

اثر شوری و مقدار آب آبیاری بر عملکرد سورگوم علوفه‌ای در دشت سیستان

حلیمه پیری^{۱*}، حسین انصاری و مهدی پارسا

استادیار، گروه مهندسی آب دانشکده آب و خاک دانشگاه زابل، زابل، ایران.

h_piri2880@yahoo.com

استاد، گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد.

ansary@um.ac.ir

دانشیار، گروه زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد.

parsa@um.ac.ir

چکیده

عامل مهم در مدیریت آبیاری در مناطق خشک، شناسایی پاسخ گیاه به تنش خشکی می‌باشد. اما با توجه به این‌که آب‌های زیرزمینی در این مناطق دارای نمک‌های محلول می‌باشند، تنش شوری نیز باید به طور همزمان مورد بررسی قرار گیرد. در نتیجه این پژوهش به منظور تعیین عمق بهینه آبیاری در شرایط جداگانه و توأم تنش‌های شوری و خشکی برای بکارگیری در مدیریت و برنامه‌ریزی آبیاری گیاه سورگوم علوفه‌ای در سه چین برداشت علوفه انجام شده است. این بررسی به صورت فاکتوریل در قالب طرح اسپلیت پلات در زمان با سه سطح شوری (دو، پنج و هشت دسی زیمنس بر متر) و چهار سطح آبیاری (۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد نیاز آبی گیاه) در سه مرحله برداشت علوفه و در سه تکرار انجام گرفت و عمق آبیاری برای سطوح مختلف شوری و در برداشت‌های مختلف تعیین شد. به منظور بررسی اثرات جداگانه و توأم شوری و عمق آب آبیاری از شاخص‌های تولید نهایی نسبت به عمق آب آبیاری (MP_1)، تولید نهایی نسبت به شوری آب آبیاری (MP_{ECw})، نسبت نهایی نرخ جایگزین فنی برای شوری و عمق آب آبیاری ($MRTS_{1,ECw}$)، ارزش تولید نهایی نسبت به عمق آب آبیاری ($VMPI$) و ارزش تولید نهایی نسبت به شوری آب آبیاری (VMP_{ECw}) در هر برداشت استفاده گردید. MP_1 نشان داد که به ازای افزایش یک سانتی متر عمق آب آبیاری، برداشت اول کمترین تغییر عملکرد (۱/۲۲ تن در هکتار) و برداشت سوم بیشترین مقدار (۲/۹ تن در هکتار) را داشته است. MP_{ECw} نشان داد که کاهش عملکرد در شوری-های کم، برداشت دوم و سوم به ترتیب کمترین و بیشترین کاهش عملکرد علوفه تازه را داشته‌اند. نرخ جایگزینی نهایی کمیت و کیفیت آب آبیاری ($MRTS$) نسبت به عملکرد علوفه تازه نشان داد برای این که عملکرد با افزایش یک واحد شوری آب آبیاری تغییر نکند، باید در برداشت اول، دوم و سوم عمق آب آبیاری به ترتیب ۵/۸۶، ۱/۹۷ و ۱/۷۲ سانتی-متر افزایش یابد. همچنین با افزایش تنش شوری در هر سه برداشت، عمق بهینه آبیاری افزایش یافت و در همه سطوح شوری، عمق بهینه آبیاری در برداشت اول بیشتر از برداشت دوم و در برداشت دوم بیشتر از برداشت سوم بود.

واژه های کلیدی: عمق بهینه، شاخص‌های ارزیابی، ارزش تولید.

۱- آدرس نویسنده مسئول: زابل، گروه مهندسی آب دانشکده آب و خاک دانشگاه زابل.

*- دریافت: تیر ۹۵ و پذیرش اسفند ۹۵

مقدمه

رشد روزافزون جمعیت جهان و نیاز بیشتر به تولیدات کشاورزی از مسائل مهمی است که امروزه بشر با آن روبرو است. در این ارتباط محدودیت منابع آب و خاک به عنوان بستر اصلی تولیدات کشاورزی نیز مطرح بوده به طوری که هم‌اکنون استفاده بهینه از منابع آب در سرلوحه فعالیت‌های کشورهای مختلف قرار گرفته است (عابدی و پاکتیت، ۲۰۱۰). در حال حاضر در کشور ایران نیز عامل اصلی محدود کننده تولیدات کشاورزی و افزایش تولیدات غذایی، محدودیت منابع آب و استفاده نامطلوب و غیراقتصادی از آن است، که این امر در مناطق خشک و نیمه‌خشک اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. بنابراین باید برای مصرف آب‌های در دسترس به عنوان کالای با ارزش اهمیت بیشتری قائل شد. تجارب نشان می‌دهد که کمبود آب در طبیعت، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک، همواره با کیفیت نامناسب آب همراه است. در نتیجه لازم است در این‌گونه مناطق با تمهیدات خاص، آب‌های شور زیرزمینی (یا آب‌های شور حاصل از زهکش-ها) را به همراه آب‌های غیر شور، برای آبیاری محصولات، مورد استفاده قرار داد (کیانی و همکاران، ۱۳۸۵).

در این رابطه نیاز است تا توابعی که بتوانند همزمان اثرات شوری و میزان آب آبیاری را بر عملکرد محصول در نظر بگیرند، برآورد نمود و سپس با بررسی‌های اقتصادی اثرات منفرد و توأم این عوامل را بر تولید محصول مشخص کرد. بیان کمی این موضوع با توجه به این که هر کدام از این تنش‌ها در شرایط متغیر زمان و مکان چه نقشی ایفا می‌کند، بسیار دشوار است. به طور کلی عمق بهینه آبیاری در شرایط مختلف (کمبود زمین، تنش خشکی، تنش شوری و یا ترکیب از این حالات) متفاوت بوده و زمانی حاصل خواهد شد که در اثر آبیاری با این عمق، بتوان به بیشینه درآمد خالص دست یافت. به منظور تعیین عمق بهینه به ابزار مختلفی از جمله تابع تولید محصول نسبت به آب آبیاری، هزینه‌های ثابت و متغیر، قیمت محصول و اطلاعات مربوط به محدودیت-

های زمین و آب مورد نیاز است. در صورتی که میزان آب قابل دسترس مشخص باشد می‌توان با استفاده از عمق بهینه آب آبیاری، سطح زیر کشت را بهینه کرد و انجام این کار به مدیریت و برنامه‌ریزی در امر آبیاری کمک می‌کند. قدمی فیروزآبادی و همکاران (۱۳۹۳) به تحلیل اقتصادی کم‌آبیاری و عمق بهینه آبیاری در این شرایط بر گیاه آفتابگردان پرداختند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد در شرایط کم آبیاری و با هدف کسب بیشینه سود می‌توان عمق آب آبیاری را تا ۱۵ درصد کاهش داد. نتایج پژوهش انصاری (۱۳۸۷) روی ارقام ذرت زودرس نشان داد اعمال کم آبیاری در شرایط محدودیت زمین موجب کاهش سه درصدی عمق بهینه آب مصرفی نسبت به بیشینه آبیاری شد. در حالی که در شرایط محدودیت آب، عمق بهینه آب مصرفی نسبت به آبیاری بیشینه می‌تواند ۱۹ درصد کاهش یابد.

شایان‌نژاد (۱۳۸۹) تأثیر کم‌آبیاری را بر خواص گندم در شهرکرد مورد بررسی قرار داد و عمق بهینه مصرف آب را تعیین نمود. نتایج پژوهش وی نشان داد در شرایط محدودیت منابع آبی، عمق آب مصرفی را می‌توان ۳۴ درصد عمق آب مصرف شده در آبیاری کامل در نظر گرفت و با اعمال کم آبیاری سطح زیر کشت را ۲/۹ برابر افزایش داد و به سود حداکثر نائل شد. کیانی و همکاران (۱۳۸۴) در پژوهش خود بر روی گندم به این نتیجه دست یافتند که در شرایط توأم شوری و کم‌آبی تابع متعالی عملکرد را بهتر نشان می‌دهد و برآورد تولید نهایی (MP) نسبت به متغیرهای شوری و رطوبت خاک نشان داد اثر هر کدام بر عملکرد یکسان نیست و نسبت نرخ نهایی جایگزینی (MRTS) مورد بررسی نشان داد که می‌توان برای رسیدن به عملکرد یکسان عوامل فوق را در دامنه وسیعی از مقادیر آن‌ها جایگزین کرد.

سورگوم علوفه‌ای، گیاهی است که نقش اساسی در تأمین علوفه‌ی دام دارد و به علت سازگاری با شرایط نامساعد محیطی و بالا بودن کارایی مصرف آب می‌تواند

دنبال راهکاری بود که با حفظ شرایط پایدار در منابع آب و خاک منطقه از لحاظ اقتصادی موجب توسعه کشاورزی شود. تدوین برنامه آبیاری و اعمال مدیریت صحیح آبیاری در این منطقه می‌تواند از زیان‌های ناشی از کمبود منابع آب در منطقه بکاهد. این پژوهش به منظور تعیین عمق بهینه آبیاری و ارزیابی شاخص‌های عملکرد سورگوم علوفه‌ای در دشت سیستان با هدف استفاده بهینه از منابع آب با کیفیت نامناسب انجام شده است.

