



اولین همایش ملی زهکشی در کشاورزی پایدار
تهران - ۸ اسفندماه ۱۳۹۷



تخمین پارامترهای مدل نفوذ گرین- امپت از آزمایش بیرکن

سید علی موسوی

مربی گروه مهندسی آب دانشگاه گیلان- mousavi@guilan.ac.ir

محمد رضا خالدیان

استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه گیلان- khaledian@guilan.ac.ir

حسین اسدی

دانشیار گروه خاکشناسی دانشگاه گیلان- asadi@guilan.ac.ir

محمد علی گلی

دانش آموخته کارشناسی ارشد خاکشناسی دانشگاه گیلان- maligoli@yahoo.com

مهدی نوروزی

دانش آموخته کارشناسی ارشد خاکشناسی دانشگاه گیلان- mehdi_uni2000@yahoo.com

چکیده

به منظور بررسی تغییرات مکانی نفوذپذیری خاک حوزه ناورود گیلان، اندازه‌گیری صحرائی نفوذ با استفاده از روش بیرکن در ۳۷ نقطه اجرا گردید. پس از تخمین پارامترهای شکل و اندازه با روش BEST، با استفاده از روابط و پارامترهای بروکس و کوری پارامترهای مدل گرین-امپت شامل هدایت هیدرولیکی و مکش جبهه رطوبتی در هر یک از نقاط حوزه برآورد گردید. مقایسه مقادیر پارامترهای تخمینی با مقادیر گزارش شده بر مبنای کلاس بافت خاک نشان داد تعیین پارامترهای گرین-امپت فقط بر مبنای بافت باید با احتیاط انجام شود و با وجود روش کم هزینه و دقیق بیرکن باید از این کار خودداری شود.

واژه‌های کلیدی: نفوذ، مدل گرین-امپت، روش بیرکن، پارامترهای شکل، پارامترهای اندازه.

مقدمه

ورود آب به خاک توسط یکی از مهم‌ترین فرایندهای هیدرولوژیکی خاک یعنی نفوذ کنترل می‌شود. این فرایند که به ناحیه‌ی غیر اشباع خاک مربوط می‌شود، رابطی بین مؤلفه‌های آب سطحی و آب زیرزمینی است، و از این رو شناخت و تعیین مؤلفه‌های بیلان آب و انتقال آلودگی از طریق آب در این ناحیه، اهمیت فراوانی دارد. استفاده از روابط پایه فیزیکی نفوذ مستلزم تعیین ویژگی‌های منحنی‌های هیدرولیکی خاک، شامل منحنی رطوبتی و منحنی هدایت هیدرولیکی است (لاساباتره و همکاران ۲۰۰۶). برای تعیین منحنی‌های مشخصه هیدرولیکی خاک روش‌های گوناگونی توسعه داده شده است. در بین این روش‌ها، روش ساده، کم هزینه و قدرتمند بیرکن^۱ که توسط هاورکمپ و همکاران (۱۹۹۶) ابداع شده است، در حال تبدیل شدن به روشی کاربردی در علوم خاک است (بیلماز و همکاران ۲۰۱۰ و باجارلو و همکاران

۲۰۱۴). لاساباتره و همکاران (۲۰۰۶) بر مبنای آزمایش بیرکن، روش تخمین پارامترهای هیدرولیکی خاک تحت عنوان روش BEST^۲ را توسعه دادند. ویلماز و همکاران (۲۰۱۰) برای برطرف کردن نواقص روش BEST، آن را به دو نسخه BEST-slope و BEST-intercept ارتقاء دادند.

در اغلب موارد به دلیل سختی و هزینه زیاد آزمایش‌های معمول نفوذ، استفاده از پارامترهای تخمینی بر مبنای بافت خاک به ویژه برای کاربرد در مدل‌های توزیعی هیدرولوژیکی مد نظر قرار می‌گیرد. از این رو در این مقاله به بررسی کارایی روش کم هزینه بیرکن در برآورد پارامترهای نفوذ گرین-امپت در حوزه آبریز ناورود گیلان پرداخته شده است. برای این منظور آزمایش صحرایی نفوذ به روش بیرکن در ۳۷ نقطه برنامه‌ریزی و اجرا گردید و پس از تخمین پارامترهای شکل و اندازه به روش BEST، با استفاده از روابط برکنسیپک و همکاران (۱۹۸۱) و باور (۱۹۶۶) پارامترهای مدل گرین-امپت بر اساس روابط بروکس و کوری (۱۹۶۴) تعیین و با مقادیر گزارش شده (بر مبنای کلاس بافت خاک) توسط رالز و همکاران (۱۹۸۳) مقایسه شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش نفوذ بیرکن

