نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره 2، جلد 10، خرداد - تیر 1395، ص. 229-221

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 2, Vol. 10, May.-Jun. 2016, p. 221-229

بهینه‌سازی آب و کود نیتروژن برای گیاه ذرت با استفاده از تئوری آنالیز حاشیه‌ای در منطقه پاکدشت

فرزانه شعاری آزاد[1]، علی رحیمی خوب[2*]، مجید قربانی جاوید[3]، هادی نظری فر[4]

تاریخ دریافت: 1394/12/26 تاریخ پذیرش: 1395/4/2

چکیده

مقدار کود نیتروژن باید متناسب با نیاز گیاه باشد تا مشکلات زیست محیطی پیش نیاید. هدف از این پژوهش تعیین سطوح بهینه آب و کود نیتروژن در شرایط کم آبیاری و آبیاری کامل با استفاده از تئوری آنالیزحاشیه‌ای برای ذرت علوفه‌ای در منطقه پاکدشت واقع در جنوب‌شرقی تهران است. آزمایشات در تابستان 1393 در قالب کرت‌های خردشده به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تیمار آب شامل50، 75، 100 و 125 درصد نیاز آبی و چهار تیمار کود اوره با درصد خلوص نیتروژن 45 درصد به میزان صفر، 225، 300 و 375 کیلوگرم در هکتار در سه تکرار پیاده شد. نتایج این تحقیق نشان داد در شرایط کم آبیاری ، حداکثر بهره‌وری آب به میزان 2/87 کیلوگرم بر متر مکعب با مصرف 839 میلی‌متر آب و 384 کیلوگرم کود اوره اتفاق می‌افتد. حداکثر عملکرد محصول در شرایط آبیاری کامل و بدون تنش آبی به میزان 26730 کیلوگرم در هکتار و با مصرف 365 کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار و مصرف آب حدود 1020 میلی‌متر بدست آمد و با این مصارف بهره‌وری آب 2/62 کیلوگرم بر متر مکعب برآورد شد.

واژه‌های کلیدی: اقتصاد، بهره‌وری آب، شاخص کشش، کارایی مصرف آب حاشیه‌ای، کم‌آبیاری

مقدمه

یکی از مشکلات اساسی بشر تأمین نیازهای غذایی است، به گونه‌ای که امنیت غذایی به عنوان یکی از اهداف مهم دولت‌ها است. بخش عمده تأمین نیازهای غذایی کشور ما به مقدار تولیدات کشاورزی فاریاب بستگی دارد و کمبود آب عمده‌ترین عامل بازدارنده در زراعت آبی است. رشد جمعیت و محدودیت منابع آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک سبب شده که شیوه کم‌آبیاری مورد توجه قرار گیرد (Debaekand Aboudrare., 2004). توصیه شده آب مصرفی گیاه در مناطق خشک و نیمه‌خشک بر اساس بیشینه‌سازی بهره‌وری آب تعیین شود (Fereres and Soriano., 2007). تحقیقات بر روی نباتات مختلف نشان داده که مقدار آبیاری لازم برای حصول به بیشینه بهره‌وری آب، کم‌تر از آبیاری کامل است (Fan et al., 2005; Fereres and Soriano., 2007). تعیین نقطه بهره‌وری آب یک هدف مهم در اعمال مدیریت کم‌آبیاری است که در این نقطه، گیاه با تنش آبی زیادی روبه‌رو نشده و با کم‌ترین کاهش عملکرد، بیش‌ترین بهره‌وری آب حاصل می‌شود (English and Raja., 1990).

نیتروژن نیز یکی از عوامل اصلی تولید محصول است و گیاهی که این عنصر را به اندازه لازم نداشته باشد، رشد آن کاهش یافته و به شدت بر روی عملکردش تأثیر می‌گذارد (Lemaire et al., 2008). عموماً کم‌تر خاکی است که مقدار کافی نیتروژن به فرم قابل استفاده گیاه (نیترات یا آمونیوم) داشته باشد و بنابراین کمبود بصورت کود به زمین داده می‌شود. ولی به دلیل اثر مثبت نیتروژن بر روی عملکرد گیاه، کودهای شیمیایی بی‌رویه به خاک داده می‌شود. مقدار کود نیتروژن باید بر اساس مقدار آن در خاک و نیاز گیاه در طول دوره رشد به زمین داده شود. مصرف بی‌رویه و بی‌برنامه باعث آبشویی نیترات به زیر عمق توسعه ریشه شده و با آلوده کردن آب‌های زیرزمینی به سلامت محیط زیست لطمه وارد می‌سازد. به همین دلیل طی سالیان گذشته مطالعات گسترده‌ای به منظور افزایش راندمان مصرف کود و کاهش اثرات مخرب زیست‌محیطی آن، انجام شده است (Pl´enet and Lemaire., 2000; Doltra and Mu˜noz., 2010).

1- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آبیاری و زهکشی پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران
2- استاد گروه مهندسی آبیاری و زهکشی پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران
3- استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران
4- کارشناس پژوهشی گروه مهندسی آبیاری و زهکشی پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران
(*- نویسنده مسئول : (Email: akhob@ut.ac.ir

تحقیقات بسیاری نشان داده هر دو عامل آب و کود نیتروژن اثر برهم کنش بر روی عملکرد محصول دارند و از این جهت تعیین مقدار بهینه آب و کود نیتروژن بسیار مهم است English and Raja., (1990). قیصری و همکاران (1388) اثر متقابل آب و نیتروژن را بر روی عملکرد ذرت علوفه‌ای در منطقه ورامین مورد بررسی قرار دادند. بر اساس تحقیقات آن‌ها، هر دو عامل آب و نیتروژن بر روی عملکرد محصول تأثیر معنی‌داری داشت. آن‌ها با استفاده از نتایج سه تیمار کود ازت و چهار تیمار آب نشان دادند، مقدار بهینه کود نیتروژن تابعی از مقدار آبیاری است و 285 کیلوگرم کود نیتروژن با مقدار آبیاری برابر با 0/85 آبیاری کامل برای حصول به بیش‌ترین عملکرد محصول توصیه شد (Gheysari et al., 2009). سپاس‌خواه و همکاران (1385) مقدار بهینه آب آبیاری و کود نیتروژن را برای محصول گندم درشرایط محدودیت آب و زمین تعیین کردند.

