

# JEOLOJİK ORTAM, TOPRAĞIN OLUŞUM SÜREÇLERİ VE BEŞERİ FAALİYETLERİN TOPRAK ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Ali YILMAZ, *TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası*, ANKARA

## ÖZET

Jeolojik ortam, jeolojik tarih boyunca oluşan kayatürü topluluklarının yarattığı ortamdır. Toprak da jeolojik ortamın ürünü ve söz konusu kayatürü topluluklarının bir bileşenidir. Toprağın oluşumunda öncelikle kayatürleri değişime uğrarlar. Kayatürlerinin homojen olmaması, taneler arası kohezyonda ve pekişme ile ilgili farklılıklar, gözeneklilik, geçirgenlik, erimeye karşı dirençte farklılıklar kayatürlerinin değişiminde belirleyici hususlardır. Kayatürlerinin ayrışması ve toprak oluşumunda etkin olan faktörler ise, iklim, ana kayanın bileşimi ve özellikleri, morfoloji, organizmaların varlığı, zaman ve bileşik diğer etkilerden ileri gelen faktörlerdir.

Toprağın oluşumunda başlıca evreler ise, başlangıç evresi, ayrışma, dönüşme, farklılaşma (morfojeniz), ve horizonlaşma olarak tanımlanabilir. Bu evrelerden sonra toprak profili oluşur. Bir toprak profili çeşitli açılardan ayrıntılı olarak tanımlanabilir.

Toprağın oluşumu ve değişimi süreçlerinde (pedojenez) etkin olan mekanizmalar da ayrışma, taşınma ve karışmanın eşlik ettiği özütlenme (Liçing), eluvizasyon, podzolizasyon, gluvizasyon, lateritleşme, tuzlulaşma olarak tanımlanmaktadır. Bu süreçlerde toprağın nitelikleri büyük ölçüde değişime uğramaktadır. Dolayısıyla, toprağın ne amaçla kullanılabileceğini belirlemek için toprak profilinin ve toprağın fiziksel (rengi, yapısı ve dokusu gibi), kimyasal (kil mineralleri ve katyon değişimi kapasitesi ve toprağın asitliliği gibi) özelliklerinin analiz edilmesi zorunluluğu vardır. Yapılan analizler toprağın gelecekte kullanımı ile ilgili yol gösterici olurlar.

Günümüzde toprak, doğa kaynaklı süreçlerden etkilendiği gibi, beşeri (insani) faaliyetlerden de önemli ölçüde etkilenmektedir. Beşeri faaliyetler, toprağın erozyonunu tetikleyebileceği gibi, toprağın asitleşmesine de yol açabilirler. Asit yağmurları, beşeri faaliyetlerin sonucunda oluşan asidik gazların yağışlar yolu ile yeryüzünü kirletmektedir. Ayrıca, toprak kirliliğine yol açan ağır metaller, pestisitler ve organik çözücüler, beşeri faaliyetlerin sonucu olarak ortaya çıkan başlıca unsurlardır.

Tarımda kullanılan gübreler, toprakta gereğinde yüksek düzeyde azot ve fosfor birikimine yol açmaktadır. Evsel atıklar ve sanayi atıklarının vahşi depolanması toprak kirliliğinin temel nedenidir. Ayrıca, kentleşmenin ve kentsel dönüşümün etkileri de toprak kirliliğine yol açmaktadır. Ülkemizde ileri düzeyde tarım yapabilmek için öncelikle toprağın analizini sağlıklı yapmak, toprak yasası ve toprak kirliliği ile ilgili yasal düzenlemelerdeki sınırlamalara uymak gerekmektedir.

Ülkemizde her yıl tüm illerimiz özelinde güncellenen Çevre Durum Raporlarında toprak ve toprak kirliliği, önemli bir başlık olarak yer almaktadır. Örneğin 2014 yılı Ankara ili Çevre Durum Raporu'na göre toprak kirliliği Ankara özelinde 4. öncelikli sorundu; 2017'de 5. öncelikli soruna dönüşmüştür. Erozyon ise uzun zamandan beri 6. öncelikli sorun olarak devam etmektedir. Toprağı kirleten kaynakların bilinmesi, toprak kirliliğinin denetimi açısından önemlidir.

Toprak, tarımın yapıldığı bir biricik alandır. Tarım sektöründe bilim ve teknolojinin olanaklarından yararlanmak zorunludur. Ülkemiz de, tarımın en verimli yapılabileceği bir ülke konumundadır. Oysa son yıllarda, birçok tarım ürününü ithal etmek zorunda kalmıştır. Oluşturulan yasa ve yönetmelikler çerçevesinde tarımın ve kooperatifçiliğin teşvik edilmesi ve tarım emekçilerinin korunması için gerekli düzenlemeler yapılmalıdır. Hollanda deneyimi, Türkiye'nin olası tarım politikalarının yönlendirilmesinde bir laboratuvar niteliğindedir. Türkiye'nin tarımsal ihracatı, küçük Hollanda'nın 1/5'i kadardır.

**Anahtar sözcükler:** *Toprak, toprak profili, toprak oluşumu, beşeri faaliyetler, etkiler ve denetim*

## GİRİŞ

Pedoloji sözcüğü, pedo (toprak) ve logy (bilim) sözcüklerinden türetilen bir terimdir. Bu terim, başlangıçta, toprağın kökeni, oluşumu, sınıflandırılması ve coğrafik dağılımını tanımlamak amacıyla kullanılmıştır. Günümüzde ise bunlara ek olarak, tarım, ormancılık, bitkilerin beslemesi ve teknolojisi yönleriyle toprağın bütün özelliklerini içine alan, geniş kapsamlı bir terim özelliğini kazanmıştır. Hayvanların ve insanların gereksinim duyduğu besin maddeleri, doğrudan ya da dolaylı yoldan topraktan sağlanmaktadır. Toprağın, bitkilerin üretimi amacıyla araştırılması, verimliliğinin devam ettirilmesi ile ilgili uygulamalar, günümüzde gelişerek devam etmektedir. Toprak bilimi, birçok bilim dalının kavşağında yer almaktadır. Bu bilim dallarının bazıları aşağıda görülmektedir:

- Yer kabuğunun, toprağın ana gerecini oluşturması nedeniyle Jeoloji, Mineraloji ve Petrografi ile yakından ilgilidir.
- Toprağın kimyasal bileşimi ve toprakta gelişen olaylar nedeniyle Kimya ve Fizikokimya ile ilişkilidir.
- Toprağın içinde çok farklı türlerden oluşan canlıların bulunması nedeniyle Biyoloji, Mikrobiyoloji, Bitki Fizyolojisi, Bitki ve Hayvan Ekolojisi ile yakından ilişkilidir.
- Toprakların haritalanması, ıslahı, korunması, sulanması ve teknolojik özelliklerinin belirlenmesi yönüyle, çeşitli mühendislik alanları ile ilgilidir.
- Uygulama ve üretime dayalı olarak tarım ve ormancılıkla ilişkilidir.
- Yol yapımı, barajlar, bina inşaatları, sulama ve akadama (drenaj) kanallarının ve inşaat malzemelerinin yapımı dolayısıyla mühendislik alanları ile yakından ilişkisi vardır.

Toprak bilimi kendi içinde çeşitli alt dallara ayrılabilir:

1. Toprağın oluşumu, sınıflandırılması ve haritalanması,
2. Toprak fiziği ve kimyası,
3. Toprak mikrobiyolojisi,
4. Toprak ekolojisi,
5. Toprak verimliliği ve bitkilerin beslenmesi,
6. Toprağın korunması,
7. Toprağın geliştirilmesi,
8. Toprak teknolojisi (örneğin, inşaat malzemesi olarak kullanımı),
9. Tarım ve ormancılık.

Yukarıda sunulan bilgiler, toprak konusunun çok yönlü yapısını gözler önüne sermektedir. Konuya dair pek çok kaynak vardır. Özellikle Ziraat mühendislerinin konuya dair katkıları son derece önemlidir. Tüm kaynakları elden geçirmek mümkün değildir. Dolayısıyla, ağırlıklı olarak, Aydeniz (1985), Atalay (1989), Coch ve Ludman (1991), Boşgelmez ve diğerleri (2001), Smithson ve diğerleri (2002), Chapman (2008) ve Yılmaz (2008 a ve b)'nin çalışmalarından yararlanıldığını belirtmekte yarar vardır. Bu sunumda, daha çok Jeoloji Mühendisliği penceresinden bakıldığında toprağa dair görülen resim değerlendirilmiştir.

## TOPRAĞIN TANIMI VE BİLEŞENLERİ

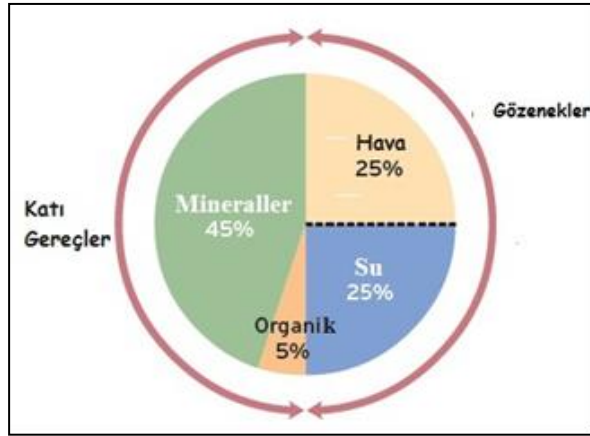
Çeşitli bilim dalları, **toprak** terimini kendi uğraşı alanlarına göre farklı şekillerde tanımlanmaktadır. Yapılmış olan bu tanımların ortak noktaları, aşağıda sunulduğu biçimde özetlenebilir (Boşgelmez ve diğerleri, 2001):

1. Toprak, yer kabuğunun parçalanıp, ufalanması ile ortaya çıkan çakıl, kum, silt ve kil gibi inorganik maddelerden oluşur.
2. Toprak canlılarını, bitkisel ve hayvansal maddelerin biyolojik parçalanma ürünleri olan humusu içerir.
3. Hava, su ve suda erimiş tuzlardan oluşan bir karışımı içerir.
4. Canlıların gelişmesi için doğal bir ortam olup, barınmak, hareket etmek, besin bulmak için yüzey oluşturan karmaşık bir sistemdir.

Toprağı oluşturan çeşitli maddeler, oransal olarak çok fazla değişiklik gösterebilirler. Bazen, bir madde, diğerlerine göre çok ya da az oranda bulunabilir. Bitki gelişmesine elverişli siltli-tınlı bir toprak, hacim bakımından, %50 oranında katı gereçler, %50 oranında da por adı verilen gözenekler içerir. Yaklaşık %50 oranındaki katı gereçlerin %45'i minerallerde (inorganik gereçlerden) %5'i de organik gereçlerden oluşur (Şekil 1; Chapman, 2008).

Geriye kalan %50 oranındaki boşluklar, değişen oranlarda, su ve hava ile doludur. Toprak, bitki gelişmesi için en uygun değerlerde nem içerdiği zaman gözenekler % 25 oranında hava ile doludur. Su ve hava oranları, doğal koşullarda değişim gösterebilir. Toprak katı maddelerinin arasını bir ağ gibi ören, içi hava ve su ile dolu olan gözenekler, toprağın verimliliği üzerinde etkilidir. Toprağın yapısı, yüzeyden başlayarak derinlere doğru inildikçe değişiklik gösterir.

Hava ve suyun göreceli oranı birbirini ters yönde etkileyecek biçimde bir salınım yapar. Yağıştan sonra, su gözenekleri doldurur ve havanın yerine de geçebilir. Su bitkiler tarafından kullanıldığında ya da akaçlama ile aktığında suyun yerini gözeneklerde hava doldurur.



Şekil 1. *Toprağın bileşenleri. Bu diyagram tipik bir üst toprakta toprağın bileşimini göstermektedir. Hava ve su arasındaki kesikli çizgi bu iki bileşenin toprağın nem içeriğiyle değiştiğini göstermektedir. Katı gereçler minerallerden ve organik maddelerden oluşmakta, su ve hava ise gözeneklerde yer almaktadır.*

## Mineraller

Toprakta mineraller egemendir. Mineraller çökel, magmatik ve metamorfik kayaların ayrışmasının ürünüdürler. Fiziksel ve kimyasal süreçlerle ana kaya ve mineraller değişimine uğrar. Genel olarak kayaların ayrışmasından önce iri mineral toplulukları, daha sonra tekçe mineraller açığa çıkar. Mineraller, birincil ve ikincil olmak üzere iki türe ayrılırlar.

Birincil mineraller doğrudan magmatik kayalardan oluşan ve az değişime uğrayan minerallerdir. Bunlara kuvars, feldispatlar, mikalar örnek verilebilir. İkincil mineraller ise birincil minerallerin kimyasal olarak değişimi ile meydana gelirler. Bunlara killer, demir ve alüminyum oksitler örnek verilebilir. Minerallerin bileşimi ve boyutları toprağın kimyasal ve fiziksel özelliklerini büyük ölçüde belirler (Brady ve Weil, 2002 ).

Topraklardaki bazı minerallerin içerdiği oksitler açısından bileşimleri Çizelge 1' de sunulmuştur. Çizelge 1' de görüldüğü gibi, kuvars ve rutil, tek bir oksitten oluşurken; hornblend, montmorillonit ve illit, sekiz adet farklı oksit içermektedir. Minerallerin büyük bir bölümü SiO<sub>2</sub> ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ile temsil edilmektedir.

Toprakların bileşiminde, Çizelge 1' de sunulan minerallerin içerdiği oksitler dışında, başka elementler de bulunmaktadır. Örneğin, toprakta bulunan (periyodik cetvelde 57 numaradan 71 numaraya kadar yer alan) 15 element, **nadir toprak elementleri** olarak tanımlanmaktadır. Bu elementler başlıca lantan, seryum, praseodim, neodim, prometeyum, samaryum, evropiyum, gadolinyum, terbiyum, disprosyum, holmiyum, erbiyum, tulyum, iterbiyum ve lütesyumdur. Benzer özellikleri olan skandiyum ve itriyum da, çoğu zaman nadir toprak elementleri grubuna konulmaktadır.

Çizelge 1. *Topraklardaki bazı minerallerin oksitler açısından içerikleri* (Aydeniz, 1985).

Mineral	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Kuvars	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ortoklas	62-66	48-20	-	-	-	0-3	-	9-15	9-4	-
Albit	61-70	19-26	-	-	-	0-9	-	0-4	6-11	-
Anortit	40-45	28-37	-	-	-	10-20	-	0-2	0-5	-
Muskovit	44-46	34-37	0-2	0-4	-	-	0-3	8-18	0-2	-
Biotit	33-36	13-30	3-17	5-17	-	0-2	2-20	6-9	-	-
Hornblend	38-58	0-19	0-6	0-22	-	0-15	2-26	0-2	1-3	-
Ojit	45-55	3-10	0-6	1-14	-	16-26	6-20	-	-	-
Olivin	35-43	-	0-3	5-34	-	-	27-51	-	-	-
Epidot	35-40	15-35	0-30	-	-	20-25	-	-	-	-
Apatit	-	-	-	-	-	54-55	-	-	-	40-42
Magnetit	-	-	69	31	-	-	-	-	-	-
Turmalin	35-40	30-37	0-10	0-10	-	0-6	0-12	-	0-6	-
Rutil	-	-	-	-	100	-	-	-	-	-
Kaolinit	45-48	38-40	-	-	-	-	-	-	-	-
Montmorillonit	42-55	0-28	0-30	-	0-0.5	0-3	0-25	0-0.5	0-3	-
İllit	50-56	18-31	2-5	-	0-0.8	0-2	1-14	4-7	0-1	-
Klorit	31-33	18-20	-	-	-	-	35-38	-	-	-
Limonit	-	-	75-90	-	-	-	-	-	-	-
Diaspor	-	85	-	-	-	-	-	-	-	-
Gibsit	-	65	-	-	-	-	-	-	-	-

Nadir toprak elementleri, içinde yer aldığı kayatürü ve tuzlarının çözünürlüğüne göre çeşitli gruplara ayrılır: Seryumlu topraklar ve itriyumlu topraklar gibi. Nadir toprakların tuzları, genellikle, eş yani benzer şekillidir. Bunlar birbirinden çok zor ayrılırlar ve ayrılma da ancak kristalleşme ile gerçekleşmektedir.

### Organik gereçler

Organik gereçler üç gruba ayrılabilir: i) Bitki ve hayvan kırıntıları, ii) Humus olarak bilinen organik gereçler, iii) Biyomas olarak bilinen yaşayan organizmalar ve bitki kökleri

Bitki ve hayvan kırıntıları mikroorganizmalar tarafından parçalanır. Bunun nihai ürünü humus olarak adlandırılır. Mikroorganizmalar tarafından organik gereçlerin parçalanmasıyla azot, fosfor ve kükürt oluşur. Bitki ve hayvan kökenli gereçlerin arasında oluşan denge toprağın organik içeriğini belirler.

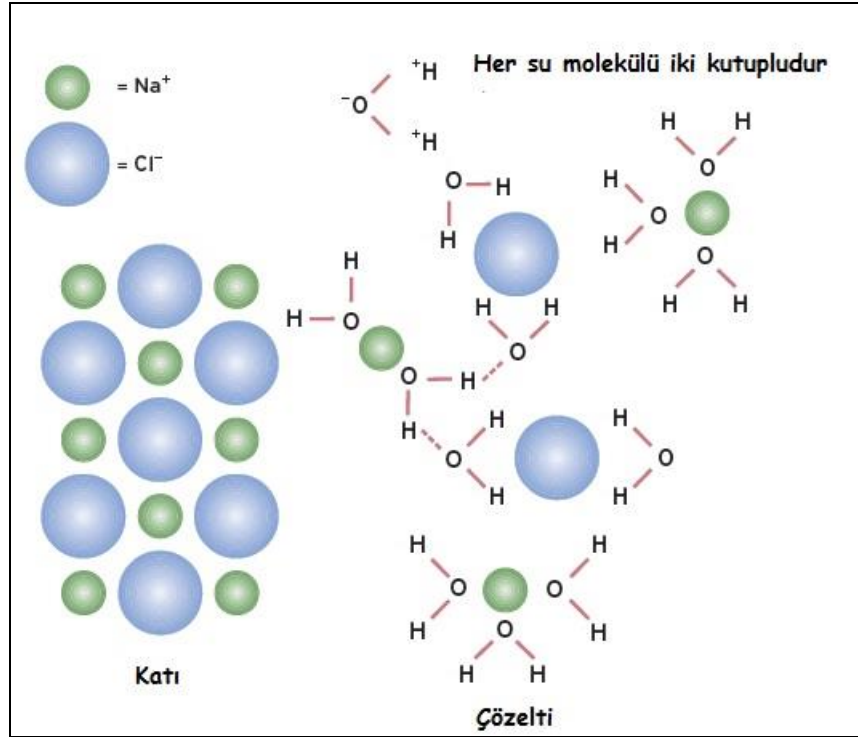
Genel olarak organik gereç hacim olarak %2 ile %6 arasında değişir. Ancak bunun toprak üzerindeki etkisi büyüktür. Ayrışma süreçlerinin yavaşladığı durumlarda organik gereçlerin birikimi de azalır. Oluşan organik topraklar turba (peat ) olarak tanımlanır.

Toprağın organik gereçleri toprağın çok önemli bir bileşenleridir. Bunun başlıca nedenleri:

- Toprağın organizmalar için ana gıda olması,
- Toprağın yapısını dengelemesi ve erozyondan korunması,
- Su tutma kapasitesini geliştirmesi,
- Gözeneklilik ve havalandırmayı kolaylaştırması, böylece bitkilerin büyümesinin sağlanması,
- Toprağın verimliliğini artırması.

## Su

Su, toprağın ekolojik işlevleri için önemlidir. Bitkiler ve diğer organizmaların yaşaması suya bağlıdır. Su ayrıca toprağın oluşumunda önemli bir etkidir. Örneğin, su ana kayanın günlenmesini kolaylaştırır. Tüm kimyasal süreçler suyun varlığına bağlıdır. Su hava ile birlikte toprağın katı gereçleri arasındaki gözenekleri doldurmaktadır. Toprak, suda çözülmüş organik ve inorganik gereçleri içerir. Suyun toprağa karışması ile toprağın çözülmesi (soil solution) gerçekleşir. Toprakta bazı bileşenler çözüldüğünde iyonlar meydana gelir. İyon bir atom ya da atom gruplarından oluşur ve elektriksel bir yüke sahiptir. Örneğin sodyum klorit suda çözüldüğünde sodyum ile klor iyonları oluşur (Şekil 2). Sodyum iyonu pozitif bir yüke sahiptir ve  $\text{Na}^+$  simgesiyle gösterilir. Oysa klor negatif bir yüke sahiptir ve  $\text{Cl}^-$  simgesiyle gösterilir. Pozitif yüklü iyonlar katyonları negatif yüklü iyonlar ise anyonları oluşturur. Toprağın suda çözünmesiyle oluşan anyonlar ve katyonlar Çizelge 2'de görülmektedir.



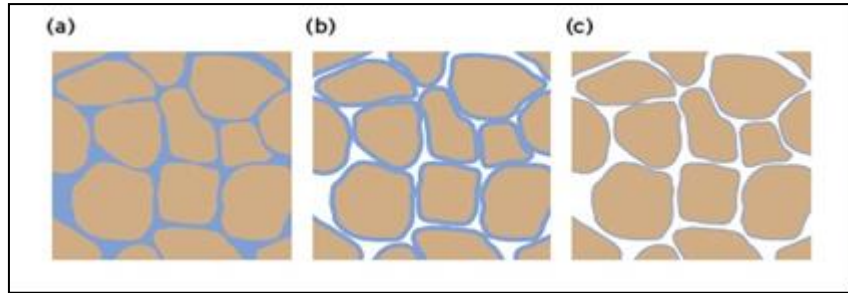
Şekil 2. Suyun içinde kaya tuzunun ( $\text{NaCl}$ ' un) çözünmesi. Su ( $\text{H}_2\text{O}$ ) negatif bir iyon ile pozitif bir iyondan oluşan bir molekülle temsil edilir. Kaya tuzu tümüyle suda çözüldüğünde  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  iyonları birbirinden ayrılır. İki iyon birleştiğinde ise kaya tuzunu oluşturur. Bu şekil su moleküllerininin  $\text{Na}^+$  ve  $\text{Cl}^-$  iyonlarının nasıl bağlandığını göstermektedir (Chapman, 2008).

Toprağın çözülmesinin en önemli işlevi bitki köklerine katyon ve anyonların sürekli olarak akışını sağlamaktır. Toprağın çözünmesi bu akışın gelişmesinde önemli bir yer tutar. Ayrıca çözülmüş olan iyonlar topraktan süzülerek yer altı sularına geçebilirler.

Çizelge 2. Toprağın suda çözünmesi ile oluşan bazı önemli anyonlar ve katyonlar.

