

بررسی و شبیه‌سازی ضرائب هیدرودینامیکی خاک در اراضی ساحل راست رودخانه جراحی

فهیمة صیادی شهرکی^۱، علی شینی دشتگل^۲ و عاطفه صیادی شهرکی^{۳*}

۱-استادیار، گروه مهندسی برق، واحد شهر قدس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲-پژوهشگر موسسه تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، خوزستان، ایران

۳-محقق بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری، سازمان

تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شهرکرد، ایران

* ایمیل نویسنده مسئول: sayadi.atefeh@gmail.com

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۸/۸ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۲۸)

چکیده

هدایت هیدرولیکی، یکی از مهم‌ترین مشخصه‌های هیدرودینامیکی خاک است که در محاسبه فاصله زهکش‌ها و ارزیابی جریان آب زیرزمینی مورد نیاز بوده و در مطالعات زهکشی مورد توجه است. روش‌های متعددی برای اندازه‌گیری صحرایی هدایت هیدرولیکی اشباع خاک وجود دارد که اساس کلیه آن‌ها بر اندازه‌گیری سرعت جریان افقی آب در خاک استوار است. هدف از این مطالعه هدف بررسی ضرائب هدایت هیدرولیکی اراضی ساحل راست رودخانه جراحی با استفاده از روش پورشه و چاهک ارنست به ترتیب در بالای سطح و در زیر سطح ایستابی، می‌باشد. نتایج نشان داد که این فاکتور در محدوده ۲/۵۲-۰/۵۳ متر بر روز متغیر بوده و تفاوت چندان زیادی در اندازه‌گیری‌های صورت گرفته با دو روش ارنست و پورشه مشاهده نشد و حدود ۸۳ درصد از نتایج اندازه‌گیری‌ها در کلاس متوسط و ۱۷ درصد در کلاس نسبتاً سریع واقع گردیدند. بررسی‌ها نشان داد که بافت لایه‌ی محدودکننده عمدتاً سنگین تا خیلی سنگین بوده، که این لایه در عمق متوسط ۲۵۰ سانتیمتری واقع گردیده و از جنس مارن است. نتایج آنالیز آماری نشان داد که هدایت هیدرولیکی در بالای سطح ایستابی با روش پورشه دارای میانگین بالاتری از هدایت هیدرولیکی در زیر سطح ایستابی با روش ارنست است، به‌طوری که این تفاوت در سطح پنج درصد معنی‌دار است. همچنین نتایج حاصل از شبیه‌سازی هدایت هیدرولیکی با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی حاکی از بالاتر بودن دقت مدل در شبیه‌سازی داده‌های ارنست نسبت به پورشه بود، به‌طوری‌که مقادیر RMSE برای روش ارنست و پورشه به ترتیب ۰/۹۸ و ۱/۱۵ محاسبه گردید.

واژه‌های کلیدی: هدایت هیدرولیکی، چاهک معکوس، چاهک ارنست، شبکه عصبی مصنوعی

مقدمه

به طور کلی هدایت هیدرولیکی یا ضریب آبگذری عبارت است از مقدار آبی که تحت شیب هیدرولیکی یک از واحد سطح مقطع خاک در واحد زمان عبور می‌کند و با توجه به موقعیت و شرایط منطقه مورد مطالعه، در بالای سطح ایستابی و زیر سطح ایستابی قابل اندازه‌گیری است که به هدایت هیدرولیکی در بالای سطح ایستابی، هدایت هیدرولیکی غیراشباع و به هدایت هیدرولیکی در زیر سطح ایستابی، هدایت هیدرولیکی اشباع می‌گویند. روش‌های متعددی برای اندازه‌گیری صحرایی هدایت هیدرولیکی اشباع خاک وجود دارد که اساس کلیه آن‌ها بر اندازه‌گیری سرعت جریان افقی آب در خاک استوار است. چنان‌چه سطح ایستابی بالا باشد و در حقیقت در هنگام مطالعه مشکل زهکشی وجود داشته باشد، روش‌های تعیین هدایت هیدرولیکی اشباع خاک در زیر سطح ایستابی مورد توجه قرار می‌گیرند. از جمله این روش‌ها می‌توان به روش چاهک و روش پیزومتر اشاره کرد. در روش‌های اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی در بالای سطح ایستابی، ترکیب شیمیایی آبی که به کار می‌رود، باید تا جای ممکن به ترکیب شیمیایی آب درون خاک نزدیک باشد (Anonymous, 2005).

در عمل برای طرح پروژه‌های زهکشی بایستی هدایت هیدرولیکی را برای یک منطقه تعیین کرد و چون خاک محیط همگنی نیست، لذا نتایج حاصل از آزمایش‌ها تعیین هدایت هیدرولیکی خاک حتی در یک نوع خاک معین تا صد در صد می‌تواند متفاوت باشد. بنابراین بهتر است که هدایت هیدرولیکی در چند نقطه اندازه‌گیری شود تا بتوان تصویر بهتری از نوسان آن داشت. در مناطق وسیع، هدایت هیدرولیکی عمودی و افقی نسبت به مکان فرق

می‌کنند و این بدان علت است که اولاً خاک از افق‌های مختلف با هدایت هیدرولیکی متفاوت تشکیل شده است و ثانیاً چندین نوع خاک ممکن است در منطقه مورد نظر باشد، بنابراین برای هر نوع خاک بایستی ۱۰-۵ آزمایش صورت گیرد. نکته دیگری که در بررسی هدایت هیدرولیکی بایستی تعیین شود، عمق اندازه‌گیری است. اگر هدایت هیدرولیکی لایه افقی یک‌دهم لایه فوقانی باشد، این لایه برای سیستم زهکشی لایه غیرقابل نفوذ تلقی می‌شود. بدیهی است که این اصل را نمی‌توان در مواردی که سفره آب زیرزمینی تحت فشار است و مقداری از آب به علت تراوش به افق‌های فوقانی راه می‌یابد، به کار بست (Baybordi, 2008). به‌طور معمول، در طرح‌های بزرگ و نسبتاً بزرگ شبکه زهکشی، بیشترین ابعاد شبکه نقاط مشاهده‌ای و اندازه‌گیری در مطالعات شناسایی ۲ × ۲ کیلومتر (دست کم یک نقطه برای هر ۴۰۰ هکتار) در مطالعات مرحله اول ۱ × ۱ کیلومتر (دست کم یک نقطه برای هر ۱۰۰ هکتار) و در مطالعات مرحله دوم ۰/۵ × ۰/۵ کیلومتر (دست کم یک نقطه برای هر ۲۵ هکتار) در نظر گرفته و پیشنهاد می‌شود که در هر مرحله از مطالعات، محل نقاط جدید در نصف فاصله بین نقاط بررسی شده در مرحله قبل قرار گیرد. در خاک‌های با پروفیل مطبق، گاه ضرورت ایجاب می‌نماید که هدایت هیدرولیکی اشباع لایه‌های مختلف را اندازه‌گیری نمود. در مطالعات صحرایی، طرح‌های زهکشی، اندازه‌گیری‌های هدایت هیدرولیکی اشباع لایه‌های مختلف نیمرخ خاک، زمانی قابل پیشنهاد است که این لایه‌ها به شکل مشخص و بارزی با یکدیگر تفاوت داشته باشند. وقتی تفاوت در مشخصات، در لایه‌های خاک ناچیز

یا در حدی است که انتظار نمی‌رود اختلاف در مقادیر اندازه‌گیری شده هدایت هیدرولیکی آنها از حدود خطاهای معمول در اندازه‌گیری تجاوز نماید، تلاش برای تعیین هدایت هیدرولیکی هریک از آنها نیز قابل پیشنهاد نخواهد بود. با توجه به مطالب گفته شده، عمق چاهک اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اغلب تا ۳ متر از سطح زمین انتخاب می‌شود. در صورتی که در نظر باشد هدایت هیدرولیکی اشباع لایه‌های خاک در عمق‌های بیشتر اندازه‌گیری شود، پیش‌بینی امکانات ویژه به خصوص تأمین آب کافی به خصوص برای روش‌های بالای سطح ایستابی باید فراهم شود (Anonymous, 2005).

خاک‌های مختلف دارای هدایت هیدرولیکی متفاوتی هستند و این موضوع به دلیل تفاوت خصوصیات ذاتی خاکهاست که بر هدایت هیدرولیکی آنها مؤثر می‌باشند. بافت و کلاس‌های بافتی خاک اغلب برای بیان همبستگی میزان هدایت هیدرولیکی با دیگر ویژگی‌های هیدرولیکی خاک (ظرفیت نگهداشت آب خاک و منافذ قابل زهکشی خاک) به کار می‌رود (Clap & Hornberger, 1978).

