مجله ترویجی علوم و فناوری اطلاعات کشاورزی
سال سوم / شماره ششم/ پاییز و زمستان ۱۳۹۹
aistj.areeo.ac.ir

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/AISTJ.2022.356373.1053

راهبردهای زراعی، اصلاحی و فناوری‌های هوشمند برای کاهش اثرات تنش خشکی در گیاهان

مریم رحیمی جهانگیرلو
دانش‌آموخته فناوری کشاورزی، گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران
پست الکترونیک : maryamrahimi204@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۱۵

چکیده

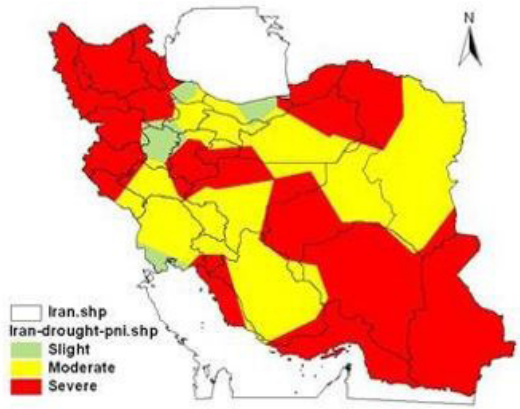
بیش از ۵۰ درصد سطح زیر کشت کشور در معرض خطرات شدید خشک‌سالی قرار دارد. این مسئله زنگ خطری برای مسئولان بخش کشاورزی است تا برای مقابله با اثرات تنش خشکی راهبردهایی اثرگذار را تدوین کنند. هدف از نگارش این مقاله ارائه برخی از راهبردهای زراعی، اصلاحی و فناوری‌های هوشمند پایش و کاهش اثرات تنش خشکی در گیاهان است که اثرات مثبت آن‌ها در حفظ عملکرد گیاهان مختلف در کشور به اثبات رسیده است. ازجمله راهبردهای زراعی و اصلاحی برای مقابله با تنش خشکی در گیاهان می‌توان به تنظیم دقیق تاریخ و تراکم کاشت به کمک سامانه‌های پشتیبان تصمیم‌گیری و مدل‌های شبیه‌ساز رشدونمو، استفاده از ارقام اصلاح‌شده بخصوص گونه‌انگاشت[1] هایی با ویژگی‌های ریشه‌ای و روزنه‌ای مطلوب، استفاده از روش‌های اصلاح[2] و پوشش‌دهی بذر، کودهای زیستی بخصوص قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا و باکتری‌های افزاینده رشد گیاهی و نیز اصلاح‌کننده‌های خاک همچون زئولیت و سوپرجاذب‌های آلی یا پلیمری اشاره کرد. همچنین امروزه فناوری‌های هوشمند آبیاری دقیق ازطریق پایش مداوم دما، رطوبت و بارندگی با فناوری‌های پیشرفته مختلفی مانند اینترنت اشیاء، شبکه‌های حسگر بی‌سیم و رایانش ابری و نیز فناوری‌های سنجش‌ازدور مثل سامانه‌های هوایی بی‌سرنشین مجهز به دوربین‌های حرارتی، به حفظ عملکرد گیاه در مناطقی با محدودیت آبی، کمک شایان توجهی کرده‌اند. روش‌های ارائه‌شده باتوجه‌به مناسب بودن آن‌ها با نظام کشاورزی و شرایط کشاورزان براساس منابع موجود (نیروی کار، زمین، و سرمایه)، و دسترسی به آن‌ها می‌توانند مورداستفاده قرار گیرند.

کلیدواژه‌ها: آبیاری دقیق، گونه‌انگاشت‌های مقاوم، سامانه‌های پشتیبان تصمیم‌گیری، میکوریزا.

1 . Ideotype
2 .Triming

مقدمه

ایران در کمربند خشک جنوب غربی آسیا قرار دارد و ۸۵ درصد از مساحت آن را مناطق خشک و نیمه‌خشک تشکیل داده است. ایران دارای مراتع و جنگل‌های متراکم تا نیمه‌متراکم و بیابان‌های وسیع است. در سال‌های گذشته افزایش جمعیت و بحران شدید آب، بر سامانه‌های زراعی ایران فشار زیادی را تحمیل کرده است تا برای تامین مواد غذایی جمعیت رو به رشد، تولید محصولات خود را افزایش دهد. عدم‌قطعیت‌ها در تأمین آب در آینده به‌دلیل تغییرات اقلیمی و نیز تنش آبی بین ایران و کشورهای همسایه، این فشار را تشدید می‌کند. براساس شاخص درصد از نرمال بارندگی[1]، نقشه نشان‌دهنده الگوهای خطر خشک‌سالی (شکل ۱)، سه سطح خطر مختلف را در کشور نشان می‌دهد (مسعودی و حکیمی، ۲۰۱۴): نسبت کوچک‌تر (۴۲٪) در معرض خطرات خفیف و متوسط خشک‌سالی قرار دارند درحالی‌که مناطق وسیعی از کشور (۵۸٪) در معرض خطرات شدید خشک‌سالی قرار دارند. این طبقه‌بندی مربوط به سال ۲۰۱۴ است و باتوجه‌به تغییرات اقلیمی و الگوی کشت، قطعاً روند افزایش خشک‌سالی در کشور نسبت به سال ۲۰۱۴ افزایش یافته است. نتایج پژوهشی دیگر که هدف آن کمی‌سازی اثرات شدت خشک‌سالی بر زمین‌های زراعی محصولات موردکشت در دوره ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۶ و با استفاده از فناوری سنجش‌ازدور و تابش‌سنج طیفی تصویربرداری با وضوح متوسط یا مدیس[2] بوده است، نشان داد که تغییرات در سطح زیرکشت گیاهان زراعی در مناطق مختلف را تا حد زیادی می‌توان با خشک‌سالی توضیح داد (رضایی و همکاران، ۲۰۱۴).



