امکان‌سنجی کاربرد فرکانس‌های بیورزونانس در محیط کشت هیدروپونیک در افزایش متابولیت گیاهان بدون نیاز به کود شیمیایی (مطالعه موردی Triticum)

حمید کشوری[1]، مریم صابریان ثانی[1*]، اعظم سادات دلبری[1]، مهرداد ایمان زاده[1]، احمد شفایی زاده[1]، سید محمد شتاب بوشهری[2]

[1] پژوهشکده فناوری سلامت، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، تهران، ایران
[2] گروه تولیدات گیاهی، پژوهشکده کشاورزی، سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران
[*] نویسنده مسئول

saberiyan70.negar@gmail.com

چکیده

امروزه جایگزین نمودن دستاوردهای بیوتکنولوژی با کود و سموم شیمیایی، یکی از اهداف اصلی حفاظت از محیط‌زیست در حوزه کشاورزی است. تشدید در امواج الکترومغناطیسی رزونانس نامیده می‌شود؛ که کاربرد فرکانس‌های رزونانسی در حوزه کشاورزی را می‌توان تحت عنوان یکی از روش‌های نوین بیوتکنولوژی مطرح نمود. این فرکانس‌ها می‌توانند سبب بروز تغییرات وسیعی در سطح مولکولی و فنوتیپی در گیاهان شوند. در این تحقیق به منظور مطالعه امکان‌سنجی کاربرد فرکانس‌های بیورزونانسی در محیط کشت هیدروپونیک در افزایش متابولیت گیاه گندم، از ۴ تیمار (طول موج های رزونانسی تقویت گندم، شتاب رشد گیاه و عمومی رشد ریشه و یک تیمار ترکیبی از این سه فرکانس) در قالب طرح کاملا تصادفی با ۵ تکرار استفاده شده است و همچنین جهت تجزیه آماری از آزمون آنوا و آزمون تعقیبی دانکن در نرم افزار آماری (SPSS 24) استفاده شده است. نتایج بررسی تندش اولیه، طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه، وزن تر و وزن خشک بیومس گیاه و درنتیجه فاکتور گرایش به رشد گیاه گندم، نشان داد که در تمام تیمارها نسبت به نمونه کنترل، درسطح ۰/۰۵ درصد افزایش معنی‌داری نشان داده است. درنتیجه استفاده از فرکانس‌های رزونانسی در محیط کشت هیدروپونیک با توجه به خاصیت دوستدار محیطزیستی، این امواج می‌توانند جایگزین مناسبی برای بسیاری از سموم و کودهای شیمیایی کشاورزی بوده و تاثیرات مخرب و غیر محیطزیستی آن‌ها را حذف نمایند.

کلمات کلیدی: متابولیت، الکترومغناطیس، هیدروپونیک، گندم، بیورزونانس

زمینه و هدف

تمامی ذرات در جهان دارای ارتعاش الکترومغناطیس هستند؛ زمانی که در فرکانسی خاص از امواج الکترومغناطیس نوسان به وجود آید به آن فرکانس رزونانس گفته می‌شود (Gouda, El Dein et al., 2009). در فرکانس رزونانسی، انرژی ارتعاشی ذخیره می‌گردد و موجب می‌شود نیرویی کوچک اما متناوب، دامنه نوسانی بزرگی ایجاد کند (Sarraf, Kataria et al., 2020). از آنجایی که آزمایش تأثیر این امواج بر روی انسان‌ها و جانوران ریسک بالایی دارد، گیاهان برای بررسی تأثیر کلی بر رشد، بهره‌وری، پارامترهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی انتخاب بهتری خواهند بود؛ زیرا

