

ارزیابی سامانه آبیاری بارانی اراضی تحت کشت سد حسنلو

بهزاد حصاری^{۱*} و مریم محمدپور^۲

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۱/۱۴ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۵/۰۵

۱- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و پژوهشکده مطالعات دریاچه ارومیه، دانشگاه ارومیه
۲- دکتری مهندسی منابع آب، پژوهشکده مطالعات دریاچه ارومیه، دانشگاه ارومیه
* آدرس پست الکترونیک مسئول مکاتبات: b.hesari@urmia.ac.ir

چکیده

بخش کشاورزی بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب در ایران بوده و با محدود شدن منابع آب، نیاز به افزایش کارایی مصرف آن ضروری است. شبکه آبیاری و زهکشی حسنلو به‌عنوان قسمتی از پروژه بزرگ شبکه آبیاری-زهکشی دشت نقره، یکی از بزرگ‌ترین طرح‌های کشور در زمینه توسعه سامانه‌های آبیاری تحت فشار است. اراضی شبکه حسنلو بر اساس فشار موجود به سامانه‌های آبیاری بارانی، سطحی و هیدروفلوم مجهز شده است. در این تحقیق از سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی به‌عنوان ابزاری جهت جمع‌آوری، مدیریت، پردازش و نمایش اطلاعات مکانی در فاز اول پروژه حسنلو در ارزیابی مدیریت آب این طرح استفاده شد. برای این منظور ابزاری برای محاسبه ضریب یکنواختی و ضریب یکنواختی توزیع در آبیاری بارانی طراحی و برای شبیه‌سازی و ارزیابی یکنواختی تک رایزر یا چند رایزر در سامانه GIS تهیه و الحاق شد. همچنین داده‌برداری میدانی آبدهی آبپاش‌ها و فشار واقعی زمان بهره‌برداری انجام پذیرفت. نتایج نشان داد فشار سر آبپاش‌ها به‌طور مکانی-زمانی از ۰/۵ تا ۳/۹ بار متغیر و ضریب یکنواختی پروژه کمتر از ۵۰٪ بوده که بیانگر مدیریت ضعیف آبیاری بارانی در این پروژه بوده و همچنین در بین بهره‌برداران از رضایت نسبی حداقلی برخوردار است.

واژه‌های کلیدی: آبیاری بارانی ثابت، ضریب پخشیدگی، ضریب یکنواختی، مدل بیلدر، ArcGIS

Evaluating Sprinkler Irrigation System of Hasanlo Dam Irrigation network

B Hessaria^{1*} and M Mohammadpourb²

Received: April 3, 2017

Accepted: July 27, 2019

¹Assist. Prof., Department of Water Engineering, Agriculture Factually and Urmia Lake Research Institute, University of Urmia, Iran

²Ph.D. Graduate of Water Resources Engineering Urmia Lake Research Institute, University of Urmia, Iran

*Corresponding Author, E-mail: b.hesari@urmia.ac.ir

Abstract

Agricultural sector is the greatest user of water in Iran, and increase of the consumption efficiency is necessary by considering the limited water resources in the recent years. Hasanlu irrigation and drainage networks as a part of a larger project of Naghdi plan is one of the country's largest projects in the field of development of pressurized irrigation systems. Hasanlu network supplies water to the systems of sprinklers, surface gravity irrigation, and hydroflums based on the available pressure head at the relevant sites. In this research, geographic information systems were used as a framework for storing, management, processing, analyzing and visualization of spatial information of Hasanlo project phase 1 to evaluate water management of this plan. For this purpose, the coefficient of uniformity and distribution uniformity in sprinkler irrigation calculation toolbox developed and added to GIS as an extension, to simulate and evaluate the single or multi riser uniformity tests. Also, the risers discharge and application pressure were recorded at the site during the operation of the project. Results indicated that the pressure of risers varied from 0.5 to 3.9 bar and average Christiansen's coefficient of uniformity (CU) was under 50% that indicated poor water management in the farm level. Also, the satisfaction of stakeholders was in medium level.

Keywords: ArcGIS, Distribution Coefficient, Fixed Sprinkler Irrigation, Model Builder, Uniformity Coefficient.

کشاورزان داشته است. از طرفی سامانه‌ها و شبکه‌های آبیاری شامل مجموعه‌ای از اجزای مختلف بوده و تحت

تأثیر پارامترهای مختلفی مانند پارامترهای فنی، اقتصادی، اجتماعی، مدیریتی، زراعی و زیست‌محیطی می‌باشند. هر یک از این پارامترها تأثیر درونی و بیرونی خاصی در بهبود عملکرد سامانه و بهره‌وری آب کشاورزی دارند. از این رو هر روش یا ابزاری که امکان سنجش این پارامترها را فراهم نماید، مفید می‌باشد. یکی از ابزارهای مدیریتی که در بسیاری از کشورهای دنیا به صورت گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد ارزیابی عملکرد سامانه‌های آبیاری و زهکشی است (احسانی و خالدی ۲۰۰۳). در کشور ما نیز با

مقدمه

چالش آب برای غذا در قرن ۲۱ نیاز به استفاده بهینه از منابع آب را اجتناب‌ناپذیر کرده است. رشد روزافزون جمعیت به همراه افزایش مصرف‌کنندگان، تغییر اقلیم و اثرات آن بر منابع آب و پایین بودن بهره‌وری آب اهمیت استفاده بهینه از منابع آب را در مناطق خشک دوچندان کرده است.

در دهه‌های اخیر سامانه‌های آبیاری بارانی به دلیل داشتن فواید زیاد از جمله صرفه‌جویی در مصرف آب، قابلیت اجرا در توپوگرافی‌های ناهموار با شیب صفر تا ۱۲٪، انعطاف‌پذیری بالا و مکانیکی بودن، کنترل راحت‌تر شرایط اقلیمی گیاه و غیره توسعه زیادی بین

صرف نظر از نوع یا کم و کیف آن در مقاطع مختلف زمانی نیاز به بازنگری، ارزیابی و بررسی مجدد دارد. بدیهی است انجام این مهم از راه بهره‌گیری از سامانه‌های مکانیزه امکان‌پذیر خواهد بود. شوکت نقده (۲۰۰۶) با ارائه یک برنامه کامپیوتری در قالب یک بانک اطلاعاتی، عملکرد شبکه آبیاری و زهکشی مهاباد را از دیدگاه‌های مختلف ارزیابی کرد. ایشان نشان دادند نمره عملکرد و اعتبار ارزیابی کل شبکه به ترتیب در طبقه خوب و بسیار خوب قرار دارد.

احیا اراضی نامناسب، افزایش بهره‌وری از اراضی موجود و توسعه کشت مکانیزه به همراه شبکه‌های آبیاری از جمله دست آورده‌های سال‌های اخیر به شمار می‌رود. در مجموعه شبکه‌های آبیاری، شبکه‌های تحت فشار از پیچیدگی بیشتری برخوردار هستند. هنگامی که چنین شبکه‌ای در اراضی وسیعی اجرا شود با افزایش تعداد قطعات زمین، تعداد شیرها و دیگر عوامل مؤثر، مدیریت و نیز تصمیم‌گیری دشوارتر خواهد شد. در چنین شرایطی برای مدیریت بهینه منابع و تخصیص بجای آن‌ها، راه‌حل اساسی در به‌کارگیری سامانه GIS به‌عنوان ابزار مدیریت، بهره‌برداری و تعمیر و نگهداری شبکه آبیاری تحت فشار، منتهی خواهد شد (محمودیان ۲۰۰۲). نکته دیگری که می‌بایست در شبکه‌های آبیاری بدان توجه گردد این است که آماده‌سازی داده‌ها برحسب نقشه‌های کاغذی مستلزم ارتباط مداوم با کارفرما است، چراکه بسیاری از داده‌ها تا هنگام ورود به سیستم مورد ارزیابی دقیق قرار نگرفته‌اند. تعدادی از کدها ممکن است تکراری بوده و یا ترکیب کدهای دیگر منجر به تولید کد تکراری گردد. از سوی دیگر معمولاً اطلاعات نقشه‌ای مربوط به فاز طراحی است، ولی ضمن اجرا تغییراتی در طرح داده می‌شود. بنابراین لازم است اطلاعات زمان اجرا در اختیار گروه آماده‌سازی اطلاعات قرار گیرد. در این صورت طول برخی از لوله‌ها تغییر یافته و بعضاً قطر آن‌ها نیز ممکن است با طراحی تفاوت داشته باشد. بدین

توجه به گسترش روزافزون شبکه‌های تحت فشار، ضروری است ارزیابی عملکرد این سامانه‌ها مورد توجه قرار گیرد. در مراحل برنامه‌ریزی و طراحی، وضعیت و شرایطی که قرار است در آن‌ها اهداف طرح تحقق یابند بایستی مورد ارزیابی قرار گیرند تا مشخص شود که در آن وضعیت، آیا اهداف طرح تحقق می‌پذیرند یا در راه نیل به آن‌ها موانع و مشکلاتی وجود دارد (پیری و همکاران ۲۰۱۲).

ارزیابی عملکرد سامانه‌های آبیاری اجرا شده می‌تواند کمک مؤثری در بهبود وضعیت موجود و اعمال تغییرات لازم در سطوح در دست اجرا داشته باشد. مدل‌سازی با سامانه GIS، علاوه بر ذخیره‌سازی اطلاعات در قالب یک بانک اطلاعاتی می‌تواند کمک مؤثری برای مدیران و بهره‌برداران باشد. با استفاده از این تکنیک‌ها، ارزیابی فنی و مدیریتی به راحتی قابل انجام بوده و در وقت و هزینه صرفه‌جویی خواهد شد. ایقبال و مستوراکیس (۲۰۱۵) عملکرد سامانه‌های آبیاری بارانی را با RS و GIS در پاکستان مورد ارزیابی قرار دادند. ونتینگ و پوته (۲۰۱۱) در یک تحقیق به توسعه نرم‌افزاری ارزیابی آبیاری بارانی تاکید کردند. آهانکو (۲۰۱۰) با ارزیابی عملکرد سامانه‌های آبیاری بارانی در نیجریه بر نقش مؤثر ارزیابی سامانه‌های آبیاری در بهبود عملکرد آن‌ها تاکید کردند. کیانی و همکاران (۲۰۰۶) با معرفی قابلیت‌ها و توانایی‌هایی سامانه اطلاعات جغرافیایی علاوه بر شناسایی عوامل مؤثر در بهره‌برداری و نگهداری از شبکه‌ها، بانک اطلاعاتی GIS شبکه‌های آبیاری و زهکشی مغان، زرینه‌رود و تجن را تهیه نمودند. صمدی بهرامی و همکاران (۲۰۰۶) سیستم مدیریت تحویل آب شبکه آبیاری و زهکشی دشت تبریز را در سامانه GIS و پایگاه داده و برنامه‌نویسی جداگانه‌ای در محیط ویژوال بیسیک ارائه کرده‌اند.

ارزیابی سامانه‌های آبیاری نقش مؤثری در اصلاح و مدیریت سامانه‌های آبیاری دارد. هر پروژه‌ای

از نوع سامانه آبیاری بارانی ثابت می‌باشد. سامانه طرح حسنلو شامل سد مخزنی برای ذخیره‌سازی آب رودخانه گدار، بند انحرافی نرده و کانال انتقال آب برای انحراف و انتقال آب به مخزن سد و زهکش اصلی دشت و شبکه آبیاری و زهکشی حسنلو است. این طرح یکی از بزرگ‌ترین طرح‌های کشور در زمینه توسعه سامانه‌های آبیاری تحت فشار است. تحقیق حاضر شامل ارزیابی فاز اول طرح بود که دارای مساحت ۵۸۰ هکتار اجرا و بهره‌برداری شده بود. سطح کل این اراضی حدود ۸۰۱۸ هکتار ناخالص و حجم آب تخصیص‌یافته در شرایط نرمال در حدود ۵۳/۷ میلیون مترمکعب پیش‌بینی شده است. اندازه، شکل و قطعه‌بندی واحدهای مزرعه به‌ندرت دارای شکل منظم هندسی می‌باشند. با در نظر گرفتن فشار ۲/۵ اتمسفر برای آبیاری بارانی محدوده تحت پوشش این سیستم تعیین شده است. بدین منظور در قطعات زراعی که فشار خروجی از آبگیر بیش از ۳ اتمسفر می‌باشد و وضعیت زمین به لحاظ توپوگرافی به نحوی است که کمینه فشار ۲/۵ اتمسفر قابل تأمین است، روش آبیاری بارانی پیشنهاد شده است. در قطعاتی که فشار خروجی از آبگیر بین ۲۰ الی ۳۰ متر و وضعیت توپوگرافی در آن‌ها به نحوی است که در قطره‌چکان‌ها فشار ۱۰ متر تأمین شود، آبیاری به روش قطره‌ای انجام می‌شود. جهت تأمین آب مورد نیاز شبکه سامانه‌های آبیاری تحت فشار سد حسنلو از دو ایستگاه پمپاژ واقع در قسمت شمال به ظرفیت ۳/۴۸ مترمکعب بر ثانیه و شمال غرب به ظرفیت ۱/۹۳ مترمکعب بر ثانیه دریاچه سد حسنلو استفاده شده است (بی نام ۲۰۱۰).

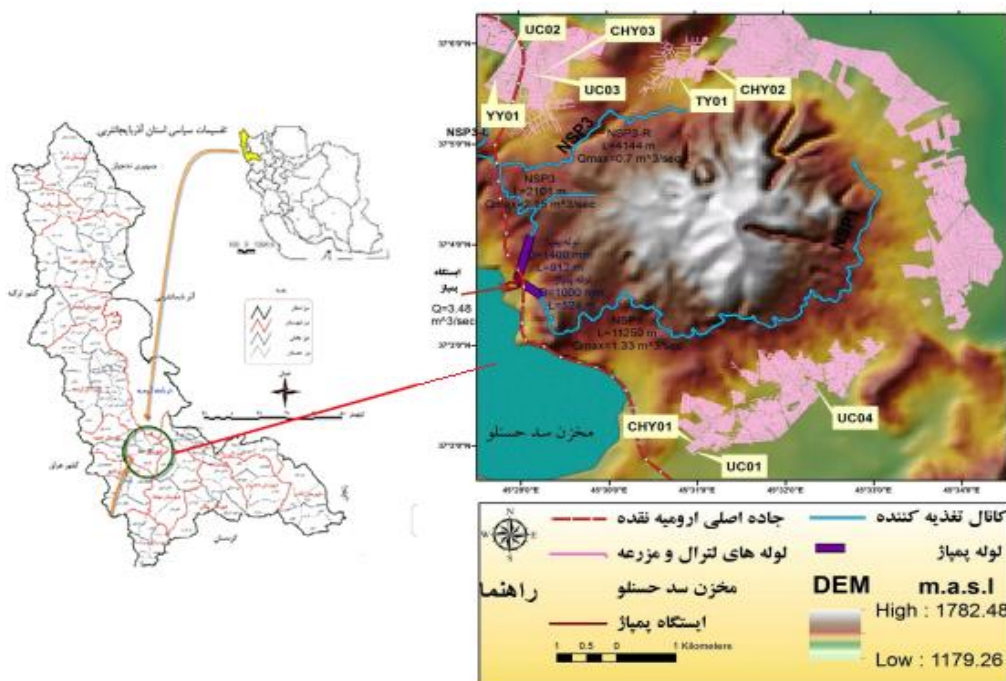
ترتیب پیش از اعلام زمان و هزینه آماده‌سازی اطلاعات می‌بایست موارد ذکر شده را مدنظر قرارداد (محمودیان ۲۰۰۲).

در مدیریت بهره‌برداری و نگهداری سامانه‌های آبیاری تحت فشار، اطلاعات متعددی از منابع گوناگون در بازه‌های زمانی متفاوت جمع‌آوری می‌شوند. برای اعمال مدیریت صحیح لازم است کلیه این اطلاعات در قالب یک بانک اطلاعاتی به‌صورت منسجم و یکپارچه درآمده، به هنگام شده و با تحلیل و پردازش آن‌ها در فرآیند تصمیم‌گیری به کار گرفته شوند. سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) به‌عنوان ابزاری جهت جمع‌آوری، مدیریت، پردازش و نمایش اطلاعات مکانی و غیرمکانی می‌تواند در این راه به خدمت گرفته شوند.

با توجه به مطالب فوق، هدف از این تحقیق ارزیابی مدیریت آبیاری بارانی سد حسنلو با استفاده از سامانه GIS است که می‌تواند نقش مؤثری در بهبود وضعیت موجود و ایجاد تغییرات لازم در نحوه اجرای سامانه‌های آبیاری در آینده داشته باشد.

مواد و روش‌ها

طرح شبکه آبیاری تحت فشار حسنلو در استان آذربایجان غربی و در جنوب غرب دریاچه ارومیه، در شمال شرقی شهرستان نرده و در ۱۰ کیلومتری آن، با مساحت ۵۸۰ هکتار (در زمان انجام این مطالعه) واقع شده است. این شبکه در عرض شمالی ۳۶°۲۵' تا ۳۷° ۱۰' و طول شرقی ۴۴° ۴۵' تا ۴۵° ۴۰' گسترش یافته است. در شکل ۱ موقعیت طرح نشان داده است. پروژه آبیاری حسنلو از نظر سامانه آبیاری بارانی



شکل ۱- موقعیت شبکه آبیاری حسنلو و محل آزمایش‌های یکنواختی توزیع آب.

جهت بررسی کلی وضعیت آب هوایی منطقه، اطلاعات بارش و تبخیر سد حسنلو طی دوره آماری ۲۵ ساله منتهی

به ۹۴ به شرح جداول ۱ و ۲ ارائه شده است.

جدول ۱- بارش بلندمدت ایستگاه نقده.

پارامتر آماری	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریو	سالانه
میانگین (mm)	۹.۷	۵۰/۹	۳۵/۸	۳۰/۹	۳۳/۶	۴۵/۷	۵۵/۷	۴۴/۶	۸/۳۷	۲/۹	۱/۴۳	۲/۹۳	۳۲۲
بارش ماهانه (%)	۳	۱۵/۸۲	۱۱/۱	۹/۶	۱۰/۴	۱۴/۲	۱۷/۳	۱۳/۸۵	۲/۶	۰/۹	۰/۴۴	۱/۲۲	۱۰۰
	پاییز		زمستان		بهار			تابستان					
	۲۹/۹۷		۳۴/۲۵		۳۳/۷۴			۲/۵۷					

جدول ۲- تبخیر از سطح آزاد آب سد حسنلو.

پارامتر آماری	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریو	سالانه
تبخیر از سطح تشنگ (mm)	۱۴۱/۲	۶۷/۸	۱۰/۹	۰/۸	۰/۸	۰/۸	۱۰/۶۷	۱۵/۸۵	۲۲۴/۲	۲۶۲/۸	۲۶۹/۵	۲۲۱	۱۴۶۵/۱
ضریب تشنگ منتخب Kp	۰/۵۹	۰/۶	۰/۶۲	۰/۶۳	۰/۶۳	۰/۶۴	۰/۶۵	۰/۶۷	۰/۷۱	۰/۷	۰/۶۴	۰/۵۹	۰/۶۳۹
تبخیر از سطح آزاد آب (mm)	۸۳/۳	۴۰/۷	۶/۷	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۶۹/۴	۱۰/۶۲	۱۵۹/۲	۱۸۴	۱۷۲/۵	۱۳۰/۵	۹۵۳/۹

منابع آماری و آماده‌سازی

در این طرح برای پروژه آبیاری بارانی بهره‌برداری شده حسنلو در فاز یک، نقشه‌های توپوگرافی، اطلاعات ایستگاه‌های پمپاژ، کانال‌ها، خطوط اصلی و فرعی، نقشه‌های خاک‌شناسی، نقشه محصولات و الگوی کشت، مشخصات ملکی، مشخصات هیدرولیکی

و فنی طراحی و اجرا شده شامل فایل‌های طراحی، نقشه‌ها و نقشه‌های اجرا شده، اطلاعات خطوط لوله‌های اصلی و فرعی و مشخصات هیدرانت‌ها-آپاش‌ها- جمع‌آوری و در GIS پیاده‌سازی شد. در مرحله بعد،

¹ As Built

بردگی^۱، گیرش سایه‌انداز گیاهان^۲، رواناب سطحی و آبیاری غیر همگن و بیش‌ازحد وجود دارد که مقادیر و دامنه آن‌ها در جدول ۳ ارائه شده است.

طبق جدول ۳ بیشترین تلفات آبیاری بارانی در کاربرد غیر همگن آب یا کاربرد غیریکنواخت آب روی می‌دهد. از جمله سایر موارد در سطح مزرعه تبخیر از سطح مرطوب خاک، تبخیر از علف‌های هرز و تلفات مرزهای کرت بندی است. مطالعه یکنواختی یک سامانه اهمیت حیاتی برای کارایی و اثرگذاری سامانه‌های آبیاری بارانی دارد (کوآکو ۲۰۰۹). در این مطالعه ضریب یکنواختی با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد (کریستیانسن ۱۹۴۲؛ کلر و بلیسنر ۱۹۹۰).

$$CU = 1 - \sum_{i=1}^n \frac{|x_i - \bar{x}|}{n \cdot \bar{x}} \quad [1]$$

که در آن، CU ضریب یکنواختی کریستیانسن، X_i عمق آب در هر یک از قوطی‌های جمع‌آوری آب (میلی‌متر)، X میانگین عمق آب در قوطی‌ها (میلی‌متر) و n تعداد قوطی‌های جمع‌آوری آب می‌باشد. همچنین ضریب یکنواختی آماری نیز از رابطه ۲ به دست آمد (ضریب ویلکاکس-سواپلس).

$$USC = 100 * \left[1 - \frac{s}{m} \right] \quad [2]$$

که در آن: USC ضریب یکنواختی آماری، m مقدار میانگین، s انحراف استاندارد، x_i هر یک از مقادیر عمق آب در هر ظرف جمع‌آوری در آرایه مقادیر است که برای یکنواختی مورد تجزیه می‌باشد و n تعداد مقادیری است که در آرایه برای یکنواختی مورد تجزیه می‌باشند (بی نام ۲۰۱۴).

ارزیابی اطلاعات و نقشه‌ها با تطبیق میدانی موردی توسط GPS انجام گردید. با اندازه‌گیری فشار کارکرد در زمان بهره‌برداری واحد زراعی موردی و انطباق فشار موجود سیستم با فشار طراحی زون‌بندی و کنترل نقاط بحرانی و مشکل‌دار (برای تأمین فشار لازم سیستم) جمع‌آوری و وارد سیستم شد و آنالیزهای لازم برای بررسی نارسایی‌های اولیه و احتمالی صورت پذیرفت.

در این پژوهش فاز اول سامانه‌های آبیاری ۸۰ هکتار آبیاری حسنلو در هشت مزرعه در طی چهار سال (۱۳۸۸-۱۳۹۲) از بین سامانه‌هایی که کمینه یک‌فصل زراعی از بهره‌برداری آن‌ها سپری شده بود، به‌طور کاملاً تصادفی انتخاب گردید و یک‌بار در طول فصل آبیاری مورد ارزیابی قرار گرفت. در سال اول، اطلاعات خاک محل‌های آزمایش از نظر فیزیکی و شیمیائی مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج برخی خصوصیات فیزیکی و کمبود رطوبت لایه‌های مختلف خاک و نیز برخی ویژگی‌های شیمیایی آن‌ها و همچنین نتایج تجزیه شیمیایی آب در مزارع برداشت شد. برای تعیین شبکه‌بندی بین آبپاش‌ها از ۴ عدد متر ۱۰ و ۵ متری و طناب‌کشی استفاده شد. برای اندازه‌گیری دبی آبپاش و اندازه‌گیری فشار سر آبپاش‌ها از یک ظرف ۲۰ لیتری و وسیله ساخته شده توسط محقق و یک زمان‌سنج (کرونومتر) استفاده شد. برای اندازه‌گیری توزیع آب به وسیله آبپاش‌ها و عمق آب نفوذ کرده به خاک از قوطی‌های آلومینیومی به شعاع ۹ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۲ سانتی‌متر در شبکه منظم استفاده گردید. پس از پایان مدت آزمایش، بلافاصله حجم آب جمع شده در قوطی‌ها با استفاده از استوانه مدرج قرائت شد. برای اندازه‌گیری حجم آب داخل قوطی‌ها از یک استوانه مدرج ۲۰۰ میلی‌لیتری استفاده شد.

برای ارزیابی آبیاری بارانی، چند شاخص از جمله عدم‌کارایی شامل نشت از لوله‌ها، تبخیر، باد

1- Wind drift
2- Canopy interception

جدول ۳- تلفات در سامانه آبیاری بارانی (کوآکو ۲۰۰۹).

مقدار تیپ (%)	دامنه (%)	مورد
۱-۰	۱۰-۰	نشست از لوله‌ها
<۳	۱۰-۰	تبخیر در هوا
<۵	۲۰-۰	باد بردگی
<۵	۱۰-۰	گیرش
<۲	۱۰-۰	رواناب سطحی
۸۰-۵	۸۰-۵	کاربرد غیر همگن/مازاد عمق و شدت پاشش

که در آن: DU معیاری برای بیان یکنواختی پخش آب بوده و در نتیجه یکنواختی نفوذ را در مزرعه نشان می‌دهد. m مقدار میانگین، I_q مجموعه‌ای است که شامل ۲۵ درصد کوچک‌ترین مقادیر نمونه می‌باشد (بی نام ۲۰۱۴). محدوده تغییرات ضریب یکنواختی به صورت جدولی (۴) ارائه شده است.

یکنواختی توزیع (DU) در سامانه‌های آبیاری تحت فشار به صورت رابطه (۳) تعریف می‌گردد (معروف و بایزیدی ۱۳۹۰) و از رابطه ۳ برای محاسبه ضریب یکنواختی توزیع استفاده شد.

$$DU = 100 * \left[\frac{I_q}{m} \right] \quad [۳]$$

جدول ۴- دامنه توصیفی نتایج ضرایب یکنواختی.

مفهوم توصیفی	دامنه DU (%)	ردیف
خیلی ضعیف	> ۷۷	۱
ضعیف	۷۷-۸۲	۲
قابل قبول	۹۰-۸۳	۳
عالی	< ۹۰	۴

$$UCC = ۰/۶۳ DU + ۳۷ \quad [۵]$$

$$UCS = ۱/۲۵۳ UCC - ۲۵/۳ \quad [۶]$$

$$UCS = ۰/۷۹ DU + ۲۱ \quad [۷]$$

$$DU = ۱/۵۹ UCC - ۵۹ \quad [۸]$$

$$DU = ۱/۲۷ UCS - ۲۷ \quad [۹]$$

در صورتی که تعداد مشاهدات فرد باشد کاربرد روش فوق با مشکل برخورد می‌کند و برای این منظور از روش‌های آماری مثل ضریب تغییرات استفاده می‌شود. برحسب توزیع اعداد روابطی برای UC و DU ارائه شده است (جدول ۵).

چندین مطالعه تجربی برای بررسی یکنواختی آبیاری بارانی روابط خطی بین UCC، UCS و DU انجام یافته است. مطالعات فراوان نشان داده‌اند که توزیع عمق پاشش آبپاش معمولاً به‌طور مناسب توسط یک تابع توزیع نرمال (زنگوله‌ای) قابل توصیف می‌باشد. هنگامی که مقادیر پاشش به صورت نرمال توزیع شده باشد، روابط نظری ۵ تا ۱۰ بین ضرایب برقرار می‌باشند. همچنین این روابط برای بسیاری از توزیع‌های واقعی عمق پاشش آبپاش یا مقادیر شدت پخش آبیاری میکرو که زیاد از توزیع نرمال انحراف ندارند، صحیح می‌باشند. (بی نام ۲۰۱۴)

$$UCC = ۰/۷۸۹ UCS + ۲۰/۲ \quad [۴]$$

جدول ۵- فرمول‌های تجربی ضرایب یکنواختی بر اساس نوع توزیع داده‌های آزمایش (کلر و بلیسنر ۱۹۹۰؛ تایل و همکاران ۲۰۱۵).

UC	DU	نوع توزیع
UC=1-0.798*CV CV<0.58 , UC=1-0.866*CV	DU=1-1.27*CV CV<0.58 , DU=1-1.38*CV	نرمال
UC=1-0.866*CV	DU=1-1.3*CV	یکنواخت
UC=1-0.773*CV	DU=1-1.52*CV	نمایی
UC=1-0.8*CV	DU=1-1.3*CV	لوگ نرمال

CV: ضریب تغییرات، DU: ضریب پخش، UC: ضریب یکنواختی

محاسبات یکنواختی

پس از داده‌برداری آزمایش یکنواختی در مزارع منتخب، داده‌ها به نرم‌افزار excel منتقل گردید. سپس با استفاده از نرم‌افزار Catch3D نسبت به محاسبات ضریب کریستانسن و یکنواختی پخش اقدام گردید. از آنجایی‌که این نرم‌افزار قدیمی بوده و کارایی لازم برای بررسی گرافیکی داده‌ها را باکیفیت لازم فراهم نمی‌کند، لذا جهت رفع این نقیصه، اقدام به تهیه ابزار بررسی ضرایب UCC، UCS و DU توسط محقق در GIS گردید. یکی از مشکلات تعیین ضرایب یکنواختی مربوط به تعداد قوطی‌ها است که فرد یا زوج باشند که محاسبات و نتایج ضریب یکنواختی پخش را تحت تأثیر قرار می‌دهد. همچنین به دلیل نبود ابزار قوی با قدرت بصری بالا و امکانات مرجع زمینی در مدل‌های موجود، ابزاری در سامانه GIS تهیه گردید که بتوان از تمام ابزار تحلیل‌های فضائی و تحلیل‌های سه‌بعدی بهره برد. این ابزار نشان می‌دهد که می‌توان ارزیابی یک آبپاش را در GIS تحلیل کرد که کمینه محدوده در این مورد خواهد بود. داده ورودی برای این ابزار موقعیت آبپاش‌ها است همچنین موقعیت قوطی‌ها و مقدار آب دریافت شده است. از روی مقدار ثبت‌شده آب در قوطی‌ها لازم است درون‌یابی صورت بگیرد و نقشه‌های رستری و سطوح آب دریافت شده تهیه گردد.

محاسبه ضریب یکنواختی و ضریب یکنواختی توزیع در آبیاری بارانی در سامانه GIS

ابزار محاسبه ضریب یکنواختی و ضریب یکنواختی توزیع در آبیاری بارانی در سامانه GIS که توسط محقق تهیه شده است برای محاسبه ضریب آماری UCS و ضریب یکنواختی کریستانسن UCC و ضریب یکنواختی توزیع DU تک آبپاش یا چهار آبپاش یا ... می‌باشد. در این ابزار برای حصول نتیجه بعد از اجرای دستورات لازم در نرم‌افزار، خروجی‌ها به صورت نقشه و لایه‌های شیپ و رستر خواهد بود. پیش‌نیاز این برنامه لایه رستری متوسط عمق آب دریافت شده از قوطی‌ها است که از روش‌های زمین‌آماری تهیه می‌شود. همچنین یک‌لایه پلی‌گون که مشخص‌کننده محدوده قرارگیری قوطی‌هاست، این ابزار با استفاده از تحلیل‌گر فضائی^۱ بکار می‌رود (شکل ۲). محاسبه ضریب یکنواختی و ضریب یکنواختی توزیع در آبیاری بارانی با این ابزار شامل ۶ گام اصلی به ترتیب زیر است:

الف) تعیین مقدار آماری لایه رستری مقادیر مشاهده‌شده قوطی‌ها

ب) تعیین مقدار لایه رستری $ABS(X_i - m)$

پ) محاسبه ضریب یکنواختی آماری و ضریب کریستانسن

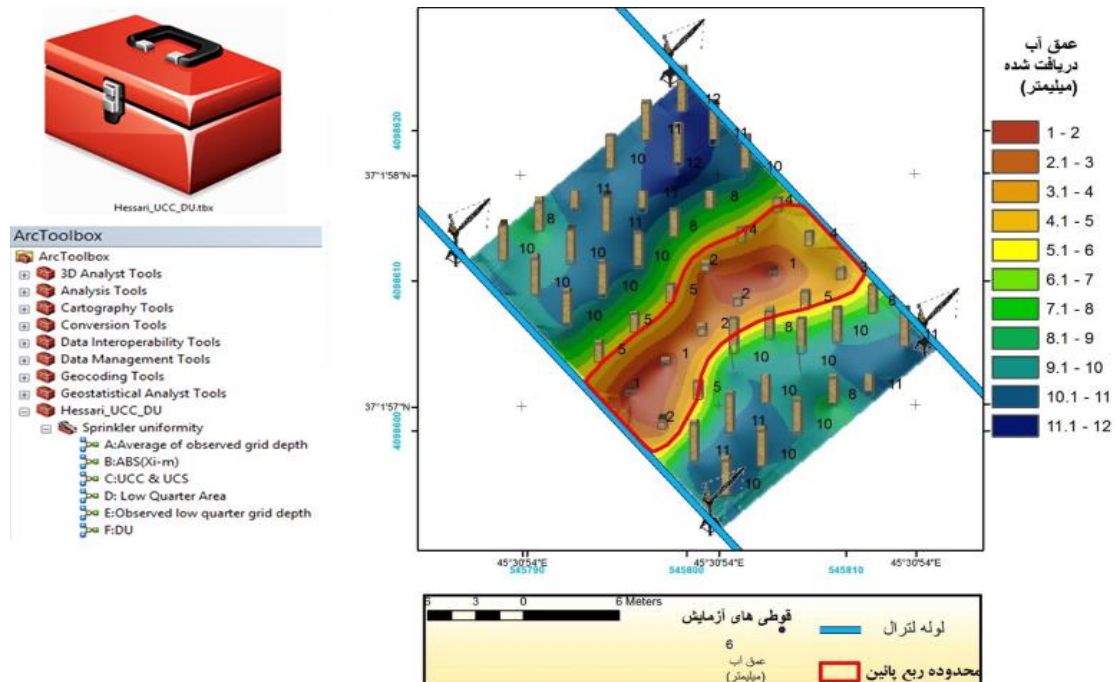
ت) تفکیک لایه مشاهدات به ۴ زون مساوی

ث) لایه وکتوری یک‌چهارم کمینه مشاهدات (از مرحله قبل لایه رستر مشاهدات به چهار زون مساوی تفکیک و به چندضلعی‌هایی تبدیل می‌گردد).

¹ Spatial analyst

نهایتاً خروجی به دست آمده از این ابزار لایه رستری متوسط مشاهدات ربع پایین از مشاهدات، DU، خواهد بود.

ج) محاسبات ضریب یکنواختی توزیع



شکل ۲- ابزار محاسبه ضریب یکنواختی و ضریب یکنواختی توزیع در آبیاری بارانی در GIS.

تغییرات در فشارهای کمتر، بیشتر است. نتایج آنالیزهای آماری نشان داد (جدول ۶) که داده‌های خارج از حد بالای ۹۵٪ در مقایسه با میانگین در سطح ۵٪ آزمون t-test معنی‌دار می‌باشد. تنوع آبیاریها از نظر سازندگان یکی از منابع تغییرات فشار بوده و منجر به کارکرد ضعیف سامانه شده است.

نتایج و بحث

بررسی فشار کارکرد آبیاریها

طبق یک قاعده کلی، با افزایش فشار، مقدار ضریب یکنواختی افزایش پیدا می‌کند. شیب این تغییرات در محدوده فشار ۳۰-۳۵ بار، حدود ۷/۷٪ و در حالت ۳۵-۴۰ بار حدود ۳/۸٪ است. به عبارت دیگر تغییرات ضریب یکنواختی با فشار، خطی نبوده و شیب این

جدول ۶- تغییرات فشار و آبدهی در آبیاش‌ها در طی سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۲.

ردیف	پارامتر	فشار آبیاش (bar)	دبی آبیاش (Ls^{-1})
	تعداد نمونه	۴۲	۳۲
1	متوسط	۲/۲۷	۰/۳۴
2	کمینه	۰/۵۰	۰/۱۴
3	بیشینه	۳/۹۰	۰/۶۵
4	انحراف معیار	۰/۹۲	۰/۱۴
5	ضریب تغییرات	۴۰/۶۰	۳۹/۶۱
6	حد بالای ۹۵٪	۲/۵۵	۰/۳۹
7	حد پایین ۹۵٪	۱/۹۹	۰/۳۰

بررسی ضریب یکنواختی طرح اجراشده

طبق جدول ۶ نتایج نشان داد ضرایب یکنواختی کریستیانسین مابین ۴۱٪ تا ۷۸٪ متغیر بوده و ضرایب یکنواختی پخش مابین ۲۰٪ تا ۶۷٪ تغییر کرده و به‌طور متوسط ۴۰٪ است. نتایج آنالیزهای آماری نشان داد که داده‌های خارج از حد بالای ۹۵٪ در مقایسه با میانگین در سطح ۵٪ آزمون t-test معنی‌دار می‌باشد. متأسفانه ضریب یکنواختی نمونه‌های گرفته‌شده در حد غیرقابل قبول بوده و نشانگر مدیریت ضعیف آب در سطح مزارع است. یکنواختی سامانه کسری از ضرایب متوسط مزارع است و این کسر تابعی از متوسط فشار آبیاش‌ها در کل مزرعه و کمینه فشار آبیاش در کل مزرعه است. به دلیل تغییرات فشار زیاد، ضرایب یکنواختی سامانه پایین‌تر نیز هست. اگر فرمول تجربی $CU_{system}=95\%$ CU هم مدنظر قرار بگیرد. ضرایب یکنواختی سامانه در حد غیرقابل قبول است. دلایل عمده پایین بودن مدیریت آب در حسنلو فواصل نامناسب لترال‌ها و آبیاش‌ها است که نیاز به بازنگری اساسی دارد. در جداول (۷) و (۸) نتایج ضرایب یکنواختی وضع موجود پروژه حسنلو ارائه شده است. چون هدف

ارزیابی وضع موجود بوده، مراحل شبیه‌سازی ضرایب یکنواختی دنبال نگردید.

نتایج درون‌یابی: روش‌های درون‌یابی نباید

نتایج کلی را تحت‌تأثیر قرار دهد. نتایج یازده روش درون‌یابی برای ۵ مورد از داده‌های آزمایش یکنواختی و مجموع مربعات خطای هرکدام از روش‌ها تهیه گردید. در روش IDW حالت کوه‌پایه‌ای نمایان است و دلیل این امر تأثیر وزن مقادیر نزدیک‌تر است. در روش کرجینگ ابتدا برازش با ۵ روش معمول نیم تغییرنا انجام و پس از تعیین بهترین مدل نیم تغییرنا که دارای کم‌ترین RMSE است، پارامترهای مدل منتخب بهینه‌سازی می‌گردد (هوشنگی و همکاران، ۲۰۱۵). در صورتی که بهینه‌سازی، مقدار خطا را کم نماید، مدل کو-کرجینگ با آن مدل ادامه پیدا می‌کند و گرنه با مدل قبلی ادامه می‌یابد. برای کو-کرجینگ طول و عرض (x, y) به‌عنوان اثر جهت باد بر مقادیر عمق دریافت شده جهت اعمال اثر فضائی بر داده‌ها مورد آزمون قرار گرفت. نتایج این روش‌ها در جدول (۹) ارائه شده است.

جدول ۷- داده‌ها و نتایج یکنواختی آزمایش‌های منتخب.

توصیف یکنواختی	UC	DU	جهت باد	فاصله آبیاش‌ها $^1S_{latral} * S_{riser}^2$	نوع آبیاش	محصول	کانال تغذیه‌کننده	مزرعه
خیلی ضعیف	۴۱/۱	۱۹/۶	جنوب شرقی	۲۱×۱۸	RC-FARM-130 اسپانیایی	گندم	راست- NSP۳	TY۰۱
غیرقابل ارزیابی	----	----	غربی-جنوب غربی	۲۱×۱۸	perot-zb22-1, RC-FARM-130, TYPE-VYR-60	گندم	راست- NSP۳	TY۰۴
غیرقابل ارزیابی	----	----	غربی-جنوب غربی	۲۴×۲۷	RC-FARM-130 اسپانیایی	چغندر قند	NSP۱	CHY۰۱
غیرقابل ارزیابی	----	----	شرقی-جنوب شرقی	۲۴×۲۷	RC-FARM-130, perot-zb22-1	چغندر قند	راست- NSP۱	CHY۰۲
خیلی ضعیف	۵۳/۲	۲۸/۴	شمال شرقی	۲۱×۲۱	RC-FARM-130, perot-zb22-2	چغندر قند	NSP۱	CHY۰۳
قابل قبول	۷۸/۲	۶۷/۱	شمال شرقی	۲۷×۱۵	perot-zb22-1	یونجه	NSP۳	YY۰۱
خیلی ضعیف	۶۰/۸	۳۳/۳	شمال غرب	۲۱×۲۷	RC-FARM-130 اسپانیایی	چغندر قند	NSP۱	UC۰۱
خیلی ضعیف	۴۹/۸	۳۰/۵	شمال	۲۴×۱۸	RC-FARM-130 اسپانیایی	چغندر قند	NSP۳	UC۰۲
خیلی ضعیف	۶۷/۵	۵۷/۱	شمال	۲۴×۱۸	RC-FARM-130 اسپانیایی	نرت	راست- NSP۳	UC۰۳
خیلی ضعیف	۶۱/۷	۳۹/۳	شمال	۲۱×۲۱	Rose ترکیه	جو	NSP۱	UC۰۴

جدول ۸- نتایج کلی یکنواختی آزمایش‌های منتخب

UC	DU	مقادیر
۵۸/۹۰	۳۹/۳۳	متوسط
۴۱/۱۰	۱۹/۶۰	کمینه
۷۸/۲۰	۶۷/۱۰	بیشینه
۳۰/۱۴	۲۳/۴۷	انحراف معیار
۵۱/۱۷	۵۹/۶۸	ضریب تغییرات
۸۱/۲۳	۵۶/۷۲	حد بالای ۹۵٪
۳۶/۵۷	۲۱/۹۴	حد پایین ۹۵٪

¹ فاصله لوله فرعی

² فاصله آب‌باز

کرجینگ بوده است (Anonymous 2015) IDW با توان ۲ برازش‌های نامناسب‌تری نسبت به IDW بهینه‌شده و روش‌های کرجینگ ارائه می‌نماید. به دلیل نتایج خطای مدل دایره‌ای و "Stable" به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که روش کرجینگ با مدل دایره‌ای بهینه‌شده روش برتر برای درون‌یابی می‌باشد.

در بین تمام روش‌های درون‌یابی، روش کرجینگ نتایج بهتری ارائه می‌دهد. مدل بهینه‌شده در ۱۰۰٪ مواقع برازش بهتری داشته و این امر موجب می‌شود که همواره روش‌های بهینه‌سازی مورد توجه واقع شوند. در سه مورد نقشه تهیه‌شده، مدل دایره‌ای نیمه تغییرنا مدل برتر نیم تغییرنا در روش درون‌یابی

جدول ۹- ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) روش‌های مختلف درون‌یابی در تحلیل مکانی الگوی آبپاش‌ها.

شماره آزمایش	IDW ^۲	توان بهینه‌شده (توان بهینه‌شده IDW)	کرجینگ					مدل منتخب نهایی	مدل منتخب نهایی			
			Co-kriging		مدل نیمه تغییر نما							
			مدل منتخب	طول و عرض جغرافیائی (X,Y)	مدل منتخب	بهینه‌شده (مدل)	Stable			Gaussian	Exponential	Spherical
UC01	۲/۰۷۳	۱/۶۴ (۱۰۰)	Co-kriging [Circular بهینه (X, Y)]	۱/۴۶۷	Circular بهینه	۱/۴۶۹	۱/۸۷۸	۱/۸۷۸	۱/۶۴۴	۱/۵۶۵	۱/۵۶۲	۲/۱۸۵
UC02	۲/۹۴۳	۲/۶۰۳ (۶۶۲)	kriging [Circular بهینه]	۲/۶۰۹	Circular بهینه	۲/۵۲۰۷	۲/۵۸۹	۲/۵۸۹	۲/۶۸۱	۲/۵۵۳	۲/۵۵۲	۲/۶۷۶
UC03	۳/۱۶۳	۲/۷۵۵ (۱۰۰)	kriging [Circular بهینه]	۲/۶۹۵	Circular بهینه	۲/۶۶۶۵	۲/۷۳۵	۲/۷۳۵	۲/۷۳۵	۲/۶۷۷	۲/۶۷۷	۲/۹۶۳
UC04	۲/۲۰۳	۲/۰۷۵ (۱۰۰)	kriging [stable بهینه]	۲/۰۱	stable بهینه	۱/۹۶۱	۱/۹۹۸	۲/۰	۲/۰۵۱۵	۲/۰۱۰۵	۲/۰۰۰۹	۲/۰۵۸
YY01	۳/۶۰۶	۳/۵۹۹ (۲/۳۵)	kriging [sph بهینه]	۳/۴۹۸	sph بهینه	۳/۴۴۷	۳/۵۰۶	۳/۵۰۶	۳/۵۰۵	۳/۴۹۶	۳/۵۱۱	۳/۷۰۹

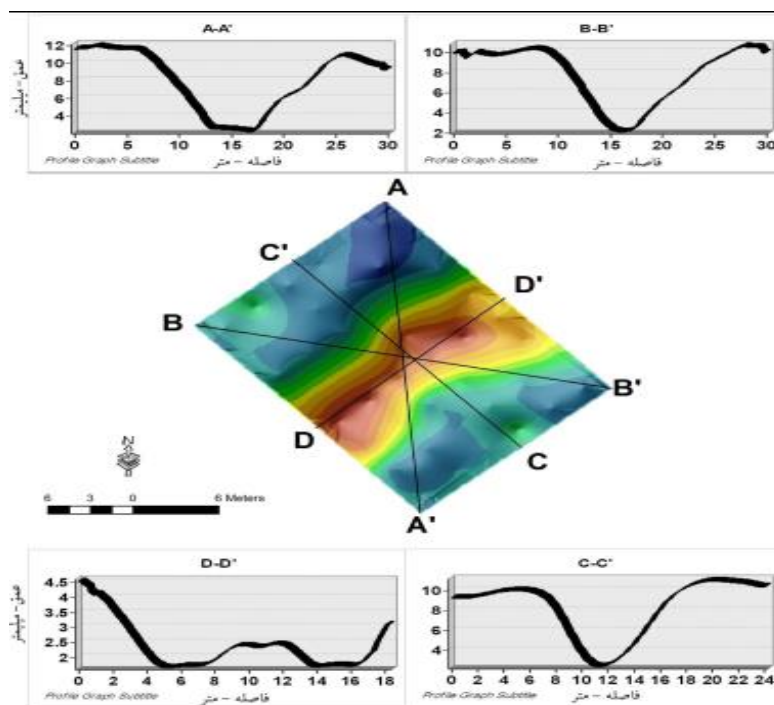
گردید و در این میان مرز ربع پایین به‌جای اینکه از روی محدوده ۳×۳ متر تعیین گردد دقیق‌تر مشخص گردید.

نتایج شکل ۳ و جداول ۷ و ۸ نشان داد که به خاطر فاصله زیاد آبپاش‌ها همپوشانی لازم صورت نگرفته است و حدود ۱۵٪ زمین تقریباً آبی دریافت نکرده است. نتایج نشان داد که اگر فواصل آبپاش‌ها از ۲۴ متر به ۱۸ متر کاهش یابد ضرایب یکنواختی به حداکثر خواهد رسید. مقادیر YY01 در جدول ۷ هم این نتیجه را تأیید می‌کند که با کاهش فواصل لترال یا آبپاش نتایج بهبود خواهد یافت و به نظر یک‌فاصله ۱۸ در ۱۸ گزینه مطلوب‌تری خواهد بود. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده مشخص شد که فشار کارکرد، نوع آبپاش

پس از تهیه سطوح عمق دریافت شده با ابزار تهیه‌شده مقادیر UCC، UCS و DU برای یک نمونه از آزمایش‌های محاسبه و با استفاده از ابزار 3D Analyst پروفیل مختلف بر شبکه و سطح مشاهدات زده شد که یک نمونه در شکل ۳ ارائه شده است. طبق این محاسبات ضریب یکنواختی کریستیانسن برابر ۶۴/۵۶٪ و ضریب یکنواختی پخش DU=39.27٪ برآورد گردید. این نتایج در مقایسه با مقادیر جدولی به ترتیب ۳/۲٪ و ۶٪ بیشتر می‌باشد. همچنان که قبلاً نیز عنوان شد وقتی تعداد داده‌های مشاهداتی فرد باشند محاسبات ضرایب یکنواختی با مشکل محاسباتی برخورد می‌کند. کلیه محاسبات با اندازه سلولی ۱۰ در ۱۰ سانتی‌متر صورت گرفت و فضاهای خالی با روش‌های درون‌یابی تکمیل

مجاز افزایش فشار توصیه می‌شود آزمایش‌هایی با دامنه گسترده‌تر این پارامترها و با لحاظ کردن سایر پارامترهای سامانه انجام شود.

(قطر نازل) و فواصل آبیاریها تأثیر فراوانی بر میزان ضریب یکنواختی در سامانه‌های آبیاری بارانی دارند. جهت یافتن بهترین شرایط کارکرد آبیاری و تعیین دامنه



شکل ۳- پروفیل‌های مختلف از میان‌یابی مشاهدات.

بسیار بالا رفته است ولی نتایج حاکی از عدم مدیریت بالای آبیاری در پروژه است. پروژه در بین بهره‌برداران از رضایت نسبی حداقلی برخوردار است. سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از نتایج طرح تحقیقاتی با عنوان "ارزیابی مدیریت آبیاری پروژه آبیاری بارانی سد حسلو با استفاده GIS" در سال ۱۳۹۳ بوده که با حمایت مالی موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی انجام شده است. بدین‌وسیله از حمایت‌های به‌عمل‌آمده قردانی می‌گردد.

نتیجه‌گیری کلی

در این تحقیق از سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی به‌عنوان ابزاری قدرتمند جهت جمع‌آوری، مدیریت، پردازش و نمایش اطلاعات مکانی و غیرمکانی در ارزیابی طرح آبیاری بارانی حسلو استفاده گردید و نشان داده شد که می‌توان آزمایش یکنواختی یک یا چند رایزر و شبیه‌سازی بادهای موضعی منطقه را مورد ارزیابی قرارداد. نتایج کلی حاکی از مدیریت ضعیف آبیاری بارانی در این پروژه بود. بااینکه اراضی دیم منطقه تحت آبیاری بارانی رفته و ارزش مالی زمین‌ها

منابع مورد استفاده

Ahaneku IE, 2010. Performance evaluation of portable sprinkler irrigation system in Ilorin, Nigeria. Indian Journal of Science and Technology 3(7): 853-857.
 Anonymous, 2010. Documentation and reports of the Hassanalu plan, Pooyab Consulting Engineers, West Azarbyjan Water and Soil Management of Agricultural Organization. 12 volumes. Urmia.
 Anonymous, 2014. Agricultural irrigation equipment Sprinklers Part 3: Characterization of distribution and test methods, National Standard Organization of Iran, ICS Standard, iso.org/ics/65.060.35/x/

- Anonymous, 2015. ArcGIS Desktop Help 10.3 Geostatistical Analyst. Environmental Systems Research Institute (ESRI) (www.esri.com).
- Carrion P, Tarjuelo JM and Montero J, 2001. SIRIAS: A simulation model for sprinkler irrigation: I. Description of model. *Irrigation Science* 20(2): 73-84.
- Christiansen JE, 1942. Irrigation by Sprinkling. California Agricultural Experiment Station Bulletin 670, University of California, Berkeley, CA.
- Ehsani, M. and H. KHaledi, 2003. Agricultural Water Productivity. Iranian National Committee on Irrigation and Drainage Press, Tehran, Iran. (In Farsi)
- Hooshangi N, Alesheikh A, and Nadiri A, 2015. Optimization of Piezometers Number for Groundwater Level Prediction Using PCA and Geostatistical Methods, *Water and Soil Science-University of Tabriz*, 25(4/2): 53-66. (In Farsi)
- Keller J and Bliesner RD, 1990. Sprinkle Trickle Irrigation. Chapman-Hall Publishers. 652 pages.
- Kiani Q, Mousavizadeh M.H and Mohammadi K, 2006. Application of geographic information systems (GIS) in managing the operation and maintenance of irrigation and drainage networks, *Proceedings of National Conference on Management of Irrigation and Drainage Networks*, Ahvaz, May 2. (In Farsi)
- Mahmudian B, 2002. Experiences of preparation of information in the irrigation network, published in <https://gisbarzok1.blogspot.com>, visited 2017 November 4, (In farsi).
- Maroof TTM and Bayazidi M, 2011. Technical evaluation of static classical sprinkler irrigation systems in a case study of west Azarbaijan Province - Mahabad. *Iranian Journal of Water Resources Engineering* 4(8): 63-76
- Piri S, Monem M.J and Hasanpour F, 2012. Development and completion of performance evaluation model for pressurized irrigation networks (NPAPIS), *Iranian Journal of irrigation and drainage* 3(6): 196-205.
- Sadia Iqbal S and Mastorakis N, 2015. Performance evaluation of irrigation system using RS and GIS. *Recent Advances in Environment, Ecosystems and Development*. 13th International Conference on Environment, Ecosystems and Development (EED 15), Kuala Lumpur, Malaysia.
- Samadi Bahrami R, Karami V and Hosseinzadeh-daliar A, 2006. Water supply management in irrigation and drainage networks using geographic information system (GIS), *Proceedings of National Conference on Management of Irrigation and Drainage Networks*, Ahvaz. (In Farsi)
- Shokat Naghadeh A, Mohammadi K and Monem M.J, 2006. Performance Evaluation of Mahabad Irrigation and Drainage Network, Using Developed Data Bank, Pp. 1569-1576. *Proceedings of National Conference on Management of Irrigation and Drainage Networks*, Ahvaz. (In Farsi)
- Tarjuelo JM, Montero J, Honrubia FT, Ortiz JJ and Ortega JF, 1999. Analysis of uniformity of sprinkle irrigation in a semi-arid area. *Agricultural Water Management* 40: 315-331.
- Tayel MY, Mansour HA and Sabreen Kh, 2015. Effect of two sprinkler irrigation types on coefficient of variation (CV) and some quality properties of grain wheat. *Global Advanced Research Journal of Agricultural Science* 4(7): 353-360.
- Wenting H and Pute W, 2011. Evaluation model development for sprinkler irrigation uniformity based on catch-can data. *African Journal of Biotechnology* 10(66): 14796-14802.