فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد ۱۴، شماره ۶۵، خرداد و تیرماه ۱۴۰۴ صفحه: ۲۴۵-۲۶۳
https://doi.org/10.22034/14.66.245

مقاله پژوهشی

# تأثیر آب مغناطیسی بر برخی خصوصیات مورفولوژیکی، بیوشیمیایی و پاسخ‌های هورمونی آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) تحت تنش علف‌کش سوپرگالانت

زینب دهقان[1] و جلیل خارا[2*]
[1] گروه آموزش زیست‌شناسی، دانشگاه فرهنگیان، تهران، ایران
[2] گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
(تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۲۲، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۴/۰۲/۰۹)

**چکیده**

**به منظور بررسی اثرات تنش علف‌کش سوپرگالانت بر فعالیت‌های مورفولوژیکی و بیوشیمیایی و پاسخ‌های هورمونی گیاه آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) رقم لاکومکا، تحت تیمار با آب مغناطیسی، آزمایشی به‌صورت طرح کاملاً تصادفی با چهار سطح غلظت علف‌کش (صفر، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ میلی‌گرم بر لیتر) در سه تکرار در اتاق کشت گروه زیست‌شناسی دانشگاه ارومیه در سال ۱۳۹۷ انجام شد. گلدان‌ها در طول دوره کاشت به مدت دو هفته با آب‌مقطر (گیاهان شاهد) و آب مغناطیسی (گیاهان تحت تیمار) و از هفته سوم با محلول نیم غلظت هوگلند به‌صورت یک روز در میان آبیاری شدند. در مرحله چهار تا شش برگی، غلظت‌های مختلف علف‌کش به بخش هوایی گیاهان اسپری شد. اثرات علف‌کش بر روی پارامترهای اندازه‌گیری‌شده در گیاهان شاهد و گیاهان تحت تیمار با آب مغناطیسی کاملاً مشهود بود. افزایش مقدار جیبرلین در گیاهان تحت تیمار با آب مغناطیسی، کاهش مقدار اکسین بخش هوایی در هر دو گروه از گیاهان، افزایش مقدار اکسین ریشه در گیاهان شاهد، افزایش مقدار پرولین و محتوای قند محلول در هر دو گروه از گیاهان، کاهش محتوای پروتئین و وزن خشک در هر دو گروه از گیاهان که همگی معنی‌دار بودند، مشاهده شد. در شرایط تنش علف‌کش سوپرگالانت، با افزایش غلظت علف‌کش، مقدار آسیب وارده به گیاه بیشتر شد که گیاه برای مقابله با این شرایط با افزایش پرولین و قندهای محلول پاسخ داد.**

**واژه‌های کلیدی: پروتئین، لاکومکا، اکسین، پرولین، جیبرلین، قند محلول**

**مقدمه**

به‌منظور افزایش تولید روغن نباتی، کلزا برای دیمزارهای گرمسیر، گلرنگ برای مناطق سرد و معتدل، و آفتابگردان برای هر سه اقلیم مناسب تشخیص داده شده‌اند. آفتابگردان زراعی (*Helianthus annuus* L.) گیاهی است یک‌ساله از تیره کاسنی (Asteraceae) که به‌صورت بوته‌ای استوار رشد می‌کند و دارای ریشه‌ای توسعه‌یافته است. ایـن گیاه چهارمین منبع تولید جهانی روغن و چربی گیاهی به شمار می‌آید. آفتابگردان در خاک‌هایی که بافت آن‌ها از شنی تا رسی تغییر می‌کند، به‌خوبی رشد می‌کند و طول دوره رویشی بسته به رقم آن حدود ۳ تا ۵ ماه است (خواجه‌پور، ۱۳۹۱). دانه آفتابگردان بسته به رقم، ۲۶ تا ۵۰ درصد روغن دارد که به‌دلیل داشتن اسیدهای چرب مفید و بدون اسید چرب مضر، در جهان بسیار مورد استقبال است (Seiler, 2007).

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: j.khara@urmia.ac.ir; jakhara@yahoo.cm

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26 ]
[ DOI: DOI: 10.22034/14.66.245 ]

برای کنترل مؤثر علف‌های هرز، شناخت فیزیولوژی آن‌ها و فیزیولوژی علف‌کش‌ها ضروری است، زیرا این گیاهان با رشد خود منابع گیاهان زراعی را کاهش داده و عملکرد آن‌ها را پایین می‌آورند (Cobb and Reade, 2010). از میان مسیرهای متابولیکی، مهم‌ترین آن‌ها متابولیسم کربوهیدرات‌ها، اسیدهای آمینه، پلی‌آمین‌ها و چربی‌ها هستند (Arbona *et al.*, 2013). از آنزیم‌های مهم دخیل در متابولیسم اسیدهای چرب که توسط علف‌کش‌ها هدف قرار می‌گیرند، می‌توان به استیل CoA- کربوکسیلاز (ACCase) اشاره کرد. ACCase نقش حیاتی در سنتز اسیدهای چرب ایفا می‌کند (Takano *et al.*, 2020). در دوره‌های تنش، لیپیدها نقش‌های حیاتی دارند که شامل سیالیت و یکپارچگی غشا، به‌عنوان مولکول‌های سیگنال‌دهی و مدیریت تنش اکسیداتیو است (Liu *et al.*, 2019). علف‌کش‌های فوپ در بازدارندگی فعالیت آنزیم استیل کوآنزیم آکربوکسیلاز (ACCase) یکی از آنزیم‌های اولیه در ساخت اسیدهای چرب نقش دارند. علف‌کش‌های گروه فوپ با مهار آنزیم ACCase در گیاهان باریک‌برگ، سنتز اسیدهای چرب و در نتیجه تشکیل غشا را مختل می‌کنند. این علف‌کش‌ها عمدتاً از طریق برگ جذب‌شده و در شرایط دمای بالا، رطوبت نسبی و نور کم، جذب بیشتری دارند. بررسی‌ها در مزارع کلزای استان بوشهر نشان داد ترکیب سوپرگالانت با لونترال، بوتیسان استار و سایر علف‌کش‌ها موجب کاهش معنی‌دار علف‌های هرز و افزایش عملکرد دانه می‌شود. بنابراین، کاربرد هم‌زمان پس‌رویشی این ترکیبات، روش مؤثری برای کنترل علف‌های هرز کلزا است (میری و رحیمی، ۱۳۸۸).

در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران، یکی از عوامل محدودکننده در بخش آبیاری، کمبود منابع آب است که می‌توان با اجرای راهکارهایی برای صرفه‌جویی مؤثر در آب آن را جبران کرد (Chegah *et al.*, 2013; Albaji *et al.*, 2009; Abyaneh *et al.*, 2017; Neissi *et al.*, 2020). بخش کشاورزی حدود ۹۰ درصد آب قابل استحصال کشور را به‌دلیل راندمان پایین آبیاری مصرف می‌کند، بنابراین افزایش بهره‌وری آبیاری ضروری است. یکی از روش‌های مؤثر، عبور دادن آب از میدان مغناطیسی است که باعث تغییر در ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب مانند یکنواختی ساختار، بو، طعم، قطبیت، چسبندگی سطحی، قابلیت حل‌شدن، ویسکوزیته، شوری و سختی می‌شود (Ahmadi, 2010). از آنجا که تیمار مغناطیسی آب ماده‌ای به آب اضافه یا از آن حذف نمی‌کند، به‌عنوان یک فناوری ارزان، بی‌خطر و دوستدار محیط‌زیست شناخته می‌شود.

اعمال میدان مغناطیسی باعث منظم و کوچک‌شدن مولکول‌های آب شده و جذب آب توسط گیاه را افزایش می‌دهد؛ در نتیجه مصرف آب کاهش می‌یابد. این فرآیند با افزایش خاصیت ترشوندگی، زمان آبیاری را نیز کاهش می‌دهد. همچنین استفاده از آب مغناطیسی موجب جذب بهتر عناصر غذایی خاک و کاهش نیاز به کود، سم و مکمل‌های شیمیایی می‌شود که به سلامت غذا و محیط‌زیست کمک می‌کند. گزارش‌هایی نیز بر تأثیر مثبت میدان مغناطیسی بر کیفیت آب، افزایش عملکرد محصولات و بهره‌وری آب تأکید دارند (Lin and Yotvat, 1990; Maheshwari and Grewal, 2009). پالایش آب از طریق اعمال میدان مغناطیسی که جز روش‌های تصفیه فیزیکی به شمار می‌رود، برخی ویژگی‌های آن مانند آرایش بارهای الکتریکی مولکول‌های آب، چگالی، کشش سطحی و سرعت تبخیر را تغییر می‌دهد (Leather Wood, 2005). به‌بیان دیگر، بعضی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب مانند کشش سطحی، قابلیت حل نمک‌ها، ضریب شکست نور و اسیدیته آبی که در معرض میدان مغناطیسی قرار گرفته است، تغییر می‌کند (Castro Palacio *et al.*, 2007).

با هدف بررسی تأثیر آب مغناطیسی بر رشد و عملکرد برخی محصولات زراعی شامل تعدادی گیاه تک‌لپه‌ای و دولپه‌ای در شرایط گلخانه‌ای، آزمایش‌هایی انجام شده است. طی این بررسی‌ها معلوم شده استفاده از آب مغناطیسی موجب بهبود رشد رویشی، افزایش برخی شاخص‌های بیوشیمیایی و بهبود عملکرد گیاهان مورد مطالعه می‌شود (Hozayn *et al.*, 2016). به عنوان مثال، Maheshwari و Grewal (۲۰۰۹) تیمار مغناطیسی آب آبیاری باعث بهبود عملکرد و بهره‌وری آب در

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26 ]

[ DOI: DOI: 10.22034/14.66.245 ]

گیاهان کرفس (*Apium graveolens*) و نخودفرنگی (*Pisum sativum* var. macrocarpon) شد. این نتایج نشان‌دهنده تأثیر مثبت آب مغناطیسی بر عملکرد و مصرف بهینه آب است (نیکبخت و همکاران، ۱۳۹۰). تأثیر آبیاری کم‌بازده با آب تیمارشده مغناطیسی را بر عملکرد و کارایی مصرف آب بررسی کردند. این نتایج نشان‌دهنده تأثیر مثبت آب مغناطیسی بر رشد و بهره‌وری مصرف آب گیاهان است. در این راستا، بانژاد و همکاران (۱۳۹۲) نشان داده‌اند که آب مغناطیسی در مقایسه با آب غیرمغناطیسی موجب افزایش معنی‌دار عملکرد ریحان (*Ocimum basilicum* L.) می‌شود.

در یک پژوهش مرتبط، Mahmoudi و همکاران (۲۰۱۴) مشاهده کردند که تیمار مغناطیسی بذر نخود (*Cicer arietinum* L.) ماده خشک را ۲۶٪ افزایش داد و نیز مغناطیسی‌کردن آب آبیاری و بذر به ترتیب باعث افزایش ۲۷٪ و ۱۹٪ در عملکرد دانه شد. همچنین، Mohammadian و همکاران (۲۰۱۴) گزارش دادند که عبور آب شور از میدان مغناطیسی عملکرد کل میوه فلفل سبز را افزایش داد. علاوه بر آن، Surendran و همکاران در سال ۲۰۱۶ نشان دادند که تیمار مغناطیسی آب آبیاری رشد و عملکرد لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata*) و بادمجان (*Solanum melongena*) را بهبود می‌دهد.

