

## تعیین بهترین تابع تولید آب - کود و کارایی مصرف آب دو رقم پنبه «گلستان» و «ب ۵۵۷» در گرگان

فاطمه ولی‌نژاد<sup>۱\*</sup> و صالح مهموم سالکویه<sup>۲</sup>

### چکیده

برای بهینه‌سازی مدیریت آب و کود در مناطق مختلف نیاز است که روابط بین آب- کود تجزیه و تحلیل شود. از گام‌های مؤثر برای درک بهتر روابط آب، کود و عملکرد، تعیین توابع تولید آب- کود- عملکرد است. برای بررسی واکنش عملکرد پنبه تحت تأثیر توأم آبیاری و مصرف کود، آزمایشی در سال زراعی ۱۳۹۱ در گرگان انجام شد. این آزمایش با شش سطح آبی ۰٪، ۳۶٪، ۶۶٪، ۸۸٪، ۱۰۰٪ و ۱۳۲٪ نیاز آبی و چهار سطح کود ۰٪، ۳۳٪، ۶۶٪ و ۱۰۰٪ نیاز کودی و دو رقم پنبه به نام‌های گلستان و ب ۵۵۷ در قالب طرح کرت‌های خرد شده نواری با سه تکرار انجام شد. جهت تعیین بهترین تابع تولید از سه تابع خطی ساده، لگاریتمی و درجه دوم استفاده شد و نتایج حاصل از برازش توابع تولید مورد سنجش و ارزیابی قرار گرفتند. ارزیابی نتایج حاصل از برازش تابع تولید لگاریتمی رقم گلستان نشان داد که مشخصه‌های آماری  $RMSE$ ،  $R^2$ ،  $EF$  و  $ME$  به ترتیب برابر ۰/۱۲، ۰/۸۶، ۰/۰۰۷ و ۰/۳۳ به دست آمد. مقایسه مشخصه‌های آماری توابع خطی و درجه دوم با تابع لگاریتمی نشان داد که تابع لگاریتمی به ازای مقادیر مختلف آب- کود، عملکرد رقم گلستان را دقیق‌تر شبیه‌سازی می‌نماید و از طرف دیگر معادله درجه دوم به ترتیب با مقادیر ۰/۵۵، ۰/۷۳، ۰/۰۹ و ۱/۰۶ به عنوان ضعیف‌ترین تابع تولید در خصوص شبیه‌سازی عملکرد رقم گلستان، انتخاب شد. این نتایج برای رقم ب ۵۵۷، علی‌رغم تغییر در مقادیر متفاوت شاخص‌ها، نتایج مشابهی با رقم گلستان داشت. کارایی مصرف آب برای رقم گلستان و ب ۵۵۷ به ترتیب در تیمار  $W_3$  (۳۶٪ نیاز، آب دریافت نمود) و  $W_1$  (۰٪ نیاز آبی، کاشت به صورت دیم و آبیاری نشد) به دست آمد و همچنین رقم گلستان نسبت به رقم ب ۵۵۷ دارای کارایی مصرف بالاتری بود.

**واژه‌های کلیدی:** بهینه‌سازی، پنبه، تابع تولید آب- کود، کارایی مصرف آب.

ارجاع: ولی‌نژاد ف. و مهموم سالکویه ص. ۱۳۹۸. تعیین بهترین تابع تولید آب- کود و کارایی مصرف آب دو رقم پنبه «گلستان» و «ب ۵۵۷» در گرگان. مجله پژوهش آب ایران. ۳۲: ۸-۱.

۱- کارشناس ارشد مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.  
۲- کارشناس ارشد مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

\* نویسنده مسئول: [F\\_valinezhad@yahoo.com](mailto:F_valinezhad@yahoo.com)

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۲/۱۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۸/۲۱

