

بررسی نظری پتانسیل کاربرد آب مغناطیسی در ارتقای رشد و کیفیت زرشک سیاه: یک مدل سازی بر مبنای متون علمی و عملی

محمد غفوری ساربانقلی^۱، مرتضی ملازاده^۲

۱- گروه فیزیک، واحد شبستر، دانشگاه آزاد اسلامی، شبستر، ایران، ghafouri1355@iaua.ac.ir

۲- گروه فیزیک، واحد شبستر، دانشگاه آزاد اسلامی، شبستر، ایران، mortaza.mollazadeh@iaua.ac.ir

چکیده

این مطالعه به پیش بینی اثرات آبیاری با آب مغناطیسی بر شاخص های رشد، عملکرد و کیفیت میوه زرشک سیاه می پردازد. پژوهش به صورت طرح کاملاً تصادفی با چهار تیمار (شاهد، آب مغناطیسی ۰.۳، ۰.۶ و ۰.۹ تسلا) و سه تکرار طراحی شد. پیش بینی نتایج بر اساس شواهد موجود نشان می دهد که اعمال تیمارهای آب مغناطیسی به ویژه با شدت میدان ۰.۶ تسلا، موجب بهبود معنی دار کلیه شاخص های رشدی (از جمله ارتفاع بوته، قطر ساقه و تعداد شاخه جانبی)، اجزای عملکرد (تعداد خوشه و میوه در خوشه) و کیفیت میوه (افزایش آنتوسیانین کل، ویتامین C، مواد جامد محلول و محتوای فنل (خواهد شد. همچنین پیش بینی می شود این تیمارها باعث بهبود شاخص های فیزیولوژیکی مانند محتوای کلروفیل، نرخ فتوسنتز و هدایت روزنه ای شوند. به طور کلی، به نظر می رسد استفاده از آب مغناطیسی شده با شدت ۰.۶ تسلا می تواند به عنوان یک راهکار غیرشیمیایی و سازگار با محیط زیست برای افزایش عملکرد و بهبود کیفیت زرشک سیاه مورد توجه قرار گیرد.

کلمات کلیدی: آب مغناطیسی، زرشک سیاه، رشد رویشی، کشاورزی پایدار

۱. مقدمه

زرشک سیاه به عنوان یکی از گونه های ارزشمند و بومی ایران، جایگاه ویژه ای در کشاورزی، اقتصاد و طب سنتی مناطق مرکزی و شرقی کشور، به ویژه استان خراسان جنوبی دارد. میوه های ترش مزه این درختچه نه تنها به عنوان یک چاشنی و ماده غذایی کاربرد گسترده ای دارند، بلکه به دلیل غنای از ترکیبات زیست فعالی قدرتمند همچون آنتوسیانین ها، ویتامین C و آلکالوئیدهای ارزشمندی مانند بربرین، از خواص دارویی قابل توجهی برخوردار هستند [۱]. آنتوسیانین ها با خاصیت آنتی اکسیدانی قوی خود، در پیشگیری از بیماری های قلبی-عروقی، سرطان و بیماری های عصبی نقش دارند و بربرین نیز به عنوان یک عامل ضد دیابت و ضد میکروب قوی شناخته شده است [۲]. با این وجود، مناطق کشت زرشک، از جمله قطب اصلی تولید آن در خراسان جنوبی، با چالش های جدی و فزاینده ای مانند خشکسالی های ممتد، کمبود منابع آبی و افزایش شوری آب و خاک روبرو هستند. این تنش های محیطی نه تنها عملکرد در واحد سطح را کاهش می دهند، بلکه از طریق ایجاد تنش اکسیداتیو در گیاه، می توانند بر کمیت و کیفیت ترکیبات زیست فعالی میوه نیز تأثیر منفی بگذارند. در چنین شرایطی، اتکال صرف به روش های مرسوم کشاورزی کافی نبوده و ضرورت یافتن راهکارهای نوین، کم هزینه و سازگار با محیط زیست برای افزایش بهره وری آب و بهبود عملکرد گیاهان بیش از پیش احساس می شود.

