

TOPRAKLARDA DİFUZYON VE DİSPERSİYON ARASINDAKİ İLİŞKİ

Taşkın ÖZTAŞ

Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bölümü, Erzurum

ÖZET : Difüzyon ve dispersiyon arasındaki analog aynı temel diferansiyel denklemin ve onun matematiksel çözümünün her iki özellik için de uygulanabilir olmasına dayanmaktadır. Difüzyon moleküllerin sahip olduğu termal enerjinin bir sonucu olarak meydana gelirken, dispersiyon gözenekli bir ortamda hareket eden akışkanın hız farklılıklarının bir sonucu olarak ortaya çıkar. Dispersiyon, suyun toprak profili boyunca hareketi sırasında çözünmüş maddelerin profil içerisinde yeniden dağılımı açısından difüzyona göre çok daha önemlidir. Toprakta çözünmüş halde bulunan iyonların toprak profili içerisinde bir noktadan diğer bir noktaya taşınması difüzyon ve kütleli akış mekanizmalarına dayandırılmaktadır. Toprakta suyun içerdiği çözünmüş iyonlarla birlikte toprak profili içerisindeki hareketi kütleli akışı, iki nokta arasında iyon konsantrasyon farklılıklarından dolayı meydana gelen hareket ise difüzyonu karakterize eder. Difüzyon ve kütleli akış, toprak-su sistemi için son derece önemlidir. Granüler formda toprağa ilave edilen gübreler çözünür ve toprak katmanı içerisinde difüze olurlar. Bitki besin elementleri hem suyun kütleli hareketi, hem de difüzyonla bitki kök bölgesine taşınırlar.

DİFUZYON

Moleküler büyüklükteki bireysel parçacıklar, moleküllerin sahip olduğu termal enerjinin bir sonucu olarak ortam içerisinde rastgele hareket etme eğilimindedirler. Bu durum moleküllerin yüksek konsantrasyon noktasından düşük konsantrasyon noktasına doğru hareket etmesine neden olur ki söz konusu mekanizma difüzyon olarak adlandırılmaktadır.

Topraklarda difüzyonla ilgili problemlerin çoğu difüzyon teorisi ile çözüme kavuşturulur. Toprak gibi gözenekli bir ortamda difüzyon sıvı fazda (toprak suyunda) cereyan eder. Buna karşılık katı faz difüzyonun yolunu ve difüzyon için elverişli kesit alanını belirler.

Homojen bir ortamda, tek boyutta parçacıkların ortalama makroskopik akış hızı (F) Fick' in birinci kanununa göre;

$$F = dQ_C / dt = -DA(dC/dx) \quad [1]$$

Burada;

Q_C : difüze olan madde miktarı, g mol⁻¹

t : zaman, s

D : difüzyon katsayısı, cm² s⁻¹

A : kesit alanı, cm²

C : konsantrasyon, g cm⁻³

x : difüze olan maddenin net hareket yönündeki mesafe, cm.

(Eşitlik [1]' deki eksi (-) işareti hareketin artan mesafe yönünde yüksek konsantrasyondan düşük konsantrasyona doğru olduğunu göstermektedir).

Fick' in kanunu gaz veya sıvılar gibi uniform ortamlardaki difüzyonu karakterize etmek için geliştirilmiştir. Buna karşılık toprak kompleks ve değişken bir ortamdır. Moleküler difüzyon çözeltinin termal kinetik enerjisi nedeniyle moleküllerin hareketlerine bağlı olarak ortaya çıkan karışımın bir sonucu olarak meydana gelir. Moleküller arasındaki mesafeden dolayı, bu dağılımı tanımlayan katsayı(*) gazlarda sıvılara, sıvılarda ise katılara nazaran daha yüksektir. Gözenekli bir ortamdaki difüzyon katsayısı, saf sıvı bir ortama göre çok daha düşüktür. Bunun nedeni ise moleküllerin ortamdaki katı fazına çarparak difüzyon oranlarının azalmasından kaynaklanmaktadır.