Katyonlar		Anyonlar	
H <sup>+</sup>	Hidrojen	Cl <sup>-</sup>	Klorür
Na <sup>+</sup>	Sodyum	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Nitrat
K <sup>+</sup>	Potasyum	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Sülfat
Ca <sup>2+</sup>	Kalsiyum	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Bikarbonat
Mg <sup>2+</sup>	Magnezyum	OH <sup>-</sup>	Hidroksit
Al <sup>3+</sup>	Alüminyum		

Su toprakta partiküller arasında yer alır ve varlığını üç biçimde korur (Şekil, 3a,b,c). Her üç hal de zaman içerisinde değişebilir. Bu da gıdaları oluşturan minerallerin ve su içindeki kirleticilerin hareketini etkiler. Tüm toprak gözenekleri yağışlar yoluyla suyla olduğunda toprak doymuş (saturated) olarak tanımlanır (Şekil 3a). Toprak böyle bir durumda uzun süre kalamaz, bunun nedeni yerçekimi olup, suyun yerçekimi etkisinde daha düşük kottaki gözeneklere doğru akmasıdır (Ward ve Robinson, 2000). Şekil 3c, ise suyun yeteri kadar olmadığı 'kör nokta' yı temsil etmektedir.



Şekil 3. Topraktaki suyun halleri : (a) doymuş toprak, tüm gözenekler suyla dolarsa; (b) arazi kapasitesi, küçük gözenekler suyla dolar, büyük gözenekler ise havayla dolar; (c) kör nokta, bitkiler suyu yeteri kadar almadığında ve suyun yeteri kadar partiküllerin arasında olmadığı bir hal.

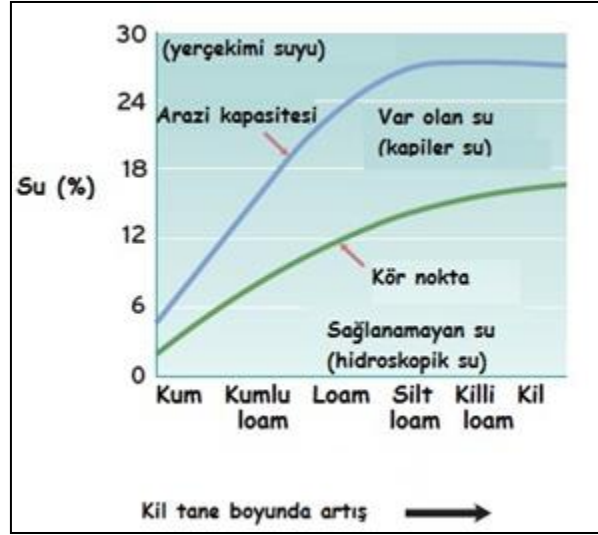
Su yerçekimi ve akaçlama ile uzaklaştığında gözeneklerin bir bölümü hava ile dolar, bu da mevcut 'arazi kapasitesi' olarak tanımlanır (Şekil 3b). Küçük gözenekler yerçekimine rağmen suyu alıkoyabilir ve bu şekilde askıdaki su da 'kapiler su' olarak bilinir. Kapiler su bitkilerin bir bölümünün aldığı suyu karşılar. Bu su, ayrıca su moleküllerinin birbirini çekmesini sağlar. Suyun toprak partiküllerinin arasına girişini yerçekimi kuvveti belirler. Kapiler su toprağın zonlarında daha düşük kottara doğru hareket edebilir. Ayrıca, önemli bir akış da bitki köklerine ya da toprak yüzeyine doğru olabilir. Böyle yerlerde terleme ve buharlaşma ile de su kaybı olur.

Suyun üçüncü hali, kör nokta halidir (Şekil 3c). Bu halde, su bitkilere ya da bitkinin köklerine ulaşamaz. Suyun hidroskopik olduğu bu halde, az oranda su bulunabilir. Toprak ne kadar kuru ise o kadar sıkı bir şekilde suyu küçük gözeneklerde alıkoyar. Sonunda bitkiler öyle bir noktaya gelir ki

topraktan suyu alamaz. Kör nokta ile arazi kapasitesi arasındaki konum, bitkiler tarafından sağlanan su olarak tanımlanır.

Su miktarı ile toprak dokusu ya da yapısı arasında da belirgin ilişkiler vardır. Toprak, suyu partiküller arasında ya da partiküllerin içinde tutar. Çok küçük partiküllerin yer aldığı bir durumda toprak suyu partiküllerin içinde tutar. Örneğin suyun çoğu kil boyutundaki partiküllerin içinde kalır. Bu durumlarda bitkiler sudan yararlanamazlar. Toprak dokusu ya da toprağın tane boyutları ile toprak suyu arasındaki genel ilişki Şekil 4 te sunulmuştur. Bu şekilde, su içeriğinin %' si ile toprak dokusu (tane boyutu) gözetildiğinde kör nokta ve arazi kapasitesine dair seyir ile kapiler su ve hidroskopik (sağlanamayan) suyun konumu açıkça görülmektedir.

Toprağın dokusu toprağın gözeneklerini ve toprağın geçirgenliğinin doğasını belirler. Su bu çerçevede akışını sürdürür. Örneğin eğer bir toprak birbirleriyle ilişkili birçok gözeneğe sahipse bu toprak geçirgendir. Böyle bir su toprakta hızlı akar. Organik gereç toprağın nemini arttırır. Bu da suyun içeriğini doğrudan etkiler (White, 1997).



Şekil 4. Toprağın dokusu ve su içeriği (%) arasındaki genel ilişki (Chapman, 2008).

## Hava

Hava da topraktaki gözenekleri doldurur. Yani suyun dolduramadığı gözeneklerde hava yer alır. Toprakta yer alan hayvanlar ve mikroorganizmaların çoğu solunumları sırasında O<sub>2</sub> kullanır ve CO<sub>2</sub> 'i dışarı verir. Biyolojik faaliyetin sürmesi için oksijenin toprağa geçmesi ve karbondioksitin de topraktan çıkması gerekir. Toprağın içinde gerçekleşen bu akış havalandırma (aeration) olarak bilinir. Havalandırma, gözeneklerin büyüklüğü ve dağılımı, gözenek sürekliliği, toprağın su içeriği ve solunum yapan organizmaların oksijen tüketme oranından etkilenir. Bu etkileşim sırasında toprağın içindeki havanın bileşimi atmosferik havadan farklılaşır.

Topraktaki havanın bileşimi yer yer önemli farklar gösterir. Genel olarak topraktaki hava, atmosferdeki havaya göre daha düşük O<sub>2</sub> ve daha yüksek CO<sub>2</sub> ile nem oranına sahiptir (Çizelge, 3). Topraktaki CO<sub>2</sub> derişimi atmosferdekine göre yüzlerce defa daha yüksektir. Ayrıca topraktaki havanın bileşimi günlük ve mevsimsel olarak değişmektedir. Bu değişimler yaz ve kış arasında ya da gece ve gündüz arasında gerçekleşen biyolojik faaliyetler nedeniyle olmaktadır. Örneğin sıcak yaz günlerine göre soğuk kış gecelerinde daha az solunum gerçekleşir, böylece topraktaki havanın içinde CO<sub>2</sub> kış mevsimine göre daha düşük olur.

Çizelge 3. Atmosfere açık topraktaki havanın (hacimsel olarak) bileşimi.

		Atmosfer	Topraktaki hava
Azot	(N <sub>2</sub> )	79.01	79.0
Oksijen	(O <sub>2</sub> )	20.96	18.0-20.8
Karbondiyoksit	(CO <sub>2</sub> )	0.035	0.15-1.0

### TOPRAĞIN ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Toprağı daha yakından tanımak için toprağın temel özellikleri gözetilerek tanımlamakta yarar vardır. Bunun için toprağın özelliklerine fiziksel ve kimyasal açıdan ayrıntılara girilmelidir. Bu vesileyle toprağın fiziksel özelliklerine (toprağın rengine, yapısına ve dokusuna) ve kimyasal özelliklerine (kil mineralleri ve katyon değişimiyle toprağın asitliğine) dair ayrıntılar aşağıda sunulmuştur. Toprağın ayrıntılı bir şekilde tanımlanması, toprağın hangi amaçla kullanılması gerektiğini belirler.

#### Toprağın Fiziksel Özellikleri

Toprağın fiziksel özellikleri kısmen görülebilen, hissedilebilen tadı ve kokusu ile tanımlanabilir. Toprağın rengi gözlemlenir. Ayrıca organik madde ve demir içeriği fiziksel olarak tahmin edilebilir. Toprağın akaçlaması ve toprağın havalandırılması da fiziksel özellikler bağlamında düşünülebilir. Toprağın mevcut olan farklı büyüklükteki partiküllerin miktarı da tahminle belirlenebilir. Toprağın fiziksel özellikleri ve türü, toprağın ekosistem içindeki işlevini ve yönetimini belirler.

#### Toprağın Rengi

Toprağın rengi gözlemlenir kolaylıkla tanımlanır. Rengin toprağın üzerindeki etkisi az ise de organik madde içeriği, toprağın içerdiği hava ve akaçlama özellikleri gibi niteliklerine yansımaları mümkündür. Renk ayrıca toprak profilindeki farklı horizonları ayırt etmeye yardımcı eder. Yüksek düzeyde organik madde içeriğine sahip toprak, siyah ya da koyu kahverengi olur. Yüzeyle yakın horizonlar genellikle daha koyu olur. Yüzeyleki horizonlar, daha alt düzeylerdeki horizonlardan daha koyu renktedir. Toprak rengi toprağın akaçlama özelliklerini belirlemede kullanılır. Çünkü toprak renginin değişimi, oksidasyon ve redüksiyona uğramış çeşitli demir mineralleri varlığında belirlenir. İyi akaçlaması olan topraklarda demir oksitlenir ve toprağın içerisinde kırmızı ya da sarımsı renge bürünür.

Su açısından zengin olan topraklarda demir mineralleri azdır. Bunun nedeni aerobik koşullardır. Böyle durumlarda da toprağın rengi gri ya da mavimsi renk alır. Toprak renginin tanımlanmasında standart bir sistem oluşturulmuştur. Bu sistem, Munsell Colour Chart kullanılarak geliştirilebilir. Söz konusu sistemde farklı renkleri tanımlamak için 3 ölçülebilir değişken kullanılır. Renk tonu (hue) sistemdeki egemen renge göre tanımlanır. Genel olarak kırmızı ve sarının tonları, rengin koyuluğunu ya da açıklığının derecesini belirtir. Siyahın değeri sıfırdır. Renk berraklığı, rengin gücünü ve aralığını gösterir. Doğal grinin berraklığı sıfırdır. Standart bir renk kitabını kullanarak tarımsal olarak toprağın rengi kodlanmaktadır. Örneğin siyah renkte; rengin tonu 10 Y/R, değeri 2, renk berraklığı 1' dir.

#### Toprağın Dokusu

Toprağın dokusunu toprağı oluşturan mineral partiküllerinin büyüklüğü belirler. Topraktaki mineral partiküllerinin büyüklükleri değişkendir. Örneğin partiküllerin çapı 2 mm den büyük olanlar çakıl; küçük olanlar ise kum, silt ve kil olarak tanımlanır. Kum, silt ve kil, ince taneli malzemeleri temsil etmektedir. Çakıl ise iri taneli malzemedir. İri ve ince taneli malzemeyi ayırd eden sınır 2 mm' dir. İri ve ince taneli topraklarda tane büyüklüğü tanımlamaları farklı sistemlerle yapılmaktadır (Çizelge 4).

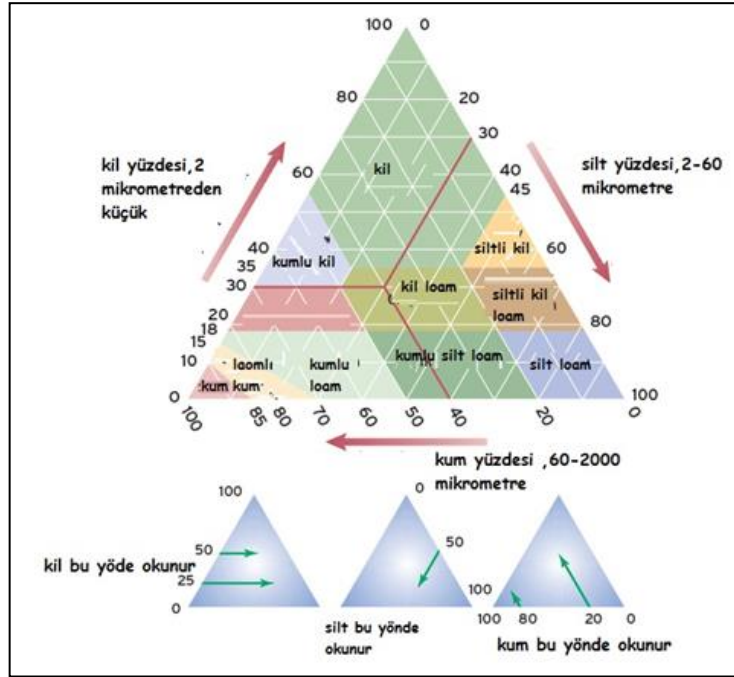


Çizelge 4. Toprağın tane büyüklüğünün sınıflandırılması (mm olarak).

Sınıf	Tane çapı (diameter, mm)		
	Uluslararası Atterberg Sistem	USDA-FAO Sistem	SSEW, BS and MIT Sistem
Kil	<0.002	<0.002	<0.002
Silt	0.002-0.02	0.002-0.05	0.002-0.06
Kum	0.02-2	0.05-2	0.06-2
Çakıl	>2	>2	>2

Killerin üst sınırı ise, 2 mikrondur. Bu çizelgede silt ve kum büyüklükleri de görülmektedir. Tane büyüklüğü küçüldükçe bunların işlevleri de farklılaşır. Tane büyüklüğü arttıkça, özellikle tane partikülünün toprak yüzey alanı da büyür. Bu da su tutma kapasitesini büyük ölçüde etkiler. Bu arada toprakta, katyon değişme kapasitesi ve mineral güllenme oranı da artar.

Toprak tanelerinin tümünün aynı boyutta olması oldukça enderdir. Dolayısıyla toprağın dokusu toprağın içinde yer alan kum, silt ve killerin göreceli oranları ile tanımlanır. Tane büyüklüğü dağılımına göre yapılan doku sınıflaması Şekil 5' te görülmektedir. Kum silt ve kilin farklı oranları gözetilerek 11 adet doku tanımlanmıştır. Eğer tane büyüklüğü dağılımı biliniyorsa, üçgen diyagramlarda dokuyu belirleyen sınıf tanımlanabilir. Örneğin bu diyagramda (Şekil 5) %40 kum, %30 kil, %30 killi loam olarak tanımlanır (Chapman, 2008).



Şekil 5. İngiltere'de benimsenen toprak doku sınıflaması üçgen diyagramı.

Ayrıca, eğer doku sınıflaması biliniyorsa tane büyüklüğü de tahmin edilebilir. Toprağın dokusu, laboratuvarda ya da sahada partikül büyüklüğü ölçülerek tanımlanır. Öte yandan toprak malzemesi, başparmakla işaret parmağı arasında sıkılarak toprağın nem içeriği hakkında fikir edinilebilir. Toprak dokusu, toprağın hava ve su tutma kapasitesi açısından önemli bir niteliklerdir. Örneğin iri dokulu topraklar daha büyük gözeneklere sahiptir. Çünkü kum boyutundaki partiküller silt ya da kil boyutundaki partiküller kadar birbirine yakın değildir. Sonuç olarak kumlu topraklar yüksek düzeyde suyu süzme potansiyeline sahiptirler. Fakat bu toprakların suyu alıkoyma kapasiteleri düşüktür. Bunun da nedeni toprakların gözenekleri arasında suyun hızlı akmaya meyilli olmasıdır. İnce taneli topraklarda durum bunun tam tersidir.

### **Toprağın Yapısı**

Toprağı oluşturan partiküller normal olarak birbirinden ayrı durmazlar. Bunun yerine toprak partikülleri daha çok birbirlerine tutunmaya eğilimlidirler. Topraklar, yapıları gözetilerek, önce agregatlar ya da pedler olarak gruplandırılırlar. Toprağın yapısı da agregatların ve pedlerin şekli (türü) büyüklüğü ve farklılığı aracılığıyla tanımlanır. Örneğin, her ped diğer pedlerden boşluklarla ya da zayıf yüzeyleriyle ayrılır. Bu açıdan, toprak yapısı 4 türe ayrılabilir. Bunlar bloklu, sferodial, düzlemsel ya da prizmatik biçimlerde olabilirler (Şekil 6). Her tür de kendi içinde alt türlere ayrılmaktadır.



Şekil 6. Toprak yapısının türleri ve alt tipleri (Chapman, 2008).

Aşağıdaki terimler toprağa dair ana yapıların ayırt edilmesinde kullanılırlar:

- 1- Yapısız (pedler gözlemlenmemiştir),
- 2- Zayıf (birbirinden farklı olmayan pedler, benzer pedler, bu da gereçlerin birbirinden fazla ayrılmadığı durumlarda geçerlidir),

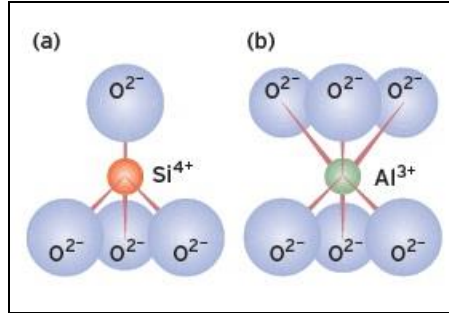
- 3- Orta (iyi gelişmiş pedler, az oranda tutturulmuş gereçler),
- 4- Kuvvetli (farklı pedler, tümü ile birbirinden ayrılabilen agregatlar)

Kil boyutundaki partiküller ve organik bileşikler pedleri büyük ölçüde birarada tutar. Sonuç olarak iri taneli dokuya sahip topraklar zayıf bir yapıya eğilimlidirler. Oysa ince dokulu topraklar genel olarak orta ya da güçlü yapılara sahiptirler. Tekçe pedleri bir arada tutan kuvvet, toprağın dayanımlılığını, erozyonunu ve toprağın işlenmesini etkiler. Güçlü bir yapı, toprağı bir arada tutar ve erozyona karşı dayanımlılığını sağlar. Ancak, bu özellikler toprağın işlenmesini güçlendirir (White, 1997). Toprağın işlenmesi de toprağın yapısını zayıflatır ve değişimine neden olur. Çiftlik makinalarının yardımı ile toprağın sıkışması da sağlanabilir.

Pedlerin büyüklüğü, şekli ve düzeni toprağın gözenekliliğini belirler. İyi gelişmiş bir yapıya sahip toprak, büyük ölçüde geçirimliliğe ve gözenekliliğe sahiptir. Aynı şekilde iri taneli topraklar daha zayıf bir yapıya sahiptir. Toprak gözeneklerinin boyutları ve ilişkileri, toprakta suyun ve havanın hareketini belirler. Yapısal gelişmesi iyi olan topraklarda, akaçlama ve havalandırma da iyi olur. Toprağın gözenekliliği bitki köklerinin gelişmesini ve mikrobiyal gıda akışını sağlar.

### Toprağın Kimyasal Özellikleri

Toprağın kimyasal özellikleri gözetilerek, toprağın kolloidleri olarak tanımlanan partiküllerin arasındaki bağların kurulması gerekir. Toprağın kolloidlerinin çapı 0.002 mm' den daha küçüktür. Bunlar suyun içinde asılı olarak durur. Toprağın en önemli kolloidleri kil mineralleri ve organik gereçlerdir. Toprağın, dolayısıyla killerin temel yapı elemanları Şekil 7' de görülmektedir.



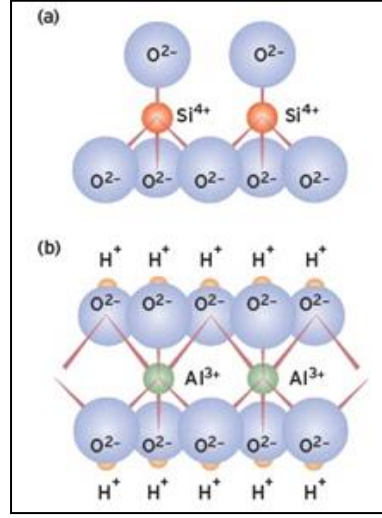
Şekil 7. Toprağın temel yapı elemanları. (a) bir silikon tetrahedronunun yapısı; (b) bir alüminyum oktahedronunun yapısı (Smithson ve diğerleri, 2002).

### Kil Mineralleri ve Katyon Değişimi

Killer alüminyum ve silikat içeren feldspat türü minerallerinin günlenmesiyle oluşur. Killer, çapı 0.002 mm' den daha küçük olan taneler olup, geniş bir yüzeye ve elektriksel bir yüke sahiptirler. Onun için killer suyu ve katyonu tutabilir. Dolayısıyla killer, toprağın kimyasal ve fiziksel özelliklerinin belirlenmesinde son derece önemli bir etkiye sahiptir. Killerin oluşumuna hidromorfik bileşenler de katılabilir. Bu da bir kristaldeki atomun aynı boyuttaki başka bir atomla yer değiştğinde, mineralin kristal yapısında değişim olmaksızın meydana gelir.

Örneğin Al<sup>3+</sup> ve Si<sup>4+</sup> yer değiştirebilir (Şekil 8 a ve b). Böyle bir yer değiştirme sonucunda tetrahedral yapı da oktahedral yapıya dönüşür. Ayrıca, Mg<sup>+2</sup> ve Fe<sup>+3</sup> ile Fe<sup>+3</sup> ve Ca<sup>+2</sup>, Al<sup>+3</sup> ile yer

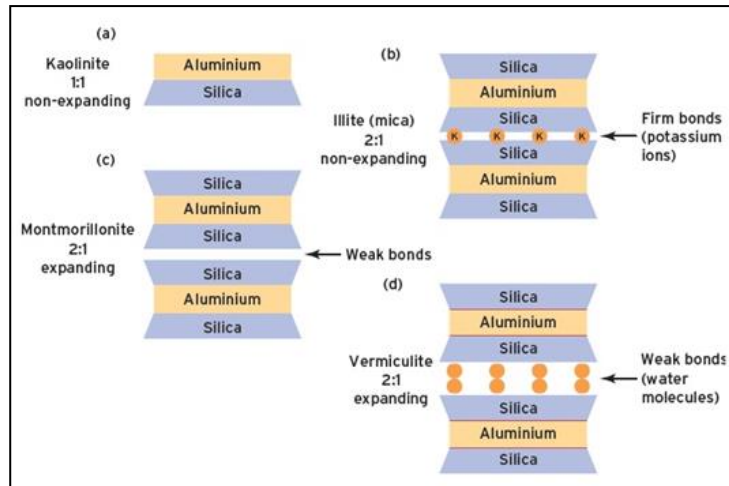
değiştirebilir. Killerin mineral yapısı elektriksel açıdan nötrdür. Fakat daha düşük pozitif yüke sahip bir iyon başka bir iyonla yer değiştirdiğinde kil minerali negatif bir yüke sahip olur.



Şekil 8. Bazı katmanlı yapıların görünümü: a) bir silika tetrahedral katmanın yapısı; b) bir alüminyum oktahedral katmanın yapısı (Smithson ve diğerleri, 2002).

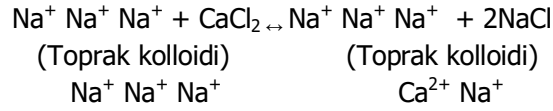
Örneğin silisyum iyonu +4 değerinde olan pozitif bir yüke sahiptir. Eğer silisyum alüminyumla yer değiştirirse kil bir pozitif yüke sahip olur.  $Si^{+4}$  ve  $Al^{+3}$  farklı katmanlarda dizilir. Bu dizilim sonucu çeşitli katmanlı yapılar ortaya çıkar. Bazı killerin katmanlı yapısı ve  $Si^{+4}$  ile  $Al^{+3}$  katmanlarının dizilimi Şekil 9’da görülmektedir.

