استفاده از مدل کامپیوتری شبیه‌سازی رشد ذرت(MSM) برای مدیریت آبیاری و کود نیتروژن

علی نهضتی پاقلعه، شاهرخ زند پارسا* و علی‌رضا سپاسخواه[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۶/۱۰/۱۱ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۷/۴/۱)

چکیده

مدیریت آب و کود نیتروژنه محصولات کشاورزی به دلیل کمبود منابع موجود و مشکلات زیست محیطی باید بهبود یابد. در سال‌های اخیر استفاده از مدل‌های کامپیوتری رشد گیاهان نقش مهمی در مدیریت آبیاری و کود نیتروژنه ایفا نموده است. در این پژوهش مقادیر بهینه آب و کود نیتروژنه در شرایط حداکثر محصول ذرت و حداکثر سود در شرایط محدودیت زمین و آب با استفاده از مدل کامپیوتری رشد ذرت MSM (Maize Simulation Model) در دور آبیاری هفت روز و بدون بارش در فصل رشد برآورد شده‌اند. با اجرای مدل، عملکرد ذرت در ۲۵ مقدار فصلی آب از ۳۵۰ تا ۱۷۰۰ میلی‌متر و ۴۶ مقدار کود نیتروژنه از صفر تا ۴۵۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار شبیه‌سازی شد. آب آبیاری متناسب با تبخیر و تعرق هفتگی توزیع شد و اضافه نمودن ۳۰٪ و ۷۰٪ کود نیتروژنه به ترتیب در ۱۹ و۵۰ روز بعد از کاشت در نظر گرفته شد. با محاسبه هزینه‌های عملیات زراعی و قیمت‌های رایج بازار در استان فارس مقدار بهینه آب و نیتروژن مصرفی تعیین گردید. در شرایط قیمت‌های رایج آب و کود نیتروژنه و هزینه‌های رایج کشاورزی برای تولید محصول ذرت (۸۸ ریال بر هر متر مکعب آب و ۱۹۴۶ ریال بر کیلوگرم نیتروژن)، مقدار بهینه آب برای شرایط حداکثر محصول برابر ۱۳۳۶میلی‌متر و برای حداکثر سود در شرایط محدودیت زمین و محدودیت آب به ترتیب برابر ۱۰۰۸ و ۸۴۴ میلی‌متر محاسبه گردید. هم‌چنین مقدار بهینه کود نیتروژن با توجه به مقادیر نیترات و آمونیوم خاک در موقع کاشت (به ترتیب برابر ۱۴ و ۲۱ کیلوگرم نیتروژن خالص درهکتار تا عمق ۰/۶ متری خاک)، برای شرایط حداکثر محصول و محدودیت زمین و آب، به دلیل قیمت پایین نیتروژن برابر با ۴۵۰ کیلوگرم در هکتار تعیین گردید. با قیمت آب و نیتروژن به میزان ۱۰۰۰ ریال بر متر مکعب و ۳۰۰۰۰ ریال بر کیلوگرم نیتروژن مصرفی، مقدار بهینه آب در فصل رشد برای شرایط محدودیت زمین و محدودیت آب به ترتیب ۸۹۹ و ۸۷۴ میلی‌متر و مقدار بهینه نیتروژن به ترتیب ۱۲۰ و ۲۱۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار محاسبه شد.

واژه‌های کلیدی: آب، بهینه، ذرت، مدل MSM، نیتروژن

۱. به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، استادیار و استاد آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: zandparsa@yahoo.com

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-08-24]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.42.1]

مقدمه

اختصاص مقادیر بهینه آب آبیاری و کود نیتروژن به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک جهت افزایش کارایی آب و کود برای کشاورزان بسیار اهمیت دارد. از اهداف کاربرد مقدار بهینه آب در آبیاری، می‌توان به تولید حداکثر محصول، رسیدن به حداکثر سود و نیز کاهش مقدار نفوذ عمقی و مدیریت مزرعه در شرایط شوری اشاره کرد (۶). انگلیش (۴)، روابطی را جهت تعیین مقدار بهینه آب آبیاری براساس حداکثر شدن محصول تولیدی و درآمد خالص کشاورزی ارائه داد. انگلیش و جیمز (۵) و انگلیش و راجا (۶) ، مقادیر متفاوت آب آبیاری را برای گیاهان مختلف تعیین کردند.

نیتروژن نقش کلیدی در تغذیه گیاه دارد. نووآ و لومیس (۹) عنوان کردند که نیتروژن در گیاهان غلات به مقدار زیادی مورد نیاز بوده و در اغلب مواقع کمبود آن مشاهده می‌گردد. به همین دلیل مدیریت منابع نیتروژن در مزرعه و کاربرد بهینه کود نیتروژن در مزرعه بسیار اهمیت دارد. وینهولد و همکاران(۱۶) بیان کردند که نیتروژن یکی از اجزای پروتئین و اسید نوکلئیک بوده و هنگامی که گیاه دچار کمبود نیتروژن باشد، رشد و عملکرد آن کاهش می‌یابد. پنگ و لتی (۱۰) بیان کردند که آب در مناطق خشک و نیمه خشک محدود کننده اصلی تولیدات کشاورزی است. از طرف دیگر کمبود آب علاوه بر این‌که به عنوان عامل اصلی و عمده‌ترین نیاز در تولید می‌باشد، انتقال دهنده مهم مواد شیمیایی و آلاینده‌ها به آب‌های زیر زمینی و ایجاد آلودگی آنهاست. براساس تحقیقات صورت گرفته توسط کیان و همکاران (۱۲)، نیتروژن به دلیل حلالیت بالا در آب و امکان آبشویی آن به عنوان یکی از منابع آلوده‌کننده محیط زیست مطرح بوده و هم‌چنین کودهای نیتروژن به خصوص در خاک‌های با رطوبت بالا توسط نیتروژن‌زدایی از بین رفته، راندمان کاربرد کود نیتروژن کاهش و با تبدیل به N_2O موجب تخریب لایه ازون می‌گردد (۱۰ و ۱۱). پنگ و لتی با کاربرد مقادیر مختلف آب و کود نیتروژن برای گیاه ذرت، نشان دادند که مقادیر زیاد آبیاری منجر به مقادیر بیشتر نفوذ عمقی شده که در نتیجه آن مقادیر بیشتری از نیتروژن آبشویی شده و عملکرد محصول کاهش می‌یابد. هم‌چنین با تنش آب و نیتروژن، عملکرد کاهش می‌یابد. لیائو و بارتولومیو (۸) در سال ۱۹۷۴ نتیجه گرفتند که در شرایط مزرعه با عدم جذب آب توسط گیاه، نیتروژن نیز جذب نخواهد شد و برهمکنش بین جذب آب و نیتروژن در گیاه ذرت وجود دارد.

