# تعیین هدایت هیدرولیکی اشباع با کاربرد تک استوانه بیرکن در مقیاس حوضه آبریز جهت کاربرد در مدل‌های هیدرولوژی

**محمدرضا خالدیان[1]، سیدعلی موسوی[1]، حسین اسدی[2]، مهدی نوروزی[3]**

1- هیات علمی گروه مهندسی آب دانشگاه گیلان

2- هیات علمی گروه علوم خاک دانشگاه گیلان

3- دانشجوی کارشناسی ارشد علوم خاکشناسی، دانشگاه گیلان
آدرس پست الکترونیکی مکاتبه کننده: khaledian@guilan.ac.ir

**چکیده**

در این تحقیق با استفاده از آزمایشات صحرایی، کارآیی روش تک استوانه بیرکن در برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع در حوضه آبریز با مقادیر تخمینی مدل روزتا مقایسه شدند. بدین منظور به ازای تغییرات نوع خاک، پوشش گیاهی، بارندگی و شرایط اقلیمی و وضعیت توپوگرافی در حوضه آبریز معرف ناورود گیلان، اندازه‌گیری نفوذ به روش بیرکن در 9 نقطه انجام گرفت. مقایسه نتایج نشان داد که بین مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر تخمینی مدل رزتا اختلاف معنی‌داری در سطح اعتماد 95 درصد وجود ندارد. بنابراین می توان از این روش در برآورد پارامترهای نفوذ حوضه آبریز به عنوان داده ورودی مدل‌های هیدرولوژی استفاده کرد.

**کلمات کلیدی: بیرکن، حوضه آبریز، هدایت هیدرولیکی اشباع**

## مقدمه

حرکت آب در ناحیه‌ی غیر اشباع خاک اغلب توسط روابط ارائه شده توسط ریچاردز (1931) مورد بررسی قرار می‌گیرد. جهت حل معادله‌ی ریچارد بایستی شرایط اولیه و مرزی مربوط به فشار آب و هدایت هیدرولیکی خاک به صورت توابعی از رطوبت خاک تعیین گردد. بدین منظور روش بیرکن جهت استخراج مشخصات هیدرولیکی و رطوبتی خاک در ناحیه‌ی غیر اشباع توسط هاورکمپ و همکاران (1996) ارائه و توسعه یافته است. در این روش از تابع رطوبت خاک ونگونختن با شرایط معلم و تابع هدایت هیدرولیکی بروکس و کوری برای توصیف منحنی‌های مشخصه‌ی هیدرولیکی خاک استفاده شده است. روش بیرکن با فرض روابط تحلیلی معین برای منحنی‌های مشخصه‌ی هیدرولیکی خاک، پارامترهای شکلی (Shape parameters) را که به بافت خاک بستگی دارد از تحلیل توزیع دانه‌بندی خاک و پارامترهای اندازه‌ای (Scale parameters) را که به ساختمان خاک بستگی دارد از آزمایشات صحرایی نفوذ تحت بار هیدرولیکی ناچیز، تخمین می‌زند (هاورکمپ و همکاران 1996). سادگی این روش استفاده‌ی گسترده از آن را به دنبال داشته است. از جمله گاله و همکاران (2001) و براد و همکاران (2003) در مطالعات صحرایی خود جهت بررسی تغییرات مکانی ویژگی‌های هیدرولیکی خاک از این روش استفاده نمودند. براد و همکارانش(2003) جهت محاسبه‌ی بیلان آبی ماهانه و سالانه محدوده‌ای به وسعت 100 کیلومتر مربع در اطراف شهر تواملوسوی اسپانیا، داده‌های نفوذ مربوط به نسخه‌ی اولیه‌ی روش بیرکن را در مدل SVAT و مدل SiSPAT مورد استفاده قرار دادند. آن‌ها در محدوده‌ی مورد مطالعه در یک شبکه‌ی مربعی به فواصل یک کیلومتر (78 نقطه) اقدام به اندازه‌گیری صحرایی نفوذ کرده و نشان دادند که استخراج منحنی‌های مشخصه‌ی هیدرولیکی از تعداد زیادی نقطه با روش ساده بیرکن می‌تواند تغییرات مکانی ویژگی‌های هیدرولیکی خاک را به خوبی منعکس نماید و نتایج مدل‌سازی را بهبود بخشد.

این مقاله به عنوان بخشی از طرح تحقیقاتی بررسی کارآیی روش بیرکن در برآورد نفوذپذیری خاک در سطح حوضه آبریز جهت شبیه‌سازی سیلاب، به بررسی نفوذپذیری خاک در سطح حوضه‌ی آبریز مورد مطالعه می‌پردازد. مدل توزیعی انتخابی در طرح تحقیقاتی مورد اشاره، GSSHA می‌باشد که یک مدل با پایه فیزیکی می باشد (داونر و اگدن، 2006).