در مطالعات اخیر تئوری آنالیز حاشیه‌ای برای یافتن حد بهینه کم‌آبیاری که بیش‌ترین بهره‌وری آب را بدست می‌دهد، توصیه شده است. اساس تئوری آنالیز حاشیه‌ای توابع تولیدی که مبتنی بر تبخیر و تعرق هستند بر مبنای مقایسه تغییرات نسبی عملکرد به تغییرات نسبی تبخیر و تعرق در مقادیر آستانه‌ای صفر و یک می‌باشد. استفاده از این تئوری، راهکاری مناسب درجهت شناخت جزئیات بیش‌تر روابط عملکرد، تبخیر و تعرق و بهره‌وری آب و هم‌چنین تعیین مقادیر بهینه اقتصادی و مدیریتی آب آبیاری در شرایط خشک‌سالی و محدودیت منابع آبی می‌باشد.

هدف از این پژوهش، برآورد مقادیر بهینه آب آبیاری و کود نیتروژن با استفاده از تئوری آنالیز حاشیه‌ای برای گیاه ذرت رقم سینگل کراس 704 در منطقه پاکدشت می‌باشد.

مواد و روش‌ها

تئوری آنالیز حاشیه‌ای

تئوری آنالیز حاشیه‌ای در واقع استفاده از مشتقات تابع تولید و استفاده از دو مفهوم کارایی مصرف آب حاشیه‌ای[1] (MWUE) و شاخص کشش[2] (EI) برای تشریح جزئیات بیش‌تر تابع تولید می‌باشد. از این تئوری می‌توان در شرایط کم‌آبیاری برای تعیین شرایط بهینه اقتصادی و مدیریتی محصولات آبی استفاده نمود Liu et al., (2002). روابط مربوط به تئوری آنالیز حاشیه‌ای در معادلات 1تا 4 ارائه شده است (Liu and Zhang., 2007). معادله 1 نشان دهنده تابع عملکرد محصول (Y) و آب مصرفی (ET) است و معادله 2 بهره‌وری آب[3] (WUE) را که بیانگر میزان عملکرد به ازا آب مصرفی (تبخیر و تعرق) گیاه است، نشان می‌دهد. معادله 3 بهره‌وری آب حاشیه‌ای (MWUE) بوده که تغییر در میزان عملکرد به ازا هر واحد تغییر در مقدار تبخیر و تعرق است و به عبارتی روند دینامیک بهره‌وری آب در محدوده تغییرات تبخیر و تعرق را بیان می‌کند (Hexem and Heady., 1978). در مفاهیم اقتصادی درصد تغییرات متغیر وابسته به درصد تغییرات متغیر مستقل را شاخص کشش (EI) می‌نامند که در معادله 4 ارائه شده است.

$$Y = Y(ET) \quad (1)$$

$$WUE = \frac{Y}{ET} \quad (2)$$

$$MWUE = \frac{dY}{dET} \quad (3)$$

$$EI = \frac{dY/Y}{dET/ET} = \frac{MWUE}{WUE} \quad (4)$$

در معادله‌های 1 تا 4، Y ، عملکرد (وزن خشک) بر حسب کیلوگرم در هکتار وET ، میزان تبخیر و تعرق در طول فصل رشد برحسب میلی‌متر می‌باشد. با مشتق گیری WUE نسبت به ET و جایگذاری روابط 1 تا 4، معادله 5 را خواهیم داشت:

$$\frac{dWUE}{dET} = (EI - 1)\left(\frac{WUE}{ET}\right) \quad (5)$$

روابط 1 تا 5 نشان می‌دهند:

چنان‌چه EI>1 باشد، WUE با افزایش ET، افزایش پیدا می‌کند و اگرEI<1 باشد، WUE با افزایش ET، کاهش پیدا می‌کند.

هم‌چنین اگر EI>0 باشد، Y با افزایش مقدار ET، افزایش پیدا می‌کند و اگرEI<0 باشد، Y با افزایش ET، کاهش پیدا می‌کند.

اگر تابع تولید آب- محصول به شکل مقعر رو به پایین باشد، WUE و Y به حداکثر مقدار خود می‌رسند هنگامی‌که EI به ترتیب 1 و صفر باشد.

تابع تولید آب- محصول (معادله 1) برای سطوح مختلف کود و آب بدست می‌آید (Liu and Zhang., 2007). وقتی هر دو سطح آبیاری و سطح کود تغییر کنند، Y نمی‌تواند یک تابع مستقیم از ET باشد، در این صورت Y و ET توابعی از سطوح کودی (X1) و سطوح آبیاری (X2) طبق معادلات 6 و 7 خواهند بود:

$$Y = Y(X1, X2) \quad (6)$$

$$ET = ET(X1, X2) \quad (7)$$

بنابراین Y و ET با استفاده از متغیرهای X1 و X2 به یکدیگر مرتبط می‌شوند. معادلات دیفرانسیل توابع 6 و 7 به‌صورت معادله 8 و 9 خواهند بود:

$$dY = \frac{\partial Y}{\partial X1} dX1 + \frac{\partial Y}{\partial X2} dX2 \quad (8)$$

1- Marginal Water Use Efficiency
2- Elasticity Index
3- Water Use Efficiency

$$dET = \frac{\partial ET}{\partial X1} dX1 + \frac{\partial ET}{\partial X2} dX2 \quad (9)$$