افزایش مواد آلی خاک، به هدایت هیدرولیکی اشباع بالا منجر می‌شود (Nemes et al., 2005). هدایت هیدرولیکی به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، پایداری خاکدانه‌ها، اقلیم، عملیات شخم و کشت و زرع، کاربری اراضی، دینامیک ریشه و فعالیت موجودات زنده خاک بستگی دارد (Fuentes et al., 2004).

هدایت هیدرولیکی اشباع از جمله مهم‌ترین پارامترها جهت شبیه‌سازی تخلخل مؤثر خاک و فرآیندهای مرتبط با آبیاری، زهکشی، هیدرولوژی، جریان آب زیرزمینی، آبشویی و سایر فرآیندهای هیدرولوژیکی و کشاورزی به‌شمار می‌رود (Aimrun

et al., 2004). در اکثر روش‌های اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع خاک دو پارامتر زمان و عمق آب اندازه‌گیری می‌شوند که حجم آب بر مبنای تغییر ارتفاع سطح آب در چاهک و یا در منبع با معلوم بودن سطح مقطع محاسبه می‌گردد. لذا بهره‌گیری از روش‌های دقیق و حتی‌الامکان خودکار جهت ثبت نوسانات سطح آب با زمانبندی مشخص، به بالا رفتن درجه اطمینان از نتایج آزمایش، همچنین سرعت و سهولت اندازه‌گیری‌ها می‌انجامد. تاکنون تلاش‌های بسیاری برای خودکار کردن فرایند اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع خاک صورت گرفته است که انواع روش‌های اندازه‌گیری آزمایشگاهی و مزرعه‌ای را شامل می‌شوند. با توجه به اینکه متغیر اندازه‌گیری غالباً تغییرات سطح آب (افت یا خیز) می‌باشد، روش‌های اتوماسیون نیز بر مبنای شیوه اندازه‌گیری این متغیر دارای انواع گوناگونی می‌باشند (Soroush et al., 2003).

استفاده از مقادیر بزرگتر یا کوچکتر از مقدار واقعی هدایت هیدرولیکی سبب افزایش یا کاهش فاصله زهکش‌ها می‌شود که اولی به دلیل فراهم نکردن شرایط مناسب جهت خروج زه‌آب‌ها و دومی با افزایش هزینه‌های اجرایی طرح، خسارات زیادی را در پی خواهند داشت. در کلیه پروژه‌های زهکشی ضریب آبدگزی خاک در زیر سطح ایستابی و یا در بخش فوقانی سطح ایستابی بسته به اهداف زهکشی تعیین می‌گردد. هدایت هیدرولیکی خاک عمدتاً بستگی به توزیع هندسی منافذی از خاک که از آب پر شده‌اند، دارد. اگر وضعیت خاک طوری باشد که آب برای حرکت لازم باشد از مسیر پرپیچ و خم منافذ ریز خاک عبور کند، مقدار هدایت هیدرولیکی کوچک خواهد بود. مانند خاک‌های غیر اشباع که در آن‌ها آب موجود فقط

هیدرولیکی بدست آمده از روش چاهک معکوس و روش پمپاژ به داخل چاهک را مقایسه کردند. نتایج بدست آمده از دو روش فوق نشان داد که روش چاهک معکوس به‌طور متوسط مقادیر ضریب هدایت هیدرولیکی را ۵۶ درصد بیشتر از روش پمپاژ به داخل چاهک برآورد می‌نماید. (Nosrati Karizak et al., 2012)، برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع با استفاده از پارامترهای زود یافت خاک را مورد بررسی قرار دادند و نتایج نشان داد که بهترین مدل از نظر دقت و سرعت هدایت هیدرولیکی اشباع، مدلی بود که از پارامترهای ورودی لگاریتم میانگین هندسی قطر ذرات، تخلخل کل و درصد شن و رس استفاده شد. (Parasurman et al., 2006) برای برآورد هدایت آبی اشباع در مقیاس مزرعه‌ای دو مدل شبکه عصبی طراحی نمودند. پارامترهای ورودی در مدل اول درصد رس، شن و سیلت و در مدل دوم علاوه بر سه ویژگی یاد شده جرم مخصوص ظاهری نیز اضافه شد. نتایج نشان داد که شبکه عصبی مدل دوم دقت بالاتری نسبت به مدل اول دارد. (Yao et al., 2015) به تخمین مقدار هدایت هیدرولیکی اشباع خاک با کمک شبکه عصبی مصنوعی در زمین‌های کشاورزی ساحلی و شور جیانگسوی شمالی در کشور چین پرداختند و به عنوان نتیجه‌گیری مهم، شوری خاک را یکی از تأثیرگذارترین فاکتورها در مقدار این پارامتر برشمردند. به‌منظور بررسی تغییرات خصوصیات هیدرولیکی خاک، آزمایشات توسط یک دستگاه نفوذسنج دیسک انجام و نتیجه واریانس سهم جریان در محدوده‌های منافذ آبگذر نشان داد به‌جز میانگین هندسی قطر ذرات، محدوده منافذ ماکروپور، سایر محدوده‌های منافذ، تغییری با زمان نداشتند. همچنین نتایج آنالیز واریانس مقادیر هدایت

به‌صورت غشایی و در منافذ ریز وجود داشته و مسیر حرکت آب بسیار نامنظم و پر از موانع است. هدایت هیدرولیکی در نقاط مختلف یک مزرعه و حتی در یک نقطه در اعماق مختلف خاک متفاوت است، بنابراین هدایت هیدرولیکی پارامتری است که تغییرپذیری آن نسبت به مکان زیاد است. در خاک‌های لایه‌ای هدایت هیدرولیکی هر لایه با لایه دیگر متفاوت می‌باشد و ممکن است هدایت هیدرولیکی یک نقطه در جهت افقی با هدایت هیدرولیکی همان نقطه در جهت عمودی نیز متفاوت باشد (Alizadeh, 2005). در تحقیقی که (Habibzadeh et al., 2008) انجام دادند، ضریب هدایت هیدرولیکی به دو روش چاهک معکوس و پرماترگلف در ۱۶ نقطه در محدوده‌ای به وسعت یک هکتار در اراضی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه اندازه‌گیری شد، نتایج نشان داد که روش چاهک معکوس اصلاحی همواره مقادیر بزرگ‌تری از ضریب هدایت هیدرولیکی را نسبت به روش پرماترگلف و آن هم نسبت به روش چاهک معکوس رایج به دست می‌آورد، به طوری‌که ضریب هدایت هیدرولیکی بدست آمده از روش چاهک معکوس رایج ۱۵ درصد روش چاهک معکوس اصلاحی و ۲۱/۹ درصد روش پرماترگلف می‌باشد و ضریب هدایت هیدرولیکی بدست آمده از روش پرماترگلف ۶۹/۷ درصد روش چاهک معکوس اصلاحی می‌باشد. (Dehghan et al., 2010)، دقت عمل دو روش چاهک معکوس بعنوان رایج‌ترین روش و پمپاژ به داخل چاهک به‌عنوان یک روش نسبتاً دقیق در تعیین هدایت هیدرولیکی در بالای سطح ایستابی را مورد ارزیابی قرار دادند. (Habibzadeh Azar et al., 2008)، ضریب هدایت

هیدرولیکی غیراشباع (بجز در پتانسیل ماتریک ۱۵- سانتیمتر) و مقادیر α اختلاف آماری معنی‌داری را در سطح ۵٪ نشان داد. در تحقیق (Mohammadnejad & Beigi, 2015)، کارایی دو روش چاهک معکوس و نفوذسنج گلف در خاک‌های حوضه آبریز دریاچه ارومیه مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که در هر دو منطقه مورد آزمایش میانگین حسابی هدایت هیدرولیکی اشباع بدست آمده از روش چاهک معکوس بزرگتر از میانگین حسابی هدایت هیدرولیکی اشباع بدست آمده از روش نفوذسنج گلف بود که دلیل این امر می‌تواند استفاده از حجم خاک بیشتر در روش چاهک معکوس نسبت به روش نفوذسنج گلف باشد. این مطالعه به منظور طراحی سیستم زهکشی اراضی ساحل راست رودخانه جراحی در رامشیر انجام شد. لذا هدف اصلی، تعیین هدایت هیدرولیکی در زیر سطح ایستابی و بالای سطح ایستابی با روش‌های چاهک ارنست و چاهک معکوس (پورشه) و شبیه‌سازی نتایج حاصل از اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی حاصل از دو روش فوق با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد و سایر اهداف جانبی جهت نیل به اهداف اصلی عبارتند از: اهمیت نقش هدایت هیدرولیکی در طراحی سیستم زهکشی، رابطه بین بافت خاک و هدایت هیدرولیکی و تخمین هدایت هیدرولیکی با توجه به بافت خاک. تعیین سطح آب زیرزمینی و عمق لایه محدودکننده و ضخامت آن در منطقه. اندازه‌گیری مستقیم ویژگی‌های هیدرولیکی خاک وقت‌گیر و پر هزینه بوده و تا حدی به علت

غیرهمگن بودن خاک و خطاهای آزمایشگاهی غیرقابل اعتماد است. مدل‌های شبکه عصبی از جمله آسان‌ترین، کم هزینه‌ترین و مناسب‌ترین روش‌ها جهت تخمین ویژگی‌های هیدرولیکی خاک هستند.

