

TOPRAK STRÜKTÜRÜ, OLUŞUMU VE ÖNEMİ

Metin BAHTİYAR (1)

Ö Z E T

Toprak strüktürü, toprakların en önemli fiziksel özelliklerinden biridir. Toprak strüktürünü; Primer toprak taneciklerinin, sekonder parçacıklar halinde belli modeller içerisinde dizilip gruplaşmaları, şeklinde tarif etmek mümkündür.

Agregat strüktürün oluşumunda (Agregasyonda) müştereken etkili olan birçok maddeler ve faktörler vardır. Bunlar; 1) Kimsayasal ve Fiziko-Kimsyasal, 2) Biyolojik, 3) Fiziksel ve 4) İklimsel, esaslara dayanmaktadır. İklimsel etkenler, agregasyondaki etkileri yönünden Fiziko-Kimyasal etkenler arasında düşünülebilirler.

1) Kimyasal ve Fiziko-Kimyasal Etkenler Olarak:

a) Kolloidal Kil, b) Kolloidal Organik Madde, c) Kolloidal Hidrate Seskioksitler, d) Adsorbe Katyonlar ve Kireç, e) Kil Minerallerinin Tipi, f) Sentetik Kompleks Kimyasal Maddeler,

2) Biyolojik Etkenler Olarak:

a) Toprak Mikro ve Makroorganizmaları, b) Bitki Kökleri,

3) Fiziksel Etkenler Olarak da:

a) Toprak Tanecikleri Arasındaki Çekim Kuvvetleri (Coulomb, Adezyon ve Kohezyon Kuvvetleri), b) Islanma (Şişme) ve Kuruma (Büzülme), c) Donma ve Çözünme, d) Gelişen Bitki Köklerinin ve Toprak Büyük Canlılarının Basınç Etkisi, sayılabilirler.

Bu çalışmada, yukarıda sayılan bütün faktörlerin toprak agregasyonunu oluşturma etki ve dereceleri ayrı ayrı incelenmiş, mekanizmaları açıklanmaya çalışılmıştır.

Tabii toprak agregasyonuna bizzat iştirak eden, toprağın inorganik ve organik kolloidal fraksiyonlarıyla, toprak mikroorganizmalarının ortamda varlıkları ölçüsünde, diğer faktörler ve süreçler agregasyonda aktif rol oynayabilmektedirler.

(1) Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak İlimi Bölümü Öğretim Üyesi-ERZURUM.

TOPRAK STRÜKTÜRÜ, OLUŞUMU VE ÖNEMİ

I- Toprak Strüktürünün Tanımı ve Önemi

Toprakların en önemli fiziksel özelliklerinden birini ifade eden, "Toprak Strüktürü" kavramı konusunda, değişik bilim adamları arasında oldukça yakın görüş birliği bulunmasına karşılık, kapsamı hususunda bazı düşünce ayrılıkları görülmektedir. Ancak, hepsinde ortak olan taraf, strüktürün, toprak parçacıklarının sekonder oluşuklarını kastetmiş olmasıdır.

Baver (1966), toprak strüktürünü; "Toprak tanelerinin diziliş durumu" diye tarif etmiştir. Burada, toprak taneleri sözcüğü, hem primer tanecikleri (Kum, silt, kil), hem de bunların kümeleşmesiyle meydana gelen agregatları veya strüktürel elemanları ifade etmektedir.

Akalan (1968) ise; Toprak taneciklerinin, çeşitli bağlayıcı maddeler vasıtasıyla gruplar halinde birleşmesinde meydana gelen küme şekillerine, strüktür ismini vermiş ve strüktürü, toprak tanelerinin dizilişlerini ve agregasyon derecelerini gösteren bir deyim olarak kullanmıştır.

Sakharow (1927), strüktürü biraz daha farklı olarak; "Toprağın, basınç altında ayrıldığı çeşitli fragment ve kesimler" şeklinde tarif etmiştir.

Ergene (1972) de, toprak strüktürünü; "Primer toprak taneciklerinin bileşik parçacıklar teşkil ederek birleşmeleri ve gruplaşmalarıdır" diye açıklamakta, primer toprak parçacıklarının birbirleriyle birleşerek veya birbirlerine yapışarak agregatları veya

strüktür ünitelerini meydana getirdiklerini ileri sürmektedir.

Scheffer ve Schachtschabel (1973)'in tarifleri ise, toprağın gözeneklilik durumunu da kapsamaktadır. Bu bilim adamları, toprak strüktürü adı altında; Katı toprak parçacıklarının ve bunlar arasında kalan, su ve/veya hava ile dolu bulunan gözeneklerin, hacimsel olarak diziliş tarzının, anlaşıldığını belirtmektedirler.

Kubiena ve Frese (1960)'nin tarifleri de, Scheffer ve Schachtschabel'in tarifleriyle hemen hemen aynıdır. Bunlar da toprak strüktürü kavramı altında; Toprağı teşkil eden materyal kısımlarının hacim içerisinde diziliş ve tanzimlenmelerinin, anlaşıldığını ileri sürmektedirler.

Bilindiği gibi birçok araştırmacılar, "Toprak strüktürü" ve "Agregasyon" deyimlerini birbirinin yerine kullanmaktadırlar (Martin ve Ç. arkadaşları, 1955). Bu husus pedolojik ve morfolojik açıdan haklı görülebilir ise de, bitki gelişimi üzerine fiziksel toprak özelliklerinin etkisi bakımından, toprak agregatları daha fazla önem taşımaktadır.

Toprak Strüktürünün Önemi:

Strüktür, toprakların renk, tekstür ve kimyasal yapı gibi önemli karakteristiklerinden biridir. Toprak strüktürü, toprağın sadece hava-, su- ve ısı dengesini, buna bağlı olarak, biyolojik aktivitesini değil, aynı zamanda, toprak gelişimini ve toprağın erozyon'a mukavemetini de etkilemektedir.

Fiziksel açıdan ideal bir toprak suda stabil agregatlar veya granüller

halinde bağlanmış, kum, silt ve kilden daha büyük sekonder parçacıklar ihtiva eden topraktır. Böyle bir toprak yağmur ve sulama sularının hızla infiltrasyonuna müsaade eder, hemen kaymak bağlamaz. Ayrıca, kolay işlenebilir, iyi havalanabilir, çabuk drene olur ve yüzey akışı dolayısıyla fazla toprak kaybetmez (Martin ve Ç. arkadaşları, 1955).