با جای‌گذاری معادله‌های 8 و 9 در معادلـه 4 و تقسـیم صـورت و مخرج بر dX2، شاخص کشش بر حسب هر دو نهاده آب و کـود بـه‌صورت رابطه 10 برآورد می‌شود (Liu and Zhang., 2007):

$$EI = \left(\frac{(\partial Y/\partial X1)(dX1/dX2) + (\partial Y/\partial X2)}{(\partial ET/\partial X1)(dX1/dX2) + (\partial ET/\partial X2)} \right) \times \frac{ET}{Y} \quad (10)$$

با انتخاب مقداری برای $\frac{dX1}{dX2}$ در صـفحه X1-X2، روابـط متقابـل Y، ET، WUE را در آستانه‌ی EI=0 و EI=1 تجزیه و تحلیل می‌گردد. به صـورت تئـوری هـر مقـداری از $\frac{dX1}{dX2}$ در صـفحه‌ی X1-X2 می‌تواند در تحلیل‌ها استفاده شود اما در عمل دو مقدار برای آن اتخاذ شده است. یک مقدار طبق رابطه 11 از هر نقطه دلخواه (X1,X2) تا نقطه حداکثر عملکرد (X1m, X2m) (Liu and Zhang., 2007):

$$\frac{dX1}{dX2} = \frac{X1 - X1m}{X2 - X2m} \quad (11)$$

پارامترهای X1m و X2m سطوح کود و آبی هستند کـه بـیش‌ترین عملکرد را ایجاد می‌کنند. مفهوم عملی انتخاب فوق رسـیدن بـه حـداکثر عملکـرد بـا اسـتفاده از کـم‌تـرین مقـادیر X1 و X2 اسـت. پارامترهای X1m و X2m با مساوی صفر قرار دادن توابع $\partial Y/\partial X1$ و $\partial Y/\partial X2$ و حل دستگاه برآورد می‌شوند. مقدار دیگر، بـیش‌تـرین شیب عملکـرد محصـول در نقطـه مـورد نظـر اسـت (Liu and Zhang., 2007):

$$\frac{dX1}{dX2} = \frac{\partial Y/\partial X1}{\partial Y/\partial X2} \quad (12)$$

مفهوم عملی این انتخاب یافتن بیش‌تـرین افـزایش عملکـرد در سطوح X1 و X2 در نقطه دلخواه است. دامنه بهینه دو نهـاده کـود و آب با رسم معادله 10 و با استفاده از عوامل آن حاصل می‌شود.

مشخصات محل آزمایش

این پژوهش در مزرعـه تحقیقـاتی پـردیس ابوریحـان، دانشـگاه تهران واقع در منطقه پاکدشت بر روی گیاه ذرت رقم سینگل کراس-704 در سال 1393، در طول جغرافیایی 51 درجه و 40 دقیقه شـرقی و عرض جغرافیایی 35 درجه و 29 دقیقـه شـمالی و ارتفـاع از سـطح دریا 1027 متر انجام شد. پاکدشت در جنوب‌شرقی شهر تهـران واقـع است و مطابق طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن جزو مناطق خشک محسوب می‌شود که در آن میـانگین بارنـدگی سـالانه 141 میلـی‌متـر، دمـای متوسط سالانه 15/6 سانتی‌گراد و تبخیر و تعرق سالانه 1390 میلـی-متر است. بافت خاک در این مزرعه تحقیقاتی به طور غالب لومی‌شنی اسـت و متوسـط محتویـات ارگانیـک، نیتـروژن کـل و فسـفر در 30 سانتی‌متری لایه‌ی بالایی خاک به ترتیب برابـر 52/4 ، 0/039 و 0/2 گرم بر کیلوگرم است. برخی دیگر از خصوصیات فیزیکی و شـیمیایی خاک و آب محل آزمایش در جداول 1 و 2 ارائه شده است.

جدول 1- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

ضخامت لایه (m)	بافت خاک	رطوبت ظرفیت مزرعه (cm^3/cm^3)	رطوبت نقطه پژمردگی (cm^3/cm^3)	جرم مخصوص ظاهری خاک خشک (gr/cm^3)	رطوبت اشباع (درصد)	EC (ds/m)
0/2	Silt loam	20/15	10/01	1/36	44/64	3/55
0/2	Sandy loam	20/45	10/22	1/23	43/58	3/69
0/2	Sandy loam	21/45	10/65	1/32	40/86	4/06
0/6	Sandy loam	18/82	9/60	1/33	48/57	4/55

جدول 2- خصوصیات شیمیایی آب

پارامتر	Ca+Mg (meq/lit)	Na (meq/lit)	PH	EC (ds/m)
مقدار	16	2/9	7/2	1/4

مشخصات تیمارها و اندازه‌گیری‌ها

طرح پژوهشی درقالب طرح کرت‌های خردشده به صورت بلوک-های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. کرت‌های اصـلی بـا چهـار مقدار آب با اندازه‌هـای 50 ، 75، 100 و 125 درصـد نیـاز آبـی گیـاه آبیاری شده و به ترتیب با نمادهای I1 تا I4 نام گذاری شدند. کـرت-های فرعی نیز با چهار مقدار کود اوره با درصـد خلـوص نیتـروژن 45 درصد به میزان صفر، 225، 300 و 375 کیلوگرم در هکتار کود دهی شده و به ترتیب با نمادهای N1 تا N4 نام گذاری شدند. کرت‌هـا بـه ابعاد3/75×3 (متر×متر) بودند که به پشته‌هـایی بـه عـرض 0/5 متـر بسته می‌شدند تا از جریان‌هـای سـطحی آب در طـول زمـان آبیـاری جلوگیری کند. هم‌چنین به منظور مستقل بودن تیمارها نسبت به هم، یک متر بین کرت‌ها فاصله گذاشته شد. در ایـن آزمـایش، ذرت رقـم سینگل کراس 704 بـا جمعیـت گیـاهی 6/67 مترمربـع کشـت شـد. کاشـت بـذر در تـاریخ 1393/03/16 انجـام گرفـت و در تـاریخ

1393/07/01 برداشت شد. آبیاری تمامی کرت‌ها تا 24 روز پس از کاشت با دور آبیاری پنج روز و بدون اعمال تنش انجام شد.

