دوازدهمین کنگره علوم خاک ایران
تبریز، 12 الی 14 شهریور 1390
(فیزیک خاک و رابطه آب خاک و گیاه)

بررسی جریان ماندگار اکسیژن در خاک‌های مختلف با استفاده از شبیه سازی عددی

علی اصغر ذوالفقاری[1] و محمدتقی تیرگر سلطانی[2]

1- دانشجویان دکتری گروه مهندسی علوم خاک دانشگاه تهران، کرج Email: azolfaghari@ut.ac.ir

2- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی علوم خاک دانشگاه تهران، کرج Email :stsoltani@ut.ac.ir

خلاصه:

به منظور بررسی جریان اکسیژن در خاک از حل عددی معادلات حاکم بر این جریان استفاده شد، بر همین اساس برنامه کامپیوتری با استفاده از نرم افزار Matlab نوشته شد به این منظور، 9 خاک از بانک داده UNSODA با ویژگی‌های مختلف هیدرولیکی انتخاب شدند. نتایج نشان داد که در هر خاک در یک عمق معین، با کاهش تخلخل هوازی، غلظت اکسیژن کاهش می‌یابد. همچنین با کاهش مقدار رطوبت در تخلخل هوازی 0/3 و بیشتر، غلظت اکسیژن تا عمق یک متری تقریبا برابر غلظت آن در سطح خاک می‌باشد. نتایج مقایسه در خاک‌های مختلف نیز نشان داد که با کاهش تخلخل هوازی در مکش 100 سانتیمتر، غلظت اکسیژن در یک عمق معین کاهش می‌یابد. همچنین این نتایج نشان دادند که با افزایش عمق نیز اثر تخلخل هوازی (در مکش 100 سانتی-متر) بر غلظت اکسیژن تشدید می‌شود.

کلمات کلیدی: **جریان ماندگار اکسیژن، شبیه سازی عددی، معادله مولدراپ**

1- مقدمه

تهویه خاک یکی از مهمترین پارامتر های حاصلخیزی خاک است. ریشه گیاه طی فرآیند تنفس اکسیژن هوا را جذب و گازکربنیک را آزاد می‌سازد. تهویه خاک به ویژگی‌های خاک نظیر بافت، ساختمان و رطوبت خاک بستگی دارد.

2- مبانی نظری مسئله

انتشار گاز در خاک برای جریان یک بعدی با استفاده از قانون فیک قابل توصیف می باشد:

$$J = \frac{Q}{A} = -x_g D_g^a \frac{dc}{dx} = -D_g^s \frac{dc}{dx} \qquad \text{یا} \qquad J = K(c_2 - c_1) \qquad (1)$$

Q دبی جریان گاز (gs^{-1})، A سطح مقطع جریان (m^2)، J شدت جریان گاز در خاک ($gm^{-2}s^{-1}$)، D_g^a ضریب انتشار گاز در هوا ($m^2\ s^{-1}$) ، D_g^s ضریب پخشیدگی گاز در خاک ($m^2\ s^{-1}$) ، ξ_g فاکتور اعوجاج گاز می باشد که مقدار آن همواره کوچکتر از یک است، c غلظت گاز بر حسب ($g\ m^{-3}$) ، x فاصله، و K هدایت گازی مسیر (ms^{-1}) می باشد. که از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$K = \frac{D_g^s}{dx} = \frac{D_g^s}{x_2 - x_1} \qquad (2)$$

مطالعات زیادی برای برای تعیین اثر محیط متخلخل خاک بر روی انتشار گاز صورت گرفته است. هدف تمامی مطالعات تعیین فاکتور اعوجاج می باشند.

اخیرا مولدراپ (مولدراپ و همکاران 2000) ضریب پخشیدگی گاز در خاک را با استفاده از معادله زیر توصیف نموده است:

$$D_g^s = D_g^a.(2a_{100}^3 + 0.04a_{100})(\frac{a}{a_{100}})^{2+3/b} \qquad (3)$$

a_{100} تخلخل هوازی خاک در مکش خاک 100 سانتیمتر ، a تخلخل هوازی خاک ، و b شاخص توزیع اندازه ذرات خاک مدل کمبل (1974) می باشد.