## مقدمه

عوامل مؤثر بر رشد و نمو گیاهان زراعی بسیار زیاد است که از میان این عوامل، آب و مواد غذایی، بیشترین نقش را در رشد و ثمردهی دارند. مطالعات نشان داده است که عملکرد گیاهان زراعی مختلف در پاسخ به زمان و میزان آب دریافتی متفاوت است. پنبه از جمله گیاهانی است که به میزان و زمان آب دریافتی پاسخهای متفاوتی نشان می‌دهد (قربانی، ۱۳۸۳). طی دو سال زراعی متفاوت، گزارش کردند که عملکرد سه رقم پنبه (ساحل، سای‌اکرا و ۸۱۸-۳۱۳) در تیمار ۷۵٪ تبخیر از تشت تبخیر (از بین تیمارهای کم‌آبیاری تا آبیاری کامل) بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده است. اکبری نودهی (۱۳۸۹) نیز روندی مشابه را تأیید کرد. تأمین مواد غذایی گیاهان زراعی، یکی دیگر از عوامل مؤثر در رشد و بازدهی محصولات زراعی است. از بین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه، تأمین کمبود نیتروژن خاک می‌تواند تأثیر به‌سزایی در عملکرد محصولات زراعی داشته باشد (کارلن و روسل، ۱۹۸۷). اگرچه تأمین نیاز آب و کود تأثیر مستقیم بر رشد گیاه دارد، اما تأمین بیش از حد نیاز آب و کود، نه تنها عملکرد را افزایش نمی‌دهد، بلکه می‌تواند باعث کاهش عملکرد نیز شود. آبیاری بیش از حد گیاه سبب می‌شود تمام منافذ خاک از آب اشغال شده و تنفس گیاه دچار اختلال شود. تنش ملایم رطوبتی سبب کنترل رشد رویشی گیاه پنبه می‌شود و رشد زایشی را تحریک می‌کند؛ در نتیجه، مواد فتوسنتزی مازاد بر رشد رویشی سبب می‌شود که ظرفیت حمل مواد به غوزه‌ها بیشتر شود و عملکرد پنبه دانه افزایش یابد (آیارس و حاتماچر، ۱۹۹۱). این رابطه بین میزان رطوبت و عملکرد در مورد تأمین مواد غذایی نیز صادق است. تأمین بیش از حد نیاز نیتروژن برای گیاه، سبب افزایش رشد رویشی و باعث از بین رفتن تعادل گیاه در تولید رشد زایشی می‌شود. خطرهای ناشی از افزایش بیش از حد رشد رویشی در مناطق مرطوب بیشتر است. در این مناطق، افزایش بیش از حد سطح سایه‌انداز، سبب می‌شود محیط اطراف گیاه مرطوب باشد و شرایط را برای رشد بیماری‌ها و آفت‌ها مهیا کند؛ به طوری که هرن (۱۹۹۶) وجود نیتروژن به مقدار بیش از نیاز گیاه را باعث طولانی شدن دوره رشد رویشی عنوان می‌کند که در نتیجه عملکرد پنبه، به دلیل افزایش پوسیدگی غوزه‌ها کاهش می‌یابد. کاربرد نیتروژن

کم، بسته شدن روزنه‌ها را در مقابل تنش خشکی افزایش می‌دهد و در نتیجه، کاهش عملکرد محصول را به دنبال دارد (مارشچنر، ۱۹۹۵). این در صورتی است که آثار به‌کارگیری توأمان آب و کود نیتروژن بر عملکرد تا حدودی پیچیده‌تر است. به‌کارگیری کود نیتروژن تأثیر بسزایی در کارایی مصرف آب ایجاد می‌کند (ماداج و مدحج، ۲۰۱۰). آبیاری به موقع گیاه نیز سبب می‌شود کارایی مصرف کود افزایش یابد (راسک و همکاران، ۲۰۰۵). اگر گیاه در دوران ابتدایی رشد، آب زیادی مصرف کند، این عمل سبب می‌شود که رشد رویشی گیاه افزایش یابد و رشد زایشی گیاه مختل شود. در این مواقع، نه تنها تأمین نیاز کودی (نیتروژن) به نفع گیاه نیست، بلکه باعث اختلال بیشتر در روند تعادل بین رشد رویشی و زایشی می‌شود. به همین دلیل، امروزه آگاهی بیشتر از روابط بین آب و مواد غذایی مورد نیاز گیاه، نه تنها می‌تواند باعث افزایش عملکرد گیاه شود، بلکه هزینه‌های هنگفت در تأمین نهادهای مصرفی گیاه را به صورت چشمگیری کاهش دهد. معادلات توابع تولید آب، کود و عملکرد می‌توانند کمک شایانی به درک بهتر روابط بین آب، مواد غذایی و عملکرد گیاه کنند. صالحی و همکاران (۱۳۹۰) ضمن انجام پژوهشی عنوان کردند که بهترین پیش‌بینی عملکرد کوشیا به واسطه شوری آب آبیاری و میزان آب کاربردی توسط تابع درجه دوم انجام شده است. از طرفی، تهیه نقشه‌های هم‌عملکرد می‌تواند بیانگر سطوح هم‌پاسخ به ازای مقادیر مختلف آب و کود باشد. در چنین شرایطی، می‌توان با جایگزین کردن مقادیر آب و کود به مقادیر یکسان عملکرد دست یافت. منحنی هم‌محصول کوشیا نشان داد که می‌توان شوری و میزان آب کاربردی را در دامنه‌ای از تغییرات آن‌ها برای حصول به عملکرد یکسان جایگزین کرد (صالحی و همکاران، ۱۳۹۰). تاکنون مطالعات محدودی روی تأثیر توأمان تنش آب و کود بر گیاه پنبه گزارش شده است.

هدف از این پژوهش تعیین بهترین تابع تولید هم‌زمان آب- کود گیاه پنبه بوده است. همچنین نتایج این پژوهش می‌تواند دید جدیدی به تخصیص مقادیر مناسب آب و کود جهت احیای سطح بهینه عملکرد داده و جلوگیری از هدر رفت آب و کود و به‌عبارت دیگر صرفه اقتصادی کاشت پنبه را به دنبال خواهد داشت.