جهت تعیین رطوبت خاک و زمان آبیاری از دستگاه رطوبت سنج[1] TDR که معادله واسنجی آن، پیش از این توسط کارشناسان گروه آبیاری تعیین شده‌بود، استفاده شد. بعد از آماده‌سازی زمین، لوله مخصوص این دستگاه در یکی از کرت‌های آبیاری کامل نصب شد (تیمار شاهد) و رطوبت خاک در لایه‌های مختلف خاک به طور روزانه اندازه‌گیری شد. زمان آبیاری به‌صورتی تعیین می‌شد که کمبود رطوبت خاک تا عمق توسعه ریشه بیش‌تر از 50 درصد کل رطوبت خاک نگردد. مقدار آب آبیاری تیمار شاهد از رابطه 13 محاسبه شد و برای سایر تیمارها با تأثیر درصد آبیاری مقدار آن مشخص گردید.

$$RAW = \left(\frac{\theta_{fc} - \theta_{pwp}}{100}\right) \times MAD \times DR \quad (12)$$

در رابطه فوق؛ RAW آب سهل الوصول خاک در عمق توسعه ریشه گیاه برابر با مقدار آب آبیاری(mm)، θ_{fc} و θ_{pwp} به ترتیب رطوبت حجمی خاک در حالت ظرفیت مزرعه و پژمردگی (%) MAD درصد حداکثر تخلیه مجاز و DR عمق توسعه ریشه گیاه(mm) می‌باشد. در زمان آبیاری تیمار شاهد، حجم آب آبیاری بر اساس کمبود رطوبت خاک، عمق توسعه ریشه و مساحت کرت تعیین شد و با استفاده از کنتور آب وارد کرت شد. حجم آب سایر تیمارهای آبیاری بر اساس درصد نیاز آبی تیمار محاسبه و تمامی تیمارها در یک روز آبیاری شدند. به علت کوچک و محصور بودن کرت‌های آبیاری، تلفات سطحی ناچیز و تلفات عمقی در تیمارهای I1 تا I3 که در آن‌ها آب مصرفی کم‌تر و یا مساوی نیاز آبی گیاه بوده، صفر فرض شده است و بنابراین در این تیمارها تبخیر و تعرق (ET) برابر با آب مصرفی بود. در تیمار I4 نیز با توجه به اینکه کود نیتروژن سبب افزایش سطح برگ و به دنبال آن افزایش تبخیر و تعرق می‌شد؛ هم‌چون تیمارهای I1 تا I3، مقدار تبخیر و تعرق (ET) برابر با آب مصرفی در نظر گرفته شده است.

کود اوره در نظر گرفته شده برای هر تیمار، در سه نوبت به زمین داده شد. نوبت اول در زمان 5 تا 7 برگی شدن گیاه (19 روز پس از کاشت)، نوبت دوم در شروع مرحله زایشی (60 روز پس از کاشت) و نوبت سوم در شروع مرحله شیری بلال (77 روز پس از کاشت) انجام شد. مقدار کود مراحل اول تا سوم بترتیب 16/5، 33/5 و 50 درصد از کود در نظر گرفته شده برای هر تیمار تعیین شد. پس از رسیدگی کامل محصول در تاریخ اول مهر، کل قسمت اندام هوایی از سطح خاک به بالا از وسط هر کرت به ابعاد 2/25 متر در 2 متر برداشت شد. نمونه‌ها به مدت 14 روز در هوا خشک و به مدت 3 روز در دستگاه آون با درجه حرارت 70 درجه سانتی‌گراد خشک شدند و سپس عملکرد کل محصول برای هر تیمار توزین شد. داده‌های اندازه‌گیری شده با استفاده از نرم‌افزار SAS تحلیل آماری شدند.

مشخصات تیمارها و سطوح کود و آب در جدول 3 ارائه شده است. در این پژوهش برای بنیان تابع عملکرد محصول بر حسب سطوح کود و آب، از داده‌های تیمارهای ردیف 1، 6، 11 و 16 برای صحت سنجی و سایر تیمارها برای واسنجی توابع استفاده شد.

نتایج و بحث

تحلیل آماری

نتایج تجزیه واریانس عملکرد برای تعیین اثر سطوح تنش خشکی و کود نیتروژن در جدول 4 ارائه شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، تنش خشکی و کود نیتروژن هر یک به تنهایی به طور معنی‌داری بر مقادیر عملکرد محصول تأثیر داشتند. هم‌چنین در مورد برهم‌کنش تنش خشکی و نیتروژن بر مقادیر عملکرد محصول، اثر معنی‌داری مشاهده شد. بنابراین هر دو عامل تنش خشکی و کود نیتروژن به طور مستقل و هم به صورت توامان بر عملکرد محصول تأثیرگذار هستند.

