

## 2. EROZYONUN MEKANİĞİ VE ŞEKİLLERİ

Toprak erozyonu, toprak kütlesinden bireysel parçacıkların koparılması ve bu parçacıkların akan su ve rüzgâr gibi taşıyıcı vasıtalarla taşınmasından ibaret olan iki faz ve taşıma için yeterli enerjinin bittiği yerde birikmenin olduğu üç fazlı bir olaydır.

Erozyon her zaman meydana gelmiştir ve meydana gelmeye devam edecektir. Dünya yüzeyinde devamlı bir değişim olmaktadır. Bu değişimler son derece yavaştır ve ancak yüzyıllarca süren değişimler sonucunda etkin bir değişiklik fark edilebilmektedir. Erozyon olayı aluviyal toprakların ve sedimentler kayaların oluşumunda esastır. Doğal koşullar altında oluşan erozyona **jeolojik veya doğal erozyon** ve insanların etkileri sonucu oluşan erozyona da **hızlandırılmış erozyon** denmektedir. İnsanların faaliyetleri çoğunlukla erozyonun hızını artırmaktadır.

### 2.1 Erozyonun Etmenleri

Erozyonun etmenleri; yerçekimi, su, rüzgâr, sıcaklık değişimleri ve dolaylı olarak üzere biyolojik faaliyetlerdir. Yağmur damlaları en önemli parçalayıcı vasıta. Çıplak toprak üzerine vuran yağmur damlaları toprak parçacıklarını hareket ettirmektedirler. Toprak aynı zamanda tecezzi ile mekaniksel ve biyokimyasal olaylar sonucunda da parçalanmaktadır. Mekanik parçalanmada ıslanma kuruma ve donma çözülme ile don etkisi önem kazanmakta ve bu şekilde zayıflayan toprak yapısı yağmur damlaları ve akan suyun veya rüzgârın parçalayıcı etkisine daha müsait olmaktadır. Bunun yanında toprağın sürülmesi ve insan ve hayvanların toprağı çiğnemesi de bu parçalanmayı kolaylaştırmaktadır.

Erozyon tehlikesi; parçalanma sonucu sağlanan materyalin miktarına ve bu materyali taşıyacak vasıtanın kapasitesine bağlıdır. Herhangi bir yerde eğer parçalanma materyalden daha fazla taşıma kapasitesi varsa **parçalanma- sınırlı erozyon** ve taşınandan daha fazla materyal parçalanıyorsa **taşıma- sınırlı erozyon** terimleri ile erozyonun durumu açıklanmaktadır. Herhangi bir koruma çalışmasında parçalanma veya taşıma faktörlerinden hangisinin sınırlayıcı olduğunun bilinmesi başarı oranını belirlemektedir. Yani parçalanma ya da taşımının hangisine yönelik önlemlerin daha ağırlıklı olmasının belirlenmesini sağlamaktadır.

Erozyonu oluşturan enerjinin iki şekli vardır. Bunlar potansiyel ve kinetik enerjidir. Potansiyel enerji herhangi bir kütlenin diğer bir kütle göre yükseklik farkından ileri gelir ve aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır.

$$PE = m \cdot h \cdot g$$

Burada, PE Potansiyel enerji (Jules), m kütle (kg), h yükseklik (m) ve g yerçekimi ivmesi  $m \cdot s^{-2}$  dir. Potansiyel enerji erozyonda hareket enerjisi dediğimiz kinetik enerjiye (KE) dönüşür. KE erozyon etmeninin hızı ve kütlesi ile açıklanır.

$$KE = 1/2 mv^2$$

Burada; KE kinetik enerji (Jules), m kütle (kg) ve v hızdır (m/s).

Pearce (1976) ya göre bu enerjinin büyük kısmı yüzeye sürtünmede kullanılır ve düşen yağmur damlaları bu enerjinin % 0,2 si ve akan suda % 3-4 ünü erozyonda sarf eder. Bu enerjinin kullanımı ile ilgili olarak tipik hızlar temel alınmak üzere  $KE = 1/2 mv^2$  eşitliği kullanılarak su erozyonu şekillerinin etkinlikleri **Çizelge 2.1** de hesaplanmıştır. Çizelgenin incelenmesinden anlaşılacağı gibi parmaklarda akan su en güçlü erozyon vasıtasıdır. Yağmur damlaları potansiyel olarak yüzey akış suyundan daha fazla erozyon oluşturabilirler ancak enerjilerinin büyük kısmı parçalanmada kullanıldığı için yüzey akışa nazaran daha az enerjiyi taşımada sarf ederler.