زندپارسا و سپاسخواه (۱۸) با تعیین تابع عملکرد ذرت دانه‌ای بر اساس داده‌های حاصل از کشت ذرت دانه ای با ۴ تیمار نیتروژن و ۶ تیمار آب، مقادیر بهینه آب آبیاری و نیتروژن مصرفی در شرایط حداکثر محصول و حداکثر سود در دو حالت محدودیت زمین و محدودیت آب را برای گیاه ذرت تعیین کردند. سپاسخواه و همکاران (۱۳) مقادیر بهینه آب و نیتروژن کاربردی را برای گندم زمستانه در مقادیر مختلف بارندگی فصلی در مناطق نیمه خشک تعیین کردند.

برای مطالعه اثرات عوامل مختلف بر رشد گیاه لازم است تعداد زیادی طرح تحقیقاتی صورت گیرد تا اثرات این عوامل به طور کامل مورد بررسی قرار گیرد که به علت وقت گیر بودن و هزینه زیادی که هر تحقیق لازم دارد، چنین چیزی میسر نمی باشد. امروزه بشر با استفاده از امکانات رایانه‌ای توانسته است بررسی بسیاری از پدیده‌ها را با شبیه‌سازی رایانه‌ای، آسان‌تر از گذشته نماید. در دهه‌های اخیر مدل‌های زیادی جهت شبیه‌سازی رشد محصولات زراعی و مدیریت آب خاک توسط پژوهشگران امور کشاورزی توسعه داده شده است. جونز و کینیری (۷)، با در نظر گرفتن اثر آب و کود در رشد گیاه، مدل CERES را ارائه کردند. یانگ و همکاران (۱۷)، مدل CERES را با مدل‌های INTERCOM (۱۵) و WOFOST (۱۴) ترکیب کرده و مدل Hybrid-Maize را ارائه کردند. در مدل‌های گیاهی INTERCOM و WOFOST با استفاده ازتابش، ابتدا فتوسنتز گیاه شبیه سازی می شود .سپس انرژی لازم برای تنفس گیاه را از آن کم کرده و ماده خشک تولیدی را شبیه‌سازی می‌کنند. در مدل CERES ماده خشک تولیدی مستقیماً از روی جذب تابش خورشیدی و بازده مصرف انرژی پیش‌بینی می‌گردد. در این

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-08-24]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.42.1]

مدل اجزای گیاه با استفاده از دما شبیه‌سازی می‌گردند. مدلHybrid-maize ماده خشک، سطح برگ، تاریخ ابریشم‌دهی، رشد ساقه و عملکرد و پر شدن دانه را مشابه مدل CERES برآورد می‌کند. در این مدل فتو سنتز و تداوم تنفس مشابه مدل INTERCOM تخمین زده می‌شوند. در مدل Hybrid-maize فرض شده که محدودیت کود و آب وجود ندارد و پیش‌بینی‌های آن در شرایط تولید بالقوه محصول انجام می شود. زندپارسا و همکاران (۱۹)، مدل MSM (Maize Simulation Model) را ارائه کردند. در مدل MSM اثرات آب، کود، خاک و عوامل هواشناسی در پیش‌بینی محصول ذرت در نظر گرفته شده است. این مدل مقدار ماده خشک را با استفاده از تابش تابیده شده به برگ‌های گیاه شبیه‌سازی می‌کند. این مدل با استفاده از داده‌های حاصل از کشت ذرت دانه‌ای در سیستم آبیاری جویچه‌ای توسط مجنونی و همکاران (۳) در اراضی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز در سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۸۳ برای جذب نیتروژن و اثر نیتروژن جذب شده روی درصد نیتروژن دانه و مقدار محصول آن اصلاح گردید.

هدف از این پژوهش تخمین مقادیر بهینه آب آبیاری و کود نیتروژن در شرایط حداکثر محصول تولیدی و حداکثر سود در شرایط محدودیت زمین و آب براساس نتایج اجرای مدل MSM در شرایط آب و هوایی نیمه خشک می‌باشند.

مواد و روش‌ها

تشریح مدل MSM

مدل MSM (Maize Simulation Model) جهت شبیه‌سازی رشد ذرت هیبرید SC704 به زبان Quick Basic در بخش آبیاری دانشگاه شیراز تهیه شده است(۱۹). این مدل دارای یک برنامه اصلی و نه زیربرنامه می‌باشد. زیربرنامه‌های مدل عبارت‌اند از: ۱- جریان آب خاک ۲- جریان گرمای خاک ۳- حرکت نیتروژن در خاک ۴- تحلیل تغییر شکل‌های نیتروژن ۵- جذب نیتروژن توسط گیاه ۶- تخمین تبخیر- تعرق واقعی گیاه ۷- تحلیل توسعه ریشه ۸- تحلیل تابش و ۹- تولید ماده خشک. ورودی مدل شامل عوامل هیدرولیکی خاک (ضرایب معادله ون گنوختن)، مقدار و زمان کوددهی، مقادیر و زمان‌های آبیاری، دما و رطوبت خاک در روز کاشت و داده‌های هواشناسی (شامل حداکثر و حداقل دما، حداکثر و حداقل رطوبت نسبی، ساعات آفتابی، سرعت باد در ارتفاع دو متری از سطح زمین و مقدار بارش) می‌باشد. ابتدا تغییر شکل‌های نیتروژن را روزانه تخمین زده و سپس مقدار نیتروژن جذب شده توسط قسمت‌های هوایی گیاه را به صورت ساعتی پیش‌بینی کرده و در گام بعدی تابش بالای جو، تابش رسیده به سطح زمین، تابش تابیده شده به برگ‌های گیاه و تابش خالص را در هر ساعت تخمین می‌زند. با استفاده از مقدار تابش رسیده شده به برگ‌های گیاه و اصلاح آن با دما و نیتروژن جذب شده، مقدار ماده خشک تولیدی تخمین زده می‌شود. شاخص سطح برگ، تبخیر- تعرق واقعی، توزیع دمای خاک، جریان گرمایی محسوس، جریان گرمایی خاک، هیدرولیز اوره، توزیع نیترات و آمونیوم در خاک را ساعت به ساعت در طول فصل رشد شبیه‌سازی می‌نماید و این عملیات تا زمان برداشت ادامه می‌یابد.

توابع درآمد و هزینه

تابع هزینه $[C(W,N)]$ بر اساس جمع هزینه‌های آماده‌سازی زمین، کاشت، داشت، برداشت، هزینه‌های مدیریت مزرعه، هزینه‌های کاربرد آب و نیتروژن و غیره تعیین می‌گردد. درآمد خالص (I) به آب آبیاری(W) و نیتروژن کاربردی(N) و سطح آبیاری شده(A) برای کشت بستگی دارد:

$$I = A \times i(W,N) \qquad [۱]$$

$$i(W,N) = P \times Y(W,N) - C(W,N) \qquad [۲]$$

که در آنها $i(W,N)$ درآمد خالص در واحد سطح، I مجموع کل درآمد خالص، P قیمت محصول تولیدی حسب ریال بر واحد وزن و Y مقدار محصول در واحد سطح می باشد. هنگامی که منابع آب محدود باشد، سطح کشت تحت آبیاری

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-08-24]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.42.1]

تابعی از مقدار آب کاربردی خواهد بود و مدیریت مزرعه ایجاب می کند که زمین کافی به منظور مصرف کامل آب موجود در نظر گرفته شود. تابع هزینه $C(W,N)$ به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$C(W,N) = C_0 + C_1 \times W + C_2 \times N \qquad [۳]$$

که در آن C_0 ($Rls\ ha^{-1}$)، کل هزینه تولید شامل هزینه‌های اجاره زمین، آماده‌سازی زمین برای کاشت، بذر و کاشت، کودهای آهن و فسفات و کودپاشی، سموم و علف کش و آفت کش و سم پاشی، برداشت و حمل، C_1 قیمت آب ($Rls\ m^{-1}$ ha^{-1}) و C_2 قیمت نیتروژن($Rls\ kg^{-1}$) است.