مواد و روش‌ها

الف: منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در اراضی ساحل راست رودخانه جراحی در رامشیر و دارای مساحتی بالغ بر ۵۳۰۵/۴ هکتار بوده و به صورت طولی به موازات رودخانه جراحی در نزدیکی روستای ابوطویج از نقاط به مختصات ۳۴۷۰۰۰ شرقی و ۳۴۲۲۵۰۰ شمالی و همچنین ۳۴۶۵۰۰ شرقی و ۳۴۲۴۰۰۰ شمالی شروع می‌شود و در عرض خود از یک طرف به جاده غرب جراحی و از طرف دیگر به زهکش سیلاب‌بر و سرانجام به زهکش بستین در نقطه‌ای به مختصات ۳۳۴۷۲۸ شرقی و ۳۴۱۴۹۹۹ شمالی و دیگری در نقطه‌ای به مختصات ۳۳۲۵۰۰ شرقی و ۳۴۱۷۵۰۰ شمالی ختم می‌شود. مطالعات تعیین ضرائب هدایت هیدرولیکی این پروژه بر اساس موقعیت نقاط مشخص شده بر روی نقشه توپوگرافی ۲۰۰۰۰ : ۱ منطقه طرح (نقشه ۱)، انتخاب شد. با توجه به اینکه در مطالعات مرحله اول ۱×۱ کیلومتر، حداقل در یک نقطه برای هر ۱۰۰ هکتار، هدایت هیدرولیکی خاک تعیین می‌شود، لذا هدایت هیدرولیکی در ۲۲ نقطه بالای سطح ایستابی و زیر سطح ایستابی برای ۳۱ نقطه اندازه‌گیری شد.



شکل ۱- موقعیت نقاط اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی

ب- اندازه‌گیری ضریب آبگذری با استفاده از روش چاهک ارنست

در این روش برابر دستورالعمل استاندارد، در ابتدا چاهکی به قطر ۷ سانتیمتر تا سطح لایه با نفوذپذیری کم حفاری خواهد شد. در صورت عدم وجود لایه با نفوذپذیری کم، حفاری این چاهک تا عمق ۳ متری انجام می‌شود، سپس برای چند بار به وسیله بیلر آب به آرامی درون چاهک تخلیه شده تا آب گل‌آلود کاملاً از چاهک خارج گردد. چاهک برای مدت ۲۴ ساعت به حال خود رها شده و در روز بعد وضعیت داخلی چاهک برای اطمینان از عدم ریزش داخلی چاهک بررسی می‌شود. پس از آن با بیلر آب درون چاهک طوری تخلیه می‌شود که حداقل ۱۰-۱۵ سانتیمتر آب در کف چاهک مانده و میزان تخلیه شده نیز به بیش از ۰/۲ عمق آب درون چاهک بالغ گردد. بلافاصله سرعت بالا آمدن آب درون چاهک برای سه بار متوالی اندازه‌گیری می‌شود. اندازه‌گیری بالا آمدن سطح آب در چاهک به کمک شناوری که به میله مدرج اتصال دارد، بلافاصله پس از آبکشی از چاه انجام می‌گیرد که در زمان‌های ثابت صعود سطح

آب یادداشت می‌گردد؛ البته فاصله زمانی قرائت‌ها بستگی به سرعت بالا آمدن آب درون چاهک دارد و اندازه‌گیری بایستی قبل از اینکه یک‌چهارم مقدار آب کشیده شده از درون چاهک ترمیم گردد، پایان پذیرد، لذا سرعت بالا آمدن آب درون چاهک برای سه بار متوالی اندازه‌گیری می‌شود. این آزمایش با در نظر گرفتن چهار شرط اساسی حاکم بر روش مذکور صورت گرفته و از طریق اندازه‌گیری‌های معتبر اقدام به محاسبه ضرایب هدایت هیدرولیکی به روش ارنست گردیده و نتایج ارائه خواهند شد. در این محاسبات حروف آورده شده در شکل (۲) نشان داده شده است که شامل موارد زیر می‌باشند (۳):

- ۱- شعاع چاهک بین ۳ تا ۷ سانتیمتر ($3 < r < 7$)
- ۲- فاصله کف چاهک تا سطح ایستابی متعادل بین ۲۰ تا ۲۰۰ سانتیمتر ($20 < H < 200$)
- ۳- داده‌های آزمایش تا هنگامی معتبر شناخته شود که بیش از یک چهارم آب پمپ شده از چاهک به داخل آن بازنگشته باشد. ($\Delta Y < 0.25 Y_0$).
- ۴- عمق آب برداشت شده از چاهک از ۲۰ درصد عمق آب داخل چاهک بیشتر باشد. ($Y > 0.2 H$)

ب- هنگامی که کف چاهک روی لایه محدود کننده قرار داشته باشد ($S=0$)، k : هدایت هیدرولیکی بر حسب متر در روز،

C : ضریبی که تابع مقادیر r ، H ، y و S است.
 r : شعاع چاهک بر حسب سانتیمتر، H : فاصله سطح ایستابی متعادل تا کف چاهک یا عمق آب در چاهک بر حسب سانتیمتر

Δy : مقدار خیز سطح آب (بر حسب سانتیمتر) در فاصله زمانی Δt (بر حسب ثانیه)، S : فاصله کف چاهک تا لایه محدود کننده بر حسب سانتیمتر.

y : میانگین فاصله سطح ایستابی متعادل تا سطح آب درون چاهک در فاصله‌ای که داده‌ها اعتبار دارند

$$y = \frac{(y_0 + y_n)}{2} \quad (5)$$

W : فاصله سطح زمین تا سطح آب زیرزمینی در حال تعادل است و D : فاصله کف چاهک تا سطح زمین می باشد.

با این وجود، اندازه‌گیری‌های خارج از محدوده حذف شده و از طریق اندازه‌گیری‌های معتبر اقدام به محاسبه ضرایب هدایت هیدرولیکی به روش ارنست گردیده و نتایج ارائه خواهند شد. روابط ارنست که امروزه متداول‌ترین شیوه برای محاسبه هدایت هیدرولیکی به روش چاهک به‌شمار می روند، به شرح زیر هستند:

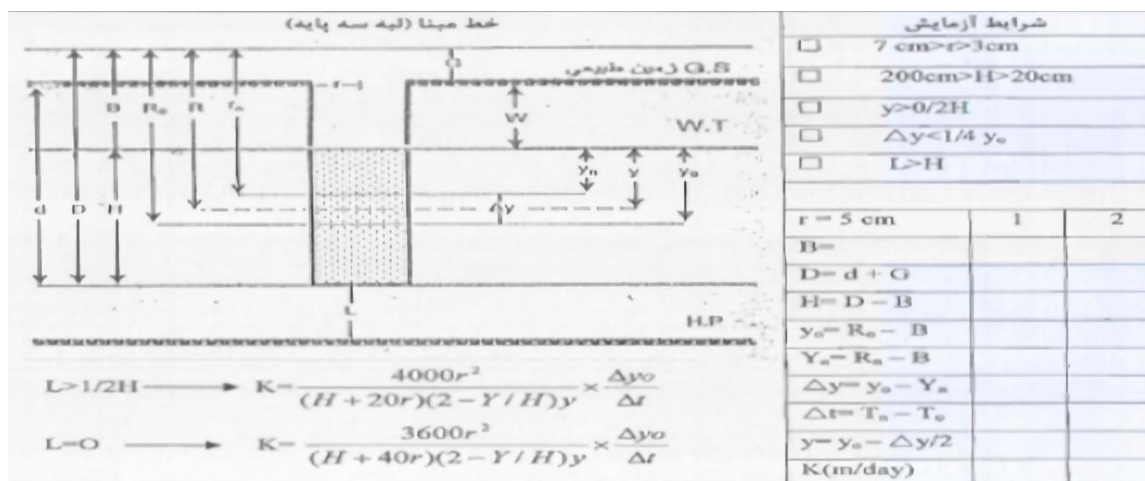
الف- هنگامی که لایه محدود کننده در فاصله نسبتاً زیادی از کف چاهک قرار داشته باشد ($S > H/2$):

$$K \left(\frac{m}{day} \right) = C * \frac{\Delta y}{\Delta t} \quad (1)$$

$$C = \frac{400000r}{\left(\frac{H}{r} + 20 \right) \left(2 - \frac{y}{H} \right) y} \quad (2)$$

$$K \left(\frac{m}{day} \right) = C * \frac{\Delta y}{\Delta t} \quad (3)$$

$$C = \frac{360000}{\left(\frac{H}{r} + 10 \right) \left(2 - \frac{y}{H} \right) y} \quad (4)$$