Toprak strüktürü, yukarda belirtilenlerin yanısıra; toprağın hidrolik iletkenliği, su tutma kapasitesi, bitki besin maddelerinin faydalılığı, makro ve mikroorganizma aktivitesi, bitki kök gelişimi ve sonuç olarak, topraktaki optimum bitki gelişmesi ile yakından ilgilidir. Fiziksel verimliliğin temel unsurudur.

II- Toprak Taneciklerinin Diziliş Düzeni Şekilleri

Çeşitli toprakların strüktürleri mukayese edildiklerinde, taneciklerin bazı topraklarda tekssel olarak kolayca kopup ayrılmalarına karşılık, diğer bazı topraklarda sadece büyük agregatlar halinde ayrıldıkları görülür. Bu durum, primer taneciklerin gevşek veya birbirlerine yapışmış formda bulunmalarına dayanmaktadır. Agregatlı durumda primer taneciklerin az veya çok büyük bir kısmı, çıplak göz ile yahut bir büyüteç yardımıyla görülebilen, agregatlar halinde birleşmişlerdir. Buna, toprağın makro-strüktürü denilmektedir.

Arazide toprak strüktürünün nitelendirilmesinde, esas olarak iki karakteristik strüktür grubu ile karşılaşılmaktadır. Bunlar; 1) Tekssel strüktür veya Strüktürsüzlük). 2) Agregat Strüktür'dür.

II-I) Tekssel Strüktür

Tekssel strüktürde iki ayrı şekil söz konusudur. Birincisinde, bireysel (Tekssel) toprak tanecikleri birbirlerine bağlanmış veya yapışmış olmaksızın, mekanik olarak yanyana (Bir arada) bulunmaktadır.

Topraklardaki "Tektane Strüktür" veya diğer adı ile, "Strüktürsüzlük"e karşılık olan bu durum, kaba tekstürlü, organik ve inorganik kolloidler ve Fe bakımından fakir, yapışkan olmayan, kumlu; çakıllı topraklarda ve keza yeni birikmiş siltli sedimentlerde görülmektedir. Tanecikler arasındaki sürtünme direnci tam bir dizilmeyi önlediğinden, pekişik değildir. Orta derecede rutubetli (Nemli) durumda, tanecikler arasında teşekkül eden su menisküslerinin yapıştırıcı etkisiyle, bazen yanıtıcı kümeler meydana getirebilmektedirler. Bununla beraber, daha sonra toprağın su ile doyması (İslanması) veya kuruması sonucu menisküsler kaybolunca, bu kümeler de yok olmaktadır.

Tekssel yapı veya tekssel strüktürün ikinci şekli de, topraktaki kil ve silt gibi yapıştırıcı fraksiyonların fazlalığı halinde, ortaya çıkan "Kompakt Yapı", "Kohezif Yapı" veya "Massif Strüktür" dür. Massif strüktürde primer tanecikler, agregat teşkil etmezsin, çok büyük kitleler halinde birbirlerine yapışmışlardır. Gözenek hacmi değerleri çok düşüktür. Su ve hava düzenleri bozuktur. Bu strüktür türüne sahip topraklar, bir seri ıslanma ve kuruma, buna bağlı olarak şişme ve büzülme değişimlerinin etkisi altında kaldıkları takdirde, massif strüktür, bir takım dilinim ve çatlama-larla, ilk plânda agregat strüktüre ge-

çerek, normal strüktürel üniteler teşekkül edebilir.

II-2) Agregat Strüktür

Topraklarda agregatlar, ıslanma (şişme) ve kuruma (büzülme) arasındaki bir seri rutubet değişimleri sonucu, "Ayrılmış (Dilinmiş) Mekanik Agregatlar" olarak, keza Edaphon'un ve bitki köklerinin gelişiminin etkisi altında, "İnşa Edilmiş (Sentezlenmiş) Agregatlar." olarak teşekkül ederler. Bundan böyle, ekstrem kumlu topraklar müstesna, bütün topraklarda agregatlar meydana gelebilir. Fakat, şekil, büyüklük ve iç yapıları bakımından önemli farklılıklar gösterirler.

Mikro Strüktür

Agregatların, çıplak göz ile algılanamayan iç yapısına "Mikro Strüktür" denilmektedir.

Mikro strüktür, stereomikroskop, altında, sertleştirilmiş toprak örneklerinin (veya agregatların) kalın kesitlerinin yüzeysel olarak, veya ince kesitlerinin ışık geçiren preparatlar halinde dahili olarak incelenmesini gerektirmektedir. Bu incelemede, makro agregatların, çok sayıdaki mikro agregatlardan meydana geldiğini görmek mümkündür (De Boodt, 1957). Hatta, polarize ışık altında, çözünmez mineral ve organik parçacıklardan oluşan strüktür plâzması dahi yakından incelenebilmektedir.

Üzerinde fikir birliğine varılmış bir sistem bulunmamakla beraber, strüktür sınıflandırılmalarında, daha çok makro strüktür dikkate alınmakta ve incelenmektedir. Hangi sistem uygulanırsa uygulansın, mikromorfolojik bir

inceleme ile, sınıflandırmanın daha da mükemelleştirilebileceği söylenebilir. Agregasyon ve porozite üzerinde yapılmış olan sayısız araştırmalar, strüktürün sınıflandırılmasında agregatların dahili yapılarının da dikkate alınmasının gerekliliğini ortaya koymuştur. Örneğin; "Granüler" kelimesi toprak strüktürünün nitelendirilmesinde belki en zayıf kalan bir deyimdir. Granüler deyimi, Çernozem toprakların A Horizonları için karakteristik olan, gözenekli ve küresel agregatları ifade etmek için kullanılmaktadır. Fakat aynı zamanda, birçok alt topraklarda bulunan, yoğun, köşeli agregatları belirtmek için de kullanılır. Bu nitelendirme hatasını önlemek için, A.B.D.'de toprakçılar, köşeli kompakt agregat tipini kastetmek üzere, "Fragemental" deyimini kullanmaktadırlar. Böyle bir nitelendirme ise, ancak, agregatların mikro strüktürünün incelenmesi ile kesin olarak ortaya konulabilmektedir.

III- Toprak Agregatlarının Oluşumuyla İlgili Mekanizmalar

Toprakta, primer taneciklerden agregatların oluşması, hemen hemen daima müştereken etkili olan;

1) Kimyasal keza Fiziko - Kimyasal, 2) Biyolojik, 3) Fiziksel, ve 4) İklimsel Etkenler'e dayanmaktadır. İklimsel etkenler, toprakta meydana getirdiği sonuçlar itibarıyla, fiziko - kimyasal etkenler arasında düşünülebilirler.