*Çizelge Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı.-1 Su erozyonu şekillerinin etkinlikleri (Morgan 1986)*

Erozyon Şekli	Kütle (1)	Tipik Hız (ms <sup>-1</sup> )	Kinetik Enerji (1/2 mv <sup>2</sup> )	Erozyon için Enerji (2)	Gözlenen Sediment Miktarı gr cm <sup>-1</sup> (3)
Yağmur Damlaları	R	9	40,5 R	0,081 R	20
Yüzey Akışı	0,5 R	1	2,5x10 <sup>-5</sup> R	7,5x10 <sup>-7</sup> R	400
Parmak Erozyonu	0,5 R	4 (4)	4 R	0,12 R	19000

- 1- Yağışın % 50 sinin yüzey akış oluşturduğu kabul edilmektedir.
- 2- Yağmur damlalarının kinetik enerjisinin % 0,2 si ve yüzey akışın kinetik enerjisinin % 3 ünün erozyonda kullanıldığı kabul edilmektedir.
- 3- Mid- Bedfordshire da 11 derece eğimli ve kumlu toprakta 900 gün boyunca gözlenmiştir. Yağmur damlaları taşımadan çok parçalama işlemi yapmıştır. 1 cm genişlikteki eğimden geçen sediment miktarıdır.
- 4- 0,3 m genişlik ve 0,2 m derinlikte bir parmakta, 11 derece eğim ve 0,02 pürüzlük katsayısı için Manning formülü ile tahmin edilmiştir.

### Erozyonun hidrolik esasları

Su erozyonunda suyun araziye ulaşma ve araziye ulaştıktan sonraki yolu önem kazanmaktadır. Bir yağmur esnasında, bir kısım yağış arazi çıplak olduğunda direk olarak, bitkilerin varlığı durumunda ise bitkilerin arasından toprağa ulaşabilir. Bir kısmı bitki örtüsü tarafından kesilebilir ve bunun bir kısmı buharlaşma ile tekrar atmosfere döner ve diğer bölümü ise toprak yüzeyine bitki gövdesinden sızarak iner. Yağmur damlalarının direk arazi yüzeyine çarpması veya yapraklardan arazi yüzeyine damlalar halinde düşmesi sıçratma erozyonunu doğurur.

Arazi yüzeyine ulaşan yağış suyu;

- 1) yüzeydeki küçük çöküntü veya çukurluklarda depolanabilir,
- 2) toprak içine infiltre olabilir ve toprağın su depolamasını sağlar,
- 3) daha derine sızar ve taban suyuna karışabilir.

Ancak toprak daha fazla suyu alamadığı takdirde, toprak içinde yüzey altı ve arazi üzerinde yüzey akış şeklinde yamaç aşağı yatay bir hareket yapar. Bu şekildeki hareket; yüzey erozyonu, parmak erozyonu veya oyuntu erozyonu ile sonuçlanır.

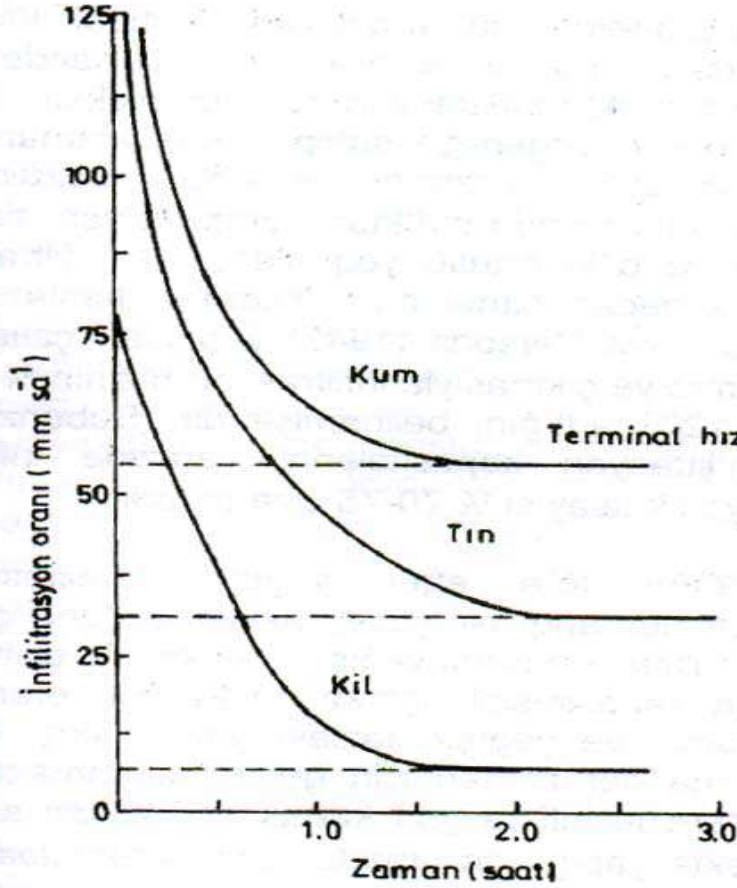
Suyun toprağın içine geçme oranı olarak bilinen infiltrasyon oranı yüzey akışın oluşmasında en önemli rolü oynar. Su toprağın içine yerçekimi ve kapillar kuvvetler tarafından çekilmektedir. Kapillar kuvvetler suyun toprak tanecikleri tarafından ince moleküler film şeklinde tutulmasını sağlarlar. Bir yağmur esnasında başlangıçta bu tanecikler arası boş olduğu için infiltrasyon oranı hızlıdır ancak bu boşluklar su ile dolduktan sonra kapillar kuvvetler azalır ve infiltrasyon oranı başta yüksek olmasına rağmen bir müddet sonra suyun toprak içine devamlı geçebildiği bir seviyeye düşer (**Şekil 2.1**) Bu seviye **infiltrasyon kapasitesidir** ve teorik olarak toprağın doymuş koşullardaki hidrolik geçirgenliğidir. Bununla beraber pratikte bu ıslak bölgenin aktüel hidrolik geçirgenliğidir ve infiltrasyon kapasitesini belirlemektedir. Aktüel hidrolik geçirgenlik ıslanma cephesinin aşağı doğru hareketinde boşlukların hava ile tıkanması sonucu doymuş koşullardaki hidrolik geçirgenlikten daha düşüktür (Slack ve Larson, 1981)