Kil minerallerindeki negatif net yük, katyonlarla dengelenir ve buradan da kil minerallerinin yüzeyine tutunur (yani kil mineralleri tarafından çekilip, adsorbe olur). Bu çekim, elektrostatik çekim kuvvetleriyle (örneğin  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Al^{+3}$  ve  $H^+$ ) katyonlar dengelenir.



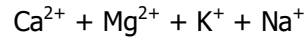
Şekil 9. Bazı kil minerallerinin silika ve alüminyum katmanlarının dizilimi: a) kaolinite; b) illite; c) montmorillonite ve d) vermiculite (Smithson ve diğerleri, 2002).

Toprak solüsyonu içindeki katyonlar, killerin yüzeyine tutunarak (adsoplanarak) yer değiştirilebilir. Bir solüsyondaki katyonla yüzeydeki bir katyon arasındaki etkileşim katyon değişimi olarak bilinmektedir. Buna göre tüm katyon reaksiyonları kimyasal olarak dengelenmelidir. Örneğin  $\text{Na}^+$  içeren bir kil,  $\text{CaCl}_2$  solüsyonuyla yıkanır, her  $\text{Ca}^{+2}$  iyonu iki tane  $\text{Na}^+$  iyonu ile yer değiştirir. Çünkü  $\text{Ca}^{+2}$ , iki tane  $\text{Na}^+$  yüküyle dengelenir. Bu da aşağıdaki eşitlikle tanımlanabilir:



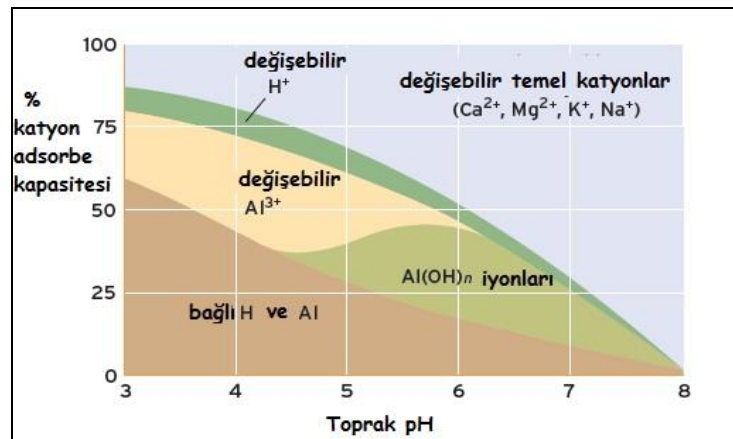
Katyon değişim (adsorbsiyon) reaksiyonları hızlı ve aynı zamanda geri dönüşümlüdür. Toprak ve solüsyon arasındaki katyonların dağılımı kil minerallerinin yüzeylerinde var olan çekim kuvvetine ve görece değişimlerine bağlıdır. Katyonlar, toprak solüsyonundaki katyonlarla dengelenen yerlerde adsorblanırlar. Örneğin Ca ve Mg, toprak solüsyonunda egemen ya da baskın katyonlar ise, bunlar aynı zamanda değişimin olduğu yerlerde de egemendirler. Genellikle adsorbsiyonun çekim kuvveti katyonun derişimi ile artar ya da sudaki katyonların büyüklüğü ile de azalır. Adsorbsiyonun gelişim sırası  $\text{Al}^{+3} > \text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} > \text{K}^+ > \text{Na}^+$  şeklindedir (Cresser ve diğerleri, 1993).

Toprağın katyon değiştirme kapasitesi (CEC=KDK) toprak kütlesindeki her birimdeki kil minerallerinin net negatif yükü ile ifade edilir. Bu da genel olarak kuru toprağın her kilogramındaki milliequivalent (meq) olarak ifade edilir. Toprak katyonları iki gruba ayrılabilir. Birincisi temel katyonlar olup, bunlar da  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{K}^+$  ve  $\text{Na}^+$  ile temsil edilen katyonlardır. İkincisi ise basit katyonlar olup  $\text{Al}^{+3}$  ve  $\text{H}^+$  ile temsil edilirler. Katyonlardaki bu ayırım, toprağın doyuma ulaşmasını değerlendirmek için gereklidir. Bu da aşağıdaki eşitlik ile hesap edilebilir:



$$\text{Toprağın doyuma ulaşması (\%)} = \frac{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ + \text{Na}^+}{\text{CEC}} \times 100$$

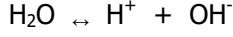
Yüksek doyuma ulaşmış bir toprak (% 35'ten büyük) düşük doyuma sahip toprağa göre daha verimlidir. Topraktaki iyonların çözülme düzeyini ise, toprağın değişim (adsorbsiyon) kapasitesi ile toprağın asitliği belirler (Şekil 10; Chapman, 2008).



Şekil 10. Toprağın pH'i ve katyon adsorbsiyonu arasındaki ilişkiye göre iyonların çözülme düzeyleri.

### **Toprağın Asitliği Olgusu**

Toprağın asitlik ya da baziklik derecesi toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçlerinde önemli bir değişken olarak yer alır. Toprağın asitliği, nötr ya da bazik olması, toprak solüsyonundaki H<sup>+</sup> iyon derişimlerinin (konsantrasyonlarının) ölçülmesiyle tanımlanır. 24 °C lik saf su eşit oranda hidrojen (H<sup>+</sup>) ve hidroksit (OH<sup>-</sup>) iyonlarına ayrışır.



H<sup>+</sup> ve OH<sup>-</sup> iyonlarının derişimi 1x10<sup>-7</sup> (0. 0000001) mol' dır. Bu kadar küçük oranda hidrojen iyon derişimlerini değerlendirmek pek uygun olmadığından, hidrojen derişimleri hidrojenin negatif logaritması kullanarak daha kolay bulunabilir. Bu da pH olarak bilinir. pH logaritmik olduğundan 1 birimin değişimi H<sup>+</sup> derişimin de 10 kat değişimi ile ifade edilir (Çizelge 5).

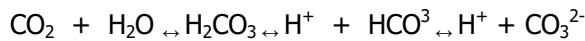
Çizelge 5. *Toprağın pH değerlerinin H<sup>+</sup> ve OH<sup>-</sup> derişimleri çerçevesinde tanımlanması.*

pH	H <sup>+</sup> konsantrasyonu (litredeki molü)	OH <sup>-</sup> konsantrasyonu (litredeki molü)	Tanımlama
3	0.001	0.000 000 000 01	Aşırı asidik
4	0.0001	0.000 000 000 1	Güçlü asidik
5	0.000 01	0.000 000 001	Orta asidik
6	0.000 001	0.000 000 01	Hafif asidik
7	0.000 000 1	0.000 000 1	Nötral
8	0.000 000 01	0.000 001	Alkalin
9	0.000 000 001	0.000 01	Güçlü alkalin
10	0.000 000 000 1	0.000 1	Aşırı alkalin

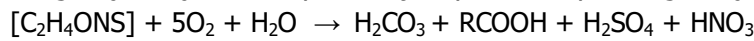
Örneğin H<sup>+</sup> iyonu derişiminde 10 kat artış, pH olarak 1 birim ile temsil edilir. Çizelge 5'de, H<sup>+</sup> ve OH<sup>-</sup> iyonlarının derişimleri arasındaki bu ilişkiyi de göstermektedir. Bu iyonların derişiminin toplamı daima 1x10<sup>-14</sup> e eşit olmalıdır. pH da 1'den 14'e kadar bir dizilim gösterir. Çoğu toprakların pH'ı 3.5-9 arasındaki bir değere sahiptir. Çok düşük değerler toprağın organik gereç açısından zengin olduğunu gösterir. Yüksek değerler ise sodyum karbonatın varlığından ileri gelmektedir. Toprak eğer asidik ise bunun da nedeni toprak solüsyonundaki H<sup>+</sup> iyonlarının fazlalığıyla ilgilidir. Buda H<sup>+</sup> iyonlarının artmasından sorumlu olan alüminyum nedeniyle gerçekleşmektedir. Toprakta hidrojen ve alüminyumun egemen katyonlar olmasına neden olan birçok doğal ve yapay süreçler vardır. Bu süreçler nedeniyle aşağıda sunulan değişimler yaşanır:

1-Nemli bir iklimdeki katyonların değişimi günlenmenin oranından daha fazladır. Buna göre katyon değişimi, alüminyum ve hidrojenin egemen olmasıyla gelişir ve toprağın pH da düşer. Kuru iklimlerde ise toprak daha çok alkali bir nitelik kazanır.

2-Bitki köklerinde yaşayan mikroorganizmaların solunumuyla karbondioksit ortaya çıkar. Karbondioksit de aşağıdaki eşitlik çerçevesinde toprakta çözünür.



3-Organik gereçlerin çözünmesiyle hidrojen iyonlarının yer aldığı bileşikler oluşur.



4-Atmosferdeki ve asit yağmurlarındaki  $H_2SO_4$  ve  $HNO_3$  gibi asitlerin etkisi ile toprakta  $H^+$  iyonları artar.

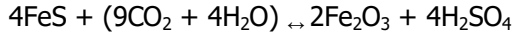
5-Amonyum içeren gübrelere ilgili uygulamalarda nitrat ve  $H^+$  iyonu ortaya çıkar. Amonyum toprakta nitrifikasyon olarak bilinen reaksiyona göre mikroorganizmalar tarafından oksitlenir.



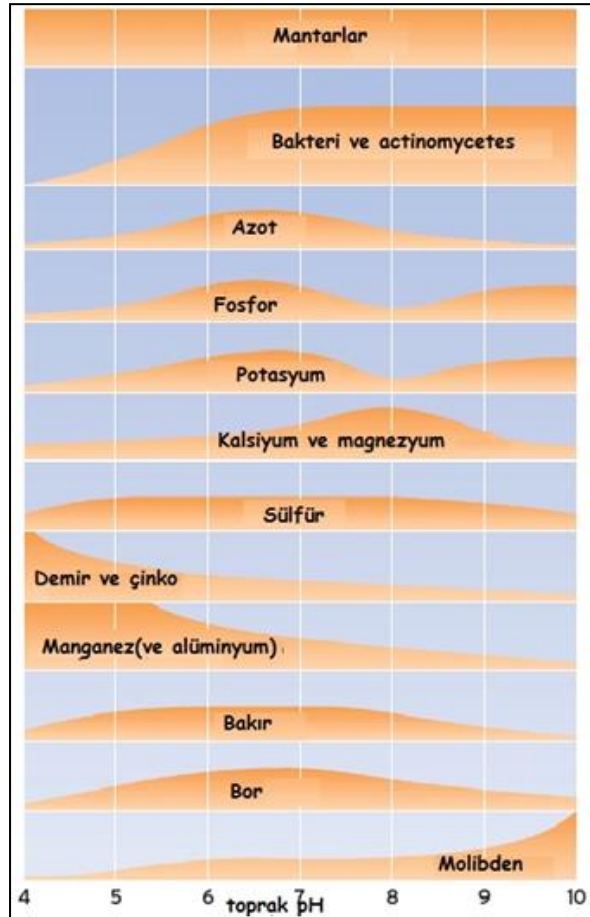
6-Ana katyonlar bitkiler tarafından alınır ve bu katyonlar toprağa geri döner. Buna göre eğer bir ürün elde edilirken bu ana katyonların toprağa dönüşü etkin ise hidrojen ve alüminyum birikimi artar.

7-Kıyılardaki alanlar sıkça pirit ( $FeS_2$ ) içerir.

8-Demir sülfür, asitle reaksiyona girdiğinde oksijen azlığı ortaya çıkar. Demir oksitlenir ve asidik ortam oluşur.



Toprağın pH'ı ürünlerin gelişmesini etkiler. Bitkiler topraktaki pH'ı tolere ettiğinde önemli ölçüde değişime uğrar. Toprağın pH'ı çoğu kirleticilerin geleceğini de belirler. Örneğin pH, kirleticilerin yok olmasını, çözülmesini, toprağın yüzeyine ya da yeraltı sularına doğru hareketini etkiler. Çoğu ağır metaller asidik koşullarda suyun içinde çözünür ve yeraltı suyuna karışır. Yeşil bitkilerin normal olarak gelişmemesine neden olan 16 esas yapı vardır (Şekil, 11).



Şekil 11. Toprağın pH'ına göre zehirlilik etkisi olan yapıların dağılımı (Chapman, 2008).



Bitkilerin oluşturduğu besinlerde bu yapıdaki elementlerin varlığı, toprağın pH'ı ile yakından ilişkilidir. pH, bitkilerin sayısı ve türleri ile topraktaki organizmaların faaliyetlerini de etkiler. Bu yapılar ancak belli oranlarda olduğu zaman zehirlilik etkisi göstermezler. Bu elementlerin bazıları makro besinlerde (karbon, oksijen, hidrojen, nitrojen, fosfor, sülfür, kalsiyum, magnezyum, potasyum ve klorid), bazıları da mikro besinlerde (demir, manganez, çinko, bakır, bor, molibden) bulunurlar.

Genel olarak pH aşağıdaki reaksiyonlara yol açar:

1-Topraktaki organizmaların faaliyetini ve sayısını azaltır. Bu organizmalar başlıca kurtlar, amonyumu nitrate çeviren bakteriler, organik maddelerin çözülmesine yol açan organizmalar, azotu tutan bakterilerdir.

2-Mikro besinlerde zehirlilik etkisini gösteren elementlerin derişiminin artmasına yol açar. Özellikle demir, manganez ve çinkonun derişimi artar. pH, bir ölçüde de mikro organizmalara ve bitkilere zehirlilik etkisi yapar.

3-Fosfor ve molibden çözünemez ve bitkilere kolayca ulaşamaz.

4-Makro besinlerin azalmasına yol açar. Özellikle, kalsiyum, magnezyum, potasyum, nitrojen, fosfor, sülfür eksikliğini yansıtan göstergeler ortaya çıkar. Bitki köklerinin etkinliğini azaltır.

5-Alüminyuma ilişkin zehirlilik düzeylerinin artmasına neden olur.

Yüksek pH, toprakta fosfor ve borun çözünmemesine, dolayısıyla mikro besinlere ulaşmamasına yol açar. Özellikle, demir, manganez, çinko ve bakır eksikliği ortaya çıkar. Bunların eksikliği halinde bitkiler daha az gelişir. pH'ın 6 ve 7 olduğu durumlarda bitkiler genel olarak daha iyi gelişir. Ancak bazı bitkiler de pH'ın düşük ya da yüksek olduğu durumlara uyum sağlarlar.

#### KAYALARIN DEĞİŞİMİNE NEDEN OLAN HUSUSLAR

Kayalar, fiziksel ve kimyasal reaksiyonlar sonucunda ayrışmaya ve çözülmeye başlar. Bu değişimlere neden olan en önemli hususlar aşağıda sunulmuştur:

#### **Homojenlik durumu**

Çeşitli minerallerden oluşan kayalar, bir ya da iki mineralden oluşan kayalara göre daha çabuk parçalanırlar. Tekdüze olmayan (heterojen) yapıdaki kayalarda, her mineralin çözülmeye karşı direnci farklıdır. Kolay çözünen mineraller kayadan uzaklaştıkça, boşluklar ortaya çıkar, mineraller arası bağlantı kopar ve kaya çözülmeye başlar.

#### **Kopma direnci ve kohezyon durumu**

Kayalardaki mineral ve çeşitli maddelerin birbirine bağlanma derecesi, kopma direnci ve kohezyon gücü üzerinde etkilidir. Örneğin, kil miktarı fazla olan alanlarda, kohezyon yüksektir. Kil partikülleri birbirlerini tuttuğu için, bu tip kayaların aşınması ve ayrışması oldukça zordur.

#### **Pekişme durumu**

Çimento maddesi ile iyice pekişmiş olan kayalar, az pekişmiş ya da serbest halde bulunan çökellere göre daha zor ayrışır. Çimentonun bileşimi önemlidir. Örneğin, silisli çimentoya sahip kayalarda pekişme daha iyidir. Ayrıca metamorfizma ne kadar güçlü ise, kayaların parçalanması o kadar zor olur. Bunun yanı sıra, kayalardaki çatlaklar, ayrışmayı hızlandırmaktadır.

#### **Gözeneklilik ve geçirgenlik**

Kayalarda gözeneklerin ve geçirgenliğin fazla olması, suyun kayaların içine kadar sızmasına ve çözülmenin hızlanmasına neden olur. Gözenekli olan kumtaşları ve marnda ayrışma fazladır. Gözenekli olmasına karşın, su aldığı zaman şişmeyen çakıl taşı ve volkanik kayalarda çözülme çok zordur.

#### **Erimeye karşı olan direnç durumu**

Kayaların bileşimindeki minerallerin, oksidasyon ve hidratasyona karşı dirençleri çok farklıdır. Örneğin, çimentosu silisli olan kayalar, aşınma ve çözülmeye karşı çok dirençlidir. Kireçli, jipsli olan



kayalar ise, çok kısa sürede erir. Karbonik asitli sular, kireçli kayaları eritebildiği halde, kuvarsitleri ve silisli kayaları eritememekte ya da bunlar üzerinde çok az etkili olabilmektedir.

Karbonatik kayalar, ayrışma sonucunda, kütlelerin yaklaşık %90'ını kaybetmektedir. Geriye kalan kısımlar, toprak katının oluşmasını sağlamaktadır. Bu kayalar üzerindeki toprakların ince olması, bu nedene dayanmaktadır. Ülkemizde, Toroslar'da kireçtaşlarındaki  $\text{CaCO}_3$ 'ün erimesi sonucunda, geride kalan killer toprağı oluşturmuştur. Kalsiyum ve demir oksitli mineralleri içeren volkanik kayaların ayrışması da, oldukça kolaydır.

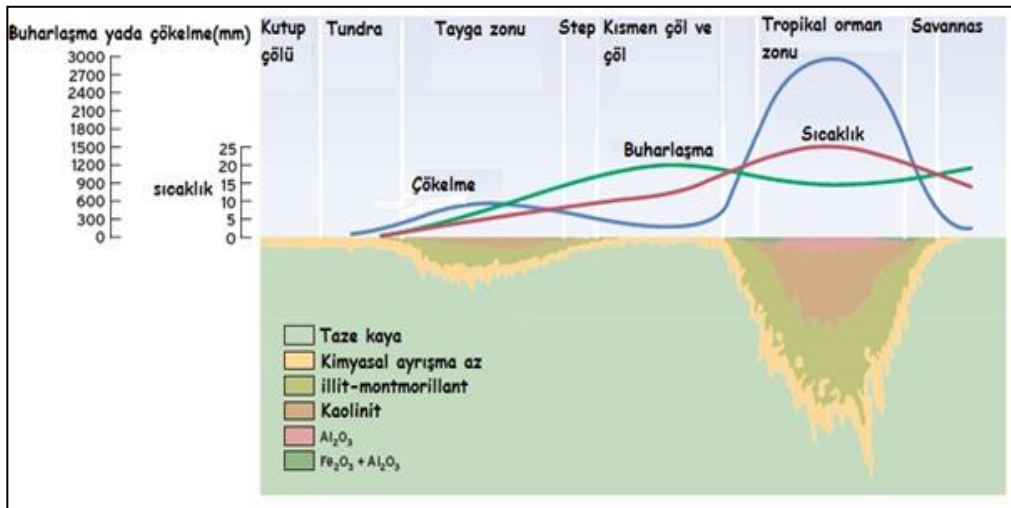
#### TOPRAĞIN OLUŞUMUNU ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Toprak oluşumunda, en önemli süreçler yerel ve bölgesel çevresel faktörlerdir. Toprak oluşumu ve toprak profilinin gelişmesi, yüzlerce, hatta binlerce yıl süren parçalanma, ayrışma, yıkanma ve birikme gibi süreçlerin ürünüdür. Bu süreçlerde iklim, ana kayanın özellikleri ve mineralojisi, röliyef, organizmalar, zaman gibi unsurlar ve bu unsurların bileşik etkileri belirleyicidir. Ayrıca küresel iklim değişikliklerinin de bölgesel tarımı derinden etkileyebileceği öngörülmektedir.

#### İklimin etkileri

İklim, nem ve sıcaklık değişimlerinin belirleyici olduğu, toprağı oluşturan en önemli faktördür. Ayrıca iklim bitki örtüsünün dağılımını belirlemede önemlidir. Yağış en önemli fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçleri de kapsayan ve özellikle günlenme ve kimyasal ayrışmaya yol açarak toprağın oluşumuna katkıda bulunmaktadır. Su etkin bir biçimde toprak profilini ve regulitin içine nüfuz ederek toprağı oluşturmaktadır. Yağışın miktarı yani buharlaşma oranı toplam yıllık yağışla ilişkili olarak toprağı topoğrafya ve ana kayanın geçirgenliğine bağlı olarak etkiler. Bütün bunlara göre sızan su günlenme süreçlerini etkiler ve toprağın derinliğini horizonların oluşumuna katkıda bulunur.

Sıcaklığın toprağa olan etkisi minerallerin günlenmesini ve organik maddenin ayrışması yoluyla toprak oluşum oranını etkiler. Her  $10^\circ\text{C}$ 'lik sıcaklık yükselmesinde kimyasal reaksiyonların hızlı biyolojik faaliyetlerin 2 katına çıkmasına ve suyun birkaç kez hızlı buharlaşmasının artmasına yol açar. Kimyasal günlenmenin oranları kutuplarda daha az tropikal iklimlerde sıcaklık ve nemin daha fazla olmasından dolayı daha fazladır (Şekil 12). Buna ek olarak topraklar yükseklik ve konumla ilişkili olarak mikro iklimler tarafından da etkilenmektedir.



Şekil 12. Kutup bölgelerinde Ekvatora kadar ki aralıkta iklim ve biyomla birlikte toprak derinliği değişiminin şematik görünümü. Burada görüldüğü gibi toprak tropikal zonlar da gelişmiş kutupta ise daha incedir. Buna ek olarak alüminyum ve demir oksitli günlenme oranları da görülmektedir (Birkeland, 1999).

İklimin, toprağın bileşimi üzerindeki etkisi de önemlidir. Tropikal ve ılıman iklim koşullarının toprağın bileşimi üzerindeki etkisi % olarak Çizelge 6' de sunulmuştur. Çizelge 6' de tropikal ve ılıman koşullarında, SiO<sub>2</sub> yüzdesinin birbirine yakın olduğu; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO, TiO<sub>2</sub>, MgO ve P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>'in tropikal bölgelerde; CaO, K<sub>2</sub>O ve Na<sub>2</sub>O'nun da ılıman iklim koşullarındaki daha çok olduğu görülmektedir.

Çizelge 6. İklimin toprağın bileşimi üzerine etkisi (Aydeniz 1985).

Toprağın içeriği	% olarak etkiler	
	Tropikal iklim	İlman iklim
SiO <sub>2</sub>	3-30	2-30
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10-40	2-20
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10-70	0.5-10
MnO	0.1-1.5	0.005-0.5
TiO <sub>2</sub>	0.5-15	0.3-2
CaO	0.05-0.5	0.3-2
MgO	0.1-3.0	0.05-1
K <sub>2</sub> O	0.01-1.0	0.1-4
Na <sub>2</sub> O	0.01-0.5	0.1-2
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.01-1.5	0.03-0.3

### Ana kayanın etkileri

Toprak, kaya yüzeylerinde günlenme ile yerli yerinde oluşabilir. Ya da yüzeydeki gerecin yerçekimi, su, buz ya da rüzgâr etkileriyle taşınıp çökmesiyle de oluşur. Ana kaya toprak oluşumunu etkiler. Bu da günlenme süreçlerini ve günlenmiş olan gerecin toprağa dönüşüm süreçleriyle meydana gelir. Kaya türleri yüzeylenmiş olan kayaların minerolojik bileşimine bağlı olarak günlenme oranlarını etkiler. Günlenmiş olan yüzey ne kadar büyük olursa günlenme oranı da o ölçüde artar. Bazı mineraller günlenmeye karşı duyarlıdır. Minerallerle ilgili bir günlenme sırası olduğu ve silikat minerallerinin bir duyarlılık serisini temsil ettiği bilinmekte, bu da Şekil, 13' de sunulmuştur.



