

ارزیابی مدل‌های ترکیبی در تخمین درصد روغن نسبی کاملینا تحت تنش‌های آبی و ازت

منصوره بایرام^{1,*}

1- دانش‌آموخته دکتری رشته آبیاری و زهکشی، دانشگاه تربیت مدرس، رایانامه: mansure.bayram@modares.ac.ir

خلاصه

این پژوهش به بررسی اثرات تنش توأمان آبی و نیتروژنی بر درصد نسبی روغن بذر کاملینا در شرایط گلخانه‌ای پرداخته است. آزمایش‌ها در قالب طرح فاکتوریل و با سه سطح آبیاری (100، 75 و 50 درصد ظرفیت زراعی) و سه سطح نیتروژن (22، 19 و 16 میلی‌گرم بر کیلوگرم) انجام شد. بر اساس مدل ون گنوختن، پتانسیل ماتریک خاک در کاهش 50 درصد نسبی روغن کاملینا به ترتیب 26322، 24076 و 21368 سانتی‌متر به‌دست آمد، که نشان‌دهنده مقاومت بالای کاملینا به تنش آبی در سطوح ازت مختلف است. همچنین درصد نسبی روغن تحت تنش آبی در سطح ازت 16 میلی‌گرم بر کیلوگرم از سایر سطوح ازت کمتر است. مدل ون گنوختن در ترکیب با مدل‌های باروری لیبیگ-اسپرینگل و میچرلیخ-بال برای پیش‌بینی پاسخ گیاه به تنش‌ها استفاده شدند. ترکیب مدل ون گنوختن با میچرلیخ-بال از دقت بالایی در پیش‌بینی درصد روغن نسبی کاملینا تحت تنش توأمان آبی و ازت برخوردار است. این نتایج می‌تواند در بهبود مدیریت کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک مؤثر باشد.

کلمات کلیدی: تنش آبی، سطوح مختلف ازت، مدل ون گنوختن، مدل لیبیگ-اسپرینگل، مدل میچرلیخ-بال، کاملینا.

1. مقدمه

در مناطق خشک و نیمه‌خشک، تنش‌های محیطی یکی از عوامل اصلی محدودکننده رشد و عملکرد گیاهان به‌شمار می‌روند. از میان این تنش‌ها، تنش و عناصر غذایی، به‌ویژه ازت، از چالش‌های اساسی در کشاورزی هستند که تأثیرات منفی زیادی بر کیفیت و کمیت تولیدات کشاورزی دارند. خاک‌های این مناطق به‌طور معمول از نظر مواد غذایی دچار کمبود هستند و این وضعیت باعث عدم تعادل در تغذیه گیاهان می‌شود. این عدم تعادل به‌ویژه در مواقعی که با تنش‌های آبی همراه می‌شود، مشکلات بیشتری ایجاد می‌کند [1]. ازت یکی از مهم‌ترین عناصر غذایی است که نقش اساسی در فرآیندهای فیزیولوژیک گیاه، به‌ویژه در فتوسنتز، رشد و تولید محصول دارد [2]. این عنصر بر کیفیت و کمیت محصولات کشاورزی تأثیر زیادی می‌گذارد و در بسیاری از خاک‌ها به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌طور طبیعی در دسترس نیست [3]. کم‌آبی، به‌عنوان یکی از چالش‌های اصلی در این مناطق، باعث کاهش آب قابل دسترس گیاه و در نتیجه محدودیت در جذب عناصر غذایی از جمله ازت می‌شود. کاهش مقدار آب در خاک موجب کاهش سرعت معدنی شدن ازت آلی و حرکت نیترات به سمت ریشه می‌شود که در نهایت جذب ازت توسط گیاه را کاهش می‌دهد [4]. در نتیجه، کمبود ازت می‌تواند فرآیندهای فتوسنتزی گیاه را مختل کرده و در نتیجه رشد و توسعه آن را محدود کند. از آنجا که تنش آبی و عناصر غذایی به‌طور همزمان می‌توانند بر رشد گیاهان تأثیر بگذارند، نیاز به مطالعات دقیق‌تری در زمینه مدیریت این تنش‌ها و ترکیب مدل‌های شبیه‌سازی برای پیش‌بینی پاسخ گیاهان به این شرایط وجود دارد.