برای بررسی انتشار اکسیژن در خاک به روش عددی ، نیمرخ خاک به لایه‌هایی (قسمت) تقسیم می شود در هر قسمت فرض می شود که شدت جریان رابطه خطی با اختلاف غلظت در بالا و پایین لایه دارد. در این شرایط فرض می شود که فعالیت‌های تنفسی موجودات زنده فقط در داخل گره ها اتفاق می افتد.

شدت جریان (به سمت پایین با علامت مثبت) برای لایه i ام از قرار زیر می باشد:

$$J(i) = -K(i).\ (C(i+1)-C(i)) \quad \text{و} \quad K(i) = \frac{D_g^s(i)}{x(i+1) - x(i)} \qquad (4)$$

$D_g^s(i)$ ضریب انتشار گاز در لایه i می باشد. موازنه جرم در گره i ام عبارت است از :

$$J(i)- J(i-1) -U(i) = 0 \qquad (5)$$

$U(i)$ نشان دهنده مصرف (علامت منفی) یا تولید اکسیژن (علامت مثبت) در گره i می باشد.

با ادغام معادلات (4) و (5) معادله زیر حاصل می شود:

$$-K(i-1).C(i-1) + (K(i-1) + K(i)).C(i) - K(i).C(i+1) - U(i) = 0 \qquad (6)$$

معادله (6) می توان برای هر گره در خاک نوشته شود. معادله بالا در خاک با توجه به دو شرط مرزی (سطح خاک و عمق مورد نظر) قابل حل می باشد.

به فرض این که برای حل این معادله n گره (n تعداد گره ها می باشد) در خاک وجود داشته باشد بنابراین n معادله با n مجهول وجد دارد که به روش حذف گوس قابل حل می باشد. با نوشتن معادله (6) برای گره‌ها ماتریس های زیر تشکیل می شود:

$$\begin{bmatrix} d_1 & a_1 & 0 & 0 & 0 & ... & 0 \\ b_2 & d_2 & a_2 & 0 & 0 & ... & 0 \\ 0 & b_3 & d_3 & a_3 & 0 & ... & 0 \\ 0 & 0 & b_4 & d_4 & a_4 & ... & 0 \\ .. & .. & .. & .. & .. & .. & .. \\ .. & .. & .. & 0 & b_{n-1} & d_{n-1} & a_{n-1} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & ... & b_n & d_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \\ .. \\ .. \\ .. \\ C_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \\ .. \\ .. \\ .. \\ U_n \end{bmatrix} \qquad (7)$$

که در معادله (7) عناصر ماتریس‌ها به صورت زیر تعریف می شوند : $d(i)=K(i)+K(i-1)$ ، $a(i)=-K(i)$ ، $b(i)=-K(i)$ ، $C(i)$ غلظت اکسیژن در هر گره و U(i) مصرف و یا تولید اکسیزن در هر گره می باشد.

3- مواد و روش‌ها

به منظور بررسی حرکت اکسیژن، 9 خاک مختلف که در آنها مقادیر تخلخل هوازی در مکش 100 سانتیمتری (a_{100})، و شاخص توزیع اندازه ذرات (b) متفاوت بودند، از بانک داده UNSODA انتخاب شدند.

در تعیین غلظت اکسیژن با استفاده از معادله (7)، برنامه کامپیوتری در محیط نرم‌افزار(MATLAB(7.10 نوشته شد. در این تحقیق، که محدوده‌ای از سطح خاک تا عمق 100 سانتیمتری مورد بررسی قرار گرفت، فواصل گره‌ها از هم 1 سانتیمتر در نظر گرفته شد. غلظت اکسیژن در سطح خاک ((C(1)) برابر $280\ gm^{-3}$ در نظر گرفته شد (کمبل 1985). قابلیت هدایت گاز در سطح خاک ((K(1)) برابر هدایت لایه مرزی اتمسفر، و برابر $0/01\ ms^{-1}$ می‌باشد (کمبل 1985). با فرض این که هیچ جریانی از عمق 100 سانتیمتری خارج نمی شود قابلیت هدایت گاز در این عمق ((K(n) برابر صفر در نظر گرفته شد. همچنین فرض شد مقدار رطوبت و تخلخل موجود در نیمرخ خاک در محدوده مورد مطالعه ثابت می‌باشد. و در نتیجه مقدار هدایت گازی در تمام گره‌ها جز در سطح و عمق یک متری خاک مقدار ثابتی می‌باشد. با توجه به این که مقادیرb ، a_{100} و a در معادله مولدراپ (3) از برخی ویژگی‌های مهم خاک نظیر بافت، ساختمان و نیز رطوبت اشباع خاک متاثر می-شوند، لذا در تحقیق حاضر از این معادله در تعیین پخشیدگی گاز در خاک استفاده شد. مقدار پخشیدگی اکسیژن در هوا برابر $D_g^a = 1.77\times10^{-5} m^2 s^{-1}$ در نظر گرفته شد.