## مواد و روش‌ها

این پژوهش در فصل زراعی ۱۳۹۱ (ابتدای اردیبهشت تا اوایل آبان) در ایستگاه تحقیقات پنبه هاشم‌آباد واقع در ۱۱ کیلومتری شمال‌غربی شهرستان گرگان با طول جغرافیایی ۵۵ درجه و ۳۶ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۵۱ دقیقه شمالی با ارتفاع متوسط ۱۳ متر از سطح دریا انجام شد. قبل از کشت از قطعه مورد نظر و از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری و در طول مزرعه به‌صورت ضربدری (مسیر هفت و هشت به هم پیوسته)

نمونه خاک تهیه شد؛ به گونه‌ای که نمونه‌های جمع‌آوری شده بیان‌کننده کل قطعه مورد نظر باشد و مصرف کودها براساس نتایج آزمون خاک انجام شد. پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک از قبیل بافت خاک، وزن مخصوص ظاهری، درصد رطوبت ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی، شوری و اسیدیته خاک قبل از کشت با نمونه‌گیری از دو عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر و ۳۰-۶۰ سانتی‌متری اندازه‌گیری شد. نتایج ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش

عمق خاک (Cm)	بافت خاک	شوری $dS.m^{-1}$	pH	وزن مخصوص ظاهری $(g.cm^{-3})$	رطوبت وزنی در F.C (%)	رطوبت وزنی در P.W.P (%)
۰-۳۰	لومی رسی سیلتی	۱/۱	۷/۷	۱/۵۲	۲۸/۳	۱۴/۲
۳۰-۶۰	لومی رسی سیلتی	۱/۰	۷/۷	۱/۴۸	۲۸/۵	۱۴/۴

این آزمایش در قالب طرح کرت‌های خرد شده نواری به‌صورت فاکتوریل با سه تکرار اجرا شد. تنش آبی به‌عنوان عامل اصلی و تیمارهای کود و رقم به‌عنوان عوامل فرعی در نظر گرفته شدند. تیمارهای آبی شامل شش سطح  $W_1, W_2, W_3, W_4, W_5, W_6$  (۰٪، ۳۶٪، ۶۶٪، ۸۸٪، ۱۰۰٪، ۱۳۲٪ نیاز آبی) و میزان کود مصرفی براساس نیاز کودی (به‌ترتیب بدون کود، ۳۳، ۶۶ و ۱۰۰ درصد نیاز کودی، که به‌ترتیب با  $N_1, N_2, N_3, N_4$  نشان داده شده‌اند) انتخاب شدند. آبیاری با استفاده از سیستم آبیاری بارانی تک‌شاخه‌ای انجام و کوددهی براساس نیاز کودی زمین و طی دو مرحله به‌صورت سرک به زمین داده شد. عمق آب بعد از هر آبیاری، توسط قوطی‌هایی که روی سه پایه نصب شده بود، اندازه‌گیری می‌شد. برای یکنواختی پخش آب، آبیاری در ساعات شب، به‌دلیل وضعیت هوای آرامتر، صورت می‌پذیرفت. حجم آب بعد از آبیاری و قبل از طلوع آفتاب به‌دلیل جلوگیری از تبخیر انجام می‌شد. تیمارهای آبی شامل شش نوار در راستای خط طولی لوله اصلی آبیاری خطی انتخاب شدند؛ زیرا به این ترتیب با توجه به الگوی مثلی پخش آب با فاصله گرفتن از خط لوله عمق آبیاری کاهش یافته و تنش اعمال می‌شود تا جایی که نوار ششم که در فاصله‌ای بیشتر از شعاع پاشش آبیاری قرار گرفته، آبی دریافت نکرده است. زمان آبیاری براساس تعیین رطوبت وزنی خاک با نمونه‌گیری از نوار دوم ( $W_5$ ) مشخص می‌شد. مدت زمان آبیاری نیز براساس عمق مورد

نیاز تا ظرفیت زراعی در نوار دوم ( $W_5$ ) و شدت پاشش آبیاری در این نوار محاسبه می‌شد. تیمارهای کود و رقم به‌صورت نواری و عمود بر نوارهای آبیاری انتخاب و این نوارها به‌صورت تصادفی در هر تکرار قرار داده شدند. از برخورد این نوارها به‌صورت عمود بر هم، کرت‌هایی به ابعاد  $3 \times 2/5$  متر ایجاد شد. کشت پنبه در تاریخ ۲۵ اردیبهشت ۱۳۹۱ و به فاصله بوته ۲۵ سانتی‌متر و فاصله ردیف ۷۵ سانتی‌متر انجام و برای هر کرت ۴ خط کاشت در نظر گرفته شد که از این بین دو خط کشت کناری به‌عنوان حاشیه و دو خط وسط به‌عنوان تعیین عملکرد در نظر گرفته شد. عملکرد پنبه دانه برای دو چین و به‌ترتیب در اول مهر و آبان و از دو ردیف وسط تعیین و در این پژوهش از روش تخمین تابع تولید آب- کود استفاده شد. این تابع تغییرات عملکرد محصول را تحت تأثیر مقدار آب و کود مصرفی نشان می‌دهد. شکل کلی این معادله به‌صورت معادله (۱) است:

$$Y = f(AW, F) \quad (1)$$

که در آن،  $Y$  عملکرد پنبه دانه برحسب تن بر هکتار،  $AW$  میزان آب مصرفی بر حسب میلی‌متر و  $F$  کود مصرفی بر حسب کیلوگرم بر هکتار است،  $f$  ضریب. توابع تولید پس از جمع‌آوری داده‌ها و با استفاده از نرم‌افزار MINITAB و به فرم معادلات (۲)، (۳) و (۴) برآورد شدند. سپس، برای تحلیل آماری و تعیین بهینه این معادلات، از شاخصه‌های آماری ( $RMSE, R^2, ME$  و  $EF$ ) استفاده شد.

است. ضریب تعیین توابع خطی ساده، لگاریتمی و درجه دوم برای رقم گلستان به ترتیب ۰/۷۲، ۰/۸۶ و ۰/۷۳ و برای رقم ب ۵۵۷ به ترتیب برابر ۰/۷۰، ۰/۷۲ و ۰/۶۳ به دست آمد. پس از به دست آوردن توابع تولید شاخص‌های آماری برای ارزیابی تعیین شد. هر یک از توابع تولید به صورت جداگانه ارزیابی شدند و با توجه به نتیجه به دست آمده، رتبه اول تا چهارم را به خود اختصاص دادند. در نتیجه تابعی که رتبه بهتری به خود اختصاص داد به عنوان بهترین تابع تولید انتخاب شد که نتایج آن به تفکیک رقم در جدول ۳ ارائه شده است؛ برای مثال به مدلی که  $R^2$  (ضریب همبستگی) بیشترین باشد رتبه یک نسبت داده شد و مدلی که دارای کمترین ضریب همبستگی بود، رتبه چهارم داده شد. در نهایت حاصل جمع تمام رتبه‌ها محاسبه شد و مدلی که کمترین رتبه را داشت، به عنوان بهترین تابع تولید انتخاب شدند (جدول ۳). مقایسه ضرایب نشان داد که قدرت برازش تابع لگاریتمی بیشتر است. این در صورتی است که پژوهش‌گران متعددی تابع درجه دوم را به عنوان بهترین تابع برای بررسی رابطه بین عملکرد، شوری و مقدار آب خاک گندم، ذرت و پنبه بیان کردند (دیتا و همکاران، ۱۹۹۸). صالحی و همکاران (۱۳۹۰) تابع درجه دوم را به عنوان بهترین تابع تولید شوری- خشکی کوشیا معرفی نمودند.

$$Y = a_0 + a_1AW + a_2F \quad (2)$$

$$Y = a_0 + a_1AW^{a_1}F^{a_2} \quad (3)$$

$$Y = a_0 + a_2AW + a_2AW^2 + a_3F + a_4F^2 + a_5AWF \quad (4)$$

برای برآورد میزان خطا در محاسبات مدل و برآورد دقت مدل در شبیه‌سازی از آزمون‌های آماری ریشه میانگین مربعات خطا RMSE (معادله (۵))، حداکثر خطا ME (معادله (۱۶)) و کارایی مدل‌سازی EF (معادله (۱۷)) استفاده شد. معادله مورد استفاده برای ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) به شکل زیر است:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (P_i - O_i)^2}{N}} \quad (5)$$

در این معادله،  $P_i$  مقادیر محاسبه شده توسط مدل،  $O_i$  مقادیر واقعی و  $N$  تعداد مشاهده‌ها است.

حداکثر خطا (ME)

$$ME = \max_{i=1}^n |O_i - P_i| \quad (6)$$

کارایی مدل‌سازی (EF)

$$EF = \frac{(\sum_{i=1}^n O_i - \sum_{i=1}^n P_i)}{\sum_{i=1}^n O_i} \quad (7)$$

در این پژوهش، برای مقایسه و ارزیابی مقادیر شبیه‌سازی شده و واقعی از ضریب تبیین (تعیین) استفاده شد.

$$R^2 = \frac{(\sum (X - \bar{X})(Y - \bar{Y}))^2}{\sum (X - \bar{X})^2 \sum (Y - \bar{Y})^2} \quad (8)$$

## نتایج و بحث

نتایج تخمین توابع تولید آب- کود گیاه پنبه به صورت خطی ساده، لگاریتمی و درجه دوم در جدول ۲ ارائه شده

