اثر ظرف در اندازه‌گیری رطوبت خاک با پرتوهای گاما به روش شبه‌سازی مونت‌کارلو

طاهره عباس آباد عربی و حسین توکلی عنبران *
دانشگاه صنعتی شاهرود، دانشکده فیزیک، گروه هسته‌ای
(آدرس پست الکترونیکی مکاتبه کننده) tavakoli.anbaran@gmail.com

چکیده

در اندازه‌گیری رطوبت خاک با استفاده از پرتوی گاما از درصد تضعیف آن پرتو در عبور از خاک استفاده می‌شود که خود با افزایش یا کاهش رطوبت دچار تغییر می‌شود. در عمل خاک مورد مطالعه درون ظرف قرار دارد و در نتیجه سبب تضعیف بیشتر دسته پرتوی گاما و خطا در اندازه‌گیری رطوبت می‌شود. در این تحقیق با بررسی پارامترهایی همچون انرژی باریکه گاما، مکان چشمه-نمونه‌خاک-آشکارساز و ... بر روی خطای حاصل از حضور ظرف اقدام به بهینه کردن سیستم اندازه گیری و افزایش دقت روش فوق شد. ابتدا با استفاده از کد MCNP-4C سامانه مورد مطالعه شبیه‌سازی شد. سپس برای یک نمونه تجربی محاسبات انجام شد. در نهایت در شرایط بهینه رطوبت خاک، با دقت بالایی بدست آمد و مشخص شد با افزایش انرژی پرتوی گاما خطای حاصل از اثر ظرف در محاسبه رطوبت خاک، کاهش می‌یابد.

کلمات کلیدی: اثر ظرف، پرتوی گاما، رطوبت خاک، شبیه‌سازی مونت‌کارلو، کد MCNP-4C

مقدمه

خاک از سه فاز جامد مایع و گاز تشکیل شده است. بسیاری از خصوصیات خاک به مقدار آب موجود در آن بستگی دارد. فعالیت موجودات زنده و کنش‌های شمیایی خاک تابعی از مقدار رطوبت است. دانستن رطوبت خاک به دو دلیل دارای اهمیت است، (1) معلوم بودن مقدار رطوبت خاک جهت محاسبه مقدار آب مورد نیاز به صورت آبیاری و بارندگی و عمقی که مقدار معینی آب می‌تواند نفوذ کند، ضرورت دارد، (2) با اندازه گیری‌های متوالی و مستمر مقدار رطوبت می‌توان مقدار تبخیر و تعریق که از مهمترین بخش تلفات آب در چرخه هیدرولوژی به شمار می‌رود را تعیین کرد. مهمترین روش‌های اندازه گیری رطوبت عباتند از: روش جرمی یا حجمی(از طریق خشک کردن نمونه خاک در کوره که همان روش وزنی است)، استفاده از دستگاه نوترون متر، تضعیف پرتو گاما و بلوک گچی. در کارهای مشابه که توسط دیگران انجام شده است (Baytas, 2001)، (Bilskie, 2001)، (Celik, 2010)، (Demir, 2008)، (Pires, 2005) در محاسبات از فاز گازی خاک صرف نظر شده بود، که ما در کار قبلی خود (عباس آباد عربی ط، 1389) با استفاده از روش تضعیف پرتو گاماد رطوبت خاک را با در نظر گرفتن فاز گازی آن بدست آوردیم. اما در این تحقیق در ادامه تکمیل کار قبلی با بهینه کردن سامانه اندازه گیری به دنبال کاهش اثر ظرف بر روی اندازه گیری رطوبت می‌باشیم. در این روش تضعیف باریکه گاما به انرژی آن، چگالی، ضخامت و رطوبت خاک بستگی دارد و اگر چگالی خاک خشک ثابت بماند می‌توان گفت که تغییرات شدت تابش به رطوبت خاک بستگی دارد (Baytas, 2001)، (Demir, 2008)، (Pires, 2005).