با فرض این که مصرف اکسیژن مستقل از غلظت آن می‌باشد، مقدار اکسیژن مصرفی در هر گره با استفاده از معادله زیر تعیین شد (کمبل 1985):

$$U(i) = -0.0005\exp(-z(i)/0.3).(x(i+1)-x(i-1))/2 \qquad (8)$$

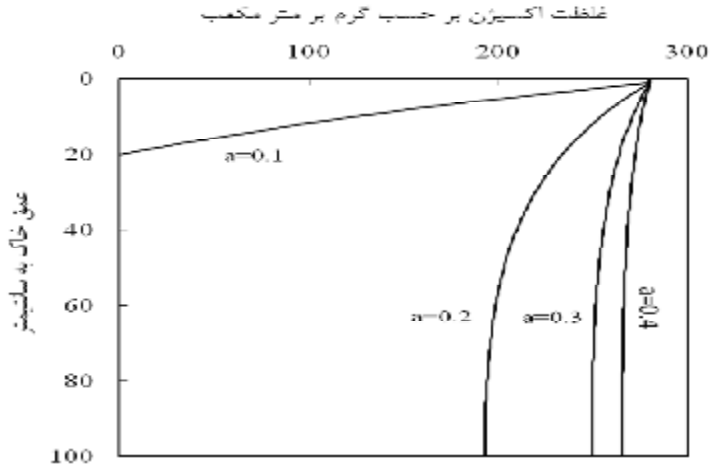
طبق این معادله مقادیر اکسیژن مصرفی در هر گره با افزایش عمق کاهش می‌یابد.

در این مطالعه با توجه به خصوصیات هیدرولیکی و منحنی رطوبتی خاک‌ها ابتدا a_{100} تعیین شد و سپس با استفاده از معادله (3) ضریب پخشیدگی محاسبه گردید. در یک خاک معین، در چهار تخلخل هوازی 0/1، 0/2، 0/3، و 0/4 تغییرات غلظت اکسیژن با عمق تعیین شد. همچنین به منظور مقایسه خاک‌های مختلف، تغییرات غلظت اکسیژن در مقابل عمق (0 تا 100 سانتی‌متر) در نمونه خاک‌های مختلف ترسیم شد. در این مقایسه تخلخل هوازی در مکش330 سانتیمتر (معادل مکش خاک در رطوبت مزرعه)، $a_{(FC)}$ در نظر گرفته شد.

4- نتایج و بحث

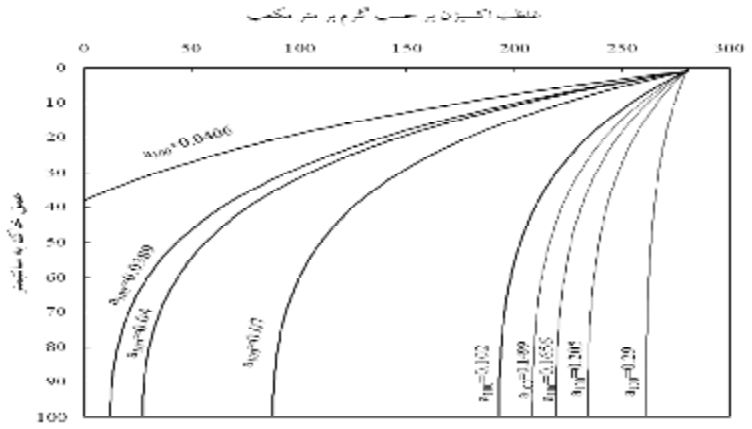
بررسی روند تغییرات غلظت با عمق در خاک‌های مورد مطالعه نشان داد که در تخلخل هوازی 0/1 و کمتر، غلظت اکسیژن با افزایش عمق به سرعت کاهش می‌یابد. به طوری که شکل 1 نشان می‌دهد در تخلل هوازی 0/1 در عمق نیمرخ خاک (بیش از 20 سانتی‌متر) غلظت اکسیژن منفی به دست می‌آید. به نظر می‌رسد دلیل این امر در نظر نگرفتن ارتباط شدت مصرف اکسیژن با غلظت اکسیژن در برآورد مصرف اکسیژن (معادله 8) می‌باشد. با کاهش مقدار رطوبت در تخلخل هوازی 0/3 و بیشتر، غلظت اکسیژن تا عمق یک متری، نزدیک غلظت آن در سطح خاک باقی می‌ماند. این بررسی نشان می‌دهد