شکل ۲- نمایی از اجرای روش ارنست همراه با علائم کاربردی (Anonymous, 2005)

ج- اندازه‌گیری ضریب آبگذری با استفاده از روش چاهک وارونه (پورشه)

برای اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی با این روش، ابتدا حفره‌ای به قطر ۱۰-۵ سانتی‌متر با مته نمونه- برداری خاک، حفر می‌شود، به‌طوری‌که کاملاً در

ناشی از وجود آب در چاهک صرف‌نظر می‌کند. اگر آب از دیواره‌ها و کف چاهک نفوذ کند:

$$K = 1.15r \frac{\log \left[h(t_1) + \frac{r}{2} \right] - \log \left[h(t_2) + \frac{r}{2} \right]}{t_2 - t_1} \quad (6)$$

A(t_i): سطحی که آب از آن در زمان t_i نفوذ می‌کند.
R: شعاع چاهک و h(t_i): ارتفاع سطح آب درون چاهک در زمان t_i است. در صورتی که بر روی یک کاغذ نیمه لگاریتمی، $ht + 1/2r$ روی محور لگاریتمی عمودی و t بر روی محور معمولی افقی رسم گردد شیب خط حاصله (tanα) خواهد بود که در این صورت می‌توان معادله فوق را به صورت زیر نوشت:

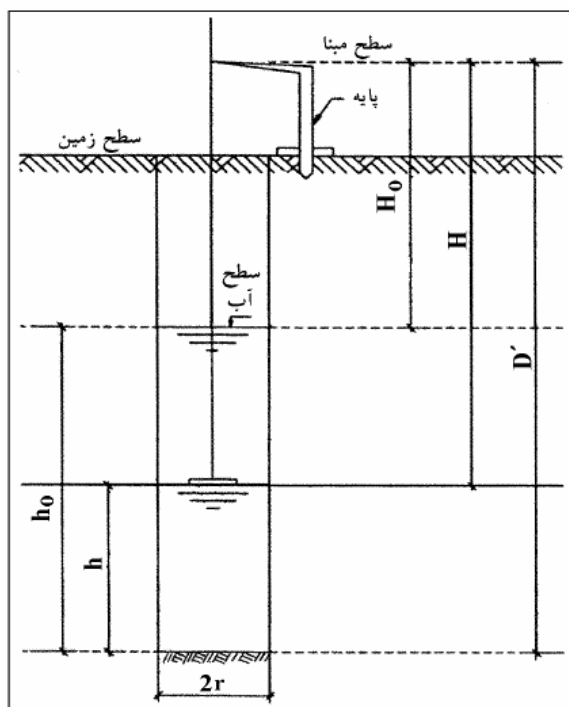
$$(cm/s) \ 15 r \tan\alpha / K = 1 \quad (7)$$

$$6 \quad r \quad \tan\alpha / K = 993$$

$$(m/d)$$

در این روش، برای اندازه‌گیری تغییرات سطح آب نسبت به زمان معمولاً از یک جسم شناور متصل به شاخص مدرج با شکل‌های گوناگون استفاده می‌شود. در شکل (۳)، نمایی از اجرای این روش و علائم و نشانه‌های کاربردی آمده است.

لایه‌ای که قرار است هدایت هیدرولیکی اندازه‌گیری شود، فرو رفته باشد. برای جلوگیری از ریزش دیواره‌ها، کارگذاری لوله مشبک در چاهک نیاز است و لایه‌ای از شن یا سنگریزه در کف چاهک برای جلوگیری از فرسایش (در اثر ریزش آب) ریخته شود. سپس چاهک را تا سطح مشخصی از آب پر کرده و به تدریج که آب در جدار چاهک نفوذ می‌کند، افت سطح آب در زمان‌های مختلف یادداشت می‌شود. قرائت سطح آب زمانی انجام می‌گردد که آب به اندازه کافی در دیواره چاهک نفوذ کرده و خاک اطراف آن را کاملاً اشباع کرده باشد. چنانچه در فاصله زمانی مشخص، مقدار آب نفوذ یافته به حد نسبتاً ثابتی برسد، می‌توان خاک را اشباع شده تلقی کرد. در این روش فرض می‌شود، میزان آبی که در جدار چاهک نفوذ می‌کند برابر هدایت هیدرولیکی اشباع است و این موضوع فقط در خاک‌های با بافت متوسط تا سنگین صادق است. در حقیقت، پورشه جریان خروجی را ثابت و به طور تقریب برابر با جریان آب از جداره‌ها و کف چاهک بدون این که چاهک از آب پر شده باشد، می‌داند و از بار فشاری



شکل ۳- نمایی از اجرای روش چاهک معکوس و علائم کاربردی (Anonymous, 2005)

آزمایش قابل انتظار است. دامنه تغییرات ضریب هدایت هیدرولیکی در خاک‌های مختلف در جدول (۱)، ارائه شده است ادامه شکل ۳- نتایج به دست آمده از تشخیص سیب روی درخت در تصاویر مختلف پوشه اعتبارسنجی

قبل از اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی، بایستی بافت خاک را از نظر ظاهری مشاهده نموده و حدودی را برای آن تخمین زد. خاک‌های شنی نفوذپذیری بالاتری نسبت به خاک‌های سنگین دارند. این تخمین ما را هدایت خواهد کرد که چه ارقامی از انجام

جدول ۱- تیپ دامنه تغییرات هدایت هیدرولیکی (Anonymous, 2005)

تیپ دامنه تغییرات k (m/day)	بافت خاک
۸۶۴۰۰-۸۶۴	شن تمیز
۸/۸۶۴-۶۴	ماسه درشت
۰/۸-۸۶/۶۴	ماسه ریز
۰/۰-۰۰۸۶/۸۶	لای
کمتر از ۰/۰۰۰۸۶	رس

جدول (۲) تعیین کلاس شدت آبگذری براساس نشریه ۱۵۳ سازمان برنامه و بودجه (۳) ارائه شده و درصد هر کدام از کلاس‌ها آمده است.

از لحاظ تعداد نقاط مورد آزمایش، بسته به اینکه خاک همگن یا غیرهمگن باشد و بر اساس فاصله زهکش‌ها، از پیشنهاد فائو استفاده می‌شود (۱۵). در

جدول ۲- بررسی کلاس شدت آبگذری به همراه درصد آنها در محدوده منطقه مورد مطالعه

ردیف	شدت آبگذری (m/day)	کلاس شدت آبگذری
۱	$0/12 >$	آهسته
۲	$0/12 - 0/5$	نسبتاً آهسته
۳	$0/50 - 1/5$	متوسط
۴	$1/5 - 3$	نسبتاً سریع
۵	$3 <$	سریع

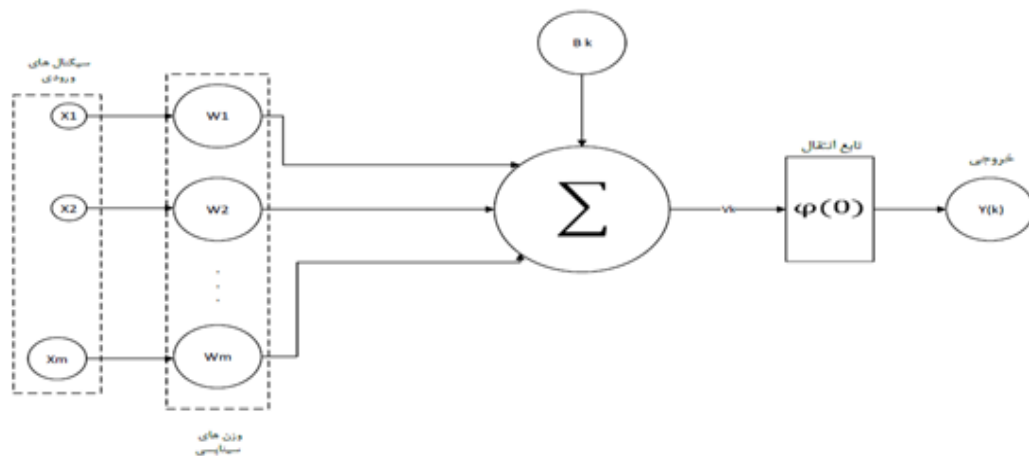
د- مدل شبکه عصبی مصنوعی

شبکه عصبی مصنوعی سامانه‌ای است با تعداد زیادی ورودی و تنها یک خروجی و شامل دو حالت آموزش و عملکرد می‌باشد. در حالت آموزش یاد می‌گیرد که در مقابل الگوهای ورودی خاص برانگیخته شود. در حالت عملکرد وقتی یک الگوی ورودی شناسایی شده وارد شود، خروجی متناظر با آن ارائه می‌شود. شبکه‌های عصبی با توانایی قابل توجه خود در استنتاج نتایج از داده‌های پیچیده می‌توانند در استخراج الگوها و گرایش‌های مختلفی که برای انسان‌ها و کامپیوتر شناسایی آن‌ها بسیار دشوار است، استفاده شوند. عنصر کلیدی این الگو ساختار جدید سیستم پردازش اطلاعات آن بوده و از تعداد زیادی عناصر (نرون) با ارتباطات قوی داخلی که هماهنگ با هم برای حل مسائل مخصوص کار می‌کنند، تشکیل شده است. شبکه‌های عصبی مصنوعی با پردازش روی داده‌های تجربی، دانش یا قانون نهفته در ورای داده‌ها را به ساختار شبکه منتقل می‌کند که به این عمل یادگیری می‌گویند. با استفاده از دانش برنامه‌نویسی رایانه می‌توان ساختار داده‌ای طراحی کرد که همانند یک نرون عمل کند. سپس با ایجاد شبکه‌ای از این نرون‌های مصنوعی به هم پیوسته، ایجاد یک الگوریتم آموزشی برای شبکه و با