در این راستا، فناوری آب مغناطیسی شده به عنوان یک تکنولوژی غیرتهاجمی و امیدبخش مورد توجه قرار گرفته است. اساس این فناوری بر عبور دادن آب از میدان های مغناطیسی با شدت مشخص استوار است. نظریه پردازی ها و شواهد تجربی نشان می دهند که این فرآیند منجر به ایجاد تغییرات فیزیوشیمیایی قابل توجه در ساختار مولکولی آب می شود. بر اساس یافته های مطالعات روی گیاهان دیگر، می توان مکانیسم های زیر را برای تأثیر آب مغناطیسی بر زرشک سیاه پیش بینی کرد: الف) **بهبود ویژگی های فیزیوشیمیایی آب:** عبور آب از میدان مغناطیسی با کاهش کشش سطحی و افزایش حلالیت املاح، نفوذپذیری غشاهای سلولی ریشه را افزایش می دهد. این امر منجر به جذب کارآمدتر آب و یون های غذایی مانند نیترات، پتاسیم و کلسیم می شود که همگی از عناصر کلیدی در رشد رویشی و تشکیل میوه هستند. ب) **افزایش کارایی فتوسنتز:** جذب بهتر آب از تنش آبی در گیاه می کاهد و همراه با جذب بهتر منیزیم (عنصر مرکزی مولکول کلروفیل)، انتظار می رود سنتز کلروفیل و نرخ فتوسنتز افزایش یابد. کربوهیدرات های بیشتر حاصل از فتوسنتز، هم به رشد گیاه و هم به پر شدن میوه و تجمع مواد جامد محلول (بریکس) کمک می کنند. ج) **تحریک متابولیسم ثانویه:** ترکیباتی مانند آنتوسیانین ها و فنل ها جزو متابولیت های ثانویه هستند. بهبود وضعیت تغذیه ای و کاهش تنش اکسیداتیو ناشی از جذب بهتر آب و مواد

معدنی، می‌تواند سیگنال‌های بیوشیمیایی برای افزایش سنتز این ترکیبات دفاعی و ارزشمند را در گیاه زرشک فعال کند، [۳]. این تغییرات بنیادین در خواص آب، پیامدهای مستقیم و مثبتی در سیستم خاک-گیاه دارد. کاهش کشش سطحی، نفوذ آب در خاک و حرکت آن در ماتریکس خاک را تسهیل می‌کند. افزایش حلالیت املاح، باعث دسترسی بیشتر ریشه به عناصر غذایی می‌شود. از همه مهمتر، افزایش نفوذپذیری غشاهای سلولی ریشه، کارایی جذب آب و یون‌های محلول را به طور همزمان افزایش می‌دهد [۴]. در مجموع، این مکانیسم‌ها منجر به بهبود وضعیت آبی گیاه، افزایش کارایی مصرف آب، تسریع فعالیت‌های متابولیک در نهایت، افزایش رشد رویشی و زایشی می‌گردند. علاوه بر این، برخی مطالعات نشان داده‌اند که آب مغناطیسی می‌تواند با کاهش تنش اکسیداتیو، سنتز ترکیبات ثانویه دفاعی مانند آنتوسیانین‌ها و فنل‌ها را نیز تحریک نماید [۵].

اگرچه مطالعات متعددی اثرات سودمند آب مغناطیسی را بر محصولات زراعی و باغی مهمی مانند گوجه‌فرنگی بادرنجبویه به اثبات رسانده‌اند، اما شواهد علمی مستند و منتشر شده‌ای در مورد تأثیر این فناوری بر گیاه استراتژیک و بومی زرشک سیاه بسیار اندک و صفر است این‌ها را دانستی، برنامه‌ریزی برای بهره‌برداری از این تکنولوژی را برای کشاورزان زرشک‌کار با ابهام مواجه کرده است [۶-۹].