تخمین مقادیر بهینه آب آبیاری و نیتروژن مصرفی

در این پژوهش از مدل واسنجی و آزمون شده MSM (زند پارسا و همکاران، ۲۰۰۶) استفاده شده است(۱). این پژوهش براساس داده‌های اندازه‌گیری شده خاک مزرعه ذرت در سال ۱۳۸۳ انجام گردید و از اطلاعات هواشناسی تهیه شده آن سال در ایستگاه هواشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز در مجاورت آن مزرعه، استفاده گردید(۲ و ۳). طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع از سطح متوسط دریا در این ایستگاه به ترتیب برابر '۴۶ °۵۲ شرقی، '۵۰ °۲۹ شمالی و ۱۸۱۰ متر می‌باشد. در زمین‌های دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز، با اجرای مدل، عملکرد و مقدار آب آبیاری فصلی ذرت در ۲۵ تیمار آب از ۳۵۰ تا ۱۷۰۰ میلی‌متر و ۴۶ تیمار کود نیتروژن از صفر تا ۴۵۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار تخمین زده شد. آب آبیاری بدون بارش و متناسب با تبخیر- تعرق با دور هفت روز توزیع شد و اضافه نمودن ۳۰٪ و ۷۰٪ کود نیتروژنه به ترتیب در ۱۹ و ۵۰ روز بعد از کاشت در نظر گرفته شد. مقدار اولیه اندازه‌گیری شده نیترات و آمونیوم موجود تا عمق ۰/۶ متری خاک به ترتیب برابر ۱۴ و ۲۱ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص می‌باشد. بر این اساس در ۱۱۵۰ حالت برای مقادیر متفاوت آب و نیتروژن عملکرد دانه ذرت شبیه‌سازی شد. با محاسبه هزینه‌های عملیات زراعی و بر اساس قیمت‌های رایج در استان فارس در سال ۱۳۸۵ و ۱۳۸۶ مقدار درآمد خالص برای مقادیر مختلف آب آبیاری (W) و کود نیتروژن (N) مطابق معادله ۲ محاسبه گردید.

مقدار بهینه آب و نیتروژن در حالت محدودیت زمین (N_L, W_L) بر اساس میزان آب و نیتروژن کاربردی به دست می‌آید که منجر به کسب حداکثر درآمد خالص در واحد سطح زمین می‌گردد. در حالت محدودیت آب، حجم محدودی برای آب (W_T، m-ha) مثلاً برابر حجم آب در حداکثر تولید در واحد سطح) در نظر گرفته می‌شود و مقدار درآمد خالص نیز از تفاضل هزینه‌ها و درآمد حاصل از تولید در این منبع محدود محاسبه می‌گردد. در این حالت، مساحت زیر کشت از معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$A = \frac{W_T}{W} \qquad [۴]$$

که در آن W، مقدار آب کاربردی حسب متر و W_T کل مقدار منابع آب موجود (m-ha) می‌باشد. مقدار بهینه آب و نیتروژن (W_w, N_w) در این حالت در تیماری حاصل می‌شود که مقدار حداکثر درآمد خالص را در واحد حجم آب نتیجه می‌دهد.

نتایج و بحث

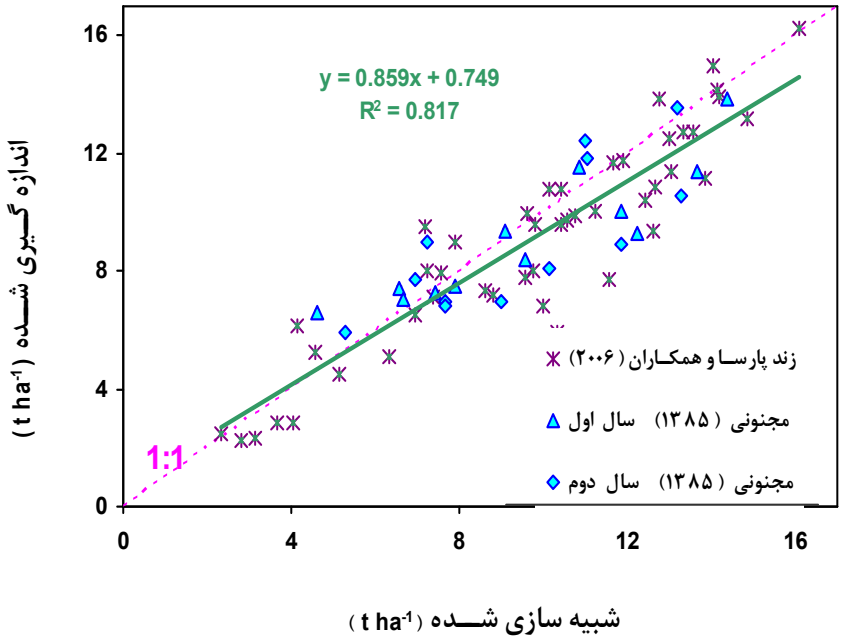
تخمین محصول

در شکل۱ مقادیر اندازه‌گیری شده و تخمین زده شده عملکرد دانه ذرت توسط مدل در مقادیر مختلف کود نیتروژنه و مقدار آب آبیاری مقایسه شده‌اند. مدل MSM مقادیر عملکرد دانه را به صورت مطلوب پیش‌بینی می‌نماید.

