnşaatın sürdürdüğü kentsel alanların sediment üretimi, özellikle modern kazı makinelerinin inşaat alanını kazıp doldurarak yeniden şekillendirdiği ve toprağın uzun süre korunmasız kaldığı durumlarda aşırı ölçülere varabilmektedir. Binaların büyüklüğüne göre inşaatın üç ayla birkaç yıl arasında sürdürdüğü düşünülürse, toprak kaybının boyutu daha iyi anlaşılacaktır. Nitekim Washington D.C. yakınındaki bir konut sitesi inşaat alanından inşaat süresince yakındaki bir göle taşınan erozyon ürünü materyal miktarının, inşaat alanının herbir km²'si başına 9 652.51 ton olduğu belirlenmiş (GUY/FERGUSON 1962), yine Washington metropolitan alanında kentleşen kırsal kesimlerden akarsulara taşınan sediment miktarının, kent nüfusuna eklenen herbir kişi başına 10 tona ulaştığı hesaplanmıştır. Kentlerin ve kent çevresindeki yerleşim alanlarının sediment verimi, inşaatın bitiminden sonra 19.30 ton/km² ile 38.60 ton/km²'ye düşmektedir.

7. TARTIŞMA VE SONUÇ

A.B.D.'de ve diğer batı ülkelerinde, dik eğimli arazide bu yüzyılın ilk yarısında tarım alanı olarak kullanılan araziler günümüzde çoğunlukla otlak ya da orman alanlarına dönüşmüş bulunmakta, hâlâ tarım amacıyla kullanılmakta olan eğimli arazilerin çoğunda ise toprak koruma pratikleri uygulanmaktadır. Eğimli arazideki tarım alanlarında toprak koruma önlemlerinin alınması, tarıma uygun olmayan yerlerde tarım alanlarının azaltılması, orman yangınlarına karşı önlem alınması, ağaçlandırma yapılması gibi uygulamalar sayesinde tepelik ve dağlık arazinin erozyon potansiyeli azaltılmaktadır.

Türkiye'de ise dağlık ve tepelik arazinin önemli bir bölümünün hâlâ -herhangi bir toprak koruma önlemi alınmadan- tarım alanı olarak kullanıldığı, ayrıca ormanların -özellikle Karadeniz Bölgesinde- yok edilerek fındık bahçelerine ve mısır tarlasına dönüştürülmesinin yetkililerin gözü önünde sürüp gitmekte olduğu görülmektedir.

Ancak, görünen bu olumsuzluklara rağmen Türkiye ormanlarında biyokütle artımının 1960'ta 90 750 000 ton iken 1995'te 107 666 000 tona yükseldiği belirtilmekte, bunun nedenleri de;

- bozuk orman alanlarının ve orman içi açıklıkların ağaçlandırılması,
- üst orman zonlarında ve sarp araziler üzerindeki ormanların muhafazaya ayrılarak bu ormanlardan kesim yapılmaması,
- seyrek kapalı meşcerelere eta verilmemesi ve böylece bu ormanlarda servet birikiminin sağlanması, artım performansının yükseltilmesi,
- yaşlı, seyrek ve artımdan düşmüş meşcereleri doğal yolla gençleştirmek suretiyle bu meşcerelerin artım performanslarının yükseltilmesi,
- orman içi ve civarı yerleşik (özellikle genç ve ormana zararlı) nüfusun kente göçü ve böylece eski tarım alanlarından bir bölümünün yeniden ormanlaşması,
- orman içi otlaklarından vazgeçilerek, ahır hayvancılığına dönülmesi olarak sıralanmaktadır (ASAN 1995).

Buraya kadar sözü edilenleri özetlersek, şunları söyleyebiliriz:

1. Tahrip edilmemiş orman alanlarında erozyon, hemen tümüyle dere yataklarında meydana gelir; yatakta akan su tabandan ve kıyılardan toprak parçacıklarını kopararak aşağılara taşır. Dere yatakları arasındaki sırt ve yamaçların derelere sediment katkısı yok denecek kadar azdır.
2. Sadece ağaçların kesilmesi nedeniyle erozyon meydana gelmez. Erozyonun nedeni, genellikle kesim sırasında ya da kesimden sonra toprakta meydana gelen tahribattır.
3. Erozyon potansiyeli yüksek olan tepelik ve dağlık arazide taşlı topraklar, bir erozyon kaldırımı oluşturarak kısa sürede erozyon sürecini yavaşlatmak suretiyle toprak kayıplarını azaltabilir.
4. Diğer koşullar aynı olmak kaydıyla, bir havzada tarım alanı oranı büyüdükçe havzanın sediment verimi de artar.
5. Çayırılık alanlarda hayvan otlatma çok yoğun değilse, otlatmadan geriye kalan vejetasyon toprağı erozyona karşı yeterince koruyabilir.

KAYNAKLAR

ANDERSON, H.W.; McCALL, J.E. 1968: *Urbanization's Effect on Sediment Yield in New Jersey*. *J. Soil and Water Conservation* 23: 142-144.

ANONİM 1961: *A Universal Equation for Predicting Rainfall-Erosion-Losses*. *USDA Agricultural Research Service X 22-66*.

ANONİM 1962: *Basic Statistics of the National Inventory of Soil and Water Conservation Needs*. *US Dept. Agr. Statist. Bull.* 317.

ASAN, Ü. 1995 (1998): *Global İklim Değişimi ve Türkiye Ormanlarında Karbon Birikimi*. *İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi, Seri B, Cilt 45, Sayı 1-2*: 23-38.