در آزمایش نفوذ بیرکن از تک استوانه ساده به شعاع ۵ تا ۱۵ سانتیمتر استفاده می‌شود. در این آزمایش ابتدا گیاهان روی سطح خاک محل آزمایش بدون اینکه ریشه‌های آن‌ها خارج شود پاکسازی می‌شود. سپس یک نمونه خاک برای تحلیل توزیع اندازه ذرات، جرم مخصوص حقیقی (ρ_s) و رطوبت اولیه (w_0) و یک نمونه دست نخورده برای تعیین جرم مخصوص ظاهری (ρ_d) خاک تهیه می‌شود (لاساباتره و همکاران ۲۰۰۶). برای اجرای آزمایش نفوذ، استوانه تا عمق ۱ سانتیمتر در خاک فروبرده می‌شود، تا از جریان جانبی جلوگیری شود. در شروع آزمایش (زمان صفر) حجم ثابت آب به آرامی روی سطح خاک داخل استوانه ریخته شده و مدت زمان نفوذ آب ثبت می‌شود. به محض نفوذ آب روی سطح، حجم ثابت بعدی ریخته شده و این کار تا ثابت شدن مدت زمان نفوذ حجم مشخص آب تکرار می‌شود. در یک آزمایش باید حداقل ۸ تا ۱۵ بار افزودن حجم ثابت آب تکرار شود تا سری زمانی کاملی از نفوذ تجمعی $I^{\text{exp}}(t)$ به تعداد N_{tot} نقطه (t_i, I_i^{exp}) تهیه شود. پس از اتمام آزمایش بلافاصله از خاک اشباع محل آزمایش برای تعیین رطوبت اشباع (w_s)، نمونه‌برداری انجام می‌شود (لاساباتره و همکاران ۲۰۰۶).

مبانی نظری

روش BEST با فرض روابط تحلیلی منحنی‌های مشخصه هیدرولیکی خاک پارامترهای شکل^۳ که به بافت خاک بستگی دارد را از تحلیل توزیع دانه‌بندی خاک و پارامترهای اندازه^۴ که به ساختمان خاک بستگی دارد را از آزمایش صحرایی نفوذ تحت بار هیدرولیکی صفر، تخمین می‌زند (لاساباتره و همکاران ۲۰۰۶). روش BEST برای تعیین منحنی رطوبتی خاک از رابطه ونگونختن (رابطه (۱a)) با شرایط بوردین (رابطه (۱b)) و برای تعیین منحنی هیدرولیکی خاک از رابطه بروکس و کوری (رابطه (۲)) استفاده می‌کند (بوردین ۱۹۵۳، بروکس و کوری ۱۹۶۴ و ونگونختن ۱۹۸۰):

(۱a)

$$\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \left[1 + \left(\frac{h}{h_g} \right)^n \right]^{-m}$$

(۱b)

$$m = 1 - \frac{2}{n}$$

2-Beerkan Estimation of Soil Transfer parameters

3- Shape parameters

4- Scale parameters

(۲)

$$\frac{K(\theta)}{K_s} = \left(\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \right)^\eta$$

که در آن‌ها m ، n و η پارامترهای شکل و θ_s ، θ_r ، h_g و K_s پارامترهای اندازه هستند. در بیشتر موارد θ_r بسیار ناچیز بوده و بنابراین صفر فرض می‌شود. این روابط برای توصیف رفتار هیدرولیکی بیشتر خاک‌ها مناسب بوده و دقت آن‌ها اثبات شده است (لاساباتره و همکاران ۲۰۰۶).
برازش نتایج حاصل از آزمایش‌های نفوذ بر روابط تجربی یا تحلیلی امکان تخمین پارامترهای اندازه و ترکیبی از آن‌ها مانند قابلیت جذب آب (S) را فراهم می‌آورد. در یک آزمایش نفوذ با بار هیدرولیکی صفر (ناچیز) در سطحی دایروی با شعاع r_d ، روی خاکی یکنواخت با رطوبت اولیه یکنواخت (θ_0) ، نفوذ تجمعی سه بعدی $(I(t))$ و سرعت نفوذ $(q(t))$ ، را می‌توان در حالت انتقالی و غیرماندگار با روابط (۳a) و (۳b) و در حالت ماندگار و دائمی با روابط (۳c) و (۳d) بیان نمود (هاورکمپ و همکاران ۱۹۹۴):

(۳a)

$$I(t) = S\sqrt{t} + (AS^2 + BK_s)t$$

(۳b)

$$q(t) = \frac{S}{2\sqrt{t}} + (AS^2 + BK_s)$$

(۳c)

$$I_{+\infty}(t) = (AS^2 + K_s)t + C \frac{S^2}{K}$$

(۳d)

$$q_{+\infty}(t) = q_{+\infty} = AS^2 + K_s$$

که ضرایب A ، B و C با توجه به رابطه بروکس و کوری (رابطه (۲)) و شرایط اولیه به صورت زیر تعیین می‌شوند (هاورکمپ و همکاران ۱۹۹۴):