1) Toprak agregasyonunu oluşturan, kimyasal ve fiziko - kimyasal etkenler olarak;

a) Kolloidal Kil, b) Kolloidal Organik madde, c) Kolloidal Hidrate Fe (III)

ve Al-Oksitler, d) Adsorbe Katyonlar ve Kireç, e) Kil Minerallerinin Tipi, f) Sentetik Kompleks Kimyasal Maddeleri,

2) Biyolojik Etkenler Olarak;

a) Toprak mikro- ve mikroorganizmaları, b) Bitki Kökleri'ni,

3) Fiziksel Etkenler Olarak da;

a) Toprak tanecikleri arasındaki çekim kuvveleri (Coulomb, Adezyon ve Kohezyon Kuvvetleri), b) Islanma ve Kuruma, c) Şişme ve Büzülme, d) Donma ve Çözünme, e) Gelişen bitki kökleri ve Toprak büyük canlılarının basınç etkisi'ni saymak mümkündür.

III-1) Tabii Agregat Oluşumuna İştirak Eden Temel Unsurlar

Tabii toprak agregasyonu mekanizmasına bizzat iştirak eden en önemli unsurlar, toprağın organik ve inorganik fraksiyonu ile toprak mikroorganizmalarıdır. Yukarıda belirtilen çok sayıdaki faktörler ve süreçler, ancak kolloidal fraksiyonların ve biyolojik aktivitenin varlığı ölçüsünde aktif rol oynayabilirler. Örneğin; Tektane strüktürde agregasyon, kil, seskioksitler ve organik madde gibi ayrışma ürünleri yardımıyla, teksele taneciklerin yapışması şeklinde başlamakta ve bu arada gelişim ve stabilite biyolojik aktivite ile teşvik edilmektedir. Massif strüktürde ise agregat gelişimi, şişme - büzülme, makroorganizma ve kök gelişiminin etkisine dayanmaktadır. Görüldüğü üzere agregasyonu etkileyen faktörleri birbirlerinden ayrı düşünmek mümkün değildir.

Şimdi, bir toprak agregatının oluşumu hakkındaki, çeşitli etkenler-

le ilgili teorileri kısaca gözden geçirelim.

Günümüzde, mevcut birçok granülasyon ve agregasyon teorileri, sulu toprak süspansiyonlarının flokülasyonu (Koagülasyon) olayına dayanmaktadır. Buradan tamamen kolloidal yönden ele alınan flokülasyon ile, toprak strüktürünün oluşumu yönünden ele alınan agregasyonu birbirinden ayırmak gerekir.

Flokülasyon, elektrokinetik tabiattadır ve kümeleştirme aracı ortamda mevcut olduğu sürece stabildir. Gerek flokülasyon, gerekse karşıtı olan dispersiyon (Peptizasyon) konumuz dışında kaldığından üzerinde durulmayacaktır.

Stabil agregat oluşmasında, primer tanecikler birbirlerine suda dispers olmayacak kadar sıkı bir şekilde yapışmış, bağlanmış veya çimentolanmışlardır. Şu halde, flokülasyon bir agregasyon olayı olmayıp, belki agregasyonun çok basit bir başlangıcıdır ve agregasyona yardımcıdır. Flokülasyonun sürekli olmamasına karşılık agregasyon süreklidir.

Toprak taneciklerini birbirine bağlama ve çimentolama etkileri dikkate alındığında, toprak kolloidal materyali üç gruba ayrılabilir. Bunlar; Kolloidal kil, kolloidal organik madde ve kolloidal hidrate Fe- ve Al-oksitler'dir. Bağlayıcı özellikleri ve organik maddeye etkileri nedeniyle, toprak mikroorganizmalarını ve bitki köklerini de bu materyaller arasında saymak mümkündür.

III-1-1) Kolloidal kil

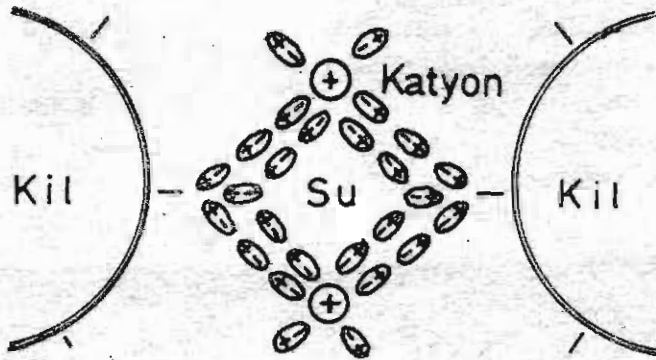
Toprak agregasyonuna, kolloidal kilin sebep olduğu hakkında en tutulan

teori, Russel (1934) tarafından ileri sürülmüştür. Buna göre, agregat oluşması, toprak solüsyonunda disosiyeye olmuş katyonlarla, kil taneciklerinin yüzeyindeki negatif elektrik yükü arasında oriente olmuş su moleküllerini, kil taneciklerini birbirine bağladığı esasına dayanmaktadır. Russell'in araştırmaları; Agregatların oluşmasında, nispeten yüksek baz değiştirme kapasitesine sahip olan 1 mikrondan küçük killerin rol oynadığını ve agregasyonun, molekülleri dipol özelliği gösteren sıvılarla, daha kolay meydana gelebileceğini ortaya koymuştur.

Russell'in teorisine göre, agregasyonun mekanizması şöyledir:

Her kil taneciği bir elektriksel çift tabaka ile çevrilidir. Bu tabakanın dış

kısmı, toprak solüsyonundaki yaygın katyonların kil yüzeyine yakın olanlarından ibarettir. İç kısmı ise, kil taneciklerinin yüzey ve kenarlarında yer alan negatif elektrik yüklerinden oluşmuştur. Katyonlardan meydana gelen pozitif elektrik yüklü tabaka, su içerisinde, (Debye-Hückel'in kuvvetli elektrofiller teorisinde gösterdiği gibi) katyonların kompleks anyonlar etrafındaki hareketlerine benzer tarzda, hareket etmektedir. Su molekülleri bir dipol momentine sahip olduklarından, bunlar, dış tabakadaki her bir iyondan ve kil taneciklerinin yüzeyindeki serbest yüklerden yayılan elektriksel kuvvet hatları boyunca dizilmek eğilimindedirler (Şekil 1).



Şekil 1: Kil taneciklerinin, agregat meydana getirmek üzere birbirlerine bağlanması (Şematik), (Ergene, 1972).

Buna göre, her katyon ve her kil taneciği, dizilmiş (Oriente olmuş) su moleküllerinden ibaret bir su zarı ile sarılmıştır. Bu durum suyun kil tarafından adsorpsiyonu veya hareketsiz hale getirilmesiyle de doğrulanmaktadır.