آقامیر و بهرامی (۱۳۹۷) دریافتند که میدان مغناطیسی تأثیر زیادی بر ویژگی‌های شیمیایی کلی آب ندارد، اما باعث تغییر در غلظت عناصری مانند سدیم، کلر، کلسیم و منیزیم می‌شود. همچنین با افزایش شوری، جذب مواد مغذی پرمصرف و درصد پروتئین کاهش و جذب ریزمغذی‌ها و سدیم افزایش یافت.

از سوی دیگر، Kareem (۲۰۱۸) نشان داد که آب مغناطیسی باعث افزایش کارایی مصرف آب و کاهش مصرف آن در برخی گیاهان دولپه‌ای می‌شود. مطالعه Dastorani و همکاران (۲۰۲۲) بیانگر این است که آب مغناطیسی‌شده بهره‌وری آب آبیاری، ارتفاع ساقه، وزن صد دانه و زیست‌توده آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) را افزایش می‌دهد.

با توجه به چالش‌های روزافزون در حوزه کشاورزی از جمله محدودیت منابع آبی، کاهش حاصلخیزی خاک، و افزایش مقاومت علف‌های هرز به علف‌کش‌ها، نیاز به بهره‌گیری از راهکارهای نوین و تلفیقی برای افزایش بهره‌وری و پایداری تولید محصولات زراعی بیش از پیش احساس می‌شود. گیاه آفتابگردان به عنوان یک دانه روغنی مهم، در مراحل اولیه رشد خود نسبت به رقابت علف‌های هرز حساس است و کاهش عملکرد قابل توجهی را تجربه می‌کند. از سوی دیگر، بهره‌گیری از آب مغناطیسی به عنوان یکی از فناوری‌های نوین کشاورزی، می‌تواند با بهبود ویژگی‌های فیزیولوژیک گیاه، موجب افزایش مقاومت به تنش‌ها و کاهش مصرف نهاده‌ها گردد. از این رو، پژوهش حاضر با هدف بررسی اثرات علف‌کش سوپرگالانت بر برخی صفات رشدی آفتابگردان و همچنین ارزیابی نقش تقویتی آب مغناطیسی در بهبود پاسخ گیاه به این علف‌کش انجام گرفت تا امکان بهره‌گیری هم‌زمان از فناوری‌های نوین در مدیریت علف‌های هرز و افزایش بهره‌وری آب بررسی شود.

## مواد و روش‌ها

آزمایش به‌صورت طرح کاملاً تصادفی با چهار سطح غلظت علف‌کش سوپرگالانت (صفر، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ میلی‌گرم بر لیتر) در سه تکرار در اتاق کشت گروه زیست‌شناسی دانشگاه ارومیه در سال ۱۳۹۷ انجام شد. بذرهای آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) رقم "لاکومکا" که از مرکز تحقیقات کشاورزی همدان تهیه شده بود، با استفاده از محلول هیپوکلریت سدیم ۱۰٪ به مدت ۱۰ دقیقه ضدعفونی شده (خیاط و همکاران، ۱۳۹۰؛ Taski-Ajdukovic and Vasic, 2005) و با آب‌مقطر کاملاً شسته شد. رقم لاکومکا یک رقم روغنی روسی بوده که در منطقه کشت آفتابگردان در خوی به علت پرمحصول بودن و نیز مقاومت خوب به سرما، به فراوانی کشت می‌شود (حسنی جبارلو و همکاران، ۱۳۸۷). از گلدان‌هایی استریل با ابعاد متوسط استفاده شد که از مخلوط خاک و ماسه شسته شده و استریل با نسبت ۱:۵ پرشده بودند. در داخل هر گلدان حدود

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26 ]
[ DOI: DOI: 10.22034/14.66.245 ]

۱۰ بذر قرار گرفت که بعدها به پنج بذر کاهش یافت. اتاقک رشد با دمای شبانه‌روزی ۱۸:۳۰ و رطوبت نسبی ۷۰ تا ۸۰ درصد و دوره نوری ۱۶: ۸ (روز و شب) به مدت پنج هفته مورد استفاده قرار گرفت. گلدان‌ها در طول این دوره به مدت دو هفته با آب‌مقطر (گیاهان شاهد) و آب مغناطیسی (گیاهان تحت تیمار) و از هفته سوم با محلول نیم غلظت هوگلند به‌صورت یک روز در میان آبیاری شدند. در مرحله چهار تا شش برگی، غلظت‌های مختلف علف‌کش به بخش هوایی گیاهان اسپری شد. پس از پایان دوره رشدی ۳۵ روزه و دو هفته پس از اعمال علف‌کش، تمام گلدان‌ها برای دقایقی در یک استخر آب غوطه‌ور شدند و هنگامی که ریشه‌ها به آرامی از خاک جدا شدند، گیاهان برای آنالیزهای بیوشیمیایی برداشت شدند. برای تعیین وزن خشک ریشه‌ها و اندام هوایی، گیاهان به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون قرار داده شدند. سپس وزن خشک این نمونه‌ها با ترازو با دقت سه رقم اعشار اندازه‌گیری شد.

محتوای قندهای محلول با استفاده از روش فنل سولفوریک (Dubois *et al.*,1956) محاسبه شد. برای انجام آزمایش ۰/۱ گرم از بافت خشک هر یک از اندام‌های هوایی و ریشه‌ها پس از ساییده شدن و گذرانیدن از الک، با ترازو وزن شد و در لوله آزمایش ریخته شد. سپس به هر یک از این لوله‌ها ۵ میلی‌لیتر اتانول ۷۰ ٪ اضافه شد. لوله‌ها به مدت یک هفته در یخچال و در دمای ۵ درجه قرار گرفتند تا قندهای محلول از داخل بافت‌ها آزاد شوند و وارد محلول گردند. پس از یک هفته از محلول نمونه‌ها، به مقدار ۰/۵ میلی‌لیتر برداشته و حجم آن با آب‌مقطر به ۲ میلی‌لیتر رسانده شد. روی هر یک از لوله‌های آزمایش ۱ میلی‌لیتر فنل ۹۵٪ اضافه شده و به‌هم زده شد. سپس ۵ میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ با فشار اضافه شد. محلول زرد رنگی تشکیل می‌شود که به مرور زمان تغییر رنگ می‌دهد. پس از سپری‌شدن، نمونه‌ها به مدت نیم ساعت در دمای آزمایشگاه، خنک شده و رنگ نهایی تشکیل می‌شود. شدت رنگ حاصله با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۴۸۵ نانومتر اندازه‌گیری شد. برای تعیین پروتئین کل روش فولن- لوری (Lowry *et al.*,1951) به کار گرفته شد. اساس آزمایش بر هیدرولیز پروتئین‌ها و آزادشدن اسیدهای موجود در ساختمان پروتئین‌هاست که با معرف فولین سیوکالتئو کمپلکس رنگی ایجاد می‌کند. شدت رنگ حاصله به‌وسیله دستگاه اولترا اسپکتروفتومتر LKB در طول‌موج ۶۶۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. همچنین، محتوای پرولین با روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) اندازه‌گیری شد. برای سنجش اکسین، میزان جذب نوری نمونه‌ها در طول‌موج ۵۳۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد (Suzuki *et al.*, 2002). برای سنجش هورمون جیبرلین جذب محلول در طول‌موج ۲۵۴ نانومتر به کمک اسپکتروفتومتر خوانده شد (Berrios *et al.*, 2004). تجزیه آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS ورژن ۲۰ و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن، در سطح ۵ درصد انجام شد.

## نتایج و بحث

علف‌کش سوپرگالانت یک علف‌کش پس رویشی است که در مزارع پهن‌برگ برای از بین بردن علف‌های باریک برگ استفاده می‌شود و نباید بر گیاهان پهن‌برگ صدمه‌ای وارد کند. اما در مطالعه حاضر، چند روز پس از اعمال علف‌کش، علائم کلروزیس (زردشدگی برگ‌ها) از حاشیه و نوک برگ‌ها شروع شد و به مرور زمان گسترش یافت. برگ‌های اولیه گیاه پژمرده شدند و آثار خشکیدگی بافت در برگ‌ها مشاهده گردید. این علائم مشابه با یافته‌های Carr و همکاران (۱۹۸۶) است که گزارش کردند علف‌کش‌های خانواده آریوکسی فنوکسی پروپیونات به سرعت جذب شاخ و برگ‌ها می‌شوند و در محل تماس موجب از بین‌بردن برگ‌ها و ایجاد گیاه‌سوزی در بافت‌های برگ می‌گردند.

در این مطالعه، علائم نکروز در اثر تماس با علف‌کش به‌وضوح مشاهده شد. این علائم به‌طور مستقیم با گزارش Cobb و Reade (۲۰۱۰) همخوانی دارد که بیان کردند در اثر کاربرد علف‌کش‌ها، تخریب پلاستیدها در برگ‌های جوان و زردشدگی در نتیجه مسمومیت با علف‌کش‌ها ایجاد می‌شود. همچنین، Naylor (۲۰۰۲) نیز ذکر کرده است که علائم خسارت علف‌کش‌ها شامل توقف سریع رشد شاخساره‌ای و

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26 ]

[ DOI: DOI: 10.22034/14.66.245 ]

**جدول ۱- تجزیه واریانس صفات در تیمارهای مختلف آزمایشی**

| منبع تغییرات | DF | میانگین مربعات | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | وزن خشک ریشه | وزن خشک اندام هوایی | پرولین ریشه | پرولین اندام هوایی | پروتئین ریشه | پروتئین اندام هوایی |
| غلظت علف‌کش | ۳ | ۰/۱۳۴$^{**}$ | ۰/۲۲۴$^{**}$ | ۰/۰۱۰$^{**}$ | ۰/۰۴۵$^{**}$ | ۱۳/۷۹۱$^{**}$ | ۳۱/۳۴۱$^{**}$ |
| آب مغناطیسی | ۱ | ۰/۰۱۷$^{**}$ | ۰/۰۰۱$^{ns}$ | ۰/۰۰۴$^{**}$ | ۰/۰۶۷$^{**}$ | ۳۱/۸۵۵$^{**}$ | ۱۰۷/۵۶۹$^{**}$ |
| اثرات متقابل دو عامل | ۳ | ۰/۰۰۳$^{ns}$ | ۰/۰۰۱$^{ns}$ | ۰/۰۰۱$^{**}$ | ۰/۰۳۰$^{**}$ | ۵/۶۳۹$^{**}$ | ۱۶/۵۰۱$^{**}$ |
| خطا | ۱۶ | ۰/۰۰۰۳۳ | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۰۰۱۶ | ۰/۰۰۱ | ۰/۳۶۹ | ۰/۴۷۵ |

**ns و ** به ترتیب معرف غیر معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد هستند.**

**ادامه جدول ۱-**

| منبع تغییرات | DF | میانگین مربعات | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | قند کل ریشه | قند کل اندام هوایی | اکسین ریشه | اکسین اندام هوایی | جیبرلین اندام هوایی |
| غلظت علف‌کش | ۳ | ۴۸۰/۹۶۷$^{**}$ | ۱۷۴۹/۴۵$^{**}$ | ۰/۰۰۰۳۵$^{**}$ | ۰/۰۲۸$^{**}$ | ۱/۲۹۰$^{**}$ |
| آب مغناطیسی | ۱ | ۵۸۰۰/۱۵$^{**}$ | ۱۲۹۹۲/۱$^{**}$ | ۰/۰۰۱$^{**}$ | ۰/۰۸۸$^{**}$ | ۱/۶۴۹$^{**}$ |
| اثرات متقابل دو عامل | ۳ | ۶/۵۶۲$^{ns}$ | ۱۱۱/۲۸$^{**}$ | ۰/۰۰۱$^{**}$ | ۰/۰۲۸$^{**}$ | ۰/۵۶۸$^{**}$ |
| خطا | ۱۶ | ۱۵/۶۰۵ | ۱۷/۸۷۵ | ۰/۰۰۰۰۴۱ | ۰/۰۰۰۰۱۶ | ۰/۰۴۷ |

**ns و ** به ترتیب معرف غیر معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد هستند.**

ریشه‌ای، تغییرات رنگ‌دانه‌ای برگ‌ها و کلروز پیش‌رونده است که مشابه با نتایج تحقیق حاضر است.