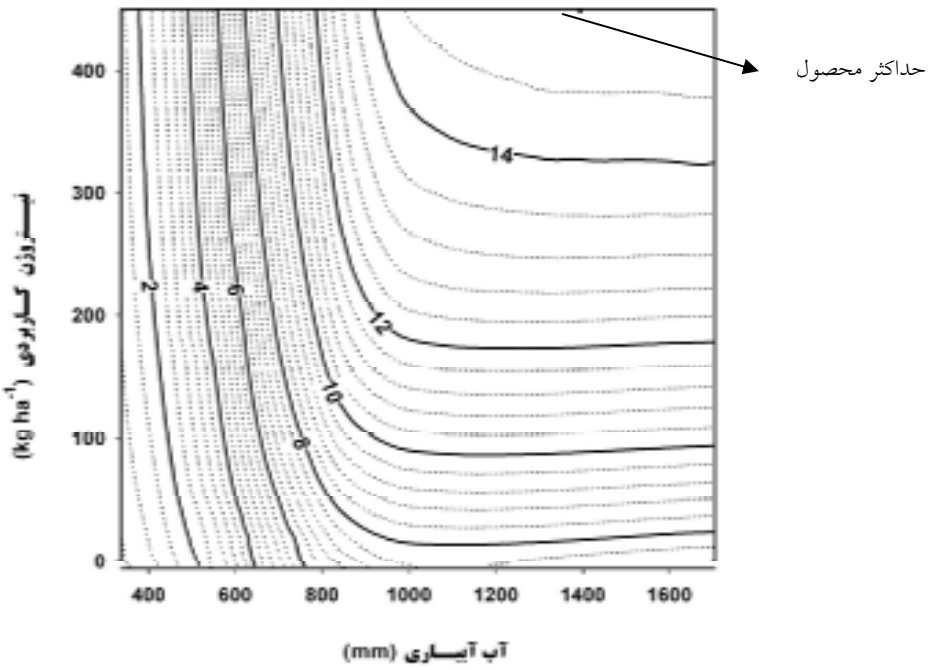
با اجرای مدل MSM در تیمارهای مختلف آب (W) و نیتروژن (N)، مقادیر محصول (Y) تخمین زده می‌شود. مطابق شکل۲ در مقادیر کم آب آبیاری، مقدار کود نیتروژنه اثر کمی در افزایش عملکرد ذرت دارد و با افزایش مقدار آب این اثر بیشتر می‌شود. با توجه به این‌که مقدار بالقوه جذب نیتروژن برابر ۳۵۱ ($kg\ N\ ha^{-1}$) گزارش شده است (۱۹)، بنابراین

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-08-24]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.42.1]



شکل ۱. مقایه مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل و اندازه‌گیری شده



شکل ۲. نتایج عملکرد دانه ذرت (تن بر هکتار) حاصل از شبیه سازی مدل در مقادیر متفاوت آب آبیاری و کاربرد نیتروژن

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-08-24]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.42.1]

حداکثر مقدار کود مصرفی در این پژوهش ۴۵۰ ($kg\ N\ ha^{-1}$) در نظر گرفته شد. براساس نتایج حاصله از اجرای مدل مطابق شکل۲، حداکثر عملکرد دانه ذرت به مقدار ۱۴/۷۵ تن در هکتار در مقادیر آب آبیاری و نیتروژن (N_m, W_m) به ترتیب برابر ۱۳۳۶ میلی‌متر و ۴۵۰ کیلوگرم در هکتار تخمین زده می‌شود. نیاز آبی ذرت در منطقه برابر ۱۰۰۰ میلی‌متر می‌باشد که با مقدار آبیاری ۱۳۳۶ میلی‌متر در اثر نفوذ عمقی، بخشی از نیتروژن از محیط ریشه شسته می‌شود که به علت مصرف زیاد کود، این امر خللی در جذب نیتروژن توسط ریشه گیاه وارد نمی آورد.

تخمین هزینه

قیمت‌ها و هزینه‌های رایج در سال ۱۳۸۵ مورد استفاده در این پژوهش، به صورت زیر می‌باشند:

قیمت هر کیلوگرم ذرت دانه‌ای (P) برابر ۱۵۷۰ ریال، قیمت هر کیلوگرم نیتروژن مصرفی (C_2) برابر ۱۹۴۶ ریال، هزینه هر کیلووات ساعت برق مصرفی در کشاورزی برای محاسبه قیمت آب ۱۳/۳ ریال، هزینه کارگر برای آبیاری ۸۰۰۰ ریال در ساعت و هزینه اجاره زمین برای فصل کشت ذرت دانه‌ای به میزان 7×10^6 ریال برای یک هکتار بر اساس بررسی‌های محلی تعیین شد. هزینه ثابت تولید محصول (C_0) شامل آماده‌سازی زمین، کاشت، داشت، برداشت و هزینه اجاره زمین و به میزان $1/015\times10^7$ ریال بر هکتار در محاسبات مربوط به درآمد منظور گردید.

مقدار بهینه آب و نیتروژن در شرایط محدودیت زمین

مقدار بهینه آب و نیتروژن در شرایط محدودیت زمین (N_L, W_L)، براساس حداکثر درآمد خالص در یک هکتار زمین و بر اساس قیمت‌های رایج برای آب و نیتروژن، به ترتیب برابر ۱۰۰۸ میلی‌متر آب و ۴۵۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار محاسبه گردید. رابطه بین مقادیر بهینه آب آبیاری نسبت به مقادیر مختلف کود نیتروژنه برای حصول حداکثر درآمد خالص در شرایط محدودیت زمین در شکل۳ نشان داده شده‌است. در مقادیر کمتر یا بیشتر آب از این حد، درآمد خالص کاهش نشان می‌دهد ولی با افزایش کود نیتروژنه مقدار آن افزایش می‌یابد. حداقل نیتروژن لازم برای سود برابر ۲۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار و در مقدار ۱۰۰۸ میلی‌متر آب حاصل شده است و در مقادیر نیتروژن کمتر از این حد سودی حاصل نمی‌شود.

مقدار بهینه آب و نیتروژن در حالت محدودیت آب

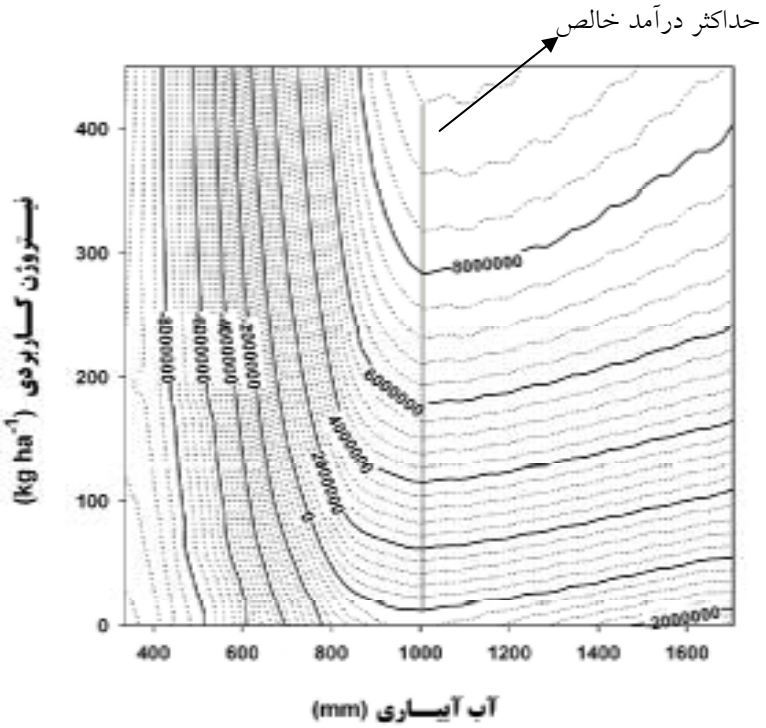
مقدار بهینه آب و نیتروژن در حالت محدودیت آب (N_w, W_w)، بر اساس حداکثر درآمد خالص درکاشت زمین و در نظر گرفتن حجم ثابتی از آب برابر حجم آب در حداکثر تولید در واحد سطح ($W_m= 1.336 \times 10^4$ m-ha)، مساحت کشت شده ناشی از آب صرفه‌جویی شده و قیمت‌های رایج برای آب و نیتروژن، به ترتیب برابر ۸۴۴ میلی‌متر آب و ۴۵۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار محاسبه گردید. رابطه بین مقادیر بهینه آب آبیاری نسبت به مقادیر مختلف کود نیتروژنه برای حصول حداکثر درآمد خالص در شرایط محدودیت آب در شکل۴ نشان داده شده است. در مقادیر کمتر یا بیشتر آب از این حد درآمد خالص کاهش نشان می‌دهد ولی با افزایش مقدار نیتروژن کاربردی درآمد خالص افزایش می‌یابد.