مطالعات روی گیاهان نیازی به امکانات ویژه و تعهد قانونی ندارد. جوانه‌زنی بذرها و سرعت رشد، ویژگی‌های مهمی برای به حداکثر رساندن بهره‌وری هستند (Golbaz and Kaviani, 2019). تنش‌های زیستی و غیر زیستی با القای تنش اکسیداتیو، اثرات مختلفی بر متابولیسم گیاهان دارند. امواج الکترومغناطیس به دلیل آن که حامل انرژی هستند، می‌توانند در ایجاد چنین تنش‌هایی تأثیرگذار باشند. بررسی‌ها نشان می‌دهد که این امواج بر جنبه‌های مختلف زندگی گیاهان از جمله نمو رویشی، زایشی و عملکرد سلول‌های گیاهی اثر می‌گذارند و در فرکانس‌های پایین می‌توانند بدون آسیب جدی به گیاه روی توان زیستی بذرها تغییر ایجاد کنند (Florez, Carbonell et al., 2007). تحقیقات نشان داده است استفاده از سیستم آبیاری که تحت امواج الکترومغناطیس قرار گرفته‌اند، به شکل معنی‌داری رشد گیاهان را افزایش داده است؛ برای مثال در مطالعه‌ای تأثیر آب مغناطیسی بر برخی از پارامترهای رشد گیاهان ذرت مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان داد که بوته‌های ذرت که با آب مغناطیسی آبیاری می‌شوند، طول شاخه بالاتری نسبت به آب لوله کشی معمولی دارند. آب مغناطیسی وزن خشک گیاهان ذرت را در مقایسه با گیاهان غیر مغناطیسی شده افزایش داد (Alattar, Elwasife et al., 2021). همچنین اثراتی مثبت بر برخی پارامترهای کیفی از جمله اسیدهای آمینه، پروتئین، اسیدهای چرب در محصولات گندم و کلزا نیز ثبت شد (Hozayn, El-Monem et al., 2013). مرور مطالعات نشان می‌دهد که میدان الکترومغناطیس سبب بهبود بنیه بذر و گیاهچه و افزایش عملکرد در غلات، لگوم‌ها، سبزیجات و بازدانگان می‌شود (Hozayn, El-Monem et al., 2013). اربابیان و همکاران (۲۰۱۰) در بررسی تأثیر میدان الکترومغناطیسی بر اندام‌های گیاه سویا نتیجه گرفتند که میدان‌های الکترومغناطیسی در شدت‌های کم بر ساختار و تکوین اندام‌های رویشی گیاه سویا تأثیرگذار است (Arbabian, Majd et al., 2010). ملکی و همکاران (۱۳۹۳) در بررسی تأثیر میدان الکترومغناطیس و امواج فراصوت بر جوانه‌زنی بذر زیره سبز به این نتیجه رسیدند که اثر متقابل میدان الکترومغناطیسی و زمان بر صفات طول، وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه، نسبت وزن و طول ریشه‌چه به ساقه‌چه، درصد و سرعت جوانه‌زنی، میانگین مدت جوانه‌زنی معنی‌دار بود (Vishki and Khoddami, 2015). در پژوهشی با بررسی اثر امواج الکترومغناطیس بر گندم بهاره بیان شد بذرهای گندمی که تحت تأثیر میدان الکترومغناطیسی قرار می‌گیرند نسبت به بذرهای کنترل، دارای طول ساقه‌چه بیشتری بوده‌اند (Jedlicka, Vnencak et al., 2015). در تحقیقی تغییرات عملکرد کشاورزی گندم سیاه معمولی ناشی از تیمار بذر با پلاسما سرد و میدان الکترومغناطیسی بررسی شده، که به طور قابل ملاحظه‌ای رشد گیاه در مزرعه، تولید زیست توده، عملکرد بذر و کیفیت تغذیه را افزایش داده است. نتایج به دست آمده به شدت از این ایده که درمان بذر گیاه با عوامل استرس‌زای فیزیکی که دارای پتانسیل بالایی برای استفاده در کشاورزی هستند، حمایت می‌کند (Ivankov, Naučienė et al., 2021). گندم[1] از مهم‌ترین غلات است که جزو قوت غالب مردم جهان می‌باشد. گندم از گیاهان گلدار تک‌لپه‌ای یک ساله و تیره گندمیان و از خانواده گرامینه‌ها است. این محصول بیشترین مساحت زیر کشت محصولات غذایی را به خود اختصاص داده است (Kim, Lee et al., 2016). در این مطالعه امکان‌سنجی کاربرد فرکانس‌های بیورزونانسی در محیط کشت هیدروپونیک در افزایش متابولیت گیاه گندم بررسی گردیده است.

روش بررسی

شرایط و نحوه کشت

۵۰۰ گرم بذر شناسنامه‌دار گیاه گندم، رقم نیک نژاد، از بانک ژن دانشگاه پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج تهیه گردید. طراحی این آزمایش شامل ۴ تیمار (فرکانس) با ۵ تکرار است. ۲۵ عدد بذر به عنوان هر یک از نمونه‌های تیمار و شاهد، انتخاب

[1] Triticum

و ضدعفونـی شدند. در ابتدا بذرها به مدت ۱۰ ثانیه در الکل ۷ درصد و بعد از آن در محلول هیپوکلریت سدیم ۱۰ درصد قـرار گرفتـه تـا ضدعفونـی شـوند. سـپس بـا آب مقطـر شسـت و شـو شـدند. بذرهـای ضدعفونـی شـده در داخل پتری‌دیش‌هـای حاوی دو عدد کاغذ واتمن شـماره ۱، قـرار گرفتـه و بـه فاصلـه ۲ روز تمدید آب انجـام شـد.

تیمارها

تقویـت گنـدم (wheat strengthen)، شـتاب رشـد گیـاه (plant Growth acceleration) و عمومـی رشـد ریشـه (Root Growth General) جهـت بررسـی انتخـاب شـده اسـت. همچنیـن جهـت بررسـی اثـر تجمعـی امـواج از ترکیـب ایـن سـه طـول مـوج نیـز بـه عنـوان یـک تیمـار جداگانـه اسـتفاده شـده اسـت.