## مواد و روشها

حوضه آبریز ناورود اسالم (شکل 1) با مساحت حدود 307 کیلومترمربع، در منطقه غرب گیلان (′35 °48 تا ′54 °48 طول شرقی و′36 °37 تا ′45 °37 عرض شمالی) قرار گرفته است. این حوضه از سوی شرکت سهامی آب منطقه‌ای گیلان به عنوان حوضه معرف منطقه غرب گیلان در نظر گرفته شده و به شبکه ایستگاه‌های اقلیمی و آب‌سنجی منظمی مجهز گردیده است. در این حوضه سه ایستگاه تبخیرسنجی مجهز به باران سنج ثبات در خروجی (ایستگاه خرجگیل)، مرکز ثقل (ایستگاه خلیان) و بالادست (ایستگاه ناو) و دو ایستگاه آب‌سنجی در خروجی و مرکز ثقل حوزه قرار دارد. به علاوه دو ایستگاه باران سنجی معمولی (گوخس و نره‌بند ) و 16 ایستگاه باران سنجی ذخیره‌ای در نقاط مختلف حوضه قرار دارند که جهت کنترل داده‌ها و محاسبه بیلان آب مورد استفاده قرار می‌گیرند.

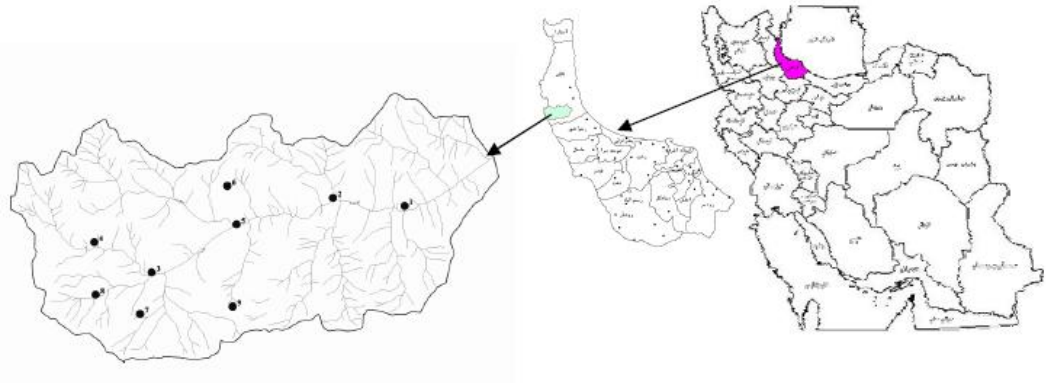
در بسیاری از مدل‌های چرخه‌ی عمومی آب (سیکل هیدرولوژی)، ویژگی‌های هیدرولیکی خاک در سطح 100 تا 10000 کیلومتر مربع همگن فرض می‌شود. این در حالی است که این ویژگی‌ها در سیستم‌های طبیعی دارای تغییرات مکانی زیادی بوده و همگن و ثابت فرض کردن آن‌ها باعث بروز خطا در محاسبه‌ی جریان سطحی و سایر مؤلفه‌های هیدرولوژیکی خواهد شد (براد و همکاران، 2003). بر این مبنا جهت تهیه ویژگی‌های هیدرولیکی خاک (پارامترهای نفوذ) حوضه‌ی مورد مطالعه اندازه‌گیری صحرایی نفوذ با روش بیرکن مد نظر قرار گرفت. پیش از اعزام تیم اجرایی به منطقه، با استفاده از نقشه‌های موجود و بر اساس دقت مورد نظر، وضعیت توپوگرافی، پوشش گیاهی، راه‌های دسترسی و بودجه‌ی پروژه، شبکه‌ی نقاط آزمایشی طراحی و نحوه‌ی اجرای آزمایش‌ها برنامه‌ریزی گردید. تیم اجرایی در مدت 10 روز موفق به اجرای آزمایش در 9 نقطه گردید. در شکل (1) موقعیت نقاط آزمایش و نمونه‌برداری ارائه شده است.