(۴a)

$$A = \frac{\gamma}{r_d(\theta_s - \theta_0)}$$

(۴b)

$$B = \frac{(2-\beta)}{3} \left[1 - \left(\frac{\theta_0}{\theta_s} \right)^\eta \right] + \left(\frac{\theta_0}{\theta_s} \right)^\eta$$

(۴c)

$$C = \frac{1}{2 \left[1 - \left(\frac{\theta_0}{\theta_s} \right)^\eta \right] (1-\beta)} \ln \left(\frac{1}{\beta} \right)$$

که برای بیشتر خاک‌ها با شرایط $\theta_0 < 0.25\theta_s$ مقادیر $\beta \approx 0.6$ و $\gamma \approx 0.75$ در نظر گرفته می‌شود (هاورکمپ و همکاران ۱۹۹۴). اگر مقادیر پارامتر شکل و رطوبت اولیه و اشباع خاک معلوم باشند، برازش نتایج آزمایش نفوذ بر رابطه (۳) امکان برآورد مقادیر هدایت هیدرولیکی اشباع (K_s) و قابلیت جذب آب (S) ، را فراهم می‌آورد. با توجه به رابطه (۳c) این برازش یا بر مبنای شیب بخش ماندگار منحنی نفوذ تجمعی (BEST-slope) یا بر مبنای عرض از مبدأ آن (BEST-intercept) انجام می‌شود. در جدول (۱) الگوریتم تخمین پارامترهای شکل و اندازه با دو روش BEST-slope و BEST-intercept ارائه شده است.
معادله اصلی گرین-امپت (گرین و امپت، ۱۹۱۱) به صورت زیر است:

$$(17)$$

$$q = K \left(1 + \frac{\varepsilon \psi_f}{I} \right)$$

که در آن، K ، هدایت هیدرولیکی اشباع، ψ_f ، مکش در جبهه رطوبتی و ε ، تخلخل خاک است. برکنسیک و همکاران

$$(1981)$$

جدول (۱): الگوریتم تخمین پارامترهای شکل و اندازه با دو روش BEST-slope و BEST-intercept

الف- تخمین پارامترهای شکل از توزیع اندازه ذرات خاک	ب- تخمین پارامترهای اندازه از داده‌های نفوذ تجمعی آزمایش بیرکن
<p>گام الف-۱: برآزش رابطه (۵) بر داده‌های توزیع اندازه ذرات</p> <p>گام الف-۲: تعیین بعد فرکتالی محیط</p> $\kappa = \frac{2s-1}{2s(1-s)} \quad (10a)$ $I_0(t, S_0) = S_0 \sqrt{t} + AS_0^2 t \quad (10b)$ $(1-\varepsilon)^s + \varepsilon^{2s} = 1$	<p>گام ب-۱: تعیین مقادیر ضرایب محاسبه ضرایب A، B و C از رابطه (۴) و فرض مقادیر $\beta \approx 0.6$ و $\gamma \approx 0.75$</p> <p>گام ب-۲: تعیین حداکثر مقدار پارامتر قابلیت جذب آب</p> $S_{\max} = \text{MAX}_{k=5 \dots N_{tot}} \left[\text{MIN} \left(S_{0k}, \sqrt{q_{+\infty}^{\text{exp}} / A} \right) \right]$ <p>گام ب-۳: تخمین مقادیر $S(k)$ و $K_s(k)$ به ازای $k = 5 \dots N_{tot}$</p>
<p>گام الف-۳: تخمین پارامترهای شکل:</p> $P_M = \frac{MN}{1+M} \quad (11a)$ $p_m = p_M (1+\kappa)^{-1} \quad (11b)$ $m = \frac{1}{p_m} (\sqrt{1+p_m^2} - 1) \quad (11c)$ $n = \frac{2}{1-m} \quad (11d)$ $\eta = \frac{2}{m \times n} + 3 \quad (11e)$	<p>BEST-slope (B/s):</p> $I(t) = S\sqrt{t} + [A(1-B)S^2 + Bq_{+\infty}^{\text{exp}}] t \quad (11a)$ $S(k) \min \sum_{i=1}^k [I^{\text{exp}}(t_i) - I(t_i)]^2 \quad (11b)$ <p>ST: $S(k) \leq S_{\max}$</p> $K_s(k) = C \frac{(S(k))^2}{b_{+\infty}^{\text{exp}}} \quad (11c)$ <p>$K_s(k) = q_{+\infty}^{\text{exp}} - AS^2$</p>
<p>گام الف-۳: تعیین ضریب C_p</p> $C_p = \Gamma \left(1 + \frac{1}{n} \right) \left\{ \frac{\Gamma(m\eta - \frac{1}{n})}{\Gamma(m\eta)} + \frac{\Gamma(m\eta + m - \frac{1}{n})}{\Gamma(m\eta + m)} \right\} \quad (9)$	<p>گام ب-۳: تخمین مقادیر نهایی پارامترهای اندازه</p> $t_{\max}(k) = \frac{1}{4(1-B)^2} \left(\frac{S(k)}{K_s(k)} \right)^2 \quad (12a)$ $k_0 = \max \{k \text{ such as } [t(k) \leq t_{\max}(k)]\} \quad (12b)$ $S = S(k_0) \quad \text{and} \quad K_s = K_s(k_0) \quad (12c)$ $h_g = - \frac{S^2}{c_p(\theta_s - \theta_0) \left[1 - \left(\frac{\theta_0}{\theta_s} \right)^\eta \right] K_s} \quad (12d)$