تجزیه و تحلیل سطوح پاسخ عملکرد

بهترین معادله درجه دو برازش شده به داده‌های سطوح کود و آب در مقابل عملکرد محصول با استفاده از داده‌های واسنجی به شرح رابطه 14 برآورد شد:

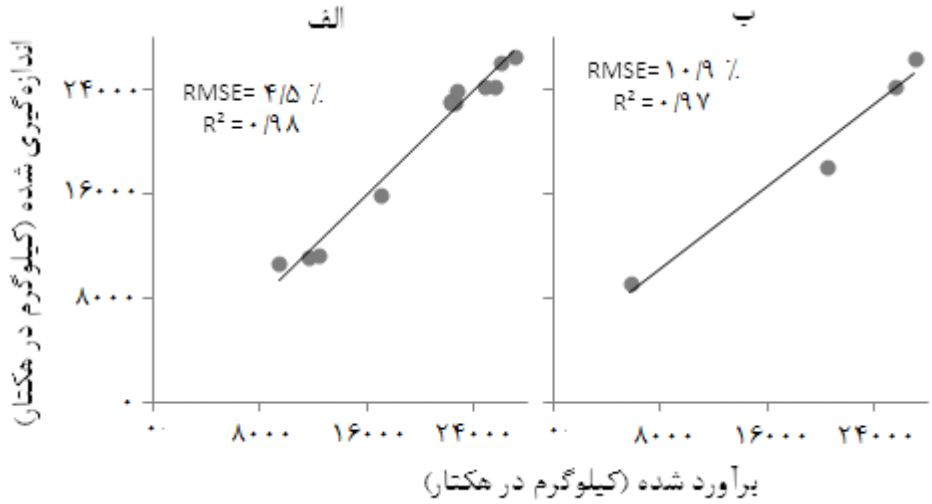
$$Y = -11416.93 + 4068.8\ x_1 + 18196.45\ x_2 - 431.87\ x_1^2 - 2607.21\ x_2^2 - 218.39\ x_1\ x_2 \quad (14)$$

در معادله فوق X1 سطح کود (مقادیر 1 تا 4)، X2 سطح آب (مقادیر 1 تا 4) و Y عملکرد محصول بر حسب کیلوگرم در هکتار می‌باشند. ملاحظه می‌شود، ضریب آب (X2) بیش از چهار برابر ضریب کود (X1) است و نشان‌دهنده این است که اثر نهاده آب بر روی عملکرد محصول به مراتب بیش از نهاده کود است. پراکنش مقادیر عملکرد محصول برآورد شده با استفاده از معادله فوق و مقادیر اندازه‌گیری شده برای داده‌های واسنجی و صحت‌سنجی در شکل 1 ارائه شده است. درصد جذر مربعات خطا برای داده‌های واسنجی و صحت‌سنجی به ترتیب 4/5 و 10/9 درصد برآورد و نشان می‌دهد معادله پیشنهادی از دقت مناسبی برخوردار است. ضریب تعیین برای هر دو داده‌های واسنجی و صحت‌سنجی به ترتیب 0/98 و 0/97 برآورد شده و گویای آن است که تغییرات عملکرد محصول ذرت تا حدود 97 درصد تابع معادله 14 می‌باشد.

1- Time domain reflectometry

جدول 3- مشخصات تیمارها و سطوح کود و آب

ردیف	تیمار	سطح کود X1	سطح آب X2	مقدار کود Kg ha^{-1}	مقدار آب mm
1	I1 N1	1	1	0	600
2	I1 N2	2	1	225	600
3	I1 N3	3	1	300	600
4	I1 N4	4	1	375	600
5	I2 N1	1	2	0	780
6	I2 N2	2	2	225	780
7	I2 N3	3	2	300	780
8	I2 N4	4	2	375	780
9	I3 N1	1	3	0	960
10	I3 N2	2	3	225	960
11	I3 N3	3	3	300	960
12	I3 N4	4	3	375	960
13	I4 N1	1	4	0	1140
14	I4 N2	2	4	225	1140
15	I4 N3	3	4	300	1140
16	I4 N4	4	4	375	1140



شکل 1- پراکنش مقادیر عملکرد برآورد و اندازه‌گیری شده ، الف) داده‌های واسنجی و ب) داده‌های صحت سنجی

بهترین معادله برازش شده به داده‌های سطوح کود و آب در مقابل تبخیر و تعرق نیز به شرح رابطه 15 برآورد شد:

$$ET = 420.62 - 1.26 \times 10^{-14} x_1 + 180.27 x_2 \quad (15)$$

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، ضریب کود (X1) تقریبا برابر صفر است. واکنش بیش‌تر تبخیر و تعرق (ET) به سطوح مختلف آبیاری به این علت است که آب به طور مستقیم، تبخیر و تعرق را کنترل می‌کند در حالی‌که کود با بالابردن ناحیه‌ی برگ و رشد ریشه‌ها به طور غیر مستقیم در تبخیر و تعرق مشارکت می‌کند.

ضریب تعیین معادله برازش شده نیز حدود یک برآورد شده است.

با توجه به ضریب تعیین بالای معادلات 14 و 15، این معادلات برای تحلیل مقادیر بهینه کود و آب با استفاده از تئوری آنالیز حاشیه-ای استفاده شدند. توابع مشتق‌های جزئی معادله 14 نسبت به سطوح کود و آب (X1 و X2) به‌صورت رابطه 16 و 17 خواهد بود:

جدول 4 – نتایج تجزیه واریانس میانگین مربعات برای اثر سطوح آبیاری و کود نیتروژن بر عملکرد کل گیاه ذرت

منابع تغییرات (SOV)	درجه آزادی (DF)	عملکرد ($kg\ ha^{-1}$)
تکرار	2	$^{ns}672515$
سطوح تنش خشکی (فاکتور I)	3	$^{**}534636234$
خطای آزمایش I	6	$^{ns}402516$
سطوح کود نیتروژن (فاکتور N)	3	$^{**}42358960$
اثرمتقابل IN (خشکی × نیتروژن)	9	$^{**}6663192$
خطای آزمایش N	6	$^{ns}488193$
ضریب تغییرات (%CV)	-	2/988268

ns و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح یک درصد

$$\frac{\partial Y}{\partial X1} = 4068.8 - 863.74X_1 - 218.39X_2 \quad (16)$$

$$\frac{\partial Y}{\partial X2} = 18196.45 - 218.39X_1 - 521.44X_2 \quad (17)$$

با صفر قرار دادن معادلات 16 و 17، پارامترهای X1m و X2m به ترتیب برابر با 3/869 و 3/328 خواهد بود و با جای‌گذاری این مقادیر در معادله 14 بیشینه عملکرد محصول (Ym) برابر با 26730 کیلوگرم در هکتار برآورد شد. سطوح پارامترهای X1m و X2m، به ترتیب معادل 365 کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار و 1020 میلی‌متر آب هستند و نشان‌دهنده این است که اگر این مقادیر در طول دوره رشد به مصرف برسد، گیاه بدون کمبود ازت و کمبود آب به بیشینه عملکرد می‌رسد و در این شرایط مقدار بهره‌وری آب معادل 2/62 کیلوگرم بر متر مکعب بدست می‌آید.

