

## بررسی تأثیر آب مغناطیسی بر هدایت هیدرولیکی اشباع خاک

سیده فاطمه اشرفی<sup>۱\*</sup>، عبدعلی ناصری<sup>۲</sup> و مجید بهزاد<sup>۳</sup>

\* - نویسنده مسئول، دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز ashrafi\_ma90@yahoo.com

۲- استاد دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

۳- استاد دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ پذیرش: ۹۲/۲/۹

تاریخ دریافت: ۹۱/۳/۱

### چکیده

این پژوهش به منظور بررسی تأثیر آب مغناطیسی بر هدایت هیدرولیکی اشباع خاک در قالب طرح کامل تصادفی در چهار تیمار (سه تیمار مغناطیسی و یک تیمار شاهد) و سه تکرار انجام گرفت. تیمارهای طرح عبارت بودند از: تیمار مغناطیسی اول: آب شهر پس از عبور از میدان دستگاه رسوب زدای مغناطیسی (آر پی ام) با شدت ۵۰۰ گوس، تیمار مغناطیسی دوم: آب شهر پس از عبور از میدان دستگاه آکوآکرکت با شدت ۱۳۰۰ گوس، تیمار مغناطیسی سوم: آب شهر پس از عبور از میدان دستگاه الکلا با شدت ۱۶۰۰ گوس و تیمار شاهد: آب شهر بدون حضور میدان مغناطیسی. هدایت هیدرولیکی با آزمایش بار ثابت اندازه‌گیری شد. جهت ساخت ستون‌های خاک، ۱۲ عدد لوله پلیکا مورد استفاده قرار گرفت. جهت استقرار ستون‌ها در ارتفاع مناسبی از سطح زمین (برای جمع‌آوری زهاب خروجی از انتهای آن‌ها)، یک میز کار فلزی با ۱۲ جایگاه قرارگیری نمونه طراحی و ساخته شد. خاک مورد نیاز با بافت لوم به ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر درون ستون‌ها ریخته و پس از قرارگیری ستون‌ها در جایگاه با استفاده از اتصالات آبراهی طراحی شده، جریان آب بر سر نمونه‌ها برقرار گردید. بار ثابت آب بر سر نمونه‌ها به ارتفاع دو سانتی‌متر بود. در انتهای ۳۵ روز آب مغناطیسی اثر معنی‌داری در سطح یک درصد بر کاهش هدایت هیدرولیکی اشباع خاک داشت. کمترین مقدار ضریب آبگذری متعلق به تیمار مغناطیسی سوم بود که نسبت به تیمار شاهد ۵۱ درصد کاهش داشت. تیمارهای مغناطیسی دوم و اول نیز به ترتیب با ۳۶ و ۲۹/۳ درصد کاهش نسبت به تیمار شاهد در مکان‌های بعدی قرار داشتند.

کلید واژه‌ها: آب مغناطیسی، هدایت هیدرولیکی اشباع خاک، پیوند هیدروژنی.

### Investigation the Effect of Magnetic Water on the Soil Saturated Hydraulic Conductivity

S. F. Ashrafi<sup>1</sup>, A. A. Naseri<sup>2</sup> and M. Behzad<sup>3</sup>

1- M. Sc. Student, Irrigation and Drainage Department, Shahid Chamran University, Ahwaz, Iran

2- Professor, Irrigation and Drainage Department, Shahid Chamran University, Ahwaz, Iran

3- Professor, Irrigation and Drainage Department, Shahid Chamran University, Ahwaz, Iran

Received: 22 May 2012

Accepted: 29 Apr 2013

### Abstract

In this study, the effect of magnetic water on the soil saturated hydraulic conductivity has been investigated by a quite random form with four treatments and three repetitions. Treatments in this study were included: 1- potable water after passing through the RPM device with 500 Gauss Intensity; 2- potable water after passing through the Aqua Correct device with 1300 Gauss Intensity; 3- potable water after passing through the Elcla device with 1600 Gauss Intensity; 4-potable water without magnetic device (Reference treatment). Hydraulic conductivity was measured by constant head test. 12 high pressure plastic pipes were used for preparation of the soil columns. The columns were fixed at new metal table with constant height form the ground in order to gather the drainage, easily. Also agricultural soil with loam texture was compressed into the columns up to 15 cm. During 35 days, the water with 2 cm height was passed over the top of soil columns. At the end of 35 days, magnetic water had significant effect (1%) on decreasing saturated hydraulic conductivity. The third magnetic treatments had lowest hydraulic conductivity that it was 51% less than reference treatment. For the first and second treatments, it was 29.3

and 36% less than reference treatment, respectively.