نشان دادند که با استفاده از رابطه بروکس و کوری (۱۹۶۴) می‌توان پارامترهای مدل نفوذ گرین-امپت را تخمین زد. رابطه بروکس و کوری (۱۹۶۴) برای منحنی رطوبتی خاک به صورت رابطه (۱۸) می‌باشد:

(۱۸)

$$\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \left(\frac{h_g}{h} \right)^\lambda$$

که $\lambda = m \times n$ ، شاخص اندازه حفرات خاک است. رابطه پیشنهادی برکنسیک و همکاران (۱۹۸۱) برای تعیین ψ_f بر اساس پارامتر شکل λ و پارامتر اندازه h_g بوده و به صورت رابطه (۱۹) می‌باشد:

(۱۹)

$$\psi_f = \frac{2\lambda + 3}{2\lambda + 2} \left(\frac{h_g}{2} \right)$$

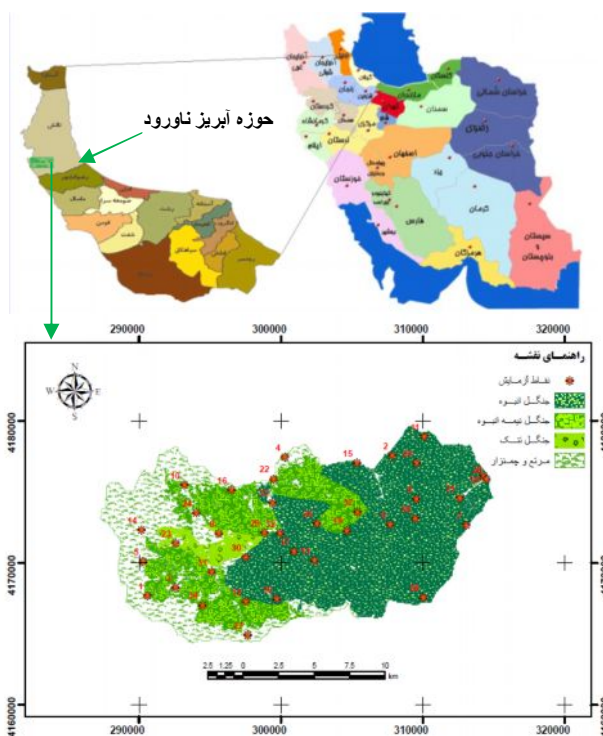
همچنین باور (۱۹۶۶) نشان داده است که هدایت هیدرولیکی گرین-امپت یک دوم هدایت هیدرولیکی اشباع خاک است:

(۲۰)

$$K = \frac{K_s}{2}$$

منطقه مورد مطالعه

آزمایش‌ها در حوزه جنگلی ناورود اسالم در غرب استان گیلان انجام شده است. این حوزه با مساحت ۳۰۷ کیلومتر مربع (تا دریا)، در محدوده شهرستان تالش، در دامنه‌های شرقی سلسله جبال البرز (رشته‌کوه‌های تالش) واقع گردیده است. از کل وسعت حوزه آبریز ناورود (۳۰۷ کیلومتر مربع)، حدود ۴۱ کیلومتر مربع مربوط به دشت و بقیه آن که حدود ۲۷۴/۵ کیلومتر مربع می‌باشد، مساحت حوزه را تا محل ورود به دشت (ایستگاه خرچگیل)، در بر می‌گیرد. ناحیه مورد مطالعه که شامل محدوده با ارتفاع بالاتر از ۱۳۰ متر می‌باشد، در شکل (۱)، نشان داده شده است.