اثر قیمت آب و نیتروژن بر مقادیر بهینه آب و نیتروژن

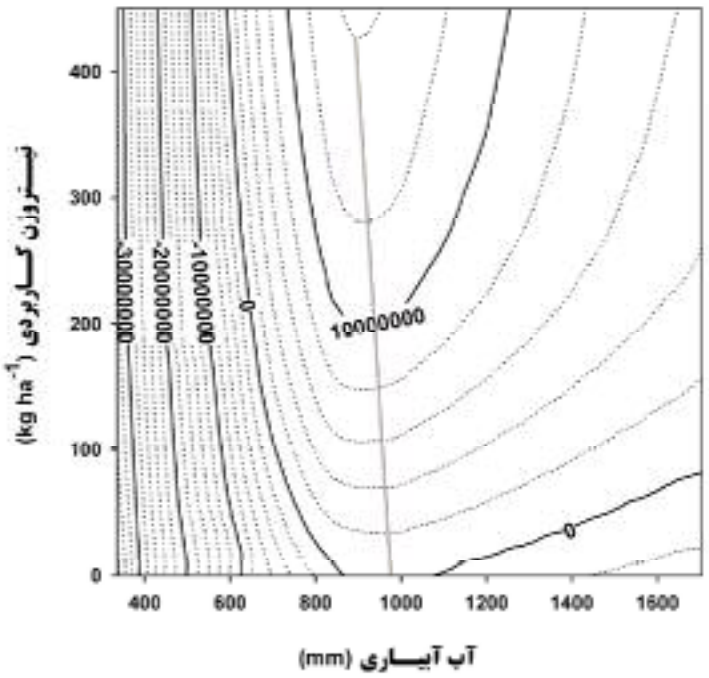
مقادیر W_L و N_L (مقادیر بهینه آب آبیاری و نیتروژن در شرایط محدودیت زمین) در رابطه با قیمت آب و نیتروژن در شکل۵ نشان داده شده است. هنگامی که قیمت واحد آب آبیاری (C_1) و نیتروژن کاربردی (C_2) افزایش یابد، مقادیر W_L و N_L کاهش می‌یابد. برای مثال، هنگامی که مقادیر C_1 و C_2 به ترتیب ۱۰۰۰ ریال بر متر مکعب آب و ۳۰۰۰۰ ریال بر کیلوگرم نیتروژن خالص گردد، مقادیر W_L و N_L به ترتیب برابر ۸۹۹ میلی‌متر و ۱۲۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار می‌شود.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-08-24]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.42.1]



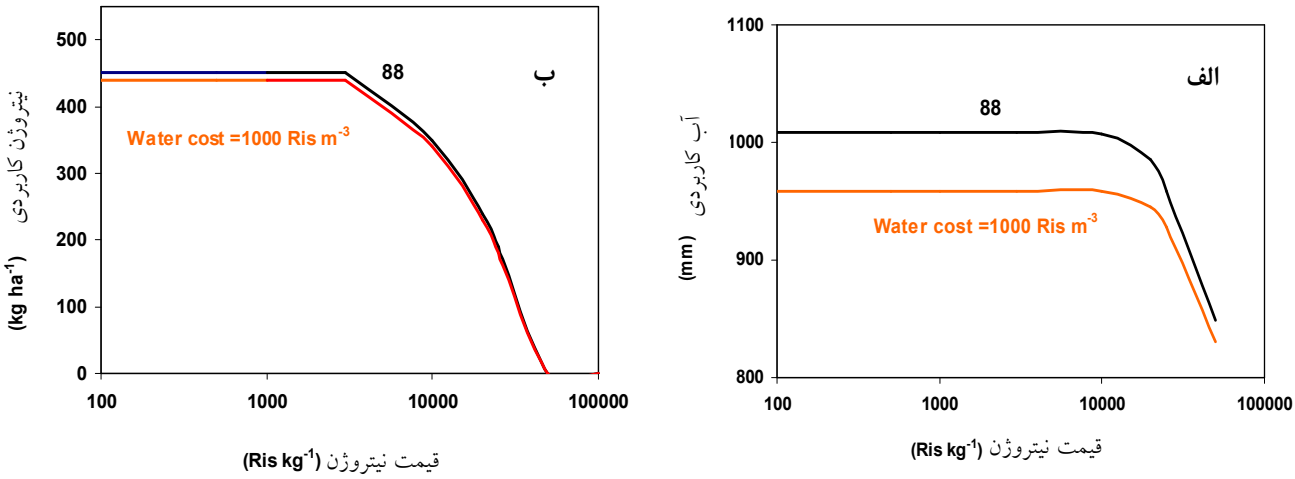
شکل ۳. مقادیر درآمد خالص (ریال) به دست آمده در هکتار برای قیمت‌های رایج منطقه در مقادیر متفاوت آب آبیاری و نیتروژن کاربردی در شرایط محدودیت زمین



شکل ۴. مقادیر درآمد خالص(ریال) به دست آمده در $A = \frac{W_T}{W_w} \times 1ha$ **هکتار برای قیمت‌های رایج منطقه در مقادیر متفاوت آب آبیاری و کود نیتروژن کاربردی در شرایط محدودیت آب**

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-08-24]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.42.1]



شکل۵. مقادیر بهینه آب(WL) (الف) و نیتروژن(NL) (ب) با اعمال هزینه‌های ۸۸ و ۱۰۰۰ ریال بر متر مکعب برای آب آبیاری در قیمت‌های مختلف نیتروژن در شرایط محدودیت زمین