**Key words:** Magnetic water, Soil saturated hydraulic conductivity, Hydrogen bonding.

#### مقدمه

شدت ۰/۱ تسلا<sup>۹</sup> آزمایش‌هایی بر روی آب انجام داده و شاهد افزایش نسبت آراگونیت به کلسیت بودند. لیپوس و دوبرسک<sup>۱۰</sup> در تحقیقی اثر میدان مغناطیسی را بر روی مقدار و نوع رسوب کربنات کلسیم در درون لوله‌های مسی و گالوانیزه بررسی کردند و دریافتند که حضور میدان مغناطیسی باعث افزایش رسوبات آراگونیت و کاهش رسوبات کلسیت در لوله‌ها می‌شود. نتایج مطالعات نان‌سو و همکاران<sup>۱۱</sup> (۲۰۰۰) نشان داد که در ساخت بتن شدت تراکم نمونه ملات مخلوط شده با آب مغناطیسی با شدت میدان ۰/۸ تا ۱/۳۵ تسلا، ۹ تا ۱۹ درصد نسبت به هنگامی که آب معمولی استفاده شده، افزایش داشته است. زنگنه (۱۳۸۸) طی تحقیقات خود گزارش کرد آب مغناطیسی می‌تواند در اصلاح خاک‌های سدیمی مؤثر باشد. بر اساس نتایج تحقیق نیکبخت و همکاران (۱۳۹۰) با افزایش تعداد دفعات عبور محلول با شوری معین از میدان مغناطیسی، میزان EC محلول نسبت به EC اولیه بیشتر کاهش می‌یابد. سالیها<sup>۱۲</sup> (۲۰۰۵) با مشاهده کاهش معنی‌دار EC و pH و میزان CaCO<sub>3</sub> در محلول خاک، اثر کاربرد آب مغناطیسی در حل کردن و آبشویی نمک‌ها و میزان انحلال CaCO<sub>3</sub> را تأیید کرد. تحقیقات غوری و انصاری (۲۰۰۶) نشان داد که میدان مغناطیسی نسبتاً قوی (۰/۷۵ تسلا) لزوجت آب را افزایش می‌دهد که به‌وسیله پیوندهای هیدروژنی قوی‌تر تحت میدان مغناطیسی تفسیر و باعث می‌شود لزوجت خیلی کم افزایش یابد. در این زمینه تحقیق بیشتری نیاز می‌باشد. پدلئونی و همکاران<sup>۱۳</sup> (۲۰۰۴) تأثیر میدان مغناطیسی را روی جوانه‌زنی بذر باقلا مورد مطالعه قرار دادند و تأثیر مفیدی را روی جوانه‌زنی و سرعت خروج جوانه‌ها از خاک مشاهده کردند، [۱۸]. تحقیقات در استفاده از آب مغناطیسی در بخش‌های مختلف کشاورزی نه تنها در کشور ما بلکه در سایر نقاط دنیا نیز بسیار کم صورت گرفته است. در این بخش در سال‌های اخیر تحقیقات اندک و تبلیغات بسیاری در باب تأثیر مثبت این روش در افزایش راندمان آبیاری، بهبود ساختمان خاک، کاهش مصرف کود، افزایش راندمان آبشویی، افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی و کاهش مصرف بذر و افزایش بازده محصولات به همراه بهبود کیفیت آن‌ها به چشم می‌خورد. هدایت هیدرولیکی خاک (یا همان ضریب آبگذری خاک) معرف متوسط خاصیت انتقال آب در خاک بوده و شناخت و بررسی

رودخانه‌ها در مسیر خود به‌علت برخورد و تماس آب با طبقات مختلف، املاح گوناگون را با خود حمل می‌کنند. عناصر و ترکیبات مختلفی در آب‌ها وجود دارند که روی کیفیت شیمیایی و فیزیکی آن مؤثر می‌باشد. به‌طور طبیعی در جریان رودخانه بیشترین املاح موجود در طبیعت که در آب نیز حل می‌گردد، املاح کربناته بوده که به‌صورت بی‌کربنات در آب محلول است (چالکش امیری، ۱۳۸۵). رسوب کربنات کلسیم معمول‌ترین ماده‌ایست که در آب‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک بوجود می‌آید (علیزاده، ۱۳۸۰) و سه شکل مختلف کریستالی کربنات کلسیم عبارتند از: کلسیت با سیستم تبلور شش وجهی که بسیار فعال و چسبنده است و این ساختار عامل اصلی ایجاد رسوبات سخت در مجاری عبور آب می‌باشد، آراگونیت<sup>۱</sup> با سیستم تبلور ارتورومبیک<sup>۲</sup> یا سوزنی شکل که قدرت چسبندگی کمی دارد و رسوبات ایجاد شده توسط آراگونیت نرم بوده و به‌راحتی زدوده می‌شود (باکروجاد<sup>۳</sup> ۱۹۹۶) و واتریت<sup>۴</sup> بسیار ناپایدارتر از دو فرم دیگر بوده و معمولاً کربنات کلسیم به فرم واتریت به ندرت یافت می‌شود. یکی از راه‌های بهینه‌سازی آب‌های مصرفی، بهره‌گیری از تکنولوژی مغناطیسی در پالایش آب عنوان شده است. در پالایش آب از طریق اعمال میدان مغناطیسی که جزء روش‌های تصفیه فیزیکی به شمار می‌رود، چیزی به آب کم یا زیاد نمی‌شود بلکه فقط آرایش بارهای الکتریکی مولکول‌های آب تغییر می‌کند (احمدی و نیک‌نیا، ۱۳۹۰). آب مغناطیسی مرفولوژی رسوب کربنات کلسیم را تغییر می‌دهد (گابریل و همکاران<sup>۵</sup>، ۲۰۰۱). از مهمترین فواید آب مغناطیسی تشکیل رسوب نرم ذکر شده است. آب در صورت عبور از تصفیه‌کننده‌های مغناطیسی در شرایط فوق اشباع تمایل به تشکیل رسوب نرم و جدا شونده از سطوح دارد. به عبارت دیگر آراگونیت موجود در رسوب افزایش می‌یابد (رایسن<sup>۶</sup>، ۱۹۸۴) هیگاشیتانی و همکاران<sup>۷</sup> (۱۹۹۳) اثر میدان مغناطیسی بر مراحل ته‌نشینی کربنات کلسیم و سولفات کلسیم را به طور گسترده بررسی کردند. آن‌ها دریافتند که اگر آب به دفعات زیاد تحت تأثیر میدان مغناطیسی قرار گیرد، تشکیل آراگونیت افزایش می‌یابد. کوی و استفان<sup>۸</sup> (۲۰۰۰) با استفاده از یک میدان مغناطیسی به

9- Tesla .

10- Lipus and Dobersek .

11- Nan Su et al.

12- Saliha.

13- Podleoen et al.

1- Aragonite.

2- Orthorhombic.