İnfiltrasyon oranları toprakların birtakım karakteristiklerine bağlıdır. Genellikle kum ve kumlu tın gibi kaba bünyeli topraklar, toprak parçacıkları arasındaki boşlukların geniş olması nedeniyle killi topraklara nazaran daha büyük infiltrasyon oranlarına sahiptirler. İnfiltrasyon kapasiteleri kumlar için 20 cm sa<sup>-1</sup> den fazla ve ağır killi topraklar içinde 0,5 cm sa<sup>-1</sup> ten az olabilir. Parçacıklar arası boşluklar veya makro ve mikro porlar dışında infiltrasyonda pedler ve kesekler arasındaki çatlaklar ve büyük boşluklarında önemli rolü vardır. Bu bakımdan killi topraklarda keseklerin fazla olması durumunda infiltrasyon beklenenden daha fazla olabilmektedir.

Birçok toprakta infiltrasyon çok karmaşıktır çünkü toprak profilinde farklı hidrolik geçirgenliğe sahip birkaç katman bulunmakta örneğin bozulmuş bir pulluk katmanı ve altta bozulmamış kısım bulunabilmektedir. Bunun yanında strüktür, kompaksiyon, başlangıç nem kapsamı, profil şekli ve bitki örtüsü yoğunluğu da infiltrasyonun lokal olarak farklı olmasına neden olmaktadır.

Yağmur damla çaplarının da önemli etkisi olup Laws ve Parsons (1943) yaptıkları çalışmada damla çapının 1 mm den 5 mm ye çıkmasıyla infiltrasyon hızının %70 azaldığını ve erozyonun da %1200 arttığını belirlemişlerdir (Bubben ve Jones 1971). Ortalama infiltrasyon kapasitelerinin arazide infiltrometre ile ölçülmesinde varyasyon katsayısı %70-75 civarındadır.

Horton (1945)' e göre eğer yağış yoğunluğu infiltrasyon kapasitesinden az ise herhangi bir yüzey akış meydana gelmeyecektir. Çünkü bu durumda infiltrasyon oranı yağış yoğunluğuna eşittir. Eğer yağış yoğunluğu infiltrasyon kapasitesini aşarsa infiltrasyon oranı, infiltrasyon kapasitesine eşit olacak ve yağışın fazlası yüzey akışı oluşturacaktır. Ancak bu karşılaştırma her zaman için geçerli olmamaktadır. Örneğin Morgan (1977) İngiltere'de infiltrasyon kapasitesi 4 cm/saatten fazla olan kumlu bir toprakta yaptığı çalışmada yağış yoğunluğunun çok nadir olarak 4cm/saati geçtiğini ve bu durumda yüzey akışın beklenmeyeceğini hâlbuki 55 cm olan ortalama yıllık yağışın 5,5 cm yüzey akış oluşturduğunu saptamıştır. Bu topraklarda yüzey akış oluşumunu kontrol eden en önemli faktör infiltrasyon kapasitesi olmayıp toprağın su kapsamı olmaktadır.



Şekil Hata! Belgede

belirtilen stilde metne rastlanmadı..1 Değişik toprak tekstürleri için tipik infiltrasyon oranları Withers ve Vipond (1974)

Su kapsamının doygunlukta olması durumunda: toprak yüzeyinde por su basıncı atmosferik basınca eşit hale gelir bu esnada emme basıncı sıfıra düşer ve göllenme oluşur. Bu durum kapillar su depolamasının düşük olduğu kumlu topraklarda yağış yoğunluğunun infiltrasyon kapasitesini aşmadığı halde neden kısa sürede yüzey akışın oluştuğunu açıklamaktadır.