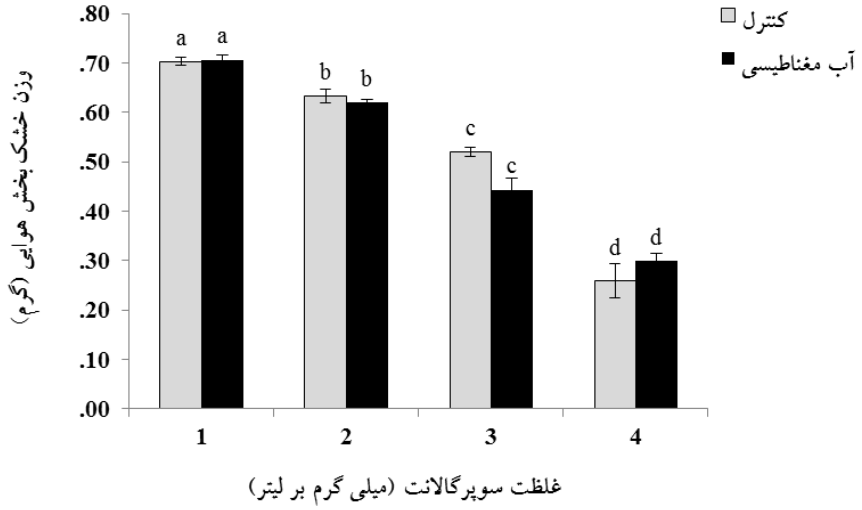
نتایج تجزیه واریانس نشان داد که کاربرد قارچ‌های میکوریزا تأثیر معنی‌داری بر افزایش وزن خشک ریشه در سطح احتمال ۰/۰۱ ($P \leq 0.01$) داشت. همچنین، اثر غلظت‌های مختلف علف‌کش سوپرگالانت بر محتوای پرولین، تنظیم‌کننده رشد گیاهی اکسین در ریشه و اندام هوایی، و همچنین تنظیم‌کننده رشد گیاهی جیبرلیک اسید، در سطح احتمال ۰/۰۱ معنی‌دار بود. تأثیر میکوریزا بر میزان پرولین ریشه و اندام هوایی، و نیز بر غلظت هورمون‌های اکسین و جیبرلیک اسید نیز در همین سطح احتمال معنی‌دار گزارش شد. علاوه بر این، اثرات متقابل بین میکوریزا و غلظت‌های مختلف علف‌کش، از لحاظ محتوای پرولین، اکسین (در ریشه و اندام هوایی)، و جیبرلیک اسید، در سطح احتمال ۰/۰۱ معنی‌دار بود. نتایج همچنین نشان داد که غلظت‌های مختلف سوپرگالانت تأثیر معنی‌داری بر محتوای پروتئین و قند کل ریشه و اندام هوایی داشت ($P \leq 0.01$). اثر میکوریزا بر این دو ترکیب بیوشیمیایی نیز در سطح احتمال ۰/۰۱ معنی‌دار ارزیابی شد. در نهایت، اثر متقابل میکوریزا و غلظت‌های مختلف علف‌کش از نظر محتوای پروتئین در ریشه و اندام هوایی و قند کل در اندام هوایی، در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار گزارش گردید (جدول ۱).

تیمار علف‌کش باعث کاهش وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی هم در گیاهان شاهد و هم در گیاهان تحت تیمار شد. با بررسی آماری داده‌های مربوط به وزن‌تر و خشک اندام هوایی و ریشه، در مقایسه بین گیاهان شاهد و تیمارشده، تفاوت معنی‌داری مشاهده شد (شکل‌های ۱ و ۲).

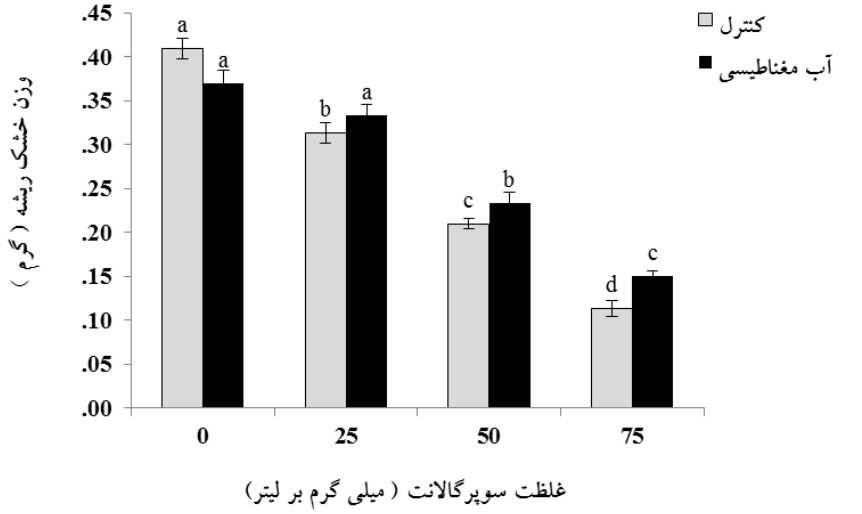
در خصوص تأثیر آبیاری با آب مغناطیسی، یافته‌های این تحقیق تأییدکننده گزارش‌های Ahmadi (۲۰۱۰) و Maheshwari و Grewal (۲۰۰۹) است که نشان می‌دهند

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26 ]

[ DOI: DOI: 10.22034/14.66.245 ]




**شکل ۱- اثر غلظت‌های مختلف علف‌کش سوپرگالانت بر وزن خشک بخش هوایی گیاهان آفتابگردان (شاهد و تحت تیمار با آب مغناطیسی). ستون‌ها میانگین سه تکرار، بارهای عمودی نشان‌دهنده انحراف معیار و حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵٪ است.**




**شکل ۲- اثر غلظت‌های مختلف علف‌کش سوپرگالانت بر وزن خشک ریشه گیاهان آفتابگردان (شاهد و تحت تیمار با آب مغناطیسی). ستون‌ها میانگین سه تکرار، بارهای عمودی نشان‌دهنده انحراف معیار و حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵٪ است.**

استفاده از آب مغناطیسی‌شده باعث افزایش جذب آب توسط گیاه و به تبع آن افزایش تقسیم سلولی و رشد گیاه می‌شود. طبق تحقیقات خنده‌رویان (۱۳۹۲) و قدمی فیروزآبادی و همکاران (۱۳۹۵)، آبیاری با آب مغناطیسی می‌تواند کارایی مصرف آب را افزایش دهد و این امر موجب رشد بهتر گیاه و افزایش سطح برگ و شاخص سطح برگ می‌شود که در این مطالعه نیز به وضوح مشاهده گردید. آبیاری با آب مغناطیسی می‌تواند رشد گیاه را تسریع کند، عملکرد محصول را افزایش دهد، موجب صرفه‌جویی در آب آبیاری شده و اثرات کمبود آب بر رشد و عملکرد محصول را کاهش دهد ( Kareem,

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26 ]

[ DOI: DOI: 10.22034/14.66.245 ]

2018; Abd-Ellateef and Mutwali, 2020; Abou El-Yazied *et al.*, 2011). همچنین، نتایج Yusuf و Ogunlela (۲۰۱۶) نشان داد مغناطیس‌سازی آب آبیاری نرخ رشد و قطر ساقه گیاه گوجه‌فرنگی را افزایش داده است.

نتایج بررسی تأثیر تیمار علف‌کش بر وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی گیاهان شاهد و تحت تیمار در این تحقیق مشابه با مطالعات Balestrini و همکاران (۲۰۱۵) و نیز Yang و همکاران (۲۰۱۲) است که نشان دادند مسمومیت با علف‌کش‌ها باعث کاهش معنی‌دار وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی می‌شود. همچنین مشابه با گزارش‌های Hallaj Nia و همکاران (۲۰۱۳)، در این تحقیق نیز مشاهده شد که علف‌کش سوپرگالانت تأثیر منفی بر کاهش وزن تر و خشک اندام‌های هوایی و ریشه‌ها داشت.

در مقایسه با تحقیقات پیشین، مانند پژوهش مکاریان و همکاران (۱۳۸۹) که اثرات مسمومیت با علف‌کش‌ها بر کاهش وزن خشک گیاهان را گزارش کردند، در تحقیق حاضر نیز کاهش وزن تر و خشک در گیاهان تحت تیمار با علف‌کش هالوکسی فوپ‌آر متیل مشاهده شد، که این تأثیر منفی در تیمارهای با دُزهای بالاتر علف‌کش بیشتر شد. همچنین، نوری و همکاران (۱۳۹۲) نیز گزارش کرده‌اند که علف‌کش سوپرگالانت سبب کاهش ۱۰۰ درصدی تعداد بوته، ارتفاع بوته، پنجه‌دهی و ساقه‌دهی گیاهان شده است که مشابه نتایج تحقیق حاضر است. طبق یافته‌های شهقلی و همکاران (۱۳۹۱)، علف‌کش‌ها علاوه بر کاهش عملکرد گیاه، می‌توانند اثرات منفی بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی گیاه نیز داشته باشند که این نتایج در تحقیق حاضر نیز مشاهده گردید و اثبات شد که علف‌کش سوپرگالانت نه تنها باعث کاهش وزن و رشد گیاهان می‌شود، بلکه موجب تغییرات فیزیولوژیکی دیگری نیز خواهد شد. این یافته‌ها با تحقیقات زند و همکاران (۱۳۸۹) نیز همخوانی دارند که گزارش کرده‌اند علف‌کش‌ها موجب تغییرات فیزیولوژیکی مانند کاهش سطح کلروفیل و اختلال در عملکرد فتوسنتز می‌شوند. همچنین، مطالعات Hoppe (۱۹۸۰) و Xu و همکاران (۲۰۰۷) نیز بر تأثیرات منفی علف‌کش‌ها بر رشد گیاهان و تغییرات فیزیولوژیکی آن‌ها تأکید دارند.

