



تخمین رطوبت برگ گیاه و تشخیص زمان آبیاری با استفاده از حسگر خازنی برگ

سید فرهاد موسوی^۱، امین افضل^۲، مانده خادمی^۲، مختار میران‌زاده^۳، حمیدرضا آقای قزوینی^۴

۱، ۲، ۳ و ۴- به ترتیب استاد گروه مهندسی آب دانشگاه صنعتی اصفهان، کارشناس مهندسی ماشین‌های کشاورزی، کارشناس مهندسی آبیاری، عضو هیئت علمی بخش فنی و مهندسی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، عضو هیئت علمی بخش فنی و مهندسی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان

۱. مقدمه

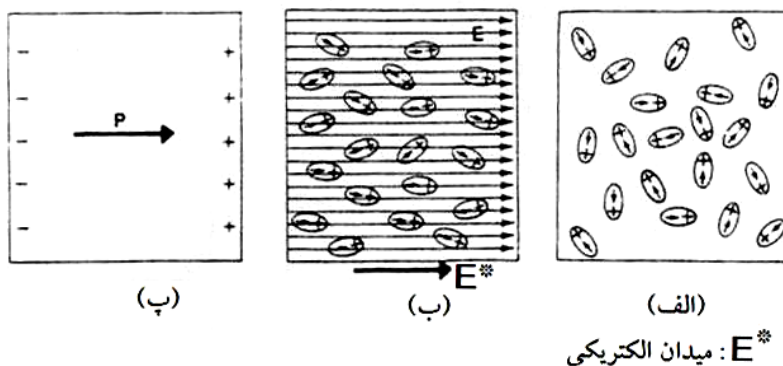
کمبود آب باعث کاهش کمیت و کیفیت محصول و در نهایت مرگ گیاه می‌شود. همچنین آب بیش از حد هم باعث مشکلاتی از جمله افزایش آفت و بیماری‌ها می‌شود. مهم‌تر از همه، آبیاری بیش از حد موجب کاهش بازده آب آبیاری می‌گردد که این مسئله در ایران به خاطر محدودیت منابع آب، بسیار حیاتی است. بنابراین تشخیص دقیق زمان آبیاری بر اساس زمان بهینه امری بسیار مهم است. ولی در عین حال روشی دقیق برای تخمین دقیق و لحظه به لحظه میزان آب داخل گیاه وجود ندارد.

استفاده از رطوبت خاک نیز تخمین دقیقی به دست نمی‌دهد. تنها شاخص قابل اطمینان برای تنش آب، اندازه‌گیری مستقیم آن در گیاه است [۲]. روش متداول تعیین زمان آبیاری به صورت دوره‌ای است که همراه با خطای زیادی است. در این تحقیق سعی بر بررسی ضریب دی‌الکتریک برگ گیاه بوده است تا بتوان از آن به عنوان روشی برای اندازه‌گیری رطوبت داخل برگ استفاده کرد و در نهایت به عنوان ابزاری برای تشخیص زمان بهینه آبیاری استفاده شود. در واقع هدف از این تحقیق اتخاذ روشی بوده است که زمان آبیاری بر اساس رطوبت خود گیاه، به طور لحظه به لحظه و بدون آسیب رسیدن به گیاه تشخیص داده شود؛ به گونه‌ای که بتوان از این روش برای بهینه‌سازی مصرف آب و همچنین در سامانه‌های خودکار آبیاری استفاده کرد.

در این راستا حسگری خازنی طراحی و ساخته شده است. این پژوهش از سال ۱۳۸۴ تا ۱۳۸۷ در قالب چهار مرحله پژوهش در حال توسعه، بهبود و ارزیابی بود. در این مقاله بخشی از مرحله چهارم این مجموعه پژوهش‌ها مورد بررسی می‌باشد.

۱.۱. دی‌الکتریک

ماده دی‌الکتریکی ایده‌آل ماده‌ای است که بار آزاد نداشته باشد [۴]. میدان الکتریکی موجب می‌شود که نیرویی به هر ذره باردار وارد شود. ذرات با بار مثبت در جهت میدان و ذرات با بار منفی در جهت مخالف آن رانده می‌شوند (شکل ۱).



شکل ۱. قطبش یک دی‌الکتریک با مولکول‌های دو قطبی: (الف) در غیاب میدان الکتریکی خارجی، (ب) حضور میدان خارجی و (پ) تأثیر ماکروسکوپی.

ضریب یا ثابت دی‌الکتریک را با K نشان می‌دهند. این واژه معادل گذردهی نسبی است که معمولاً با ϵ_r نمایش داده می‌شود. این کمیت بدون بعد است و عبارت است از [۴ و ۹]:

$$K = \epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} \quad (۱)$$

که در آن ϵ گذردهی جسم و ϵ_0 نامیده می‌شود.

ضریب دی‌الکتریک گازها در دما و فشار متعارف فقط اندکی بزرگتر از واحد است. برای مثال، برای هوا در دما و فشار متعارف $K=1/000536$ است.