Yüzeyde su göllenmeye başladığı zaman önce su bu yüzey depresyonları ve çukurlarda tutulmakta ve bu şekildeki depolama kapasitesi doluncaya kadar yüzey akış oluşmamaktadır. Genellikle bu depresyon depolaması bir kaç milimetredir fakat pratikte toprak yüzey pürüzlülüğüne bağlı olarak değişebilmektedir. Tarım sahalarında depresyon kapasiteleri toprak işleme tipi ve toprak işlemeden sonra geçen süreye bağlı olmaktadır. Reid (1979) sonbahar sürümünden sonra 5-7 mm olan yüzey depolamasının ilkbahardan sonra 3 mm civarına düştüğünü belirlemiştir. Evans (1980) killi toprakların sürümün hemen sonrasında tınlı kuma nazaran 1.6-2.3 kat daha fazla depolama kapasitesine sahip olduğunu ancak tohum yatağı hazırlığından sonra bu farklılığın 1,1 kate indiğini saptamıştır. Kumlu topraklar için sürümün hemen sonrasında 2.3 mm olan yüzey depolamasının tohum yatağı hazırlığı ile 0.02 mm ye düştüğü belirlenmiştir.

## 2.2 Erozyon Şekilleri

### 2.2.1 Sıçratma erozyonu

Erozyon olayındaki ilk adım yüksek hızla toprak yüzeyine çarpan yağmur damlalarının neden olduğu zarardır. Yağmur damlaları toprak agregatları ve keseklerin üzerine düştüğü zaman daha küçük parçacıklara ayrılmalarına ve toprağın infiltrasyon kapasitesinin düşmesine neden olmaktadır. Yağmur damlalarının toprağa aktardıkları momentuma bağlı olarak iki etki söz konusudur. Birincisi; toprakta sıkışmaya neden olan konsolidasyon kuvveti ve ikincisi ise bazı toprak parçacıklarının dispersiyonu ve havaya doğru sıçratılmasıdır. Havaya sıçrayan taneler tekrar düşmeleri ile eğim aşağı momentumlarını diğer parçacıklara transfer ederler ve böylece sıçrama olayı tekrarlanır. Eğimli arazilerde bu şekilde sıçrayan tanelerden yarısından fazlası yere düştüklerinde eğim aşağı hareket etmiş olurlar.



*Resim Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı.-1 Yağmur damlasının vuruş etkisi*

Yağmur damlaları yüzeye vurdukları toprak yüzeyinde bulanık çamurlu bir su filmi oluşmakta ve bu çamurlu (bulanık) suyun toprağın içine infiltre olması esnasında ince toprak zerreleri filtre edilmektedir. Dolayısıyla yüzeyde geçirimsizliği yağmur başlamadan önceki nazaran çok az olan bir katman oluşmaktadır. Bu katmana balçık katmanı (kaymak tabakası) denmektedir. Bu durum özellikle yağış şiddeti yüksek olan yağmurlarda meydana gelmektedir.

Yağış oranı infiltrasyon oranını aştığı ve yüzey depolamasının da geçildiği durumlarda yüzey akış başlamaktadır. Yüzey akışın normal taşıma kapasitesi yağmur esnasında yağmur damlalarının yüzey akışa geçen suya olan darbe etkileri sonucu daha da artmaktadır. Bu durum eğimli bir yerde park etmiş olan bir araba vasıtasıyla kolaylıkla gözlenebilir. Şöyle ki, yoğun bir yağıştan sonra park etmiş olan arabanın çevresinde yağmura açık kısımda toprak parçacıkları taşınmış iken arabanın altına gelen kısımdaki materyalin biriktiği görülebilir.

Sonuç olarak yağmur damlaları; toprak agregatlarını parçalar, toprak taneciklerini taşır, yüzey akış suyunu ince materyalle yüklü tutar ve kaymak tabakası oluşturarak toprak yüzeyinin sıkışmasına neden olur. Bu durumda toprağın suyu emme ve depolama kabiliyeti azalır ve yüzey akış artar.