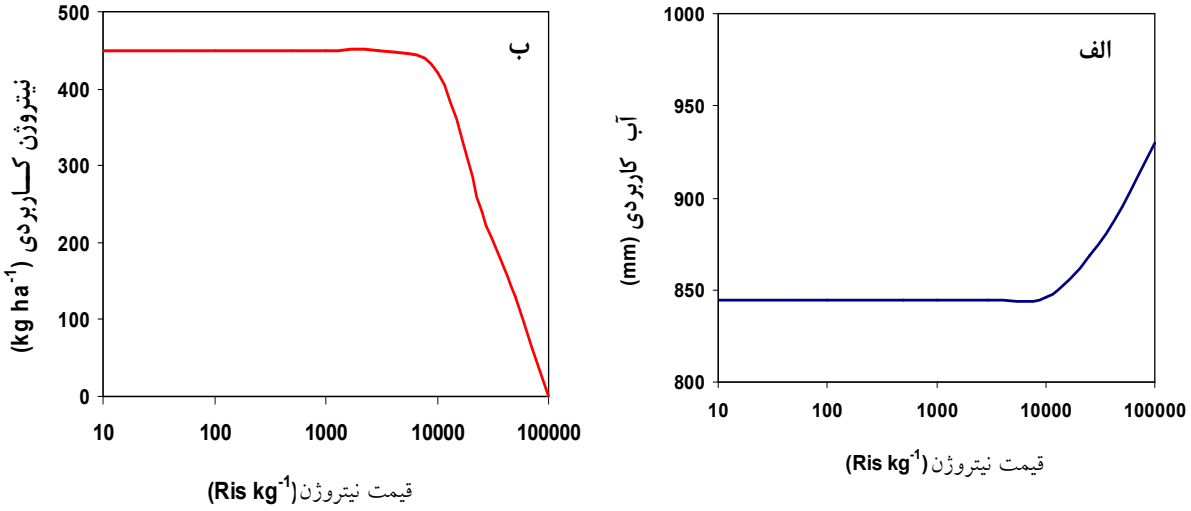
مقادیر W_w و N_w (به ترتیب مقادیر بهینه آب آبیاری و کود نیتروژن در شرایط محدودیت آب) در رابطه با قیمت آب و نیتروژن در شکل۶ نشان داده شده است. هنگامی که قیمت واحد نیتروژن کاربردی (C_2) افزایش می‌یابد، به دلیل جذب بهتر نیتروژن توسط گیاه در رطوبت‌های بالاتر، مقدار W_w افزایش و مقدار N_w کاهش می‌یابد (۱۸). مقدار بهینه آب آبیاری و نیتروژن در شرایط محدودیت آب به قیمت آب بستگی ندارد (۱ و ۱۸). هنگامی که مقدار C_2 برابر ۳۰۰۰۰ ریال بر کیلوگرم نیتروژن گردد، مقادیر W_w و N_w به ترتیب برابر ۸۷۴ میلی‌متر آب و ۲۱۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار خواهد شد.

در مقدار آب آبیاری برابر ۱۰۵۶ میلی‌متر، با کاربرد مقدار ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار عملکرد دانه ۱۰/۲۹ تن در هکتار می‌باشد و با کاربرد ۴۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار عملکرد دانه به ۱۴/۵۴ تن در هکتار می‌رسد و ۴۱٪ افزایش تولید حاصل می‌گردد. به دلیل قیمت ارزان نیتروژن در بازار، مقادیر N_L و N_w برابر با مقدار حداکثر در نظر گرفته شده در این پژوهش (۴۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار) می باشد. با این وجود در صورتی که هزینه آلودگی زیست محیطی که شامل آلودگی هوا و تخریب لایه ازن توسط گاز N_2O حاصل از نیترات زدایی و آلوده شدن آب‌های زیرزمینی ناشی از آبشویی نیترات در نظر گرفته شود، مقادیر بهینه کاربرد نیتروژن (N_L و N_w) کمتر از مقدار حداکثر آن می‌شود. در قیمت‌های رایج سال ۱۳۸۵ (به دلیل یارانه دولتی) که قیمت هر کیلوگرم نیتروژن خالص ۱۹۴۶ ریال می‌باشد، کشاورزان به دلیل تأثیر کاربرد کود نیتروژن در عملکرد، اقدام به مصرف بیش از نیاز برای کشت ذرت می کنند. این مقدار در منطقه مرودشت استان فارس به ۵۷۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار نیز می‌رسد که مقدار زیادی از آن در خاک باقی‌مانده و یا از طریق آبشویی به آب‌های زیرزمینی اضافه می‌گردد. همان‌طور که در شکل۶-الف نشان داده شده است، در شرایط محدودیت آب با افزایش قیمت نیتروژن مقدار بهینه آب آبیاری افزایش می‌یابد. این نتیجه با نتایج لیائو و بارتولومیو (۸) هم‌خوانی دارد.

بر اساس قیمت‌های رایج فعلی، مقدار بهینه آب آبیاری در شرایط محدودیت آب (W_w) برابر ۸۴۴ میلی‌متر تعیین گردید که نسبت به مقدار بهینه آن در شرایط حداکثر تولید محصول

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-08-24]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.42.1]



شکل۶.. مقادیر بهینه آب آبیاری (W_w) (الف) و نیتروژن(N_w) (ب) در رابطه با قیمت‌های آب و نیتروژن در شرایط محدودیت آب

(Wm=1336 mm)، ۳۶/۸ درصد کمتر است و با این مقدار کم-آبیاری می‌توان در صورت وجود زمین کافی به میزان ۵۸/۳ درصد سطح زیر کشت را افزایش داد. در صورت کم‌آبیاری با وجود کاهش عملکرد از ۱۴/۷۵ تن در هکتار به ۱۳/۱۷ تن در هکتار، مقدار تولید دانه با افزایش سطح زیر کشت ۴۳ درصد بیشتر می‌گردد. بنابراین هنگامی که آب محدودیت دارد، مدیر مزرعه می‌تواند زمین‌های بیشتری را با اعمال کم آبیاری کشت کرده و سود حاصله و نیز بازده کاربرد آب را افزایش دهد.

درآمد خالص در شرایط محدودیت زمین و آب

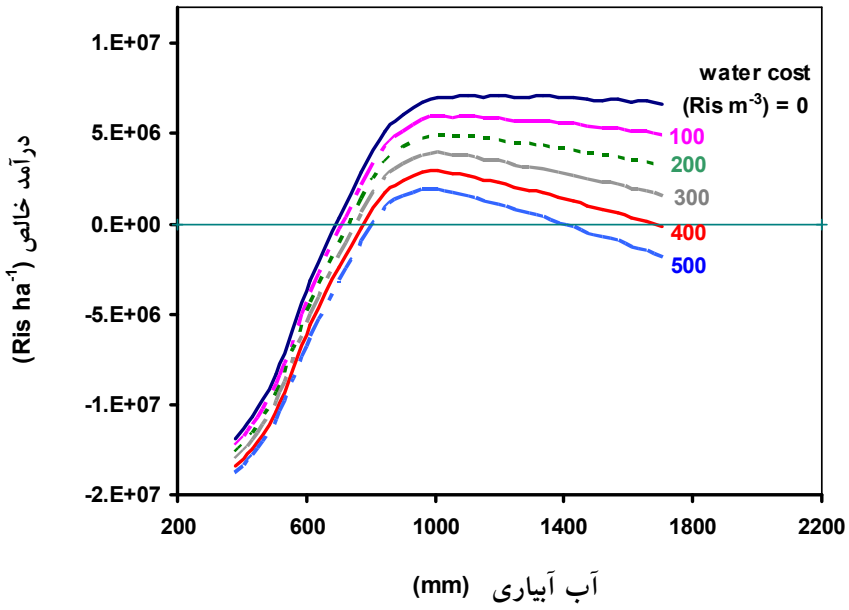
شکل‌های۷ و ۸ مقادیر درآمد خالص را در رابطه با مقدار فصلی آب آبیاری و قیمت‌های متفاوت آب در مقدار ثابت کود نیتروژنه برابر با ۴۵۰ (kg ha^{-1}) و قیمت نیتروژن ۵۰۰۰ (Rls kg^{-1})، به ترتیب درشرایط محدودیت زمین و آب نشان می‌دهند.