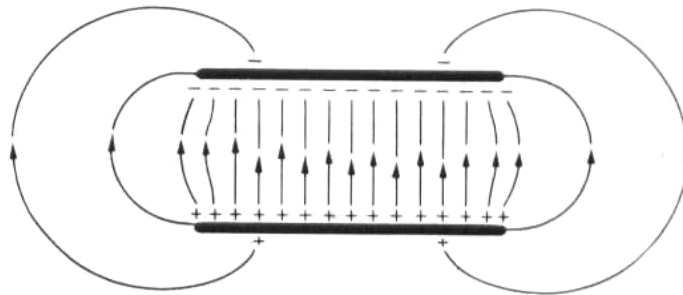
۲.۱. خازن‌ها

دو رسانا که بتوانند بارهای مساوی و با علامت مختلف ($\pm Q$) را در خود ذخیره کنند، و اختلاف پتانسیل میان آن‌ها به باردار بودن سایر رساناهای دستگاه بستگی نداشته باشد، تشکیل خازن می‌دهند [۴ و ۷].

یک نوع خاص از خازن‌ها، خازن با صفحات موازی است که میدان الکتریکی میان صفحات موازی به غیر از میدان حاشیه‌ای در لبه صفحات یکنواخت است (شکل ۲). یک خازن ایده‌آل با صفحات موازی خازنی است که فاصله d میان صفحات خیلی کوچک باشد. سپس در خازن ایده‌آل می‌توانیم از میدان حاشیه‌ای صرف نظر کنیم. در این حالت، ظرفیت خازن عبارت است از:

$$C = K\epsilon_0 \frac{A}{d} \quad (۲)$$

A مساحت هر یک از صفحات و K ضریب دی‌الکتریک ماده بین صفحات است.



شکل ۲. میدان الکتریکی میان دو صفحه موازی و با بارهای مخالف و ابعاد متناهی.

۳.۱. سابقه پژوهش: در سه مرحله پژوهش

۱.۳.۱. پژوهش اول

هدف از انجام این مرحله مشاهده رابطه کلی رطوبت برگ و ظرفیت خازنی حسگر برگ بود. گیاهان مورد استفاده در این مرحله، ۹ نوع گیاه گلخانه‌ای زینتی بود. برای اندازه‌گیری ظرفیت خازنی حسگر برگ از یک مولتی‌متر دیجیتال دستی با دقت ۱ pF استفاده شد.

به طور کلی رابطه‌ای یک به یک بین ظرفیت خازنی با میزان آب برگ مشاهده شد؛ به گونه‌ای که با کاهش رطوبت، ضریب دی‌الکتریک برگ کاهش می‌یافت [۱]. در برخی موارد روندها با ضریب تبیین مناسبی همراه بودند.

۲.۳.۱. پژوهش دوم

هدف از انجام این مرحله یافتن مدل دقیق ظرفیت خازنی حسگر برگ بر حسب تغییرات رطوبت آن بود. در این بررسی مدل‌های حاصل از بوته‌های مختلف هر نوع گیاه، مکان برگ، مکان‌های مختلف نمونه روی برگ و انواع مختلف گیاهان با هم مقایسه شدند. ذرت، سورگوم، آفتابگردان، لوبیا کپسولی و لوبیا سفید گیاهان مورد آزمایش بودند.

در تمامی موارد نوع توابع حاصل یکسان و به صورت $y = ae^{bx}$ و ضریب تبیین مدل هر برگ بیش از ۹۰ درصد بود [۵] و [۶]. بین بوته‌های مختلف هر نوع گیاه، تفاوت آماری در سطح اطمینان ۹۹٪ مشاهده نشد. بین انواع مختلف گیاهان و نیز مکان‌های مختلف برگ ذرت تفاوت آماری مشاهده شد. اما بین مکان‌های مختلف نمونه روی هر برگ ذرت، تفاوت آماری در سطح اطمینان ۹۹٪ مشاهده نشد.

۳.۳.۱. پژوهش سوم

هدف از انجام مرحله سوم پژوهش‌ها، یافتن مدل دقیق ظرفیت خازنی نسبت به رطوبت خاک (بدون کندن برگ) بود. ولی حسگر مورد استفاده در مدت زمان طولانی باعث آسیب رسیدن به برگ می‌شد و در نتیجه به طور کلی نتایج حاصل از این مرحله مناسب نبودند.

۲. مواد و روش‌ها

هدف از انجام این مرحله، ارزیابی کاربردی این روش و حسگر بود. لذا برگ‌ها کنده نمی‌شدند و حسگرهای برگ به گیاه ثابت بودند و یک سامانه الکترونیکی- کامپیوتری به طور خودکار ظرفیت خازنی این حسگر را خوانده و ثبت می‌کند. گیاه مورد استفاده در این مرحله بادمجان (*Solanum melongena L.*) بود.