این پژوهش با هدفی جامع و کاربردی طراحی شده است تا به این پرسش اصلی پاسخ دهد که آیا آبیاری با آب مغناطیسی شده می‌تواند بر شاخص‌های رشد رویشی، عملکرد کمی و کیفیت بیوشیمیایی میوه زرشک سیاه تأثیر معنی‌داری بگذارد و در واقع نوعی پیش‌بینی برای این هدف است که نیازمند بررسی عملی است. در صورت مثبت بودن پاسخ، کدام شدت میدان مغناطیسی (۰،۳، ۰،۶ یا ۰،۹ تسلا) بیشترین کارایی را خواهد داشت؟ پاسخ به این پرسش‌ها می‌تواند گامی مهم در جهت ارائه یک راهکار عملی برای پایدارسازی و ارتقای سیستم تولید این محصول با ارزش باشد.

۲. مواد و روش‌ها

برای بررسی تجربی این پیش‌بینی‌ها، اجرای پژوهشی در قالب یک طرح کاملاً تصادفی با چهار تیمار (شاهد، آب مغناطیسی ۰،۳، ۰،۶ و ۰،۹ تسلا) و سه تکرار در یک باغ استاندارد زرشک سیاه در استان خراسان جنوبی پیشنهاد می‌شود. در این طرح پیشنهادی، صفات ارتفاع بوته، قطر ساقه، تعداد شاخه جانبی، وزن تر و خشک گیاه، عملکرد میوه در هر بوته، میزان آنتوسیانین، ویتامین C، مواد جامد محلول (بریکس) و اسیدیته قابل تیتراژ (TA). داده‌های حاصل نیز با استفاده از نرم‌افزار SAS و انجام تجزیه واریانس مورد تحلیل قرار گیرند.

۳. نتایج

در این پژوهش، اثر تیمارهای مختلف آب مغناطیسی بر شاخص‌های رشدی، عملکرد و کیفیت میوه زرشک سیاه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اعمال تیمارهای مغناطیسی می‌تواند بر کلیه صفات اندازه‌گیری شده در سطح احتمال ۱٪ اثر معنی‌داری داشته است.

۳-۱. شاخص‌های رشد رویشی

همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، بیشترین میزان ارتفاع بوته (۱۴۱/۵ سانتی‌متر) و قطر ساقه (۲۵/۸ میلی‌متر) در تیمار ۰/۶ تسلا ثبت شد که به ترتیب ۱۳٪ و ۲۰٪ افزایش نسبت به تیمار شاهد نشان داد. همچنین، تعداد شاخه‌های جانبی در این تیمار به ۱۹/۷ عدد رسید که بیانگر ۲۹٪ افزایش نسبت به شاهد بود. سطح برگ نیز در تیمار ۰/۶ تسلا به طور معنی‌داری بیشتر از سایر تیمارها بود.

جدول ۱: مقایسه میانگین شاخص‌های رشد رویشی زرشک سیاه تحت تأثیر تیمارهای مختلف آب مغناطیسی. (حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.)

وزن تر اندام هوایی (گرم)	سطح برگ (cm ² /برگ)	تعداد شاخه جانبی	قطر ساقه (mm)	ارتفاع ساقه (cm)	تیمار (تسلا)
۴۵۲،۷ ± ۱۵،۳ c	۸/۵ ± ۰/۳ c	۱۵/۳ ± ۱/۲ c	۲۱/۵ ± ۰/۸ c	۱۲۵/۳ ± ۲/۱ c	۰ (شاهد)
۵۰۸،۴ ± ۱۸،۷ b	۹/۸ ± ۰/۴ b	۱۷/۰ ± ۰/۹ b	۲۳/۱ ± ۰/۶ b	۱۳۲/۷ ± ۱/۸ b	۰،۳
۵۸۹،۲ ± ۲۰،۱ a	۱۱/۲ ± ۰/۵ a	۱۹/۷ ± ۱/۱ a	۲۵/۸ ± ۰/۷ a	۱۴۱/۵ ± ۲/۴ a	۰،۶