Bazı katyonlar kilin yüzeyindeki negatif yüke o kadar yakındır ki,

kil ve katyonlara ait su zarları birbirlerinin üzerine gelirler ve bu bölgedeki su molekülleri katyonlarla kilin ortak alanında dizilirler. Bu dizilme çok kuvvetlidir. Çünkü dipollerin negatif uçları katyonlar, pozitif uçları da kil tarafından çekilmektedir.

Ortamin suyu giderildikçe, toprak-su süspansiyonu yoğunlaşır. Pozitif ve negatif yüklerin ortak sahasında dizilen su moleküllerinin miktarı oransal olarak artar. Bu arada, belli miktardaki kationun etrafında yer alan su moleküllü zarlarının, komşu iki kil taneciği tarafından ortaklaşılabileceği düşünülebilir, Böylece;

(Kil - Su Molekülleri - Kation - Su Molekülleri - Kil)'den ibaret bir sistem oluşur. Ortamin su miktarı azalmaya devam ederken, konsentrasyonu artan kationlar, kendi su zarlarını, aralarında buldukları iki kil taneciğinin su zarları ile ortaklaşırlar ve böylelikle iki kil taneciği arasındaki bağ sayısı artmış olur. Aynı zamanda, bu bağlar giderek kıaldıklarından, daha fazla kuvvetlenirler. Bu gelişimin sonucu olarak, kil taneciklerinin kohezyonları ve kümelerinin sertlikleri artarak agregatlar teşekkül eder.

Burada Russell'in hipotezinin en zayıf noktası, tanecikleri birbirine bağlayan kationlara aşırı önem verilmiş olması ve teşekkül eden agregatların bir kere kuruduktan sonra, neden su içerisinde stabil olduklarını, açıklığa kavuşturamamasıdır.

Kil tanecikleri arasındaki kohezyonda, şüphesiz sıvı bağlar fazlasıyla önemlidir. Bununla beraber, kuru kil tanecikleri arasındaki kohezif kuvvetler, muhtemelen yüzeyde bulunan ve agregat içindeki taneciklerin kuvvetli olarak bir arada tutulmasında rol oynayan diğer bazı bağlardan ileri gelmektedir.

Kolloidal killerin, disk şeklindeki yapıları dolayısıyla, çimentolama etkileri, kation değiştirme kapasiteleri çok daha yüksek olan küb veya küre şek-

lindeki sentetik zeolitlerin çimentolama etkisinden daha yüksektir.

Kilin agregasyondaki rolü hakkında, Sideri (1936) ve Henin (1938) gibi araştırmacılar da çok az farklarla Russell'inkine benzer teorileri ileri sürmüşlerdir.

Ancak Henin, kil tanecikleri arasındaki kohezif kuvvetlerin doğuşunda kationlara pek önem vermemiştir.

Kilin agregasyona etkisi ile ilgili olarak, yapılan birçok araştırmalarda, kil miktarı ile agregasyon arasında önemli pozitif korrelasyonlar bulunmuş, killerin çimentolayıcı etkilerinin, küçük agregatlarda daha fazla belirgin olduğu, organik madde miktarı azaldıkça, kilin agregasyona etkisinin arttığı müşahade edilmiştir.

III-1-2) Kolloidal Organik Madde

Kil taneciklerinin bir arada tutulmasına ilişkin kohezif kuvvetler, iki yolla etkili olmaktadır:

a) Yukarıda izah edildiği gibi, su dipollerinin zincirleri yardımıyla bağlar teşkil ederek veya bir seri kil kristalleri arasındaki iyonik kuvvetlerin, değişebilir kationlar vasıtasıyla paylaşılması ve çaprazlama köprüler kurulması yoluyla,

b) Bazı polar uzun zincirli organik moleküller ile bağlar veya köprüler yapılması yoluyla.

Killeri bir arada tutan birçok polar uzun zincirli organik bileşiklerin, killer tarafından adsorbe edildiğine ait çok sayıda belirtiler mevcuttur (Martin, 1952).

Bu maddelerin, ya H- Bağları yoluyla, ya da direkt bağlanma yoluyla kil

taneciklerini bir arada tutması hususu mantıkî görünmektedir. Halen organik maddenin agregat teşekkülü üzerine olan etkisi tamamen anlaşılmış olmakla beraber, bu konuda bir çok teoriler ileri sürülmektedir.

Sideri (1936), humus organik moleküllerinin, killer tarafından, kil taneciklerinin yüzeyinde dizilmek suretiyle adsorbe edildiğini, bu adsorpsiyonun rutubetli şartlarda biraz tersinir olduğunu ve dehidrasyonun, tersinirliği azalttığını belirtmiştir.

Meyers (1937)'in, kolloidal materyaller karışımının fiziko-kimyasal özellikleri üzerine, organik ve inorganik kolloidlerin karşılıklı etkileri hakkındaki araştırma sonuçları, bu kolloidler arasındaki birleşmenin polar adsorpsiyona dayandığını göstermektedir.

Organik maddenin mikrobiyolojik oksidasyonu sırasında meydana gelen polar hümitik bileşiklerinin karboksil sonları pozitif elektrik yüklüdürler. Polar adsorpsiyon sonucu, bu kolloidal organik bileşikler, oriente edici negatif elektrik yüklü kil taneciklerinin yüzeyinde sıkı paketlenmiş bir tarzda dizilirler. Bu adsorpsiyon sırasında mineral taneciklerin birbirlerine bağlanması mümkün görülmektedir. Böylece, adsorbe edilmiş humusun dehidrasyonu, inorganik ve organik materyalin stabil bir halde bağlanmasına neden olmaktadır. Dehidrasyon çok yavaş meydana geldiğinden, bu olay agregat oluşmasında sağlam bir çimentolama etkisi yaratmaktadır.

Kubiena (1938), bağlayıcı ve çimentolayıcı maddelerin dehidrasyon olayına bağlı olarak oluştuğunu kısmen açıklamıştır. Araştırmacıya göre, toprak

solüsyonundaki kolloidal materyal kümeleşmiş olduğu taktirde, buharlaşma rutubetin azalmasına ve kümeleşmiş materyalin tanecikler arasında birikmesine sebep olarak, granüller arası bağların oluşmasına imkân hazırlamaktadır. Eğer kolloidler dispers halde iseler, toprak kururken bunlar toprak tanecikleri üzerinde yeknesak bir örtü teşkil etmektedirler. Kubiena humusun, kurumunun son safhalarında, bazların konsantrasyonlarının artması sonucu hasil olan hafif alkalin reaksiyonlu sıvıda, yavaş yavaş eridiğini göstermiştir. Bu safhada, konsantre sıvının, agregatların içindeki yüzeylere doğru göç etmekte olduğu görülür. Dehidrasyon tamamlandığında, alkalide erimiş olan hümitik materyal, yüzeyleri örter ve agregatları birbirine bağlar. Bu olayın, Çernozem'lerdeki agregat oluşmasına bilhassa uyduğu düşünülmektedir.