به طور کلی هر عملی که بر فیزیک و مواد تشکیل دهنده برگ تأثیر بگذارد باعث تغییر ضریب دی‌الکتریک آن می‌گردد [۲، ۳، ۷ و ۸]. از این رو ضریب دی‌الکتریک برگ را همانند تابع ۳ فرض می‌کنیم:

$$K_L = f(\omega, t, I, M, T, s) \quad (3)$$

که در آن ω فرکانس، t دما، I میزان یون‌های موجود در برگ، M رطوبت و T بافت بخش مورد اندازه‌گیری است. در مورد تأثیر فرکانس تغییر جهت میدان الکتریکی و دمای محیط در فصل اول بحث شده است. افزایش یون‌ها و نوع آن‌ها امکان افزایش قطبش را داراست.

آب به تنهایی دارای ضریب دی‌الکتریک بالایی است [۲ و ۳]. بنابراین با افزایش میزان آب داخل برگ گیاه ضریب دی‌الکتریک نیز افزایش می‌یابد. عواملی که در این راستا امکان تأثیر گذاری دارند عبارتند از: نوع گیاه، سن، محل برگ، محل نمونه روی برگ، بیماری، آفت، دمای محیط، مواد غذایی خاک و مواد خارجی روی سطح برگ (مانند گرد و غبار و شبنم). ولی روش‌های آزمایش به گونه‌ای طراحی شده‌اند که تا حد امکان به شرایط کاربردی نزدیک باشند. بنابراین در برخی موارد بعضی از پارامترهایی که در زمینه‌های کاربردی قابل اندازه‌گیری نیستند نادیده گرفته شده‌اند.

۱.۲. حسگر خازنی برگ

صفحات خازنی از جنس توری‌های گالوانیزه با مش ۱۸ می‌باشند که با لاک شفاف عایق الکتریکی شده‌اند. ابعاد این صفحات $60 \times 50 \text{ mm}^2$ است. تکیه‌گاه توری‌ها از جنس پلکسی گلاس شفاف و مشبک می‌باشد. برای باز کردن حسگر مانند یک گیره فنری- فشاری عمل می‌شود. یک جفت کانکتور BNC حسگر را به بقیه قسمت‌های سامانه متصل می‌کند. اتصالاتی نیز برای اتصال حسگر به پایه در نظر گرفته شده است. پایه قابلیت تنظیم موقعیت حسگر در فضا را داراست. فاصله صفحات خازنی به وسیله یک ورق پلاستیک با ضخامت ۲ mm تعیین می‌شود. این قطعه قابلیت تعویض با قطعات پلاستیکی دیگر با ضخامت‌های متفاوت را دارد.

ظرفیت خازنی این حسگرها به صورت خودکار اندازه‌گیری می‌شود. برای اندازه‌گیری این مقادیر از یک LCR متر دستی تولید شرکت Escort مدل 133A استفاده شده است. این دستگاه قابلیت اتصال به کامپیوتر را دارد و به همراه

سامانه الکترونیکی - کامپیوتری به کار می‌رود. ظرفیت خازنی حسگرهای برگ در فرکانس ۱۰ kHz اندازه گرفته شده است.

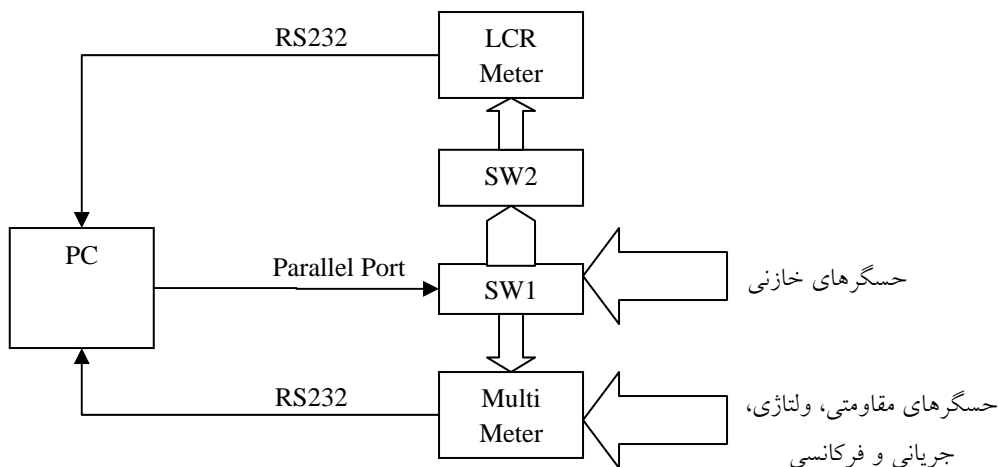
روز قبل از آزمایش، به گیاهان تا حد اشباع آب داده شد و در ساعات ابتدایی صبح روز آزمایش ۶ برگ پر آب کنده شدند. پس از آن با کاهش رطوبت برگ، وزن آن و ظرفیت خازنی حسگر به صورت متناوب اندازه‌گیری شد. در نهایت برای به دست آوردن وزن خشک برگ‌ها، آن‌ها در آون با دمای 80°C قرار گرفتند. در نهایت منحنی درصد وزنی رطوبت نسبت به ظرفیت خازنی حسگر برگ بدست آمد.