تجزیه و تحلیل تابع تولید آب- محصول تحت وضعیت‌های بهینه‌ی کود

با فرض اینکه ازت مورد نیاز ذرت تأمین شود و آب تنها عامل محدود کننده رشد محصول باشد، در این صورت مشتق عملکرد محصول نسبت به عامل کود ($\partial Y/\partial X1$) برابر صفر خواهد بود و با حل معادله 16 بر حسب X2 و جای‌گذاری آن در معادله 14 و 15، معادله 18 و 19 بدست می‌آید:

$$Y = -2579.6\ X_2^2 + 17167.68\ X_2 - 1833.51 \quad (18)$$

$$ET = 180.27\ X_2 + 420.62 \quad (19)$$

در صورتی که در معادله 18 به‌جای پارامتر X2 معادل آن را با استفاده از رابطه 19 بر حسب ET جایگزین شود، رابطه 20 بدست می‌آید.

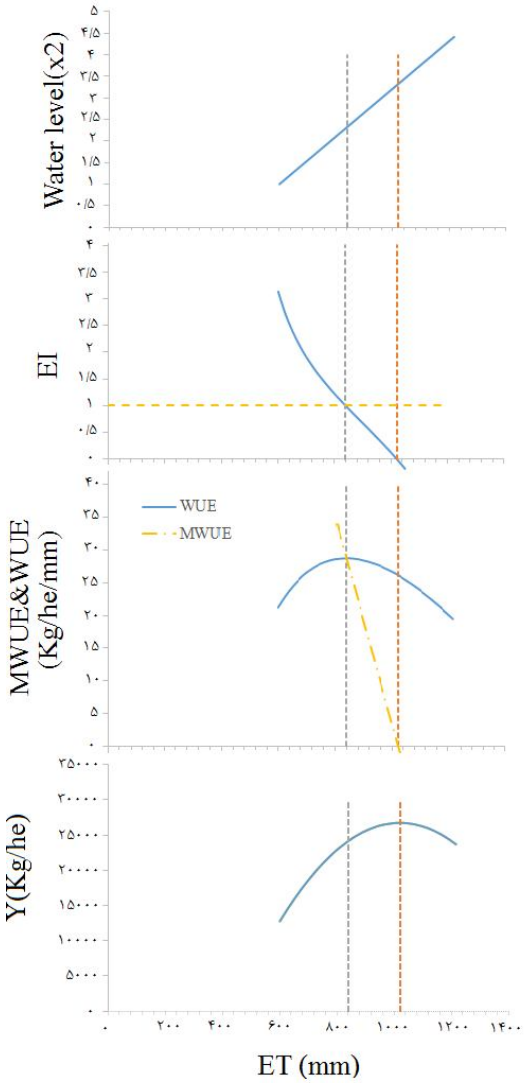
$$Y = -0.0794\ ET^2 + 162.01\ ET - 55935.86 \quad (20)$$

مقادیر Y، WUE، MWUE و EI با استفاده از معادله 20 و با جاگذاری در معادلات 2 تا 4 بدست می‌آید که نتایج آن در شکل 2 رسم شده است. طبق شکل زمانی که EI برابر یک است، WUE حداکثر مقدار و وقتی EI صفر است، Y حداکثر مقدار خود را دارد. حداکثر WUE برابر 2/87 کیلوگرم بر متر مکعب در ET برابر 839 میلی‌متر و حداکثر عملکرد برابر26730 کیلوگرم در هکتار درET برابر 1020 میلی‌متر بدست می‌آید. اگر $X2_{WUE}$ و $X2_Y$ به ترتیب سطوح آب در جایی‌که Y و WUE حداکثر مقدار خود را دارند، باشند. در این صورت سه حالت ایجاد می‌شود:

برای X2 کوچک‌تر از $X2_{WUE}$ ، با افزایش ET، هم Y و هم WUEافزایش می‌یابند.

برای X2 بزرگ‌تر از $X2_Y$ ، با افزایش ET، هم Y و هم WUEکاهش می‌یابند.

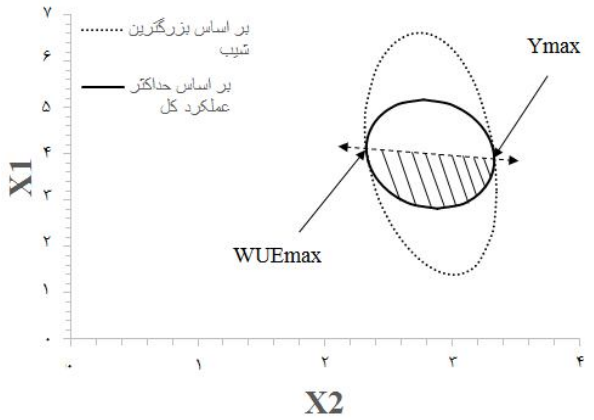
برای X2 بین $X2_{WUE}$ و $X2_Y$ ، با افزایش ET، Y افزایش اما WUEکاهش می‌یابد.