3- Baker and judd

4- Watergate

5- Gabrielliet al.

6- Raisen.

7- Higashitani.

8- Coey an Stephen.

ورودی و خروجی آب، دو سوراخ به یک سانتی‌متر در قسمت بالایی لوله در ارتفاع ۱۷ سانتی‌متری از کف لوله ایجاد شد به گونه‌ای که این سوراخ‌ها دقیقاً روبه‌روی هم قرار گرفتند. با استفاده از قلاویز، سوراخ‌های ایجاد شده رزوه کاری شده تا اتصال برنجی مورد نظر جهت ورود و خروج آب بدون هیچ‌گونه نشتی به لوله متصل گردد. به منظور ایجاد فیلتراسیون و خروج زهاب، انتهای ستون‌ها با کاغذ صافی و توری بسته شد و خاک به ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر طی سه مرحله کوبش به گونه‌ای در لوله‌ها ریخته شد تا چگالی آن به چگالی ظاهری مزرعه نزدیک باشد. همچنین به منظور جلوگیری از ایجاد جریان ترجیحی دیواره لوله‌ها با گریس چرب شد. لازم بود تا ستون‌ها در ارتفاع مناسبی از سطح زمین قرار بگیرند تا جمع آوری زهاب از انتهای آن‌ها آسان باشد. به همین منظور یک میز کار فلزی با ۱۲ جایگاه طراحی و ساخته شد. در این طرح می‌بایست لوله اصلی آب در آزمایشگاه به انشعابات مختلفی تقسیم شود، به گونه‌ای که هر نمونه، آبی مجزا با خصوصیات مورد نظر دریافت کند. با توجه به وجود ۳ تیمار آب مغناطیسی و تیمار شاهد (آب شهر)، در ابتدا لازم بود لوله اصلی

عوامل مؤثر بر هدایت هیدرولیکی خاک در بسیاری از مسائل از جمله آبیاری و زهکشی و حرکت آب و املاح در خاک ضروری است. یکی از عوامل تأثیرگذار بر هدایت هیدرولیکی خاک کیفیت آب آبیاری است.

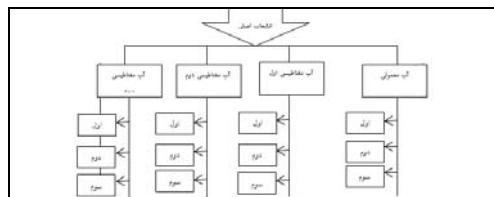
### مواد و روش‌ها

این تحقیق در یک خاک لوم در قالب طرح کامل تصادفی و در چهار تیمار و سه تکرار انجام پذیرفت. آب مصرفی در این تحقیق از آب شهری تأمین گردید. در این پژوهش جهت انجام آزمایش‌هایی از خاک زراعی مزرعه تحقیقاتی شماره یک دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز با بافت لوم استفاده شده است. پس از نمونه‌برداری از خاک و هوا خشک کردن و عبور خاک از الک شماره ۱۰، اقدام به تعیین بافت خاک به روش هیدرومتری شد. نتایج تجزیه فیزیکی خاک در جدول (۱) ارائه شده است.

روش اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع در این طرح، روش بار ثابت بود. جهت تهیه ستون‌های خاک از ۱۲ عدد لوله پلیکا به قطر ۱۰ و ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر استفاده شد. برای ایجاد یک ارتفاع ثابت از آب (دو سانتی‌متر) بر روی نمونه‌ها و به منظور اتصال قطر

### جدول ۱- نتایج تجزیه فیزیکی خاک

جرم مخصوص ظاهری ( $\text{Gr/cm}^3$ )	جرم مخصوص حقیقی ( $\text{g/cm}^3$ )	بافت خاک	درصد شن	درصد سیلت	درصد رس
۱/۵	۲/۶۲	لومی	۳۹	۳۷	۲۴



شکل ۱- طرح انشعابات آبراهی به کار رفته



شکل ۲- نمایی از سیستم در حال کار

جدول ۲- نمونه‌ای از داده‌های به‌دست آمده از زهاب خروجی ستون‌های خاک بر حسب میلی لیتر

زمان(ساعت)	تیما آب شهر(شاهد)			تیما آب مغناطیسی اول			تیما آب مغناطیسی دوم			تیما آب مغناطیسی سوم		
	تکرار	تکرار	تکرار	تکرار	تکرار	تکرار	تکرار	تکرار	تکرار	تکرار	تکرار	تکرار
	سوم	دوم	اول	سوم	دوم	اول	سوم	دوم	اول	سوم	دوم	اول
۲	۷۲	۷۹	۸۰	۵۴	۵۴	۵۳	۵۶	۴۸	۴۰	۴۲	۳۹	۳۳
۲	۶۸	۷۶	۸۰	۵۰	۵۴	۵۱	۵۷	۴۶	۴۲	۴۳	۳۷	۳۱
۲	۷۲	۸۰	۸۲	۵۲	۴۹	۵۲	۵۷	۴۹	۴۱	۴۳	۳۸	۳۳
۲	۷۰	۷۸	۸۱	۵۴	۵۳	۵۲	۵۶	۴۷	۴۰	۴۴	۴۰	۳۳
میانگین	۷۰/۵	۷۸/۲۵	۸۰/۷۵	۵۲	۵۲/۵	۵۲	۵۶/۵	۴۷/۵	۴۰/۷۵	۴۳	۳۸/۵	۳۳

دستگاه آکوا کرکت<sup>۲</sup> با شدت ۱۳۰۰ گوس

❖ تیمار مغناطیسی سوم: آب شهری بعد از عبور از دستگاه الکال<sup>۳</sup> با شدت ۱۶۰۰ گوس

❖ تیمار شاهد: آب شهری بدون حضور میدان مغناطیسی در جدول (۲) نمونه‌ای از داده‌های به‌دست آمده از زهاب خروجی نشان داده شده است. با استفاده از فرمول (۱) هدایت هیدرولیکی محاسبه شد:

$$K = \frac{V.L}{t.A.H} \quad (1)$$

در رابطه بالا H: بار آبی یا ارتفاع بین دو سطح ثابت آب در بالا و پایین نمونه خاک (سانتیمتر) L: طول نمونه خاک (سانتی متر) A: سطح نمونه خاک (سانتیمتر مربع) K: ضریب آبگذری (سانتیمتر در روز)

t: بازه زمانی (روز) V: حجم زهاب خروجی در بازه زمانی مورد نظر (سانتی متر مکعب) است.