Yağmur damlaları sadece kuru toprak yüzeyine düşmez. Bir yağış esnasında yağmur damlaları yüzey akış veya su birikintileri üzerine de düşebilir. Bu yüzey suyunun kalınlığı arttıkça sıçratma erozyonu da artmaktadır. Ancak artış kritik bir kalınlığa kadar olmaktadır. Yaklaşık yağmur damlalarının çapı olan bu kritik kalınlıktan sonra erozyon tekrar azalmaktadır (Palmer 1964). Bazı araştırmacılar bu kritik kalınlığın damla çapının 1/3 ü (Mutchler ve Young 1975) veya 1/5 i (Torri ve Sfalanga 1986) olduğunu bildirmektedirler. Su filminin bu kalınlıktan daha fazla olması durumunda yağmur damlalarının darbe etkisi tamamen yüzey suyu tarafından tüketilmekte ve yüzey toprağı ile yağmur damlası temas edememektedir.

Sıçratma erozyonunun arazi yüzeyindeki etkisi tekdüze olduğu için sonuçları sadece taşlar ve bitki kökleri tarafından alt toprağı korunmuş yerlerde ve toprak sütunlarının olduğu kısımlarda görülebilmektedir.

### **2.2.2 Yüzey erozyonu**

Yağmur damlalarının sıçratması ve yüzey akışla meydana gelen toprak hareketine çoğunlukla yüzey erozyonu denmektedir. Yüzey akış suyunun hızı 0,3-0,6 m/sn yi geçtiği durumlarda yüzey erozyonu oluşur. Bu hız kimi kaynaklarca 1 m/sn olarak verilmektedir. Şüphesiz burada etken sadece suyun hızı olmayıp diğer faktörler de devreye girmekte ve değişik hızlarda erozyon başlayabilmektedir. Yüzey erozyonu ile hafif toprak parçacıkları, organik madde ve eriyebilir bitki besin maddeleri araziden uzaklaştırılır. Bu bakımdan arazinin verimliliğinde ciddi bir azalma meydana gelmektedir. Yüzey erozyonu çoğunlukla eğim boyunca tekdüze bir şekilde meydana geldiğinden verimli üst toprağın büyük bir kısmı taşınmadan dikkati çekmemektedir. Bu yüzden yüzey erozyonu en tehlikeli erozyon türüdür.

Yüzey suları birikmeye başladığında eğim aşağı hareket ederler. Sular eğim aşağı, arazi yüzeyi pürüzlü ve eğim değişken olduğu için tekdüze bir tabaka halinde akamazlar. Yüzeydeki birkaç m<sup>2</sup> de dahi ana havzanın benzeri olan bir minyatür drenaj deseni görülebilmektedir. Yüzey akış sularının her bir parçası en az dayanıklılığa sahip olan çöküntüleri yol olarak almakta ve bu küçük kanalcıklarda su derinliği ve arazinin eğimi arttıkça hız kazanmaktadırlar.

Akan suyun erozyon oluşturmadaki etkinliği; suyun taşıdığı aşındırıcı materyalin tipi ve miktarına, suyun akış tipine (daha ziyade çalkantılı bir akım olup olmadığına) ve hızına bağlıdır. Hız, akış derinliği ve arazinin eğimine bağlı olarak artmaktadır. Çalkantılı akım, yağış yoğunluğu arttıkça ve yüzey akışı çukurluklarda yoğunlaştıkça artmaktadır. Yüzey akışın aşındırma kapasitesi, yüzey akış suyunun enerjisine ve yüzey akış suyundaki (süspansiyondaki) materyalin miktar ve tipine bağlıdır.

Toprak parçacıkları yuvarlanma, yükselme ve aşındırma olaylarının birlikte etkileri sonucu buldukları yerden sökülürler (parçalanma). Toprak yüzeyinde su akmaya başladığında yatay kuvvetler toprak tanecikleri üzerinde akış yönünde hareket ettirme yönünde etkili olurlar. Bu kuvvetler toprak parçacıklarının toprak kütesinden ayrılmalarını ve yuvarlanmalarını sağlarlar. Yüzey akışlar çöküntülerde ne kadar fazla konsantrasyon olurlarsa akışta o kadar fazla çalkantılı olmaktadır. Çalkantılı akımda oluşan değişik hız ve basınçlar dikey akım ve anafollara neden olmaktadır. Su bu şekilde yukarıya doğru olan hareketi ile üzerinden geçtiği toprak parçacıklarını da yerinden sökmektedir. Aşındırma suretiyle toprak taneciklerinin yerinden sökülmesi ise akan su içerisinde hareket halindeki materyalin toprak yüzeyine çarpmaları veya sürtünmeleri sonucunda toprak taneciklerini de harekete geçirmesidir.



*Resim Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı.-2 Yüzey erozyonu*

Toprak parçacıkları; yüzey sürüklenmesi, süspansiyon ve sıçrama hareketlerinin birleşimi ile taşınırlar. Yüzeyden akan suyun oluşturduğu yatay kuvvetler toprak taneciklerini arazi yüzeyi ile temas halinde ve kayarak veya yuvarlanarak hareket ettirirler ki buna **yüzey sürüklenmesi** denmektedir. Sıçrama hareketi su akıntısının çalkantılı olması durumunda taneciklerin yüzeyden yükselmeleri ve bu hareketin devamlı bir şekilde meydana gelmesi ile oluşur. Akış içinde yukarıya doğru olan kaldırma hızı taneciklerin çökme hızından fazla olduğu takdirde süspansiyon şeklinde hareket başlar ve bu şekilde tanecikler çökmeden uzun mesafeler için hareket edebilirler.