اعمال این الگوریتم به شبکه آن را آموزش داد. نمایش ریاضی شبکه عصبی در شکل (۴) نشان داده شده است. در این شکل جمع‌کننده، حاصل ضرب هر یک از سیگنال‌های ورودی X در وزن مربوطه به سیناپس مربوط به آن سیگنال ورودی W را جمع می‌نماید و تابع محرکه ϕ خروجی را به گونه‌ای محدود می‌نماید که مقدار آن در بازه‌ی معینی قرار گیرد. B_k یا بایاس یک آستانه خارجی است. بنابراین خروجی Y_k با معادله زیر بیان می‌شود.

$$Y_k = \phi \left(\sum W_{kj} X_j - \theta_k \right) \quad (۸)$$

با توجه به معادله (۸)، می‌توان گفت پردازش داخلی از دو بخش تشکیل می‌شود. در بخش اول یک مجموع از n مولفه بردار ورودی ایجاد شده و سپس یک مقدار بایاس به آن اضافه می‌شود. در بخش دوم یک پردازش غیرخطی صورت می‌پذیرد و این پردازش تابع محرکه ϕ نامیده می‌شود. در این پژوهش سطح آب زیرزمینی، بافت خاک، عمق و ضخامت لایه محدود کننده به عنوان ورودی مدل شبیه‌ساز هدایت هیدرولیکی در نظر گرفته شد. همچنین ۷۵ درصد از داده‌های هدایت هیدرولیکی برای آموزش و ۲۵ درصد برای واسنجی و تست انتخاب گردیدند



شکل ۴- نمایش ریاضی مدل شبکه عصبی مصنوعی

ه. معیارهای ارزیابی مدل: برای تعیین میزان دقت

مدل‌ها از مقادیر RMSE و MAE استفاده شد:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (y_{observed} - y_{predicted})^2} \quad (9)$$

$$MAE = 100 * \frac{1}{n} \sum |y_{observed} - y_{predicted}| \quad (10)$$

جغرافیایی نقاط اندازه‌گیری، در جدول (۳) نشان داده شده است.

نتایج و بحث

نتایج مطالعات لایه محدود کننده همراه با جنس و ضخامت لایه و روش اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی و سطح آب زیر زمینی و موقعیت

جدول ۳- خلاصه نتایج مطالعات لایه محدود کننده، ضخامت لایه همراه روش اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی

شماره چاهک	موقعیت جغرافیایی نقطه		عمق لایه محدود کننده (cm)	ضخامت لایه محدود کننده (cm)	جنس لایه محدود کننده	روش اندازه‌گیری	هدایت هیدرولیکی (m/day)	سطح آب زیرزمینی (۲۴ ساعته)
	Y	X						
۱	3423955	346483	۳۶۰	۹۰	*مارن	پورشه	۱/۹۵	- خشک
۲	3423596	343986	۳۰۰	۴۰	مارن	ارنست	-	۱/۶۴ ۲۴۵
۳	3423088	343034	۳۳۰	۱۱۰	مارن	پورشه	۱/۰۸	- خشک
۴	3423016	344455	۳۰۰	۵۰	مارن	پورشه	۰/۹۶	- ۲۹۵
۵	3422987	346174	۳۰۰	۱۰۰	مارن	ارنست	-	۰/۸۵ ۲۰۵
۶	3422536	342104	۳۰۰	>۱۰۰	مارن	ارنست	-	۰/۵۳ ۱۵۵
۷	3422433	344999	۳۷۰	>۱۵۰	مارن	ارنست	-	۰/۹۰ ۲۲۵
۸	3422625	347084	۳۷۰	>۱۵۰	مارن	پورشه	۱/۴۹	- ۳۱۵
۹	3422096	341311	۳۰۰	>۱۲۰	مارن	ارنست	-	۰/۷۵ ۱۴۰
۱۰	3421990	345974	۳۲۰	>۱۰۰	مارن	ارنست	-	۱/۲۱ ۲۲۵
۱۱	3421469	341939	۳۰۰	>۱۴۰	مارن	پورشه	۰/۹۱	- ۳۰۵
۱۲	3421591	343587	۲۲۰	۸۰	مارن	پورشه	۱/۰۸	- ۳۰۵
۱۳	3421444	345045	۲۷۰	۹۰	مارن	ارنست	-	۱/۱۵ ۱۹۰
۱۴	3421046	339495	۳۵۰	۷۰	مارن	پورشه	۱/۲۷	- ۲۵۵
۱۵	3420934	342583	۳۸۰	>۶۰	مارن	ارنست	-	۰/۶۴ ۱۹۰
۱۶	3421099	345524	۴۰۰	>۲۰۰	مارن	ارنست	-	۱/۶۵ ۲۶۰
۱۷	3420514	338430	۲۵۰	۲۰۰	مارن	پورشه	۱/۰۷	- ۳۰۰
۱۸	3420455	341480	۳۴۰	۶۰	مارن	ارنست	-	۰/۷۵ ۲۴۵
۱۹	3420351	342968	۳۵۰	>۷۰	مارن	پورشه	۰/۸۸	- ۳۰۰
۲۰	3420547	344453	۳۶۰	۱۰۰	مارن	ارنست	-	۱/۳۸ ۲۴۰
۲۱	3420057	337566	۳۳۰	>۷۰	مارن	پورشه	۰/۹۴	- ۳۰۰
۲۲	3420046	342089	۲۶۰	>۱۱۰	مارن	ارنست	-	۰/۵۶ ۹۰
۲۳	3420015	344955	۳۶۰	۴۰	مارن	پورشه	۱/۳۰	- ۲۶۰
۲۴	3419458	337366	۳۰۰	>۱۰۰	مارن	ارنست	-	۱/۲۷ ۲۶۰
۲۵	3419392	338897	۳۰۰	>۳۰۰	مارن	پورشه	۱/۲۵	- ۲۹۰
۲۶	3419463	341981	۳۰۰	>۱۲۰	مارن	ارنست	-	۰/۶۰ ۱۸۰
۲۷	3419002	336956	۳۰۰	>۱۲۰	مارن	ارنست	-	۰/۶۴ ۱۹۰
۲۸	3419112	341568	۳۵۰	>۲۵۰	مارن	ارنست	-	۰/۶۴ ۱۹۰
۲۹	3418494	334071	۲۱۰	۱۵۰	مارن	پورشه	۱/۳۴	- ۲۹۵
۳۰	3418556	336050	۲۳۰	۱۳۰	مارن	پورشه	۲/۰۸	- ۲۹۰
۳۱	3198521	336985	۲۸۰	>۱۹۰	مارن	پورشه	۱/۰۴	- ۲۹۵
۳۲	3418609	338158	۲۹۰	>۱۳۰	مارن	ارنست	-	۰/۸۴ ۲۰۵
۳۳	3418487	339960	۳۰۰	>۱۷۰	مارن	ارنست	-	۰/۷۱ ۲۱۰