شکل (۱): موقعیت نقاط آزمایش در حوزه ناورود اسالم در غرب استان گیلان

نتایج و بحث

پس از اجرای آزمایشات صحرايي و نمونه‌برداری، مقادير رطوبت اوليه، جرم مخصوص حقيقي و ظاهري و توزيع اندازه ذرات نمونه‌ها در آزمایشگاه، اندازه‌گیری شد. توزيع اندازه ذرات از تحليل نتايج روش هیدرومتر تعيين و کلاس بافت خاک مشخص گردید. از بين ۳۷ نقطه آزمایش، ۴ نقطه بافت لوم ماسه‌دار، ۵ نقطه بافت لوم، ۴ نقطه بافت لوم رس‌دار ماسه‌ای، ۲۰ نقطه بافت لوم رس‌دار، ۲ نقطه بافت لوم رس‌دار سیلتی و ۲ نقطه بافت رسی داشتند. داده‌های توزيع اندازه ذرات خاک با دقت مناسب (خطای نسبی کمتر از ۶ درصد) بر رابطه (۵) برازش داده شد و مقادير پارامترهای M ، N و D_g برآورد گردید. با استفاده از این مقادير، پارامترهای شکل m ، n ، η و λ از روابط (۶) و (۷) محاسبه و در جدول ۲ درج شده است. مدل‌سازی داده‌های آزمایش نفوذ بیرکن با دو روش BEST-slope و BEST-intercept برای برآورد پارامترهای اندازه انجام شد، که نتايج آن در جدول ۲ ارائه شده است. در مواردی که هر دو روش BEST موفق به مدل‌سازی آزمایش نفوذ گردیده‌اند انتخاب پارامترهای اندازه بر مبنای خطای نسبی کمتر انجام شد. سپس با استفاده از روابط (۱۴) و (۱۵) مقادير دو پارامتر هدایت هیدرولیکی و مکش جبهه رطوبتی مدل گرین-امپت محاسبه شد. این مقادير نیز در جدول ۲ درج شده است.

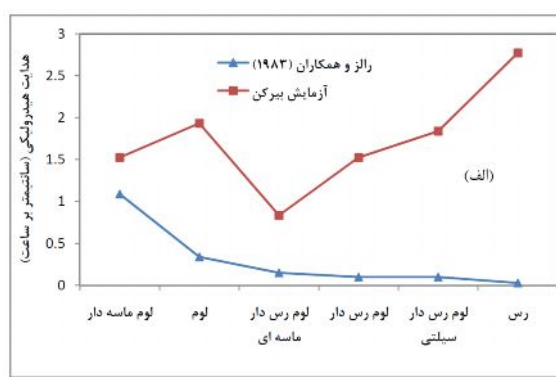
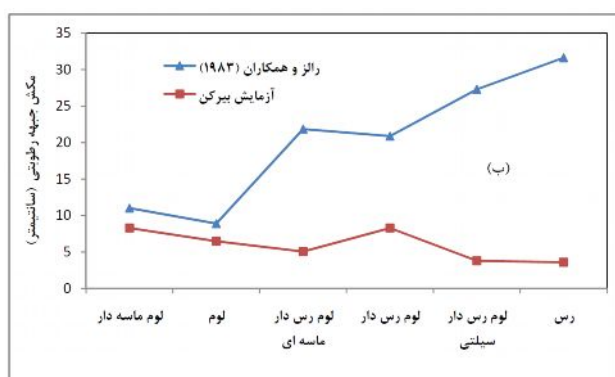
جدول (۲): ویژگی‌های خاک نقاط آزمایش و مقادير پارامترهای اندازه و شکل و پارامترهای مدل گرین-امپت