شکل ۱. نقشه خطر آسیب‌پذیری خشک‌سالی در ایران، ٤۲٪ در معرض خطرات خفیف و متوسط خشک‌سالی، ۵۸٪ در معرض خطرات شدید خشک‌سالی (مسعودی و حکیمی، ۲۰۱٤).

1 . PNPI (Percent of Normal Precipitation Index)
2 .MODIS (Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer)

تشـدید روزافزون اثرات خشک‌سـالی بر عملکرد، سطح و الگوی کشـت محصولات کشـاورزی، اهمیت اتخاذ روش‌های مدیریتی بهتر و پیشـگیرانه از ایـن تنش‌ها را برای بهبود وضعیت تولید غذایی کافی در کشور برجسته می‌کند. بر پایه آمار رسمی در سـال ۱۳۹۶، ۱۷/۶ درصـد از نیـروی کار کشـور در بخش کشـاورزی مشغول هستند اما آثار بروز خشک‌سالی و کم‌آبی بر تولید و معیشت کشاورزان در سال‌های گذشته نگران‌کننده بوده و برای کارشناسـان و مسئولان بخش کشاورزی زنگ خطر را به صدا درآورده است. بنابراین، در این بررسی برخی از راهبردهای زراعی، اصلاحی و فناوری‌های هوشـمند پایش و کاهش اثرات تنش خشـکی در گیاهـان ارائه شـده‌اند. علی‌رغـم پیچیدگی واکنش‌های گیاهی به تنش خشـکی، پیشـرفت‌های چشـمگیر به‌زراعی، به‌نژادی و فناوری‌محور، روش‌های کارآمدی را برای افزایش بهـره‌وری گیاهان در مناطقی بـا محدودیت‌های آبی و خشک‌سالی مانند ایران پیشنهاد کرده است که در این مقاله آن‌ها را بررسی خواهیم کرد.

راهبردهای زراعی و اصلاحی مقابله با تنش خشکی در گیاهان

تنـش خشـکی در درجه اول بـر انتقال و دسترسـی گیاه به مـواد مغذی تأثیر می‌گذارد. همچنین بـر توان بالقوه آب برگ، رنگ‌دانه‌هـای فتوسـنتزی، هدایـت روزنه‌ای و جـذب عناصر بخصوص فسفر و نیتروژن اثر می‌گذارد. به‌طورکلی، تنش خشکی به‌دلیل تجمع گونه‌های فعال اکسـیژن[1] مانند پراکسید هیدروژن، بر دفاع آنتی‌اکسـیدانی گیاه اثر گذاشـته و تنش اکسـیداتیو در آن ایجـاد می‌کند که در درجه‌های شـدید تنـش، فرآیندهای زیست‌شـیمیایی و روابط منبع / مخزن در گیـاه تحت تأثیر قرار گرفته و مهار و تخریب سـنتز کلروفیل ازطریق تجمع بیش‌ازحد گونه‌های فعال اکسـیژن منجر به کاهش فعالیت فتوسنتزی و افت شـدید عملکرد می‌شـود (انلی[2] و همکاران، ۲۰۲۰). مؤثرترین راهبردهای زراعی و اصلاحی برای کاهش آثار تنش خشکی در گیاهان به شرح زیر است:

تنظیم دقیق تاریخ و تراکم کاشت

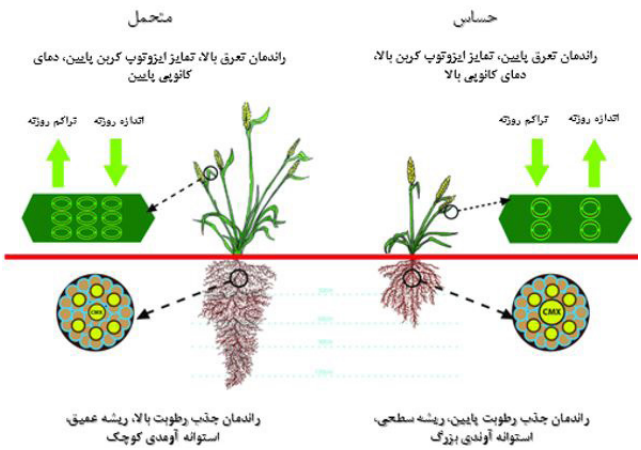
امـروزه در جهـان بـرای کاهـش اثـر تغییـرات اقلیمی و خشک‌سـالی بر بهره‌وری گیاهان زراعی، از مدل‌های شبیه‌سـاز رشـدونمو و فناوری‌های سـنجش‌ازدور ماننـد ماهواره‌ها، برای تنظیم دقیق تاریخ و تراکم کاشـت اسـتفاده می‌شـود (لعزیز[3] و همکاران، ۲۰۲۱). ازآنجایی‌که حداکثر خسـارت تنش ازطریق تصادم دوره‌های وقوع خشک‌سالی و دماهای حدی با دوره‌های پدیدارشناسـانه[4] حسـاس گیاهی رخ می‌دهد، می‌توان ازطریق کاشـت در تاریخ‌های دقیق از آثار سـوء این تنش‌ها جلوگیری کرد. گزارش شـده اسـت که با بهینه‌سـازی تاریخ کاشت، می توان آب آبیاری موردنیاز برای رشـد گندم را بیش از ۴۰ درصد کاهش داد (لعزیز و همکاران، ۲۰۲۱). همچنین کاشت در تراکم کمتر، راهکاری برای افزایش مقاومت در برابر تنش خشـکی در مناطق مستعد خشک‌سالی است (هندا[5] و همکاران، ۲۰۱۶). اگر به‌دلیل شـرایط محیطی دسترسی به منابع محدود شود، در تراکم بیشـتر، رقابت شدیدتر خواهد بود. پس هرچه تراکم کمتر باشد، منابع بیشتری برای هر بوته در دسترس خواهد بود و سرعت رشد و نرخ بقا افزایش خواهد یافت (هندا و همکاران، ۲۰۱۶).