Martin (1945, 1946) ve Peertamp (1950), organik materyalin, bakteri ve mantarların çimentolayıcı etkilerine olduğu kadar, organik artıkların mikroorganizmalar tarafından ayrıştırılması sırasında bazı polisakkaritlerin oluşmasına da faydalı etki yaptığını ortaya koymuşlardır.

Geoghegan (1950), levan ve dekstran gibi bazı bakteriyel polisakkaritlerin, belirgin bir granüle edici etkiye sahip olduklarını bulmuştur. Araştırmacı, üronik grubu taşıyan polisakkaritlerin, toprak taneciklerini, OH- grupları vasıtasıyla, H- bağları ile bağladığını ileri sürmektedir.

Bazı kompleks organik materyallerin, toprağı bağlayıcı maddeler ihtiva etmesine rağmen, agregasyonun artması, organik maddenin dolaylı etkisi

ile meydana gelmektedir. Steril şartlar altında, organik maddenin çok az yahut hiçbir fayda sağladığı görülmüştür. Bu konuda yapılan bir çalışmada, Martin ve Waksman (1940) ve Peele (1940), mikrobiyal enerji kaynağı olarak sakkaroz ve sellülozu kullanmışlar, bu maddelerin toprağa ilavesinden sonra toprağı sterilize etmişler, sonunda toprak agregasyonunda herhangi bir gelişmenin olmadığını görmüşlerdir.

Daha sonra bu toprak, başka bir toprak süspansiyonu ile karıştırıldığında veya bazı toprak mikroorganizmalarıyla inoküle edildiğinde, inkübasyonu takiben, agregasyonda çok önemli bir gelişme olduğunu gözlemlemişlerdir.

Bilhassa mikrobiyal faaliyet sonucu meydana gelen organik maddelerin, toprak agregasyonunda en büyük rolü oynadıkları pek çok araştırmacılar tarafından önemle belirtilmektedir.

Organik maddenin toprağa tatbikini müteakip, toprak agregasyonunun artması için aşağıdaki faktörlerden bir veya birkaçının bir arada olması gerekmektedir:

a) Yoğun mikrobiyal aktivite sırasında toprak taneciklerinin mikrobiyal iplikcikler veya hücreler tarafından mekaniksel olarak bağlanması,

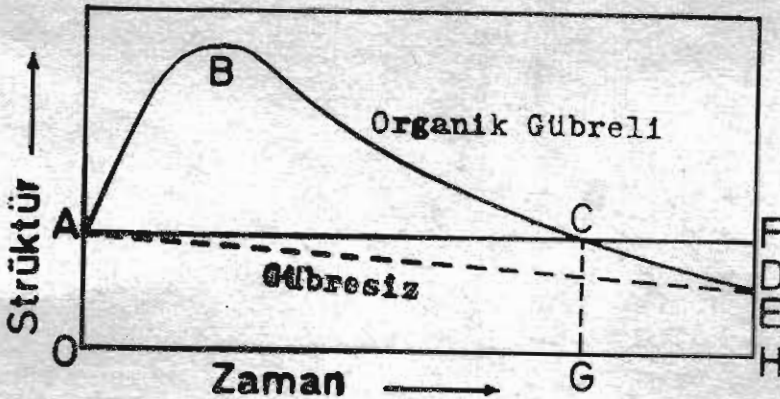
b) Organik artıklardaki bağlayıcı maddelerin varlığı,

c) Orijinal organik materyalin ayrışması sırasında teşekkül etmiş olan organik artıklar, ölü mikrobiyal dokular veya sekonder ayrışma ürünleri,

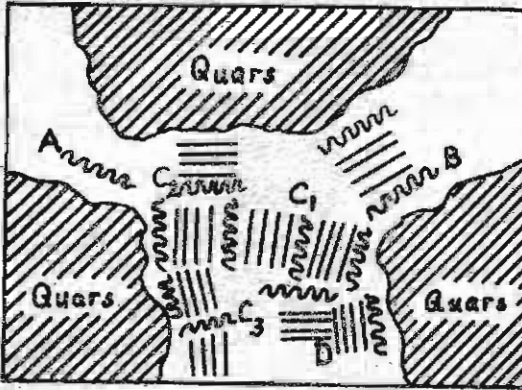
d) Toprak mikroorganizmaları tarafından sentezlenmiş olan organik karakterdeki bağlayıcı maddeler.

Gletzer (1937), toprakta organik materyalin ayrışması sırasında toprak taneciklerini agregatar halinde birleştiren, sentezlenmiş tabiatta, mikrobiyal maddelerin biriktiği sonucuna varmıştır.

Toprağa organik madde ilavesini takiben, agregasyonun gösterdiği seyir, şekil 2'de, kolloidal organik madde ve kilin, tekssel tanecikleri agregatlar halinde yapıştırmalarıyla ilgili çeşitli durumlar şekil 3'te şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2: Aynı toprakta, organik gübreli ve gübresiz şartlarda, strüktürün zamana bağlı olarak değişimi (Peerlkamp, 1962).



Şekil 2: Bir toprak granülünde, Kuars, Organik Madde ve Kil Mineral paketlerinin diziliş modeli (Scheffer ve Schachtschabel, 1973).

Organik maddenin toprak agregasyonuna etkisi ile ilgili birçok araştırmalarda, organik madde ve 50 mikrondan büyük agregat miktarı arasında çok önemli pozitif korrelasyonlar bulunmuştur. Organik maddenin, daha büyük çaplı agregatlarla (örneğin; 100 mikrondan büyük) daha yüksek korrelasyonlar vermesi, onun nispeten büyük stabil agregatların oluşumunda rol oynadığını göstermektedir. Çapları 100 mikrondan büyük agregatlarla, kil ve organik maddenin ortaklaşa etkisi arasındaki multiple (çoklu) korrelasyon katsayısı ise daha da yüksek çıkmıştır. Şu halde, kil ve organik kolloidler toprak agregasyonunu sağlayan maddelerin başında gelmektedirler.