Şekil 13. Kaya oluşturan minerallerle ilgili günlenme sırası.

Kayaların türü ve minerolojisi, kayaların günlenmeye karşı duyarlılığını belirler. Örneğin dayanımlı magmatik kayalar daha az günlenir ve ince, iri taneli kayalıklı toprakları oluştururlar. Buna karşılık gevşek yapılu kum taşları çok hızlı günlenir ve kalın az taşlı-bloklı kumlu toprakları oluştururlar. Ana kaya üzerinde gelişen topraklar üzerinde olduğu ana kayanın bileşimine bağlı olarak bazik ya da

asidik olurlar. Bu da ana kayanın daha çabuk kimyasal olarak ayrışmasında ve bu ayrışmanın günlenme ile yer değiştirmesinde belirleyicidir.

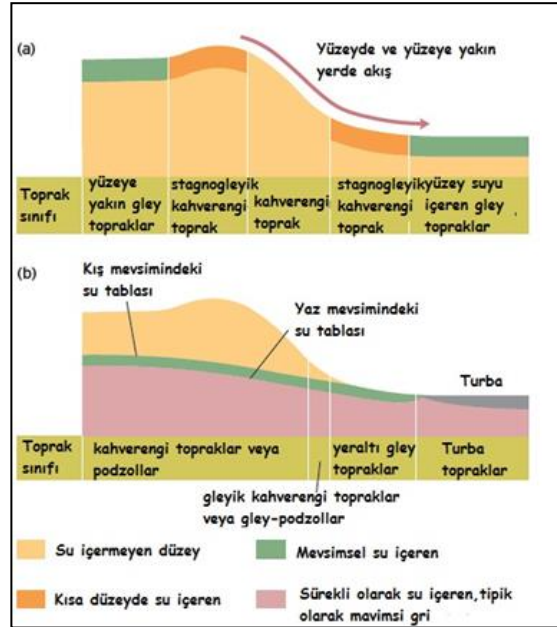
Killer, silt taşları, çamur taşları ve şeyler ince taneli kayalardır. Bunlar genellikle düşük geçirgenliğe sahip siltli ve killi topraklara dönüşürler. Kireçtaşının günlenmiş olan ürünleri kolaylıkla çözünebilir. Bundan dolayı da toprak derinliği de kireçtaşının özellikle dik yamaçlarda azdır. Yamacın tabanında alt kesiminde ise toprak daha fazla oluşur ve bu topraklar kimi yerlerde daha iyi akaçlamayı sağlarlar.

### Röliyef/Morfolojinin ve hidrojeolojinin etkileri

Morfoloji (yükseklikle ilişkili olarak) ile hidrojeolojik yapı ve toprağın sınıfı ya da türü arasında bazı temel ilişkiler vardır (Şekil 14). Örneğin morfoloji ya da röliyef, toprağın oluşumunu etkiler. İklim röliyefin (ya da topografyanın) yüksekliğine bağlı olarak değişkenlik gösterir. Sıcaklık da yükselmeye bağlı olarak azalır. Yüksek yerler atmosferik süreçlerden de daha çok etkilenir. Yamaç eğimi de önemli bir faktördür. Dik yamaçlarda erozyon daha hızlı olur. Bunun nedeni suyun dik yamaçlarda daha hızlı süzülmesiyle ilgilidir. Onun için dik yamaçlarda, az eğimli yamaçlara göre daha zayıf topraklar oluşur.

Yüzeyde ya da yüzeye yakın akışın yanı sıra geçirimsiz katmanların olduğu yerlerde yamaç önü ve yamaç ardı bölgelerde 'gley topraklar' oluşur (Şekil 14a). Oysa yamaçlarda kahverengi topraklar daha egemendir. Geçirgen olan yamaçlarda ana kayadaki su alt düzeylere doğru daha hızlı akar. Dik yamaçlarda akaçlama daha iyi olur. Yamacın alt düzeylerinde de yeraltı suyu daha egemen olur. Su tablasının yaz ve kış mevsimlerinde önemli oranda değiştiği yerlerde, kahverengi topraklar yamaç ve yamaç gerisinde, gley topraklar yamaç ilerisi, turba ise yamacın sonlandığı düşük kotlu yerlerde oluşur (Şekil 14b).

Konum, yer yüzeyine ulaşan güneş ışınlarının geliş açısı ile tanımlanır. Örneğin, kuzey yarım kürede güneye bakan yamaçlar kuzeye bakan yamaçlara göre daha çok güneş alır. Dolayısıyla daha sıcak ve daha düşük nem içeriğine sahip olur. Sonuç olarak güney yamaçlardaki topraklar daha kuru, bitki örtüsü daha az ve bu nedenle organik madde açısından fakirdir. Güney yarım kürede ise durum bunun tam tersidir.



Şekil 14. Morfoloji (röliyef), hidrojeoloji ve toprak türleri arasındaki ilişkiler: (a) düşük geçirimli ana kaya; (b) geçirimli ana kaya (Chapman, 2008).

Yağış orta enlemlerde yüksekliğe bağlı olarak artar. Bu da buharlaşmaya göre yağışın daha fazla olmasına yol açar. Kimyasal ayrışma oranları yüksek olduğunda akaçlamanın zayıf olduğu yerlerde toprak su ile dolar. Düşük sıcaklıklar biyolojik faaliyetlerin azalmasına da yol açar. Bu da organik gereçlerin daha az ayrışmasına neden olur. Böylece yüzeyde kalın organik horizonların birikmesi ve sonunda da organik gereçlerin oluşumu meydana gelir.

### **Organizmaların etkileri**

Organizmalar başlıca bitkileri, hayvanları, mikroorganizmaları ve insanları içermektedir. Bitki örtüsü doğal koşullarda topraktan su ve mineral besinleri alır. Su ve besinler bitkilerin ve diğer organizmaların gelişimi için gereklidir. Daha sonra besinlerin tümü doğaya, yani toprağa geri verilir. Bitki örtüsünün türü toprağa dönüşen gereçlerin türünü ve miktarını belirler. Farklı toprak türleri farklı bitki örtüsü topluluklarının ürünüdür. Bitki örtüsü toprağı rüzgârdan ve yağıştan korur, yağışın akışını azaltır ve toprağın partiküllerini bir arada tutar. Ayrıca bitki örtüsü, toprağın yapısını ve gözenekliliğini geliştirir ve korur.

Yer solucanları ve diğer küçük hayvanlar toprağı karıştırır ve havalandırır. Toprak solucanları iyi derecelenmiş topraklardaki su akışını arttırır ve toprağın duraylılığına katkıda bulunur. Organik gereçlerin minerallerle etkileşimi ile birlikte toprağın duraylılığı artar. Mantar, bakteri ve tek hücreli protozoaları içeren toprak organizmaları organik gereçlerin oluşumunda önemli bir rol oynar. Nihai ürün humustur. İnsanlar bitki örtüsünü değiştirerek drenaj ve sulama gibi faaliyetler, gübreyi, kireci ve pestisiti toprağa katarak ya da kentsel ve sanayi gelişimi yoluyla toprağı etkiler. Bu faaliyetlerin sonucunda toprağın nitelikleri değişime uğrar. Örneğin tarımın yapılması da, tarım topraklarının diğer amaçlarla kullanılması da çevrenin doğal işleyişini tümüyle etkilemektedir.

### **Zaman**

Toprağın oluşması ve gelişmesi uzun bir süreçtir. 30 cm kalınlığında bir katmanın oluşumu bin ile on bin yıl gibi bir zaman aralığında olmaktadır. Bu zaman içerisinde toprağın özellikleri sürekli değişmektedir. Toprak profilindeki farklılaşmanın hızı, derinliği ve meydana gelen horizonların kalınlığı topraktaki değişimi yansıtır.

Zamanla toprağın özelliklerindeki değişim hızı ihmal edilebilecek düzeye eriştiğinde, toprağın duraylı bir konuma geldiği söylenebilir. Gerçekte toprak duraylı konuma seyrek olarak ulaşır. Bunun nedeni çevresel faktörlerin herhangi birindeki değişimin olmasıdır. Çoğu topraklar sadece bir faktörden etkilenmezler. Toprak oluşumu birbirini izleyen etkilere de maruz kalabilir.

Örneğin, Kuvaterner' de buzul ve buzul arası dönemlerde, iklimdeki büyük değişimler birbirini izlemiştir. Yukarı ve orta enlemlerde buzullaşma ile toprağın büyük bir bölümü aşınmıştır. Aşınan malzeme başka alanlara taşınmıştır. Günümüzdeki toprak oluşumu son buzul çağından (on bin yıl öncesinden) beri devam etmektedir.

### **Bileşik etkiler**

Yukarıda sunulan toprağın oluşumunu etkileyen 5 temel faktörün birbirini de etkilediği de söylenebilir. Örneğin iklim, bitki örtüsünü, insan faaliyetlerini ve topoğrafyayı etkiler. Bitki örtüsü iklim ve ana kayadan etkilenir. Aslında 5 faktörün bileşik etkisi toprağı oluşturur. Bu faktörler dünyada farklı toprak profillerinin oluşumuna yol açar. Topraklar her yerde aynı oranda ya da aynı tür horizonların bileşimiyle oluşmazlar. Ancak toprak horizonlarının gelişme düzeylerine göre topraklar sınıflandırılabilirler (Çizelge 7).

Çizelge 7. Büyük toprak gruplarının (%) olarak oluşumu (MISIR, 1984).

Toprak türü	İngiltere ve adalar	İskoçya
Litomorfik toprak	7	10
Kahverengi topraklar (pelosols içeriyor)	45	19
Podzollar	5	24
Gley toprak (yüzey ve yeraltı suyunu içeriyor)	40	23
Turba topraklar	3	24

#### TOPRAĞIN OLUŞUMUNA DAİR EVRELER

Toprak oluşumu ve profil gelişmesi, yüzlerce, hatta, binlerce yıl süren parçalanma, ayrışma, yıkanma ve birikme olayları sonucunda olmaktadır. Toprağın oluşumu sırasında geçirilen evreler ve bu evreler arasındaki karmaşık ilişkiler Şekil 15' de özetlenmiştir (Atalay,1989). Söz konusu evreler başlangıç evresi, ayrışma, dönüşme, farklılaşma ve horizonlaşma olarak tanımlanabilir.

#### **Başlangıç evresi**

Toprak oluşumunda ilk evre, ana gerecin fiziksel olarak parçalanmasıdır. Ortamdaki sıcaklık değişimi parçalanmayı başlatan bir faktördür. Parçalanma için ayrıca su, karbondioksit ve oksijene gereksinim duyulmaktadır. Bu gereksinim duyulan maddeler genel olarak hidroliz, oksidasyon, çözünme ve hidratasyon olaylarına da açıktırlar.

#### **Ayrışma**

Ayrışma, ana materyalin fiziksel olarak parçalanmasından sonra gerçekleşmektedir. Hidroliz, çözünme ve oksidasyon gibi kimyasal süreçler sonucunda, ana gereç ayrışarak hem toprak minerallerini oluşturmada hem de bitki besin maddelerini açığa çıkarmaktadır. Toprak canlılarının ortama yerleşmesi, organik madde döngüsünü hızlandırmaktadır. Karbonatlaşma olayı ile çeşitli karbonatlar meydana gelmekte, killeşme ile organik bileşikler, demir, magnezyum, çinko, bakır gibi katyonlarla birleşmektedir. Birleşme ve ayrışma reaksiyonlarının sonucunda, canlılara ait artıklar değişime uğramakta ve çeşitli yeni oksitler meydana gelmektedir.

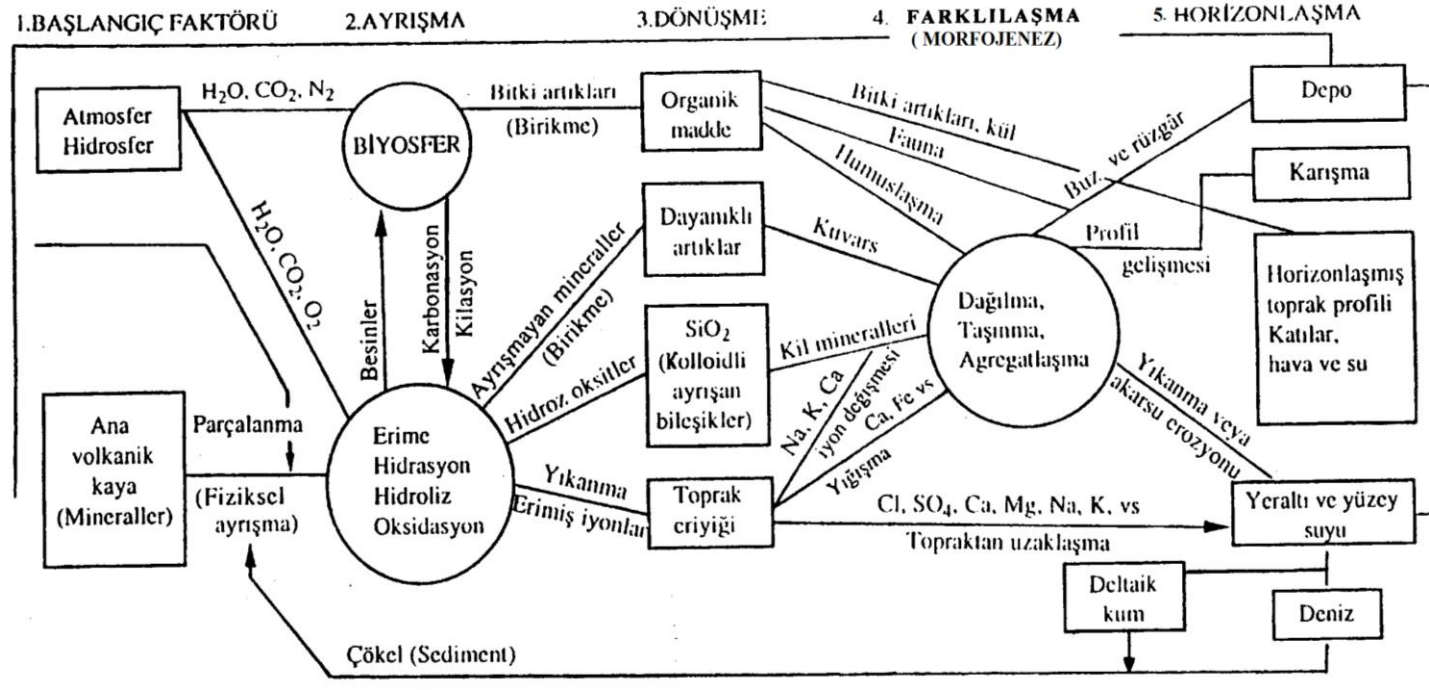
#### **Dönüşme**

Bitki ve hayvan artıkları, organik maddelere dönüşmekte, dayanıklı artıklar toprakta kalmaktadır. Çözünmüş haldeki bileşikler, toprak suyuna katılarak toprak çözeltisini oluşturmaktadır.

#### **Farklılaşma (morfojeniz)**

Topraktaki organik maddelerin ayrışması sonucunda, çeşitli mineraller açığa çıkmaktadır. Kuvars gibi, toprakta çözünmeyen maddeler, topraktaki bazı horizonlarda yığılmaktadır. İlkel minerallerin ayrışmasıyla, killer oluşmaktadır. Toprak çözeltisindeki sodyum, potasyum ve kalsiyum iyonları, killer tarafından tutulmakta, böylece kalsiyum ve demir birikimleri artmaktadır. Toprakların fazla yıkandığı koşullarda klor, sülfat, kalsiyum, magnezyum, sodyum, potasyum gibi elementler, topraktan uzaklaşmaktadır.

Toprak yapısında fiziksel, kimyasal ve biyolojik yönden yeni bir şekillenme ve değişim olmaktadır. Toprak parçaları birleşip kırıntıları kümeleri, blokları meydana getirmekte; kil, silis, kireç gibi maddeler, yağışlara bağlı olarak toprak profili boyunca taşınarak biriktirilmektedir. Bu şekilde, toprakta, fiziksel ve kimyasal özellikleri farklı katlar oluşarak toprak profili oluşmaktadır.



Şekil 15. Toprağın oluşumunu etkileyen evreler ve bu evreler arasındaki ilişkiler (Atalay 1989).



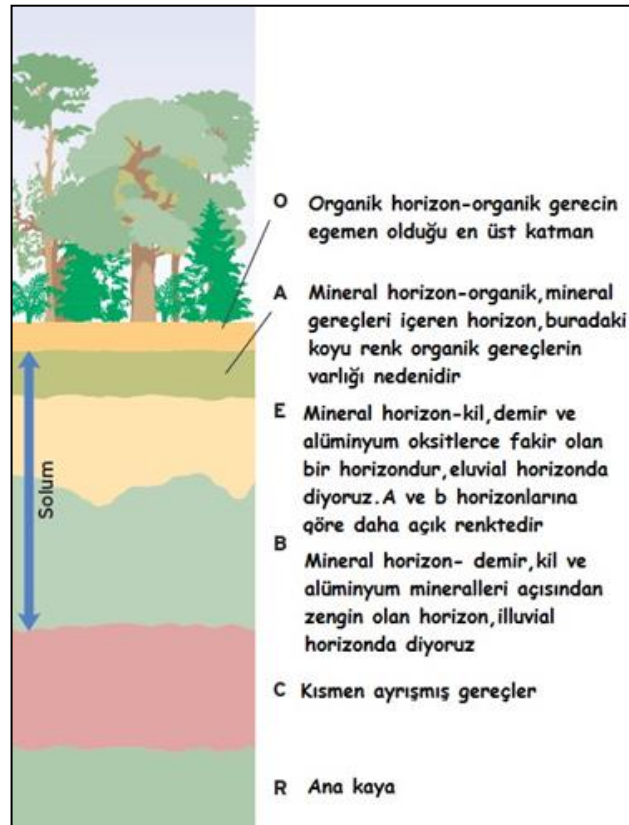
## Horizonlaşma

Toprakta, yüzeyden başlayarak, ana gereçleri de kapsayacak şekilde alınan kesite **toprak profili** denir. Toprak profili, çeşitli horizonları ve katmanları içerir. Horizon, toprak oluş süreçleri ile oluşmuş, belirgin özellikleri bulunan ve toprak yüzeyine az çok koşut olarak dizilmiş toprak katmanıdır. Topraklarda, genetik horizonlardan başka, toprak katmanı olarak adlandırılan katmanlar bulunur. Bunlar, genetik toprak horizonu değildir. Toprak katmanları, genellikle, alüvyal gereç, kumlar, lösler ve volkan küllerinden oluşan olgunlaşmamış topraklarda görülür.

Profili meydana getiren çeşitli horizonların dizilişi, derinliği, kimyasal özelliği, dokusu ve rengi, toprak sınıflaması ve haritalamasında çok önemlidir. Topraklar, derinlik bakımından farklılık gösterir. Genel olarak, ılıman bölgelerde, toprak profili 90-150 cm derinliğine kadar incelenir. Toprak profili, kutuplara doğru inceler, ekvatora doğru derinleşir. Sulama ve akaçlama bakımından yeterli olmayan topraklarda, profil incelemelerinin derin yapılması önemlidir.

## TOPRAK PROFİLİ

Topraklar, toprak profilinin özellikleriyle tanımlanır. Toprak profilinin de yer yüzeyinden ana kayaya kadar uzanan dikey bir kesiti içermektedir. Buda toprak horizonları olarak bilinen farklı yatay katmanlardan oluşur. Bu şekildeki bir dizilim toprakta suyun yatay devinimi ile oluşmaktadır. Toprak horizonları profiledeki konumlarına göre harflerle tanımlanır. Chapman (2008), toprağın önemli horizonlarını Şekil 16' de görüldüğü gibi tanımlamıştır.



Şekil 16. Nemli bir bölgede iyi akaçlanmış bir toprakta gelişmiş olan bir toprak profili, önemli horizonları ve bunların görelî konumunu göstermektedir.

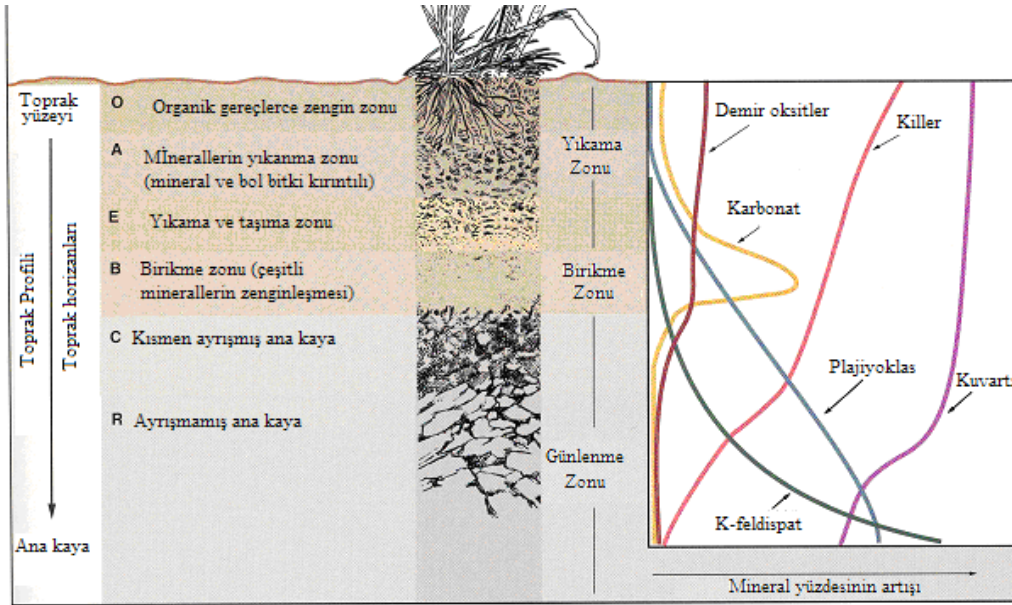
'O' horizonu büyük ölçüde organik gerecin yer aldığı en üst katmanı temsil eder. A horizonu, O horizonunun altında yüzeye yakın bir yerde oluşur. Bu horizon mineral ve organik ( özellikle humus)

gereçlerinin bir karışımını içerir ve bu yüzden daha alttaki horizonlara göre daha koyudur. A horizonu altında elluviyal horizon ya da E horizonu yer alır.

E horizonunda kil, organik madde gibi demirin daha az yer aldığı bir horizon olup genel olarak açık kül rengine sahiptir. E horizonları ormanların iyi geliştiği topraklarda yağışın yüksek olduğu yerlerde daha iyi bir konumda yer almaktadır. Daha altta yer alan B horizonu kil, demir, organik gereç ve karbonatların biriktiği bir zon olup, genel olarak illuviyal horizon adını almaktadır. Bazı topraklarda demir oksit birikimi, B horizonunun kırmızı renk almasına neden olur.