در چنین شرایطی، انتخاب گیاهان مقاوم به تنش‌های آبی و ازت امری ضروری است. گیاهان دانه‌روغنی به‌ویژه گونه‌هایی مانند کاملینا (*Camelina sativa* L.)، که به شرایط محیطی خشک و نیمه‌خشک مقاوم هستند، می‌توانند گزینه‌های مناسبی برای مقابله با این تنش‌ها باشند. این گیاه به دلیل نیاز آبی و کودی پایین، همچنین توانایی مقاومت در برابر تنش‌ها، توجه زیادی در تحقیقات کشاورزی پیدا کرده است [5]. گیاه کاملینا علاوه بر مقاومت به تنش‌های محیطی، کاربردهای صنعتی متعددی از جمله تولید روغن، بیودیزل و خوراک دام دارد که باعث افزایش سطح زیر کشت آن در مناطق مختلف شده است [6].

با توجه به اهمیت این گیاه در کشاورزی و صنایع مختلف، استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی برای پیش‌بینی پاسخ گیاه به تنش‌های آبی و ازت می‌تواند در مدیریت بهینه منابع و بهبود عملکرد گیاه در شرایط بحرانی بسیار مفید باشد. در شبیه‌سازی پاسخ گیاه به تنش، معمولاً به علت سهولت دسترسی به داده‌ها، از مدل‌های ماکروسکوپیکی جذب آب استفاده می‌شود [7]. این مدل‌ها می‌توانند به پیش‌بینی دقیق‌تر واکنش گیاه به تنش‌ها کمک کنند و در نهایت به بهبود استراتژی‌های کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک منجر شوند. در این راستا، هدف اصلی این پژوهش بررسی کمی‌سازی واکنش گیاه کاملینا به تنش‌های آبی و ازت به صورت مدل تعیینی (Deterministic) است.

2. مواد و روش‌ها

در این تحقیق، آزمایشی گلدانی در گلخانه با استفاده از خاک لوم به منظور بررسی تأثیر تنش آبی و ازت بر رشد گیاه کاملینا انجام شد. شرایط گلخانه شامل دمای 16-18 درجه سانتی‌گراد و نور 50٪ بود. تیمارها شامل سه سطح آبیاری (100، 75 و 50 درصد ظرفیت زراعی) و سه سطح ازت (100، 75 و 50 درصد نیتروژن مورد نیاز گیاه) با سه تکرار بودند. برای اعمال سطوح کم‌آبی، رطوبت ظرفیت زراعی به عنوان پایه در نظر گرفته شد و میزان کم‌آبی به صورت کسری از آن تنظیم گردید. نمونه خاک از منطقه‌ای در ایوانکی گرمسار برداشت شده و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن اندازه‌گیری شدند و در جدول 1 ارائه شده است.

جدول 1- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک شور

بافت	θ_{FC}	pH	EC (dS/m)	CaCO ₃ (%)	OC (%)	Cl ⁻	Na ⁺	Ca ²⁺	SO ₄ ²⁻	K ⁺	Mg ²⁺
						(g/kg)				(mg/kg)	(mg/kg)
loamy	0/33	7/5	5	11	0/3	0/789	1/29	0/262	2/51	30	65/43

گلدان‌ها به ارتفاع و قطر 18 سانتی‌متر انتخاب شده و خاک آن‌ها به چگالی مشخصی فشرده شد تا ویژگی‌های هیدرولیکی خاک به طور یکنواخت توزیع شوند. پس از کاشت ده بذر کاملینا در هر گلدان، تیمارهای تنش آبی و غلظت ازت از مرحله جوانه‌زنی بر گیاه اعمال شد. تبخیر و تعرق با استفاده از وزن کردن روزانه گلدان‌ها اندازه‌گیری گردید و گلدان‌های شاهد برای تفکیک تعرق از تبخیر استفاده شدند. پس از رسیدن گیاه، درصد روغن بذر با استفاده از دستگاه سوکسله و حلال هگزان نرمال بدست آمد. تمامی داده‌ها به وسیله آنالیز واریانس و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS و ارزیابی مدل‌ها با نرم‌افزار MATLAB تحلیل شدند.