جدول ۱. تیمارها و تکرارها

تیمارها	تکرارها	توضیحات
تقویت گندم	(wh۱)،(wh۲)،(wh۳)،(wh۴)،(wh۵)	برای بررسی وزن تر و خشک
شتاب رشد گیاه	(p)،(p)،(p)،(p)،(p)	برای بررسی طول ریشه و ساقه‌چه
عمومی رشد ریشه	(R۱)،(R۲)،(R۳)،(R٤)،(R٥)	برای بررسی تندش اولیه
ترکیب طول موج‌ها	(T۱)،(T۲)،(T۳)،(T٤)،(T٥)	برای مقایسه سه تیمار
Cr	با ۵ تکرار	کنترل تیمارR
کنترل Cp	با ۵ تکرار	کنترل تیمارP
کنترل Ct/ Cwh	با ۵ تکرار	کنترل تیمار T/ Wh

طـول موج‌هـای ذکـر شـده توسـط مرکـز بیورزونانـس دانشـگاه امیرکبیـر توسـط کارشناسـان علـم رزونانـس، توسـط دسـتگاه رزونانـس در بطری‌هـای آب معدنـی ۵۰۰ سـی سـی کپـی و از ایـن آب مغناطیسـی جهـت کشـت هیدروپونیـک بذرهـای مـورد نظـر اسـتفاده گردیـد. جهـت اطمینـان بیشـتر در بررسـی تأثیرگـذاری هـر یـک، ۵ تکـرار در نظـر گرفتـه شـد و هـر یـک بـا حـروف اختصـاری نام‌گـذاری شـده اسـت. (جـدول ۱)

محیط آزمایشگاه

تمـام مراحـل آزمایـش در گلخانـه‌ی گـروه کشـاورزی پژوهشـگاه علمـی و صنعتـی ایـران تحـت شـرایط اسـتاندارد از نظـر دمـا، نـور و رطوبـت انجـام شـده اسـت. در طـول آزمایـش، آب‌هـای مغناطیسـی مـورد اسـتفاده را در ورقه‌هـای آلومینیومـی و بـه دور از ابـزار مغناطیسـی و میادیـن فلـزی، تکان‌هـای شـدید و دمـای بـالا (بالاتـر از دمـای اتـاق) نگـه داری نمودیـم.

بررسی جوانه‌زنی و اندازه گیری طول ریشه‌چه و ساقه‌چه

تعـداد بذرهـای جوانـه زده از مرحلـه صفـر (تنـدش) در تیمـار (Root Growth General) (خـروج دو میلیمتـر ریشـه‌چه بـه عنـوان معیـار جوانه‌زنـی در نظـر گرفتـه شـد) از روز دوم تـا روز هفتـم شـمارش و یاداشـت شـده اسـت. در روز پنجـم تیمـار (plant Growth ac-celeration) از نظـر طـول ریشـه‌چه و طـول سـاقه‌چه بررسـی شـدند؛ به‌طـوری کـه طول بلندترین ریشه‌چـه از ناحیه یقه تا نوک ریشه‌چـه و طول ساقه‌چـه از ناحیه یقه تا نوک مریستم انتهایی با استفاده از خط کش بر حسب میلـی متر اندازه گیری گردیـد.

گیـاه در روز هفتـم تیمـار (wheat strengthen) از نظـر وزن تـر و خشـک با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقـت ۰/۰۱ بررسـی گردیـد؛ جهـت بررسـی وزن خشـک، اجـزای گیـاه (سـاقه‌چه و ریشـه‌چه) را در دسـتگاه آون (مـدل مـرک آلمـان) بـا حـرارت ۸۰ درجـه سـانتی‌گراد بـه مـدت ۴۸ سـاعت خشـک و توزیـن نمودیـم. همچنیـن فاکتـور گرایـش بـه رشـد (GT یـا Growth tendency) بـا اسـتفاده از معادلـه (۱) محاسـبه گردیـد.

$$\text{گرایش به رشد} = \frac{\text{وزن تازه گیاه شاهد} - \text{وزن تازه گیاه در تیمار (میلی گرم در کیلو گرم)}}{\text{وزن تازه گیاه در تیمار (میلی گرم در کیلو گرم)}} \times 100$$

معادله شماره (۱)

تجزیه و تحلیل داده‌ها

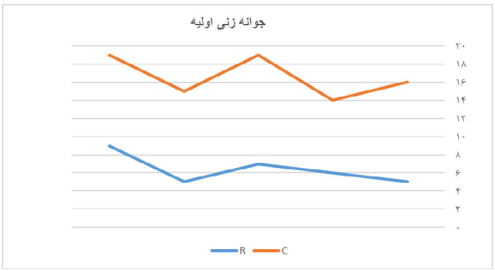
مرتب سازی و بررسی داده‌ها با استفاده از نرم افزار Excel 2018 و تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از آزمون آماری آنوا (ANOVA) و همچنین آزمون تعقیبی دانکن (جهت مقایسه میانگین بین گروه‌ها در نرم افزار spss24) انجام شده است.

انتخاب آزمون آماری جهت تحلیل داده‌ها

جهت آزمون نرمال بودن داده‌ها روش‌های متعددی وجود دارد؛ ما در این تحقیق از آزمون کولموگروف-اسمیرنف استفاده کردیم. طبق نتایج آن در جدول (۲)، معنی‌داری بالای ۰/۰۵ بدست آمده است؛ که نشان می‌دهد داده‌ها دارای توزیع نرمال هستند و می‌توان از تحلیل‌های پارامتریک برای آن استفاده نمود. بر این اساس آزمون تحلیل واریانس یکطرفه (ANOVA) را با توجه به نوع داده‌ها برای این تحقیق انتخاب نمودیم.