*Resim Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı.-3 Bir çit boyunca sediment birikintileri erozyonun göstergesidir*

Taşınan materyalin miktarı yüzey akışın taşıma kapasitesi ve toprağın taşınabilirliğine bağlıdır. Toprakların taşınabilirliği ise büyüklükleri, yoğunlukları ve bireysel toprak taneciklerinin şekilleri tarafından etkilenir ve ayrıca arazi yüzeyindeki bitki örtüsü ve çeşitli engeller gibi geciktirici faktörlerin etkileri vardır. Arazi yüzeyinde eğim aşağı yağmur damlaları veya ince bir yüzey akışla taşınan materyal

küçük ve hafif toprak parçacıklarıdır. Daha büyük ve ağır parçacıkların taşınması çok güçtür ve taşınsa bile uzun mesafeler için hareket ettirilemezler.

### 2.2.3 Parmak erozyonu

Yüzey akış suları, arazi yüzeyindeki çöküntülerde yoğunlaşmaya başladıklarında küçük ve fakat belirgin kanallar oluşturur ve toprakları uzaklaştırabilirler. Eğer bu kanallar normal sürüm işlemleri ile karıştırılmazlarsa parmak olarak adlandırılırlar. Bu küçük kanallar veya parmaklar normal sürüm işlemleri ile yok edilebildikleri için verimlilikte ciddi bir düşme oluncaya kadar bu tip erozyonda dikkatlerden kaçabilir. 15 t/ha dan daha fazla erozyon oluşan yerlerde parmaklar oluşmakta olup su akış kanallarının derinlikleri 30 cm den azdır.



*Resim Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı.-4 Parmak erozyonu*

### 2.2.4 Oyuntu erozyonu

Yüzey kanalları normal sürüm işlemleri ile düzeltilemeyecek derinliğe (30 cm den fazla) ulaşmışsa bu kanallar artık oyuntu olarak adlandırılırlar. Oyuntular aşağıda açıklanan faktörlerin etkileri sonucunda gelişebilirler. Bunlar;

*Kanallar*; yüzey sularının yoğunlaştığı ve içinde aktığı kanalların kenarlarındaki toprağın uzaklaştırılması ile bir oyuntuyu oluşturabilecek hacim oluşmaktadır. Bu şekilde yüzey kanallarının genişlemesi genellikle nispeten yavaş ve özellikle toprakları erozyona dirençli arazilerde meydana gelir.

**Şelaleler;** yüzey kanallarındaki sular arazi eğiminde ani bir değişimin olduğu yerlerde daha fazla erozyon potansiyeline sahip olmaktadır. Herhangi bir şelalenin ayak kısmındaki kanal daha fazla derinleştirilmekte ve yan duvarları alttan oyulmaktadır. Bu şekilde oluşan oyuntular oldukça derin olabilmekte, derin ve kolay aşınabilir topraklarda bu derinlik 20 metrenin üzerine çıkabilmektedir.

**Donma ve çözülme;** oyuntu kenarlarının devamlı donma ve çözümleri materyalin gevşeyip stabiliteğini kaybetmelerine ve oyuntunun daha da genişlemesine neden olur.

**Toprak kaymaları ve kütle hareketleri;** oyuntuların her iki yan kenarında hem sızma hem de yerçekimi kuvvetlerinin etkisi ile toprak kütlelerinin yüksek kısımdan aşağı kısma hareket etme eğilimi vardır. Bu kuvvetler toprak kütleleri içerisindeki kesme gerilimini teşvik eder ve toprak yeterli dirence sahip değilse yan yüzlerdeki toprak kütleleri oyuntu tabanına doğru kayar.



*Resim Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı.-5 Oyuntu erozyonu*

Oyuntu erozyonu ile yerinden sökülen ve taşınan toprak materyali yüzey erozyonu ile erozyona uğrayan toprak materyaline nazaran genellikle daha az değerlidir. Çünkü oyuntu erozyonunda daha çok alt toprak erozyona uğramaktadır. Oyuntu erozyonunun kontrol altına alınması pahalı bir işlemdir ancak erozyonun bu seviyeye gelmeden önlenmesi hem daha kolay hem de daha ucuza mal olmaktadır.

Oyuntular şekillerine göre; U şekilli, V şekilli ve yamuk şekilli olarak, derinlik ve su toplama havzasının büyüklüğüne göre de küçük, orta ve büyük olarak sınıflandırılırlar.