استفاده از ارقام اصلاح‌شده و سازگار با شرایط خشکی

اصلاح و اسـتفاده از ارقـام متحمل به خشـکی از مهم‌ترین راهکارهـای مقابله با کمبود آب اسـت. ازآنجاکـه مقاومت به خشـکی ویژگی پیچیده‌ای اسـت، مهم‌ترین شـاخص تحمل به خشکی مورداستفاده در برنامه‌های به نژادی ارزیابی عملکرد دانه در شرایط آبیاری و تنش است. ازنظر ژنتیکی، سازوکار[6] های مقاومت به خشـکی را می‌توان به چهار دسـته فرار از خشکی، اجتناب از خشـکی، تحمل به خشـکی و توان بازیابی پس از تنش خشکی تقسـیم کرد (خـان[7] و همـکاران، ۲۰۱۸). اجتناب از خشـکی

1 .ROS (Reactive Oxygen Species)
2 .Anli
3 . Belaqziz
4. Phonologic
5. Honda
6. Mechanism
7. Khan

یعنی تـوان حفـظ فرآیندهـای فیزیولوژیک گیـاه مانند تنظیم روزانه درصـورت قرارگرفتن در معرض خشک‌سـالی خفیف، تحمل به خشـکی یعنی تاب‌آوری گیاه ازطریق تنظیم‌کننده‌ها و حفاظت‌کننده‌های اسمزی در شرایط از دست دادن شدید آب ، فرار از خشک‌سـالی یعنی توانایی جلوگیری از وقوع یک دوره نمو در شرایط تنش و توانایی بازیابی و ترمیم یعنی ادامه رشد گیاه پس از آسـیب ناشی از خشک‌سـالی (خان و همکاران، ۲۰۱۸). مهم‌ترین ویژگی‌هایی که باید در انتخاب یک گیاه برای کشت در شرایط تنش خشکی به آن‌ها توجه شوند عبارتند از: ویژگی‌های ریخت‌شناسـانه[1] (زودرسی، کاهش سـطح برگ، لوله‌ای شدن برگ، میزان موم، سـاختار ریشـه‌ای کارآمد، ریشک‌دار بودن، پایداری عملکرد و کاهش پنجه‌زنی)، ویژگی‌های فیزیولوژیک (کاهش تعرق، افزایش راندمان مصرف آب، بسته شدن روزنه‌ها و تنظیم اسـمزی) و ویژگی‌های زیست‌شیمیایی (تجمع پرولین، پلی آمین، ترهالوز و غیره، افزایش فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز و افزایـش ذخیره‌سـازی کربوهیدرات‌ها) اسـت. انتقال ژن‌های مسئول بیوسـنتز متابولیت‌های متعددی همچون پرولین، ترهالوز و پلی‌آمین‌هـا از موجودات مختلف به گیاهـان زراعی ازطریق مهندسی ژنتیک به‌طور موفقیت‌آمیزی انجام شده است (سرافراز، ۱۳۹۰). همچنین شـاخص‌های فیزیولوژیک مانند محتوای نسبی آب برگ[2]، سرعت اتلاف آب از برگ جدا شده از گیاه[3]، توانایی حفظ آب در برگ‌های جدا شـده از گیاه[4] ازجمله شاخص‌های مهم مورداستفاده برای ارزیابی تحمل ژنوتیپ‌ها به خشکی هستند (افیونـی و همـکاران، ۱۳۹۴). ویژگی‌های ریشـه‌ای و روزنه‌ای که گونه‌انگاشـت‌های گیاه گندم مقاوم به خشـکی و حساس را تعریف می‌کند در شکل ۲ نشان داده شده است. همبستگی مثبت بیـن عملکرد دانه با صفات میـزان پروتئین‌های محلول، محتوای نسـبی آب برگ (در مراحل یک و دو هفته پس از گرده‌افشانی) و توانایی حفـظ آب در برگ‌های جدا شـده از گیاه در مرحله گرده‌افشـانی، نشـان می‌دهد که از این صفات می‌توان به‌عنوان ویژگی‌های انتخاب ژنوتیپ‌های گندم متحمل به تنش خشـکی انتهای فصل اسـتفاده کرد (افیونی و همکاران، ۱۳۹۴). مقایسـه ارقام کلزا نشـان داد بالاتر بودن طول و قطر ریشـه در رقم اپرا و دوام سـطح برگ بالا، هدایت روزنه‌ای بـالا و افزایش تحمل به خشـکی در گیاه کلزا در پایداری عملکرد دانه کلزا در شـرایط تنش خشکی اثر دارد (جباری و همکاران، ۱۳۹۵). در میان ارقام ذرت، گزارش شـده اسـت که رقم ۲۶۰ به‌دلیل کارایی مصرف نور بالاتر، فعالیت مخزن بیشـتر (به‌عنوان‌مثال وزن و تعداد دانه‌ها و اندازه بلال بزرگ‌تر)، گل‌دهی قبل از وقوع درجه حرارت‌های بالا در تابسـتان و شاخص برداشت و سـبزینگی بیشتر، در تنش خشکی عملکرد مناسـبی دارد (رحیمی جهانگیرلو و همکاران، ۲۰۲۱). تحمـل گیـاه در برابـر تنش خشـکی بـه ویژگی‌های آناتومیکی مطلوب ریشه مانند ریشه‌های عمیق‌تر و استوانه آوندی کوچک‌تر، که به بهبود راندمان جذب رطوبت کمک می‌کند و ویژگی‌های روزنه‌ای ماننـد تراکم بالا و اندازه کوچک‌تر که به کاهش دمـای کانوپی و تمایز ایزوتـوپ کربن کمک می‌کند، متکی است (کولکارنی[5] و همکاران، ۲۰۱۷).