Toprakta çözünmüş halde bulunan iyonların difüzyonunu tanımlamak için toprağın farklı geometrik, fiziksel ve kimyasal özelliklerini gözönünde tutmak ve onu kompleks, elektrik yüklü ve düzensiz paketlenmiş gözenekli bir materyal olarak düşünmek gerekmektedir. Diğer bir ifade ile, çözünmüş maddeler difüzyon yönünde hem pür çözelti ile hem de yüzey difüzyonu tarafından adsorbe edilmiş formda hareket edebilirler. Adsorbe formdaki hareketlilik genellikle çözeltideki harekete göre çok daha düşüktür, fakat topraktaki çözünmüş maddelerin büyük bir kısmı belki de bu formda difüze olmaktadır. Bundan dolayı, toprak suyunda çözünmüş iyonların difüzyon katsayılarındaki farklılıklara sebep olan faktörlerin belirlenmesi ve difüzyon eşitliğine ilave edilmesi gerekmektedir. Bu faktörlerden bazıları aşağıda verilmiştir:

(*) Difüzyon katsayısı (D), difüzyon oranının kantitatif olarak ifade edilmesinde kullanılmakta ve birim alandan birim konsantrasyon eimi altında difüze olan maddenin geçifi oranı olarak tanımlanmaktadır.

1. Kesit alanının azalması: Toprak suyunda çözülmüş iyonların hareketi toprağın toplam hacminin sadece su ile işgal edilen kesimi ile sınırlanmıştır. Bu kesit alanı toprağın hacimsal su içeriğinin (Q_v) belli bir dilimidir. Bu durumda, toprakta difüzyonla hareket eden iyonlar için elverişli kesit alanı toprakta su ile dolu gözeneklerin kapladığı alan kadar (AQ_v) olacaktır.

2. Akış yolunun pürüzlülüğü: İyonların difüzyonla bir noktadan diğer bir noktaya hareketinde takip ettiği yol (L_e) toprağın doğal yapısından dolayı daima iki nokta arasındaki izafi mesafeden (L) daha uzundur. Bu da, eşitlik [1]'de yeralan konsantrasyon eğiminin azalmasına neden olacaktır. Eşitliğe $(L/L_e)^2$ olarak ilave edilen faktör değeri sabit nem tansiyonu altında artan kil içeriği ile artar.

3. Suyun nisbi akışkanlığı: İyonların difüzyon hızı suyun viskozitesi ile ters orantılı olarak değişir ve kil yüzeylerine yakın suyun viskozitesi daima yüzeyden uzaklaştıkça azalır. Bu nedenle, difüzyon eşitliğinin toprak gibi karmaşık bir sistem için uyarlanması durumunda suyun nisbi akışkanlığından kaynaklanan değişiminde (r_f) difüzyon eşitliğine ilave edilmesi gerekmektedir.

4. Elektrostatik Sınırlama: Topraktaki gözenekler birbiriyle bağlantılı büyüklü-küçüklü açıklıklar şeklinde düşünülebilir. Topraktaki küçük gözeneklerde ve negatif yüklü kil minerallerinin ince bir su filmi ile kaplı olması durumunda, katyonların adsorpsiyonu ve anyonların ayırımı gibi nedenlerle difüzyonla meydana gelen iyon hareketinde bir yavaşlama görülür. Bu nedenle, elektrostatik sınırlamayı ifade eden γ faktörünün de difüzyon eşitliğine dahil edilmesi gerekmektedir. Eğer toprakta uniform bir gözeneklilik mevcutsa γ değeri 1 'dir, ve bu değer heterojenlik derecesine bağlı olarak 0 ile 1 arasında değişir.