جدول ۲- ضرایب توابع تولید آب- کود مصرفی دو رقم پنبه با استفاده از توابع مختلف

متغیر	رقم گلستان		رقم ب ۵۵۷		تابع درجه دوم
	تابع خطی	تابع لگاریتمی	تابع خطی	تابع لگاریتمی	
ثابت	۲/۳	-۱/۵۸	۲/۶۲	-۰/۳۶۷	-۱/۹۷
AW	۰/۰۰۴۰۱	-	۰/۰۰۲۱۷	-	۰/۰۲۳۹
F	-۰/۰۰۱۶۹	-	-۰/۰۰۲۲۴	-	۰/۰۰۹۶۸
Ln AW	-	۰/۴۹۵	-	۰/۲۸۶	-
Ln F	-	-۰/۰۰۸۸۴	-	-۰/۰۱۵۸	-
AW <sup>2</sup>	-	-	-	-	-۰/۰۰۰۰۲۴
F <sup>2</sup>	-	-	-	-	۰/۰۰۰۰۲۶
AW*F	-	-	-	-	-۰/۰۰۰۰۳۹

جدول ۳- ارزیابی شاخصه‌های آماری توابع مختلف دو رقم پنبه

شاخص آماری	رقم گلستان			رقم ب ۵۵۷		
	تابع خطی	تابع لگاریتمی	تابع درجه دوم	تابع خطی	تابع لگاریتمی	تابع درجه دوم
RMSE	۰/۴۹	۰/۱۲	۰/۵۵	۰/۳۰	۰/۰۹	۱/۷۴
رتبه	۲	۱	۳	۲	۱	۳
R <sup>2</sup>	۰/۷۲	۰/۸۶	۰/۷۳	۰/۷۰	۰/۷۲	۰/۶۳
رتبه	۲	۱	۳	۲	۱	۳
EF	-۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۷۰۲	-۰/۰۹۶	-۰/۰۰۰۳۳	۰/۰۰۱۷	۰/۴۱۸
رتبه	۲	۱	۳	۳	۱	۲
ME	۱/۲۰۹	۰/۳۳	۱/۰۶	۰/۷۸	۰/۲۳۹	۳/۰۱
رتبه	۳	۱	۲	۲	۱	۳
مجموع رتبه‌بندی	۹	۴	۱۱	۹	۴	۱۱

## کارایی مصرف آب (WUE)

کارایی مصرف آب از جمله پارامترهای مهم در تعیین بخش مؤثر آب در تولیدات کشاورزی است. نتایج حاصل از بررسی کارایی مصرف آب رقم گلستان در جدول ۴ نشان می‌دهد که بیشترین کارایی مصرف آب در تیمار W<sub>۲</sub> (۳۶٪ نیاز، آب دریافت نمود) با مقداری برابر ۱/۱ کیلوگرم بر مترمکعب به‌دست آمد، این در حالی است که بیشترین عملکرد در تیمار W<sub>۴</sub> (۸۸٪ نیاز، آب دریافت نمود) حاصل شد. همچنین کمترین کارایی مصرف آب در تیمار W<sub>۶</sub> (۱۳۲٪ نیاز، آب دریافت نمود) با مقداری برابر ۰/۷

کیلوگرم بر مترمکعب به‌دست آمد. قربانی و همکاران (۱۳۸۲) روی پنبه در اقلیم گلستان نتایج مشابه را تأیید کردند.

نتایج کارایی مصرف آب در رقم ب ۵۵۷ در جدول ۵ آمده است. بررسی مقادیر کارایی مصرف آب در رقم گلستان در تمامی سطوح آبی بیشتر از رقم ب ۵۵۷ است و بیانگر این مطلب است که رقم گلستان به ازای هر مترمکعب آب مصرفی نسبت به رقم ب ۵۵۷ عملکرد بیشتری تولید می‌شود؛ به عبارت دیگر پرمحصول‌تر است.

جدول ۴- کارایی مصرف آب رقم گلستان حالت کلی (سطوح کودی ۳۳، ۶۶ و ۱۰۰ درصد نیاز کودی (میانگین ۳ تکرار))

تیمارهای آبی	ET <sub>c</sub> (mm)	Y (kg.ha <sup>-1</sup> )	WUE (kg.m <sup>-3</sup> )
W <sub>۱</sub>	۲۶۴/۱	۲۷۷۰	۱/۰۵
W <sub>۲</sub>	۳۳۲/۴	۳۶۵۰	۱/۱
W <sub>۳</sub>	۳۹۲/۲	۴۰۹۰	۱/۰۴
W <sub>۴</sub>	۴۳۵/۵	۴۰۴۶	۱/۰۲
W <sub>۵</sub>	۴۵۸/۷	۴۰۴۰	۰/۸۸
W <sub>۶</sub>	۵۲۲/۷	۳۶۷۰	۰/۷