مواد و روش‌ها

به منظور دستیابی به اهداف مورد نظر، پژوهش حاضر در قالب طرح اسپلیت پلات در زمان، در سال ۱۳۹۴ در مزرعه تحقیقات کشاورزی واقع در شهر زهک در منطقه سیستان در استان سیستان و بلوچستان در ۶۱ درجه و ۶۷ دقیقه طول شرقی و ۳۰ درجه و ۸۹ دقیقه عرض شمالی و ارتفاع از سطح دریا ۴۸۰ متر انجام گرفت. خصوصیات بارندگی، دما و تبخیر در طول دوره کشت در منطقه مورد نظر در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- میانگین برخی از خصوصیات هواشناسی منطقه مورد مطالعه در طول دوره کشت

چین برداشت	دما(درجه سانتی گراد)	تبخیر(میلیمتر در روز)	بارندگی(میلیمتر در ماه)
۱	۳۸	۲۸	.
۲	۲۹	۲۱	.
۳	۱۸	۱۱/۵	.

استفاده قرار گرفت. برای هر تیمار شوری یک لوله آبرسان متصل به تانکر به قطر ۴۵ میلی متر در نظر گرفته شد که آب را به محل انجام پژوهش منتقل کرده و سپس توسط لوله پلی اتیلن به قطر ۲۵ میلی متر در کرت‌های مربوطه توزیع شد. برای هر ردیف کشت یک لوله آبد زیرسطحی با قطر ۱۶ میلی متر و مجهز به قطره‌چکان داخل لوله با آبدهی ۳/۴۱ لیتر در ساعت با فاصله ۳۰ سانتی متر از یکدیگر در عمق ۳۰ سانتی متر نصب گردید. دور آبیاری برای گیاه سورگوم با توجه به بافت خاک و ظرفیت نگهداشت آب در خاک و بررسی های محلی سه روز در نظر گرفته شد. جهت تعیین نیاز آبی گیاه از روش تشت تبخیر استفاده گردید. داده‌های مربوط به تشت تبخیر نوع

در برخی از مناطق کشور که با شوری و خشکی مواجه هستند، تولید خوبی داشته باشد. این گیاه چشم‌انداز مناسبی برای تحت پوشش بردن اراضی شور با استفاده از ارقام نسبتاً مقاوم نشان می‌دهد(یارنیا، ۱۳۸۶). سورگوم علوفه‌ای معمولاً در مناطق خشک و نیمه خشک ایران پس از برداشت گندم و جو کشت می‌شود. با توجه به زمان کاشت و شرایط اقلیمی، آبیاری این گیاه زراعی اجتناب‌ناپذیر است.

کاشت سورگوم علوفه‌ای معمولاً در گرم‌ترین ماه(تیرماه) سال انجام می‌شود که آب شرایط بحرانی دارد. در منطقه سیستان کمبود آب، یک مسئله جدی و دارای اهمیت است. تنها منبع آب منطقه، رودخانه هیرمند است که از کوه‌های بابا یغمای افغانستان سرچشمه می‌گیرد و بحران آب منطقه، ناشی از کمبود آب در این رودخانه است به گونه‌ای که عدم تأمین آب هیرمند منجر به نابودی کشاورزی منطقه گردیده است. در این منطقه اراضی زیادی وجود دارد که قابل کشت می‌باشد اما به خاطر کمبود منابع آب به صورت بایر رها شده‌اند. بنابراین باید

تیمارها شامل سه فاکتور شوری آب آبیاری(S1)، S2 و S3 به ترتیب معادل دو، پنج و هشت دسی زیمنس بر متر) و چهار سطح عمق آب آبیاری (I1، I2، I3 و I4 به ترتیب معادل ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد نیاز آبی گیاه سورگوم) و سه چین برداشت علوفه در سه تکرار اجرا شد. ابعاد کرت‌ها ۴ × ۳ (متر در متر) و فاصله کرت‌ها از یکدیگر یک متر در نظر گرفته شد. کشت بصورت ردیفی در عمق چهار سانتی متری از سطح خاک با فاصله ردیف های ۷۵ سانتی متر و فاصله بوته‌های ۷/۵ سانتی متر از یکدیگر انجام گرفت. آب‌های مورد استفاده از سه چاه نزدیک به مزرعه تحقیقاتی با شوری‌های ذکر شده تأمین و با استفاده از سه تانکر مستقل به مزرعه منتقل و مورد

ETp: تبخیر از تشت (متر)، Ea: راندمان سیستم (۹۰ درصد در نظر گرفته شد).
 Kt: ضریب سایه انداز. مقدار ضریب سایه انداز بستگی به درصد پوشش گیاهی (نسبت به کل سطح مزرعه) داشته و مقدار آن بر اساس پیشنهاد کلر و کارملی از رابطه زیر به دست آمد: (علیزاده، ۱۳۸۰)

$$K_r = \frac{GS}{0.85} \text{ یا } 1 \quad (2)$$

GS: درصد پوشش گیاهی یا سطح سایه انداز گیاه نسبت به کل مساحت مزرعه
 حجم آب آبیاری با استفاده از کنتورهای نصب شده بر روی هر یک از لوله‌های آبرسان اندازه گیری شد. حجم آب سایر تیمارها بر اساس این حجم تعیین و اعمال گردید و در جدول ۲ آورده شده است.

الف از سازمان آب شهرستان زابل اخذ گردید که این تشت در مرکز تحقیقات کشاورزی زهک مجاور زمین مورد مطالعه قرار داشت و مقدار آب آبیاری بکار رفته بر اساس تلفات تبخیر تعرق پتانسیل گیاه (ETc) در فاصله سه روزه (دور آبیاری) با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید:

$$V = \frac{l.s.kp.kc.kr.ETp}{Ea} \quad (1)$$

V: حجم آب آبیاری (متر مکعب)، l: طول کرت (متر)، S: عرض کرت (متر)، Kp: ضریب تشت (۰/۷)، kc: ضریب گیاهی. با توجه به منحنی ضریب تغییرات گیاهی در طول فصل رشد برای دوره‌های آبیاری با استفاده از دستورالعمل نشریه شماره ۵۶ فائو (دستورالعمل محاسبه نیاز آبی گیاهان) ترجمه کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران تعیین شد.

جدول ۲- زمان و مقدار آب مصرف شده در هر یک از تیمارهای آبیاری (متر مکعب در هکتار)

زمان	تعداد آبیاری	۱۲۰٪ نیاز آبی	۱۰۰٪ نیاز آبی	۷۵٪ نیاز آبی	۵۰٪ نیاز آبی
برداشت اول	۲۳	۱۳۵۴۶	۱۱۲۸۸/۳۳	۸۴۶۶/۲۵	۵۶۴۴/۱۶
برداشت دوم	۱۷	۷۹۶۷	۶۶۳۹/۱۶	۴۹۷۹/۳۷	۳۳۱۹/۵۸
برداشت سوم	۱۶	۳۱۷۱	۲۶۴۲/۵	۱۹۸۱/۸۷	۱۳۲۱/۲۵
جمع کل آب در یک فصل زراعی برای تیمارها	۵۶	۲۴۶۸۴	۲۰۵۶۹/۹۹	۱۵۵۲۴/۴۹	۱۰۲۸۴/۹۹

مرحله و زمانی که پنج درصد گلدهی حاصل گردید در تاریخ های شش مرداد، ۲۷ شهریور و ۱۵ آبان ماه انجام شد. جدول ۳ و ۴ خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و آب مورد مطالعه را نشان می‌دهند.

برای ایجاد شرایط مناسب جوانه‌زنی و استقرار گیاه کلیه تیمارها تا بیست روز اول کاشت با آب تیمار (S1 شوری دو دسی زیمنس بر متر) و به صورت کامل آبیاری شدند، سپس تیمارها اعمال گردید. کاشت بذور در اول خرداد ماه سال ۱۳۹۴ و برداشت محصول در سه

جدول ۳- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

عمق نمونه برداری	درصد سیلت	درصد شن	درصد رس	بافت خاک	pH	ظرفیت زراعی (%)	نقطه پژمردگی (%)	EC (dSm)	پتاسیم قابل جذب (ppm)	فسفر قابل جذب (ppm)	کربن آلی (%)
۰-۳۵	۳۰	۶۲	۸	شن لوم	۸	۲۱	۹	۱/۱	۱۳۹	۲/۱	۱/۶
۳۵-۷۰	۳۲	۵۵	۱۳	شن لوم	۷/۸	۲۵	۱۱	۱	۱۴۱	۲/۲	۱/۵
۷۰-۱۰۰	۳۲	۴۹	۱۹	لوم	۷/۵	۳۰	۱۴	۱	۱۳۸	۲/۴	۱/۲

جدول ۴- خصوصیات شیمیایی آب آبیاری در سطوح مختلف شوری

نمونه آب	pH	EC (dSm ⁻¹)	SAR			کاتیون‌ها (meqlit ⁻¹)			آنیون‌ها (meqlit ⁻¹)		
			Ca	Mg	Na	K	HC03-	Cl	So4-		
S1	۸	۲	۷/۱	۲/۵	۱۳/۱	۰/۰۷	۴/۷	۸۳	۶/۲		
S2	۷/۵	۵	۸/۳	۵/۷	۲۸/۹	۰/۴	۱۰/۱	۲۳/۵	۱۸/۸		
S3	۷/۹	۸	۹/۱	۱۰/۹	۳۷/۱	۰/۶۵	۹/۱	۳۲/۹	۲۷/۹		