شکل ۳. حسگر خازنی برگ

۲.۲. سامانه الکترونیکی - کامپیوتری

برای اندازه‌گیری عوامل مورد نظر و ثبت آن‌ها، سامانه‌ای طراحی و ساخته شد که شمای آن در شکل ۴ مشاهده می‌شود. وظایف این سامانه عبارتند از: تعویض حسگرهای برگ، اندازه‌گیری دما، اندازه‌گیری شدت نور و ثبت داده‌ها.



شکل ۴. سامانه اندازه‌گیری و ثبت داده

۳.۲. شرایط آزمایش

در هر دوره آبیاری، تا حد امکان به گیاه تنش داده می‌شد تا منحنی رطوبتی، بازه نسبتاً وسیعی را تشکیل دهد. بنابراین گیاه تا نزدیکی پژمردگی دائم تنش می‌دید. برای حصول این هدف، در صورتی که گیاه در ابتدای صبح پژمرده بود تا حد اشباع آبیاری انجام می‌شد. رطوبت خاک نیز روزانه اندازه‌گیری می‌شد.

۵ حسگر خازنی برگ به برگ‌های یک سوم پایینی گیاهان و به صورت تصادفی متصل شدند و تا پایان آزمایش به همان برگ‌ها متصل بودند.

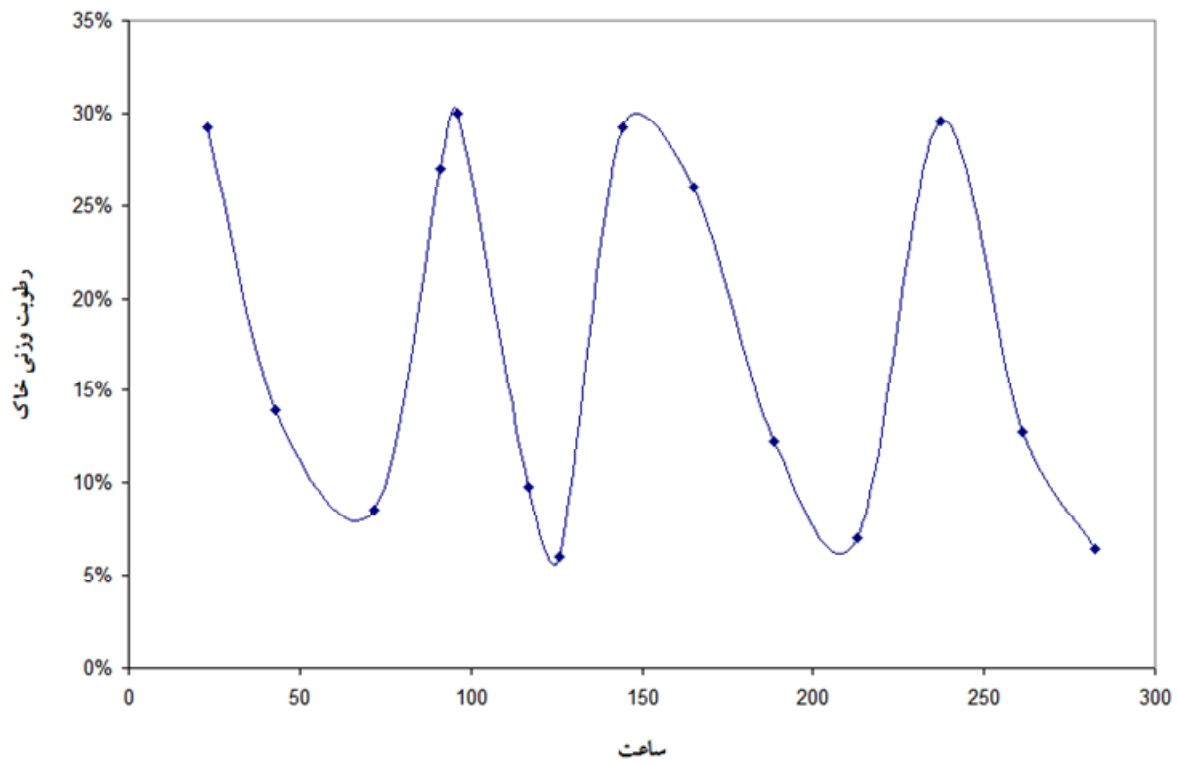
۳. نتایج و بحث

شکل ۵ نمودار درصد وزنی رطوبت خاک در طول مدت آزمایش را به تصویر کشیده است. شکل ۶ تا شکل ۱۰ نمودار ضریب دی‌الکتریک برگ‌های مورد آزمایش را نمایش می‌دهند.