III-1-3) Kolloidal Hidrate Seskioksitler

Kolloidal kil ve organik maddeye ilaveten, kolloidal hidrate Fe- ve Al-oksitler, birçok topraklarda çimentolayıcı ve bağlayıcı maddeler olarak hizmet etmektedirler. Kolloidal Fe- hidrokoksitlerin, dehidrasyondan sonra tersinir olmayışları, özellikle lateritik top-

rakların agregasyonunda önemli bir faktör olarak kendini göstermektedir.

Roberts (1933), lateritik bir kilde, taneciklerin % 71'e kadar olan kısmının 50 mikrondan büyük agregatlardan ibaret olduğunu, toplam kil ve siltin % 95'inin siltten daha büyük çapta agregatlar halinde birleşmiş olduklarını tespit etmiştir.

Lutz (1936), lateritik topraklardaki serbest Fe- oksitler ile, agregasyon arasında yüksek pozitif bir korrelasyon bulunmuştur. Araştırmacıya göre, serbest Fe- oksitler toprak agregasyonunda iki ayrı etkiye sahiptir. Birincisi, toprak solüsyonundaki Fe'in, killer için floküle edici madde olması, ikincisi ise, "Gel" halinde çökelmiş olan Fe'in, dehidrasyonu takiben çok kuvvetli bir çimentolayıcı olarak hizmet etmesidir.

Yüksek organik madde muhtevası halinde, Fe ve Al'un pozitif yükleri giderek nötralize olduklarından, seskioksitler her şeyden önce düşük organik maddeli topraklarda etkili omaktadırlar. (Örneğin; Lateritler ve Ilıman İklim

Latosolları). Burada agregasyon, negatif yüklü kil mineralleri ile, pozitif yüklü Fe- ve Al- oksitler arasındaki bağlar vasıtasıyla meydana gelmektedir (Scheffer ve Schachtschabel, 1973). Bu oksitlerin pozitif yükü, düşen pH ile arttığından, agregasyon etkileri asit şartlarda daha kuvvetli olmaktadır (Schahab, 1970).

Kroth ve Page (1947), elektron mikroskopu ile yaptıkları çalışmalarda, seskioksitlerin toprak tanecikleri arasında sürekli bir matriks meydana getirdiklerini, bunun da toprak taneciklerini fiziksel kuvvetlerle sekonder üniteler halinde bağladığını tespit etmişlerdir.

III-1-4) Toprak Mikroorganizmaları ve Bitki Kökleri

Organik maddenin toprak agregasyonuna etkisinin mikrobiyal faaliyetle arttığı daha önce açıklanmıştı. Toprak mikroorganizmalarının aktivitesini ve bu aktivite sonucu meydana gelen yan ürünleri dikkate almadan, topraktaki organik maddelerin agregasyona etkilerinin tartışılmıyacağı kesin olarak kabul edilmektedir.

Mikroorganizmaların agregat teşekkülü üzerinde, kısmen doğrudan, kısmen de dolaylı olarak, iki türlü etkisi bulunmaktadır.

Mantar misellerinin toprakta çok yaygın olduğu hallerde toprak tanecikleri, misellerle çevrelenmekte ve birbirlerine bağlanmaktadır. Küçük tanecik kümeleri, bir büyütle incelendiğinde, misellerin toprak taneciklerine sıkı sığıya yapışmış oldukları görülebilir. Sun'i bir vasatta yetiştirilen bakteriler, şeffaf ve jelatinimsi bir yapı göster-

mektedirler. Bundan, bakterilerin, toprak taneciklerini birbirine yapıştırma-ya hizmet ettiği sonucu çıkarılabilir.

Toprakta, mikroorganizmaların beslendiği maddeler tükendiği takdirde, mikroorganizma sayısında bir azalma görülmekte ve bağlayıcı etkileri de ortadan kalkmaktadır. Bu nedenle, çoğu tarım topraklarında, bu kısa ömürlü etkiye dayanan agregatların önemi azdır. Bununla beraber, kolay parçalanabilir organik maddenin az olduğu veya hiç bulunmadığı topraklarda mevcut olan, uzun ömürlü agregatların teşekkülünün bir açıklama yolu olmak gerekir. Bu da, mikroorganizmaların dolaylı etkisi ile'dir. Yani, stabil toprak agregatı meydana getirmede, organik maddenin mikrobiyolojik parçalanması sırasında sentez edilen veya parçalanmanın yan ürünü olarak ortaya çıkan bazı organik bileşik veya bileşiklerdir.

Konu ile ilgili birçok araştırmalarda en büyük önem, sentezlenmiş polisakaritlere verilmiştir ve bunlardan en çok üronik asitin türevleri üzerinde çalışılmıştır. Bu sentezlenmiş organik maddeler, aktif mikrobiyal parçalanma sırasında oldukça yüksek miktarlarda meydana gelmekte ve agregatların oluşumunda en önemli rolü oynamaktadırlar. Primer toprak taneciklerini bağlama mekanizmaları, organik madde kısmında açıklandığı gibidir.

Martin (1945), *Clodosporium grubund* olan mantarların toprağı agregatlaştırdıklarını tespit etmiştir. Araştırmacı agregasyonda % 50 etkinin misellerin bağlayıcı karakterinden, geriye kalan % 50 etkinin de, mantar hücreleri tarafından salgılanan maddelerden ileri geldiğini belirtmiştir. Araştırmacı aynı

zamanda, bir aerob basilin, agregasyon etkisine sahip, hemiselüloz benzeri polisakkaritler sentezliyebildiğini de tespit etmiştir.

Geoghegan (1950), sakkarozla muamele edilen ve sonra inkübatöre konan strüktürsüz Ca'lu toprakta, agregatlar oluştuğunu tespit etmiştir. Mikroorganizmaların metabolik ürünlerinin agregatlaştırma etkileri, direkt bağlayıcı etkilerinden çok daha yüksek bulunmuştur. Bu ürünler, polisakkaritler, levanlar ve dekstranlardır. Denemede kullanılan *Bacillus subtilis*, artan sakkaroz miktarına paralel olarak, artan miktarda levan meydana getirmiş, ancak bir seviyeden sonra, artan levan miktarının, agregasyonu artırıcı etkisi sona ermiştir. Bu durum toprakların, agregasyonda rol oynayan kompleks organik maddeleri tutmakta belli bir adsorpsiyon kapasitesine sahip olduğunu göstermektedir.

Diğer taraftan, toprakta mevcut organik madde ve mikroorganizmaların miktar ve türlerinin de agregasyonu önemli derecede farklı etkiledikleri bildirilmektedir.