*Çizelge Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı.-2 Büyüklüklerine göre oyuntular*

	Derinlik (m)	Su toplama havzası (ha)
Küçük	< 1	< 2
Orta	1 – 5	2 - 20
Büyük	> 5	> 20

### 2.2.5 Akarsu yatak erozyonu

Akarsuların hem yatak içinde hem de kenarlarında meydana gelen erozyondur. Oyuntularda sadece su akışının olduğu zamanlarda erozyon meydana gelmesine karşın, akarsularda devamlı bir erozyon söz konusudur. Akarsu kenarları yarıdan gelen yüzey akış suları ile aşındırılabilirler gibi yatağın içinden akan su tarafından da aşındırılmaktadırlar. Kenar erozyonu bitki örtüsünün yok edilmesi ve kanala çok yakın mesafeye kadar yapılan toprak işleme sonucu artmaktadır.



*Resim Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı.-6 Erozyon sonucunda oluşmuş bir dere yatağındaki sedimentler*

Su akış yolunun düzensiz ve menderesli olması kenar erozyonunu artırmaktadır (**Resim 2.7**). Akarsu yatağının aşındırılmasında su akıntısının hızı ve yönü, akarsu kanalının derinlik ve genişliği ve yatağın üzerinden aktığı malzemenin cinsinin önemi vardır.



*Resim Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı.-7 Akarsu kenar erozyonu*

## 2.2.6 Kütle hareketleri

Kütle hareketleri çoğunlukla jeologlar ve jeomorfologlar tarafından geniş bir şekilde incelenmiş ve genellikle erozyon konusu içerisinde ihmal edilmiştir (Morgan 1986). Bununla birlikte, Temple ve Rapp (1972) Tanzanya'nın Batı Uluguru dağlarında heyelan ve çamur akıntılarının erozyon olayında dominant rolü oynadığını bildirmektedirler. Heyelanlar ve çamur akıntıları her ıslak mevsimde az sayıda ve her on yılda bir olmak üzere de çok sayıda meydana gelmektedir. Yamaçlardan nehirlere oyuntu, parmak veya yüzey erozyonu ile ulaşan sediment miktarı kütle hareketleri ile taşınandan daha azdır. Heyelanların %1 den daha azı ağaçlık sahalarda, %47 si işlenen ve %47 si de nadasa bırakılan arazilerde meydana gelmektedir Bu durumda ağaçlık sahaların tarım için açılmasının erozyondaki önemi açıkça görülmektedir.





*Resim Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı.-8 Heyelan*

Kayma genellikle jeolojik erozyon olayıdır ve insanların bir etkisi olmaksızın oyuntuların yan yüzeylerinde meydana gelir. Genellikle yüksek yağışlı ve derin topraklara sahip yerlerde oluşur ve bu yerlerdeki oyuntuların gelişmesinde ana etmendir. Oyuntuların baş kısmında herhangi bir (oyuntu içine doğru) akış olmamasına rağmen oyuntu başı geriye doğru gitmektedir ki bunun ana nedeni kayma olayıdır. Oyuntular kanallardaki taşkın akışı ile başlamakta ve sonra erozyon sadece kayma ile devam etmektedir. Kaymanın diğer nedenleri de akarsu kenar ve kıyı erozyonudur.

### 2.2.7 Rüzgâr erozyonu

Rüzgâr erozyonu konusu 5. bölümde daha detaylı olarak açıklanacağından bu bölümde sadece bir erozyon şekli olarak kısaca değinilecektir. Rüzgâr erozyonunda ana faktör hareket eden rüzgârın hızıdır ve toprak yüzeyindeki rüzgâr hızı, toprak pürüzlülüğü, taşlar, bitki örtüsü ve diğer engeller tarafından kesildiği için en düşük düzeydedir. Bu bakımdan rüzgâr erozyonu esas itibarıyla çıplak arazi yüzeylerinde meydana gelmektedir



*Resim Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı.-9 Konya - Karapınar'da bir kumul*

Rüzgâr erozyonunun beş değişik şekli vardır ve çoğunlukla birkaç şekli birden aynı zamanda oluşur. Rüzgârın itme ve süspansiyon halinde taşınan toprak parçacıklarının çarpmaları ile keseklerin kırılması (detrusion) ve yeryüzüne daha yakın olarak sıçrayan tanelerin çarpma etkisi ile oluşan aşındırma (abrasion) şekli aşınma ile ilgili olanlardır. Taşıma ilgili olan rüzgar erozyonu şekilleri ise çok ince zerrelerin süspansiyon halinde taşınması üfürme (efflation), daha büyük parçacıkların yuvarlanarak sürüklenmesi (extrusion) ve orta büyüklükteki parçacıkların rüzgar altında sıçrama ile uzaklaştırılması (effluxion) dır.