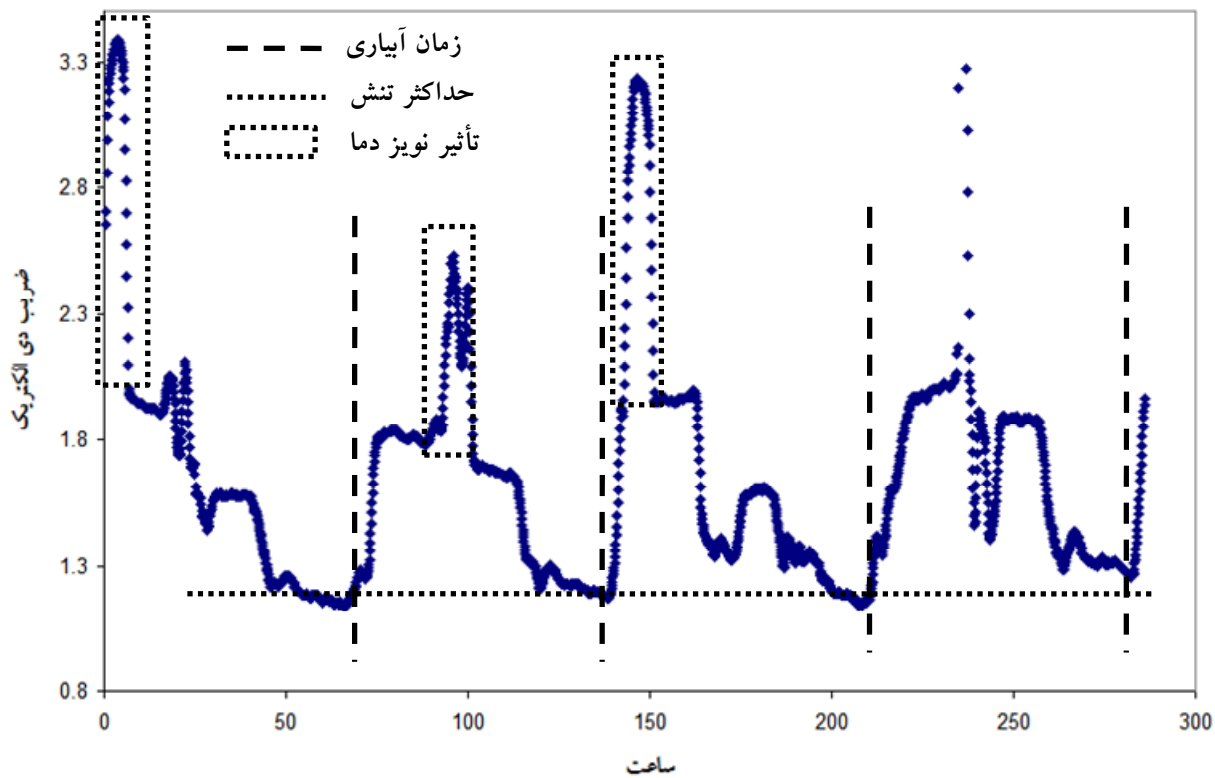
در تمام نمودارها در ساعت ۲۳۴ آزمایش، ضریب دی‌الکتریک به صورت ناگهانی افزایش یافته و در ساعت ۲۳۷ به جای اول برگشته است. این افزایش ناگهانی به دلیل انجام سم پاشی می‌باشد. مناطقی که تحت تأثیر افزایش دما نویز سیستماتیک پیدا کرده‌اند در نمودارها مشخص شده‌اند.

به طور کلی در تمام منحنی‌های ضریب دی‌الکتریک برگ مشاهده می‌شود که با انجام آبیاری، منحنی‌ها به طور ناگهانی افزایش یافته و پس از آن به مرور کاهش می‌یابند. در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود که در ساعت ۱۶۶ آزمایش، ضریب دی‌الکتریک کاهش پیدا کرده و افزایش مجدد در آن مشاهده نمی‌شود. این مسئله به دلیل خشکیدن برگ مربوطه می‌باشد.