جدول ۵- کارایی مصرف آب رقم ب ۵۵۷ حالت کلی (سطوح کودی ۳۳، ۶۶ و ۱۰۰ درصد نیاز کودی (میانگین ۳ تکرار))

تیمارهای آبی	ET <sub>c</sub> (mm)	Y (kg/ha)	WUE(kg/m <sup>3</sup> )
W <sub>۱</sub>	۲۶۴/۱	۲۸۶۰	۱/۰۸
W <sub>۲</sub>	۳۳۲/۴	۳۱۸۰	۰/۹۵
W <sub>۳</sub>	۳۹۲/۲	۳۴۴۰	۰/۸۷
W <sub>۴</sub>	۴۳۵/۵	۳۷۰۰	۰/۸۴
W <sub>۵</sub>	۴۵۸/۷	۳۴۵۰	۰/۷۵
W <sub>۶</sub>	۵۲۲/۷	۳۳۱۰	۰/۶۳

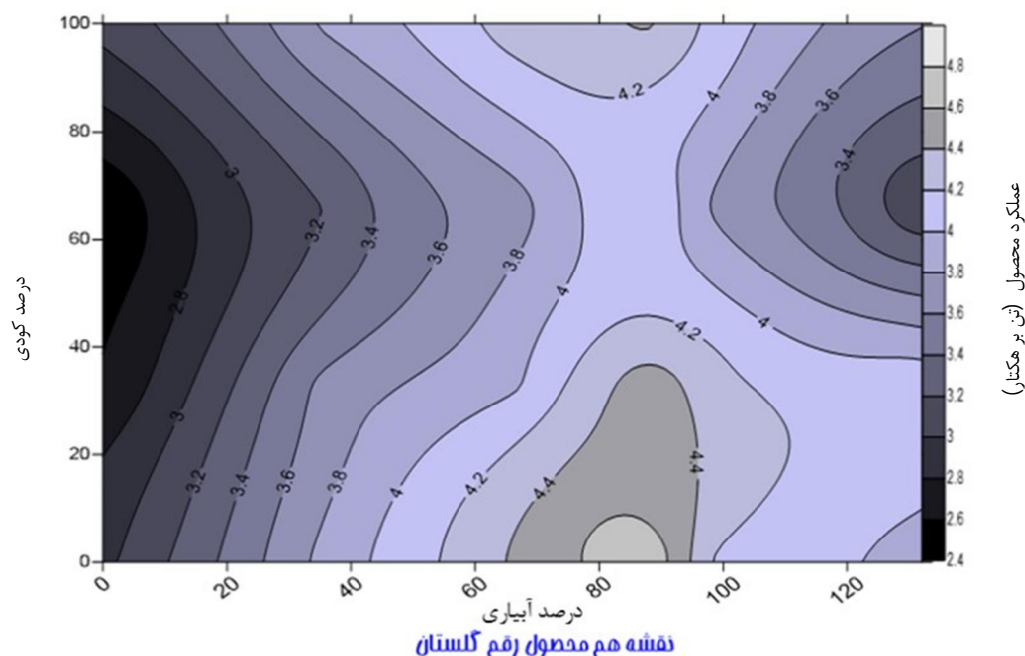
در شکل‌های ۱ و ۲ به ترتیب نمودار خطوط هم پتانسیل عملکرد محصول برای دو رقم پنبه به نام‌های گلستان و ب ۵۵۷ به ازای آب و کود مصرفی نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود نقاطی که می‌توان به ازای مصرف آب و کود مختلف به میزان ثابتی از عملکرد دست یافت.

گفتنی است بیشینه نمودار نشان‌دهنده بیشترین عملکرد و نقاط کمینه بیان‌کننده کمترین عملکرد است.