### 2.2.8 Birikme

Birikme erozyon sürecinin sonudur. Erozyona karşı direnç gösteren kuvvetlerin erozyon kuvvetlerinden daha fazla olduğu yerde toprak taneciklerinin hareketi son bulmaktadır. Birikmede

taneciklerin büyüklükleri önemli rol oynamakta ve önce ağır yani taşınabilirlikleri az olanlar ve sonra yüksek taşınabilirliğe sahip olan küçük tanecikler çökelmektedir. Birikme sonucunda, yüksek arazilerin aşağı kısımlarında bulunan alçak eğimler ve taban arazilerde yüzey akışla taşınan ve daha az verimli olan materyalle kaplanma önemli bir erozyon zararıdır. Ürün bitkileri ve meralar hem biriken topraktan hem de yüzey akış suyundan dolayı zararlanmakta bunun yanında akarsu yataklarında ve rezervuarlarda meydana gelen birikme nedeniyle su depolama yapılarının kapasiteleri azalmaktadır.

Sedimentin kendisi ve taşıyarak getirdiği kimyasallar ile kirlenme akarsular ve göller için kalitenin bozulmasında ana etken olmaktadır. Rüzgâr erozyonundaki birikmede de hemen aynı etkiler görülmekte olup çoğunlukla aşınma kadar birikmede zararlı olmaktadır.

### 2.3 Erozyon Tiplerinin Nispi Önemi

Herhangi bir koruma programının uygulanmasında, özellikle kaynakların tüm erozyon problemini karşılamaya yetmediği durumlarda çoğunlukla erozyonun hangi şeklinin daha önemli olduğu sorusu tartışılmaktadır Burada erozyonun kontrol edilmesindeki amaçlara bağlı olarak cevaplar aranmaktadır.

Tarım arazilerinde ürün üretiminin tehlikeye girmesi bir sorun oluyorsa bu takdirde en önemli erozyon şekli sıçratma ve parmak erozyonu olmaktadır. Bunun yanında akarsuların ve nehirlerin sediment yükünün fazla olması ve buna bağlı olarak sulama sistemleri için gerekli olan su depolama yapılarının siltlenmesi problemi varsa bu takdirde bu siltin en önemli kaynağı muhtemelen oyuntu ve akarsu kenar erozyonu olacaktır. Çünkü bu şekilde erozyona uğrayan materyal en çabuk şekilde ve tamamen akarsulara karışmakta hâlbuki tarım arazilerinden oluşan toprak kayıpları da akarsulara ulaşabilmekte ancak bunun büyük bir kısmı arazi yüzeyindeki bitki örtüsü tarafından engellenmekte veya hendeklerde depolanabilmektedir.

Değişik erozyon çeşitlerinin önemi ve bunların kontrolündeki öncelikler önce mevcut problemin analizini gerektirmekte ve uygulanan koruma programının konularına bağlı olarak değişmektedir. Örneğin Ankara Güvenç havzasında mevcut göletin dolması en önemli sorundur bu bakımdan havzadaki erozyon kontrol planlamasında oyuntu kontrolü birinci derecede öncelikli olarak ele alınmıştır.

### 2.4 Kaynaklar

- BUBENZER G.D. and B.A. JONES. 1971. Drop size and impact velocity effects on the detachment of soil under simulated rainfall. Transaction of the American Society of Agricultural Engineers 14: 625-628.
- EVANS, R. 1980. Mechanics of water erosion and their spatial and temporal controls; an empirical viewpoint. In Kirkby, N.Y. and R.P.C. MORGAN, (Eds.), Soil erosion, Wiley, 109-128.
- HORTON, R.E. 1945. Erosional development of streams and their drainage basins; a hydrophysical approach to quantitative morphology. Bull. Geol. Soc. Am. 56: 275-370. Impact on the hydrological cycle in the United Kingdom. Geo Books. Norwich. 19-30.
- LAWS, J.O. and D.A. PARSONS, 1943. The relationship of raindrop size to intensity. Transactions of the American Geophysical Union 24: 452-460.
- MORGAN, R.P.C. 1977. Soil erosion in the United Kingdom: field studies in the Silsoe area, 1973-75. Net. Coll. Agric. Eng. Silsoe Occasional paper 4.
- MORGAN, R.P.C. 1986. Soil Erosion and Conservation. Longman.
- MUTCHLER, C.K and R.A. YOUNG. 1975. Soil detachment by raindrops. In Present and prospective technology for predicting sediment yields and sources. USDA-ARS Publication ARS-S-40: 113-117
- PALMER, R.S. 1964. The influence of a thin water layer on water-drop impact forces. International Association of Scientific Hydrology Publication. 65: 141-148.