تعیین تابع تولید و هزینه

شکل توابع شوری- آب آبیاری- عملکرد به فرم‌های خطی ساده، لگاریتمی، درجه دوم و تابع متعالی بودند که برای هر چین به صورت جداگانه به دست آمد. به منظور بررسی اثرات جداگانه و توأم شوری و سطوح آبیاری بر عملکرد سورگوم علوفه‌ای از شاخص‌های تولید نهایی نسبت به عمق آب آبیاری (MP_I)، تولید نهایی نسبت به شوری آب آبیاری (MP_{ECw})، نسبت نهایی نرخ جایگزین فنی برای شوری و عمق آب آبیاری (MRTS EC_{w,I})^۱، ارزش تولید نهایی نسبت به عمق آب آبیاری (VMP_I)^۲ و ارزش تولید نهایی نسبت به شوری آب آبیاری (VMPEC_w)^۳ استفاده گردید (نجفی مود، ۱۳۹۱). این شاخص‌ها به ترتیب با استفاده از روابط زیر تعیین شدند.

$$MP_I = \frac{dY}{dI} \quad (۳)$$

$$MP_{ECw} = \frac{dY}{dECw} \quad (۴)$$

$$MRTS_{ECw,I} = \frac{MP_{ECw}}{MP_I} \quad (۵)$$

$$VMP_I = P_Y \times MP_I \quad (۶)$$

$$VMPEC_w = P_Y \times MP_{EC} \quad (۷)$$

P_Y: قیمت واحد وزن محصول (۱۵۰۰ ریال به ازای هر کیلوگرم علوفه تازه)، Y: تابع تولید بهینه می باشد.

بررسی MP_I به منظور میزان افزایش عملکرد با افزایش یک سانتی‌متر عمق آب آبیاری و فرض ثابت ماندن شوری آب آبیاری انجام شد. MP_{ECw} این شاخص نشان می‌دهد به ازای افزایش یک واحد شوری آب آبیاری

میزان عملکرد چقدر تغییر می‌کند. MRTS EC_{w,I} این شاخص نشان می‌دهد در صورتی که شوری آب آبیاری به اندازه یک دسی‌زیمنس افزایش یابد، چه مقدار باید به آب آبیاری افزود تا مقدار محصول قبلی حاصل شود. با بررسی VMP_I، VMPEC_w می‌توان گفت به ازای هر یک سانتی‌متر افزایش عمق آب آبیاری، درآمد حاصل از آن چقدر خواهد بود؟ یا به ازای افزایش هر واحد شوری آب آبیاری به چه میزان از درآمد به دلیل افت محصول، تحت شرایط شورتر کاسته خواهد شد؟

تابع تولید درجه دوم برای هر سه چین به عنوان تابع تولید در نظر گرفته شد. بنابراین با استفاده از این تابع، نسبت به تعیین پارامترهای فوق و تعیین عمق بهینه آبیاری در هر چین اقدام شد. شکل کلی تابع درجه دوم به صورت زیر می‌باشد.

$$Y = a + b \times I + c \times I^2 + d \times EC + e \times EC^2 + f \times I \times EC \quad (۸)$$

در این معادله a, b, c, d, e, f ضرایب برازش توابع تولید می‌باشند. در رابطه مذکور اگر شوری ثابت در نظر گرفته شود، معادله فوق به یک معادله درجه دوم از میزان آب آبیاری به صورت زیر تبدیل می‌شود.

$$Y_w = a_1 + (b_1 \times I) + (c_1 \times I^2) \quad (۹)$$

با فرض خطی بودن تابع هزینه خواهیم داشت:

$$c(w) = a_2 + (b_2 \times I) \quad (۱۰)$$

در این معادلات Y_w تابع عملکرد بر حسب تن در هکتار، I عمق آب آبیاری بر حسب سانتی‌متر، c(w) تابع هزینه نسبت به عمق آب آبیاری بر حسب ریال در هکتار، a₁، b₁، c₁، a₂، b₂ ضرایب ثابتی هستند که بر اساس نوع محصول، عمق آب آبیاری و درآمد و هزینه‌ها تعیین می‌گردد.

¹ Marginal Production

² Marginal Rate of Technical Substitution

³ Value Marginal Production

$$W_{cl} = \frac{b_2 - P_c b_1 + Z_l}{2P_c c_1} \quad (17)$$

علاوه بر این چون عمق آبیاری کامل با مشتق‌گیری از تابع تولید بر حسب عمق آب مصرفی (W) و مساوی صفر قرار دادن آن به دست می‌آید، در نتیجه داریم:

$$W_{max} = -\frac{b_1}{2c_1} \quad (18)$$

در تمامی روابط ذکر شده a_1 ، a_2 ، b_1 ، b_2 ، c_1 ضرایب ثابتی هستند که بر اساس عمق آب آبیاری و درآمد و هزینه‌ها تعیین می‌گردد. P_c قیمت محصول بر حسب ریال به ازای هر کیلوگرم می‌باشد.

بررسی توزیع شوری در پروفیل خاک در انتهای فصل رشد

برای بررسی چگونگی توزیع شوری در پروفیل خاک در انتهای فصل رشد نسبت به ابتدای آن، پس از برداشت محصول با استفاده از اوگر از کلیه کرت‌های آزمایش، سه نمونه خاک از عمق ۰-۳۵ سانتیمتر، ۳۵-۷۰ سانتیمتر و ۷۰-۱۰۰ سانتیمتر برداشت شد. این نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل و عملیات عصاره‌گیری اشباع بر روی آنها انجام و در مرحله بعد با کمک دستگاه EC سنج هدایت الکتریکی کلیه نمونه‌ها تعیین شد. با داشتن این مقادیر و استفاده از نرم‌افزار Excel تغییرات شوری نسبت به عمق خاک و به ازای اعماق و شوری‌های مختلف آب آبیاری رسم گردید.

نتایج و بحث

شاخص‌های تولید نهایی (MP) و نسبت نهایی نرخ فنی (MRTS) نسبت به دو عامل کمیت و کیفیت آب آبیاری، همچنین ارزش تولید نهایی (VMP) در مورد هر یک از متغیرها در جدول ۵ آورده شده است.

تابع تولید به دست آمده در این پژوهش به صورت جداگانه به ترتیب در چین اول، دوم و سوم در زیر آورده شد.

$$Y = -52.6 + 2.3I - 5.6EC - 0.01I^2 + 0.2EC^2 + 0.01(I \times EC) \quad (11)$$

$$Y = -50.3 + 2.5I - 4.5EC - 0.012I^2 + 0.1EC^2 + 0.01(I \times EC) \quad (12)$$

$$Y = -38.5 + 3.7I - 5.1EC - 0.02I^2 + 0.1EC^2 - 0.002(I \times EC) \quad (13)$$

در این پژوهش قیمت هر کیلوگرم سورگوم علوفه‌ای در منطقه ۱۵۰۰ ریال در نظر گرفته شد. هزینه‌های ثابت تولید سورگوم در هر هکتار در سال ۱۳۹۳ با توجه به نرخ ارائه خدمات کشاورزی در منطقه شامل هزینه‌های کاشت، داشت و برداشت ۱۲۰۰۰۰۰۰ ریال برآورد گردید. هزینه متغیر که تابعی از عمق آب آبیاری می‌باشد به ازای هر متر مکعب آب کم شور ۵۰۰۰ ریال تعیین شد که این مقدار برای آب لب شور و شوربه ترتیب ۸۵ و ۷۵ درصد آب کم شور در نظر گرفته شد.

محاسبه عمق‌های شاخص آبیاری

عمق آب مصرفی در شرایط محدودیت زمین از رابطه زیر به دست آمد (انصاری، ۱۳۸۶):

$$W_l = \frac{b_2 - P_c \times b_1}{2P_c \times c_1} \quad (14)$$

برای محاسبه عمق آب مصرفی گیاه در شرایط محدودیت آب از رابطه زیر استفاده شد: (انصاری، ۱۳۸۶):

$$W_w = \left(\frac{(P_c \times a_1) - a_2}{(P_c \times c_1)} \right)^{0/5} \quad (15)$$

برای به دست آوردن عمق معادل آبیاری بیشینه در ابتدا باید مقدار Z_l از رابطه زیر تعیین شود:

$$Z_l = \left[(P_c b_1 - b_2)^2 - 4P_c c_1 \left(\frac{P_c b_1}{4c_1} - \frac{b_1 b_2}{2c_1} \right) \right]^{0/5} \quad (16)$$

با توجه به مقدار Z_l عمق آب مصرفی که سود ناشی از آن برابر کاربرد ماکزیم عمق آب مصرفی گیاه است، نیز با توجه به معادله زیر محاسبه شد:

جدول ۵- شاخص‌های ارزیابی عملکرد سورگوم علوفه‌ای

تغییرات عملکرد علوفه تازه (تن در هکتار)	شاخص	دامنه تغییرات	متغیر	برداشت
۱/۲۲	MP _I (ton/cm)	حداقل=۵۶/۴۱	I(cm)	اول
-۰/۴		بیشینه=۱۳۵/۴۱		
-۳/۸۴	MP _{ECw} (ton/ds/m)	حداقل=۲	ECw(ds/m)	
-۱/۴۴		بیشینه=۸		
۱/۷۵	MP _I (ton/cm)	حداقل=۳۳/۱۶	I(cm)	دوم
۰/۶۵		بیشینه=۷۹/۱۶		
-۲/۹۷	MP _{ECw} (ton/ds/m)	حداقل=۲	ECw(ds/m)	
-۱/۷۷		بیشینه=۸		
۲/۹	MP _I (ton/cm)	حداقل=۱۳/۵	I(cm)	سوم
۱/۸۱		بیشینه=۳۱/۶۶		
-۴/۶۵	MP _{ECw} (ton/ds/m)	حداقل=۲	ECw(ds/m)	
-۳/۴۵		بیشینه=۸		

دو برداشت دیگر بود که باعث افزایش عملکرد در برداشت دوم گردید.