ψ_f (cm)	K (cm/h)	h_g (cm)	S (cm/h ^{0.5})	K_s (cm/h)	λ	η	n	m	ε	کلاس بافت خاک	نقطه
۵/۹۹۱	-/۳۶۴	۸/۲۷۹	۲/۱۱۸	-/۵۲۹	-/۱۱۸	۲۰/۰۰۶	۲/۱۱۸	-/۰۵۶	-/۵۴۹	لوم رس دار سیلتی	۱
۱۰/۱۷۷	-/۷۶۶	۱۴/۰۸۹	۳/۴۷۱	۱/۵۲۳	-/۱۲۴	۱۹/۰۷۳	۲/۱۲۴	-/۰۵۹	-/۳۶۷	لوم	۲
۳۰/۷۰۳	-/۳۸۱	۴۲/۰۶۹	۶/۴۸۵	-/۷۶۲	-/۰۸۸	۲۵/۷۹۸	۲/۰۸۸	-/۰۴۲	-/۵۴۲	لوم رس دار	۳
۱/۰۰۸	۱/۶۲۸	۱/۳۸۸	۲/۰۳۲	۳/۲۵۶	-/۱۰۳	۲۲/۴۰۴	۲/۱۰۳	-/۰۴۹	-/۴۰۶	لوم رس دار	۴
۱/۵۹۹	۳/۴۱۲	۲/۱۹۹	۳/۸۱۷	۶/۸۲۵	-/۱۰۰	۲۲/۹۰۸	۲/۱۰۰	-/۰۴۸	-/۵۰۲	لوم رس دار سیلتی	۵
۱۹/۱۷۳	۱/۵۷۵	۲۶/۲۶۳	۱۰/۱۵۵	۳/۱۵۰	-/۰۸۷	۲۶/۰۴۶	۲/۰۸۷	-/۰۴۲	-/۶۰۵	لوم رس دار	۶
۳/۲۱۵	-/۶۷۴	۴/۰۰۲	۲/۲۰۲	۱/۳۴۷	-/۰۸۶	۲۶/۳۵۴	۲/۰۸۶	-/۰۴۱	-/۵۳۷	لوم رس دار	۷
۱/۱۲۶	۲/۴۹۷	۱/۵۴۷	۲/۷۴۷	۴/۹۹۴	-/۰۹۸	۲۳/۴۶۷	۲/۰۹۸	-/۰۴۷	-/۴۸۰	لوم رس دار	۸
۶/۵۷۷	۱/۱۷۹	۸/۹۸۹	۴/۴۰۰	۲/۳۵۸	-/۰۷۹	۲۸/۲۸۷	۲/۰۷۹	-/۰۲۸	-/۵۲۰	رس	۹
۱۹/۷۴۳	-/۹۸۲	۲۷/۵۷۳	۶/۹۰۲	۱/۹۶۳	-/۱۵۷	۱۵/۷۱۸	۲/۱۵۷	-/۰۷۳	-/۳۸۷	لوم ماسه دار	۱۰
۱/۸۱۱	۳/۶۵۳	۲/۴۹۰	۴/۰۷۶	۷/۳۰۵	-/۱۰۰	۲۳/۰۳۳	۲/۱۰۰	-/۰۴۸	-/۵۳۱	لوم	۱۱
۲۰/۷۳۹	-/۶۹۶	۲۸/۵۹۵	۴/۴۲۴	۱/۳۹۱	-/۱۱۰	۲۱/۲۲۵	۲/۱۱۰	-/۰۵۲	-/۳۳۵	لوم رس دار	۱۲
۱/۳۹۲	۱/۸۰۹	۱/۹۱۳	۲/۶۱۹	۳/۶۱۸	-/۰۹۷	۲۳/۵۹۴	۲/۰۹۷	-/۰۴۶	-/۵۴۷	لوم رس دار	۱۳
۱۳/۰۵۹	-/۳۳۵	۱۷/۹۰۰	۳/۱۶۶	-/۴۶۹	-/۰۸۹	۲۵/۴۴۸	۲/۰۸۹	-/۰۲۳	-/۵۲۷	لوم رس دار	۱۴
۱/۱۷۷	-/۸۱۲	۱/۶۱۲	۱/۶۴۱	۱/۶۳۴	-/۰۸۶	۲۶/۳۶۸	۲/۰۸۶	-/۰۴۱	-/۵۳۴	لوم رس دار	۱۵
۲/۶۶۱	۱/۵۷۹	۴/۰۷۷	۳/۴۹۴	۳/۱۵۷	-/۱۰۵	۲۲/۰۹۵	۲/۱۰۵	-/۰۵۰	-/۴۶۰	لوم	۱۶
۱۴/۸۲۴	۱/۰۰۴	۲۰/۶۳۸	۵/۵۸۹	۲/۰۰۷	-/۱۴۰	۱۷/۲۲۷	۲/۱۴۰	-/۰۶۶	-/۳۸۶	لوم	۱۷
۳/۰۵۸	۲/۸۹۴	۴/۲۰۱	۴/۶۴۳	۵/۷۸۹	-/۰۹۷	۲۳/۵۲۲	۲/۰۹۷	-/۰۴۶	-/۵۲۸	لوم رس دار	۱۸
۸/۱۶۰	-/۸۵۹	۱۱/۳۳۵	۵/۰۰۳	۱/۹۱۸	-/۱۳۳	۱۷/۹۹۹	۲/۱۳۳	-/۰۶۳	-/۵۲۰	لوم رس دار ماسه ای	۱۹
۷/۹۰۷	-/۷۱۶	۱۰/۸۵۳	۳/۸۵۴	۱/۴۳۳	-/۰۹۴	۲۴/۲۶۲	۲/۰۹۴	-/۰۴۵	-/۴۸۱	لوم رس دار	۲۰
۵/۳۲۵	-/۶۶۲	۷/۳۱۷	۱/۷۳۵	-/۷۲۴	-/۰۹۸	۲۳/۴۶۹	۲/۰۹۸	-/۰۴۷	-/۵۲۲	لوم رس دار	۲۱
۲/۶۳۵	۲/۶۶۲	۳/۶۳۱	۴/۲۸۴	۵/۳۲۴	-/۱۰۷	۲۱/۷۳۸	۲/۱۰۷	-/۰۵۱	-/۴۸۳	لوم	۲۲
-/۵۴۵	۱/۲۵۴	-/۷۴۶	۱/۵۰۷	۲/۵۰۸	-/۰۸۴	۲۶/۷۹۶	۲/۰۸۴	-/۰۴۰	-/۵۱۷	لوم رس دار	۲۳
۲/۰۷۹	۲/۸۲۳	۲/۸۶۲	۳/۹۵۹	۵/۶۴۷	-/۱۰۵	۲۲/۰۳۸	۲/۱۰۵	-/۰۵۰	-/۴۴۱	لوم رس دار	۲۴
۲/۹۷۷	۱/۰۰۹	۴/۱۱۲	۳/۱۶۴	۲/۶۱۸	-/۱۱۷	۲۰/۱۶۱	۲/۱۱۷	-/۰۵۵	-/۴۶۷	لوم رس دار ماسه ای	۲۵
۶/۴۲۹	۱/۰۵۰	۸/۸۷۱	۳/۸۳۹	۲/۱۰۰	-/۱۱۲	۲۰/۷۸۱	۲/۱۱۲	-/۰۵۳	-/۵۰۶	لوم رس دار ماسه ای	۲۶
-/۹۱۷	۲/۰۶۲	۱/۲۵۸	۲/۴۶۰	۴/۱۲۳	-/۰۹۴	۲۴/۳۸۶	۲/۰۹۴	-/۰۴۵	-/۵۱۳	لوم رس دار	۲۷
۳۷/۴۱۳	۳/۵۴۴	۵۱/۴۴۵	۱۴/۰۶۳	۷/۰۸۸	-/۱۰۰	۲۲/۹۷۴	۲/۱۰۰	-/۰۴۸	-/۴۸۷	لوم رس دار	۲۸
۱۲/۲۹۰	۱/۷۳۱	۱۷/۲۲۲	۶/۱۲۷	۳/۴۶۲	-/۱۷۰	۱۴/۷۴۹	۲/۱۷۰	-/۰۷۸	-/۲۷۸	لوم ماسه دار	۲۹
۱۲/۶۵۱	۳/۴۶۶	۱۷/۲۸۳	۱۰/۹۰۳	۶/۹۲۲	-/۰۷۸	۲۸/۷۷۲	۲/۰۷۸	-/۰۳۷	-/۴۹۱	لوم رس دار	۳۰
۱/۰۶۷	-/۴۳۵	۱/۴۸۸	-/۷۶۹	-/۸۷۰	-/۱۵۴	۱۵/۹۸۴	۲/۱۵۴	-/۰۷۲	-/۴۹۰	لوم ماسه دار	۳۱
-/۶۰۶	۴/۳۶۴	-/۸۲۶	۲/۶۶۴	۸/۷۲۸	-/۰۶۹	۳۱/۹۶۹	۲/۰۶۹	-/۰۲۳	-/۵۹۲	رس	۳۲
۳/۱۹۲	-/۴۸۳	۴/۳۶۳	۱/۶۵۶	-/۹۶۶	-/۰۸۰	۲۸/۱۰۷	۲/۰۸۰	-/۰۳۸	-/۵۷۹	لوم رس دار	۳۳
-/۷۱۰	۱/۴۱۹	-/۹۷۴	۱/۵۴۵	۲/۸۳۹	-/۰۹۱	۲۴/۸۶۷	۲/۰۹۱	-/۰۴۴	-/۴۸۲	لوم رس دار	۳۴
-/۳۳۰	۱/۱۷۳	-/۴۵۲	۱/۰۱۴	۲/۳۴۵	-/۰۸۹	۲۵/۵۳۴	۲/۰۸۹	-/۰۴۲	-/۶۳۱	لوم رس دار	۳۵
۵/۷۷۵	-/۱۵۰	۷/۹۷۷	۱/۱۵۶	-/۳۰۰	-/۱۱۶	۲۰/۱۸۷	۲/۱۱۶	-/۰۵۵	-/۴۸۹	لوم رس دار ماسه ای	۳۶
۶/۹۵۷	۳/۶۰۵	۹/۶۶۸	۸/۱۴۰	۷/۳۱۱	-/۱۳۹	۱۷/۴۶۹	۲/۱۳۹	-/۰۶۵	-/۵۱۴	لوم ماسه دار	۳۷