تئوری مدل‌ها

در این مطالعه، برای بررسی اثر کمی تنش آبی بر درصد نسبی روغن، از مدل ون گنوختن (VG) (1987) استفاده شد. همچنین، جهت ارزیابی اثر کمی غلظت ازت بر درصد نسبی روغن، مدل‌های مدل لیبینگ-اسپرینگل (LS) و مدل میچرلیخ-بال (MB) به کار گرفته شدند. این مدل‌ها به صورت ترکیبی مورد استفاده قرار گرفتند و نحوه استفاده از آن‌ها، هم به صورت جداگانه و هم ترکیبی، به شرح زیر است:

مدل VG این مدل به طور گسترده برای تحلیل کاهش درصد نسبی روغن گیاه بر اساس تغییرات پتانسیل ماتریک خاک استفاده می‌شود. این مدل پتانسیل ماتریک h را توصیف می‌کند و پارامتر h_{50} (پتانسیلی که در آن درصد نسبی روغن به 50% کاهش می‌یابد) و P (ضریبی تجربی) را شامل می‌شود.

$$\alpha(h) = \frac{1}{1 + \left(\frac{h}{h_{50}}\right)^P} \quad (1)$$

که در آن، h پتانسیل ماتریک آب در خاک است. h_{50} مقدار پتانسیل ماتریک آب در خاک است که در آن $\alpha(h)$ به 50 درصد کاهش می‌یابد. P نیز ضریبی تجربی است.

مدل LS توسط Liebig و Sprengel در قرن نوزدهم ارائه شد و بیان می‌کند که عملکرد گیاه توسط محدودکننده‌ترین عامل رشد تعیین می‌شود. این پاسخ به صورت خطی بوده و قانون حداقل را توصیف می‌کند؛ قانون حداقل برای یک عنصر غذایی نشان می‌دهد که افزایش آن عنصر تا رسیدن به یک سطح مشخص باعث افزایش عملکرد می‌شود، اما با افزایش بیشتر آن عنصر، عملکرد ثابت می‌ماند [8-10].

$$y_r = \min \begin{cases} a_N - b_N x & ; x < x_{cr} \\ 1 & ; x \geq x_{cr} \end{cases} \quad (2)$$

که در آن x عامل تنش، a_N عرض از مبدأ، b_N شیب تابع پاسخ عملکرد به عامل تنش و x_{cr} حد آستانه عامل تنش است. مدل MB در سال 1909 توسط Mitscherlich معرفی و توسط Baule تکمیل شد. این مدل نشان می‌دهد که پاسخ نزولی گیاه به افزودن عناصر غذایی به دلیل اشباع ناقل‌های جذب عنصر در ریشه رخ می‌دهد Baule. این مدل را توسعه داد و بیان کرد که عوامل رشد به طور تجمعی بر عملکرد گیاه تأثیر می‌گذارند، اما با یکدیگر برهمکنش ندارند [8,9]. بیان ریاضی مدل MB در صورت بررسی پاسخ یک عنصر غذایی به صورت زیر است:

$$y_r = \frac{y}{y_{\max}} = \left(1 - e^{-c_N x_N}\right) \quad (3)$$

که در آن x_N مقدار عامل رشد، C_N عامل کارایی یا ضریب میچرلیخ برای عامل رشد مربوطه است و برای هر عامل رشد، ثابت در نظر گرفته می‌شود. y عملکرد پیش‌بینی شده و $y_{\max}$ عملکرد در شرایط بدون تنش است.

مدل‌های پیشنهادی اثر تنش توأمان کم‌آبی و کمبود ازت

در مدل‌های پیشنهادی ترکیبی، اثر توأمان تنش آبی و ازت بر درصد نسبی روغن گیاه کاملاً تحلیل شده و پاسخ‌های پیچیده‌تری به دست آمده که می‌تواند به بهبود مدیریت منابع آبی و تغذیه‌ای کمک کند.