شاخص تولید نهایی عملکرد علوفه تازه سورگوم نسبت به عمق آب آبیاری (MP_I) با فرض ثابت بودن شوری آب معادل (پنج دسی زیمنس بر متر) برای حداقل عمق آب آبیاری (۵۶/۴۱ سانتی‌متر) معادل ۱/۲۲ تن به ازای هر یک سانتی‌متر عمق آب در برداشت اول بود، یعنی به ازای هر یک سانتی‌متر افزایش عمق آب آبیاری تا عمق بهینه آبیاری، ۱/۲۲ تن افزایش تولید خواهد داشت. مقدار این شاخص برای بیشینه عمق آب آبیاری (۱۳۵/۴۱ سانتی‌متر) معادل ۰/۴- تن به ازای هر یک سانتی‌متر عمق آب در برداشت اول می‌باشد. عدد منفی نشان دهنده کاهش عملکرد به ازای افزایش عمق آب آبیاری در شرایط آبیاری ۱۲۰ درصد نیاز آبی گیاه می‌باشد و حاکی از آن است که شیب افزایش عملکرد در کم آبیاری بیشتر از پر آبیاری است و همچنین آبیاری مازاد بر نیاز باعث کاهش عملکرد محصول می‌گردد. نجفی و همکاران (۱۳۹۱) در پژوهش خود راجع به تابع تولید پنبه در مقادیر بیشتر از نیاز آبی گیاه به نتایج مشابه دست یافت. نادلر و همکاران (۲۰۰۶) و نلسون و ویجیلی (۲۰۰۵) نیز در پژوهش‌های خود نتایج مشابهی به دست آورده‌اند و اعلام نمودند که در شرایط شوری و یا عدم زهکشی مناسب، آبیاری مازاد بر نیاز، باعث کاهش

همان‌طوری که از جدول ۵ مشخص است، شاخص تولید نهایی نسبت به شوری آب آبیاری با فرض ثابت بودن عمق آب آبیاری در برداشت اول، دوم و سوم به ازای شوری دو دسی زیمنس بر متر به ترتیب ۳/۸۴-، ۲/۹۷- و ۴/۶۵- و به ازای شوری هشت دسی زیمنس بر متر به ترتیب ۱/۴۴-، ۱/۷۷- و ۳/۴۵- تن به ازای افزایش یک واحد شوری بود. نتایج بیانگر آن است که شوری باعث کاهش محصول تولید شده گردید و شیب این کاهش در شوری‌های کم، بیشتر از شوری‌های زیاد می‌باشد زیرا به دلیل ویژگی سازگاری سورگوم علوفه‌ای در شرایط شوری آب آبیاری، کاهش عملکرد در شوری‌های بالاتر کمتر شده است. همچنین می‌توان گفت نمک به عنوان یک جرم اضافی در آب خاک محسوب می‌شود، که گیاه می‌تواند در دراز مدت خود را با آن سازگار نماید و آسیب‌پذیری آن کمتر شود (نباتی و همکاران، ۱۳۹۲). شهیدی (۱۳۸۷) و نجفی (۱۳۹۱) در پژوهش‌های خود چنین نتایجی را گزارش نمودند. کاهش عملکرد در شوری‌های کم در برداشت دوم کمتر از برداشت اول و سوم بود و برداشت سوم بیشترین کاهش عملکرد علوفه تازه را داشت. علت این موضوع را می‌توان به ویژگی‌های فیزیولوژیکی گیاه سورگوم علوفه‌ای در برداشت‌های مختلف نسبت داد. در برداشت دوم گیاه پنجه زنی بیشتری داشت و قطر و ارتفاع گیاه نیز در برداشت دوم بیشتر از

مشاهده می‌گردد تأثیر عمق آب آبیاری در برداشت سوم بیشتر از برداشت‌های اول و دوم بود یعنی مقدار علوفه تولید شده به ازای هر سانتی‌متر افزایش عمق آب آبیاری، در برداشت سوم بیشتر از برداشت اول و دوم می‌باشد.

محصول می‌گردد. مقدار شاخص تولید نهایی برای حداقل عمق آب آبیاری در برداشت دوم و سوم به ترتیب ۱/۷۵ و ۲/۹ تن به ازای هر سانتی‌متر عمق آب و برای بیشینه عمق آب آبیاری در برداشت دوم و سوم به ترتیب ۰/۶۵ و ۱/۸۱ تن به ازای هر سانتی‌متر عمق آب بود. همانطور که

جدول ۶- مقادیر شاخص‌های ارزیابی با استفاده از میانگین‌های آزمایشی عمق و شوری آب آبیاری

تغییرات عملکرد علوفه تازه (تن در هکتار)	نوع شاخص	برداشت
۰/۴۵	MP ₁ (ton/cm)	اول
-۲/۶۴	MP _{ECw} (ton/ds/m)	
۵/۸۶	MRTS EC _{w,I} (cm/dS/m)	
۶۷۵۰۰۰	VMP ₁ (RLS)	
۳۹۶۰۰۰۰	VMPEC _w (RLS)	
۱/۲	MP ₁ (ton/cm)	دوم
-۲/۳۷	MP _{ECw} (ton/ds/m)	
۱/۹۷	MRTS EC _{w,I} (cm/dS/m)	
۱۸۰۰۰۰۰	VMP ₁ (RLS)	
۳۵۵۵۰۰۰	VMPEC _w (RLS)	
۲/۳۵	MP ₁ (ton/cm)	سوم
-۴/۰۵	MP _{ECw} (ton/ds/m)	
۱/۷۲	MRTS EC _{w,I} (cm/dS/m)	
۳۵۲۵۰۰۰	VMP ₁ (RLS)	
۶۰۷۵۰۰۰	VMPEC _w (RLS)	

میانگین عمق آب آبیاری در برداشت اول، دوم و سوم به ترتیب ۹۵/۹۱، ۵۶/۱۶ و ۲۲/۶ سانتی‌متر و میانگین شوری آب آبیاری پنج دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد.

هکتار کاهش می‌یابد. نرخ جایگزینی نهایی کمیت و کیفیت آب آبیاری (MRTS) نسبت به عملکرد علوفه تازه سورگوم نشان داد برای این که عملکرد با افزایش یک واحد شوری آب آبیاری تغییر نکند، باید ۵/۸۶ سانتی‌متر عمق آب آبیاری افزایش یابد. با توجه به قیمت سورگوم علوفه‌ای برای هر کیلو علوفه تازه به میزان ۱۵۰۰ ریال، می‌توان ارزش تولید دو عامل عمق و شوری آب آبیاری را به دست آورد. مقدار ارزش تولید نهایی نسبت به عمق آب آبیاری برای علوفه تازه ۶۷۵۰۰۰ ریال می‌باشد که بیان‌کننده درآمد حاصل از افزایش تولید در نتیجه افزایش هر

در جدول ۶ شاخص تولید نهایی سورگوم علوفه‌ای نسبت به متوسط عمق آب آبیاری (MP₁) در برداشت اول نشان می‌دهد که با افزایش یک سانتی‌متر عمق آب با فرض ثابت ماندن شوری آب آبیاری (پنج دسی‌زیمنس بر متر) عملکرد متوسط علوفه تازه به اندازه ۰/۴۵ تن بر هکتار افزایش می‌یابد. همچنین با توجه به شاخص تولید نهایی سورگوم علوفه‌ای نسبت به شوری آب آبیاری (MP_{ECw}) با افزایش یک واحد شوری آب آبیاری و با فرض ثابت ماندن عمق آب آبیاری (۹۵/۹۱ سانتی‌متر) به طور متوسط عملکرد علوفه تازه ۲/۶۴ تن بر

سانتی متر عمق آب آبیاری به عمق متوسط آب آبیاری می- باشد. همچنین مقدار ارزش تولید نهایی نسبت به شوری آب آبیاری برای علوفه تازه ۳۹۶۰۰۰۰- ریال به دست آمد که نشان می‌دهد به ازای افزایش یک واحد شوری آب آبیاری به متوسط شوری آب مبلغ ۳۹۶۰۰۰۰ ریال از درآمد کاهش می‌یابد که ناشی از کاهش محصول در اثر افزایش شوری می‌باشد.