در این بخش ابتدا از محل آزمایش یک نمونه‌ی دست نخورده تهیه شده تا در آزمایشگاه درصد رطوبت اولیه و وزن مخصوص ظاهری و حقیقی خاک محل آزمایش تعیین شود. یک نمونه هم جهت تعیین منحنی توزیع دانه‌بندی خاک تهیه شد. آزمایش نفوذ به روش بیرکن با استفاده از یک استوانه به قطر 10 تا 15 سانتی‌متر(در مناطق مختلف با توجه به سرعت نفوذ متغیر بود) و ارتفاع حدود 10سانتی‌متر انجام شد. برای این منظور استوانه‌ی آزمایش در حدود یک سانتیمتر در خاک فرو برده شده و حجم ثابتی آب (به اندازه‌ای که ارتفاع آب داخل استوانه از یک سانتیمتر بیشتر نشود) داخل آن ریخته شده و زمان نفوذ آب ثبت شد. بلافاصله پس از نفوذ تمام آب داخل استوانه دوباره با همان حجم ثابت اولیه آب داخل استوانه ریخته شده و زمان نفوذ مجدداً ثبت شد. این کار بین 8 تا 15 بار و تا ثابت شدن زمان نفوذ حجم ثابت آب به داخل خاک، تکرار شد.

پس از بدست آوردن منحنی نفوذ، جهت استخراج هدایت هیدرولیکی اشباع نیاز به استفاده از نرم افزار بست می‌باشد که قیمت آن در حال حاضر 2000 یورو می‌باشد. لذا برای استخراج هدایت هیدرولیکی اقدام به تهیه سه برنامه در محیط برنامه نویسی فرترن گردید تا با استفاده از پارامترهای شکلی، پارامترهای اندازه‌ای و همچنین منحنی نفوذ-زمان، مقدار هدایت هیدرولیکی اشباع تعیین گردد. مقادیر بدست آمده با مقادیر تخمینی مدل رزتا براساس شبکه‌های عصبی مقایسه شدند. مقایسه آماری نتایج بیرکن و مدل رزتا با آزمون t-student برای نمونه‌های مزدوج در سطح اعتماد 95 درصد و با کمک نرم افزار SPSS انجام شد.

## نتایج و بحث

جدول شماره 1 برخی از خصوصیات فیزیکی خاک را در مناطق مورد مطالعه نشان می‌دهد. همان‌طوری‌که مشاهده می‌کنید، خاک‌های مورد مطالعه در چهار کلاس بافتی لوم رس شنی، لوم شنی، لوم رسی و رسی قرار داشت. مقدار رطوبت اولیه در خاک‌های منطقه از 0/133تا 0/339 و تخلخل خاک نیز از 0/482 تا 0/632 متغیر بوده است.



**شکل 1: موقعیت حوضه آبریز و نقاط اندازه گیری نفوذ**

**جدول شماره 1 خصوصیات فیزیکی خاک در ایستگاههای مختلف انجام آزمایش نفوذ را نشان می هد. مقدار رس خاک در نقاط مختلف از 16 تا 44 درصد متغیر است که می تواند بر خصوصیات نفوذ خاک موثر باشد.**

| شماره ایستگاه | نام محل | بافت خاک (%) | | | کلاس بافت خاک | جرم مخصوص حقیقی ($g.cm^{-3}$) | جرم مخصوص ظاهری ($g.cm^{-3}$) | رطوبت اولیه ($cm^3.cm^{-3}$) | تخلخل |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | رس | سیلت | شن | | | | | |
| 1 | لاکاتاشون | 23 | 25 | 52 | لوم رس شنی | 2/57 | 1/31 | 0/271 | 0/489 |
| 2 | دیادول | 17 | 24/5 | 58/5 | لوم شنی | 2/62 | 1/27 | 0/133 | 0/514 |
| 3 | ناو بالا | 16 | 19/5 | 64/5 | لوم شنی | 2/57 | 1/31 | 0/303 | 0/490 |
| 4 | کویه رود | 44 | 36 | 20 | رسی | 2/38 | 0/97 | 0/235 | 0/592 |
| 5 | خلیان | 34/5 | 28 | 37/5 | لوم رسی | 2/50 | 1/05 | 0/339 | 0/579 |
| 6 | گوخس | 34 | 36 | 30 | لوم رسی | 2/53 | 1/31 | 0/157 | 0/482 |
| 7 | اسبه رسه | 19/5 | 25 | 55/5 | لوم شنی | 2/43 | 0/93 | 0/299 | 0/617 |
| 8 | بیلی | 32/5 | 37/5 | 30 | لوم رسی | 2/50 | 0/92 | 0/339 | 0/632 |
| 9 | کله کله | 29 | 37 | 34 | لوم رسی | 2/57 | 0/95 | 0/268 | 0/631 |

جدول شماره 2 مقادیر هدایت هیدرولیکی اشباع را در ایستگاه‌های مختلف، براساس مقادیر به‌دست آمده از روش بیرکن و همچنین مدل رزتا نشان می‌دهد. مقادیر اندازه‌گیری شده با مقادیر تخمینی با استفاده از مدل رزتا اختلاف معنی‌داری در سطح اعتماد 95 درصد ندارند.