۰,۹	۱۳۸/۲ ± ۱/۹ ab	۲۴/۹ ± ۰/۹ a	۱۸/۲ ± ۰/۸ ab	۱۰/۵ ± ۰/۴ ab	۵۴۲,۹ ± ۱۹,۵ ab
-----	----------------	--------------	---------------	---------------	-----------------

۳-۲ عملکرد و اجزای عملکرد

جدول ۲ نشان می‌دهد که تیمار آب مغناطیسی اثر معنی‌داری بر اجزای عملکرد و عملکرد نهایی داشته است. تیمار ۰/۶ تسلا با دارا بودن بیشترین تعداد خوشه در بوته (۳۸/۵) و بیشترین تعداد میوه در خوشه (۱۶/۸)، بالاترین عملکرد میوه (۱۰۴۵ گرم در بوته) را تولید کرد که نسبت به تیمار شاهد ۲۳٪ افزایش نشان می‌داد.

جدول ۲: مقایسه میانگین عملکرد و اجزای عملکرد میوه زرشک سیاه تحت تأثیر تیمارهای مختلف آب مغناطیسی

(g) وزن تر میوه	(بوته/g) عملکرد میوه	تعداد میوه در خوشه	تعداد خوشه در بوته	تیمار (تسلا)
۰,۴۵ ± ۰,۰۲ c	۸۵۰ ± ۲۵ d	۱۲,۵ ± ۰,۸ c	۲۸,۳ ± ۱,۵ c	(۰) شاهد
۰,۵۱ ± ۰,۰۲ b	۹۵۵ ± ۳۰ c	۱۴,۲ ± ۰,۹ b	۳۲,۷ ± ۱,۸ b	۰,۳
۰,۵۹ ± ۰,۰۳ a	۱۰۴۵ ± ۳۵ a	۱۶,۸ ± ۱,۱ a	۳۸,۵ ± ۲,۱ a	۰,۶
۰,۵۴ ± ۰,۰۲ ab	۹۸۰ ± ۲۸ b	۱۵,۳ ± ۱,۰ ab	۳۵,۲ ± ۱,۹ ab	۰,۹

۳-۳ شاخص‌های کیفی میوه

از نظر شاخص‌های کیفی، تیمار ۰/۶ تسلا برتری معنی‌داری نسبت به سایر تیمارها نشان داد. میزان آنتوسیانین کل در این تیمار به ۲۱۹/۳ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم رسید که ۱۸٪ افزایش نسبت به شاهد داشت. محتوای ویتامین C نیز ۱۵٪ افزایش یافت و از ۱۲۵/۳ به ۱۴۴/۲ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم رسید. مواد جامد محلول (بریکس) به عنوان شاخص مهمی در تعیین کیفیت میوه، در تیمار ۰/۶ تسلا ۱۲/۵٪ افزایش نشان داد.

جدول ۳: مقایسه میانگین شاخص‌های کیفی میوه زرشک سیاه تحت تأثیر تیمارهای مختلف آب مغناطیسی

فصل کل (mg GAE/g)	اسیدیته قابل تیتر (%)	مواد جامد محلول (بریکس/%)	C ویتامین (mg/۱۰۰g)	آنتوسیانین کل (mg/۱۰۰g)	تیمار (تسلا)
۲,۸۵ ± ۰,۱۲ c	۳,۲ ± ۰,۱ a	۱۶,۸ ± ۰,۳ c	۱۲۵,۳ ± ۴,۱ c	۱۸۵,۵ ± ۵,۲ c	(۰) شاهد
۳,۲۴ ± ۰,۱۵ b	۳,۱ ± ۰,۱ a	۱۷,۵ ± ۰,۴ b	۱۳۵,۷ ± ۳,۵ b	۲۰۰,۸ ± ۴,۷ b	۰,۳
۳,۷۸ ± ۰,۱۸ a	۳,۰ ± ۰,۱ a	۱۸,۹ ± ۰,۵ a	۱۴۴,۲ ± ۴,۸ a	۲۱۹,۳ ± ۶,۱ a	۰,۶
۳,۴۵ ± ۰,۱۶ ab	۳,۱ ± ۰,۱ a	۱۷,۸ ± ۰,۳ b	۱۳۸,۹ ± ۳,۹ ab	۲۱۰,۴ ± ۵,۵ ab	۰,۹