شکل ۲. ویژگی‌های ریشه‌ای و روزنه‌ای که گونه‌انگاشت‌های گیاه گندم مقاوم به خشکی و حساس را تعریف می‌کند (کولکارنی و همکاران، ۲۰۱۷)

1 .Morphologic
2 .RWC (Relative Water Content)
3 . RWL (Rate of Water Loss)
4. ELWR (Excised-Leaf Water Retention)
5. Kulkarni

اصلاح و پوشش‌دهی بذر

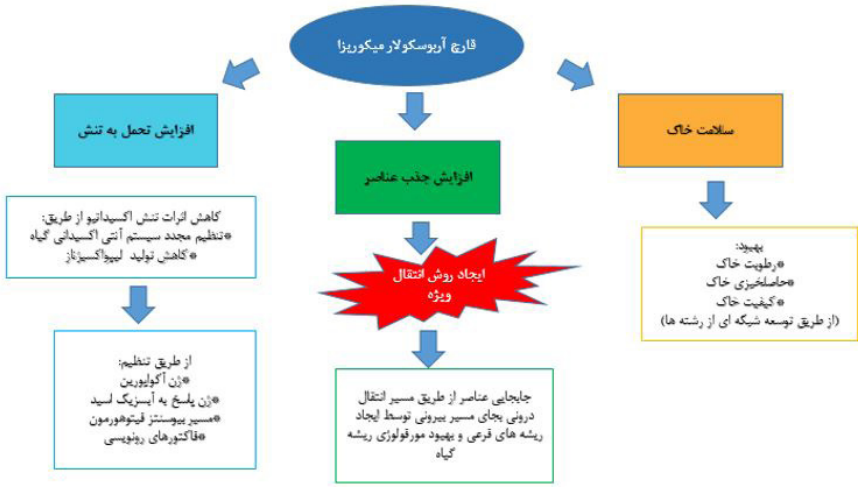
یکی از راه‌های افزایش مؤلفه‌های جوانه‌زنی و سبز شدن بذر تحت تنش خشکی، استفاده از فنون اصلاح است. فنون مختلف پیش‌تیمار بذر مانند اصلاح شیمیایی، اصلاح حرارتی، هیدروپرایمینگ، اسموپریمینگ و بیوپرایمینگ (هیدراتاسیون کنترل‌شده دانه‌ها ازطریق استفاده از ریزاندامگان[1] ها یا ترکیبات بیولوژیکی آن‌ها) برای افزایش جوانه‌زنی محصولات کشاورزی وجود دارد (میرمظلوم و همکاران، ۲۰۲۰). اسموپرایمینگ رایج‌ترین روش اصلاح است که در آن دانه‌ها در محلول‌های اسمزی هوادهی‌شده حاوی نیترات پتاسیم، فسفات پتاسیم یا نمک‌های کلرید پتاسیم یا پلی‌اتیلن گلیکول با پتانسیل‌های مختلف آب و در مدت زمان مختلف خیس می‌خورد (میرمظلوم و همکاران، ۲۰۲۰). گزارش شده است که هیدروپرایمینگ (اصلاح بذرها با استفاده از آب) باعث بهبود مؤلفه‌های جوانه‌زنی پنبه در شرایط تنش خشکی شد و مقاومت گیاه پنبه در مرحله جوانه‌زنی را در مقابل تنش خشکی افزایش داد (سلطانی و همکاران، ۱۳۸۶). بعلاوه در روش پوشش‌دارکردن بذر، معمولاً از ترکیب جاذب رطوبت همچون پکتین به‌دست‌آمده از پوست پرتغال برای افزایش جوانه‌زنی بذرها در مناطق نیمه‌خشک استفاده می‌شود (برسدا-هرناندز[2] و همکاران، ۲۰۲۰). گزارش شده است استفاده از روش مقرون‌به‌صرفه اصلاح بذر و همچنین هیدروپرایمینگ و اصلاح با ماده ملاتونین، می‌تواند کیفیت بذور گلرنگ برای رشد در شرایط خشکی و شوری را افزایش دهد (اکبری و همکاران، ۲۰۲۰). ازجمله ترکیبات شیمیایی مؤثر در رشد گیاهان در شرایط خشکی که در اصلاح می‌توانند مورداستفاده قرار گیرند می‌توان به بوتنولید، مانوز، سیلیکون دی‌اکسید یا سیلیکا، نقره و اکسیدروی اشاره کرد (مارتاندان[3] و همکاران، ۲۰۲۰).

کودهای زیستی

باتوجه‌به ریزاندامگان‌ها، کودهای زیستی[4] به پنج دسته تقسیم می‌شوند: ۱) ریزاندامگان‌های سودمند یا کارا، ۲) کودهای زیستی باکتریایی (ریزوبیوم، ازتوباکتر، ازوسپریلیوم و....)، کودهای زیستی قارچی (میکوریزا)، کودهای زیستی جلبکی (جلبک‌های سبز- آبی و آزولا)، کودهای زیستی اکتینومیستی (فرانکیا). آربوسکولار میکوریزا[5] با بیشتر از ۸۰ درصد گیاهان آوندی رابطه هم‌زیستی برقرار می‌کند و پس از هم‌زیست شدن می‌تواند با توسعه هیف‌های میکروبی خود در فضاهایی که ریشه‌های موبین قدرت نفوذ ندارند (گاهی تا ۸۰ متر در یک سانتیمتر مکعب خاک)، سطح ریشه‌دوانی گیاه را افزایش دهند. آن‌ها همچنین می‌توانند قدرت جذب آب، کربوهیدرات‌ها و عناصر غذایی به‌خصوص فسفر را با گسترش میسلیوم‌های خود و نفوذ در بافت کورتکس میزبان افزایش دهند و تحمل گیاهان در برابر تنش‌های محیطی را تقویت کنند. سازوکار آربوسکولار میکوریزا در شرایط مواجهه گیاه با انواع تنش‌های غیرزنده در شکل ۲ نشان داده شده است. کاهش اثرات تنش خشکی با استفاده از آربوسکولار میکوریزا ازطریق توسعه شبکه‌ای از رشته‌ها، و افزایش دسترسی گیاه به سطح بیشتری از خاک برای جذب آب و عناصر غذایی ایجاد می‌شود (بگم[6] و همکاران، ۲۰۱۹). سودوموناس فلورسنس قابلیت حل‌شوندگی فسفات را افزایش می‌دهد و به بهبود رشد گیاه کمک می‌کند. تلقیح سودوموناس فلورسنس[7]، چسبندگی ریشه به خاک، رطوبت خاک و نسبت بافت ریشه به خاک را نیز افزایش می‌دهد. همچنین با القای تولید اکسین‌ها، جیبرلین‌ها و سیتوکینین‌ها، و به‌طورکلی سنتز متعادل این هورمون‌ها، رشد گیاه را در شرایط تنش خشکی بهبود می‌بخشد (پراویسیا[8] و همکاران، ۲۰۱۹). گزارش شده است در برنج، تیمار سودوموناس فلورسنس بیان ژن‌های مقاومت به خشکی و افزایش پتانسیل تحمل به تنش خشکی را بهبود بخشید