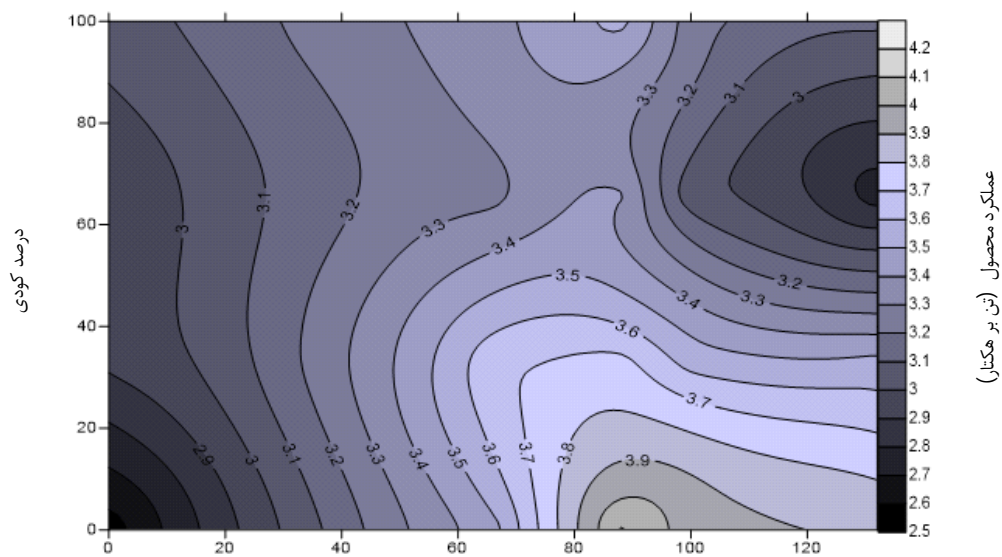
### نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان‌دهنده این است که توابع لگاریتمی پیش‌بینی دقیق‌تری نسبت به دو تابع درجه دوم و خطی از عملکرد دو رقم پنبه به نام‌های گلستان و ب ۵۵۷ در شرایط دریافت آب و کود نیتروژن ارائه می‌نمایند. منحنی هم‌محصول نشان داد که می‌توان آب و کود مصرفی را در دامنه‌ای از تغییرات آن‌ها برای حصول عملکرد یکسان جایگزین کرد. کارایی مصرف آب در رقم گلستان و ب ۵۵۷ به ترتیب در تیمارهای  $W_1$  و  $W_2$  به دست آمد. همچنین کارایی مصرف آب در رقم گلستان بیشتر از رقم ب ۵۵۷ که بهتر است در شرایط یکسان از رقم گلستان برای کاشت در شرایط مشابه استفاده شود.

به‌طور کلی در هر سطح کودی با افزایش مقدار آب مصرفی تا حدود ۸۰ درصد نیاز آبی، عملکرد پنبه افزایش می‌یابد و از آن به بعد با افزایش آب مصرفی عملکرد پنبه در تمامی سطوح کودی کاهش می‌یابد. مقایسه عملکرد پنبه در هر سطح آبی، با افزایش میزان کود مصرفی، کاهش می‌یابد؛ به گونه‌ای که بیشترین و کمترین عملکرد در تمامی سطوح آبی در تیمار بدون کود و ۱۰۰٪ نیاز کودی حاصل شد. برای بررسی آثار دو عامل مورد بحث (آب و کود مصرفی) و تعیین دامنه جایگزینی هر یک از عوامل برای حصول به عملکرد یکسان، می‌توان از منحنی هم‌محصول استفاده کرد. منحنی هم‌محصول نشان‌دهنده مکان هندسی ترکیبات مختلف آب و کود مصرفی است که عملکرد یکسانی را در فرآیند تولید پنبه ایجاد می‌کنند (شکل‌های ۱، ۲، ۳ و ۴). با مقدار معینی از آب مصرفی، هرچه میزان کود مصرفی افزایش یابد، عملکرد کاهش می‌یابد و همچنین با مصرف میزان کود معین، هرچه میزان آب مصرفی بیشتر شود، عملکرد نیز افزایش می‌یابد. برای دستیابی به عملکرد مشخص مقادیر متفاوتی از آب و کود مصرفی را می‌توان جایگزین کرد؛ به عبارت دیگر با افزایش مقدار آب مصرفی می‌توان میزان کود مصرفی را کاهش داد؛ به گونه‌ای که عملکرد ثابت بماند.

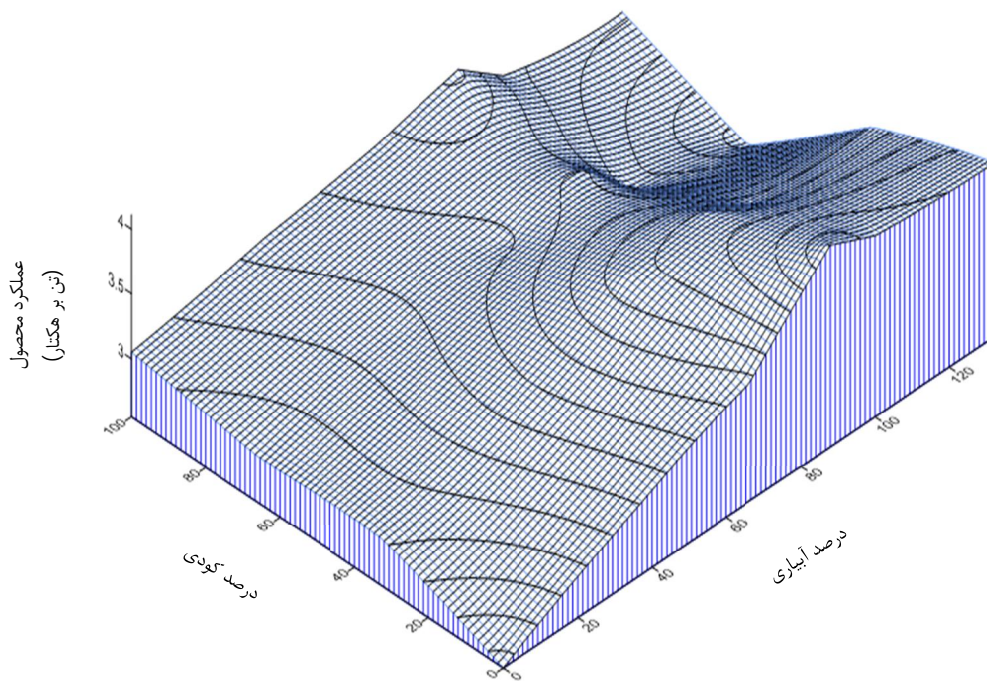


شکل ۱- نقشه هم‌محصول رقم گلستان

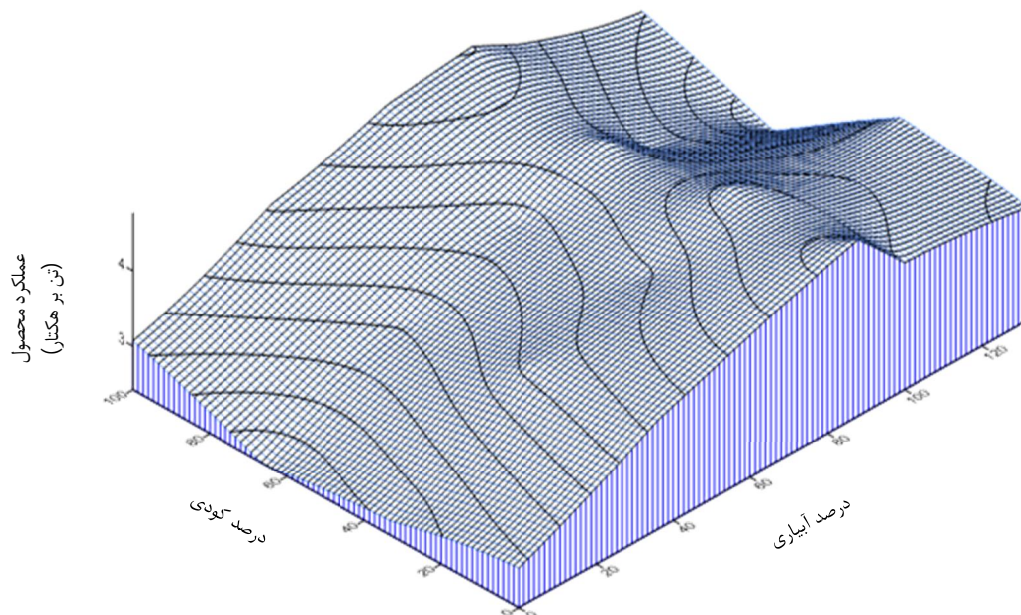


نقشه هم محصول رقم ب ۵۵۷

شکل ۲- نقشه هم محصول رقم ب ۵۵۷



شکل ۳- نقشه سطوح هم پاسخ رقم ب ۵۵۷



شکل ۴- نقشه سطوح هم پاسخ رقم ب ۵۵۷

8. Madaj M. and Madhaj A. 2010. Effect of water and nitrogen fertilizer on corn yield. *Journal Agricultural Iran*. 10(3): 554-546.
9. Marschner H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Function of mineral nutrients: Microelements. pp. 313-324.
10. Rathke G. Christen W. O. and Diepen W. 2005. Effect of nitrogen source and rate on productivity and quality of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) grown in different crop rotations. *Field crop*. 94(2-3): 103-113.

#### منابع

۱. اکبری نودهی د. ۱۳۸۹. تأثیر مقادیر مختلف آب بر عملکرد و کارایی مصرف آب تولید پنبه در استان مازندران. *مجله پایداری کشاورزی*. ۲۱/۲(۱): ۱۰۳-۱۱۱.
۲. صالحی م. کافی م. و کیانی ع. ر. ۱۳۹۰. تابع تولید آب- شوری کوشیا در اراضی شمال استان گلستان. *مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)*. ۲۵(۶): ۱۳۹۵-۱۴۰۳.
۳. قربانی نصرآباد ق. ۱۳۸۳. اثر کمبود آب بر کیفیت ارقام پنبه و تعیین عملکرد تولید. گزارش نهایی مؤسسه تحقیقات پنبه کل کشور. ۵۱ ص.
4. Ayars J. E. and Hutmacher R. B. 1991. Cotton response to no uniform and varying depths of irrigation *Agricultural water management*. 19(2): 151-166.
5. Carlone M. and Russell W. A. 1987. Response to plant densities and nitrogen levels for four maize cultivars from different areas. *Crop science*. 27: 465-470.
6. Datta K. Sharma V. P. and Sharma D. P. 1998. Estimation of a production functions for wheat under saline conditions. *Agricultural water Management*. 36: 85-94.
7. Hearn A. B. 1996. Response of cotton to nitrogen and water in a tropical environment. *The Journal of Agricultural Science*. 86: 257-269.