III-2) Agregasyonu Etkileyen Faktörler ve Süreçler

III-2-1) Adsorbe Katyonlar ve Kireç

Toprak kolloidlerinin yüksek Ca satürasyonunun, stabil agregatların oluşumuna yardım ettiği genellikle kabul edilmektedir. Bununla beraber, çeşitli araştırmalara göre, Ca'un etkisi, ya dolaylı olmakta, yahut da, sanıldığı kadar önemli olmamaktadır. Baver (1936), toprakların Ca satürasyon derecesi ile agregasyon arasında hiçbir kor-

relasyon elde edememiştir. Daha sonraki araştırmalar, Ca'un organik madde ve mikrobiyal aktiviteye tesir ettiğini ve dolaylı olarak agregasyonu etkilediğini ortaya koymuştur.

Değişebilir katyonların agregasyon üzerine etkisi, bu katyonların flokülasyon ve peptizasyon etkilerine dayanmaktadır. Floküle bir durumun elde edilmesi için gerekli tuz miktarı değişebilir katyonların tipi ile sıkı ilişki halinde bulunduğundan, bu etki topraklarda, ancak toprak solüsyonunun tuz muhtevasıyla birlikte göz önüne alınabilmektedir. Katyonların floküle edebilme imkânları, değerliklerinin artması ve hidrate yarıçaplarının küçülmesiyle artmaktadır.

Yüksek Ca- ve Mg- muhtevalı toprakların toprak solüsyonunda, genellikle bu katyonların bikarbonatları hakimdir. Bu tuzların konsantrasyonları, toprağın Ca ve Mg satürasyonu ve keza toprak havasının CO₂- nispî basıncıyla yükselmektedir. Böylece bu topraklarda, yüksek biyolojik aktivite bir maksimuma erişmektedir. Sodik topraklar müstesna, killi topraklarda sadece yüksek pH'nın değil, aynı zamanda, yüksek karbonat muhtevasının da, optimal, bir agregasyon için uygun görülmesi, yüksek biyolojik aktiviteyi teşvik etmesindedir. Jips de aynı şekilde etkiye sahiptir.

Ayrıca, yüksek Ca ve Mg satürasyonu, toprak kolloidleri arasında Ca ve Mg köprülerinin teşekkülü sonucu, organik ve inorganik kolooidlerle birlikte, agregasyonun artmasını sağlamaktadır.

Na'un ise, kuvvetli dispers edici bir element olduğu herkezcce bilinmektedir.

Peterson (1947), kil tanecikleriyle bazı poliüronidler arasındaki bağ, Ca vasıtasıyla sağlandığından, kireçleme ve organik madde ilavesiyle topraklarda stabil agregasyona imkân hazırlandığını belirtmiştir. Ayrıca, kireç, ince $CaCO_3$ kristalleri vasıtasıyla toprak taneciklerini çimentolama suretiyle de, ilave etkilere sahip olabilmektedir. Bu durum ekstrem hallerde, Fe- oksitlerde olduğu gibi benzer konkresyonlar da meydana getirebilmektedir. Toprağa yanmış kireç verilmesi halinde ise, Ca-Silikat teşekkülü şeklinde, kil mineraleri ile reaksiyonlar meydana gelmekte ve toprak çok büyük mukavemet kazanabilmektedir.

Sonuç olarak, değişebilir Ca'un agregasyonda bir çimentolama vasıtası olmadığı, toprakta mikrobiyolojik aktiviteyi, organik maddenin parçalanmasını, flokülasyonu teşvik ederek ve organik ve inorganik kolloidlerin birleşmesine, keza polar adsorpsiyonda aracılık yaparak, dolaylı bir etkiye sahip olduğu söylenebilir.

III-2-2) Kil Minerallerinin Tipi

Agregat oluşumunda fiziko - kimyasal etkenlerden sayılabilecek olan kil minerallerinin tipi, doğrudan doğruya agregat oluşumunun mekanizmasına iştirâk etmemekte, ancak daha önce açıklanan etkenler vasıtasıyla oluşan agregatların şekli üzerinde etkili olmaktadır.

Konu ile ilgili olarak, Peterson (1944), montmorillonit ve kaolinitin, teşekkül eden strüktür tipleri üzerine olan etkilerini araştırmış, montmorillonitin, yatay ve düşey eksenleri takriben birbirine eşit agregatlar oluşturduğunu, diğer taraftan kaolinitin, lev-

halı strüktür meydana getirdiğini tespit etmiştir. H- ile doymuş kaolinitin oluşturduğu levhalar, Ca- ile doymuş olanından daha belgin bulunmuştur.

Kaolinitin levhalı strüktür meydana getirmesi, bu kil mineralinin iyi gelişmiş levhalardan meydana gelmiş olmasına ve aktif elektrik yüklerinin çoğunun levhaların kırık kenar ve köşelerinde yer almış olmasına atfedilmektedir. Böylece, taneciklere bir levha halinde dizilmek imkânı hazırlanmıştır.

Montmorillonit ise, çok küçük ve ince kristallerden meydana gelmiştir. Bu killerin büyük toplam yüzeyleri, yüksek hidrasyonları, büyük elektriksel yükleri ve şişme özellikleri, strüktürel ünitelerin eşit eksenli olarak her yönde gelişmesine olanak sağlamıştır.

III-2-3) Sentetik ve Kompleks Kimyasal Maddeler

Toprak organik maddesinin biyolojik ayrışması sonucu meydana gelen polisakkarit ve poliüronidlerin toprak agregasyonunu oluşturan esas etkenler olduğu düşüncesi, araştırmacıları, toprak strüktürünün geliştirilmesinde, sentetik kompleks kimyasal bileşiklerin kullanılmasına yöneltmiştir.

Bu sentetik polielektrolitlerin, agregatları oluşturma mekanizmaları kesinlik kazanmış olmamakla beraber, toprakta mikroskopik iplikçikler meydana getirmek suretiyle ve ayrıca, aktif COOH, OH ve NH_2 grupları vasıtasıyla, toprak taneciklerini birbirine bağladıkları üzerinde durulmaktadır.

Bu maddeler, Poliakril- ve Polivinil asitlerin türevleridir. Ruhrwein ve Ward, polielektrolitlerin, tanecikler a-

rasında kimyasal köprüler teşkil ederek agregasyonu etkiledikleri sonucuna varmışlardır.

III-2-4) Toprak Büyük Canlıları

Bitki köklerinin toprakta agregasyonu teşvik ettiği uzun zamandan beri bilinmektedir.