1 .Microorganism
2 .Breceda-Hernandez
3 .Marthandan
4. Biofertilizer
5. AMF (*Arbuscular Mycorrhizal* Fungi)
6. Begum
7. PF (*Pseudomonas fluorescens*)
8. Pravisya

(سااکره[1] و همکاران، ۲۰۱۷). در مطالعات قبلی اثرات مثبت باکتری‌های افزاینده رشد گیاهی[2] در بهبود جوانه‌زنی بذر، رشد ریشه، وزن اندام هوایی و ریشه، سطح برگ، محتوای کلروفیل، فعالیت هیدرولیکی، محتوای پروتئین، جذب مواد مغذی و عملکرد در گیاهان سیب‌زمینی و کاساوا و نیز ذرت، گندم و سبزیجات، در معرض تنش خشکی گزارش شده است (بتول[3] و همکاران، ۲۰۲۰). باکتری‌های افزاینده رشد گیاهی باکتری‌هایی ریزوسفری هستند که می‌توانند ازطریق سازوکارهای مختلفی مانند حل کردن فسفات، تولید سیدروفور، تثبیت زیستی نیتروژن، مهندسی ریزوسفر، تولید فیتوهورمون، و ترویج هم‌زیستی‌های مفید گیاهی با میکروب‌ها و غیره، رشد گیاه را تسهیل کنند (همان، ۲۰۲۰). به‌طورکلی باکتری‌های افزاینده رشد گیاهی، تولید فیتوهورمون‌های مؤثر (ایندول استیک اسید، جیبرلیک اسید و سیتوکینین‌ها) را تسهیل می‌کنند، حلالیت فسفات معدنی را با تولید سیدروفور افزایش می‌دهند و تولید ابسزیک اسید را کاهش می‌دهند و ازاین‌رو از اثر تنش خشکی بر عملکرد گیاهان می‌کاهند (نیو[4] و همکاران، ۲۰۱۸).



شکل ۳. نمایشی از سازوکار قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا برای تنظیم فرآیندهای گیاهی و افزایش رشد و عملکرد در شرایط مواجهه با تنش‌های غیرزنده (بگم و همکاران، ۲۰۱۹).

اصلاح‌کننده‌های خاک و سوپرجاذب‌ها

اصلاح‌کننده‌های خاک حاوی مواد آلی، با مناسب کردن فضای خاک برای ریزجانداران خاک‌زی، شرایط رطوبتی خاک را بهبود می‌بخشند. این نوع اصلاح‌کننده‌های خاک معمولاً کمپوست‌های حاوی بقایای گیاهی، تراشه‌های خاک‌اره و کودهای سبز هستند. یکی از انواع اصلاح‌کننده‌های خاک زئولیت است. زئولیت‌ها گروهی از کانی‌های متخلخل طبیعی هستند که با ساختمان بلوره‌ای خود مانند غربال مولکولی عمل کرده و به‌دلیل داشتن کانال‌های باز در شبکه خود، اجازه عبور برخی از یون‌ها را داده و مسیر عبور بعضی یون‌های دیگر را مسدود می‌کنند. زئولیت‌ها می‌توانند تا ۷۰ درصد حجم خود آب جذب کنند که این توانایی ناشی از تخلخل بالای آن‌ها است و از ساختمان بلوری آن‌ها نشات می‌گیرد (قلی‌زاده و همکاران، ۲۰۱۰). البته همه انواع زئولیت برای بهبود رشد و تحمل گیاه در شرایط تنش خشکی نمی‌توانند مناسب باشند و پلیمرهای زئولیت می‌توانند خود برای جذب رطوبت کم از خاک و هوا با ریشه به رقابت پرداخته و اثرات تنش خشکی را در گیاه تشدید نمایند. براساس نتایج یک مطالعه مروری، شابازیت، کلینوپتیلولیت، فیلیپسیت، اریونیت، استیلبیت، هیولاندیت و