❖ در هر اندازه‌گیری به ترتیبی که در بالا نشان داده شد، ضریب آبگذری به‌دست آمد و برای قرائت‌های انجام شده در طول روز میانگین‌گیری انجام شد. سپس برای هر تیمار بین تکرارها نیز میانگین‌گیری شد. در تحلیل آماری صورت گرفته برای مقایسه دو به دوی میانگین‌ها از آزمون LSD استفاده شده است. تحلیل‌های آماری در این تحقیق با استفاده از نرم‌افزار SPSS16 انجام شده‌اند. در این روش اگر مقدار Sig (در جدول تجزیه واریانس یا در خروجی نرم افزار برای آزمون LSD) از سطح احتمال در نظر گرفته شده کمتر شود به معنی این است که فاکتور متغیر که در اینجا آب مغناطیسی است اثر معنی دار بر روی فاکتور مورد بررسی که در اینجا هدایت هیدرولیکی است دارد و به معنای معنی‌دار بودن تفاوت بین میانگین‌ها در سطح احتمال در نظر گرفته شده است.

آب به چهار انشعاب فرعی تقسیم شود (سه انشعاب برای ورود به دستگاه‌های آب مغناطیسی و یک انشعاب آب معمولی) و در ادامه هر انشعاب به سه انشعاب فرعی دیگر برای تکرار آزمایش تقسیم شود. اتصالات آبراهی در این طرح به وسیله شیلنگ‌های پلاستیکی انجام گرفت. انشعابات آب به صورت شماتیک در شکل (۱) نشان داده شده است. برای استقرار دستگاه‌های مغناطیسی نیز یک میز چوبی در نظر گرفته شد تا دستگاه‌ها با فاصله مناسبی از هم بر روی آن قرار بگیرند. در شکل (۲) نمایی از سیستم فوق ارائه می‌شود. در آزمایش بار ثابت در ابتدا می‌بایست جریان آب در خاک، از پایین به بالا برقرار شود تا هوای موجود در بین خلل و فرج خاک به تدریج و کاملاً در آب حل شده و به صورت حباب‌های محبوس در نمونه خاک در نیاید (بایوردی، ۱۳۸۴). به همین منظور ستون‌های خاک، درون سطوح‌هایی قرار داده شد، زیر ستون‌ها سنگریزه قرار گرفت و آب به سطل اضافه گردید. بدین ترتیب جریان آب از پایین به بالا در نمونه‌ها برقرار شد. پس از اتمام عملیات اشباع سازی، ستون‌های خاک در جایگاه خود قرار گرفته و در زیر هر کدام قیف و سطل گذاشته شد تا زهاب در آن جمع‌آوری شود. در نهایت با باز شدن شیرهای رابط، جریان آب بر سر نمونه‌ها برقرار شد.

در بازه‌های زمانی مشخص حجم زهاب خروجی از انتهای نمونه‌ها اندازه‌گیری شد و با استفاده از فرمول داری هدایت هیدرولیکی محاسبه شد. اندازه‌گیری‌ها به صورت روزانه و در بازه‌های زمانی دو و ۱۶ ساعته انجام گرفت. پس از ۳۵ روز تداوم جریان آب بر سر خاک و رسیدن به یک شرایط پایدار آزمایش‌ها متوقف شد. در این پژوهش برای مغناطیسی کردن آب از سه عدد دستگاه مغناطیسی استفاده شد. شکل (۳) دستگاه‌های مورد استفاده را نشان می‌دهد. شدت میدان مغناطیسی این دستگاه‌ها به وسیله گوس متر MHY اندازه‌گیری شده است. تیمارهای آزمایشی عبارتند از:

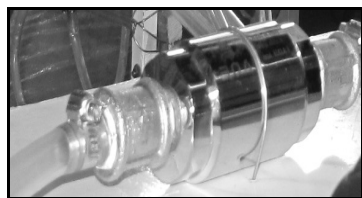
❖ تیمار مغناطیسی اول: آب شهری بعد از عبور از دستگاه آر-پی-ام<sup>۱</sup> با شدت ۵۰۰ گوس

❖ تیمار مغناطیسی دوم: آب شهری بعد از عبور از

2- Aqua correct.

3- Elca.

1- R.P.M.