مدل باروری LS ترکیب شده با مدل کم‌آبی ون گنوختن به شرح زیر می‌باشد:

مدل LS-VG:

$$y_r = \min \begin{cases} a_N - b_N x & ; x < x_{cr} \\ 1 & ; x \geq x_{cr} \\ 1 & ; h \leq h^* \\ \frac{1}{1 + \left(\frac{h}{h_{50}}\right)^p} & ; h > h^* \end{cases} \quad (3)$$

که در آن y_r عملکرد نسبی تحت تنش توأمان کم‌آبی و کمبود ازت، x مقدار نیتروژن خاک، a_N عرض از مبدأ، b_N شیب تابع پاسخ عملکرد به مقدار نیتروژن، x_{cr} حد آستانه غلظت نیتروژن برای کاهش عملکرد، h پتانسیل ماتریک آب در خاک، h_{50} مقدار پتانسیل ماتریک آب در خاک است که در آن $\alpha(h)$ به 50 درصد کاهش می‌یابد، P نیز ضریبی تجربی و h^* حد آستانه کم‌آبی برای کاهش عملکرد است.

مدل باروری MB ترکیب شده با مدل کم‌آبی ون گنوختن به شرح زیر است:
مدل MB-VG:

$$y_r = \left[\frac{1}{1 + \left(\frac{h}{h_{50}}\right)^p} \right] \times \left(1 - e^{-C_N x_N} \right) \quad (4)$$

که در آن y_r عملکرد نسبی تحت تنش توأمان کم‌آبی و کمبود ازت، x_N مقدار نیتروژن کل، C_N عامل کارآیی یا ضریب میچرلیخ برای نیتروژن، h پتانسیل ماتریک آب در خاک، h_{50} مقدار پتانسیل ماتریک آب در خاک است که در آن $\alpha(h)$ به 50 درصد کاهش می‌یابد و P نیز ضریبی تجربی است.

3. نتایج و بحث

پارامترهای محاسبه شده درصد نسبی روغن تحت تنش توأمان آبی و ازت بر مبنای ون گنوختن و مدل‌های باروری در جدول (2) ارائه شده است، بر پایه این داده‌ها، درصد نسبی روغن در پتانسیل h_{50} برابر با 24076 به نصف کاهش می‌یابد که شیب کاهش طبق مدل VG برابر با 1/033 است. بر مبنای پتانسیل ماتریک به دست آمده، کاملینا بسیار مقاوم به تنش کم‌آبی است. مقادیر b در مدل‌های LS برابر با 0/007- و نشان‌دهنده کاهش تحمل به کم‌آبی به دلیل کمبود ازت است.

جدول 2- پارامترهای محاسبه شده درصد نسبی روغن تحت تنش توأمان آبی و ازت بر مبنای مدل ون

گنوختن و مدل‌های باروری

تنش ازت				تنش آبی		
C_N (kg mg ⁻¹)	b_N or W (mg kg ⁻¹)	a_N	پارامتر/معادله	P	h_{50} (cm)	پارامتر/معادله
-	-0/007	0/87	LS	1/033	24076	VG
0/25	-	-	MB			

پارامترهای محاسبه شده درصد نسبی روغن تحت تنش توأمان آبی و ازت در سطوح مختلف ازت بر مبنای مدل ون گنوختن و مدل‌های باروری، در جدول (3) نمایش داده شده است.

بر پایه این جدول، مقدار h_{50} در سطوح ازت 22، 19 و 16 میلی گرم بر کیلوگرم به ترتیب برابر با 26322، 24076 و 21368 سانتی متر به دست آمد. در هر سه سطح ازت مصرفی، کاملینا از نظر درصد روغن بسیار مقاوم به کم آبی است که نشان می دهد در هر سه سطح نیتروژن، کاملینا مقاومت بالایی در برابر تنش آبی نشان می دهد که بیانگر این است که سطح مصرف نیتروژن تأثیر زیادی بر درصد نسبی روغن ندارد. مقادیر b در مدل های LS با اعمال این سطوح ازت به ترتیب برابر با $-0/365$ ، $-1/76$ و $-1/44$ می باشد. مقادیر ضرایب مدل های کمبود ازت نشان می دهد که واکنش گیاه به کمبود نیتروژن در سطح 16 میلی گرم نیتروژن بر کیلوگرم کاهش یافته و در سطوح بالاتر افزایش پیدا می کند.