Toprak solusyonundaki katyonların difüzyonu anyonların difüzyonundan farklıdır. Öncelikle, katyonlar kil yüzeylerinde adsorbe edilmiş olsalar bile difüzyon hareketine katılabilirler. Buna karşılık anyonlar genellikle adsorbe edilmezler. Eğer anyonlar adsorbe edilmiş olsalar bile, adsorpsiyon kuvvetleri o kadar güçlüdür ki anyon adsorpsiyon yüzeylerinde değişim son derece güç olur. Bu aynı zamanda anyon değişim yüzeyleri arasındaki mesafe ile de yakından ilgilidir. Diğer yandan, katyon değişim yüzeyleri birbirlerine çok yakındır, bu nedenle çifte difüz tabakasında zayıf bir şekilde tutulan katyonlar kolayca pozisyon değiştirebilmektedirler.

Topraktaki difüzyonu ifade etmek için yukarıda açıklanan 4 faktörden son üçü birleştirilerek "azaltıcı faktör" (f) adı altında difüzyon eşitliğine ilave edilmektedir. Azaltıcı faktör, topraktaki nem içeriği, agregatlaşma ve sıkışma tarafından etkilenmekte ve daima 1 'den küçük bir değer olmaktadır.

$$f = (L/L_e)^2 r_f \quad [2]$$

Eşitlik [1] ve [2]'den;

$$F = -D\theta f(dC/dx) \quad [3]$$

yazılabilir.

Eşdeğer (D) ve etkili difüzyon (D_e) katsayıları

İki difüzyon katsayısı arasındaki tek fark onların tanımlandığı ortamlar arasındaki farklılığa dayanmaktadır. Herhangi bir iyon için eşdeğer difüzyon katsayısı (D) yalnızca suyun mevcut olduğu bir ortamda tanımlanırken, buna karşılık etkili difüzyon katsayısı (D_e) toprak solusyonunda tanımlanmaktadır.

$$F = -D_e(dC/dx) \quad [4]$$

[3] ve [4] numaralı eşitliklerden;

$$F_{su} = -D\theta f(dC/dx) = -D_e(dC/dx) = F_{toprak} \quad [5]$$

yazılabilir. Buradan etkili difüzyon katsayısı,

$$D_e = D\theta f(dC/dC) \quad [6]$$

elde edilir.

[6] numaralı eşitlik etkili difüzyon katsayısının daima eşdeğer difüzyon katsayısından küçük olacağına işaret etmektedir. Bunun nedeni ise toprak nem içeriğindeki değişime bağlanmaktadır. Çünkü toprak nem içeriğindeki azalma difüzyon için elverişli olan kesit alanının azalmasına, difüze olan iyonların takip edebilecekleri

yolun uzamasına, viskositenin artmasına ve negatif adsorpsiyona neden olmaktadır. Ayrıca, belli bir toprak nem tansiyonu altında toprakta kil içeriği artıkça etkili difüzyon katsayısı artar. Bu aynı nem tansiyonu altında kilin kuma nazaran daha fazla su tutabilme özelliği ile ilişkilidir.

DİSPERSİYON

Evaporasyon, infiltrasyon, drenaj ve suyun bitkiler tarafından absorpsiyonu gibi olaylar sonucu toprak nem içeriğinde meydana gelen değişimler, topraktaki suyun ve suda çözülmüş maddelerin birlikte hareket etmesine neden olur. Bu, toprak profilinde çözülmüş maddelerin yeniden dağılımının toprak suyunun hareket hızının bir fonksiyonu olduğunu göstermektedir.

Dispersiyon mekanizması difüzyon işleminden tamamıyla farklıdır. Dispersiyon moleküllerin sahip oldukları enerjiden dolayı yaptıkları rastgele hareketleri dikkate almaksızın akışkanın taşınmasındaki olayları esas alır. Toprak gibi heterojen bir ortamın karmaşık geometrisi ve akışkanın (su) viskoz karakteristiklerinden dolayı, toprak suyunun hızı bir noktadan diğer bir noktaya ve bir yönden diğer bir yöne değişiklik gösterir. Toprak suyunun hızındaki bu değişkenlik toprakta hidrodinamik dispersiyonun ana sebebidir.