با توجه به شکل۷ مقدار بهینه آب آبیاری در شرایط محدودیت زمین نسبت به مقدار آبیاری تقریباً ثابت بوده است. در شکل ۸ نیز مشاهده می‌گردد که مقدار بهینه آب آبیاری در شرایط محدودیت آب نسبت به مقدار آبیاری ثابت و مستقل از قیمت واحد آب می‌باشد. با کاهش میزان آبیاری از حد ۰/۶ متر به دلیل کاهش بسیار زیاد عملکرد، کشاورز با ضرر زیادی مواجه خواهد شد و با افزایش مصرف آب از حدی به بالا هم به علت افزایش هزینه آب و زیاد نشدن عملکرد متناسب با آن، کشاورز ضرر می‌کند.

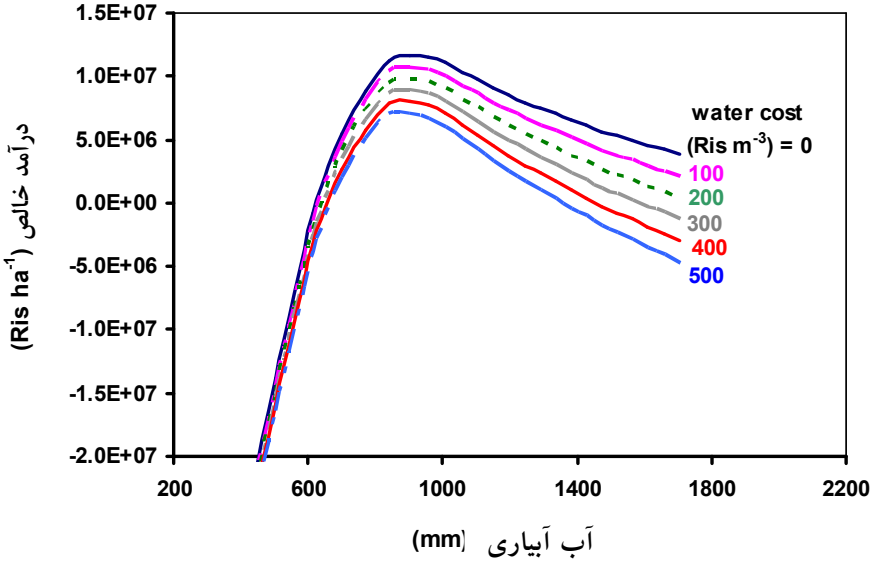
زند پارسا و سپاسخواه (۱۸) براساس تابع تولید حاصل از کشت ذرت تحت آبیاری بارانی مقادیر بهینه آب را برای شرایط حداکثر محصول و حداکثر سود در شرایط محدودیت زمین و محدودیت آب به ترتیب برابر ۱۰۰۰، ۹۹۰ و ۷۴۰ میلی‌متر و مقادیر بهینه نیتروژن را با توجه به نیترات و آمونیوم خاک در هنگام کاشت به ترتیب برابر ۵۶/۵ و ۱۹۳ کیلوگرم بر هکتار تا عمق ۰/۶ متری خاک برای شرایط ذکر شده به ترتیب ۲۱۲، ۲۱۲ و ۲۰۶ کیلوگرم

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-08-24]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.42.1]



شکل۷. مقادیر درآمد خالص در رابطه با مقادیر متفاوت فصلی آب آبیاری و قیمت‌های متفاوت آن و مقدار کود نیتروژنه ۴۵۰ کیلوگرم در هکتار با قیمت ۵۰۰۰ ریال بر کیلوگرم در شرایط محدودیت زمین



شکل۸. مقادیر درآمد خالص در رابطه با مقادیر متفاوت فصلی آب آبیاری و قیمت‌های متفاوت آن و مقدار کود نیتروژنه ۴۵۰ کیلوگرم در هکتار با قیمت ۵۰۰۰ ریال بر کیلوگرم در شرایط محدودیت آب

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-08-24]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.42.1]

جدول ۱. مقادیر درصد افزایش قیمت‌ها و هزینه‌های سال ۱۳۸۶ نسبت به سال ۱۳۸۵

قیمت دانه تولیدی	قیمت کود	اجاره زمین	هزینه کارگر	هزینه کل
۴۰	۳۶	۱۴	۲۰	۲۶/۵

جدول۲. مقادیر بهینه آب و نیتروژن، عملکرد و درآمد خالص براساس قیمت‌ها و هزینه‌های سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۸۶

شرایط	عمق آبیاری (mm)	افزایش سطح زیر کشت (%)	نیتروژن کاربردی ($kg\ ha^{-1}$)	عملکرد ($t\ ha^{-1}$)	درآمد خالص (۱۳۸۵) ($Rls\ ha^{-1}$)	درآمد خالص (۱۳۸۶) ($Rls\ ha^{-1}$)	افزایش درآمد خالص سال ۱۳۸۶ نسبت به سال ۱۳۸۵ (%)
حداکثر عملکرد	۱۳۳۶	۰	۴۵۰	۱۴/۷۵	$۰/۹۰۳\times۱۰^{۷}$	$۱/۴۳۶\times۱۰^{۷}$	۵۹/۰
محدودیت زمین	۱۱۰۴	۰	۴۵۰	۱۴/۶۱	$۰/۹۳۷\times۱۰^{۷}$	$۱/۴۷۷\times۱۰^{۷}$	۵۷/۶
محدودیت آب	۸۴۴	۵۸/۳	۴۵۰	۱۳/۱۷	$۱/۳۷۷\times۱۰^{۷}$	$۲/۲۰۸\times۱۰^{۷}$	۵۷/۵

نیتروژن خالص در هکتار تعیین کردند. در توابع تولید، مقادیر بهینه آب و نیتروژن بر اساس استفاده از داده‌های محدود مزرعه‌ای تخمین زده می‌شوند. به علت محدودیت در بعضی موارد ممکن است این مقادیر بهینه خارج از محدوده داده‌های مزرعه‌ای قرار گیرند. بنابراین استفاده از آنها فقط برای شرایط آب و هوایی و خاک محل آزمایش صادق است و نمی‌تواند عمومیت داشته باشد.برای محاسبه مقادیر بهینه آب و نیتروژن و مقادیر حداکثر درآمد خالص در شرایط مختلف در سال ۱۳۸۶، قیمت‌ها و هزینه‌های رایج در این سال به صورت زیر می‌باشند:

قیمت هر کیلوگرم ذرت دانه‌ای (P) برابر ۲۲۰۰ ریال، قیمت هر کیلوگرم نیتروژن مصرفی ($C_۲$) برابر ۲۶۵۰ ریال، هزینه کارگر برای آبیاری ۱۲۰۰۰ ریال در ساعت و هزینه اجاره زمین برای فصل کشت ذرت دانه‌ای به میزان ۸×۱۰^{۶} ریال برای یک هکتار بر اساس بررسی‌های محلی تعیین شد. هزینه ثابت تولید محصول ($C_۰$) شامل آماده‌سازی زمین، کاشت، داشت، برداشت و هزینه اجاره زمین به میزان $۱/۲۸۴\times۱۰^{۷}$ ریال در محاسبات مربوط به درآمد منظور گردید. به دلیل تفاوت کم در مقادیر قیمت‌های آب و نیتروژن، مقادیر بهینه در سال ۱۳۸۶ همانند سال ۱۳۸۵ می‌باشند. در جدول ۱ مقادیر درصد افزایش قیمت‌ها و هزینه‌ها در سال ۱۳۸۶ نسبت به سال ۱۳۸۵، و در جدول ۲ مقادیر بهینه و درآمد خالص در سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۸۶ نشان داده شده است.

نتیجه‌گیری

با استفاده از مدل‌های کامپیوتری می‌توان برای شرایط آب و هوایی و خاک مختلف مقادیر بهینه آب آبیاری و کود نیتروژن را بدون انجام آزمایش‌های مزرعه ای تخمین زد. برای شرایط اراضی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز، در شرایط محدودیت زمین و قیمت‌ها و هزینه‌های فعلی با

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-08-24]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.42.1]

کاربرد ۱۰۰۸ میلی‌متر آب آبیاری و ۴۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار می‌توان به حداکثر درآمد رسید. در شرایط محدودیت آب و وجود زمین کافی برای کشاورزی، با اعمال کم آبیاری مساحت بیشتری را می‌توان تحت آبیاری قرار داد و درآمد حاصله و راندمان کاربرد آب را افزایش داد. با کاربرد مقادیر بهینه آب و نیتروژن به ترتیب برابر با ۸۴۴ میلی‌متر و ۴۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در شرایط محدودیت آب، حداکثر درآمد به دست می‌آید. به دلیل اعمال یارانه دولتی بر قیمت نیتروژن، مقادیر بهینه نیتروژن در شرایط محدودیت زمین و محدودیت آب و حداکثر محصول یکسان و برابر میزان حداکثر تولید می‌باشد. با افزایش قیمت آب و نیتروژن، مقدار بهینه نیتروژن در شرایط محدودیت زمین و آب کاهش یافته ولی مقدار بهینه آب در شرایط محدودیت زمین کاهش و در شرایط محدودیت آب ثابت بوده و با افزایش کود نیتروژنه مقدار آن افزایش می‌یابد.

منابع مورد استفاده

۱. زند پارسا، ش.، غ. سلطانی و ع. سپاسخواه. ۱۳۸۰. ژرفای بهینه آب آبیاری ذرت در روش آبیاری بارانی. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۵(۳): ۱-۷.

۲. مجنونی هریس،ا.، ش. زند پارسا، ع. سپاسخواه و ع.ا. کامگار حقیقی. ۱۳۸۵. ارزیابی مدل MSM و استفاده از آن برای پیش‌بینی محصول و آب مورد نیاز ذرت علوفه‌ای جهت کاشت دریک محدوده زمانی مناسب. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۱۰(۳ الف): ۸۳-۹۶.

۳. مجنونی هریس، الف.، ش. زند پارسا، ع. سپاسخواه و ع.الف. کامگار حقیقی. ۱۳۸۶. ارزیابی مدل MSM جهت پیش بینی تبخیر-تعرق ذرت دانه‌ای و مقایسه نتایج آن با مقادیر حاصله از روش‌های پیشنهادی فائو۵۶. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۱۱(۴۱ الف): ۲۹-۴۲.

4. English, M. 1990. Deficit irrigation. I: Analytical framework. J. Irrig. Drain. Eng., ASCE 116 : 399-412.
5. English, M. and L. James. 1990. Deficit irrigation. II: Observation in Colombia basin. J. Irrig. Drain. Eng. ASCE 116 : 413-426.
6. English, M., and S.N. Raja. 1996. Perspectives on deficit irrigation. Agric. Water Manag. 32:1-14.
7. Jones, C.A, and J.R. Kiniry. 1986. CERES-maize: A simulation model of maize growth and development, Texas A. and M. University Press, College Station, TX.
8. Liao, C.F.-H. and W.V. Bartholomew. 1974. Relation between nitrate absorption and water transpiration by corn. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 38:472-479.
9. Novoa, R. and R.S. Loomis. 1981. Nitrogen and plant production. Plant soil 58:177-204.
10. Pang, X.P. and J. Letey. 1998. Development and evaluation of Enviro-Gro, an integrated water salinity, and nitrogen model. Soil Sci. Soc. Am. J. 62:1418-1427.
11. Pirmoradian ,N., A.R. Sepaskhah and M. Maftun. 2004. Deficit irrigation and nitrogen effects on nitrogen efficiency and grain protein of rice. Agronomie 24(9-11):143-153.
12. Qian, J.H., J.W. Doran, K.L. Weier, A.R. Mosier, T.A. Peterson and J.F. Power. 1997. Soil denitrification and nitrous losses under corn irrigated with high-nitrate ground water. J. Environ. Qual. 26:360-378.
13. Sepaskhah, A.R., A. Azizian and A.R. Tavakoli. 2006. Optimal applied water and nitrogen for winter wheat under variable seasonal rainfall and planning scenarios for consequent crops in a semi-arid region. Agric. Water Manag. 84:113-122.
14. van Diepen, C.A., J. Wolf, H. van Keulen and C. Rappoldt. 1989. WOFOST: a simulation model of crop production. Soil Use Manag. 5:16-24.
15. van Ittersum, M.K., P.A. Leffelaar, H. van Keulen, M.J. Kropff, L. Bastiaans and J. Goudriaan. 2003. On approaches an applications of the Wageningen crop models. Eur. J. Agron. 18:201-234.
16. Weinhold, B.J., P.T. Todd and G.A. Reichman. 1995. Yield and nitrogen efficiency of irrigated corn in northern great plans. Agron. J. 87:842-846.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-08-24]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.42.1]

17. Yang, H.S., A. Dobermann, J.L. Lindquist, D.T. Walters, T.J. Arkebauer and K.G. Cassman. 2004. Hybrid-maize a simulation model that combines two crop modeling approaches. Field Crop Res. 87:131-154.
18. Zand-Parsa, Sh. and A.R. Sepaskhah. 2001. Optimal applied water and nitrogen for corn. Agric. Water Manag. 52:73-85.
19. Zand-Parsa, Sh., A.R. Sepaskhah and A. Ronaghi. 2006. Development and evaluation of integrated water and nitrogen model for Maize. Agric. Water Manag. 81:227-256.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-08-24]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.42.1]