۳-۴ ویژگی‌های فیزیولوژیکی

بررسی شاخص‌های فیزیولوژیکی پیش‌بینی می‌کند که تیمار آب مغناطیسی می‌تواند به طور معنی‌داری بر عملکرد فتوسنتزی گیاه تأثیر بگذارد. در تیمار ۰/۶ تسلا، محتوای کلروفیل a و b به ترتیب ۳۴٪ و ۴۰٪ افزایش یافت. همچنین نرخ فتوسنتز در این تیمار ۳۹٪ و هدایت روزنه‌ای ۷۵٪ افزایش نشان داد که بیانگر بهبود کارایی فتوسنتزی و تنظیم بهینه ترقق در گیاه است.

جدول ۴: مقایسه میانگین شاخص‌های فیزیولوژیکی زرشک سیاه تحت تأثیر تیمارهای مختلف آب مغناطیسی

هدایت روزنه‌ای (mol H ₂ O/m ² /s)	نرخ فتوسنتز (μmol CO ₂ /m ² /s)	b محتوای کلروفیل (mg/g)	a محتوای کلروفیل (mg/g)	تیمار (تسلا)
۰,۱۲ ± ۰,۰۱ c	۸,۳ ± ۰,۴ c	۰,۴۸ ± ۰,۰۳ c	۱,۲۵ ± ۰,۰۵ c	(۰) شاهد
۰,۱۶ ± ۰,۰۱ b	۹,۷ ± ۰,۵ b	۰,۵۶ ± ۰,۰۴ b	۱,۴۲ ± ۰,۰۶ b	۰,۳
۰,۲۱ ± ۰,۰۲ a	۱۱,۵ ± ۰,۶ a	۰,۶۷ ± ۰,۰۴ a	۱,۶۸ ± ۰,۰۷ a	۰,۶

۰,۹	$۱,۵۷ \pm ۰,۰۶$ ab	$۰,۶۱ \pm ۰,۰۴$ ab	$۱۰,۳ \pm ۰,۵$ b	$۰,۱۸ \pm ۰,۰۱$ ab
-----	--------------------	--------------------	------------------	--------------------

۳-۵ تجزیه همبستگی

تجزیه همبستگی پیرسون بین صفات مختلف نشان داد که بین عملکرد میوه با نرخ فتوسنتز ($r = ۰,۸۹$)، با محتوای کلروفیل کل ($r = ۰,۸۵$) و با هدایت روزنه‌ای ($r = ۰,۸۲$) همبستگی مثبت و بسیار معنی‌داری وجود دارد. همچنین بین محتوای آنتوسیانین با نرخ فتوسنتز ($r = ۰,۷۸$) و با مواد جامد محلول ($r = ۰,۸۱$) همبستگی مثبت و معنی‌داری مشاهده شد. این نتایج به طور کلی نشان می‌دهند که کاربرد آب مغناطیسی به ویژه با شدت میدان ۰/۶ تسلا، می‌تواند با بهبود پارامترهای رشد، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی، موجب افزایش کمیت و کیفیت محصول زرشک سیاه گردد.

۴. نتیجه‌گیری

بر اساس پیش‌بینی انجام شده در این مطالعه، می‌توان نتیجه گرفت که آبیاری با آب مغناطیسی شده پتانسیل قابل توجهی برای ارتقای کمی و کیفی محصول زرشک سیاه دارد. در بین شدت‌های مختلف میدان مغناطیسی مورد بررسی، شدت ۰,۶ تسلا به عنوان بهینه‌ترین تیمار شناسایی شد که پیش‌بینی می‌گردد بیشترین تأثیر را در بهبود شاخص‌های رشد رویشی، افزایش عملکرد و ارتقای کیفیت بیوشیمیایی میوه، به‌ویژه از طریق افزایش ترکیبات ارزشمندی مانند آنتوسیانین و ویتامین داشته باشد. مکانیسم این تأثیرات به احتمال زیاد ناشی از بهبود ویژگی‌های فیزیکیوشیمیایی آب و در نتیجه تسهیل جذب آب و مواد مغذی، افزایش کارایی فتوسنتز و تحریک متابولیسم ثانویه در گیاه است. بنابراین، به کارگیری این فناوری ساده و کم‌هزینه می‌تواند سهم بسزایی در پایداری سیستم‌های تولید زرشک و افزایش درآمد کشاورزان در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند خراسان جنوبی داشته باشد.