Toprakta çözülmüş maddelerin kütle akışı ile taşınması, akışın hızına, çözülmüş maddenin difüzyon katsayısına ve değişim yüzeylerinde yerdeğişen ve yerdeğiştiren iyonun konsantrasyonuna bağlıdır. Toprak, değişik şekil ve büyüklükteki gözeneklerin rastgele dağılımı şeklinde düşünür ve Poiseuille kanununa göre çözeltinin hızının gözenek yarıçapının karesi ile orantılı olduğu dikkate alınır, gözenekteki suyun gerçek hızının farklı hızların bir kombinasyonu olduğu ortaya çıkmaktadır. Sıvının viskoz özelliğinden dolayı büyük gözeneklerdeki akış hızı, küçük gözeneklerdeki akış hızına göre daha hızlı ve gözenegin merkezinde kenarlarına göre çok daha yüksektir. Bunun sonucu olarak, çözülmüş parçacıklardan yüzeye yakın olanlar taşınma sırasında merkezde olanlara nazaran daha uzun süreli kalabilmektedirler.

Hidrodinamik dispersiyon gözenekli ortamda hareket eden sıvıya nazaran bir karışımın söz konusu olduğu durumda kendisini gösterecektir. Yani, ortamda bulunan iyonların konsantrasyonlarında ne zaman bir değişiklik olursa, o durumda hidrodinamik dispersiyon söz konusu olacaktır.

Dispersiyonun Şekillendirilmesi

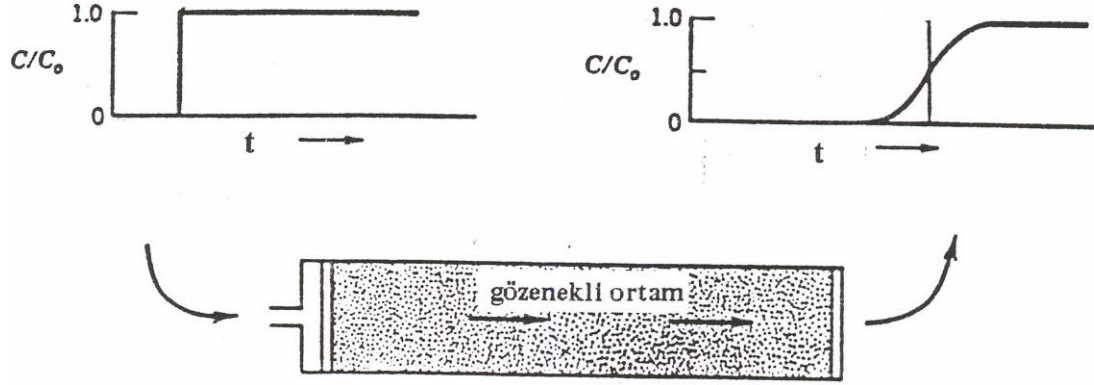
Hidrodinamik dispersiyonu karakterize etmek için en uygun metot bir toprak kolonunda farklı iki solusyonun yerdeğiştirmesi sonucu ölçülen konsantrasyon farkının zamana bağlı olarak değişimini inceleyen grafiği tayin etmektir. Böyle bir teste nisbi konsantrasyonu $C/C_0=1$ olan bir indikatörle başlanır ve kolonun çıkış noktasından alınan örneğin nisbi konsantrasyonundaki değişim zamana bağlı olarak ölçülür. Şekil 1a ve b toprak kolonuna giren ve çıkan solusyondaki indikatörün nisbi konsantrasyonunun zamana bağlı olarak değişimini göstermektedir.

Toprak kolonuna ilave edilen çözelti yavaş yavaş gözeneklerde bulunan çözelti ile yerdeğiştirir ve yayılmaya başlar. Bu olay hem difüzyon ve hem de kütle akışının etkisi altında gerçekleşir. Gözenegin merkezindeki çözelti gözenek duvarlarına yakın olanlara nazaran daha hızlı hareket edeceğinden bu durumda etkili olan dispersiyon yerdeğişen ve yerdeğiştiren sıvılar arasındaki karışım zonunu meydana getirir.