BLACK, P.E.; CLARK, P.M. 1958: *Timber, Water, and Stamp Creek*. *USDA Forest Service SE Forest Exp. Sta., Asheville, N.C.*

DILS, R.E. 1953: *Influence of Forest Cutting and Mountain Farming on Some Vegetation, Surface Soil and Surface Runoff Characteristics*. *USDA Forest Serv. SE Forest Exp. Sta. Paper 24, Asheville, N.C.*

DISEKER, E.G.; RICHARDSON, E.C. 1961: *Roadside Sediment Production and Control*. *Amer. Soc. Agr. Eng. Trans.* 4: 62-64; 5: 153-155.

GOTTSCALK, L.C. 1964: *Reservoir Sedimentation*. *Handbook of Applied Hydrology (Edt. V.T. CHOW), Sect. 17-1 McGraw-Hill Book Company, New York-London-Sydney-Toronto*.

GÖRCELİOĞLU, E. 1982: *Türkiye 'de Akarsu Havzalarının Sediment Verimlerini Etkileyen Başlıca İklim, Havza ve Akım Özellikleri Üzerine Araştırmalar*. *İ.Ü. Yayın No. 2909, Orman Fakültesi Yayın No. 314, İstanbul*.

GÖRCELİOĞLU, E. 1984: *Erozyon Kaldırımı*. *İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi, Seri B, Cilt 34, Sayı 1*: 126-130.

GÖRCELİOĞLU, E. 1988: *Toprak Kaybı Toleransı Üzerine Bir İnceleme*. *İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi, Seri B, Cilt 38, Sayı 3*: 16-28.

GÖRCELİOĞLU, E. 1996: *Ormanların Sel ve Taşkınlar Üzerine Etkileri*. *İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi, Seri B, Cilt 46, Sayı 1-4*: 15-25.

GUY, H.P.; FERGUSON, G.E. 1962: *Sediment in Small Reservoirs Due to Urbanization*. *Amer. Soc. Civil Eng. J. Hydraul. Div. HY2 88*: 27-37.

HOOVER, M.D. 1945/a: *Effect of Removal of Forest Vegetation Upon Water Yields*. *Amer. Geophys. Union Trans. Part 6 (1944)*: 969-977.

HOOVER, M.D. 1945/b: *Careless Skidding Reduces Benefits of Forest Cover for Watershed Protection*. *J. Forestry* 43: 765-766.

HOOVER, M.D. 1952: *Water and Timber Management*. *J. Soil and Water Conserv.* 7: 75-78.

HORNBECK, J.W. 1967: *Clearcutting and the Erosion Hazard*. *N. Logger* 16 (4).

HORNBECK, J.W.; TROENDLE, C.A. 1969: *Effect of Abandoned Farmland on Streamflow*. *West Va. Agr. and Forestry* 2: 9-10.

HURSH, C.R. 1951: *Research in Forest- Streamflow Relations*. *Unasylva* 5: 2-9.

JONHSON, E.A. 1952: *Effect of Farm Woodland Grazing on Watershed Values in Southern Appalachian Mountains*. *J. Forestry* 50: 109-113.

LULL, H.W.; REINHART, K.G. 1972: *Forests and Floods in the Eastern United States*. *USDA Forest Service Research Paper NE-226, Upper Darby, Pa.*

MITCHELL, W.C.; TRIMBLE, Jr., G.R. 1959: *How Much Land is Needed for the Logging Transport System?* *J. Forestry* 57: 10-12.

PACKER, P.E.; CHRISTENSEN, G.F. 1964: *Guides for Controlling Sediment from Secondary Logging Roads*. *USDA Forest Serv. Intermountain Forest and Range Exp. Sta., Ogden, Utah.*

PACKER, P.E. 1967: *Forest Treatment Effects on Water Quality*. (*Forest Hydrology*: 687-699). Pergamon Press, New York.

PIERCE, R.S.; HORNBECK, J.W.; LIKENS, G.E.; BORMAN, F.H. 1970: *Effect of Elimination of Vegetation on Stream Water Quantity and Quality*. *Symposium "Results of Research on Representative and Experimental Basins" Proceedings*: 311-328, Wellington, New Zealand.

REINHART, K.G.; ESCHNER, A.R.; TRIMBLE, Jr., G.R. 1963: *Effect on Steamflow of Four Forest Practices in the Mountains of West Virginia*. *USDA Forest Service Research Paper NE-1, Upper Darby, Pa.*

TRIMBLE, Jr., G.R.; SARTZ, R.S. 1957: *How Far From a Stream Should a Logging Road Be Located?* *J. Forestry* 55: 339-341.

TRIMBLE, Jr., G.R. 1959: *Logging Roads in North-Eastern Municipal Watersheds*. *J. Amer. Water Works Assoc.* 51: 407-410.

TVA 1961: Forest Cover Improvement Influences Upon Hydrologic Characteristics of White Hollow Watershed. 1935-1958. Tennessee Valley Authority, Water Control Planning Division.

TVA 1962: Reforestation and Erosion Control Influences Upon the Hydrology of the Pine Branch Watershed 1941-1960. Tennessee Valley Authority, Water Control Planning Division.

ULUGÜR, M.E. 1972: Su Mühendisliği. Çağlayan Kitabevi, İstanbul.

VOGENBERGER, R.A.; CURRY, J.A. 1959: Watershed Protective Logging. S. Lumberman 199 (2489): 93-94.

WARK, J.W.; KELLER, F.J. 1963: Preliminary Study of Sediment Sources and Transport in the Potomac River Basin. US Geol. Survey and Interstate Comm. On Potomac River Basin.

WEITZMAN, S.; TRIMBLE, Jr., G.R. 1952: Skid-Road Erosion Can Be Reduced. J. Soil and Water Conserv. 7: 122-124.