۲۹۰	-	۰/۹۷	پورشه	مارن	۵۰	۳۵۰	3417909	333118	۳۴
۲۳۰	۱/۹۱	-	ارنست	مارن	۶۰	۳۰۰	3418009	334027	۳۵
۸۰	۰/۵۸	-	ارنست	مارن	>۳۳۰	۲۷۰	3417965	339082	۳۶
۲۹۰	-	۲/۰۸	پورشه	مارن	>۳۰۰	۳۰۰	3418028	340994	۳۷
۲۰۵	۲/۵۲	-	ارنست	مارن	۱۰۰	۱۸۰	3417505	333508	۳۸
۲۹۵	-	۰/۹۱	پورشه	مارن	۶۰	۲۶۰	3417611	335341	۳۹
۱۴۵	۰/۶۷	-	ارنست	مارن	>۱۵۰	۳۳۰	3417545	338550	۴۰
۲۱۰	۱/۰۸	-	ارنست	مارن	۵۰	۲۵۰	3417135	333205	۴۱
۲۰۵	۱/۱۷	-	ارنست	مارن	>۱۲۰	۳۰۰	3417067	334953	۴۲
۲۹۵	-	۱/۶۹	پورشه	مارن	>۱۵۰	۳۷۰	3416993	335989	۴۳
۱۳۶	۰/۶۶	-	ارنست	مارن	>۱۸۰	۳۰۰	3417111	338986	۴۴
۲۹۶	-	۱/۰۲	پورشه	مارن	۱۱۰	۲۰۰	3416485	333561	۴۵
۲۰۶	۱/۴۱	-	ارنست	مارن	۶۰	۲۰۰	3416482	334470	۴۶
۲۳۶	۰/۷۰	-	ارنست	مارن	>۹۰	۳۴۰	3416573	336476	۴۷
۲۹۵	-	۰/۹۹	پورشه	مارن	>۱۵۰	۳۵۰	3416417	337410	۴۸
۲۴۶	۰/۸۴	-	ارنست	مارن	>۲۰۰	۳۰۰	3416594	338936	۴۹
۱۸۵	۰/۸۶	-	ارنست	مارن	>۲۴۰	۲۵۰	3416129	335102	۵۰
خشک	-	۱/۸۸	پورشه	مارن	۳۰	۳۲۰	3415932	336991	۵۱
۲۱۸	۰/۵۷	-	ارنست	مارن	>۲۰۰	۳۰۰	3415521	335542	۵۲
۲۱۲	۱/۰۴	-	ارنست	مارن	>۲۴۰	۲۵۰	3415002	335297	۵۳

* مارن به ترکیبی از ذرات رس و آهک اطلاق می‌گردد که در آن آهک، خلل و فرج خاک را مسدود نموده است

چاهک ارنست، روش اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی در زیر سطح ایستابی صورت می‌گیرد ولی در روش پورشه هدایت هیدرولیکی در بالای سطح ایستابی اندازه‌گیری شده و خاک در حد رطوبتی کمتر از حد اشباع مزرعه‌ای قرار دارد. به دلیل عدم همگونی شرایط خاک در این مطالعه، امکان این مقایسه وجود نداشته است. هدایت هیدرولیکی خاک رابطه مستقیمی با بافت خاک دارد و با سنگین‌تر شدن بافت خاک، حرکت آب در منافذ خاک (هدایت هیدرولیکی)، کندتر و با سبک‌تر شدن بافت خاک، حرکت آب در منافذ خاک راحت‌تر و سریع‌تر انجام می‌شود. یعنی از روی بافت خاک می‌توان هدایت هیدرولیکی تقریبی خاک را تخمین زد. خاک‌های

همان‌طوری که از نتایج اندازه‌گیری‌ها ملاحظه می‌شود، هدایت هیدرولیکی منطقه مورد مطالعه در محدوده ۲/۵۲ - ۰/۵۳ متر بر روز متغیر است. در بخش‌هایی از منطقه به دلیل بافت سنگین خاک، هدایت هیدرولیکی خاک کمتر از یک متر در روز است. این امر تا حدودی به بافت سنگین خاک و تراکم در زمان رسوب‌گذاری مربوط می‌گردد که منجر به کم شدن هدایت هیدرولیکی خاک شده است. تفاوت چندان زیادی در اندازه‌گیری‌های صورت گرفته به دو روش ارنست و پورشه وجود ندارد، به عبارتی هدایت هیدرولیکی در این دو روش از روند و اندازه نسبتاً مشابهی برخوردارند. اگرچه این دو روش از تفاوت ذاتی برخوردار هستند و در

شنی نفوذپذیری بالاتری نسبت به خاک‌های سنگین دارند، لذا این تخمین ما را هدایت خواهد کرد که چه ارقامی از انجام آزمایش قابل انتظار است. با توجه به جدول (۲) و براساس نتایج حاصله از آزمایش‌های تعیین ضریب هدایت هیدرولیکی خاک در بالای سطح ایستابی و زیرسطح ایستابی با روش‌های چاهک معکوس (پورشه) و چاهک ارنست، ۸۳ درصد از نتایج اندازه‌گیری‌ها در کلاس متوسط و ۱۷ درصد از آن‌ها در کلاس نسبتاً سریع واقع گردیدند، یعنی نتایج هدایت هیدرولیکی خاک‌های منطقه بیانگر این است که مطابق جدول (۲)، در کلاس متوسط تا نسبتاً سریع قرار دارند. در آزمایشی که در اراضی ساحل شرقی رودخانه کارون از اهواز تا دارخوین انجام شد، هدایت هیدرولیکی خاک‌های منطقه در کلاس‌های متوسط تا نسبتاً سریع قرار داشتند (Sheinidashtgol, 2012). نتایج این مطالعه همچنین نشان داد که نوسانات سطح آب‌زیرزمینی در زمان‌های مختلف و نسبت به موقعیت در منطقه تغییر نموده است. عواملی چون تخلخل ویژه خاک‌ها، نفوذپذیری سطحی خاک، روش‌های آبیاری و نحوه استفاده از اراضی (دیم یا آبی)، تغییرات تغذیه و تخلیه موجب می‌گردد که سطح ایستابی تحت تأثیر عوامل فوق در مکان‌های مختلف و در ماه‌های متفاوتی در نوسان باشد. با این وجود اندازه‌گیری سطح ایستابی در حال تعادل در چاهک‌های حفرشده نشان می‌دهد که سطح آب زیرزمینی بین ۳- ۱/۵ متری از سطح زمین قرار گرفته است. بررسی‌های صورت گرفته در منطقه نشان می‌دهد که بافت لایه محدود کننده عمدتاً سنگین تا خیلی سنگین بوده و

به دلیل نفوذپذیری کم این لایه نسبت به لایه‌های بالای آن و ایجاد آب‌ماندگی، در این لایه شرایط ماندابی مشاهده گردد. بسته به کیفیت آب زیرزمینی و سطح آن در طول سال در لایه‌های بالایی از سطح این لایه نیز ممکن است عوارض هیدرومورفی تشکیل شده باشد. از طرف دیگر، در خصوص عمق لایه با نفوذپذیری کم، بررسی‌ها نشان می‌دهد که در ۴۵/۳ درصد چاهک‌ها این لایه در عمق ۳۰۰- ۲۵۰ سانتیمتری، در ۳۷/۷ درصد چاهک‌ها در عمق بیش از ۳۰۰ سانتیمتری، در ۱۱/۳ درصد چاهک‌ها در عمق ۲۵۰- ۲۰۰ سانتیمتری و در ۵/۷ درصد چاهک‌ها در عمق ۲۰۰- ۱۵۰ سانتیمتری واقع شده است، لذا لایه محدودکننده در منطقه در عمق متوسط حدود ۲۵۰ سانتیمتری واقع گردیده و جنس آن از جنس مارن بوده که در آن ذرات رس و آهک با هم ترکیب شده و آهک باعث مسدود شدن خلل و فرج خاک گشته و این موضوع باعث کاهش نفوذپذیری خاک گشته است. همچنین سطح ایستابی در ۳۰/۲ درصد از چاهک‌ها در عمق ۲۵۰-۳۰۰ سانتیمتری، در ۵/۷ درصد چاهک‌ها در عمق بیش از ۳۰۰ سانتیمتری، در ۳۰/۲ درصد چاهک‌ها در عمق ۲۵۰- ۲۰۰ سانتیمتری و در ۱۵ درصد چاهک‌ها در عمق کمتر از ۱۵۰ سانتیمتری واقع شده است، لذا سطح ایستابی در عمق متوسط حدود ۲۵۰ سانتیمتری واقع گردیده است. در جدول (۴)، نتایج آنالیز آماری هدایت هیدرولیکی در بالا و زیر سطح ایستابی با استفاده از نرم افزار آماری SPSS و در جدول (۵)، با استفاده از آزمون مستقل t، آنالیز آماری فاکتورهای فوق مورد بررسی قرار گرفته اند.

خطای استاندارد میانگین	انحراف استاندارد	میانگین	تعداد	سطح اندازه‌گیری
۰/۸۵۶	۰/۴۰۱۶	۱/۲۸۱	۲۲	بالای سطح ایستابی (پورشه)
۰/۸۳۰	۰/۴۶۲۲	۰/۹۹۱	۳۱	زیر سطح ایستابی (ارنست)

جدول ۵- آزمون t مستقل جهت مقایسه هدایت هیدرولیکی بالای سطح ایستابی و زیر سطح ایستابی

خطای استاندارد تفاوت	تفاوت میانگین ها	سطح معناداری	درجه آزادی	t
۰/۱۲۲۲	۰/۲۸۹۹	۰/۰۲۱	۵۱	۲/۳۷

نتایج شبیه‌سازی مدل شبکه عصبی مصنوعی

با توجه به اطلاعات به دست آمده از توصیف آماری دو نوع هدایت هیدرولیکی اندازه‌گیری شده، می‌توان گفت که هدایت هیدرولیکی در بالای سطح ایستابی با روش پورشه دارای میانگین بالاتری از هدایت هیدرولیکی در زیر سطح ایستابی با روش چاهک ارنست است. نتایج آزمون t نمونه‌های مستقل برای مقایسه این دو سطح اندازه‌گیری (جدول ۵)، نشان‌دهنده‌ی معنی‌دار بودن (در سطح ۵ درصد) هدایت هیدرولیکی در بالای سطح ایستابی نسبت به هدایت هیدرولیکی در زیر سطح ایستابی است.