A, E ve B horizonları 'solum' olarak adlandırılırlar. Solum toprakta oluşan süreçlerin etkin olduğu bitki kökleri ve hayvanların yaşadığı geniş bir alan olarak tanımlanır. B horizonu C horizonuna dereceli olarak geçer. C horizonu da 'regolith' olarak bilinen günlenmiş ana kayanın pekişmemiş olan gereçlerinden oluşmaktadır. Regolith fiziksel ve kimyasal süreçlerden etkilenirse de az oranda da olsa biyolojik faaliyetlerden de etkilenir. Onun için bu bölüm 'solum'un bir parçası değildir. Eğer C horizonunun altında günlenmemiş kayalar varsa bunlar da ana kaya olarak adlandırılır ve R (Rock) horizonu olarak tanımlanır.

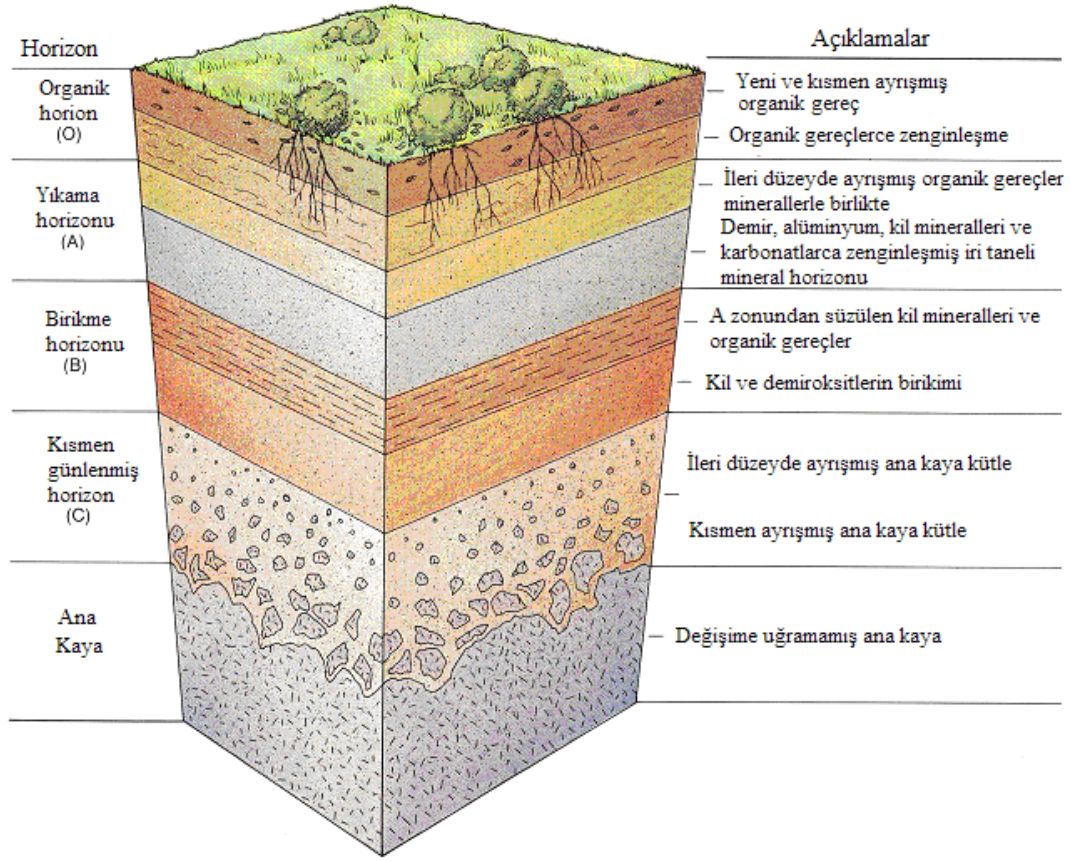
Bazı toprak profillerinde horizonların rengi belirgindir ve kesin sınırlarla ayrılırlar. Oysa bazı toprak profillerinde de iki horizon arasında dereceli geçebilir ve sınıfları birbirinden ayırt etmek zordur. Buna göre renk, toprak horizonlarını birbirinden ayırt etmede önemli bir unsurdur. Renk, toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini yansıtır. Resmi olmayan terimlerden olan "üst toprak ve alt toprak" da sıkça kullanılır. Üst toprak bitkilerin yetiştiği A horizonunun üst düzeyine, alt toprak ise üst toprağın altında ve B horizonuna karşılık gelir. Bazı minerallerin toprak profilindeki bolluk oranları ise Şekil 17' de ayrıntılı olarak sunulmuştur.



Şekil 17. Bir toprak profilinde kimi minerallerin bolluk oranları (Davidson ve diğerleri, 1997).

Ülkemizde de kullanılan toprak profilindeki ana horizonlar O, A, B, C ve R (D) harfleri ile gösterilmektedir (Şekil 18). Toprak profilinde, en üstte bitki ve hayvan artıklarının parçalanmasından ve ayrışmasından meydana gelmiş olan **organik horizonlar**, bunun altında **mineral horizonlar** ve en alt zonda da **çözülmüş ana gereçler** yer alır. Bu ana horizonlar, kendi aralarında da ayrılabilirse, sembolden sonra rakam yazılır. O<sub>1</sub>, O<sub>2</sub>, A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub>, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub> gibi. Burada kullanılan 1 ve 3 rakamı, horizonlar arasındaki geçiş zonlarını gösterir.





Şekil 18. Toprak profili (Coch ve Ludman, 1991).

Organik horionlar, toprak yüzeyinde, canlı artıklarından meydana gelmiş olup O harfi ile gösterilmektedir. Bu horion, O<sub>1</sub> ve O<sub>2</sub> olmak üzere iki alt bölümü ayrılmaktadır. **O<sub>1</sub> horionu**, gevşek ve oldukça az ayrılmış dal, ibre, yaprak gibi organik madde birikimlerinden oluşmaktadır. Ilıman bölge orman topraklarında bulunan bu horion, genellikle, mera topraklarında yer almamaktadır. Kalınlığı, mevsimlere göre değişebilmektedir. **O<sub>2</sub> horionu**, organik artıkların büyük bir kısmının ayrıştığı ve humuslaşmanın gerçekleştiği horiondur. Lifli, keçeli veya kümeli bir yapı gösterebilmektedir.

Arazideki toprak araştırmalarında, dikkat edilmesi gereken hususların başında, horionların doğru bir şekilde ayırt edilmesi ve horionları gösterecek sembollerin doğru bir biçimde kullanılması gerekmektedir.

Toprak horionlarının adlandırılması ile ilgili bazı açıklamalar öz olarak aşağıda sunulmuştur.

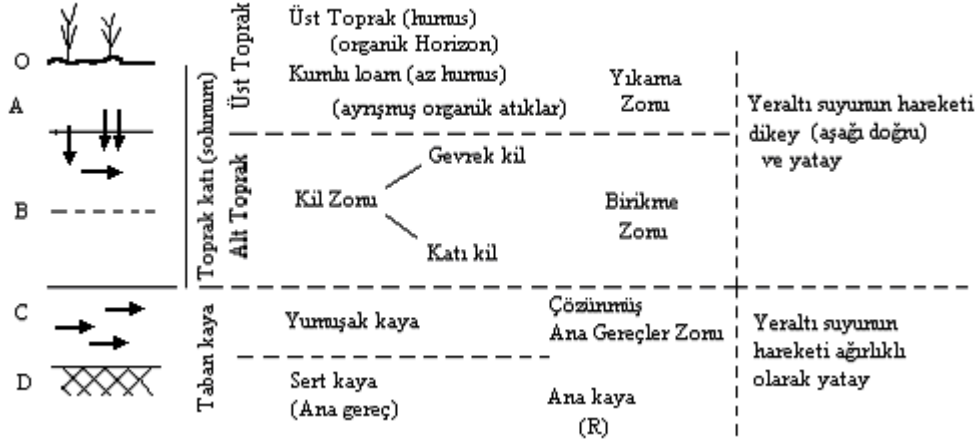
- O<sub>1</sub>** : Fazla ayrılmamış yapraklar ve organik madde artıkları
- O<sub>2</sub>** : Kısmen ayrılmış ve birbirine karışmış organik artıklar
- A<sub>1</sub>** : Mineral madde ile karışmış organik maddece nispeten zengin koyu renkli horion
- A<sub>2</sub>** : Yıkamanın en fazla olduğu açık renkli horion. Podzolik topraklar için tipik, Çernozyomlarda az oluşmuş veya yok
- A<sub>3</sub>** : Geçiş zonu, en fazla A<sub>2</sub>'ye benzer
- B<sub>1</sub>** : Geçişzону daha çok B<sub>2</sub>'ye benzer, bazen bulunmaz
- B<sub>2</sub>** : Kil, demir-alüminyum oksitlerin ve organik kolloidlerin en fazla biriktiği horion; prizmatik ve bloklу yapının oluştuğu katman

- B<sub>3</sub>** : C horizonuna geçiş  
**C** : Çözülmüş ana gereçler; bazı topraklarda kalsiyum ve çeşitli alkali ve hatta tuzlu maddelerin biriktiği horizon; devamlı taban suyu şartları altında gley zonu da bulunabilir (hidromorfik topraklarda olduğu gibi)  
**Cca** ve **Ccs** Kalsiyum karbonat, kalsiyum sülfatın birikme horizonları  
**R** : Çözölmeye uğramamış ana materyal; burası sert bir kaya ya da tortul kayatürü olabilir.

Alt horizonların özelliklerini belirtmek için, küçük harfler kullanılır. Örneğin, B<sub>2</sub> horizonunda demir çökelleri mevcut ise Bir<sub>2</sub> şeklinde yazılır; yani, önce ana horizon, sonra alt horizonun özelliğini gösteren sembol, daha sonra da alt profil numarası gösterilir. Alt horizonları temsil eden ve küçük harflerle gösterilen sembollerin açıklamaları aşağıda görölmektedir (Atalay 1989):

- a** : iyi ayrışmış organik madde  
**b** : gömülmüş veya örtölmüş horizon (Ab<sub>1</sub>)  
**c** : konkresyonlu olan veya olmayan sert yumrular  
**ca** : kalsiyum karbonat birikimi (Cca, Bca)  
**cn** : demir, manganez ve fosfat bakımından zengin zon (konkres birikimi)  
**cs** : kalsiyum sülfat (jips) birikmesi (Ccs)  
**e** : orta derecede ayrışmış organik madde (Be)  
**f** : donmuş horizon (Cf)  
**g** : gley veya redüksiyon zonu (Bg<sub>2</sub>)  
**h** : organik madde birikimi  
**ir** : demir çökelleri (Bir<sub>2</sub>)  
**k** : karbonatların birikimi  
**m** : silikat killerinin birikmesi ile hasıl olan sert kat  
**n** : sodyum birikimi  
**o** : eski oksitlerin yeniden birikimi  
**q** : silikatların birikimi  
**r** : sert kayadan ibaret tabaka veya yumuşak ana gereç  
**sa** : kalsiyum sülfat (CaSO<sub>4</sub>) ve kalsiyum karbonat (CaCO<sub>3</sub>) tan başka meydana gelmiş olan tuz birikimi  
**si** : silisli materyal ile çimentolaşma (alkali toprakta eriyikhalde)  
**t** : kil birikmesi  
**v** : humusça fakir, demirce zengin kırmızı gereç  
**x** : fragipan, fazla kil birikim veya çimentolaşma sonucunda oluşmuş yoğun ve sert katman  
**u** : tam ayrışmamış veya teşekköl etmemiş horizon  
**z** : jips dışındaki fazla erir tuzların birikimi

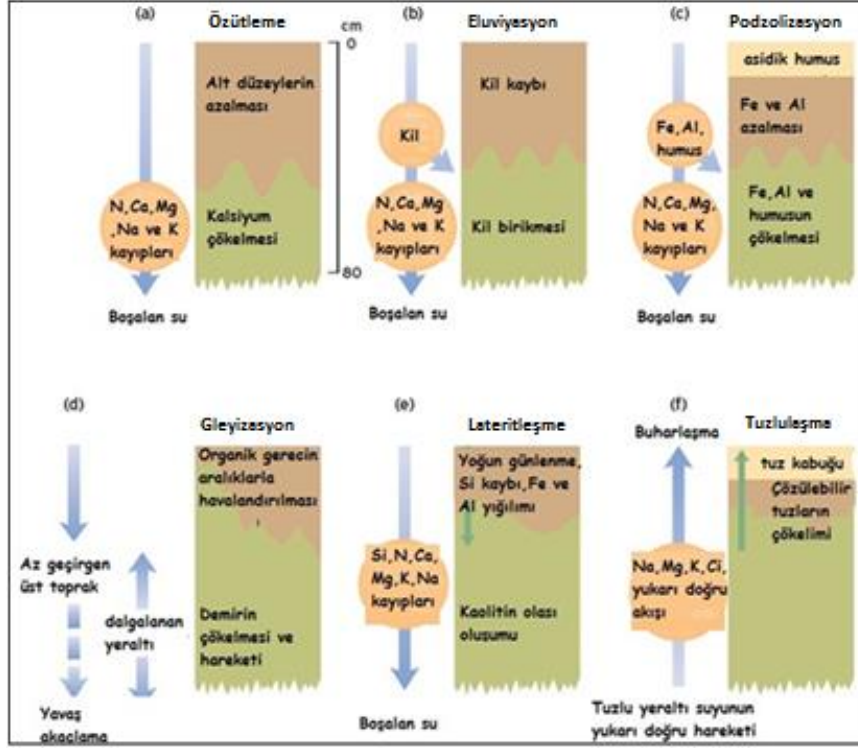
Şekil 19' de ise bir toprak profilinde yer alan horizonlar, killerin konumu ve yeraltı sularının hareketi arasındaki ilişkiler toplu olarak izlenmektedir.



Şekil 19. Bir toprak profilinde ayırtlanan horizonlar, killerin konumu ve yeraltı suyunun hareketi arasındaki ilişkiler.

## TOPRAĞIN DEĞİŞİMİ SÜREÇLERİNDE ETKİN OLAN MEKANİZMALAR

Toprağın oluşumu ve değişimi evrelerinde gelişen süreçler genel olarak pedojenez olarak tanımlanır. Toprak, yüzlerce hatta binlerce yıllık zaman aralığında oluşur. Toprak, açık bir sistemdir. Toprak kaybı ve toprağın yer değiştirmesi bu sistem içinde yer alır. Toprak horizonları toprak oluşum süreçleri sonucunda gelişir. Bu oluşum süreçlerine dair mekanizmalar; eklenme, taşınma ve karışma, yer değiştirme ve çeşitleri oluşuklara dönüşmeyi içeren özütleme (liçing), eluviyasyonu, podzolizasyon, gleyizasyon (gleyleşme, gleying), lateritleşme, tuzlulaşma olarak adlandırılmaktadır (Şekil 20).



Şekil 20. Toprağı oluşturan süreçlere dair mekanizmalar [(a) özütleme (liçing); (b) eluviyasyonu; (c) podzolizasyon; (d) gleyizasyon; (e) lateritleşme; (f) tuzlulaşma] ve suyun hareketi (Chapman, 2008).

Yukarıda sunulan süreçlerde suyun devinimi önemli bir işleve sahiptir. Toprak gereçlerinin temel girdisi ana kayadan oluşur. Ana kayanın güllenmesiyle oluşan tanecikler ana kayadan ayrışır ve toprağın alt katmanlarına eklenir. Toprağın diğer girdileri özellikle organik gerecin yüzeydeki birikiminden kaynaklanır. Bu girdiler güneşten kaynaklanan enerji ve rüzgâr, atmosferden kaynaklanan gazların etkisiyle değişime uğrarlar.

Topraktaki kayıplar, rüzgâr ve suyun etkisiyle meydana gelen erozyon ve özütlemeye kaynaklanmaktadır. Erozyon, toprağın ağırlıklı olarak yağış ve rüzgârla; **özütleme (liçing)**, ise toprak gereçlerinin kimyasal olarak çözünerek uzaklaşmasıdır. Her iki mekanizma, yüksek düzeyde yağış ve akaçlamanın yapısından etkilenmektedir. Özütlemeye, özellikle süzülen su, çözülmüş olan gereçleri toprak profilinin alt düzeylerine doğru taşır ve alt katmanlardaki çökelimini sağlar. Bu taşınma, bitkilerin çözülmüş olan gereçleri bünyesine alması ve gaz kaybı ile birlikte gerçekleşmektedir.

Organik ve inorganik bileşenlerin karışması toprağın büzülmesi ve şişmesi, suyun çözülmesi ve donması, toprak hayvanları, mikroorganizmalar ve bitkiler tarafından oluşturulan önemli bir süreçtir. İnsanlar toprağı işleyerek fiziksel karışımına neden olurlar. Kimyasal ve biyolojik süreçler toprak

bileşenlerini taşıyabilirler. Organik bileşenler ayrışır. Bazı mineraller çözülür bazıları da çöker. Bu dönüşümler ana gereçte renk değişimine ve toprak yapısının gelişmesine yol açarlar.

Toprak profilindeki gereçlerin yer değiştirmesi su potansiyeliyle (örneğin suyun emilmesiyle) ve toprak gözeneklerindeki kimyasallarla gerçekleşir. Asılı kalan ve çözülen gereçler toprak profili içinde aşağıya doğru ya da yukarıya doğru hareket edebilirler. Uzun bir zaman aralığında meydana gelen bu süreçlerin sonunda farklı toprak horizonları meydana gelir. Buna göre belli bir yerde egemen olan süreçler o yerdeki çevresel koşullara bağlıdır.

Yağışın evapo-transpirasyonu aştığı yerlerde suyun hareketi aşağıya doğru olur (Şekil 20a). Özütleme toprağın asitliğiyle gelişir. Serbestçe suyun aktığı topraklarda kil, üst horizonlardan süzülerek daha alt horizonlara taşınır. Süspansiyon halindeki gereçlerin yıkanması ve E horizonu (eluvial toprak) oluşumu ile karakterize olan bu olgu **eluviasyon** olarak bilinir (Şekil 20b). Kil, gereçlerin yüzeyinde ve kayaların içindeki gözeneklerde yer alır. Toprak horizonları ince taneli olarak tanımlanan killerin birikimiyle karakterize edilir. Eluviasyon sonunda, asidik kahverengi toprak olarak bilinen toprakların bir grubu oluşur (Şekil 21).



Şekil 21. *Eluviasyona örnek bir görüntü; killi kahverengi bir toprak* (photo courtesy of John Conway; Chapman, 2008' den).

Rusça, pod altı, zola da kül anlamına gelir. Yani podzol, altı kül renginde olan topraklar demektir. **Podzolizasyon** gereçlerin yer değiştirmesi olup, yoğun bir şekilde özütlemenin olduğu topraklarda oluşabilir (Şekil 20c). Podzolizasyon olayı, soğuk ve nemli iklim şartlarının hüküm sürdüğü çoğunlukla iğne yapraklı ya da kimi zaman geniş yapraklı orman örtüsü altında meydana gelmektedir. Demir ve alüminyum bileşenlerini içeren organik asidik karmaşık E horizonundan geçerek suyla birlikte B horizonuna ulaşır. Podzolizasyon ormanlar ve sıcak ortamda yetişen bitkilerin olduğu yağışlı yerlerde de serbest olarak oluşabilir. Bu süreçte oluşan nihai ürün de podzol toprak olarak adlandırılır (Şekil 22).

Podzolun özellikleri B horizonunda demir, alüminyum, ve nemli gereçlerin birikimi, özütmeye uğramış E horizonu ve organik bir katmanın varlığıyla tanımlanır. Bu topraklar tarım için çok verimli değildir. Çünkü bunlar asidik bitki köklerinden daha ötede özütlemenin olduğu yerlerde meydana gelirler.





Şekil 22. *Bir podzol toprak örneği* (photo courtesy of John Conway; Chapman, 2008'den).

Podzolizasyonu kimi zaman kalsifikasyon (Ca' un, yağışın az olduğu durumlarda birikmesi ve çözünen tuzların yağışın el verdiği yere kadar ulaşması) ya da tuzlulaşma (suda çözünen tuzların toprakta birikmesi) izler.

Yeraltı su düzeyinin yüksek olduğu ve akaçlamanın kötü olduğu koşullarda gereçlerin devinimi azalır ve toprakta demir bileşikleri yeniden çökelir (Şekil 20d). +2 değerlikli demir bileşikleri mikroorganizmalar tarafından oluşturulur ve bu da **gleyizasyon** olarak adlandırılır. Toprak, kahverengi kırmızı demir oksitlerle Şekil 23' de görülen kanallar ve büyük gözenekler nedeniyle benekli bir görünüm kazanır. Bu toprakların akaçlaması iyi yapılırsa, tarıma uygun hâle gelebilirler. Toprak, demir oksitler nedeniyle rengi kırmızı kahverengidir. Bunlar taşınırsa gri ya da mavimsi renk alırlar. +3 değerlikli demirin azalması ise gereçlerin devinimini arttırır. Suyun içindeki dalgalanmalar nedeniyle redüksiyon ve oksidasyon evreleri birbirlerini izlerler.



Şekil 23. *Nemli bir ortamda oluşan gleyizasyona dair bir görüntü* (Chapman, 2008).

Günlenmenin yerli yerinde olması, katyonların (örneğin kalsiyum, magnezyum, potasyum ve sodyum oranlarında) ayrışmasında ve horizonların yeniden şekillenmesinde belirleyicidir. Bu süreçte,

alüminyumca ve demir oksitlerce zenginleşme olur. Bu toprakların kırmızı rengi hematit ve götit minerallerinin varlığı ile ilgilidir. Bu şekilde oluşan toprağa laterit, sürece de **lateritlaşme** denir (Şekil 24). Laterit, tropikal ve subtropikal bölgelerde fazla yağış ve sıcaklık koşullarında ayrışma sonucunda oluşur.



Şekil 24. Yağışlı nemli ve sıcak tropikal bir iklimde oluşan kırmızı lateritik toprak (ABD, U.S. Department of Agriculture, Chapman, 2008' den).

Lateritte, demir üç değerli demir oksit halindedir. Laterite kırmızı rengi bu madde verir. Eğer drenaj iyi ise kuvvetli oksitlenme olur. Bu şekilde oluşan laterit alüminyum oksit ve demir oksitlerce zengindir. Lateritlerde silikat minerallerine bağlı silis bulunmaz. Ancak ilksel kuvars minerallerine rastlanabilir.

Buharlaşma-terlemenin (Evapo-transpirasyonu) yağışı aştığı yerlerde (örneğin kurak ve yarı kurak yerlerde) su toprak yüzeyine doğru hareket eder ve buharlaşır. Yeraltı su düzeyinin yüzeye yakın olduğu durumlarda, tuzlar da, yüzeye yakın yerlerde çökelir. Bu süreç, **tuzlulaşma** olarak tanımlanır ve esas itibarıyla suyun akışı yönü ile özütleme sürecinin tersi bir gidişe sahiptir. Tuzlulaşmayı önlemek için yeraltına doğru süzülen suların akaçlanması (drenajı) sağlanmalıdır.