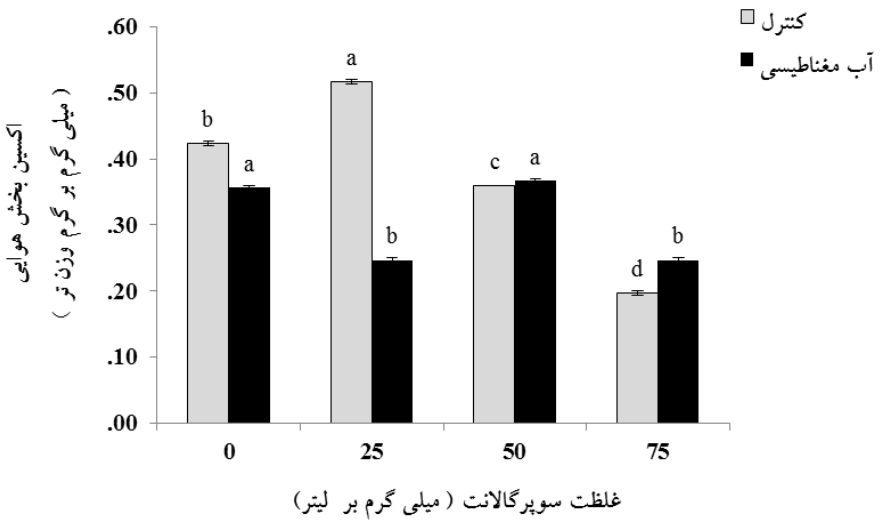
در نهایت، این نتایج به‌وضوح نشان می‌دهند که علف‌کش سوپرگالانت موجب مسمومیت و کاهش رشد گیاهان می‌شود، همان‌طور که در اکثر منابع علمی مشابه گزارش شده است. همچنین، استفاده از آب مغناطیسی‌شده موجب بهبود جذب آب و مواد مغذی توسط گیاهان می‌شود که این یافته نیز با مطالعات پیشین همخوانی دارد. بنابراین، این تحقیق در تأیید اثرات مسمومیت با علف‌کش‌ها و تأثیر آبیاری با آب مغناطیسی، مشابه نتایج تحقیقات پیشین است و اطلاعات جدیدی در این زمینه ارائه می‌دهد.

با آنالیز آماری داده‌های مربوط به فعالیت اکسین اندام هوایی مشاهده شد که در ریشه و اندام هوایی هم گیاهان شاهد و هم گیاهان تحت تیمار با آب مغناطیسی، با افزایش غلظت علف‌کش محتوای اکسین کاهش یافت (شکل ۳ و ۴).

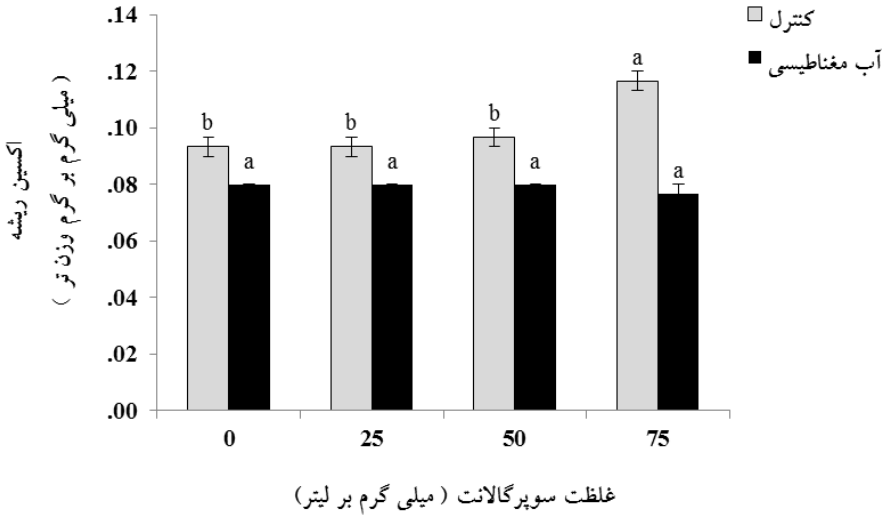
این کاهش در فعالیت اکسین در پاسخ به افزایش غلظت علف‌کش با نتایج تحقیقاتی که نشان می‌دهند اکسین به‌عنوان یک هورمون مؤثر در تنظیم پاسخ‌های دفاعی گیاه از طریق میانجیگری بین تنش‌های زیستی و غیرزیستی عمل می‌کند، همخوانی دارد (Wagg *et al.*, 2015). به‌طور خاص، اکسین نقش مهمی در تنظیم رشد گیاه از جمله کنترل نمو بافت‌های آوندی، طویل‌شدن سلول‌ها و چیرگی انتهایی دارد. در همین راستا، برخی تحقیقات نیز نشان داده‌اند که علف‌کش‌های گرامینه‌ای می‌توانند تأثیرات خاصی بر فعالیت اکسین بگذارند. برای مثال، دیکلوفوپ متیل اگر چه خود فعالیت اکسینی ندارد، اما می‌تواند فرآیندهایی همچون طویل‌شدن کولئوپتیل، پمپاژ پروتون و تغییر پتانسیل غشای سلولی را تحت تأثیر قرار دهد (Wright and Shimabukuro, 1987). در همین راستا، در مطالعه‌ای که بر روی گیاه آفتابگردان انجام شد، مشاهده شد که با تیمار آب مغناطیسی، مقادیر هورمون‌های گیاهی اکسین، جیبرلین و سیتوکینین افزایش یافت، در حالیکه کاهش مقدار آبیاری باعث افزایش پرولین و آبسیزیک اسید و کاهش اکسین، سیتوکینین و جیبرلین شد (Samarzadeh Vajdehfar *et al.*, 2011). آب مغناطیسی همچنین می‌تواند از طریق بیان ژن و سنتز سیتوکینین در توسعه کلروپلاست‌ها نقش داشته باشد

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26 ]

[ DOI: DOI: 10.22034/14.66.245 ]




**شکل ۳- اثر غلظت‌های مختلف علف‌کش سوپرگالانت بر میزان هورمون اکسین بخش هوایی گیاهان آفتابگردان (شاهد و تحت تیمار با آب مغناطیسی). ستون‌ها میانگین سه تکرار، بارهای عمودی نشان‌دهنده انحراف معیار و حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵٪ است.**

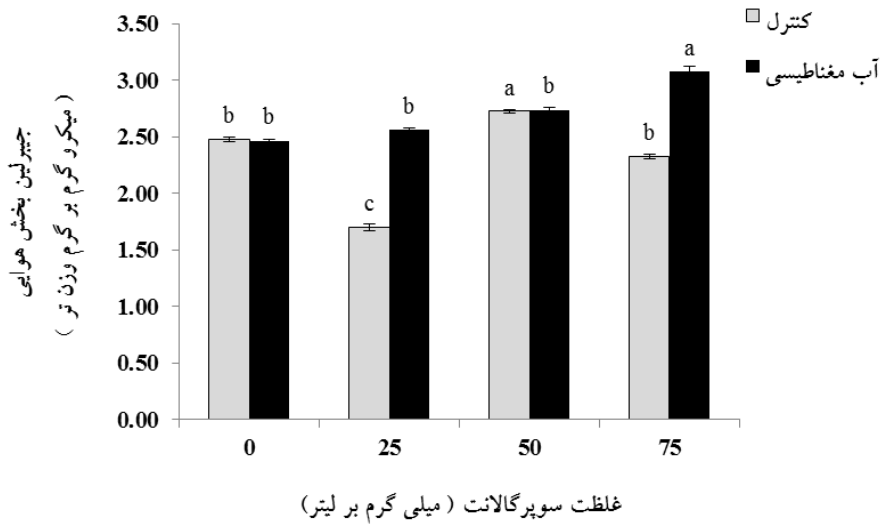



**شکل ۴- اثر غلظت‌های مختلف علف‌کش سوپرگالانت بر میزان هورمون اکسین ریشه گیاهان آفتابگردان (شاهد و تحت تیمار با آب مغناطیسی). ستون‌ها میانگین سه تکرار، بارهای عمودی نشان‌دهنده انحراف معیار و حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵٪ است.**

(Atak *et al.*, 2003) و باعث افزایش IAA شود ( Hozayn *et al.*, 2011). از نظر رشد گیاه و از دیدگاه آنزیمی، در مطالعه‌ای که درباره تأثیر تیمار مغناطیسی آب بر رشد، وضعیت تغذیه‌ای و عملکرد گیاه کاهو انجام شد، مشاهده شد گیاهانی که با آب مغناطیسی آبیاری شده‌اند، در طول فرآیند رشد فعال‌سازی سریع‌تر آنزیم‌ها و هورمون‌ها را نشان داده‌اند. این امر منجر به بهبود در انتقال و جابجایی مواد مغذی گردیده است. بر اساس نتایج این تحقیق، تیمار مغناطیسی آب احتمالاً موجب تغییراتی در سیستم فیزیولوژیک گیاه و تولید فیتوهورمون‌ها شده و نهایتاً افزایش رشد و فعالیت گیاه را به دنبال داشته است

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26 ]

[ DOI: DOI: 10.22034/14.66.245 ]



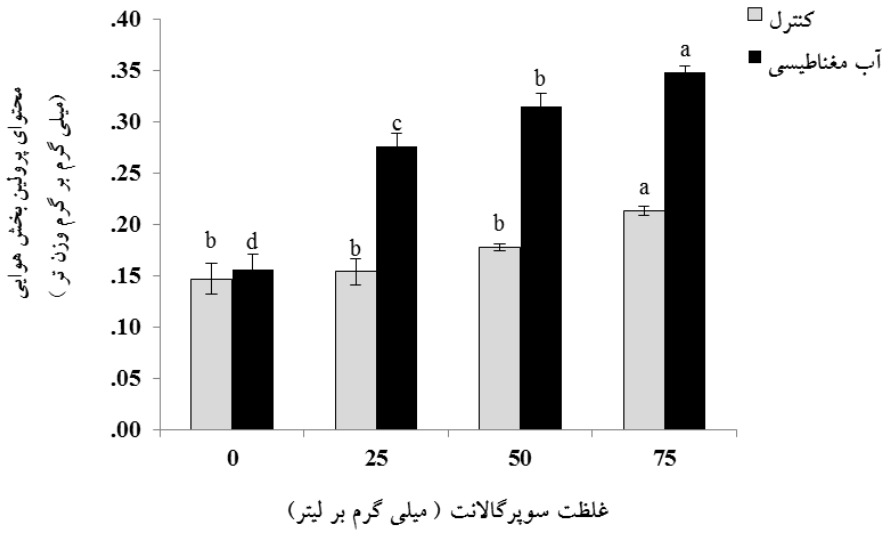

**شکل ۵- اثر غلظت‌های مختلف علف‌کش سوپرگالانت بر میزان هورمون جیبرلیک اسید بخش هوایی گیاهان آفتابگردان (شاهد و تحت تیمار با آب مغناطیسی). ستون‌ها میانگین سه تکرار، بارهای عمودی نشان‌دهنده انحراف معیار و حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵٪ است.**

(Putti *et al.*, 2023).

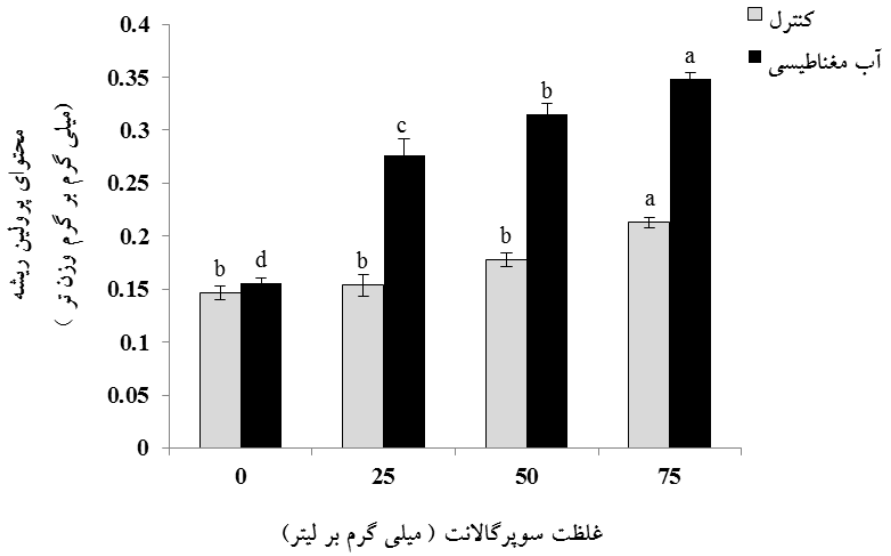
این یافته‌ها نشان می‌دهند که تیمارهای مختلف به‌ویژه آبیاری با آب مغناطیسی می‌توانند تأثیرات مهمی بر سطوح هورمونی گیاهان بگذارند که این نیز با نتایج تحقیقاتی که تعاملات پیچیده هورمونی و شرایط محیطی را نشان می‌دهند، هم‌راستاست. در این تحقیق، مقدار هورمون جیبرلین ($GA_3$) در گیاهان تحت تیمار با آب مغناطیسی برخلاف گیاهان گروه شاهد افزایش یافت (شکل ۵).