برای نشان دادن دقت مدل شبکه عصبی مصنوعی در شبیه‌سازی نسبت به مقادیر واقعی جدول‌های (۶) و (۷) تهیه گردیده است. جدول (۶) مقادیر میانگین RMSE و MAE بین نقاط اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده برای دو روش پورشه و ارنست را نشان می‌دهد. همچنین برای مقایسه آماری بین مقادیر اندازه‌گیری با شبیه‌سازی شده آزمون مقایسه میانگین جامعه آماری به روش t در سطح خطای یک درصد استفاده شد و نتایج آن برای دو روش اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی در جدول (۷) نشان داده شده است.

جدول ۶- میانگین RMSE و MAE هدایت هیدرولیکی

مدل شبکه عصبی مصنوعی		
روش اندازه‌گیری	میانگین RMSE	میانگین MAE
پورشه	۱/۱۵	۱/۹۲
ارنست	۰/۹۸	۱/۲۵

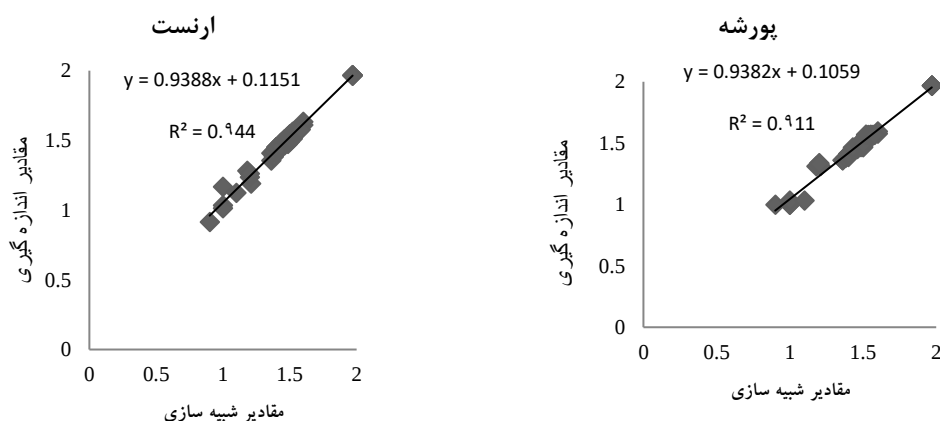
جدول ۷- آماره‌های محاسبه شده برای مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده هدایت هیدرولیکی

مدل شبکه عصبی مصنوعی و اندازه گیری شده			مقایسه
روش اندازه گیری	MEAN DIFF	STD ERROR DIFF	P-value
پورشه	۰/۰۸۴	۰/۰۶۱	n.s. ۰/۵۸۷
ارنست	۰/۰۱۸	۰/۰۲۴۱	n.s. ۰/۸۸۶

• P.S: تفاوت معنی‌دار وجود ندارد

سطح خطای یک درصد اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. همچنین با توجه به این اعداد مشاهده می‌شود، مقادیر خطای شبیه‌سازی در کلیه آماره‌های محاسبه شده، در روش ارنست کمتر از روش پورشه می‌باشد.

شکل (۵) منحنی برازش شده بین نقاط اندازه‌گیری و شبیه‌سازی توسط مدل شبکه عصبی مصنوعی با استفاده از دو روش پورشه و ارنست را نشان می‌دهد.



شکل ۵- منحنی برازش شده بین نقاط اندازه‌گیری و شبیه‌سازی توسط مدل شبکه عصبی مصنوعی با استفاده از دو روش پورشه و ارنست

نتیجه‌گیری

اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی در زیر سطح ایستابی (در بخش اشباع خاک) صورت می‌گیرد ولی در روش پورشه هدایت هیدرولیکی در بالای سطح ایستابی اندازه‌گیری شده و خاک در حد رطوبتی کمتر از حد اشباع مزرعه‌ای قرار دارد، بنابراین انتظار می‌رود که در شرایط مساوی خاک، اندازه‌گیری ارنست نسبت به پورشه نتایج عددی بیشتری را حاصل نماید که به دلیل عدم همگونی شرایط خاک در این مطالعه، امکان این مقایسه وجود نداشته است. براساس نتایج حاصله از آزمایش‌های تعیین ضریب هدایت هیدرولیکی در بالای سطح ایستابی و زیر سطح ایستابی با روش‌های چاهک معکوس (پورشه)

نتایج مطالعات هدایت هیدرولیکی نشان می‌دهد که این فاکتور در محدوده ۲/۵۲-۰/۵۳ متر بر روز متغیر است. در بخش‌هایی از منطقه، هدایت هیدرولیکی خاک کمتر از یک متر در روز است که این امر تا حدودی به بافت سنگین خاک و تراکم در زمان رسوبگذاری مربوط می‌گردد، لذا بافت خاک عاملی تعیین کننده است. تفاوت چندان زیادی در اندازه‌گیری‌های صورت گرفته به دو روش ارنست و پورشه وجود ندارد، به عبارتی هدایت هیدرولیکی در این دو روش از روند و اندازه نسبتاً مشابهی برخوردارند. اگرچه این دو روش از تفاوت ذاتی برخوردار هستند و در چاهک ارنست، روش

و چاهک ارنست، ۸۳ درصد از نتایج اندازه‌گیری‌ها در کلاس متوسط و ۱۷ درصد از آن‌ها در کلاس نسبتاً سریع واقع گردیدند. نتایج این مطالعه نشان داد که نوسانات سطح آب زیرزمینی در زمان‌های مختلف و نسبت به موقعیت در منطقه تغییر نموده است. عواملی چون تخلخل ویژه خاک‌ها، نفوذپذیری سطحی خاک، روش‌های آبیاری و نحوه استفاده از اراضی (دیم یا آبی)، تغییرات تغذیه و تخلیه موجب می‌گردد که سطح ایستابی تحت تأثیر عوامل فوق در مکان‌های مختلف و در ماه‌های متفاوتی در نوسان باشد. با این وجود اندازه‌گیری سطح ایستابی در حال تعادل در چاهک‌های حفر شده نشان می‌دهد که سطح آب زیرزمینی بین ۳-۱/۵ متری از سطح زمین قرار گرفته است. این فاکتور در ۳۰/۲ درصد از چاهک‌ها در عمق ۲۵۰-۳۰۰ سانتیمتری، در ۵/۷ درصد چاهک‌ها در عمق بیش از ۳۰۰ سانتیمتری، در ۳۰/۲ درصد چاهک‌ها در عمق ۲۵۰-۲۰۰ سانتیمتری و در ۱۵ درصد چاهک‌ها در عمق کمتر از ۱۵۰ سانتی‌متری واقع شده است، لذا سطح ایستابی در منطقه در عمق متوسط حدود ۲۵۰ سانتی‌متری واقع گردیده است. همچنین مطالعات لایه‌بندی صورت گرفته نشان می‌دهد که بافت خاک سطحی در عمق ۱۰۰-۰ سانتیمتری عمدتاً متوسط تا نسبتاً سنگین بوده است. در عمق‌های پایین‌تر بافت خاک از متوسط تا خیلی سنگین مشاهده گردید. در برخی از قسمت‌های منطقه نیز لنز ماسه‌ای مشاهده شد. این لنزهای ماسه‌ای در اثر بادرفت‌هایی که در منطقه جریان دارد، پدید آمده است. به عبارتی خشکی منطقه در برخی از سال‌ها سبب انتقال ماسه از بخش‌هایی از منطقه و تجمع آن در قسمت‌های گود منطقه شده و این فرآیند سبب ایجاد این پدیده در