جدول۲. آزمون کولموگروف-اسمیرنوف جهت بررسی نرمال بودن داده‌ها

متغیر	میانگین	انحراف استاندارد	کولموگروف-اسمیرنوف	Sig.
طول ریشه‌چه	۶/۱۷	۱/۳۳	۰/۱۱۷	۰/۲۰
طول ساقه‌چه	۴/۳۹	۰/۸۶	۰/۱۱۰	۰/۲۰
وزن تر	۱/۹۰	۰/۴۳	۰/۰۹۴	۰/۲۰
وزن خشک	۰/۶۸	۰/۱۲	۰/۲۱۰	۰/۱۰
تندش	۸/۶۶	۲/۳۴	۰/۱۶۰	۰/۲۰



نمودار ۱. مقایسه تندش بین تیمار R و نمونه‌های کنترل (C)

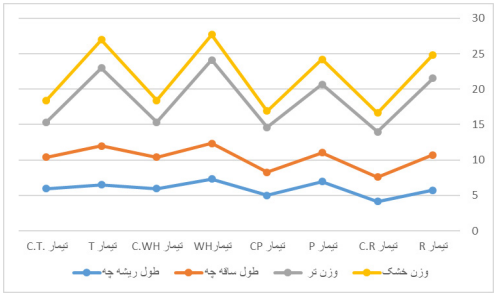
نتایج

تندش بذر (جوانه‌زنی اولیه)

نتایج شمارش جوانه‌زنی اولیه در (نمودار ۱) نشان داده شده است. همان‌طور که مشخص است در تیمار R میزان تندش بیشتر از تیمار کنترل بوده و توانسته بر سرعت جوانه‌زنی تاثیر مثبت داشته باشد؛ بنابراین می‌توان بیان داشت میدان‌های الکترومغناطیسی کم فرکانس اثر تحریک کننده بر جوانه‌زنی گیاه گندم نشان داده است.

عملکرد گیاه

همانطور که در نمودار ۲ آورده شده است، تمام تیمارها نسبت به نمونه کنترلشان افزایش معنی‌دار در رشد ریشه‌چه نشان می‌دهند و تیمار WH > تیمار P > تیمار T > تیمار R است و همچنین طول ساقه‌چه در هر چهار تیمار افزایش معنی‌داری را نسبت به نمونه‌های کنترل نشان می‌دهد و تیمار WH > تیمار T > تیمار R > تیمار P است. در رابطه با وزن تر و خشک بیومس گیاه نیز تیمار WH > تیمار T > تیمار R > تیمار P بوده است؛ و تمام تیمارها نسبت به نمونه کنترلشان افزایش معنی‌دار دارند. که به‌طور کلی این نتایج نشان می‌دهد که تیمار WH بیشترین تاثیر را در افزایش عملکرد گیاه گندم (طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و همچنین وزن تر و خشک) داشته است.



نمودار ۲. عملکرد گیاه گندم تحت تیمارهای مختلف

جدول ۳. نتایج آزمون تحلیل واریانس یک طرفه جهت مقایسه طول ریشه‌چه

منابع واریانس	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	Sig.
بین گروهی	۳۸/۴۵	۶	۶/۴۰	۹/۷۶	۰/۰۰۰.
درون گروهی	۱۶/۴۱	۲۵	۰/۶۵۶		
کل	۵۴/۸۶	۳۱			

جدول ٤. نتایج آزمون دانکن جهت مقایسه طول ریشه‌چه گندم

تیمار ها	تعداد	**دانکن طول** ریشه چه **در سطح معناداری ۰/۰۵**			
		۱	۲	۳	۴
C.R	۴	۴/۱۶			
C.P.	۴	۴/۹۹	۴/۹۹		
R	۵		۵/۷۵		
C.T.W.	۴		۶/۰۹	۶/۰۹	
P	۵			۶/۹۶	۶/۹۶
T.	۵				۷/۲۸
WH.	۵				۷/۳۱
Sig.		۰/۱۳۴	۰/۰۶۴	۰/۱۲۲	۰/۵۴۰

طول ریشه‌چه گیاه گندم

طبق جدول‌های (۳ و ۴) با توجه به این‌که مقدار (Sig.= 000) یا پی ولیو کمتر از ۰/۰۵ می‌باشد، لذا در می‌یابیم اختلاف معنی‌داری بین سطوح مختلف تیمار و نمونه‌های کنترل در رابطه با طول ریشه‌چه وجود دارد.

با توجه به گروه بندی صورت گرفته توسط نرم افزار spss در جدول (۴) (چهار گروه بندی در خروجی فوق قابل مشاهده است)، نتیجه گرفته می‌شود اختلاف تیمارها در (گروه ۱: C.R و C.P. / گروه ۲: تیمارهای C.P. و R و C.T.W./ گروه ۳: تیمارهای C.T.W. و P/ گروه ۴: P و .T و .WH) معنی‌دار نیست و در سایر حالات بین تیمارها اختلاف معنی‌داری وجود دارد. در واقع تمام گروه‌های تیمار نسبت به تیمارهای کنترلشان معنی‌دار بودند.