(ب)

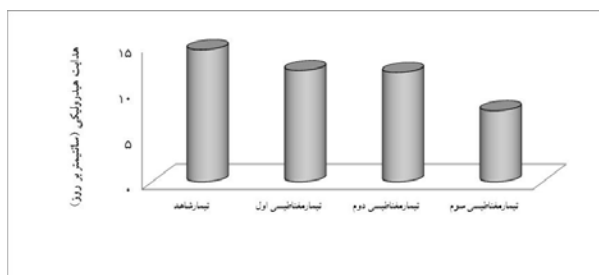


(الف)



(ج)

شکل ۳- (الف): دستگاه آر پی ام، (ب): دستگاه الکلا، (ج): دستگاه آکوآ کرکت



شکل ۴- متوسط مقادیر هدایت هیدرولیکی برای تیمارهای مورد آزمایش یک هفته پس از شروع آزمایش

جدول ۳- تجزیه واریانس داده‌ها (هفته اول)

منبع تغییرات	مجموع مربعات	میانگین مربعات	درجه آزادی
تکرار	۱۶۴۹/۲۳۹	۱۶۴۹/۲۳۹	۱
تیمار	۷۳/۲۳۴	۲۴/۴۱۱	۳
خطا	۲۰/۹۹۱	۲/۶۲۴	۸
کل	۱۷۴۳/۴۶۴	-	۱۲

جدول ۴- مقایسه دو به دو میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD (هفته اول)

سطح معنی داری	اختلاف میانگین	تیمار
۰/۹۳۲	-۰/۱۱۶۷	T <sub>1</sub> T <sub>2</sub>
۰/۰۱۰	۴/۴۶۶۷*	T <sub>1</sub> T <sub>3</sub>
۰/۱۱۵	-۲/۳۳۶۷	T <sub>1</sub> T <sub>4</sub>
۰/۰۰۹	۴/۵۸۳۳*	T <sub>2</sub> T <sub>3</sub>
۰/۱۳۲	-۲/۲۲۰۰	T <sub>2</sub> T <sub>4</sub>
۰/۰۰۱	-۶/۸۰۳۳*	T <sub>3</sub> T <sub>4</sub>

\* اختلاف معنی دار در سطح پنج درصد

خطای انحراف استاندارد: ۱/۳۲۲۶۰

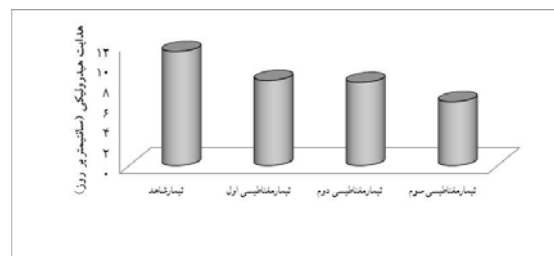
جدول ۵- تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از آزمون داتکن (هفته سوم)

منبع تغییرات	مجموع مربعات	میانگین مربعات	درجه آزادی
تکرار	۸۷۲/۹۶۰	۸۷۲/۹۶۰	۱
تیمار	۳۷/۷۳۷	۱۲/۵۷۶	۳
خطا	۱۰/۰۴۷	۱/۲۵۶	۸
کل	۹۲۰/۷۳۴	-	۱۲

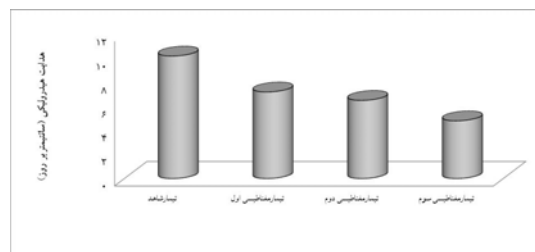
جدول ۶- مقایسه دو به دو میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD (هفته سوم)

سطح معنی داری	اختلاف میانگین	تیمار
۰/۸۹۶	۰/۱۲۳۳	T <sub>1</sub> T <sub>2</sub>
۰/۰۵۱	۲/۱	T <sub>1</sub> T <sub>3</sub>
۰/۰۱۴	-۲/۸۷۳۳*	T <sub>1</sub> T <sub>4</sub>
۰/۰۶۳	۱/۹۷۶۷	T <sub>2</sub> T <sub>3</sub>
۰/۰۱۱	-۲/۹۹۶۷*	T <sub>2</sub> T <sub>4</sub>
۰/۰۰۱	۴/۹۷۳۳*	T <sub>3</sub> T <sub>4</sub>

\* اختلاف معنی دار در سطح پنج درصد  
خطای انحراف استاندارد : ۰/۹۱۵۰۳



شکل ۵- متوسط مقادیر هدایت هیدرولیکی برای تیمارهای مورد آزمایش سه هفته پس از شروع آزمایش



شکل ۶- متوسط مقادیر هدایت هیدرولیکی برای تیمارهای مورد آزمایش پنج هفته پس از شروع آزمایش

جدول ۷- تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از آزمون دانکن (هفته پنجم)

منبع تغییرات	مجموع مربعات	میانگین مربعات	درجه آزادی
تکرار	۶۲۶/۲۶۳	۶۲۶/۲۶۳	۱
تیمار	۴۳/۳۶۱	۱۴/۴۵۴	۳
خطا	۶/۷۵۵	۰/۸۴۴	۸
کل	۶۷۶/۳۷۹	-	۱۲

هدایت هیدرولیکی بودند. تیمارهای مغناطیسی اول و دوم نیز به ترتیب ۲۵/۴ و ۲۷/۲ درصد کمتر از تیمار شاهد بودند. جدول (۵) تجزیه واریانس داده ها و جدول (۶) مقایسه دو به دو میانگین‌ها را نشان می‌دهد. با توجه به جدول (۶) تفاوت میان تیمارهای مغناطیسی معنی دار نیست بلکه هر سه تیمار مغناطیسی در سطح پنج درصد با تیمار شاهد دارای تفاوت معنی دار شده‌اند.

در هفته پنجم بیشترین میزان ضریب آبگذری خاک ۱۰/۱۹ سانتی‌متر در روز که متعلق به تیمار شاهد بود و کمترین مقدار ضریب آبگذری با ۵۱ درصد کاهش نسبت به تیمار شاهد، ۴/۸۵ سانتی‌متر در روز بود که به تیمار مغناطیسی سوم تعلق داشت. تیمارهای مغناطیسی اول و دوم نیز به ترتیب ۲۹/۳ درصد و ۳۶ درصد کاهش نسبت به تیمار شاهد داشتند. جدول (۷) حاوی تجزیه واریانس داده ها و جدول (۸) نمایانگر عدم اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای مغناطیسی و تفاوت معنی‌دار در سطح یک درصد بین تیمار شاهد و تیمارهای مغناطیسی است. نتایج در هفته چهارم و پنجم تقریباً مشابه هم بودند.