1 .Saakre
2 .PGPR (Plant growth promoting bacteria)
3 . Batool
4. Niu

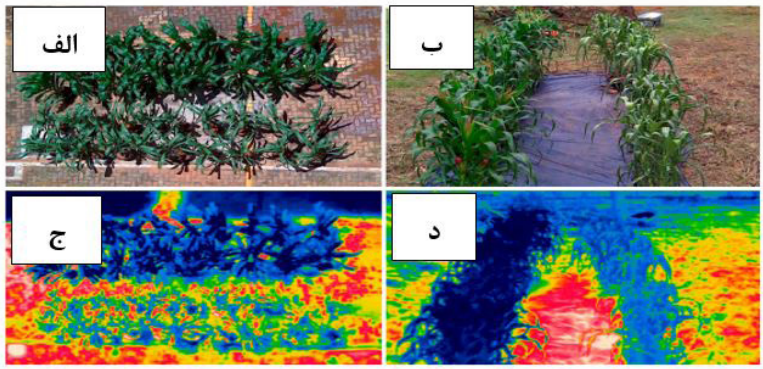
موردنیت شناخته‌شده‌ترین زئولیت‌هایی هستند که برای مقابله با مسائل مختلفی مانند آلودگی خاک یا آب، آلودگی با فلزات سنگین، فقدان مواد مغذی و افزایش راندمان مصرف آب در زمین‌های کشاورزی خشک توصیه شده‌اند (کاتالدو[1] و همکاران، ۲۰۲۱). گزارش شده است کاربرد زئولیت به میزان ۱۰ تن در هکتار به‌دلیل خاصیت جذب رطوبت در شرایط تنش کم‌آبی، از افت عملکرد در گیاه دارویی کدو پوست‌کاغذی جلوگیری می‌کند (نعیمی و همکاران، ۱۳۹۱). برخی مواد مانند بقایای گیاهی، کود دامی، کود کمپوست و هیدروژل‌های پلیمری سوپرجاذب می‌توانند مقادیر متفاوتی آب را در خود ذخیره کرده و قابلیت نگهداری و ذخیره‌سازی آب در خاک را افزایش دهند. گزارش شده است کاربرد ۲۲۵ کیلوگرم پلیمر سوپرجاذب تاروات إی[2] ۲۰۰ در هکتار تأثیر معنی‌داری بر رشد و عملکرد سویا در همه شرایط آبیاری (آبیاری معمول و یا تحت شرایط تنش خشکی) از خود نشان داده است (یزدانی و همکاران، ۱۳۸۵).

فناوری‌های هوشمند

آبیاری دقیق[3] به‌عنوان یک مفهوم پیشرفته در کشاورزی، نویدبخش خوبی برای بهبود کارایی استفاده از آب و همچنین حفظ یا افزایش عملکرد محصول است. آبیاری دقیق خود نیازمند فناوری‌های پیشرفته مختلفی مانند اینترنت اشیاء[4]، شبکه‌های حسگر بی‌سیم[5] و رایانش ابری (بستر جمع‌آوری اطلاعات و انجام محاسبات در فناوری اینترنت اشیاء) است. در اینترنت اشیاء در آبیاری، سامانه‌های آبیاری هوشمند ازطریق واحدهای حسگر مبتنی بر اینترنت، نیاز آبیاری را به‌طور دقیق تخمین زده و با ثبت دمای محصول و رطوبت خاک، از وارد شدن تنش به گیاه جلوگیری می‌کنند و به این ترتیب، امکان دستیابی به حداکثر محصول (با حداقل آب مصرفی) را فراهم می‌کنند. آبیاری زمانی مؤثر خواهد بود که علاوه بر نیاز گیاه، شرایط محیطی هم به‌طور مداوم پایش شود زیرا عواملی مانند دما، رطوبت، بارندگی و مقدار رطوبت خاک، مقدار آب موردنیاز برای یک آبیاری مؤثر را تعیین خواهند کرد. حسگرهایی که در این زمینه استفاده می‌شوند باید عواملی مانند دما و رطوبت را بررسی کنند. سامانه‌های مبتنی بر حسگرها به‌طورکلی از سه واحد تشکیل می‌شوند: واحد حسگرها، واحد میکروکنترلر و واحد کاربری. اطلاعات محیطی به میکروکنترلر ارسال شده و در این واحد پس از پردازش، با استفاده از شبکه ارتباطی تلفن همراه به کشاورز اطلاع می‌دهد (آمیجی، ۱۳۹۹).

امروزه، فناوری‌های سنجش‌ازدور مانند ماهواره‌ها، پهپادها و حسگرهای چندطیفی، فراطیفی، و حرارتی در صدر فناوری‌های روز دنیا، برای پایش ویژگی‌های اثرگذار بر عملکرد کمی و کیفی محصولات، به‌ویژه در سطح مزارع وسیع، قرار دارند. نتایج تحقیقات متعدد نشان داده است که این روش‌ها، در تشخیص به‌موقع انواع عارضه‌ها ازجمله تنش خشکی در یک نظام کشاورزی قابل‌اعتماد هستند. تصویربرداری حرارتی می‌تواند برای نظارت بر آثار تنش خشکی ازطریق پایش دمای گیاهان در یک مزرعه یکی از مفیدترین ابزارها باشد. این فناوری هم‌اکنون در دنیا برای تشخیص ارقام مقاوم به تنش آبی در مزارع استفاده می‌شود (رحیمی جهانگیرلو و باقری، ۱۴۰۰). تصاویری از یک آزمایش مقایسه رقم با استفاده از تصاویر حرارتی در شکل ۴ نشان داده شده است. پهپاد ماتریس‌ام[6] ۲۱۰ یا زنموس‌ایکس‌تی‌دو[7] از مهم‌ترین پهپادهای باقابلیت تصویربرداری حرارتی برای پایش تنش خشکی در جهان هستند (سیشودیا[8] و همکاران، ۲۰۲۰). همچنین از حسگرهایی مثل حس‌گر خاک هیدروپروب دو[9] برای اندازه‌گیری رطوبت خاک استفاده می‌شوند و با پایش محتوای آب در پروفیل‌های مختلف خاک، میزان و زمان دقیق آبیاری را تعیین می‌کنند (سیشودیا و همکاران، ۲۰۲۰).

1 .Cataldo
2 .Tarawat A200
3 . PI (Precision irrigation)
4. IoT (Internet of Things)
5. WSN (Wireless Sensor Network)
6. Matrice M210
7. Zenmuse XT2
8. Sishodia
9. Hydra probe II soil sensor



شکل ٤. . تصاویر مرئی (الف و ب) و حرارتی (ج و د) از گیاه ذرت که در روزهای چهارم (الف و ج) و دوازدهم (ب و د) دوره تنش خشکی گرفته شده است. ردیف‌های بالا (الف و ج) و سمت چپ (ب و د) از سبز تیره (مرئی) و آبی تیره (حرارتی) تیمارهای کنترل (بدون تنش) هستند، درحالی‌که ردیف‌های سمت راست و پایین و سبز کم‌رنگ و آبی روشن تحت تنش خشکی هستند (کاساری[1] و همکاران، ۲۰۱۹).