این یافته با نتایج تحقیقات قبلی که نقش جیبرلین‌ها را در پاسخ به تنش‌های اسمزی در گیاه *Arabidopsis thaliana* بررسی کرده‌اند، همخوانی دارد. جیبرلین‌ها در تعامل با سایر هورمون‌های گیاهی در فرایندهای متعدد نمو و پاسخ‌های تحریکی شناخته شده‌اند. این هورمون به‌طورکلی در رشد و توسعه سلول‌ها، جوانه‌زنی بذر، گسترش و طول عمر برگ و گلدهی دخالت دارد (Magome *et al.*, 2008). همچنین در سال‌های اخیر تأثیرات تداخل عمل بین هورمون جیبرلین و سایر هورمون‌ها یا تنش‌های محیطی در کنترل رشد و نمو گیاهان مورد توجه قرار گرفته است، اگر چه مکانیسم دقیق آن هنوز به‌طور کامل شفاف‌سازی نشده است. مشاهده شده که هنگامی‌که گیاه در معرض تنش‌های زیستی ( Mc Conn *et al.*, 1997) و غیرزیستی (Lehmann *et al.*, 1996) قرار می‌گیرد، میزان جیبرلیک اسید به‌سرعت افزایش می‌یابد. به‌عنوان نمونه، در تحقیقی روی گوجه‌فرنگی، تیمار $GA_3$ باعث کاهش مقاومت روزنه‌ای و آب مصرفی گیاه در شرایط شوری شد (Maggio *et al.*, 2010). در مطالعه‌ای دیگر، تأثیر ترکیب دو تنش شوری و علف‌کش ۲ و ۴ دی کلروفنوکسی استیک اسید (2,4-D) روی گیاه ذرت مورد بررسی قرار گرفت. این تحقیق نشان داد که تنش ترکیبی علف‌کش و شوری در رقم ZJ 88 ذرت باعث تجمع IAA و ABA و افزایش رونویسی اتیلن می‌شود (Islam *et al.*, 2015). این نتایج حاکی از آن است که استفاده از علف‌کش تحت تنش شوری، احتمالاً با کاهش آسیب‌های اکسیداتیو، تغییر در جذب مواد معدنی، تقویت دفاع آنتی‌اکسیدانی و تنظیم دینامیکی ژن‌های کلیدی درگیر در هومئوستازی یون‌های $Na^+$ و$K^+$، باعث افزایش تحمل به شوری در گیاهان می‌شود. این یافته‌ها با نتایج تحقیق حاضر که نشان‌دهنده افزایش هورمون جیبرلین در گیاهان تحت تیمار با آب مغناطیسی است، هم‌راستاست. به علاوه، Rawabdeh و همکاران (۲۰۱۴) نشان داد که تیمار مغناطیسی آب آبیاری

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26 ]
[ DOI: DOI: 10.22034/14.66.245 ]




**شکل ۶- اثر غلظت‌های مختلف علف‌کش سوپرگالانت بر محتوای پرولین بخش هوایی گیاهان آفتابگردان (شاهد و تحت تیمار با آب مغناطیسی). ستون‌ها میانگین سه تکرار، بارهای عمودی نشان‌دهنده انحراف معیار و حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵٪ است.**




**شکل ۷- اثر غلظت‌های مختلف علف‌کش سوپرگالانت بر محتوای پرولین ریشه گیاهان آفتابگردان (شاهد و تحت تیمار با آب مغناطیسی). ستون‌ها میانگین سه تکرار، بارهای عمودی نشان‌دهنده انحراف معیار و حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵٪ است.**

جذب عناصر ضروری نیتروژن، فسفر و پتاسیم را در مقایسه با گیاهانی که با آب غیرمغناطیسی آبیاری شده بودند، افزایش داده است.

با آنالیز آماری داده‌های مربوط به محتوای پرولین اندام هوایی و ریشه‌ها مشاهده شد که هم در گیاهان شاهد و هم در گیاهان تحت تیمار با آب مغناطیسی با افزایش غلظت علف‌کش، محتوای پرولین افزایش یافت (شکل ۶ و ۷).

این یافته‌ها به خوبی با نتایج تحقیقات پیشین که نشان

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26 ]

[ DOI: DOI: 10.22034/14.66.245 ]

داده‌اند تنش‌های مختلف می‌توانند باعث افزایش پرولین در گیاهان شوند، هماهنگ است. زمانی که گیاه در معرض تنش قرار می‌گیرد، تجزیه پروتئین‌ها و درنتیجه افزایش آمینواسیدها و آمیدها تسریع می‌شود. یکی از این آمینواسیدها پرولین است (Barker *et al.*, 1993). افزایش تجمع پرولین در پاسخ به تنش می‌تواند به دلیل تحریک سنتز آن از اسید گلوتامیک، کاهش بارگیری آن از طریق آوند آبکشی، جلوگیری از اکسیداسیون آن در طول تنش و اختلال در فرآیند سنتز پروتئین‌ها باشد. در بررسی اثر درجات مختلف تنش خشکی بر روی گیاه آویشن (*Thymus vulgaris*) نشان داده شده که با افزایش تنش خشکی، میزان پرولین افزایش می‌یابد (بابایی و همکاران، ۱۳۸۹). این نتایج با تحقیقات مختلفی که پرولین را به‌عنوان یک مولکول کلیدی در پاسخ گیاه به تنش‌ها معرفی می‌کنند، مطابقت دارد. پرولین در شرایط تنش علاوه بر حفظ تعادل اسمزی گیاه، به‌عنوان پایدارکننده پروتئین‌ها، کلات‌کننده فلزی، مهارکننده پراکسیداسیون لیپیدی و حذف‌کننده رادیکال‌های آزاد شناخته می‌شود (Mishra and Dubey, 2006). این یافته‌ها نشان می‌دهند که افزایش پرولین در گیاهان تحت تیمار با علف‌کش می‌تواند به‌عنوان یک مکانیسم سازگاری در پاسخ به تنش‌های محیطی عمل کند. به عنوان مثال، محتوای پرولین در یک بیوتیپ *Moringa oleifera* تحت تأثیر سطوح مختلف تنش خشکی نیز افزایش یافت که این افزایش نشان‌دهنده آغاز تنش در گیاهان است (Hasan *et al.*, 2020).

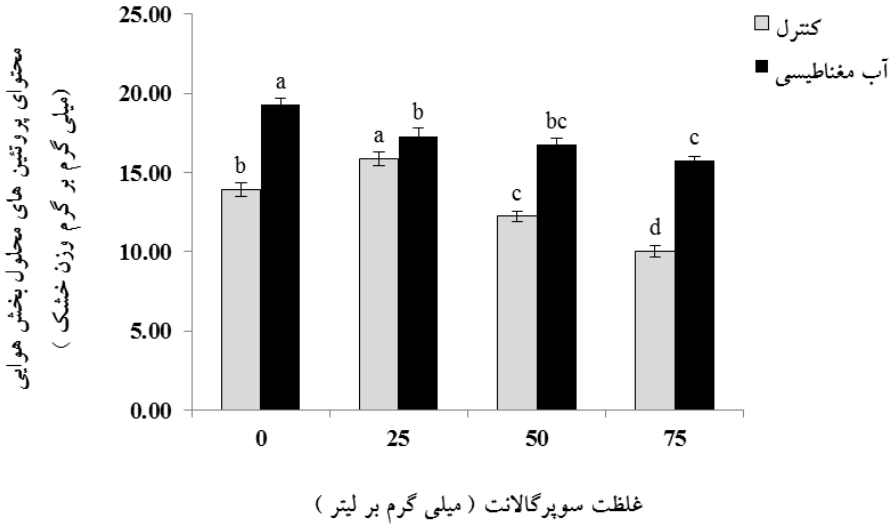
مقدار پروتئین‌های محلول اندام هوایی و ریشه در اثر اعمال سمیت علف‌کش سوپرگالانت در گیاهان شاهد و تحت تیمار با آب مغناطیسی با افزایش غلظت علف‌کش، کاهش پیدا کرد (شکل ۸ و ۹).

این یافته‌ها نشان‌دهنده کاهش فعالیت‌های متابولیکی در پاسخ به افزایش سمیت علف‌کش است. افزایش محتوای پروتئین‌های محلول در برخی شرایط می‌تواند به دلیل افزایش سنتز آنزیم‌های پاداکساینده و پروتئین‌های درگیر در سیستم دفاعی سلول باشد (Choi *et al.*, 2009). با این حال، همانطور که در تحقیقاتی دیگر گزارش شده، کاهش پروتئین در اثر سمیت علف‌کش‌ها نیز مشاهده می‌شود. به‌طور خاص، در تحقیقاتی گزارش شده که کاهش پروتئین کل ریشه در اثر غلظت‌های بالای علف‌کش متری‌بوزین به دلیل کاهش پروتئین‌سازی از طریق افزایش فعالیت آنزیم پروتئاز است (El-Saht *et al.*, 1994). این امر ممکن است به‌عنوان واکنشی به افزایش فشار تنشی ناشی از سم‌زدایی و آسیب به سلول‌ها در نظر گرفته شود. در همین راستا، کاهش میزان پروتئین در گیاهان آبزی که در معرض آب‌های آلوده قرار می‌گیرند نیز به‌طور مشابه گزارش شده است (Yang *et al.*, 2012; Xu *et al.*, 2007). همچنین، کاهش پروتئین مشاهده شده در گیاه خردل (*Brassica juncea*) تحت تنش، احتمالاً به علت افزایش فرآیند تخریب ناشی از افزایش فعالیت پروتئاز بوده است. این مکانیسم‌ها نشان می‌دهند که افزایش فعالیت پروتئاز و تخریب پروتئین‌ها در پاسخ به تنش‌های محیطی می‌تواند منجر به کاهش محتوای پروتئین کل در گیاهان شود. از دیگر عواملی که می‌تواند به کاهش محتوای پروتئین در ریشه‌های گیاه تحت تاثیر سمیت علف‌کش کمک کند، کاهش هضم و اختلال در متابولیسم ترکیبات آمونیومی جذب‌شده توسط گیاه و متعاقب آن کاهش سنتز اسیدهای آمینه و پروتئین است (John *et al.*, 2009).