در انتهای هفته پنجم تغییرات چندانی در زهاب خروجی از انتهای ستون‌های خاک مشاهده نشد که نشان از رسیدن به یک شرایط

## نتایج و بحث

همان‌طور که در بخش مواد و روش‌ها نیز گفته شد آزمایش‌ها به صورت روزانه و به مدت ۳۵ روز (پنج هفته) انجام گرفت، اما در این قسمت فقط نتایج روزهای هفتم، بیست‌ویکم و سی‌وپنجم ذکر شده است. با توجه به شکل (۴) مشاهده می‌شود که میانگین هدایت هیدرولیکی ستون‌های خاک، یک هفته پس از شروع آزمایش‌ها از ۷/۸ سانتی‌متر بر روز تا ۱۴/۵ سانتی‌متر بر روز متغیر بوده است. کمترین میزان هدایت هیدرولیکی مربوط به تیمار مغناطیسی سوم بود که نسبت به تیمار شاهد ۴۶/۲ درصد کاهش داشت. پس از آن تیمارهای مغناطیسی دوم و اول به ترتیب با ۱۷/۲ و ۱۵/۷ درصد کاهش نسبت به تیمار شاهد در مکان‌های بعدی قرار گرفتند. در جدول (۳) نتایج تجزیه واریانس ارائه شده است.

نتایج آزمون LSD و مقایسه دو به دو تیمارها (جدول ۴)، نشان می‌دهد که تیمار مغناطیسی سوم (T<sub>3</sub>) با تیمار شاهد (T<sub>4</sub>) و دو تیمار مغناطیسی دیگر در سطح پنج درصد دارای اختلاف معنی‌دار است اما تیمارهای مغناطیسی اول (T<sub>1</sub>) و دوم (T<sub>2</sub>) با هم و با تیمار شاهد اختلاف معنی‌دار ندارند.

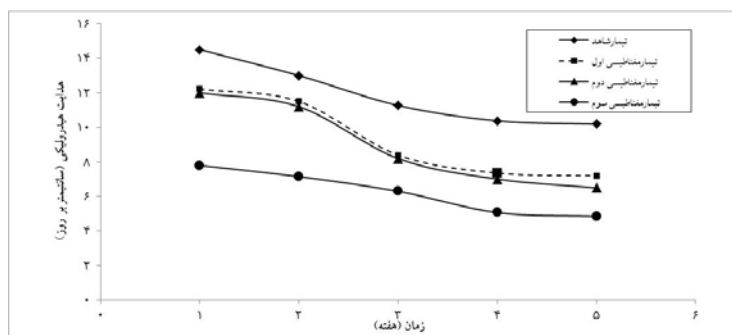
با توجه به شکل (۵) در هفته سوم، تیمار شاهد با ۱۱/۲۷ سانتی‌متر در روز دارای بیشترین و تیمار مغناطیسی سوم با ۶/۳ سانتی‌متر در روز (یعنی ۴۴ درصد کاهش) دارای کمترین میزان

جدول ۸- تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از آزمون LSD (هفته پنجم)

سطح معنی داری	اختلاف میانگین	تیمار	
۰/۳۶۵	۰/۷۲۰۰	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>
۰/۰۱۶	۲/۲۸۳۳	T <sub>1</sub>	T <sub>3</sub>
۰/۰۰۴	-۲/۹۵۳۳*	T <sub>1</sub>	T <sub>4</sub>
۰/۰۷۱	۱/۵۶۳۳	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>
۰/۰۰۱	-۳/۶۷۳۳*	T <sub>2</sub>	T <sub>4</sub>
۰/۰۰۰	-۵/۲۳۶۷*	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>

\* اختلاف معنی دار در سطح یک درصد

خطای انحراف استاندارد: ۰/۷۵۰۳۰



شکل ۷- روند تغییرات هدایت هیدرولیکی برای تیمارهای مورد آزمایش در طول مدت زمان انجام آزمایش‌ها

به علت یکسان بودن شرایط دمایی برای هر چهار تیمار نمی‌توان معنی‌دار شدن اختلاف بین تیمارها را به دما مربوط دانست. شاید در این زمینه بتوان به مبحث پیوند هیدروژنی اشاره کرد. می‌توان گفت همان‌گونه که مولکول‌های آب با هم پیوند هیدروژنی تشکیل می‌دهند، این مولکول‌ها قادرند با یون‌های موجود در لایه دوگانه پخشیده و یا با بار منفی سطوح رس‌ها پیوند هیدروژنی تشکیل دهند. مولکول‌های آبی که بدین صورت پیوند هیدروژنی تشکیل می‌دهند، دارای حرکت کمتری می‌شوند. اتصال ذرات آب به سطح رس باعث به وجود آمدن آب‌ساختمانی می‌شود. آب نزدیک سطوح رس دارای جرم مخصوص کمتری می‌باشد و لزوجت آن چندین برابر آب آزاد می‌باشد (برزگر، ۱۳۸۷). بافت خاک مورد آزمایش لوم و حاوی ۲۴ درصد رس بود. در آب مغناطیسی هیدروژن‌های مثبت دارای نیروی بیشتری هستند (کیانی، ۱۳۸۶) در نتیجه آب نزدیک سطوح رس با قدرت بیشتری نگهداری می‌شود و بر طبق این موضوع حرکت آب در خاک کندتر صورت می‌گیرد. تحقیقات غوری و انصاری (۲۰۰۶) نیز نشانگر افزایش لزوجت آب در مجاورت میدان مغناطیسی است. حال هرچه قدرت میدان مغناطیسی اعمال شده بر آب بیشتر باشد، خاصیت مغناطیسی القا شده بیشتر می‌شود و به دنبال آن نیروی مثبت خالص مولکولی آب بیشتر شده و با قدرت بیشتری در نزدیک سطوح رس باقی می‌مانند و هدایت هیدرولیکی خاک کمتر می‌شود.