جمع‌بندی

هدف این مقاله ارائه برخی از راهبردهای زراعی، اصلاحی و فناوری‌های هوشمند پایش و کاهش اثرات تنش خشکی در گیاهان است که اثرات مثبت آن‌ها در حفظ عملکرد گیاهان مختلف به اثبات رسیده است. اولین اقدام در راستای کمک به مشکل کم‌آبی در کشور تبدیل روش‌های آبیاری سنتی به روش‌های نوین آبیاری و آشنا کردن کشاورزان و کشت و صنعت با فناوری‌های هوشمند آبیاری دقیق است. البته لازم است باتوجه‌به مناسب بودن آن‌ها با نظام کشاورزی و شرایط کشاورزان، روش‌های ارائه‌شده براساس منابع موجود (نیروی کار، زمین، و سرمایه) و دسترسی به آن‌ها استفاده شوند. لازم است توسعه برنامه‌های ترویجی، تسهیلات و بسته‌های تشویقی ازسوی دولت برای هوشمندسازی سامانه‌های آبیاری به کشاورزان در اولویت بخش کشاورزی قرار گیرد زیرا اگرچه هزینه اجرای سامانه‌های هوشمند آبیاری در مزارع در ابتدا سنگین به‌نظر می‌رسد اما در بلندمدت صرفه اقتصادی و محیط‌زیستی زیادی را برای کشاورزان و نیز کشور در راستای سازگاری با خشک‌سالی به همراه خواهد داشت.

منابع

آمیجی، پ. (۱۳۹۹). مزایا، کاربردها و چالش‌های مربوط به اینترنت اشیاء در آبیاری. *مدیریت آب در کشاورزی*، ۷ (۲)، ۴۷-۶۶.

جباری، ح.، اکبری، غ.، خوش‌خلق سیما، الف.، شیرانی‌راد، الف.، اله‌دادی الف.، تاجدینی، ف. (۱۳۹۴). بررسی ویژگی‌های زراعی، فیزیولوژیک و کیفی کلزا تحت تنش آبی. *مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی*. ۸ (۱): ۳۵-۴۹.

افیونی، د.، اله‌دادی، الف.، اکبری، غ.، و نجفیان، گ. (۱۳۹۴). بررسی واکنش برخی صفات زراعی تعدادی از ژنوتیپ‌های گندم به قطع آبیاری آخر فصل در شرایط مصرف روی. *مجله تولید گیاهان زراعی*، ۸ (۱): ۱۷۹-۲۰۳.

سرافراز، پ. (۱۳۹۰). مکانیزم های اصلاح مقاومت به خشکی در گیاهان زراعی. *اولین همایش ملی راهبردهای دستیابی به کشاورزی پایدار*، اهواز، https://civilica.com/doc/123585

سلطانی، الف.، قادری، ف.، معمار، ح. (۱۳۸۶). *نشریه علوم کشاورزی و منابع طبیعی*. ۱۴ (۵): ۶-۱۶.

یزدانی، ف.، اله دادی، الف.، اکبری، غ.، بهبهانی، م. (۱۳۸۶). تأثیر مقادیر پلیمر سوپر جاذب و سطوح تنش خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد سویا x000D. *پژوهش و سازندگی*، ۲۰ (۱): ۱۶۷ - ۱۷۷.

نعیمی، م.، اکبری، غ‌ی.، شیرانی‌راد، الف.، حسن‌لو، ط.، و اکبری، غ‌س. (۱۳۹۱). اثر کاربرد زئولیت و محلول‌پاشی سلنیم در شرایط تنش کم‌آبی بر روابط آبی و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در گیاه دارویی کدو پوست کاغذی. *به‌زراعی کشاورزی* ۱۴ (۱): ۶۷-۸۱.

1 .Casari

یزدانـــی، ف.، اله دادی، الف.، اکبری، غ.، بهبهانـــی، م. (۱۳۸۵). تأثیر مقادیر پلیمر ســـوپرجاذب (Tarawat A200) و سطوح تنش خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد ســـویا (Glycine max L.). *پژوهش و ســـازندگی*. ۲۰ (۲): ۱۶۷-۱۷۴.

Akbari, G. A., Heshmati, S., Soltani, E., & Amini Dehaghi, M. (2020). Influence of seed priming on seed yield, oil content and fatty acid composition of safflower (Carthamus tinctorius L.) grown under water deficit. *International Journal of Plant Production*, 14(2), 245-258.

Anli, M., Baslam, M., Tahiri, A., Raklami, A., Symanczik, S., Boutasknit, A., ... & Meddich, A. (2020). Biofertilizers as strategies to improve photosynthetic apparatus, growth, and drought stress tolerance in the date palm. *Frontiers in plant science*, 11.

Batool, T., Ali, S., Seleiman, M. F., Naveed, N. H., Ali, A., Ahmed, K., ... & Mubushar, M. (2020). Plant growth promoting rhizobacteria alleviates drought stress in potato in response to suppressive oxidative stress and antioxidant enzymes activities. *Scientific Reports*, 10(1), 1-19.

Begum, N., Qin, C., Ahanger, M. A., Raza, S., Khan, M. I., Ashraf, M., ... & Zhang, L. (2019). Role of arbuscular mycorrhizal fungi in plant growth regulation: implications in abiotic stress tolerance. *Frontiers in plant science*, 10, 1068.

Belaqziz, S., Khabba, S., Kharrou, M. H., Bouras, E. H., Er-Raki, S., & Chehbouni, A. (2021). Optimizing the Sowing Date to Improve Water Management and Wheat Yield in a Large Irrigation Scheme, through a Remote Sensing and an Evolution Strategy-Based Approach. *Remote Sensing*, 13(18), 3789.

Breceda-Hernandez, T. G., Martínez-Ruiz, N. R., Serna-Guerra, L., & Hernández-Carrillo, J. G. (2020). Effect of a pectin edible coating obtained from orange peels with lemon essential oil on the shelf life of table grapes (Vitis vinifera L. var. Red Globe). *International Food Research Journal,* 27(3), 585-596.