یکی از روش‌هایی که تاکنون جهت اندازه‌گیری صحرایی نفوذ در حوضه‌های آبریز به کار رفته است روش استوانه‌ی مضاعف است که بسیار وقت‌گیر بوده و اجرای آن در مناطق پرشیب و صعب‌العبور به دلیل حجم آب مورد نیاز و وزن تجهیزات با مشکلاتی مواجه است. این در حالی است که روش بیرکن با استفاده از تجهیزات بسیار ساده و سبک و با حجم آب بسیار کم انجام می‌شود. روش دیگری که امروزه استفاده می‌گردد، پرمامترگلف می‌باشد که باعث به هم خوردن مرفولوژی سطح خاک می‌گردد. لذا بیانگر وضعیت واقعی خاک سطحی نیست. از طرفی نتایج بدست آمده در این تحقیق با مقادیر توصیه شده مدل رزتا همخوانی دارد. ولی چون مدل رزتا از درصد رس، سیلت و شن و نیز چگالی ظاهری خاک استفاده می‌کند و بیشتر بر بافت خاک استوار هست تا ساختمان آن لذا بکارگیری روشی صحرایی که تمام خصوصیات خاک را در نظر بگیرد می‌تواند معرف بهتری از خصوصیات هیدرودینامیکی خاک باشد. با توجه به سهولت استفاده از این روش در حوضه‌ی آبریز بدلیل سبک بودن، سرعت اجرا و نیاز با آب کم و همچنین دقت آن، استفاده از روش بیرکن در برآورد پارامترهای هیدرودینامیکی خاک بعنوان ورودی مدل‌های هیدرولوژی توصیه می‌گردد.

**جدول 2- مقادیر اندازه گیری شده هدایت هیدرولیکی اشباع به روش بیرکن و مقادیر تخمینی مدل رزتا**

| شماره ایستگاه | نام محل | هدایت هیدرولیکی اشباع به روش بیرکن cm/hr | هدایت هیرولیکی اشباع با مدل رزتا cm/hr |
|---|---|---|---|
| 1 | لاکاتاشون | 0/35 | 1/26 |
| 2 | دیادول | 6/72 | 2/38 |
| 3 | ناو بالا | 3/6 | 2/68 |
| 4 | کویه رو | 11 | 4/4 |
| 5 | خلیان | 0/86 | 2/73 |
| 6 | گوخس | 3/81 | 0/67 |
| 7 | اسبه رسه | 1/26 | 1/97 |
| 8 | بیلی | 6/01 | 5/49 |
| 9 | کله کله | 4/74 | 4/65 |

## منابع

Braud I, Haverkamp R, Arrue JL, Lopez MV, 2003. Spatial variability of soil surface properties and consequences for the annual and monthly water balance of a semiarid environment (EFEDA Experiment). Journal of Hydrometeorology 4:121–137.

Brooks RH, Corey CT, 1964. Hydraulic properties of porous media. Hydrol. Paper 3., Colorado State University, Fort Collins.

Downer CW, Ogden FL, 2006. Gridded Surface Subsurface Hydrologic Analysis (GSSHA) User's Manual. Washington, DC: U.S. Army Corps of Engineers.

Galle S, Angulo Jaramillo R, Braud I, Boubkraoui S, Bouchez JM, de Condappa D, Derive G, Gohoungssou A, Haverkamp R, Reggiani P, Soria-Ugaldes J, 2001. In Estimation of soil hydrodynamic properties of the Donga watershed (CATCH Be´nin). Proceedings of the GEWEX 4th International Conference, Paris. 10–14 Sept. 2001. Insitut Pierre Simon Laplace.

Haverkamp R, Arrúe JL, Vandervaere JP, Braud I, Boulet G, Laurent JP, Taha A, Ross PJ, Angulo-Jaramillo R, 1996. Hydrological and Thermal Behavior of the Vadose Zone in the Area of Barrax and Tomelloso (Spain): Experimental Study, Analysis and Modeling. Project UE, No. EV5C-CT 92 00 90.

Lassabatère L, Angulo-Jaramillo R, Soria Ugalde JM, Cuenca R, Braud I, Haverkamp R, 2006. Beerkan estimation of soil transfer parameters through infiltration experiments—BEST. Soil Sci. Soc. Am. J. 70:521–532.

Richards LA, 1931. Capillary conduction of liquids through porous mediums. Physics 1:318–333.