#### BEŞERİ FAALİYETLERİN TOPRAĞA ETKİLERİ VE DENETİMİ

Toprak ve toprağın işlevleri, özellikle beşeri (insani) faaliyetler nedeniyle risk altındadır. Toprak kirliliğine neden olan başlıca kaynaklar, sanayi atıkları, madencilik atıkları ve tarım başta olmak üzere, vahşi depolanan evsel ve tehlikeli atıklar, plansız kentleşme, aşırı gübre ve tarımsal ilaçların kullanımı ve hayvancılık atıklarıdır. Söz konusu bu atıkların tümü beşeri faaliyetlerin ürünüdür. Bu faaliyetler, toprağın erozyonuna ve kirliliğine (ağır metaller ve pestisitler gibi organik kirlleticiler, nükleer atıklardan oluşmaktadır), organik gereç kaybına, tuzlanmaya ve biyoçeşitliliğin kaybına yol açmaktadır.

Sonuç olarak toprağın kalitesi bozulmaktadır. Kalitesi bozulan toprağın öncelikle mevcut durumu belirlenmelidir. Bunun için toprağın kapsamlı bir şekilde analizi yapılmalıdır. Şekil 25'de toprak kirliliğini belirleme ile ilgili bir görüntü sunulmuştur. Günümüzde toprak analizlerine dair çeşitli teknikler de gelişmiştir. Bu tekniklerden yararlanarak, öncelikle toprağın mevcut durumu ortaya koyulmalıdır.

Bu çerçevede, toprağın analizi çalışmalarında toprağın arazi yetenekleri ve belirleyici değişkenler ışığında arazi kullanım yetenek sınıfları ve temel özellikleri tanımlanmalıdır. Daha sonra,

toprağın bitki örtüsü ve fauna ile birlikte bir ekosistem olduğu gözetilerek mevcut durum değerlendirilmelidir.

Ayrıca gübrelerde aşırı derecede azot ve fosfor kullanımı, toprağın asidik bir niteliğe bürünmesi, toprağın sıkışması gibi çevresel sorunlar yaşanmaktadır. Bu tehditlerin tümü toprağın insan tarafından kullanma kapasitesini düşürmektedir. Söz konusu atıklar, mevzuata göre bertaraf edilmemekte, kentleşme çevre düzeni planlarına göre yapılmamakta, erozyonun denetimi konusunda yeterli duyarlılık gösterilmemektedir.



Şekil, 25. *Toprak kirliliğini belirleme çalışmaları*  
(<http://www.abcccevre.com/toprak-kirliligi-tespiti-calismalari.html>;  
12 Eylül 2018, saat 9.25).

Genel olarak, toprağın kullanılan toplam alanı da insan faaliyetleri nedeniyle azalmaktadır. Ayrıca ormanların, çayırların ve meraların kaybı da tarım alanlarının azalmasına eşlik etmektedir (Oldeman ve diğerleri, 1991). Örneğin, Avrupa'da yaklaşık 633 milyon hektar alan, çevrenin bozulmasının çeşitli türlerinden etkilenmiştir.

Toprağı ve toprağın işlevlerini etkileyen en önemli sorunlar toprak erozyonu ve toprağın asitleşmesi ile toprak kirliliğine yol açan hususlardır. Bu çerçevede söz konusu sorunların toprağın işlevinin üzerindeki etkilerinin büyüklüğü ve bunlarla ilgili çözümler aşağıda kısaca sunulmuştur.

### **Erozyon**

Toprağın erozyonu toprağın partiküllere ayrılmasını ve taşınmasını içeren iki temel süreçle tanımlanır. Yağışlar ve fırtınalar nedeniyle toprağın taşınmasının hızlanması doğaldır. Taşınma işlemi belli bir oranı aştıktan sonra yüzeydeki akışın hızı artar. Aşırı otlatma bitki örtüsünü zayıflatır. Toprağın erozyonunda suyun etkisi % 56, rüzgârın etkisi ise % 28 kadardır. Son 40 yıl içinde Dünya'da ekilebilir arazinin üçte biri erozyon nedeniyle yitirilmiştir. Bu da yılda 10 milyon hektara karşılık gelmektedir (Pimentel ve diğerleri, 1995). Erozyonunun en önemli etkisi tarımın sürdürülebilirliğini tehdit etmesidir. Sel ve taşkınlar, bazı bölgelerde ürünlerin yok olmasına ve derin kanalların açılmasına neden olmaktadır. Bu da tarımı olumsuz şekilde etkilemektedir.

Uzun vadede toprağın erozyonu, toprak örtününün incelmesine ve her yıl toprağın verimli üst katmanının taşınmasına yol açmaktadır (Morgan, 1986). ABD'de toprağın her yıl yaklaşık  $3.6 \times 10^9$  ton, suyun  $118 \times 10^9$  ton ve ekilebilir alanın 160 milyon hektarını yok etmektedir (Pimentel ve diğerleri,



1995). Akdeniz havzasında toplam alanın üçte birinden daha fazla, ortalama olarak yılda 1 hektar alanda 15 ton toprak kaybı olmaktadır. Bu da toprağın % 8 oranda verimliliğini azaltmaktadır (Pimentel ve diğerleri, 1995). Rusya Federasyonu'nda tarım toprağının humus içeriği her yıl % 1 oranda azalmaktadır (Karavayeva ve diğerleri, 1991).

Erozyon alanlarının artması, uzun vadede humus oluşumunu da tehdit etmektedir. Hindistan'da 113 ile 138 milyon hektar arazi su ve rüzgâr erozyonunun tehdidi altındadır. Böylece 5.37 ile 8.4 ton bitki üretimi de yok olmaktadır (Gerrard, 2000). Yerli yerinde oluşan etkilere ek olarak toprak, su ve rüzgâr erozyonu nedeniyle oldukça uzak yerlere taşınabilmektedir. Taşınan toprak, su havzalarında çökellerin depolanmasıyla, yeni sorunlara yol açmaktadır.

Diğer bir sorun da tarımda kullanılan kimyasallardan (gübre, ağır metal, pestisitler) ileri gelmektedir. Kullanılan kimyasallar, akarsuların alt havzalarındaki su kaynaklarını kirletmektedir. Kirlenen toprak ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Örneğin Pimentel ve diğerleri (1995) ABD'deki toprak erozyonunun her yıl 27 milyar dolar ekonomik kayba yol açtığını, bunun 20 milyar doları besinlerin yer değiştirmesi; 7 milyar doları da su ve toprak kaybı nedeniyle olduğunu ileri sürmektedir.

Öte yandan, ABD'nin rüzgâr ve su erozyonunun yılda 44 milyar dolar erozyonu önleme çalışmalarına harcadığı bilinmektedir. AB'de 1991 yılında toprak erozyonunun maliyetinin yılda 280 milyon euro olduğu tahmin edilmektedir. Bu da tarımsal üretimin kaybı ile su kaynaklarının sel ve taşkınlar nedeniyle meydana gelen zararlar nedeniyle olmaktadır. Ayrıca toprağı koruma ve erozyonla mücadelenin maliyeti 15-20 yıllık bir zaman diliminde 3 milyar euronun üzerinde olduğu tahmin edilmektedir.

Toprağın erozyonunu denetim önlemleri, başlıca toprağın yerli yerinde korunması, bitki örtüsünün geliştirilmesi, sel, taşkın ve rüzgârların etkilerini azaltmak için çeşitli önlemlerin alınması konularında yoğunlaşmalıdır. Tarımsal uygulamalarda kullanılan gübrelerin de toprak ve su kaynaklarının kalitesini etkileyeceği göz ardı edilmemelidir. Bunun için sorunları havza ölçeğinde ekonomik yönleri ile ele almakta yarar vardır. Her ne kadar toprağın erozyonunu geriye dönüştürülemezse ve erozyonun olumsuz etkileri tümüyle önlenemezse de azaltılabilir.

### **Toprağın Asitleşmesi**

Toprağın doğal ortamdan etkilenerek asitleşmesi uzun vadede oluşan doğal bir afettir. Fakat toprağın asitleşmesi, özellikle fosil yakıtlardan kaynaklanan SO<sub>2</sub>' ve CO<sub>2</sub> gibi bileşiklerin, atmosferde su buharı (H<sub>2</sub>O) ile birleşerek asidik yağmurlara dönüşmesiyle ortaya çıkmaktadır. Asidik yağmurlar, toprağın asitleşmesine etki eden en önemli faktördür. Ayrıca tarımdaki uygulamalar; örneğin ürünlerin işlenmesi, hasadı; topraktaki akaçlamalar ve azotlu gübrelerin aşırı kullanımı da toprağın asitleşmesine yol açmaktadır.

Toprağın asitleşmesi ekosistem üzerinde önemli etkilerin olmasına karşın çok da görünür bir etkiye sahip değildir. Toprağın asitleşmesine duyarlı olan topraklar, temelde yer alan magmatik ve metamorfik kayaların üstünde gelişen topraklardır. Bu kayaların üzerinde gelişen toprak, temel katyonlar ve kil içeriği bakımından zayıftır. Yüksek oranda temel katyon içeren topraklar ve bunların kil içerikleri asitleşmenin kapasitesini artırırlar. Böyle durumlarda asitleşmeyi önlemek için kritik bazı gereçlerin kullanımı gerekmektedir.

Asitleşme nedeniyle topraktaki alüminyum, magnezyum, kurşun, kadmiyum, çinko gibi zehirlilik etkisi olan ağır elementler toprakta çözünürler. Bu da bitki topluluklarının gelişmesini engeller. Örneğin Orta Avrupa'da ormanların azalması, toprakta asitliğin artmasıyla ilişkilendirilmektedir (Şekil 26). Toprak organizmalarının artışı bile asidik ortama uyum gösteren türlerde olur. Toprağın asitliği bu ortamdan geçen suyun asitliğine de neden olur. Toprakta oluşan asitlik ve yüksek alüminyum derişimleri biyoçeşitliliğin azalmasına ve diğer organizmaların kaybına yol açabilir.



Şekil 26. *Asit yağmurları nedeniyle meydana gelen orman faciası* (Malcolm Cresser, Chapman, 2008' den).

1980'li yıllardan beri, topraktaki asitlik nedeniyle ortaya çıkan kirletici emisyonlarının azalması yönünde çeşitli ulusal ve uluslararası çabalar [The Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution (uzun vadeli hava kirliliği konvansiyonunu)] devam etmektedir. Toprağın asitleşmesi önemli bir sorundur. Tüm gezegende çeşitli ülkeler atmosferde oluşan kirliliğin yarattığı asit yağmurlarından etkilenmektedir.

### **Toprak Kirliliği**

Toprak kirliliği, toprağın verimini düşüren ve toprağın temel işlevlerini bozan tüm doğal ya da beşeri baskıların yarattığı bir olgudur. Toprağın kirlenmesine neden olan süreçler ve kaynaklar birbirinden farklı iki grupta toplanabilir. Birincisi, jeolojik ortamdan ileri gelen ve ekosistemlere yansıyan toprak kirliliğidir. Diğeri ise, beşeri etkinlikler sonucu oluşan kirleticilerin yarattığı toprak kirliliğidir.

Özellikle beşeri etkinlikler sonucu oluşan çeşitli bileşikler, toprağın eşik sınırlarını aşır, özümleme kapasitesinin üzerine çıkınca, toprakta yaşayan fauna ve florayı zehirler. Örneğin, ağır metaller, pestisitler ve gübreler toprağın kirlenmesine yol açmaktadır. Bu konuda tanımlanmış kaynaklardan ileri gelen toprak kirliliği (yerel ya da noktasal kaynak kirliliği) ile tanımlanamayan kirlilik (yaygın ya da noktasal olmayan kaynaklar) arasında bir ayırım yapılabilir. Kirleticilerin toprağa girişi, toprağın işlevlerini etkiler ve zarar görmesine neden olmaktadır. Topraktaki kirleticiler ayrıca su kirliliğini de yaratabilir.

### **Ağır Metaller**

Arsenik (As), civa (Hg), çinko (Zn), kurşun (Pb), krom (Cr), bakır (Cu) ve kadmiyum (Cd) gibi ağır metaller toprakta doğal olarak bulunabilirler. Ayrıca bunlar sanayi, tarım, atıkları yakma, trafik ve fosil yakıtların kullanımı gibi birçok kirlilik oluşturan kaynaklardan da ortaya çıkabilirler. Kirleticilerin uzak mesafelere taşınması ve çökmesi, bir alanda metallerin birikimine yol açabilir. Genellikle ağır metaller, madencilik ve sanayi faaliyetleri sonucu bir alanda yoğunlaşabilir. Buna göre en kirli alanlar büyük ölçüde sanayi bölgelerinde görülmektedir. Toprakta biriken ağır metaller organik gereçlerle birlikte bitkilere ve bitkilerle beslenen hayvanlara ve insana geçebilirler. Bu çerçevede, toprağın asitliği artarsa ağır metaller yüzey ve yeraltı sularına da geçerler. Sonuç olarak besin zincirinin ve içme sularının kalitesi bozulabilir.

### ***Pestisitler ve Organik Çözücüler***

Pestisitler, petrol, klorlanmış hidrokarbonlar ve bunların ürünü diğer gereçler tarım ve sanayinin üretim süreçlerinde yaygın olarak kullanılırlar. Bu kaynakların yan ürünlerinden bir olan dioksinler de atmosferik süreçlerle geniş alanlara yayılabilirler. Atık suların ve deponi alanların yarattığı kirlilik toprağa geçebilir.

Her ne kadar, çağdaş tarım üretim sistemleri, pestisitlerin denetimi ve ürünlerin korunması hususlarında belirleyici ise de pestisitler toprağa doğrudan ya da dolaylı olarak geçebilirler. Pestisitlerin yoğun kullanımı 2. Dünya Savaşı'ndan beri yoğun bir biçimde olmaktadır. Kuzey ve Batı Avrupa'da pestisitlerin kullanımı 1980'lerde doruk noktasına ulaşmıştır (Stanners ve Bourdeau, 1991).

Pestisitlerin toprakta davranışı, bunların türü, kimyasal özellikleri ve iklime göre değişmektedir. Özellikle eski nesil pestisitler geniş bir etki alanına sahiptir. Bu pestisitler, amaçlanmadığı halde bazı organizmaları da etkilemektedir. Pestisitler, adsorbsiyon yoluyla organizmaları doğrudan etkilerler. Pestisitlerin toprağa ve yeraltı sularına geçişi sırasında da mikroorganizmalar etkilenir. Avrupa'da pestisitlerin içme sularındaki eşik değeri  $0.5 \mu\text{g l}^{-1}$  (EEC 80/778) olarak kabul edilmektedir. Ayrıca, toprakta kullanılan pestisitlerin etkisi, kullanılan pestisitlerin türüne bağlı olarak değişmektedir. Pazarda binden fazla bileşik içeren pestisitler vardır. Bunların her biri toprakta farklı değişimlere yol açar. Dolayısıyla pestisitlerin yarattığı tüm riskleri değerlendirmek ve tanımlamak güçtür.

### ***Gübre kullanımı – azot ve fosfor***

Tarımda kullanılan toprakların ek besinlere de gereksinimi vardır. Özellikle azot, fosfor ve potasyum bitkilerin gelişimi konusunda belirleyicidir. Organik gübrelerin kullanımı ürünü 5-10 kat arasında arttırmaktadır. Nitratlar bitkilere ve akaçlama sularına kolaylıkla geçerler. Fosfor, kil partiküllerinin yüzeyine oldukça kuvvetli bir şekilde absorbe olur ve demir ile alüminyum oksitlerine eşlik eder. Azot ve fosfor, yeterli yağışın olduğu durumlarda akaçlama sularına geçerler. Akaçlama sularının derişimi topraktaki nitrat miktarına ve akaçlanan suyun hacmine bağlıdır. Nitratların içme sularına akışı ise arzu edilmez. Ancak böyle bir durumda da çevre sağlığı açısından bazı sorunlar ortaya çıkar. Örneğin, denizel ortamlarda da ötrofikasyon oluşabilir (Burt ve diğerleri, 1993).

Nitratın özümsemesi (kimyasal olarak ayrışması) ve inorganik azot gübrelerinin kullanılması arasında bir bağ varsa da, bu bağ dolaylıdır. Bu işlem yani özümseme, öngörülen özümseme miktarı devam ettikçe, üründe herhangi bir sorun ortaya çıkmaz. Fakat fazla gübre kullanıldığında, bu da bitkilerde daha fazla azot birikimine yol açar. Yani, böylece toprakta organik azot artışı meydana gelir. Organik azotun nitrate dönüşümünden sonra, nitrat açısından bir artış oluşur. Topraktaki organik azotun mineralleşmesi toprağın işlenmesi sırasında meydana gelebilir. Nitratların özümsemesi sonbahar ve kış mevsimlerinde toprakta daha çok olmaktadır. Ancak bunun nihai kaybı da toprağın dokusuna, arazi kullanımına, yağışın türüne, yörenin akaçlama özelliğine ve bitki örtüsünün varlığına göre değişir. Ürünün kalitesi, yapılan uygulamalardan etkilenir (Burt ve diğerleri, 1993).

Son zamanlarda fosfora ilişkin su kirliliğine dair riskin minimum düzeyde olduğuna inanılmaktadır. Bunun nedeni gübrelerde kullanılan fosforun toprak tarafından kolaylıkla bağlanmış olmasıdır. Buna göre gübrelerdeki fosforun toprağa girişi tarımsal sistemlerdeki önlemler nedeniyle de denetlenmektedir. Dolayısıyla, yapılan uygulamalarda toprağa yıllık fosfor girişiyle ilgili hesaplamalara özen gösterilmelidir.

Sonuç olarak tarımsal amaçlarla kullanılan fosforun toplam miktarı, aşırı gübrelenmiş olarak sınıflandırılan topraklara göre artmıştır. Bu da çevrede fosforun giderek artabileceği, bunun da toprağın özümseme kapasitesi ile ilgili olduğu söylenebilir. Her ne kadar fosfor kayıpları nitrate göre daha küçük oranlarda ise de, fosfor oranındaki küçük bir artış akarsu ve göllerde büyük bir değişim yaratmaktadır. Tarım amacıyla kullanılan topraktaki fosforu azaltmak için bunun topraktaki derişimini ve topraktan suya doğru taşınmasını azaltmak gerekmektedir. En büyük fosfor kaybı ince taneli topraklarda olmaktadır.

Yoğun tarımın yapıldığı, özellikle gübrelemenin yoğun olduğu yerlerde ürünlerin kalitesi iyi bir düzeyde değildir. Avrupa'da 1991 yılında yönetmeliklerde nitrat nedeniyle meydana gelen kirliliğin denetim altına alınması amaçlanmıştır. Bunun için nitrata duyarlı zonların tasarımına gidilmiştir. Duyarlı zonlarda çiftçilerin nitrat özümsemesini azaltmak için önlemler alınmasına ihtiyaç vardır. Ayrıca iyi tarımsal uygulamalarda gübredeki nitrata toprağa ve topraktan bitkilere geçişi arasında bir denge içinde olması amaçlanmaktadır. Bununla ilgili önlemler de:

- 1-Gübrelemenin daha iyi yapılması ve toprak testleriyle ürüne yönelik testlerin birlikte değerlendirilmesi,
- 2-Gübreye yönelik olan uygulamaların en uygun zamanda yapılması (yani o ürünün en çok gereksinim duyduğu zamanda yapılması),
- 3-Gübreleme yöntemlerinin geliştirilmesi,
- 4-Sonbaharda sürdürülebilir arazideki özümleme kaybının minimize edilmesi,
- 5- Meraların olabildiğince az kullanımı.

Yapılan testlere göre nitrata özümsemesi önlenemez. Özellikle yüksek yağış alan yerlerde ve yüksek oranda ürün elde edilen geçirgen topraklarda bu özümsemenin önlenmesi mümkün değildir (Burt ve diğerleri, 1993).

### **Küresel iklim değişikliklerinin etkileri ve denetimi**

Yer'in iklimin etkileyen başlıca faktörler kıtaların devinimi ve volkanik faaliyetler, güneş radyasyonundaki dalgalanmalar, Yer'in yörüngesindeki değişimler ve canlı yaşamın atmosferin bileşimine etkileridir. Bu faktörler jeolojik geçmişte de Yer'in iklimini etkilemiş, Günümüzde de etkilemekte ve gelecekte de bu faktörlerin etkileri devam edecektir.

Yapılan değerlendirmelere göre, Prekambriyen' den Günümüz'e kadar geçen zaman aralığında, Günümüz'e göre daha sıcak ve daha soğuk dönemlerin yaşandığı söylenebilir. Örneğin, Prekambriyen' de üç buzullaşma dönemi yaşanmıştır. Ancak, olasılıkla yeryüzündeki suyun fazla olmaması nedeniyle bu buzullar uzun süre korunamamıştır.

Pleyistosen'den Günümüze değin, yaklaşık 100 -120 bin yıllık sürelerle 8 -10 °C'lik yavaş ve düzenli soğuma ve ısınma dönemleri görülmektedir. Son kalın buz örtülerinin oluşumundan sonra, sadece birkaç bin yıl içinde yeryüzündeki sıcaklık artmış ve bu sırada buzullar büyük ölçüde çözülmüştür. Bu yeni alt evrede canlı yaşamın atmosfere etkileri arasında özellikle insan kaynaklı faaliyetler sonucu atmosferin bileşiminde önemli değişiklikler beklenmektedir. Dolayısıyla gelecekte yeryüzündeki yaşam Günümüzdeki yaşamla kıyaslanmayacak ölçüde bir değişim geçirebilir.

Yapılan hesaplamalara göre küresel karbon emisyonunu, 2030'a kadar 2010'daki seviyesine kıyasla yüzde 45 azaltmak gerekmektedir. Ormanlaştırma, elektrikli taşıma sistemlerine geçiş, karbon yakalama ve depolama teknolojisi yaşamsal önemdedir. Önümüzdeki 32 yıl içinde elektriğin yüzde 70-85'ini yenilenebilir kaynaklardan üretmek gerekmektedir. Bunun için sıcaklık artışını 1.5 dereceyle sınırlandırmak için enerji sistemlerine 2016-2035 yılları için 2.4 trilyon dolarlık bir yatırım yapılması öngörülmektedir.

Küresel ısınma, her ülkeyi öyle veya böyle etkileyecektir. Ancak ekonomisi sağlam, hazırlıkları eksiksiz olmayan ülkelerin daha çok etkileneceği açıktır. Elbette ülkemiz de küresel iklim değişikliğinden payını alacaktır. Örneğin özellikle GD Anadolu'nun bin bir emekle gerçekleştirilen GAP uygulamalarının da küresel ısınmadan etkileneceği ve bölgenin tümüyle çölleşebileceği öngörülmektedir. Tek çare, gezegenimizin tüm ülkelerinin el ele vererek küresel sorunlarla mücadele etmek için iş birliği yapmasıdır.

## Diğer Tehditler

Topraktaki organik gereçler, toprağın üretimini ve duraylılığını belirlemektedir. Ayrıca toprak çoğu tehditlere karşıda tampon bir işleve sahiptir. Bilimsel yöntemlerle tarım yapanlar, % 1.7 organik gereç kapsayan toprakları çölleşme öncesi bir evreyi tanımladığını düşünmektedir. Meralarda yakma işlemleri tüm bitki örtülerinde bir azalmaya yol açmaktadır, Atmosferde CO<sub>2</sub> oranında bir artış da, toprakta organik gerecin azalmasına yol açmaktadır. Ancak, topraktaki organik gerecin artışı için çeşitli önlemler öngörülebilmektedir. Bu önlemler, başlıca doğal organik gereçlerin tarımsal faaliyetlerde kullanılması, bölgedeki doğal organik kalıntıların ve çimen örtüsünün artı kalan kesiminin toprağa dönüşümünün sağlanmasıdır.