Casari, R. A., Paiva, D. S., Silva, V. N., Ferreira, T. M., Souza, J., Manoel, T., ... & Sousa, C. A. (2019). Using thermography to confirm genotypic variation for drought response in maize. *International journal of molecular sciences,* 20(9), 2273.

Cataldo, E., Salvi, L., Paoli, F., Fucile, M., Masciandaro, G., Manzi, D., ... & Mattii, G. B. (2021). Application of zeolites in agriculture and other potential uses: A review. *Agronomy,* 11(8), 1547.

Gholizadeh, A., Amin, M. S. M., Anuar, A. R., Esfahani, M., & Saberioon, M. M. (2010). The study on the effect of different levels of zeolit and water stress on growth, development and essential oil content of moldavian balm (Dracocephalum moldavica L.). *American Journal of Applied Sciences*, 7(1), 33-37.

Honda, E. A., Pilon, N. A. L., & Durigan, G. (2019). The relationship between plant density and survival to water stress in seedlings of a legume tree. *Acta Botanica Brasilica*, 33, 602-606.

Khan, A., Pan, X., Najeeb, U., Tan, D. K. Y., Fahad, S., Zahoor, R., & Luo, H. (2018). Coping with drought: stress and adaptive mechanisms, and management through cultural and molecular alternatives in cotton as vital constituents for plant stress resilience and fitness. *Biological research,* 51.

Kulkarni, M., Soolanayakanahally, R., Ogawa, S., Uga, Y., Selvaraj, M. G., & Kagale, S. (2017). Drought response in wheat: key genes and regulatory mechanisms controlling root system architecture and transpiration efficiency. *Frontiers in chemistry*, 5, 106.

Marthandan, V., Geetha, R., Kumutha, K., Renganathan, V. G., Karthikeyan, A., & Ramalingam, J. (2020). Seed priming: a feasible strategy to enhance drought tolerance in crop plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(21), 8258.

Masoudi, M., & Hakimi, S. (2014). A new model for vulnerability assessment of drought in Iran using Percent of Normal Precipitation Index (PNPI). *Iranian Journal of Science and Technology* (Sciences), 38(4), 435-440.

Mirmazloum, I., Kiss, A., Erdélyi, É., Ladányi, M., Németh, É. Z., & Radácsi, P. (2020). The Effect of Osmopriming on Seed Germination and Early Seedling Characteristics of Carum carvi L. Agriculture, 10(4), 94.

Niu, X., Song, L., Xiao, Y., & Ge, W. (2018). Drought-tolerant plant growth-promoting rhizobacteria associated with foxtail millet in a semi-arid agroecosystem and their potential in alleviating drought stress. *Frontiers in microbiology*, 8, 2580.

Pravisya, P., Jayaram, K. M., & Yusuf, A. (2019). Biotic priming with Pseudomonas fluorescens induce drought stress tolerance in Abelmoschus esculentus (L.) Moench (Okra). *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 25(1), 101-112.

Rahimi Jahangirlou, M., Akbari, G. A., Alahdadi, I., Soufizadeh, S., Kumar, U., & Parsons, D. (2021). Phenotypic Traits, Grain Yield and Yield Components of Maize Cultivars Under Combinations of Management Practices in Semi-arid Conditions of Iran. *International Journal of Plant Production,* 1-13.

Rezaei, E. E., Ghazaryan, G., Moradi, R., Dubovyk, O., & Siebert, S. (2021). Crop harvested area, not yield, drives variability in crop production in Iran. *Environmental Research Letters*, 16(6), 064058

Saakre, M., Baburao, T. M., Salim, A. P., Ffancies, R. M., Achuthan, V. P., Thomas, G., & Sivarajan, S. R. (2017). Identification and characterization of genes responsible for drought tolerance in rice mediated by Pseudomonas fluorescens. *Rice Science,* 24(5), 291-298.

Sishodia, R. P., Ray, R. L., & Singh, S. K. (2020). Applications of remote sensing in precision agriculture: A review. *Remote Sensing,* 12(19), 3136.

Agricultural Information sciences and Technology
Number 6,Volume 3, Fall and Winter 2021
aistj.areeo.ac.ir

Agronomic and Breeding Strategies and Smart Technologies for Mitigating Drought Stress Impacts on Crop Plants

Maryam Rahimi Jahangirlou
PhD graduate in Agrotechnology, Department of Agronomy and Plant Breeding Sciences, College of Aburaihan, University of Tehran, Tehran, Iran

Abstract
More than 50 percent of the arable land of Iran is at high risk of drought, and this has sounded the alarm for those concerned about food security to try to adopt effective strategies to deal with this issue. In this paper we aimed to present some agronomic and breeding strategies, and also smart technologies for monitoring and mitigating the drought impacts on plants, those have proved their positive effects on maintaining the yield of various plants in the country according to the numerous internal research. Accurately setting planting windows and density using decision support systems (DSS) and growth and simulation models, selecting proper cultivars, especially newly bred resistant idiotypes with desirable root and stomata characteristics, seed priming and coating methods, biofertilizers especially Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) and plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) and also soil modifiers and amendments such as zeolites and organic or polymeric superabsorbent are among useful agronomic and breeding strategies to maintain crop yield under drought condition. More importantly, Precision Irrigation (PI) through continuous monitoring of temperature, humidity, and rainfall using various technologies such as Internet of Things (IoT), wireless sensor networks (WSN) and cloud computing as well as remote sensing tools such as unmanned aerial systems equipped with thermal sensors have made a significant contribution to increasing plant performance in areas faced with water crisis. The proposed methods can be obtained according to their suitability with the agricultural systems and farmers' conditions based on available resources (labor, land, and affordability).

Keywords: Precision Irrigation, Resistant Ideotypes, Decision Support Systems, Arbuscular Mycorrhizal Fungi.