منطقه شده است. در احداث سازه‌ها در منطقه لازم است که به وجود لنزهای ماسه‌ای در منطقه توجه ویژه‌ای گردد. تشخیص عمق لایه با نفوذپذیری کم (لایه محدود کننده) در مطالعات زهکشی یک نیاز اساسی است که هم در محاسبات ضرائب هدایت هیدرولیکی و هم در تعیین فواصل زهکش‌ها از آن استفاده می‌شود. در تعیین این لایه لازم است که به وجود شواهدی از جمله تغییر بافت خاک، شرایط احیایی، مائل و مقاومت در مقابل حفاری و غیره توجه گردد. با توجه به شرایط منطقه و وجود مواد مادری آهکی، نوسانات سطح آب زیرزمینی همراه با بافت سنگین لایه غیر قابل نفوذ، سبب گشته که این لایه برای آب، هوا و ریشه گیاهان در این خاک‌ها که از جمله خاک‌های آهکی هستند تشکیل شود. از طرف دیگر، در خصوص عمق لایه با نفوذپذیری کم، بررسی‌های صورت گرفته در منطقه نشان می‌دهد که بافت لایه محدود کننده عمدتاً سنگین تا خیلی سنگین بوده و به دلیل نفوذپذیری کم این لایه نسبت به لایه‌های بالای آن و ایجاد آب‌ماندگی، در این لایه شرایط احیایی مشاهده گردد. بسته به کیفیت آب زیرزمینی و سطح آن در طول سال در لایه‌های بالایی از سطح این لایه نیز ممکن است عوارض هیدرومورفی تشکیل شده باشد. همچنین در خصوص عمق لایه با نفوذپذیری کم، بررسی‌ها نشان می‌دهد که در ۴۵/۳ درصد چاهک‌ها این لایه در عمق ۳۰۰-۲۵۰ سانتی‌متری، در ۳۷/۷ درصد عمق بیش از ۳۰۰ سانتی‌متری، در ۱۱/۳ درصد چاهک‌ها در عمق ۲۵۰-۲۰۰ سانتی‌متری و در ۵/۷ درصد چاهک‌ها در عمق ۲۰۰-۱۵۰ سانتی‌متری واقع شده است، لذا لایه محدود کننده در منطقه در عمق متوسط حدود ۲۵۰ سانتیمتری واقع گردیده و

جنس لایه محدود کننده از جنس مارن بوده که در آن ذرات رس و آهک با هم ترکیب شده و آهک باعث مسدود شدن خلل و فرج خاک گشته و این موضوع باعث کاهش نفوذپذیری خاک می‌گردد. نتایج آنالیز آماری نشان داد که هدایت هیدرولیکی در بالای سطح ایستابی با روش پورشه دارای میانگین بالاتری از هدایت هیدرولیکی در زیر سطح ایستابی با روش ارنست است، به‌طوری که این تفاوت در سطح ۵ درصد معنی‌دار است.

REFERENCES

- Aimrun, W., M.S.M. Amin and S.M. Eltaib. 2004. E-fective porosity of paddy soils as an estimation of its saturated. hydraulic conductivity. *Geoderma*. 121: 197–203.
- Alizadeh, A. 2005. New drainage. Planning and management of drainage systems. *Astan Quds Razavi Printing and Publishing Institute*. (In Farsi)
- Anonymous. 2005. Instructions for determining the hydraulic conductivity of soil by different methods, Vice-Chancellor of Technical Affairs, Ministry of Energy, *publications of the country's management and planning organization - Ministry of Energy*. Publication No. 322. (In Farsi)
- Baybordi, M. 2008. Principles of drainage engineering and soil improvement, *University of Tehran Printing and Publishing Institute, Tehran, Iran*. (In Farsi)
- Clap, R.B. and G.M. Hornberger. 1978. Empirical equations for soil-hydraulic properties. *Water Resources Resaarch*. 117: 311-314.
- Dehghan, M., Kashkouli, H.A. and Jafari, S. 2010. Comparison of the coefficient of hydraulic conductivity obtained from the inverted well method with the method of pumping into the well in heavy soil, the third national conference on management of irrigation and drainage networks, Ahvaz, Shahid Chamran University, Ahvaz. (In Farsi)
- Fuentes, J.P., Flury, M., Bezdicek, D.F. 2004. Hydraulic properties in a silt loam soil under natural prairie, conventional tillage and no-till. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68: 1679–1688.
- Habibzadeh Azar, B., Babazadeh, H. and Zeinalzadeh, K. 2008. Comparison of two methods of golf and inverted well infiltration meter in measuring the hydraulic conductivity of soil saturation, *the second national conference on management of irrigation and drainage networks, Shahid Chamran University of Ahvaz*. (In Farsi)
- Heidarpour, M. and Mohammadzadeh, J. 2006. Comparison of the hydraulic conductivity coefficient obtained from the reverse well method and the pumping method into the well. *Proceedings of the Second National Conference on Management of Irrigation and Drainage Networks, Shahid Chamran University of Ahvaz*. (In Farsi)
- Lambert. k smedema, Villem F. Voltman, David W. Rycroft, 2005., *Modern Design and Management of Agricultural Drainage Systems*.
- Mohammadnejad, B. and Beigi, A. 2015. Evaluation of field measurement methods in determining soil saturated hydraulic conductivity, *Second National Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Qom, Qom University of Technology*. (In Farsi)

- Nemes, A., W.J. Rawls and Y.A. Pachepsky. 2005. Influence of Organic Matter on the Estimation of Saturated Hydraulic Conductivity. *Soil Science Society of American Journal*. 69:1330-1337.
- Nosrati Karizak, F., Movahedi Naeini, A., Hezar Jeribi, A., Roshani, Gh. and Dehghani, A. 2012. The use of artificial neural network to estimate saturated hydraulic conductivity from the characteristics of soil precipitation. *Journal of soil management and sustainable production*, 2 (1): 95-110. (In Farsi)
- Parasurman, K., Elshorbagy, A. and Si, B. 2006. Estimating saturated hydraulic conductivity in spatially variable fields using neural network in Ensembles. *SSSA. J.* 70: 1851-1859.
- Shayan, F. 2013. Investigating temporal changes of unsaturated hydraulic conductivity in wheat cultivated lands using a disk penetrometer device (case study of lands of Shahid Chamran University of Ahvaz), *master's thesis, Shahid Chamran University, Ahvaz*. (In Farsi)
- Sheinidashtgol, A. 2012. Soil layering studies and determination of hydrodynamic coefficients and soil permeability related to the irrigation and drainage network of lands east of the Karun River, Arvand Water and Energy Company, Khuzestan Water and Electricity Organization, final report of the study project. (In Farsi)
- Sorush, A., Mostafa Zadeh, B. and Eslamian, S. 2003. Design and construction of water level stabilization device. *8th National Seminar on Irrigation and Evaporation Reduction, Shahid Bahonar University, Kerman, Iran*. (In Farsi)
- Yao, R. J., Yang, J. S., Wu, D. H., Li, F. R., Gao, P., and Wang, X. P. 2015 Evaluation of pedotransfer functions for estimating saturated hydraulic conductivity in coastal saltaffected mud farmland. *Journal of Soils and Sediments*, 1-15.



Investigation and Simulation of Hydrodynamic Coefficients of Soil in the Area of The Right Bank of The Jarahi River

Fahimeh Sayadi Shahraki¹, Ali Sheini Dashtgol² and Atefeh Sayadi Shahraki^{*3}

¹ Assistant Professor, Department of Electrical Engineering, Shahr-e-Qods Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

² Researcher of Khuzestan Sugarcane Research and Training Institute, Khuzestan, Iran

³ Researcher, Soil and Water Research Department, Chaharmahal and Bakhtiari Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shahrekord, Iran

* Corresponding Author's Email: sayadi.atefeh@gmail.com

(Received: October. 29, 2024 – Accepted: March. 18, 2025)

ABSTRACT

Hydraulic conductivity is one of the most important soil hydrodynamic characteristics that in between the drains interspace calculating and groundwater flow assessment used and in the drainage studies, is important. Several methods are for field measurements hydraulic conductivity of soil saturated that the Based on horizontal velocity of water in the soil. The aim of the hydraulic conductivity above the water table wells with reverse and well below the water table with Ernst, the right bank irrigation and land drainage Ramshir, this study was conducted. Studies also show that the hydraulic conductivity in the study area within the factor 0.53-2.52 m/day varies. Much difference in the two approaches to ernst & Porsche measurements taken there. Hydraulic conductivity in terms of the size of these two methods are comparable. Based on the results of tests to determine the hydraulic conductivity above the water table and the water table methods Reverse the wells and wells Ernst, 83% of measurements average of %17 of the class Per class they were actually fairly quick. On the other hand, the depth of the layer with low permeability, studies show that 45.3% of the wells in the deep layer of 250-300 cm, in 37.7 % of the wells at depths greater than 300 cm , in 11.3% wells at a depth of 200-250 cm and a 5.7 % of the wells at a depth of 150-200 cm is located, thus limiting layer at an average depth of about 250 cm and located in the area of gender restrictive layer is made of marl in the clay and limestone and lime combine to make soil pores become blocked and this will decrease the permeability of the soil . According to the statistical analysis of two kinds of hydraulic conductivity measured in this study, we can say that the hydraulic conductivity above the water table higher average hydraulic conductivity with Porsche under the table with sink is Ernest, so that the difference is statistically significant at the 5% Level. The results showed that the Artificial Neural Network model for Ernest method has a highest accuracy in prediction of hydraulic conductivity. So that the average RMSE for Ernest and Porsche method between measured and predicted with Artificial Neural Network models obtained 0.98, 0.098 and 1.15 respectively

Keywords: Hydraulic conductivity, Porsche, Ernest, Artificial Neural Network.