شکل 2- منحنی تغییرات Y، WUE، MWUE، EI و X2 در مقابل ET

دامنه جفت شدن بهینه آب و کود

از معادله 10 برای ترسیم دامنه جفت شدن بهینه آب و کود استفاده می‌شود. با استفاده از داده‌ها و جایگزین کردن معادلات 11، 14، 15، 16، 17 و هم‌چنین مشتقاتی از معادله 15 نسبت به X1 و X2 درون معادله 10 و تنظیم آن به یک معادله، ما می‌توانیم یک رابطه ضمنی بین X1-X2، برای EI = 1 داشته باشیم. این رابطه به شکل بیضی است و WUE در امتداد لبه بیضی حداکثر مقدار خود را داراست زیرا EI برابر با یک است (شکل 3). باید به این نکته توجه شود که معادله 12 در نقطه حداکثر عملکرد کل (Y_{max})، تعریف نشده است. بنابراین مقادیر X1 و X2 در این نقطه با قرار دادن EI برابر با یک نمی‌توانند بدست آیند. با این وجود همان‌طور که اشاره شد در نقطه حداکثر عملکرد کل (Y_{max})، EI برابر با صفر می‌شود (شکل 2). هم‌چنین اگر معادله 12 به جای معادله 11 استفاده شود، ما می‌توانیم مجموعه دیگری از یک رابطه ضمنی را استخراج کنیم؛ چنان‌که در شکل 3 نشان داده شده است. با مقایسه این حالت با حالت حداکثر عملکرد کل، مشاهده می‌شود که طول دو نقطه‌ی انتهایی بر روی محور طولی تغییر نکرد اما عرض آن بر روی محور عمودی افزایش یافت. ناحیه‌ای که بین سطوح پاسخ‌گویی محصول و محور طولی بیضی و درون نیمه پایین‌تر بیضی محدود باشد، به عنوان دامنه جفت‌سازی بهینه آب و کود برای توابع کاربردی تعریف شده است (ناحیه‌ی هاشورزده در شکل 3). توجه داشته باشید که نقاط WUE_{max} و Y_{max} دو نقطه انتهایی محور طولی بیضی و دو نقطه تماس در نمودارهای بیضوی هستند. عرضه آب پیشنهادی بایستی بین این دو نقطه و درون ناحیه هاشورزده شکل 3 باشد. چنان‌چه با کمبود منابع آب در یک منطقه یا در یک فصل رشد رو به رو باشیم، مقادیر آب و کود پیشنهادی باید با هدف بدست آوردن WUE_{max} تعیین شوند و چنان‌چه در عرضه آب محدودیتی وجود نداشته باشد، مقادیر آب و کود پیشنهادی باید با هدف بدست آوردن Y_{max} تعیین شوند. به عنوان مثال برای یک سطح عرضه کود معین، مقدار آب بر روی لبه‌ی بیضی، حصول WUE_{max} را به دنبال دارد و مقدار آب بر روی محور طولی بیضی، Y_{max} را به دست می‌دهد. مقادیر عرضه آب نباید از 839 میلی‌متر (X2 = 2/32) کم‌تر باشد؛ زیرا باعث کاهش شدید عملکرد می‌گردد و نیز نباید از 1020 میلی‌متر (X2 = 3/32) تجاوز کند؛ چرا که مصرف آب بیش از این مقدار تلفات سطحی و عمقی را به دنبال دارد. نتایج مشابهی نیز توسط لیو و ژانگ (Liu and Zhang., 2007) بدست آمد. آن‌ها گزارش کردند که WUE_{max} در عرضه آب کم‌تری نسبت به Y_{max} برای ذرت دانه‌ای در فلات چین محقق شد و توصیه کردند که با وجود محدودیت منابع آب، باید با هدف رسیدن به WUE_{max}، مقادیر آبیاری و کوددهی بهینه تعیین شوند.



شکل 3- دامنه بهینه جفت‌سازی سطوح عرضه آب و کود

یکی از کاربردهای دامنه جفت‌سازی بهینه آن است که مقادیر کود را طبق عرضه کلی آب تعیین می‌کند. آب ذخیره شده در خاک می‌تواند به‌وسیله مدل‌های کشاورزی یا اندازه‌گیری مستقیم تخمین زده شود. از طرفی مقدار کل بارش را نیز می‌توان با پیش‌بینی‌های آب و هوایی فصلی تخمین زد. درنتیجه برای محصولات با کشت دیم با استفاده از پیش‌بینی‌های بارش فصلی و اندازه‌گیری آب خاک قابل دسترس، می‌توان نرخ کود دهی بهینه را تعیین نمود و برای محصولات با کشت فاریاب نیز با توجه به ذخیره مخزن و آب قابل دسترس، توصیه‌های کوددهی بهینه را مورد ملاحظه قرار داد. به هر حال دامنه‌های جفت‌سازی بهینه می‌توانند، برای ساختن چشم انداز و پیش‌بینی‌های فصلی استفاده شوند.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش به بهینه‌سازی آب و کود نیتروژن برای گیاه ذرت با استفاده از تئوری آنالیز حاشیه‌ای پرداخته شد. نتایج نشان داد، حداکثر عملکرد محصول به میزان 26730 کیلوگرم در هکتار و با مصرف 365 کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار و مصرف آب حدود 1020 میلی‌متر بدست می‌آید و با این مصارف بهره‌وری آب 2/62 کیلوگرم بر متر مکعب برآورد شد. در شرایط کم آبیاری، بهترین درصد اعمال کم آبیاری که بیش‌ترین بازده مصرف آب را در پی داشته باشد، 87 درصد برآورد شد. در این شرایط عملکرد، بهره‌وری آب و کود نیتروژن مورد نیاز به‌ترتیب 24128 کیلوگرم در هکتار و 2/87 کیلوگرم بر متر مکعب و 384 کیلوگرم در هکتار برآورد شد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود با 17/74 درصد صرفه جویی در مصرف آب، حدود 9/73 درصد میزان محصول کاهش پیدا می‌کند. بنابراین توصیه می‌شود، زمانی که با محدودیت منابع آب در یک منطقه خاص یا در یک فصل رشد مواجه هستیم؛ با هدف WUE_{max}، مقادیر آبیاری و کوددهی بهینه تعیین شوند. هم‌چنین زمانی برای عرضه آب