مواد و روشها

اگر یک باریکه موازی و خیلی باریک گاما از یک ماده‌ای به ضخامت x عبور کند مطابق با معادله بیر- لامبرت (Beer–Lambert) به صورت زیر تضعیف می‌شود:

$$I = I_0 \exp(-m\,x) \qquad [1]$$

که I_0 و I به ترتیب شدت اولیه و عبوری از ضخامت x و m ضریب تضعیف خطی پرتوی گاما است. با تغییر رطوبت خاک تعداد عناصر هیدروژن و اکسیژن خاک و به تبعه آن درصد وزنی تک تک عناصر موجود در خاک تغییر کرده و در نهایت سبب تغییر ضریب تضعیف خاک مرطوب، نسبت به حالت قبل از آن می‌شود و در نتیجه درصد باریکه موازی پرتو گاما نسبت به حالت اول تغییر کرده و از روی این تغییر می‌توان اقدام به محاسبه رطوبت خاک کرد. خاک از سه فاز جامد، مایع و گاز تشکیل شده است، لذا ضریب تضعیف جرمی آن از رابطه زیر بدست می‌آید (Tsoulfanidis, 2008):

$$\frac{m_{wet}}{r_{wet}} = \frac{m_s}{r_s} w_s + \frac{m_w}{r_w} w_w + \frac{m_a}{r_a} w_a \qquad [2]$$

جمله سمت چپ تساوی مربوط به خاک مرطوب است که سه فاز دارد و r_{wet}، r_s، r_w، r_a به ترتیب چگالی هوا، آب، خاک خشک و چگالی خاک مرطوب می‌باشد. m_{wet}, m_s, m_w, m_a به ترتیب ضرایب تضیف خطی هوا، آب، خاک خشک و مرطوب هستند و در نهایت w_s، w_w، w_a به ترتیب درصد وزنی فاز گاز، مایع و جامد در خاک مورد مطالعه می‌باشند. پس از ساده سازی رابطه [2] داریم:

$$m_{wet} = m'_s \frac{m_s}{V_{wet}} + m_w \frac{V_w}{V_{wet}} + m_a \frac{V_a}{V_{wet}} \qquad [3]$$

که در آن V_a, V_w, V_{wet} به ترتیب حجم خاک مرطوب، حجم آب و حجم هوای موجود در خاک، m_s جرم خاک خشک و m'_s ضریب تضعیف خاک است. بنا به تعریف نسبت جرم فاز جامد خاک به حجم خاک مرطوب را چگالی ظاهری ($r'_s = \frac{m_s}{V_{wet}}$)، نسبت حجم آب به حجم خاک مرطوب را رطوبت حجمی ($q_v = \frac{V_w}{V_{wet}}$)، نسبت حجم هوای موجود در خاک به حجم خاک مرطوب را هوای نسبی خاک مرطوب ($q_a = \frac{V_a}{V_{wet}}$) می‌نامیم. پس رابطه‌ی [1] به صورت زیر در می‌آید:

$$I = I_0 \exp\left[-(m'_s\, r'_s + q_v m_w + q_a m_a)x\right] \qquad [4]$$

با توجه به اینکه چگالی آب ($g.cm^{-3}$) 1 است می‌توان $m_w = m'_w$ گرفت و از روی آن با داشتن مقادیر $m'_s\, r'_s, m'_w, q_a m_a, x$ و قرار دادن در رابطه [4] رطوبت حجمی را از رابطه زیر بدست آورد:

$$q_v = \frac{-1}{x m'_w}\left[Ln\left(\frac{I}{I_0}\right) + r'_s\, m'_s + q_a m_a\right] \qquad [5]$$