جدول ۵. نتایج آزمون تحلیل واریانس یک طرفه جهت مقایسه طول ساقه‌چه

منابع واریانس	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	Sig.
بین گروهی	۱۵/۱۰	۶	۲/۵۱۷	۷/۶۴۴	.۰۰۰
درون گروهی	۸/۲۳	۲۵	۰/۳۲۹		
کل	۲۳/۳۳	۳۱			

جدول ٦. نتایج آزمون دانکن جهت مقایسه طول ساقه‌چه

تیمار ها	دانکن طول ساقه چه			
	تعداد	در سطح معناداری ۰/۰۵		
		۱	۲	۳
C.P.	۴	۳/۲۷		
C.R	۴	۳/۴۵		
P	۵		۴/۰۹	
C.T.W.	۴		۴/۴۴	۴/۴۴
R	۵	۴/۰۹		۴/۹۸
WH.	۵			۵/۰۴
T.	۵			۵/۰۶
Sig.		۰/۰۵۲	۰/۳۶۸	۰/۱۴۹

طول ساقه‌چه

طبق جدول‌های (۵ و ۶) در رابطه با طول ساقه‌چه با توجه به اینکه مقدار (Sig.=000) یا پی ولیو کمتر از ۰,۰۵ می باشد، در می‌یابیم اختلاف معنی‌داری بین سطوح مختلف تیمار و نمونه کنترلشان وجود دارد.

با توجه به گروه بندی صورت گرفته توسط نرم افزار spss در جدول (۶) (سه گروه‌بندی در خروجی فوق قابل مشاهده است)، نتیجه گرفته می‌شود اختلاف تیمارها در گروه ۱: تیمارهای C.R و .C.P و R / گروه ۲: تیمارهای P و .C.T.W گروه ۳: تیمارهای .C.T.W، R، T. و .WH. معنی‌دار نیست و در سایر حالات بین تیمارها اختلاف معنی‌داری وجود دارد. در واقع در رابطه با طول ساقه بجز تیمار R، سایر تیمارها نسبت به نمونه کنترلشان اختلاف معنادار دارند.

گرایش به رشد (GT)

جدول (۷) نشان دهنده‌ی فاکتور گرایش به رشد گیاه گندم در ۴ تیمار مورد بررسی است. همان‌طور که مشاهده می‌شود وزن تر و

جدول۷. اندازگیری مقدار گرایش به رشد

تیمار T			تیمار WH			تیمار P			تیمار R		
کنترل C.T.W.	وزن خشک	وزن تر	کنترل C.T.W.	وزن خشک	وزن تر	کنترل C.P.	وزن خشک	وزن تر	کنترل C.R	وزن خشک	وزن تر
خشک	تر		خشک	تر		خشک	تر		خشک	تر	
۳/۰۸	۴/۹۳	۳/۵۷	۱۰/۸۴	۴/۹۳	۳/۴۳	۱۱/۷۷	۲/۳	۳/۵	۹/۶۵	۲/۶۹	۶/۳۵	۳/۳	۱۰/۸

جدول ۸. نتایج آزمون تحلیل واریانس یک طرفه جهت مقایسه فاکتور گرایش رشد (GR)

منابع واریانس	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	Sig
بین گروهی	۱۹۱/۹۰	۶	۳۱/۹۸	۰/۱۷۵	۰/۰۰۰
درون گروهی	۰/۰۰۰	۲۵	۰/۰۰۰		
کل	۱۹۱/۹۰	۳۱			

خشک در همه‌ی تیمارها به طور معنی‌داری نسبت به نمونه کنترل بیشتر بوده است؛ که نشان دهنده تأثیر مثبت فرکانس‌ها در متابولیت گیاه گندم است. نتایج نشان می‌دهد GT در تیمار WH > تیمار T > تیمار R > تیمارP است. با توجه به جدول (۸) GR در ۴ تیمار مختلف در سطح معنی‌داری ۰/۰۵، (Sig=.000) به طور معنی‌داری بیشتر از نمونه‌های کنترل است.

