نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۱، جلد ۱۴، فروردین - اردیبهشت ۱۳۹۹، ص. ۳۰۹-۳۰۱

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 1, Vol. 14, Apr.-May. 2020, p. 301-309

# تعیین بهترین تابع تولید آب– عملکرد و ارزیابی شاخص‌های تولید پنبه رقم‌های ورامین و خرداد در منطقه سرایان خراسان جنوبی

علی شهیدی[1*]، فرشته بهرامی[2]، محمدحسین نجفی‌مود[3]، عباس خاشعی‌سیوکی[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۳/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۶/۲۴

## چکیده

این تحقیق به منظور تعیین تابع بهینه آب – عملکرد برای گیاه پنبه و ارزیابی شاخص‌های تولید پنبه به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار به مدت یک سال در منطقه سرایان استان خراسان جنوبی انجام گردید. فاکتورهای پژوهش شامل چهار سطح عمق آب آبیاری $I_1$ ، $I_2$ ، $I_3$ و $I_4$ به ترتیب ۵۰، ۷۵، ۱۰۰و ۱۲۵ درصد نیاز آبی گیاه به عنوان فاکتور اصلی و دو رقم پنبه ($V_1$ورامین و $V_2$خرداد) به عنوان فاکتور فرعی بود. بهترین تابع تولید از بین چهار تابع تولید (خطی ساده، کاب‌داگلاس، درجه دوم و متعالی) برای دو رقم پنبه انتخاب گردید. برای هر دو رقم پنبه ورامین و خرداد تابع درجه دوم به عنوان تابع تولید بهینه انتخاب شد. متوسط شاخص تولید نهایی نسبت به عمق آب آبیاری در رقم ورامین ۳۷/۸۰ کیلوگرم در هکتار به ازای هر یک سانتی‌متر عمق آب آبیاری و در پنبه رقم خرداد ۳۶/۷۱ بود. مقادیر ارزش تولید نهایی نسبت به عمق آب آبیاری (VMPi) برای پنبه رقم ورامین معادل ۲۲۶۸۱۸۵ریال و برای پنبه رقم خرداد ۲۲۰۲۷۲۷ ریال محاسبه گردید. مقایسه این ارقام بیانگر این موضوع است که پنبه رقم ورامین در برابر کم‌آبی مقاوم‌تر و از نظر اقتصادی کشت آن در منطقه سرایان مقرون به صرفه‌تر است.

**واژه‌های کلیدی:** پنبه، تابع تولید، سرایان، شاخص ارزیابی عملکرد، کم‌آبیاری

## مقدمه

رشد روز افزون جمعیت جهان و نیاز بیشتر به تولیدات کشاورزی از مسائل مهمی است که امروزه بشر با آن روبرو است. در این زمینه محدودیت منابع آب و خاک به عنوان بستر اصلی تولیدات کشاورزی نیز مطرح است، به طوری که هم اکنون استفاده بهینه از منابع آب در سرلوحه فعالیت‌های کشاورزی قرار گرفته است (پیری، ۱۳۹۶). در حال حاضر، در کشور ایران نیز عامل محدودکننده تولیدات کشاورزی و افزایش تولیدات غذایی، محدودیت منابع آبی و استفاده نامطلوب و غیر اقتصادی از آن است. که این امر در مناطق خشک و نیمه‌خشک اهمیت بیشتری پیدا می‌کند (کیانی و همکاران، ۱۳۸۵). کم‌آبیاری تنظیم شده یکی از راه‌های افزایش کارایی مصرف آب است. در این روش، کاهش عملکرد در مقایسه صرفه‌جویی در مصرف آب ناچیز است (حبیبی و همکاران، ۱۳۹۲). هدف از کم‌آبیاری تنظیم شده، بهینه ساختن کارایی مصرف آب و به حداکثر رساندن عملکرد به ازای یک واحد آب مصرفی است. هر افت کوچکی در عملکرد در نتیجه اجرای یک تنش ملایم رطوبتی تحت این استراتژی، با سود حاصل از کاهش مصرف آب جبران می‌شود که به کاهش بیش از حد در رشد رویشی منجر می‌شود (شمس‌بیرانوند و همکاران، ۱۳۹۴). عمق بهینه آب آبیاری در شرایط مختلف متفاوت است و زمانی به دست می‌آید که بر اثر آبیاری با این عمق، بتوان به بیشترین درآمد خالص دست یافت. به منظور تعیین عمق بهینه به ابزار مختلفی از جمله تابع تولید محصول نسبت به آب آبیاری و یا مشتقات آن، هزینه‌های ثابت و متغیر، قیمت محصول و اطلاعات مربوط به محدودیت‌های زمین و آب نیاز است. در منابع دو روش برای برآورد توابع تولید آب – عملکرد ذکر شده است. روش نخست بر اساس مدل‌های نظری و تجربی رابطه آب – عملکرد را به صورت کمّی بیان می‌کند. در روش دوم، توابع تولید بر اثر مقادیر مختلف آب بر عملکرد گیاهان، ناشی از مشاهدات مزرعه‌ای و با استفاده از تحلیل‌های آماری برآورد می‌شوند (شیرمحمدی‌علی‌اکبرخانی و همکاران، ۱۳۹۲). با برآورد تابع تولید

۱- دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند
۳- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند
۴- دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند
(*- نویسنده مسئول: Email: ashahidi@birjand.ac.ir)

می‌توان به طور کمی تاثیر نسبی هر یک از متغییرهای یادشده را روی تغییرات تولید و درآمد محصول، محاسبه و تعیین نمود (کیانی و همکاران، ۱۳۸۵). تابع تولید محصول و آب مصرفی در تجزیه و تحلیل اقتصادی و یافتن شیوه‌هایی برای بهینه‌سازی مصرف آب کاربردهای فراوانی دارد (Liu et al., 2002). برخی پژوهشگران به تحلیل توابع تولید و ارزیابی شاخص‌های تولید پرداختند. شهیدی (۱۳۸۷) تابع درجه دوم را به عنوان تابع برتر برای گندم رقم روشن و قدس در منطقه بیرجند تعیین نمود و مقایسه متوسط شاخص تولید نهایی نسبت به عمق آب آبیاری دو رقم گندم بیانگر آن بود که گندم رقم روشن در برابر شوری و کم‌آبی مقاوم‌تر و از نظر اقتصادی مقرون به صرفه‌تر است. پیری (۱۳۹۶) به بررسی تعیین تابع تولید آب – کود نیتروژن و ارزیابی شاخص‌های تولید پیاز در منطقه زهک سیستان و بلوچستان پرداخت. نتایج نشان داد که تابع تولید درجه دوم به عنوان تابع برتر عملکرد- آب – کود برای گیاه پیاز تعیین شد و متوسط شاخص تولید نهایی نسبت به عمق آب آبیاری در آبیاری جوی و پشته‌ای، قطره‌ای سطحی و قطره‌ای زیر سطحی به ترتیب ۰/۲۳، ۰/۳۴ و ۰/۳۷ تن در هکتار به دست آمد. نجفی‌مود (۱۳۹۱) تابع درجه دوم را به عنوان تابع تولید برتر در شرایط توام شوری و کم‌آبیاری برای پنبه رقم ورامین و خرداد در منطقه بیرجند معرفی نمود و همچنین محاسبه شاخص تولید نهایی پنبه نسبت به عمق آب آبیاری نشان داد که با افزایش یک سانتی‌متر عمق آب آبیاری و ثابت ماندن شوری، عملکرد پنبه رقم ورامین به طور متوسط ۱۸/۹ کیلوگرم در هکتار و عملکرد پنبه رقم خرداد به طور متوسط ۱۹/۹ کیلوگرم در هکتار است.

شهرستان سرایان با سطح زیر کشت ۱۹۸۰ هکتار (۲۴/۰۹ درصد سطح کل زیر کشت پنبه در استان خراسان‌جنوبی) و متوسط برداشت ۲۲۰۲ کیلوگرم در هکتار حائز رتبه دوم استانی در سطح زیر کشت پنبه و میزان تولیدی وش است و حکایت از اهمیت جایگاه کشت این محصول در منطقه سرایان است. در منطقه سرایان کمبود آب، یک مسئله جدی و با اهمیت است، مطالعات شرکت آب منطقه‌ای خراسان جنوبی نشان داد در سال ۱۳۶۵ ارتفاع مطلق سطح آب زیرزمینی دشت سرایان معادل ۱۳۰۰/۹۳ متر و در سال ۱۳۹۷ معادل ۱۲۸۱/۲۹ متر بود و در واقع گویای این حقیقت است که برداشت‌های بی‌رویه از چاه‌های آب کشاورزی و خشکسالی نقش بسیار مهمی در افت سفره آب زیرزمینی داشته است و در همین راستا اولین آگهی ممنوعیت دشت سرایان در سال ۱۳۵۹ اعلام و آخرین آگهی ممنوعیت نیز در سال ۱۳۹۵ اعلام و دشت سرایان به مدت ۵ سال ممنوعه بحرانی اعلام گردید. بنابراین باید دنبال راهکاری بود که با حفظ شرایط پایدار در منابع آب و خاک منطقه از نظر اقتصادی موجب توسعه کشاورزی شود. تدوین برنامه آبیاری و اعمال مدیریت صحیح آبیاری در منطقه سرایان می‌تواند از زیان و ضررهای ناشی از کمبود منابع آب در منطقه بکاهد. از آنجایی که مناطق مختلف به دلیل شرایط آب و هوایی متفاوت، نوع خاک و دیگر عامل‌ها به مقادیر متفاوتی از نهاده‌ها برای تولید محصولات کشاورزی نیاز دارند و نتایج تحقیق در یک منطقه یا در مورد یک محصول قابل تعمیم به دیگر مناطق و محصولات نمی‌باشد، این پژوهش به منظور تعیین بهترین تابع تولید در سطوح مختلف آبیاری و ارزیابی شاخص‌های عملکرد ارقام پنبه در منطقه سرایان انجام گردید تا بتوان با تعیین بهترین رقم پنبه برای کشت در منطقه سرایان، ضمن صرفه‌جویی در مصرف آب کاهش محصول و کاهش درآمد اقتصادی را به حداقل مقدار رساند.

## مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ در شهر سرایان در استان خراسان جنوبی با طول جغرافیایی ۵۸ درجه و ۳۱ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۵۱ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۴۸۴ متر از سطح دریا انجام گردید. متوسط سالیانه درجه حرارت ۱۶/۲ درجه سانتی‌گراد است و میانگین بارندگی ۱۱۷ میلی‌متر گزارش شده است. آب و هوای منطقه خشک و نیمه‌خشک است (نخعی‌نژادفرد و همکاران،۱۳۹۶). به منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از آماده‌سازی زمین نمونه‌های خاک از اعماق ۳۵-۰ و ۷۰-۳۵ برداشت و برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آنها تعیین گردید که خصوصیت فزیکی خاک محل اجرای آزمایش در جدول ۱ و خصوصیات شیمیایی در جدول ۲ ارائه گردید.

**جدول ۱- خصوصیات فیزیکی خاک محل اجرای آزمایش**

| عمق لایه نمونه‌برداری (cm) | درصد ذرات خاک | | | وزن مخصوص ظاهری($gr/cm^3$) | بافت خاک |
|---|---|---|---|---|---|
| | شن (٪) | سیلت (٪) | رس (٪) | | |
| ۰-۳۵ | ۵۷ | ۳۷/۵ | ۵/۵ | ۱/۷۰ | Sandy Loam |
| ۳۵-۷۰ | ۵۹/۲ | ۳۶ | ۴/۸ | ۱/۶۰ | Sandy Loam |

**جدول ۲- خصوصیات شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش**

| عمق نمونه‌برداری (cm) | EC (ms/cm) | PH | کربن آلی (%) | کلN (%) | P (ppm) | K (ppm) | Fe (mg/kg) | Mn (mg/kg) | Zn (mg/kg) | Cu (mg/kg) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۰–۳۵ | ۸/۹۲ | ۷/۵ | ۰/۲۱۷ | ۰/۰۲ | ۱۰/۶ | ۴۴۱ | ۳/۴ | ۳/۱ | ۰/۲۲ | ۰/۲۴ |
| ۳۵–۷۰ | ۶/۷ | ۷/۵ | ۰/۲۰۱ | ۰/۰۱۸ | ۹/۹ | ۵۱۲ | ۳/۱ | ۲/۸ | ۰/۳۱ | ۰/۳۷ |

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب آبیاری در جدول۳ ارائه گردیده است.

**جدول ۳- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب آبیاری**

| دمای نمونه (سانتی‌گراد) | ۲۵ | $Ca^{+2}$ | ٤ |
|---|---|---|---|
| EC(ms/cm) | ۳/۱ | $Mg^{+2}$ | ۶/۴ |
| Ph | ۷/۶ | Na+ | ۱۹/۵ |
| SAR | ۸/۵ | K+ | ۰/۰۳۲ |
| TDS | ۱۹۸۴ | $HCO_3^-$ | ۳/۳ |
| TH(mg/l) | ۵۲۰ | $CO_3^{-2}$ | ۰ |
| $SO_4^{2-}$ | ۹/۴ | $Cl^-$ | ۱۷/۳ |

با تعیین نیاز کودی قبل از کاشت بر اساس آزمون خاک با توجه به اینکه فسفر خاک در محدوده ۱۵–۱۰ ppm قرار گرفت کود فسفر از نوع سوپرفسفات تریپل به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار و کربن آلی ۰/۲۲–۰/۲۰ درصد قرار گرفت کود اوره به میزان ۱۳۰ کیلوگرم در هکتار در زمان کاشت در اختیار گیاه قرار گرفت.

به منظور دستیابی به اهداف مدنظر، طرح آزمایشی مورد نظر بصورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار به مدت یک سال انجام گردید. چهار سطح عمق آب آبیاری $I_1$ ، $I_2$ ، $I_3$ و $I_4$ به ترتیب ۵۰، ۷۵، ۱۰۰و ۱۲۵ درصد نیاز آبی به عنوان فاکتور اصلی و با توجه به تمایل بیشتر کشاورزان منطقه سرایان به کشت پنبه رقم ورامین و خرداد ، دو رقم پنبه ($V_1$ورامین و $V_2$خرداد) به عنوان فاکتور فرعی در نظر گرفته شد. در این طرح ابعاد کرت‌های فرعی ۳×۴ (متر×متر)، به منظور جلوگیری از اثرات حاشیه‌ای فاصله کرت‌های فرعی یک متر و فاصله کرت‌های اصلی از همدیگر ۴/۵ متر در نظر گرفته شد. برای تعیین حجم آب آبیاری مورد نیاز گیاه پنبه در طول دوره رشد و تعیین دور آبیاری، از نرم‌افزار CROPWAT Version 8i استفاده گردید. ابتدا با کمک نرم‌افزار CropWat عمق آب مورد نیاز برای تیمار $I_3$ (تیمار شاهد) تعیین و مشخص گردید، سپس بر اساس ضرایب ۵۰٪، ۷۵٪ و ۱۲۵٪ عمق آب مورد نیاز برای تیمارهای $I_1$ ، $I_2$ و $I_4$ محاسبه گردید. مقدار حجم آب مصرفی برای تیمار $I_1$ معادل ۵۴۷۱ مترمکعب، تیمار $I_2$ معادل ۸۲۰۶/۵ مترمکعب، تمیار $I_3$ معادل ۱۰۹۴۲ مترمکعب و تیمار $I_4$ ۱۳۶۷۷/۵ مترمکعب آب در هکتار بود. تعداد دفعات آبیاری برای کلیه تیمارها یکسان و سیزده نوبت آبیاری با فاصله زمانی ۱۰ روزه در طول دوره رشد پنبه انجام گردید. در پایان فصل و بعد از رسیدگی فیزیولوژیکی طی دو چین در تاریخ‌های ۱۳۹۷/۰۷/۱۳ و ۱۳۹۷/۰۸/۱۷ اقدام به برداشت وش تولیدی از داخل هر کرت گردید. برای جلوگیری از اثرات حاشیه‌ای تنها دو ردیف وسط هر کرت برداشت گردید.

## توابع تولید

تابع تولید به فرم‌های مختلفی ممکن است ظاهر شود، به‌گونه‌ای که در ساده‌ترین فرم، به صورت خطی و در شکل‌های پیچیده‌تر و در عین حال واقعی‌تر به صورت درجات دو و بالاتر، لگاریتمی و نیمه-لگاریتمی، نمایی ومانند اینها نمایان می‌شوند. تعیین فرم دقیق این تابع تا حدود زیادی بستگی به شرایط تولید دارد. برای تعیین توابع برتر آب – عملکرد از معادلات ۱ تا ۴ استفاده شد (شهیدی، ۱۳۸۷) :

(۱) فرم خطی ساده[1]

$$Y = a + (b \times I)$$

(۲) فرم خطی لگاریتمی (کاب‌داگلاس)[2]

$$Y = a \times b \times Ln\ I$$

(۳) فرم درجه دوم[3]

$$Y = a + (b \times I) + (C \times I^2)$$

(۴) فرم متعالی[4]

$$Y = a + (b \times I) + cLnI$$

در توابع فوق الذکر I معرّف عمق آب آبیاری بر حسب سانتی‌متر، Y مقدار عملکرد (کیلوگرم) و a، b وc، ضرایب تجربی معادلات است.

1- Linear
2- CubbDuglass
3- Quadratic
4- Transcendental

ضرایب مربوط به هر تابع توسط نرم‌افزارSAS9.1 و بر اساس رگرسیون چند متغییره برای هر دو رقم پنبه به دست آمد. پس از تعیین ضرایب مورد نیاز از طریق رگرسیون چند متغییره با استفاده از نرم‌افزار Excel مقادیر برآورد شده برای عملکرد به ازای عمق آب آبیاری بر حسب سانتی‌متر محاسبه گردید. نمودار رگرسیون خطی بین مقادیر برآورد شده و اندازه‌گیری شده رسم گردید و به همراه توابع ارائه گردید. به منظور مقایسه و ارزیابی این توابع از پنج شاخص آماری، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، بازده مدل (EF)، خطای بیشینه (ME)، ضریب تعیین ($R^2$) و ضریب مقدار باقیمانده (CRM) استفاده گردید که از معادلات ۵ الی ۸ به دست می‌آیند (شهیدی، ۱۳۸۷؛ نجفی‌مود، ۱۳۹۱؛ پیری و همکاران، ۱۳۹۷).

(۵)

$$RMSE = \left(\frac{\sum_{i=1}^{n}(Pi - Oi)}{n}\right)^{1/2} \times \left(\frac{100}{\bar{O}}\right)$$

(۶)

$$EF = \frac{(\sum_{i=1}^{n}(Oi - \bar{O})^2 - \sum_{i=1}^{n}(Pi - Oi)^2)}{\sum_{i=1}^{n}(Oi - \bar{O})^2}$$

(۷)

$$ME \underset{i=1}{=} MAX\,|Oi - Pi|$$

(۸)

$$CRM = \frac{(\sum_{i=1}^{n}(Oi) - \sum_{i=1}^{n}Pi)}{\sum_{i=1}^{n}(Oi)}$$

در این معادلات O و P به ترتیب مقدار عملکرد اندازه‌گیری شده و برآورد شده از هر تیمار، $\bar{O}$ متوسط عملکرد اندازه‌گیری شده و n تعداد مشاهدات است.

ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) : نشان دهنده‌ی این است که چه مقدار از شبیه‌سازی‌ها بیشتر یا کمتر از مقادیر متناظر اندازه‌گیری شده است. خطای حداکثر (ME) نشان‌دهنده‌ی چگونگی اجرای مدل بوده و مقدار زیاد آن بیانگر کاربرد ضعیف مدل است. ضریب تعیین $R^2$ بیانگر نسبت پراکندگی مقادیر برآورد شده و اندازه‌گیری شده است. آماره EF مقادیر برآورد شده را با میانگین اندازه‌گیری شده مقایسه می‌کند و ضریب مقدار باقیمانده (CRM) نیز تمایل مدل در برآورد بیشتر یا کمتر از مقادیر اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد. مقدار منفی این آماره بیانگر برآورد بیشینه‌ی مدل است. چنانچه تمام مقادیر برآورد شده و اندازه‌گیری شده برابر گردند، آنگاه شاخص‌های RMSE ، $R^2$ ، EF ، ME و CRM به ترتیب برابر با صفر، یک، یک، صفر و صفر خواهد بود. حداقل مقدار ME، RMSE و $R^2$ صفر است و حداکثر مقدار EF برابر یک است (شهیدی، ۱۳۸۷؛ نجفی‌مود، ۱۳۹۱؛ شیرمحمدی‌علی‌اکبرخانی و همکاران، ۱۳۹۲؛ علی‌حوری، ۱۳۹۶؛ پیری، ۱۳۹۶؛ پیری و همکاران، ۱۳۹۷).

**تعیین شاخص‌های ارزیابی عملکرد ارقام پنبه**

پس از تعیین تابع تولید بهینه جهت بررسی اثرات کم‌آبی بر عملکرد دو رقم پنبه ورامین و خرداد از شاخص تولید نهایی نسبت به عمق آب آبیاری و شاخص ارزش تولید نهایی نسبت به عمق آب آبیاری استفاده گردید که برای محاسبه آن از روابط ۹ الی ۱۰ استفاده شد (شهیدی، ۱۳۸۷؛ نجفی‌مورد، ۱۳۹۱؛ پیری و همکاران، ۱۳۹۷).

شاخص تولید نهایی نسبت به عمق آب آبیاری (MPi):

(۹)

$$MP_i = \frac{d_y}{d_i}$$

شاخص ارزش تولید نهایی نسبت به عمق آب آبیاری (VMPi):

(۱۰)

$$VMP_i = P_C \times MP_i$$

در روابط فوق Pc قیمت واحد وزن محصول (۶۰ هزار ریال به ازای هر کیلوگرم وش پنبه بر اساس قیمت تضمینی ارائه شده از سوی جهادکشاورزی) است. در ابتدا برای عمق آبیاری بیشینه و کمینه پارامترهای فوق تعیین گردید و سپس تجزیه و تحلیل آن انجام شد و در ادامه با عمق متوسط آب آبیاری شاخص تولید نهایی و ارزش تولید نهایی نسبت به میانگین عمق آب آبیاری در دو رقم پنبه ورامین و خرداد محاسبه و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

## نتایج و بحث

ضرایب مربوط به هر تابع توسط نرم افزارSAS9.1 وبراساس رگرسیون چند متغیره برای هر دو رقم پنبه ورامین و خرداد محاسبه و در جدول ۴ ارائه گردید.

بر اساس ضرایب به دست آمده در جدول ۴ اشکال مختلف توابع برای شاخص عملکرد وش پنبه رقم ورامین و خرداد در جدول ۵ ارائه گردید.

نمودار رگرسیون مقادیر اندازه‌گیری شده و برآورد شده در شکل ۱ و ۲ و شاخص‌های آماری مورد نیاز ارزیابی اعتبار توابع به دست آمده برای عملکرد وش پنبه رقم ورامین و خرداد در جدول ۶ ارائه شده است. برای تعیین معناداری از آماره F استفاده شد. آمارهF نشان‌دهنده معنادار بودن کلی تابع است. چنانچه آزمون F معنادار باشد، نشان می‌دهد برازش کلی مدل رگرسیونی رسم شده و میزان باقی‌مانده‌های مدل در حد قابل قبولی است (Kiani and Abbasi., 2009). آماره F برای تمام توابع برازش داده شده معنی‌داربوده است، بنابراین توابع مورد بررسی می‌تواند تغییرات این شاخص را به خوبی برآورد نماید.

**جدول ٤- ضرایب توابع تولید آب – عملکرد ارقام پنبه**

| رقم پنبه | ضرایب تابع تولید | تابع تولید | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | تابع خطی | کاب‌داگلاس | درجه دوم | متعالی |
| ورامین | a | -۷۸۴/۳۳۴ | -۱۲۳۸۴ | -۲۰۵۷/۱۰۸ | -۸۷۴۴/۰۸۳ |
| | b | ۳۷/۶۸۲ | ۳۳۷۵/۱۵۹ | ۶۷/۲۹۱ | ۱۲/۰۱۹ |
| | c | - | - | -۰/۱۵۴ | ۲۳۱۱/۸۷۹ |
| | آماره F | ** | ** | ** | ** |
| خرداد | a | -۱۰۶۳/۱۷۴ | -۱۱۵۰۷ | ۳۵۴۳/۴۳۳ | ۲۹۱۶۸ |
| | b | ۳۶/۸۳۵ | ۳۱۰۰/۵۶۵ | -۷۰/۳۲۸ | ۱۳۴/۳۰۵ |
| | c | - | - | ۰/۵۵۹ | -۸۷۸۰/۶۱۲ |
| | آماره F | ** | ** | ** | ** |

** معنی‌دار بودن تابع در سطح احتمال ۱درصد

**جدول ٥- شکل های مختلف تابع برای شاخص عملکرد وش پنبه رقم ورامین و خرداد**

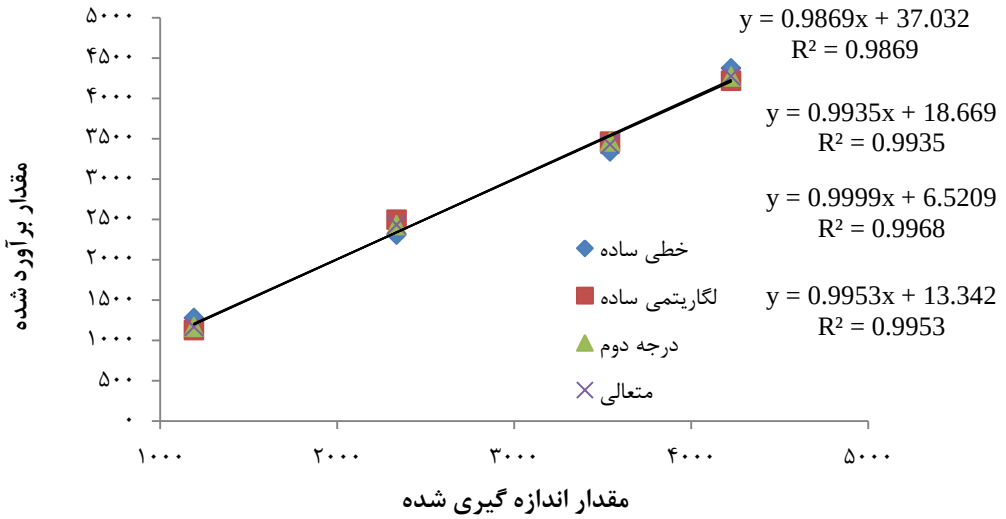
| | نوع تابع | توابع تولید |
|---|---|---|
| رقم ورامین | تابع ساده خطی | Y=-784.334+37.682x |
| | تابع لگاریتمی | Y=-12384+3375.159ln(x) |
| | تابع درجه دوم | $Y=-2057.108+67.291x-0.154x^2$ |
| | تابع متعالی | Y=-8744.083+12.019x+2311.879ln(x) |
| رقم خرداد | تابع ساده خطی | Y=-1063.174+36.835x |
| | تابع لگاریتمی | Y=-11507+3100.565ln(x) |
| | تابع درجه دوم | $Y=3543.433-70.328x+0.559x^2$ |
| | تابع متعالی | Y=29168+134.305x-8780.612ln(x) |

در مرحله بعد نسبت به رتبه‌بندی و تعیین تابع برتر در بین آنها اقدام گردید. نتایج جدول ۶ نشان داد که تابع درجه دوم با ضریب تعیین ۰/۹۹۷ و۰/۹۹۴ با کسب رتبه برتر به ترتیب به عنوان تابع برتر و بهینه برای محاسبه و برآورد عملکرد وش پنبه رقم ورامین و خرداد در منطقه سرایان معرفی می‌گردد. با توجه به اینکه هر چه مقادیر ME بزرگ‌تر باشد، نشان‌دهنده عملکرد ضعیف‌تر مدل در برآورد مقدار عملکرد محصول است، بنابراین از جدول یادشده می‌توان دریافت که تابع درجه دوم با داشتن کمترین ME بهترین برآورد را از عملکرد محصول پنبه رقم ورامین و خرداد داشته است. مقادیر زیاد ضریب تعیین $R^2$ و کارایی مدل EF نیز بیان کننده قاطعیت و کارایی زیاد تابع درجه دوم در برآورد مقادیرمد نظر است. نجفی‌مود (۱۳۹۱) بیان نمود تابع درجه دوم بهترین برآورد را از میزان عملکرد وش پنبه رقم ورامین و خرداد ، نسبت به سه تابع دیگر دارد و تابع درجه دوم می‌تواند به عنوان تابع برتر تولید وش در شرایط توام شوری و کم-آبیاری برای پنبه در منطقه بیرجند معرفی گردد.

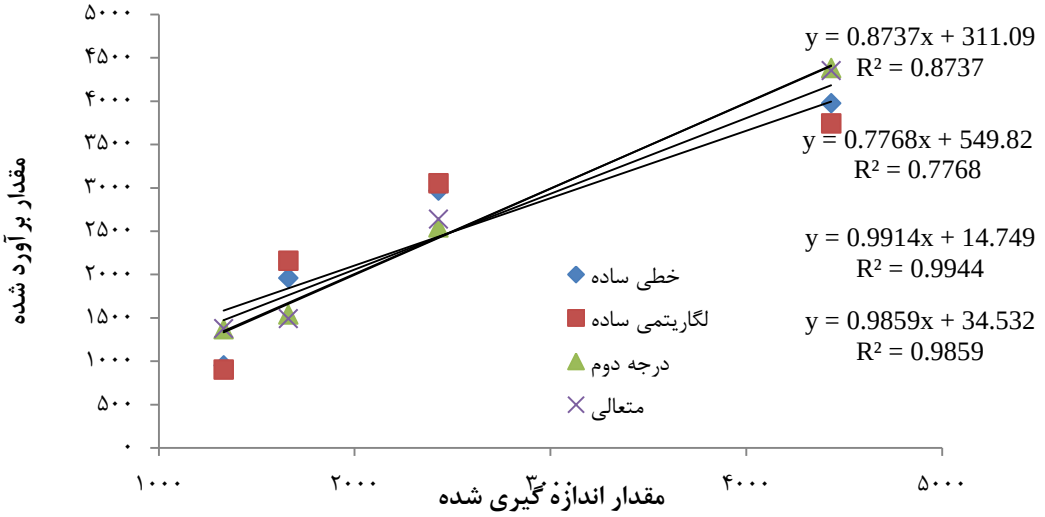
پیری (۱۳۹۶) طی تحقیق تنش آبی بر محصول پیاز در منطقه سیستان، تابع درجه دوم را به عنوان تابع برتر معرفی کرد. رضایی و همکاران (۱۳۸۶) طی پژوهش تنش آبی بر محصول ذرت علوفه‌ای تابع درجه دوم را به عنوان تابع عملکرد عمق آبیاری معرفی کردند. موسوی فضل و همکاران (۱۳۹۶) در تحقیق خود درباره تعیین تابع برتر تولید عملکرد – آب – کود برای گیاه سورگوم به نتایج مشابهی دست یافتند و تابع درجه دوم را به عنوان تابع برتر انتخاب کردند.

## تعیین شاخص‌های ارزیابی عملکرد ارقام پنبه نسبت به عمق آب آبیاری

شاخص تولید نهایی نسبت به عمق آب آبیاری (MPi) برای دو رقم پنبه که ناشی از خروجی مدل درجه دوم است در جدول۷ ارائه گردید. مقادیر شاخص‌های ارزیابی با استفاده از میانگین عمق آب آبیاری نیز در ادامه جدول ۸ ارائه شده است.




**شکل ۱- نمودار رگرسیون مقادیر اندازه‌گیری شده و برآورد شده عملکرد وش پنبه رقم ورامین**




**شکل ۲- نمودار رگرسیون مقادیر اندازه‌گیری شده و برآورد شده عملکرد وش پنبه رقم خرداد**

**جدول ٦- شاخص‌های آماری محاسبه شده برای ارزیابی اعتبار توابع تولید آب – عملکرد**

| | نوع تابع | ME | RMSE | $R^2$ | EF | CRM | میانگین رتبه‌ها | رتبه نهایی |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| رقم ورامین | تابع ساده خطی | (۴)۲۰۳/۴۲ | (۴)۴/۷۰۶ | (۴)۰/۹۸۷ | (۴)۰/۹۸۷ | (۴)۰/۰۰۰۰۲ | ۴ | ۴ |
| | تابع لگاریتمی | (۳)۱۵۵/۹۲ | (۳)۳/۳۲۲ | (۳)۰/۹۹۴ | (۳)۰/۹۹۳ | (۲)-۰/۰۰۰۰۸ | ۲/۸ | ۳ |
| | تابع درجه دوم | (۱)۹۱/۸۶ | (۱)۲/۳۲۹ | (۱)۰/۹۹۷ | (۱)۰/۹۹۷ | (۱)-۰/۰۰۲۲۳ | ۱ | ۱ |
| | تابع متعالی | (۲)۱۱۶/۴۹ | (۲)۲/۸۲۵ | (۲)۰/۹۹۵ | (۲)۰/۹۹۵ | (۳)۰/۰۰۰۰۱ | ۲/۲ | ۲ |
| رقم خرداد | تابع ساده خطی | (۳)۵۳۹/۲۱ | (۳)۱۷/۳۸۶ | (۳)۰/۸۷۴ | (۳)۰/۸۷۴ | (۱)۰/۰۰۰۰۳ | ۲/۶ | ۳ |
| | تابع لگاریتمی | (۴)۶۹۱/۳۸ | (۴)۲۳/۱۱۵ | (۴)۰/۷۷۷ | (۴)۰/۷۷۷ | (۲)۰/۰۰۰۰۵۷ | ۳/۶ | ۴ |
| | تابع درجه دوم | (۱)۱۲۴/۸۶ | (۱)۳/۶۵۹ | (۱)۰/۹۹۴ | (۱)۰/۹۹۴ | (۴)۰/۰۰۲۶۴ | ۱/۶ | ۱ |
| | تابع متعالی | (۲)۲۰۸/۸۸ | (۲)۵/۸۱۷ | (۲)۰/۹۸۶ | (۲)۰/۹۸۶ | (۳)۰/۰۰۰۱۳ | ۲/۲ | ۲ |

**جدول ۷- شاخص تولید نهایی (MPi) عملکرد ارقام پنبه نسبت به عمق آب آبیاری (رقم ورامین و خرداد)**

| متغییر | دامنه تغییرات | پنبه رقم ورامین | پنبه رقم خرداد |
|---|---|---|---|
| I(cm) | **Min=**۵۴/۷۱ | ۵۰/۴۴ | -۹/۱۶ |
| | **Max=**۱۳۶/۷۷۵ | ۲۵/۱۷ | ۸۲/۵۵ |

نتایج جدول نشان داد که شاخص تولید نهایی نسبت به عمق آب آبیاری به ازای حداقل عمق آب آبیاری (۵۴/۷۱ سانتی‌متر) و حداکثر عمق آبیاری (۱۳۶/۷۷۵سانتی‌متر) برای پنبه رقم ورامین معادل ۵۰/۴۴ و ۲۵/۱۷ کیلوگرم به ازای هر یک سانتی‌متر آب است. برای رقم خرداد شاخص تولید نهایی نسبت به عمق آب آبیاری به ازای حداقل عمق آب آبیاری (۵۴/۷۱ سانتی‌متر) و حداکثر عمق آبیاری (۱۳۶/۷۷۵سانتی‌متر) برای پنبه رقم خرداد ۹/۱۶۲- و ۸۲/۵۵ است. عدد منفی نشان‌دهنده کاهش عملکرد در ازای کاهش عمق آب آبیاری در شرایط آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه پنبه رقم خرداد است و نشان می‌دهد حساسیت پنبه رقم خرداد به کم‌آبی بیشتر و رقم ورامین به کم‌آبی مقاومتر است.

در ادامه جدول ۸ مقادیر شاخص تولید نهایی و شاخص ارزش تولید نهایی نسبت به عمق آب آبیاری با استفاده از میانگین عمق آب آبیاری (۹۵/۷۴ سانتی‌متر) محاسبه گردید. در این حالت مقدار تولید نهایی پنبه رقم ورامین ۳۷/۸۰ است که بیانگر این قضیه است که با افزایش یک سانتی‌متر آب آبیاری عملکرد پنبه رقم ورامین به طور متوسط ۳۷/۸۰ کیلوگرم در هکتار افزایش پیدا می‌کند. برای پنبه رقم خرداد مقدار شاخص تولید نهایی ۳۶/۷۱ بود که بیانگر این موضوع است که با افزایش یک سانتی‌متر آب آبیاری عملکرد پنبه رقم خرداد به طور متوسط ۳۶/۷۱ کیلوگرم در هکتار افزایش پیدا کرد. مقایسه شاخص نشان داد که با افزایش یک سانتی‌متر عمق آب آبیاری افزایش محصول و عملکرد در رقم ورامین بیشتر از رقم خرداد است.

**جدول ۸- مقادیر شاخص‌های ارزیابی با استفاده از میانگین عمق آب آبیاری= ۹۵/۷٤ (سانتی‌متر)**

| نوع شاخص | پنبه رقم ورامین | پنبه رقم خرداد |
|---|---|---|
| $MP_i(Kg/cm)$ | ۳۷/۸۰ | ۳۶/۷۱ |
| $VMP_i(RLS)$ | ۲۲۶۸۱۸۵ | ۲۲۰۲۷۲۷ |

با توجه به قیمت خرید تضمینی پنبه در سال ۱۳۹۷ با نرخ ۶۰۰۰۰ ریال برای هر کیلو وش پنبه، مقادیر ارزش تولید نهایی نسبت به عمق آب آبیاری (VMPi) برای پنبه رقم ورامین و خرداد محاسبه گردید. نتایج نشان داد مقادیر ارزش تولید نهایی نسبت به عمق آب آبیاری (VMPi) برای پنبه رقم ورامین معادل ۲۲۶۸۱۸۵ ریال محاسبه شد. در واقع به این معنا است که به ازای هر یک سانتی‌متر عمق آب آبیاری، درآمد حاصل از افزایش تولید نهایی نسبت به عمق آب آبیاری (VMPi) برای پنبه رقم ورامین معادل ۲۲۶۸۱۸۵ ریال محاسبه شد. در واقع به این معنا است که به ازای هر یک سانتی‌متر عمق آب آبیاری، درآمد حاصل از افزایش تولید نهایی نسبت به عمق آب آبیاری (VMPi) برای پنبه رقم خرداد ۲۲۰۲۷۲۷ ریال محاسبه گردید.

## نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج تحقیق حاضر می‌توان گفت بر اثر تغییرات آب آبیاری تابع درجه دوم نسبت به سایر توابع برآورد بهتری از عملکرد وش پنبه رقم ورامین و خرداد در منطقه سرایان دارد. در بررسی شاخص‌های ارزیابی عملکرد ارقام پنبه، شاخص تولید نهایی پنبه نسبت به عمق آب آبیاری نشان داد که به طور متوسط با افزایش یک سانتی‌متر آب آبیاری عملکرد پنبه رقم ورامین به طور متوسط ۳۷/۸۰ کیلوگرم در هکتار و رقم خرداد ۳۶/۷۱ کیلوگرم در هکتار افزایش پیدا کرد و مقایسه این ارقام بیانگر این موضوع است پنبه رقم ورامین در برابر کم‌آبی مقاوم‌تر و از نظر اقتصادی کشت آن در منطقه سرایان مقرون به صرفه‌تر است.

مقادیر ارزش تولید نهایی نسبت به عمق آب آبیاری (VMPi) برای پنبه رقم ورامین معادل ۲۲۶۸۱۸۵ ریال محاسبه شد. در واقع به این معنا است که به ازای هر یک سانتی‌متر عمق آب آبیاری، درآمد حاصل از افزایش تولید ۲۲۶۸۱۸۵ ریال خواهد بود. این مقدار برای پنبه رقم خرداد ۲۲۰۲۷۲۷ریال محاسبه گردید. مقایسه این ارقام بیانگر این موضوع است که پنبه رقم ورامین در برابر کم‌آبی مقاوم‌تر و از نظر اقتصادی کشت آن در منطقه سرایان مقرون به صرفه‌تر است. پیشنهاد می‌گردد در راستای کاهش اثرات تنش خشکی از مواد اصلاح‌کننده بافت خاک مانند بیوچار،کودهای آلی و زئولیت استفاده گردد و میزان تاثیر این مواد بر کاهش اثرات تنش خشکی مورد بررسی قرار گیرد و حد بهینه آن نیز تعیین گردد. از طرفی چون شرایط عملی آبیاری و اعمال عمق های مختلف آبیاری با شرایط کارهای تحقیقاتی متفاوت است (زیرا در کارهای پژوهشی سطح کرت ها کوچک و اعمال عمق های متفاوت آبیاری امکانپذیر است اما در شرایط زراعی به دلیل بزرگ بودن قطعات خضوضا در مقادیر عمق های کم آبیاری، مشکل توزیع یکنواخت را خواهیم داشت) لذا توصیه می شود در شرایط مزرعه از روشهای آبیاری قابل کنترل مانند Tape استفاده شود.

## منابع


پیری، ح. ۱۳۹۶. تعیین تابع تولید آب- کود نیتروژن و ارزیابی شاخص‌های تولید پیاز در منطقه زهک سیستان و بلوچستان. نشریه مدیریت آب و آبیاری. ۷. ۲:۲۸۷-۳۰۴.

پیری، ح.، انصاری، ح.، و پارسا، م. ۱۳۹۷. تعیین تابع تولید آب- شوری- عملکرد با در نظر گرفتن زمان برداشت علوفه و ارزیابی شاخص‌های تولید در ذرت خوشه‌ای. فصلنامه مهندسی منابع آب. ۱۱. ۳۸: ۱۵-۲۶.

حبیبی، م.، عبدی، م. و مهرپویان، م. ۱۳۹۲. مطالعه خصوصیات کیفی علوفه در دو رقم سورگوم علوفه‌ای اسپیدفید و پگاه تحت شرایط کم‌آبی. دومین همایش ملی مباحث کشاورزی نوین. ساوه. ایران.

رضایی، ع.، فرحبخش، ح.، صمدی، ح.، حسینی، ف.، و میرزاهاشمی، م. ۱۳۸۶. تعیین تابع تولید ذرت علوفه‌ای نسبت به آب در کرمان. نهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر. بهمن ماه، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

شمس‌بیرانوند، م.، برومندنسب، س.، ملکی، ع.، و دانشور، م. ۱۳۹۴. تاثیر کم‌آبیاری بر عملکرد و برخی صفات دانه سه رقم سویا در منطقه خرم‌آباد. نشریه علوم و مهندسی آبیاری. ۳۸. ۳: ۱۳-۲۱.

شهیدی، ع.۱۳۸۷. اثر بر هم کنش کم آبیاری و شوری بر عملکرد و اجزاء عملکرد ارقام گندم با تعیین تابع تولید آب و شوری در منطقه بیرجند. رساله دکتری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز.

شهیدی، ع.، احمدی، م. ۱۳۹۴. توابع تولید گیاهی در مناطق خشک (چاپ اول). مشهد: انتشارات دانشگاه بیرجند.

شیرمحمدی‌علی‌اکبر خانی، ز.، انصاری، ح.، علیزاده، ا.، و کافی، م. ۱۳۹۲. ارزیابی توابع تولید آب- شوری- عملکرد در ذرت علوفه‌ای در استان خراسان رضوی. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۴. ۷:۵۳۵-۵۴۳.

علی‌حوری، م. ۱۳۹۶. تعیین تابع تولید برتر آب-شوری-عملکرد ماده خشک در دوره رشد رویشی خرما. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۲۴. ۳:۲۵۱-۲۶۶.

کیانی، ع.، همایی، م.، میرلطیفی، م. ۱۳۸۵. ارزیابی توابع کاهش عملکرد گندم در شرایط توام شوری و کم‌آبی. نشریه علوم آب و خاک. ۲۰. ۱: ۷۳-۸۳.

موسوی‌فضل ح.، اخیانی، ا.، و عطاردی، ا. ۱۳۹۶. اثر آب آبیاری و کود پتاسیم بر عملکرد سورگوم علوفه‌ای با هدف تعیین تابع تولید آب کود ( رقم پگاه). علوم و مهندسی آبیاری اهواز. ویژه‌نامه بهار. ۴۰. ۱-۱: ۸۳-۹۷.

نجفی‌مود، م. ح. ۱۳۹۱. تأثیر شوری و کم آبیاری بر عملکرد و اجزای کمی و کیفی عملکرد ارقام پنبه و تعیین توابع برتر تولید. رساله دکتری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

نخعی‌نژادفرد، س.، زهتابیان، غ.، ملکیان، آ.، و خسروی، حسن. ۱۳۹۶. بررسی تغییرات زمانی و مکانی کمیت و کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت سرایان در خراسان‌جنوبی. فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران. ۲۴. ۲: ۲۶۷-۲۷۸.

Kiani, A. R., and Abbasi, F. 2009. Assessment of the water–salinity crop production function of wheat using experimental data of the Golestan province, Iran.Irrigation and Drainage. 58: 445-455.

Liu, W. Z., Hansaker, D. J., Li, Y. S., Xie, X. Q., and Wall, G. W. 2002. Interrelation of yield, evapotranspiration, and water use efficiency from marginal analysis of water production functions. Agriculture. Water Manage. 56: 143-151.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 1, Vol. 14, Apr.-May. 2020, p. 301-309

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۱، جلد ۱۴، فروردین - اردیبهشت ۱۳۹۹، ص. ۳۰۹-۳۰۱

# Determination of Optimal Water-Yield Production Function and Evaluation of Cotton Production Indices of Varamin and Khordad Cultivars in Sarayan Area of South Khorasan

**A. Shahidi[1]*, F. Bahrami[2], M.H. Najafi Mood[3], A. KhasheiSiuki[4]**
Recived: Jun.02, 2019 Accepted: Sep.15, 2019

## Abstract

This research was carried out to determine the optimal water-yield function for cotton plant and to evaluate the cotton production indices in a factorial based on a completely randomized block design with three replications for one year in Sarayan area. The research factors included four levels of I1, I2, I3 and I4 irrigation depths of 50, 75, 100 and 125% of the plant water requirement as the main factor and two cotton cultivars (V1Varamin and V2Khordad) as a sub factor. The best production function was selected from four production functions (linear, CubbDuglass, Quadratic, and Transcendental) for two cotton cultivars. For both cotton varieties of Varamin and Khordad, the second-order function was selected as the optimal production function. The average final production index for irrigation water in Varamin was 37.80 kg / ha for irrigation water depth per centimeter and 36.71 for cotton in Khordad. The final production value of irrigation water (VMPi) for cotton in the Varamin variety was equal to 2268185 Rials and for cotton in Khordad 2202727 Rials. Comparison of these figures indicates that Varamin cotton is more resistant to water shortage and more economical in terms of cultivating it in Sarayan area.

**Keywords:** Cotton, Production function, Sarayan, Performance appraisal index, Deficit irrigation

1- Associate Professor, Department of Sciences and Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand
2- M.Sc. Student, Department of Sciences and Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand
3- Assistant Professor, Department of Sciences and Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand
4- Associate Professor, Department of Sciences and Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand
(*- Corresponding Author Email: ashahidi@birjand.ac.ir)