### نتیجه‌گیری و پیشنهادها

- در هفت روز ابتدایی آزمایش‌ها آب مغناطیسی اثر معنی‌دار در سطح پنج درصد بر روی کاهش هدایت هیدرولیکی اشباع خاک داشت.

- در پایان ۳۵ روز تداوم جریان آب بر سر نمونه‌های خاک و اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع خاک (به روش بار ثابت) تفاوت میان تیمار شاهد و تیمارهای مغناطیسی در سطح یک درصد معنی‌دار شد.

- در ۲۱ روز ابتدایی آزمایش‌ها تفاوت میان تیمارهای مغناطیسی با هم در سطح پنج درصد معنی‌دار بود اما در انتها (پس از ۳۵ روز) اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای مغناطیسی با هم مشاهده نشد.

- از نتایج چنین بر می‌آید که یک میدان مغناطیسی ضعیف برای داشتن اثری تقریباً مشابه با میدان مغناطیسی قوی‌تر از خود، نیاز به مدت زمان بیشتری دارد.

- متوسط مقدار هدایت هیدرولیکی اشباع خاک در تیمارهای مغناطیسی نسبت به تیمار شاهد کمتر بود. این کاهش با افزایش شدت میدان مغناطیسی اعمال شده بر آب بیشتر می‌شد. نسبت به تیمار شاهد، تیمار مغناطیسی اول ۲۹/۳ تیمار مغناطیسی دوم ۲۶ درصد و تیمار مغناطیسی سوم ۵۱ درصد کمتر بودند.

پایدار بود و انتهای آزمایش‌ها قلمداد شد. در طول انجام این تحقیق علاوه بر داشتن تأثیر معنی‌دار آب مغناطیسی بر هدایت هیدرولیکی نکات دیگری نیز به چشم خورد از جمله اینکه با گذشت زمان، مقادیر هدایت هیدرولیکی در تیمارهای مغناطیسی ضعیف‌تر، به تیمار مغناطیسی قوی‌تر نزدیک شد. علت این نزدیکی مقادیر در طی زمان، می‌تواند بیشتر شدن مدت زمان اعمال میدان مغناطیسی بر آب بوده باشد. می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت که میدان‌های مغناطیسی ضعیف‌تر برای داشتن اثری تقریباً مشابه با میدان قوی‌تر، نیاز به مدت زمان بیشتری دارند. به همین علت کمترین مقدار تغییرات در تیمار مغناطیسی سوم رویت شد که میدان مغناطیسی قوی‌تری بر آن اعمال شده بود. برای روشن‌تر شدن موضوع روند تغییرات هدایت هیدرولیکی در طول ۳۵ روز به صورت هفتگی در شکل (۶) ارائه شده است.

در رابطه با کاهش هدایت هیدرولیکی در هر چهار تیمار باید به تأثیر دما بر هدایت هیدرولیکی اشاره نمود. یاری و همکاران (۱۳۸۹) طی تحقیقی اعلام کردند کاهش دما از طریق تأثیر بر لزوجت آب باعث کاهش هدایت هیدرولیکی اشباع خاک می‌شود. در بازه زمانی مورد نظر در این پژوهش (اواخر مهر تا اوایل آذر) دمای هوا کاهش یافت البته با توجه به ناچیز بودن بارندگی مشخصات شیمیایی آب مصرفی تغییر چشمگیری نداشته است. اندازه‌گیری مرتب EC مؤید این مطلب است. همان‌طور که در شکل (۷) دیده می‌شود، در هفته پنجم نمودار هدایت هیدرولیکی در تیمارهای مورد بررسی تقریباً به موازات هم هستند و شیب این خطوط بسیار کم شده است که نشان از رسیدن به یک شرایط پایدار می‌باشد. در شکل (۷) دیده می‌شود که هدایت هیدرولیکی در تیمار مغناطیسی اول و دوم به هم نزدیک هستند و روند تغییرات آن‌ها در طول مدت آزمایش‌ها مشابه هم بوده است در حالی که شدت میدان مغناطیسی در تیمار دوم به تیمار مغناطیسی سوم نزدیک‌تر بود و انتظار می‌رفت نتایج مشابهی با این تیمار داشته باشد.

علت این موضوع در نوع چیدمان آهن‌رباها در دستگاه‌های مغناطیسی یافت شد. در دستگاه مغناطیسی آکوآ کرکت (تیمار مغناطیسی دوم) و دستگاه مغناطیسی آر-پی-ام (تیمار مغناطیسی اول) آهن‌رباهای حلقوی در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند و شدت میدان مغناطیسی در مرکز حلقه‌ها حداکثر و با دور شدن از مرکز کمتر می‌شود. اما در دستگاه مغناطیسی الکلا (تیمار مغناطیسی سوم) نوع چیدمان آهن‌رباها مشبک است. در واقع فاصله آهن‌رباها به هم نزدیک است به همین دلیل مکان‌هایی که شدت میدان مغناطیسی بالاتری دارند بیشتر است. به همین دلیل با وجود نزدیک بودن شدت میدان مغناطیسی در دستگاه‌های آکوآ کرکت و الکلا نتایج حاصل از آن‌ها با هم متفاوت شده است. پس علاوه بر میزان شدت میدان مغناطیسی و مدت زمان هم‌جواری آب و میدان مغناطیسی، نوع چیدمان آهن‌رباها نیز بر اثر مغناطیس بر آب و به دنبال آن بر اثر آب مغناطیسی شده بر خاک مؤثر است.