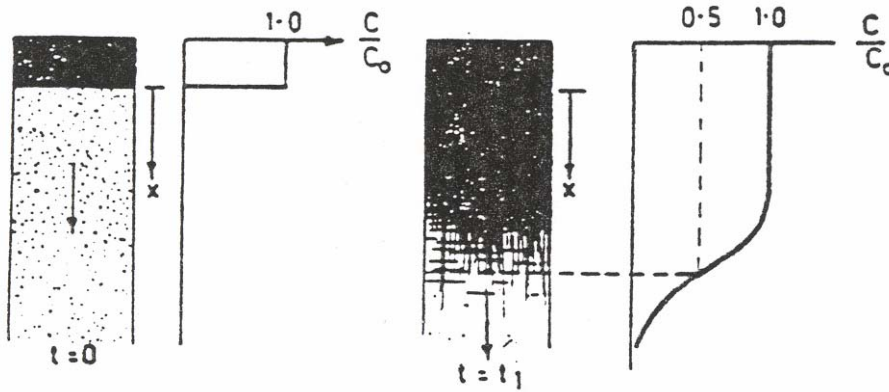
Eğer dispersiyon olmasaydı veya ortamda toprak solusyonu ile çözelti arasında herhangi bir karışım söz konusu olmasaydı, nisbi konsantrasyonun zamana bağlı olarak değişimini inceleyen eğri çok keskin bir dönüş yapacaktı (Şekil 1a ve b). Buna karşılık, hidrodinamik dispersiyonun varlığında elde edilen eğri sigmoid biçiminde "S benzeri" bir durum almaktadır. Bu eğrinin dönüm noktasındaki koordinatlar $P_V^{(**)}=1$ ve $C/C_0=0.5$ dir.

(**) PV: Gözenek hacmi olup, toprakta mevcut gözeneklerin tamamının yerdeğiştiren sıvı tarafından değiştirildiği durumdaki hacimdir.

a: Yatay Doğrultuda Dispersiyon



b: Düşey Doğrultuda Dispersiyon



Şekil 1. Bir Toprak Kolonunda Nisbi Konsantrasyonun (C/C_0) Zamana (t) Bağlı Olarak Değişiminden Hidrodinamik Dispersiyonun Karakterize Edilmesi. (a) Yatay Dispersiyon (Domenics and Schwartz, 1990' dan); (b) Düşey Dispersiyon (Harleman and Rumer, 1962' den uyarlanmıştır).

Dispersiyon Katsayısı (K)

Hidrodinamik dispersiyon kütle akışı ve moleküler difüzyonun bir interaksyonudur. Bu, bir çok bilim adamı tarafından tek boyutlu difüzyon denkleminde yeralan difüzyon katsayısının dispersiyon katsayısı ile değiştirilmesi ile elde edilmektedir.

Sınırlı bir toprak kolonunda hidrodinamik dispersiyon için tek boyutlu difüzyon denklemi;

$$\frac{\partial C}{\partial t} - K \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - U \frac{\partial C}{\partial x} \quad [7]$$

burada;

$C(x, t)$: çözeltinin ortamdaki konsantrasyonu, mol cm^{-3}

t : süre, s

x : mesafe, cm

U : ortalama hız, cm s^{-1}

K : dispersiyon katsayısı, $\text{cm}^2 \text{s}^{-1}$

Difüzyon ve Dispersiyon Arasındaki İlişkinin Değerlendirilmesi

Difüzyon ve dispersiyon arasındaki analog aynı temel diferansiyel denklemin ve onun matematiksel çözümünün her ikisi içinde benzer olmasına dayanmaktadır.