مقدار شاخص تولید نهایی سورگوم علوفه‌ای نسبت به عمق آب آبیاری (MP_1) در برداشت دوم نشان داد که با افزایش یک سانتی متر عمق آب آبیاری با فرض ثابت ماندن شوری آب آبیاری (پنج دسی زیمنس بر متر) عملکرد متوسط علوفه تازه به اندازه ۱/۲ تن در هکتار افزایش می‌یابد. همچنین با توجه به شاخص تولید نهایی سورگوم علوفه‌ای نسبت به شوری آب آبیاری (MP_{ECW}) با افزایش یک واحد شوری آب آبیاری و با فرض ثابت ماندن عمق آب آبیاری (۵۶/۱۶ سانتی متر) به طور متوسط عملکرد علوفه تازه ۲/۳۷ تن در هکتار کاهش می‌یابد. نرخ جایگزینی نهایی کمیت و کیفیت آب آبیاری ($MRTS$) نسبت به عملکرد علوفه تازه سورگوم نشان داد برای این که عملکرد با افزایش یک واحد شوری آب آبیاری تغییر نکند، باید ۱/۹۷ سانتی متر عمق آب آبیاری افزایش یابد. مقدار ارزش تولید نهایی نسبت به عمق آب آبیاری برای علوفه تازه ۱۸۰۰۰۰۰ ریال می‌باشد. همچنین مقدار ارزش تولید نهایی نسبت به شوری آب آبیاری برای علوفه تازه ۳۵۵۵۰۰۰- ریال به دست آمد که ناشی از کاهش محصول در اثر افزایش شوری می‌باشد. شاخص تولید نهایی سورگوم علوفه‌ای نسبت به عمق آب آبیاری (MP_1) در برداشت سوم نشان داد که با افزایش یک سانتی متر عمق آب با فرض ثابت ماندن شوری آب آبیاری (پنج دسی زیمنس بر متر) عملکرد متوسط علوفه تازه به اندازه ۲/۳۵ تن در هکتار افزایش می‌یابد. همچنین با توجه به شاخص تولید نهایی سورگوم علوفه‌ای نسبت به شوری آب آبیاری (MP_{ECW}) با افزایش یک واحد شوری آب آبیاری و با فرض ثابت ماندن عمق آب

آبیاری (۲۲/۶ سانتی متر) به طور متوسط عملکرد علوفه تازه ۴/۰۵ تن در هکتار کاهش می‌یابد. نرخ جایگزینی نهایی کمیت و کیفیت آب آبیاری ($MRTS$) نسبت به عملکرد علوفه تازه سورگوم نشان داد برای این که عملکرد با افزایش یک واحد شوری آب آبیاری تغییر نکند، باید ۱/۷۲ سانتی متر عمق آب آبیاری افزایش یابد. مقدار ارزش تولید نهایی نسبت به عمق آب آبیاری برای علوفه تازه ۳۵۲۵۰۰۰ ریال می‌باشد که بیان کننده درآمد حاصل از افزایش تولید در نتیجه افزایش هر سانتی متر عمق آب آبیاری به عمق متوسط آب آبیاری می‌باشد. همچنین مقدار ارزش تولید نهایی نسبت به شوری آب آبیاری برای علوفه تازه ۶۰۷۵۰۰۰- ریال به دست آمد.

همانگونه که از جدول ۶ ملاحظه می‌گردد مقدار ارزش تولید نهایی علوفه نسبت به عمق آب آبیاری (۳۵۲۵۰۰۰ ریال) و نسبت به شوری آب آبیاری (۶۰۷۵۰۰۰- ریال) در برداشت سوم بیشتر از دو برداشت دیگر است که نشان‌دهنده تأثیر بیشتر افزایش عمق آب و شوری بر عملکرد سورگوم در برداشت سوم می‌باشد. در برداشت سوم علیرغم این که شوری تأثیری بیشتری بر کاهش محصول داشته است اما با افزایش عمق آب کمتری نسبت به برداشت‌های اول و دوم (۱/۷۲ در مقابل ۵/۸۶ و ۱/۹۷ سانتی متر) می‌توان این کاهش محصول را جبران نمود. علت این موضوع را می‌توان این- گونه توجیه نمود که در برداشت سوم دوره رشد گیاه در ماه‌های مهر و آبان انجام می‌گیرد. در این ماه‌ها آب و هوا در منطقه خنک‌تر و بادهای ۱۲۰ روزه سیستان که باعث افزایش میزان تبخیر و کاهش محصول می‌گردد، در منطقه نمی‌وزد و از گرمی هوا که خود بر شدت تنش‌های وارده بر گیاه می‌افزاید، کاسته می‌شود.

عمق بهینه آبیاری

با توجه به روابط ارائه شده در بخش مواد و روش‌ها ابتدا به ازای شوری‌های مختلف آب آبیاری و شوری متوسط و اعمال کم‌آبیاری، توابع تولید آب-

محصول مورد نیاز به منظور محاسبه عمق‌های شاخص به دست آمد. سپس با داشتن تابع آب - هزینه عمق‌های شاخص (عمق بهینه آبیاری در شرایط محدودیت زمین (WI)، عمق بهینه آبیاری در شرایط محدودیت آب (WW)، عمق معادل آبیاری بیشینه (Wcl) و بیشینه عمق آب مصرفی (Wm) محاسبه گردید که نتایج در جدول ۷ ارائه شده است.

جدول ۷- اعماق بهینه شاخص در شوری‌ها و برداشت‌های مختلف

شماره برداشت	شوری آب آبیاری (ds m ⁻¹)	عمق‌های بهینه شاخص (cm)		
		Wm	Wcl	Ww
۱	۲	۱۱۵	۸۲/۸۲	۸۴/۷۱
	۵	۱۱۷/۵	۸۸/۴۵	۹۴
	۸	۱۲۰	۹۹/۶۶	۱۰۲/۳۵
۲	۲	۱۰۵	۷۶/۵۱	۷۴/۵۱
	۵	۱۰۶/۲۵	۸۲/۰۵	۸۰/۸
	۸	۱۰۸/۴	۹۱/۴	۸۵/۶
۳	۲	۶۱/۶۶	۵۰/۲۷	۴۳/۳۲
	۵	۶۲/۵	۵۲/۸۱	۴۸/۱۳
	۸	۶۳/۳۳	۵۶/۵۵	۵۱/۹۲

۱۴/۰۰، ۱۳/۵۷ و ۹/۱۷ درصد، در شوری پنج دسی زیمنس بر متر در چین اول، دوم و سوم به ترتیب ۱۲/۳۶، ۱۱/۳۸ و ۷/۷۶ درصد و در شوری هشت دسی زیمنس بر متر در چین اول، دوم و سوم به ترتیب ۸/۴۷، ۷/۸۸ و ۵/۳۵ درصد کاهش نشان داد و با کم آبیاری در شرایط محدودیت آب، به ازای شوری دو دسی زیمنس بر متر عمق بهینه آب مصرفی تیمارهای کم آبیاری در چین اول، دوم و سوم به ترتیب ۲۶/۳۳، ۲۹/۰۴ و ۲۹/۷۴ درصد، به ازای شوری پنج دسی زیمنس بر متر در چین اول، دوم و سوم به ترتیب ۲۰، ۲۳/۹۵ و ۲۲/۹۹ درصد و به ازای شوری هشت دسی زیمنس بر متر در چین اول، دوم و سوم به ترتیب ۱۴/۷، ۲۱/۰۳ و ۱۸/۰۱ درصد نسبت به آبیاری بیشینه کاهش نشان داد. همان‌طور که مشاهده می‌گردد میزان آب صرفه جویی با افزایش شوری آب کاهش می‌یابد و بیشترین درصد آب صرفه جویی شده در شرایط محدودیت آب آبیاری، در برداشت دوم حاصل شده است. بنابراین می‌توان گفت تعیین عمق بهینه آبیاری در شرایط محدودیت آب باعث صرفه جویی بیشتر آب می‌گردد و مشکل اصلی نیز در منطقه سیستان کمبود آب می‌باشد و تعیین عمق بهینه در این شرایط می‌تواند تا اندازه‌ای این مشکل را بهبود بخشد.

همان‌طور که از جدول ۷ مشخص است، با افزایش شوری آب آبیاری در تیمارهای مختلف کم آبیاری، برای هر سه مرحله برداشت عمق بهینه آبیاری افزایش یافت. همچنین با افزایش شوری آب آبیاری، اختلاف عمق بهینه آبیاری در شرایط محدودیت آب و محدودیت زمین در هر سه مرحله برداشت کاهش یافت. علت این موضوع کاهش محصول در سطوح بالای شوری آب آبیاری است. در نتیجه در سطوح بالای شوری آب آبیاری، کم آبیاری کارآمدی خود را از دست داده و اقتصادی نخواهد بود. نتیجه پژوهش آبات و همکاران (۲۰۰۴) مؤید این موضوع می‌باشد.

در کلیه سطوح شوری، مقادیر عمق بهینه آب آبیاری در شرایط کمبود آب در چین اول بیشتر از چین دوم و سوم بود به عبارتی دیگر عمق بهینه آبیاری گیاه سورگوم علوفه‌ای در چین سوم کمتر از چین‌های اول و دوم است که علت این امر کاهش قدرت تبخیر کنندگی اتمسفر در دوره رشد سوم می‌باشد.