با استفاده از کد MCNP-4C برای یک ضخامت معیین خاک (x)، با مشخص بودن مقادیر $m'_s\, r'_s, m'_w, q_a m_a$ نسبت شار عبور کرده به شار اولیه پرتوی گاما در یک انرژی خاص بدست می‌آید و با قرار دادن این مقدار در رابطه [5] رطوبت حجمی (q_v) و رطوبت جرمی قابل محاسبه است. در شبیه‌سازی مونت‌کارلو از کد MCNP-4C و تالی F2 بر حسب انرژی با پهنای انرژی $\Delta E=10^{-5}$ MeV بر روی سطح پنجره آشکارساز استفاده شد تا از روی آن تعداد پرتوهای عبوری از ضخامت x خاک بدون اندرکنش (درنتیجه انرژی آن با انرژی پرتوهای گامای چشمه یکسان است با خطای $\Delta E=10^{-5}$ MeV) بدست آید. آشکار ساز از نوع CsI(Tl) به ابعاد in 2×1، نمونه خاک تجربی در استوانه‌ای به شعاع داخلی 0/5 cm و ضخامت 0/15 cm، که انتهای بسته آن به صورت نیم کره با همان شعاع و ضخامت، در فاصله 10 cm از آشکارساز قرار داده شده است دارای چگالی 1/56 $g.cm^{-3}$، رطوبت 0/634% و PH 8/72 است و چشمه یک باریکه موازی به شعاع سطح مقطع 0/05cm است که جزئیات آنها به ترتیب در جداول 1 و 2 بیان شده‌اند.

جدول 1- عناصر موجود در نمونه خاک تجربی به همراه درصد وزنی هر یک.

عناصر	H	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
درصد وزنی	0/0376	0/05936	0/55856	0/00075	0/03627	0/0094	0/3456	0/00083	0/04498	0/02381

برای آن که شبیه‌سازی با واقعییت مطابقت داشته باشد، در شبیه‌سازی برای خاک یک ظرف در نظر گرفته شده است. ظرف پلاستیکی استفاده شده، ترکیبی از 75% کپلیمراستایرن و 25% آکریلونیتریل با فرمول $C_{27}H_{27}N$ ، چگالی $1/08\ g/cm^3$ و معروف به SAN است (براون، 1380) و (http://). حضور ظرف سبب افزایش تضعف باریک گاما می‌شود و این اثر دقت اندازه‌گیری رطوبت را کاهش می‌دهد. برای بدست آوردن تضعیف پرتوهای گامای ناشی از حضور ظرف خاک، ابتدا ظرف بدون خاک را در سامانه اندازه‌گیری رطوبت قرار داده، سپس شار رسیده به پنجره آشکارساز را ثبت می‌کنیم و در مرحله دوم همین فرایند را بدون حضور ظرف انجام می‌دهیم و از تفاضل این دو، تضعیف پرتوهای گامای ناشی از حضور ظرف به تنهای بدست می‌آید.

جدول 2- مقادیر شار سطحی (F2) در دو حالت به همراه شار تضعیف شده ناشی از حضور ظرف برای دو چشمه ^{137}Cs و ^{60}Co.

چشمه	تالی (cm^{-2}) F2 برای وقتی ظرف خالی است	تالی (cm^{-2}) F2 بدون ظرف	تضعیف پرتوهای ناشی از ظرف
^{137}Cs	0/193723	0/1937353	0/001296
^{60}Co	0/0973920	0/0986882	0/003633

حال اگر نمونه خاک درون ظرف را در سامانه قرار داده و شار سطحی روی پنجره آشکارساز را بدست آوریم و اثر ظرف خاک (که در ابتدا محاسبه شد) را از آن کم کنیم تضعیف شار ناشی از خاک به تنهایی بدست می‌آید و با قرار دادن در رابطه [5] مقدار رطوبت خاک بدست می‌آید.