Bitki kökleri vasıtasıyla agregat oluşumunun mekanizması tam olarak tespit edilememiş olmakla beraber, bir çok açıklama tarzı vardır. Bunlardan birincisi ve en eski olanı, köklerin gelişimleri sırasında çevrelerine basınç yaparak toprak taneciklerini sıkıştırması ve agregatlar teşkil ettirmesidir. Diğer bir deyimle, kompakt yapıda bir keseğin içine giren çok sayıda kılcal kökler, kesek içerisinde zayıf kısımlar meydana getirmekte ve granüllerin oluşmasına sebep olmaktadır.

İkincisi ve yeni olan açıklama tarzı ise, granülasyonun, köklerle temasta bulunan keseklerdeki suyun, kökler tarafından alınması ile meydana gelen rutubet değişmesi sonucu, oluştuğu şeklindedir. Böylece, kök basıncı, lokal dehidrasyon ve büzülme sonucu, çok sayıda kırılma yüzeylerinin meydana gelmesinin agregatları oluşturduğu mantıkî görünmektedir.

Üçüncüsü ise, Williams tarafından ileri sürülen açıklamadır. Araştırmacı, agregasyonu, bitki köklerinin anaerob bakteriler tarafından çürütülmeleri sonucu salgılanan ulmik asite atfetmektedir.

Bu arada, toprak solucanlarının da hem doğrudan, hem dolaylı olarak toprak agregasyonunu teşvik ettiklerini belirtmek gerekir.

III-2-5) Toprak Tanecikleri Arasındaki Çekim Kuvvetleri

Tamamiyle fiziksel olarak meydana gelen agregatlar, toprak tanecikleri arasındaki çekim kuvvetlerine dayanmaktadır. Bu kuvvetler, Coulomb Kuvveti, Kohezyon kuvveti ve Adezyon Kuvvetidir.

Versenin (1941)'e göre, adezyon kuvvetleri ile ancak yarıçapı 10 mikron dan küçük olan tanecikler, agregatlar haliude birleşebilmektedirler. Kohezyon ve adezyon kuvvetleri, tanecikleri saran su filimleri ve tanecikler arasındaki kapillar su tarafından kuvvetle etkilendiklerinden, bu yolla oluşan mikroagregatlar, rutubet değişimlerine karşı o kadar fazla stabil değillerdir.

III-2-6) İslanma (Şişme) ve Kuruma (Büzülme)

Genel deneyler, birbirini takip eden ıslanma ve kurumaların, sıkı bir şekilde çimentolanmış yoğun toprak kitlelerini (Massif strüktür) zamanla daha küçük agregatlara ayırdığını göstermektedir.

Araştırmalara göre, toprak kolloidlerinin dehidrasyonu, toprak kitlesinin büzülmesine ve kil taneciklerinin çimentolanmasına, böylece bütün kitle boyunca ortaya çıkan gerilme ve çatlamlar, keseklerin ve agregatların oluşmasına sebep olmaktadır.

İslanmada ise, keseğin daha küçük parçalara ayrılmasında iki etken rol oynamaktadır. Birincisi, suyun hızla alınması halinde fragmentin şişmesidir. Bu olay, büzülme sırasında meydana gelen dilinim üzeyleri boyunca fragmentin kırılmasına sebep olmaktadır. İkincisi

ise, kapillar kanalcıklara giren suyun kanalcık içerisindeki havayı hapsedip sıkıştırmasıdır. Bu sıkışmış havanın basınç kuvveti, taneciklerin kohezyon gücünün üzerine çıktığında fragmentin, içerisindeki zayıf kısımlarından, çatlayıp parçalanmasına sebep olmaktadır.

Özetlenecek olursa, birbirini takip eden ıslanma ve kurumalar, şişme ve büzölmelere sebep olarak, hasil ettikleri dengesiz basınç ve gerilmelerle, bunlara ilaveten ıslanma sırasında gözeneklerde hapsedilen havanın basınç etkisiyle agregasyonu meydana getirmektedirler.

III-2-7) Donma ve Çözünme

Jung (1931), donmanın topraklara etkisinin tabiatını incelemek üzere yaptığı araştırmasında, donmanın, donma hızı ve rutubete bağlı olarak, hem agregasyona, hem de dispersiyona sebep olabileceğini göstermiştir.

Yavaş soğumada buz kristalleri, iri gözeneklerde teşekkül etmektedir. Bu kristaller, toprak taneciklerinin etrafında tutulan suların emilip toplanması için bir merkez olarak hizmet

etmektedirler. Bu olay, taneciklerin dehidrasyonuna sebep olarak birbirleriyle daha sıkı temaslarını sağlamaktadır. Ayrıca, bu sırada salınan elektrolitler az da olsa bir flokülasyon sağlayabilmektedirler.

Buz kristallerinin basınç etkisinden ileri gelen agregasyonun ise, yukarıda açıklanan çok daha önemli olması muhtemeldir. Yavaş soğuma az sayıda fakat iri buz kristalleri meydana getirmektedir. Donma sırasında hacmi genişlemek zorunda kalan gözenekler, topraklarda gevşetici bir etki yapmaktadır.

Her iki mekanizma müştereken belirli bir agregasyon meydana getirmektedir.

Soğuma hızlı olduğu takdirde, suyun donarak genişmesi nedeniyle, agregatları kırıp parçalayan, çok sayıda ince buz kristalleri meydana gelmektedir.

Sonuç olarak, agregasyonu etkileyen toprağa ait faktörler ve doğal olaylar, agregat oluşumuna doğrudan katılan temel unsurların, açıklanmış olan bazı mekanizmalar yoluyla, toprakta agregat strüktürü oluşturmasını sağlamaktadırlar.

KAYNAKLAR

Akalan, İ., (1968). Toprak (Oluşu Yapısı ve Özellikleri). Ank. Üni. Zir. Fak. Yay. No: 241, Ankara.

Baver, L. D., (1966). Soil Physics, Third ed., John Wiley and Sons Inc., New-York and London.

Ergene, A., (1972). Toprak Biliminin Esasları, Genişletilmiş İkinci Baskı, Ata. Üni. Zir. Fak. Yay. No: 12, Erzurum.

Fiedler, H. j. ve H. Reissig, (1964). Lehrbuch der Bodenkunde, VEB

Güstav Fischer Verlag, Jena-DDR

Martin, J. P., W. P. Martin, J. B. Page, W. A. Raney ve J. D. De Ment, (1955). Soil Aggregation, Advances in Agronomy, Vol. VII, Academic Press Inc. Pub., New-York.

Scheffer, F. ve P. Schachtschabel, (1973). Lehrbuch der Bodenkunde, VIII. neue Auflage, Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart- BRD.