همچنین از جدول ۷ مشاهده می‌گردد با اعمال کم آبیاری در شرایط محدودیت زمین، عمق بهینه آب مصرفی نسبت به بیشینه آب مصرفی در شوری آب دو دسی زیمنس بر متر، در چین اول، دوم و سوم به ترتیب

تحلیل اقتصادی اعماق بهینه و کامل آبیاری در شرایط محدودیت کمی و کیفی آب

پارامترهای مورد نیاز برای تحلیل اقتصادی عمق بهینه آب آبیاری در شوری‌های مختلف آب آبیاری در جدول ۸ آورده شده است. نتایج نشان داد با افزایش شوری آب آبیاری از دو به پنج و هشت دسی زیمنس بر متر، عمق بهینه آبیاری در هر سه چین افزایش یافت. عمق بهینه آبیاری سورگوم علوفه‌ای (I_w) در شرایط استفاده از آب با شوری دو دسی زیمنس بر متر در چین اول، دوم و سوم به ترتیب ۸۴/۷۱، ۷۴/۵۱ و ۴۳/۳۲ سانتی‌متر به دست آمد که نسبت به عمق آب آبیاری کامل به مقدار ۳۰/۲۹ (۲۶/۳۳ درصد)، ۳۰/۴۹ (۲۹/۰۳ درصد) و ۴۲/۳۳ (۴۰/۹۲ درصد) سانتی‌متر (۶۸/۶۵ درصد) صرفه‌جویی شده است. با این مقدار آب صرفه‌جویی شده می‌توان ۳۵/۷۵، ۴۰/۹۲ و ۴۲/۳۳ درصد به سطح زیر کشت افزود و سود خالص را حدود ۳۶، ۴۱ و ۴۳ درصد افزایش داد. بر این اساس بازده هر متر مکعب آب آبیاری در چین اول، دوم و سوم به ترتیب ۳۱۳۵/۸۸، ۴۳۰۶/۲۲ و ۷۱۰۸/۹۰ ریال خواهد بود. در شرایط استفاده از آب با شوری پنج دسی زیمنس بر متر در چین اول، دوم و سوم عمق بهینه آبیاری به ترتیب ۹۴/۰۰، ۸۰/۸۰ و ۴۸/۱۳ سانتی‌متر بود که نسبت به عمق آب آبیاری کامل به مقدار ۲۳/۵ (۲۰/۰۰ درصد)، ۲۵/۴۵ (۲۳/۹۵ درصد) و ۱۴/۳۷ (۲۲/۹۹ درصد) صرفه‌جویی شده است. با این مقدار آب صرفه‌جویی شده می‌توان ۲۵/۰۰، ۳۱/۴۹ و ۲۹/۸۵ درصد به سطح زیر کشت افزود و سود خالص را حدود ۲۵، ۳۲ و ۳۰ درصد افزایش داد. بر این اساس بازده هر متر مکعب آب آبیاری در چین اول، دوم و سوم به ترتیب ۲۰۲۶/۸۷، ۲۰۴۳/۳۷ و ۵۷۶۱/۱۱ ریال خواهد بود.

در شرایط استفاده از آب با شوری هشت دسی زیمنس بر متر عمق بهینه آبیاری در چین اول، دوم و سوم به ترتیب ۱۰۲/۳۵، ۸۵/۶ و ۵۱/۹۲ سانتی‌متر بود که نسبت به عمق آب آبیاری کامل به مقدار ۱۷/۶۵ (۱۴/۷۰ درصد)، ۲۲/۸۰ (۲۱/۰۳ درصد) و ۱۱/۴۱ سانتی

متر (۱۸/۰۱ درصد) صرفه‌جویی شده است. با این مقدار آب صرفه‌جویی شده می‌توان ۱۷/۲۴، ۲۶/۶۳ و ۲۱/۹۷ درصد به سطح زیر کشت افزود و سود خالص را حدود ۱۸/۰۰، ۲۷/۰۰ و ۲۱/۹۷ درصد افزایش داد. بر این اساس بازده هر متر مکعب آب آبیاری در چین اول، دوم و سوم به ترتیب ۱۴۳۰/۵۷، ۳۵۶۲/۵۰ و ۴۲۰۷/۲۶ ریال خواهد بود.

سود خالص در برداشت اول برای هر سه سطح شوری با افزایش عمق آب آبیاری، کاهش می‌یابد اما در برداشت‌های دوم و سوم با افزایش عمق آب آبیاری به عمق بیشینه میزان سود خالص افزایش می‌یابد. در برداشت اول گیاه بیشتر تحت تأثیر شوری قرار گرفته است و عملکرد علوفه کاهش یافته است. در برداشت دوم و سوم گیاه خود را با شرایط شوری سازگار نموده که این سازگاری باعث کاهش کمتر عملکرد شده است. از سوی دیگر میزان آب مصرف شده در برداشت‌های دوم و سوم نسبت به عملکرد کمتر بوده است و این باعث کاهش هزینه‌های متغیر و در نتیجه افزایش سود خالص شده است. همچنین در برداشت اول وجود بادهای ۱۲۰ روزه در منطقه سیستان و گرمای شدید هوا باعث می‌شود افزایش عمق آب آبیاری به عمق بیشینه، تأثیر چندانی در افزایش عملکرد نداشته باشد و فقط موجب می‌شود هزینه اضافی جهت تأمین آب پرداخته شود. در نتیجه افزایش عمق آب آبیاری در این برداشت کاهش سود را به همراه خواهد داشت. بازده ریالی آب در هر سه برداشت با افزایش شوری آب کاهش یافت.

کمترین بازده ریالی در برداشت اول و با شوری هشت دسی زیمنس بر متر به دست آمد. بیشترین بازده ریالی در برداشت سوم و شوری دو دسی زیمنس بر متر حاصل شد. در برداشت اول میزان آب مصرف شده به علوفه تولید شده نسبت به سایر برداشت‌ها بیشتر بود که دلیل آن همان‌طور که گفته شد شدت بیشتر تنش‌های وارده در اثر گرمای بالای هوا و وزش بادهای شدید بود، به همین دلیل بازده ریالی که در واقع نسبت سود خالص

به دست آمده به آب مصرف شده است، کمتر شد. در برداشت سوم علی‌رغم تولید کمتر محصول نسبت به برداشت‌های دیگر، به دلیل حجم کمتر مصرف آب، بازده ریالی بیشتر بود.

جدول ۸- تحلیل اقتصادی اعماق بهینه و بیشینه آبیاری بر اساس شوری آب آبیاری

زمان برداشت	شوری	شاخص	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
چین اول	۲	I_w	۸۴/۷۱	۶۱	۳۰/۲۹	۲۵/۷۵	۱/۶۵	۳۶۰۶۰۷۱۲	۴۸۹۵۲۴۱۶	۳۱۴۵/۸۱
		I_{max}	۱۱۵	۷۰/۸	-	-	۱/۴۹	۳۵۲۲۸۰۰۰	-	-
	۵	I_w	۹۴	۵۲/۱۹	۲۳/۵	۲۵	۱/۴۷	۲۳۳۰۷۸۰۸	۳۱۶۴۰۳۵۰	۲۰۲۶/۸۷
		I_{max}	۱۱۷/۵	۵۷/۷۱	-	-	۱/۳۷	۲۱۵۰۰۰۹۲	-	-
	۸	I_w	۱۰۲/۳۵	۴۲/۰۷	۱۷/۶۵	۱۷/۲۴	۱/۴۶	۱۷۱۶۶۱۶۲	۲۳۳۰۳۰۶۵	۱۴۳۰/۵۷
		I_{max}	۱۲۰	۴۴/۸۴	-	-	۱/۳۸	۱۶۱۰۳۶۲۰	-	-
چین دوم	۲	I_w	۷۴/۵۱	۶۲/۵۱	۳۰/۴۹	۴۰/۹۲	۱/۸۶	۴۵۲۱۵۱۰۰	۶۱۳۷۹۴۹۸	۴۳۰۶/۲۲
		I_{max}	۱۰۵	۷۳/۶۷	-	-	۱/۶۷	۴۶۳۶۱۹۰۱	-	-
	۵	I_w	۸۰/۸	۵۷/۳۹	۲۵/۴۵	۳۱/۴۹	۱/۸۲	۳۷۶۴۶۲۳۷	۵۱۱۰۴۷۶۷	۳۵۴۳/۳۷
		I_{max}	۱۰۶/۲۵	۶۵/۱۶	-	-	۱/۶۷	۳۸۱۹۰۴۵۹	-	-
	۸	I_w	۸۵/۶	۵۳/۰۱	۲۲/۸	۲۶/۶۳	۲/۰۸	۳۸۶۱۵۹۱۹	۵۲۴۲۱۱۱۰	۳۵۶۲/۵
		I_{max}	۱۰۸/۴	۵۸/۷۶	-	-	۱/۹۵	۴۰۱۷۲۱۹۰	-	-
چین سوم	۲	I_w	۴۳/۳۲	۵۰/۶۸	۱۸/۳۴	۴۲/۳۳	۲/۲۲	۴۳۸۳۱۸۷۷	۵۹۵۰۱۷۷۳	۷۱۰۸/۹
		I_{max}	۶۱/۶۶	۵۷/۷۸	-	-	۲/۰۹	۴۵۱۳۷۴۷۸	-	-
	۵	I_w	۴۸/۱۳	۴۷/۰۸	۱۴/۳۷	۲۹/۸۵	۲/۱۴	۳۶۰۰۵۱۲۹	۴۸۸۷۶۹۶۳	۵۷۶۱/۱۱
		I_{max}	۶۲/۵	۵۲/۵۶	-	-	۲	۳۷۸۷۶۵۰۴	-	-
	۸	I_w	۵۱/۹۲	۳۸/۳۳	۱۱/۴۱	۲۱/۹۷	۲/۰۶	۲۶۶۴۳۲۵۹	۳۶۱۶۸۲۲۴	۴۲۰۷/۲۶
		I_{max}	۶۳/۳۳	۴۱/۱	-	-	۱/۹۶	۳۷۲۴۸۵۰۶	-	-