نتایج و بحث

در جدول 3 و 4 به ترتیب نتایج محاسبه رطوبت خاک به همراه خطای آنها برای دو چشمه ^{137}Cs و ^{60}Co با استفاده از کد MCNP-4C در دو حال بدون تصحیح اثر ظرف و تصحیح آن بیان شده است. در این تحقیق به دنبال اثر ظرفی که خاک در داخل آن قرار داده شده است و حذف اثر آن بر روی رطوبت محاسبه شده بودیم. در اینجا از ظرف پلاستیکی به خاطر چگالی پایین آن استفاده کردیم این ویژگی باعث تضعیف کمتر پرتوهای گاما شده و در نتیجه خطای کمتری در اندازه‌گیری رطوبت خاک ایجاد می‌کند. با توجه به جدول 3 و 4 مشاهده می‌شود که خطای اندازه‌گیری با چشمه ^{60}Co کمتر است زیرا پرتوهای گامای این چشمه (1/17 MeV و 1/33) در مقایسه با پرتوهای گامای چشمه ^{137}Cs (0/66 MeV) بیشتر است و این سبب می‌شود که نفوذ پرتوی گاما در ماده بیشتر باشد و در نتیجه تاثیر ظرف خاک بر روی تضعیف پرتوی گاما کمتر شده و در نتیجه خطای محاسبه رطوبت کاهش می‌یابد.

جدول 3- مقایسه میزان دقت کد در تشخیص رطوبت و خطای ناشی از اثر ظرف با چشمه ^{137}Cs.

رطوبت خاک واقعی (%)	رطوبت بدست آمده با کد بدون ظرف (%)	خطای نسبی بین مقدار واقعی و بدست آمده از روی کد بدون ظرف (%)	رطوبت بدست آمده با کد به همراه ظرف (%)	خطای نسبی بین مقدار وا و بدست آمده از روی ک به همراه ظرف (%)
2/194	2/152	1/896	2/135	2/689
5/314	5/178	2/551	5/176	2/601
8/434	8/249	2/759	8/119	3/727
16/234	15/878	2/987	15/612	3/831
24/034	23/481	4/087	23/143	4/919

جدول 4- مقایسه میزان دقت کد در تشخیص رطوبت و خطای ناشی از اثر ظرف با چشمه ^{60}Co .

رطوبت خاک واقعی (%)	رطوبت بدست آمده با کد بدون ظرف (%)	خطای نسبی بین مقدار واقعی و بدست آمده از روی کد بدون ظرف (%)	رطوبت بدست آمده با کد به همراه ظرف (%)	خطای نسبی بین مقدار واق و بدست آمده از روی ک به همراه ظرف (%)
2/194	2/155	1/896	2/168	1/201
5/314	5/201	0/121	5/266	0/898
8/434	8/249	2/187	8/177	3/052
16/234	15/878	2/191	15/695	3/320
24/034	23/481	3/529	23/427	3/749

مراجع

Baytas AF & Sevgi Ak, May 2001, Determination of soil parameters by gamma-ray transmission, Radiation measurements, Volum 35, Page 17-21

Bilskie J, Ph.D , 2001 Soil water status: content and potential, Campbell Scientific Inc

Celik N & Cevik U, June 2010, Monte Carlo determination of water concentration effect on gamma-ray detection efficiency in soil samples, Applied Radiation and Isotopes, Volume 68, Issue 6, Pages 1150-1153

Demir D & et al, April 2008, Determination of photon attenuation coefficient, porosity and field capacity of soil by gamma-ray transmission for 60, 356 and 662 keV gamma ray, Applied radiation and Isotopes, Volum 66, Pages 1834-1837

Pires LF & et al, May 2005, Soil water retention curve determined by gamma-ray beam attenuation, Soil and Tillage Research, Volume 82, Issue 1, Pages 89-97

عباس آباد عربی ط، توکلی عنبران ح، 1389، محاسبه رطوبت خاک با استفاده از پرتوهای گاما به روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو، هفدهمین کنفرانس هسته‌ای ایران، اصفحان

Tsoulfanidis N , 2008, Measurement and detection of radiation

براون اثر دتریش، 1380، روش‌های ساده در شناسایی پلاستیک‌ها، ترجمه کوکبی مهرداد، کار آفرینان بصیر

http://en.wikipedia.org/wiki/Polystyrene