بحث

در سال‌های اخیر میدان‌های الکترومغناطیسی به عنوان یکی از عوامل موثر بر موجودات زنده در نظر گرفته شدند. این میدان‌ها می‌توانند بر تکثیر و تمایز سلولی تأثیر گذاشته و در گیاهان سرعت جوانه زنی و رشد دانه را تغییر دهند (Arbabian, Majd et al., 2010). نتایج بررسی تندش اولیه در این تحقیق نشان داد که امواج الکترومغناطیس تأثیر مثبتی بر جوانه‌زنی داشته‌اند، جوانه زدن سریع‌تر گیاهان از نظر اقتصادی مفید است و می‌توانند مزایایی را به دلیل افزایش قیمت محصولات به ارمغان آورد. نتیجه این مطالعه با نتایج تحقیقات ایوانکو و همکاران (۲۰۲۱) که تغییرات عملکرد کشاورزی گندم سیاه معمولی ناشی از تیمار بذر با پلاسما سرد و میدان الکترومغناطیسی را بررسی کرده‌اند، برابری داشت. هدف از این مطالعه تعیین اثرات تیمار بذر قبل از کاشت با پلاسما سرد (CP) و میدان الکترومغناطیسی (EMF) بر عملکرد کشاورزی دو رقم گندم سیاه معمولی بوده است، و برای این منظور، اثرات CP و EMF بر جوانه‌زنی بذر، رشد گیاه در مزرعه، بازده فتوسنتز، تولید زیست توده، عملکرد بذر و میزان متابولیت‌ها و مواد معدنی ثانویه در دانه‌های برداشت شده برآورد شد. اگرچه درصد نهال‌هایی که در شرایط مزرعه ظاهر شده‌اند بین ۱۱ تا ۲۰ درصد کاهش یافته است؛ تیمار بذر، رشد و عملکرد گندم سیاه را به شدت بهبود بخشیده است. صرف نظر از تفاوت در پویایی تغییرات رشد و فعالیت فتوسنتزی بین دو رقم، وزن بذرهای جمع آوری شده در بوته برای هر دو رقم در مقایسه با شاهد، به طور قابل توجهی بیشتر (۷۰–۹۷٪) بود. ترکیب بیوشیمیایی دانه‌های برداشت شده (آهن، روی، محتوای کورستین) نیز با تیمار بذر تغییر کرد. بنابراین نشان داده شد، درمان قبل از کاشت بذر گندم سیاه با CP و EMF به طور قابل ملاحظه‌ای رشد گیاه در مزرعه، تولید زیست توده، عملکرد بذر و کیفیت تغذیه را افزایش می‌دهد. نتایج بدست آمده به شدت از این ایده که درمان بذر گیاه با عوامل استرس‌زای فیزیکی، دارای پتانسیل بالایی برای استفاده در کشاورزی است، حمایت می‌کند (Ivankov, Naučienė et al., 2021). قنبرپور و همکاران در سال (۲۰۲۱) در خصوص اثر درمان مغناطیسی بر خیار[1] مطالعه‌ای انجام داده‌اند. این مطالعه به منظور بررسی اثرات شدت و مدت زمان میدان مغناطیسی بر جوانه‌زنی و پارامترهای رشد پیوند خیار انجام شد. آزمایش‌ها به صورت فاکتوریل در یک طرح کاملاً تصادفی با دو تیمار، شامل شدت میدان مغناطیسی در سه سطح (= millitesla S3 ، S2 = 140 ، S1 = 80 240) و مدت زمان میدان مغناطیسی در چهار سطح (T4 = 20 ، T3 = 15 ، 10T2 =، T1 = 5 دقیقه) با سه تکرار انجام شده است. طول ریشه، طول ساقه، شاخص سطح برگ، وزن ریشه، درصد جوانه‌زنی، محتوای کلروفیل برگ و وزن خشک ساقه اندازه گیری شد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر میدان مغناطیسی بر طول ریشه، طول ساقه، سطح برگ، وزن ریشه، جوانه‌زنی و محتوای کلروفیل از نظر آماری معنی‌دار است؛ تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک وجود نداشت. شدت میدان مغناطیسی ۱۴۰ mT برای مدت زمان ۵ و ۱۰ دقیقه یا شدت زیاد با مدت زمان کم، تأثیر بیشتری بر رشد گیاه در مقایسه با گیاه خالی داشت (Ghanbarpouri, Ghahsareh et al., 2021). همچنین در بررسی تأثیر میدان مغناطیسی بر جوانه‌زنی بذر گوجه فرنگی (Hozayn, Abdallha et al., 2016) و در بررسی اثرات متغیر میدان مغناطیسی بر جوانه‌زنی بذرکلم بروکلی (Marghaeizadeh, GHARINE et al., 2014) نتایج مشابه تحقیق حاضر