جدول 3- پارامترهای محاسبه شده درصد نسبی روغن تحت تنش توأمان آبی و ازت در سطوح مختلف ازت بر مبنای مدل ون گنوختن و مدل های باروری

N=22 mg kg ⁻¹						
تنش ازت				تنش آبی		
C _N (kg mg ⁻¹)	b _N or W (mg kg ⁻¹)	a _N	پارامتر/معادله	P	h ₅₀ (cm)	پارامتر/معادله
-	-0/365	-9/02	LS	1/03	26322	VG
-0/031	-	-	MB	-	-	-
N=19 mg kg ⁻¹						
C _N (kg mg ⁻¹)	b _N or W (mg kg ⁻¹)	a _N	پارامتر/معادله	P	h ₅₀ (cm)	پارامتر/معادله
-	-1/76	-33/98	LS	1/03	24076	VG
-0/036	-	-	MB	-	-	-
N=16 mg kg ⁻¹						
C _N (kg mg ⁻¹)	b _N or W (mg kg ⁻¹)	a _N	پارامتر/معادله	P	h ₅₀ (cm)	پارامتر/معادله
-	-1/44	-23/98	LS	1/04	21368	VG
-0/043	-	-	MB	-	-	-

پارامترهای محاسبه شده برای ارزیابی کارایی مدل های پیشنهادی ترکیبی برآزش یافته بر درصد نسبی روغن در سطوح مختلف ازت تحت تنش آبی در جدول (4) ارائه شده است. بر پایه نتایج ارائه شده در این جدول، در سطح ازت 22 kg⁻¹ مقادیر RMSE مدل های ترکیبی LS-VG و MB-VG به ترتیب برابر 0/013 تا 0/011 و 0/004 تا 0/005 است. مقادیر R² مدل های پیشنهادی ترکیبی در سطوح ازت 22، 19 و 16 میلی گرم بر کیلوگرم در محدوده 0/987 - 0/685 قرار دارد.

آماره های SSE و ME به ترتیب مقدار خطا و انحراف مقادیر شبیه سازی از مقادیر اندازه گیری شده را نشان می دهند. با توجه به داده های ارائه شده در جدول (4)، مقدار کمینه SSE و ME و مقدار بیشینه EF و d در سطوح ازت 22، 19 و 16 میلی گرم بر کیلوگرم توسط مدل های MB-VG به دست آمد. بر پایه مقادیر CRM، در هر سه سطح ازت مدل های پیشنهادی ترکیبی MB-VG تمایل به بیش برآوردی دارند. در مقابل، مدل LS-VG در سطوح ازت 22 و 19 میلی گرم بر کیلوگرم، مقادیری کمتر از مقادیر واقعی برآورد کرده، در حالی که در سطح ازت 16 میلی گرم بر کیلوگرم، مقادیر بیش از واقعیت برآورد شده است.

مدل ون گنوختن در هر سه سطح ازت در ترکیب با مدل های باروری میچرلیخ-بال بهترین عملکرد را ارائه داد. باید توجه داشت که هر دو مدل پیشنهادی ترکیبی در هر سه سطح ازت، نتایج قابل قبولی ارائه دادند. مطالعات نشان داده اند که