ستون‌های جدول عبارتند از: ۱- عمق آب مصرفی (سانتی متر) ۲- عملکرد علوفه تازه (تن در هکتار) ۳- عمق آب صرفه جویی شده نسبت به آبیاری حداکثر (سانتی متر) ۴- درصد افزایش سطح زیر کشت با آب صرفه جویی شده ۵- نسبت درآمد ناخالص به هزینه تولید ۶- سود خالص در واحد سطح (ریال) ۷- کل درآمد خالص (ریال) ۸- بازده ریالی هر متر مکعب آب (ریال)

مدیریت و برنامه‌ریزی آبیاری در شرایط محدودیت کمی و کیفی آب

مقادیر سطح زیر کشت بهینه برای ۱۰۰۰۰ مترمکعب آب قابل دسترس با سطوح مختلف شوری در جدول ۹ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهند که با افزایش شوری آب آبیاری و با میزان آب قابل دسترس ثابت سطح زیر کشت بهینه و عملکرد علوفه تازه و درآمد خالص کاهش می‌یابد. کمترین درآمد خالص در چین اول و با شوری هشت دسی زیمنس بر متر به دست آمد. بررسی مربوط به ارقام درآمد خالص نشان می‌دهد که در چین اول با افزایش شوری از دو به پنج و هشت دسی زیمنس بر متر مقدار درآمد خالص به ترتیب ۴۸/۶۸ و ۷۱/۸۷ درصد کاهش داشته است که این مقدار کاهش درآمد در چین دوم و سوم برای شوری‌های پنج و هشت دسی زیمنس بر متر به ترتیب ۲۸/۶۱ و ۳۷/۸۸ (چین دوم) و ۲۷/۶۵ و ۵۱/۱۴ (چین سوم) بوده است که نشان می‌دهد تأثیر شوری آب آبیاری در چین اول بیشتر از چین

دوم و سوم بوده است که می‌توان علت آن را گرمی بیشتر هوا و بادهای ۱۲۰ روزه سیستان در آن بازه زمانی دانست که بر شدت تنش‌های وارده بر گیاه افزوده و باعث کاهش بیشتر عملکرد شده است. از طرفی با گذشت زمان گیاه نسبت به تنش‌های وارده مقاومت بیشتری از خود نشان می‌دهد. در چین سوم با توجه به خنک شدن هوا و تمام شدن بادهای منطقه اثر تنش‌های وارده کمتر می‌شود و مقدار آب مصرفی نیز کاهش می‌یابد و در نتیجه علی‌رغم تولید کمتر علوفه درآمد خالص افزایش می‌یابد. با توجه به این که شغل بیشتر مردم در منطقه سیستان دامپروری می‌باشد و مردم اراضی زراعی را جهت تأمین علوفه دام خود، به زیر کشت می‌برند و هدف فروش و کسب ندارند و از طرف دیگر در ماه‌های مهر و آبان (که برداشت سوم علوفه در این پژوهش انجام شده است) کشاورزان زمین‌های خود را برای کشت گندم در آیش قرار می‌دهند، لذا برداشت دوم از نظر اقتصادی قابل توجیه‌تر می‌باشد.

جدول ۹- مقادیر سطح زیر کشت بهینه برای ۱۰۰۰۰ مترمکعب آب قابل دسترس

زمان برداشت	شوری آب آبیاری (ds/m)	عمق بهینه آبیاری (سانتی متر)	سطح زیر کشت بهینه (هکتار)	عملکرد علوفه تازه (تن)	درآمد خالص (ریال)
چین اول	۲	۸۴/۷۱	۱/۱۸	۷۱/۹۸	۶۱۹۸۶۲۴۰
	۵	۹۴	۱/۰۶	۵۵/۳۲	۳۱۸۰۷۷۱۷
	۸	۱۰۲/۳۵	۰/۹۷	۴۰/۸	۱۷۴۲۲۲۳۶
چین دوم	۲	۷۴/۵۱	۱/۳۴	۸۳/۷۵	۱۰۱۰۵۷۸۰۴
	۵	۸۰/۸	۱/۲۳	۷۰/۵۸	۷۲۱۴۰۶۰۲
	۸	۸۵/۶	۱/۱۶	۶۱/۴۹	۶۲۷۷۵۸۰۲
چین سوم	۲	۴۳/۳۲	۲/۳	۱۱۶/۵۶	۳۲۳۴۳۸۶۵۹
	۵	۴۸/۱۳	۲/۰۷	۹۷/۴۵	۲۳۴۰۰۰۰۰۰
	۸	۵۱/۹۲	۱/۹۲	۷۳/۵۹	۱۵۸۰۰۰۰۰۰

تأثیر کاربرد عمق بهینه آبیاری با صرفه‌جویی در مصارف منابع آب

برای بررسی تأثیر کاربرد عمق بهینه بر صرفه‌جویی در مصرف منابع آبی، با این هدف که حجم آب صرفه‌جویی شده برای کمک به ذخیره پایدار منابع آب، برای آبیاری زمین‌های بیشتری برداشت نشود، مقادیر حجم آب صرفه‌جویی شده ناشی از کاربرد عمق بهینه آبیاری در شرایط محدودیت منابع آبی نسبت به عمق آبیاری کامل، درصد حجم آب صرفه‌جویی شده نسبت به آبیاری کامل و درصد کاهش درآمد خالص نسبت به آبیاری کامل در واحد سطح (هکتار) برای هر سه برداشت محاسبه و در جدول ۱۰ آورده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود با افزایش شوری به دلیل افزایش عمق بهینه آبیاری، حجم آب صرفه‌جویی شده در هر سه چین کاهش یافته است. درصد تغییر درآمد خالص نسبت به آبیاری بیشینه در چین اول برای هر سه سطح شوری مقدار منفی به دست آمد که نشان می‌دهد استفاده از آب

آبیاری به اندازه عمق کامل آبیاری باعث کاهش سود خالص شده است و استفاده از عمق بهینه برای آبیاری، سود بیشتری را حاصل نموده است. نجفی و همکاران (۱۳۹۱) در پژوهش خود راجع به پنبه در بیرجند به نتایج مشابهی دست یافتند. درصد کاهش درآمد نسبت به آبیاری کامل در برداشت دوم کمتر از برداشت سوم بود. همچنین حجم آب صرفه‌جویی شده در صورت به کار بردن عمق بهینه آبیاری، در برداشت دوم بیشتر از برداشت‌های دیگر بود که این نشان دهنده اقتصادی‌تر بودن برداشت دوم از سایر برداشت‌ها می‌باشد و می‌توان گفت اگر کشت سورگوم در منطقه در ماه‌های مرداد و شهریور صورت گیرد، از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه‌تر خواهد بود. اما همان‌طور که گفته شد کشاورزان منطقه سورگوم را به منظور تهیه علوفه دام خود، بلافاصله بعد از برداشت گندم، در ماه خرداد، می‌کارند و تا شهریورماه در زمان‌های مختلف اقدام به برداشت علوفه می‌نمایند.

جدول ۱۰ - مقایسه حجم آب صرفه‌جویی شده و کاهش درآمد خالص نسبت به آبیاری کامل در شرایط محدودیت آب

شماره چین	شوری آب آبیاری (ds/m)	حجم آب صرفه‌جویی شده نسبت به آبیاری کامل (متر مکعب)	آب صرفه‌جویی شده نسبت به آبیاری کامل (درصد)	کاهش درآمد خالص نسبت به آبیاری کامل (درصد)
چین اول	۲	۳۰۲۹	۲۶/۳۴	-۲/۳
	۵	۲۳۵۰	۲۰	-۸/۴
	۸	۱۷۶۵	۱۴/۷	-۶/۵
چین دوم	۲	۳۰۴۹	۲۹/۰۳	۲/۵
	۵	۲۵۴۵	۲۳/۹۵	۱/۴۳
	۸	۲۲۸۰	۲۱/۰۳	۳/۸۷
چین سوم	۲	۱۸۳۴	۲۹/۷۴	۲/۹
	۵	۱۴۳۷	۲۲/۹۹	۴/۹
	۸	۱۱۴۱	۱۸/۰۱	۲/۲۲

*علامت منفی بیانگر افزایش درآمد خالص (سود بیشتر) است.

تیمارهای با ۱۲۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه، شوری عصاره اشباع خاک در لایه ۷۰-۳۵ سانتی‌متری از سطح خاک بیشتر از لایه سطحی خاک می باشد که علت آن را می توان به دلیل بیشتر بودن عمق آب آبیاری، شستشوی خاک و بافت خاک دانست. بر عکس در تیمارهای آبیاری با عمق آب ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه شوری خاک در لایه سطحی خاک (عمق ۰-۳۵ سانتی متری از سطح خاک) افزایش داشته است.