Dispersiyon faktörü (K) gözenekli ortamdaki hızların karelerinin ortalama hız karesine yakın olduğu durumda küçük olacaktır. Yani, K faktör değeri hidrolik eğimin düşük olduğu veya gözeneklerin büyüklük dağılımının homojen olduğu durumlarda küçük değerlere sahiptir. Söz konusu durumlarda dispersiyondan ziyade difüzyon etkin durumdadır.

Dispersiyon suyun toprak profili boyunca hareketi sırasında çözünmüş maddelerin yeniden dağılımı açısından difüzyona göre çok daha önemlidir.

Moleküler difüzyonun dispersiyon üzerindeki etkisi doygun olmayan topraklarda olduğu gibi düşük akış hızlarında önem kazanır. Buna karşılık yüksek akış hızlarında, karışımda etkin olan dispersiyondur. Yani, dispersiyon katsayısı akış oranının yüksek olduğu infiltrasyon ve drenaj koşullarında moleküler difüzyon katsayısından çok daha büyüktür.

KAYNAKLAR

- Barber, S.A. 1984. Soil Nutrient Bioavailability: A Mechanistic Approach. John Wiley and Sons. Inc. New York, USA.
- Baver, L.D., W.H. Gardner, and W.R. Gardner. 1972. Soil Physics. 4th ed. John Wiley and Sons. Inc. New York, USA.
- Black, C.A. 1993. Soil Fertility Evaluation and Control. Lewis Publ. Boca Raton, Florida. USA.
- Bouldin, D.R. 1961. Mathematical Description of Diffusion Process in the Soil Plant System. Soil Sci Soc.Am.Proc. 25:476-480.
- Brakel, J.V., and P.M. Heertjes. 1974. Analysis of Diffusion in Macroporous Media in Terms of a Porosity, a Tortuosity and a Constrictivity Factor. Int. J. Heat Mass Transfer. 17:1093-1103.
- Day, P.R., and W.M. Forsythe. 1957. Hydrodynamic Dispersion of Solutes in the Soil Moisture Stream. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 477-480.
- Domenics, P.A., and F.W. Schwartz. 1990. Physical and Chemical Hydrogeology. John Wiley and Sons. Inc. New York, USA.
- Harleman, D.R.F., and R.R. Rumer. 1962. The Dynamics of Salt-Water Intrusion in Porous Media. Civ.Eng.Dep.Rept. No:55. Cambridge.
- Hira, G., and N.T. Singh. 1977. Observed and Predicted Rates of Phosphorus Diffusion in Soils of Varying Bulk Density and Water Content. Soil Sci. Soc. Am. J. 41:537-541.
- Nye, P.H., and P.B. Tinker. 1977. Solute Movement in the Soil-Root System. Univ. of California Press. USA.
- Passioura, J.B., and M.H. Frere. 1967. Numerical Analysis of the Convection and Diffusion of Solute to Roots. Aust. J. Soil Res. 5:149-159.
- Passioura, J.B., and D.A. Rose. 1971. The Analysis of Experiments on Hydrodynamic Dispersion. Soil Sci. 111(4):252-257.
- Passioura, J.B. 1971a. Hydrodynamic Dispersion in Aggregated Media. I. Theory. Soil Sci. 111(6):339-344.
- Passioura, J.B. 1971b. Hydrodynamic Dispersion in Aggregated Media. II. Effect of Velocity and Aggregate Size. Soil Sci. 111(6):345-351.
- Skopp, J. 1992. Solute Movement in Soils. Class Notes. Univ. of Nebraska-Lincoln. Dep. of Agronomy. Lincoln, NE. USA.
- Yamaguchi, T., P. Moldrip, and S. Yokosi. 1989. Using Breakthrough Curves for Parameter Estimation in the Convection-Dispersion Model of Solute Movement. Soil Sci. Soc. Am. J. 53:1635-1641.
- Yates, S.R. 1990. An Analytical Solution for One-Dimensional Transport in Heterogeneous Porous Media. Water Resour. Res. 26(10):2331-2338.