رالز و همکاران (۱۹۸۳) با استفاده از روابط برکنسیبیک و همکاران (۱۹۸۱) و باور (۱۹۶۶) برای حدود ۱۲۰۰ نمونه خاک از ۳۴ ایالت مختلف امریکا مقادیر پارامترهای گرین امپت را برآورد و مقادیر متوسط این پارامترها را برای ۱۱ کلاس بافت مختلف منتشر کردند. این مقادیر اغلب به دلیل سختی و هزینه زیاد آزمایش‌های معمول اندازه‌گیری نفوذ به عنوان مقادیر ورودی مدل‌های هیدرولوژیکی توزیعی مورد استفاده قرار می‌گیرد (ویو ۲۰۰۴). در این تحقیق پس از دسته بندی نقاط آزمایش بر اساس بافت خاک، به ازای هر کلاس بافت مقدار میانگین این پارامترها محاسبه و با مقادیر نظیر رالز و همکاران (۱۹۸۳) مقایسه و در جدول ۳ درج گردیده است. در شکل (۲) نیز نمودار تغییرات هدایت هیدرولیکی و مکش جبهه رطوبتی به ازای کلاس بافت خاک برای داده‌های بیرکن و رالز و همکاران (۱۹۸۳) ترسیم و با هم مقایسه شده است. همان گونه که در این شکل و همچنین جدول (۳) مشاهده می‌شود اختلاف بین پارامترهای حاصل از اندازه‌گیری با مقادیر رالز و همکاران اختلاف فاحشی داشته و به ویژه با وجود روش کم هزینه و قدرتمند بیرکن با پشتوانه نظری قوی و اثبات شده، استفاده از این گونه داده‌ها باید با احتیاط انجام شده و ترجیحاً خودداری شود.