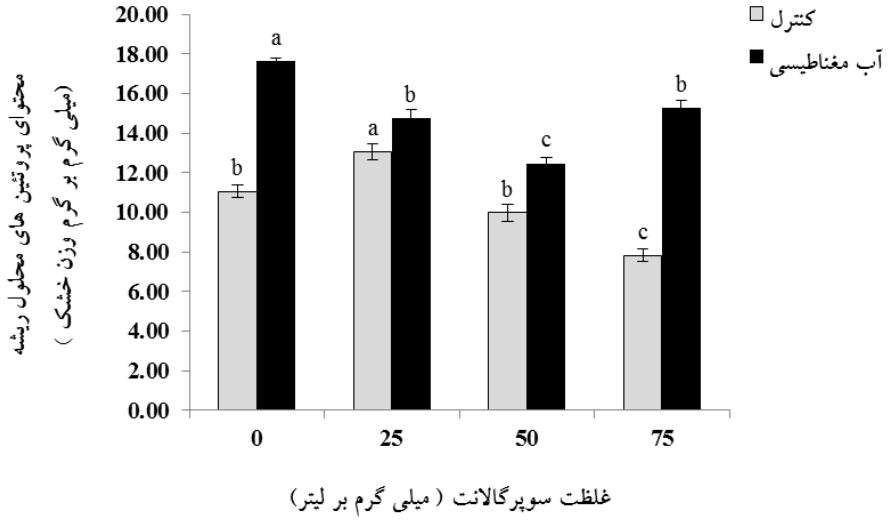
آنالیز آماری مربوط به داده‌ها نشان داد که با اعمال علف‌کش سوپرگالانت در گیاهان شاهد و گیاهان تحت تیمار آب مغناطیسی با افزایش غلظت علف‌کش، مقدار قندهای محلول افزایش یافت (شکل ۱۰ و ۱۱).

این یافته مطابق با نتایج مطالعات پیشین است که به نقش مهم قندهای محلول در گیاهان تحت تنش اشاره دارند. قندهای محلول به‌عنوان اسمولیت‌های سازگار شناخته می‌شوند که در شرایط تنش در گیاه تجمع یافته و نقش حفاظتی ایفا می‌کنند. این قندها از طریق تنظیم اسمزی و نگهداری فشار تورژسانس، همچنین پایداری غشاها و پروتئین‌ها، به محافظت از سلول‌ها در برابر تنش‌های محیطی کمک می‌کنند. این فرآیند می‌تواند از طریق تشکیل پیوندهای هیدروژنی میان گروه‌های کربوکسیل قندها و زنجیره‌های قطبی پروتئین‌ها و در نهایت پایدارسازی

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26 ]
[ DOI: DOI: 10.22034/14.66.245 ]




**شکل ۸- اثر غلظت‌های مختلف علف‌کش سوپرگالانت بر محتوای پروتئین های محلول بخش هوایی گیاهان آفتابگردان (شاهد و تحت تیمار با آب مغناطیسی). ستون‌ها میانگین سه تکرار، بارهای عمودی نشان‌دهنده انحراف معیار و حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵٪ است.**



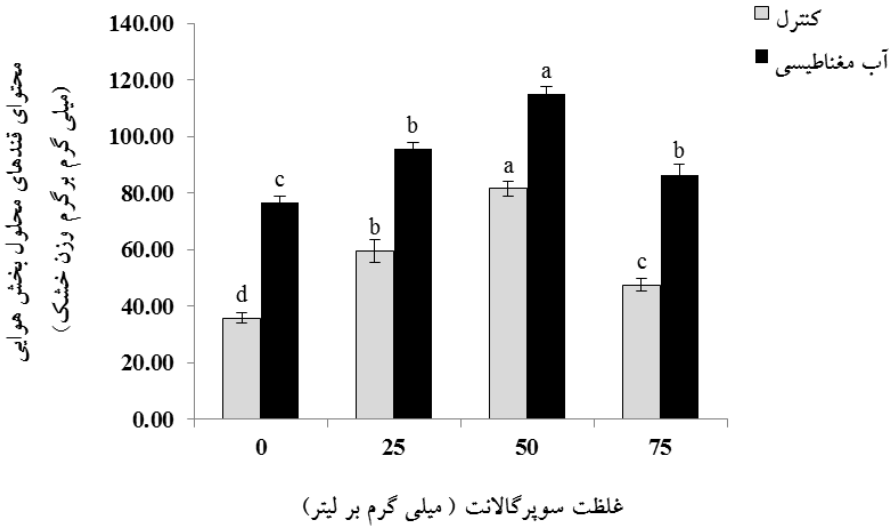

**شکل ۹- اثر غلظت‌های مختلف علف‌کش سوپرگالانت بر محتوای پروتئین های محلول ریشه گیاهان آفتابگردان (شاهد و تحت تیمار با آب مغناطیسی). ستون‌ها میانگین سه تکرار، بارهای عمودی نشان‌دهنده انحراف معیار و حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵٪ است.**

پروتئین‌ها انجام گیرد. به‌عنوان مثال، تجمع ساکارز می‌تواند موجب حفظ فسفولیپیدهای غشا شده و از تغییرات ساختاری در پروتئین‌های محلول سلول جلوگیری کند (الهویردیان حمیدی، ۱۳۹۵).

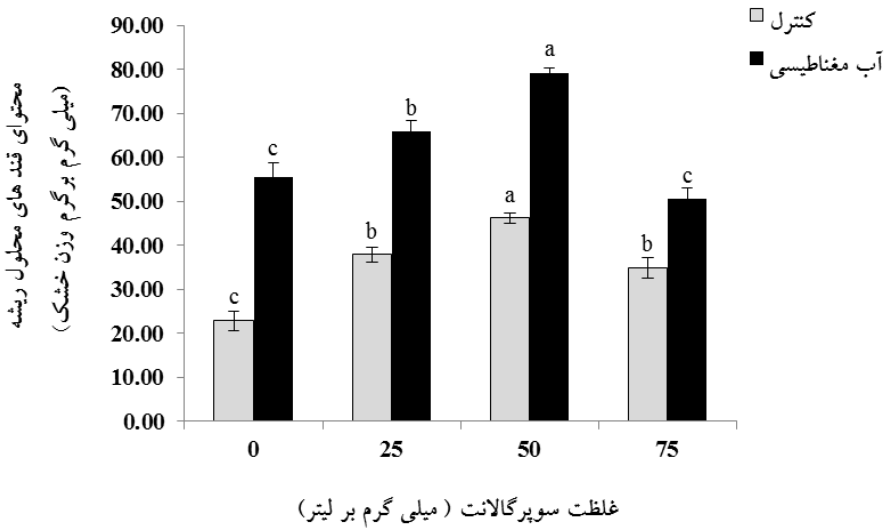
این نتایج مشابه با مطالعاتی است که کاهش میزان قند در گیاهان تحت تنش‌های مختلف را به‌ویژه در نتیجه کاهش فتوسنتز ناشی از غلظت‌های بالای علف‌کش گزارش کرده‌اند (Moreland *et al.*, 1972). انباشت کربوهیدرات‌های محلول در سلول‌های گیاهی به ترکیبات فنولیک نسبت داده می‌شود؛ زیرا انتقال قندهای محلول در اثر تنش کاهش می‌یابد. میدان

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26 ]

[ DOI: DOI: 10.22034/14.66.245 ]




**شکل ۱۰- اثر غلظت‌های مختلف علف‌کش سوپرگالانت بر محتوای قندهای محلول بخش هوایی گیاهان آفتابگردان (شاهد و تحت تیمار با آب مغناطیسی). ستون‌ها میانگین سه تکرار، بارهای عمودی نشان‌دهنده انحراف معیار و حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵٪ است.**




**شکل ۱۱- اثر غلظت‌های مختلف علف‌کش سوپرگالانت بر محتوای قندهای محلول ریشه گیاهان آفتابگردان (شاهد و تحت تیمار با آب مغناطیسی). ستون‌ها میانگین سه تکرار، بارهای عمودی نشان‌دهنده انحراف معیار و حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵٪ است.**

مغناطیسی همچنین شکل هرمانند ساختار آب را تغییر داد و آن را به ساختار شش‌ضلعی جدیدی تبدیل می‌کند که راحت‌تر می‌تواند از غشای سلولی عبور کند. احتمالاً، استفاده از آب مغناطیسی با کاهش انباشت ترکیبات فنولیک در محیط خشک، انتقال قندهای محلول را در غشاهای سلولی تسریع می‌کند (Hasan *et al*., 2020).

از سوی دیگر، افزایش مقدار قندهای احیاکننده تحت شرایط تنش نیز در برخی تحقیقات گزارش شده است (Xu *et al*., 2007; Chatterjee and Chatterjee, 2000) که این مورد نیز با نتایج تحقیق حاضر که افزایش قندهای محلول را در

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26 ]
[ DOI: DOI: 10.22034/14.66.245 ]

گیاهان تحت تیمار با علف‌کش سوپرگالانت نشان می‌دهد، همسو است. این نتایج نشان‌دهنده تأثیر تنش‌های محیطی و استفاده از علف‌کش‌ها بر تنظیم متابولیسم گیاهان از طریق تغییرات در مقدار قندها و اسمولیت‌های سازگار است.

در مجموع، ادبیات علمی نتایج مثبتی را درباره کاربرد آب مغناطیسی‌شده گزارش کرده است؛ هم در سطح مولکولی و بیوشیمیایی و هم در سطح سلولی. تکنولوژی‌ها و مدل‌های منطقی جدید در سال‌های اخیر بهبود عملکرد گیاهان مختلف را تحت تأثیر آب مغناطیسی نشان داده‌اند. مثلاً، Matulovic و همکاران (۲۰۲۱) چنین روندی را برای گیاه کاهو مشاهده کرده‌اند. این یافته‌ها می‌توانند منعکس‌کننده اثرات مفید گزارش‌شده در مطالعه حاضر باشند.

در پژوهش حاضر، اثر تیمار آب مغناطیسی تحت سمیت علف‌کش سوپرگالانت بر گیاه آفتابگردان مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج به‌دست‌آمده در بسیاری موارد با نتایج سایر محققین در مورد اثرات فیزیولوژیکی سوپرگالانت و آب مغناطیسی در رشد و نمو گیاهان مطابقت دارد. افزایش تجمع پرولین و قندهای محلول در این پژوهش از بارزترین پاسخ‌های گیاه آفتابگردان در مقابله با سمیت علف‌کش سوپرگالانت بود. افزایش مقدار جیبرلین در گیاهان تحت تیمار با آب مغناطیسی، نشان‌دهنده اثرات حفاظتی تیمار آب مغناطیسی در این مورد است. کاهش محتوای پروتئین و فعالیت هورمون اکسین و کاهش ویژگی‌های رشدی، نشان‌دهنده اثرات بازدارنده این علف‌کش باریک برگ بر فعالیت‌های بیوشیمیایی گیاه آفتابگردان است.

## نتیجه‌گیری

## منابع


آقامیر، فاطمه، و بهرامی، حسینعلی (۱۳۹۷). اثر آب شور مغناطیسی‌شده بر جذب عناصر غذایی ضروری به‌وسیله گیاه ذرت. *فصلنامه علوم محیطی*، *۱۶*(۲)، ۲۳۲-۲۱۷.

الهویردیان حمیدی، اکرم (۱۳۹۵). تأثیرات متقابل همزیستی با سه گونه میکوریزا آربوسکولار و علف‌کش سوپرگالانت بر روی رشد و فیزیولوژی گیاه کلزا (*Brassica napus* L.). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه، ایران.