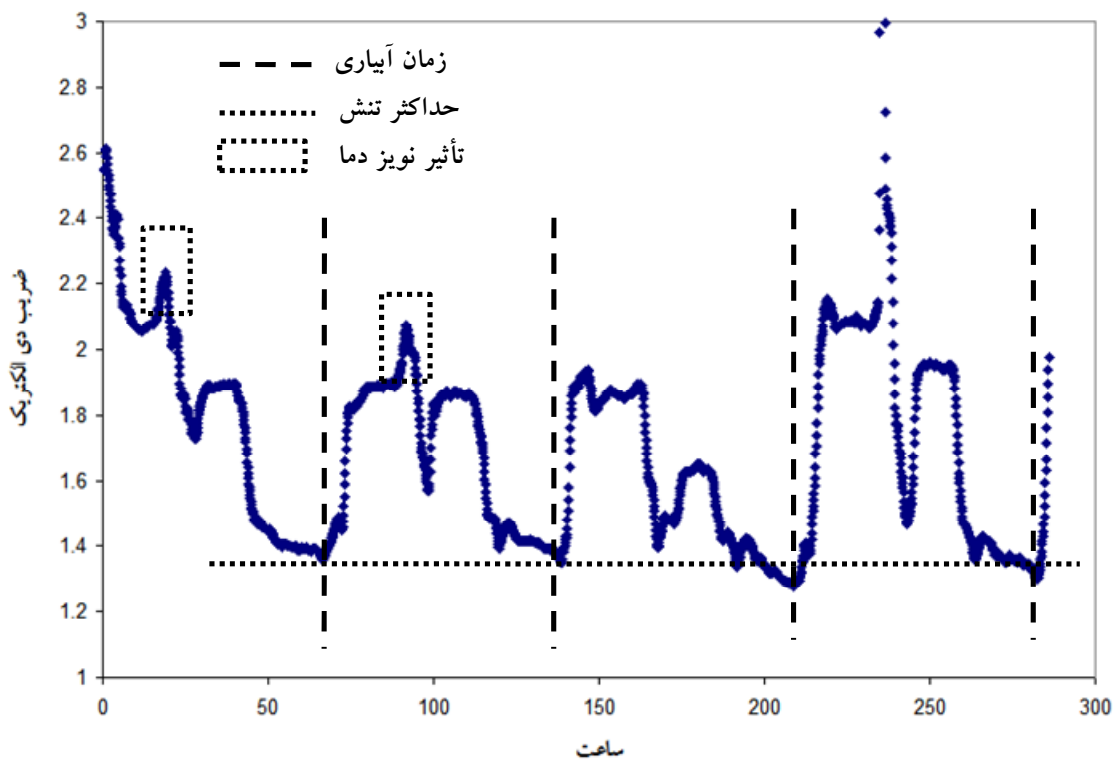
در نگاه اول ممکن است که به نظر برسد روند پله ای نمودارها ناشی از نویز است. در صورتی که با تطبیق این منحنی‌ها با تغییرات دمای محیط مشخص می‌شود که این روند به دلیل وقوع پژمردگی موقت است. این مطلب در شکل ۱۱ به خوبی مشاهده می‌شود.