که بیشترین شدت انتشار گاز در خاک در تخلخل هوازی 0/4 (هوا خشک) صورت می‌گیرد. شکل شماره 1 تغییرات غلظت اکسیژن با عمق را در یک نمونه خاک نشان می‌دهد.



شکل1- تغییرات غلظت اکسیژن با عمق در خاک شماره 2560 از بانک داده UNSODA

شکل2 تغییرات غلظت اکسیژن با عمق را در خاک های مختلف نشان می‌دهد. این شکل نشان می‌دهد که در یک عمق معین، با کاهش a_{100}، غلظت اکسیژن کاهش می یابد. با توجه به معادله (3)، در خاک‌های با مقادیر a_{100} بالا (خاک‌های شنی) که به راحتی قابل زهکش می‌باشند به نظر می رسد که حجم کل خلل و فرج درشت (>۳۰ میکرون) کنترل کننده اصلی ضریب پخشیدگی اکسیژن در خاک می‌باشد. این عامل در خاک‌های با مقادیر a_{100} کم (خاک‌های رسی) که دارای منافذ درشت کمتری هستند عامل کاهش ضریب پخشیدگی گاز محسوب می‌شود. شکل 2 نشان می‌دهد که با افزایش عمق در ابتدا ، غلظت کاهش یافته و سپس در یک عمق مشخص ثابت می‌شود، این عمق به مقدار تخلخل هوازی در هر خاک وابسته است. به نظر می‌رسد با افزایش عمق در خاک‌های مختلف اثر تخلخل هوازی (در مکش 100 سانتی‌متر) بر غلظت اکسیژن تشدید می‌شود.



شکل2 - تغییرات غلظت اکسیژن با عمق در خاک‌های مختلف

جدول 1- ویژگی های خاک‌های مورد استفاده از بانک UNSODA و مقادیر برآورد شده تخلخل هوازی در مکش‌های 100 و 330 سانتیمتری

کد خاک	مکش ورود هوا (cm)	رطوبت اشباع	b کمبل	a_{100}	$a_{(Fc)}$
2560	5/3	0/46	4/98	0/205	0/2555
1050	11/7	0/38	1/48	0/2908	0/3376
1131	29/5	0/24	5/72	0/04	0/08
3293	34/8	0/33	8/42	0/0389	0/0754
1467	12/8	0/31	3/11	0/1499	0/1971
2360	24/9	0/49	16/08	0/0406	0/0703
3320	27/6	0/41	4/50	0/102	0/1668
2650	10/5	0/51	5/75	0/1656	0/2253
3251	17/1	0/50	10/54	0/07	0/119

منابع

Campbell, G.S.1985. Soil physics with basic transport models for soil-plant systems. Elsevier.
Campbell,G.S.1974. A simple method for determining unsaturated conductivity from moisture retention data. Soil Sci. 117:311–314.
Jury. W., Horton. R.2004. soil physics. John Wiley & Sons, Inc.
Moldrrup. P., Olesen,T., SchjØnning, P., Yamaguchi, T. and Rolston, D.E. 2000. Predicting the gas diffusion coefficient in undisturbed soil from soil water characteristics. Soil. Sci. Soc. Am. J. 64:94 -100.
Nemes A, Schaap MG, Leij F J (2000) The UNSODA unsaturated Soil hydraulic property database, version 2.0. Available at http://www. ussl. ars. usda. Gov / MODELS /unsoda. htm.