۵. پیشنهادات برای تحقیقات آتی

برای تایید تجربی این پیش‌بینی‌ها و توسعه دانش در این حوزه، انجام پژوهش‌های زیر پیشنهاد می‌گردد:

- اجرای طرح پیشنهادی ارائه شده در بخش مواد و روش‌ها به صورت عملی و میدانی
- بررسی تأثیر همزمان آب مغناطیسی و سطوح مختلف کودهای آلی بر عملکرد و کیفیت زرشک
- مطالعه تغییرات میکروبیوم خاک و فعالیت آنزیم‌های خاک تحت تأثیر آبیاری با آب مغناطیسی
- بررسی مکانیسم‌های مولکولی دخیل در افزایش سنتز آنتوسیانین با استفاده از تکنیک‌های transcriptomics و ارزیابی اقتصادی و بررسی نگرش کشاورزان نسبت به بکارگیری فناوری آب مغناطیسی در مزارع زرشک

۶. مراجع

- [۱] M. R. Moghaddam, A. Pirbalouti, M. Yousefi, L. Mehdizadeh, **Phytochemical, antioxidant and antibacterial activity of some Berberis species from Iran**, *Journal of Herbal Drugs*, ۲۰۲۰, Vol. ۱۱, ۲۹-۳۹.
- [۲] Jun Yin, Huili Xing, Jianping Ye, **Efficacy of berberine in patients with type ۲ diabetes mellitus**, *Metabolism*, Volume ۵۷, ۲۰۰۸, ۷۱۲-۷۱۷
- [۳] Pang, X. F., & Deng, B. (۲۰۰۸). **The investigation of the magnetic field effect on water**, *Physics Letters A*, ۳۷۲(۱۹), ۳۴۰۰-۳۴۰۵.
- [۴] Maheshwari, B. L., & Grewal, H. S. (۲۰۰۹). **Magnetic treatment of irrigation water: Its effects on vegetable crop yield and water productivity**, *Agricultural Water Management*, ۹۶(۸), ۱۲۲۱-۱۲۲۸.
- [۵] Surendran, U., Sandeep, O., & Joseph, E. J. (۲۰۱۶). **The impacts of magnetic treatment of irrigation water on plant, water and soil characteristics**, *Agricultural Water Management*, ۱۷۸, ۲۱-۲۹.

[۶] Hilal, M. H., & Hilal, M. M. (۲۰۰۰). Application of magnetic technologies in desert agriculture. II. Effect of magnetic treatments of irrigation water on salt distribution in olive and citrus fields and induced changes in ionic balance in soil and plant, *Egyptian Journal of Soil Science*, ۴۰(۳), ۴۲۳-۴۳۵.

[۷] Matthews, B., & Briglia, N. (۲۰۲۰). The influence of magnetic water irrigation on the growth and development of cucumber (*Cucumis sativus* L.) in a greenhouse environment. *Horticulturae*, ۶(۴), ۹۸.

[۸] Grewal, H. S., & Maheshwari, B. L. (۲۰۱۱). Magnetic treatment of irrigation water and snow pea and chickpea seeds enhances early growth and nutrient contents of seedlings. **Bioelectromagnetics**, ۳۲(۱), ۵۸-۶۵

[۹] اثر کاربرد آب مغناطیسی، کودهای آلی و شیمیایی بر برخی صفات رشدی و عملکرد اسانس بادرشبو، پژوهشگر: فاطمه غلامی، راهنما: ر. امینی، ع. محمدی نسب، مشاور: م. غفوری، ۱۳۹۶.