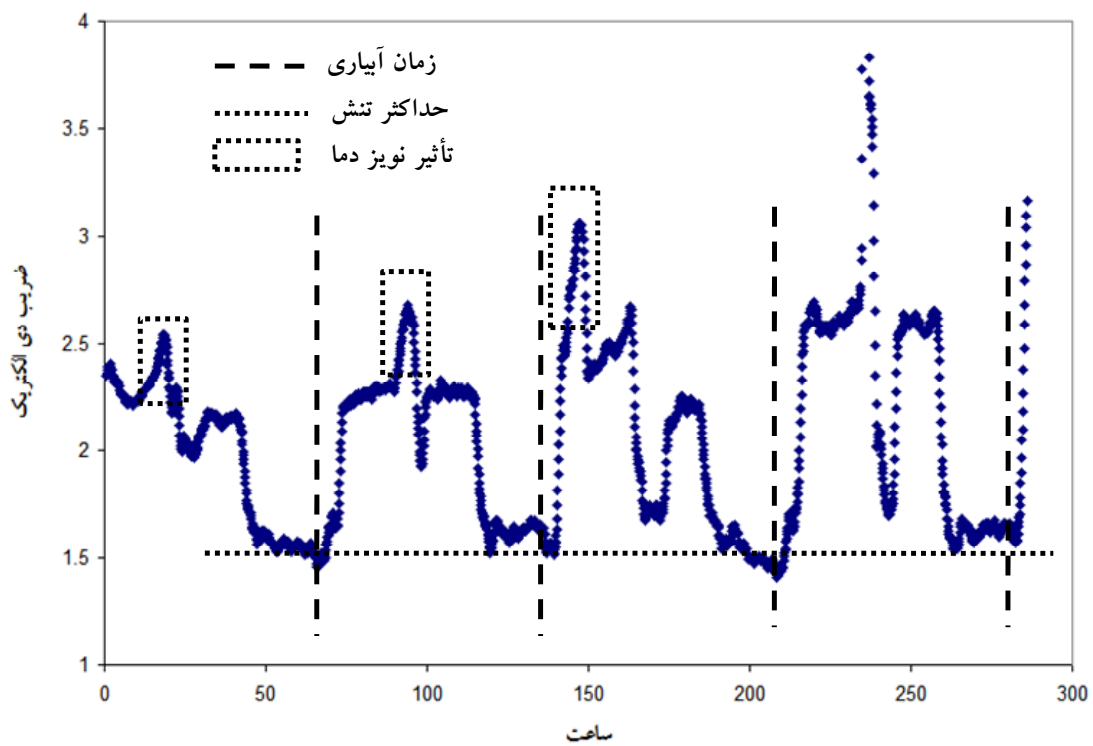
شکل ۵. نمودار درصد وزنی رطوبت خاک



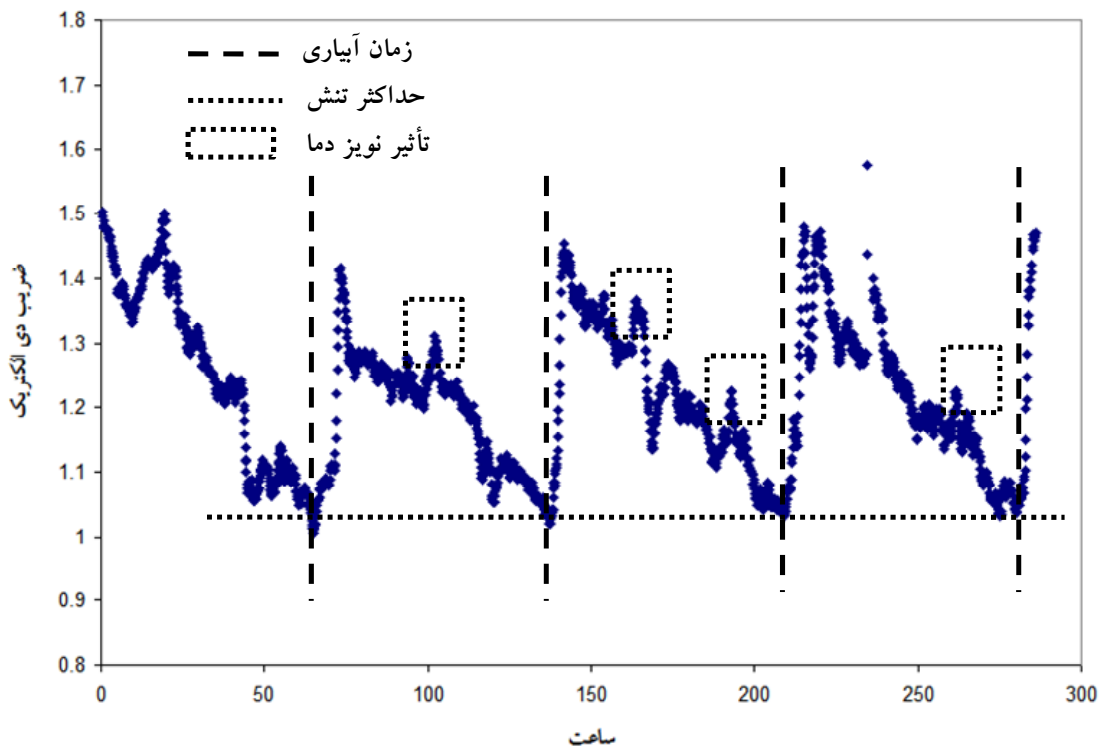
شکل ۶. نمودار ضرب دی الکتریک برگ ۱



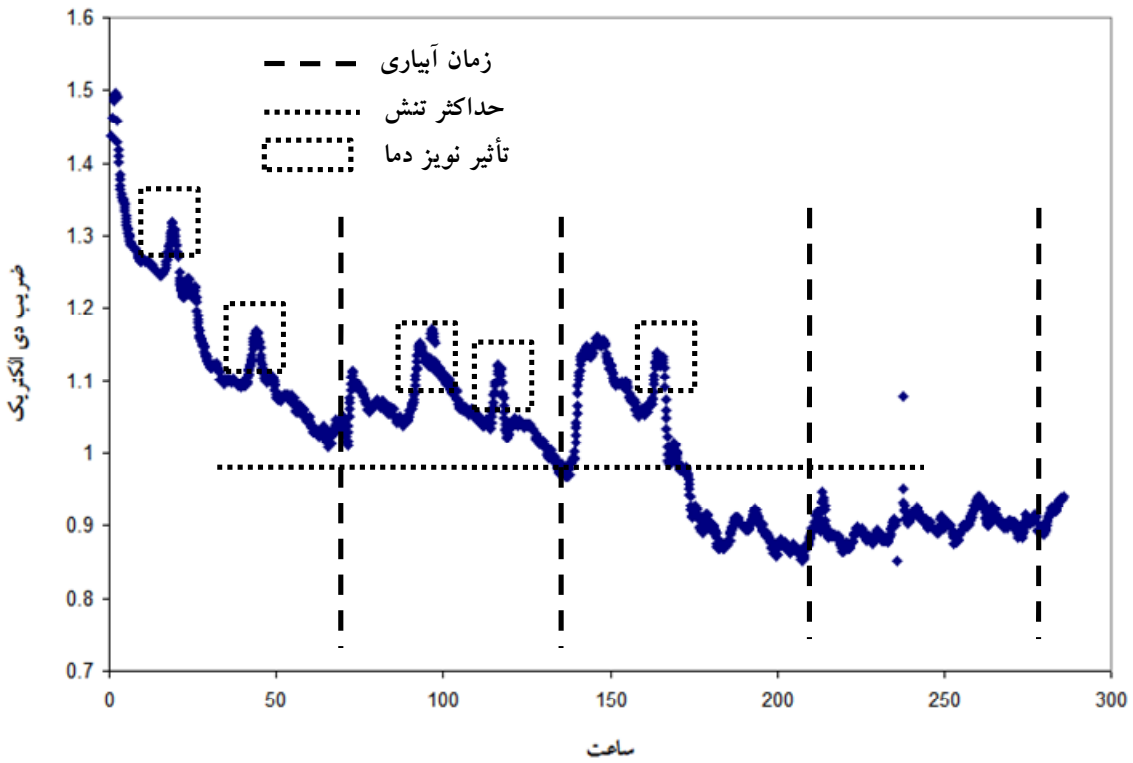
شکل ۷. نمودار ضرب دی الکتریک برگ ۲



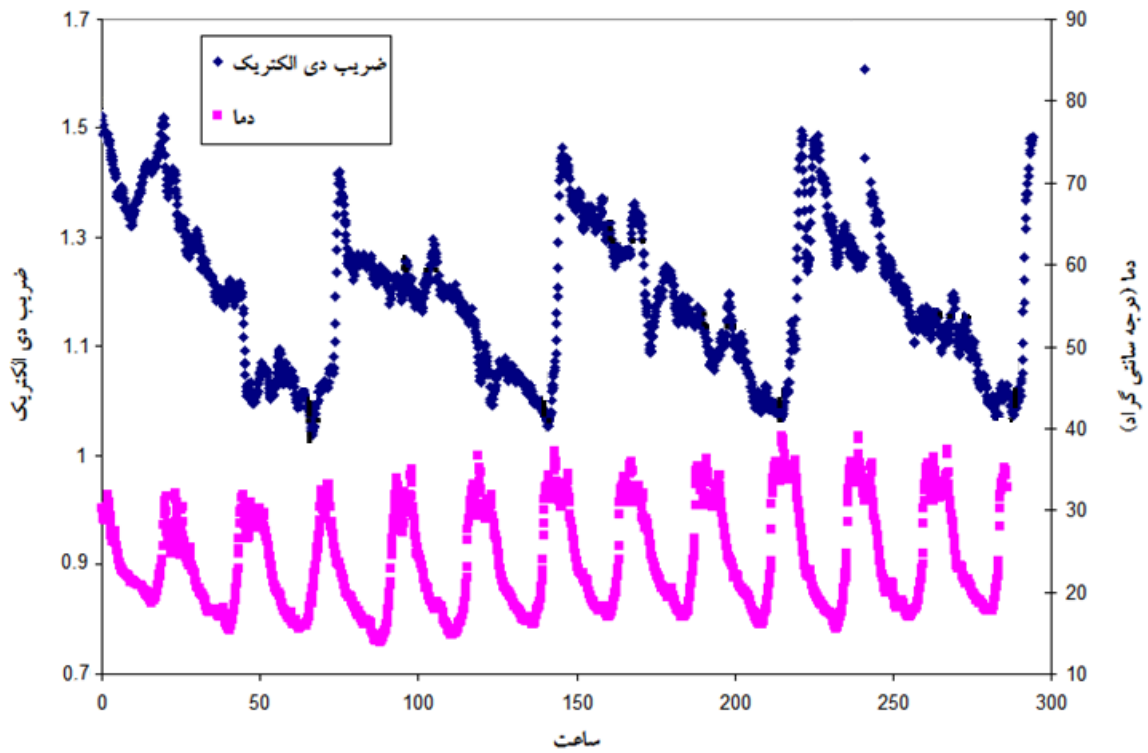
شکل ۸. نمودار ضریب دی الکتریک برگ ۳



شکل ۹. نمودار ضریب دی الکتریک برگ ۴



شکل ۱۰. نمودار ضرب دی الکتریک برگ ۵



شکل ۱۱. مقایسه نمودار ضرب دی الکتریک برگ ۴ با دمای محیط

سپاس‌گزاری

این پژوهش در بخش فنی و مهندسی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان و با امکانات این مرکز و همچنین دانشگاه صنعتی اصفهان انجام شد. از کمک‌های آقای دکتر مرتضی خان‌احمدی نهایت قدردانی به عمل می‌آید.

منابع

- ۱- افضل، ا. و موسوی، س. ف. ۱۳۸۵. تعیین تنش آبی برگ با استفاده از ضریب دی‌الکتریک. دومین کنفرانس ملی آبیاری و زهکشی و مدیریت آب. کرمان.
- ۲- علی‌زاده، ا. ۱۳۶۹. رابطه آب خاک و گیاه. تألیف: کرامر، پ. جی. انتشارات جاوید، مشهد.
- ۳- فتحی، ق. ۱۳۷۸. رشد و تغذیه گیاهان زراعی. تألیف: فاجریا، ان. کا، بالیگار، وی. اس. و جونز، چ. ا. جهاد دانشگاهی مشهد، مشهد.
- ۴- فرمان، ح. ۱۳۷۳. فیزیک الکتریسته و مغناطیس. تألیف: ماریون، ج. و هورنیاک و. دانشگاه علم و صنعت، تهران. ۱۵۴-۱۸۰.

- 5- Afzal, A., Mousavi, F. and Khademi, M. 2010. Estimation of Leaf Moisture by Measuring the Capacitance Journal of Agriculture Science and Technology, Iran.
- 6- Afzal, A. and Mousavi, F. 2008. Estimation of leaf moisture in maize by measuring leaf dielectric constant. International Journal of Agriculture and Biology, Pakistan.
- 7- Barrow, G. M. 1988. Physical Chemistry, 5th edition. McGraw-Hill, New York. 661-679.
- 8- Elliott, S. R. 2000. The physics and chemistry of solids. John Wiley and Sons, Chichester, England.
- 9- Forlich, H. 1990. Theory of dielectrics. Oxford Science Publications, Oxford.