جدول (۳): مقادیر پارامترهای مدل گرین-امپت روش بیرکن با مقادیر پیشنهادی رالز و همکاران (۱۹۸۳)

رالز و همکاران (۱۹۸۳)		آزمایش بیرکن		کلاس بافت خاک	ردیف
ψ_f (cm)	K (cm/h)	ψ_f (cm)	K (cm/h)		
۱۱/۰۱	۱/۰۹	۸/۳۹	۱/۵۳	لوم ماسه دار	۱
۸/۸۹	-۰/۳۴	۶/۴۹	۱/۹۳	لوم	۲
۳۱/۸۵	-۰/۱۵	۵/۰۶	-۰/۸۴	لوم رس دار ماسه ای	۳
۳۰/۸۸	-۰/۱۰	۸/۳۹	۱/۵۳	لوم رس دار	۴
۳۷/۳۰	-۰/۱۰	۳/۸۰	۱/۸۴	لوم رس دار سیلتی	۵
۳۱/۶۳	-۰/۰۳	۳/۵۹	۲/۷۷	رس	۶



شکل (۲): نمودار تغییرات هدایت هیدرولیکی (الف) و مکش جنبه رطوبتی (ب) به ازای کلاس بافت خاک برای داده‌های بیرکن و رالز و همکاران (۱۹۸۳)

سیاسگزاری

این مقاله برگرفته از طرح تحقیقاتی با عنوان "بررسی کارایی روش بیرکن در برآورد نفوذپذیری خاک در سطح حوزه آبریز جهت شبیه‌سازی سیلاب" است که با اعتبار پژوهشی اعضای هیئت علمی دانشگاه گیلان توسط نویسندگان اجرا گردیده است.

منابع

- Bagarello, V., M. Castellini, S. Di-Prima and M. Iovino, 2014. Soil hydraulic properties determined by infiltration experiments and different heights of water pouring. *Geoderma* 213:492–501.
- Bouwer, H., 1966. Rapid field measurement of air entry value and hydraulic conductivity of soil as significant parameters in flow system analysis, *Water Resources Research* 2:729-738.
- Brakensiek, D. L., R. L. Engleman, and W. J. Rawls, 1981. Variation within texture classes of soil water parameters, *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 24:335-339.
- Brooks, R. H. and C. T. Corey, 1964. Hydraulics properties of porous media. *Hydrology Paper 3*, Colorado State University, Fort Collins.
- Burdine, N. T., 1953. Relative permeability calculation from pore size distribution data. *Petroleum Transaction, American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers* 198: 71–77.

Green, W. H. and G. A. Ampt, 1911. Studies in soil physics: I. The flow of air and water through soils. *Journal of Agriculture Science* 4:1-24.

Haverkamp, R., P. J. Ross, K. R. J. Smetten and J. Y. Parlange, 1994. Three-dimensional analysis of infiltration from the disc infiltrometer: 2- Physically based infiltration equation. *Water Resources Research* 30:2931–2935.

Haverkamp, R., J. L. Arru' e, J.-P. Vandervaere, I. Braud, G. Boulet, J.P. Laurent, A. Taha, P.J. Ross, and R. Angulo-Jaramillo. 1996. Hydrological and thermal behaviour of the vadose zone in the area of Barrax and Tomelloso (Spain): Experimental study, analysis and modeling Project UE n8 EV5C-CT 92 00 90.

Lassabatère, L., R. Angulo-Jaramillo, J. M. Soria Ugalde, R. Cuenca, I. Braud and R. Haverkamp, 2006. Beerkan estimation of soil transfer parameters through infiltration experiments-BEST. *Soil Science Society of America Journal* 70: 521–532.

Rawls, W., D. Brakensiek and N. Miller, 1983. Green-Ampt infiltration parameters from soils data. *Journal of Hydraulic Engineering* 109(1): 62-70.

Van Genuchten, M. T., 1980. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal* 44:892-898.

Yilmaz, D., L. Lassabatère, R. Angulo-Jaramillo, D. Deneele and M. Legret, 2010. Hydrodynamic characterization of basic oxygen furnace slag through an adapted BEST method. *Vadose Zone Journal* 9:1–10.