بابایی، کیوان، امینی‌دهقی، مجید، مدرس ثانوی، سیدعلی محمد، و جباری، رضا (۱۳۸۹). اثر تنش خشکی بر صفات مورفولوژیک، محتوای پرولین و درصد تیمول در آویشن (*Thymus vulgaris* L.). *فصلنامه علمی-پژوهشی گیاهان دارویی و معطر ایران*، *۲۶*(۲)، ۲۵۱-۲۳۹.

بانژاد، حسین، مکاری قهروودی، اسماعیل، اثنی عشری، محمود، و لیاقت، عبدالمجید (۱۳۹۲). بررسی اثر متقابل آب مغناطیسی و شوری بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه ریحان. *نشریه آبیاری و زهکشی ایران*، ۲(۷)، ۱۸۳-۱۷۸.

خنده‌رویان، مرضیه (۱۳۹۲). اثر آبیاری پیوسته با آب مغناطیسی بر کارآیی مصرف آب و عملکرد ذرت (پایان‌نامه کارشناسی ارشد). دانشگاه زنجان، ایران.

حسنی جبارلو، خدیجه، رشدی، محسن، غفاری، مهدی، و ولی‌لو، رضا (۱۳۸۷). بررسی تأثیر تراکم بر عملکرد و اجزای عملکرد در دو رقم آفتابگردان روغنی (لاکومکا و KSC43/128) در منطقه خوی. *پژوهش در علوم زراعی*، *۱*(۱)، ۱۰۷-۹۹.

خواجه‌پور، محمدرضا (۱۳۹۱). گیاهان صنعتی. جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان.

خیاط، محمد، شیرین، محمد، قرینه، محمدحسین، و ساجدی، نورعلی (۱۳۹۰) بررسی اثر غلظت هیپوکلریت سدیم و مدت زمان ضدعفونی کردن بذر بر خصوصیات جوانه‌های گندم رقم چمران. *یافته‌های نوین کشاورزی*، *۵*(۴)، ۳۶۷-۳۷۶.

زند، اسکندر، باغستانی، محمدعلی، بناکاشانی، فاطمه، و دستاران ممقانی، فاطمه (۱۳۸۹). بررسی کارایی تعدادی از علف‌کش‌ها در


[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26 ]

[ DOI: DOI: 10.22034/14.66.245 ]

کنترل بیوتیپ‌های یولاف وحشی (*Avena ludoviciana* Durieu) مقاوم و حساس به علف‌کش‌های بازدارنده استیل کوآنزیم-آ-کربوکسیلاز. *پژوهش‌های حفاظت گیاهان ایران*، ۲۴(۳)، ۲۵۱-۲۴۲. https://sid.ir/paper/142804/fa

شهقلی، حسن، انصوری، علی، گیمدیل، رضا، و آذرنیا، محسن (۱۳۹۱). پاسخ گیاه وسمه (*Indigofera tinctoria* L.) و علف هرز سوروف (*Echinochloa crus-galli* L.) به کاربرد پس‌رویشی علف‌کش هالوکسی فوپ-آر-متیل استر. دوازدهمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران، کرج. https://civilica.com/doc/219125.

قدمی فیروزآبادی، علی، خوش‌روش، مجتبی، شیرازی، پویا و زارع ابیانه، حمید (۱۳۹۵). اثر آبیاری با آب مغناطیسی بر عملکرد دانه و بیوماس گیاه سویا رقم DPX در شرایط کم‌آبیاری و شوری آب. *پژوهش آب در کشاورزی*، ۳۰(۱)،۱۳۱-۱۴۳. https://doi.org/10.22092/jwra.2016.106207

مکاریان، حسین، اصغری، حمیدرضا، و مهاجری‌نژاد، حسین (۱۳۸۹). تأثیر قارچ‌های میکوریزا بر تولید ماده خشک و کلروفیل برگ ذرت (*Zea mays* L.) در حضور علف‌کش متری‌بوزین. یازدهمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران، دانشگاه شهید بهشتی تهران.

میری، حمیدرضا، و رحیمی، یارعلی (۱۳۸۸). بررسی تأثیر برخی علف‌کش‌ها در کنترل علف‌های هرز کلزا در استان بوشهر. *مجله اکوفیزیولوژی گیاهی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ارسنجان*، ۱(۱)، ۶۳-۴۹.

نوری، محسن، باغستانی، محمدعلی، سارانی، منصور، عامری مهاباد، عباسعلی، و حیدری، علی (۱۳۹۲). مقایسه علف‌کش‌های گروه ALS و ACCase در کنترل برموس (*Bromus japonicus*). *همایش علوم علف‌های هرز ایران*. https://sid.ir/paper/fa874598

نیک‌بخت، جعفر، خنده‌رویان، مرضیه، و توکلی، افشین (۱۳۹۰). مغناطیسی کردن آب راهکاری نوین و مؤثر برای استفاده از آب‌های غیرمتعارف در آبیاری. دومین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی منابع آب، زنجان، ایران. https://civilica.com/doc/116140

Abdel Kareem, N. S. (2018). Evaluation of magnetizing irrigation water impacts on the enhancement of yield and water productivity for some crops. *Journal of Agricultural Science and Technology, 8,* 274-286. https://doi.org/10.17265/2161-6256/2018.05.003

Abd Ellateef, M. M, & Mutwali, E. M. (2020). Effect of magnetized water on germination and some growth characters of broad bean (*Vicia faba* L.) *Asian Journal of Agriculture and Food Sciences, 8*(4), 98-102. https://doi.org/10.24203/ajafs.v8i4.6145

Abou El-Yazied, A. A., Shalaby, O. A., El-Gizawy, A. M., & Khalf, S. M., El-Satar, A. (2011). Effect of magnetic field on seed germination and transplant growth of tomato. *Journal of American Science, 7*(12), 306-312. http://www.americanscience.org/

Abyaneh, H. Z., Jovzi, M., & Albaji, M. (2017). Effect of regulated deficit irrigation, partial root drying, and N-fertilizer levels on sugar beet crop (*Beta vulgaris* L.). *Agricultural Water Management, 194,* 13-23. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.08.016

Ahmadi, P. (2010). The effect of magnetic field on water and magnetically aggressive applications. The First International Conference on Plant, Water, Soil and Air Modeling. Kerman Shahid Bahonar University.

Albaji, M., Boroomand-Nasab, S., Naseri, A. A., & Jafari, S. (2009). Comparison of different irrigation methods based on the parametric evaluation approach in Abbas Plain: Iran. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 136*(2), 131-136. https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000142

Arbona, V., Manzi, M., de Ollas, C., & Gomez-Cadenas, A. (2013). Metabolomics as a tool to investigate abiotic stress tolerance in plants. *International Journal of Molecular Science, 14,* 4885-4911. https://doi.org/10.3390/ijms14034885

Atak, C., Emiroglu, O., Alikamanoglu, S., & Rzakoulieva, A. (2003). Stimulation of regeneration by magnetic field in soybean (*Glycine max* L. Merrill) tissue cultures. *Journal of Cell and Molecular Biology, 2*(2), 113-119.

Balestrini, R., Lumini, E., Borriello, R., & Bianciotto, V. (2015). Plant-soil biota interactions. In: Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry. (ed. Paul, E. A.) Pp. 311-338. Academic Press, Elsevier.

Barker, D. J., Sullivan, C. Y., & Moser, L. E. (1993). Water Deficit Effects on Osmotic Potential, Cell Wall Elasticity, and Proline in Five Forage Grasses. University of Nebraska – Lincoln, Agronomy and Horticulture Department.

Bates, L. S., Waldren, R. P., & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil, 39*, 205-207.

Berrios, J., Illanes, A., & Aroca, G. (2004). Spectrophotometric method for determining gibberellic acid in fermentation

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26 ]

[ DOI: DOI: 10.22034/14.66.245 ]

broths. *Biotechnology Letters*, *26*, 67-70. https://doi.org/10.1023/B:BILE.0000009463.98203.8b
Carr, J. E., Davies, L. G., Cobb, A. H., & Pallet, K. E. (1986). Uptake, translocation, and metabolism of fluazifop-butyl in *Setaria viridis*. *Annals of Applied Biology*, *108*, 115-123.
Castro Palacio, J. C., Morejon, L. P., Velazquez Abud, L., & Govea, A. P. (2007). Stimulation of *Pinus tropicalis* M. seeds by magnetically treated water. *International Agrophysics*, *21*, 173-177.
Chegah, S., Chehrazi, M., & Albaji, M. (2013). Effects of drought stress on growth and development of Franconia plant (*Frankenia leavis*). *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, *19*(4), 659-665.
Chatterjee, J, & Chatterjee, C. (2000). Phytotoxicity of cobalt, chromium, and copper in cauliflower. *Environmental Pollution*, *109*(1), 69-74. https://doi.org/10.1016/S0269-7491(99)00238-9
Choi, N. H., Choi, G. J., Min, B. S., Jang, K. S., Choi, Y. H., Kang, M. S., Park, M. S., Choi, J. E., Bae, B. K., & Kim, J. C. (2009). Effects of neolignans from the stem bark of *Magnolia obovata* on plant pathogenic fungi. *Journal of Applied Microbiology*, *106*, 2057-2063. https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2009.04175.x
Cobb, A. H, & Reade, J. P. H. (2010). Herbicides and Plant Physiology. 2nd Ed. Wiley-Blackwell.
Dastorani, M., Albaji, M., & Boroomand Nasab, S. (2022). Crop response and water productivity of sunflower (*Helianthus annuus* L.) drip-irrigated with magnetically treated and non-magnetically treated water with variable salinity. *Water SA*, *48*(1), 90-96. https://doi.org/10.17159/wsa/2022.v48.i1.3888
Du Bois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. A., & Smith, F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Annals of Chemistry*, *28*(3), 350-356.
El-Saht, H. M., Hasaneen, M. N. A., & Bassuony, F. M. (1994). Effect of Metribuzin herbicide on nitrogen, pigments, protease and nitrate reductase activity of normal and NaCl-stressed castor bean and maize plants. *Biologia Plantarum*, *36*(2), 267-275.
Hallaj Nia, F., Bazobandi, M., Norouz Zadeh, S., & Hallaj Nia, A. (2013). Investigation of Gliophytosite and Haloxyfopromethyl herbicide and flame control in *Chrysopogon zizanioides* L. Roberty. *Journal of Weed Ecology*, *1*(2), 91-98. https://sid.ir/paper/249992/en
Hasan, M. M., Alharby, H. F., Uddin, M. N., Ali, M. A., Anwar, Y., Fang, X. W., Hakeem, K. R., Alzahrani, Y., & Hajar, A. S. (2020). Magnetized water confers drought stress tolerance in *Moringa* biotype via modulation of growth, gas exchange, lipid peroxidation and antioxidant activity. *Polish Journal of Environmental Studies*, *29*(2), 1625-1636. https://doi.org/10.15244/pjoes/110347
Hoppe, H. H. (1980). Veranderungen der membranpermeabilitat, des kohlenhydratgehaltes, des lipidgehaltes und der lipidzusammensetzung in keimwurzelspitzen von *Zea mays* L. nach behandlung mit diclofopmethyl. *Zeitschrift fur Pflanzenphysiologie*, *100*, 414-426.
Hozayn, M., Abdallha, M. M., Abd El-Monem, A. A., El-Saady, A. A., & Darwish, M. (2016). Applications of magnetic technology in agriculture: A novel tool for improving crop productivity: Canola. *African Journal of Agricultural Research*, *11*(5), 441-449. https://doi.org/10.5897/AJAR2015.9382
Hozayn, M., El-Monem, A., Qados, A. A., & El-Hameid, E. (2011). Response of some food crops to irrigation with magnetized water under greenhouse condition. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, *5*(12), 29-36.
Islam, F., Yasmeen, T., Ali, S., Ali, B., Farooq, M. A., & Gill, R. A. (2015). Priming-induced antioxidative responses in two wheat cultivars under saline stress. *Acta Physiologiae Plantarum*, *37*, 1-12. https://doi.org/10.1007/s11738-015-1897-5
John, R., Ahmad, P., Gadgil, K., & Sharma, S. (2009). Heavy metal toxicity: Effect on plant growth, biochemical parameters, and metal accumulation by *Brassica juncea* L. *International Journal of Plant Production*, *3*(3), 65-76. https://doi.org/10.22069/ijpp.2012.653
Kareem, N. S. A. (2018). Evaluation of magnetizing irrigation water impacts on the enhancement of yield and water productivity for some crops. *Journal of Agricultural Science and Technology A*, *8*(5), 270-283. https://doi.org/10.17265/2161-6256/2018.05.002
Leather Wood, W. R. (2005). Influence of Salt Stress on Germination, Root Elongation and Carbohydrate Content of Five Salt Tolerant and Sensitive Taxa. Department of Horticultural Science, North Carolina State University. http://www.lib.ncsu.edu/resolver/1840.16/1912
Lehmann, A., Black, R., & Ecker, J. R. (1996). Hookless, an ethylene response gene, is required for differential cell elongation in the Arabidopsis hypocotyl. *Cell*, *85*(2), 183-194. https://doi.org/10.1016/s0092-8674(00)81095-8
Lin, I. J, & Yotvat, J. (1990). Exposure of irrigation and drinking water to a magnetic field with controlled power and direction. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, *83*, 525-526. https://doi.org/10.1016/0304-8853(90)90611-S
Liu, X., Ma, D., Zhang, Z., Wang, S., Du, S., Deng, X., & Yin, L. (2019). Plant lipid remodeling in response to abiotic stresses. *Environmental and Experimental Botany*, *165*, 174-184. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2019.06.005
Lowry, O. H., Rosebrough, N. S., Farr, A. L., & Randall, R. J. (1951). Protein measurement with the Folin-phenol reagent. *Journal of Biological Chemistry*, *193*, 265-275.
Maggio, A., Barbieri, G., Raimondi, G., & Pascale, S. D. (2010). Contrasting effects of $GA_3$ treatments on tomato