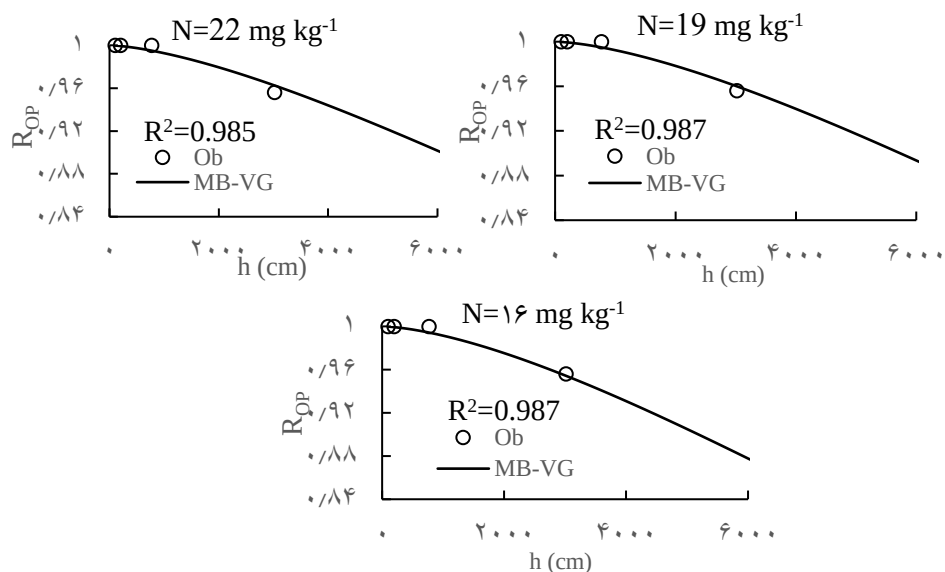
مدل تعدیل یافته میچرلیخ-بال (MB) در مقایسه با مدل لیبیگ-اسپرینگل (LS) دقت بالاتری در پیش‌بینی عملکرد نسبی گیاهان دارد [11,12].

جدول 4 پارامترهای محاسبه شده برای ارزیابی کارایی مدل‌های مختلف تخمین‌گر برازش یافته بر

ROP در سطوح مختلف ازت تحت تنش توأمان کم‌آبی و کمبود ازت

N=22 mg kg ⁻¹								
CRM	ME	d	EF	SSE	NRMSE	RMSE	R ²	پارامتر / معادله
2/82×10 ⁻⁶	0/017	0/955	0/685	4/57×10 ⁻⁴	0/011	0/011	0/685	LS-VG
-0/0002	0/006	0/989	0/953	6/77×10 ⁻⁵	0/004	0/004	0/985	MB-VG
N=19 mg kg ⁻¹								
CRM	ME	d	EF	SSE	NRMSE	RMSE	R ²	پارامتر / معادله
2/82×10 ⁻⁷	0/018	0/955	0/685	5/4×10 ⁻⁴	0/011	0/011	0/685	LS-VG
-0/0005	0/008	0/987	0/946	9/39×10 ⁻⁵	0/005	0/005	0/987	MB-VG
N=16 mg kg ⁻¹								
CRM	ME	d	EF	SSE	NRMSE	RMSE	R ²	پارامتر / معادله
-1/25×10 ⁻⁶	0/021	0/955	0/685	7/03×10 ⁻⁴	0/013	0/013	0/686	LS-VG
-0/0007	0/008	0/988	0/951	1/09×10 ⁻⁴	0/005	0/005	0/987	MB-VG

در شکل (1)، مدل MB-VG برازش یافته بر درصد نسبی روغن تحت تنش آبی در سطوح مختلف ازت نشان داده شده است. درصد نسبی روغن به‌ویژه در سطح ازت 16 میلی گرم بر کیلوگرم عملکرد بهتری نسبت به سایر سطوح ازت ارائه داده است. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، درصد نسبی روغن در این سطح ازت تا پتانسیل 600 سانتی‌متر همچنان بالای 0.8 مانده است، که نشان‌دهنده مقاومت گیاه کاملینا از نظر درصد روغن در شرایط تنش آبی است.