Toprağı etkileyen önemli sorunlardan biri de toprağın tuzlanmasıdır. **Tuzlanma**, bitki kökünün büyüyebileceği derinlikte, bitkinin gelişmesine zarar verecek oranda tuz birikimine denir. Tuzlu topraklar için halk arasında 'çorak toprak' da denilmektedir (TC Kalkınma Bakanlığı, 2011). Tuzlanmanın doğal oluşumunda yağışın az olması, morfolojik yapı (özellikle çukur alanlar), yüksek taban suyunun ve yüksek buharlaşmanın varlığı belirleyicidir. Ancak, tuzlanmanın oluşumunda bilinçsiz sulama ve akaçlama olanaklarının sınırlı olması da önemlidir.

Öte yandan, ürün deseni, su tüketimi ve su bütçesi arasındaki ilişkiler bilinmektedir. Dolayısıyla su kullanımı ile tuzluluk yönetimi arasındaki bağlar kurulabilir. En azından su kaynakları, sulama suyunun özellikleri çerçevesinde uygun sulama yönteminin seçilmesi gerekmektedir. Özellikle çiftçilerimizin tuzlanmaya ve sulama tekniklerine dair konularda bilgilendirilmesinde yarar vardır.

Tuzlanma, topraktaki verimliliğin azalmasına yol açan kalsiyum, magnezyum ve sodyum tuzlarının topraktaki birikimidir. Bu süreç kurak ve yarı kurak bölgelerde, yağışın yetersiz olduğu bölgelerde önemli bir sorundur. Bu gibi yerlerde yetersiz yağış nedeniyle de topraktaki buharlaşma nedeniyle toprak yüzeyine yakın yerlerdeki tuzun birikimiyle olmaktadır. Yüksek tuz oranına sahip su ile arazinin sulanması bu süreci daha da tetikler. Kıyı bölgelerinde deniz suyunun tatlı su olan yerlere akışıyla tuzlanma hızlanmaktadır. Beşeri faaliyetler nedeniyle oluşan tuzlanma sürülebilir arazilerin % 50' sini etkilemektedir (Abrol ve diğerleri, 1988).

Öte yandan, **toprağın sıkışması**, özellikle nemli koşullarda kullanılan makinelerin ya da diğer sistemlerin kullanımı sırasında oluşan mekanik baskının yinelenen kümülâtif etkisiyle olmaktadır. Sıkışma, toprağın üst kesiminde ya da alt toprakta verimliliği düşürür. Topraktaki sıkışma tarımsal üretimde bir azalmaya yol açmaktadır. Alt topraktaki sıkışma % 5- % 35 arasında ürünün azalmasına yol açabilir (Stanners ve Bourdeau, 1991). Sıkışma, toprak partiküllerinin yeniden düzenlenmesine ve konumlanmasına neden olurken topraktaki gözenekliliği de azaltır. Böylece sıkışma, suyun akışı, topraktaki havanın devinimi ve topraktaki suyun potansiyelini azaltır. Sıkışmış olan toprağın çözülmesi zordur.

Toprağın sıkışması, ancak ve ancak toprağın sürülmesi, sıkışmaya yol açan teknik yöntemlerin denetimi, akaçlamanın uygun bir hale getirilmesi, organik gereçlerin artırılması ile önlenebilir. Toprak, değişik türde yaşayan organizmaların yer aldığı önemli bir ortamdır. Toprak biyoçeşitliliği topraktaki canlı organizmaların çeşitliliğini yansıtır.

Topraktaki canlı türler, gözle görülemeyen mikroorganizmaların boyutlarından bakterilere, mantarlara ve aşına olduğumuz makro faunaya kadar tüm canlı organizmalar ile temsil edilebilir. Topraklar Yer' in en organik bölümü olup, çeşitli etkilere açıktır. Çeşitli organizmalar, toprakta bulunan temel işlevlerin gelişmesinde anahtar bir rol oynar. Öte yandan, erozyonun ve tarımsal amaçla kullanılan asidik kökenli kirlenmelerin toprak biyoçeşitliliği üzerindeki etkileri yeterince bilinmemektedir.

## YASAL ÇERÇEVE VE POLİTİKALAR

Toprağın bozulmasına dair süreçler, önemli çevresel, sosyal ve ekonomik sonuçları olan süreçlerdir. Dünyanın nüfusu arttıkça toprağın korunma gereksinimi yaşamsal bir alana oturmaktadır. Dünya günde bir çeyrek milyon nüfusun artışıyla yüz yüzedir. Elbette dünyanın gıda ihtiyacı da bu nüfus artışına koşut olarak artacaktır.

1972 yılında **Avrupa Toprak Konseyi** toprağı koruma politikasını oluşturmuştur. Dünya'nın toprak politikası, toprak kaynaklarının akılcı kullanımı hususunda uluslararası bir çaba öngörmektedir (COM, 2002). 1992 yılında **Rio zirvesinde** katılımcı ülkeler toprağın korunmasıyla ilgili bir dizi kararı benimsemiştir. Özellikle sürdürülebilir gelişme yaklaşımı kabul edilmiş ve buna göre iklim değişikimi, biyoçeşitliğin korunması ve çölleşmeyle ilişkili yasal sınırlamalar belirlenmiştir. 1994 yılındaki toplantının amacı ise arazideki kayıpları ve buna ilişkin sorunları önlemektir. 2001 yılında Avrupa Topluluğu, tarım topraklarının erozyonu kadar sürdürülebilir gelişimi tehdit eden topraktaki bozulmayı ve toprak kaybını önlemeye dair çerçeveyi ortaya koymuştur. **6. Çevre Eylem Programı'**nda toprağın bozulmaya karşı korunması hedeflenmiş ve 2004 yılında Avrupa Topluluğu toprağın korunmasıyla ilgili tematik bir stratejiye ilişkin politikayı benimsemiştir.

Ülkemizde de toprağın korunmasına dair yasal bir çerçeve oluşturulmuştur. 5403 Sayılı **Toprak Koruma ve Arazi Kullanma Kanunu** 19.07.2005 tarih ve 25880 sayılı Resmi Gazete'de yayınlanarak yürürlüğe girmiştir. 15 Mayıs 2014 tarihli ve 29001 sayılı resmi gazetede yayınlanan 6537 numaralı **'Toprak Koruma ve Arazi Kullanımı Kanununda Değişiklik Yapılması Hakkında Kanun'**la yeniden tanımlanmıştır. Buna göre yasanın amacı; toprağın korunması, geliştirilmesi, tarım arazilerinin sınıflandırılması, asgari tarımsal arazi ve yeter gelirli tarımsal arazi büyüklüklerinin belirlenmesi ve bölünmelerinin önlenmesi, tarımsal arazi ve yeter gelirli tarımsal arazilerin çevre öncelikli sürdürülebilir kalkınma ilkesine uygun olarak planlı kullanımını sağlayacak usul ve esasları belirlemektir.

Yasa ve yönetmelikler, bir defalık da olsa delmek üzere hazırlanmaz. Yasalar, uymak üzere hazırlanırlar. Örneğin, 18. 04. 2006 tarih ve 5488 sayılı **Tarım Kanunu'nun 21. maddesi**, *'Tarımsal destekleme programlarının finansmanı, bütçe kaynaklarından ve dış kaynaklardan sağlanır. Bütçeden ayrılacak kaynak, gayrisafi millî hasılanın (GSMH) yüzde birinden az olamaz'* demektedir. Ancak, 2006-2018 döneminde gerçekleşen desteğin GSMH'a oranı, yıllık ortalama olarak **yüzde 0,5'in** de altına gerilemiştir.

**Toprak Koruma ve Arazi Kullanma Kanunu'nun** 4. Maddesinde 'Asgari tarımsal arazi büyüklüğü; mutlak tarım arazileri, marjinal tarım arazileri ve özel ürün arazilerinde 2 hektar, dikili tarım arazilerinde 0,5 hektar, örtü altı tarımı yapılan arazilerde 0,3 hektardan küçük olamaz. Ancak, *'Bakanlık asgari tarımsal arazi büyüklüklerini günün koşullarına göre artırabilir'* denilmektedir.

Ayrıca, 31.05.2005 tarih ve 25831 sayılı resmi gazetede **'Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği'** yayınlanmıştır. Bu Yönetmeliğin amacı; alıcı ortam olarak toprak kirlenmesinin önlenmesi, kirliliğin giderilmesi, arıtma çamurlarının ve kompostun toprakta kullanımında gerekli tedbirlerin alınması esaslarını sürdürülebilir kalkınma hedefleriyle uyumlu bir şekilde ortaya koymaktır. Yönetmelikte, Toprak Kirlilik Parametreleri Sınır Değerleri tanımlanmış ve Toprak Analiz Belgesi ile Örnek Alma ve Analiz Yöntemleri gibi gereksinim duyulan ekler sunulmuştur. Ayrıca toprak kirliliği parametreleri sınır değerleri ve diğer teknik ayrıntılar bu yönetmelik ışığında ele alınmalıdır. Yapılan analizler sonucu, toprak kirliliği sınır değerlerinin aşıldığı belirlenmiş ise kirliliği oluşturan unsurlar gözetilerek gerekli önlemler alınmalıdır.

Öte yandan, tarımsal ya da inşaat faaliyetleri ile ilgili sınırlamaların çerçevesini belirleyen pek çok yönetmelik de vardır. Örneğin, **Tarım kaynaklı nitrat kirliliğine karşı suların korunması yönetmeliği** 18.02.2004 tarih ve 25377 sayılı resmi gazetede yayınlanmıştır. **Hafriyat toprağı inşaat ve yıkıntı atıklarının kontrolü yönetmeliği** 18.03.2004 tarih ve 25406 sayılı resmi

gazetede yayınlanarak yürürlüğe konulmuştur. Ayrıca **Tarım arazilerinin korunması ve kullanılmasına dair yönetmelik** 25 Mart 2005 tarih 25766 sayılı resmi gazetede yayınlanmıştır. Tarımda kullanılan kimyasal gübreler, ilgili yönetmelikler çerçevesinde belirlenen ilkeler doğrultusunda tanımlanmaktadır.

Tarım yapılan topraklarının tarım dışı amaçla kullanımlarını engellemek amacıyla **3161 ve 3202** sayılı yasa çerçevesinde bu alanların hangi konumlarda tarım dışı amaçlarla kullanılacağına dair ilke ve temelleri belirleyen **Tarım Alanlarının Tarım Dışı Amaç ile Kullanılmasına Dair Yönetmelik** 11 Mart 1989 tarihinde 20105 sayılı Resmi Gazete de yayınlanarak yürürlüğe girmiştir.

Ayrıca hayvanların korunmasına dair uygulama yönetmeliği ile av ve yaban hayvanlar ile ilgili çeşitli yönetmelikler uygulamaya konulmuştur. **Biyolojik etkenlere maruz kalma risklerinin önlenmesi hakkında yönetmelik** ise 10 Haziran 2004 tarih 25488 sayılı Resmi Gazete'de yayınlanarak yürürlüğe girmiştir. Bu yönetmelikte, biyolojik maruz kalmanın olabileceği işlerin listesi ve sınıflandırılmış biyolojik etkenler listesi ekler halinde sunulmuştur.

Tüm bu yasa ve yönetmelikler, toprağın korunması ve verimli kullanılması amacıyla hazırlanmışlardır. Dünya'da da, ülkemizde de toprağın tüm insanlığın ortak değerine ve kamu yararına kullanılmasına yönelik politikalar geliştirilmemiştir.

Örneğin, Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü'nün (FAO) verilerine göre bugün dünyada açlık çeken insanların sayısı 821 milyondur. Küresel ısınmanın yol açtığı kuraklığın tarım ürünlerinin fiyatlarını etkilediği de bir gerçektir. Kırsal nüfusun azalması, dışa bağımlı temel girdilerin katlanarak artması, tohum ve hayvan ırkında dışa bağımlılık, uygulanan teknik yöntemlerden dolayı su rezervlerinin azalması, toprakların kimyasal gübre ve ilaçlarla kirlenmesi, tarımsal bio-çeşitliliğin azalması, tarımsal alanların ve meraların yapılaşmaya açılması gibi sayılabileceğimiz sayısız olumsuz faktör karşımızdadır.

Kırsal alanlarla kentlerin tekrar bütünleşmesi ve birbirinden beslenebilmesi, gıdanın özgürleşmesi, sosyal açıdan adil bir yapının kurulması ve bir parçası olduğumuz doğanın, toprağın ve suyun varoluşumuzla uyumlu hale getirilmesi ise, şu anda önümüzde duran biricik hayaldir.

Cumhuriyetin kuruluşu ile birlikte, ulusal kaynaklara sahip çıkma politikası egemen olmuştur. Toprağın ve tarımın korunması Cumhuriyet'in öncelikleri arasında idi. Köy Enstitüleri ders programında tarıma dair uygulamalı çabaların olduğunu herkes bilmektedir. Ancak, 1950'li yılların başından itibaren dereceli olarak kamu yararı göz ardı edilmiş ve yabancı sermayenin ülkeye girişi için yoğun bir çaba harcanmıştır.

1980'li yılların başından itibaren ise küreselleşme adı altında, diğer sektörlerde olduğu gibi tarım sektöründe de özelleşme ve çok uluslu şirketlerin baskıları artmaya başlamıştır. Bu dönem, ülkemizde, toprağın ve tarımının tarihi, dış dinamiklerin belirleyici olduğu olağanüstü hızlı bir dönüşümün tarihidir. Bu dönüşüm, 1990'lerden itibaren ülkemizde gelişen siyasi/ bürokratik/ akademik düzlemlerde ideolojik zeminin hazırlanmasıyla ve işbirlikçiliklerin türetilmesiyle gerçekleşmiştir. 2000'li yılların başından itibaren de emperyalist güçlerin güdümünde çok uluslu şirketlerin egemen olduğu bir dönüşüm yaşanmaktadır. Bu dönemde, bir tarım ülkesi olan ülkemizin, tarım ürünlerini ithal eden bir ülke durumuna düşmüştür.

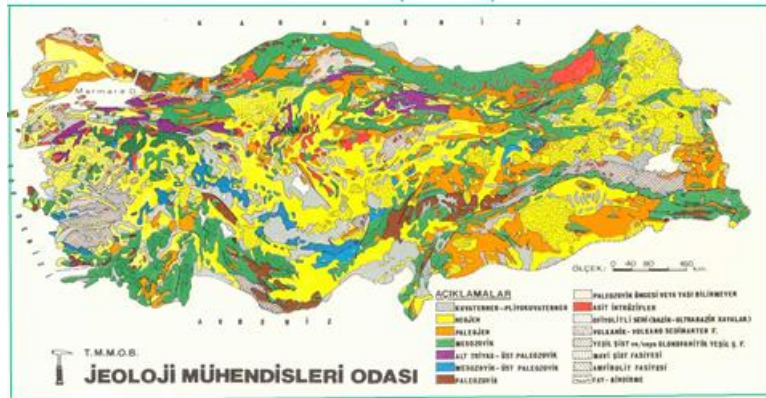
Toprak yasası ve ilgili yönetmelikleri, toprağın korunmasında önemli bir yere sahiptir. Ancak bu yasal çerçevenin içeriğine bakıldığında, konunun çok disiplinli bir yapısı olduğu ve bu yapı gözetilerek ilgili yetkili kurulların oluşturulması gerekmektedir. Yasal çerçevenin yanı sıra, verimli toprakların korunması ve geliştirilmesine dair irade ve politikalar güçlendirilmelidir. Toprak bilinci üzerinde yükselen etkin politikalar olmadan yasa ve yönetmeliklerin uygulanması güçtür.



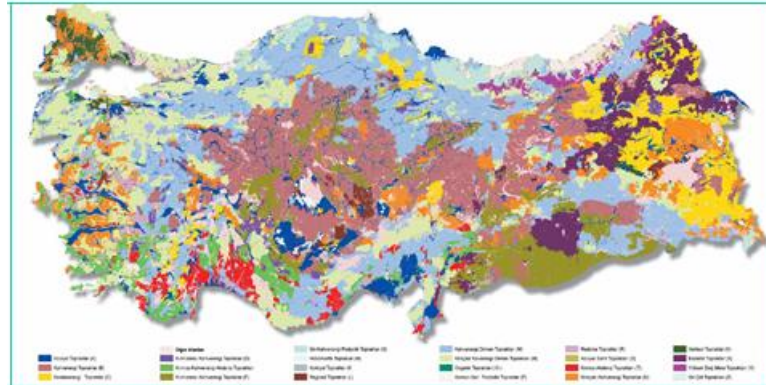
Sonuç olarak ülkemizde toprağın korunması amacıyla oluşturulan yasa ve yönetmelikler geliştirilmelidir. Söz konusu yasa ve yönetmeliklerin ne ölçüde toprağın ve tarımın gelişmesine katkı sağlayacağı elbette izlenecektir. Günümüzdeki gerçek şudur: Beşeri faaliyetlerin çevresel etkileri izlenip, daha sonra mevcut yasa ve yönetmelikler çerçevesinde gerekli önlemler alınmalıdır. Toprağın korunmasına dair politikalar da, tarımla uğraşan üreticilerle birlikte oluşturulmalıdır.

#### ÜLKEMİZDE VE ANKARA ÖZELİNDE YAŞANAN SORUNLAR

Öncelikle ülkemiz açısından mevcut durumu belirlemekte yara vardır. Ülkemizde zengin toprak örtüsünün varlığı, jeolojik birimlerin zenginliğinden kaynaklanmaktadır. Örneğin, ülkemiz, Prekambriyen'den Günümüze kadar geçen tüm jeolojik zamanları temsil eden zengin bir kayatürü topluluğuna sahiptir. Böylesine zengin bir kaynaktan oluşan toprak örtüsünde her türlü tarımsal üretim yapılabilir. Şekil 27'ye ve 29'a bakıldığında bu gerçeklik tüm çıplaklığı ile görülmektedir. Fakat ülkemizin zengin toprak kaynaklarımıza dair kapsamlı ve güvenilir bir **toprak ve tarım politikası yoktur**.



Şekil 27. MTA tarafından hazırlanan Türkiye'nin Jeoloji Haritası (<http://cografyabilimi.net/turkiyenin-genel-jeolojik-yapisi/>, 17 Kasım 2018, saat 09.40).

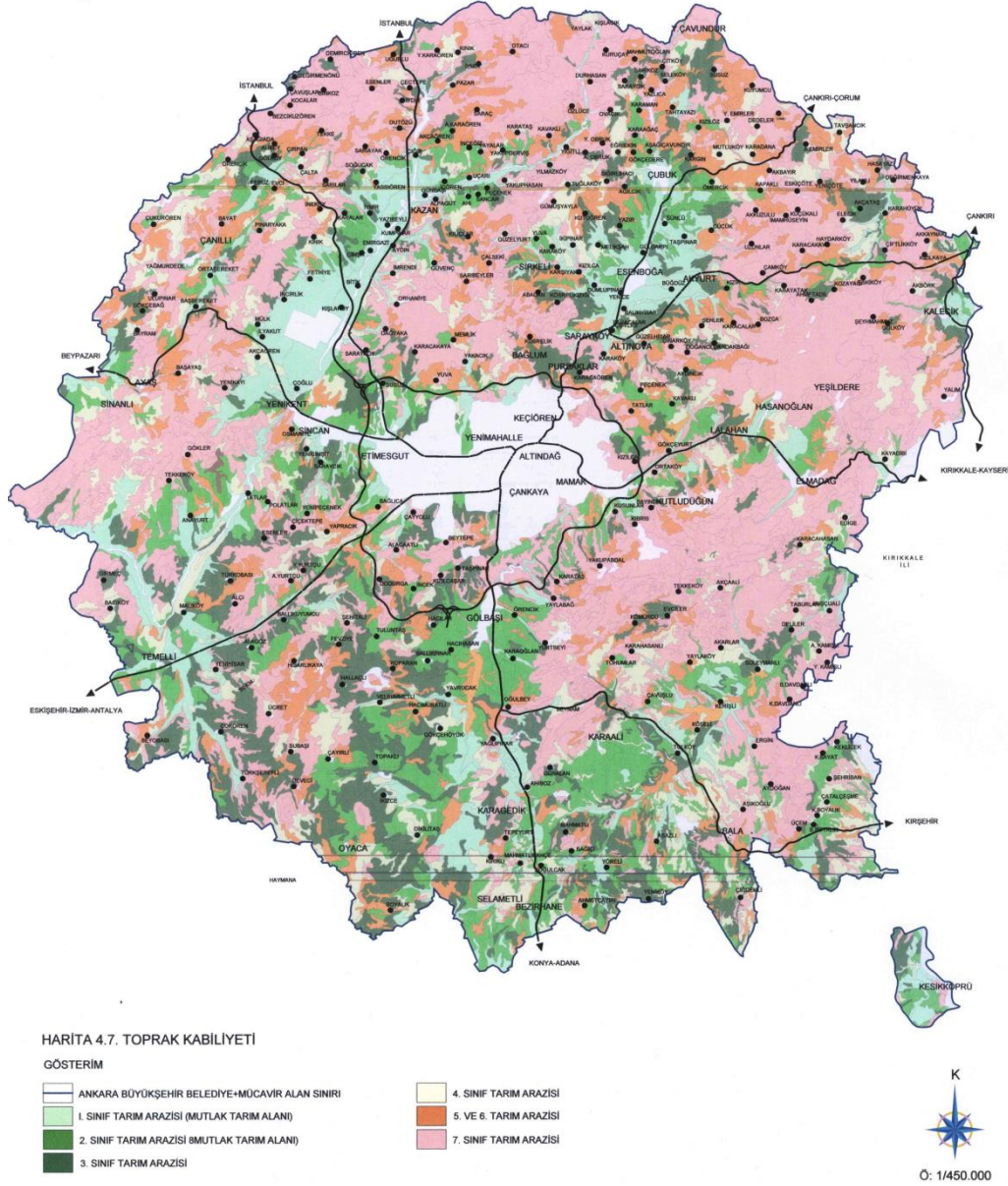


Şekil 28. Türkiye'nin Toprak Grupları Haritası (<http://turkishmaps.blogspot.com/2013/03/distribution-of-soil-map-of-turkey.html>; 13 Eylül 2018, saat 9.50).

Başkent Ankara da yukarıda belirtilen olumsuz politikardan etkilenmektedir. Örneğin, ülkemizin GSYH'daki sektörel büyümesi gözetildiğinde, Ankara'nın tarımda %-2.8 oranında küçüldüğü ve TÜİK verilerine göre tarım alanlarının ve istihdamın azaldığı görülmektedir. Oysa Ankara'da toplam tarım arazilerinin % 8' i sulanmakta olup, % 8' lik alan daha sulanabilir niteliktedir. Ankara Toprak Kabiliyet Sınıfları, Şekil 29'da sunulmuştur. Ankara'da, tarım sektörünün en öncelikli konularından biri sulanabilir nitelikteki 1. ve 2. sınıf tarım arazilerini tümüyle sulu tarım yapılabilir hale getirmek



olmalıdır. Organik tarım için uygun alanlar bulunarak, alternatif ürün gruplarına yönelik araştırmalar yapılmalıdır. Ankara, kaliteli üniversiteleri, gelişen sanayisi ve yüksek eğitimli beşeri sermayesi ile bilim ve teknolojik gelişmeleri, tarım sektörü ile entegrasyonunu sağlayabilme potansiyeline sahiptir. Kadın istihdamı, Tarım sektöründe Türkiye ortalaması % 32.9 iken, bu oran Ankara'da (%) 3.8'dir (Ankara BB, 2017).