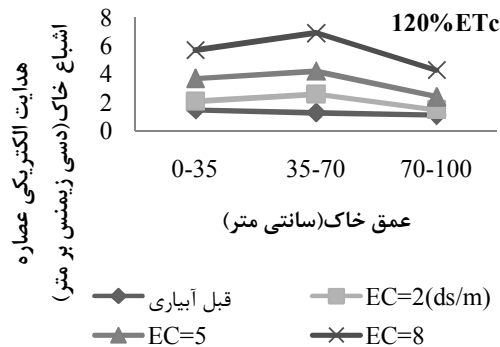
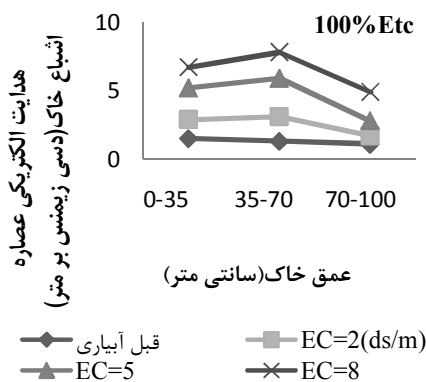
نتیجه گیری

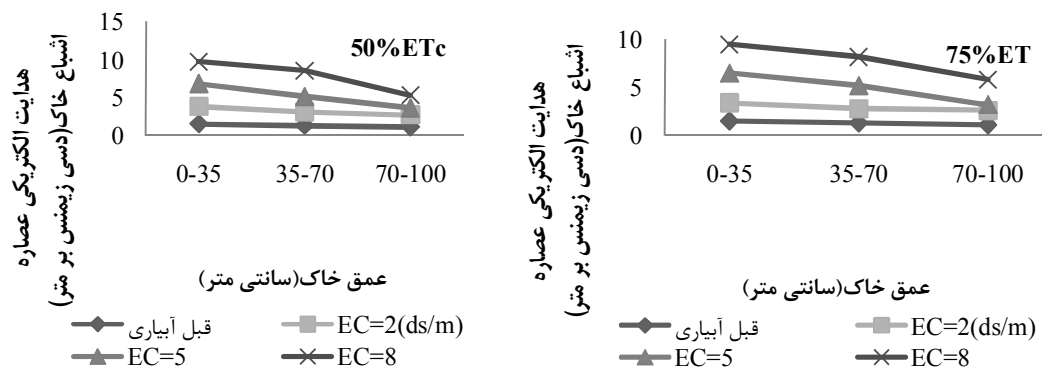
با توجه به بحران آب در کشور و به منظور استفاده بهینه از آب در بخش کشاورزی، محاسبه عمق‌های شاخص آبیاری برای تمام محصولات زراعی و باغی کشور و اعمال کم آبیاری در شرایط محدودیت منابع آب امری ضروری است. کاهش مصرف آب در تیمارهای کم آبیاری نسبت به آبیاری کامل سبب صرفه‌جویی آب شد. به طوری که با آب صرفه‌جویی شده می توان تحت شرایط عدم محدودیت زمین، اراضی بیش تری را به عرصه تولید وارد ساخت. در شرایط محدودیت آب نیز با برداشت کم تر آب می توان فشار برداشت از منابع آب را کاهش داد.

در مجموع بررسی موارد فوق نشان می دهند که کاربرد عمق بهینه به جای عمق کامل آبیاری و عدم استفاده از مقادیر صرفه‌جویی شده برای کمک به ذخیره پایدارتر منابع آبی نیز از نظر اقتصادی موجه می باشد.

بررسی توزیع شوری در نیمرخ خاک

توجه به مسایل زیست محیطی در هنگام استفاده از منابع آب نامتعارف نیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. تجمع نمک در محدوده‌ی توسعه ریشه، یکی از مهمترین مخاطرات زیست محیطی است که می تواند علاوه بر کاهش میزان عملکرد محصول، با تخریب حاصلخیزی خاک، کشاورزی پایدار را با مشکل مواجه سازد. شکل ۱ توزیع شوری را در پروفیل خاک نشان می دهد. به طور کلی در تمام تیمارها با افزایش شوری آب آبیاری و همچنین با گذشت زمان در طول فصل رشد شوری نیمرخ خاک افزایش یافته است. همچنین مشاهده می - گردد توزیع شوری در پروفیل خاک در تیمارهای بدون تنش آبی از یکنواختی بیشتری برخوردار است، در حالی که در تیمارهای تحت تنش آبی از یکنواختی توزیع شوری نسبت به عمق کاسته می شود، زیرا در تیمارهای بدون تنش آبی، افزایش عمق آب آبیاری باعث شستشوی بیشتر پروفیل خاک شده است و همین‌طور ملاحظه می شود که با افزایش شوری آب آبیاری در





شکل ۱- پروفیل شوری در تیمارهای مختلف شوری و میزان آب آبیاری

در کلیه سطوح شوری، مقادیر عمق بهینه آب آبیاری در شرایط کمبود آب در چین اول بیشتر از چین دوم و سوم بود به عبارتی گیاه سورگوم علوفه‌ای در چین سوم در عمق آبیاری کمتری به عمق بهینه خود رسید. تعیین قیمت محصول با توجه به شوری آب آبیاری مورد استفاده تا حد بسیار زیادی می‌توان در تعیین عمق بهینه مناسب و رسیدن به سود قابل توجه برای زارعین مؤثر باشد. با توجه به کمبود آب در منطقه سیستان، تعیین عمق بهینه آبیاری می‌تواند کمک زیادی به صرفه‌جویی آب در این منطقه و افزایش سطح زیر کشت نماید.

تعیین عمق بهینه آبیاری و رعایت اعمال این عمق نسبت به آبیاری کامل، می‌تواند به میزان قابل توجهی در مصرف آب آبیاری صرفه‌جویی کرده و از طرف دیگر به دلیل امکان افزایش سطح زیر کشت، میزان کل درآمد خالص زارع را تا حد زیادی افزایش دهد. با افزایش شوری آب آبیاری در تیمارهای مختلف اعمال کم آبیاری، برای هر سه مرحله برداشت عمق بهینه آبیاری افزایش یافت. با افزایش شوری آب آبیاری، اختلاف عمق بهینه آبیاری در شرایط محدودیت آب و محدودیت زمین در هر سه مرحله برداشت کاهش یافت. علت این موضوع کاهش محصول در سطوح شوری بالای آب آبیاری است.

فهرست منابع

- انصاری، ح. ۱۳۸۶. تعیین عمق شاخص و بهینه آبیاری در ذرت‌های زودرس با هدف احتساب حداکثر سود. مجله آب و خاک، ۲۲(۲): ۱۱۵-۱۰۷.
- شایان نژاد، م. ۱۳۸۹. تأثیر کم آبیاری بر روی خواص کمی گندم و تعیین عمق آب مصرفی بهینه آن در شهرکرد. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، ۱(۲): ۳۵-۲۴.
- شهیدی، ع. ۱۳۸۷. اثر بر همکنش کم آبیاری و شوری بر عملکرد و اجزاء عملکرد ارقام گندم با تعیین تابع تولید آب و شوری در منطقه بیرجند. پایان نامه دکتری. دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- قدمی فیروزآبادی، ع. شاهنظری، ع. و م. رائینی سرجاز. ۱۳۹۳. تحلیل اقتصادی مدیریت کم آبیاری و تعیین اعماق شاخص بهینه آبیاری در گیاه آفتابگردان. مجله حفاظت آب و خاک. ۲۱(۶): ۲۶۵-۲۵۶.
- کیانی، ع. م. میرلطیفی، همایی، م. و چراغی، ع. م. ۱۳۸۴. تعیین بهترین تابع تولید آب- شوری گندم در منطقه شمال ایران. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی. خاک. ۲۵(۶): ۱۳-۲.

۶. کیانی، ع. همایی، م. و م. میرلطیفی. ۱۳۸۵. ارزیابی توابع کاهش عملکرد گندم در شرایط توأم شوری و کم آبی. مجله علوم آب و خاک. ۲۰(۱):۸۳-۷۳.
۷. علیزاده، ا. ۱۳۸۰. اصول و عملیات آبیاری قطره ای، چاپ دوم، ص ۱۶۱.
۸. نباتی، ج. کافی، م. نظامی، ا. رضوانی مقدم، پ. معصومی، ع. و م. زارع مهرجردی. ۱۳۹۲. اثر شوری بر سلولز، همی سلولز و لیگنین ساقه و برگ و خصوصیات دیواره‌های سلولی ساقه کوشیا. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران، ۱۱: ۵۶۱-۵۵۱.
۹. نجفی مود، م. ح.، علیزاده، ا.، داوری، ک.، کافی، م.، و ع. شهیدی. ۱۳۹۱. بررسی شاخص‌های ارزیابی عملکرد و تعیین عمق بهینه آبیاری دو رقم پنبه تحت شوری‌های مختلف آب آبیاری. مجله آب و خاک، ۲۶(۴): ۹۹۸-۹۹۰.
۱۰. یارنیا، م. ۱۳۸۶. ارزیابی تعدادی از شاخص‌های فیزیولوژیک ارقام سورگوم علوفه‌ای در شرایط شوری. مجله علوم کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی تبریز، ۱(۱): ص ۱-۱۵.
11. Abbat, P.E., Dardanelli, J.L., Canatarero, M.G., Melchiori, M., and E., Suero. 2004. Climate and water availability effects on water use efficiency in wheat. *Crop Sci.* 44, 474-483.
12. Abedi T. and H. Pakniyat. 2010. Antioxidant enzyme changes in response to drought stress in ten cultivars of oilseed rape (*Brassica napus* L). *Journal of genetics and plant breeding*, 46(1) :27-34. Nadler A., Raveh E., Yermiyahu U., and S. Green. 2006. Stress included water content variations in mango stem by time domain reflectometry, *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70:510-520. Neilsen D.C., and M.F. Vigil. 2005. Legume green fallow effect on soil water content at wheat planting and wheat yield, *Agron. J.* 97:684-689.