- با توجه به نتایج این تحقیق که نشان داد آب مغناطیسی تاثیر کاهشی بر هدایت هیدرولیکی خاک دارد شاید بتوان این گونه نتیجه گرفت که اثر افزایشی بر ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم خاک نیز داشته باشد. بنابراین پیشنهاد می‌شود تأثیر آب مغناطیسی بر ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی نیز مورد مطالعه قرار گیرد.

- مقادیر متوسط هدایت هیدرولیکی اشباع خاک در تیماری که شدت میدان مغناطیسی اعمال شده بر آن بیشتر از سایر تیمارها بود، در طول دوره آزمایش‌ها دارای تغییرات کمتری بود.  
- نتایج این تحقیق نشان داد در استفاده از دستگاه های مغناطیسی، علاوه بر میزان شدت میدان مغناطیسی و فاکتور زمان، طرز چینش آهن‌رباها درون دستگاه‌های مغناطیسی نیز بر اثرگذاری مغناطیس بر آب و به دنبال آن بر خاک مؤثر است.

### منابع

- ۱- احمدی، پ. و ب. نیک‌نیا. ۱۳۹۰. تکنولوژی مغناطیسی و امکان کشاورزی با آب شور و بهینه سازی کلبه آبهای مصرفی. چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، ۱۴ و ۱۳ اردیبهشت، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، تهران.
- ۲- بایبوردی، م. ۱۳۸۴. اصول مهندسی و بهسازی خاک. چاپ نهم، انتشارات دانشگاه تهران، ۶۴۱ صفحه.
- ۳- بزرگر، ع. ۱۳۸۷. فیزیک خاک پیشرفته. انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز، چاپ سوم، ۳۰۹ صفحه.
- ۴- چالکش امیری، م. ۱۳۸۵. اصول تصفیه آب. انتشارات ارکان، چاپ پنجم، ۵۵۴ صفحه.
- ۵- زنگنه یوسف آبادی، ا. ۱۳۸۸. بررسی آزمایشگاهی تأثیر استفاده از آب مغناطیسی روی آبشویی خاک های شور. پایان نامه کارشناسی ارشد رشته آبیاری و زهکشی دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز، صفحات ۴۷-۲۵.
- ۶- علیزاده، ا. ۱۳۸۰. اصول و عملیات آبیاری قطره‌ای. انتشارات آستان قدس رضوی، چاپ دوم. ۱۰۰ص.
- ۷- کیانی، ع. ۱۳۸۶. آب مغناطیسی پدیده‌ای نو در ارتقاء بهره‌وری آب. ماهنامه علمی تخصصی کشاورزی زیتون، ۱۸۳: ۱-۵.
- ۸- نیکبخت، ج.، خنده رویان، م. و ا. توکلی. ۱۳۹۰. مغناطیسی کردن آب راه کاری نوین و مؤثر برای استفاده از آب‌های غیر متعارف در آبیاری. دومین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران. ۲۹-۲۸ اردیبهشت. شرکت آب منطقه‌ای زنجان.
- ۹- یاری، ع.، درزی، ع.، شقاقی، م. و ر. یاری. ۱۳۸۹. مطالعات تغییرات هدایت هیدرولیکی اشباع خاک با زمان. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۴(۱): ۲۸-۲۱.
- 10- Baker, J. S. and J. Judd. 1996. Magnetic amelioration of scale formation. Water Research Journal, 30:247-260.
- 11- Coey, J. M. D. and G. Stephen. 2000. Magnetic water treatment. Physics department, Trinity College, Dublin, Ireland.
- 12- Gabrielli, C., Jaohari, R., Maurin, G., Keddani, 2001. Magnetic water treatment for scale prevention. Water Research Journal. 35(13): 3249-3259.
- 13- Gehr, R., Z.A. Zhai, Finch, J.A. and S. R. Rao. 1995. Reduction of soluble mineral concentration in saturated water using a magnetic field. Water Research Journal, 29(3): 933-940.
- 14- Ghauri, S. A. and M. S. Ansari. 2006. Increase of water viscosity under the influence of magnetic field. Journal of Applied Physics 100 (6): 066101 - 066101-2.
- 15- Higashitani, K. A., Kage, Katamura, S., Imai, K. and S. Hatade. 1993. Effects of magnetic field on the formation of caco3 particles. Colloid and Interface Science Journal, 156(1): 90-95.

- 16- Lipus, L. C. and D. Dobersek. 2007. Influence of magnetic field on the aragonite precipitation. *Chemical Engineering Science Journal*, 62: 2089-2095.
- 17- Nan Su, Y., Wu, and C. Y. Mar. 2000. Effect of magnetic water on the engineering properties of concrete containing granulated blast-furnace slag. *Cement and Concrete Research Journal*, 30: 599-605.
- 18- Podleony, J., Pietruszewski, S. and A. Podleona. 2004. Efficiency of the magnetic treatment of broad bean seeds cultivated under experimental plot condition. *International Agrophysics Journal*, 18:69-80.
- 19- Raisen, E. 1984. The control of scale and corrosion in water systems using magnetic fields. *Corrosion* 84, National Association of Corrosion Engineers, New Orleans. Paper 117. ([gminternational.com/downloads/pdf/c84/Corrosion\\_84\\_Paper\\_117.pdf](http://gminternational.com/downloads/pdf/c84/Corrosion_84_Paper_117.pdf))
- 20- Saliha, B. B. 2005. Bioefficacy testing of GMX online magnetic water conditioner in grapesvar. Graduate dissertation. Muscat, Tamil Nadu agricultural university. Page 34-39