شکل 1- مدل MB-VG برازش یافته بر درصد روغن نسبی (R_{Op}) تحت تنش آبی در سطوح مختلف ازت

4. نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر با هدف بررسی تأثیر تنش‌های توأمان آبی و ازت بر درصد نسبی روغن گیاه کاملینا (*Camelina sativa* L.) انجام شد. نتایج نشان داد که مدل ون گنوختن (VG) در ترکیب با مدل‌های باروری میچرلیخ-بال (MB) قابلیت بالایی در پیش‌بینی پاسخ گیاه به این تنش دارد. مقاومت بالای گیاه کاملینا به تنش آبی، به‌ویژه در سطوح مختلف ازت، نشان‌دهنده پتانسیل این گیاه برای کشت در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. همچنین، تحلیل پارامترهای مدل نشان داد که سطح مصرف نیتروژن تأثیر معناداری بر درصد نسبی روغن ندارد، اما مقاومت گیاه به تنش آبی در سطح ازت 16 میلی گرم در کیلوگرم کاهش می‌یابد. کاربرد مدل‌های پیشنهادی، به‌ویژه مدل ترکیبی MB-VG، در مدیریت بهینه منابع آب و ازت می‌تواند بهبود عملکرد و کیفیت محصولات کشاورزی را در شرایط بحرانی تضمین کند. این نتایج می‌توانند به طراحی استراتژی‌های مدیریتی مؤثر برای کشت گیاهان مقاوم و بهره‌وری بهتر در مناطق با محدودیت منابع منجر شوند.

5. مراجع

- 1- Combs, G. F. (2013). "Geological Impacts on Nutrition." Pp. 179–94 in *Essentials of Medical Geology*, edited by O. Selinus. Dordrecht: Springer Netherlands.
- 2- Delfine, S, Tognetti, R. Desiderio, E. and Alvino, A. (2005). "Effect of Foliar Application of N and Humic Acids on Growth and Yield of Durum Wheat." *Agronomy for Sustainable Development* 25(2):183–91.
- 3- Urbaniak, S. D., Caldwell, C. D. Zheljazkov, V. D. Lada, R. and Luan, L. (2008). "The Effect of Cultivar and Applied Nitrogen on the Performance of *Camelina Sativa* L. in the Maritime Provinces of Canada." *Canadian Journal of Plant Science* 88(1):111–19. doi: [10.4141/CJPS07115](https://doi.org/10.4141/CJPS07115).
- 4- Zand-Parsa, S. and Sepaskhah, A.R.. (2001). "Optimal applied water and nitrogen for corn". *Agricultural Water Management*, 52(1), pp.73-85.
- 5- Li, Y and Sun, S. X. (2015). "Camelina Oil Derivatives and Adhesion Properties." *Industrial Crops and Products* 73:73–80.
- 6- van Slyke, T. (2019). "Fields of Dreams: Scenarios to Produce Selected Biomass and Renewable Jet Fuels That Fulfill European Union Sustainability Criteria."
- 7- Homaei, M. (1999). *Root Water Uptake under Non-Uniform Transient Salinity and Water Stress*. Wageningen University and Research.
- 8- Black, C. A. (2013). *Soil Fertility Evaluation and Control*. CRC Press.
- 9- Shenker, M. Ben-Gal, A. and Shani, U. (2003). "Sweet Corn Response to Combined Nitrogen and Salinity Environmental Stresses." *Plant and Soil* 256:139–47.
- 10- Van Der Ploeg, R. R. Böhm, W. and Kirkham, M. B. (1999). "On the Origin of the Theory of Mineral Nutrition of Plants and the Law of the Minimum." *Soil Science Society of America Journal* 63(5):1055–62. doi: [10.2136/sssaj1999.6351055x](https://doi.org/10.2136/sssaj1999.6351055x).
- 11- حسینی، یعقوب، همایی، مهدی و سعادت، سعید. (1387). "مدل سازی واکنش کلزا به تنش های توأمان شوری و کمبود نیتروژن".

12- اردلانی، حسین، بابازاده، حسین و ابراهیمی، حسین. (1396). “مدل‌سازی واکنش گوجه‌فرنگی (Solanum lycopersicum) به تنش‌های همزمان شوری آب و کمبود نیتروژن“. پژوهش آب در کشاورزی، 31(1)، 87-104.