Şekil 29. Ankara Toprak Kabiliyet Sınıfları (2023 Başkent Ankara Nazım İmar Planı, 1/25.000 ölçekli Plan açıklama Raporu, Ankara BB, 2006).

Toprak başlıca mineraller, organik madde, hava, su ve canlı organizmalardan oluşur. Bu oluşum fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçlerin karşılıklı etkileşimiyle meydana gelir. Toprak, karasal biyosferin en önemli bileşeni olup, yaşamın sürdürülmesinde temel işlevlerin gerçekleştiği bir mekândır. Toprak bitkilerin büyümesini destekleyen, inşaat gereçlerini, kereste ve gıdanın sağlandığı bir yapıdır. Ayrıca mikroorganizmalar ve çeşitli hayvanlar için bir ev ortamı sağlar. Su için bir kaynaktır.

Suyun temizlenmesi ve akışı ile ilgili bir işleve sahiptir. Bina ve yol temellerinde fiziksel açıdan bir ham madde işlevini görür.

Toprak suyu, toprak sıvısı olarak kabul edilen çözücüler ve çözülmüş gazları içerir. Toprağın havasının bileşimi atmosferik havadan farklı olup genellikle daha çok CO<sub>2</sub> ve O<sub>2</sub> içerir. O<sub>2</sub> topraktaki organizmalar ve bitki kökleri tarafından kullanılmaktadır. Toprak açık sistem olup gereçlerin toprağa akışına izin verdiği gibi, topraktan da bazı gereçlerin kaybına neden olur. Bu gereçlerin toprak içine transferi ve yeniden düzenlenmesi bir sistem içinde olmaktadır. Toprağa yeni gereçlerin eklenmesi, uzaklaşması, birbiriyle karışması, yer değişmesi ve akışı, toprağa dair horizonların oluşmasında belirleyicidir.

Yukarıda sunulan bilgiler ışığında, toprağın son derece önemli bir kaynak olmanın yanı sıra, beşeri faaliyetlerden de kolayca etkilenmekte olduğu söylenebilir. Ancak, ülkemizde de, Ankara'da da toprağa gerekli özenin gösterilmediği açıktır. Her yıl Kıbrıs adası büyüklüğünde toprağın erozyon nedeniyle denizlere taşındığı bilinmektedir.

Toprak kirliliğine neden olan başlıca kaynaklar ise, vahşi depolanan evsel ve tehlikeli atıklar, plansız kentleşme, aşırı gübre ve tarımsal ilaçların kullanımı, hayvancılık atıkları, madencilik ve sanayi atıklarıdır. Atıklar, genel olarak mevzuata uygun bir şekilde bertaraf edilmemekte, kentleşme çevre düzeni planlarına göre yapılmamakta, erozyonun denetimi konusunda yeterli duyarlılık gösterilmemektedir. Evsel atıklar ve sanayi atıklarının vahşi depolanması toprak kirliliğinin temel nedenidir. Ayrıca, kentleşmenin ve kentsel dönüşümün etkileri de toprak kirliliğine yol açmaktadır (ÇŞB, 2018). Yine, 2014 yılı ÇDR'na göre toprak kirliliği Ankara özelinde 4. öncelikli sorundu; 2017'de 5. öncelikli soruna dönüşmüştür. Erozyon ise 6. öncelikli sorun olarak devam etmektedir.

## SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Toprağı oluşturan süreçler beş çevresel faktör tarafından denetlenmektedir. Bunlar ana kaya, iklim, topoğrafya, organizmalar ve zamandır. Bu çevresel değişkenler toprak oluşturan faktörler olarak bilinmekte ve toprak oluşumunun hızını ve yönünü denetlenmektedir. Ana kaya ve topoğrafya toprak gelişimindeki başlangıç koşullarını tanımlar. İklim ve organizmalar toprakta oluşan kimyasal ve biyolojik reaksiyonların hızını belirler. Zaman ise çeşitli reaksiyonların geliştiği süreyi tanımlar.

Ana kayanın yapısı ve diğer çevresel faktörler toprak profilinin yerden yere farklı olmasına yol açar. Toprağın fiziksel özellikleri büyük ölçüde toprak partiküllerinin büyüklüğüne ve dokusuna bağlıdır. Ayrıca bunların topraktaki yapısı önemlidir. Doku ve yapı, su ve havanın topraktaki devinimini ve dağılımını etkiler. Bu da büyük ölçüde toprakta yer alan organizmaların yaşamını etkiler. Toprağın rengi genel olarak organik madde içeriği, akaçlama ve havalandırmanın bir göstergesi olarak kullanılır.

Kil mineralleri günlenmenin ürünüdür. Tüm kil minerallerinin yapısı iki tür dizilime bağlı olarak oluşur: *Tetrahedral dizilim* bir silisyum atomuyla, 4 oksijen atomuyla temsil edilen tetrahedral formunun yinelenmesiyle oluşur. *Oktahedral dizilim* ise bir alüminyum atomuyla bu atomu çevreleyen 6 oksijen atomu ya da hidroksil (OH) gruplarının oktan biçiminde yinelenen birimleriyle oluşur.

Bir kaynak olarak toprak tüm dünyada giderek azalmaktadır. Yapılaşma, sanayi ve tarımın yanı sıra, akaçlamaya dair sorunlar, madencilik, atık ve kentsel uygulamaların yarattığı baskılar toprağın bozulmasına yol açmaktadır. Bu bozulma sonucunda erozyon, kirlenme, asitleşme, sıkışma, organik gereç kaybı, tuzlanma ve biyoçeşitlilik kaybı gibi sorunlar ortaya çıkmaktadır. Toprağın korunması sürdürülebilir olmalı ve gelecekteki nesillere zarar vermeyecek biçimde organize edilmelidir. Toplum tarafından oluşturulan tüm faaliyetler ve kararlar toprağı etkiler. Bu da dünyanın gelecekteki en büyük sorunlarından biridir.

Ülkemizde ise tarım toprakları, yasal sınırlamalara karşın, büyük bir risk altındadır. Örneğin, 2002 yılında 26.6 milyon hektar olan tarım arazileri 2017'de 23.4 milyon hektara düştü. Yani tarımda

kullanılan araziler %13 azaldı (Sarıbal, 2018). Bu kadar kısa zamanda tarım topraklarının dramatik bir biçimde azalması tarım politikalarını derinden etkilemiştir. Örneğin, tarımın istihdamdaki payı %35'den %19'a geriledi. Tarımın gayrisafi milli hasıladaki payı %10'dan %6'ya düştü. Tarımın katma değeri 2012 yılında 68 milyar dolar iken, 2017 yılında %24 gerileyerek 52 milyar dolara düştü. Tarım ürünlerinin çiftçinin elinden çıkış fiyatı üç kat artarken, çiftçinin satın aldığı tarım girdilerinin fiyatları 5 kat arttı (Sarıbal, 2018). Sonuç olarak, bir tarım ülkesi olan ülkemiz, tarım ürünlerini ithalatla karşılama ile karşı karşıya kaldı.

Erozyon sonucunda taşınan topraklar, tarım alanlarının azalmasına ve verimsiz hale gelmesine neden olmaktadır. Erozyon, yalnız toprak kaybına neden olmakla kalmayıp akarsular ve sellerle taşınan çeşitli gereçlerin göl ortamında birikmesiyle göllerin doğal dengesini de bozar. Göl ortamına taşınan çökeller, çeşitli kimyasal ve biyolojik etkileşimler sonucu gölleri kirletmekte ve göl ekosistemlerinin bozulmasına yol açmaktadır. Dolayısıyla, erozyon mutlaka denetlenmesi gereken doğa kaynaklı bir afettir.

Ülkemizde, özellikle GD Anadolu'da tuzlulaşmanın fazla sulamadan ileri geldiği göz ardı edilmemelidir. Bu çerçevede tuzlulaşma tehdidi bulunan arazilerde bitki köklerinde yılda en az bir kez toprak alınarak analiz edilmelidir. Bunun için, bitkinin kök derinliği ve yıl içindeki gelişim durumu gözetilmelidir. Tuzlulaşmaya neden olan unsurlar belirlenip, bu unsurların yer aldığı taban suyunun akaçlama ile uzaklaştırılması gerekir. Buna göre derin kanallar açılıp, tuzluluğa neden olan sular tahliye edilmelidir. Bitkiye, ihtiyacından fazla su verilmemelidir.

Arazinin sulamaya hazırlanması için ön çalışmalar yapılmalı ve sulama ihtiyacı belirlenmelidir. Uygun sulama yöntemlerinin seçilmesi zorunludur. Ayrıca seçilen yöntemin gerektirdiği sistem planlanır, kurulum ve işletilir. Sulama yönteminin seçimine etkileyen faktörler su kaynağı ve sulama suyunun özellikleri, toprağın nitelikleri, topografik faktörler, iklim, bitki türleri ve mevcut sorunlar, ekonomik faktörler, sosyal ve kültürel faktörlerdir. Sulama ve sulama yöntemlerinin projelendirilmesi konusunda Kalkınma Bakanlığı'nın GAP için hazırladığı kaynaklara başvurmakta yarar vardır (TC Kalkınma Bakanlığı, 2012 ve diğerleri).

Toprak tarımın yapılabildiği biricik kaynaktır. Tekelci tarım politikaları yerine, adil bir paylaşımı öngören ve ekolojik ilkelere dayalı tarım politikaları geliştirilmelidir. Gelişmiş ülkelerin oluşturduğu Avrupa Birliği'nin tutumu bile, bu hususta tipik bir örnektir. Avrupa Birliği, diğer ülkelere bazı ek dış satım vergileri koyup buğday açığı olan ülkelere buğday satışını engelleyici bazı yaptırımlar getirmekten kendini alamamıştır. Oysa, ekolojik, sosyal, hatta insani ilişkiler bakımından, Dünya'nın küresel besin güvenliği, besin stoklarının tekelci bir anlayışla sadece belirli ülkelere saklanmasıyla değil; mevcut besin maddelerinin en yoksul ülkelere en zengin ülkelere kadar, tüm insanların yiyecek bulabileceği bir paylaşım ile gerçekleşir. Dolayısıyla, ülkenin kamu yararına doğru dürüst bir toprak ve tarım politikası oluşturmak zorunludur.

Tarım sektöründe bilim ve teknolojinin olanaklarından yararlanmak zorunludur. Ülkemiz de, tarımın en verimli yapılabileceği bir ülke konumundadır. Oysa son yıllarda, birçok tarım ürünü ithal etmek zorunda kalınmıştır. **Ülkemizde tarım, çok uluslu şirketlerin güdümüne girmiştir.** Tarımda, ulusal bir politikaya acilen ihtiyaç vardır. Oluşturulan yasa ve yönetmelikler çerçevesinde toprağın korunması ve tarımla kooperatifçiliğin teşvik edilmesi gerekmektedir. Ayrıca, tarım emekçilerinin korunması için gerekli düzenlemeler yapılmalıdır. Hollanda deneyimi, Türkiye'nin olası tarım politikalarının yönlendirilmesinde bir laboratuvar niteliğindedir. Türkiye'nin tarımsal ihracatının, Konya Ovası kadar küçük Hollanda'nın 1/5'i kadar olduğu unutulmamalıdır.

Öte yandan, küresel tohum piyasası, 40 milyar doları aşan bir değere sahiptir. Tarımda olduğu gibi, bu piyasayı da **çokuluslu şirketler yönetmektedir.** Yerel tohumların üretimine yönelik çabalar ise sınırlıdır. Oysa yerel tohumlar **"yöresel adları"** ile belirlenip, kayıt altına alınmalıdır. Kayıt altına alınan yerel ürün çeşitleri **"ortak varlık"** olarak tescil edilmeli, ortak varlıkların hiçbir şekilde

özelleştirilmemesi yasal güvence altına alınmalıdır. Böylelikle hem hiçbir koşulda dokunulamayacak değiştirilemeyecek bir yerel tohum envanteri ortaya çıkartılmış olacak; hem de **biyoçeşitlilik** korunacaktır. Doğa ve insan dostu üretim modellerini temsil eden sürdürülebilir tarım/gıda sistemleri ancak bu şekilde yaygınlaştırılabilir. Toprak için, **bilime, hukuk ilkelerine, çağdaş teknolojiye, ekolojik ve sosyolojik ilkelere dayalı** koruma önlemleri acilen alınmalıdır. **Yaygın bir eğitimle halk,** özel ve teknik eğitimle **çiftçiler** bilinçlendirilmelidir. **Nüfus artışının önlenmesi** için uygulanabilirliği olan politikalar geliştirilmelidir (Oral, 2018).

Gıdaya erişim temel bir insan hakkıdır. Özellikle de temiz, ulaşılabilir, taze gıdaya ulaşım hakkı en temel hak olarak devlet güvencesine alınması gerekmektedir (Hacaloğlu, 2018).

#### KAYNAKLAR

- Abramowitz, J.N., 1997. Doğal Hizmetlerin Değerini Bilmek, TEMA Dünyanın Durumu Raporu, Çev. Hakan Gülseven, İstanbul.
- Abrol, I.P., Yadav, J.S.P. ve Messoud, F.I., 1988. Salt affected soils and their management. FAO Soils Bulletin, 39.
- Akalan, İ., 1987. Toprak Bilgisi. Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi yayınları: 1058, Ders Kitabı 309: Ankara, 346s.
- Ankara BB, 2006, 2023 Başkent Ankara Nazım İmar Planı, 1/25.000 ölçekli Plan açıklama Raporu, Ankara, 714 s.
- Ankara BB, 2017. 2038 Ankara Çevre Düzeni Planı Raporu Açıklaması, Ankara Büyükşehir Belediyesi, Ankara, 828 s.
- Atalay, İ., 1989. Toprak Coğrafyası. 2.baskı, Ege Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi yayınları no.8, Ege Üniversitesi Basımevi, Bornova-İzmir, 444s.
- Aydeniz, A., 1985. Toprak Amenajmanı. Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi yayınları: 928, Ders Kitabı no.263, 554s.
- Birkeland, P.W., 1999. Soils and geomorphology, 3rd edition. Oxford University Press, Oxford.
- Boşgelmez, A., Boşgelmez, İ.İ., Savaşçı, S. ve Paslı, N., 2001. Ekoloji-II, Toprak: Başkent Klise Matbaacılık, Bayındır Sok. No.30/E, Kızılay-Ankara, 1054
- Brady, N.C., 1990. The Nature and properties of soils. Tenth edition. Macmillan Publishing Company, New York, 621s.
- Brady, N.C. ve Weil, R.R., 2002. The nature and properties of soil, 13th edition. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
- Brown, G.P., 1995. Arable Land Loos in Rural China, Asien Survey.
- Brown, L.R. ve Wolf, E.C., 1997. Dünya Ekonomisinde Sessiz Kriz: Toprak Erozyonu (Çeviren: B.G. Kocabıyıköğlu), TÜBİTAK-TEMA, yayın no 2, ikinci basım, Ankara.
- Burt, T.P., Heathwaite, A.L. ve Trudgill, S.T., 1993. Nitrate: Process, patterns and management. John Wiley & Sons, Chichester.
- Chapman, P. J., 2008. Soil and the environment. In: Holden, J. (ed.), An Introduction Geography and the Environment, School of Geography, University of Leeds, 762s., 143-174. [www.pearsoned.co.uk/holden](http://www.pearsoned.co.uk/holden).
- Cihangir, C. ve Poyraz, D., 1998. Land Degration in Thrace, International Symposium on Arid Region Soil, Menemen.
- Coch, N.K., ve Ludman, A., 1991. Physical Geology, Macmillan Publishing Company, New York, USA, 678s.
- COM, 2002. Towards a thematic strategy for soil protection. Commission of the European Communities, Brussels.
- Cresser, M.S., Kihlma, K. ve Edwards, A.C., 1993. Soil chemistry and its applications. Cambridge University Press, Cambridge
- Çepel, N., 1997. Toprak Kirliliği, Erozyon ve Çevreye Verdiği Zararlar, TEMA Vakfı Yayın No:14, İstanbul.
- Çepel, N., 2000. Toprak ile Söyleyişi, TEMA Vakfı Yayın No:31, İstanbul.
- Çepel, N., 2003. Ekolojik Sorunlar ve Çözümleri, TÜBİTAK Popüler Bilim Kitapları, 180, Ankara.

- ÇŞB, 2014. Ankara ili 2014 Yılı Çevre Durum Raporu. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (ÇŞB), Ankara, 245 s.
- ÇŞB, 2016. Ankara ili 2015 Yılı Çevre Durum Raporu. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (ÇŞB), Ankara, 255 s.
- ÇŞB, 2017. Ankara ili 2016 Yılı Çevre Durum Raporu. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (ÇŞB), Ankara, 160 s.
- ÇŞB, 2018. Türkiye Çevre sorunları ve öncelikleri değerlendirme raporu (2016 yılı verileriyle). Ankara, 139 s.
- Davidson, J.P., Reed, W. E ve Davis, P.M., 1997. Exploring Earth: An Introduction to Physical Geology, Prantice-Hall, Inc. New Jersey, USA, 477s.
- Detwyler, T.R., 1971. Man's Impact on Environment: McGraw-Hill Book Company, New York, USA, 731 s.
- Ergene, A., 1987. Toprak Biliminin Esasları. 4.baskı, Atatürk Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi yayınları no.635, Ziraat Fakültesi yayınları no.289, Ders Kitapları Serisi no.47, Atatürk Üniversitesi Basımevi, Erzurum, 370s.
- Gardner, G., 1996. Tarım Kaynaklarının Korunması, Dünyanın Durumu Raporu, TÜBİTAK-TEMA Yayını, Ankara.
- Gerrard, J., 2000. Fundamentals of soils. Routledge, London
- Gowing, G., 2003. Salinisation – one of our biggest environmental problems: <http://www.amonline.net.au/factsheets/salinisation.htm>
- Hacaloğlu, M., 2018. Sürdürülebilir, adil ve ulaşılabilir ulusal bir gıda politikası için düşünceler. BİRGÜN PAZAR Eki, s.607, s.8-9.
- Ilaiwi, M., Abdelgawad, G. ve Jabour, E., 1992. Syria: human induced soil degradation. In: UNEP world atlas of desertification. Edward Arnold, London, 43–45.
- Karavayeva, N.A., Nefedova, T.G. ve Targulian, V.O., 1991. Historical land use changes and soil degradation on the Russian Plain.
- Ketin, İ., 1977. Genel Jeoloji, Cilt 1, Yer Bilimlerine Giriş, İTÜ Matbaası, Gümüşsuyu-İstanbul, 597 s.
- Kormondy, E.J., 1966. Concepts of Ecology. Fourth edition. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 559s.
- Koroğlu, M. S., 2014. Toprak Oluşumu. <http://www.cografya.biz/>'den.
- MISIR, 1984. Organisation and methods of the 1:250 000 Soil Survey of Scotland. The Macaulay Institute for Soil Research, Aberdeen.
- Morgan, R.P.C. (ed.), 1986. Soil erosion and conservation. Longman, Harlow.
- Lean, G., 1995. Down to Earth, Centre for Our Common Future, TEMA Vakfı Yayın No:9, İstanbul.
- Lowdermilk, W.C., 1994. Toprağın 7000 Yıllık Öyküsü, TEMA Vakfı Yayın No:22, Çev. A. Atay, İstanbul.
- Meydan-Larousse, 1969. "Toprak"
- Oldeman, L.R., Wakkeling, R.T.A. ve Sombroek, W.G., 1991. World map of the status of human induced soil degradation. Volume 2: Global assessment of soil degradation. International Soil Reference and Information Centre, Wageningen, and UNEP.
- Oral, N., 2018. Çok uluslu şirketler yerel tohumları bitirmeye çalışıyor. BİRGÜN PAZAR Eki, s. 608, s. 11.
- Pimentel, D., Harvey, C., Resosudarmo, P. et al., 1995. Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. Science, 267, 1117–1123.
- Saatçi, F., 1975. Toprak İlimi. 4.baskı, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi yayınları no.214, Bornova-İzmir, 303s.
- Sarıbal, O., 2018. 'Yerli ve milli' diyerek tarımı yabancılara teslim ettiler. 13 Mayıs 2018 tarihli BirGün Gazetesi. s.11.
- Sibbesen, E. ve Runge-Metzger, A., 1995. Phosphorus balance in European agriculture – status and policy options. In: Tiessen, H. (ed.), Phosphorus in the global environment. John Wiley & Sons, Chichester, 43–60.
- Stanners, D. ve Bourdeau, P. (eds), 1991. The DOBRIS Report: Europe's environment. Earthscan, London.

- Smithson, P., Briggs, D., Addison, K. ve Atkinson, K., 2002. Fundamentals of the physical environment, 3rd edition. Routledge, London
- TC Kalkınma Bakanlığı, 2011. Toprağın Tuzlulaşması (Hazırlayan: Mehmet Ali Çullu), Güneydoğu Anadolu Projesi Bölge Kalkınma İdaresi Başkanlığı, Bilnet Matbaacılık, Biltur Basım Yayın ve Hizmet, A.Ş. www.bilnet.net.tr, Ankara, 96 s.
- TC Kalkınma Bakanlığı, 2012. Sulama ve Sulama Yöntemlerinin Projelendirilmesi, Güneydoğu Anadolu Projesi Bölge Kalkınma İdaresi Başkanlığı, Bilnet Matbaacılık, Biltur Basım Yayın ve Hizmet, A.Ş. www.bilnet.net.tr, Ankara, 96 s.
- Tek, Ö., 1996. Gözde bir metal: Titanyum. Bilim ve Teknik, TÜBİTAK, 339, 50-53.
- TKKY, 2005, Toprak Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, 31. 05. 2005 tarih ve 25831 sayılı Resmi Gazete, Ankara.
- Türüdü, Ö.A., 1992. Toprak Bilgisi. Karadeniz Teknik Üniversitesi Rektörlüğü, yayın no:104: MYO yayın no 1., Trabzon, 165s.
- Ward, R.C. ve Robinson, M., 2000. Principles of hydrology. McGraw-Hill, London.
- White, R.E., 1997. Principles and practice of soil science: The soil as a natural resource, 3rd edition. Blackwell Scientific, Oxford.
- Whitehead, P.G., Beck, M.B. ve O'Connell, P.E., 1981. A systems model of flow and water quality in the Bedford Ouse River System – II. Water quality modelling. Water Resources Research, 15, 1157–1171.
- Yılmaz, A., 2008a, Çevre Jeolojisi, CÜ Mühendislik Fakültesi yayın no.107, Sivas, 379 s.
- Yılmaz, A., 2008b, Çevresel Etki Değerlendirmesi, CÜ Mühendislik Fakültesi yayın no.110, Sivas, 275 s.

#### WEB siteleri

- <http://www.cografya.biz/>
- <http://www.defra.gov.uk/environment/land/soil/index.htm>
- <http://www.environment-agency.gov.uk/subjects/landquality/>
- <http://ec.europa.eu/environment/soil/index.htm>
- <http://ec.europa.eu/environment/soil/index.htm>
- <http://www.maweb.org/en/index.aspx>
- <http://www.soilassociation.org/>
- <http://www.extension.umn.edu/distribution/cropsystems/>
- <http://www.soil-net.com>
- [http://www1.agric.gov.ab.ca/\\$department/deptdocs.nsf/all/agdex890?opendocument](http://www1.agric.gov.ab.ca/$department/deptdocs.nsf/all/agdex890?opendocument)
- <http://soil.gsfc.nasa.gov/>
- <http://www.soils.org/sssagloss/>
- <http://soils.usda.gov/>
- <http://soils.usda.gov/sqi/>