[1] Cucumis sativus L

را داشتند. تأثیر میدان‌های مغناطیسی بر تغییرات درصد و سرعت جوانه زنی دانه‌ها و نیز رشد و نمو دانه‌ها گزارش شده است (Faqenabi, Tajbakhsh et al. 2009)؛ و علت این تغییرات را اثر القاکنندگی میدان‌های مغناطیسی بر ژن‌های عملکردی هسته سلول‌ها اعلام نمودند. مجد و همکاران (۲۰۰۷) نیز همین نتیجه را برای گیاهان بادام زمینی، عدس و کلزا تحت تیمار با میدان‌های مغناطیسی و امواج الکترومغناطیسی گزارش کردند (Ling, Zhao et al. 2013). گیاهان دارای سلول‌های حاوی عنصر آهن هستند که مشخصا در رشد گیاه تأثیر فراوانی دارند. آخرین مدار مغناطیسی اتم آهن که با اموج مغناطیسی اعمال شده از خارج از سیستم درگیر می‌شود، یک نوسان در سیستم ایجاد می‌کند؛ در نتیجه در سلول‌های حاوی عنصر آهن نیرویی ایجاد می‌شود. این نوسان ایجاد شده انرژی خود را به کار گرفته و سپس بعد از مدتی در مسیر امواج مغناطیسی قرار می‌گیرد. علت تفاوت در عکس العمل به امواج مغناطیسی در گیاهان نه تنها به دلیل تفاوت در شدت امواج می‌باشد، بلکه به مرحله فیزیولوژیکی رشد، که گیاه مورد آزمایش در آن قرار دارد نیز بستگی دارد. در نتیجه، این امواج می‌توانند از طریق افزایش عناصری مثل Mg Ca , باعث افزایش رشد شوند (Arbabian, Majd et al. 2010). نتایج تحقیق حاضر نیز نشان داد در تیمارهای رزونانسی طول ریشه‌چه و طول ساقه‌چه نسبت به نمونه‌های کنترل به طور معنی‌داری افزایش یافته است. در واقع میدان مغناطیسی باعث افزایش یون‌ها می شود که در نتیجه رشد گیاه افزایش می‌یابد و از این پدیده می‌توان به عنوان جایگزینی برای تیمارهای شیمیایی استفاده کرد. در این زمینه ویشکی و همکاران (۲۰۱۵) با بررسی تأثیرات فرکانس بسیار پایین تابش الکترومغناطیس بر روی تغییرات بیوشیمی در گیاه مرزه به این نتیجه رسیدند که با بررسی مورفولوژی و رشد نهال در نمونه‌های آزمایشی نسبت به شاهد، میانگین طول ریشه افزایش می‌یابد (Ragha, Mishra et al. 2011)؛ و همچنین دیکو (۲۰۱۴) در بررسی تأثیر امواج الکترومغناطیس بر جوانه‌زنی گیاهان بیان نمود که تحریک محصولات کشاورزی با استفاده از تابش الکترومغناطیسی با فرکانس پایین موجب افزایش جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و ریشه دواندن گیاهان می شود (Alattar, Elwasife et al. 2021). تحقیقات کیم (۲۰۰۹) در بررسی عملکرد رشد محصول با استفاده از الکتریسیته و میدان مغناطیسی کم، نشان داد که در گیاهانی مانند ذرت، گندم، نخود، سویا و شنبلیله فرکانس مغناطیسی نقش مهمی در رشد گیاه دارند. این سیگنال‌ها در سراسر سلول منتشر شده و باعث تغییر در عملکرد فیزیولوژیکی و افزایش رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه در گیاه می‌شوند. میدان‌های مغناطیسی می‌توانند تغییرات فیزیولوژیکی در سلول‌های گیاهی ایجاد کنند و باعث رشد ساقه‌چه و ریشه‌چه گردند (Kim, Lee et al. 2016). تحریک با یک میدان مغناطیسی می‌تواند اثرات شبیه به کودهای شیمیایی داشته باشد؛ که بدان معنی است که می‌توان در استفاده از کود اجتناب ورزید. به طور کلی همان‌طور که مشاهده شد در این تحقیق، چهار تیمار اعمال شده باعث افزایش عملکرد گیاه و بالا بردن فاکتور گرایش به رشد شده‌اند. عملکرد بیولوژیکی با توجه به افزایش رشد رویشی گیاه (افزایش ارتفاع و بیومس) قابل توجیه می باشد. با افزایش فعالیت آنزیم‌ها و افزایش سنتز پروتئین در سلول‌های گیاهی، بیوماس کل در گیاه به سرعت و به شدت افزایش می یابد؛ که نتیجه آن افزایش عملکرد بیولوژیکی می باشد (Faqenabi, Tajbakhsh et al. 2009). در این زمینه افهیمادو و همکاران (۲۰۱۴) آزمایش‌هایی مبنی بر تأثیر میدان الکترومغناطیسی بر رشد گیاه، جذب مواد مغذی و عملکرد گندم انجام دادند. در نهایت به این نتیجه رسیدند که میدان الکترومغناطیسی سبب افزایش وزن خشک، طول ریشه‌چه، سطح ریشه‌چه، مواد مغذی، عملکرد و میزان کل نیتروژن شده است (Efthimiadou, Katsenios et al. 2014).هوزیان و همکاران (۲۰۱۰) به این نتیجه رسیدند که آب

مغناطیسی در آبیاری گیاه گندم سبب افزایش ارتفاع بوته، وزن خشک تازه و وزن خشک بوته و در نتیجه سبب افزایش قابل توجه در عملکرد گیاه شده است (Hozayn and Qados 2010). هوزیان و همکاران (۲۰۱۳) به این نتیجه رسیدند که آب الکترومغناطیسی باعث افزایش معنی‌داری در پارامترهای رشد (ارتفاع گیاه، وزن تازه و وزن خشک) گیاه می‌شود (Hozayn and Qados 2010). نتایج حاصل از تحقیق هوزیان و همکاران بر روی کاربرد تکنولوژی مغناطیسی در کشاورزی (۲۰۱۶)، عملکرد بیشتر و بالا رفتن فاکتور گرایش به رشد نسبت به شاهد را در گندم، کتان، عدس، نخود و چغندر قند را تأیید نمود (Hozayn, El-Monem et al. 2013). اثرات مشابه بر روی گندم سیاه، آفتابگردان، کتان، نخود، فلفل، گوجه فرنگی، سویا، سیب زمینی و چغندرقند گزارش شده است (Arbabian, Majd et al. 2010). تشعشعات الکترومغناطیسی، به ویژه با فرکانس پایین، بر ویژگی‌های الکتریکی غشاء و آب پیوسته موجود در دانه تأثیر می‌گذارد و سبب تسریع فرایندهای زیستی و تبادل مواد در سلول‌های بذر می‌شود. این تشدید سبب می‌شود که مواد مغذی در تمام حجم دانه وارد گردند و به موجب این عمل، دانه‌ها سرعت و درصد بیشتری جوانه‌زنی و رشد و نمو داشته باشند (Martinez and Gordon 2014).