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26 ]
[ DOI: DOI: 10.22034/14.66.245 ]

plants exposed to increasing salinity. *Plant Growth Regulation, 29*, 63-72. http://dx.doi.org/10.1007/s00344-009-9114-7

Magome, H., Yamaguchi, S., Hanada, A., Kamiya, Y., & Oda, K. (2008). The DDF1 transcriptional activator upregulates expression of a gibberellin-deactivating gene, GA2ox7, under high-salinity stress in Arabidopsis. *The Plant Journal, 56*, 613-626. https://doi.org/10.1111/j.1365-313x.2008.03627.x

Maheshwari, B. L, & Grewal, H. S. (2009). Magnetic treatment of irrigation water: Its effects on vegetable crop yield and water productivity. *Agricultural Water Management, 96*, 1229-1236. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.03.016

Mahmoudi, G., Ghanbari, A., Rastgoo, M., Gholi Zadeh, M., & Tahmasebi, I. (2014). Effect of magnetic field on growth and yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) in Mashhad. *Iranian Journal of Agricultural Research, 14*(2), 391-380. https://doi.org/10.22067/ijpr.v7i1.36727

Matulovic, M., Putti, F. F., Cremasco, C. P., & Gabriel Filho, L. R. A. G. (2021). Technology 4.0 with 0.0 costs: Fuzzy model of lettuce productivity with magnetized water. *Acta Scientiarum Agronomy, 43*, e51384. https://doi.org/10.4025/actasciagron.v43i1.51384

McConn, M., Creelman, R. A., Bell, E., Mullet, J. E., & Browse, J. (1997). Jasmonate is essential for insect defense in Arabidopsis. *Plant Biology, 94*, 5473-5477. https://doi.org/10.1073/pnas.94.10.5473

Mishra, S, & Dubey, R. S. (2006). Heavy metal uptake and detoxification mechanisms in plants. *International Journal of Agricultural Research, 1*(2), 122-141. https://doi.org/10.3923/ijar.2006.122.141

Mohammadian, M., Fatahi, R., & Emamzadei, M. R. (2014). Investigation the effect of magnetic salt water on yield and yield components of green pepper. *Journal of Irrigation Science and Engineering, 32*(1), 121-130. https://doi.org/10.22055/jise.2016.12017

Moreland, D. E., Farer, F. S., & Hussey, G. G. (1972). Inhibition of photosynthesis and respiration by substituted 2,6-dinitroaniline herbicides: Effects on chloroplasts and mitochondrial activities. *Pest Biochemistry and Physiology, 2*, 342-353. https://doi.org/10.1016/0048-3575(72)90039-9

Naylor, R. E. L. (2002*)*. Weed Management Handbook. British Crop Protection Council. Oxford, UK: Blackwell Science.

Neissi, L., Albaji, M., & Boroomand Nasab, S. (2020). Combination of GIS and AHP for site selection of pressurized irrigation systems in the Izeh plain. *Iranian Agricultural Water Management, 231*, 106004. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106004

Putti, F. F., Vicente, E. F., Chaves, P. P. N., Mantoan, L. P. B., Cremasco, C. P., Arruda, B., Forti, J. C., Junior, J. F. S., Campos, M., Reis, A. R. D., & Filho, L. R. A. G. (2023). Effect of magnetic water treatment on the growth, nutritional status, and yield of lettuce plants with irrigation rate. *Horticulturae, 9*(4), 504. https://doi.org/10.3390/horticulturae9040504

Rawabdeh, H., Shiyab, S., & Shibli, R. (2014). The effect of irrigation by magnetically water on chlorophyll and macroelements uptake. *Jordan Journal of Agricultural Sciences, 10*(2), 205-214.

Samarzadeh Vajdehfar, T., Ardakani, M. R., Paknejad, F., Mashhadi Akbar Boojar, M., & Mafakheri, S. (2011). Phytohormonal responses of sunflower (*Helianthus annus* L.) to magnetized water and seed under water deficit conditions. *Middle East Journal of Scientific Research, 7*(4), 467-472.

Seiler, G. J. (2007). Wild annual *Helianthus anomalus* and *H. deserticola* for improving oil content and quality in sunflower. *Industrial Crops and Products, 25*, 95-100. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2006.07.007

Surendran, U., Sandeeep, O., & Joseph, E. J. (2016). The impacts of magnetic treatment of irrigation water on the plant, water, and soil characteristics. *Agricultural Water Management, 178*, 21-29. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.08.016.

Suzuki, S., He, Y., & Oyaizu, H. (2002). Indole-3-acetic acid production in *Pseudomonas fluorescence* HP72 and its association with suppression of creeping bentgrass brown patch. *Current Microbiology, 47*, 138-143. https://doi.org/10.1007/s00284-002-3968-2

Takano, H. K., Ovejero, R. F. L., Belchior, G. G., Maymone, G. P. L., & Dayan, F. E. (2020). ACCase-inhibiting herbicides: Mechanism of action, resistance evolution and stewardship. *Scientia Agricola (Piracicaba Braz.), 78*, e20190102. https://doi.org/10.1590/1678-992X-2019-0102

Taski-Ajdukovic, K. J, & Vasic, D. M. (2005). Different sterilization methods for overcoming internal infection in sunflower seeds. *Zbornik Matice Srpske za Prirodne Nauke, 109*, 59-64. https://doi.org/10.2298/ZMSPN0519059T

Wagg, C., Barendregt, C., Jansa, J., & van der Heijden, M. G. A. (2015). Complementarity in both plant and mycorrhizal fungal communities are not necessarily increased by diversity in the other. *Journal of Ecology, 103*, 1233-1244. https://doi.org/10.1111/1365-2745.12452

Wright, J. P, & Shimabukuro, R. H. (1987). Effects of diclofop and diclofop-methyl on the membrane potentials of wheat and oat coleoptiles. *Plant Physiology, 85*, 188-193. https://doi.org/10.1104/pp.85.1.188

Xu, G. H., Chague, V., Melamed-Bessudo, C., Kapulnik, Y., Jain, A., Raghothama, K. G., Levy, A. A., & Silber, A. (2007). Functional characterization of LePT4: A phosphate transporter in tomato with mycorrhiza-enhanced

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26 ]

[ DOI: DOI: 10.22034/14.66.245 ]

expression. *Journal of Experimental Botany, 58*, 2491-2501. https://doi.org/10.1093/jxb/erm096

Yang, S. Y., Grønlund, M., Jakobsen, I., Suter Grotemeyer, M., Rentsch, D., Miyao, A., Hirochika, H., Santhosh Kumar, C., Sundaresan, V., Salamin, N., Catausan, S., Mattes, N., Heuer, S., & Paszkowski, U. (2012). Nonredundant regulation of rice arbuscular mycorrhizal symbiosis by two members of the Phosphate Transporter1 gene family. *Plant Cell, 24*, 4236-4251. https://doi.org/10.1105/tpc.112.104901

Yusuf, K. O, & Ogunlela, A. O. (2016). Effect of magnetically treated water on the quality of tomato. *Kathmandu University Journal of Science, Engineering and Technology*, *12*(2), 29-33. https://doi.org/10.3126/kuset.v12i2.21519

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26 ]

[ DOI: DOI: 10.22034/14.66.245 ]

# Effect of magnetic water on some morphological, biochemical and hormonal responses of sunflower (*Helianthus annuus* L. cv. Lakomka) under Super Gallant herbicide stress

**Zeinab Dehghan[1], Jalil Khara[2]***

**[1] Department of Biology Education, Farhangian University, Tehran, Iran**
**[2] Department of Biology, Urmia University, Urmia, Iran**
**(Received: 2025/01/11, Accepted: 2025/04/29)**

**Abstract**

To investigate the effects of the herbicide Super Gallant on morphological and biochemical activities and hormonal responses of sunflower (*Helianthus annuus* L., cv. Lakomka) under magnetized water treatment, an experiment was conducted in a completely randomized design with four herbicide concentration levels (0, 25, 50, and 75 mg/L) and three replications. The study was carried out in the growth chamber of the Biology Department, Urmia University, in 2018. Pots were irrigated with distilled water (control plants) and magnetic water (treated plants) for the first two weeks of the growing period, and with half-strength Hoagland's solution every other day from the third week. At the 4-6 leaf stage, different concentrations of herbicide were sprayed onto the aerial parts of the plants. The effects of the herbicide on the measured parameters were evident in both control and magnetic water-treated plants. A significant increase in gibberellin content was observed in magnetic water-treated plants, while a decrease in shoot auxin content was observed in both groups of plants. Root auxin content increased in control plants, and proline and soluble sugar contents increased in both groups of plants. Protein content and dry weight decreased significantly in both groups of plants. Under super gallant herbicide stress, as the herbicide concentration increased, the amount of damage to the plant increased, and the plant responded by increasing proline and soluble sugar levels.

**Keywords**: Protein, Lakomka, Auxin, Proline, Gibberellin, Soluble sugar

Corresponding author, Email: j.khara@urmia.ac.ir; jakhara@yahoo.cm

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26 ]

[ DOI: DOI: 10.22034/14.66.245 ]