محدودیتی وجود نداشته باشد؛ باید با هدف Y_{max} این مقادیر تعیین گردند و عرضه آب نباید از 1020 میلی‌متر تجاوز کند. قیصری و همکاران (1388) بهترین درصد کم آبیاری برای گیاه ذرت در منطقه ورامین را 85 درصد تعیین کردند که در این مورد تطابق نزدیکی با نتایج این پژوهش دارد. ولی آن‌ها مقدار کود نیتروژن را 285 کیلوگرم در هکتار توصیه کردند که با نتایج این پژوهش اختلاف دارد (Gheysari et al., 2009). به نظر می‌رسد که تئوری آنالیز حاشیه‌ای ابزاری مناسب برای تعیین مقادیر بهینه کود بر طبق عرضه کلی آب باشد تا از مصرف بی‌رویه کودهای نیتروژنی و هدر رفت سرمایه و آلودگی محیط زیست جلوگیری شود. با توجه به این‌که داده‌های این تحقیق بر اساس یک سال داده بوده، لذا برای اظهار نظر قطعی لازم است، آزمایش‌ها برای یک سال دیگر تکرار گردد.

منابع

سپاسخواه،ع.ر.، عزیزیان،ا.، توکلی،ع.ر و زیبایی،م. 1385. بهینه‌سازی اقتصادی آب و کود نیتروژن برای گندم در مقادیر مختلف بارندگی (در منطقه مراغه)، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. 10,4: 45-57.

Debaek,P and Aboudrare,A. 2004. Adaptations of crop manage to water-limited environments. European Journal of Agronomy. 21.4: 433–446.

Doltra,J and Mu˜noz,P. 2010. Simulation of nitrogen leaching from a fertigated crop rotation in a Mediterranean climate using the EU-Rotate N and Hydrus-2D models. Agricultural Water Management. 97: 277–285.

English,M and Raja,S.N. 1990. Review perspective on deficit irrigation. Agricultural Water Management. 32: 1-14.

Fan,T., Stewart,B.A., Payne,W.A., Wang,Y., Song,S., Luo,J., Robinson,C.A. 2005. Supplemental irrigation and water: yield relationships for plasticulture crops in the loess plateau of China. Agronomy Journal. 97: 177–188.

Fereres,E.M and Soriano,A. 2007. Deficit irrigation for reducing agricultural water use. Journal of Experimental Botany. 58.2: 147–159.

Gheysari,M., Mirlatifi,S. M., Bannayan,M., Homaee,M., Hoogenboom,G. 2009. Interaction of water and nitrogen on maize grown for silage. agricultural water management. 96: 809–821.

Hexem,R.W and Heady,E.O. 1978. Water production functions for irrigated agriculture. Iowa State University Press, Ames, IA, 215.

Lemaire,G., Jeuffroy,M.H and Gastal,F. 2008. Diagnosis tool for plant and crop N status in vegetative stage Theory and practices for crop N management. European Journal of Agronomy. 28: 614–624.

Liu,W.Z., Hunsaker,D.J., Li,Y.S., Xie,X.Q and Wall,G.W. 2002. Interrelations of yield, evapotranspiration, and water use efficiency from marginal analysis of water production functions. Agricultural Water Management. 56: 143–151.

Liu,W.Z and Zhang,X.C. 2007. Optimizing water and fertilizer input using an elasticity index: A case study with maize in the loess plateau of china. Field Crops Research. 100: 302–310.

Pl´enet,D and Lemaire,G. 2000. Relationships between dynamics of nitrogen uptake and dry matter accumulation in maize crops. Plant Soil. 216: 65–82.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 2, Vol. 10, May.-Jun. 2016, p. 221-229

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره2، جلد10، خرداد - تیر 1395، ص. 229-221

Optimization of Water and N Fertilizer Consumption in Maize Using Marginal Analysis Theory

F. Shoari Azad[1], A. Rahimikhoob[2]*, M. Ghorbanijavid[3], M. H. Nazarifar[4]

Recived: Mar.20, 2016 Accepted: Jun.22, 2016

Abstract

Deficiency of irrigation water in irrigated agriculture as the most deterrent factor and nitrogen Deficiency of as one of the main limiting factors of plant growth, is Presented. So management of water and nitrogen fertilizer for agricultural production because of Deficiency of resources and environmental problems and prevent loss of capital, should be considered. The purpose of this study was to optimize the water use efficiency and nitrogen fertilizer using marginal analysis theory for silage maize in Pakdasht located in the southeastern region of Tehran. The tests in the summer of 1393 in the form of split plot randomized complete blocks design with four treatments for water and four treatments for nitrogen fertilizer in three replications was used. The results showed that the maximum water use efficiency at ET = 839 mm and fertilizer consumption 384 kg per hectare happens while the global maximum yield at ET = 1020 mm and fertilizer consumption 365 kg per hectare is achieved and by 17.74% of water saving only 9.73 percent of the product is reduced. So when we face with restriction of water sources, water use efficiency must be goal and if there are no restrictions for water supply, with the goal of maximizing yield the values optimal irrigation and fertilization be specified. As well as the water supply should not exceed from 1020 mm.

Keywords: Deficit irrigation, Marginal analysis theory, Nitrogen fertilizer, Optimization, Water use efficiency

1- Master Science Student, Department of Irrigation and Drainage Engineering, Aburaihan College, University of Tehran
2- Professor of Irrigation and Drainage Engineering Department, Aburaihan College, University of Tehran
3- Assisstant Professor of Crop Science and Plant Breeding Department, Aburaihan College, University of Tehran
4- Research Expert of Irrigation and Drainage Engineering Department, Aburaihan College, University of Tehran
(*- Corresponding Author Email: akhob@ut.ac.ir)