نتیجه‌گیری

از آزمایش انجام شده درمی‌یابیم که فرکانس‌های تقویت گندم، شتاب رشد گیاه و عمومی رشد ریشه تأثیر مثبتی بر متابولیت (میزان تندش، طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه و وزن تر و خشک) و به طور کلی عملکرد گیاه گندم نسبت به نمونه‌های کنترل داشته‌اند؛ و درنتیجه استفاده از فرکانس‌های رزونانسی در محیط کشت هیدروپونیک، با توجه به خاصیت دوست‌دار محیط‌زیستی این امواج، می‌توانند جایگزین مناسبی برای بسیاری از سموم و کودهای شیمیایی کشاورزی بوده و تأثیرات مخرب و غیر محیط‌زیستی آن‌ها را حذف نمایند.

منابع

1. Alattar, E., et al. (2021). "Effects of magnetic field treated water on some growth parameters of corn (Zea mays) plants." AIMS Biophysics 8(3): 267-280.

2. Arbabian, S., et al. (2010). "The effects of electromagnetic field (EMF) on vegetative organs, pollen development, pollen germination and pollen tube growth of Glycine max L." Journal of Cell & Tissue 1(1): 35-42.

3. Efthimiadou, A., et al. (2014). "Effects of presowing pulsed electromagnetic treatment of tomato seed on growth, yield, and lycopene content." The Scientific World Journal 2014.

4. Faqenabi, F., et al. (2009). "The effect of magnetic field on growth, development and yield of safflower and its comparison with other treatments." Res. J. Biol. Sci 4(2): 174-178.

5. Florez, M., et al. (2007). "Exposure of maize seeds to stationary magnetic fields: Effects on germination and early growth." Environmental and experimental botany 59(1): 68-75.

6. Ghanbarpouri, M., et al. (2021). "Effect of magnetic treatment on strong cucumber (Cucumis sativus L.) transplant production." Pakistan Journal of Agricultural Sciences 58(2).

15. Ling, H.-Q., et al. (2013). "Draft genome of the wheat A-genome progenitor Triticum urartu." Nature 496(7443): 87-90.

16. Marghaeizadeh, G., et al. (2014). "Effects of ultrasound waves and magnetic field on growth and yield of Curum copticum in field conditions."

17. Martinez, F. O. and S. Gordon (2014). "The M1 and M2 paradigm of macrophage activation: time for reassessment." F1000prime reports 6.

18. Ragha, L., et al. (2011). "Effects of low-power microwave fields on seed germination and growth rate." Journal of Electromagnetic Analysis and Applications 2011.

19. Sarraf, M., et al. (2020). "Magnetic field (MF) applications in plants: An overview." Plants 9(9): 1139.

20. Vishki, H. E. and A. Khoddami (2015). "n– Weak amenability for Lau product of Banach algebras." Politehn. Univ. Bucharest Sci. Bull. Ser. A Appl. Math. Phys 77: 177-184.

7. Golbaz, G. and B. Kaviani (2019). "Effect of Magnetic Field on Growth and Development Parameters of Rudbeckia hirta L. Seed in Dry and Humid Conditions." Journal of Ornamental Plants 9(4): 233-243.

8. Gouda, O. E., et al. (2009). "Effect of dry zone formation around underground power cables on their ratings." International Journal of Emerging Electric Power Systems 10(3).

9. Hozayn, M., et al. (2016). "Applications of magnetic technology in agriculture: A novel tool for improving crop productivity (1): Canola." African Journal of Agricultural Research 11(5): 441-449.

10. Hozayn, M., et al. (2013). "Do magnetic water affect water use efficiency, quality and yield of sugar beet (Beta vulgaris L.) plant under arid regions conditions?" Journal of Agronomy 12(1): 1-10.

11. Hozayn, M. and A. A. Qados (2010). "Irrigation with magnetized water enhances growth, chemical constituent and yield of chickpea (Cicer arietinum L.)." Agriculture and Biology Journal of North America 1(4): 671-676.

12. Ivankov, A., et al. (2021). "Changes in Agricultural Performance of Common Buckwheat Induced by Seed Treatment with Cold Plasma and Electromagnetic Field." Applied Sciences 11(10): 4391.

13. Jedlicka, P., et al. (2015). "Neuroligin-1 regulates excitatory synaptic transmission, LTP and EPSP-spike coupling in the dentate gyrus in vivo." Brain Structure and Function 220(1): 47-58.

14. Kim, J., et al. (2016). Accurate image super-resolution using very deep convolutional networks. Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition.