

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



وزارت جهاد کشاورزی

سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

## تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی

(تحقیقات مهندسی کشاورزی)

علمی - پژوهشی

شاپا: ۴۰۰۰-۲۴۷۶

جلد ۲۲، شماره ۸۳، تابستان ۱۴۰۰

### فهرست مقالات

- مقایسهٔ تبخیر-تعرق برآوردی چغندر قند با معادلهٔ پنمن-مانتیث بر اساس داده‌های واقعی و محصولات ECMWF، GFS و MeteoBlue در منطقهٔ جوبین
- ۱ سید حسن طباطبائی، سید مجید میرلطیفی، حسین دهقانی سانج و اشکان شکری.....
- بررسی راندمان انتقال و مشکلات بهره‌برداری از کانال‌های پیش‌ساختهٔ بتنی در شبکهٔ آبیاری مغان
- ۲۱ کرامت اخوان، نادر عباسی، میلاد خیری قوجه بیگلو و هدیه احمدپری.....
- تعیین بهره‌وری آب با کاربرد سامانه‌های آبیاری سطحی و قطره‌ای در تولید سیب در ایران
- ۴۳ ابوالفضل ناصری، فریبرز عباسی، امیر نورجو، جمال احمدآلی، محمدعلی شاهرخ‌نیا، علیرضا مامن‌پوش، مجید کرامتی طرقي، سالومه سپهری صادقیان، کرامت اخوان، سیدحسن موسوی فضل، نادر عباسی، مهدی اکبری، جواد باغانی، محمد مهدی نخجوانی مقدم، رامین نیکان‌فر و اردلان ذوالفقاران.....
- اولویت‌بندی احداث سازه‌های آبیاری با روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره و ساختار شکست PMBok در شرایط عدم اطمینان
- ۵۹ محمدرضا شهرکی و مصطفی درخشیده.....
- ارزیابی اقتصادی و بهره‌وری آبیاری بارانی در تولید گندم (مطالعهٔ موردی استان اردبیل)
- ۸۳ صفات‌اله رحمانی اندبیلی.....
- بررسی موقعیت مقطع کنترل در جریان ماندگار و غیرماندگار با استفاده از مدل عددی و داده‌های آزمایشگاهی
- ۱۰۵ الهام درویشی و صلاح کوچک‌زاده.....
- بررسی آزمایشگاهی مقایسهٔ اثر صفحهٔ متخلخل، مانع پیوسته و مانع متخلخل پیوسته در لبهٔ سرریز پلکانی بر مشخصه‌های جریان
- ۱۲۱ سید امین اصغری‌پری و مجتبی کردنائیج.....

## مجله "تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی"

با درجه علمی - پژوهشی مطابق ابلاغ (مجوز) شماره ۳/۱۸/۸۱۶۷۱ مورخ ۱۳۹۴/۰۴/۳۱ وزارت علوم، تحقیقات و فناوری.

نماینده شده در CABI، پایگاه استنادی علوم جهان اسلام (ISC)، ایران ژورنال، بانک اطلاعات نشریات کشور، پایگاه اطلاعات جهاد دانشگاهی و مرکز اطلاعات و مدارک علمی کشاورزی (Agris) (Agris)

صاحب امتیاز: مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

مدیر مسئول: حسین دهقانی‌سانج

سرمدیر: نادر عباسی

هیأت تحریریه (به ترتیب حروف الفبا):

|                    |                                                                      |
|--------------------|----------------------------------------------------------------------|
| محمدحسین امید      | استاد، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران                     |
| عاطفه پرورش‌ریزی   | دانشیار، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران                   |
| نادر حیدری         | دانشیار، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی                          |
| حسن رحیمی          | استاد، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران                     |
| محمود شفاعی بجستان | استاد، دانشگاه شهید چمران اهواز                                      |
| فریبرز عباسی       | استاد، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی                            |
| نادر عباسی         | استاد، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی                            |
| صلاح کوچک‌زاده     | استاد، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران                     |
| محمدجواد منعم      | دانشیار، دانشگاه تربیت مدرس                                          |
| ابوالفضل ناصری     | دانشیار، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی                          |
| علیرضا کیانی       | استاد مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، گرگان |

هیأت تحریریه بین‌المللی (به ترتیب حروف الفبا):

|                 |                                                                                                            |
|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| علی ترابی حقیقی | دانشیار، گروه مهندسی و مدیریت هیدروسستم‌ها، دانشکده آب و انرژی و محیط زیست، دانشگاه Oulu فنلاند            |
| حسن رحیمی       | مدیر گروه ژئوتکنیک سازمان نگهداری و بهره برداری قطارهای شهری سیدنی استرالیا (استاد بازنشسته دانشگاه تهران) |
| محمدعلی شریفی   | دانشیار مؤسسه علوم جغرافیایی و مشاهده زمین، دانشگاه Twente، هلند                                           |
| راضیه فرمانی    | دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی، دانشگاه Exeter انگلستان                                            |

بررسی‌کنندگان این شماره:

|                     |                             |                     |                       |
|---------------------|-----------------------------|---------------------|-----------------------|
| - علی آرمان         | - محمد بی‌جن خان            | - نادر حیدری        | - فریبرز عباسی        |
| - مهدی اسمعیلی ورکی | - عاطفه پرورش‌ریزی          | - عباس روزپهانی     | - رحیم علیمحمدی نافچی |
| - صمد امامقلی‌زاده  | - علیرضا توکلی              | - محمدعلی شاهرخ‌نیا | - عبدالمجید لیاقت     |
| - الهام باریکانی    | - سید ابوالقاسم حقایقی مقدم | - محمد علی شریفی    | - محمد مهدی نخبجوانی  |
| - رضا بهراملو       | - حسین حمیدی‌فر             | - امیر صمدی         | - افشین یوسف گمرکچی   |

ویراستار ادبی و علمی: محمدرضا داهی

ویراستار انگلیسی: محمدرضا داهی

مدیر داخلی: افشین یوسف گمرکچی

صفحه‌آرا: سمیه وطن‌دوست

آدرس: کرج، بلوار شهید فهمیده، ص. پ. ۸۴۵-۳۱۵۸۵، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

تلفن: ۳۲۷۰۵۳۲۰، ۳۲۷۰۵۲۴۲ و ۳۲۷۰۸۳۵۹ (۰۲۶)، دورنگار: ۳۲۷۰۶۲۷۷ (۰۲۶)

پایگاه اطلاعاتی مؤسسه: [www.aeri.ir](http://www.aeri.ir)

پایگاه اطلاعاتی مجله: <http://idser.areeo.ac.ir>

پیام‌نگار: [aridsej@areeo.ac.ir](mailto:aridsej@areeo.ac.ir)

## شرایط پذیرش و راهنمای تهیه مقاله برای مجله تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی

نشریه "تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی" مقاله‌های علمی- پژوهشی در زمینه‌های فنی و مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی را که به زبان فارسی نوشته شده و قبلاً منتشر نشده یا برای انتشار در نشریه یا نشریه‌ای دیگر ارسال نشده باشد، برای بررسی و داوری می‌پذیرد و در صورت تأیید به ترتیب تاریخ وصول چاپ می‌کند. همچنین مقاله‌های گردآوری یا تحلیلی که توسط پژوهشگران صاحب‌نظر و تنها به دعوت هیأت تحریریه در زمینه مسائل روز فنی و مهندسی تهیه شده است، پس از بررسی و تصویب به چاپ خواهد رسید.

مسئولیت هر مقاله از نظر علمی بر عهده نویسنده (یا نویسندگان) است. ترتیب نام نویسندگان بر عهده شخص مکاتبه‌کننده خواهد بود و مکاتبات با وی انجام خواهد شد. نشریه در رد یا قبول و حک و اصلاح مقالات آزاد است و مقاله‌های دریافتی مسترد نخواهند شد. نشریه در نشر مطالب به صورت الکترونیکی، اینترنتی یا اینترنتی مجاز است.

مقاله‌ها باید با عنوان کامل، **بدون نام و مشخصات نگارنده (یا نگارندگان)**، به انضمام برگ مشخصات مقاله، روی کاغذ سفید A4 حداکثر در ۱۵ صفحه با فاصله سطرها یک سانتی‌متر و حاشیه از بالا ۳/۸ سانتی‌متر و ۲/۵ سانتی‌متر از چپ و راست و پایین صفحه با قلم فارسی نازنین (B Nazanin)، اندازه ۱۳، به صورت تایپ رایانه‌ای در محیط ورد (Microsoft Word) تهیه و به همراه اصل فایل در فرمت ورد (Word) از طریق سامانه (<http://idser.areeo.ac.ir>) ارسال شود. ارسال فرم تعهد نگارندگان و فرم تعارض منافع نیز الزامی است.

### ترتیب و شرح قسمت‌های مختلف مقاله

مقاله‌های ارسالی شامل برگه مشخصات مقاله، عنوان، چکیده فارسی، واژه‌های کلیدی، مقدمه، مواد و روش‌ها، نتایج و بحث، نتیجه‌گیری، قدردانی، مراجع مورد استفاده، چکیده مبسوط و واژه‌های کلیدی به زبان انگلیسی و در صورت لزوم ضمائم است.

### برگه مشخصات مقاله

این قسمت در یک صفحه جداگانه تهیه می‌شود و در برگه‌بند عنوان مقاله، نام و نام خانوادگی و مرتبه علمی نگارنده (یا نگارندگان)، آدرس کامل، شماره تلفن، شماره دورنگار، آدرس پست الکترونیکی، و منبعی خواهد بود که مقاله از آن استخراج شده است (پایان‌نامه دانشجویی، طرح تحقیقاتی و مانند آن). برگه مشخصات مقاله باید به دو زبان فارسی و انگلیسی ارائه شود.

### عنوان

عنوان باید کوتاه (حداکثر ۲۵ کلمه)، رسا، جامع، و بیانگر محتوای مقاله باشد.

### چکیده فارسی

چکیده فارسی (حداکثر در ۲۰۰) کلمه بیانگر فرضیه، هدف پژوهش، توصیف مختصر مواد و روش‌ها، نتایج اصلی به دست آمده و نتیجه‌گیری کلی از پژوهش است.

### واژه‌های کلیدی

واژه‌های کلیدی شامل حداکثر پنج واژه مجزا یا مرکب خواهد بود و برای نشان دادن ماهیت و گرایش موضوع مقاله به هنگام طبقه‌بندی در سامانه‌های اطلاع‌رسانی است.

## مقدمه

در این بخش باید موضوع مورد پژوهش معرفی و فرضیه مورد نظر تعریف شود. همچنین لازم است به اهم کارهای پژوهشی انجام شده قبلی در این مورد نیز اشاره و لزوم پژوهش مورد نظر تشریح و هدف مطالعه حاضر مشخص شود.

## مواد و روش‌ها

این قسمت شامل شرح کامل مواد و روش‌های مورد استفاده در اجرای پژوهش است. در مورد روش‌های متداول و شناخته شده، ذکر منبع مربوط کافی است. ذکر مشخصات فنی و نام‌های دقیق علمی و تجارتي مواد و دستگاه‌ها و همچنین معیارهای مورد استفاده ضرورت دارد.

## نتایج و بحث

این بخش در برگرفته نتایج حاصل از پژوهش به صورت متن(ها)، جدول(ها)، شکل(ها) و تصویر(ها) است. در این قسمت علل و روابط بین آنها در ایجاد نتایج حاصل، با استفاده از منابع علمی دیگر، مورد بحث قرار می‌گیرد. ضرورت دارد جدول‌ها و شکل‌ها با اندازه مناسب و کیفیت بالا تهیه شود، ارقام خوانا باشند، و تغییرات آشکار در منحنی‌ها با واحدهای سنجش سیستم بین‌المللی (SI) تهیه شود. عنوان جدول در بالا و عنوان نمودار یا شکل در زیر (به فارسی و انگلیسی) نوشته شود. عنوان جدول یا نمودار باید مختصر و گویای ارتباط عوامل مورد بحث در جدول یا نمودار باشد (لازم است تمامی توضیحات محورها و تمامی واحدها در نمودارها هم به فارسی و هم انگلیسی نوشته شوند و اعداد داخل جداول و نمودارها به انگلیسی نوشته شود). نتایج بررسی‌های آماری باید به یکی از روش‌های علمی در جدول(ها) منعکس شود مگر در مواردی که ذکر ارقام به صورت خام ضروری باشد. هر جا به جدول یا نموداری اشاره می‌شود آن جدول یا نمودار باید بلافاصله نشان داده شود مگر در موارد ضروری که حسب مورد در قسمت ضمایم ارائه خواهد شد. اعداد، مقیاس‌ها، واحدها در متن مقاله و در جدول و نمودار به فارسی نوشته شود. کارهای ترسیمی اصلی بوده یا به صورت رایانه‌ای و سازگار با ورد (Word) دارای کیفیت مناسب برای چاپ باشد. تکرار جدول‌ها، نمودارها، و غیره به هنگام بیان نتایج ضرورت ندارد.

## نتیجه‌گیری

این قسمت شامل یک استنتاج نهایی، خلاصه پژوهش، و ذکر کاربرد (یا کاربردهای) احتمالی موضوع مورد تحقیق است. نگارندگان می‌توانند پیشنهادها را برای انجام تحقیقات تکمیلی ارائه کنند.

## قدردانی

در این بخش (در صورت نیاز)، از اشخاص حقیقی، حقوقی، سازمان‌ها، و نهادهای مؤثر در انجام پژوهش قدردانی می‌شود.

## مراجع

- ۱- کلیه مراجعی که در متن مقاله بیان شده است باید در فهرست مراجع و بعد از متن آورده شوند. نگارندگان موظف‌اند مشخصات مراجع را چه در این بخش، چه در متن مقاله به درستی و مطابق با مشخصاتی بیاورند که در هر یک از منابع دیده می‌شود.
- ۲- در متن مقاله فقط به نام نگارنده (یا نگارندگان) و سال انتشار مرجع اشاره شود (به صورت شماره اشاره نشود).  
مثال: (Razavi, 2003)، (Regier & Schubert, 2001)
- ۳- اگر مرجع بیشتر از دو نگارنده دارد نام نفر اول همراه با «*et al.*» ذکر شود اما در فهرست مراجع اسامی تمامی نگارندگان درج شود.  
مثال: (Budiman *et al.*, 1999)

۴- مراجع به ترتیب حروف الفبای نام نگارندگان مرتب شود. در صورتی که نگارنده‌ای در یک سال چند مقاله دارد با اضافه کردن حروف a و b و ... تنظیم شوند.

۵- مراجع فارسی به زبان انگلیسی ترجمه شده و در انتها عبارت (in Persian) قید شود.

۶- از روش زیر برای مرتب کردن مراجع استفاده شود.

الف- تک نگارنده

Elsafi, S. H., 2014. Artificial neural networks (ANNs) for flood forecasting at Dongola Station in the River Nile, Sudan. *Alexandria Engineering Journal*, 53(3), pp.655-662.

ب- دو یا چند نگارنده

Kashefipour, S. M., Lin, B., & Falconer, R. A. (2006). Modelling the fate of faecal indicators in a coastal basin. *Water Research*, 40(7), pp.1413-1425.

پ- کتاب

Chanson, H., 2004. *Hydraulics of open channel flow*. Butterworth-Heinemann.

ت- فصلی از کتاب

Pfister, M., Schleiss, A. J., & Tullis, B. (2013). *Effect of driftwood on hydraulic head of piano key weirs*. In S. Erpicum., F. Laugier., M. Pfister., M. Piroton., G. M. Cicero., & A. J. Schleiss (Eds.) *Labyrinth and Piano Key weirs II* (pp 225-265). CRC Press, Leiden, Netherlands.

در صورتی که تعداد نگارندگان فصل یک نفر باشد از (Ed.) و در غیر این صورت از (Eds.) استفاده شود.

ث- مجموعه مقاله‌ها

Pagliara, S., & Carnacina, I. (2010). *Scour and dune morphology in presence of large wood debris accumulation at bridge pier*. In *International Conference on Fluvial Hydraulics*. Sep. 8-10. Braunschweig, Germany.

ج- دیسکت فشرده مجموعه مقاله‌ها (CD)

فقط کلمه CD قبل از Proceeding یا مجموعه مقاله‌ها آورده شود.

چنانچه مقاله‌ای در دست چاپ است، به جای کلمه ناشر، In press یا «در دست چاپ» به کار برده شود.

چ- پایان‌نامه، گزارش یا طرح تحقیقاتی

Stockstill, R.L. (1998). Innovative lock design, report 1, case study, New McAlpine Lock Filling and Emptying System, Ohio River, Kentucky. *Technical Rep. INP-CHL, 1*.

Salahinia, S. (2015). Experimental investigation of the subsurface flow under rainfall recharge and soil variability (M. Sc. Thesis), Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Yasouj University, Yasouj, Iran. (in Persian)

ه- مرجع بدون نویسنده مشخص

Anon. 1998. ASAE Standard: ASAE S368.1. Compression tests of food materials of convex shape. ASAE. St. Joseph. MI 49085-9659. USA.

### **چکیده مبسوط به زبان انگلیسی**

چکیده مبسوط انگلیسی شامل مقدمه، مواد و روش‌ها، نتایج و بحث، نتیجه‌گیری، قدردانی و کلمات کلیدی است که طبق فرمت نشریه (در بخش راهنمای نگارندگان) تهیه شده در انتهای مقاله آورده می‌شود.

### **واژه‌های کلیدی به زبان انگلیسی**

این واژه‌ها معادل "واژه‌های کلیدی فارسی" به زبان انگلیسی ذکر شود.

### **تذکر**

الف- برای پذیرش اولیه مقاله و بررسی آن، رعایت دقیق دستورالعمل بالا ضروری است (جزئیات فرمت تهیه مقاله در سایت نشریه و در بخش راهنمای نگارندگان موجود است).

ب- به منظور بهبود کیفیت مقاله و رفع اشکالات اساسی احتمالی توصیه می‌شود که نگارندگان محترم قبل از ارسال مقاله برای درج در این نشریه آن را به نظر دو نفر از همکاران مجرب خود برسانند.

### **تبصره**

نشریه علمی پژوهشی **تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی** کتاب‌ها و مجلات جدید مهندسی کشاورزی به زبان فارسی را که یک نسخه از آن به دفتر نشریه برسد، پس از تصویب هیأت تحریریه معرفی می‌نماید.

## مقایسه تبخیر-تعرق بر آوردی چغندر قند با معادله پنمن-مانتیث بر اساس داده‌های واقعی و محصولات GFS، ECMWF و MeteoBlue در منطقه جوی

سید حسن طباطبائی<sup>۱</sup>، سید مجید میرلطیفی<sup>۲\*</sup>، حسین دهقانی سانج<sup>۳</sup> و اشکان شکری<sup>۴</sup>

۱ و ۲- به ترتیب: دانشجوی دکتری تخصصی، و دانشیار گروه مهندسی و مدیریت آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران  
۳- دانشیار موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی کرج ایران  
۴- محقق وزارت هواشناسی استرالیا، ملبورن، استرالیا  
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۴/۶

### چکیده

در این پژوهش نیاز آبی گیاه چغندر قند بهاره در منطقه جوی با استفاده از پیش‌بینی‌های ۵ روزه مدل‌های هواشناسی ECMWF، GFS و MeteoBlue برآورد و با نیاز آبی محاسبه شده براساس اطلاعات ایستگاه هواشناسی جوی مقایسه شد. بررسی‌ها در چهار سطح ارزیابی دقت مدل‌ها در پیش‌بینی ۱. متغیرهای هواشناسی دخیل در رابطه پنمن-مانتیث، ۲. دو جزء تابشی ( $ET_0^{Rad}$ ) و همرفتی ( $ET_0^{Adv}$ ) تبخیر-تعرق گیاه مرجع ( $ET_0$ )، ۳.  $ET_0$  و ۴. نیاز آبی چغندر قند بهاره پیگیری شد. مدل‌ها  $ET_0^{Adv}$  را کمتر و  $ET_0^{Rad}$  را بیشتر از مقدار واقعی برآورد می‌کنند، به‌طوری‌که خطای اریب مدل‌های GFS، ECMWF و MeteoBlue در برآورد  $ET_0^{Rad}$  به ترتیب برابر  $-0.4$ ،  $-0.5$  و  $-0.2$  میلی‌متر در روز و برای  $ET_0^{Adv}$  به ترتیب برابر  $0.4$ ،  $0.5$  و  $0.7$  میلی‌متر در روز به دست آمد. میانگین خطای مربعات (RMSE) این سه مدل برای  $ET_0^{Rad}$  به ترتیب  $0.6$ ،  $0.7$  و  $0.7$  میلی‌متر در روز و برای  $ET_0^{Adv}$  به ترتیب برابر  $0.7$ ،  $0.7$  و  $0.9$  میلی‌متر در روز محاسبه شد. رفتار متضاد خطاهای  $ET_0^{Rad}$  و  $ET_0^{Adv}$  سبب شد تا خطای اریب برآورد  $ET_0$  توسط مدل‌ها به ترتیب برابر  $0.3$ ،  $0.3$  و  $-0.3$  میلی‌متر در روز شود. نیاز آبی چغندر قند بهاره در منطقه جوی ۸۴۱ میلی‌متر در سراسر دوره رشد بر اساس روش فائو-پنمن-مانتیث محاسبه شد. مجموع خطای برآورد نیاز آبی روزانه مدل‌های GFS، ECMWF و MeteoBlue در طول دوره رشد به ترتیب برابر ۶۵، ۶۴ و ۱۰۰ میلی‌متر به دست آمد. با توجه به نتایج به دست آمده توصیه می‌شود برای پیش‌بینی نیاز آبی گیاه چغندر قند در منطقه جوی از برون‌دادهای مدل ECMWF استفاده شود.

### واژه‌های کلیدی

برنامه ریزی آبیاری، تبخیر-تعرق گیاه مرجع، ضریب گیاهی، نیاز آبیاری

### مقدمه

رشد اقتصادی، انسجام اجتماعی و ثبات سیاسی تبدیل شده است (FAO, 2007). امروزه بیش از ۲۵ درصد جمعیت جهان در مناطقی زندگی می‌کنند که وضعیت تنش شدید آبی دارند (Molinis-Senante

آب، به‌ویژه در کشورهای خاورمیانه و شمال آفریقا، منبعی است حیاتی، محدود و با ارزش. تنش‌های ناشی از کمبود آب به تهدیدی جدی در



(*et al.*, 2014). افزون بر بحران آب، تأمین غذای جمعیت رو به رشد جهان نیز از مهم‌ترین چالش‌ها برای نسل بشر است (Droogers, 2004). مهم‌ترین عوامل تشدید کننده بحران‌های مذکور کمبود منابع آبی و افزایش رقابت بر سر آنهاست (Perry, 2011). مدیریت کارآمد و تبیین استراتژی‌های درست منابع آبی تنها راه کاهش تبعات این مسئله و افزایش بهره‌وری مصرف آب پاسخ‌دهی به مسائلی است که در آینده رخ خواهد داد (Dumont *et al.*, 2013).

برنامه‌ریزی درست مصرف آب، به‌ویژه در حوزه کشاورزی، امری ضروری در نیل به افزایش بهره‌وری مصرف آب است. هدف از آبیاری ایجاد شرایط مساعد رطوبتی برای گیاه است. بنابراین آبیاری باید با تخمین درست از نیاز آبی<sup>۱</sup> گیاه و منطبق بر مراحل رشد اعمال شود. اطلاعات مربوط به تبخیر-تعرق هر گیاه بخش اصلی و ضروری در محاسبه نیاز آبیاری و به تبع آن برنامه‌ریزی مطلوب آبیاری است (Jensen & Allen, 2014). برنامه‌ریزی آبیاری عموماً با روش توصیه‌شده توسط FAO اجرا می‌شود که بر تعیین اجزای رابطه بیلان رطوبتی در محیط ریشه استوار است (Allen *et al.*, 1998) و در آن تبخیر-تعرق گیاه برابر است با:

$$ET_C = K_C K_S ET_0 \quad (1)$$

که در آن،

$ET_C$  = تبخیر-تعرق گیاه ( $mm\ d^{-1}$ )؛  $K_C$  = ضریب بدون بعد تابع نوع گیاه و مدیریت آبیاری و زراعی (بدون بعد)؛  $ET_0$ ؛ تبخیر-تعرق گیاه مرجع و معرف شرایط اتمسفری ( $mm\ d^{-1}$ )، و  $K_S$  (بدون بعد) ضریب تنش.

روشن است که ضریب‌های  $K_C$  و  $K_S$  ناظر به مدیریت آبیاری و زراعی است. بنابراین تبخیر-تعرق گیاه مرجع ( $ET_0$ )، نمایانگر کلیه فاکتورهای اتمسفری مؤثر بر آب مصرفی است (Pereira *et al.*, 2015). عموماً در طراحی سامانه‌های آبیاری،  $ET_0$  بر مبنای آمار بلندمدت هواشناسی بیشینه نیاز آبی گیاه در سراسر فصل دوره رشد برای تأمین آب موردنیاز در نظر گرفته می‌شود؛ از این رو استفاده از پیش‌بینی‌های کوتاه‌مدت هواشناسی در محاسبه تبخیر-تعرق مرجع امکان برنامه‌ریزی کارآمدتر آبیاری را فراهم می‌آورد (Gharedaghi *et al.*, 2020).

در سال‌های اخیر، مدل‌های پیش‌بینی هواشناسی متعددی توسعه یافته‌اند که توانسته‌اند منبعی کارآمد در مدیریت زراعی و مدیریت آبیاری باشند. اثرگذاری مناسب نتایج این مدل‌ها در بخش کشاورزی، در گرو کیفیت مناسب پیش‌بینی آنها از شرایط جوی است (Paparrizos *et al.*, 2020). با این حال، با توجه به عدم قطعیت ذاتی مدل‌ها، باید دقت و صحت خروجی نهایی این دست از مدل‌ها ارزیابی و با مقادیر واقعی مشاهده شده در محدوده مطالعاتی بررسی شود (Ahmadi *et al.*, 2019).

مدل‌های متعددی برای پیش‌بینی میان‌مدت متغیرهای هواشناسی توسعه یافته‌اند که از جمله می‌توان به سه مدل  $GFS^2$ ،  $ECMWF^3$  و MeteoBlue اشاره کرد که به ترتیب توسط مرکز ملی پیش‌بینی‌های محیط‌زیستی ایالات متحده، مرکز پیش‌بینی‌های هواشناسی میان‌مدت اتحادیه اروپا، و دانشگاه بازل سوئیس توسعه یافته‌اند. در نقاط مختلف جهان در مورد دقت این مدل‌ها در

۱- در این پژوهش از عبارت "نیاز آبی" به جای "تبخیر-تعرق گیاه در شرایط استاندارد" استفاده شد. بنابراین مباحث مربوط به نیاز آبی در نیاز آبی در نظر گرفته نشده است.

2- The Global Forecast System (GFS)

3- The European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF)

۱۳۹۳ برای ۴۵ ایستگاه باران در مناطق مختلف ایران مشاهده کردند که میانگین جذرمربعات نرمال شده خطای بارش پیش‌بینی شده از ۰/۴۵ تا ۲/۸ و خطای اریب بین ۵۵- تا ۲۵ میلی‌متر در سال، در نقاط مختلف کشور متفاوت است. عزیزیان و رضایی اعتدالی (Azizian & Ramezanietedali, 2020) با مقایسه پیش‌بینی‌های بارش ECMWF، TRIMM و PERSIAN و ایستگاه‌های باران‌سنجی واقع در حوزه آبریز سفیدرود مشاهده کردند که دقت این مدل‌ها به شدت وابسته به مکان است.

کارایی مدلسازی احتمالاتی و داده‌گوار<sup>۱</sup> در گرو وجود درکی مناسب از رفتار احتمالی خطای اجزای مدلسازی مانند متغیرهای ورودی و یا پارامترهای مدلسازی است.  $ET_0$  یکی از مهم‌ترین ورودی‌های هرگونه مدلسازی آب-خاک-گیاه-اتمسفر است.

هدف از این پژوهش بررسی رفتار آماری خطای  $ET_0$  و پیرو آن نیاز آبی پیش‌بینی شده برای گیاه چغندرقد بهاره در دشت جویان استان خراسان رضوی است که در آن از اطلاعات پیش‌بینی هواشناسی ۵ روزه مدل‌های هواشناسی ECMWF، GFS و MeteoBlue استفاده شده است. دلیل انتخاب پیش‌بینی‌های ۵ روزه در این پژوهش، حداکثر زمان فاصله درخواست تا تحویل آب متداول در شبکه‌های آبیاری و زهکشی است. دقت پیش‌بینی این مدل‌ها در چهار سطح ارزیابی شده است: (۱) سه متغیر اصلی هواشناسی دخیل در محاسبه  $ET_0$  شامل دمای بیشینه ( $T_{max}$ )، دمای کمینه ( $T_{min}$ ) و سرعت باد بیشینه ( $U$ )؛ (۲) بخش مربوط به تابش خورشیدی در رابطه فائو-پنمن-مانتیت ( $ET_0^{Rad}$ )، بخش مربوط به جریان همرفتی

زمینه متغیرهای مختلف هواشناسی پژوهش‌های گسترده‌ای شده است.

علیدوست و همکاران (Alidost et al., 2019) خطای اریب برون‌دادهای دمای هوا در نزدیکی سطح زمین مدل ECMWF و روش‌های اصلاح آن را بررسی و گزارش کردند که هرچند خطای مذکور ۳/۶ درجه سلسیوس مشاهده شده است اما با روش‌های کنترل اریب می‌توان این خطا را تا ۴۶ درصد کاهش داد.

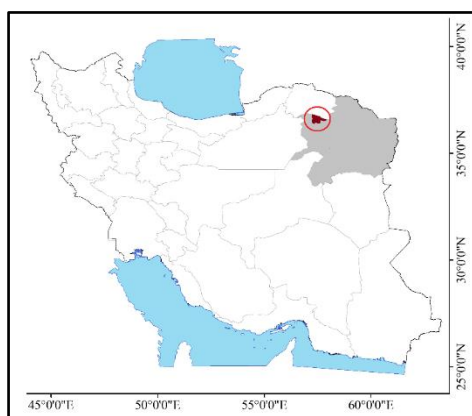
خصوصیات ذاتی این مدل‌ها سبب شده تا دقت خروجی آنها در شرایط آب و هوایی، بازه‌های زمانی و نقاط مختلف دنیا برای متغیرهای مختلف متفاوت باشد. روشن است که ارزش هر یک از متغیرهای هواشناسی که این مدل‌های پیش‌بینی می‌کنند، برحسب استفاده کاربر متفاوت است (Shahi et al., 2009). برای مثال، در باغ‌هایی که با خطر سرمازدگی روبه‌رو هستند، دقت مدل‌ها در پیش‌بینی دمای کمینه و یا برای برنامه‌ریزی سمپاشی و محلول‌پاشی در مزارع سرعت باد فاکتور تأثیرگذاری است. در تابستان، به ویژه در مناطق مرطوب و نیمه مرطوب، تخمین دقیق شار خالص تابشی در سطح و طی فصول سرد سال تخمین مناسب سرعت باد و نقصان رطوبتی هوا بیشترین تأثیر را بر برآورد مناسب  $ET_0$  دارند (Pereira et al., 2015). از این رو باید توجه کرد که بسته به بازه زمانی دوره رشد گیاه و شرایط اقلیمی محدوده مطالعاتی مدل‌های هواشناسی کارایی متفاوتی داشته باشند. علاوه بر زمان، پراکندگی جغرافیایی نیز فاکتور بسیار مؤثری بر دقت پیش‌بینی‌های هواشناسی است. رضیئی و ستوده (Raziei & Sotoudeh, 2017) با بررسی دقت پیش‌بینی‌های میان‌مدت بارش ECMWF در بازه زمانی ۱۳۵۸ تا

شهرستان با در نظر گرفتن کشت مجدد، به‌طور متوسط سالانه ۲۷ هزار هکتار زمین زیر کشت محصولات زراعی می‌رود که ۱۰ تا ۱۵ درصد آن چغندر قند است (Deputy of Planning and Economy of the Ministry of Agriculture-Jahad, 2017) در این پژوهش، از اطلاعات ایستگاه هواشناسی کلیماتولوژی جویین با مختصات ۳۶/۶ درجه شمالی و ۵۷/۴ درجه شرقی استفاده شد. شاخص خشکی<sup>۲</sup> این منطقه ۰/۰۵ است که از منظر طبقه‌بندی اقلیمی (Ponce *et al.*, 2000) در زمره مناطق بسیار خشک<sup>۳</sup> به حساب می‌آید.

در رابطه پهنمن مانیت (ET<sub>0</sub><sup>Adv</sup>)؛ تبخیر-تعرق گیاه مرجع ET<sub>0</sub>؛ و (۴) نیاز آبی گیاه چغندر قند<sup>۱</sup>.

## مواد و روش‌ها منطقه مطالعاتی

شهرستان جویین، به مرکزیت شهر نقاب، یکی از شهرستان‌های استان خراسان رضوی است. این شهرستان با مساحتی ۱۶۵۶۰۰۵ کیلومتر مربع، و با ارتفاع متوسط ۱۱۰۰ متر از سطح دریا، در محدوده تقریبی ۳۶/۴۱ تا ۳۶/۸۳ عرض شمالی و ۵۷/۱۲ تا ۵۳/۹۵ طول شرقی قرار دارد (شکل ۱). در این



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی شهرستان جویین

Figure 1- Geographical location of Joven city

پیش‌بینی‌های هواشناسی سه پایگاه ECMWF، GFS و MeteoBlue استفاده شد (جدول ۱). پیش‌بینی‌های روزانه این مدل‌ها از متغیرهای هواشناسی دما، سرعت باد و ابرناکی برای محدوده مطالعاتی از پایگاه اینترنتی <https://www.windy.com> اخذ گردید. این پایگاه

## پایگاه‌های هواشناسی

تبخیر-تعرق گیاهان تحت تأثیر عوامل هواشناسی، گیاهی و ویژگی‌های مدیریتی و محیطی قرار دارد. عوامل هواشناسی مؤثر بر تبخیر-تعرق گیاهان به‌طور عمده عبارت‌اند از تابش آفتاب، دما، رطوبت هوا و سرعت باد. در این پژوهش از

$$2- \text{Aridity Index} = \frac{\text{Precipitation(Annual)}}{\text{Potential Evaporation(Annual)}}$$

3- Hyperarid

۱- روش استاندارد محاسبه نیاز آبی محصولات باغی و زراعی، اندازه‌گیری مستقیم در سطح زمین‌های کشاورزی، روش‌های لایسیمیتری است. در این پژوهش به دلیل دسترسی نداشتن به لایسیمتر در منطقه مطالعاتی، مبنای ارزیابی، بر مقایسه نیاز آبی مستخرج از رابطه ۱ با ورودی‌های پایگاه‌های هواشناسی و داده‌های هواشناسی برداشت شده در ایستگاه جویین استوار است.

فصل رشد چغندر قند در آن منطقه است. کلیه متغیرهای هواشناسی مؤثر بر تبخیر-تعرق،  $ET_0$  و نیاز آبی از پیش‌بینی ۵ روزه مدل‌ها محاسبه و با نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌ها در ایستگاه هواشناسی مقایسه شد. به سخی دیگر، در روز  $i$  ام پیش‌بینی روز  $i+5$  اخذ شده و متغیرهای مورد برای روز  $i+5$  محاسبه و با متغیرهای محاسبه شده بر اساس اطلاعات اندازه‌گیری شده در روز  $i+5$  در ایستگاه مقایسه می‌شود.

پیش‌بینی‌های هواشناسی را از منابع مختلف، به صورت رایگان در اختیار کاربران می‌گذارد. پیش‌بینی‌های هر سه پایگاه به صورت روزانه در فاصله‌های زمانی سه ساعته ارائه می‌شود. از آنجایی که تمرکز این پژوهش بررسی دقت بروندادهای مدل‌های پیش‌بینی هواشناسی مدل‌های مذکور در برآورد نیاز آبی گیاه چغندر قند بهاره در محدوده جوین است، بازه زمانی مورد بررسی از ۱۸ اردیبهشت تا ۲۸ آبان ماه ۱۳۹۹ انتخاب شد که

جدول ۱- مشخصات مدل‌های پیش‌بینی هواشناسی میان‌مدت مورد استفاده در تحقیق

Table 1 - Specifications of medium-range meteorological forecast models used in this research

| مدل           | مقیاس مکانی*            | حداکثر بازه زمانی پیش‌بینی | مرکز توسعه دهنده مدل                                           |
|---------------|-------------------------|----------------------------|----------------------------------------------------------------|
| **ERA-Interim | ۲۸ کیلومتر × ۲۸ کیلومتر | ۱۰                         | The European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) |
| MeteoBlue     | ۳۰ کیلومتر × ۳۰ کیلومتر | ۷                          | University of Basel, Switzerland                               |
| GFS           | ۲۸ کیلومتر × ۲۸ کیلومتر | ۱۶                         | The National Center for Environmental Prediction (NCEP)        |

\* خروجی مدل‌ها با قدرت تفکیک مکانی متفاوتی ارائه می‌شود؛ از این رو ارقام مندرج در جدول مربوط به رزولوشن مورد استفاده در این پژوهش است.

\*\* مدل ERA-Interim مدل توسعه یافته توسط ECMWF است. به دلیل رایج بودن عنوان ECMWF، در این پژوهش از عنوان ECMWF برای مشخص کردن این پیش‌بینی‌ها استفاده شد.

## روش محاسبه $ET_0$

$ET_0$  = تبخیر-تعرق گیاه مرجع ( $\text{mm d}^{-1}$ )،  $\Delta$  شیب منحنی فشار بخار اشباع ( $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ )،  $R_n$  شار تابش خالص ( $\text{MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$ )؛  $G$  = شار حرارت خاک ( $\text{MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$ )،  $\gamma$  ثابت سایکرومتری ( $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ )؛  $T$  = میانگین دمای هوا در ارتفاع دو متری ( $^\circ\text{C}$ )؛  $u_2$  = سرعت باد در ارتفاع دو متری ( $\text{m s}^{-1}$ )،  $e_s$  فشار بخار اشباع ( $\text{kPa}$ )؛  $e_a$  = فشار بخار واقعی هوا ( $\text{kPa}$ ). یادآوری می‌شود که محاسبات به صورت روزانه بوده است و از این رو  $G$  صفر در نظر گرفته شد. در این رابطه، بخش مربوط به  $0.408\Delta(R_n - G)$  بیانگر نقش تابش خورشیدی و  $\gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)$  مربوط به نقش جریان همرفتی در تبخیر-تعرق است. به عبارت دیگر:

روش فائو پنمن-مانتیت که در نشریه فائو ۵۶ ارائه شده، به استاندارد نانوشته جهانی<sup>۱</sup> در محاسبه  $ET_0$  تبدیل شده است (Pereira et al., 2015). رابطه پنمن-مانتیت تبخیر-تعرق از سطح چمن فرضی با ارتفاع ۱۲ سانتی‌متر و ضریب زبری آیرودینامیک ۷۰ ثانیه بر متر و ضریب آلیبدو ۰/۲۳ را محاسبه می‌کند (Allen et al., 1998). رابطه پنمن-مانیت عبارت است از:

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 u_2)} \quad (2-\text{الف})$$

که در آن؛

به‌طور فعال در حال تبخیر-تعرق باشد و درگیر تنش رطوبتی نباشد تا جریان همرفتی محلی<sup>۱</sup> رخ ندهد. در چنین شرایطی،  $T_{min}$  عموماً به سمت رطوبت هوا در نقطه شب‌نم ( $T_{dew}$ ) میل می‌کند. با وجود این، در بسیاری از ایستگاه‌های هواشناسی این شرایط فراهم نیست. فقدان سطح گسترده پوشش گیاهی پیرامون ایستگاه هواشناسی سبب می‌شود تا نقصان بخار اشباع (VPD) بیش برآورد شود. از این رو لازم است تا رطوبت هوای اعلام شده از ایستگاه برای استفاده در رابطه ۲ برابر رابطه ۴ اصلاح شود (Allen et al., 1998).

$$T_{dew} = T_{min} - K_0 \quad (4)$$

که در آن؛

$K_0$  = برای مناطق مرطوب و نیمه‌مرطوب صفر و برای مناطق خشک و نیمه‌خشک ۲ درجه سانتی‌گراد.

از آنجا که  $\frac{e_a(T_{max}) + e_a(T_{min})}{2} - e_a(T_{dew})$  است، استفاده از این روش سبب می‌شود تا از بیش‌برآورد VPD جلوگیری شود (Allen et al., 1998). با توجه به شرایط منطقه، برای این ایستگاه  $K_0$  برابر ۱ در نظر گرفته شد. در شکل ۲ الف، VPD محاسبه شده با استفاده از رطوبت نسبی هوای اندازه‌گیری شده در ایستگاه هواشناسی جوین و VPD محاسبه شده بر اساس دمای کمینه ارائه شده است. بدین ترتیب، VPD در روزهای اصلاح شد که رطوبت هوا از رطوبت متناظر محاسبه شده با استفاده از رابطه ۴ کمتر گردید. در شکل ۲ ب،  $ET_0$  اصلاح شده و  $ET_0$  بدون اعمال اصلاحات برای ایستگاه کلایماتولوژی جوین در دوره ۱۹۶ روزه، ۱۸ اردیبهشت تا ۲۸ آبان ۹۹ ارائه شده است.

$$ET_0^{rad} = \frac{0.408\Delta(R_n - G)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34 u_2)} \quad (2-ب)$$

$$ET_0^{adv} = \frac{\frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34 u_2)} \quad (2-پ)$$

جزء تابش تابع  $(ET_0^{rad})$  متأثر از موقعیت جغرافیایی، ارتفاع و ابرناکی هوا است (رابطه ۲-ب). در مقابل جزء همرفتی  $(ET_0^{adv})$  متأثر از جریان باد، نقصان رطوبتی و دمای هواست (رابطه ۲-پ).

متأسفانه ایستگاه هواشناسی جوین به دستگاه‌های پایرونومتر و آفتاب نگار مجهز نبود؛ به همین دلیل  $ET_0$  برای ایستگاه هواشناسی جوین با استفاده روش توصیه‌شده نشریه فائو ۵۶ برای شرایط فقدان بخشی از اطلاعات ورودی محاسبه شد. در این روش شار خالص تابش برابر است با:

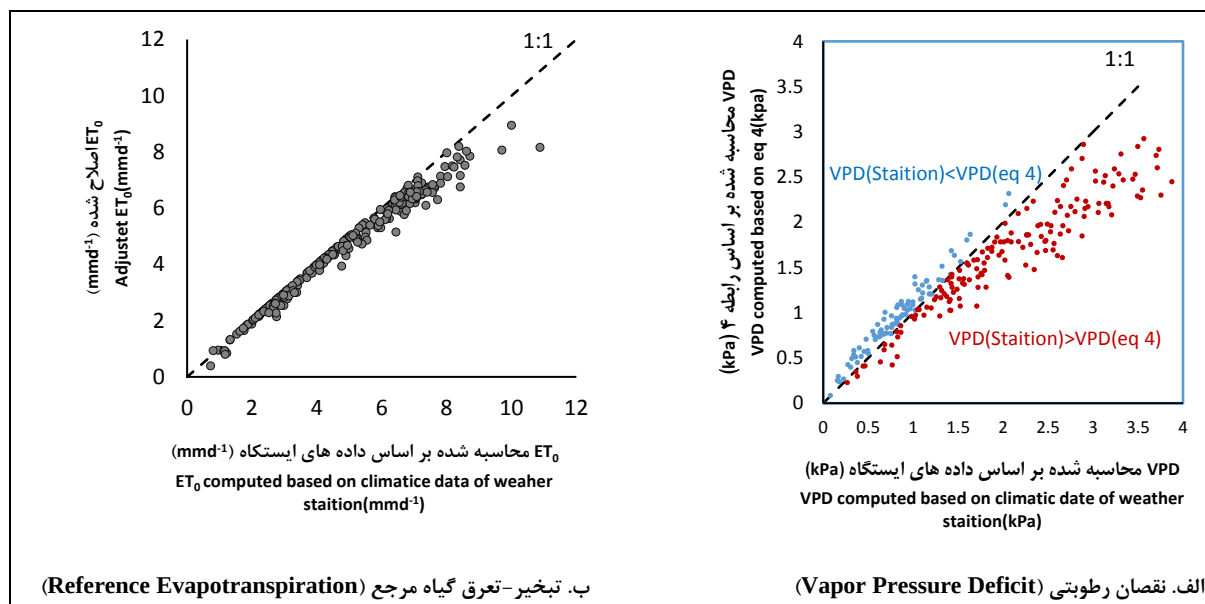
$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \cong \frac{0.77k_{Rs}R_a\sqrt{T_{max} - T_{min}} - \sigma}{\left[\frac{T_{max}^4 + T_{min}^4}{2}\right] (0.34 - 0.14\sqrt{e_a}) \left(1.35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0.35\right)} \quad (3)$$

که در آن؛

$R_a$  = تابش خورشیدی رسیده به بالای جو  $(MJ m^{-2}d^{-1})$ ؛  $K_{Rs}$  = ضریب اصلاحی (برای مناطق ساحلی  $0.16^\circ C^{-0.5}$  و برای مناطق دور از دریا  $0.19^\circ C^{-0.5}$ )؛  $\sigma$  = ثابت استفن بولتزمن  $(4.903 \cdot 10^{-9} MJ^\circ K^{-4} m^{-2}d^{-1})$ ؛  $T_{max}$  دمای بیشینه  $(^\circ K)$ ؛  $T_{min}$  دمای کمینه  $(^\circ K)$ ؛  $R_s$  = تابش خورشیدی رسیده به سطح زمین  $(MJ m^{-2}d^{-1})$ ؛ و  $R_{so}$  = تابش خورشیدی در آسمان تمیز  $(MJ m^{-2}d^{-1})$ .

در توسعه روش فائو پنمن-مانتیث فرض بر تبخیر-تعرق از پوشش گیاهی با سطح وسیع است؛ به عبارت دیگر، اطلاعات هواشناسی مورد استفاده باید در شرایطی برداشت شود که پوشش پیرامون آن

مقایسه تبخیر-تعرق برآوردی چغندر فند با معادله پنمن مانیتیت...



شکل ۲- نقصان رطوبتی و تبخیر-تعرق گیاه مرجع محاسبه شده در بازه زمانی ۱۸ اردیبهشت تا ۲۸ آبان ماه ۱۳۹۹ بر اساس اطلاعات ایستگاه هواشناسی جوین و محاسبه شده بر اساس رابطه ۴

Figure 2 – VPD and  $ET_0$  based on the information of Jovein meteorological station in the period from 18 May to November 2020 and based on Equation 4

گردند. تغییرات  $K_{c_{ini}}$  متأثر از تواتر رویدادهای خیس شدگی خاک و توان تبخیر از سطح خاک است.

تغییرات  $K_{c_{mid}}$  و  $K_{c_{end}}$  متأثر از تغییرات ضریب آیرودینامیکی گیاه است که سرعت باد، خشکی هوا و ارتفاع گیاه در آن اثر گذار است (رابطه ۹):

$$K_{c_{Adj}} = K_{c_T} + 0.04(U_2 - 2) - 0.004(RH_{min} - 45) \left(\frac{h}{3}\right)^{0.3} \quad (9)$$

که در آنها؛

$K_{c_{Adj}}$  = عبارت است از  $K_{c_{mid}}$  یا  $K_{c_{end}}$  اصلاح شده؛  
 $K_{c_{mid}} = K_{c_T}$  یا  $K_{c_{end}}$  توصیه شده در منابع؛  $U_2$  و  $RH_{min}$  = به ترتیب متوسط سرعت باد در ارتفاع دو متری ( $ms^{-1}$ ) و متوسط رطوبت نسبی روزانه (درصد) در بازه زمانی میانی و یا انتهایی و  $h$  ارتفاع گیاه ( $m$ ) در دوره مربوط.

مدل‌ها بر اساس خطای اریب برآورد متغیرها و جذر مربعات خطا آنها ارزیابی شدند (رابطه‌های ۶ و ۷)

$$Error = X_{Actual\ Observation} - X_{Forecast} \quad (5)$$

$$BIAS = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Error_i) \quad (6)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Error_i)^2} \quad (7)$$

$$r = \frac{\sum (X_{Observation} - \bar{X}_{Observation})(X_{Forecast} - \bar{X}_{Forecast})}{\sqrt{\sum (X_{Observation} - \bar{X}_{Observation})^2 \sum (X_{Forecast} - \bar{X}_{Forecast})^2}} \quad (8)$$

که در آنها؛

$BIAS$ ،  $RMSE$ ،  $r$  = به ترتیب خطای اریب، جذر مربعات خطا؛ و ضریب همبستگی و  $X_{Observation}$  و  $X_{Forecast}$  به ترتیب مقادیر مشاهده شده در ایستگاه هواشناسی جوین و پیش‌بینی مدل‌ها و  $\bar{X}_{Forecast}$  و  $\bar{X}_{Observation}$  میانگین آن است.

### ضریب گیاهی

ضریب‌های ارائه شده در مراجع علمی برای ضریب گیاهی ( $K_c$ ) در سه دوره رشد  $K_{c_{ini}}$ ، دوره میانی  $K_{c_{mid}}$  و دوره انتهایی  $K_{c_{end}}$  باید اصلاح

تبخیر-تعرق، دقت خروجی سه مدل GFS، ECMWF و MeteoBlue در پیش‌بینی ۵ روزه متغیرهای  $T_{min}$ ،  $T_{max}$  و سرعت باد بیشینه بررسی شد (جدول ۲). علاوه بر سه متغیر مذکور متغیرهای دیگری در رابطه پهن-مانتیت استفاده می‌شوند که در ایستگاه هواشناسی به صورت مستقیم اندازه‌گیری نمی‌شوند. این متغیرها عبارت اند از  $R_{ns}$ ،  $R_{nl}$ ،  $R_n$  و ساعات آفتابی.

با استفاده از رابطه‌های توصیه شده نشریه فائو ۵۶ برای شرایط فقدان بخشی از اطلاعات ورودی، مقادیر متغیرهای فوق برای ایستگاه هواشناسی جوین تخمین زده شد و با برون‌دادهای حاصل از مدل‌ها مقایسه گردید. رطوبت هوا در برون‌دادهای مدل‌های مورد بررسی وجود نداشت، از این رو نقصان فشار بخار اشباع برای مدل‌های هواشناسی بر حسب فرض رابطه ۴ محاسبه شد.

همچنین،  $K_{c_{end}}$  تابع مدیریت آبیاری در مزارع و تاریخ برداشت گیاه است که تازگی یا خشکی گیاه را در زمان برداشت مشخص می‌کند.

## نتایج و بحث

برای ارائه پیش‌بینی‌های قابل‌اعتمادتری از متغیرهای آب و هوایی، در سراسر جهان از روش بررسی آماری به عنوان مهمترین روش ارزیابی در بخش کشاورزی و در سایر بخش‌ها استفاده می‌شود در همین زمینه، این پژوهش به بررسی کارایی مدل‌های GFS، ECMWF و MeteoBlue در سه حالت پرداخته است: (۱) داده‌های خام هواشناسی شامل بیشینه دمای روزانه، کمینه دمای روزانه و سرعت باد حداکثر روزانه، (۲) تبخیر-تعرق گیاه مرجع و اجزای آن و (۳) نیاز آبی گیاه چغندر قند در منطقه جوین.

## داده‌های خام هواشناسی

با توجه به اهمیت تأثیر متغیرهای هواشناسی بر

جدول ۲ - نتایج مقایسه آماری بین داده‌های روزانه ایستگاه هواشناسی و برون‌دادهای مدل‌های هواشناسی GFS، ECMWF و

MeteoBlue در بازه زمانی ۱۸ اردیبهشت تا ۲۸ آبان ماه ۱۳۹۹

Table 2 - Results of statistical comparison between station daily data and outputs of GFS, ECMWF and MeteoBlue in the period from 18 May to November 2020

| $R_n (Mjm^{-2}d^{-1})$ |       |           | $R_{ns} (Mjm^{-2}d^{-1})$ |       |           | $R_{nl} (Mjm^{-2}d^{-1})$         |       |           | واحد              | شاخص |
|------------------------|-------|-----------|---------------------------|-------|-----------|-----------------------------------|-------|-----------|-------------------|------|
| GFS                    | ECMWF | MeteoBlue | GFS                       | ECMWF | MeteoBlue | GFS                               | ECMWF | MeteoBlue |                   |      |
| -۱/۲۵                  | -۱/۵۴ | -۰/۱۵     | -۱/۴۴                     | -۱/۵۶ | ۰/۳۵      | -۰/۱۸                             | -۰/۰۲ | ۰/۵۰      | mmd <sup>-1</sup> | BIAS |
| ۱/۹۶                   | ۱/۹۰  | ۲/۰۶      | ۲/۷۸                      | ۲/۳۸  | ۳/۱۹      | ۱/۲۰                              | ۰/۹۷  | ۱/۴۲      | mmd <sup>-1</sup> | RMSE |
| دمای میانگین (°C)      |       |           | $T_{min} (°C)$            |       |           | $T_{max} (°C)$                    |       |           | واحد              | شاخص |
| GFS                    | ECMWF | MeteoBlue | GFS                       | ECMWF | MeteoBlue | GFS                               | ECMWF | MeteoBlue |                   |      |
| -۰/۰۸                  | -۱/۰۵ | -۰/۶۸     | -۲/۸۲                     | -۳/۷۱ | -۲/۲۰     | ۱/۴۴                              | ۱/۵۹  | ۲/۰۰      | mmd <sup>-1</sup> | BIAS |
| ۱/۵۴                   | ۱/۷۹  | ۱/۶۹      | ۴/۰۷                      | ۴/۲۷  | ۳/۱۳      | ۲/۳۲                              | ۲/۵۰  | ۲/۹۰      | mmd <sup>-1</sup> | RMSE |
| ساعت آفتابی*           |       |           | ** VPD (kPa)              |       |           | Max Windspeed (ms <sup>-1</sup> ) |       |           | واحد              | شاخص |
| GFS                    | ECMWF | MeteoBlue | GFS                       | ECMWF | MeteoBlue | GFS                               | ECMWF | MeteoBlue |                   |      |
| -۱/۴۱                  | -۱/۵۴ | ۰/۳۲      | -۰/۲۷                     | ۰/۳۵  | ۰/۳۴      | ۰/۱۴                              | ۱/۳۳  | ۱/۷۹      | mmd <sup>-1</sup> | BIAS |
| ۲/۷۳                   | ۲/۳۷  | ۰/۱۰      | ۰/۴۶                      | ۰/۴۴  | ۰/۴۹      | ۳/۲۹                              | ۳/۲۶  | ۳/۴۴      | mmd <sup>-1</sup> | RMSE |

\* این متغیرها به صورت مستقیم در ایستگاه اندازه‌گیری نمی‌گردید. ارقام مندرج در جدول از مقایسه متغیرها با اطلاعات مستخرج از روابط توصیه شده نشریه فائو ۵۶ برای شرایط فقدان بخشی از اطلاعات ورودی است.

\*\* رطوبت هوا در برون‌دادهای مدل‌های مورد بررسی وجود نداشتند. نقصان فشار بخار اشباع برای مدل‌های هواشناسی بر حسب فرض رابطه ۴ محاسبه شد.

انتظار، خطای اریب مدل GFS منفی شده است. دلیل این امر آن است که روزهایی که این مدل  $T_{min}$  را با دقت پایینی پیش‌بینی کرده لزوماً منطبق بر روزهایی نبوده است که مدل موفق به برآورد دقیق  $T_{max}$  نگردد. به عبارت دیگر دقت مدل‌ها در برآورد VPD علاوه بر اینکه تابع دقت برآورد  $T_{min}$  و  $T_{max}$  به تبع آن  $e_a(T_{min})$  و  $e_a(T_{max})$  است، به هم‌زمانی رخداد این خطاها نیز بستگی دارد. RMSE برای VPD برای سه مدل GFS، ECMWF و MeteoBlue به ترتیب ۰/۵، ۰/۴ و ۰/۵ به دست آمد.

خطای اریب مدل‌های GFS، ECMWF و MeteoBlue در برآورد سرعت باد حداکثر روزانه در محدوده مطالعاتی به ترتیب ۰/۱، ۱/۳ و ۱/۸ متر بر ثانیه به دست آمد. همان طور که مشاهده می‌شود خطای اریب مدل GFS بسیار کمتر از خطای اریب دو مدل دیگر است. با این همه RMSE برآورد سرعت باد حداکثر برای سه مدل به ترتیب ۳/۳، ۳/۳ و ۳/۴ متر بر ثانیه محاسبه شد. به عبارت دیگر، هرچند برآیند خطای برآورد سرعت باد روزانه توسط مدل GFS در مجموع دوره رشد گیاه مقدار کمی است اما، اگر برون‌دادهای سرعت باد حداکثر این مدل به صورت روزانه ارزیابی شود، نسبت به دو مدل دیگر دقت بالاتری ندارد.

روشن است که فقدان تجهیزات اندازه‌گیری مستقیم تابش خورشیدی در ایستگاه هواشناسی منطقه مورد مطالعه سبب کاهش دقت محاسبه  $ET_0$  با استفاده از رابطه پنمن-مانتیت می‌گردد. با وجود این فرض‌ها رگریوز و سامانی (Hargreaves & Samani, 1985) در برآورد شار خالص تابشی، ناظر به این حقیقت است که ابرناکی آسمان مانع از افزایش اختلاف دمای شب و روز می‌گردد. این

همان‌طوری که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، خطای اریب مدل‌های GFS، ECMWF و MeteoBlue در پیش‌بینی ۵ روزه از  $T_{max}$  در محدوده مطالعاتی به ترتیب ۱/۴، ۱/۶ و ۲/۰ درجه سلسیوس است. RMSE برآورد  $T_{max}$  برای سه مدل GFS، ECMWF و MeteoBlue به ترتیب ۲/۳، ۲/۵ و ۲/۳ محاسبه شد. باید در نظر داشت که در بازه زمانی مورد مطالعه، هر سه مدل  $T_{max}$  را کمتر از واقعیت پیش‌بینی کردند.

بررسی خطای اریب مدل‌های GFS، ECMWF و MeteoBlue در پیش‌بینی  $T_{min}$  نشانگر آن است که هر سه مدل دمای کمینه روزانه را به ترتیب ۲/۸، ۳/۱ و ۲/۲ سلسیوس بیشتر از شرایط واقعی محاسبه کرده بودند. هرچند در بازه زمانی مورد بررسی گیاهان با خطر سرمازدگی مواجه نیستند اما باید در نظر داشت که بیش‌برآورد  $T_{min}$  اعمال سیاست‌های مقابله با سرمازدگی را به تأخیر اندازد و بالطبع خطر سرمازدگی را در گیاهان افزایش دهد. همان طور که پیشتر گفته شد، در مناطق کشاورزی، دمای کمینه به نوعی نشانگر رطوبت مطلق هوا و اختلاف دمای کمینه و بیشینه در یک روز بیانگر شدت خشکی آب و هوای منطقه است. بنابراین، با توجه به کم برآورد کردن  $T_{min}$ ، انتظار می‌رود تا خطای اریب VPD نیز مثبت شود یا به عبارت دیگر، مدل‌ها رطوبت منطقه را بیش برآورد کنند. هیگدورن و همکاران (Hagedorn et al., 2008) RMSE پیش‌بینی‌های با فاصله زمانی ۵ روزه از دمای هوا در ارتفاع دو متری از سطح زمین توسط دو مدل GFS و ECMWF را به ترتیب برابر ۳/۶ و ۴/۴ درجه سلسیوس محاسبه کردند.

خطای اریب VPD نیز برای سه مدل به ترتیب ۰/۳، ۰/۴ و ۰/۳ است. مشاهده می‌شود که برخلاف



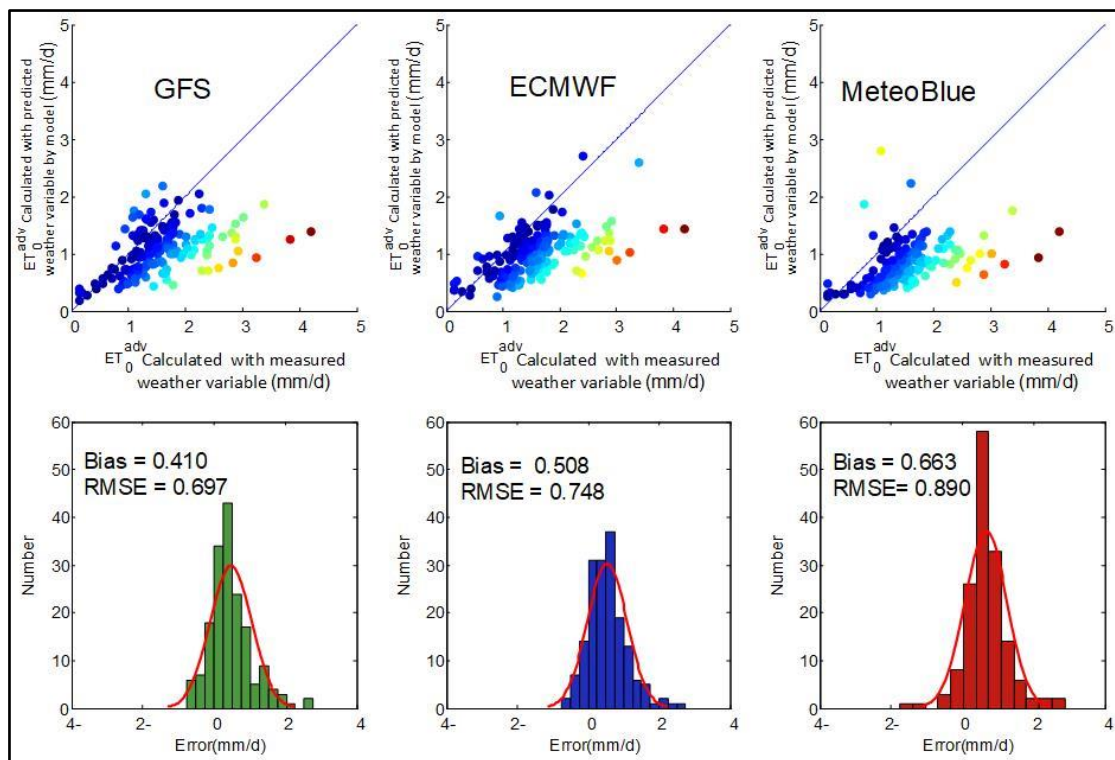
برآورد  $R_{ns}$  به ترتیب  $-۱/۴۴$ ،  $-۱/۵۶$  و  $۰/۳۵$  مگاژول بر متر مربع بر روز به دست آمد. از آنجاکه اندازه مطلق خطای اریب  $R_{ns}$  بیشتر  $R_{nl}$  بوده در نتیجه خطای اریب  $R_n$  برای هر سه مدل منفی شده است. یادآوری می شود که  $R_n = R_{ns} - R_{nl}$  است.

#### تبخیر-تعرق گیاه مرجع

$ET_0$  از دو بخش جزء تابشی ( $ET_0^{Rad}$ ) و جزء همرفتی ( $ET_0^{Adv}$ ) تشکیل شده است. در مناطق مرطوب به سبب کم بودن  $VPD$ ،  $ET_0$  تقریباً معادل  $ET_0^{Rad}$  محاسبه می شود.

در مناطق خشک مانند جویین، علاوه بر جزء تابشی، جزء همرفتی نیز سهم مهمی در  $ET_0$  دارد.  $ET_0^{Adv}$  برای سه مدل محاسبه و با  $ET_0$  محاسبه شده بر اساس داده‌های ایستگاه هواشناسی جویین مقایسه شد (شکل ۴).

نتیجه‌گیری مبتنی بر انبوه اطلاعات جمع آوری شده در نقاط مختلف دنیاست که آن را به روشی پذیرفته شده و کاربردی تبدیل کرده است. دقت مدل‌های GFS، ECMWF و Meteoblue در پیش‌بینی سه فاکتور  $R_{nl}$ ،  $R_{ns}$  و  $R_n$  که برای منطقه جویین با استفاده از رابطه ۳ محاسبه شده بود، بررسی گردید (جدول ۲). همانطور که مشاهده می‌شود هر سه مدل، شار خالص تابشی را بیش از مقدار محاسبه شده برای ایستگاه جویین برآورد کرده‌اند. چنانچه خطای اریب سه مدل GFS، ECMWF و Meteoblue در برآورد  $R_n$  به ترتیب  $-۱/۲$ ،  $-۱/۵$  و  $-۰/۱$  مگاژول بر متر مربع بر روز به دست آمد. با این همه، خطای این مدل‌ها در محاسبه دو جز  $R_{nl}$  و  $R_{ns}$  یکسان نبوده است. خطای اریب مدل‌ها در برآورد  $R_{nl}$  به ترتیب  $-۰/۱۸$ ،  $-۰/۰۲$  و  $۰/۵۰$  و در

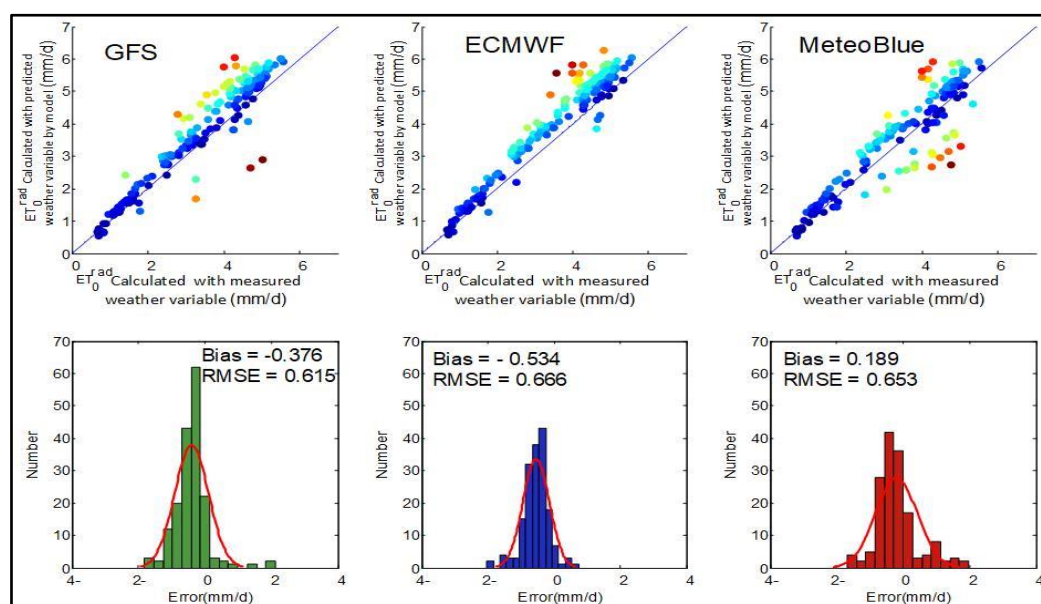


شکل ۴- جزء همرفتی تبخیر-تعرق گیاه مرجع بر اساس پیش‌بینی‌های هواشناسی و متغیرهای اندازه‌گیری شده در ایستگاه هواشناسی جویین در بازه زمانی ۱۸ اردیبهشت تا ۲۸ آبان ۹۹

Figure 4- Advection term of  $ET_0$  based on meteorological forecasts and climatic data recorded at weather station in the period from 18 May to November 2020

$ET_0$  محاسبه شده بر اساس داده‌های ایستگاه هواشناسی جوبین مقایسه شد (شکل ۵). خطای اریب مدل‌های GFS، ECMWF و MeteoBlue در برآورد  $ET_0^{Rad}$  به ترتیب برابر  $-0.4$ ،  $-0.5$  و  $-0.2$  میلی‌متر در روز بود. همان‌طور که پیشتر گفته شد این بیش‌برآورد متأثر از بیش‌برآورد  $R_n$  توسط مدل‌ها ست (جدول ۲). این نتایج ناظر به بازه زمانی ۱۹۶ روزه از ۱۸ اردیبهشت تا ۲۸ آبان‌ماه ۹۹ است. جذر مربعات خطای برآورد  $ET_0^{Rad}$  مدل‌ها برای سه مدل GFS، ECMWF و MeteoBlue به ترتیب برابر  $0.61$ ،  $0.67$  و  $0.65$  است؛ بنابراین مشابه  $ET_0^{Adv}$  در مورد تخمین  $ET_0^{Rad}$ ، GFS نسبت به دو مدل دیگر کارایی بهتری دارد. لازم است یادآوری شود که خطای اریب MeteoBlue کمتر از خطای اریب GFS است؛ با وجود این، با تکنیک‌های حذف اریب می‌توان این خطا را کنترل کرد. در حالی که RMSE از جنس نویز است که پیش‌بینی رفتار و کنترل آن بسیار دشوارتر از پیش‌بینی رفتار و کنترل خطای اریب است.

خطای اریب مدل‌های GFS، ECMWF و MeteoBlue در برآورد  $ET_0^{Adv}$  به ترتیب برابر  $0.4$ ،  $0.5$  و  $0.7$  میلی‌متر در روز بود. مهم‌ترین دلیل در کمتر برآورد کردن  $ET_0^{Adv}$  مربوط به برآورد کمتر VPD و بیش برآورد  $T_{mean}$  در این مدل‌ها نسبت به واقعیت منطقه جوبین است. جذر مربعات خطای برآورد  $ET_0^{Adv}$  مدل‌ها برای سه مدل GFS، ECMWF و MeteoBlue به ترتیب برابر  $0.75$ ،  $0.70$  و  $0.89$  است. بدین ترتیب بروندادهای مدل GFS در برآورد  $ET_0^{Adv}$  دقیق‌تر از دو مدل دیگر است. نکته قابل‌توجه دیگر اندرکنش خطاهای متغیرهای خام هواشناسی در خطای  $ET_0^{Adv}$  است. همان‌طور که پیشتر مشاهده شد، کارایی مدل MeteoBlue در تخمین  $T_{min}$  و به تبع آن رطوبت مطلق هوا بهتر از کارایی دو مدل دیگر بود اما در  $ET_0^{Adv}$  این موضوع مشاهده نمی‌شود. فرایند تبخیر-تعرق نیاز به مقدار قابل‌توجهی انرژی دارد. پرتوهای آفتاب منبع اصلی انرژی مورد استفاده در فرایند تبخیر-تعرق است (رابطه ۲-ب).  $ET_0^{Rad}$  برای سه مدل محاسبه و با

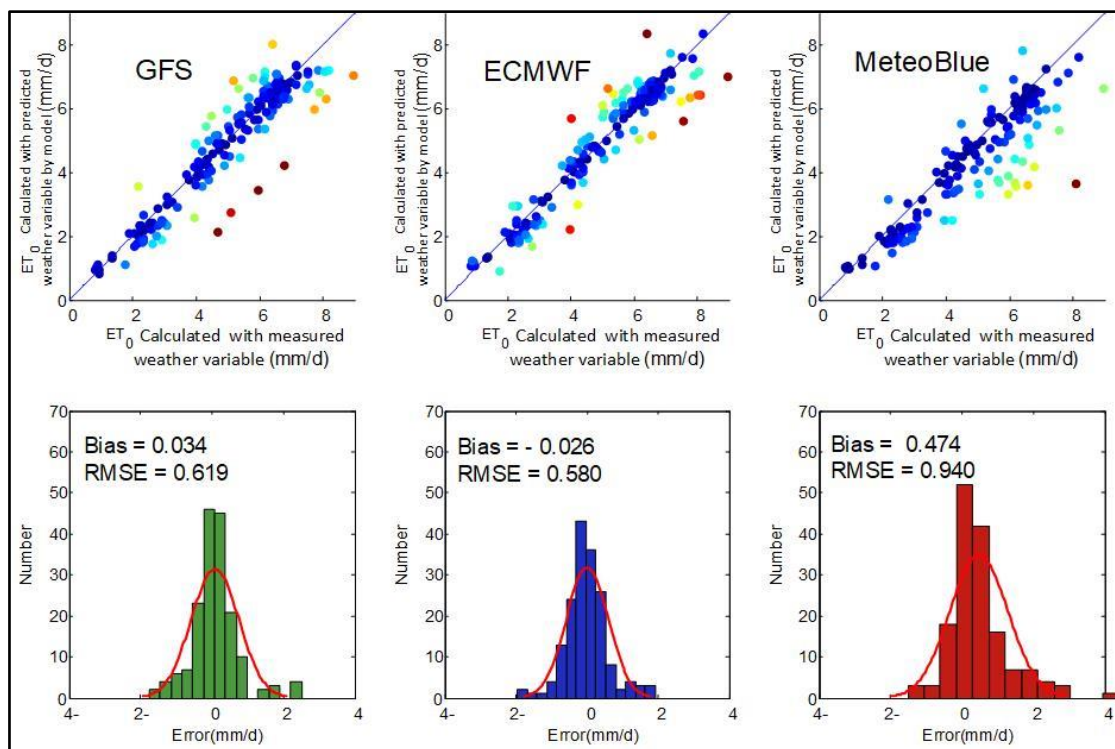


شکل ۵- جزء تابشی تبخیر-تعرق گیاه مرجع بر اساس پیش‌بینی‌های هواشناسی و متغیرهای اندازه‌گیری شده در ایستگاه هواشناسی جوبین در بازه زمانی ۱۸ اردیبهشت تا ۲۸ آبان ۹۹

Figure 5- Radiation term of  $ET_0$  based on meteorological forecasts and climatic data recorded at weather station in the period from 18 May to November 2020

پس از اعمال اصلاحات لازم بر داده‌های رطوبت‌هوا بر اساس رابطه ۴،  $ET_0$  ایستگاه هواشناسی جوین در بازه زمانی ۱۸ اردیبهشت تا ۲۸ آبان‌ماه ۹۹، که مطابق دوره رشد گیاه چغندر قند است، محاسبه و با  $ET_0$  محاسبه شده بر اساس بروندهای مدل‌های پیش‌بینی هواشناسی GFS، ECMWF و MeteoBlue مقایسه گردید (شکل ۶). در بازه زمانی مذکور،  $ET_0^{Adv}$  به طور متوسط ۳۱ درصد از  $ET_0$  در منطقه جوین را شامل گردید، این نسبت با نتایج مدل‌های GFS، ECMWF و MeteoBlue به ترتیب ۲۱، ۲۲ و ۲۵ درصد به دست آمد.

پس از اعمال اصلاحات لازم بر داده‌های رطوبت‌هوا بر اساس رابطه ۴،  $ET_0$  ایستگاه هواشناسی جوین در بازه زمانی ۱۸ اردیبهشت تا ۲۸ آبان‌ماه ۹۹، که مطابق دوره رشد گیاه چغندر قند است، محاسبه و با  $ET_0$  محاسبه شده بر اساس بروندهای مدل‌های پیش‌بینی هواشناسی



شکل ۶- تبخیر-تعرق گیاه مرجع بر اساس پیش‌بینی‌های هواشناسی و متغیرهای اندازه‌گیری شده در ایستگاه هواشناسی جوین در بازه زمانی ۱۸ اردیبهشت تا ۲۸ آبان ۹۹

Figure 6-  $ET_0$  based on meteorological forecasts and climatic data recorded at weather station in the period from 18 May to November 2020

مدل‌های GFS، ECMWF و MeteoBlue به ترتیب برابر ۰/۶۲، ۰/۵۸ و ۰/۹۴ میلی‌متر در روز و خطای اریب  $ET_0$  مدل‌های GFS، ECMWF و MeteoBlue به ترتیب برابر ۰/۰۳، ۰/۰۳ و ۰/۴۷ میلی‌متر در روز به دست آمد. به عبارت دیگر، دقت برآورد  $ET_0$  بیش از آنکه در گرو تخمین بهتر هر یک از اجزای

پیشتر مشاهده شد که دو جزء همرفتی و تابشی محاسبه شده توسط داده‌های GFS نسبت به دو مدل ECMWF و MeteoBlue دقت بالاتری دارند؛ با این همه، RMSE و خطای اریب  $ET_0$  محاسبه شده توسط مدل ECMWF، نسبت به GFS، کمتر است. جذر مربعات خطای برآورد  $ET_0$

### نیاز آبی گیاه چغندرقد

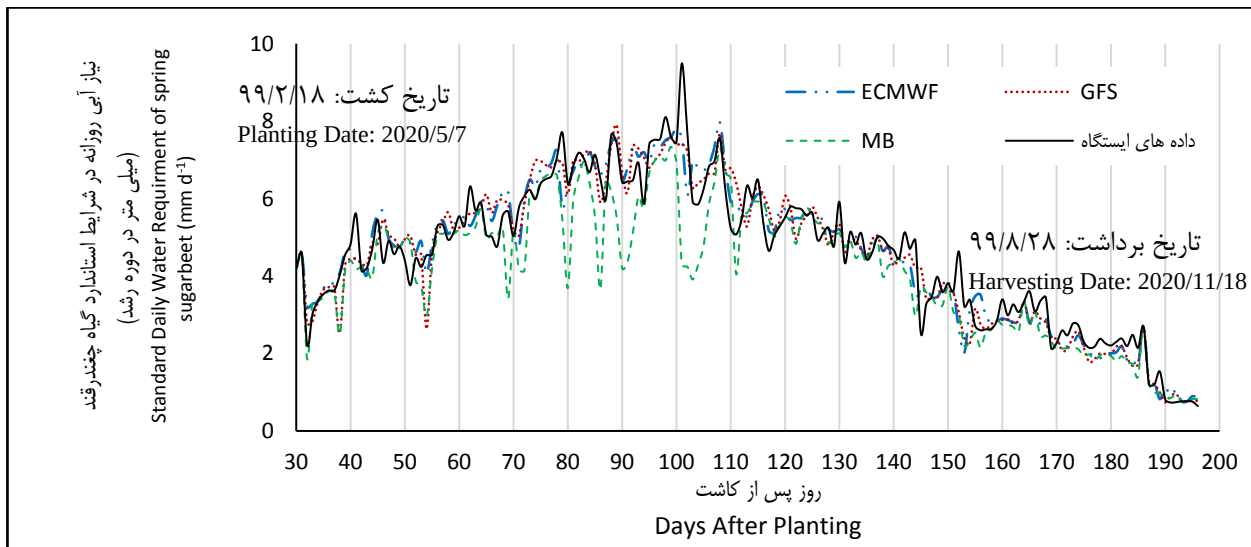
تبخیر-تعرق گیاهان زراعی به دلیل متفاوت بودن صفات فیزیولوژیکی، مورفولوژیکی و آیرودینامیکی، و سایر شرایط آنها با چمن فرضی استفاده شده در توسعه رابطه پنمن-مانتیث با  $ET_0$  یکسان نیست. بنابراین، به دلیل تفاوت‌های موجود در گیاهان زراعی، ضریب گیاهی هر گیاه مختص به خود آن گیاه است (Mirlatifi, 2003).  $K_{cini}$  تابع تواتر رویدادهای خیس‌شدگی و بافت خاک است. بافت خاک محدوده مطالعاتی لوم تا لوم شنی است و روش آبیاری متداول در کشت چغندرقد نیز آبیاری تیپ و آبیاری سنتریپوت با دور آبیاری کمتر از ۴ روز است. متوسط  $ET_0$  در ابتدای دوره رشد<sup>۱</sup> برابر ۵/۹ میلی‌متر در روز است. بنابراین  $K_{cini}$  گیاه چغندرقد در شرایط متداول کشت در منطقه جوین برابر ۰/۵۶ است (شکل ۳).

همچنین، با استفاده از رابطه ۴ و لحاظ کردن متوسط رطوبت نسبی روزانه، متوسط سرعت باد روزانه و ارتفاع گیاه در دوره میانی و انتهایی رشد،  $K_{cend}$  و  $K_{cmid}$  به ترتیب برابر ۱/۱۷۶ و ۰/۶۷۶ محاسبه شد. یادآوری می‌شود مقادیر  $K_{cmid}$  و  $K_{cend}$  در نشریه فائو ۵۶ به ترتیب برابر ۱/۲۰ و ۰/۷۰ ارائه شده است.

تبخیر-تعرق روزانه گیاه چغندرقد بهاره در شرایط استاندارد - نیاز آبی- برای منطقه جوین با استفاده اطلاعات ایستگاه هواشناسی جوین و داده‌های مدل‌های پیش‌بینی هواشناسی GFS، ECMWF و MeteoBlue با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد (شکل ۷).

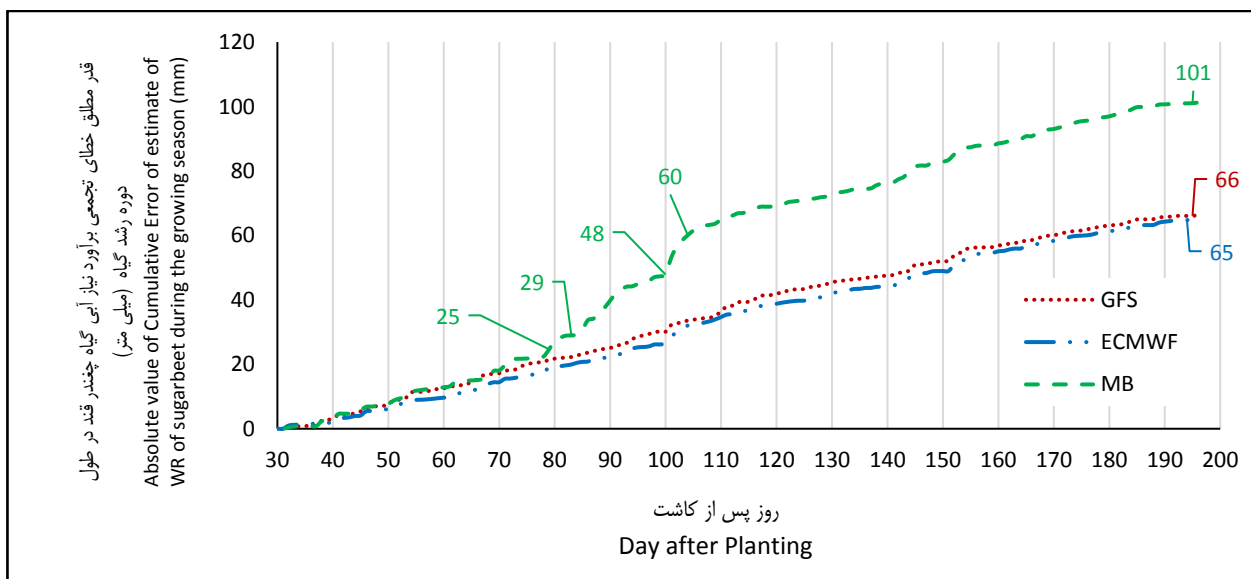
تابشی ( $ET_0^{Rad}$ ) و همرفتگی ( $ET_0^{Adv}$ ) رابطه  $ET_0$  باشد، متأثر از اثر کاهشی خطای برآورد این اجزا بر همدیگر است.

نتیجه قابل‌توجه در این پژوهش، اندرکنش خطای دو ترم  $ET_0^{Adv}$  و  $ET_0^{Rad}$  است. همانطور که پیشتر مشاهده شد هر سه مدل در تخمین  $ET_0^{Adv}$  و  $ET_0^{Rad}$  به ترتیب کم برآورد و بیش برآورد داشتند. رفتار متضاد این دو شاخص سبب شده تا اثر یکدیگر را خنثی کنند و بنابراین مقدار مطلق خطای اریب  $ET_0$  نسبت به دو جزء  $ET_0^{Adv}$  و  $ET_0^{Rad}$  کمتر باشد. با وجود این مشاهده می‌شود که جذر مربعات خطا که مبین نویز و رفتار تصادفی منابع خطا است، در هر سه مدل کنترل نشده است. به عبارت دیگر، هرچند خطای اریب در محاسبه  $ET_0$  نسبت به  $ET_0^{Adv}$  و  $ET_0^{Rad}$  کمتر است اما نتوانسته خطای نویز را کاهش دهد. ضریب همبستگی ( $r$ ) تبخیر-تعرق گیاه مرجع ( $ET_0$ ) برای مدل‌های GFS، ECMWF و Meteoblue به ترتیب برابر ۰/۹۶، ۰/۹۶ و ۰/۹۰ محاسبه شد. یکی از هدف‌های مدیران شبکه‌های آبیاری آن است که بتوانند حسب تقاضا آب را به آب‌بران تحویل بدهند که مستلزم داشتن پیش‌بینی مناسبی از نیاز آبی مزارع است.  $r$  نزدیک به ۱ و خطای اریب نزدیک به صفر نتایج پژوهش نشانگر آن است که  $ET_0$  پیش‌بینی شده با محصولات این مدل‌ها می‌تواند به مدیریت سامانه‌های آبیاری کمک کند. قره‌داغی (Gharedaghi, 2020) RMSE و همبستگی  $ET_0$  را برای پیش‌بینی‌های ۲۴ ساعته مدل ECMWF در ایستگاه هواشناسی کرج به ترتیب ۰/۹۳۵ و ۰/۷۸۱ میلی‌متر در روز محاسبه کرده است.



شکل ۷- نیاز آبی روزانه چغندر قند بهاره در منطقه جوین در بازه زمانی ۱۸ اردیبهشت تا ۲۸ آبان ۱۳۹۹  
Figure 7- Daily water requirement of spring sugar beet in Jovein region in 18 May to 28 November 2020

نیاز آبی گیاه چغندر قند بهاره محاسبه شده بر اساس اطلاعات ایستگاه هواشناسی جوین برابر ۸۶۶ میلی‌متر به دست آمد. نیاز خالص آبیاری چغندر قند برای دشت جوین- سلطان آباد در سند ملی نیاز آبیاری ۹۹۰ میلی‌متر ذکر شده است. نیاز آبی برآورد شده در دوره رشد توسط مدل‌های GFS، ECMWF و Meteoblue به ترتیب برابر ۸۶۶، ۸۶۰ و ۷۸۸ میلی‌متر به دست آمد. مجموع قدرمطلق خطای نیاز آبی روزانه مدل‌های GFS، ECMWF و Meteoblue به ترتیب ۶۶، ۶۵ و ۱۰۱ میلی‌متر در دوره رشد است (شکل ۸).



شکل ۸. خطای تجمعی در برآورد نیاز آبی روزانه چغندر قند مدل‌های پیش‌بینی هواشناسی در منطقه جوین در سال ۱۳۹۹  
Figure 8. Cumulative error in estimating daily water requirement of sugar beet using the products of meteorological forecasting models in Jovein region in 2020

خراسان رضوی اجرا شد. دلیل انتخاب پیش‌بینی‌های ۵ روزه در این پژوهش، حداکثر زمان فاصله درخواست تا تحویل آب متداول در شبکه‌های آبیاری و زهکشی است.

نتایج پژوهش نشانگر آن است که هر سه مدل  $ET_0^{Rad}$  را بیشتر و  $ET_0^{Adv}$  را کمتر از مقدار محاسبه شده بر اساس اطلاعات ایستگاه هواشناسی، برآورد می‌کنند. این امر سبب شد تا خطای اریب  $ET_0$  که برابر است با مجموع دو متغیر مذکور، برای هر سه مدل به نحو چشم‌گیری کاهش یابد. خطای اریب مدل‌های GFS، ECMWF و Meteoblue در بازه زمانی ۱۸ اردیبهشت تا ۲۸ آبان‌ماه ۹۹ به ترتیب برابر  $0/03$ ،  $-0/03$  و  $0/47$  میلی‌متر در روز به دست آمد. جذر مربعات خطای برآورد  $ET_0$  مدل‌های مورد اشاره به ترتیب برابر  $0/62$ ،  $0/58$  و  $0/94$  میلی‌متر در روز به دست آمد.

نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که دقت برآورد  $ET_0$  بیش از آنکه وابسته به تخمین دقیق‌تر هر یک از اجزای تابشی ( $ET_0^{Rad}$ ) و همرفتی ( $ET_0^{Adv}$ ) تشکیل دهنده معادله  $ET_0$  باشد، متأثر از اثر کاهشی خطای برآورد این اجزا بر یکدیگر است. ضریب همبستگی ( $r$ ) به دست آمده از مقایسه  $ET_0$  محاسبه شده با داده‌های اندازه‌گیری شده در ایستگاه هواشناسی جوین و پیش‌بینی شده توسط هر سه مدل، بیشتر از  $0/9$  است.  $r$  نزدیک به ۱ و خطای اریب نزدیک به صفر نتایج به دست آمده در این پژوهش، نشانگر آن است که  $ET_0$  پیش‌بینی شده با محصولات این مدل‌ها، به خصوص ECMWF و GFS که در منطقه جوین دقت بالایی دارند، می‌تواند در راستای پیش‌بینی آب مورد نیاز در سامانه‌های آبیاری کمک کند.

نکته قابل توجه در بررسی خطای برآورد نیاز آبی روزانه توسط مدل‌ها، بازه زمانی ۱۰۰ تا ۱۰۵ روز پس از کاشت -هفته انتهایی مرداد ماه- است؛ در شکل ۸ دیده می‌شود که در تاریخ مذکور منحنی خطای تجمعی مدل Meteoblue جهش قابل‌توجهی پیدا کرده است. دلیل این امر آن است که این مدل در روز ۲۵ مرداد که معادل ۱۰۱ روز پس از کاشت است، ساعات آفتابی واقعی را  $20$  درصد ساعت آفتابی ممکن پیش‌بینی کرده بود که در عمل این اتفاق رخ نداد. دو مدل دیگر در این تاریخ این نسبت را بیش از  $90$  درصد پیش‌بینی کرده بودند. در جدول ۲ دیده می‌شود RMSE سه مدل GFS، ECMWF و Meteoblue در پیش‌بینی ساعات آفتابی به ترتیب برابر  $2/73$ ،  $2/37$  و  $3/10$  است. در نتیجه توصیه می‌گردد برای پیش‌بینی نیاز آبی چغندر قند در منطقه جوین از محصولات ECMWF استفاده شود، زیرا مدل مذکور به سبب تخمین دقیق‌تر ساعت آفتابی نسبت به دو مدل دیگر در زمینه برآورد تبخیر-تعرق گیاه مرجع در منطقه جوین کارایی بالاتری دارد.

### نتیجه‌گیری

مدیریت برحسب تقاضای سیستم‌های آبیاری مستلزم پیش‌بینی مناسب از نیاز آبی گیاهان است. بی‌دقتی متغیرهای هواشناسی در محاسبه  $ET_0$  به طور مؤثری عدم قطعیت برآورد نیاز آبی را افزایش می‌دهد. این پژوهش به منظور بررسی دقت برآورد نیاز آبی چغندر قند بهاره با استفاده از پیش‌بینی داده‌های هواشناسی ۵ روزه مدل‌های پیش‌بینی هواشناسی میان مدت GFS، ECMWF و Meteoblue در منطقه جوین واقع در استان

## مراجع

- Ahmadi, M., DadashiRoodbari., & Ahmadi, H., (2019). Temporal-spatial analysis of the height of the Iranian border layer based on the output of the European Medium Term Forecast Center (ECMWF) database. *Quarterly Journal of Geography and Development*, 54, 163-184(in Persian)
- Alidoost, F., Stein, A., Su, Z., & Sharifi, A. (2021). Multivariate copula quantile mapping for bias correction of reanalysis air temperature data. *Journal of Spatial Science*, 66(2), 299-315.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. & Smith, M., (1998). Crop Evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. Fao, Rome, 300(9), p. D05109.
- Azizian, A., & Ramezani Etedali., H (2019). Spatiotemporal Assessment of Reanalysis and Remotely-Sensed Precipitation Datasets. *Iran-Water Resources Research*, 15(1), 163-177(in Persian)
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Smith, M., Raes, D., & Wright, J. L. (2005). FAO-56 dual crop coefficient method for estimating evaporation from soil and application extensions. *Journal of irrigation and drainage engineering*, 131(1), 2-13.
- Deputy of Planning and Economy of the Ministry of Agriculture-Jahad. (2017) Agricultural Statistics Volume One: Crop Products (2016-2011). Deputy of Planning and Economics of Information and Communication Technology Center.(in Persian)
- Droogers, P., (2004). Adaptation to climate change to enhance food security and preserve environmental quality: example for southern Sri Lanka. *Agricultural water management*, 66(1), 15-33.
- Dumont, A., Mayor, B. & López-Gunn, E., (2013). Is the rebound effect or Jevons paradox a useful concept for better management of water resources? Insights from the irrigation modernisation process in Spain. *Aquatic procedia*, 1, 64-76.
- FAO., (2007). Climate Change Adaptation Water Sector NENA,

- Gharedaghi, M.H., Homaei, M., Mirlatifi, S.M., Noroozi, A.A. (2020). Using Forecasts of WRF Regional Model to Improve the Accuracy of Reference Evapotranspiration Estimation, *Iranian Soil and Water Research*, 51(1), 165-177. (in Persian)
- Gharedaghi, M.H. (2020). Improving water productivity in field scale using real-time weather and satellite data (PhD thesis), Tarbiat Modares University, Iran. (in Persian)
- Hargreaves, G.H., & Samani, Z.A. (1985). Reference Crop Evapotranspiration from Temperature. *Applied Engineering in Agriculture*, 1(2), 96-99.
- Hagedorn, R., Hamill, T. M., & Whitaker, J. S. (2008). Probabilistic forecast calibration using ECMWF and GFS ensemble reforecasts. Part I: Two-meter temperatures. *Monthly Weather Review*, 136(7), 2608-2619.
- Jensen, M.E. & Allen, R.G. eds., (2016). Evaporation, evapotranspiration, and irrigation water requirements. American Society of Civil Engineers.
- Mirlatifi, M. (2003). Chapter One: Water Required by Plants. Farshi, A., Kheirabi, J., Siadat, H., Mirlatifi, M., Darbandi, S., Salamat, A., Entesari, M., Sadat Miraii, M. *arm water management*, Iran, National Irrigation and Drainage Committee of Iran. (in Persian)
- Molinos-Senante, M., Hernández-Sancho, F., Mocholí-Arce, M. & Sala-Garrido, R., (2014). A management and optimisation model for water supply planning in water deficit areas. *Journal of hydrology*, 515, 139-146.
- Pereira, L. S., Allen, R. G., Smith, M., & Raes, D. (2015). Crop evapotranspiration estimation with FAO56: Past and future. *Agricultural Water Management*, 147, 4-20.
- Perry, C., (2011). Accounting for water use: Terminology and implications for saving water and increasing production. *Agricultural Water Management*, 98(12), 1840-1846
- Ponce, V. M., Pandey, R. P., & Ercan, S. (2000). Characterization of drought across climatic spectrum. *Journal of Hydrologic Engineering*, 5(2), 222-224.
- Raziei, T., & Sotoudeh, F., (2017). Investigation of the accuracy of the European Center for Medium Range Weather Forecast (ECMWF) in forecasting observed precipitation in different climates of Iran. *Earth and Space Physics*, 43(1), 133-147 (in Persian)



- Shahi, A., Atan, R. B., & SULAIMAN, N. (2009). An effective Fuzzy C-Mean and type-2 fuzzy logic for weather forecasting. *Journal of Theoretical & Applied Information Technology*, 5(5), 550-561.
- Paparrizos, S., Smolenaars, W., Gbangou, T., Slobbe, E. V., & Ludwig, F. (2020). Verification of weather and seasonal forecast information concerning the peri-urban farmers' needs in the lower ganges delta in bangladesh. *Atmosphere*, 11(10), 1041.

# **Comparison of Computed Sugar Beet Evapotranspiration by the Penman-Monteith Equation Using Measured Climatological Parameters and Predicted Products of GFS, ECMWF and GFS Meteorological Forecasting Models in the Jovein Region**

**S. H. Tabatabaai, S. M. Mirlatifi\*, H. Dehghanisani, A. Shokri**

\* Corresponding Author: Associate professor, Department of Water Engineering and Management, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. Email: mirlat\_m@modares.ac.ir  
Received: 23 February 2021, Accepted: 27 June 2021

## **Introduction**

Irrigation should be applied in accordance with an accurate estimate of the crop water requirement and the crop growth stages (Jensen and Allen, 2014). In recent years, several meteorological forecasting models (MFM) have been developed which are capable of forecasting weather data. Such data could be used to calculate and predict crop water requirements during the next few days. The performance of irrigation canals and water delivery systems can be significantly improved if future short-term demands based on the predicted crop water requirement are available. The appropriate performance of these models in the agricultural sector depends on the quality of their predictions of various weather variables. The aim of this study is to evaluate the accuracy of the predicted spring sugar beet water requirement in the Jovien region when 5-day forecasted meteorological variables by ECMWF, GFS, and MeteoBlue MFM were used as the climatological parameters in the Penman-Monteith equation. The prediction accuracy of these models was evaluated under four categories, 1. Inclusion of the three main meteorological variables involved in calculating reference evapotranspiration ( $ET_0$ ), including maximum air temperature ( $T_{max}$ ) and minimum air temperature ( $T_{min}$ ), and maximum wind speed, 2. Inclusion of radiation term ( $ET_0^{Rad}$ ) and advection term ( $ET_0^{Adv}$ ) of the Penman-Monteith equation, 3. Inclusion of  $ET_0$  and water requirement of spring sugar beet.

## **Methodology**

Meteorological forecasts for ECMWF, GFS, and MeteoBlue databases were obtained from <https://www.windy.com>. The meteorological variables presented by these models and used in this research were temperature, wind speed, and the degree of cloudiness. The study period was selected from May to December of 2020.

$ET_0$  was calculated using the FAO-Penman-Monteith method presented in the FAO 56 (Allen et al., 1998). The first part of the FAO-Penman-Monteith  $\left(\frac{0.408\Delta(R_n - G)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34 u_2)}\right)$  represents the contribution of the energy terms to the process of evapotranspiration and the second term  $\left(\frac{\gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34 u_2)}\right)$  signifies the importance of advective forces. Meteorological data obtained from the Jovein weather station was checked to take into consideration the possibility of non-standard surface cover surrounding the weather station in accordance with the method recommended in Annex 6 of FAO 56. Crop coefficients in early, developing, middle, and ending growth periods were also calculated based on the method recommended by the FAO 56.

## **Results and Discussion**

The GFS model had the best performance in estimating  $T_{max}$  with the lowest Bias and RMSE errors of 1.4 and 2.3 degrees Celsius, respectively. Also, MeteoBlue with Bias and RMSE values of -2.2 and 1/3, respectively, had the best performance in estimating  $T_{min}$ . All three models underestimated the air temperature. The bias error of GFS, ECMWF, and MeteoBlue models in

predicting the maximum daily wind speed in the Jovein region were 0.1, 1.3, and 1.8 m/s, respectively, and their RMSE Respectively 3.3, 3.3, and 3.4 m/s.

Since the GFS model estimated  $T_{\text{mean}}$  and consequently vapor pressure deficit (VPD) with a higher degree of accuracy as compared with the other model, the advective term ( $ET_0^{\text{Adv}}$ ) computed using data estimated by the GFS model was more accurate than that of the other models. The bias and RMSE errors of this model in estimating the mentioned variable were 0.4 and 0.7 mm per day, respectively. All the other three models underestimated  $ET_0^{\text{Adv}}$ .

The bias error of GFS, ECMWF, and MeteoBlue models in estimating  $ET_0^{\text{Rad}}$  were -0.4, -0.5, and -0.2 mm/day, respectively, and their RMSE were 0.61, 0.67, and 0.65 mm per day, respectively.

When the overestimated  $ET_0^{\text{Rad}}$  and underestimated  $ET_0^{\text{Adv}}$  terms were summed up to calculate  $ET_0$  according to the FAO-Penman-Monteith method, the bias error of the outcome ( $ET_0$ ) was significantly reduced for all the models. The bias error of the  $ET_0$  for the GFS, ECMWF, and Meteoblue models were 0.03, -0.03, and 0.47 mm/day, respectively. Their RMSE values were 0.62, 0.58 and 0.94 mm/day, respectively.

$K_{c_{\text{ini}}}$  of sugar beet for Jovein region with 4-day wetting intervals and light soil texture with an average  $ET_0$  of 5.9 mm/day was 0.56, and  $K_{c_{\text{mid}}}$  and  $K_{c_{\text{end}}}$  were also calculated as 1.176 and 0.676, respectively. The seasonal water requirement of spring sugar beet for the Jovein region was 866 mm. The seasonal water requirements calculated using the outputs of GFS, ECMWF, and Meteoblue were 860, 866, and 788, respectively. However, the cumulative error of these models were 66, 65, and 101 mm, respectively, during the growing season.

### **Conclusion**

A notable result in this study is the interaction of the  $ET_0^{\text{Adv}}$  and  $ET_0^{\text{Rad}}$  terms, which canceled out each other over and under estimations—all the three models underestimated and overestimated  $ET_0^{\text{Adv}}$  and  $ET_0^{\text{Rad}}$  terms, respectively. Thus the absolute value of the oblique error of the computed  $ET_0$  was less than that of the  $ET_0^{\text{Adv}}$  and  $ET_0^{\text{Rad}}$  terms. However, the RMSE of  $ET_0$ , which indicates the noise and random behavior of the error sources, was not reduced.

**Keywords:** Irrigation Management: Reference Crop Evapotranspiration: Crop Coefficient: Irrigation Requirement

نوع مقاله: علمی- پژوهشی

## بررسی راندمان انتقال و مشکلات بهره‌برداری از کانال‌های پیش‌ساخته بتنی در شبکه آبیاری مغان

کرامت اخوان<sup>۱\*</sup>، نادر عباسی<sup>۲</sup>، میلاد خیری قوجه بیگلر<sup>۳</sup> و هدیه احمدپری<sup>۴</sup>

- ۱- استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اردبیل (مغان)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل (مغان)، ایران
- ۲- استاد پژوهش، بخش تحقیقات آبیاری و زهکشی، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
- ۳- دانشجوی دکتری مهندسی عمران، آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
- ۴- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آبیاری و زهکشی دانشگاه تهران، تهران، ایران
- تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱/۳۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۴/۱۳

### چکیده

شبکه آبیاری مغان مانند سایر شبکه‌های آبیاری با معضل تلفات آب مواجه است. در سال‌های اخیر در راستای ارتقای راندمان انتقال آب، بخش عمده‌ای از کانال‌های درجه ۳ این شبکه در سطحی معادل ۴۳۰۰۰ هکتار با استفاده از کانال‌های پیش‌ساخته بتنی بهسازی شده است. در این پژوهش عملکرد فنی و وضعیت بهره‌برداری کانال‌های پیش‌ساخته بتنی در دشت مغان بررسی شده است. بدین منظور پس از بازدیدهای فنی از پروژه‌های مختلف شبکه کانال‌های پیش‌ساخته در منطقه، ۴۰ کانال به‌عنوان نمونه انتخاب و راندمان انتقال، زمان انتظار کشاورزان و تلفات زمین در آن‌ها تعیین گردید. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از اندازه‌گیری‌ها، متوسط راندمان انتقال آب در کانال‌های مربوط به اراضی کشت و صنعت، زیر کانال برگشتی A و زیر کانال A به ترتیب ۸۹، ۸۹/۴۷ و ۸۶/۷۷ درصد و متوسط انتظار کشاورزان ۳۷ دقیقه به‌ازای هر کیلومتر و تلفات زمین ۵۱/۳ مترمربع در هکتار بود. همچنین مشخص گردید کارایی نامناسب و اشهرای آب‌بندی، رشد گیاهان آبی، تخریب ابنیه و درچه‌ها، آبیگری غیراصولی، شکستگی و ترمیم نشدن کانال‌ها و آبیگری بیش از ظرفیت و مهم‌تر از همه نبود شکل بهره‌برداری و نگهداری، از مشکلات عمده در بهره‌برداری از کانال‌های پیش‌ساخته بتنی مغان هستند.

### واژه‌های کلیدی

آبیگری غیراصولی، راندمان انتقال، تلفات زمین، زمان انتظار کشاورز، کانال پیش‌ساخته بتنی

### مقدمه

گرفتن ایران در ناحیه خشک و نیمه‌خشک، استفاده بهینه از منابع آبی موجود و کاهش تلفات آب خصوصاً در بخش کشاورزی ضروری است. شبکه آبیاری و زهکشی مغان با زمین‌های خالص و خالص به ترتیب ۹۰۴۰۰ و ۷۲۰۰۰ هکتار یکی از قطب‌های کشاورزی کشور محسوب می‌شود. این شبکه به علل گوناگون و مانند دیگر شبکه‌ها، با

استفاده بهینه از منابع آب یکی از هدف‌های دیرینه بشر است و امروزه با توجه به افزایش نیاز آبی، به‌کارگیری تمهیدات مناسب برای بهره‌برداری اصولی از این منابع محدود اهمیت بالایی دارد (Kheiry Ghoghjeh Biglou & Pipayeh, 2020). با توجه به محدود بودن منابع آب و خاک کشور و قرار

(Sadeghzadeh Sadat, 2015) آب موردنیاز محصولات کشاورزی را با روش پنمن مانیت فائو در ناحیه ۲ و ۳ شبکه آبیاری و زهکشی مغان در سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۸۷ برآورد کردند. بررسی میزان آب تحویلی در محدوده کانال‌های آبیاری حاکی از آن است که مقدار آب تحویلی در ناحیه ۲ و ۳ آبیاری در سال زراعی ۱۳۸۶-۱۳۸۷ به ترتیب حدود ۶۴/۷ و ۳۹ میلیون مترمکعب بود در حالی که آب موردنیاز محصولات در این محدوده‌ها به ترتیب حدود ۳۰/۳ و ۲۱/۵ میلیون مترمکعب برآورد شده است. نتایج حاکی از آبیاری بی‌رویه و در نتیجه تلفات زیاد در این نواحی است؛ میزان تلفات در ناحیه ۲ آبیاری معادل ۳۴ میلیون مترمکعب و در ناحیه ۳ آبیاری، با توجه به کاربرد آبیاری تحت فشار، معادل ۱۷/۴ میلیون مترمکعب برآورد گردید. فریدی و همکاران (Faridi et al, 2011) اثر راندمان آبیاری را بر میزان آب زهکش شده از شبکه آبیاری و زهکشی مغان بررسی کردند و نشان دادند که با افزایش راندمان آبیاری به‌اندازه ۱/۹ درصد (از سال زراعی ۸۷-۸۶ به ۸۸-۸۷) میزان نسبت خروجی به ورودی به‌اندازه ۱ درصد کاهش می‌یابد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش راندمان کل آبیاری در دشت مغان میزان آب خروجی از زهکش‌ها کاهش می‌یابد. جعفری و احمدنژاد (Jafari Ahmadnejad, 2011) & به بررسی هیدرولیکی کانال اصلی شبکه آبیاری و زهکشی مغان با مدل HEC-RAS پرداختند. این کانال باگذشت ۳۵ سال از احداث آن در طول بهره‌برداری دستخوش تغییرات زیادی شده است از جمله فرسایش مقطع خاکی و حذف سازه‌هایی در مسیر کانال. با حذف سازه تخلیه شوت و فرسایش اتفاق افتاده از نظر هیدرولیکی دچار مشکل شده، به‌گونه‌ای که دبی طراحی این کانال ۸۰

معضل تلفات آب مواجه است. اخوان و همکاران (Akhavan Giglou et al, 2019) با بررسی تلفات ناشی از نشت در مسیر انتقال آب در شبکه آبیاری مغان، میزان تلفات انتقال آب را در طول کانال پمپاژ سه شبکه آبیاری در شرایط مختلف با استفاده از روش ورودی - خروجی و با استفاده از دبی سنج ماورای صوت اندازه‌گیری کردند. این محققان میزان تلفات انتقال ناشی از نشت در کانال با پوشش‌های مختلف را با نتایج پژوهش‌های قبلی مقایسه کردند. منعم و همکاران (Monem et al, 2017) نقش مدیریت بهره‌برداری مخازن درون مسیری در بهبود بهره‌برداری شبکه آبیاری مغان را با استفاده از مدل شبیه‌ساز هیدرودینامیک ICSS بررسی کردند. مدل مذکور در شرایط تغییرات تدریجی و ناگهانی کاهش و افزایش دبی ورودی از سراب کانال، در دو حالت با و بدون بهره‌برداری مخزن مورد آزمون قرار گرفت. دولت‌خواه (Dolatkhah, 2016) معادله‌های تجربی نشت آب از کانال را برای استفاده در کانال‌های شبکه آبیاری و زهکشی مغان واسنجی کرد. در این پژوهش، چهار روش تجربی شامل Wilson-Davis, Mols, Yennidumia-Worth, Moritz و Ingham به‌منظور تخمین نشت انتخاب گردید. برای اصلاح ضریب‌های ثابت معادله‌های تجربی از راهکار عملی جریان ورودی - خروجی با استفاده از فلومتر QLiner و مدل نرم‌افزاری w/seep بهره گرفته شده است. نتایج به‌دست‌آمده از معادله‌های تجربی با میزان نشت مدل شده با نرم افزار w/seep و بیلان آبی مقایسه گردید و پس از آن ضریب‌های معادلاتی تجربی پس از کالیبراسیون برای شرایط منطقه مورد مطالعه اصلاح و معادله Moritz مناسب‌ترین معادله نشت برای شبکه آبیاری مغان معرفی گردید. اصغری و صادق زاده سادات & Asghari

راندمان انتقال را در کانال درجه دو مزارع حدود ۸۱/۴ درصد و راندمان کاربرد آب در مزارع را نیز در محدوده ۳۰-۱۹/۵ درصد تعیین کردند. الدخیل و زین‌الدین (Aldakheel & Zeineldin, 2007) تأثیر استفاده از لوله‌های با فشار کم در راندمان انتقال و توزیع در شبکه آبیاری الحساء عربستان سعودی را بررسی کردند. در این پروژه به جای کانال فرسوده بتنی از لوله‌های کم‌فشار از جنس پی‌وی‌سی استفاده کردند. نتایج بررسی‌ها نشان داد که با کاربرد این لوله‌ها راندمان انتقال و توزیع به ترتیب ۲۵/۳ و ۲۵ درصد بوده است. چانگ و همکاران (Chang et al., 2010) قابلیت پوشش کانال را با استفاده از قطعات پیش‌ساخته بتنی و مشخصات هیدرولیکی از جمله ضریب زبری آن، بررسی کردند و نشان دادند که ضریب زبری کانال پیش‌ساخته نسبت عکس با دبی کانال و نسبت مستقیم با شیب کف آن دارد. با توجه به مشخصات هیدرولیکی کانال ساخته‌شده از قطعات پیش‌ساخته بتنی پوشش کانال آبیاری با این مصالح توصیه گردید. عبدو و همکاران (Abdu et al, 2011) استفاده از کانال پیش‌ساخته بتنی را پیشنهاد کردند. در این پژوهش، روش طراحی و ساخت کانال معرفی و به صورت پایلوت کانالی با استفاده از قالب‌های مخصوص پوشش داده شد. این محققان بر اساس مجموعه بررسی‌هایشان نتیجه‌گیری کردند که روش استفاده از قطعات پیش‌ساخته می‌تواند یکی از راهکارهای کارآمد باشد.

هان و همکاران (Han et al, 2020) اثر پوشش بتونی و ژئوممبران را بر نشت کانال در مناطق کشاورزی خشک بررسی کردند و نشان دادند که ترکیب پوشش بتونی و ژئوممبران، در مقایسه با وقتی پوشش وجود نداشته باشد، باعث کاهش ۸۶ درصد در نشت می‌شود و پس از سه سال استفاده از

مترمکعب بر ثانیه بوده اما هم‌اکنون حداکثر دبی عبوری از این کانال ۶۵ مترمکعب بر ثانیه است. نتایج به‌دست آمده از کاربرد نرم‌افزار HEC-RAS نشان داد حذف سازه تخلیه در طول ۳۵ کیلومتر ابتدایی کانال تأثیر فراوانی بر فرسایش اتفاق افتاده در نوسان‌های هیدرولیکی کانال اصلی داشته است. محمدزاده حاجی‌خانلو و همکاران (Mohammadzadeh Haji Khanlou et al, 2012) به برآورد و توزیع حجمی آب موردنیاز شبکه آبیاری و زهکشی مغان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) پرداختند. در این پژوهش، مقایسه نتایج برآورد نیاز آبی به کمک GIS با مقادیر واسنجی شده منطقه اختلاف معنی‌داری را نشان نداد. با مقایسه آمار واقعی آب توزیع‌شده، راندمان مصرف آب در شبکه ارزیابی شد. به‌کارگیری GIS به‌عنوان ابزاری مؤثر در تحویل حجمی آب به‌منظور افزایش راندمان مصرف آب در شبکه آبیاری توصیه شد.

محققان دیگر نیز در مورد راندمان انتقال شبکه آبیاری و کانال‌های آبیاری در سایر کشورها مطالعاتی کرده‌اند که می‌توان به پژوهش‌های زیر اشاره کرد. کیلیک و تویلو (Kilic & Tuylu, 2011) میزان تلفات انتقال کانال‌های اصلی، درجه دو و سه بتنی را در سیستم شبکه آبیاری احمدلی ترکیه تعیین کردند و نشان دادند که میزان اتلاف آب بالاتر از میانگین استاندارد تلفات در کشور ترکیه و تراوش استاندارد دفتر احیا ارتش آمریکا (USBR) است. کانگاو و همکاران (Kangau et al., 2011) راندمان انتقال و توزیع آب در مزارع کوچک آبیاری در مناطق خشک و نیمه‌خشک کنیا را بررسی و تلفات آب را در حین انتقال و مصرف برای ۱۰ مزرعه آزمایشی در منطقه طرح تعیین کردند. این محققان

ابوزید (Abuzeid, 2021) با اندازه‌گیری میدانی تلفات انتقال کانال اصلی المعنا در شبکه آبیاری استان اسیوط مصر میانی نشان داد که کل تلفات آبیاری در این کانال و شاخه‌های آن (به‌طول ۷۹/۹۰ کیلومتر) حدود ۱۶/۰۵ میلیون مترمکعب در ماه است که از این مقدار حدود ۱۵/۹۵ میلیون مترمکعب در ماه مربوط به تلفات نشت است که شامل ۹۹ درصد کل تلفات است.

سلامتی و همکاران (Salamati et al, 2020) راندمان انتقال در کانال‌های خاکی و کانال‌های پیش‌ساخته بتنی را در شبکه‌های آبیاری و زهکشی استان خوزستان ارزیابی کردند. در این پژوهش، ۳۰ کانال شامل ۱۸ کانال پیش‌ساخته بتنی درجه سه و چهار و ۱۲ کانال خاکی درجه سه و چهار ارزیابی شد. نتایج این پژوهش نشان داد که مقادیر راندمان انتقال محاسبه‌شده در کانال‌های مذکور فراوانی ناهمگنی دارند به‌طوری‌که راندمان ۴۴ درصد از کانال‌های موردبررسی بیش از ۸۸ درصد و راندمان ۱۷ درصد آنها کمتر از ۶۸ درصد است.

بهراملو و همکاران (Bahramloo et al, 2017) با ارزیابی راندمان انتقال و تلفات آب در هفت مورد از کانال‌های انتقال آب با پوشش ژئوممبران HDPE در شبکه‌های آبیاری زاینده‌رود، مغان و کرمان نشان دادند که مقادیر راندمان انتقال آب در این کانال‌ها به‌طور متوسط ۹۹/۱ درصد است. این محققان گزارش کردند که کاربرد پوشش ژئوممبران در کنترل تلفات نشت آب از کانال‌های مورد ارزیابی تأثیر قابل توجهی دارد.

کریمی‌آورگانی و همکاران (Karimi Avargani et al, 2020) با برآورد میزان تلفات ناشی از انتقال، توزیع و تحویل آب کشاورزی، در شبکه آبیاری رودست اصفهان نشان دادند که میزان تلفات روزانه

پوشش ترکیبی بتن و ژئوممبران، میزان نشت ۶۸ درصد کاهش می‌یابد. محمدی و همکاران (Mohammadi et al, 2019) با اندازه‌گیری میدانی راندمان انتقال و میزان تلفات آب در کانال‌های اصلی، درجه دو و سه شبکه آبیاری و زهکشی ورامین نشان دادند که راندمان انتقال در طول ۱۰۰۰ متر از کانال‌های اصلی، درجه دو و سه به ترتیب ۹۵، ۹۱/۵ و ۸۹/۳ درصد است. همچنین با توجه به طول کانال‌ها، مقدار کل تلفات نشت در زمانی مشخص و در یک دوره آبیاری، در کانال‌های درجه سه بیشتر است تا در کانال‌های درجه دو و در کانال‌های درجه دو بیشتر است تا در کانال اصلی. سن و همکاران (Sen et al, 2018) تلفات انتقال آب آبیاری را در کانال خاکی با فلوم گلوبریده تعیین کردند. در این پژوهش، یک کانال خاکی به‌طول ۵۰ فوت انتخاب شد و میزان تلفات انتقال به روش جریان ورودی-خروجی و با استفاده از فلوم گلوبریده برای چهار شرایط مختلف پوشش کانال خاکی اندازه‌گیری گردید. نتایج این پژوهش نشان داد که میزان تلفات انتقال برای این شرایط مختلف پوشش کانال خاکی حدود ۴۰/۰۱ درصد (شرایط طبیعی)، ۳۵/۴۲ درصد (شرایط متراکم)، ۳۲/۸۱ درصد (استفاده از مواد پوششی از مخلوط کود گاو و شلتوک برنج به نسبت یک‌به‌یک) و ۴ درصد (ورق پلی‌اتیلن) است.

شومیه و سینگ (Shumye & Singh, 2018) با ارزیابی راندمان انتقال آب کانال‌های آبیاری و راندمان کاربرد آب در مزرعه برای یک طرح آبیاری در مقیاس کوچک در اتیوپی نشان دادند که مقدار میانگین راندمان انتقال در کانال‌های اصلی، درجه دو و درجه سه به ترتیب ۸۶/۱۷، ۸۶/۲۶ و ۵۵/۹۷ درصد است.

جنوب به ارتفاعات سبلان می‌رسد. این دشت در فاصله مدارهای ۴۷ درجه و ۲۵ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۲۵ دقیقه طول شرقی و نصف‌النهار ۳۹ درجه و ۲۵ دقیقه تا ۳۹ درجه و ۴۲ دقیقه عرض شمالی قرار دارد. مساحت دشت مغان در حدود ۳۰۰ تا ۳۵۰ هزار هکتار برآورد شده است که طرح توسعه بهره‌برداری از منابع آب رودخانه ارس در ۹۰ هزار هکتار آن پیاده و اجرا شده است (Haghighyeghi Moghadam et al, 2007). دشت مغان تا سال ۱۳۲۸ منحصراً قشلاق عشایر ایل شاهسون و منطقه‌ای خشک و بایر بوده است. در این سال به‌منظور استفاده بیشتر از این منطقه توسط شرکت شیار آذربایجان سرمایه‌گذاری کافی صورت گرفت تا به‌صورت دیم از اراضی آن استفاده شود. در سال ۱۳۳۲ با احداث کانال T، در حدود ۴۰۰۰ هکتار از زمین‌های حاشیه ارس از سربند تا پارس‌آباد به زیر کشت آبی رفت. پس از احداث این کانال، در سال ۱۳۳۸ با ساخت کانال A، ۱۴۴۰۰ هکتار دیگر از اراضی منطقه به زیر کشت رفت که به اراضی زیر کانال A معروف است. در سال ۱۳۵۲ نیز با به پایان رسیدن عملیات ساخت سد میل و مغان و شبکه کانال اصلی، در حدود ۹۰۴۰۰ هکتار از زمین‌های دشت تحت پوشش شبکه آبیاری قرار گرفت (Haghighyeghi Moghadam et al, 2007). محصولات زراعی در منطقه مغان شامل گندم، پنبه، چغندر قند، یونجه، ذرت و صیفی و در مراتب بعدی سویا، جو، کنجد و بادام زمینی است و در قسمتی از اراضی زهدار برنج کشت می‌شود. از محصولات باغی در منطقه مغان می‌توان به گلابی، سیب، هلو و فندق اشاره کرد. از نظر اقلیم‌شناسی، مغان دارای تابستان‌های گرم و نسبتاً مرطوب و زمستان‌های نسبتاً معتدل همراه با بادهای خشک و سرد و با

متغیر و در بازه ۳۰ تا ۶۰ درصد است که نشان از این واقعیت دارد که مقدار واقعی تلفات انتقال و توزیع آب آبیاری به مراتب بیشتر از میزان ارائه شده در مرجع استاندارد طراحی و بهره‌برداری شبکه آبیاری در کشور (مقدار کل تلفات بین ۱۰ تا ۲۰ درصد) است.

جمالی و همکاران (Jamali et al, 2018) به ارزیابی راندمان‌های آبیاری در شبکه آبیاری و زهکشی زرینه‌رود پرداختند و نشان دادند که متوسط راندمان انتقال در کانال‌های با پوشش بتنی شبکه حدود ۷۹ درصد است که در دامنه ۳۳ تا ۱۰۰ درصد قرار دارد. همچنین، راندمان توزیع آب در شبکه به‌طور متوسط ۷۶ درصد است که بین ۵۰ و ۱۰۰ درصد متغیر است.

طی سالیان اخیر توجه بیشتر دست‌اندرکاران طرح‌های توسعه منابع آب به سرمایه‌گذاری برای احداث سدها و شبکه آبیاری و زهکشی‌های جدید، خطوط انتقال، کانال‌های آبرسانی، کالورت‌ها، تونل‌های تحت فشار و آزاد بوده و به بهره‌برداری و نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه و همچنین بهسازی و مقاوم‌سازی طرح‌های اجرا شده، پرداخته نشده است. هدف از این پژوهش، تحلیل کیفی و کمی بهره‌برداری از کانال‌های شبکه آبیاری و زهکشی مغان و به عبارت دقیق‌تر بررسی راندمان انتقال و مشکلات بهره‌برداری و نگهداری کانال‌های درجه سه در شبکه آبیاری مورد اشاره است.

## مواد و روش‌ها

### معرفی دشت مغان

جلگه حاصلخیز مغان در شمال شرقی استان اردبیل واقع است و از شمال و غرب به رودخانه ارس و از شرق به مرز ایران و جمهوری آذربایجان و از



۶۴۰۰۰ هکتار از اراضی خالص شرکت‌های کشت و صنعت مغان و پارس و بخش خصوصی را تأمین می‌کند. کانال اصلی شبکه به طول ۱۷۶ کیلومتر و با ظرفیت ۸۰ مترمکعب در ثانیه است. کانال اصلی خاکی و بدون پوشش است و در سال‌های اخیر در راستای اجرای طرح‌های بهسازی عملیات پوشش کانال‌های درجه ۲ و ۳ آغاز گردیده است که در حال حاضر تقریباً تمام کانال‌های درجه ۲ دارای پوشش هستند (Akhavan et al, 2019).

بخش زیادی از کانال‌های درجه ۳ (۴۲ هزار هکتار) با استفاده از کانال‌های پیش‌ساخته بتنی بهسازی شده است. یعنی نزدیک به نصف اراضی زیر شبکه آبیاری مغان (۹۰۴۰۰ هکتار) با کانال‌های پیش‌ساخته تجهیز شده است (Akhavan et al, 2019). موقعیت و نقشه این شبکه به ترتیب در شکل ۱ و ۲ نمایش داده شده است.

یخبندان‌های محدود است. از نظر دما، گرم‌ترین ماه‌های سال تیر و مرداد و سردترین ماه‌های سال دی و بهمن است. متوسط بارندگی برابر آمار ۲۵ ساله ایستگاه هواشناسی پارس‌آباد ۳۳۲ میلی‌متر در سال است (Haghayeghi Moghadam et al, 2007).

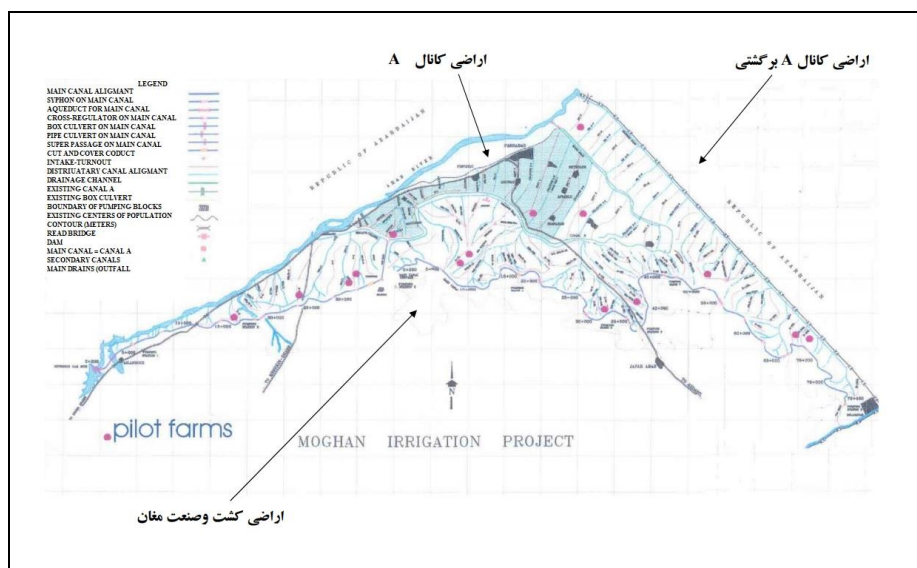
### شبکه آبیاری و زهکشی مغان

شبکه آبیاری و زهکشی مغان نقش اساسی در رونق و توسعه روزافزون کشاورزی منطقه دارد. شبکه‌های آبیاری و زهکشی، همان‌طور که از نامشان پیداست، به‌صورت توأمان برای تأمین آب و آبیاری اراضی کشاورزی از یک‌سو و جمع‌آوری آب‌های خروجی و زهاب‌ها از سوی دیگر ایجاد می‌شوند (Emami et al, 2020). شبکه آبیاری و زهکشی مغان باهدف تأمین آب مورد نیاز ۹۰ هزار هکتار اراضی پایین‌دست دشت مغان احداث گردیده است. در حال حاضر این شبکه آب موردنیاز حدود



شکل ۱-موقعیت جغرافیایی شبکه آبیاری و زهکشی مغان

Fig.1-Geographical location of Moghan irrigation and drainage network



شکل ۲- نقشه شبکه آبیاری و زهکشی مغان

Fig.2- Map of Moghan irrigation and drainage network

باشد، از ساختمان‌های تنظیم‌کننده استفاده می‌شود که در مجاورت و پایین‌دست آبگیرها روی کانال ساخته می‌شوند. تنظیم‌کننده‌های مجهز به دریچه‌های لغزنده (کشویی) به‌عنوان سازه‌های تنظیم‌کننده سطح آب در شبکه آبیاری مغان به کار گرفته شده‌اند. این سازه‌ها به‌منظور تنظیم سطح آب در امتداد کانال و در جهت عمود بر جریان آب نصب شده‌اند و ارتفاعی ثابت برای آبگیرها ایجاد می‌کنند. این سازه‌ها را برای تنظیم سطح آب در بالادست یک ساختمان و کنترل جریان در پایین‌دست به کار می‌برند. وقتی در کانال دبی کم باشد، برای بالا آوردن سطح آب و منحرف کردن آن از سازه‌های تنظیم آب استفاده می‌شود. در این شبکه از دریچه‌های کشویی استفاده می‌شود که روی کانال‌های اصلی و درجه ۲ به‌منظور کنترل سطح آب و تنظیم جریان پایین‌دست تعبیه شده‌اند؛ این دریچه‌ها با جعبه‌دنده و بادست بالا و پایین برده می‌شوند. میزان دبی برای مصارف پایین‌دست را میراب‌ها کنترل و تنظیم می‌کنند (Akhondali,

کانال‌های اصلی شبکه آبیاری مغان از سد انحرافی با چهار دریچه قوسی<sup>۱</sup> با حداکثر دبی ۸۰ مترمکعب بر ثانیه در گشودگی صد در صد تغذیه می‌شود. این کانال که به‌عنوان کانال مادر عمل می‌کند خاکی است و پس از مشروب کردن اراضی مسیر به طول ۳۵ کیلومتر، به دریچه شبکه می‌ریزد. از دریچه مجدداً کانال اصلی ادامه مسیر می‌دهد و مسافتی حدود ۷۹ کیلومتر می‌پیماید و در نهایت در جنوب اراضی بابک و بیل‌سوار خاتمه می‌یابد. مجموع طول کانال اصلی قبل و بعد از دریچه ۱۱۴ کیلومتر است. قبل از ورود آب کانال اصلی به دریچه، یک رشته کانال اصلی به نام A از آن منشعب می‌شود که پس از طی ۳۹ کیلومتر و مشروب کردن اراضی مسیر، مجدداً ادامه می‌یابد که ادامه آن را از این نقطه (کیلومتر ۳۹) به نام کانال A برگشتی می‌نامند که طول آن ۲۰ کیلومتر است. بنابراین مجموع طول کانال‌های A و A برگشتی حدود ۶۰ کیلومتر است (شکل ۲). برای اینکه تغییرات دبی جریان در کانال تأثیری روی دبی آبگیرها نداشته

(2000). در شبکه آبیاری مغان اصولاً برای سیستم انتقال و انشعاب آب از یک کانال به کانال‌های کوچک‌تر یا از کانال‌های درجه ۲ و ۳ به واحدهای زراعی، از آبگیرهای تعبیه‌شده روی کانال‌ها استفاده می‌شود. در این شبکه از آبگیرهای روزنه‌ای (دریچه کشویی) استفاده شده است.

نحوه بهره‌برداری از شبکه کانال‌های پیش‌ساخته در منطقه مغان بدون هیچ مکانیسم خاصی، مثل شبکه کانال‌های سنتی است. نحوه تحویل آب بدین ترتیب است که کشاورزان در زیرمجموعه هر دریچه به‌صورت نوبتی از میراب مربوط درخواست آب می‌کنند و بر اساس درخواست آنها آب در کانال جریان می‌یابد و در اختیار کشاورزان قرار می‌گیرد. با توجه به نوع کشت غالب محصولات کشاورزی منطقه، تقریباً به‌غیر از سه ماه زمستان در سایر ماه‌های سال، آب در شبکه جریان دارد و کشاورزان بر اساس نوع کشت در اول فصل زراعی با شرکت بهره‌برداری از شبکه آبیاری و زهکشی قرارداد می‌بندند و بعد از آن بدون هیچ‌گونه محدودیتی در زمان درخواست بر اساس نوبت، آب در اختیار آنان قرار می‌گیرد و هیچ‌گونه اندازه‌گیری برای تحویل آب به کشاورزان در شبکه صورت نمی‌گیرد. زهکشی اراضی دشت در موقع احداث شبکه آبیاری مغان مورد توجه جدی طراحان طرح قرار نگرفته و در طرح مذکور فقط با احداث کانال‌های زهکشی سطحی، با جمع‌آوری زهاب‌های سطحی و سیلاب و انتقال آن به رودخانه ارس بسنده شده است. با توجه به اینکه زهکش‌های ساخته‌شده سطحی‌اند و کمترین تأثیر را در زهکشی عمقی اراضی دارند، این مسئله باعث شده تا باگذشت زمان سطح آب زیرزمینی در بعضی از نقاط اراضی شبکه بالا آید و

زه‌دار شدن حدود ۲۰ هزار هکتار از اراضی مستعد منطقه را موجب شده است. قبل از بروز مسائل زه‌داری در منطقه اصولاً هیچ‌گاه زهکشی مورد توجه قرار نگرفته است. پس از بروز مسائل زه‌داری، در سال ۱۳۵۸ طرح‌های ضربتی برای مقابله با آن ارائه گردید. تاکنون در بخش‌های قابل توجهی از اراضی زیر کانال A، برگشتی A و منطقه بیل‌سوار طرح‌های زهکشی زیرزمینی لوله‌ای اجرا شده یا در حال اجراست.

### کانال پیش‌ساخته بتنی

یکی از روش‌های انتقال آب به قطعات زراعی، استفاده از کانال‌های پیش‌ساخته بتنی است. کانال پیش‌ساخته بتنی یا کانالت قطعاتی هستند با مقطع تقریباً نیم‌بیضی که در کارخانه‌های مخصوص ساخته می‌شوند. طول هر قطعه تقریباً ۵ متر است و به‌طور معمول در اندازه‌های ۱۵۰، ۲۳۰، ۳۱۵، ۴۵۰ و ۶۰۰ ساخته می‌شوند. اعداد فوق بیانگر حجم آبی است (برحسب سی‌سی) که کانال پیش‌ساخته بتنی ظرفیت آن را دارد که با شیب ۱ درصد با سرعت ۱ متر بر ثانیه آب را در خود جاری کند. اعداد فوق تیپ‌های مختلف کانال پیش‌ساخته بتنی شناخته می‌شوند. برای استقرار کانال پیش‌ساخته بتنی روی زمین، نیاز به قطعاتی است که آنها هم به‌صورت پیش‌ساخته تهیه می‌شوند و عبارت‌اند از کفشک، پایه و زین که با توجه به ابعاد کانال پیش‌ساخته هر یک از این اجزا دارای ابعاد مخصوص به خود است. برای هر تیپ کانال پیش‌ساخته بتنی، کفشک‌ها و زین‌ها ابعاد ثابتی دارند اما ارتفاع پایه‌ها، با توجه به خط پروژه مشخص شده در پروفیل طولی کانال پیش‌ساخته بتنی و با توجه به پستی‌وبلندی‌های زمین زراعی، متغیر هستند

(Ihavandi et al., 2018).

### روش پژوهش

با عمر متفاوت و ساخت شرکت‌های مختلف باشد تا بتوان نتایج بررسی‌ها را برای کل شبکه توسعه داد. از سه پروژه کشت و صنعت مغان، کانال A برگشتی و کانال A (MCI-7&8) با توجه به بررسی و بازدیدهای صحرایی به ترتیب ۱۸، ۲۰ و ۱۲ کانال برای اندازه‌گیری‌ها و سایر بررسی‌های لازم انتخاب گردید. راندمان انتقال بر اساس روش اندازه‌گیری دبی ورودی - خروجی در کانال‌های پیش‌ساخته بتنی نمونه تعیین گردید.

بدین منظور در زمان بالاترین مقدار جریان آب، سرعت جریان آب در ابتدا و انتهای بازه‌ای به طول حدود ۵۰۰ متر از کانال مورد اشاره، با استفاده از جریان‌سنج فلومتر - التراسونیک مدل Main Stream, AV-Flowmeter در سه تکرار اندازه‌گیری شد. در شکل ۳، سرعت‌سنج مورد استفاده و روش تعیین سرعت نشان داده شده است.

در منطقه مغان از زمان شروع احداث شبکه کانال‌ها، پروژه‌های مختلفی توسط پیمانکاران طراحی و اجرا گردیده است که عبارت‌اند از: بابک و بیل‌سوار، کشت و صنعت مغان، زیر کانال D17L، D18L و D19L، زیر کانال برگشتی A، قطعه MCI-7&8. در این پژوهش ضمن بازدید از پروژه‌های احداث‌شده و بررسی نقشه‌ها و طرح‌های اجرایی کانال‌های پیش‌ساخته، سه کانال درجه‌دو از سه پروژه کشت و صنعت مغان، کانال A برگشتی، MCI-7&8 به صورت تصادفی و برای نمونه به منظور آزمایش‌های لازم انتخاب شد؛ این کانال را سه شرکت مختلف و در زمان‌های متفاوت (به ترتیب طی سال‌های ۱۳۷۰ تا ۱۳۷۶، ۱۳۷۷، ۱۳۸۰ و ۱۳۸۱ تا ۱۳۸۶) اجرا کرده بودند. در انتخاب کانال‌های پیش‌ساخته بتنی نمونه سعی شد کانال‌ها



شکل ۳- اندازه‌گیری سرعت جریان آب

Fig.3- Measuring the speed of water flow

با اندازه‌گیری سطح مقطع جریان در محل آزمایش مقادیر دبی ورودی و خروجی از بازه مورد بررسی مقدار راندمان انتقال با استفاده از رابطه ۱ محاسبه گردید.

$$E_c = \frac{Q_d}{Q_c} \times 100 \quad (1)$$

که در آن،

$E_c$  = راندمان انتقال (درصد)؛  $Q_d$  = دبی آب خروجی از بازه مورد نظر؛  $Q_c$  = دبی آب ورودی.

لازم است یادآوری شود برای به دست آوردن راندمان انتقال باید پس از برقراری پایداری جریان شبکه و نبود نوسان سیستم جریان، نسبت بین دبی خروجی و دبی ورودی اندازه‌گیری و محاسبه گردد که در این روش، کلیه تلفات انتقال آب از قبیل

آب از کانال و نشست از درزهای اتصال کانال‌هاست. همچنین، نتایج حاصل از اندازه‌گیری راندمان در کانال‌های درجه ۳ (کانال پیش‌ساخته بتنی) منشعب از کانال‌های درجه ۲، DC-5، DC-6 و DC-2 واقع در قطعه MC-I/6 مربوط به اراضی کانال A برگشتی در جدول ۲ و ۳ و نتایج مربوط به کانال‌های منشعب از کانال درجه ۲ به نام M واقع در قطعه Mc-I/7&8 از اراضی زیر کانال A در جدول ۳ ارائه شده است با توجه به ارقام ارائه شده در جدول‌های ۱، ۲ و ۳ مشاهده می‌شود که میانگین راندمان انتقال در کانال‌های گفته شده در سه پروژه مورد بررسی یعنی اراضی کشت و صنعت، کانال برگشتی و اراضی زیر کانال به ترتیب ۸۷/۶، ۹۰/۲ و ۸۶/۵ درصد و میانگین کل کانال‌های مورد اشاره و بررسی در شبکه مغان حدود ۸۹ درصد است. با توجه به اینکه بخشی از تلفات آب در حین انتقال اجتناب‌ناپذیر است، راندمان انتقال در مجاری روباز به‌ندرت بیش از ۹۵ درصد گزارش شده است. این رقم در شبکه‌های آبیاری و زهکشی ایران به‌طور متوسط ۸۷ درصد است (Abbasi et al, 2009). از این رو با توجه به متوسط راندمان انتقال در سطح کشور می‌توان نتیجه گرفت راندمان انتقال در کانال‌های پیش‌ساخته بتنی شبکه مغان تقریباً در حد متوسط کشوری است. این رقم با توجه به هزینه‌ها و شرایط خاص کانال‌ها قدری کمتر از حد انتظار است. یکی از دلایل عمده پایین بودن راندمان، وجود مسائل و مشکلات موضعی مانند سرریز آب از کانال و نشست از درزهای اتصال کانال‌های پیش‌ساخته بتنی است که با تمهیدات مدیریتی و رعایت اصول بهره‌برداری و نگهداری به‌راحتی قابل ارتقا است.

تلفات ناشی از نشست آب در مسیر کانال، تلفات در ابنیه و تلفات ناشی از تبخیر آب در مسیر کانال به دست می‌آید. در کنار اندازه‌گیری راندمان، برخی اندازه‌گیری‌های دیگر نیز صورت گرفت مانند کاهش ضایعات زمین از طریق اندازه‌گیری مساحت اشغال شده زمین در هکتار در انتقال آب به وسیله کانال پیش‌ساخته بتنی، همچنین انتظار کشاورزان برای دریافت آب با استفاده از زمان لازم برای رسیدن آب از محل تقسیم به قطعه زراعی. به عنوان بخشی از پژوهش، مسائل بهره‌برداری و نگهداری نیز بررسی شدند. در این جهت با تهیه عکس، گفتگو با کشاورزان، میراب‌ها و سایر عوامل ذی‌ربط، به بررسی این مسائل پرداخته شد. سرانجام با تجزیه و تحلیل نتایج اندازه‌گیری و مشاهدات و بررسی‌های مسائل فنی، اجتماعی، بهره‌برداری و نگهداری شبکه کانال‌ها، وضعیت موجود و مشکلات شبکه بررسی و پیشنهاد‌های لازم برای بهبود وضعیت موجود ارائه گردیده است.

## نتایج و بحث

### راندمان انتقال

نتایج حاصل از اندازه‌گیری راندمان انتقال در کانال‌های درجه ۳ (کانال پیش‌ساخته بتنی) اراضی کشت و صنعت مغان منشعب از کانال‌های درجه ۲ (D7 و D1-L) در جدول ۱ گزارش شده است. طبق جدول ۱، راندمان انتقال در اغلب کانال‌های درجه ۳ اراضی کشت و صنعت، به جز دو مورد از کانال D7 (کانال‌های شماره ۷ و ۸) و یک مورد از کانال D1-L (کانال پیش‌ساخته بتنی شماره ۳)، بیش از ۹۰ درصد است. البته کم بودن راندمان در کانال‌های مورد اشاره به دلیل مشکلات موضعی ناشی از سرریز

جدول ۱-مقادیر راندمان انتقال در کانال‌های پیش‌ساخته بتنی منشعب از کانال D7 و D1-L اراضی کشت و صنعت

Table 1 - conveyance efficiency values in canalettes branching from D7 and D1-L canals of agro-industry company farms

| کانال D1-L (D1-L canal)                         |                                              |                                                   | کانال D7 (D7 canal)                             |                                              |                                                   |
|-------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| راندمان انتقال (%)<br>Conveyance efficiency (%) | تپ کانال<br>پیش‌ساخته بتنی<br>Canalette type | شماره کانال<br>پیش‌ساخته بتنی<br>Canalette number | راندمان انتقال (%)<br>Conveyance efficiency (%) | تپ کانال<br>پیش‌ساخته بتنی<br>Canalette type | شماره کانال<br>پیش‌ساخته بتنی<br>Canalette number |
| 87.5                                            | 450                                          | 1                                                 | 85.4                                            | 450                                          | 1                                                 |
| 89.5                                            | 450                                          | 2                                                 | 94.4                                            | 450                                          | 2                                                 |
| 85.8                                            | 450                                          | 3                                                 | 92                                              | 450                                          | 3                                                 |
| 89.8                                            | 315                                          | 4                                                 | 93.4                                            | 450                                          | 4                                                 |
| 89.1                                            | 315                                          | 5                                                 | 87.1                                            | 315                                          | 5                                                 |
| 93.7                                            | 315                                          | 6                                                 | 95.1                                            | 315                                          | 6                                                 |
| 88.2                                            | 230                                          | 7                                                 | 68.1                                            | 315                                          | 7                                                 |
| -                                               | -                                            | -                                                 | 70.7                                            | 230                                          | 8                                                 |
| -                                               | -                                            | -                                                 | 89.7                                            | 230                                          | 9                                                 |
| 89                                              | -                                            | میانگین                                           | 86.21                                           | -                                            | میانگین                                           |

جدول ۲-مقادیر راندمان انتقال کانال‌های پیش‌ساخته بتنی منشعب از کانال درجه‌دو DC-5 و DC-6 اراضی کانال A برگشتی

Table 2- conveyance efficiency values in canalettes branching from DC-5 and DC-6 canals of returned A canal lands

| کانال DC-6 (DC-6 canal)                         |                                              |                                                   | کانال DC-5 (DC-5 canal)                         |                                              |                                                   |
|-------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| راندمان انتقال (%)<br>Conveyance efficiency (%) | تپ کانال<br>پیش‌ساخته بتنی<br>Canalette type | شماره کانال<br>پیش‌ساخته بتنی<br>Canalette number | راندمان انتقال (%)<br>Conveyance efficiency (%) | تپ کانال<br>پیش‌ساخته بتنی<br>Canalette type | شماره کانال<br>پیش‌ساخته بتنی<br>Canalette number |
| 91                                              | 450                                          | 1                                                 | 93.6                                            | 450                                          | 1                                                 |
| 83.1                                            | 450                                          | 2                                                 | 94.4                                            | 450                                          | 2                                                 |
| 89.3                                            | 315                                          | 3                                                 | 91.4                                            | 450                                          | 3                                                 |
| 94.5                                            | 230                                          | 4                                                 | 88.7                                            | 450                                          | 4                                                 |
| -                                               | -                                            | -                                                 | 95.1                                            | 450                                          | 5                                                 |
| -                                               | -                                            | -                                                 | 92.4                                            | 315                                          | 6                                                 |
| -                                               | -                                            | -                                                 | 94.1                                            | 315                                          | 7                                                 |
| -                                               | -                                            | -                                                 | 89.7                                            | 315                                          | 8                                                 |
| -                                               | -                                            | -                                                 | 88.1                                            | 315                                          | 9                                                 |
| -                                               | -                                            | -                                                 | 94.1                                            | 315                                          | 10                                                |
| 89.47                                           | -                                            | میانگین                                           | 92.16                                           | -                                            | میانگین                                           |

جدول ۳- مقادیر راندمان انتقال کانال پیش‌ساخته بتنی‌های منشعب از کانال درجه دو DC-2 اراضی کانال A برگشتی و کانال درجه دو M از اراضی زیر کانال A

Table 2- conveyance efficiency values in canalettes branching from DC-2 canal of returned A canal lands and M canal from lands under canal A

| کانال (M canal)    |                                              |                                                   | کانال DC-2 (DC-2 canal) |                                              |                                                   |
|--------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------------|-------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| راندمان انتقال (%) | تپ کانال<br>پیش‌ساخته بتنی<br>Canalette type | شماره کانال<br>پیش‌ساخته بتنی<br>Canalette number | راندمان انتقال (%)      | تپ کانال<br>پیش‌ساخته بتنی<br>Canalette type | شماره کانال<br>پیش‌ساخته بتنی<br>Canalette number |
| 91.5               | 450                                          | 1                                                 | 89.9                    | 450                                          | 1                                                 |
| 85.2               | 450                                          | 2                                                 | 85.7                    | 450                                          | 2                                                 |
| 88.8               | 450                                          | 3                                                 | 89.7                    | 450                                          | 3                                                 |
| 86.2               | 450                                          | 4                                                 | 88.7                    | 450                                          | 4                                                 |
| 58.4               | 450                                          | 5                                                 | 90.1                    | 450                                          | 5                                                 |
| 90.6               | 450                                          | 6                                                 | 93.7                    | 450                                          | 6                                                 |
| 88.4               | 450                                          | 7                                                 | -                       | -                                            | -                                                 |
| 89.6               | 315                                          | 8                                                 | -                       | -                                            | -                                                 |
| 91.3               | 315                                          | 9                                                 | -                       | -                                            | -                                                 |
| 94.6               | 315                                          | 10                                                | -                       | -                                            | -                                                 |
| 89.9               | 315                                          | 11                                                | -                       | -                                            | -                                                 |
| 85.2               | 230                                          | 12                                                | -                       | -                                            | -                                                 |
| 86.77              | -                                            | میانگین                                           | 89.6                    | -                                            | میانگین                                           |

### تلفات زمین

علاوه بر راندمان انتقال کانال‌های پیش‌ساخته بتنی، تلفات زمین و زمان انتظار کشاورزان نیز در این پژوهش اندازه‌گیری شد. با توجه به طراحی مسیر و ابعاد بهینه در سیستم شبکه کانال‌ها نسبت به کانال‌های انتقال سنتی و خاکی، سطح کمتری از زمین‌های زراعی اشغال می‌شود. کاهش تلفات زمین در مناطقی مثل مغان که ارزش اقتصادی زمین بالاست، اهمیت بالایی دارد. برای به دست آوردن تلفات زمین، ضمن بررسی نقشه‌ها و گزارش‌های پروژه‌ها □ طول کانال پیش‌ساخته نصب‌شده و مساحت تحت پوشش پروژه‌ها استخراج شد و با در نظر گرفتن عرض میانگین کانال و همچنین ۱ متر

عرض حریم از هر دو طرف (با مجموع ۲ متر) عرض میانگین کل برای سه زیر حوزة به دست آمد که نتایج حاصل در جدول ۴ آورده شده است. چنانچه مشاهده می‌شود تلفات زمین در اراضی کشت و صنعت که به صورت یکپارچه قطعه‌بندی شده است به مراتب کمتر از تلفات زمین در اراضی کشاورزان است. اراضی کشاورزان که در زمان واگذاری به صورت قطعات ۱۲ و ۶ هکتاری بوده، با گذشت زمان خردشده و به قطعات کوچک تقسیم شده است. چنانچه مشاهده می‌شود در بهسازی اراضی، نقش یکپارچه‌سازی می‌تواند در توسعه سامانه‌های انتقال آب قابل توجه باشد.

جدول ۴- میزان تلفات زمین در پروژه‌های مختلف

Table 4- Land loss rate in different projects

| پروژه<br>Project                                                   | مساحت<br>(هکتار)<br>Area (ha) | طول کانال<br>پیش‌ساخته<br>بتنی (کیلومتر)<br>Canalette length (km) | طول کانال<br>پیش‌ساخته بتنی (متر)<br>در هکتار<br>Canalette length (m/ha) | میانگین عرض کانال<br>و حریم (متر)<br>Average channel width and exclusion (meters) | مساحت اشغال‌شده<br>(مترمربع در هکتار)<br>Occupied area (m <sup>2</sup> /ha) |
|--------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| کشت و صنعت و دام‌پروری مغان<br>Moghan Agro-Industry & Livestock Co | 10000                         | 100                                                               | 10                                                                       | 2.83                                                                              | 28.3                                                                        |
| اراضی زیر کانال برگشتی A<br>Downstream lands of the return canal A | 8750                          | 230                                                               | 26                                                                       | 2.91                                                                              | 76.5                                                                        |
| اراضی زیر کانال A<br>Downstream lands of the canal A               | 10585                         | 180                                                               | 17                                                                       | 2.89                                                                              | 49.1                                                                        |
| متوسط<br>Mean                                                      | -                             | -                                                                 | -                                                                        | -                                                                                 | 51.3                                                                        |

### انتظار کشاورزان برای دریافت آب

پروژه‌های مختلف در جدول ۵ آورده شده است. در این جدول می‌توان زمان انتظار به ازای سرعت کانال را با زمان انتظار با فرض سرعت ۱ متر بر ثانیه مقایسه کرد. بالا بودن زمان انتظار کشاورزان به این دلیل است که در اکثر مواقع سرعت جریان آب در کانال‌ها کمتر از سرعت متوسط است که این مسئله باعث بیشتر شدن زمان لازم برای رسیدن به سر مزرعه می‌شود.

اگر فرض کنیم که سرعت متوسط آب ۱ متر بر ثانیه باشد، زمان انتظار کشاورزان از دریچهٔ آبیگری تا سر مزرعه به ازای هر کیلومتر حدود ۱۶/۵ دقیقه است. در این تحقیق، با اندازه‌گیری طول بازهٔ دریچه تا سر مزرعه و قرار دادن یک بطری خالی و یادداشت‌برداری زمان رسیدن آن به مزرعه، زمان انتظار کشاورزان به دست آمد که این مقدار در

جدول ۵- زمان انتظار کشاورزان در پروژه‌های مختلف

Table 5- Waiting time for farmers in different projects

| پروژه<br>Project                  | کشت و صنعت مغان<br>Moghan agro-industry company farms | اراضی زیر کانال برگشتی A<br>returned A canal lands | اراضی زیر کانال A<br>lands under canal A | متوسط<br>Average |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|------------------------------------------|------------------|
| زمان انتظار (دقیقه) در هر کیلومتر | 33.62                                                 | 36                                                 | 41.5                                     | 37               |



## ارزیابی کانال‌های پیش‌ساخته بتنی از نظر بهره‌برداری و نگهداری

شبکه آبیاری مغان مشکلات زیادی دارد که یکی از اساسی‌ترین آنها نبود سیستم بهره‌برداری و نگهداری مناسب از شبکه است. این موضوع سبب شده است که به‌رغم سرمایه‌گذاری‌های سنگین برای احداث شبکه، هدف نهایی آن که استفاده بهینه از آب است تحقق نیابد، به‌طوری‌که راندمان مصرف آب در منطقه مغان خیلی پایین‌تر از حد قابل قبول است. حدود ۳۰ تا ۴۰ درصد آب انحرافی از رودخانه ارس که با صرف هزینه‌های زیاد در شبکه جریان می‌یابد، بدون استفاده از دسترس خارج و از طریق زهکشی‌های خروجی (سطحی) بار دیگر به رودخانه ارس تخلیه می‌شود. البته این موضوع جدا از مقدار آبی است که به علت آبیاری بی‌رویه در مزارع از دسترس گیاه خارج و در مواقعی نیز موجب زهدار شدن اراضی مزروعی می‌شود. باید با بررسی‌ها و ارزیابی مشکلات موجود در شبکه، به بهبود وضعیت موجود دست زد و با ارائه مدیریت بهره‌برداری کارآمد، از هدر رفتن آب جلوگیری کرد و با آب صرفه‌جویی شده زمین‌های بایر را زیر کشت برد و با توجه به اینکه وسعت اراضی بایر مستعد کشاورزی در منطقه زیاد است، اهمیت این مسئله دوچندان می‌شود. در این زمینه، مشکلات بهره‌برداری شبکه، خصوصاً کانال‌های موجود در شبکه بررسی شد و ضمن بازدیدهای محلی و گفتگو با کارشناسان، مهندسان مشاور و تکنسین‌های شاغل در شبکه،

مسائل و مشکلات موجود بررسی گردید که در ادامه یافته‌های مربوط در این زمینه ارائه می‌گردد. نتایج بازدیدهای محلی در خصوص مشکلات نگهداری و بهره‌برداری کانال‌های پیش‌ساخته بتنی در قالب چهار زیربخش ارائه می‌شود.

## وضعیت و اشکال آب‌بندی و تکیه‌گاهی کانال‌های پیش‌ساخته بتنی

کانال‌های نیم لوله بتنی به‌صورت قطعات ۵ تا ۷ متری ساخته و به‌وسیله زمین پیش‌ساخته روی پایه‌ها قرار می‌گیرند و به‌صورت کانال هوایی درمی‌آیند. هر قطعه نیم لوله در دو انتهای خود با وشرهایی که علاوه بر نقش تکیه‌گاه، وظیفه آب‌بندی را نیز بر عهده می‌گیرند، روی زمین قرار داده می‌شود. وشرها باید آب‌بندی در محل زمین را به‌طور کامل تأمین کنند. در بازدیدها و بررسی‌ها معلوم شده که آب‌بندی‌نشدن کامل وشرها یکی از اساسی‌ترین معضله‌های کانال‌های پیش‌ساخته به شمار می‌رود. در نتیجه کارایی نامناسب وشرها، کشاورزان خود به آب‌بندی‌های غیراصولی دست می‌زنند از جمله استفاده از قیر، بتن، حتی پلاستیک (شکل ۴). شکل ۴- a آب‌بندی غیراصولی درز بین قطعات کانال پیش‌ساخته بتنی با قیر، شکل ۴- b آب‌بندی غیراصولی با استفاده از بتن، شکل ۴- c تخریب وشر آب‌بندی کانال پیش‌ساخته بتنی توسط دامداران به‌منظور تأمین آب دام‌ها، و شکل ۴- d نشأت آب شدید از محل تخریب وشر آب‌بندی کانال پیش‌ساخته بتنی را نشان می‌دهد.



شکل ۴- آب‌بندی غیراصولی اجراشده (a و b) و تخریب واشر آب‌بندی و نشت آب از آن (c و d)

Fig.4- Unprincipled sealing implemented (a and b) and destruction of sealing washers and water leakage from it (c and d)

می‌کند (شکل ۶). انتقال بذر این علف‌ها با آب به داخل مزارع باعث ایجاد خسارت می‌شود که مبارزه با این معضل ضرورت دارد.

لایروبی به‌موقع و سالیانه کانال، به‌ویژه در فصل غیر زراعی، به‌منظور جلوگیری از تجمع بیش‌ازحد رسوبات و از بین بردن علف‌های هرز به‌طور مستمر توسط متولیان، بهره‌برداران و یا تشکلهای ذی‌ربط می‌تواند از بروز وضعیت یادشده جلوگیری نماید و یا حداقل اثر آن را کم کند.

#### تجمع رسوب و رشد علف‌های هرز

شرایط اقلیمی دشت مغان به‌گونه‌ای است که رشد علف‌های هرز و گیاهان نا به‌جا در اکثر ماه‌های سال ادامه دارد و با توجه به شرایط مناسب رشد در اغلب کانال‌های آبیاری خاکی، علف‌های هرز بدون وقفه رشد می‌کنند و به‌صورت گسترده در سطح کانال‌های شبکه به چشم می‌خورند (شکل ۵). رشد علف‌های هرز در حریم و کنار کانال و حتی گاهی در داخل کانال، در روند انتقال آب و عمر کانال‌ها ایجاد مشکل



شکل ۵- رشد علف‌های هرز در کانال خاکی

Fig.5- Weed growth in the soil canal



شکل ۶- رشد علف هرز در حریم کانال پیش‌ساخته بتنی (a و b)، در داخل کانال پیش‌ساخته بتنی (c) و کانال درجه ۲ بتنی (d)  
Fig.6- Weed growth around canalette (a and b), inside canalette (c) and grade 2 concrete canal (d)

#### تخریب‌های موضعی و بهره‌برداری نامناسب

در بازدیدها موارد متعددی در خصوص تخریب موضعی و در برخی موارد نیز تخریب کلی در سطح شبکه مشاهده شد. برخی از این موارد به دلیل ضعف در طراحی و اجرای شبکه کانال پیش‌ساخته بتنی و بی توجه بودن در برابر شرایط ژئوتکنیکی بستر بوده است. ولی اغلب تخریب‌های موضوعی به‌صورت تعمیدی و به‌منظور آبیگری از شبکه توسط بهره‌برداران صورت گرفته است. به‌طورمعمول و در صورتی که تقسیم‌بندی قطعات زراعی مبنایی مناسب داشته باشد، سازه‌های آبیگر به‌طور متوسط در فاصله‌هایی بین ۲۰۰ تا ۲۵۰ متر طراحی و اجرا می‌شوند، اما در عمل به علت تقسیمات نامناسب و برای رفع معضلات اجتماعی بعدی، در این پروژه‌ها سازه‌های آبیگر به‌طور متوسط در فاصله‌های ۱۰۰ متر ساخته شده‌اند. این موضوع علاوه بر ایجاد مشکلات اجرایی و از جمله طولانی شدن زمان اجرای پروژه‌ها، باعث افزایش هزینه‌های اجرایی نیز می‌شود. باوجود کارگذاری و لحاظ کردن بیش از

حد معمول و متعارف آبیگر در مسیر کانال‌های پیش‌ساخته بتنی، هنوز هم بهره‌برداران آبیگر باسلیقه خود آبیگر تعبیه می‌کنند. یکی از دلایل این کار تقسیم قطعات زراعی بین شرکا و وراث است. به‌منظور رفع مشکلات فوق، استفاده از سیفون (آب‌شویه) کانال در شبکه‌های فرعی آبیاری که در آنها کانال پیش‌ساخته هوایی اجرا شده است به‌عنوان یک راهکار ساده و کم‌هزینه و درعین حال کارآمد پیشنهاد شده است. در بازدیدها تنها دو مورد استفاده از سیفون اما تعداد زیاد آبیگری نامناسب، تخریب و تعبیه دريچه دیده شد. در این خصوص ضروری است به‌منظور حفاظت از کانال و بهره‌برداری بهینه، استفاده از سیفون به‌عنوان روش مناسب آبیگری برای بهره‌برداران توصیه و ترویج گردد. شکل a - ۷ و شکل b - ۷ آبیگری با سیفون کانال پیش‌ساخته بتنی را به‌عنوان راه‌حل اصولی به‌منظور بهره‌برداری بهینه نشان می‌دهند. شکل c - ۷ آبیگری غیراصولی از کانال پیش‌ساخته بتنی با سازه دست‌ساز و شکل d - ۷ تخریب دیواره کانال پیش‌ساخته بتنی برای



را نشان می‌دهد. شکل ۷ - i و شکل ۷ - g و شکل ۷ - l رعایت نشدن اصول بهره‌برداری از طریق آبیگری بیش از ظرفیت در کانال پیش‌ساخته بتنی را نشان می‌دهد که موجب به وجود آمدن مشکلاتی به‌خصوص در فصل یخبندان (شکل ۷ - k) شده است.

آبیگری غیرمجاز را نشان می‌دهد. شکل ۷ - e تخریب سازه کانال مورد اشاره به دلیل اجرای نامناسب سازه و شکل ۷ - f تخریب دریچه‌های مقسم کانال‌ها را نشان می‌دهد. شکل ۷ - g و شکل ۷ - h جابه‌جایی و تخریب سازه کانال پیش‌ساخته بتنی در اثر بی‌توجهی به شرایط و خصوصیات بستر



شکل ۷-آبیگری اصولی و غیراصولی، تخریب‌های موضعی و بهره‌برداری نامناسب

Fig.7- Principled and unprincipled dewatering, localized damage and inappropriate exploitation

طول تقریبی ۷۵۰ کیلومتر احداث شده و در حال بهره‌برداری است، اما این پروژه بزرگ که طبیعتاً سرمایه‌گذاری عظیمی نیز در آن صورت گرفته است، دارای تشکل مستقل و مشخص برای بهره‌برداری و

بهره‌برداری و نگهداری از کانال‌های پیش‌ساخته بتنی

تاکنون در محدوده ۴۳۰۰۰ هکتار از اراضی منطقه، سیستم کانال درجه سه پیش‌ساخته بتنی با

درجه سه (کانال‌های پیش‌ساخته بتنی) با داشتن امکانات مناسب و با حمایت سازمان جهاد کشاورزی به‌عنوان متولی شبکه کانال‌های درجه سه و همچنین مشارکت سایر دستگاه‌های ذی‌نفع و ذی‌نفع و به‌ویژه بهره‌برداران یکی از گام‌های اساسی و اجتناب‌ناپذیر در بهبود عملکرد و ارتقای مدیریت بهره‌برداری و نگهداری است.

۲) مبارزه با رشد علف‌های هرز در داخل و حریم کانال‌ها باید در برنامه سالانه بهره‌برداری و نگهداری شبکه لحاظ شود.

۳) لایروبی کانال‌های پیش‌ساخته بتنی و بازبینی و اصلاح مشکلات فنی موجود در شبکه طی یک برنامه سالانه و مستمر امری ضروری است.

۴) بهسازی کانال‌ها و سازه‌های تخریب‌شده که باعث افزایش عمر سازه می‌شود.

۵) جلوگیری از استفاده بیش از ظرفیت کانال پیش‌ساخته بتنی باید در برنامه گنجانده شود زیرا این مسئله موجب تخریب سازه می‌شود.

۶) آموزش کشاورزان برای نگهداری و بهره‌برداری درست از کانال‌ها (با ایجاد شکل بهره‌برداری و نگهداری از کانال‌های مورد اشاره، موارد ۲ تا ۵ می‌تواند توسط این شکل عملی گردد).

۷) ضروری است به‌منظور حفاظت از کانال و بهره‌برداری بهینه، استفاده از سیفون به‌عنوان روش مناسب آبیگری برای بهره‌برداران توصیه و ترویج گردد.

۸) بررسی فنی و تحقیق برای ارائه روش مناسب آب‌بندی بین قطعات کانال‌ها به‌جای آب‌بندی غیراصولی و نامناسب (آب‌بندی غیراصولی، هم از طریق سازندگان و هم در مواردی از طرف کشاورزان ایجاد گردیده است).

نگهداری نیست که این مسئله باعث شده تا در برخی از قسمت‌ها با تخریب جزئی، کانال از بهره‌برداری ساقط شود. ایجاد شکل بهره‌برداری و نگهداری با داشتن امکانات مناسب برای این پروژه‌ها ضروری است. این شکل می‌تواند با حمایت و امکانات سازمان جهاد کشاورزی و از خود کشاورزان تشکیل شود تا آنها نگهداری و بهره‌برداری از کانال‌های پیش‌ساخته بتنی را بر عهده بگیرند.

### نتیجه‌گیری

نتایج این بررسی نشان می‌دهد که راندمان انتقال آب کانال‌های پیش‌ساخته بتنی در اراضی کشت و صنعت مغان ۸۹ درصد، در اراضی کانال A برگشتی، ۸۹/۴۷ درصد و در زیر کانال A، ۸۶/۷۷ درصد است، متوسط انتظار کشاورزان برای دریافت آب ۳۷ دقیقه به‌ازای هر کیلومتر کانال و تلفات زمین در نتیجه اجرای کانال پیش‌ساخته بتنی ۵۱/۳ مترمربع به‌ازای هر هکتار برآورد شده است. نتایج بررسی مشکلات مربوط به نگهداری و بهره‌برداری کانال پیش‌ساخته بتنی نشان می‌دهد کارایی نامناسب و اشهرای آب‌بندی، رشد گیاهان آبی، تخریب ابنیه و دریچه‌ها، آبیگری غیراصولی، شکستگی و ترمیم نشدن کانال‌های درجه ۳ و آبیگری بیش از ظرفیت و مهم‌تر از همه، نبود شکل بهره‌برداری و نگهداری از مشکلات عمده احداث کانال‌های پیش‌ساخته بتنی در سطح منطقه است. با توجه به مجموعه مطالعات و بررسی‌ها برای بهبود و ارتقای وضع موجود، پیشنهادها و راهکارهای زیر ارائه می‌شوند.

۱) ایجاد شکل بهره‌برداری و نگهداری از کانال‌های

## مراجع

- Abbasi, N., Bahramloo, R., Keramati, M. & Yarqoli, B. (2009). Develop a strategic research plan to improve and optimize irrigation and drainage networks (Research Plan), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Iran. (In Persian)
- Abdu, T., El gamri, T., Magid, A., & Magid, I. (2011). Design characteristics of open irrigation channel concrete lining as applied to Rawakeeb research station canal, Sudan Academy of Sciences Journal, 4(1), 1-16.
- Abuzeid, T. S. (2021). Conveyance losses estimation for open channels in middle Egypt (case study: Almanna main canal, and its distributaries). Journal of Engineering Sciences, 49(1), 64-84.
- Akhavan Giglou, k., KheiryGhojeh Biglou, M., Mehrparvar, B. & Shokat Naghadeh, A. (2019). Investigating amount of leakage, sediment and durability in geosynthetic cover of pumping channel 3 at irrigation network of Moghan. *Revista Geoaraguaia*, 9(2), 37-48.
- Akhondali, A. (2000). Comparison of land waste, water efficiency and farmers' expectation to receive water in traditional and prefabricated third degree channels in Dez irrigation network. *The Tenth Seminar of the National Irrigation and Drainage Committee*. Nov. 15-16. Tehran, Iran. (In Persian)
- Aldakheel, Y., & Zeineldin, F. (2007). Improving conveyance and distribution efficiency through conversion of an open channel lateral canal to a low-pressure pipeline at Al-Hassa Irrigation Project, Saudi Arabia. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 32(1C), 77-86.
- Asghari, B. & Sadeghzadeh Sadat, M. (2015). Estimation of water requirements for agricultural products by FAO-56 Penman-Monteith method in Moghan irrigation and drainage network. *The Second National Conference on Agricultural Engineering and Management, Environment and Sustainable Natural Resources*. Mar. 11. Tehran, Iran. (In Persian)
- Bahramloo, R., Abbasi, N., mamnnposh, A., Akhavan, K., Riahi, H. (2017). Evaluation of conveyance efficiency and water seepage loss in irrigation canals with HDPE geomembrane lining in plains of Zaiandeh-rood, Moghan and Kerman. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 48(4), 725-735. (In Persian)
- Chang, T. H., Huang, S. T., Chen, S., & Lai, J. C. (2010). Estimation of manning roughness coefficients on precast ecological concrete blocks. *Journal of Marine Science and Technology*, 18(2), 308-316.
- Dolatkah, S. (2016). Correction of experimental equations of water leakage in Moghan irrigation and drainage network channels. *First International Conference on Water, Environment and Sustainable Development*. Sep. 27-29. Ardabil, Iran. (In Persian)
- Emami, S., Choopan, Y., Kheiry goje biglo, M., Hesam, M. (2020). Optimal and economic water allocation in irrigation and drainage network using ICA algorithm (case study: Sofi-Chay network). *Irrigation and Water Engineering*, 10(3), 220-234.
- Faridi, M., Nouri Malaler, K. & Rauf, M. (2011). Effect of irrigation efficiency on the amount of drained water from the drainage network of Moghan plain. *First National Congress of New Agricultural Sciences and Technologies*. Sep. 10-12. Zanzan, Iran. (In Persian)
- Han, X., Wang, X., Zhu, Y., Huang, J., Yang, L., Chang, Z., & Fu, F. (2020). An experimental study on concrete and geomembrane lining effects on canal seepage in arid agricultural areas. *Water*, 12(9), 1-21.
- Haghayeghi Moghadam, SA., Dehghanian, SA., Akhavan, K., Hassanoghli, A. & Baharloo, A. (2007). Investigation and research on the efficiency of appropriate formulas for determining the distance of subsurface drains (Research Plan), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Iran. (In Persian)

- Ihavandi R., Holakoi, H. and Haghighi, A. (2018). Ramshir Irrigation and Drainage Sub-Network. Internship report. Khuzestan Jihad University Higher Education Institute-Ahvaz Branch.
- Jafari, H. & Ahmadnejad, A. (2011). Hydraulic investigation of the main channel of Moghan irrigation and drainage network with HEC-RAS model. *Third National Conference on Irrigation and Drainage Networks Management*. Feb. 20-21. Ahvaz, Iran. (In Persian)
- Jamali, R., Besharat, S., Yasi, M., & Amirpour Deylami, A. (2018). Assessment of the Application Efficiency, Water Use Efficiency and Productivity of Irrigated Water in the Urmia Lake Basin (Case Study: Zarineh Rood irrigation and Drainage Network). *Journal of Water and Soil Science (Science and Technology of Agriculture and Natural Resources)*, 22(3), 117-130. (In Persian)
- Kang'au, SN., Home, P. G., Gathanya, J. M. (2011). Farm water use efficiency assessment for smallholder pumped irrigation systems in the arid and semi-arid areas of Kenya, *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 13(4), 1-13.
- Karimi Avargani, H., Hashemy Shahdany, S., Hashemi Garmdareh, S., Liaghat, A. (2020). Determination of Water Losses through the Agricultural Water Conveyance, Distribution, and Delivery System, Case Study of Roodasht Irrigation District, Isfahan. *Water and Irrigation Management*, 10(1), 143-156. (In Persian)
- Kheiry Ghoghjeh Biglou, M., Pilpayeh, A. (2020). Optimization of Height and Length of Ogee-Crested Spillway by Composing Genetic Algorithm and Regression Models (Case Study: Spillway of Balarood Dam). *Irrigation and Drainage Structures Engineering Research*, 20(77), 39-56. doi: 10.22092/idser.2019.124750.1368
- Kilic, M., & Tuyulu, G. I. (2011). Determination of water conveyance loss in the ahmetli regulator irrigation system in the lower Gediz Basin Turkey. *Irrigation and drainage*, 60(5), 579-589.
- Mohammadi, A., Rizi, A. P., & Abbasi, N. (2019). Field measurement and analysis of water losses at the main and tertiary levels of irrigation canals: Varamin Irrigation Scheme, Iran. *Global Ecology and Conservation*, 18, 1-10.
- Mohammadzadeh Haji Khanlou, H., Houshmand, A., Hossein Alizadeh, M. & Moradzadeh, M. (2012). Estimation and volumetric distribution of water required for irrigation network using Geographic Information System (GIS) (Case study: Moghan Irrigation and Drainage Network). *Third National Conference on Comprehensive Management of Water Resources*. Sep. 11-12. Sari, Iran. (In Persian)
- Monem, M., Hashemy shahdany, S. & Eslambolchizadeh, H. (2017). Role of regulating reservoir operational management in performance improvement of Moghan irrigation network. *Journal of Water Research in Agriculture*, 31.4(4), 535-545. (In Persian)
- Salamat, N., Varjavand, P., Absalan, S., Azizi, A., Goosheh, M. (2020). Evaluation of the Water Conveyance Efficiency of Concrete Lined and Earth Channels in Khuzestan Province. *Journal of Water Research in Agriculture*, 34.1(1), 151-165. (In Persian)
- Sen, R., Fahmida, M., Akter, I., & Rity, M. (2018). Determination of conveyance loss through earthen channel by cutthroat flume. *International Journal of Hydraulic Engineering*, 7(1), 11-14.
- Shumye, A., & Singh, P. (2018). Evaluation of canal water conveyance and on-farm water application for a small-scale irrigation scheme in Ethiopia. *International Journal of Water Resources and Environmental Engineering*, 10(8), 100-110.

## **Investigation on Conveyance Efficiency and Operation Issues of Precast Concrete Channels (Canalette) in Moghan Irrigation Network**

**K. Akhavan\*, N. Abbasi, Milad Kheiry Ghojeh Biglou and H.Ahmadpari**

\* Corresponding Author: Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Department, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Ardabil, Iran. Email: akhavan120@gmail.com

Received: 19 April 2021, Accepted: 4 July 2021

### **Extended Abstract**

#### **Introduction**

Moghan irrigation network is also facing the problem of water losses similar to other projects. In recent years, more than 43,000 hectares of tertiary irrigation canals has been lined using precast concrete channels (Canalette). The main purposes of the project were; improving irrigation efficiency, increasing water use efficiency, reducing waiting period to get water, and preventing water losses. But the project due to weaknesses in various stages of design, construction, operation and maintenance were faced with numerous issues and problems. In this research, the performance of construction canalette in terms of conveyance efficiency and network operation and maintenance problems have been investigated.

#### **Methodology**

To do this, 40 canalettes were chosen after various visits to the different projects area and reviewing the existing related documents. In order to calculate conveyance efficiency, the inflow and outflow values of the channels were measured. In order to estimate the waiting time for farmers to receive water, the time required for water to reach from the water dividing site to the field was measured. The amount of land losses in each project was determined according to the availability of information such as the length of the canalette and considering the average width of 2 meters for the canalette and also the specificity of the area covered by the projects. In addition, by taking photos, talking to farmers, water distributors and other relevant factors, exploitation and maintenance issues were investigated. Field observations from the study of technical and social issues, issues related to the operation and maintenance of the canalette network as well as the results of measurements were analyzed and then the necessary suggestions to improve the current situation are presented.

#### **Results and Discussion**

The average conveyance efficiency in the studied canalettes in the three studied projects, namely agro-industrial lands, return A canals and sub-A canal lands, respectively %89, %89.47 and %86.77, respectively. The results of the study of land losses in different projects showed that land losses in agro-industrial lands, which are segmentate in an integrated manner, are far less than farmers' lands (lands of return A canals and sub-A canal). The results of local visits regarding the issues and problems of maintenance and operation of canalettes are presented below.

1) According to the visits and studies, the lack of complete sealing of the washers is one of the main problems of prefabricated canals. As a result of inadequate performance of the washers, unprincipled sealing performed by farmers in various ways, including the use of bitumen, concrete and plastic in the network was observed in large numbers. Investigation and research to solve this



2) problem and improve existing channels and not to repeat this problem in future projects seems necessary.

3) The climatic conditions of Moghan plain are such that weeds to grow in most of the soil canals and are widely seen in the network canals. Also, in canalettes, the growth of weeds around and along the canalette and sometimes even inside the canalette, creates problems in the process of water transfer and canalette life. In addition, the transfer of weed seeds from the canal to the fields by water causes damage to the fields.

4) During the visits, several cases partial and total destruction at the network level were observed. Some of these cases were due to poor design and implementation of the canalette network and also lack of attention to the geotechnical conditions of the bed. However, most of the thematic demolitions have been done intentionally by the exploiters in order to dewatering of the network. The use of canalette siphons in irrigation sub-networks has been proposed as a simple and low-cost solution.

### **Conclusions**

Based on the results, the average conveyance efficiency was found to be 89, 89.47 and 86.77 percents in three different studied areas that are agro-industrial lands, lands of return A canals and sub-A canal, respectively. Also, the waiting period of farmers and land losses were determined as 37 minutes in Km and 51.3 m<sup>2</sup> per ha, respectively. Furthermore, inadequate performance seal washers, aquatic plant growth, damage of structures and intakes, improper operating, using overdesign rate of discharges, and other social and maintenances issues were found to be the problems in the operation of Moghan irrigation and drainage network

### **Acknowledgement**

Thank all people, institutions, and companies that have supported and funded the research.

**Keywords:** Disorganized water intake, Water use efficiency, Land losses, Farmers' waiting time, Canalette

## تعیین بهره‌وری آب با کاربرد سامانه‌های آبیاری سطحی و قطره‌ای در تولید سیب در

### ایران

ابوالفضل ناصری<sup>۱\*</sup>، فربرز عباسی<sup>۲</sup>، امیر نوریجو<sup>۳</sup>، جمال احمدآلی<sup>۴</sup>، محمدعلی شاهرخ‌نیا<sup>۵</sup>، علیرضا مامن‌پوش<sup>۶</sup>،  
مجید کرامتی‌طرقی<sup>۷</sup>، سالومه سپهری صادق‌ان<sup>۸</sup>، کرامت اخوان<sup>۹</sup>، سیدحسن موسوی فضل<sup>۱۰</sup>، نادر عباسی<sup>۱۱</sup>، مهدی  
اکبری<sup>۱۲</sup>، جواد باغانی<sup>۱۳</sup>، محمد مهدی نخجوانی مقدم<sup>۱۴</sup>، رامین نیکان‌فر<sup>۱۵</sup> و اردلان ذوالفقاران<sup>۱۶</sup>

- ۱- دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی، تبریز، ایران
  - ۲ و ۱۱- استاد پژوهش، بخش تحقیقات آبیاری و زهکشی، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج، ایران
  - ۳ و ۴- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان غربی، ارومیه، ایران
  - ۵- دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، شیراز، ایران
  - ۶- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، اصفهان، ایران
  - ۷ و ۱۶- عضو هیات علمی، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، مشهد، ایران
  - ۸ و ۱۳- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات آبیاری و زهکشی، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج، ایران
  - ۹- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اردبیل (مغان)، اردبیل (مغان)، ایران
  - ۱۰- عضو هیات علمی، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی سمنان، شاهرود، ایران
  - ۱۲- دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات آبیاری و زهکشی، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج، ایران
  - ۱۵- مربی پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی، تبریز، ایران
- تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱/۲۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۴/۲۱

### چکیده

تأمین امنیت غذایی در شرایط کمبود منابع آب در کشور، نیازمند مدیریت بهینه مصرف آب در بخش کشاورزی است. اساسی‌ترین مؤلفه برای مدیریت بهینه آب، آگاهی از حجم آب آبیاری در تولید محصولات مختلف کشاورزی تحت مدیریت تولیدکنندگان است. از بین محصولات باغی، سیب (درختی) با تولید سالانه حدود سه میلیون تن از سطح ۲۴۷ هزار هکتار از اراضی باغی کشور در جایگاه نخست قرار دارد. متناسب با این حجم تولید، برآورد می‌شود حجم قابل‌توجهی از منابع آب سطحی و زیرزمینی برای تولید این محصول مصرف شود. این پژوهش با هدف تعیین بهره‌وری آب در باغ‌های سیب تحت مدیریت باغداران در استان‌های منتخب در کشور اجرا گردید. این استان‌ها عبارت‌اند از آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی، اردبیل، اصفهان، تهران، خراسان رضوی، فارس و سمنان. علاوه بر اندازه‌گیری مستقیم آب آبیاری و عملکرد محصول، بهره‌وری آب در ۱۴۵ باغ در کشور تعیین گردید. برای بررسی تفاوت احتمالی حجم آب آبیاری و عملکرد، و بهره‌وری آب در تولید سیب از تحلیل واریانس استفاده شد. نتایج بررسی‌ها نشان داد تفاوت بهره‌وری آب در باغ‌های استان‌های مختلف معنی‌دار است. میانگین شاخص بهره‌وری آب در باغ‌های سیب کشور برابر ۲/۷۳ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمد. حداقل و حداکثر شاخص بهره‌وری آب از باغ‌های سیب استان فارس (۱/۱۲ کیلوگرم بر مترمکعب) و استان سمنان (۳/۴۶ کیلوگرم بر مترمکعب) به دست آمد. راهکارهایی برای بهینه‌سازی استفاده از منابع آب برای ارتقای بهره‌وری آب در باغ‌های سیب کشور ارائه شده است.

### واژه‌های کلیدی

اراضی فاریاب، بهره‌وری آب، باغ‌های سیب، کارایی مصرف آب

### مقدمه

می‌آید. سطح زیرکشت محصولات زراعی و باغی فاریاب در سال ۱۳۹۷ حدود ۸/۵ میلیون هکتار بوده‌است که از این سطح حدود ۹۵ میلیون تن

در حال حاضر بیش از ۹۰ درصد از تولیدات زراعی و باغی در کشور از اراضی فاریاب به دست

محصولات زراعی و باغی تولید شده است (Gholizadeh et al., 2016). هر سال حجم فراوانی از آب تجدیدپذیر کشور برای تولید محصولات مختلف در بخش کشاورزی مصرف می‌شود. از این رو، نیاز به برنامه‌ریزی کلان در مدیریت و مصرف آب در کشور، بررسی جامع و دقیق روی بهره‌وری آب در بخش کشاورزی را ضروری می‌سازد.

سیب یکی از محصولات باغی است با نام علمی *Malus domestica* و از میوه‌های دانه‌دار که افزون بر مصرف داخلی، بخشی از صادرات غیرنفتی را نیز تشکیل می‌دهد. ایران به دلیل شرایط خاص اقلیمی و آب و هوایی برای کشت محصولات سردسیری به ویژه سیب دارای جایگاه ممتازی در سطح جهانی است. محصول سیب علاوه بر مصرف تازه‌خوری خانوارهای ایرانی، به‌صورت مربا، آب سیب، کمپوت، سرکه و برگه سیب نیز استفاده می‌شود که علاوه بر تامین سلامت تغذیه جامعه، موجب ایجاد اشتغال و ارزآوری برای تولیدکنندگان گردیده است. بر اساس آمار سازمان خواربار و کشاورزی سازمان ملل متحد (FAO)، سطح زیر کشت و تولید سیب در سال ۲۰۱۶ در جهان به ترتیب برابر ۵/۳ میلیون هکتار و ۸۹/۳ میلیون تن بوده است و کشورهای چین، ایالات متحده آمریکا، ترکیه، ایران، هند، روسیه، شیلی و اکراین از مهم‌ترین کشورهای تولید کننده سیب در جهان هستند. سطح زیر کشت این محصول در ایران ۲۴۷ هزار هکتار است که سالانه ۲/۹۵ میلیون تن محصول با مصرف حدود ۲/۵ میلیارد مترمکعب آب به دست می‌آید (Ahmadi et al., 2017a; Nasseri et al., 2019). ناصری و همکاران (Nasseri et al. 2017a) گزارش داده‌اند میانگین نیاز آبی باغ‌های سیب در کشور ۶۶۹۶ مترمکعب بر هکتار است. بیشترین و کمترین نیاز آبی سیب در

شرایط اقلیمی استان‌های یزد و گیلان با مقادیر ۱۰۲۳۰ و ۲۳۷۲ مترمکعب بر هکتار به‌دست آمده است. کمترین (۶ هکتار) و بیشترین (۴۸ هزار هکتار) سطح برداشت این محصول از اراضی فاریاب به‌ترتیب در استان‌های بوشهر و آذربایجان غربی گزارش شده است. منابع موجود در تحقیقات آبیاری در تولید سیب بسیار محدود است، با این‌همه، در ادامه به خلاصه یافته‌های پژوهشگران در مورد این گیاه اشاره می‌شود. یافته‌های پژوهشگران نشان می‌دهد ۶۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ مترمکعب از منابع آب سبز یا آبی در سال برای رشد سیب کافی است (Alizadeh, 1997). بیشترین مقدار مصرف روزانه آب توسط درخت سیب تابع شرایط اقلیمی، گسترش شاخ و برگ و تراکم و ارقام درخت است. حداکثر مصرف آب هر درخت در هر روز تغییرات زیادی دارد و بین ۲۵ تا ۲۰۰ لیتر است.

در پژوهش‌های میلز و همکاران (Mills et al. 1996) روی تأثیر کم‌آبیاری بر رشد و کیفیت میوه سیب نشان داده‌شد کمبود آب در اوایل فصل رشد ممکن است در کیفیت میوه مؤثر باشد، درحالی که کمبود آب در آخر فصل، تأثیر ناچیزی روی کیفیت میوه دارد. یزدانی و همکاران (Yazdani et al. 1993) در بررسی تأثیر روش‌های آبیاری قطره‌ای و سطحی روی درختان سیب، گزارش دادند که میزان آب آبیاری در روش آبیاری سطحی بین ۱۲۴۰۰ و ۱۲۹۸۰ مترمکعب بر هکتار و در روش قطره‌ای ۶۶۳۸ تا ۹۴۷۲ مترمکعب بر هکتار است. جلینی (Joleini 2005) نشان داد که اعمال تیمار کم آبیاری موجب کاهش عملکرد میوه سیب شده است. در آبیاری کامل بیشترین عملکرد به دست آمده است و عملکرد ناشی از اعمال ۵۰ درصد و ۷۰ درصد نیاز آبی در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. لیب و همکاران

آبیاری ظرفیت زیادی برای تولید سیب در منطقه خشک دارد (Du et al., 2017).

در ایران نیز مانند سایر کشورها، بخش قابل توجهی از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی در بخش کشاورزی استفاده می‌شود (Nasseri et al., 2017b). شرایط اقلیمی کشور همواره در معرض ریسک تنش کمبود آب و خشکسالی است و نیاز روزافزون بخش‌های مختلف به آب، در سال‌های آینده، رقابت هرچه بیشتر را برای مصرف آب موجب خواهد گردید، از این رو ارتقا و بهبود بهره‌وری مصرف آب یکی از راهکارهای اثربخش و کاربردی برای تولید محصولات باغی ارزشمند در شرایط تنش کمبود آب به شمار می‌رود. می‌توان گفت برآورد نسبتاً دقیق یا تعیین شاخص‌های مدیریت مصرف آب از جمله بهره‌وری آب محصولات زراعی و باغی در کشور، از مهمترین فراسنج‌های کلیدی در برنامه‌ریزی‌های کلان مربوط به تأمین، تخصیص و مصرف اصولی از آب در بخش‌های مختلف از جمله کشاورزی به شمار می‌رود. پژوهش در سطح ملی که بتواند به اعداد مشخصی در مورد بهره‌وری واقعی آب در تولید محصولات باغی در کشور منتهی و منتج گردد، ضروری و بااهمیت است. تعیین بهره‌وری آب در تولید سیب در مناطق مختلف کشور، هدف اصلی این پژوهش است و بنابراین یافته‌های این پژوهش می‌تواند مساعدت شایانی به تصمیم‌گیران مرتبط با آب و کشاورزی بنماید.

#### مواد و روش‌ها

پروژه حاضر با هدف تعیین بهره‌وری آب در تولید سیب تحت مدیریت باغداران در قطب‌های تولید این محصول در کشور اجرا گردید. با توجه به تغییرات سالانه عملکرد باغ‌ها، عملکرد سیب در دو یا

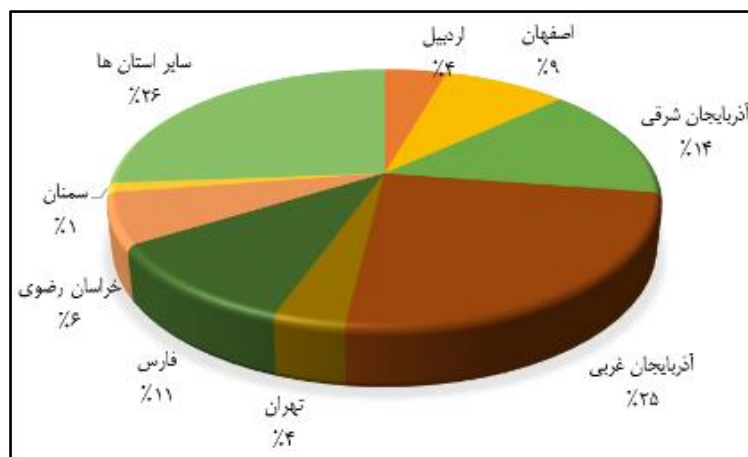
(Leib et al. 2006) تأثیر سه تیمار آبیاری را بر عملکرد درختان سیب در اقلیم نیمه‌خشک ایالات متحده آمریکا بررسی کردند. در این بررسی، تیمارهای آبیاری شامل آبیاری کامل، کم‌آبیاری و آبیاری بخشی بود. از سامانه آبیاری بارانی با آبپاش‌های کوچک زیردرختی برای اعمال تیمارهای آبیاری استفاده شد. مقدار آب آبیاری برای تیمارهای مذکور در سال اول به ترتیب ۵۳۸، ۳۰۲ و ۲۷۲ میلی‌متر و در سال دوم ۶۷۰، ۴۳۴ و ۳۸۹ میلی‌متر بود. عملکرد میوه در تیمار کم‌آبیاری نسبت به تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. با این‌همه، عملکرد تیمار آبیاری بخشی نسبت به دو تیمار دیگر اختلاف معنی‌داری نداشت. پارودی و چاواری (Parodi & Chávarri 2004) تأثیر سطوح مختلف آبیاری را در عمر انبارداری و کیفیت میوه سیب بررسی کردند. برای هر اصله درخت در سال، تیمارهای آبیاری شامل ۱۵۷۸، ۱۸۹۴، ۲۲۰۱ و ۲۸۱۴ لیتر اعمال شد. کیفیت و عمر انبارداری میوه درختانی که کم‌تر آبیاری شده بودند، بهتر از سایر تیمارها بود.

پژوهش‌های اخیر نشان می‌دهد آب موردنیاز درختان سیب از گیاهان معمولی مانند گندم بیشتر و تقاضای آب در دوره‌های مختلف رشد متفاوت است (Zhong et al., 2019). بهره‌وری آب در تولید سیب با روش آبیاری غرقابی کم است. بررسی در باغ‌های سیب مراکش نشان می‌دهد باغداران از حجم آب زیادی برای تولید محصول استفاده می‌کنند و استفاده از برنامه‌ریزی آبیاری با ۷۵ درصد نیازآبی گیاه موجب افزایش عملکرد درختان می‌شود (El Jaouhari et al., 2018). استفاده از روش آبیاری بخشی منطقه توسعه ریشه موجب افزایش عملکرد میوه و بهره‌وری آب می‌شود. به‌کارگیری این شیوه

آذربایجان شرقی (شهرستان‌های مراغه، میانه و اهر)، آذربایجان غربی (شهرستان‌های نقده، مهاباد، میاندوآب، اشکنویه، سلماس و ارومیه)، فارس (شهرستان‌های سپیدان، اقلید و آباده)، اصفهان (شهرستان‌های سمیرم و شهرضا)، خراسان رضوی (شهرستان‌های مشهد، چناران و نیشابور)، تهران (شهرستان دماوند)، اردبیل (شهرستان مشکین‌شهر)، و سمنان (شهرستان شاهرود).

پس از تعیین استان‌های پایلوت، شهرستان‌های پایلوت در هر استان از نظر سطح زیرکشت و تولید سیب مشخص گردید. باغ‌ها در شهرستان‌های پایلوت به نحوی انتخاب شدند که امکان تعیین حجم آب آبیاری آنها با دقت قابل قبولی وجود داشته باشد. در مجموع ۱۴۵ باغ سیب مورد بررسی و آزمایش قرار گرفت. از این تعداد باغ ۶۳ باغ تحت سامانه آبیاری سطحی و ۸۲ باغ تحت سامانه آبیاری قطره‌ای بودند.

سه سال زراعی (۹۶-۱۳۹۵، ۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷) اندازه‌گیری شد. عوامل مؤثر بر عملکرد محصولات باغی عبارت‌اند از عوامل اقلیمی (از جمله سرمازدگی و بارندگی)، عوامل فیزیولوژیک (از جمله سال‌آوری، رقم و سن درخت و شرایط گرده‌افشانی) و مدیریت زراعی (از جمله مدیریت آفات و بیماری، مدیریت آبیاری و مدیریت تغذیه) و کیفیت نهاده‌های مصرفی. با عنایت به کم‌بودن واریانس حجم آب آبیاری، اندازه‌گیری مستقیم آب آبیاری در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ در باغ‌های منتخب مناطق مختلف کشور صورت گرفت. بر مبنای آخرین گزارش آماری وزارت جهاد کشاورزی (Ahmadi et al., 2019)، مناطق دارای بیشترین سطح زیرکشت و تولید محصول سیب به‌عنوان استان‌های پایلوت اجرای پروژه انتخاب شدند (شکل ۱). استان‌های پایلوت حدود ۷۵ درصد سطح زیرکشت سیب را در کشور شامل می‌شوند. این استان‌ها عبارت‌اند از



شکل ۱- وضعیت سطح زیرکشت سیب در استان‌های پایلوت در کشور (Ahmadi et al., 2019)

در هر منطقه، حداقل ۶ باغ و در مجموع ۱۴۵ باغ برای اندازه‌گیری، داده‌برداری و پایش انتخاب گردید. حجم آب آبیاری سیب در باغ‌های منتخب بسته به روش آبیاری با استفاده از فلوم، کنتور حجمی یا

سرریز به‌طور مستقیم اندازه‌گیری شد. برنامه آبیاری باغ‌های تحت مدیریت باغداران ثبت گردید. بنابراین حجم آب آبیاری و متغیرهای لازم برای برنامه‌ریزی آبیاری و کیفیت آب‌و‌خاک در باغ‌ها در مناطق

آبیاری در سراسر فصل؛  $CY =$  عملکرد سیب (کیلوگرم بر هکتار)؛ و  $CW =$  حجم آب آبیاری (مترمکعب بر هکتار).

### نتایج و بحث

با توجه به تغییرات سالانه عملکرد باغ‌ها، عملکرد سیب در دو یا سه سال زراعی (۹۶-۱۳۹۵، ۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷) اندازه‌گیری شد (شکل ۲). مقادیر عملکرد تحلیل‌شده در این مقاله، میانگین دو یا سه سال است. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد میانگین عملکرد در سال ۱۳۹۶ برابر ۲۲/۴ تن بر هکتار، در سال ۱۳۹۷ برابر ۲۲/۷ تن بر هکتار و در سال ۱۳۹۸ برابر ۲۴/۵ تن بر هکتار بوده‌است (شکل ۲). از دلایل زیاد بودن نسبی عملکرد در سال ۱۳۹۸ می‌توان به عوامل اقلیمی (نبود سرمازدگی و بالاتر بودن بارندگی در آن سال)، سال‌آوری و تغییرات هجوم آفات و بیماری‌ها اشاره کرد. میانگین سه‌ساله عملکرد در باغ‌های سیب در سطح کشور برابر ۲۳/۲ تن بر هکتار به دست آمد (شکل‌های ۲ و ۳). از سوی دیگر، میانگین وزنی (بر مبنای سطح زیرکشت باغ‌های سیب) و میانگین هندسی (ریشه هشتم حاصل‌ضرب عملکرد در باغ‌های استان‌ها) عملکرد به ترتیب برابر ۲۳/۲ و ۲۳/۲ تن بر هکتار به دست آمد (شکل ۲).

از عوامل مؤثر بر تغییرات عملکرد سیب (شکل ۳)، علاوه بر عوامل اقلیمی، سال‌آوری و مدیریت آفات و بیماری‌ها، می‌توان به نوع سامانه آبیاری (سطحی و قطره‌ای) و ارقام مختلف سیب (قرمز، زرد، ترکیبی و بومی) اشاره کرد.

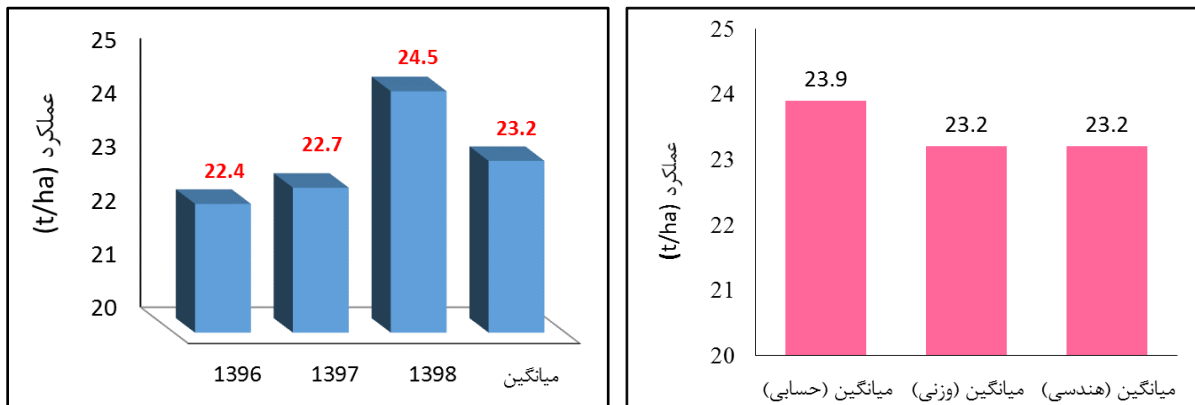
مختلف مشخص شد. اطلاعات تکمیلی در خصوص ویژگی‌های باغ‌های انتخابی به‌صورت زیر بود: الف) در ۱۳ درصد باغ‌های منتخب سیب رقم قرمز، در ۱۴ درصد آن رقم زرد، در ۴۳ درصد آن ارقام ترکیبی (زرد و قرمز) و در ۳۰ درصد بقیه، ارقام بومی یا سایر ارقام تجاری سیب بود. ب) درختان حدود ۲۵ درصد باغ‌ها ۴ تا ۱۰ ساله، ۴۶ درصد ۱۱ تا ۲۰ ساله، ۲۲ درصد ۲۱ تا ۳۰ ساله، و ۷ درصد ۳۱ تا ۵۵ ساله بودند. بنابراین بیشترین درصد فراوانی سن باغ‌های سیب بین ۱۱ و ۲۰ سال بود. ج) شوری آب آبیاری ۵۸ درصد باغ‌ها بین ۰/۲ تا ۰/۵ دسی‌زیمنس بر متر، شوری ۳۶ درصد آنها بین ۰/۵۱ و ۱/۰ دسی‌زیمنس بر متر و شوری ۶ درصد باغ‌ها بین ۱/۱ و ۲/۱ دسی‌زیمنس بر متر بود. د) شوری خاک ۱۲ درصد باغ‌ها بین ۰/۳ و ۰/۵ دسی‌زیمنس بر متر، شوری خاک ۵۰ درصد باغ‌ها بین ۰/۵۱ و ۱/۰ دسی‌زیمنس بر متر، شوری خاک ۲۴ درصد باغ‌ها بین ۱/۱ و ۲/۰ دسی‌زیمنس بر متر و شوری خاک ۱۴ درصد باغ‌ها بین ۲/۱ و ۴/۶ دسی‌زیمنس بر متر بود.

شاخص بهره‌وری آب از نسبت عملکرد سیب (کیلوگرم بر هکتار) به حجم آب آبیاری (مترمکعب بر هکتار) به‌دست آمد. به‌عبارت دیگر شاخص بهره‌وری آب در تولید سیب از رابطه ۱ به‌دست آمد:

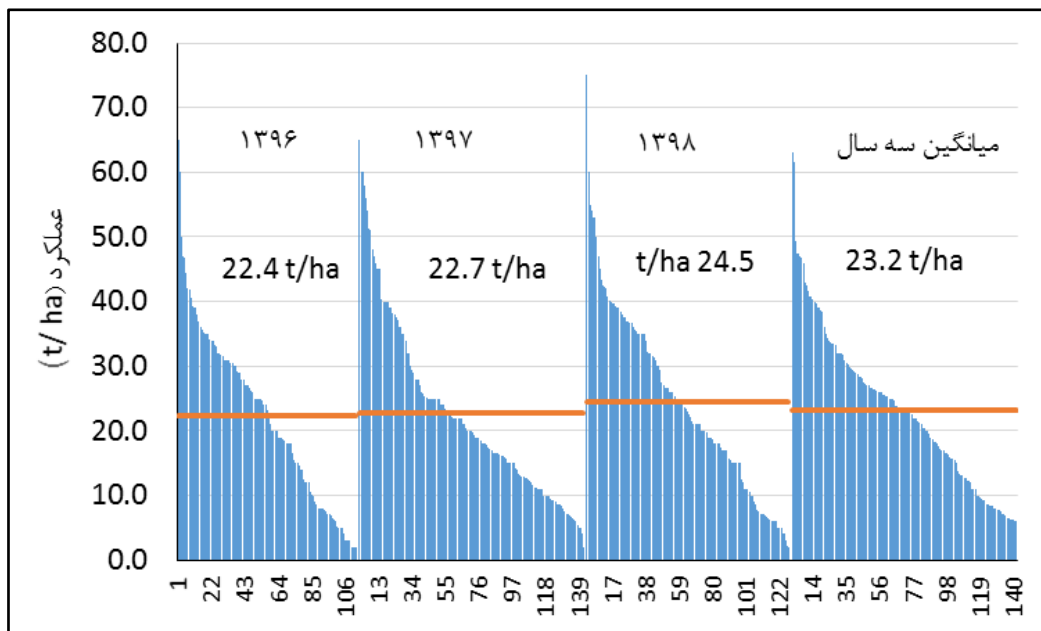
$$WP = \frac{CY}{CW} \quad (1)$$

که در آن،

$WP =$  بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب آب



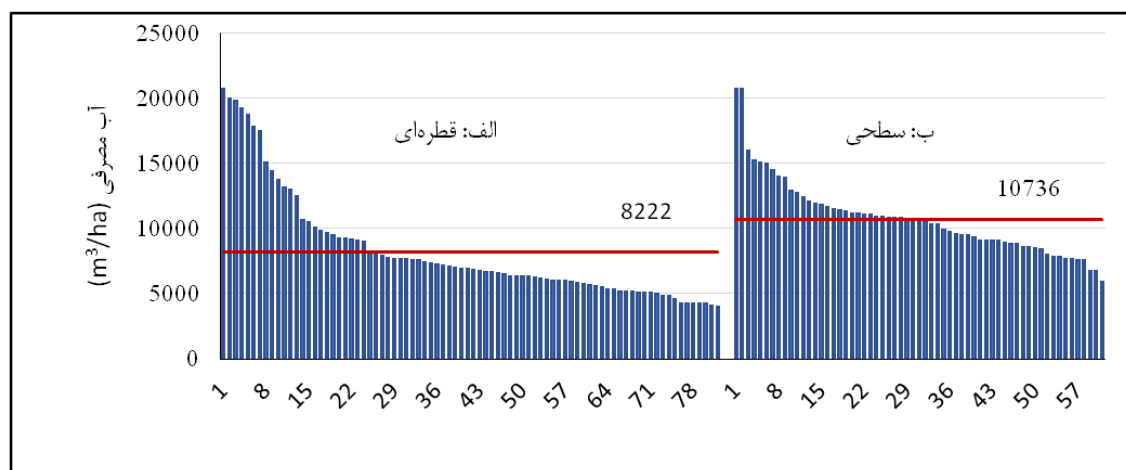
شکل ۲- مقایسه میانگین عملکرد باغ‌های سیب در سه سال متوالی (۱۳۹۵-۹۶، ۱۳۹۶-۹۷ و ۱۳۹۷-۹۸).



شکل ۳- مقایسه عملکرد باغ‌های سیب کشور در سه سال مورد مطالعه (۱۳۹۵-۹۶، ۱۳۹۶-۹۷ و ۱۳۹۷-۹۸)

و ۸۲۲۲ مترمکعب بر هکتار به دست آمد. میانگین (حسابی) کل حجم آب آبیاری با سامانه‌های آبیاری ۹۲۹۴ مترمکعب بر هکتار بود. بنابراین در باغ‌های سیب با استفاده از سامانه قطره‌ای، نسبت به سامانه سطحی، به اندازه ۲۳/۴ درصد آب کمتر مصرف شده است.

در شکل ۴، تغییرات حجم آب آبیاری در باغ‌های سیب در سامانه‌های آبیاری سطحی و قطره‌ای ارائه شده است. از مجموع ۱۴۵ باغ انتخاب شده، ۶۳ باغ تحت سامانه آبیاری سطحی و ۸۲ باغ تحت سامانه آبیاری قطره‌ای بود. میانگین حجم آب آبیاری با سامانه‌های سطحی و قطره‌ای به ترتیب برابر ۱۰۷۳۶



شکل ۴- میانگین حجم آب آبیاری باغ‌های سیب در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای (الف) و سطحی (ب)

(جدول ۲). تحلیل واریانس بهره‌وری آب در باغ‌های سیب تحت سامانه‌های آبیاری سطحی و قطره‌ای نشان می‌دهد تفاوت بسیار معنی‌داری بین کاربرد دو سامانه آبیاری در باغ‌ها وجود دارد (جدول ۱). میانگین بهره‌وری آب سیب در دو سامانه آبیاری سطحی و قطره‌ای به ترتیب برابر ۲/۳۹ و ۴/۱۵ کیلوگرم بر مترمکعب است (جدول ۲). بنابراین باغ‌های تحت سامانه‌های آبیاری قطره‌ای به اندازه ۷۳/۶ درصد بهره‌وری آب بیشتری نسبت به باغ‌های تحت آبیاری سطحی دارند.

لازم است توضیح داده شود عملکرد باغ‌های سیب در دو سامانه آبیاری سطحی و قطره‌ای در آذربایجان شرقی به ترتیب ۲۹/۲ و ۲۷/۱ تن در هکتار و در آذربایجان غربی به ترتیب ۲۲/۱ و ۱۹/۵ تن در هکتار و حجم آب مصرفی در دو سامانه آبیاری سطحی و قطره‌ای در آذربایجان شرقی به ترتیب ۱۰۳۵۷ و ۹۱۶۰ مترمکعب در هکتار و در آذربایجان غربی به ترتیب ۹۵۴۶ و ۵۱۳۴ مترمکعب در هکتار و در نتیجه بهره‌وری آب در دو سامانه آبیاری سطحی و قطره‌ای در آذربایجان شرقی به ترتیب ۲/۸۶ و ۳/۰۱ کیلوگرم بر مترمکعب و در آذربایجان غربی به ترتیب ۲/۳۹ و ۴/۱۵ کیلوگرم بر

تحلیل واریانس بهره‌وری آب در باغ‌های سیب کشور نشان می‌دهد تفاوت بهره‌وری آب در باغ‌های سیب استان‌های مختلف کشور بسیار معنی‌دار است (جدول ۱). در ادامه، تغییرات بهره‌وری آب در باغ‌های هر استان به تفکیک تحلیل می‌شود. دامنه تغییرات بهره‌وری آب در باغ‌های استان آذربایجان شرقی بین ۲/۱۸ و ۳/۷۷ کیلوگرم و میانگین آن برابر ۲/۹۱ کیلوگرم بر مترمکعب است. تحلیل واریانس بهره‌وری آب در باغ‌های سیب تحت سامانه‌های آبیاری سطحی و قطره‌ای نشان می‌دهد تفاوت معنی‌داری بین کاربرد دو سامانه آبیاری وجود ندارد (جدول ۱). میانگین بهره‌وری آب باغ‌های سیب در دو سامانه آبیاری سطحی و قطره‌ای به ترتیب برابر ۲/۸۶ و ۳/۰۱ کیلوگرم بر مترمکعب است. بنابراین باغ‌های تحت سامانه‌های آبیاری قطره‌ای به اندازه ۵/۲ درصد بهره‌وری آب بیشتری نسبت به باغ‌های تحت آبیاری سطحی دارند (جدول ۲).

تغییرات بهره‌وری آب در باغ‌های استان آذربایجان غربی از ۰/۷۷ تا ۶/۱۸ کیلوگرم بر مترمکعب است. میانگین بهره‌وری آب در باغ‌های سیب استان برابر ۳/۰۵ کیلوگرم بر مترمکعب است



مترمکعب است. با توجه به اینکه تفاوت عملکرد و حجم آب مصرفی در دو سامانه آبیاری سطحی و قطره‌ای در آذربایجان شرقی غیر معنی‌دار و در آذربایجان غربی معنی‌دار است، بنابراین بهره‌وری آب در تولید سیب در دو سامانه آبیاری در آذربایجان شرقی غیر معنی‌دار و در آذربایجان غربی معنی‌دار گردید.

هرچند حجم آب مصرفی در آبیاری قطره‌ای در باغ‌های سیب آذربایجان شرقی کمتر از حجم آب مصرفی در آبیاری قطره‌ای در باغ‌های تحت آبیاری سطحی است باین‌همه، در باغ‌های تحت سامانه آبیاری قطره‌ای در آذربایجان شرقی نسبت به باغ‌های تحت سامانه آبیاری قطره‌ای در آذربایجان غربی آب زیادتری مصرف می‌شود. از دلایل احتمالی مصرف زیاد آب می‌توان توزیع غیریکنواخت فشار در لوله‌های آبیاری، آسیب دیدن لترال‌ها و نشت عمقی یا سطحی از اتصالات و ناکافی بودن دانش یا مهارت کاربران سامانه قطره‌ای را ذکر کرد (Piri, 2012).

بهره‌وری آب در باغ‌های سیب استان اردبیل از ۲/۰۲ تا ۵/۸۵ کیلوگرم بر مترمکعب متغیر است. تحلیل واریانس بهره‌وری آب در باغ‌های سیب تحت سامانه‌های آبیاری سطحی و قطره‌ای نشان می‌دهد تفاوت بسیار معنی‌داری بین کاربرد دو سامانه آبیاری در باغ‌ها وجود دارد (جدول ۱). میانگین بهره‌وری آب باغ‌های سیب در دو سامانه آبیاری سطحی و قطره‌ای به ترتیب برابر ۲/۶۴ و ۵/۸۵ کیلوگرم بر مترمکعب است (جدول ۲). بنابراین، استفاده از سامانه‌های آبیاری نوین موجب افزایش بهره‌وری آب به اندازه ۲/۲ برابر بهره‌وری آب از سامانه سطحی شده است. میانگین بهره‌وری آب در باغ‌های سیب

استان برابر ۳/۱۸ کیلوگرم بر مترمکعب است (جدول ۲).

تغییرات بهره‌وری آب در باغ‌های استان اصفهان از ۱/۲۴ تا ۵/۸۳ کیلوگرم بر مترمکعب و میانگین بهره‌وری برابر ۲/۵۹ کیلوگرم بر مترمکعب است (جدول ۲). تحلیل واریانس بهره‌وری آب در باغ‌های سیب تحت سامانه‌های آبیاری سطحی و قطره‌ای نشان می‌دهد تفاوت معنی‌داری بین کاربرد دو سامانه آبیاری در باغ‌ها وجود ندارد (جدول ۱). میانگین بهره‌وری آب در باغ‌های سیب در دو سامانه آبیاری سطحی و قطره‌ای به ترتیب برابر ۲/۲۹ و ۲/۷۱ کیلوگرم بر مترمکعب است (جدول ۲). بنابراین، استفاده از سامانه‌های آبیاری نوین موجب بهبود بهره‌وری آب در باغ‌های سیب به اندازه ۱۸/۳ درصد شده است.

بهره‌وری آب در باغ‌های سیب استان تهران از ۱/۴۹ تا ۴/۷۰ کیلوگرم بر مترمکعب متغیر است. میانگین آب آبیاری سیب در دو سامانه آبیاری سطحی و قطره‌ای به ترتیب برابر ۱/۴۹ و ۳/۲۸ کیلوگرم بر مترمکعب است (جدول ۲). بنابراین، استفاده از سامانه‌های آبیاری نوین موجب بهبود بهره‌وری آب به اندازه ۲/۲ برابر بهره‌وری آب حاصل از سامانه آبیاری سطحی گردیده است. میانگین بهره‌وری آب در باغ‌های سیب استان برابر ۳/۰۵ کیلوگرم بر مترمکعب است (جدول ۲).

تغییرات بهره‌وری آب در باغ‌های استان خراسان رضوی از ۰/۸۱ تا ۶/۴۹ کیلوگرم بر مترمکعب و میانگین آن برابر ۳/۳۶ کیلوگرم بر مترمکعب است (جدول ۲). تحلیل واریانس بهره‌وری آب در باغ‌های سیب تحت سامانه‌های آبیاری سطحی و قطره‌ای نشان می‌دهد به‌رغم وجود تفاوت میانگین شاخص بین دو سامانه آبیاری، تفاوت

بر مترمکعب است. با توجه به تفاوت عملکرد به‌اندازه ۲۰ درصد و تفاوت حجم آب مصرفی به‌اندازه ۹ درصد در دو سامانه آبیاری سطحی و قطره‌ای در این استان، بهره‌وری آب در تولید سیب در دو سامانه آبیاری به‌اندازه ۲۵ درصد است. بنابراین، بیشترین سهم در تفاوت این شاخص به تفاوت عملکرد در دو سامانه مربوط می‌شود.

تحلیل واریانس بهره‌وری آب در باغ‌های کشور نشان می‌دهد تفاوت بهره‌وری آب سیب در استان‌های مختلف معنی‌دار است (جدول ۲). میانگین بهره‌وری آب سیب در استان‌های کشور در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه گردید. بر مبنای میانگین بهره‌وری آب در این باغ‌ها می‌توان استان‌های کشور را به سه خوشه اصلی تقسیم کرد. در خوشه اول بهره‌وری آب سیب، استان فارس (۱/۱۲ کیلوگرم بر مترمکعب)، در خوشه دوم بهره‌وری آب سیب، باغ‌های استان اصفهان (۲/۵۹ کیلوگرم بر مترمکعب) و آذربایجان شرقی (۲/۹۱ کیلوگرم بر مترمکعب) و در خوشه سوم بهره‌وری آب، باغ‌های استان‌های آذربایجان غربی (۳/۰۵ کیلوگرم بر مترمکعب)، تهران (۳/۰۵ کیلوگرم بر مترمکعب)، اردبیل (۳/۱۸ کیلوگرم بر مترمکعب)، خراسان رضوی (۳/۳۶ کیلوگرم بر مترمکعب) و سمنان (۳/۴۶ کیلوگرم بر مترمکعب) قرار دارد. بنابراین حداقل و حداکثر بهره‌وری آب سیب از باغ‌های استان‌های فارس و سمنان به دست آمد.

میانگین وزنی (مبتنی بر سطح زیرکشت) این شاخص در کشور برابر ۲/۷۳ کیلوگرم بر مترمکعب محاسبه شده است.

معنی‌داری بین کاربرد دو سامانه آبیاری در باغ‌ها، به دلیل یکسان نبودن تعداد باغ‌های تحت آبیاری سطحی و قطره‌ای، در سطح احتمال بالاتر وجود دارد (جدول ۱). با این‌همه، استفاده از سامانه‌های آبیاری نوین موجب بهبود بهره‌وری آب به‌اندازه ۶۲/۵ درصد شده است. میانگین بهره‌وری آب باغ‌های سیب در دو سامانه آبیاری سطحی و قطره‌ای به ترتیب برابر ۲/۲۷ و ۳/۶۹ کیلوگرم بر مترمکعب است (جدول ۲).

بهره‌وری آب در باغ‌های استان فارس از ۰/۳۴ تا ۲/۳۰ کیلوگرم بر مترمکعب متغیر است. میانگین بهره‌وری آب در باغ‌های سیب استان برابر ۱/۱۲ کیلوگرم بر مترمکعب است (جدول ۲). تحلیل واریانس بهره‌وری آب در باغ‌های سیب تحت سامانه‌های آبیاری سطحی و قطره‌ای نشان می‌دهد تفاوت معنی‌داری بین کاربرد دو سامانه آبیاری در باغ‌ها وجود ندارد (جدول ۲). به‌رغم نداشتن تفاوت معنی‌دار بین بهره‌وری آب دو سامانه، استفاده از سامانه‌های آبیاری سطحی نسبت به سامانه قطره‌ای موجب بهبود بهره‌وری آب به‌اندازه ۲۵ درصد شده است. میانگین بهره‌وری آب باغ‌های سیب تحت دو سامانه آبیاری سطحی و قطره‌ای به ترتیب برابر ۱/۳۰ و ۱/۰۴ کیلوگرم بر مترمکعب است (جدول ۲). لازم است توضیح داده شود که عملکرد باغ‌های سیب در دو سامانه آبیاری سطحی و قطره‌ای در فارس به ترتیب ۱۹/۱ و ۱۵/۹ تن در هکتار و حجم آب مصرفی در دو سامانه آبیاری سطحی و قطره‌ای به ترتیب ۱۸۱۵۵ و ۱۶۵۸۶ مترمکعب در هکتار و در نتیجه بهره‌وری آب در دو سامانه آبیاری سطحی و قطره‌ای در فارس به ترتیب ۱/۳۰ و ۱/۰۴ کیلوگرم

جدول ۱- تحلیل واریانس بهره‌وری آب در باغ‌های سیب در دو سطح استانی و کشوری

| سطح            | منبع تغییرات           | مجموع مربعات | درجه آزادی | میانگین مربعات | نسبت F | مقدار P (درصد) |
|----------------|------------------------|--------------|------------|----------------|--------|----------------|
| سطح کشور       | بین استان‌ها           | ۴۹/۸         | ۷          | ۷/۱            | ۳/۴    | کم‌تر از یک    |
|                | درون استان‌ها          | ۲۵۵/۰        | ۱۲۳        | ۲/۱            |        |                |
|                | کل کشور                | ۳۰۴/۸        | ۱۳۰        |                |        |                |
| آذربایجان شرقی | بین سامانه‌های آبیاری  | ۰/۱۰         | ۱          | ۰/۱۰           | ۰/۴    | ۵۴             |
|                | درون سامانه‌های آبیاری | ۴/۳۵         | ۱۸         | ۰/۲۴           |        |                |
|                | همه سامانه‌ها          | ۴/۴۵         | ۱۹         |                |        |                |
| آذربایجان غربی | بین سامانه‌های آبیاری  | ۲۸/۹۳        | ۱          | ۲۸/۹۳          | ۹/۲    | کم‌تر از یک    |
|                | درون سامانه‌های آبیاری | ۱۱۹/۰۸       | ۳۸         | ۳/۱۳           |        |                |
|                | همه سامانه‌ها          | ۱۴۸/۰۱       | ۳۹         |                |        |                |
| اردبیل         | بین سامانه‌های آبیاری  | ۸/۵۸         | ۱          | ۸/۵۸           | ۴۶/۸   | کم‌تر از یک    |
|                | درون سامانه‌های آبیاری | ۰/۷۳         | ۴          | ۰/۱۸           |        |                |
|                | همه سامانه‌ها          | ۹/۳۱         | ۵          |                |        |                |
| اصفهان         | بین سامانه‌های آبیاری  | ۰/۷۹         | ۱          | ۰/۷۹           | ۰/۴۹   | ۴۹             |
|                | درون سامانه‌های آبیاری | ۳۲/۱۴        | ۲۰         | ۱/۶۱           |        |                |
|                | همه سامانه‌ها          | ۳۲/۹۳        | ۲۱         |                |        |                |
| تهران          | بین سامانه‌های آبیاری  | ۲/۷۹         | ۱          | ۲/۷۹           | ۱/۹۹   | ۲۱             |
|                | درون سامانه‌های آبیاری | ۸/۴۲         | ۶          | ۱/۴۰           |        |                |
|                | همه سامانه‌ها          | ۱۱/۲۱        | ۷          |                |        |                |
| خراسان رضوی    | بین سامانه‌های آبیاری  | ۴/۶۸         | ۱          | ۴/۶۸           | ۲/۳۴   | ۱۵             |
|                | درون سامانه‌های آبیاری | ۲۱/۹۹        | ۱۱         | ۱/۹۹           |        |                |
|                | همه سامانه‌ها          | ۲۶/۶۷        | ۱۲         |                |        |                |
| فارس           | بین سامانه‌های آبیاری  | ۰/۱۹         | ۱          | ۰/۱۹           | ۰/۳۴   | ۵۷             |
|                | درون سامانه‌های آبیاری | ۶/۲۵         | ۱۱         | ۰/۵۷           |        |                |
|                | همه سامانه‌ها          | ۶/۴۴         | ۱۲         |                |        |                |
| سمنان          | بین سامانه‌های آبیاری  | ۱/۶۸         | ۱          | ۱/۶۸           | ۰/۸۲   | ۳۹             |
|                | درون سامانه‌های آبیاری | ۱۴/۳۲        | ۷          | ۲/۴۰           |        |                |
|                | همه سامانه‌ها          | ۱۵/۹۹        | ۸          |                |        |                |

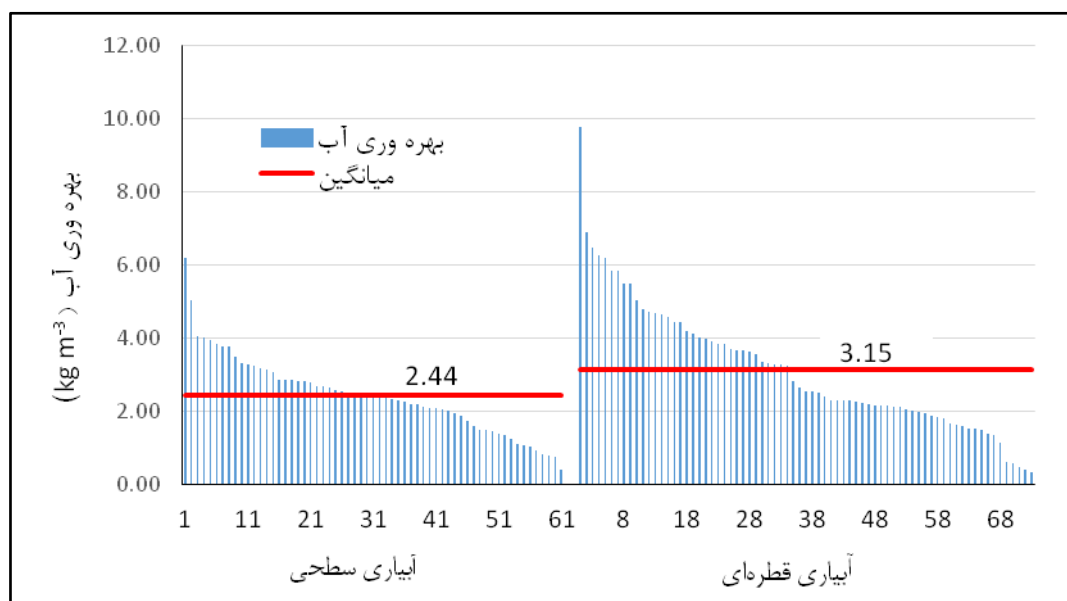
جدول ۲- میانگین بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب) در تولید سیب در باغ‌های تحت آبیاری سطحی و قطره‌ای در استان‌های کشور

| استان          | آبیاری سطحی | آبیاری قطره‌ای |
|----------------|-------------|----------------|
| آذربایجان شرقی | ۲/۸۶        | ۳/۰۱           |
| آذربایجان غربی | ۲/۳۹        | ۴/۱۵           |
| اردبیل         | ۲/۶۴        | ۵/۸۵           |
| اصفهان         | ۲/۲۹        | ۲/۷۱           |
| تهران          | ۱/۴۹        | ۳/۸            |
| خراسان رضوی    | ۲/۲۷        | ۳/۶۹           |
| فارس           | ۱/۳۰        | ۱/۰۴           |
| سمنان          | ۲/۸۵        | ۳/۷۷           |
| سطح کشور       | ۲/۴۴        | ۳/۱۵           |

تعیین بهره‌وری آب با کاربرد سامانه‌های آبیاری سطحی...

آب حاصل از کاربرد سامانه آبیاری سطحی ۲/۴۴ کیلوگرم بر مترمکعب و سامانه قطره‌ای برابر ۳/۱۵ کیلوگرم بر مترمکعب است (جدول ۲). بنابراین استفاده از سامانه آبیاری قطره‌ای موجب بهبود بهره‌وری آب به اندازه ۲۹ درصد شده است.

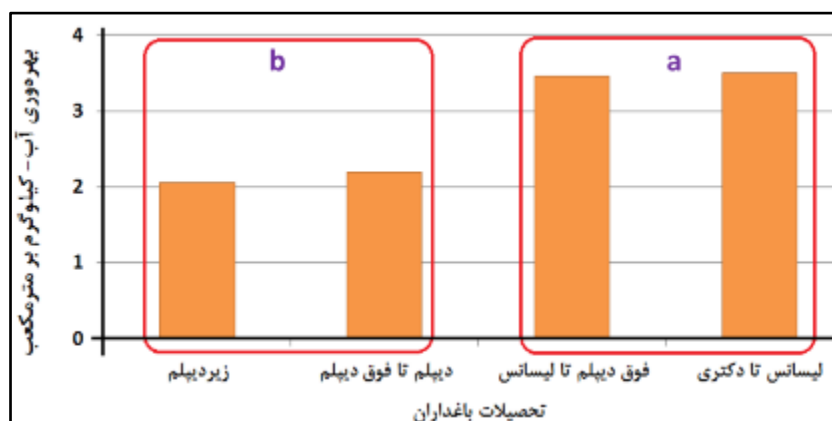
تغییرات بهره‌وری آب سیب با سامانه‌های آبیاری سطحی و قطره‌ای در شکل ۵ نشان داده شده است. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد تأثیر سامانه‌های آبیاری بر بهره‌وری آب سیب در کشور در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار است. میانگین بهره‌وری



شکل ۵- مقایسه بهره‌وری آب در باغ‌های سیب با سامانه‌های آبیاری سطحی و قطره‌ای

یافته است. بهره‌وری آب در تولید سیب از رویکرد تحصیلات باغداران را می‌توان در دو خوشه اصلی قرار داد. خوشه اول شامل بهره‌وری آب در باغ‌ها با مدیریت باغداران دارای تحصیلات پایین‌تر از فوق‌دیپلم با میانگین ۲/۰۶ کیلوگرم بر مترمکعب و خوشه دوم شامل بهره‌وری آب در باغ‌ها با مدیریت باغداران دارای تحصیلات فوق‌دیپلم تا دکتری با میانگین ۳/۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب است (شکل ۶).

علاوه بر عوامل مؤثر بر عملکرد محصول و آب مصرفی در تولید سیب، یکی از مهم‌ترین این عوامل در تفاوت بهره‌وری آب در تولید این محصول، هم در سطح استان‌ها و هم در استفاده از سامانه‌های آبیاری، میزان تحصیلات باغداران است. در شکل ۶ تأثیر تحصیلات باغداران بر بهره‌وری آب سیب نشان داده شده است. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد با افزایش تحصیلات باغداران، بهره‌وری آب افزایش



شکل ۶- تأثیر تحصیلات باغداران بر بهره‌وری آب سیب در کشور

آمد.

### نتیجه‌گیری

استفاده از سامانه‌های آبیاری دارای بهره‌وری زیاد و با مدیریت مناسب، استفاده از سایر راهکارهای مناسب ارتقای بهره‌وری می‌تواند منجر به استفاده بهینه از منابع آب، بهبود عملکرد محصول و ارتقای بهره‌وری آب در تولید محصول گردد. تعیین بهره‌وری آب در تولید سایر محصولات باغی و زراعی و استفاده بهینه از داده‌های جمع‌آوری شده با روش فراتحلیل را می‌توان به‌عنوان پیشنهادی پژوهشی مطرح کرد.

نتایج حاصل از اجرای پژوهش در باغ‌های سیب استان‌های منتخب در سطح کشور نشان می‌دهد میانگین حجم آب آبیاری و عملکرد محصول در باغ‌های سیب در کشور به ترتیب برابر ۹۸۱۴ مترمکعب بر هکتار و ۲۳/۲ تن بر هکتار است. میانگین شاخص بهره‌وری آب در باغ‌های سیب کشور برابر ۲/۷۳ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمد. حداقل و حداکثر شاخص بهره‌وری آب در تولید سیب از باغ‌های استان‌های فارس و سمنان به دست

### مراجع

- Ahmadi, K., Ebadzadeh, H.R., Hatami, F., Hosseinpour, R. & Abdshah, H. (2019). *Agricultural Statistics of the Crop in Year 2018-2019. Volume I: Crop Products*. Ministry of Jihad e Agriculture, Deputy of Planning and Economy, Information and Communication Technology Center. 166 p.
- Alizadeh, A. (1997). *Principles and operations of drip irrigation*. Imam Reza University Publications. p450.
- Ayers, R. S. & Westcot, D. W. (1985). *Water Quality for Agriculture* (Vol. 29). Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

- Du, S., Kang, S., Li, F., & Du, T. (2017). Water use efficiency is improved by alternate partial root-zone irrigation of apple in arid northwest China. *Agricultural Water Management*, 179, 184-192.
- El Jaouhari, N., Abouabdillah, A., Bouabid, R., Bouriou, M., Aleya, L., & Chau, M. (2018). Assessment of sustainable deficit irrigation in a Moroccan apple orchard as a climate change adaptation strategy. *Science of the total environment*, 642, 574-581.
- Gholizadeh, H., Ebadzadeh, H. Ahmadi, K. Hatami, F. Hosseinpour, R., Abdshah, H., Rezaie, M.M. & Fazli Stabragh, M. (2016). *Agricultural Statistics*. Ministry of Jahad e Agriculture, Deputy of Planning and Economy, Information and Communication Technology Center. 167 p.
- Joleini, M. (2005). Application of drip irrigation in apple orchards. *Proceedings of the First National Festival on the Extension of Pressurized Irrigation Systems*. Mashhad.
- Khalili, A. (2004). Development of a New Climate Zoning System from the Perspective of Environmental Thermal Needs for Iran, *Journal of Geographical Research*, 75: 5-14
- Leib, B. G., Casperi, H. W., Redulla, C. A., Andrews, P. K. & Jabro, J.D. (2006). Partial root zone drying and deficit irrigation of Fuji apples in a semi-arid climate. *Irrigation Science*, 24, 85-99.
- Mills, T.M. & Behboudian, M.H. (1996). Preharvest and storage quality of Braeburn apple fruit grown under water deficit conditions. *New Zealand Journal of crop and horticultural science*, 24: 159-166.
- Nasseri, A., Abbasi F., Sohrab, F., Abbasi, N. & Akbari, M. (2017a). Estimation of water consumption in agricultural sector. *Final report of research*. Institute of Agricultural Engineering Research Institute (AERI). 199 p
- Nasseri, A., Abbasi, F. & Akbari, M. (2017b). Estimating Agricultural water consumption by analyzing water balance. *Irrigation and Drainage Structures Engineering Research*, 18(68), 17-32.
- Parodi, M. & Chávarri, C. (2004). Effect of different irrigation levels on the postharvest quality and cold storage of apple cv. Delicious de Viscas. In *Proceedings of the Interamerican Society for Tropical Horticulture* (Vol. 47, pp. 181-183). Interamerican Society for Tropical Horticulture.
- Piri, H. (2012). Technical evaluation of drip irrigation system-case study: Sarbaz region. *Water Engineering*. 5(12), 19-36.
- Sarmad, Z., Bazargan, A. & Hejazi, A. (2018). *Research Methods in Behavioral Sciences*, Aghah Publishing, Tehran. 170 p

- Yazdani, H. (1993). Comparison of drip and surface irrigation methods on apple trees. *Research Report of Soil and Water Research Department*. Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, No. 72.
- Zhong, Y., Fei, L., Li, Y., Zeng, J., & Dai, Z. (2019). Response of fruit yield, fruit quality, and water use efficiency to water deficits for apple trees under surge-root irrigation in the Loess Plateau of China. *Agricultural Water Management*, 222, 221-230.

## **Determination of Apple Water Productivity with Surface and Drip Irrigation Systems in Iran**

**A. Nasseri\*, F. Abbasi, A. Nourjou, J. Ahmad Ali, MA. Shahrokhnia, A. R. Mamanpoush, M. Keramati Toroghi, S. Sepehri Sadeghian, K. Akhavan, S. H. Mousavifazl, N. Abbasi, M. Akbari, J. Baghani, M. M. Nakhjavanimoghaddam, R. Nikanfar, A. Zolfegharan**

\* Corresponding Author: Associated professor, Agricultural Engineering Research Department, East Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Tabriz, Iran. Email: nasseri\_ab@yahoo.com.  
Received: 17 April 2021, Accepted: 12 July 2021

### **Extended Abstract**

#### **Introduction**

Providing food security in scarcity conditions of water resources requires the optimal management of irrigation water. Estimation or determination of indices of water consumption management, such as water productivity in agricultural productions is one of the most important keys in macro-planning for the supply, allocation and consumption of water in different sections such as agricultural section. Therefore, conducting research at the national level that can lead to the real water productivity in the horticultural production in Iran, is essential and important. According to the production (3.4 million tons), a significant amount of surface and groundwater resources are consumed for apple production. This research was conducted with the aim of determining the amount of consumed water in apple orchards in selected provinces under the management of gardeners at the national level. Findings of this study could assist to the decision on management of water and agriculture.

#### **Methodology**

The selected provinces were East Azarbaijan, West Azarbaijan, Ardabil, Isfahan, Tehran, Khorasan Razavi, Fars and Semnan. The water productivity in 145 sites was estimated, in addition to direct measurement of water consumption and crop yield. The factors such as irrigation systems, apple cultivars, gardeners' education, soil texture; and salinity of soil and irrigation water were also measured or recorded in apple orchards. The ANOVA was used to investigate the possible difference between the volume of consumed water, yield, and water productivity in apple production.

#### **Result and Discussion**

The results showed that the difference between the volume of water consumption, crop yield and water productivity was very significant in the orchards from provinces. The volume of consumed water and crop yield in apple orchards over the country averaged 9814 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> and 23.2 t ha<sup>-1</sup>, respectively. The water index was 2.73 kg m<sup>-3</sup> in apple orchards over the country. The lowest and highest water productivity were obtained from the orchards of Fars and Semnan provinces.



## **Conclusions**

Some strategies have been proposed to optimize the consumption of water resources; and to improve apple yield and water productivity in the country's level. The results of the research in apple orchards of selected provinces in Iran revealed that average of water consumption in apple orchards were  $9814 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  with the water productivity of  $2.73 \text{ kg m}^{-3}$ . Application of high-efficiency and well-managed irrigation systems, and other appropriate improving methods of water productivity can lead to optimal use of water resources, improve yield and enhance water productivity in production.

**Keywords:** Irrigated orchards, Water productivity, Apple orchards, Water use efficiency.

نوع مقاله: علمی - پژوهشی

## اولویت‌بندی احداث سازه‌های آبیاری با روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره و ساختار شکست PMBok در شرایط عدم اطمینان

محمدرضا شهرکی<sup>۱\*</sup> و مصطفی درخشیده<sup>۲</sup>

۱ و ۲- به ترتیب: استادیار و دانشجو کارشناسی ارشد گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران  
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۵/۲۳

### چکیده

سرمایه‌های عظیمی در توسعه منابع آب برای احداث سیستم‌های ذخیره و انتقال آب شبکه‌های آبیاری کشاورزی به کار گرفته می‌شود. از آنجاییکه هر پروژه بر حسب منطقه و مکان جغرافیایی منحصر بفرد می‌باشد. در هنگام اجرای پروژه ریسک‌های بالقوه شناسایی نشده‌ای بوجود می‌آیند، به طور قطع نمی‌توان یک برآورد مالی نسبتاً دقیقی را محاسبه نمود. همچنین وجود این ریسک‌ها باعث هدر رفت در سرمایه‌گذاری می‌شود. از اقدامات موثری که برای کم کردن این استهلاک می‌توان انجام داد، مدیریت ریسک است. مدیریت ریسک در استاندارد PMBOK دربرگیرنده شناسایی ریسک‌ها براساس نظرات کارشناسی و رتبه‌بندی ریسک بر مبنای دو معیار احتمال وقوع و شدت تأثیر است. آبیاری کشاورزی دشت سیستان که از سازه‌های مختلفی جهت ذخیره آب و آبیاری مزارع استفاده می‌نماید جهت مطالعه موردی در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته شده است. در این تحقیق از روش دلفی، برای شناسایی ریسک‌ها و از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی به رتبه‌بندی آن‌ها پرداخته شده است که ریسک‌های شرایط جوی و عدم تعهد در انجام کار دقیق اجرای سازه‌های آبیاری با کیفیت تعریف شده، بالاترین امتیاز را به خود تخصیص داده‌اند. در ادامه برای اولویت‌بندی چندین پروژه در منطقه سیستان با در نظر گرفتن ریسک‌های شناسایی شده، از روش ویکور استفاده شده که نتایج نشان می‌دهد احداث سازه‌های آبیاری تحت فشار رتبه اول، احداث ایستگاه پمپاژ و لوله کشی خط انتقال رتبه دوم، اجرای سازه‌های آبیاری گلخانه‌ای رتبه سوم و سازه‌های آبیاری کانال بتنی رتبه چهارم را جهت اجرا با کمترین هزینه ریسک در این منطقه را به خود اختصاص دادند.

### واژه‌های کلیدی

اعداد راف، روش ویکور، روش AHP، فرآیند دلفی، مدیریت ریسک

### مقدمه

مجموعه این پروژه‌ها از عوامل زیادی تأثیر می‌پذیرند. مدیریت این پروژه‌ها دشوار و پیچیده بوده و نیاز به هماهنگی‌های متعددی دارد (Fouladgar et al., 2016). همچنین محدودیت

بازده سرمایه‌گذاری در ساخت و بهره‌برداری از سازه‌های آبیاری در دراز مدت حاصل می‌شود. این دسته از پروژه‌ها شامل دینفعان متعددی است و

می‌دهد (Shahraki & Jamali Moghadam, 2016). تئوری مجموعه اعداد راف به عنوان یک ابزار محاسباتی جدید برای برخورد با شرایط مبهم و عدم قطعیت شناخته می‌شود که می‌تواند برای تحلیل اطلاعات غیردقیق و ناکامل به کار گرفته شود (Zhai et al., 2012). برای رتبه‌بندی و اولویت‌بندی پروژه‌ها از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره استفاده می‌شود. تصمیم‌گیری چند معیاره ابزار کاربردی برای تعیین بهترین جواب از میان چندین گزینه با چندین معیار است (Ataiee, 2010). روش ویکور یکی از مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره است که می‌تواند رتبه‌بندی و اولویت‌بندی پروژه را با معیارهای متفاوت مشخص کند. مزیت مدل ویکور در این است که الزاماً در این مدل جهت ارزیابی گزینه‌ها براساس معیارها، نیازی به استفاده از نظرات کارشناسان نیست بلکه می‌توان از داده‌های خام استفاده نمود و هر گزینه به صورت مستقل براساس هر معیار ارزیابی می‌شود (Rezaei & Ghaybdoost, 2016). محققان مختلفی با ابزارها و روش‌های متنوعی با توجه به تنوع سازه‌ها و ریسک‌ها به ارزیابی و اولویت‌بندی ریسک‌ها پرداخته‌اند. جعفرنژاد و یوسفی زنوز (Jafarnejad & Yousefi, 2008) در پژوهش خود به ارائه مدل فازی جهت شناسایی و رتبه‌بندی دقیق ریسک‌های حاکم بر یک پروژه پرداختند و امکان برنامه‌ریزی و طراحی یک برنامه مناسب جهت پاسخگویی و مدیریت ریسک در پروژه را برای اجرای موفق را فراهم نمودند. امیدوار و نیرومند (Omidvar & Nirumand, 2017) در تحقیق خود به ارزیابی ریسک با استفاده از روش FMEA مبتنی بر اصول تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM)، منطق فازی و تئوری خاکستری پرداختند. آن‌ها مشکل یکسان بودن وزن‌های مربوط به ریسک فاکتورها، عدم قطعیت موجود در داده‌ها (نظرات متخصصین) و

منابع آب، ضرورت افزایش سرمایه‌گذاری در بخش‌های آبیاری و زهکشی را دو چندان می‌کند (Piri & Ansari, 2008). از مهمترین مسائل شرکت‌ها انتخاب پروژه‌های با کمترین ریسک و هدر رفت هزینه می‌باشد و ساخت سازه‌های ذخیره و آبیاری، هم در مرحله اجرا و هم بهره‌برداری دارای پارامترهای غیر قطعی می‌باشند (Zahraei et al., 2016). عدم قطعیت‌ها در این پروژه‌ها باعث ایجاد ریسک و بروز مشکلاتی در اجرای پروژه، برآورد هزینه، کیفیت و بهره‌وری پروژه و همچنین به تعویق افتادن آن می‌گردد لذا شناسایی عدم قطعیت‌ها و تجزیه و تحلیل ریسک‌ها نقش بسزایی در رسیدن پروژه به اهدافش دارد (Kolahan et al., 2014).

مدیریت و کنترل ریسک‌ها براساس استاندارد PMBOK و نمودار احتمال-اثر<sup>۱</sup> یکی از مهم‌ترین روش‌ها برای مقابله با ریسک است که می‌توان انجام داد (Sabzehpour, 2012). شدت و دامنه تاثیر ریسک‌های مختلف در مراحل مختلف ایجاد و بهره‌برداری از سازه‌های آبیاری بر اولویت‌بندی آن‌ها تاثیر زیادی داشته و از اهمیت برخوردار است (Shahraki & Jamali Moghadam, 2016). برای غربالگری و شناسایی ریسک‌ها می‌توان از فرآیند دلفی کمک گرفت. روش دلفی برای مواردی که قضاوت و نظرات خبرگان دارای اهمیت می‌باشند، مورد استفاده قرار می‌گیرد این روش دارای ساختار پیش‌بینی و کمک به تصمیم‌گیری در طی چندین مرحله می‌باشد که در نهایت منجر به جمع‌آوری و تجمیع اطلاعات می‌گردد (Kazazi & Faizi Rad, 2014). برخی از نظرات و قضاوت‌های خبرگان تصمیم‌گیرندگان به صورت مجموعه‌ای از داده‌های کیفی، غیرقطعی و گاهی ناکامل می‌باشد (Amiri, 2010). بنابراین برای آنکه بتوان عدم قطعیت و ابهام داده‌های کیفی را در تصمیم‌گیری‌ها در نظر گرفت، تئوری مجموعه اعداد راف رویکرد مناسبی را ارائه

براساس حوزه‌های مدیریت ریسک و تصمیم‌گیری ادغامی با روش‌های تحلیل سلسله‌مراتبی و ویکور صورت نگرفته است.

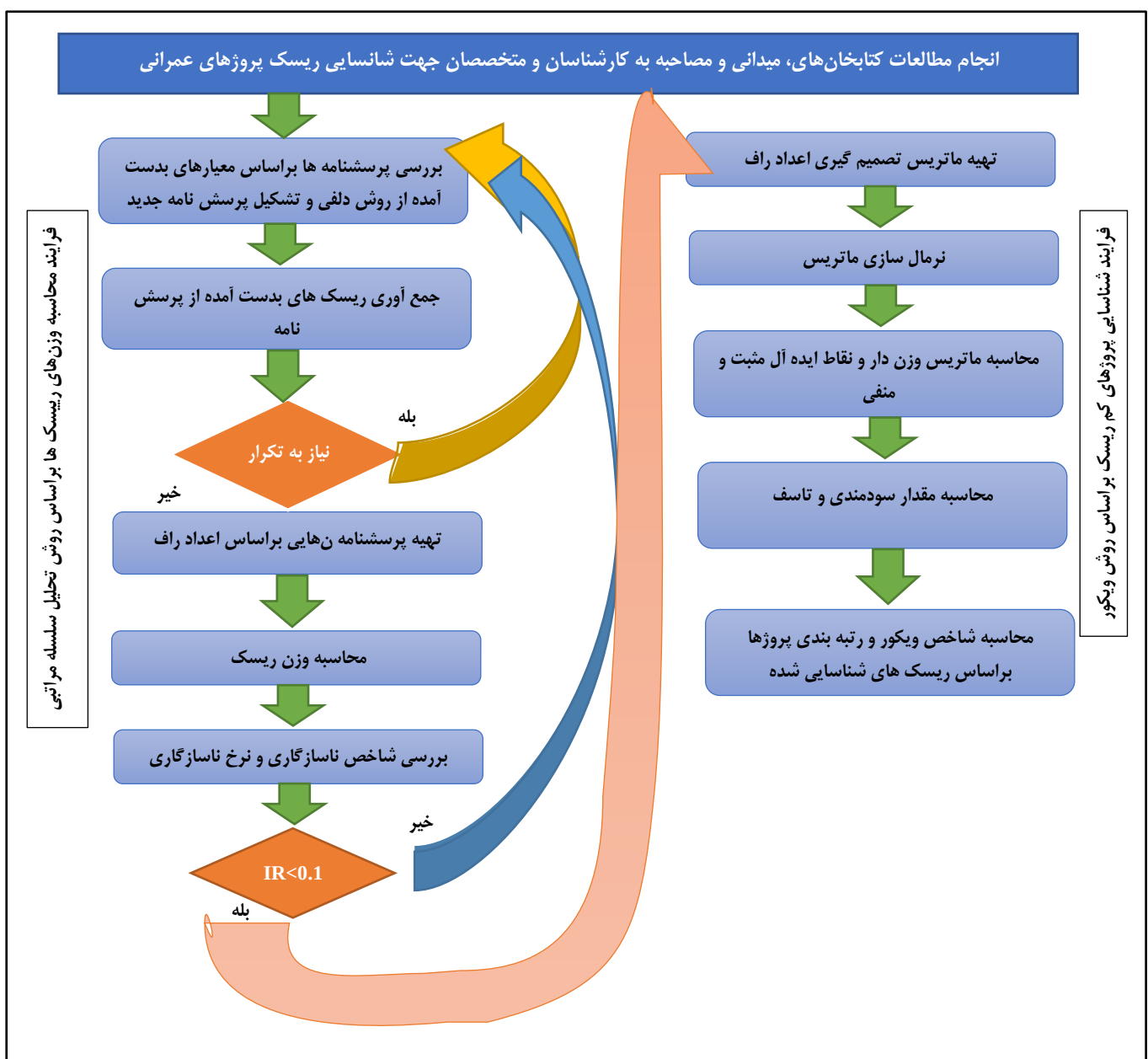
### مواد و روش‌ها

مدیریت ریسک پروژه شامل فرآیند برنامه‌ریزی مدیریت ریسک، شناسای ریسک، تحلیل، برنامه‌ریزی پاسخ به ریسک‌ها، نظارت و کنترل کل پروژه است. اهداف مدیریت ریسک پروژه شامل افزایش احتمال و تاثیر وقایع مثبت و کاهش احتمال و تاثیر وقایع منفی در پروژه است. مدیریت ریسک دارای فرایندی سیستماتیک و رو به جلو است. این فرایند دارای الگوریتمی یک مرحله‌ای نیست، بلکه چرخه فرآیند به تعداد طی می‌شود و در هر چرخه بهبود حاصل می‌شود و برنامه مدیریت ریسک بهنگام می‌شود. مدیریت ریسک با هدف بیشینه نمودن احتمال وقوع نتایج مثبت و کمینه نمودن احتمال وقوع نتایج منفی که اثر نامطلوب بر اهداف پروژه می‌گذارد، انجام می‌شود. فرایند مدیریت ریسک در طول پروژه بارها تکرار می‌شود و یک فرایند دوره‌ای است که نتایج هر دوره مکمل اطلاعات گذشته و راهنمای دوره بعدی است (Sabzehpour, 2012). دشت سیستان طی چندین سال متوالی به سبب کمبود بارش باران و البته عدم رهاسازی آب از طرف کشور همسایه افغانستان، باعث خشک شدن دریاچه‌ها و شده است که تغییرات عمده‌ای در اقلیم کشاورزی و مهاجرت انسانی رخ داده است. با توجه به این رویکرد نیاز بهینه سازی آب مصرفی در این دشت به شدت احساس می‌گردد (Ahrariroudi, 2018). ریسک‌های موثر در پروژه‌های آبیاری، شامل ریسک‌های محیطی، رفتاری، کارایی سازمانی، مالی و انسانی می‌باشد. ریسک‌های محیطی عبارتند از کاهش شدت و تکرار حادثه، به حداقل رساندن خسارت به اکوسیستم‌ها، تأمین شرایط ایمن برای

اولویت‌بندی حالت‌های شکست را حذف نموداند. مجتبی شفیع و همکاران (Shafiee Nikabadi et al., 2016) پژوهش خود به توسعه مدلی برای ارزیابی و رتبه‌بندی پروژه‌های عمرانی با توجه به احتمال وقوع ریسک و تاثیر آن در عملکرد پرداختند. الفت و همکاران (Ulfat et al., 2016) به شناسایی و اولویت‌بندی ریسک پروژه بر مبنای استاندارد PMBOK با رویکرد فازی پرداختند. آن‌ها مهمترین ریسک‌های پروژه‌های ساخت تقاطع غیر همسطح را وقوع حوادث غیر مترقبه، عدم دقت در قالب‌بندی و احتمال انحراف قالب از موقعیت تعیین شده عنوان نمودند. شهرکی و جمالی مقدم (Shahraki & Jamali Moghadam, 2016) در پژوهش خود توسعه مدلی برای ارزیابی ریسک پروژه‌های ساخت مبتنی بر تئوری مجموعه اعداد راف را ارائه نمودند که شایستگی تئوری اعداد راف در رویارویی با ابهام و توانایی روش ویکور گروهی در مدل‌سازی و ارزیابی ریسک را با هم ترکیب می‌کند. اردستانی و همکاران (Ardestani et al., 2013) در تحقیق خود به مدیریت بهینه آب کشاورزی از طریق ارزیابی یک سری مشخصه‌های پایداری و فراهم آوردن امکان مشارکت ذینفعان در فرآیند ارزیابی پروژه‌ها با روش مشارکتی پرداختند. طهماسبی و همکاران (Tahmasbi et al., 2017) به ارزیابی و شناسایی ریسک‌های پروژه سد شفاورد با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره فازی ادغامی از سه روش تصمیم‌گیری، به رتبه‌بندی ریسک پروژه پرداختند. نخعی و همکاران (Nakhaei et al., 2017) به ارزیابی و تهدیدات احتمالی مربوط به پروژه سدها، مخازن به همراه ایستگاه پمپاژ تصفیه خانه‌ها و کانال‌های بتنی آبرو با استفاده از روش RAMCAP پرداختند. در یک ارزیابی از تحقیقات مشخص شد که یک ساختار جامع از بررسی ریسک‌ها در انتخاب پروژه‌های ذخیره و آبیاری

دیگر از ریسک‌های پروژه در طرح پروژه‌های آبیاری هزینه و نیروی انسانی است که از دلایل بروز ریسک می‌باشد (Alamatian et al., 2018). مدیریت ریسک می‌تواند کمکی در این زمینه باشد. مدل مفهومی شناسایی ریسک‌ها و سنجش آن‌ها و همچنین ارزیابی ریسک‌های سازه‌های آبیاری، جهت رتبه‌بندی آن‌ها در شکل ۱ نمایش داده شده است.

محیط و تهیه و تدوین قوانین و مقررات مرتبط (Darvishi et al., 2015). همچنین ریسک‌های رفتاری در پروژه‌ها شامل از بین رفتن تعهدات کاری بین افراد و نادیده گرفتن جایگاه افراد و ذیربط به دلایل مختلف، ریسک‌های سازمانی در پروژه‌های آبیاری شامل عدم هماهنگی بین سازمان‌های آب منطق‌های با دیگر ارگان‌ها می‌توان ذکر کرد، بخش

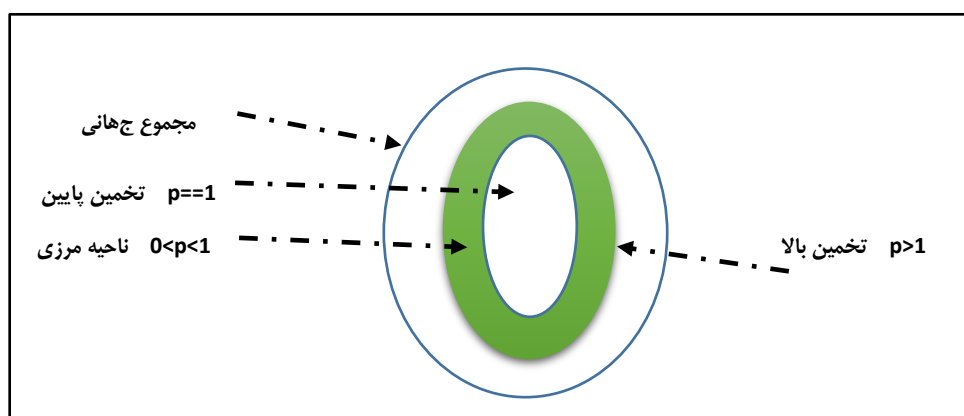


شکل ۱- مراحل پژوهش  
Fig. ۱- Research steps

## تئوری اعداد راف

اطلاعات مبهم و ذهنی بدون هیچ پیش فرضی می‌پردازد. در تئوری مجموعه راف هر مفهوم مبهم می‌تواند به شکل یک جفت از مفاهیم دقیق بر پایه تخمین بالا و تخمین پایین ارائه شود که در شکل ۲ نشان داده شده است (Pawlak, 2012).

برای ارزیابی، رتبه‌بندی و تصمیم‌گیری در مورد ریسک‌ها، پاسخ‌های کیفی پرسش شوندگان را می‌توان به وسیله تئوری مجموعه اعداد راف بصورت کمی نشان داد. تئوری مجموعه اعداد راف به بررسی



شکل ۲- نمایش مفاهیم مربوط به تئوری مجموعه اعداد راف (پاولاک، ۲۰۱۲)

Fig. 2- Demonstration of concepts related to the theory of rough set numbers (Pawlak, 2012)

مجموعه از اعضا دلخواه  $U$  است. تخمین پایین  $C_i$ ، بوسیله  $(\underline{Apr}(C_i))$ ، تخمین بالایی  $C_i$ ، بوسیله  $(\overline{Apr}(C_i))$  و منطقه مرزی،  $(Bnd(C_i))$  به صورت روابط ۱ تا ۳ تعریف می‌شوند.

تخمین پایین  $C_i$

$$\underline{Apr}(C_i) = U\{Y \in U/R(Y) \leq C_i\} \quad (1)$$

تخمین بالا  $C_i$

$$\overline{Apr}(C_i) = U\{Y \in U/R(Y) \geq C_i\} \quad (2)$$

منطقه مرزی  $C_i$

$$Bnd(C_i) = U\{Y \in U/R(Y) \neq C_i\} = \\ \{Y \in U/R(Y) > C_i\} \cup U\{Y \in U/R(Y) < C_i\} \quad (3)$$

مزیت اصلی تئوری راف این است که به اطلاعات اضافی داده‌ها نظیر تابع احتمال و توابع عضویتی که در نظریه فازی نیاز است، نیاز ندارد. تئوری راف با مجموعه‌ها و روابط بین آن‌ها سروکار دارد (Pawlak, 2012). هدف اصلی از تحلیل مجموعه راف بدست آوردن مفاهیم تقریبی از داده‌های اکتسابی می‌باشد. به‌طور کلی دلیل استفاده از این تئوری و ترجیح آن نسبت به تئوری مجموعه‌های فازی در مقابله با عدم اطمینان داده‌ها را به سه دسته می‌توان خلاصه نمود ۱- اجتناب از انتخاب غرض‌ورزانه. ۲- مجموعه‌های فازی به‌تنهایی قادر به مقابله با اطلاعات ناسازگار نمی‌باشند. ۳- نسبت به منطق فازی در فرایند محاسبه از پیچیدگی کمتری برخوردار است (Sodhis et al., 2014). فرض کنید که  $R$  یک مجموعه  $n$  عضوی از نظرات کیفی بوده  $R = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ ، و  $C_1 < C_2 < \dots < C_n$  و  $Y$  یک

حقیقی با کمک رابطه ۱۱ انجام می‌گردد (Song et al., 2016).

$$RD_i = (1 - \lambda)\underline{\lim}(C_i) + \lambda\overline{\lim}(C_i) \quad (11)$$

که در آن،

$\lambda$  = شاخص خوش بینی ( $0 \leq \lambda \leq 1$ ).

اگر تصمیم‌گیرندگان خوش بین باشند، مقدار  $\lambda$  بزرگتر از ۰/۵ انتخاب می‌شود. اگر تصمیم‌گیرندگان بدبین باشند، مقدار  $\lambda$  باید مقداری کوچکتر از ۰/۵ انتخاب شود. اگر تصمیم‌گیرندگان گرایشی میانه داشته باشند، به عبارت دیگر نه خوش بینانه و نه بدبینانه، برای  $\lambda$  مقدار مشخص ۰/۵ انتخاب می‌شود (Song et al., 2016).

### تحلیل کیفی ریسک‌ها براساس روش سلسله مراتبی

در فرایند تحلیل کیفی ریسک، ریسک‌ها از نظر میزان اثرات بالقوه، اولویت‌بندی می‌شوند. از روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) برای رتبه‌بندی استفاده می‌شود. روش AHP در سه سطح به تجزیه و تحلیل تصمیم‌گیری می‌پردازد. اجزا در هر سطح سلسله مراتب، به صورت زوجی با هم مقایسه می‌شوند تا ترجیح نسبی هر یک از آن‌ها در راستای اهداف تعیین گردد. محاسبه وزن در روش AHP، به دو صورت وزن نسبی و وزن نهایی می‌باشد. وزن نسبی از ماتریس مقایسات زوجی به دست می‌آید، در حالی که وزن نهایی، رتبه‌بندی نهایی هر گزینه می‌باشد که از تلفیق وزن‌های نسبی بدست می‌آید. برای اینکار ابتدا عناصر به صورت زوجی مقایسه شده و ماتریس مقایسات زوجی تشکیل می‌گردد. در

بنابراین، عضو  $C_i$  می‌تواند توسط یک عدد راف نمایش داده شود که حد پایین آن  $\underline{\lim}(C_i)$  و حد بالای آن  $\overline{\lim}(C_i)$  به صورت روابط ۴ و ۵ تعریف شده است (Song et al., 2016).

$$\underline{\lim}(C_i) = \frac{1}{N_L} \sum R(Y) | Y \in \underline{\text{Apr}}(C_i) \quad (4)$$

$$\overline{\lim}(C_i) = \frac{1}{N_U} \sum R(Y) | Y \in \overline{\text{Apr}}(C_i) \quad (5)$$

$N_L$  و  $N_U$  به ترتیب تعداد اعضای که در تخمین بالا و تخمین پایین  $C_i$  قرار گرفته‌اند را نشان می‌دهند. قضاوت انسانی در شکل عدد راف و فاصله منطقه مرزی توسط معادلات ۶ و ۷ بیان شده است:

عدد راف

$$RN(C_i) = [\overline{\lim}(C_i) \cdot \underline{\lim}(C_i)] \quad (6)$$

فاصله منطقه مرزی

$$IBR(C_i) = \overline{\lim}(C_i) - \underline{\lim}(C_i) \quad (7)$$

عملیات ریاضی در مجموعه اعداد راف توسط روابط ۸ تا ۱۰ بیان شده است:

$$RN_1 + RN_2 = \quad (8)$$

$$(L_1, U_1) + (L_2, U_2) = (L_1 + L_2, U_1 + U_2)$$

$$RN_1 \times K = \quad (9)$$

$$(L_1, U_1) \times K = (KL_1, KU_1)$$

$$RN_1 \times RN_2 = (L_1, U_1) \times (L_2, U_2) = (L_1 \times L_2, U_1 \times U_2) \quad (10)$$

که در آن،

$RN_1 = (L_1, U_1)$  و  $RN_2 = (L_2, U_2)$  دو عدد راف هستند و  $K$  عدد ثابت است که  $K \neq 0$ .

عملیات راف زدایی<sup>۱</sup> اعداد راف و تبدیل آن‌ها به عدد

ماتریس مقایسات زوجی، مقیاس ۱ تا ۹ را که در جدول ۱ مشخص شده است، به کار می‌رود تا اهمیت نسبی هر عنصر نسبت به عناصر دیگر، در رابطه با آن معیار تعیین گردد (Qudosipour, 2016).

ماتریس مقایسات زوجی ( $y_{ij}$ ) ترجیح عنصر  $i$ ام نسبت به عنصر  $j$ ام را بیان می‌کند. برای انجام گام‌های AHP پس از مشخص شدن گزینه‌ها و معیارها، برای هر معیار، بین گزینه‌ها مقایسات زوجی انجام می‌شود. برای محاسبات

جدول ۱- درجه بندی مقایسات زوجی (قدسی پور، ۱۳۹۲)

Table 1- Grading of pairwise comparisons (Ghodsipour, 2013)

| درجه       | تعریف                 | شرح                                                 |
|------------|-----------------------|-----------------------------------------------------|
| ۱          | اهمیت یکسان           | دو عنصر اهمیت یکسان داشته باشند                     |
| ۳          | نسبتاً برتر           | یک عنصر نسبت به عنصر دیگر نسبتاً برتر باشد          |
| ۵          | برتری زیاد            | یک عنصر نسبت به عنصر دیگر زیاد برتر باشد            |
| ۷          | برتری خیلی زیاد       | یک عنصر نسبت به عنصر دیگر بسیار زیاد برتر باشد      |
| ۹          | برتری فوق العاده زیاد | یک عنصر نسبت به عنصر دیگر فوق العاده زیاد برتر باشد |
| ۲، ۴، ۶، ۸ |                       | ارزش بینابین در قضاوت                               |

$$x_{ij} = y_{ij} / \sum_{i=1}^n y_{ij} \quad (14)$$

که  $x_{ij}$  درآیه ماتریس نرمال شده مقایسات زوجی را نشان می‌دهد.

$$K_i = \left( \sum_{j=1}^n \frac{x_{ij}}{N} \right) \quad (15)$$

و  $K_i$  عنصر سطر  $i$ ام ماتریس وزن معیارها و  $N$  تعداد معیارها را بیان می‌کند (Qudosipour, 2016).

در گام بعدی هر درایه از ماتریس مقایسات زوجی را به حاصل جمع ستون آن درایه تقسیم تا ماتریس مقایسات زوجی نرمال‌سازی شود و در ادامه با استفاده از میانگین حسابی می‌توان بردار وزن معیارها ( $K$ ) را محاسبه نمود.

ماتریس تصمیم‌گیری گزینه‌ها ( $Z$ )، یک ماتریس  $m \times n$  می‌باشد که در آن  $m$  تعداد گزینه‌های مورد ارزیابی و  $n$  تعداد معیارها می‌باشد.  $z_{ij}$  درآیه سطر  $i$ ام و ستون  $j$ ام این ماتریس است که معرف درجه

هنگامی که عنصر  $i$  با عنصر  $j$  مقایسه می‌شود، یکی از اعداد بالا به آن اختصاص داده می‌شود و در مقایسه عنصر  $j$  با  $i$  معکوس آن تخصیص داده می‌شود ( $y_{ij} = \frac{1}{y_{ji}}$ ).

ماتریس مقایسات زوجی بصورت رابطه ۱۲ بیان می‌شود.

$$Y = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & y_{13} \\ y_{21} & y_{22} & y_{23} \\ y_{31} & y_{32} & y_{33} \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$Y = [y_{ij}] \quad i, j = 1, 2, 3, \dots, n$$

هنگامی که ماتریس مقایسات زوجی تشکیل گردید (دارای  $n$  سطر و  $n$  ستون) وزن هر گزینه توسط روابط ۱۳ و ۱۴ و ۱۵ محاسبه می‌گردد.

$$\bar{x}_{ij} = \bar{y}_{ij} / \sum_{i=1}^n \bar{y}_{ij} \quad (13)$$



اهمیت گزینه‌ی نام در مقایسه با سایر گزینه‌های مورد بررسی نسبت به معیار نام می‌باشد. برای بدست آوردن درآیه‌های این ماتریس از رابطه ۱۶ استفاده می‌شود.

$$z_{ij} = \left( \sum_{j=1}^m \frac{X_{ij}}{M} \right) \quad (16)$$

که در آن،

$z_{ij}$  = عنصر سطر نام؛ و ستون نام = ماتریس تصمیم گیری و  $M$  = تعداد گزینه‌ها.

برای بدست آوردن جدول نهایی رتبه‌بندی گزینه‌ها از رابطه ۱۷ استفاده می‌شود. دو ماتریس تصمیم‌گیری گزینه‌ها و وزن نهایی معیارها، در یکدیگر ضرب گردیده تا ماتریس نهایی  $m \times 1$  حاصل گردد. که در آن  $m$  تعداد گزینه‌ها می‌باشد (Qudosipour, 2016).

(۱۷) ماتریس وزن نهایی ریسکها  $\times$  ماتریس وزن معیارها =  
ماتریس درجه اهمیت ریسک

### روش دلفی

روش دلفی بدلیل تعاملات چندگانه‌ای که بین متخصصان و کارشناسان برقرار می‌کند، می‌تواند پراکندگی نظرات متخصصان و کارشناسان را کمتر نماید (Alizadeh, 2014). در این روش، پرسشنامه‌ای برای شناسایی ریسک‌ها بین متخصصین و کارشناسان پروژه توزیع می‌شود. سپس پاسخ‌ها جمع‌بندی شده و براساس آن‌ها، پرسشنامه جدیدی طراحی و مجدداً برای متخصصین و کارشناسان پروژه ارسال می‌گردد. دفعات تکرار ارسال پرسشنامه معمولاً بین ۳ تا ۵ بار است. ولی تصمیم در مورد تعداد تکرارها بسته به نوع سوالات آغازین دارند و

همچنین بستگی به این دارد که معیاری اضافه نشود. این روش باعث کاهش خطا شده و به یک توافق گروهی می‌انجامد. پرسش‌نامه‌ها در این تحقیق براساس تحقیق میدانی، کتابخانه‌ای و مصاحبه با مدیران ارشد پروژه‌ها تهیه شده است. برای استفاده از روش دلفی ابتدا محدوده پروژه مشخص و سپس گروهی متشکل از چندین کارشناس از گروه نظارت و پیمانکار و همچنین اساتید و متخصص دانشگاهی برای اجرای روش دلفی برای شناسایی ریسک‌های پروژه، تشکیل می‌گردد برای جمع‌آوری اطلاعات جهت شناسایی ریسک‌های پروژه، ابتدا پرسشنامه اولیه براساس شاخص‌های عوامل طبیعی، عوامل رفتاری و عوامل ساختاری با سوالات باز و دامنه آزاد، برای شناسایی کلی پروژه و محدوده کار تهیه و در بین گروه متخصصین (به جز متخصصین دانشگاهی) توزیع می‌گردد. با توجه به نتایج پرسشنامه‌های اول و دوم، و با توجه به حذف معیارهای غیر مهم در طیف لیکرت ۵ تایی، در صورتیکه میانگین شاخصی زیر ۳ باشد آن شاخص حذف می‌گردد. در ادامه سوالات پرسشنامه سوم براساس استاندارد PMBOK تهیه می‌شود بعد از بررسی نتایج دور سوم، دور چهارم توزیع پرسشنامه نیز اجرا خواهد شد. و با توجه به نتایج اخذ شده در مرحله چهارم، فرآیند دلفی متوقف یا ادامه می‌یابد (Alizadeh, 2014).

### محاسبه ارزیابی ریسک‌های پروژه‌ها با روش ویکور توسعه یافته با اعداد راف

روش ویکور براساس برنامه‌ریزی توافقی در مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره است و مسائل را طوری دسته‌بندی می‌نماید که فرد تصمیم‌گیرنده قادر به شناسایی و بیان برتری یک گزینه از بین گزینه‌ها است (Ataiee, 2010). این روش به منظور

معمولا معیارهای ارزیابی گزینه‌ها دارای ابعاد، اندازه و مقیاس‌های متفاوتی نسبت به هم هستند. به منظور جلوگیری از مشکلات ناشی از متفاوت بودن معیارها، مقادیر ارزیابی گزینه‌ها براساس معیارها با استفاده از روابط ۱۹ و ۲۰ به بی بعد تبدیل می‌شوند. اگر معیاری از نوع سود (مثبت) باشد، مقادیر ماتریس تصمیم بی‌مقیاس مربوط به آن از رابطه ۱۹ بدست می‌آید. همچنین اگر معیاری از نوع زیان (منفی) باشد، مقادیر ماتریس تصمیم بی‌مقیاس مربوط به آن از رابطه ۲۰ محاسبه می‌شود. در نهایت ماتریس تصمیم بی‌مقیاس شده  $\bar{D}$  از رابطه ۲۱ محاسبه می‌گردد.

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{l=1}^m x_{il}^2}} \quad j = 1, 2, 3, \dots, n \quad \text{معیار مثبت} \quad (19)$$

$$\bar{x}_{ij} = \frac{1}{\sqrt{\sum_{l=1}^m \frac{1}{x_{il}^2}}} \quad j = 1, 2, 3, \dots, n \quad \text{معیار منفی} \quad (20)$$

$$\bar{D} = \begin{bmatrix} \bar{x}_{11} & \dots & \bar{x}_{1n} \\ \bar{x}_{21} & \dots & \bar{x}_{2n} \\ \vdots & \dots & \vdots \\ \bar{x}_{m1} & \dots & \bar{x}_{mn} \end{bmatrix} \quad (21)$$

**گام سوم: تشکیل بردار وزن معیارها و محاسبه ماتریس تصمیم نرمال وزن دار و تعیین نقطه ایده آل مثبت و منفی**

در این مرحله با توجه به ضریب اهمیت معیارهای مختلف در تصمیم‌گیری، از روش AHP برای بدست آوردن بردار وزن رابطه ۲۲ استفاده می‌شود.

$$w = \{w_1, w_2, \dots, w_n\} \quad (22)$$

ماتریس نرمال شده وزن دار  $f_{ij}$  طبق رابطه ۲۳ از ضرب بردار وزن ( $w$ ) هر معیار در ستون ماتریس

رتبه‌بندی و یافتن بهترین گزینه از میان گروهی از گزینه‌ها تمرکز داشته و راه‌حل‌های مصالحه آمیز را پیشنهاد می‌کند و قادر به ایجاد جواب‌های سازشی برای یک مسئله با معیارهای مختلف می‌باشد (Zahraei et al., 2016). روش ویکور حداکثر بهره‌وری گروه "اکثریت" و حداقل تأسّف فردی "مخالّف" را فراهم می‌کند و راه حل توافقی به دست آمده می‌تواند به راحتی توسط تصمیم گیرندگان پذیرفته شود (Rezaei & Ghaybdoost, 2016).

مفروضات مسئله شامل  $n$  معیار برای تصمیم گیری و  $m$  گزینه برای انتخاب است. در روش ویکور برای انتخاب گزینه بهتر گام‌های ذیل انجام می‌شود (Shafiee Nikabadi et al., 2016):

### گام اول: تشکیل ماتریس تصمیم

ابتدا ماتریس تصمیم‌گیری طبق رابطه ۱۸ تشکیل می‌گردد. مقادیر درآیه‌های این ماتریس با استفاده از پرسشنامه‌ای که در اختیار کارشناسان قرار گرفته است، تعیین می‌شود. سطرها ( $m$ ) نشان دهنده گزینه‌ها (پروژه‌های در حال بررسی) و ستون‌ها ( $n$ ) نشان دهنده معیارها یا همان ریسک‌های شناسایی شده پروژه‌ها می‌باشد.

$$D = \begin{bmatrix} x_{11} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \dots & \vdots \\ x_{m1} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (18)$$

که در آن،

$x_{ij}$  = عملکرد گزینه  $i$  در رابطه با معیار  $j$ .

### گام دوم: بی‌مقیاس نمودن ماتریس تصمیم (نرمال سازی)

نرمال مربوطه ( $\bar{D}$ ) محاسبه می‌گردد (Shafiee Nikabadi et al., 2016).

V میزان توافق گروه تصمیم‌گیرندگان را نشان می‌دهد که معمولاً ۰/۵ در نظر گرفته می‌شود. همچنین در صورت توافق پایین، مقدار آن کمتر از ۰/۵ در نظر گرفته می‌شود و در صورت توافق بالا، مقدار آن بیشتر از ۰/۵ خواهد بود (Huang et al., 2016).

$$f_{ij} = \begin{bmatrix} \bar{x}_{11} & \dots & \bar{x}_{1n} \\ \bar{x}_{21} & \dots & \bar{x}_{2n} \\ \vdots & \dots & \vdots \\ \bar{x}_{m1} & \dots & \bar{x}_{mn} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_{11} & \dots & f_{1n} \\ f_{21} & \dots & f_{2n} \\ \vdots & \dots & \vdots \\ f_{m1} & \dots & f_{mn} \end{bmatrix} \quad (23)$$

برای تعیین ایده‌آل مثبت و منفی برای هر معیار، بیشترین و کمترین مقدار هر ستون در ماتریس نرمال شده وزن دار  $f_{ij}$  را مشخص نموده و به ترتیب  $f^+$  و  $f^-$  می‌نامیم که توسط روابط ۲۴ و ۲۵ محاسبه می‌گردد.

$$f_j^+ = \max f_{ij} \rightarrow f_{ij} \text{ بهترین} \quad (24)$$

$$f_j^- = \min f_{ij} \rightarrow f_{ij} \text{ بدترین} \quad (25)$$

گام چهارم: محاسبه مقدار سودمندی و مقدار تاسف برای هر گزینه

در این گام فاصله گزینه‌ها از مقادیر ایده‌آل‌های مثبت و منفی، بوسیله دو متغیر S (مطلوبیت یا سود) و R (حداقل یا تاسف) با استفاده از روابط ۲۶ و ۲۷ محاسبه می‌گردد

$$s_i = \sum_{j=1}^n w_j \cdot \frac{f_j^+ - f_{ij}}{f_j^+ - f_j^-} \quad (26)$$

$$R_i = \left\{ w_j \cdot \frac{f_j^+ - f_{ij}}{f_j^+ - f_j^-} \right\} \quad (27)$$

گام پنجم: محاسبه شاخص ویکور (مقدار Q)

مقدار شاخص ویکور برای هر گزینه براساس رابطه ۲۸ محاسبه می‌گردد (Shafiee Nikabadi et al., 2016).

$$Q_i = v \left[ \frac{s_i - s^-}{s^+ - s^-} \right] + (1 - v) \left[ \frac{R_i - R^-}{R^+ - R^-} \right] \quad (28)$$

$$s^- = \min s_i, \quad s^+ = \max s_i, \\ R^- = \min R_i, \quad R^+ = \max R_i$$

### گام ششم: رتبه‌بندی گزینه‌ها

در این مرحله گزینه‌ها براساس مقادیر Q و R، رتبه‌بندی می‌شوند و در سه گروه از کوچک به بزرگ مرتب شده و در نهایت در گروه Q گزینه‌ی بهتر است که دو شرط ذیل را داشته باشند:

شرط ۱ (شرط پذیرش): اگر گزینه‌های  $A_1$  و  $A_2$  اولین و دومین گزینه برتر از نظر رتبه‌بندی براساس کمترین مقدار Q باشد و رابطه ۲۹ برقرار باشد.

$$Q(A_2) - Q(A_1) \geq \frac{1}{m-1} \quad (29)$$

شرط دوم (ثبات در پذیرش): گزینه  $A_1$  حداقل باید در یکی از گروه‌های S و R بهترین گزینه را داشته باشد.

زمانیکه شرط اول برقرار نباشد گزینه‌های  $A_1, A_2, \dots, A_m$  به عنوان گزینه‌های برتر شناخته می‌شوند. بیشترین مقدار m با توجه به رابطه (۳۰) محاسبه می‌گردد.

$$Q(A_m) - Q(A_1) \leq \frac{1}{m-1} \quad (30)$$

و زمانیکه شرط دوم برقرار نباشد دو گزینه  $A_1$  و  $A_2$  انتخاب می‌شوند (Carbone & Tippett, 2016).

## نتایج و بحث

### ۱. روش دلفی

وقوع ریسک، قابلیت کشف ریسک و قابلیت مدیریت ریسک انجام گردید. این چهار معیار با استفاده از روش دلفی طی چهار مرحله گفته شده حاصل شد. براساس نتایج حاصله، پرسش‌نامه دور چهارم روش دلفی کلاسیک، ریسک‌های شناسایی شده سازه‌های ذخیره آب و آبیاری کشاورزی، با استفاده از نظر متخصصان و اجرای روش دلفی، در دو دسته ریسک‌های اصلی و ریسک‌های فرعی به شرح جدول ۲ تقسیم بندی شدند.

گروهی متشکل از پیمانکاران و چندین متخصص از طرف کارفرما درخواست گردید به پرسشنامه‌ای که شامل ۷۰ سوال از ریسک‌های موثر (محیطی، رفتاری، کارایی سازمانی، مالی و انسانی) بوده و براساس روش دلفی طراحی شده است پاسخ دهند. در نهایت رتبه‌بندی ریسک‌ها براساس چهار معیار تاثیر ریسک بر پروژه، احتمال

جدول ۲- ریسک‌های شناسایی شده

Table 2- Identified risks

| ردیف | ریسک‌های اصلی                        | زیر ریسک (ریسک‌های فرعی)                                                                          | حوزه ریسک       |
|------|--------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| ۱    | عدم همکاری مناسب سایر ارگان‌ها (A)   | عدم همکاری سازمان‌ها در رابطه با صدور مجوزات لازم                                                 | مدیریت یکپارچگی |
|      |                                      | عدم وجود نظام هماهنگی اجرای پروژه‌ها                                                              | مدیریت یکپارچگی |
|      |                                      | اخذ تصمیمات منفعلانه از طرف سازمان‌های ذینفع و بروز مشکلات                                        | مدیریت یکپارچگی |
|      |                                      | تاخیر در پاسخ‌گویی به استعلامات از طرف ادارات مختلف مانند جهاد کشاورزی و یا شهرداری و منابع طبیعی | مدیریت ارتباطات |
| ۲    | مشکلات ناشی از اسناد حقوقی پروژه (B) | اجرای همزمان پروژه‌های سایر ارگان‌ها بدون هماهنگی در مسیر                                         | مدیریت ارتباطات |
|      |                                      | عدم مکتوب کردن جزئیات توافق در اسناد حقوقی                                                        | مدیریت یکپارچگی |
|      |                                      | عدم الزام پیمانکار به ارائه گزارش ساختار شکست پروژه و شکست هزینه                                  | مدیریت محدوده   |
|      |                                      | مشکلات حقوقی در اسناد پیمان                                                                       | مدیریت ارتباطات |
|      |                                      | وجود اشکالات حقوقی عدم شفافیت مکتوب در تفاهم نامه مالی                                            | مدیریت هزینه    |
|      |                                      | وجود الحاقیه و اصلاحیه بر قراردادها                                                               | مدیریت کیفیت    |
| ۳    | مشکلات ناشی از برنامه ریزی پروژه (C) | شفاف مکتوب نشدن جرمه‌های حوادث مانند سقوط و یا ریزش کانال                                         | مدیریت ریسک     |
|      |                                      | عدم لحاظ کردن موانع طبیعی و مصنوعی مسیر برنامه زمانبندی                                           | مدیریت محدوده   |
|      |                                      | عدم برنامه ریزی پروژه در الگو برداری از سایر پروژه‌ها                                             | مدیریت محدوده   |
|      |                                      | عدم ارائه برنامه زمانبندی منطبق با واقعیت از طرف پیمانکار                                         | مدیریت زمان     |
|      |                                      | عدم توجه به حفظ زمان بندی در ذینفعان و پیمانکاران                                                 | مدیریت زمان     |
|      |                                      | عدم بررسی کامل مسیر و پاک سازی معارض طبیعی و مصنوعی                                               | مدیریت ریسک     |
| ۴    | فشارهای ناشی از ذینفعان (D)          | عدم تصمیم‌گیری به موقع از طرف پیمانکار                                                            | مدیریت ارتباطات |
|      |                                      | وجود فشارهای نامتعارف از طرف ذینفعان                                                              | مدیریت ارتباطات |
|      |                                      | عدم پذیرش استراتژی‌های جدید مالی از طرف سازمان‌های دولتی                                          | مدیریت هزینه    |
|      |                                      | عدم تعادل مناسب مابین ذیمدخلان اعمال تصمیمات سیاسی در پروژه‌های مهندسی                            | مدیریت ذینفعان  |

ادامه جدول ۲- ریسک‌های شناسایی شده

Table 2- Identified risks

| ریسک‌های اصلی                     | ریسک (ریسک‌های فرعی)                                                                        | حوزه ریسک           | ردیف |
|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|------|
| گردش اطلاعات                      | گردش اطلاعات، اسناد و مدارک نامناسب بوده و توزیع اطلاعات براساس مسئولیت‌ها و وظایف نمی‌باشد | مدیریت ارتباطات     | ۵    |
| نامناسب و وجود                    | وجود ذینفعان و تصمیم گیران متعدد که باعث تاخیر در تصمیم گیری‌های سیاسی پروژه‌ها می‌گردد     | مدیریت ارتباطات     |      |
| بروکراسی اداری در بین ذینفعان (E) | تعدد ذینفعان                                                                                | مدیریت ذینفعان      |      |
| نظارت و کنترل (F)                 | بهره برداری مناسب از ظرفیت فناوری اطلاعات و سیستم‌های کنترلی نرم افزاری صورت نمی‌گیرد       | مدیریت ارتباطات     | ۶    |
|                                   | عدم ارائه گزارش پیشرفت پروژه ۱۰۰٪/ منطبق با واقعیت از طرف پیمانکار                          | مدیریت زمان         |      |
|                                   | عدم وجود کارشناس و متخصص کنترل پروژه در گروه اجرای پیمانکار                                 | مدیریت زمان         |      |
|                                   | عدم وجود کارشناس و متخصص کنترل پروژه در گروه نظارتی کارفرما                                 | مدیریت زمان         |      |
|                                   | عدم وجود نظام مدیریت و کنترل هزینه و حسابداری اسناد مالی توسط پیمانکاران                    | مدیریت هزینه        |      |
|                                   | پیشی گرفتن هزینه‌های واقعی از برنامه ریزی شده و بالا رفتن هزینه‌های بالاسری                 | مدیریت هزینه        |      |
|                                   | عدم وجود نظام استاندارد مکتوب برای کنترل کیفیت پروژه‌های عمرانی                             | مدیریت کیفیت        |      |
| بودجه بندی (G)                    | عدم مستند کردن حوادث رخ داده و ریشه یابی آن‌ها در پروژه‌ها                                  | مدیریت ریسک         | ۷    |
|                                   | حذف ردیف‌های بودجه مصوب                                                                     | مدیریت هزینه        |      |
|                                   | عدم تحقق بودجه تخصیص یافته                                                                  | مدیریت هزینه        |      |
|                                   | عدم جذب به موقع اعتبار تخصیص یافته                                                          | مدیریت هزینه        |      |
| نیروی انسانی (H)                  | عدم تامین نیروی متخصص حرف‌های در پروژه‌ها                                                   | مدیریت منابع انسانی | ۸    |
|                                   | تعداد نیروی پروژه‌ها متناسب با حجم کاری پروژه نمی‌باشد                                      | مدیریت منابع انسانی |      |
| سطح توان پیمانکار (I)             | عدم استقبال پیمانکاران بزرگ از پروژه‌ها                                                     | مدیریت منابع انسانی | ۹    |
|                                   | عدم رعایت اصول فنی طراحی از طرف پیمانکار                                                    | مدیریت کیفیت        |      |
|                                   | عدم تعهد به اجرای پروژه با کیفیت تعریف شده توسط پیمانکار                                    | مدیریت کیفیت        |      |
|                                   | عدم انجام کار دقیق و نشستی آب زیرزمینی در بتن ریزی                                          | مدیریت کیفیت        |      |
|                                   | عدم نصب دقیق پمپ‌ها                                                                         | مدیریت کیفیت        |      |
|                                   | عدم تامین به موقع ماشین‌آلات                                                                | مدیریت تدارکات      |      |
|                                   | عدم تامین به موقع مصالح و مواد مصرفی                                                        | مدیریت تدارکات      |      |
| شرایط جوی (J)                     | توقف‌های متعدد کار بدلیل شرایط بد جوی (مانند طوفان، گرد و خاک، گرمای زیاد، باران و ...)     | مدیریت ریسک         | ۱۰   |

**روش تحلیل سلسله مراتبی**  
در این مرحله، ۱۰ دسته اصلی ریسک‌های یاد شده براساس چهار فاکتور تاثیر ریسک بر پروژه، احتمال وقوع ریسک، قابلیت کشف ریسک، و قابلیت مدیریت ریسک که به صورت اعداد راف (حد بالا، حد پایین) بیان شده است براساس روش تحلیل سلسله مراتبی AHP رتبه‌بندی می‌شوند. جدول ۳، جدول مقایسات زوجی است که براساس معیار تاثیر ریسک بر پروژه، در اختیار چندین متخصص و کارشناس قرار گرفته شده است.

جدول ۳- ماتریس مقایسات زوجی تاثیر ریسک بر پروژه (لحاظ هزینه و زمان)  
Table 3-Matrix of pairwise comparisons of the impact of risk on the project

| تاثیر در پروژه | ریسک A | ریسک B | ریسک C | ریسک D | ریسک E | ریسک F | ریسک G | ریسک H | ریسک I | ریسک J | مجموع  |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| حد بالا        | 1      | 3.21   | 6      | 0.312  | 0.166  | 0.25   | 4      | 0.263  | 4.2    | 0.166  | 19.5   |
| حد پایین       | 1      | 2.5    | 4      | 0.295  | 0.124  | 0.19   | 3      | 0.223  | 3.8    | 0.124  | 15.25  |
| حد بالا        | 0.312  | 1.     | 4.6    | 0.238  | 0.192  | 0.250  | 6.     | 0.192  | 3.000  | 0.142  | 15.92  |
| حد پایین       | 0.4    | 1      | 3.800  | 0.215  | 0.166  | 0.190  | 4      | 0.166  | 2.000  | 0.112  | 12.049 |
| حد بالا        | 0.167  | 0.217  | 1      | 0.172  | 0.142  | 0.250  | 4.6    | 0.217  | 0.217  | 0.138  | 7.120  |
| حد پایین       | 0.25   | 0.263  | 1      | 0.142  | 0.115  | 0.190  | 4.     | 0.174  | 0.174  | 0.090  | 6.398  |
| حد بالا        | 3.205  | 4.202  | 5.814  | 1      | 0.161  | 0.333  | 4.6    | 0.294  | 0.277  | 0.125  | 20.01  |
| حد پایین       | 3.39   | 4.651  | 7.042  | 1      | 0.123  | 0.286  | 3.8    | 0.221  | 0.219  | 0.085  | 20.817 |
| حد بالا        | 6.024  | 5.208  | 7.042  | 6.211  | 1      | 5.800  | 5.6    | 4.600  | 6.000  | 0.250  | 47.736 |
| حد پایین       | 8.065  | 6.024  | 8.696  | 8.13   | 1      | 4.4    | 4.1    | 4      | 4      | 0.19   | 48.604 |
| حد بالا        | 4.000  | 4.000  | 4.000  | 3.003  | 0.172  | 1      | 0.238  | 0.384  | 0.384  | 0.185  | 17.366 |
| حد پایین       | 5.263  | 5.263  | 5.263  | 3.497  | 0.227  | 1      | 0.215  | 0.298  | 0.298  | 0.155  | 21.480 |
| حد بالا        | 0.250  | 0.167  | 0.217  | 0.217  | 0.179  | 4.202  | 1      | 0.178  | 0.192  | 0.151  | 6.753  |
| حد پایین       | 0.333  | 0.250  | 0.250  | 0.263  | 0.244  | 4.651  | 1      | 0.142  | 0.166  | 0.121  | 7.421  |
| حد بالا        | 3.802  | 5.208  | 4.608  | 3.401  | 0.217  | 2.604  | 5.618  | 1      | 2.600  | 0.156  | 29.216 |
| حد پایین       | 4.484  | 6.024  | 5.747  | 4.525  | 0.250  | 3.356  | 7.042  | 1      | 1.600  | 0.125  | 34.153 |
| حد بالا        | 0.238  | 0.333  | 4.608  | 3.610  | 0.167  | 2.604  | 5.208  | 0.385  | 1      | 0.131  | 18.285 |
| حد پایین       | 0.263  | 0.500  | 5.747  | 4.566  | 0.250  | 3.356  | 6.024  | 0.625  | 1      | 0.880  | 23.211 |
| حد بالا        | 6.024  | 7.042  | 7.246  | 8.000  | 4.000  | 5.405  | 6.623  | 6.410  | 7.634  | 1.     | 59.384 |
| حد پایین       | 8.065  | 8.929  | 11.111 | 11.765 | 5.263  | 6.435  | 8.264  | 8.000  | 1.136  | 1      | 69.968 |

نرمال سازی جدول مقایسات زوجی انجام می‌شود.

جدول ۵، جدول نرمال شده ماتریس مقایسات زوجی جدول ۴ است که از روابط ۱۳ و ۱۴ بدست آمده اند.

در گام بعدی وزن نهایی ریسک‌ها محاسبه می‌گردد. جدول ۶ وزن نهایی ریسک‌ها (ماتریس تصمیم‌گیری ریسک‌ها)، را نشان می‌دهد.

در این تحقیق ضریب اهمیت معیارهای بکار رفته در محاسبات براساس نظریات متخصصان و کارشناسان، به صورت یکسان در نظر گرفته شده است. جدول ۷ ضریب اهمیت معیارها را نسبت به

یکدیگر نشان می‌دهد.

برای بدست آوردن وزن نهایی ریسک‌ها از روش AHP، جدول ۶ و ۷ در یکدیگر ضرب شده‌اند. نتایج بدست آمده نشان دهنده درجه اهمیت ریسک‌ها می‌باشد که در جدول ۸ مشاهده می‌گردد.

نتیجه نهایی رتبه‌بندی ریسک‌ها بعد از عملیات راف زدایی با استفاده از رابطه ۱۱ به ترتیب اولویت و همراه با وزن نهایی بدست آمده از روش AHP در جدول ۹ نشان داده شده است.

جدول ۵- جدول نرمالیزه شده مقایسه زوجی معیار تاثیر ریسک بر پروژه

Table 5- Normalized table of pairwise comparisons of risk impact on the project

| تاثیر در پروژه | ریسک A   | ریسک B   | ریسک C   | ریسک D   | ریسک E   | ریسک F   | ریسک G   | ریسک H   | ریسک I   | ریسک J   |
|----------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| جدی بالا       | جدی بالا | جدی بالا | جدی بالا | جدی بالا | جدی بالا | جدی بالا | جدی بالا | جدی بالا | جدی بالا | جدی بالا |
| ریسک A         | 0.051    | 0.164    | 0.307    | 0.016    | 0.008    | 0.013    | 0.204    | 0.013    | 0.215    | 0.0085   |
| ریسک B         | 0.066    | 0.164    | 0.262    | 0.019    | 0.008    | 0.012    | 0.197    | 0.015    | 0.249    | 0.00813  |
| ریسک C         | 0.312    | 1        | 4.6      | 0.238    | 0.192    | 0.25     | 6        | 0.192    | 3        | 0.142    |
| ریسک D         | 0.033    | 0.083    | 0.315    | 0.018    | 0.014    | 0.016    | 0.332    | 0.014    | 0.166    | 0.009    |
| ریسک E         | 0.0234   | 0.0305   | 0.1404   | 0.0242   | 0.0199   | 0.0351   | 0.6461   | 0.0305   | 0.0305   | 0.0194   |
| ریسک F         | 0.0391   | 0.0411   | 0.1563   | 0.0222   | 0.0180   | 0.0297   | 0.6252   | 0.0272   | 0.0272   | 0.0141   |
| ریسک G         | 0.1602   | 0.2100   | 0.2905   | 0.0500   | 0.0080   | 0.0166   | 0.2299   | 0.0147   | 0.0138   | 0.0062   |
| ریسک H         | 0.1628   | 0.2234   | 0.3383   | 0.0480   | 0.0059   | 0.0137   | 0.1825   | 0.0106   | 0.0105   | 0.0041   |
| ریسک I         | 0.1262   | 0.1091   | 0.1475   | 0.1301   | 0.0209   | 0.1215   | 0.1173   | 0.0964   | 0.1257   | 0.0052   |
| ریسک J         | 0.1659   | 0.1239   | 0.1789   | 0.1673   | 0.0206   | 0.0905   | 0.0844   | 0.0823   | 0.0823   | 0.0039   |
| ریسک A         | 0.2303   | 0.2303   | 0.2303   | 0.1729   | 0.0099   | 0.0576   | 0.0137   | 0.0221   | 0.0221   | 0.0107   |
| ریسک B         | 0.2450   | 0.2450   | 0.2450   | 0.1628   | 0.0106   | 0.0466   | 0.0100   | 0.0139   | 0.0139   | 0.0072   |
| ریسک C         | 0.0370   | 0.0247   | 0.0322   | 0.0322   | 0.0264   | 0.6222   | 0.1481   | 0.0264   | 0.0284   | 0.0224   |
| ریسک D         | 0.0449   | 0.0337   | 0.0337   | 0.0355   | 0.0329   | 0.6268   | 0.1348   | 0.0191   | 0.0224   | 0.0163   |
| ریسک E         | 0.1301   | 0.1783   | 0.1577   | 0.1164   | 0.0074   | 0.0891   | 0.1923   | 0.0342   | 0.0890   | 0.0053   |
| ریسک F         | 0.1313   | 0.1764   | 0.1683   | 0.1325   | 0.0073   | 0.0983   | 0.2062   | 0.0293   | 0.0468   | 0.0037   |
| ریسک G         | 0.0130   | 0.0182   | 0.2520   | 0.1974   | 0.0091   | 0.1424   | 0.2848   | 0.0210   | 0.0547   | 0.0072   |
| ریسک H         | 0.0113   | 0.0215   | 0.2476   | 0.1967   | 0.0108   | 0.1446   | 0.2595   | 0.0269   | 0.0431   | 0.0379   |
| ریسک I         | 0.1014   | 0.1186   | 0.1220   | 0.1347   | 0.0674   | 0.0910   | 0.1115   | 0.1079   | 0.1285   | 0.0168   |
| ریسک J         | 0.1153   | 0.1276   | 0.1588   | 0.1681   | 0.0752   | 0.0920   | 0.1181   | 0.1143   | 0.0162   | 0.0143   |

اولویت‌بندی احداث سازه‌های آبیاری با روش‌های تصمیم‌گیری...

جدول ۶- وزن نهایی ریسک‌ها براساس چهار معیار

Table 6- Final weight of risks based on four criteria

|        | تأثیر بر هزینه |          | احتمال وقوع |          | قابلیت کشف |          | قابلیت مدیریت |          |
|--------|----------------|----------|-------------|----------|------------|----------|---------------|----------|
|        | حد بالا        | حد پایین | حد بالا     | حد پایین | حد بالا    | حد پایین | حد بالا       | حد پایین |
| ریسک A | 0.8818         | 0.9489   | 0.2448      | 0.227497 | 0.2444     | 0.227125 | 0.0385        | 0.035779 |
| ریسک B | 0.8818         | 1.0757   | 0.03248     | 0.028034 | 0.0343     | 0.028116 | 0.0830        | 0.068036 |
| ریسک C | 1.2511         | 1.8423   | 0.1120      | 0.076058 | 0.1109     | 0.075311 | 0.1626        | 0.11042  |
| ریسک D | 1.3893         | 0.9509   | 0.1789      | 0.261369 | 0.1793     | 0.261953 | 0.0926        | 0.135287 |
| ریسک E | 0.8709         | 0.1950   | 0.1592      | 0.711463 | 0.1588     | 0.70923  | 0.1507        | 0.673054 |
| ریسک F | 0.1872         | 1.1579   | 0.0496      | 0.008017 | 0.0491     | 0.007936 | 0.1383        | 0.022354 |
| ریسک G | 1.5697         | 1.9527   | 0.0902      | 0.072511 | 0.0928     | 0.074601 | 0.9965        | 0.080107 |
| ریسک H | 1.7788         | 0.3374   | 0.0502      | 0.264634 | 0.0515     | 0.271487 | 0.0614        | 0.323834 |
| ریسک I | 0.5453         | 0.4284   | 0.0487      | 0.061982 | 0.0470     | 0.059818 | 0.1099        | 0.139873 |
| ریسک J | 0.5064         | 0.1108   | 0.0317      | 0.144922 | 0.0315     | 0.144008 | 0.0629        | 0.287558 |

جدول ۷- وزن معیارها

Table 7- Weight of criteria

| معیار | تأثیر بر هزینه |          | احتمال وقوع |          | قابلیت کشف |          | قابلیت مدیریت |          |
|-------|----------------|----------|-------------|----------|------------|----------|---------------|----------|
|       | حد بالا        | حد پایین | حد بالا     | حد پایین | حد بالا    | حد پایین | حد بالا       | حد پایین |
| وزن   | 0.25           | 0.25     | 0.25        | 0.25     | 0.25       | 0.25     | 0.25          | 0.25     |

جدول ۸- درجه اهمیت ریسک‌ها

Table 8- Significance of risks

| ریسک | A       | B       | C       | D       | E       | F       | G       | H       | I       | J       |
|------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| وزن  | 0.35238 | 0.25833 | 0.29998 | 0.40914 | 0.52601 | 0.46003 | 0.40239 | 0.33492 | 0.57219 | 0.10604 |
|      | 0.35982 | 0.25833 | 0.29998 | 0.40914 | 0.52601 | 0.46003 | 0.40239 | 0.33492 | 0.57219 | 0.10604 |
|      | 0.4854  | 0.29935 | 0.18771 | 0.17252 | 0.15811 | 0.17181 |         |         |         |         |

جدول ۹- رتبه بندی ریسک‌ها

Table 9 - Ranking of Risks

| رتبه | ۵     | ۴     | ۹     | ۷     | ۸     | ۳     | ۱۰    | ۶     | ۲     | ۱     |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| ریسک | A     | B     | C     | D     | E     | F     | G     | H     | I     | J     |
| وزن  | 0.712 | 0.558 | 0.935 | 0.862 | 0.907 | 0.405 | 1.008 | 0.785 | 0.360 | 0.330 |

نتایج مشاهده شده در جدول ۹ حاکی از آن است که چهار ریسک شرایط جوی هوا، سطح توان پیمانکار در اتمام به موقع کار، نظارت و کنترل بر روی سازه‌های آبیاری و مشکلات ناشی از اسناد حقوقی پروژه به عنوان مهمترین عوامل ریسک، شناسایی شده‌اند و از اهمیت بالاتری نسبت به بقیه



ریسک‌ها برخوردارند. وقوع هر ریسک می‌تواند در عملکرد پروژه‌های مختلف تاثیر متفاوتی از خود به جای گذارد از این رو جهت شناسایی سازه‌های آبیاری با ریسک کمتر از روش ویکور استفاده شده است.

### روش ویکور

برای انجام مرحله اول روش ویکور، ریسک‌های می‌شود.

جدول ۱۰- پروژه‌های طرح آبیاری کشاورزی دشت سیستان

Table 10- Sistan plain agricultural irrigation project projects

| نام اختصاری  | P1                                       | P2                        | P3                         | P4                       |
|--------------|------------------------------------------|---------------------------|----------------------------|--------------------------|
| نام پروژه‌ها | احداث ایستگاه پمپاژ و لوله کشی خط انتقال | سازه‌های آبیاری گلخانه ای | سازه‌های آبیاری کانال بتنی | سازه‌های آبیاری تحت فشار |

برای بی‌مقیاس نمودن ماتریس تصمیم‌گیری جدول ۱۱ از روابط ۸، ۱۹ و ۲۰ استفاده شده که نتایج آن در جدول ۱۲ بیان شده است. ماتریس بی‌مقیاس وزن‌دار از رابطه ۲۳ محاسبه می‌گردد که نتایج آن در جدول ۱۳ نشان داده شده است.

سپس بهترین و بدترین مقدار (نقطه ایده‌ال مثبت و منفی) از روابط ۲۴ و ۲۵ محاسبه می‌گردد که در جدول ۱۴ مشخص شده است. مقادیر سودمندی (S) و تاسف (R) هر پروژه طبق روابط ۲۶ و ۲۷ محاسبه شده است که در جدول ۱۵ نشان داده شده است.

جدول ۱۱- ماتریس تصمیم‌گیری (معیارهای منفی)

Table 11 - Matrix of decision making (negative criteria)

| ماتریس تصمیم | ریسک A | ریسک B | ریسک C | ریسک D | ریسک E | ریسک F | ریسک G | ریسک H | ریسک I | ریسک J |
|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|              | ۴      | ۴      | ۴      | ۴      | ۴      | ۴      | ۴      | ۴      | ۴      | ۴      |
| P1           | 8.51   | 6.6    | 6.24   | 3.3    | 3.91   | 2.34   | 8.01   | 4.07   | 4.15   | 3.16   |
| P2           | 4.60   | 3.16   | 8      | 6.92   | 4.11   | 3.05   | 7      | 5.59   | 3.1    | 2.73   |
| P3           | 7.68   | 6.55   | 4.6    | 3.15   | 3.91   | 2.81   | 7.26   | 8.46   | 8.95   | 3.69   |
| P4           | 2.16   | 1.9    | 2.38   | 1.8    | 2.22   | 2.18   | 5      | 4.8    | 8.37   | 3.25   |

اولویت‌بندی احداث سازه‌های آبیاری با روش‌های تصمیم‌گیری...

جدول ۱۲- ماتریس تصمیم‌بی‌مقیاس (نرمالیزه شده)

**Table 12- Scale decision matrix (normalized)**

| ریسک A | ریسک B | ریسک C | ریسک D | ریسک E | ریسک F | ریسک G | ریسک H | ریسک I | ریسک J |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| جدید   | جدید   | جدید   | جدید   | جدید   | جدید   | جدید   | جدید   | جدید   | جدید   |
| P1     | 0.37   | 0.2    | 0.33   | 0.09   | 0.17   | 0.13   | 0.36   | 0.21   | 0.2    |
| P2     | 0.36   | 0.17   | 0.36   | 0.1    | 0.25   | 0.21   | 0.29   | 0.07   | 0.21   |
| P3     | 0.29   | 0.38   | 0.22   | 0.11   | 0.19   | 0.27   | 0.2    | 0.13   | 0.25   |
| P4     | 0.22   | 0.46   | 0.21   | 0.12   | 0.22   | 0.27   | 0.28   | 0.39   | 0.26   |
|        | 0.28   | 0.29   | 0.28   | 0.16   | 0.32   | 0.22   | 0.24   | 0.38   | 0.28   |
|        | 0.23   | 0.29   | 0.27   | 0.21   | 0.29   | 0.22   | 0.23   | 0.41   | 0.3    |
|        | 0.29   | 0.26   | 0.27   | 0.18   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.18   | 0.24   | 0.37   | 0.21   | 0.29   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.17   | 0.13   | 0.36   | 0.34   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.25   | 0.21   | 0.29   | 0.25   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.29   | 0.26   | 0.27   | 0.18   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.18   | 0.24   | 0.37   | 0.21   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.17   | 0.13   | 0.36   | 0.34   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.25   | 0.21   | 0.29   | 0.25   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.29   | 0.26   | 0.27   | 0.18   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.18   | 0.24   | 0.37   | 0.21   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.17   | 0.13   | 0.36   | 0.34   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.25   | 0.21   | 0.29   | 0.25   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.29   | 0.26   | 0.27   | 0.18   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.18   | 0.24   | 0.37   | 0.21   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.17   | 0.13   | 0.36   | 0.34   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.25   | 0.21   | 0.29   | 0.25   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.29   | 0.26   | 0.27   | 0.18   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.18   | 0.24   | 0.37   | 0.21   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.17   | 0.13   | 0.36   | 0.34   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.25   | 0.21   | 0.29   | 0.25   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.29   | 0.26   | 0.27   | 0.18   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.18   | 0.24   | 0.37   | 0.21   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.17   | 0.13   | 0.36   | 0.34   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.25   | 0.21   | 0.29   | 0.25   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.29   | 0.26   | 0.27   | 0.18   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.18   | 0.24   | 0.37   | 0.21   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.17   | 0.13   | 0.36   | 0.34   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.25   | 0.21   | 0.29   | 0.25   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.29   | 0.26   | 0.27   | 0.18   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.18   | 0.24   | 0.37   | 0.21   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.17   | 0.13   | 0.36   | 0.34   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.25   | 0.21   | 0.29   | 0.25   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.29   | 0.26   | 0.27   | 0.18   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.18   | 0.24   | 0.37   | 0.21   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.17   | 0.13   | 0.36   | 0.34   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.25   | 0.21   | 0.29   | 0.25   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.29   | 0.26   | 0.27   | 0.18   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.18   | 0.24   | 0.37   | 0.21   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.17   | 0.13   | 0.36   | 0.34   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.25   | 0.21   | 0.29   | 0.25   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.29   | 0.26   | 0.27   | 0.18   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.18   | 0.24   | 0.37   | 0.21   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.17   | 0.13   | 0.36   | 0.34   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.25   | 0.21   | 0.29   | 0.25   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.29   | 0.26   | 0.27   | 0.18   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.18   | 0.24   | 0.37   | 0.21   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.17   | 0.13   | 0.36   | 0.34   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.25   | 0.21   | 0.29   | 0.25   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.29   | 0.26   | 0.27   | 0.18   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.18   | 0.24   | 0.37   | 0.21   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.17   | 0.13   | 0.36   | 0.34   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.25   | 0.21   | 0.29   | 0.25   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.29   | 0.26   | 0.27   | 0.18   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.18   | 0.24   | 0.37   | 0.21   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.17   | 0.13   | 0.36   | 0.34   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.25   | 0.21   | 0.29   | 0.25   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.29   | 0.26   | 0.27   | 0.18   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.18   | 0.24   | 0.37   | 0.21   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.17   | 0.13   | 0.36   | 0.34   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.25   | 0.21   | 0.29   | 0.25   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.29   | 0.26   | 0.27   | 0.18   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.18   | 0.24   | 0.37   | 0.21   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.17   | 0.13   | 0.36   | 0.34   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.25   | 0.21   | 0.29   | 0.25   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.29   | 0.26   | 0.27   | 0.18   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.18   | 0.24   | 0.37   | 0.21   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.17   | 0.13   | 0.36   | 0.34   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.25   | 0.21   | 0.29   | 0.25   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.29   | 0.26   | 0.27   | 0.18   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.18   | 0.24   | 0.37   | 0.21   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.17   | 0.13   | 0.36   | 0.34   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.25   | 0.21   | 0.29   | 0.25   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.29   | 0.26   | 0.27   | 0.18   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.18   | 0.24   | 0.37   | 0.21   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.17   | 0.13   | 0.36   | 0.34   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.25   | 0.21   | 0.29   | 0.25   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.29   | 0.26   | 0.27   | 0.18   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.18   | 0.24   | 0.37   | 0.21   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.17   | 0.13   | 0.36   | 0.34   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.25   | 0.21   | 0.29   | 0.25   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.29   | 0.26   | 0.27   | 0.18   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.18   | 0.24   | 0.37   | 0.21   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.17   | 0.13   | 0.36   | 0.34   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.25   | 0.21   | 0.29   | 0.25   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.29   | 0.26   | 0.27   | 0.18   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.18   | 0.24   | 0.37   | 0.21   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.17   | 0.13   | 0.36   | 0.34   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.25   | 0.21   | 0.29   | 0.25   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.29   | 0.26   | 0.27   | 0.18   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.18   | 0.24   | 0.37   | 0.21   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.17   | 0.13   | 0.36   | 0.34   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.25   | 0.21   | 0.29   | 0.25   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.29   | 0.26   | 0.27   | 0.18   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.18   | 0.24   | 0.37   | 0.21   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.17   | 0.13   | 0.36   | 0.34   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.25   | 0.21   | 0.29   | 0.25   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.29   | 0.26   | 0.27   | 0.18   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.18   | 0.24   | 0.37   | 0.21   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.17   | 0.13   | 0.36   | 0.34   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.25   | 0.21   | 0.29   | 0.25   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.29   | 0.26   | 0.27   | 0.18   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.18   | 0.24   | 0.37   | 0.21   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.17   | 0.13   | 0.36   | 0.34   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.25   | 0.21   | 0.29   | 0.25   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.29   | 0.26   | 0.27   | 0.18   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.18   | 0.24   | 0.37   | 0.21   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.17   | 0.13   | 0.36   | 0.34   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.25   | 0.21   | 0.29   | 0.25   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.29   | 0.26   | 0.27   | 0.18   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.18   | 0.24   | 0.37   | 0.21   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.17   | 0.13   | 0.36   | 0.34   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.25   | 0.21   | 0.29   | 0.25   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.29   | 0.26   | 0.27   | 0.18   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.18   | 0.24   | 0.37   | 0.21   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.17   | 0.13   | 0.36   | 0.34   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.25   | 0.21   | 0.29   | 0.25   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.29   | 0.26   | 0.27   | 0.18   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.18   | 0.24   | 0.37   | 0.21   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.17   | 0.13   | 0.36   | 0.34   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.25   | 0.21   | 0.29   | 0.25   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.29   | 0.26   | 0.27   | 0.18   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.18   | 0.24   | 0.37   | 0.21   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.17   | 0.13   | 0.36   | 0.34   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.25   | 0.21   | 0.29   | 0.25   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.29   | 0.26   | 0.27   | 0.18   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.18   | 0.24   | 0.37   | 0.21   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.17   | 0.13   | 0.36   | 0.34   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.25   | 0.21   | 0.29   | 0.25   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.29   | 0.26   | 0.27   | 0.18   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.18   | 0.24   | 0.37   | 0.21   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.17   | 0.13   | 0.36   | 0.34   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.25   | 0.21   | 0.29   | 0.25   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.29   | 0.26   | 0.27   | 0.18   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.18   | 0.24   | 0.37   | 0.21   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.17   | 0.13   | 0.36   | 0.34   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.25   | 0.21   | 0.29   | 0.25   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.29   | 0.26   | 0.27   | 0.18   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.18   | 0.24   | 0.37   | 0.21   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.17   | 0.13   | 0.36   | 0.34   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.25   | 0.21   | 0.29   | 0.25   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.29   | 0.26   | 0.27   | 0.18   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.18   | 0.24   | 0.37   | 0.21   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.17   | 0.13   | 0.36   | 0.34   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.25   | 0.21   | 0.29   | 0.25   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.29   | 0.26   | 0.27   | 0.18   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.18   | 0.24   | 0.37   | 0.21   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.17   | 0.13   | 0.36   | 0.34   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.25   | 0.21   | 0.29   | 0.25   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.29   | 0.26   | 0.27   | 0.18   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.18   | 0.24   | 0.37   | 0.21   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.17   | 0.13   | 0.36   | 0.34   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.25   | 0.21   | 0.29   | 0.25   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.29   | 0.26   | 0.27   | 0.18   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.18   | 0.24   | 0.37   | 0.21   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.17   | 0.13   | 0.36   | 0.34   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.25   | 0.21   | 0.29   | 0.25   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.29   | 0.26   | 0.27   | 0.18   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |
|        | 0.18   | 0.24   | 0.37   | 0.21   | 0.22   | 0.22   |        |        |        |

جدول ۱۳- ماتریس نرمال وزن دار

**Table 13- Normal weighted matrix**

| ریسک A | ریسک B | ریسک C | ریسک D | ریسک E | ریسک F | ریسک G | ریسک H | ریسک I | ریسک J |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| جدید   | جدید   | جدید   | جدید   | جدید   | جدید   | جدید   | جدید   | جدید   | جدید   |
| P1     | 0.133  | 0.072  | 0.120  | 0.034  | 0.128  | 0.061  | 0.127  | 0.014  | 0.032  |
| P2     | 0.088  | 0.113  | 0.065  | 0.034  | 0.056  | 0.118  | 0.094  | 0.025  | 0.037  |
| P3     | 0.145  | 0.153  | 0.145  | 0.083  | 0.092  | 0.120  | 0.115  | 0.066  | 0.043  |
| P4     | 0.092  | 0.120  | 0.111  | 0.086  | 0.118  | 0.103  | 0.107  | 0.073  | 0.044  |
|        | 0.082  | 0.112  | 0.170  | 0.096  | 0.097  | 0.072  | 0.208  | 0.195  | 0.082  |
|        | 0.082  | 0.112  | 0.170  | 0.096  | 0.082  | 0.071  | 0.096  | 0.085  | 0.082  |
|        | 0.057  | 0.080  | 0.076  | 0.086  | 0.057  | 0.080  | 0.076  | 0.086  | 0.057  |
|        | 0.023  | 0.029  | 0.030  | 0.024  | 0.023  | 0.029  | 0.030  | 0.024  | 0.023  |
|        | 0.158  | 0.108  | 0.151  | 0.128  | 0.158  | 0.108  | 0.151  | 0.128  | 0.158  |
|        | 0.147  | 0.100  | 0.100  | 0.117  | 0.147  | 0.100  | 0.100  | 0.117  | 0.147  |
|        | 0.070  | 0.094  | 0.089  | 0.047  | 0.070  | 0.094  | 0.089  | 0.047  | 0.070  |
|        | 0.127  | 0.130  | 0.115  | 0.113  | 0.127  | 0.130  | 0.115  | 0.113  | 0.127  |
|        | 0.013  | 0.025  | 0.073  | 0.077  | 0.013  | 0.025  | 0.073  | 0.077  | 0.013  |
|        | 0.037  | 0.043  | 0.044  | 0.049  | 0.037  | 0.043  | 0.044  | 0.049  | 0.037  |
|        | 0.032  | 0.035  | 0.044  | 0.047  | 0.032  | 0.035  | 0.044  | 0.047  | 0.032  |

**جدول ۱۴- ماتریس نقطه ایده‌آل مثبت و منفی**

**Table 14 - Positive and negative ideal point matrix**

| ریسک A  | ریسک B   | ریسک C  | ریسک D   | ریسک E  | ریسک F   | ریسک G  | ریسک H   | ریسک I  | ریسک J   |
|---------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|
| حد بالا | حد پایین | حد بالا | حد پایین | حد بالا | حد پایین | حد بالا | حد پایین | حد بالا | حد پایین |
| 0.09    | 0.10     | 0.16    | 0.18     | 0.13    | 0.21     | 0.22    | 0.20     | 0.08    | 0.20     |
| 0.37    | 0.36     | 0.29    | 0.29     | 0.36    | 0.29     | 0.29    | 0.27     | 0.41    | 0.30     |
| 0.11    | 0.12     | 0.21    | 0.18     | 0.19    | 0.22     | 0.22    | 0.16     | 0.07    | 0.21     |
| 0.38    | 0.46     | 0.29    | 0.37     | 0.29    | 0.28     | 0.32    | 0.31     | 0.40    | 0.28     |

جدول ۱۵- مقادیر سودمندی و تاسف پروژه‌ها  
Table 15- Utility and regret values of projects

| P4    | P3    | P2    | P1    |          |                  |
|-------|-------|-------|-------|----------|------------------|
| 61.42 | 63.70 | 63.96 | 64.16 | حد بالا  | شاخص سودمندی (S) |
| 48.07 | 73.00 | 78.65 | 64.06 | حد پایین |                  |
| 285.0 | 358.9 | 312.3 | 306.8 | حد بالا  | شاخص تاسف (R)    |
| 213.6 | 291.9 | 255.9 | 256.9 | حد پایین |                  |

مقدار شاخص ویکور (Q)، برای هر پروژه از رابطه ۲۸ محاسبه شده و طبق رابطه ۸ عملیات راف زدایی، برای مقایسه نمودن شاخص ویکور مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین رتبه‌بندی پروژه‌ها طبق روابط ۲۹ و ۳۰ محاسبه گردیده که در جدول ۱۶ نشان داده شده‌اند. پارامتر V طبق نظریه متخصصان در این تحقیق 0.5 در نظر گرفته شده است. شرط‌های نهایی مطرح شده در روش ویکور محاسبه گردید که در جدول ۱۷ نشان داده شده است.

جدول ۱۶- مقدار شاخص ویکور (Q) و رتبه‌بندی پروژه‌ها  
Table 16 - VIKOR index value (Q) and project ranking

| P4    | P3    | P2    | P1    |                |
|-------|-------|-------|-------|----------------|
| 0.330 | 1.015 | 0.965 | 0/733 | شاخص ویکور (Q) |
| ۱     | ۴     | ۳     | ۲     | رتبه‌بندی      |

جدول ۱۷- تعیین شروط تصمیم‌گیری  
Table 17- Determining the conditions of decision making

| شروط    | نتایج بدست آمده                                                                                                                     |
|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| شرط اول | $Q(A_2) - Q(A_1) \geq \frac{1}{m-1}$<br>$0.733 - 0.330 \geq \frac{1}{4-1}$                                                          |
| شرط دوم | گزینه برتر باید حداقل در یکی از مقادیر R و S گزینه برتر باشد<br>گزینه لوله خط A در میان R و S دارای کمترین مقدار و بهترین گزینه است |

## نتیجه‌گیری

پرداخته شده است. با بررسی ادبیات و پیشینه تحقیقات قبلی به این نتیجه دست یافته شده که ریسک تاثیر بسزایی در اجرای سازه‌های آبیاری دارد و تحت تاثیر ریسک قرار می‌گیرند. بنابراین از مدیریت ریسک بهره گرفته شده تا اجرای پروژه به موقع انجام گیرد و مانع افزایش قیمت برآورد شده شود همچنین از زیان بیش از حد جلوگیری کند. در ادامه برای ارزیابی ریسک‌ها در سازه‌های آبیاری مورد مطالعه، ریسک‌ها را شناسایی و میزان اهمیت

وجود عوامل مختلف و تاثیرگذار باعث ایجاد عدم قطعیت‌ها در انتخاب مناسب ترین سازه آبیاری شده و هم چنین از مباحثی که درون سازمان‌ها کمتر به صورت عملی به کار گرفته شده است، مدیریت ریسک می‌باشد. یکی از اقدامات موثر در برابر عدم قطعیت‌ها و شناسایی، ارزیابی ریسک‌ها، مدیریت ریسک است. لذا در این تحقیق، به شناسایی و ارزیابی علمی ریسک‌ها در ساخت سازه‌های آبیاری

دارد. این رتبه‌بندی به این صورت می‌باشند که اجرای سازه‌های آبیاری تحت فشار رتبه اول، احداث ایستگاه پمپاژ و لوله کشی خط انتقال رتبه دوم، اجرای سازه‌های آبیاری گلخانه‌های رتبه سوم و سازه‌های آبیاری کانال بتنی رتبه چهارم را به خود اختصاص دادند. این رتبه‌بندی می‌تواند جهت مدیریت ریسک‌ها و برگزیدن پروژه‌های با ریسک کمتر کمک کند و همچنین مدیران می‌توانند پروژه‌های کم ریسک را جهت ساخت، در اولویت خود قرار دهند و از پروژه‌های با ریسک بالا بپرهیزند. از پژوهش حاضر می‌توان در سایر پروژه‌های آبرسانی و ساخت، در مناطق مختلف با توجه به شناسایی ریسک‌های آن منطقه استفاده نمود.

آن‌ها را با بکارگیری ترکیب‌های روش دلفی و AHP تعیین شد. همچنین برای گنجانیدن عدم قطعیت در مسائل از تئوری مجموعه اعداد راف گرفته شده است. نتایج بدست آمده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) بیانگر آن بود که ریسک‌های شرایط جوی و عدم تعهد در انجام کار دقیق اجرای پروژه با کیفیت تعریف شده بالاترین امتیاز را به خود تخصیص داده‌اند. در ادامه تحقیق ریسک‌ها را به سازه‌های آبیاری سازمان مورد مطالعه با کمک روش تصمیم‌گیری چند معیاره ویکور، تخصیص داده شده است. نتایج بدست آمده از روش ویکور، شامل فهرستی از رتبه‌بندی سازه‌های آبیاری می‌باشد که براساس میزان تاثیر ریسک در عملکرد ساخت آن‌ها

## مراجع

- Ahmadi, Fazlullah Nasiriani, Khadijeh. Abazari, Parvaneh. (2008), Delphi Technique: A Tool in Research, Iranian Journal of Medical Education, Year 8, Issue 1, 185-175. . (In Persian)
- Ahrariroudi, Mohyeddin.(2018), Assessment the effects of drought on groundwater quantity and quality of Sistan and Baluchistan Province, New findings of applied geology, 12(23), 104-113.
- Alamatian, Ebrahim. Seifi Abdolabadi, Farzad. (2018), Integration of Risk Engineering Value Engineering in Irrigation Projects under Pressure of Hot-Dry Areas, 13th International Symposium on Science and Technology Advances: Sustainable Land, Civil and Environmental Engineering, Mashhad. (In Persian)
- Alizadeh, Ali. (2014) Delphi Research, First Edition, Tehran: Yousef Publications. . (in Persian)
- Amiri, Maghsoud. (2010), Group decision making for selecting machine tools using Victor Fuzzy method, Scientific-Research Quarterly Journal of Industrial Management Studies, Volume 6, Number 16, 188-167. (In Persian)
- Ataiee, Mohammad (2010). Multi-criteria decision making, (first edition), Shahroud: Shahroud University of Technology Publications. (In Persian)
- Carbone, t., Tippett, D., (2015), Project Risk Management Using the Project Risk FMEA, Engineering Management Journal, 16:4, 28-35.

- Darwish, Sahar. Shirmohammadi, Vahid. Ranjbar, Fatemeh. Nahavandchi, Mehrdad. (2015), Reviewing and presenting environmental risk assessment models with the aim of improving the environmental management system, International Conference on Environment and Natural Resources, Shiraz. (In Persian)
- Fouladgar, M., Yazdani-chamzini, A., Zavadsekas, E.K., (2012), Risk evaluation of tunneling projects Archives of Civil and Mechanical Engineering, 12(1), 1-12. (In Persian)
- Huang, J. J., Tzeng, G. H., & Liu, H. H., (2009). A revised VIKOR model for multiple criteria decision making – the perspective of regret theory. In: Shi, Y. et al (Eds.) Cutting-Edge Research Topics on Multiple Criteria Decision Making. Springer, Berlin Heidelberg, 761-768.
- Jafarnejad, Ahmad Yousefi Zanoos, Reza. (2008), Presenting a fuzzy model of Band risk rank in Petro Pars Company's drilling projects, Journal of Industrial Management, Volume 1, Number 1, 38-21. (In Persian)
- Karimi, Touraj. Sadeghi Moghadam, Mohammad Reza (2014), Raff Collections and Gray Collections, First Edition, Tehran: Mehraban Book. . (In Persian)
- Kazazi, Abolfazl. Faizi Rad, Mohammad Ali. (2014), Development of SPACE matrix with the help of fuzzy fuzzy hierarchical analysis to determine the strategic position of the business, Quarterly Journal of Modern Marketing Research, Fourth Year, No. 3, 74-55. (In Persian)
- Khatami Firoozabadi, Ali. (2008). Multi-Criteria Decision Making, (First Edition), Tehran: Miran Emrooz Marand Publications. . (In Persian)
- kolahan, Farhad. Rezaei Nik, Ibrahim. Hassani Dooghabadi, Marzieh et al. (2014), Identifying and prioritizing the risks of the country's electricity industry development projects, Journal of Industrial Engineering, Volume 49, Number 1, Pages 107-116. (In Persian)
- Mousavi, Anahita. Abdi, Farshid. Raeisi, Siddiq. (2014), Ranking of Risk Factors of Research Projects with the Combination of Network Analysis Process Methods and Fuzzy DEMATEL, Scientific-Promotional Quarterly Journal of Standard and Quality Management, Fourth Year, No. 3, Pages 57-48. . (In Persian)
- Omidvar M, Nirumand F. (2017). Risk assessment using FMEA method and on the basis of MCDM, fuzzy logic and grey theory: A case study of overhead cranes. JHSW. 7 (1), 63-76. . (In Persian)
- Pawlak, Z., (2012), Rough sets: Theoretical aspects of reasoning about data, 9, Springer Science & Business Media.
- Piri, Halimah. Ansari, Hussein. (2013). Study of Sistan plain drought and its impact on Hamoon International Wetland. Wetland Ecology (Wetland). V5, No. 15, 63-74.(In Persian)

- Poor Ahmad, Ahmad. Shahbazpour, Ahmad. Khaliji, Mohammad Ali (2015), Using Multi-Criteria Decision Modeling Models in Assessing the Capacity of Tourist Model Case Study of Semnan Province, Geographical Studies of Dry Areas, Volume 6, Number 21, 50-66. (In Persian)
- Qudosipour, Hassan. (2016). Hierarchical Analysis Process (AHP), (Third Edition), Tehran: Amirkabir University of Technology.
- Rezaei, Farzin. Ghaybdoost, Hamed. (2016), A Study of the Financial Performance of the Banking Industry by Vikor Method, Journal of Development Management and Special Letter Transformation, pp. 43-33. (In Persian)
- Sabzehpour, Majid. (2012), Project Management, Tehran: Termeh. (In Persian)
- Seifloo, Sajjad. Askari, Mohammad Mehdi. Sadeghi Shahedani, Mehdi, (2016), Identifying and Prioritizing the Risks of Upstream Oil and Gas Projects in Iran Using Risk Breaking Structure (RBS) and TOPSIS Technique Techniques, Quarterly Journal of Economic Research and Policy, Year 24, No. 78, 96-57. (In Persian)
- Shafiee Nikabadi, Mojtaba. Shafiee Nikabadi, Mohsen. Hosseini, Seyed Mohammad Hassan (2016), Development of a model for evaluating and ranking construction projects according to the probability of risk occurrence and its impact on construction performance, Military Management Quarterly, Volume 16, Number 2, Pages 117-157. (In Persian)
- Shahraki, Alireza. Jamali Moghadam, Fatemeh. (2016), Development of a Model for Risk Assessment of Construction Projects Based on Theory of Raff Numbers Collection, Journal of Scientific Performance Management, Volume 8, Number 16, Pages 62-39. (In Persian)
- Sobhie, Mohammad Hussein. Ranjbaran, Saeed. (2008), Karzner's organizational maturity model in project management, Project Management Quarterly, No. 3, 11-4. (In Persian)
- Sodhis, M., Son, B., & Ting, C., (2014), Perspectives on supply chain Risk Management, Production and operation management, 21, 1-13.
- Song, W., Ming, X., and Xu, Z., (2013), Risk evaluation of customer integration in new product development under uncertainty. Computers & Industrial Engineering, 65(3), 402-412.
- Tzeng, G. H., and Tasur, S., (1994), The multiple criteria evaluations of grey relation model. The Journal of Grey System, 6(2), 87-108.
- Ulfat, Laia, Khosravani, Farzaneh, Jalali, Reza. (1389). Identifying and prioritizing project risk based on PMBOK standard with fuzzy approach (Study: Non-level intersection construction projects in Bushehr province). Industrial Management Studies, 8 (19), 147-163.

- Zahraei, benafshe. Roozbehani, Abbas. Mirshakari, Mostafa (2016), Presentation of Risk Analysis Model Based on Fuzzy Expert Systems for Construction Projects Management, Sharif Civil Engineering Quarterly, Volume 32.2, Number 4.1, Pages 61-70. (In Persian)
- Zhai, L., Khoo, L., & Zhong, Z., (2008), A rough set enhanced fuzzy approach to quality function deployment. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 37, 613-624.

# **Prioritization of Construction of Irrigation Structures With Multi-Criteria Decision-Making Methods and Pmbok Failure Structure in Conditions of Uncertainty**

**M. R. Shahraki\* and M. Derakhshideh**

\* Corresponding Author: Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran. Email: [abbaspour@uma.ac.ir](mailto:abbaspour@uma.ac.ir)

Received: 26 January 2021, Accepted: 24 June 2021

## **Introduction**

Huge investments are being made in the development of water resources to build water storage and transmission systems for agricultural irrigation networks. Unknown potential hazards arise during project implementation. One of the effective measures that can be taken to reduce this depreciation is risk management. Risk management in the PMBOK standard includes risk identification based on experts' opinions and risk ranking based on two criteria: probability of occurrence and severity of impact. Some opinions and judgments of experts and decision makers are a set of qualitative, vague and sometimes incomplete data. Hence the theory of rough numbers can be used. In this study, Delphi method has been used to identify risks that can help in screening and risk identification. This method has a predictive structure and helps to make decisions in several stages, which ultimately leads to the collection and accumulation of information. Hierarchical analysis method is used to rank the risks. In order to prioritize several projects, taking into account the identified risks, the VIKOR method has been used. Third place and concrete canal irrigation structures are in the fourth place for implementation with the lowest cost in this field.

## **Methodology**

Risk management is a systematic and forward-looking process. After identifying, measuring and evaluating the hazards of irrigation structures, the Delphi method can reduce the scatter of opinions of experts and specialists and cause multiple interactions between them. In this method, a questionnaire is distributed to identify risks among project specialists and experts. Then the answers are summarized and based on them, a new questionnaire is designed and sent to them again. Questionnaires are usually sent 3 to 5 times. In order to evaluate, rank and decide on risks, the qualitative responses of the respondents can be determined by the theory of approximate set of numbers. Rough set theory examines vague and subjective information without any presuppositions. In this theory, any ambiguous concept can be presented as a pair of precise concepts based on high and low estimates.

The Analytic Hierarchy Process (AHP) method is used to rank risks. The calculation of weight in AHP method is in the form of relative weight and final weight. Relative weight is obtained from the pairwise comparison matrix, while final weight is the final ranking of each option obtained by combining relative weights. Where  $Y = [y_{ij}]$   $i, j = 1, 2, 3, \dots, n$  is a matrix of pairwise comparisons and the weight of each option  $\bar{x}_{ij} = \bar{y}_{ij} / \sum_{i=1}^n \bar{y}_{ij}$  where  $X_{ij}$  in the normalized matrix verse shows even comparisons.  $K_i = \left( \sum_{j=1}^n \frac{x_{ij}}{N} \right)$  And  $K_i$  expresses the line element  $i$  of the matrix weight of criteria and  $N$  expresses the number of criteria. In the next step, each component of the pairwise comparison matrix is divided by the sum of its columns to normalize the pairwise comparison matrix, and then using the arithmetic mean, the weight vector



of the criteria (K) can be calculated. The decision matrix of options  $z_{ij} = \left( \sum_{j=1}^m \frac{x_{ij}}{M} \right)$  where  $z_{ij}$  represents the element of row  $i$  and column  $j$  of the decision matrix and  $M$  the number of options, and the following equation is used to obtain the final ranking of options.

Risk Significance Matrix = Final Risk Weight Matrix \* Criteria Weight Matrix

VIKOR's method is based on consensus planning in multicriteria decision-making issues and categorizes issues in such a way that the decision-maker is able to identify and express the superiority of one option among the options. In the VIKOR method, the following steps are performed to select a better option:

Step1: Form a decision matrix

Step 2: Scaling the decision matrix (normalization)

Step 3: Form the weight vector of the criteria and calculate the weighted normal decision matrix and determine the positive and negative ideal point

Step 4: Calculate the amount of utility and the amount of regret for each option

Step 5: Calculate the VIKOR index (Q value)

Step 6: Rank the options

## **Conclusions**

The results show that with the method of hierarchical analysis, the risks of weather conditions and lack of commitment to perform the exact work of project implementation have been assigned the highest score. In continuation, these risks are assigned to the irrigation structures of the study organization. Using the *VIKOR* method, a list of ranking of irrigation structures based on the impact of risk on their construction performance is as follows: the implementation of irrigation structures under first-class pressure, construction of pumping station and second-line transmission line piping, Execution of greenhouse irrigation structures ranks third and concrete canal irrigation structures rank fourth. This ranking can help to manage risks and select projects with less risk, and managers can also prioritize low-risk projects to build, and avoid high-risk projects.

**Keywords:** Raff numbers, VIKOR method, AHP method, Delphi process, Risk management

نوع مقاله: علمی - پژوهشی

## ارزیابی اقتصادی و بهره‌وری آبیاری بارانی در تولید گندم (مطالعه موردی استان اردبیل)

صفت‌اله رحمانی اندیلی\*

استادیار سازمان تحقیقات؛ آموزش و ترویج کشاورزی - دفتر امور اقتصادی، تهران، ایران  
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۲۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۶/۷

### چکیده

آب از جمله سرمایه‌های حیاتی بشر و دیگر موجودات روی کره زمین است، جایگزین ندارد، و نیروی محرکه اصلی فعالیت‌های کشاورزی است. در بسیاری از کشورها، مثل ایران، آب برای تولید و عمل‌آوری محصولات کشاورزی اهمیت بیشتری دارد. به‌رغم وجود محدودیت‌های شدید منابع آبی، بهره‌وری استفاده از این نهاده پایین است. اعمال مدیریت مناسب بر مصرف بهینه آب در مزارع و واحدهای بهره‌برداری در قالب سیاست و برنامه‌های اجرایی، مهم‌ترین اقدام در استفاده بهینه از منابع آبی و مقابله با کم آبی و بی‌آبی در مناطق مختلف کشور است. از جمله اقدامات به‌منظور بهبود بهره‌وری و صرفه جویی در مصرف آب کشاورزی، توسعه روش‌های آبیاری بارانی است. تحقیق حاضر با هدف ارزیابی اقتصادی و برآورد بهره‌وری آبیاری بارانی در محصول گندم در استان اردبیل در سال ۱۳۹۶ اجرا شده است. برای این منظور با تکمیل ۳۴۰ پرسش‌نامه از دو گروه کشاورزان منطقه (کشاورزان دارای آبیاری بارانی و کشاورزان دارای آبیاری سنتی) داده‌ها جمع‌آوری و برای تجزیه و تحلیل از تابع تولید استفاده شد. نتایج حاصل از مطالعه نشان می‌دهد که با اجرای آبیاری بارانی، در مصرف آب تا ۱۷ درصد و در هزینه‌های تولید صرفه‌جویی شده است؛ با اجرای این شیوه آبیاری، میزان تولید گندم و سطح بهره‌وری آب افزایش یافته است. بررسی‌ها نشان می‌دهد به ازای هر متر مکعب آب در روش آبیاری بارانی ۱/۰۴ کیلو گرم گندم تولید شده که در روش آبیاری سنتی این میزان ۰/۶۲ کیلوگرم است.

### واژه‌های کلیدی

ارزیابی اقتصادی، بهره‌وری، آبیاری بارانی، گندم

### مقدمه

یعنی با توزیع جمعیت تناسب ندارد. با توجه به کمبود بارندگی‌ها در کشور و توزیع نامناسب زمانی و مکانی بارش‌ها، همچنین بروز خشکسالی‌های پی‌درپی در دو دهه اخیر، ضرورت تبدیل و تغییر روش‌های آبیاری از سنتی به نوین، از جمله آبیاری بارانی، با هدف صرفه جویی و کاهش در مصرف آب، بیش از پیش احساس می‌شود. یکی از دغدغه‌های اساسی بشر کمبود آب است،

آب کالایی منحصر به فرد و ماده‌ای بسیار حیاتی است. محدودیت‌های این ماده حیاتی ظرفیت‌های سایر منابع را تحت تاثیر قرار می‌دهد. در برخی از فقیرترین و ثروتمندترین کشورهای جهان نیز سرانه استحصال آب به دلایل زیست محیطی، افزایش هزینه‌ها و کمیابی در حال کاهش است. توزیع جریان‌های آبی نیز در سطح جهان نامتعادل است

سالم محروم هستند (United, Nations, 2020). از مجموع کل آب‌های جهان، ۹۷/۴ درصد آن را آب شور دریاها و اقیانوس‌ها تشکیل می‌دهند که در واقع برای کشاورزی قابل استفاده نیستند.

بخش اعظم ۲/۶ درصد آب‌های جهان (که ذخایر آب شیرین را تشکیل می‌دهد) به صورت یخ در قطب‌های شمال و جنوب کره زمین و یخچال‌های طبیعی (۱/۹۸ درصد) و آب‌های زیرزمینی (۰/۵۹ درصد) است که در دسترس نیستند. میانگین مصرف آب شیرین در سطح جهان در بخش شرب و بهداشت ۱۰ درصد، فعالیت‌های صنعتی و تفریحی و تجاری و سایر موارد حدود ۲۰ درصد و کشاورزی به تنهایی ۷۰ درصد است. در برخی از کشورها، به ویژه کشورهای آفریقایی، در مناطق صحرایی و ساحل آفریقا تا ۹۰ درصد از منابع آب شیرین صرف بخش کشاورزی می‌شود. در ایران نیز سهم بخش کشاورزی از آب مصرفی ۹۰ درصد است (Ministry of Energy, 2020).

کمبودی که هر ساله بر شدت آن افزوده می‌شود. در حال حاضر بسیاری از افراد کشورهای در حال توسعه از آب کافی برای برآوردن نیازهای اصلی خود محروم هستند. از آنجایی که حدود ۷۰ درصد کل برداشت آب در بخش کشاورزی مصرف می‌شود، این نگرانی وجود دارد که کمبود آب در جهان به معنای کمبود آب کشاورزی باشد. شصت درصد از آب شیرین جهان به این ۹ کشور اختصاص دارد: کانادا، چین، کلمبیا، پرو، برزیل، روسیه، ایالات متحده آمریکا، اندونزی و هند. در مقابل حدود ۸۰ کشور جهان با کمبود شدید آب مواجه هستند. برخی از آنها تقریباً به هیچ منبع آب شیرین دسترسی مناسبی ندارند. دسترسی به آب کافی و مناسب در برخی از کشورها از جمله کویت، بحرین، مالت، امارات متحده عربی، سنگاپور، اردن و لیبی به بحرانی جدی تبدیل شده است. براساس مطالعات سازمان ملل، بیش از ۹۰۰ میلیون نفر از جمعیت جهان در نقاطی ساکن‌اند که با خطر تغییر آب و هوا و گسترش بیابان رو به رو هستند؛ ۱/۴ میلیارد نفر انسان از دسترسی به آب

#### جدول ۱- میانگین شاخص بهره‌وری آب در بخش‌های اقتصادی در برخی از کشورها

(واحد: تولید ناخالص داخلی (دلار) به ازای یک متر مکعب آب)

Table 1- Average water productivity index in economic sectors in some countries (Unit: Gross Domestic Product (USD) per cubic meter of water)

| ردیف | نام کشور  | کشاورزی     | صنعت     | کل    | ردیف | نام کشور | کشاورزی     | صنعت     | کل    |
|------|-----------|-------------|----------|-------|------|----------|-------------|----------|-------|
| row  | Country   | Agriculture | Industry | Total | row  | Country  | Agriculture | Industry | Total |
| ۱    | ازبکستان  | ۲/۵         | ۰/۱      | ۰/۳   | ۱۶   | آرژانتین | ۰/۶         | ۲۱/۶     | ۷/۳   |
| ۲    | آذربایجان | ۰/۱         | ۰/۶      | ۰/۴   | ۱۷   | مکزیک    | ۰/۴         | ۲/۳۳     | ۷/۵   |
| ۳    | قرقیزستان | ۰/۱         | ۱/۲      | ۰/۱   | ۱۸   | ژاپن     | ۱/۲         | ۹۱/۹     | ۵۳/۶  |
| ۴    | عراق      | -           | ۱        | ۰/۵   | ۱۹   | فرانسه   | ۸/۸         | ۴/۹      | ۳/۳۴  |
| ۵    | امریکا    | ۰/۵         | ۹/۶      | ۲۰/۹  | ۲۰   | هند      | ۰/۲         | ۳/۵      | ۰/۸   |
| ۶    | کانادا    | ۲/۵         | ۷/۱      | ۱۶/۴  | ۲۱   | آلمان    | ۲/۳         | ۱۵/۹     | ۴۰/۹  |
| ۷    | استرالیا  | ۰/۶         | ۴۱/۲     | ۱۷/۴  | ۲۲   | ترکیه    | ۱           | ۱۰/۴     | ۵/۳   |
| ۸    | سوریه     | ۰/۳         | ۱۳/۹     | ۱     | ۲۳   | روسیه    | ۱/۳         | ۲        | ۳/۷   |
| ۹    | سودان     | ۰/۱         | ۱۱/۲     | ۰/۴   | ۲۴   | چین      | ۰/۴         | ۲        | ۲/۲   |
| ۱۰   | پاکستان   | ۰/۲         | ۴/۷      | ۰/۵   | ۲۵   | مالزی    | ۱/۵         | ۲۴/۲     | ۱۰/۵  |

ادامه جدول ۱- میانگین شاخص بهره‌وری آب در بخش‌های اقتصادی در برخی از کشورها

(واحد: تولید ناخالص داخلی (دلار) به ازای یک متر مکعب آب)

Table 1- Average water productivity index in economic sectors in some countries (Unit: Gross Domestic Product (USD) per cubic meter of water)

| ردیف | نام کشور | کشاورزی     | صنعت     | کل    | ردیف | نام کشور                | کشاورزی     | صنعت     | کل    |
|------|----------|-------------|----------|-------|------|-------------------------|-------------|----------|-------|
| row  | Country  | Agriculture | Industry | Total | row  | Country                 | Agriculture | Industry | Total |
| ۱۱   | ایران    | ۰/۳         | ۲۶/۲     | ۱/۶   | ۲۶   | آفریقای جنوبی           | ۰/۵         | ۵۳       | ۱۱/۳  |
| ۱۲   | مصر      | ۰/۶         | ۰/۸      | ۱/۶   | ۲۷   | کشورهایی با درآمد پائین | ۰/۳         | ۰/۷      | ۰/۸   |
| ۱۳   | ارمنستان | ۰/۹         | ۲۱/۶     | ۸/۳   | ۲۸   | کشورهایی با درآمد متوسط | ۰/۶         | ۱۹       | ۳/۳   |
| ۱۴   | اسپانیا  | ۱/۳         | ۲۴/۹     | ۱۷/۳  | ۲۹   | کشورهایی با درآمد بالا  | ۲/۷         | ۳۳/۶     | ۲۸/۲  |
| ۱۵   | ایتالیا  | ۰/۶         | ۱۷/۲     | ۲۴/۷  | ۳۰   | میانگین جهان            | ۱           | ۱۸/۷     | ۸/۶   |

ماخذ: گزارش بانک جهانی- ۲۰۱۲

خودکفایی در محصولات اساسی غذایی بوده است (Food and Agriculture Organization, 2020).

قرار گرفتن ایران در کمربند خشک کره زمین با متوسط بارش سالیانه ۲۵۰ میلی‌متر (سازمان هواشناسی)، در بلند مدت آب را به عنوان مهم‌ترین عامل محدود کننده در تولید محصولات کشاورزی قلمداد کرده است؛ آب در این کشور از لحاظ اقتصادی اهمیت بالایی دارد. در کشاورزی آبی، آب عامل اصلی در امنیت غذایی و چرخه اقتصادی کشور به شمار می‌آید (Tajrish et al., 2017). از جمله سیاست‌های حمایتی دولت‌ها در بخش کشاورزی، حمایت از توسعه آبیاری تحت فشار از جمله روش آبیاری بارانی با هدف کاهش میزان مصرف آب و افزایش بهره‌وری آن است.

هدف از این مطالعه، بررسی اثر اقتصادی اجرای برنامه آبیاری نوین در مصرف آب، کاهش هزینه‌های تولید و بالا بردن میزان تولید گندم و بهره‌وری آب مصرفی در تولید گندم از دیدگاه کشاورزان است.

در جدول ۱ بهره‌وری کل آب برای کشورهای مختلف جمع جبری بهره‌وری آب در بخش کشاورزی و صنعت نیست، بلکه نسبت تولید ناخالص کل به کل میانگین جهانی بهره‌وری آب مصرفی در بخش کشاورزی معادل یک و در صنعت معادل ۱۸/۷ واحد است. این رقم برای ایران به ترتیب ۰/۳ و ۲۶/۲ برآورد می‌شود. در کشورهای توسعه یافته، به دلیل سهم بالایی بخش‌های صنعت و خدمات از تولید ناخالص داخلی و نیز فناوری‌های بالاتر در استفاده از منابع آب، شاخص بهره‌وری آب بالاتر است و ارزش افزوده بیشتری نیز نسبت به کشورهای کمتر توسعه یافته دارند. در بسیاری از کشورهای منطقه از جمله چین، هند، یمن، مصر، سوریه، پاکستان و استرالیا آب در حال تبدیل شدن به کالایی کمیاب است، نگرانی‌های اقتصادی، اجتماعی و سیاسی را به همراه دارد. در این کشورها سیاست‌های آب مهم‌ترین بحث سیاست اقتصادی است. در این قبیل کشورها اقتصاد در درجه اول بر اساس کشاورزی بنا شده است و استراتژی برای تولید محصولات کشاورزی و

این نتیجه رسیدند که در بین روش‌های به کار گرفته شده، روش کریجینگ معمولی با مدل نیم‌تغییرنمای نمایی، شرایط مناسبی برای تهیه نقشه پهنه‌بندی بهره‌وری آب گندم دارد (Taheri et al., 2020). برآیند ارزیابی تحلیل مکانی شاخص بهره‌وری آب گندم موید این مطلب است که زمین‌آمار توانسته است با دقت قابل قبولی ( $MBE = 0.05$ ) در تهیه نقشه پهنه‌بندی شاخص بهره‌وری آب گندم به کار گرفته شود. بر پایه نتایج تجزیه خوشه‌ای (کلاستر) عوامل تاثیرگذار (شوری آب آبیاری، شوری خاک، و رقم) در شاخص بهره‌وری آب گندم، مناطق مستعد کشت گندم به ۱۳ گروه مستقل در سطح پنج درصد در محدوده مطالعاتی تفکیک شد به نحوی که بیشترین و کمترین میانگین بهره‌وری آب گندم به ترتیب در گروه ۵ (کیلوگرم بر مترمکعب  $0.84 =$  میانگین) و گروه ۱۰ (کیلوگرم بر مترمکعب  $0.41 =$  میانگین) مشاهده شد

در مطالعه مروری سلطانی (Soltani, 2019) با عنوان "بازنگری کارایی مصرف و بهره‌وری آب کشاورزی با تأکید بر حقایق‌های زیست‌محیطی" نشان داده شده است که باید ابتدا مفاهیم اساسی کارایی مصرف آب کشاورزی با در نظر گرفتن پیوند میان سه نوع کارایی مذکور تشریح گردد. پس از آن امکان صرفه‌جویی آب از طریق کاربرد فناوری‌های پیشرفته آبیاری بررسی می‌شود و ضمن مطرح کردن محدودیت هیدولوژی و سایر محدودیت‌ها نشان داده شده است که کاربرد فناوری‌های به اصطلاح "آب اندوز" می‌تواند به گسستگی چرخه آب و کاهش حقایق‌های زیست‌محیطی منجر شود. در پایان ضمن ارائه شواهدی از ایران و جهان برخی از محدودیت‌ها و موارد مربوط به بهبود کارایی و کاربرد فناوری‌های پیشرفته آبیاری ارائه گردیده است.

گندم محصول استراتژیک بخش کشاورزی است که در جهان مجموعاً ۷۱۲ میلیون تن در سال تولید می‌شود و ۲۸ درصد غلات جهان را تشکیل می‌دهد. کشورهای عمده تولید کننده گندم عبارت‌اند از چین ۱۳۲ میلیون تن؛ هند ۹۳/۵ میلیون تن؛ روسیه ۷۳ میلیون تن؛ آمریکا ۶۳ میلیون تن؛ کانادا ۳۰ میلیون تن؛ فرانسه ۲۹/۵ میلیون تن؛ اوکراین ۲۶/۵ میلیون تن؛ پاکستان ۲۶ میلیون تن؛ آلمان ۲۵ میلیون تن؛ استرالیا ۲۳ میلیون تن و ایران با سطح زیر کشت ۷ میلیون هکتار (۲/۵ میلیون هکتار آبی و ۴/۵ میلیون هکتار دیم) و تولید ۱۵ میلیون تن در سال در رتبه سیزدهم جهان قرار دارد (Food and Agriculture Organization, 2020). استان اردبیل با سطح زیر کشت ۳۵ هزار هکتار و با تولید ۷۴۰ هزار تن گندم در رتبه چهارم کشور قرار دارد (Ardabil Agricultural Jihad Organization, 2018).

گمرکچی و همکاران در ارزیابی قابلیت مدل‌های مبتنی بر داده‌کاوی در پیش‌بینی عملکرد گندم آبی در کشور، نتیجه گرفتند که ضریب تبیین مدل شبکه عصبی مصنوعی و مدل رگرسیون خطی چند متغیره به ترتیب برابر ۰/۶۷۲ و ۰/۵۷۷ است که با اعمال گروه‌بندی داده‌ها به روش درختی ضریب تبیین مدل پیش‌بینی به ۰/۷۶۲ افزایش می‌یابد (Gomrokchi et al., 2021). نتایج خروجی مدل درختی هم نشان داد مناطق عمده تولید گندم در سطح کشور از نظر حجم آب مصرفی به ۴ گروه مستقل قابل تفکیک است. این محققان نتیجه گرفتند که مدل درختی با اعمال گروه‌بندی هدفمند در داده‌های ورودی می‌تواند به عنوان ابزاری قدرتمند در تخمین عملکرد گندم آبی در قطب‌های عمده تولید گندم در سطح کشور به کار گرفته شود.

طاهری و همکاران در مطالعه تحلیل مکانی شاخص بهره‌وری آب در قطب‌های تولید گندم به

و مدیریت آبیاری دارد. این شکاف همچنین نشان می‌دهد که فرصت‌های بالقوه‌ای برای ارتقای بهره‌وری آب و کاهش فشار به منابع آب و افزایش امنیت غذایی وجود دارد.

نتایج مطالعات کریمی و جلینی (Karimi & Joleini, 2017) نشان داد اولویت کشت محصولات تا رتبه سوم بر اساس شاخص CPD به ترتیب پیاز، گوجه فرنگی و چغندر قند و بر اساس شاخص‌های BPD و NBPD به ترتیب سیب زمینی، پیاز و گوجه فرنگی هستند. با توجه به نتایج این تحقیق، کشت‌های با مصرف آب بالا و بازده اقتصادی پایین مانند یونجه باید از الگوی کشت حذف شود. این کار هم باعث کاهش مصرف و استحصال آب می‌شود و هم متضمن منافع اقتصادی بالا برای کشاورزان و بهره‌برداران کشاورزی است.

در مطالعات علیزاده و ابراهیمیان (2016) و Ebrahimian & Alizadeh) با عنوان "بررسی وضعیت بهره‌وری آب آبیاری در سه استان البرز، تهران، قزوین"، نتایج نشان می‌دهد که مقادیر متوسط بهره‌وری آب گیاه ذرت (دانه‌ای) در استان البرز (۱/۲۷ کیلوگرم بر مترمکعب) بیشتر است تا در استان قزوین (۱/۱۴ کیلوگرم بر مترمکعب)؛ متوسط مقدار بهره‌وری آب گیاهان جو، گندم و چغندر قند (ریشه) (به ترتیب ۱/۵۱ و ۱/۸۳ و ۲/۱۹ کیلوگرم بر مترمکعب) در استان البرز بیشتر از استان قزوین (به ترتیب ۰/۷۴ و ۰/۷۹ و ۱/۶۵ کیلوگرم بر مترمکعب) است؛ و مقدار بهره‌وری آب محصولات یونجه و سیب زمینی (غده) (به ترتیب ۰/۹۸ و ۱/۸ کیلوگرم بر مترمکعب) در استان قزوین بیشتر از استان البرز (به ترتیب ۰/۳۱ و ۰/۸۸ کیلوگرم بر مترمکعب) بدست آمد.

کریمی و همکاران در ارزیابی فنی و اقتصادی روش‌های آبیاری قطره‌ای و شیاری در کشت پنبه تحت اعمال کم‌آبیاری، به این نتیجه رسیدند که

سلامتی و همکاران در تعیین بهره‌وری مصرف آب در سامانه‌های آبیاری سطحی و بارانی گندم (مطالعه موردی در بهبهان) نشان دادند که راندمان کاربرد مزرعه از ۲۲/۷ تا ۹۹/۷ درصد در نوسان است. میانگین بهره‌وری مصرف آب گندم در مزارع با سامانه آبیاری بارانی و سطحی در شهرستان بهبهان معادل ۰/۹۲ کیلوگرم بر مترمکعب است (Salamati et al., 2018). بالاترین مصرف آب در مزارع زیرپوشش چشمه‌ها به میزان ۴۶۲۶ مترمکعب بر هکتار به ثبت رسید. نتایج مقایسه میانگین نیاز آبی در آزمون تی (t-Test) نشان داد که میانگین سند ملی و به‌روز شده به ترتیب با ۴۸۳/۴ و ۴۵۵/۰ میلی‌متر در کل دوره رشد، اختلاف معنی‌داری با هم دارند. ضرایب همبستگی پیرسون نشان داد که روند تغییرات حجم آب مصرفی، تغییراتی معنی‌داری در سطح ۱ درصد و غیر هم‌راستا با روند تغییرات شاخص راندمان کاربرد و بهره‌وری مصرف آب دارد. هرچه دبی مزرعه و حجم آب مصرفی افزایش یابد بهره‌وری مصرف آب کاهش پیدا می‌کند.

مطالعه شکاف عملکرد و شکاف بهره‌وری آب گندم، جو و ذرت در استان قزوین نشان داد شکاف عملکرد گندم، جو و ذرت در این استان به ترتیب ۵/۵، ۵/۴ و ۶/۷ تن بر هکتار و شکاف بهره‌وری آب گندم، جو ذرت به ترتیب ۰/۸۲، ۰/۴۷ و ۱/۲۲ کیلوگرم بر مترمکعب است (Jenab & Nazari, 2018). در بین نواحی اقلیمی مختلف، شکاف عملکرد و بهره‌وری آب متفاوت بوده بهره‌وری آب در سال‌های مختلف تغییراتی داشته است. متوسط شاخص بهره‌وری نسبی آب (نسبت بهره‌وری فعلی به بهره‌وری پتانسیل) نیز برای گندم، جو و ذرت به ترتیب ۰/۳۷، ۰/۵۴ و ۰/۳۹ درصد برآورد گردید. از این منظر، در بین محصولات مورد مطالعه، جو وضعیت بهتری داشته است. بالا بودن شکاف بین وضعیت موجود و وضعیت پتانسیل نشان از نقاط ضعف قابل توجه در مدیریت تولید کشاورزی

اساس نتایج مطالعه حیدری (Heydari, 2014) شاخص بهره‌وری آب پتانسیل و فعلی در حوضه آبریز کرخه به ترتیب برابر با ۲/۰۵ و ۰/۸۲ کیلوگرم بر متر مکعب است. در حالی که در کشور ترکیه متوسط دامنه تغییرات بهره‌وری آب ذرت بین ۱/۶۵ تا ۲/۵ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش شده است (Doug Delon et al., 2005)، در این کشور، متوسط بهره‌وری آب برابر ۱/۲ کیلوگرم بر متر مکعب آب است (Burak, 2005). نتایج بررسی‌ها نشان داده است که بهبود شیوه‌های مدیریتی آب و خاک در سال‌های اخیر باعث افزایش بهره‌وری آب شده، به طوری که با کاربرد روش‌های جدید آبیاری از جمله روش‌های آبیاری بارانی و قطره‌ای، با توجه به بهبود مدیریت آبیاری در مزرعه، بهره‌وری آب به میزان قابل توجهی افزایش یافته است (Dehghani et al., 2006).

جلالیان در مطالعه‌ای با عنوان "تحلیل اثرات نظام‌های آبیاری نوین بر وضعیت بهره‌برداران کشاورزی در شهرستان خدابنده" نتیجه گرفته است که اجرای طرح آبیاری نوین اثرهای اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی بر وضعیت کشاورزی منطقه داشته است، به طوری که بر اساس آزمون میزان عملکرد در واحد سطح و همچنین اشتغال‌زایی طرح بعد از اجرای آن تفاوت معنی‌داری با قبل از اجرا نشان می‌دهد و روند افزایشی داشته است (Jalalian, 2012). (Ezzati et al., 2014) هم در بررسی موانع و مشکلات گندمکاران در کاربرد فناوری آبیاری تحت فشار از دیدگاه اعضای تعاونی‌های تولید کشاورزی شهرستان‌های اردبیل و بيله سوار نشان دادند که بین میزان گندم تولیدی هر هکتار زمین زراعی قبل و بعد از اجرای سیستم آبیاری تحت فشار و نیز میزان درآمد خالص سالانه هر هکتار گندم قبل و بعد از اجرای این سیستم در

عملکرد به میزان ۸ درصد و بهره‌وری آب مصرفی به میزان ۴۸ درصد در سیستم آبیاری قطره‌ای نسبت به آبیاری شیاری بیشتر است و میزان آب مصرفی هم ۴۰ درصد کاهش داشته است (Karimi et al., 2014). مطالعات کراری قره‌باغی و همکاران (Karari et al., 2014) در منطقه شهرستان ارومیه نشان داده است که ارزش اقتصادی هر متر مکعب آب در تولید گندم ۷۲۶ ریال است، درحالی که کشاورزان تنها ۱۷ درصد آن را (۱۲۵ ریال به ازای هر متر مکعب) پرداخت می‌کنند و کشاورزان انگیزه لازم برای صرفه جویی در مصرف آب را ندارند. اسپلیمن و همکاران با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها کارایی مصرف آب عوامل موثر بر آن را در مزارع آفریقای جنوبی تجزیه و تحلیل کردند و نشان دادند که میانگین کارایی آب در شرایط بازده ثابت و متغیر نسبت به مقیاس به ترتیب ۴۳ و ۶۷ درصد است و عواملی چون شیوه آبیاری، مالکیت زمین، اندازه زمین و انتخاب محصول بر کارایی آب آبیاری موثر بوده‌اند (Spliman et al., 2008). یلماز و همکاران (Yelmaz et al., 2009) با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها کارایی آب مصرفی حوضه آبریز مندراس ترکیه را بررسی و کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده را با توجه به محدودیت‌ها ارزیابی کردند. فریجادی و همکاران (Farijad et al., 2009) کارایی مصرف آب در گلخانه‌های تونس و عوامل موثر بر آن را با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها بررسی کردند و نشان دادند که میانگین کارایی آب در شرایط بازده ثابت و متغیر نسبت به مقیاس به ترتیب ۴۲ و ۵۲ درصد است.

بر اساس نتایج تحقیق آبسالان و همکاران (Absalan et al., 2007) برای مناطق با آب و خاک شور تا نسبتاً مطلوب، بهره‌وری آب گندم از ۰/۲۴ تا ۱/۲ کیلوگرم بر مترمکعب بوده است. بر

گروه کشاورزان دارای آبیاری بارانی (۱۷۵۰ نفر)، و از گروه کشاورزان دارای آبیاری سنتی نیز به همین تعداد افراد به عنوان نمونه انتخاب شدند. در مجموع ۳۴۰ فقره پرسش‌نامه از دو گروه کشاورزان مذکور تکمیل شد و اطلاعات آن پس از استخراج؛ با استفاده از نرم افزار ایویوز (Eviews)، شاخصه‌های آماری و مدل‌های اقتصادسنجی (تابع تولید) تجزیه و تحلیل گردید.

متغیرهایی که مورد نیاز مطالعه بوده و تعریف شده‌اند عبارت‌اند از:

- سطح زیر کشت
- تعداد کارگر خانوادگی
- مقدار بذر، کود و سم مصرفی
- نسبت درآمد به هزینه
- سابقه فعالیت کشاورزی
- سواد و آگاهی کشاورز
- شغل دوم کشاورز
- محل سکونت کشاورز
- هزینه‌های قبل از اجرای طرح آبیاری نوین
- برخورداری کشاورزان از دوره‌های آموزشی و ترویجی
- تابع تولید روشی منظم برای نشان دادن رابطه بین مقادیر مختلف نهاده یا منابع است که برای تولید محصول (ستاده) و یا عملکرد مربوط به آن محصول به کار می‌رود. به عبارتی، تابع تولید رابطه‌ای است فنی بین عوامل تولید (نهاده‌ها) و محصول. طبق نظریه‌های تولید، مقدار تولید معینی از هر محصول تابعی است از مصرف نهاده‌های مختلف. اگر  $Y$  بیانگر مقدار تولید باشد خواهیم داشت:

$$Y = f(X_1, \bar{X}_2) \quad (1)$$

که در آن،

سطح یک درصد تفاوت معنی‌داری وجود دارد. همچنین بر اساس نتایج تحلیل عاملی چالش‌های کاربرد فناوری آبیاری تحت فشار از دیدگاه کشاورزان مورد مطالعه، این چالش‌ها در چهار گروه (عوامل فنی، اجتماعی، طبیعی و اقتصادی) دسته‌بندی شدند. این چهار عامل در مجموع ۶۴/۲۱ درصد از واریانس کل را تبیین کردند.

جمع بندی نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که استفاده از روش آبیاری نوین، از جمله آبیاری بارانی، می‌تواند در صرفه‌جویی مصرف آب در تولیدات کشاورزی موثر باشد. ولی به دیدگاه‌های کشاورزان کمتر پرداخته شده است. همچنین، میزان افزایش تولید و صرفه‌جویی در مصرف نهاده‌ها و کاهش هزینه تولید از مواردی است که کمتر به آنها پرداخته شده‌است؛ در این تحقیق این قبیل موضوعات به تفصیل بررسی شده‌اند.

## مواد و روش‌ها

در مطالعات اقتصادی و اجتماعی معمولاً از دو روش سنجی و برنامه ریاضی برای رسیدن به هدف‌های تحقیق استفاده می‌شود. در این مطالعه، بنا به دلایلی، از روش سنجی تابع تولید استفاده شده است. این تحقیق از لحاظ هدف، کاربردی و از لحاظ نحوه جمع‌آوری اطلاعات نیز از نوع تحقیقات توصیفی است و در آن از روش پیمایشی (پرسش‌نامه) برای دستیابی به هدف‌ها بهره گرفته شده است. جامعه آماری مورد نظر کشاورزان استان اردبیل هستند.

دو روش متداول برای تعیین حجم نمونه در تحقیقات یکی استفاده از فرمول شارل کوکران و دیگری جدول مورگان است. استفاده از روش فرمول کوکران ساده‌ترین روش برای تعیین حجم نمونه است. برای مطالعه حاضر ۱۷۰ نمونه از جامعه آماری



ارزش بهره‌وری نهایی نهاده برابر قیمت آن باشد در این حالت می‌توان گفت که مقدار مصرف نهاده‌ها اپتیمم است.

$$VMPX_i = P_{X_i} \Rightarrow \frac{VMPX_i}{P_{X_i}} = 1 \quad (4)$$

برای تعیین استفاده کارا از عوامل تولید، از نسبت  $\frac{VMPX_i}{P_{X_i}}$  استفاده می‌شود. این نسبت اگر برابر یک باشد نشان می‌دهد که از نهاده  $i$  ام بهینه استفاده می‌شود و مقدار مصرف باید در این حد بماند.

### نتایج و بحث

تعداد افراد تحت تکفل خانوار نشان دهنده بعد خانوار در مناطق روستایی و از لحاظ تأمین نیروی کار مورد نیاز برای فعالیت‌های کشاورزی و دامداری با اهمیت است.

بعد خانوار می‌تواند از نظر اقتصادی در ایجاد درآمد و تأمین بخشی از هزینه‌های تولید و همچنین هزینه‌های خانواده، موثر و نقش آفرین باشد. حدود ۵۰ درصد از جامعه آماری مورد مطالعه دارای تعداد افراد تحت تکفل بین ۴ تا ۵ نفر است. سی و هشت (۳۸) درصد نیز دارای کمتر از ۳ نفر هستند. فقط ۱۲ درصد بیش از ۶ نفر تحت تکفل دارند. متوسط افراد تحت تکفل کشاورزان مورد مطالعه ۳/۸۳ نفر است که با توجه به آمار مرکز آمار ایران، بیشتر از متوسط بعد خانوار کشور در مناطق روستایی (۳/۴) است. از لحاظ وضعیت سنی نیز، بیشتر کشاورزان منطقه مورد مطالعه در رده سنی ۴۰ تا ۵۹ (۵۷ درصد) قرار دارند؛ سن ۲۸ درصد از کشاورزان هم بالای ۶۰ سال است.

$f$  = رابطه تابعی؛  $X$  = بردار نهاده‌های متغیر؛ و  $\bar{X}$  = بردار نهاده‌های ثابت یا شبه ثابت (موسی نژاد و نجارزاده، ۱۳۷۶). به عبارت دیگر، تابع تولید رابطه فیزیکی بین مقدار تولید و مقدار نهاده‌های مصرفی را تبیین می‌کند. بیش از ۳۰ مدل برای برآورد تابع تولید وجود دارد. از آنجا که مدل تابع تولید ترانسلوگ، در مقایسه با سایر مدل‌های توابع تولید، در تحقیقات اقتصاد کشاورزی بیشترین کاربرد را دارد، در این مطالعه نیز از این مدل استفاده شده است. در این نوع از تابع، توان یک، توان دو و اثرهای متقابل متغیرهای مستقل مورد توجه است. فرم تابع تولید ترانسلوگ با  $n$  نهاده متغیر به صورت زیر است:

$$\log y = \log \alpha + \sum_{i=1}^n \beta_i \log x_i + \sum_{i=1}^n u_i + \sum_{i,j=1}^n \gamma_{ij} (\log x_i)^2 + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \delta_{ij} \log x_i \log x_j \quad (2)$$

که در آن،

$y$  = بیانگر مقدار تولید؛ و  $x_i$  = نهاده‌ها؛ و  $u_i$  = هم‌جمله خطای تصادفی.

این تابع درحالتی که  $\beta_i + \gamma_{ij} = 0$  باشد به تابع تولید کاب-داگلاس تبدیل می‌شود (Akbari & Renani, 1996) پس از محاسبه بهره‌وری نهایی، می‌توان از رابطه زیر ارزش بهره‌وری نهایی را محاسبه کرد.

$$VMPX_i = MPX_i * PY \quad (3)$$

با توجه به اینکه بازار محصولات کشاورزی از لحاظ قیمت تا حدودی از بازار رقابتی پیروی می‌کند، اگر

جدول ۲- وضعیت سنی کشاورزان مورد مطالعه (درصد)

Table 2- Age status of the farmers involved in the project (percentage)

| میانگین<br>average | کشاورزان دارای آبیاری<br>نوبین<br>Farmers practising Sprinkler<br>irrigation method | کشاورزان دارای آبیاری سنتی<br>Farmers practising traditional<br>irrigation | گروه سنی<br>age category               |
|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| ۱۵                 | ۱۴                                                                                  | ۱۷                                                                         | کمتر از ۳۹ سال<br>Less than 39 years   |
| ۵۷                 | ۶۰                                                                                  | ۵۳                                                                         | بین ۴۰ و ۵۹ سال<br>Between 40-59 years |
| ۲۸                 | ۲۶                                                                                  | ۳۰                                                                         | سن بالای ۶۰ سال<br>over 60 years       |
| ۵۳/۲۹              | ۵۴/۱۶                                                                               | ۵۲/۴۳                                                                      | میانگین<br>average                     |

مأخذ: یافته تحقیق

در کشور، میزان بی‌سوادی در جوامع روستایی کشور بیش از ۲۰ درصد است که این رقم برای جامعه مورد مطالعه ۱۷ درصد برآورد شده است.

میزان برخورداری کشاورزان دارای آبیاری بارانی از خدمات و برنامه‌های آموزشی و ترویجی ویژه آبیاری بارانی و اصول کاشت، داشت و برداشت محصول، بیش از میزان برخورداری کشاورزان دارای آبیاری سنتی است. جدول ۳ نشان می‌دهد که ۷۳ درصد از کشاورزان از خدمات آموزشی و ترویجی ویژه آبیاری تحت فشار برخوردار هستند.

پانزده درصد از کشاورزان کمتر از ۳۹ سال دارند. میانگین سنی کشاورزان منطقه ۵۳/۲۹ سال و در سطح کشور ۵۰ سال است. از لحاظ سطح سواد، در جامعه مورد مطالعه ۱۷ درصد از کشاورزان بی‌سواد، ۳۳ درصد دارای سواد مقطع ابتدایی و خواندن و نوشتن، ۱۶ درصد دارای سواد مقطع راهنمایی، ۱۶ درصد دارای دیپلم، ۵ درصد فوق‌دیپلم، ۱۰ درصد دارای سواد کارشناسی و ۱ درصد هم دارای سواد کارشناسی ارشد هستند. به عبارتی، در جامعه مورد مطالعه فقط ۳۲ درصد دارای سواد دیپلم و بالاترند. طبق آمار موجود

جدول ۳- درصد کشاورزان برخوردار از خدمات آموزشی و ترویجی ویژه آبیاری بارانی

Table 3- Percentage of farmers with special education and extension services for Sprinkler irrigation method

| درصد<br>Percentage | گزینه‌ها<br>Options                                                              | ردیف<br>row |
|--------------------|----------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| ۷۳                 | شرکت در کلاس آموزشی و ترویجی<br>Participate in educational and extension classes | ۱           |
| ۵۵                 | برنامه رادیویی و تلویزیونی<br>Radio and television program                       | ۲           |
| ۹۱                 | نشریه و پوستر ترویجی<br>Extention publication                                    | ۳           |
| ۶۸                 | خدمات مشاوره‌ای کارشناسان<br>Expert consulting services                          | ۴           |
| ۷۱.۸               | میانگین<br>average                                                               | ۵           |

مأخذ: یافته تحقیق

زمین‌های زراعی است. در نظام بهره‌برداری کشاورزی خُرد، از جمله مشکلات مهم در مسیر اقتصادی کردن تولید و تحقق توسعه کشاورزی پایدار، تعدد قطعات زمین‌های زراعی و کوچک بودن اندازه آنهاست. کشاورزی ایران عمدتاً خرده مالکی است و با گذشت زمان، اندازه قطعات زمین‌های کشاورزی به دلیل اجرای قانون ارث، کوچک‌تر و خُرد می‌شود تا آنجا که گاهی فعالیت‌های کشاورزی در آنها غیر اقتصادی خواهد بود. سطح کشت سرانه در کشاورزی کشور، کمتر از ۲ هکتار است. حدود ۸۶/۷ درصد از واحدهای بهره‌برداری کشاورزی کشور کمتر از ۱۰ هکتار هستند. از این تعداد، ۳۴/۶ درصد آن واحدهای زیر یک هکتاری، ۱۵/۴ درصد، واحدهای یک تا ۲ هکتاری، ۲۲/۹ درصد، واحدهای ۲ تا ۵ هکتاری و ۱۴/۱ درصد واحدهای ۵- تا ۱۰ هکتاری هستند (General Agricultural Census, 2014).

سابقه فعالیت کشاورز بیانگر دانش، تجربه و سطح اطلاعات وی در زمینه فعالیت کشاورزی است. این دانش می‌تواند شامل تجربه عملی، دانش بومی و دانش علوم روز کشاورزی باشد. در برنامه‌ریزی‌ها، اجرای طرح‌ها و پروژه‌ها و در بسیاری از تصمیم‌گیری‌هایی که به صورت محلی و منطقه‌ای اتخاذ می‌شوند، سابقه فعالیت کشاورز می‌تواند تاثیر مثبت داشته باشد. میانگین سابقه فعالیت کشاورزی جامعه کشاورزی مورد مطالعه نزدیک به ۳۰/۵ سال است. به‌طور کلی حدود ۴۲ درصد از بهره‌برداران بین ۲۰ تا ۳۹ سال، ۳۳ درصد بیش از ۴۰ سال و ۲۴ درصد هم کمتر از ۱۹ سال سابقه فعالیت کشاورزی دارند.

از لحاظ اقتصاد کشاورزی، اندازه قطعات زمین‌های زراعی و تعداد آنها در کاهش هزینه‌ها و افزایش تولید و درآمد موثر است. یکی از راهکارهای مهم اولیه در اجرای سیستم آبیاری نوین، تجمیع

جدول ۴- تعداد قطعات زمین و اندازه متوسط آن

Table 4- Number of land plots and their average size

| تعداد قطعات زمین‌های کشاورزی کشاورزان     |                                        |                                     |                                     |                                   |                           |                    |
|-------------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|--------------------|
| Number of agricultural plots of farmers   |                                        |                                     |                                     |                                   |                           |                    |
| تعداد قطعات<br>number of<br>plots         | کمتر از ۵ قطعه<br>Less than 5<br>plots | بین ۶-۱۰<br>Between 6-10            | بین ۱۱-۱۵<br>Between 11-15          | بین ۱۶-۲۰<br>Between 16-20        | بیش از ۲۱<br>More than 21 | میانگین<br>average |
| درصد<br>Percentage                        | ۲۷                                     | ۴۲/۵                                | ۱۵/۵                                | ۸/۵                               | ۶/۵                       | ۸/۳                |
| متوسط اندازه قطعات اراضی کشاورزان (هکتار) |                                        |                                     |                                     |                                   |                           |                    |
| Average size of farmers' plots (hectares) |                                        |                                     |                                     |                                   |                           |                    |
| اندازه قطعات<br>size                      | کمتر از ۲<br>Less than 2               | بین ۲/۱ تا ۵<br>Between 2/1 to<br>5 | بین ۵/۱ تا ۸<br>Between 5/1 to<br>8 | بیش از ۸/۱ هکتار<br>More than 8/1 | میانگین<br>average        |                    |
| درصد<br>Percentage                        | ۱۷                                     | ۴۶/۵                                | ۲۴/۵                                | ۷                                 | ۱/۷۳                      |                    |

ماخذ: یافته تحقیق

در جدول ۴ دیده می‌شود که متوسط تعداد قطعات زمین‌های زراعی بهره‌برداران ۸/۳ است، ۲۷ درصد از کشاورزان دارای کمتر از ۵ قطعه، ۴۲/۵ درصد بیش از ۵ قطعه و کمتر از ۱۰ قطعه، ۱۵/۵ درصد بیش از ۱۱ و کمتر از ۱۵ قطعه و ۱۵ درصد هم بیش از ۱۵ قطعه زمین زراعی دارند. اندازه قطعات زمین‌های زراعی ۱۷ درصد از کشاورزان کمتر از دو هکتار، ۴۶/۵ درصد بیش از دو و کمتر از پنج هکتار، ۲۴/۵ درصد بیش از ۵ و کمتر از ۸ هکتار و ۷ درصد هم بیش از ۸ هکتار است. از هدف‌های اجرای سیستم آبیاری نوین در سطح مزارع، ارتقا و بهبود شاخص‌های اقتصادی مصرف آب و تولید بیشتر محصولات کشاورزی است. انتظار می‌رود با اجرای سیستم آبیاری بارانی، امکان جمع‌کردن

زمین‌های زراعی فراهم شود تا تولید اقتصادی شود و با صرفه جویی در مصرف آب و کاهش دیگر نهاده‌های مصرفی، تولید بیشتر محقق گردد. از کل نیاز آبی گندم در منطقه مورد مطالعه، حدود ۲۵ درصد آن از بارندگی و ۷۵ درصد باقیمانده با آبیاری طی دوره زمانی رشد گیاه تامین می‌گردد. نیاز آبی گندم ۴۷۱۰ متر مکعب در هکتار است، که آب قابل تامین از طریق آبیاری ۳۵۳۲ متر مکعب در هکتار خواهد شد. در صورتی که میزان آب کاربردی در دو روش آبیاری (سنتی و نوین) بیش از مقدار مورد نیاز است. همان طوری که جدول ۵ نشان می‌دهد، در روش آبیاری بارانی ۵ درصد و در روش آبیاری سنتی ۲۴ درصد آب بیش از نیاز آبی قابل تامین از طریق آبیاری به مصرف گیاه می‌رسد.

جدول ۵- مقایسه نیاز آبی با آب کاربردی در دو روش آبیاری سنتی و بارانی گندم (متر مکعب در هکتار)

Table 5- Comparison of water requirement with applied water in traditional and sprinkler irrigation methods of wheat (cubic meters per hectare)

| متر مکعب<br>Cubic meters | مولفه<br>Component                                                                                                                                                               |
|--------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ۴۷۱۰                     | کل نیاز آبی<br>Total water requirement                                                                                                                                           |
| ۱۹۹۰                     | آب قابل تامین از طریق باران<br>Water supplied by rain                                                                                                                            |
| ۳۵۳۲                     | آب قابل تامین از طریق آبیاری بارانی<br>Water supplied by sprinkler irrigation                                                                                                    |
| ۴۳۸۰                     | حجم مصرف آب در روش آبیاری سنتی<br>water consumption in traditional irrigation method                                                                                             |
| ۱/۲۴                     | نسبت آب مصرفی روش سنتی به آب قابل تامین گیاه از طریق آبیاری بارانی<br>Ratio of water consumption of traditional method to plant water supply by sprinkler irrigation             |
| ۳۶۹۵                     | حجم مصرف آب در روش آبیاری بارانی<br>water consumption in sprinkler irrigation method                                                                                             |
| ۱/۰۵                     | نسبت آب مصرفی روش نوین به آب قابل تامین گیاه از طریق آبیاری بارانی<br>Ratio of water consumption of the new method to the water supply of the plant through sprinkler irrigation |
| ۰/۸۴                     | نسبت آب مصرفی در روش بارانی به سنتی<br>Ratio of water consumption in sprinkling method to traditional method                                                                     |
| ۱۶                       | صرفه جویی در مصرف آب با اجرای روش بارانی (درصد)<br>Saving water consumption when sprinkling method is used (percentage)                                                          |

ماخذ: یافته تحقیق

دو روش تولید (روش آبیاری بارانی و سنتی) مقایسه شده است. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که نسبت هزینه کل تولید در هکتار با روش آبیاری نوین بارانی به هزینه کل تولید با آبیاری سنتی، برای گندم ۱/۰۷ برآورد شده است، و هزینه آب در روش تولید با آبیاری بارانی نیز بیشتر از هزینه آب در تولید به روش آبیاری سنتی (۱/۱۲) است.

جدول ۵ مقایسه میزان آب کاربردی در دو روش آبیاری را نشان می‌دهد. به‌رغم اینکه در آبیاری بارانی حدود ۱۷ درصد، نسبت به روش آبیاری سنتی، آب کمتر مصرف شده است، ولی در هر دو روش (آبیاری سنتی و بارانی) میزان آب کاربردی برای گندم بیش از مقدار مورد نیاز است. در جدول ۶ وضعیت هزینه‌های تولید و سهم هزینه آب و هزینه آبیاری از کل هزینه‌های تولید در

جدول ۶- مقایسه هزینه تولید در دو روش آبیاری (میلیون ریال در هکتار)

Table 6- Comparison of production costs in two irrigation methods (million Rials per hectare)

| نسبت بارانی به سنتی<br>Sprinkler/<br>traditional | روش بارانی<br>Sprinkler<br>method | روش سنتی<br>Traditional<br>method | هزینه<br>cost                                                      |
|--------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| ۱/۰۷                                             | ۱۹                                | ۱۷/۶                              | هزینه کل<br>Total cost                                             |
| ۱/۱۲                                             | ۳/۲                               | ۲/۸                               | هزینه آب<br>The cost of water                                      |
| ۱/۰۷                                             | ۱۶                                | ۱۵                                | سهم هزینه آب از کل هزینه<br>Share of water cost<br>from total cost |

ماخذ: یافته تحقیق

افزایش هزینه آب در تولید با روش آبیاری بارانی شده است.

#### مقایسه تولید در دو روش آبیاری

طبق آمار وزارت جهاد کشاورزی در سال ۱۳۹۸، میانگین تولید گندم در استان ۲۷۸۸/۶ کیلوگرم در هکتار بوده است. جدول ۱۱ نشان می‌دهد که در جامعه آماری مورد مطالعه، این رقم برای کشاورزان دارای آبیاری سنتی ۲۶۹۸ و برای کشاورزان دارای آبیاری بارانی ۳۸۵۰ کیلوگرم در هکتار است.

دلیل بالا بودن سهم هزینه آب از هزینه تولید در روش آبیاری بارانی این است که اولاً اجرای روش آبیاری بارانی نیاز به تجهیزات آبیاری دارد که هزینه استهلاک آن (با عمر مفید ۲۰ سال) در مجموع هزینه‌ها منظور شده است.

از طرف دیگر براساس قانون آب بها، در سیستم آبیاری بارانی تا ۳ درصد ارزش محصول و در سیستم آبیاری سنتی یک درصد ارزش محصول، از کشاورزان به عنوان آب بها دریافت می‌شود، این امر نیز باعث

جدول ۷- مقایسه میانگین تولید در دو روش آبیاری (کیلو گرم در هکتار)

Table 7- Comparison of average production in two irrigation methods (kg / ha)

| عنوان<br>Title                                                        | روش سنتی<br>Traditional method | روش بارانی<br>Sprinkler method | نسبت بارانی به سنتی<br>Sprinkler/ traditional |
|-----------------------------------------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------------------|
| گندم تولید شده در هکتار<br>Wheat produced per hectare                 | ۲۶۹۸                           | ۳۸۵۰                           | ۱/۴۲                                          |
| تولید به ازای هر متر مکعب آب<br>kg. og wheat per cubic meter of water | ۰/۶۲                           | ۱/۰۴                           | ۱/۷۰                                          |

ماخذ: یافته تحقیق

در جدول ۷، میانگین تولید گندم در آبیاری سنتی، بسیار نزدیک به میانگین تولید در سطح استان و در روش تولید با آبیاری بارانی نسبت به تولید با آبیاری سنتی است. به ازای هر متر مکعب آب در روش آبیاری سنتی معادل ۰/۶۲ کیلو گرم و در روش آبیاری بارانی معادل ۱/۰۴ کیلو گرم تولید گندم برآورد شده است که نسبت این دو عدد ۱/۷۰ است. به عبارت دیگر راندمان مصرف آب در روش آبیاری نوین نسبت به روش آبیاری سنتی در تولید گندم ۱/۷ برآورد می شود.

جدول ۸- مقایسه درآمد و هزینه تولید در دو روش آبیاری (میلیون ریال در هکتار)

Table 8- Comparison of income and production cost in two irrigation methods (million Rials per hectare)

| واحد<br>the unit                                  | درآمد<br>Income                | هزینه<br>cost                  | نسبت درآمد به هزینه<br>Revenue to cost ratio |
|---------------------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|----------------------------------------------|
| روش سنتی<br>Traditional method                    | روش سنتی<br>Traditional method | روش سنتی<br>Traditional method | روش سنتی<br>Traditional method               |
| روش بارانی<br>Sprinkler method                    | روش بارانی<br>Sprinkler method | روش بارانی<br>Sprinkler method | روش بارانی<br>Sprinkler method               |
| میلیون ریال در هکتار<br>Million Rials per hectare | ۳۷                             | ۱۷/۶                           | ۲/۱                                          |
|                                                   | ۴۹                             | ۱۹                             | ۲/۵۸                                         |

ماخذ: یافته تحقیق

در جدول ۸، سود حاصل از تولید گندم با استفاده از روش آبیاری بارانی برابر ۴۹ میلیون ریال و با استفاده از آبیاری سنتی ۳۷ میلیون ریال در هکتار برآورد شده است. به عبارتی دیگر، میزان سود در تولید گندم با استفاده از روش آبیاری بارانی، نسبت به میزان سود حاصل با استفاده از روش آبیاری سنتی، حدود ۱/۷۶ برابر است. افزایش تولید و درآمد نتیجه تاثیر مثبت مستقیم و غیر مستقیم روش آبیاری بارانی است. به منظور بررسی دقیق تاثیر مستقیم و غیر مستقیم روش آبیاری بارانی بر تولید، از تابع تولید استفاده شده است. در این تابع، روش آبیاری به صورت متغیر مجازی در عرض از مبدا و ضرایب متغیرهای مستقل دیگر تابع اعمال و نتایج به دست آمده مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

جدول ۹- متغیرهای مستقل تابع تولید

Table 9- Independent variables of production function

| متغیر           | تعریف                                                                                                                                                                                                                      | متغیر           | تعریف                                                             |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-------------------------------------------------------------------|
| variable        | description                                                                                                                                                                                                                | variable        | description                                                       |
| X <sub>1</sub>  | سطح زیر کشت (هکتار)<br>Area under cultivation (hectares)                                                                                                                                                                   | X <sub>6</sub>  | میزان ماشین الات استفاده شده (ساعت)<br>machines used (hours)      |
| X <sub>2</sub>  | حجم آب مصرفی (متر مکعب)<br>Volume of water consumption (cubic meters)                                                                                                                                                      | X <sub>7</sub>  | سابقه فعالیت کشاورز (مجازی)<br>Farmer activity history (virtual)  |
| X <sub>3</sub>  | مقدار بذر مصرفی (کیلوگرم)<br>Seed consumption (kg)                                                                                                                                                                         | X <sub>8</sub>  | برخورداری کشاورز آموزش (مجازی)<br>Agricultural training (virtual) |
| X <sub>4</sub>  | میزان کود مصرفی (کیلوگرم)<br>Fertilizer consumption (kg)                                                                                                                                                                   | X <sub>9</sub>  | سواد کشاورز (مجازی)<br>Farmer Literacy (Virtual)                  |
| X <sub>5</sub>  | میزان سم مصرفی (کیلوگرم)<br>biocides consumed (kg)                                                                                                                                                                         | X <sub>10</sub> | نیروی کارآبیاری (نفر روز)<br>Irrigation labourer (day person)     |
| X <sub>11</sub> | روش آبیاری (برخورداری فعالیت کشاورزی از روش آبیاری بارانی d = ۱ و در حالت روش آبیاری سنتی d = ۰)<br>Irrigation method (agricultural activity using modern irrigation method d = 1 and traditional irrigation method d = 0) |                 |                                                                   |

برای شناسایی و تشخیص هم‌خطی، از ضرایب همبستگی جزئی استفاده شده است. ضرایب به دست آمده کمتر از مقدار  $\sqrt{R^2}$  است و هم‌خطی بین متغیرهای توضیحی با یکدیگر ضعیف و قابل چشم‌پوشی است. برای بررسی اعتبارسنجی نتایج به دست آمده، از آزمون ثبات پارامتری (cumum) و آزمون نرمال بودن اجزای اخلاص استفاده شده که نتایج نشان می‌دهد هیچ یک از خطاهای تجمعی از مرزها خارج نشده است و این آزمون هیچ گونه تغییر ساختاری را نشان نمی‌دهد. برای بررسی واریانس ناهمسانی، از آماره وایت استفاده شد. نتایج این آماره نیز نشان می‌دهد، با توجه به پایین بودن مقدار  $R^2$  و  $F$  در آماره وایت، مشخص گردید که اختلاف بین  $R^2$  به دست آمده در آماره وایت و تابع تولید برآورد شده، معنی‌دار بوده و فرض  $H_0$  (یعنی ثابت بودن واریانس) تأیید می‌شود و تابع تولید برآورد شده از پایداری بیشتری برخوردار است.

با اجرای سیستم آبیاری بارانی، انتظار می‌رود تغییراتی در میزان مصرف نهاده‌های به کار گرفته شده در تولید، از جمله آب، نیروی کار، کود، بذر، ماشین‌آلات، سم و دیگر نهاده‌ها به وجود آید. به دلیل برخورداری تابع تولید ترانس‌لوگ از انعطاف‌پذیری بیشتر و همچنین به دلیل اثرهای متقابل نهاده‌ها، ترجیح داده شد برای برآورد رابطه عوامل و نهاده‌ها با تولید از مدل تابع تولید ترانس‌لوگ استفاده شود. طبق جدول ۱۰، در تابع تولید ترانس‌لوگ برآورد شده، با توجه به مقدار  $R^2$ ، متغیر وابسته (میزان تولید) توسط متغیرهای مستقل به میزان ۰/۸۴ درصد توضیح داده شده و با توجه به مقدار  $F$  و معنی‌داری آن با یک درصد خطا، بیانگر تأیید تابع تولید برآورد شده است. از طرف دیگر، مقدار آماره D.W برآورد شده که نزدیک به عدد دو (۱/۸۹) است، نشان می‌دهد که در متغیرهای به کار گرفته شده در تابع، خود همبستگی وجود ندارد. همچنین

جدول ۱۰- نتایج برآورد شده تابع تولید ترانسلوگ

Table 10- Results of the translog production function

| متغیر                                                                                                                                     | ضریب               | خطای معیار     | آماره T      | سطح معنی دار      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|----------------|--------------|-------------------|
| Variable                                                                                                                                  | Coefficient        | Standard error | t statistics | Significant level |
| عرض از مبدا<br>Width of origin                                                                                                            | ۴/۵۶               | ۱/۴۸           | ۳/۸۱         | ۰/۰۰۲             |
| حجم آب مصرفی<br>Volume of water                                                                                                           | -۰/۴۱              | ۰/۱۷           | -۱/۷۳        | ۰/۰۱۳             |
| بذر مصرفی<br>Seed consumed                                                                                                                | ۱/۱۱               | ۰/۳۳           | ۲/۵۲         | ۰/۰۱۲             |
| میزان ماشین آلات استفاده شده<br>machines used                                                                                             | ۰/۴۲               | ۰/۲۱           | ۲/۰۲         | ۰/۰۳۶             |
| سطح زیر کشت به توان دو<br>The area under cultivation to the power of two                                                                  | -۰/۴۴              | ۰/۲۳           | -۲/۰۰        | ۰/۰۴۱             |
| اثر متقابل سطح زیر کشت و حجم آب مصرفی<br>Interaction between the area under cultivation and the volume of water consumed                  | ۰/۱۸               | ۰/۰۷۶          | ۲/۴۰         | ۰/۰۱۶             |
| اثر متقابل سطح زیر کشت و بذر مصرفی<br>Interaction of area under cultivation and seed consumption                                          | -۰/۲۱              | ۰/۰۷           | -۲/۴۱        | ۰/۰۱۵             |
| اثر متقابل سطح زیر کشت و کود مصرفی<br>Interaction of area under cultivation and fertilizer application                                    | ۰/۱۲               | ۰/۰۸           | ۱/۷۰         | ۰/۰۸۲             |
| اثر متقابل سطح زیر کشت و ماشین آلات استفاده شده<br>Interaction of cultivated area and used machinery                                      | -۰/۰۵              | ۰/۰۱           | -۱/۹۱        | ۰/۰۵۰             |
| اثر متقابل آموزش و نیروی کار آبیاری<br>Interaction between training and irrigation labourer                                               | ۰/۹۲               | ۰/۵۱           | ۱/۷۹         | ۰/۰۷۰             |
| اثر متقابل آموزش و سم مصرفی<br>The interaction between education and toxin consumption                                                    | ۰/۲۱               | ۰/۱۰           | ۱/۷۳         | ۰/۰۷۵             |
| اثر متغیر مجازی آموزش بر بذر مصرفی<br>The interaction between education and biocide consumption                                           | -۰/۷۱              | ۰/۳۲           | -۲/۲۳        | ۰/۰۲۲             |
| اثر متغیر مجازی روش آبیاری بر بذر مصرفی و آموزش<br>Thr effect of virtual variation of irrigation method on seed consumption and education | ۰/۵۰               | ۰/۱۶           | ۳/۱۶         | ۰/۰۰۶             |
| اثر متغیر مجازی روش آبیاری در آموزش<br>The effect of virtual variation of irrigation method in education                                  | -۰/۲۲              | ۰/۱۱           | -۱/۹۳        | ۰/۰۵۱             |
| متغیر مجازی روش آبیاری<br>Virtual variable of irrigation method                                                                           | ۰/۶                | ۱/۷۸           | ۲/۱۷         | ۰/۰۳۱             |
| R-squared                                                                                                                                 | Adjusted R-squared | ۰/۸۴           |              |                   |
| Sum squared resid                                                                                                                         | S.E. of regression | ۴۲/۳۷          |              |                   |
| F-statistic                                                                                                                               | Durbin-Watson stat | ۱۳۱/۷۲         |              |                   |
| Prob(F-statistic)                                                                                                                         |                    |                |              | ۰/۰۰۱             |

ماخذ: یافته‌های تحقیق



مستقیم برقرار است و اثرهای متقابل سطح زیرکشت و حجم آب، اثرهای متقابل سطح زیر کشت و کود مصرفی، اثرهای متقابل آموزش و نیروی کار آبیاری، اثرهای متقابل آموزش و میزان سم مصرفی بر میزان محصول تولید شده هم‌جهت و مثبت هستند. از طرف دیگر، بین اثرهای متقابل سطح زیرکشت و بذرمصرفی، اثرهای متقابل سطح زیرکشت و ماشین آلات استفاده شده و اثرهای متقابل آموزش بر بذر مصرفی بر میزان محصول تولید شده رابطه معکوس و منفی برقرار است. برای محاسبه بهره‌وری جزئی و تعیین وضعیت اقتصادی مصرف نهاده‌ها، از مفاهیم بهره‌وری متوسط (AP) و بهره‌وری نهایی (MP) استفاده می‌شود.

برای حالت بهینه، نتیجه نسبت  $vmp/px$  برابر با یک است. اگر مقدار این نسبت بالاتر از یک باشد به این معنی است که از نهاده مورد نظر در تولید، کمتر از حد بهینه استفاده می‌شود. کمتر بودن این نسبت از یک به این مفهوم خواهد بود که مقدار نهاده مصرفی در تولید محصول بیش از حد بهینه است. در جدول ۱۱ برای نهاده آب در دو حالت آبیاری سنتی و بارانی محاسبه صورت گرفته است.

در جدول ۱۰ با توجه به معنی‌دار بودن ضریب متغیر مجازی (روش آبیاری)، نشان داده می‌شود که روش آبیاری نوین (بارانی) در جابه‌جایی عرض از مبدأ تابع تولید به سمت بالا تاثیرگذار است. همچنین، تاثیر متغیر آموزش در تولید با روش آبیاری بارانی موثر بوده و اثر مثبتی بر شیب منحنی تولید (به سمت بالا) داشته است. بنابراین، روش آبیاری بارانی می‌تواند به عنوان تکنولوژی موثر در بهبود روند تولید با ترکیب بهینه منابع و نهاده‌های مورد مصرف، مورد توجه باشد. البته رعایت اصول صحیح به‌کارگیری نهاده‌ها و زمان استفاده از آنها در بهبود روند تولید بی‌تاثیر نخواهد بود و علاوه بر اینکه سبب کاهش هزینه‌ها و افزایش تولید محصول می‌شود، زمینه را برای پایداری و حفظ منابع و نهاده‌های پایه تولید فراهم می‌کند. نتایج تحقیق همچنین نشان می‌دهد به‌رغم اینکه تغییر روش آبیاری از سنتی به نوین موجب کاهش مصرف آب شده است، ولی هنوز هم حجم آب مصرفی بیش از میزان حجم آب مورد نیاز گیاه است و باز هم امکان کاهش مصرف آب وجود دارد. جدول ۱۰ نشان می‌دهد که در کشاورزی با روش آبیاری بارانی، بین میزان بذر مصرفی با میزان محصول تولید شده رابطه

جدول ۱۱- مقایسه بهره‌وری آب در دو روش آبیاری (بارانی-سنتی) تولید گندم

Table 11- Comparison of water efficiency in two irrigation methods (sprinkler-traditional) wheat production

| روش آبیاری<br>Irrigation method | تولید در<br>هکتار<br>(کیلو گرم)<br>Production per hectare (kg) | آب مصرفی در<br>هکتار (متر مکعب)<br>Water consumption per hectare (cubic meters) | ارزش محصول<br>(هزار ریال)<br>Product value (thousand Rials) | قیمت<br>واحد<br>آب (ریال)<br>Unit price of water (Rials) | متوسط تولید<br>در هکتار<br>(کیلو گرم)<br>Average production per hectare (kg) | تولید نهایی<br>آب<br>(کیلو گرم)<br>Final water production (kg) | ارزش تولید<br>نهایی آب<br>(ریال)<br>Value of final water production (Rials) | نسبت ارزش تولید<br>نهایی آب به قیمت آب<br>The ratio of the final production value of water to the price of water |
|---------------------------------|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| روش سنتی<br>traditional method  | ۲۶۹۸                                                           | ۴۳۸۰                                                                            | ۳۳۷۲۵                                                       | ۱۵۸۹                                                     | ۲/۱۲                                                                         | -۰/۰۴                                                          | -۵۰۰                                                                        | -۰/۳۱                                                                                                            |
| روش بارانی<br>Sprinkler method  | ۳۸۵۰                                                           | ۳۶۹۰                                                                            | ۴۸۱۲۵                                                       | ۹۱۷۶                                                     | ۳/۰۱                                                                         | ۰/۰۱۱                                                          | ۱۳۷۵                                                                        | ۰/۰۱۵                                                                                                            |

داشته است، این اختلاف با خطای ۵ درصد معنی دار است. ولی حجم آب مصرفی در روش تولید با آبیاری بارانی نسبت به نیاز آبی گیاه (گندم) حدود ۳۰ درصد بیشتر است. که امکان کاهش مصرف آب در روش آبیاری بارانی باز هم وجود دارد. اگر بهره‌وری را میزان محصول تولید شده از هر واحد نهاده مصرفی در نظر بگیریم، طبق برآوردها به ازای هر متر مکعب آب مصرف شده در روش آبیاری بارانی ۱/۰۴ کیلو- گرم گندم تولید شده است. در صورتی که در روش آبیاری سنتی میزان گندم تولید شده به ازای هر متر مکعب آب ۰/۶۲ کیلوگرم است. مقایسه این دو عدد نشان می‌دهد که بهره‌وری آب در روش آبیاری بارانی، نسبت به بهره‌وری آب در روش آبیاری سنتی، بیش از ۱/۸ برابر است.

به‌طور کلی، تابع تولید برآورد شده نشان می‌دهد با اعمال روش آبیاری بارانی، به عنوان تکنولوژی تولید، تابع تولید به سمت بالا منتقل و کشاورزی با روش آبیاری بارانی موجب بهبود در ترکیب نهاده‌ها و مصرف مناسب و به موقع آنها شده است و در نتیجه، میزان محصول تولید شده نیز افزایش یافته است. بنابراین، با اجرای سیستم آبیاری بارانی هم در مصرف حجم آب صرفه جویی شده و میزان نهاده های مصرف شده و هزینه‌های تولید کاهش یافته و هم اینکه میزان تولید گندم افزایش داشته است.

جدول ۱۱ نشان می‌دهد که نسبت ارزش نهایی تولید به قیمت نهاده آب ( $vmp/px$ )، در حالت تولید با روش آبیاری سنتی منفی و کمتر از یک است و در تولید با روش آبیاری نوین بارانی مثبت و کمتر از یک است. به این مفهوم که در هر دو روش، حجم آب برای تولید محصول بیشتر از حد مورد نیاز مصرف می‌شود. ولی میزان مصرف آب در تولید با روش آبیاری سنتی نسبت به روش آبیاری بارانی بیشتر است. از این رو لازم است در هر دو حالت حجم آب مصرفی کاهش یابد. مهم‌ترین نهاده‌ای که می‌تواند در استفاده بهینه از سایر نهاده‌ها در فرآیند تولید محصولات کشاورزی موثر باشد مدیریت است، اینکه نهاده‌ای به چه مقدار و در چه مقطع زمانی و با چه اصول و روشی استفاده شود. بنابراین، آموزش دادن و آگاهی دادن نیروی انسانی و کشاورز می‌تواند اعمال مدیریت صحیح بر فرایند تولید را فراهم کند. در مدل برآوردی نیز نشان داده شده است که آموزش می‌تواند با تسهیل پذیرش تکنولوژی جدید توسط کشاورز، بر افزایش تولید محصول اثر مثبت داشته باشد.

### نتیجه‌گیری

برآوردها نشان می‌دهد که حجم آب کاربردی در روش آبیاری بارانی نسبت به حجم آب کاربردی در روش آبیاری سنتی به میزان ۱۷ درصد کاهش

### مراجع

- Abbasi, F. Sohrab, F & Abbasi, N. (2016). Evaluation of irrigation water efficiency in Iran. Journal of Engineering Research on Irrigation and Drainage Structures, 67(17), pp. 128-113. (In Persian)
- Absalan, S. Heydari, N. Abbasi, F. Farahani, H. Siadat, H. & Oweis, T. (2007). Determination and Evaluation of Water Productivity in the Saline Areas of Lower Karkheh River Basin

- (KRB), Iran. International Workshop on Improving Water productivity and Livelihood Resilience in Karkheh River Basin. (In Persian).
- Alizadeh, A. & Ebrahimian, H. (2015). Study of irrigation water efficiency in three provinces of Alborz, Tehran and Qazvin. Fourth International Conference on Applied Research in Agricultural Sciences. (In Persian)
- Borzoi, M. et al. (2015). An overview of the challenges and consequences of the water crisis with emphasis on groundwater resources (Taybad Plain). The first national conference on water management with the approach of optimal water consumption in agriculture. (In Persian)
- Burak, S.(2005). Water Use Efficiency Report/Turkey. Water Use Efficiency Experts Meeting.
- Dagdelen, N. Yilmaz, E. Sezgin, F. & Gurbuz, T. (2005). Water-yield Relation and Water Use Efficiency of Cotton (*Gossypium Hirsutum* L.) and Second Crop Corn (*Zea mays* L.) in western Turkey. Agric. Water Manage, 82(1-2),pp. 63-85
- David, D. (1997). Economics of agricultural production. Translation: Musa Nejad, M. Tehran: Tarbiat Modares University Press.
- Doppler,W. Salman, A . Z. Al-Karablieh, E.K. & Wolff, H.P.(2002).The impact of water price strategies on the allocation of irrigation water: the case of the jordan valley.Agricultural water management,5,pp.171-182 .
- Ezzati, R. et al. (2014). Obstacles and problems of wheat farmers in the application of pressurized irrigation technology from the perspective of members of agricultural production cooperatives in Ardabil and Bilesvar. Cooperative and Agriculture Quarterly, 3(9), pp. 1-17. (In Persian)
- Food and Agriculture Organization of the United Nations, Online. (2020).
- Gilory, M. & Webster, A. (2020) Labour skills & the UK's comparative advantage with its European Union Partner, Applied Economics, 27,pp. 327-342.
- Frija,A. Chebil,A. Speelman,S. Buysse, J. & Van Haylenbroeck, C. (2009). Water use and technical efficiencies in horticultural green houses in tunisia.AGWAT,2808,pp.1-80.
- Gomrokchi, A. Baghani, J. & Abbasi, F. (2021). Assessing the capability of data mining models in predicting irrigated wheat yield in the country. Journal of Water and Soil, 35(2), pp. 202-189. (In Persian)
- Heydari, N. (2014). Evaluation of agricultural water productivity indicators and performance of water management policies and programs in this field. parliament and Strategic Quarterly, 21(80).
- Ishraqi, F. et al. (2012). Investigating the productivity of water consumption economy in Golestan. Journal of Water Research in Agriculture, 26(3). (In Persian)

- Jenab, M. & Nazari, B. (2018). Study of yield gap and water productivity gap of wheat, corn and barley in Qazvin province. Iranian Journal of Soil and Water Research (Iranian Agricultural Sciences), University of Tehran, 49(6). (In Persian)
- Karimi, P. A. S. Qureshi. Bahramloo, R & Molden, D . (2012). Reducing carbon emissions through improved irrigation and groundwater management: A case study from Iran. Agricultural Water Management 108, pp. 52-60.
- Karimi, M. & Joleini, M. (2017). Study of agricultural water productivity indices in important agricultural products (Case study of Mashhad plain. Journal of Sustainable Development Water, 4(1).
- Karimi, Sh. Asadi, R. & Wide, M. (2014). Technical and economic evaluation of drip and furrow irrigation methods in cultivation under low irrigation. Journal of Water Research in Agriculture , 28(1). (In Persian)
- Ministry of Agriculture. (2017). Statistical yearbook of the agricultural sector of Khorasan Razavi province in 2016. (In Persian)
- Ministry of Jihad Agriculture. (2014). Strategic plan of resistance economy in agriculture and natural resources.
- National Center for Strategic Studies in Agriculture and Water. (2018). The state of world land and water resources for food and agriculture. Online International Journal Available, 4(2), pp. 660-666.
- Salamati, N. Baghani J. & Abbasi, F. (2018). Determining water consumption efficiency in surface and sprinkler irrigation systems of wheat (Case study in Behbahan). Iranian Journal of Soil and Water Research, 49(4), pp. 830-821. (In Persian)
- Speelman, S. D, Haese, M. Baysse, J. & Haese, L. (2008). A measure for the efficiency of water use and its determinants, study at small-scale irrigation schemes in north-west province, south Africa. Agric. syst., 98(1), pp. 31-39.
- Soltani, Gh. (2019). Review of agricultural water use efficiency and productivity with emphasis on environmental watersheds. Journal of Agricultural Economics, 8. (In Persian)
- Taheri, M. Vardinejad, R. Behmanesh, J. Abbasi, F. & Baghani, J. (2020). Spatial analysis of water productivity index in wheat production poles. Water Research in Agriculture, 34(2), pp. 228-217. (In Persian)
- Tajrishi, M. et al. (2017). Analysis of water resources exploitation policies in the catchment with the system dynamics method. Water and Sewerage Quarterly. 18(63). (In Persian)
- United Nations . (2003). Water report and the third millennium AD.
- World commission on Environment and Development (WCED). (2020). Our common Future. Oxford: Oxford university press.

Water: The Environmental Outlook to 2050. (2011). Organization for Economic Co-operation and Development (OECD)

Yilmaz, B. Yurduse, m. & Harmancioglu, N. (2009). The Assessment of irrigation efficiency in buyuk menderes basin. Water. Resour. Manage, 23, pp.1081-1095.

## **Economic Evaluation and Efficiency of Sprinkler Irrigation Method in Wheat Production (Case Study of Ardabil Province)**

**S. Rahmani\***

\* Corresponding Author: Assistant professor, Agricultural Research, Education and Extension Organization - Office of Economic Affairs, Tehran, Iran. Email: s.rahmani@areeo.ac.ir

Received: 16 January 2021, Accepted: 29 August 2021

### **Extended Abstract:**

#### **Introduction:**

Water is a unique commodity and a very vital substance, and the limitations of this vital substance affect the capacities of other vital resources such as food, energy, fish and wildlife. One of the main concerns of human beings is water shortage, a shortage that is increasing every year. Many people in developing countries now lack enough water to meet their basic needs. One of the most important signs of water scarcity is the drying up of rivers, which is now observed in a number of important rivers in the world. Of the world's total water, 97.4% is the brackish water of the seas and oceans, only 2.6% is the freshwater reserves. Most of it is in the form of ice in the poles of the earth and glaciers (1.98%) and groundwater (0.59%), which are not available. Globally, the average consumption of fresh water in the drinking and health sector is 10%, industrial, recreational and commercial activities and other cases is about 20% and agriculture alone 70%. In some countries, especially African countries, up to 90% of freshwater resources are spent on agriculture in the desert and coastal areas of Africa. In Iran, the share of the agricultural sector in water consumption is estimated at 93%.

Including the strategic product of the agricultural sector; It is a wheat crop that produces a total of 712 million tons in the world, which is 28% of the world's grain. Iran is the 13th largest wheat producer in the world with a cultivated area of 7 million hectares (2.5 million hectares irrigated and 4.5 million hectares dryland) and a production of 15 million tons. In the production of which water is of great importance. Despite severe water resource constraints, the efficiency of using this input is low. Implementing proper management on the optimal use of water in farms and exploitation units in the form of policies and executive programs, is the most important action that is taken in the optimal use of water resources and combating water shortage and dehydration in different regions of the country. Among the measures taken to improve productivity and save agricultural water consumption is the development of pressurized irrigation systems. The present study was conducted with the aim of economic evaluation and estimating the efficiency of pressurized irrigation methods in wheat crop in Ardabil province.

#### **Methodology:**

In economic and social studies, usually two methodologies and mathematical program are used to achieve research objectives. In this study, for some reason, production function methodology has been used. This is a descriptive and applied research that uses the method of (questionnaires) to reach the top of the research. The study population is farmers in Ardabil province (in some crops, the Sprinkler method has been introduced and in others it has not been implemented).

#### **Results and Discussion:**

Estimates showed that the amount of water used in the Sprinkler irrigation method compared to the volume of water used in the traditional irrigation method has decreased by 17%. At the level of 5%, they have given meaning. But the volume of water used in the production

method with Sprinkler irrigation is about 30% more than the water requirement of the plant (wheat). It is possible to reduce it by another 20%. In other words, by implementing the Sprinkler irrigation method, up to 37% of agricultural water consumption can be saved. If we consider productivity as the amount of product produced from each unit of input input, according to the estimates made in this study, per cubic meter of water used in the Sprinkler irrigation method has been produced 1.04 kg of wheat. Whereas in the traditional irrigation method, the amount of wheat produced per cubic meter of water is 0.62 kg.

**Conclusions and Acknowledgment:**

Comparison of these two numbers shows that water efficiency in Sprinkler irrigation method is more than 1.8 times compared to water efficiency in traditional irrigation method. In general, the estimated production function shows that the use of Sprinkler irrigation method has improved the composition of inputs and their proper and timely consumption. As a result, the amount of product produced has increased compared to the agricultural situation with traditional irrigation. And with the implementation of the new irrigation system, both the volume of water consumption has been reduced, and production costs have been reduced, and that wheat production has increased.

**Keywords:** Ardabil Province, Economic Evaluation, Efficiency, Irrigation, Wheat.

نوع مقاله: علمی - پژوهشی

## بررسی موقعیت مقطع کنترل در جریان ماندگار و غیرماندگار با استفاده از مدل عددی و داده‌های آزمایشگاهی

الهام درویشی<sup>۱\*</sup> و صلاح کوچک‌زاده<sup>۲</sup>

۱- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

۲- استاد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی کشاورزی و فناوری، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه

تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۲/۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۵/۱

### چکیده

موقعیت عدد فرود بحرانی، حداقل انرژی مخصوص و تابع اندازه حرکت روی سرریز لبه پهن ذوزنقه‌ای برای هیدروگراف افزایشی ورودی به کانال با استفاده از حل عددی رابطه اصلاح شده بوسینسک و داده‌های آزمایشگاهی بررسی شد. نتایج بررسی نشان داد که موقعیت حداقل انرژی مخصوص و عدد فرود بحرانی در فاصله‌ای اندک از یکدیگر و به صورت پیوسته در جهت جریان حرکت می‌کنند. در حالی که موقعیت حداقل تابع اندازه حرکت ابتدا در جهت جریان رو به جلو و بعد از مدتی در خلاف جهت جریان حرکت می‌کند. دبی در واحد عرض در هر سه موقعیت بسیار به هم نزدیک و در حداقل انرژی مخصوص و عدد فرود بحرانی کاملاً برهم منطبق است. انرژی مخصوص در جریان بحرانی در مقابل دبی در واحد عرض نیز رسم شد. این نمودار بر رابطه انرژی مخصوص در جریان بحرانی ماندگار به‌طور کامل منطبق است. به منظور قضاوت دقیق‌تر این رابطه، لازم است هیدروگراف‌ها با شکل‌های مختلف بررسی شوند. رابطه نقطه تکین برای بسترهای مختلف در جریان ماندگار نیز بررسی شد. این رابطه برای مقادیر کمتر از  $0.5$  حاصل ضرب مشتق مرتبه دوم بستر در عمق بحرانی روی بسترهای مورد بررسی دارای درستی مطلوب است. در مقادیر بیش از این مقدار خطای نسبی تا  $18$  درصد وجود دارد.

### واژه‌های کلیدی

بستر انحنادار، حداقل انرژی مخصوص، حداقل تابع اندازه حرکت، عدد فرود، نقطه تکین

### مقدمه

سرعت جریان برابر سرعت موج ثقلی است (Liggett 1993). جریان‌های روباز با عدد فرود کمتر از واحد زیر بحرانی هستند و بیش از آن فوق بحرانی طبقه‌بندی می‌شوند. در جریان غیرماندگار، با استفاده از رابطه‌های سنت و نانت و با قرار دادن شیب خطوط مشخصه برابر صفر

در بسیاری از متون هیدرولیک اهمیت جریان بحرانی و موقعیت آن در طراحی سازه‌های هیدرولیکی، روندیابی سیل و اندازه‌گیری جریان بیان شده است. این جریان که با عدد فرود برابر با یک مشخص می‌شود، شرایط دینامیکی است که متوسط



(Darvishi et al., 2009). درویشی و همکاران (2017) رابطه‌های بوسینسک را اصلاح و با حل عددی رابطه‌های اصلاح شده جریان غیرماندگار، نیمرخ سطح آب جریان ماندگار را روی بستر انحنادار محاسبه کردند.

نیمرخ سطح آب در جریان ماندگار با استفاده از رابطه جریان متغیر تدریجی (رابطه ۳) قابل تعیین است که در آن شیب سطح آب تابعی از عدد فرود است.

$$\frac{dh}{dx} = \frac{S_0 - S_f}{1 - F^2} \quad (3)$$

که در آن،

$S_0$  = شیب کف کانال؛  $S_f$  = شیب خط انرژی؛ و  $dh/dx$  = تغییرات عمق در طول کانال.

در تبدیل جریان زیر بحرانی به فوق بحرانی در یک نقطه عدد فرود برابر یک خواهد بود. به عبارتی، مخرج کسر رابطه ۳ صفر خواهد شد. برخی از محققان با صرف نظر کردن از شیب خط انرژی  $S_f$  در این رابطه و استفاده از قانون هوپیتال در ریاضیات، رابطه ۴ را برای تغییرات عمق آب در جریان بحرانی برای مقطع مستطیلی به دست آوردند (Escoffier, 1958).

$$\left(\frac{dh}{dx}\right)_c = \pm \left(-\frac{h_c}{3} \frac{\partial^2 z_b}{\partial x^2}\right)^{1/2} \quad (4)$$

که در آن،

$z_b$  = رقوم کف کانال؛ و  $(dh/dx)$  گرادیان عمق آب در محل عمق بحرانی. در متن مقاله مشتق دوم بستر با  $z_{bxx}$  نشان داده خواهد شد. این رابطه نشان می‌دهد که شیب عمق آب در عمق بحرانی تابعی از مشتق دوم بستر و عمق بحرانی است. این رابطه به ندرت در کتاب‌های هیدرولیک کانال‌ها ذکر شده است و به صورت عمومی محققان جریان کانال‌های روباز آن را

$(dx/dt = U - (gh)^{1/2} = 0)$  عدد فرود برابر با یک  $(U = (gh)^{1/2}, F = U/(gh)^{1/2})$  به دست می‌آید؛ در این رابطه ها،  $h$  عمق جریان،  $g$  شتاب ثقل و  $U$  سرعت جریان،  $x$  فاصله طولی در جهت جریان،  $t$  زمان و  $F$  عدد فرود است.

با فرض جریان ماندگار در کانال مستطیلی، با قرار دادن مشتق انرژی مخصوص نسبت به عمق  $(dE/dh)$  یا مشتق تابع اندازه حرکت  $(dS/dh)$  برابر با صفر، عمق بحرانی و دبی به ترتیب با استفاده از رابطه‌های (۱) و (۲) به دست می‌آید (Jain, 2001):

$$h_c = (q^2/g)^{1/3} \quad (1)$$

$$q = \left(\frac{2}{3}\right)^{3/2} \sqrt{g E_{min}^3} \quad (2)$$

که در آنها،

$h_c$  = عمق بحرانی؛  $q$  = دبی در واحد عرض؛ و  $E_{min}$  = حداقل انرژی مخصوص.

در جریان ماندگار حداقل انرژی مخصوص و تابع اندازه حرکت در عمق بحرانی اتفاق می‌افتند. اما آیا در جریان غیرماندگار نیز همین‌طور خواهد بود؟ برای پاسخ به این پرسش کاسترو-اورگاز و چانسون (Castro-Orgaz & Chanson, 2015) با حل عددی رابطه‌های سنت و نانت روی بستر انحنادار به بررسی اثرهای جریان غیرماندگار روی جریان بحرانی پرداختند. نتایج بررسی‌های این پژوهشگران نشان داد که موقعیت حداقل انرژی مخصوص و تابع اندازه حرکت در جریان غیرماندگار منطبق بر عمق بحرانی نیست؛ در این مطالعه، نتایج با داده‌های آزمایشگاهی مقایسه شده بود و رابطه‌های سنت و نانت به کار رفته توسط آنها درستی بالایی در پیش‌بینی خصوصیات جریان روی بسترهای انحنادار ندارند (Darvishi et al., 2017; Castro-Orgaz & Hager

۰/۶ متر و طول ۳ متر از جنس پلکسی-گلاس به ضخامت ۲ سانتی-متر در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه فنی وین اجرا شد. با توجه به شفاف بودن دیواره کانال، به منظور ثبت عمق از روش فیلمبرداری استفاده شد. دبی مورد نیاز با یک لوله چدنی به قطر ۱۰۰ میلی-متر منشعب از سیستم پمپاژ آزمایشگاه تامین شد. برای اندازه-گیری و تغییر دبی جریان، لوله مذکور به ترتیب با یک فلومتر و شیر کنترل تجهیز شد (شکل ۱). جریان غیرماندگار با استفاده از شیر کنترل به صورت دستی ایجاد شد. دبی ورودی به کانال با فلومتر اندازه-گیری و در فایل Excel ذخیره شد. این هیدروگراف به عنوان شرایط مرزی بالادست در جریان غیرماندگار به کار رفت.

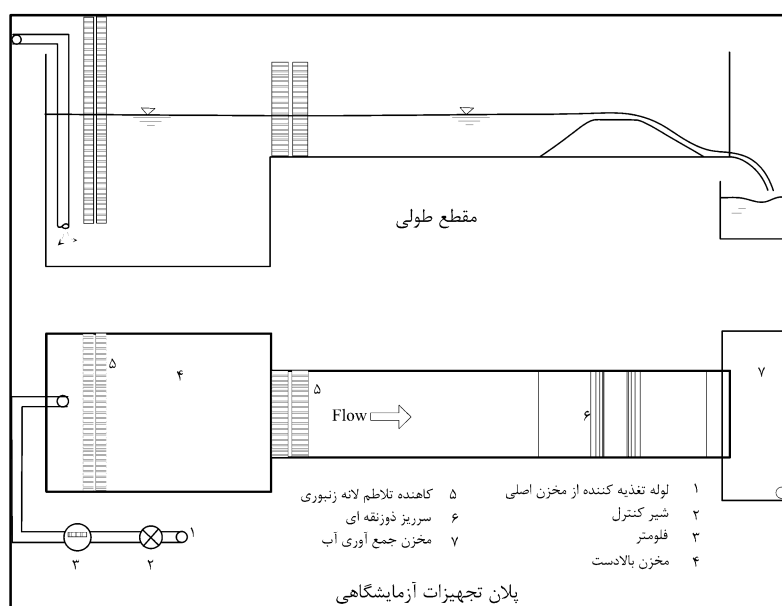
به منظور بررسی جریان انحنادار از اتصال دو شیب ۳۰ و ۴۵ درجه، سرریز دوزنقه‌ای به صورت شکل ۲ ساخته شد. سرریز دوزنقه‌ای به نحوی در کانال اصلی نصب شد که شیب ۴۵ درجه در بالادست و شیب ۳۰ درجه در پایین دست جریان قرار گیرد.

نپذیرفته‌اند. اگرچه فنتون و درویشی (Fenton & Darvishi, 2016) با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی نیز نشان دادند که رابطه ۴ در بسیاری از موارد تغییرات عمق آب را در تبدیل جریان زیربحرانی به فوق بحرانی درست پیش‌بینی نمی‌کند، اما ضرورت بررسی عمیق‌تر عملکرد آن همچنان مطرح است. از این رو، در این مقاله با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی و مدل عددی رابطه‌های بوسینسک اصلاح شده عملکرد آن روی بسترهای با توپوگرافی مختلف در جریان ماندگار دقیق‌تر بررسی و نتایج آن گزارش شد. در این پژوهش، با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی نیمرخ سطح آب درستی این رابطه‌ها در جریان غیرماندگار و موقعیت رخداد جریان بحرانی، حداقل انرژی مخصوص و تابع اندازه حرکت بررسی خواهد شد.

## مواد و روش‌ها

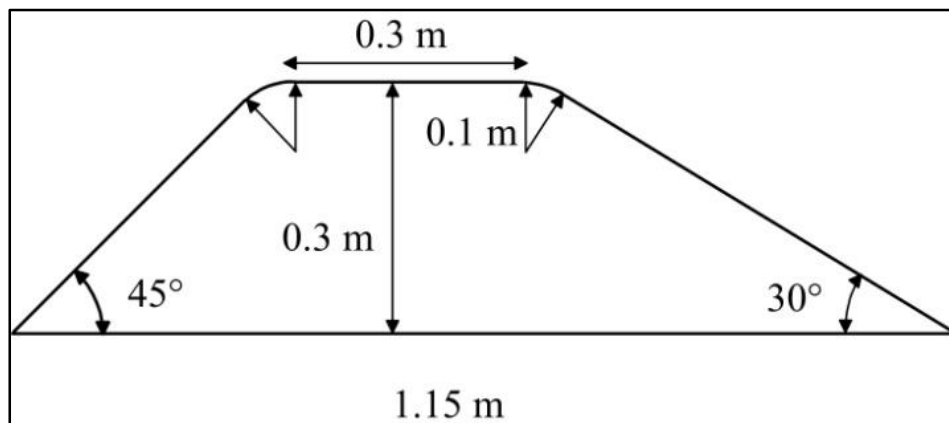
### تجهیزات آزمایشگاهی

آزمایش‌ها در کانالی به عرض ۰/۳۷ متر، ارتفاع



شکل ۱ - شکل شماتیک مجموعه آزمایشگاهی

Fig. 1. Schematic figure of a laboratory set



شکل ۲- شکل شماتیک سرریز ذوزنقه‌ای  
Fig. 2. Schematic figure of trapezoidal weir

### رابطه های جریان غیرماندگار

که در آن،  
 $x$  = محور افقی؛  $C_z$  = ضریب زبری شزی؛  $i_b$  = شیب  
 پروفیل بستر در هر مقطع  $(i_b = -\partial Y / \partial x)$ ؛ و  $\beta$   
 ضریب تصحیح نایکنواختی توزیع سرعت در مقطع  
 عرض که به نام ضریب بوسینسک معروف است.  
 با توجه به اهمیت شیب بستر، به ویژه در  
 سازه‌های مختلف اندازه‌گیری آب، درویشی و  
 همکاران (Darvishi, 2017) به اصلاح رابطه های  
 بوسینسک دست زدند. این محققان با در نظر گرفتن  
 اثرهای شیب طولی و انحنای خط جریان و به  
 کارگیری روش بوسینسک، رابطه مومنتوم بوسینسک  
 را به صورت رابطه ۶ اصلاح کردند.

$$\begin{aligned} \frac{\partial q}{\partial t} + 2\beta \frac{q}{h} \frac{\partial q}{\partial x} - \beta \frac{q^2}{h^2} (\eta_x - Y_x) + \frac{gh\eta_x}{1+\eta_x^2} \left( 1 - \frac{h\eta_{xx}}{1+\eta_x^2} \right) \\ + \frac{\lambda}{8} (1+Y_x^2) \frac{q^2}{h^2} \left( 1 + \frac{2h/B}{\sqrt{1+Y_x^2}} \right) + \frac{q^2 \Gamma \eta_{xxx}}{1+\eta_x^2} \\ + \frac{q^2}{h} Y_x \left( \frac{\gamma_0 Y_{xx} (1+Y_x \eta_x)}{(1+\eta_x^2)(1+Y_x^2)} + \frac{\gamma_1 \eta_{xx}}{1+\eta_x^2} \right) = 0 \end{aligned} \quad (6)$$

که در آن،  
 $q$  = دبی در واحد عرض؛  $\eta$  = ارتفاع سطح آب؛  $\eta_x$

در مجاری روباز شرایطی وجود دارد که یک یا  
 چند شرط حاکم بر کاربری رابطه های سنت و نانت  
 مانند توزیع هیدرواستاتیک فشار، شیب طولی کم،  
 انحنای کم خطوط جریان، و منشوری بودن مقطع  
 نقض می‌شود. در چنین شرایطی، رابطه های یاد  
 شده کارایی خود را از دست می‌دهند. به همین  
 دلیل تلاش‌های گوناگونی برای رفع محدودیت‌های  
 یاد شده صورت گرفته که منجر به توسعه رابطه های  
 یک بعدی با مراتب بالا شده است (Dressler 1978;  
 Steffler & Jin 1993; Castro-Orgaz & Hager  
 2010; Fenton 1996; Zerihun & Fenton 2007;  
 Orgaz & Hager 2009; Hager & Hutter 1984;  
 Darvishi et. al. 2017). بوسینسک (۱۸۷۷) با  
 فرض تغییر خطی انحنای خطوط جریان از بستر  
 مجرا تا سطح آزاد، رابطه ای مرتبه ای برای  
 پیش‌بینی پروفیل برگشت آب در کانالی با شیب کف  
 طولی ثابت توسعه داد. شکل کلاسیک رابطه  
 بوسینسک به صورت زیر است (Jaeger, 1957):

$$\frac{h^2 U^2}{3g} \frac{d^3 h}{dx^3} + \left( h - \beta \frac{U^2}{g} \right) \frac{dh}{dx} - \left( \frac{h^2 U^2}{2g} \right) \frac{d^2 i_b}{dx^2} - h i_b + \frac{U^2}{C_z^2} = 0 \quad (5)$$

$$(f_x)_n^{k+1} = \frac{f_{n-2}^{k+1} - 6f_{n-1}^{k+1} + 3f_n^{k+1} + 2f_{n+1}^{k+1}}{6\delta} \quad (7)$$

$$(f_{xx})_n^{k+1} = \frac{f_{n-1}^{k+1} - 2f_n^{k+1} + f_{n+1}^{k+1}}{\delta^2} \quad (8)$$

$$(f_{xxx})_n^{k+1} = \frac{-f_{n-2}^{k+1} + 3f_{n-1}^{k+1} - 3f_n^{k+1} + f_{n+1}^{k+1}}{\delta^3} \quad (9)$$

شرط مرزی بالادست به صورت تغییرات دبی با زمان در نظر گرفته شد. همچنین، برای بررسی رابطه ۴ تغییرات عمق نسبت به طول با استفاده از رابطه ۱۰ در محل عمق بحرانی محاسبه شد:

$$\left(\frac{dh}{dx}\right)_c = \frac{h_{i+1} - h_i}{\Delta x} \quad (10)$$

### نتایج و بحث

در ابتدا داده‌های آزمایشگاهی جریان ماندگار روی سرریز دوزنقه‌ای با رابطه‌های اصلاح شده سنت ونانت مقایسه و در شکل ۳ ارائه شده است. در این شکل W.S.E. تراز سطح آب و مبدا  $x$  ابتدای کانال است. همان طور که مشاهده می‌شود، رابطه‌های اصلاح شده دارای درستی بالاتری در پیش‌بینی نیمرخ سطح آب نسبت به رابطه‌های سنت ونانت روی بستر انحنادار است.

بنابراین، رابطه‌های اصلاح شده بوسینسک برای بررسی موقعیت جریان بحرانی، حداقل تابع اندازه حرکت و حداقل انرژی مخصوص روی بستر انحنادار در جریان غیرماندگار نیز به کار می‌رود.

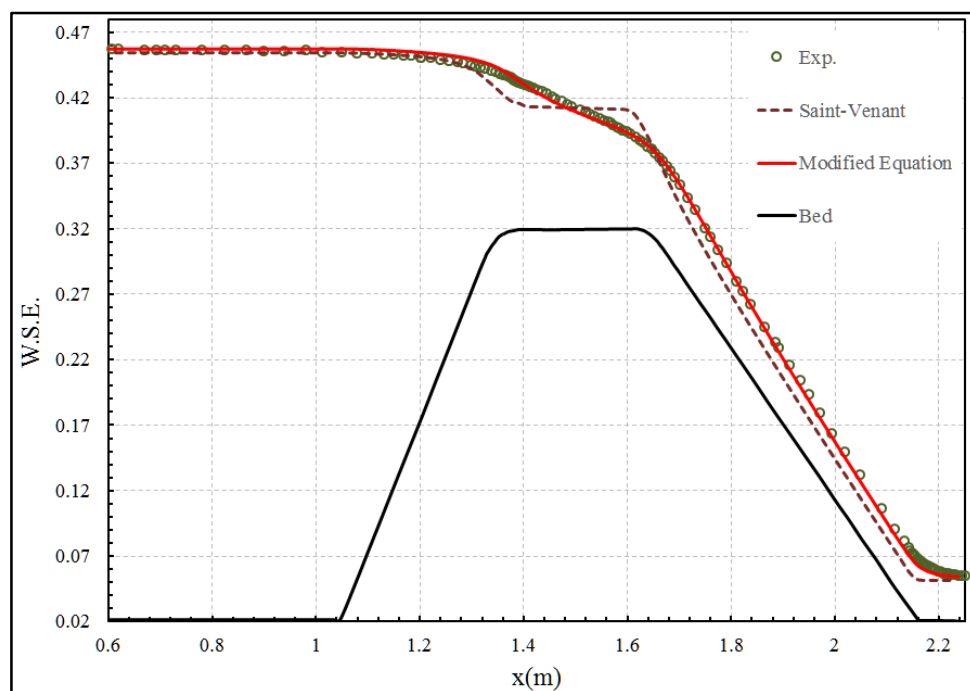
شیب رقوم سطح آب؛  $\eta_{xx}$  = مشتق دوم رقوم سطح آب؛  $\eta_{xxx}$  = مشتق سوم رقوم سطح آب؛  $B$  = عرض کف کانال؛  $Y$  = ارتفاع بستر؛  $Y_x$  = شیب کف کانال؛  $Y_{xx}$  = مشتق مرتبه دوم نیمرخ کف کانال؛  $\Gamma$ ،  $\gamma_0$  و  $\gamma_1$  = مقادیر ثابت؛ و  $\lambda$  = ضریب ویسباخ.

آنها با صرف نظر از جمله‌های غیرماندگار، این رابطه را برای جریان ماندگار به صورت عددی حل کردند. نتایج مدل عددی را با نتایج آزمایشگاهی برای تبدیل شیب ملایم به شیب تند با شیب پایین دست ۳۰ و ۴۵ درجه و سرریز دوزنقه‌ای مقایسه کردند.

### مدل عددی

امکان حل تحلیلی رابطه‌های بوسینسک محدود به موارد بسیار ساده است. بنابراین، روش‌های عددی برای پیش‌بینی خصوصیات جریان به کار می‌رود. درویشی و همکاران (Darvishi et al., 2015) با قرار دادن زمان به عنوان پارامتر سعی و خطا، رابطه‌های پیوستگی و مومنتوم در جریان غیرماندگار را با ثابت نگه داشتن ارتفاع سطح آب بالادست به صورت عددی حل کردند.

شمای عددی به کار رفته توسط این محققان برای منفصل کردن جمله‌های مشتق متغیر  $f$  در نقطه  $n$  نسبت به فاصله اختلاف محدود چهار نقطه‌ای به صورت رابطه‌های زیر است:



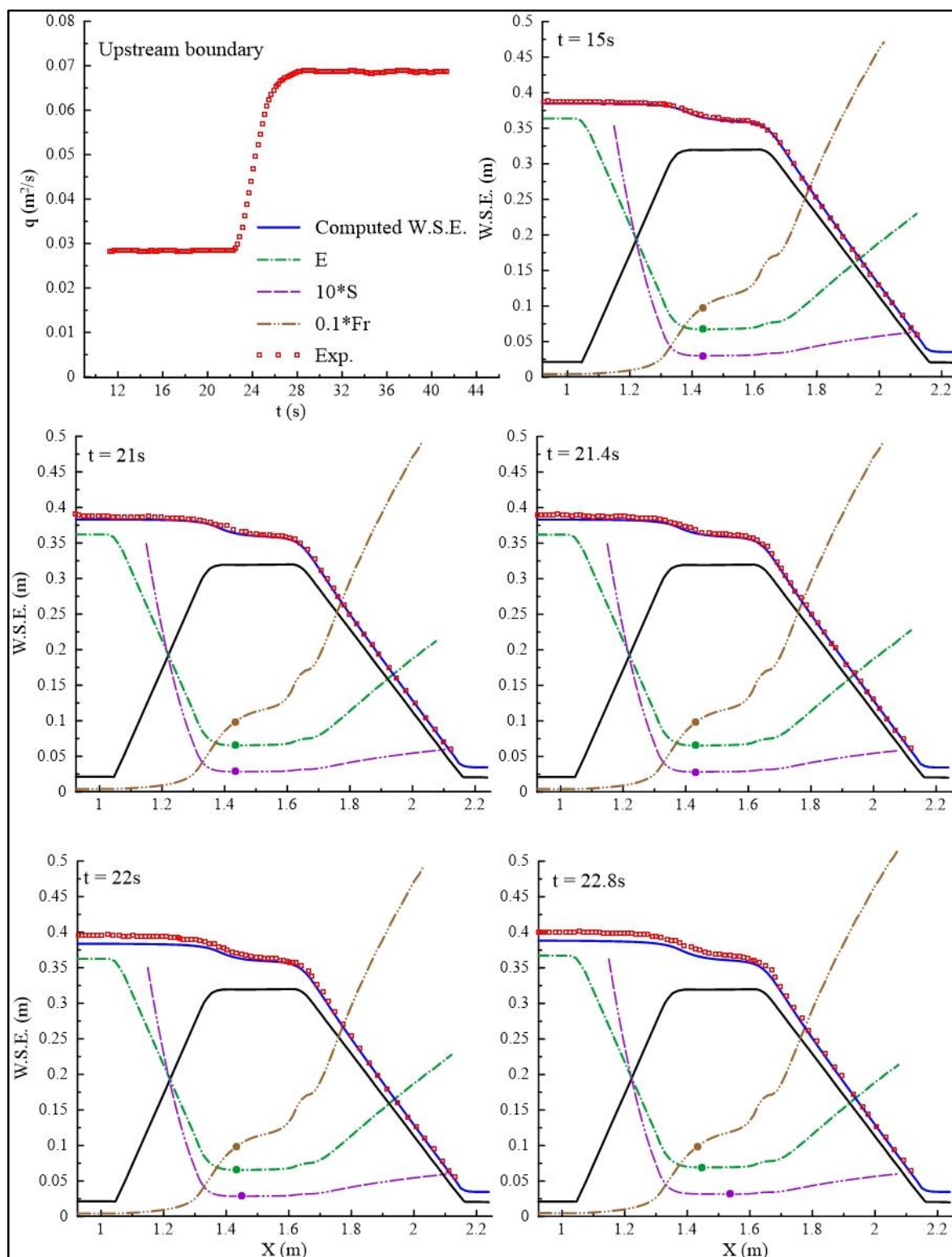
شکل ۳- مقایسهٔ نیمرخ سطح آب محاسبه شده با رابطه‌های سنت وnant و بوسینسک اصلاح شده (رابطه ۶) با داده‌های آزمایشگاهی در جریان ماندگار

Fig. 3. Comparison of water surface profile calculated with St. Venant and modified Boussinesq equations (Eq. 6) with laboratory data in steady flow

این آزمایش دبی ورودی به کانال با استفاده از یک شیر از ۱۰/۵ لیتر بر ثانیه در مدت حدود ۴ ثانیه به مقدار ۲۵ لیتر بر ثانیه افزایش یافته است.

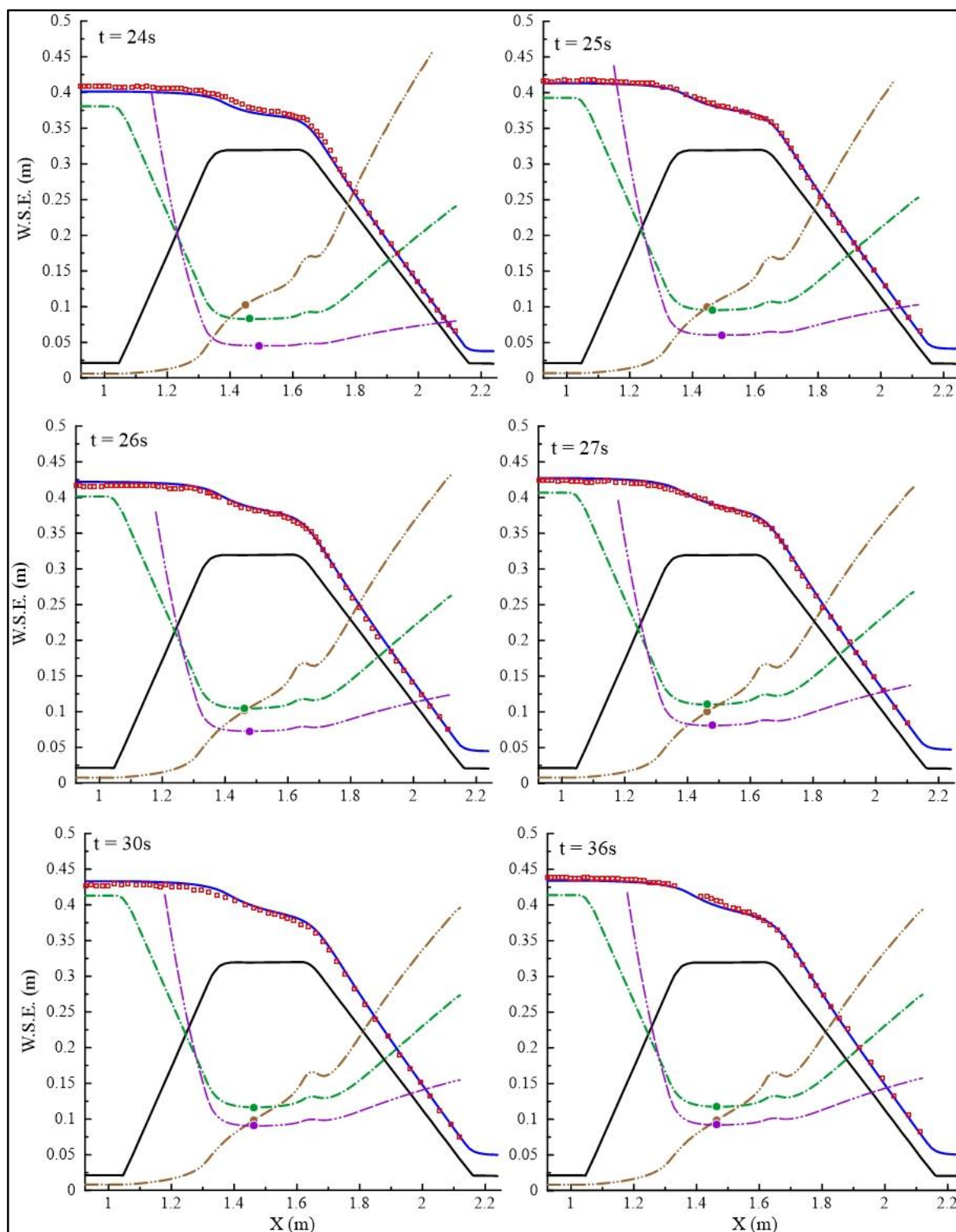
در شکل ۴ موقعیت عدد فرود برابر یک، حداقل انرژی مخصوص و حداقل تابع اندازه حرکت نیز روی نمودارها با نقطه مشخص شده است. تا قبل از شروع جریان غیرماندگار (۲۲ ثانیه) و بعد از پایان جریان غیرماندگار (۲۸ ثانیه) نتایج مدل عددی و داده‌های آزمایشگاهی بر هم کاملاً منطبق هستند. مشاهده می‌شود که موقعیت عدد فرود بحرانی، حداقل انرژی مخصوص و حداقل تابع اندازه حرکت با گذشت زمان تغییر کرده است و موقعیت این نقاط بر هم منطبق نیست. اما موقعیت عدد فرود بحرانی و حداقل انرژی مخصوص بسیار به هم نزدیک است.

برای به کار بردن تئوری حداقل انرژی مخصوص و تابع اندازه حرکت نیازمند ثبت دبی در مقاطع مختلف است. از آنجایی که ثبت دبی در مقاطع مختلف در جریان غیرماندگار با درستی "مشخص" هنوز امکان‌پذیر نیست و نیمرخ سطح آب محاسبه شده با رابطه‌های اصلاح شده دارای درستی بالایی در مقایسه با نتایج آزمایشگاهی است، بنابراین استفاده از نتایج آزمایش‌های عددی می‌تواند راه حل قابل قبولی باشد. بدین معنی که نتایج رابطه‌های اصلاح شده همانند داده‌های آزمایشگاهی در نظر گرفته خواهد شود. یکی از هیدروگراف‌های که برای سرریز دوزنقه‌ای در آزمایشگاه ایجاد شد، به همراه نیمرخ سطح آب اندازه‌گیری شده، انرژی مخصوص، تابع اندازه حرکت و عدد فرود محاسبه شده در زمان‌های مختلف در شکل ۴ آورده شده است. در



شکل ۴- تغییرات رقوم سطح آب، انرژی مخصوص، تابع اندازه حرکت و عدد فرود نسبت به مکان

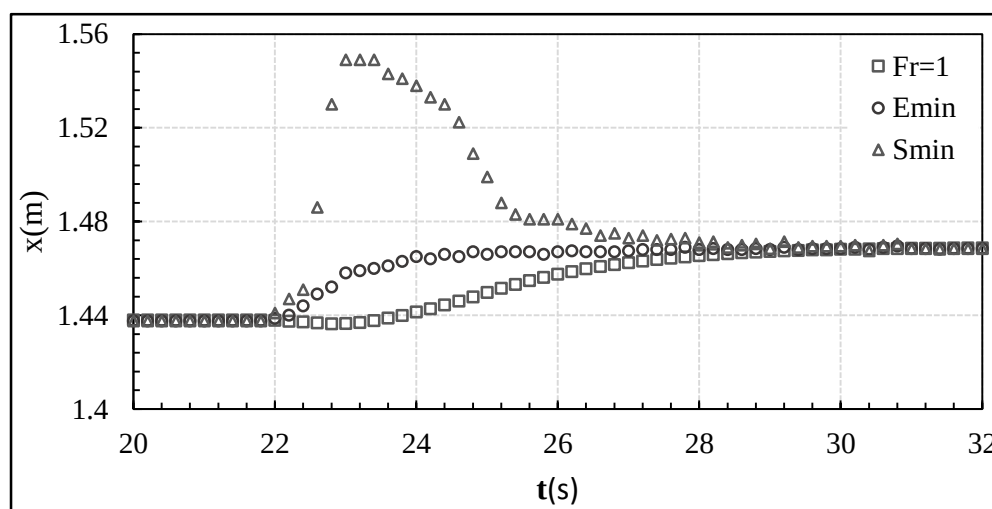
Fig. 4. Changing of water surface elevation, specific energy, and specific force and Froude number relative to location



ادامه شکل ۴- نمودار تغییرات رقوم سطح آب، انرژی مخصوص، تابع اندازه حرکت و عدد فرود نسبت به مکان  
Fig. 4. Changing of water surface elevation, specific energy, and specific force and Froude number relative to location

تا موقعیت آن پس از رسیدن به جریان ماندگار ثابت شود. براساس شکل ۵، موقعیت عدد فرود بحرانی و حداقل انرژی مخصوص نسبت به حداقل تابع اندازه حرکت جابه‌جایی کمتری داشته است. بنابراین تعیین موقعیت جریان بحرانی برای اندازه‌گیری جریان در شرایط غیرماندگار با استفاده از عدد فرود بحرانی و حداقل انرژی اطمینان بالاتری نسبت به حداقل تابع اندازه حرکت دارد.

برای بررسی بیشتر این سه مقدار، تغییرات موقعیت هر سه نسبت به زمان در شکل ۵ رسم شده است. در این نمودار، موقعیت حداقل تابع اندازه حرکت ابتدا دارای جابه‌جایی در جهت مثبت  $x$  بوده است اما بعد از گذشت زمان موقعیت آن به سمت بالادست حرکت می‌کند. در صورتی که موقعیت حداقل انرژی مخصوص و عدد فرود برابر یک به صورت پیوسته در جهت پایین‌دست حرکت می‌کند



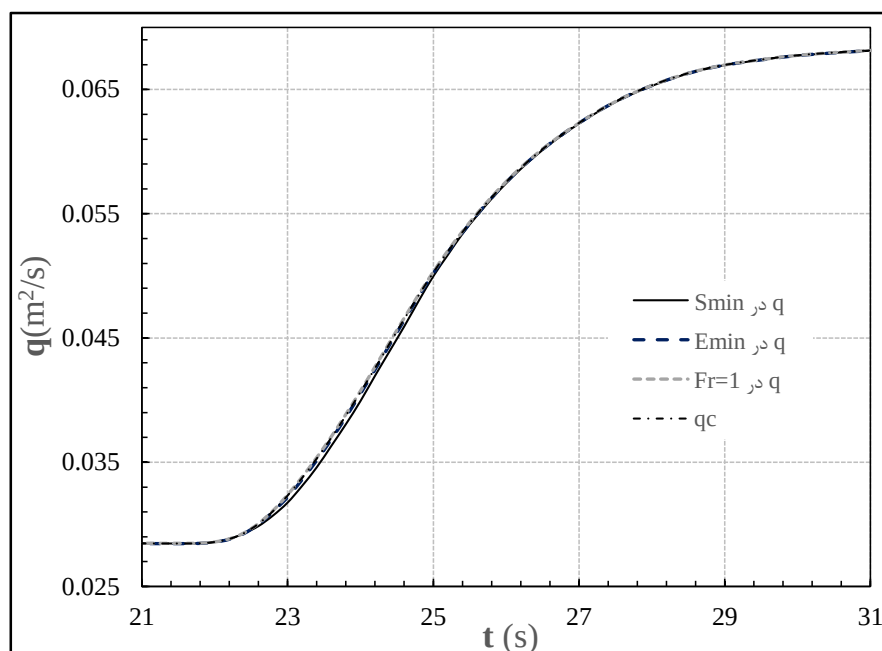
شکل ۵- موقعیت حداقل انرژی و تابع اندازه حرکت و عدد فرود برابر با یک نسبت به زمان

Fig. 5. The position of the minimum specific energy and specific force and Froude number equal to one in relation to time

حرکت برهم منطبق هستند. با محاسبه اختلاف دبی در واحد عرض این نمودار با نمودارهای دیگر در تمام گام‌های زمانی حداکثر اختلاف کمتر از ۰/۰۲ درصد است. بنابراین، می‌توان گفت که دبی در واحد عرض نسبت به مقادیر حداقل انرژی مخصوص و تابع اندازه حرکت تغییرات بسیار کمی دارد.

برای بررسی تاثیر پارامترهای یاد شده بر اندازه‌گیری دبی، تغییرات دبی در واحد عرض نسبت به زمان در محل حداقل انرژی  $E_{min}$ ، حداقل تابع اندازه حرکت  $S_{min}$ ، عدد فرود برابر یک و رابطه ۲ محاسبه و در شکل ۶ رسم شد. تمام نمودارها، به جز دبی در واحد عرض، در محل حداقل تابع اندازه



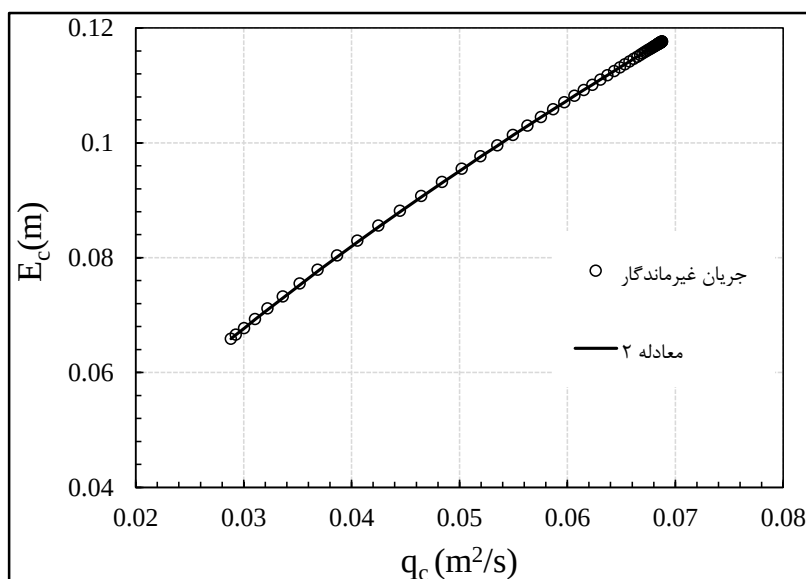


شکل ۶- تغییرات دبی در واحد عرض نسبت به زمان

Fig. 6. The change of unit discharge by time

می‌توان در گرا دیان هیدروگراف‌ها جستجو کرد. گرا دیان (شدت غیرماندگاری) هیدروگراف‌های مورد بررسی قاسم‌زاده و همکاران (Ghasemzadeh *et al.*, 2020) بسیار کمتر از هیدروگراف مورد بررسی در این مقاله است. با این حال بررسی رابطه دبی اشل در جریان غیرماندگار نیاز به بررسی‌های بیشتری عددی و آزمایشگاهی دارد. مقایسه نمودار شکل ۷ با نموداری که کاسترو - اورگاز و چانسون (Castro- Orgaz & Chanson 2016) ارائه داده‌اند تفاوت قابل توجهی را نشان می‌دهد. در نموداری که این محققان ارائه داده‌اند خط جریان غیرماندگار بر رابطه ۲ منطبق نیست و برای مقادیر  $q_c$  بیش از ۰/۰۴ از رابطه ۲ فاصله می‌گیرد. دلیل این اختلاف را می‌توان به رابطه‌های سنت-وانانت به کار رفته توسط آنها به‌منظور شبیه‌سازی جریان غیرماندگار مرتبط دانست.

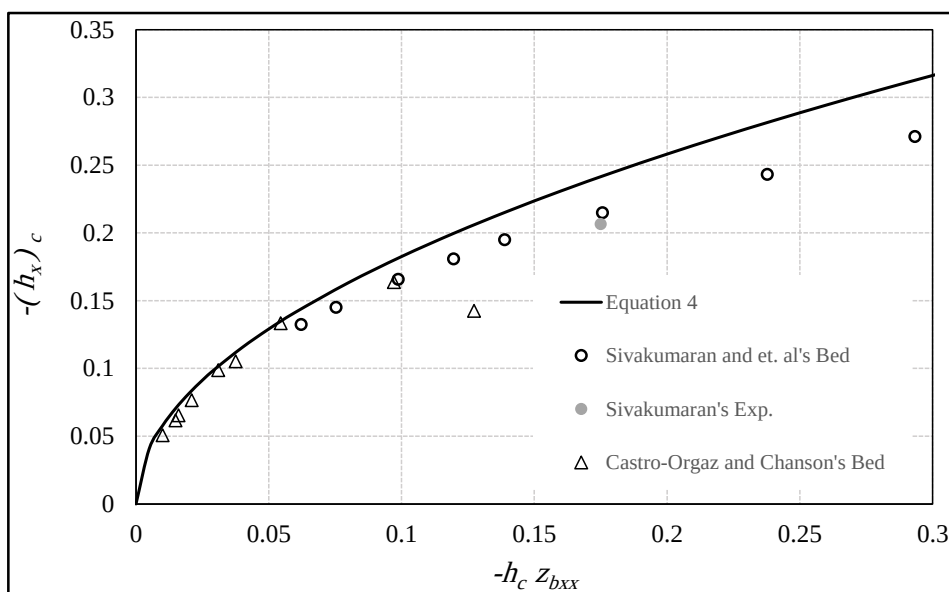
برای بررسی رابطه ۲ در جریان غیرماندگار نمودار تغییرات انرژی مخصوص در جریان بحرانی نسبت به دبی در واحد عرض و منحنی رابطه ۲ در شکل ۷ رسم شده است. این دو نمودار کاملاً برهم منطبق هستند که به این معنی است رابطه ۲ در جریان غیرماندگار نیز دبی در واحد عرض را به درستی محاسبه می‌کند. این نتایج با نتایج بررسی‌های چانسون و وانگ (Chanson & Wang 2013) منطبق است. این محققان رابطه دبی اشل را برای سرریز V-notch در جریان غیرماندگار و با افت سطح آب مخزن به‌دست آوردند و با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی نشان دادند که رابطه دبی اشل در جریان غیرماندگار منطبق بر رابطه دبی اشل در جریان ماندگار است. اما نتایج بررسی‌های قاسم‌زاده و همکاران (Ghasemzadeh *et al.*, 2020) مطابق با رابطه دبی اشل در جریان ماندگار نیست. تفاوت را



شکل ۷- تغییرات دبی در واحد عرض نسبت به حداقل انرژی مخصوص  
Fig. 7. The change of unit discharge by minimum specific energy

مترمربع بر ثانیه مقاله سیواکوماران و همکاران (Sivakumaran *et al.*, 1983) نیز در نمودار رسم شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، در مقادیر  $-h_c Z_{bxx}$  کمتر از ۰/۰۵ داده‌ها بر نمودار رابطه ۴ منطبق است اما با افزایش این مقدار از این منحنی فاصله می‌گیرد. در این حالت، خطای نسبی حدود ۱۷ درصد است. به طوری که داده آزمایشگاهی نیز منطبق بر این منحنی نیست. همان طور که فنتون و درویشی (Fenton & Darvishi 2016) گفته‌اند این رابطه ۴ در بسیاری از مواقع نتایج درستی ارائه نمی‌کند. در حالی که کاسترو-اورگاز و چانسون (Castro-Orgaz & Chanson 2016) این رابطه را برای مقادیر  $-h_c Z_{bxx}$  کمتر از ۰/۱۵ معتبر دانسته‌اند.

در شکل ۸، تغییرات شیب عمق در محل عمق بحرانی  $(-h_x)_c$  نسبت به حاصل ضرب عمق بحرانی در مشتق دوم نیمرخ بستر  $-h_c Z_{bxx}$  رسم شده است. رابطه‌های جریان غیرماندگار با ثابت‌نگه داشتن دبی در بالادست روی بسترهای مورد بررسی در مقاله-های (Sivakumaran *et al.*, 1983) و (Castro-Orgaz & Chanson 2016) در دبی‌های مختلف، نیمرخ سطح آب محاسبه شد. با استفاده از داده‌های نیمرخ سطح آب شیب عمق در محل عمق بحرانی به دست آمد. همچنین، رابطه ۴ نیز در نمودار رسم شده است. روی بستر (Castro-Orgaz & Chanson 2016) خطای نسبی برآورد  $(-h_x)_c$  با استفاده از رابطه ۴ از ۸/۵ درصد تا ۱۷/۵ درصد متغیر است. داده مربوط به دبی در واحد عرض ۰/۳۵۵۹



شکل ۸- شیب سطح آب در مقطع کنترل  
Fig. 8. Water surface slope at control section

### نتیجه‌گیری

حداقل انرژی مخصوص کاملاً بر هم منطبق است. اما لازم است هیدروگراف‌های دیگری مانند هیدروگراف افزایشی و کاهش‌ی نیز بررسی شود. رابطه دبی در واحد عرض و انرژی مخصوص در جریان بحرانی بررسی شد. نتایج این بررسی نشان داد که این مقادیر منطبق بر رابطه جریان ماندگار است. به عبارتی رابطه جریان ماندگار برای هیدروگراف ایجاد شده قابلیت کاربرد در جریان غیرماندگار را دارد. همچنین روش نقطهٔ تکین<sup>۱</sup> در جریان ماندگار روی بستر با توپوگرافی‌ها مختلف بررسی گردید. مقادیر محاسباتی تنها برای  $-h_c Z_{bxx}$  کمتر از ۰/۰۵ روی منحنی قرار گرفت. با توجه به این محدودیت می‌توان گفت این رابطه برای مسائل عملی کاربرد ندارد و برای مقادیر بسیار محدودی درست است.

در برآورد دبی سیلاب‌ها، رابطه دبی اشل در جریان غیرماندگار اهمیت دارد. پژوهش‌های آزمایشگاهی و عددی در این زمینه بسیار اندک است. در این پژوهش موقعیت جریان بحرانی، حداقل انرژی مخصوص و حداقل تابع اندازه حرکت در جریان غیرماندگار با هیدروگراف ورودی افزایشی روی سرریز دوزنقه‌ای لبه‌پهن بررسی شد. موقعیت جریان بحرانی و حداقل انرژی مخصوص به صورت پیوسته در جهت طول افزایش یافته است. اما موقعیت تابع اندازه حرکت ابتدا افزایش و پس از آن کاهش پیدا کرد. با وجود اینکه این سه پارامتر هم‌مکانی ندارند، دبی در واحد عرض در موقعیت آنها دارای تغییرات بسیار جزئی بوده است به طوری که نمودار دبی در واحد عرض محل عمق بحرانی و

## مراجع

- Abramowitz, M., and Stegun, I. A. (1965). *Handbook of Mathematical Functions*, Dover, New York.
- Bhallamudi, S. M., and Chaudhry, M. H. (1992). Computation of flows in open-channel transitions. *Journal of Hydraulic Research*, 30(1), 77-93.
- Castro-Orgaz, O., and Chanson, H. (2016). Minimum Specific Energy and Transcritical Flow in Unsteady Open-Channel Flow. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 142(1), 04015030.
- Castro-Orgaz, O., & Hager, W. H. (2009). Curved-Streamline Transitional Flow from Mild to Steep Slopes. *Journal of Hydraulic Research*, 47 (5), 574-584.
- Castro-Orgaz, O., & Hager, W. H. (2010). Moment of Momentum Equation for Curvilinear Free-Surface Flow. *Journal of Hydraulic Research*, 48 (5), 620-631.
- Chanson, H., & Wang, H. (2013). Unsteady discharge calibration of a large V-notch weir. *Flow Measurement and Instrumentation*, 29, 19-24.
- Darvishi, E., Fenton, J., & Kouchakzadeh, S., (2017). Boussinesq equations for flows over steep slopes and structures, *Journal of Hydraulic Research*, 55(3), 324-337.
- Darvishi, E., Kouchakzadeh, S., Fenton, J., & Horfar, A. (2015). Application of Modified Boussinesq Equations in Predicting Discharge Coefficients of Trapezoidal Broad Crest Weirs and Producing Rating Curves. *Water and Soil Science*, 25(2), 155-164. (In Farsi)
- Dressler, R. F. (1978). New Nonlinear Shallow-Flow Equations with Curvature. *Journal of Hydraulic Research*, 16 (3), 205-222.
- Escoffier, F. F. (1958). Transition Profiles in Nonuniform Channels. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, 123(1), 43-56.
- Fenton, J. D. (1996). Channel flow over curved boundaries and a new hydraulic theory. Proc., Proceedings of 10th Congress of Asia and Pacific Division of the International Association for Hydraulic Research, 26-29 Aug., Langkawi, Malaysia, pp. 266-273.
- Fenton, J. D., & Darvishi, E. (2016). Discussion of "Minimum Specific Energy and Transcritical Flow in Unsteady Open-Channel Flow" by Oscar Castro-Orgaz and Hubert Chanson. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 142(10), 07016014.
- Fenton, J. D., & Zerihun, Y. T. (2007). A Boussinesq approximation for open channel flow. Proc., 32nd Congress IAHR, 2-6 July, Venice.
- Gharangik, A. M., & Chaudhry, M. H. (1991). Numerical simulation of hydraulic jump. *Journal of Hydraulic Engineering*, 117(9), 1195-1211.
- Ghasemzadeh, F., Kouchakzadeh, S., and Belaud, G. (2020). Unsteady Stage-Discharge Relationships for Sharp-Crested Weirs. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 146(6), 04020009.
- Hager, W., & Hutter, K. (1984). Approximate treatment of plane channel flow. *Acta Mechanica*, 51(1), 31-48.
- Jain, S. C. (2001). Open channel flow, Wiley, New York.
- Liggett, J. A. (1993). Critical Depth, Velocity Profiles, and Averaging. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 119(2), 416-422.
- Mohapatra, P., & Chaudhry, M. (2004). Numerical solution of Boussinesq equations to simulate Dam-Break flows. *Journal of Hydraulic Engineering*, 130(2), 156-159.
- Sivakumaran, N. S., Tingsanchali, T., & Hosking, R. J. (1983). Steady shallow flow over curved

beds. *Journal of Fluid Mechanics*, 128, 469-487.

Zerihun, Y. T., & Fenton, J. D. (2006). One-Dimensional Simulation Model for Steady Transcritical Free Surface Flows at Short Length Transitions. *Advances in Water Resources*, 29(11), 1598-1607.

Zerihun, Y. T., & Fenton, J. D. (2007). A Boussinesq-Type Model for Flow over Trapezoidal Profile Weirs. *Journal of Hydraulic Research*, 45(4), 519-528.

## Investigation of The Position of Control Section in Steady and Unsteady Flow Using Numerical Model and Laboratory Data

**E. Darvishi\*, S. Kouchakzadeh**

\* Corresponding Author: Assistant Professor, Department of Water Engineering, College of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran. Email: e.darvishi@razi.ac.ir

Received: 26 April 2021, Accepted: 23 July 2021

### Introduction

In steady flow, the minimum specific energy and the specific force occur at critical depths. But will it be the same in the unsteady flow? In this research, using laboratory data of water surface profile, the correctness of these equations in unsteady flow and the location of critical flow, minimum specific energy and specific force will be investigated.

### Methodology

#### Laboratory equipment

The experiments were performed in a channel with a width of 0.37 m, a height of 0.6 m and a length of 3 m made of Plexiglas with a thickness of 2 cm located in the hydraulic laboratory of the Technical University of Vienna.

Due to the importance of bed slope, especially in different water measurement structures, Darvishi et al. (2017) attempted to correct the Boussinesq equations Eq (6).

#### Numerical model

The numerical scheme used by Darvishi et al. (2015) to separate the derivative term of the variable  $f$  at point  $n$  from the distance of the four-point finite difference. The upstream boundary condition was considered as the flow discharge changes with time. This hydrograph was used as an upstream boundary condition in the unsteady flow.

### Results and Discussion

In Figure 5, the position of the minimum specific force, initially has a displacement in the positive direction  $x$ , but over time, its position moves upward. While the position of the minimum specific energy and critical flow is constantly moving downstream to stabilize its position after reaching a steady flow. Therefore, determining the critical flow position to measure the flow in unsteady flow using the critical Froude number and minimum energy has a higher confidence than the minimum specific force. In order to investigate Equation 2 in the unsteady flow, the diagram of the changes of specific energy changes in the critical flow relative to the unit discharge is plotted in Figure 7. These two graphs are exactly the same, which means that Equation 2 in the unsteady flow also calculates the unit discharge correctly. These results are consistent with the results of Chanson and Wang 2013. A comparison of this chart with the chart provided by Castro-Orgaz and Chanson 2016 shows a significant difference. In their diagram, the unsteady flow line does not correspond to Equation 2 and for  $q_c$  greater than 0.04 it deviates from Equation 2. The reason for this discrepancy can be related to the Saint-Venant equations used by them to simulate unsteady flows.

Figure 8 shows the changes in the depth slope at the critical depth  $(-h_x)_c$  relative to the product of the critical depth multiplied by the curvature of the bed  $h_c Z_{bxx}$ . Equation 4 is also plotted in the diagram. According to Castro-Orgaz and Chanson 2016 the relative error of estimation  $(-h_x)_c$  using Equation 4 varies from 8.5% to 17.5%. For unit discharge of 0.03559 m<sup>2</sup>/s in paper by Sivakumaran et al. 1983 is also plotted on the chart. As can be seen, at values  $-h_c Z_{bxx}$  less than 0.05, the data correspond to the graph of Equation 4, but with increasing this value, it moves away from this curve. In this case, the relative error is about 17%. So that the laboratory data

does not match this curve. As Fenton and Darvishi 2016 have stated, Equation 4 often does not provide the right results. While Castro-Orgaz and Chanson 2016 have considered this Equation valid for values  $-h_c z_{bxx}$  less than 0.15.

### **Conclusions**

The position of the critical Froude number, the minimum specific energy, and the specific force on the trapezoidal broad-crest for the inlet incremental hydrograph to channel were investigated using the numerical solution of the modified Boussinesq equation and laboratory data. The results showed that the position of the minimum specific energy and the critical Froude number move in a short distance from each other and continuously in the direction of flow. While the position of the specific force, first moves in the forward direction and after a while in the opposite direction of the flow. The unit discharge is very close to each other in all three positions, and in the minimum specific energy and the critical Froude number are exactly the same. Specific energy was also plotted in critical flow versus unit discharge. This diagram is completely consistent with the specific energy relationship in the steady critical flow. In order to judge this relationship more accurately, it is necessary to examine hydrographs with different shapes. The singular point relationship for different beds in the steady flow was also investigated. This relationship has a good accuracy for values less than 0.05 times the product of the second order differential of the bed at critical depth on the studied beds. At values higher than this, there is a relative error of up to 18%.

**Keywords:** Froude number, singular point, curved bed, minimum specific energy, minimum specific force.

نوع مقاله: علمی پژوهشی

## بررسی آزمایشگاهی مقایسه اثر صفحه متخلخل، مانع پیوسته و مانع متخلخل پیوسته در لبه سرریز پلکانی بر مشخصه‌های جریان

سید امین اصغری پری<sup>۱\*</sup> و مجتبی کردنائیج<sup>۲</sup>

۱ و ۲- به ترتیب دانشیار و مدرس گروه عمران دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء بهبهان، ایران  
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۳/۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۷/۱

### چکیده

در تحقیق حاضر به بررسی اثر مانع پیوسته و متخلخل و صفحه متخلخل با ارتفاع‌های مختلف در لبه سرریز پلکانی به منظور شناخت مشخصات جریان پرداخته شده است. آزمایش‌ها روی سرریز پلکانی با دو شیب ۱:۳ و ۱:۲، ارتفاع پله ۱۰/۹ سانتی‌متر، طول پله‌ها ۳۱/۳ و ۲۰/۹ سانتی‌متر و عرض فلوم ۱/۲ متر اجرا گردید. برای اندازه‌گیری پارامترهای جریان، از عمق‌سنج با دقت  $\pm 1$  میلی‌متر و روش پردازش تصویر حباب (BIV) استفاده شد. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که محل هواگیری طبیعی در حالتی که مانع پیوسته در لبه پله قرار گیرد، نسبت به حالت شاهد، در هر دو شیب یک پله به سمت پایین‌دست حرکت می‌کند. بر اساس نتایج پردازش تصویر و استهلاک انرژی، در مواردی که ناحیه اختلاط و ناحیه برگشتی جریان افزایش یابد، میزان استهلاک انرژی افزایش می‌یابد. از بین موانع استفاده شده در تحقیق حاضر، صفحه متخلخل به دلیل دارا بودن ناحیه اختلاط بیشتر و داشتن امکان عبور جت آب از داخل تخلخل‌ها، بیشترین میزان استهلاک انرژی را نسبت به مانع متخلخل و مانع پر پیوسته داشته است و این مقدار، نسبت به حالت شاهد، در هر دو شیب نیز بیشتر بوده است. میزان استهلاک انرژی در شیب ۱:۳ در تمامی آزمایش‌ها بیشتر بوده است تا در شیب ۱:۲.

### واژه‌های کلیدی

استهلاک انرژی، روش BIV، سرریز پلکانی، صفحه متخلخل، مانع پیوسته، مانع متخلخل

### مقدمه

طول سرریز سبب می‌شود تا در انتها به حوضچه‌ای کوچک‌تر نیاز باشد که صرفه اقتصادی را به همراه دارد (Felder & Chanson, 2015). در چند دهه اخیر، محققان در خصوص شناخت نوع جریان، تأثیر ابعاد پلکان سرریز، شروع محل هواگیری، و مکانیزم استهلاک انرژی تحقیقاتی گسترده، اغلب با محوریت آزمایشگاهی، انجام داده‌اند (Amadore, 2006; Meireles & Matos, 2009; Hunt &

شوت‌های پلکانی، به عنوان سازه، به طور معمول در سدهای خاکی و سدهای بتنی وزنی به کار گرفته می‌شوند (Chanson, 2001). وجود پله در سرریز شوت، در مقایسه با شوت صاف، مانند زبری عمل می‌کند که سبب می‌شود میزان هوای وارده افزایش یابد و در نتیجه میزان استهلاک انرژی در راستای پلکان شوت بیشتر شود. استهلاک انرژی زیاد در



- Kordnaeij & Asghari Pari, 2019) بیان نمودند که در شیب ۱:۳ مانع اثر استهلاکی مثبت دارد. استفاده از روش‌های نوین شرایط اندازه‌گیری پارامترهای جریان را بدون ورود آن وسایل در مسیر جریان و ایجاد اختلال در شرایط جریان فراهم می‌کنند که می‌توان به روش‌های پردازش تصویر در هیدرولیک اشاره کرد. برخی از روش‌های پردازش تصویر برای شرایط هیدرولیکی متفاوت دچار محدودیت هستند. روش  $PIV^1$  این امکان را می‌دهد که از آن به‌عنوان ابزاری برای اندازه‌گیری ساختار آشفتگی در شرایط مختلف استفاده و به برخی از مقیاس‌های آشفتگی دسترسی پیدا کرد (Geopfert *et al.*, 2004). از طرفی، VIP در حالت‌هایی که هوا وارد جریان شود و حباب هوا پدیدار گردد، دچار محدودیت اندازه‌گیری می‌شود و نمی‌توان از آن استفاده کرد (Chang & Liu, 1998). از روش  $BIV^2$  نخستین بار ریو و همکاران (Ryu *et al.*, 2005) برای اندازه‌گیری و تحلیل برخورد موج و ورود هوا به درون آن استفاده کردند. عمادزاده و چiew (Emadzadeh & Chiew, 2017) پرش هیدرولیکی را با استفاده از ترکیب PIV و BIV به‌ترتیب برای مناطق بدون حباب هوا و دارای حباب هوا بررسی کردند. از جمله تحقیقاتی که در ارتباط با سرریز پلکانی بدون وجود هر گونه مانع و زبری روی پله و با استفاده از روش‌های پردازش تصویر شده است می‌توان به تحقیقات لندرو و همکاران (Leandro *et al.*, 2014)، بولر و همکاران (Bühler *et al.*, 2015)، بونگ و ولرو (Bung & Valero, 2015)، لویز و همکاران (Lopes *et al.*, 2017)، ژانگ و چنسون (Zhang & Chanson, 2018) و کرامر و چنسون (Kramer & Chanson, 2018) اشاره کرد. در بخشی دیگر، کوردنائیج و اصغری‌پری (Kordnaeij & Kadavy, 2010; Bung, 2011 & 2013; Frizell *et al.*, 2013) در تحقیقات تلاش شده است تا با قرار دادن موانع پیوسته و غیرپیوسته (Kökpınar, 2004; Felder & Chanson, 2014 & 2015; Kordnaeij & Asghari Pari, 2018; Asghari Pari & Kordnaeij, 2019; Razmkhah *et al.*, 2021; Habibi *et al.*, 2021) و زبری در کف پله (Gonzalez & Chanson, 2007; Takahashi *et al.*, 2006; Bung & Schlenkhoff, 2010; Wright, 2010; Torabi *et al.*, 2018; Asghari Pari & Kordnaeij, 2021) در کف و لبه پله سرریز با انواع شکل‌ها و آرایش‌ها، تغییر شکل پله‌ها (Mero *et al.*, 2017; Ashoor *et al.*, 2019; Ali & Yousif, 2019)، ایجاد زاویه در طول سرریز (Ostad Mirza *et al.*, 2016)، ایجاد زاویه در کف پله و مانع لبه (Hamedi *et al.*, 2014)، هوادهی مصنوعی در پله (Novakoski *et al.*, 2020) شرایط هیدرولیکی را بررسی کنند. به‌طور کلی در برخی از موارد با توجه به ارتفاع مانع استفاده شده، شیب سرریز، دبی خروجی، نوع مانع و محل به‌کارگیری مانع، اثر استهلاکی مثبت یا منفی بوده است. برای مثال، گونهر و همکاران (Guenher *et al.*, 2013) با قرار دادن مانع در لبه سرریز با آرایش‌های پیوسته در کل عرض فلوم، آرایش زیگزاگ و یک طرف مانع بودن در کف سرریز بیان داشتند که مانع تأثیر چندانی در استهلاک انرژی ندارد ولی در حالت آرایش زیگزاگی آشفتگی و نوسان‌های سه بعدی در جریان شکل می‌گیرد. در تحقیق دیگری، فلدر و چنسون (Felder & Chanson, 2014) با بررسی اثر مانع با تداخل دو بعدی نشان دادند که این نوع مانع اثر مثبت در استهلاک انرژی ندارد. این در حالی است که برای مانع پیوسته در لبه سرریز، کوردنائیج و اصغری‌پری

جریان نسبت به حالت شاهد و سایر حالت‌ها افزایش ابعادی داشته است.

به منظور افزایش اثر استهلاکی سرریز پلکانی با استفاده از مانع، در این تحقیق تلاش شده است تا اثر مانع پیوسته، مانع متخلخل و صفحه متخلخل با ارتفاع متفاوت در لبه سرریز برای دو شیب مورد بررسی قرار گیرد. همچنین از روش BIV به منظور شناخت بیشتر وضعیت جریان عبوری در حالت‌های مختلف، استفاده شده است.

### آنالیز ابعادی

پارامترهای تأثیرگذار بر استهلاک انرژی برای اثر شکل مختلف مانع پیوسته شامل مانع پر، مانع متخلخل و صفحه متخلخل روی پله با ارتفاع‌های مختلف، از روش پی باکینگهام به منظور به دست آوردن پارامترهای بی بعد موثر استفاده گردید. از این روش استهلاک انرژی از اختلاف انرژی در بالادست (رابطه ۱) و پایین دست سرریز (رابطه ۲) محاسبه شده است.

$$E_0 = y_0 + \frac{V_0^2}{2g} \quad (1)$$

$$E_1 = y_1 + \frac{V_1^2}{2g} \quad (2)$$

در این تحقیق، برای کلیه آزمایش‌ها دریچه انتهایی فلوم به گونه تنظیم شده است که پرش هیدرولیکی آزاد در پنجه سرریز تشکیل شود. از این روش با توجه به محدودیت‌های اندازه‌گیری عمق اولیه پرش، از رابطه بلنجر برای محاسبه عمق اولیه پرش استفاده گردید. برای محاسبه افت نسبی، از رابطه ۳ استفاده شد.

$$\Delta E_r = \frac{\Delta E}{E_0} = \frac{E_0 - E_1}{E_0} = 1 - \frac{E_1}{E_0} = 1 - \frac{[y_1 + \frac{V_1^2}{2g}]}{(1.5d_c + P)} \quad (3)$$

(Asghari Pari, 2019)، اصغری پری و کردنائیج (Asghari Pari & Kordnaeij, 2020 & 2021) و رزمخواه و همکاران (Razmkhah et al., 2021) اثر قرارگیری مانع پیوسته، غیرپیوسته، زبری با شکل‌ها و آرایش‌های مختلف و محل قرارگیری مانع در کف پله را با استفاده از این روش بررسی کردند که بسته به شیب سرریز، نوع مانع و زبری اثر استهلاکی نسبت به شاهد مثبت یا منفی بوده است. تمامی تحقیقات اشاره شده با استفاده از روش پردازش تصویر توانستند توصیف بهتر و کامل تری از جریان عبوری از روی سرریز پلکانی ارائه دهند. لوپز و همکاران (Lopes et al., 2017) با استفاده از روش BIV برای دو سرریز با عرض متفاوت نشان دادند که در سرریز با عرض کم نواحی شکل گرفته روی دو پله متوالی یکسان و از نوع چرخشی است در حالی که در سرریز با عرض بیشتر، علاوه بر ناحیه چرخشی، ناحیه اختلاط نیز شکل می‌گیرد. اصغری پری و کردنائیج (Asghari Pari & Kordnaeij, 2021) می‌گویند علاوه بر عرض سرریز، با کاهش شیب سرریز، ابعاد ناحیه اختلاط افزایش می‌یابد و ناحیه چرخشی تقریباً ثابت می‌ماند. برای قرارگیری مانع نیز کردنائیج و اصغری پری (Kordnaeij & Asghari Pari, 2019) و اصغری پری و کردنائیج (Asghari Pari & Kordnaeij, 2019 & 2021) نشان داده‌اند که قرارگیری مانع با توجه به پیوسته یا غیرپیوسته بودن مانع و ارتفاع مانع، ابعاد و نوع نواحی کاملاً متفاوت‌اند و در برخی شرایط نواحی اختلاطی جدید شکل می‌گیرد. رزمخواه و همکاران (Razmkhah et al., 2021) نیز برای محل مانع یک فاصله و ارتفاع نسبی مانع پیوسته را تعیین کردند که در شرایط بهینه بیان شده، ناحیه اختلاط

که در آنها؛

$V_1$  = سرعت جریان در پنجه سرریز (m/s)؛  $v_1$  = عمق اولیه جریان بعد از سرریز (m)؛  $d_c$  = عمق بحرانی جریان روی سرریز (m)؛  $P$  = ارتفاع کل سرریز (m)؛  $E_1$  = انرژی در پنجه سرریز (m)؛  $E_0$  = انرژی کل بالادست (m)؛ و  $\Delta E_r$  = افت نسبی انرژی.

به منظور بررسی پارامترهای تأثیرگذار بر استهلاک انرژی، در تحقیق حاضر از روش پی باکینگهام برای به دست آوردن پارامترهای بی بعد استفاده شد. پارامترهای موثر بر افت انرژی در سرریز پلکانی با مانع کامل، متخلخل و صفحه متخلخل برابر است با دبی جریان (q)، طول (l) و ارتفاع پله‌ها (h)، عرض سرریز (w)، شتاب ثقل (g)، عمق بحرانی جریان در ورودی سرریز (dc)، دانسیته سیال ( $\rho$ )، کشش سطحی ( $\sigma$ )، لزوجت دینامیکی سیال ( $\mu$ )، تعداد پله‌های سرریز ( $N_0$ )، ارتفاع مانع ( $h_0$ ) و نوع مانع (sh). بنابراین میزان افت انرژی تابعی از متغیرهای بیان شده هستند که به صورت زیر نمایش داده می‌شود:

$$F = f(q, l, h, w, g, d_c, \rho, \sigma, \mu, h_0, \Delta E_r, sh, N_0) \quad (۴)$$

پس از آنالیز ابعادی استفاده از روش پی باکینگهام، پارامترهای بدون بعد به صورت زیر هستند:

$$f = \left( \frac{h_0}{h}, \frac{h}{l}, \frac{d_c}{h}, \frac{w}{l}, \Delta E_r, We, Fr, Re, sh, N_0 \right) = 0 \quad (۵)$$

که در آن،

$Re$  = عدد رینولدز؛  $Fr$  = عدد فرود؛ و  $We$  = عدد وبر.

چاو (Chow, 1959) می‌گوید برای عدد رینولدز در صورت بیشتر بودن از ۲۰۰۰، و برای عدد وبر در صورتی که عمق آب بیشتر از ۳ تا ۴ سانتی متر باشد، می‌توان از اثرهای آن صرف نظر کرد. محدوده عدد رینولدز در تحقیق حاضر از ۳۴۵۰۰ تا ۱۰۵۰۰۰

است. همچنین ارتفاع آب در ورودی سرریز برای دبی حداقل بیش از ۴ سانتی متر است و از این رو عدد وبر نیز قابل صرف نظر کردن خواهد بود. تعداد پله‌ها و عرض پله ثابت‌اند و قابل صرف نظر کردن هستند و از این رو خواهیم داشت:

$$\Delta E_r = \frac{\Delta E}{E_0} = f\left(\frac{h_0}{h}, \frac{h}{l}, \frac{d_c}{h}, Fr, sh\right) = 0 \quad (۶)$$

### مواد و روش‌ها

آزمایش‌ها در مرکز تحقیقاتی هیدرولیک دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء بهبهان و در فلوم مستقیم با طول ۱۰ متر، عرض ۱/۲ متر و ارتفاع ۱ متر اجرا شده است. در ۳ متر ابتدایی مسیر ارتفاع فلوم ۱/۲ متر و کف فلوم در ارتفاع ۱/۵ متر نسبت سطح زمین است. در قسمت ورودی فلوم یک مخزن به ارتفاع حدود ۳ متر و عرض معادل فلوم نصب شد که ورودی پمپ‌ها به داخل این مخزن هدایت می‌شد تا نوسان‌های جریان ورودی کاهش یابد. فلوم دارای ۲ پمپ ۸ اینچ با دبی ۱۵۰ لیتر بر ثانیه بوده است. اندازه‌گیری دبی با دبی سنج التراسونیک بوده است. دیواره‌های فلوم از جنس شیشه سکوریت شفاف به ضخامت ۱۰ میلی‌متر و کف آن فلزی با پوشش رنگ بوده است. برای اندازه‌گیری عمق پایاب بعد از پرش پایین دست سرریز و عمق آب در بالادست روی ورودی سرریز از دو عدد عمق سنج با دقت اندازه‌گیری  $\pm 1$  میلی‌متر استفاده گردید. برای کاهش تلاطم جریان ورودی به فلوم، در ورودی دو ردیف شبکه توری فلزی نصب گردید. یک عدد یونولیت روی ورودی ابتدایی اضافه گردید تا تلاطم جریان ورودی به حداقل برسد. سرریز در فاصله ۱/۵ متری از ابتدای فلوم نصب شد. مشخصات هندسی سرریزها در جدول ۱ آورده شده است. طول ورودی

در هر دو سرریز برای توسعه جریان بر اساس توصیه سانتی-متر است. شماره‌گذاری از لبه ورودی بوده کرامر و چنسون (Kramer & Chanson, 2018)، ۵۸ است.

جدول ۱- مشخصات هندسی سرریزهای پلکانی تحقیق

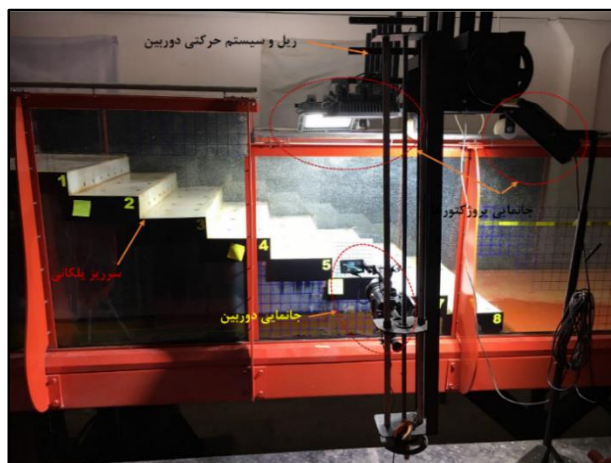
Table 1- Spillways Geometry of research

| تعداد پله | ارتفاع پله | طول پله (cm) | ارتفاع سرریز |
|-----------|------------|--------------|--------------|
| (No)      | (cm)       |              | (cm)         |
| 8         | 10.9       | 20.9         | 88 شیب 1:2   |
| 8         | 10.9       | 31.3         | 87 شیب 1:3   |

تعیین فاصله کانونی، از یک صفحه مشبک با ابعاد شبکه ۲ در ۲ سانتی-متری استفاده شد که در هر آزمایش پیش از روشن کردن پمپ‌ها تنظیم می‌گردید. فیلم ثبت شده پس از تبدیل به عکس در کد PIV-Lab (Thielicke & Stamhuis, 2014) فراخوانی و آنالیز گردیدند. شکل ۱ نمای کلی از وضعیت سرریز، قرارگیری دوربین و پروژکتورها را در فلوم نشان می‌دهد.

با توجه به محدوده دبی در تحقیق حاضر،  $(\frac{d_c}{h})$  برای تشکیل هر سه رژیم جریان ریزشی، انتقالی و رویه‌ای از ۰/۳۷ تا ۱/۰۶ بوده است. آزمایش‌های تحقیق حاضر در قالب ۳ نوع مانع متفاوت در لبه سرریز شامل مانع پیوسته، صفحه متخلخل و مانع متخلخل با ارتفاع‌های نسبی (ارتفاع مانع به ارتفاع پله،  $(\frac{h_0}{h})$  ۰/۷۴-۰/۵۶-۰/۳۸-۰/۱۹) برای هر دو شیب ۱:۲ و ۱:۳ اجرا شد. برای هر گروه، در جدول ۲ آزمایش‌ها با نام‌گذاری اختصاری آورده شده است.

برای تصویربرداری از دوربین SONY FS5 به-همراه ۳ عدد پروژکتور LED150 برای تامین روشنایی محل ثبت تصویر استفاده شده است. زاویه قرارگیری پروژکتورها در بالا و کناره بیرون، به‌منظور روشنایی سطح محل برداشت، با سعی و خطا برای رسیدن به بهترین حالت نوری در ردیابی حباب‌ها به‌دست آمد. برای جابه‌جایی و تنظیم محل دوربین، از یک ریل با قابلیت حرکت در سه جهت استفاده شد. فاصله عرضی فلوم با دوربین بر اساس پیشنهاد بونگ و ولرو (Bung & Valero, 2015) و عمادزاده و چيو (Emadzadeh & Chiew, 2017) و شرایط آزمایش و دوربین، ۵۰ سانتی-متر انتخاب شد. روش BIV در واقع تعیین مشخصه‌های جریان‌های دارای حباب هوا با استفاده از تصاویر ثبت شده در محل مورد نظر است. تصویربرداری در محل پله ۶ به ۷ انتخاب شد که جریان کاملاً توسعه یافته و ناحیه چرخشی حباب هوا کامل شکل گرفته‌است. برای



شکل ۱- نمایی از سرریز پلکانی و تجهیزات اندازه‌گیری (شیب ۱:۳)  
Figure 1- Flume, spillway, LED, rail and location of camera, (slope 1:3)

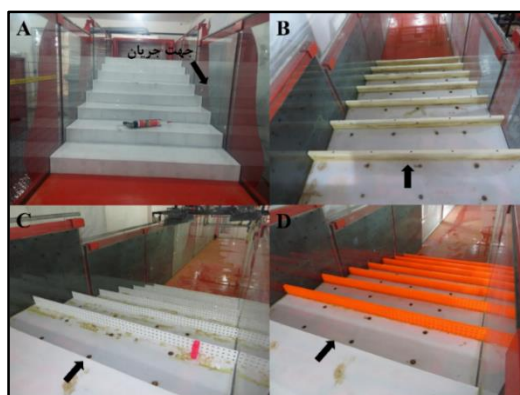
جدول ۲- نام‌گذاری مدل‌های تحقیق

Table 2- Naming research models

| نام مدل       | حالت شاهد | مانع پیوسته<br>در لبه | صفحه پیوسته<br>متخلخل در لبه | مانع متخلخل<br>پیوسته در لبه |
|---------------|-----------|-----------------------|------------------------------|------------------------------|
| علامت اختصاری | FS        | EO                    | ES                           | EP                           |

تحقیق‌های اصغری‌پری و کردنائیج (Asghari Pari & Kordnaeij, 2021) هستند. در مجموع ۱۶۰ آزمایش برای حالت‌های مختلف مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است. در شکل ۲ شکل‌های مختلف مانع برای شیب ۱:۳ آورده شده است و برای شیب ۱:۲ نیز شرایط مشابه است.

انتخاب مانع متخلخل بر اساس نتایج تحقیقات کردنائیج و همکاران (Kordnaeij et al., 2017) در اثربخش بودن این نوع مانع در کنترل جریان غلیظ و شکل‌گیری جریان‌های چرخشی استهلاکی در درون تخلخل بوده است. آزمایش‌های مانع پیوسته و متخلخل برای ارتفاع نسبی ۰/۱۹ از نتایج



شکل ۲- سناریوهای آزمایش در شیب ۱:۳: A: شاهد (FS)، B: مانع پیوسته (EO)، C: صفحه متخلخل پیوسته (ES) و D: مانع متخلخل پیوسته (EP)

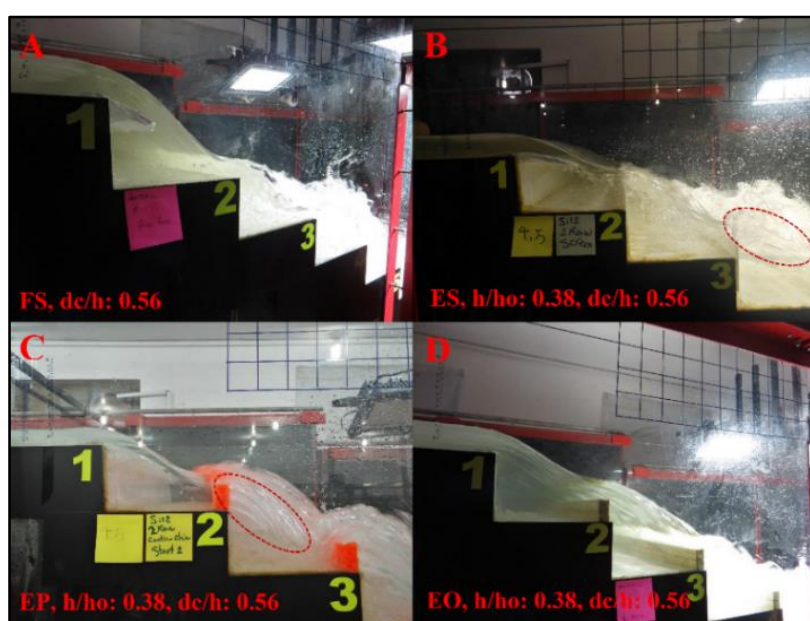
Figure 2- Model type, slope= 1:2, A: Flat Step (FS), B: Edge Obstacle (EO), C: Edge Screen (ES) & D: Edge Porous (EP)

## نتایج و بحث

### وضعیت جریان عبوری

نسبت به حالت شاهد، می‌شود. از طرفی، در مانع و صفحه متخلخل به دلیل عبور جریان آب از درون تخلخل‌ها و شکل‌گیری جت آب (که در شکل ۳ با خط چین مشخص شده است)، امکان اختلاط بیشتر در جریان زیر سطحی و ایجاد سطح دارای تلاطم بیشتر نسبت به مانع پیوسته پر در دو رژیم اشاره شده وجود دارد (شکل ۳).

قرارگیری مانع پیوسته در لبه پله در رژیم‌های مختلف عملکرد متفاوتی دارد. مشاهدات در زمان اجرای آزمایش نشان داد که مانع پیوسته در رژیم‌های ریزشی و حد پایین انتقالی سبب تلاطم بیشتر جریان و ورود هوای بیشتر به جریان عبوری،

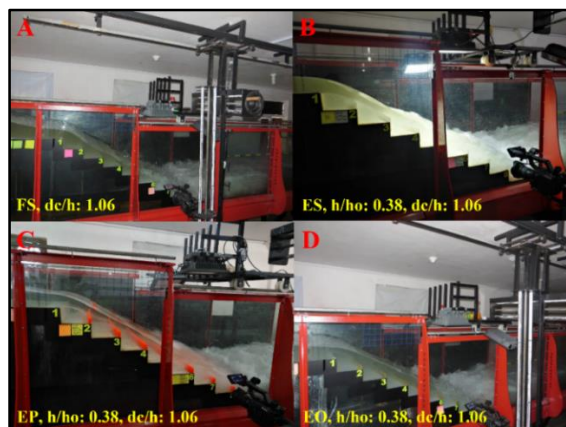


شکل ۳- وضعیت جریان عبوری در دبی و ارتفاع نسبی یکسان موانع در شیب ۱:۲

Figure 3- Passing flow in identical relative height of the obstacles on a slope of 1: 2

نوسان‌ها نسبت به مانع پر پیوسته در این حالت‌ها نیز بیشتر است. از طرفی دیگر، به‌طور کلی قرارگیری مانع پیوسته با هر سه آرایش در لبه سرریز، در تمامی رژیم‌های جریان سبب افزایش ارتفاع جریان عبوری نسبت به حالت شاهد می‌گردد (شکل ۴).

با افزایش دبی و برای حد بالای جریان انتقالی و جریان رویه‌ای، برای آرایش‌های دارای تخلخل (مانع و صفحه متخلخل) مشاهده جت خروجی به دلیل پر شدن حفره‌های گوشه از بین می‌رود، ولی اثر آنها وجود دارد و این اثر بر نواحی شکل گرفته در کف پله گذاشته می‌شود. در سطح نیز



شکل ۴- وضعیت جریان عبوری در دبی حداکثر (جریان رویه‌ای) و ارتفاع نسبی یکسان موانع در شیب ۱:۲  
Figure 4- Passing flow at maximum discharge (skimming) and identical relative height of the obstacles, slope 1:2

### رژیم جریان و نقطه هواگیری

به‌منظور تعیین مرزهای رژیم جریان شامل جریان ریزشی، انتقالی و رویه‌ای، مطالعات آزمایشگاهی بسیاری با در نظر گرفتن دو پارامتر عمق بحرانی نسبی ( $\frac{d_c}{h}$ ) و شیب سرریز ( $\frac{h}{L}$ ) اجرا شده است. ارزیابی بصری مطالعات موجب گردیده تا برای معیارهای ارزیابی تجربی پراکندگی در محدوده‌های اعلام شده شکل گیرد (Ostad Mirza, 2016). از طرفی دیگر، روابط ارائه شده تاکنون برای حالت‌های

مختلف سرریز پلکانی بدون مانع و زبری بوده است (Chanson, 1995 & 2001; Chanson *et al.*, 2015). نتایج تحقیق‌های اصغری‌پری و کردنائیج (Asghari Pari & Kordnaeij, 2021) نشان داد که قرارگیری مانع متخلخل و شبکه تخلخلی با آرایش‌های مختلف در هر دو شیب ۱:۲ و ۱:۳، سبب می‌شوند تا مرزهای جریان نسبت به حالت شاهد در دبی پایین‌تر شروع شوند. نتایج حاصل از مشاهدات آزمایش‌های تحقیق حاضر در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳- رژیم جریان شکل گرفته برای آرایش‌های مختلف  
Table 3- Onset of flow regimes on different type of models

| نام مدل | ho/h | θ    | dc/h |      |      |      |      |      |      |      |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|         |      |      | 0.46 | 0.55 | 0.64 | 0.73 | 0.83 | 0.92 | 1.01 | 1.06 |
| F.S     | 0    | 19.2 | NAP  | NAP  | NAP  | TRA  | TRA  | TRA  | SKI  | SKI  |
| EO      | 0.19 | 19.2 | NAP  | TRA  | TRA  | TRA  | SKI  | SKI  | SKI  | SKI  |
| EO      | 0.38 | 19.2 | NAP  | NAP  | TRA  | TRA  | TRA  | TRA  | SKI  | SKI  |
| EO      | 0.56 | 19.2 | NAP  | NAP  | TRA  | TRA  | TRA  | TRA  | SKI  | SKI  |
| EO      | 0.74 | 19.2 | NAP  | NAP  | NAP  | TRA  | TRA  | TRA  | SKI  | SKI  |
| ES      | 0.19 | 19.2 | NAP  | NAP  | TRA  | TRA  | TRA  | TRA  | SKI  | SKI  |
| ES      | 0.38 | 19.2 | NAP  | NAP  | TRA  | TRA  | TRA  | TRA  | SKI  | SKI  |
| ES      | 0.56 | 19.2 | NAP  | NAP  | TRA  | TRA  | TRA  | SKI  | SKI  | SKI  |
| EP      | 0.19 | 19.2 | NAP  | NAP  | TRA  | TRA  | TRA  | SKI  | SKI  | SKI  |

ادامه جدول ۳- رژیم جریان شکل گرفته برای آرایش‌های مختلف

Table 3- Onset of flow regimes on different type of models

| نام مدل | ho/h | $\theta$ | dc/h |      |      |      |      |      |      |      |
|---------|------|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|         |      |          | 0.46 | 0.55 | 0.64 | 0.73 | 0.83 | 0.92 | 1.01 | 1.06 |
| EP      | 0.38 | 19.2     | NAP  | NAP  | TRA  | TRA  | TRA  | SKI  | SKI  | SKI  |
| EP      | 0.56 | 19.2     | NAP  | TRA  | TRA  | TRA  | TRA  | SKI  | SKI  | SKI  |
| F.S     | 0    | 27.5     | NAP  | NAP  | TRA  | TRA  | SKI  | SKI  | SKI  | SKI  |
| EO      | 0.19 | 27.5     | NAP  | TRA  | TRA  | SKI  | SKI  | SKI  | SKI  | SKI  |
| EO      | 0.38 | 27.5     | NAP  | TRA  | TRA  | SKI  | SKI  | SKI  | SKI  | SKI  |
| EO      | 0.56 | 27.5     | NAP  | TRA  | TRA  | SKI  | SKI  | SKI  | SKI  | SKI  |
| ES      | 0.19 | 27.5     | NAP  | NAP  | TRA  | TRA  | SKI  | SKI  | SKI  | SKI  |
| ES      | 0.38 | 27.5     | NAP  | TRA  | TRA  | S-T  | SKI  | SKI  | SKI  | SKI  |
| ES      | 0.56 | 27.5     | NAP  | TRA  | TRA  | TRA  | S-T  | SKI  | SKI  | SKI  |
| EP      | 0.19 | 27.5     | NAP  | TRA  | TRA  | SKI  | SKI  | SKI  | SKI  | SKI  |
| EP      | 0.38 | 27.5     | NAP  | TRA  | S-T  | SKI  | SKI  | SKI  | SKI  | SKI  |

شاهد می‌شود به‌طوری‌که جریان در دبی پایین‌تر به حالت انتقالی و در ادامه نیز به حالت رویه‌ای تبدیل می‌گردد. اثرگذاری مانع بر جابه‌جایی مرز جریان برای شیب ۱:۲ نسبت به شیب ۱:۳ بیشتر است. شماره پله محل هواگیری طبیعی سرریز پلکانی برای هر دو شیب تحقیق حاضر در جدول ۴ آورده شده است.

مشابه با نتایج تحقیق‌های اصغری‌پری و کردنائیج (Asghari Pari & Kordnaeij, 2021)، در حالت شاهد با افزایش شیب سرریز از ۱:۳ به ۱:۲، فاصله مورد نیاز برای توسعه لایه مرزی افزایش می‌یابد به‌طوری‌که محل هواگیری در شرایط دبی یکسان ( $\frac{d_c}{h}=1.06$ ) در حالت آزاد از پله ۴ در شیب ۱:۳ به پله ۵ در شیب ۱:۲ رسیده است. با توجه به نتایج ذکر شده در جدول ۴، به‌طور کلی مشاهده می‌شود که قرارگیری مانع پیوسته با شکل‌های مختلف در لبه سرریز در هر شیب مورد بررسی سبب شده که محل هواگیری یک پله به‌سمت پایین‌دست حرکت کند. در جدول ۴، N یعنی آزمایش اجرا نشده است.

در تحقیق حاضر، رژیم‌های جریان دسته‌بندی گردیدند که در این دسته‌بندی جریان ریزشی (NAP) برای حالت‌هایی که ریزش پلکانی بدون چرخش هوا بوده در نظر گرفته شده است. برای جریان انتقالی (TRA) حالتی در نظر گرفته شده است که هم چرخش هوا در ناحیه چرخشی و هم حفره هوا به همراه نوسان‌های مشاهده شده وجود داشته باشد. جریان رویه‌ای (SKI) برای حالتی که هیچ‌گونه حفره در پله وجود نداشته باشد و جریان چرخشی در کف کاذب تشکیل شده باشد در نظر گرفته شده است. وجود تخلخل در مانع متخلخل و صفحه متخلخل موجب گردیده تا بخشی از جریان از درون حفره‌ها عبور کند و در نتیجه در محدوده رژیم انتقالی به رویه‌ای حالتی شکل گیرد که جریان عبوری تا نیمه ابتدایی سرریز حالت رویه‌ای و در ادامه مشخصات جریان انتقالی را داشته باشد. از این‌رو، این حالت انتقالی - رویه‌ای (S-T) نام‌گذاری شد. نتایج تحقیق نشان می‌دهد به‌طور کلی قرارگیری مانع پیوسته در لبه سرریز با ارتفاع‌های مختلف سبب جابه‌جایی مرز جریان نسبت حالت



جدول ۴- شماره پله شروع محل هواگیری طبیعی سرریز پلکانی برای آرایش‌های مختلف

Table 4- Inception Point of free aeration (IP) in different types of model

| نام مدل و شیب  | EO, ho/h |      |      |      |      | EP, ho/h |      |      | ES, ho/h |      |      |
|----------------|----------|------|------|------|------|----------|------|------|----------|------|------|
|                | FS       | 0.19 | 0.38 | 0.56 | 0.74 | 0.19     | 0.38 | 0.56 | 0.19     | 0.38 | 0.56 |
| $\theta: 19.2$ | 4        | 5    | 5    | 5    | 5    | 5        | 5    | 5    | 4        | 5    | 5    |
| $\theta: 27.5$ | 5        | 6    | 6    | 6    | N    | 6        | 6    | N    | 6        | 6    | 6    |

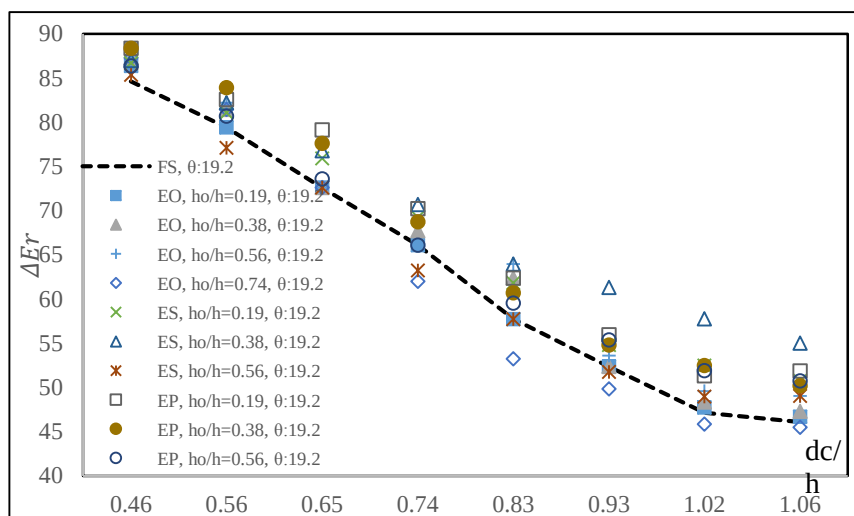
## مقایسه استهلاک انرژی بر اساس پارامتر دبی

$$\left(\frac{d_c}{h}\right)$$

میزان استهلاک انرژی با توجه به رابطه ۲ برای تمامی آزمایش‌ها محاسبه و نتایج در شکل‌های ۵ و ۶ برای هر دو شیب ۱:۲ و ۱:۳ بر اساس پارامتر دبی  $\left(\frac{d_c}{h}\right)$  به صورت جداگانه آورده شده است. به طور کلی مشاهده می‌شود که قرارگیری مانع پر، متخلخل و صفحه متخلخل در رژیم ریزشی در هر دو شیب بررسی شده سبب افزایش استهلاک انرژی نسبت به حالت شاهد می‌شود. لازم است یادآوری شود که در رژیم ریزشی، بخش زیادی از انرژی جریان توسط سرریز پلکانی به دلیل ماهیت پلکانی آن مستهلک می‌شود.

به طوری که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، هر چند افزایش ارتفاع نسبی مانع در رژیم ریزشی سبب افزایش استهلاک انرژی در هر دو شیب شده است اما میزان افزایش استهلاک در اثر افزایش ارتفاع مانع کمتر از ۲ درصد است. با تغییر رژیم جریان از ریزشی به انتقالی، عملکرد مانع در استهلاک انرژی در دو شیب تغییر می‌کند.

در شیب ۱:۳ در رژیم انتقالی نیز موانع به کار رفته اثر استهلاکی مثبت نسبت به حالت شاهد داشته است. در این شیب و رژیم جریان، مانع متخلخل (EP) اثر استهلاکی بیشتری به ترتیب نسبت به صفحه متخلخل (ES) و مانع پر (EO) دارد و در هر سه آرایش بیان شده (EO, ES, EP) در این رژیم ارتفاع نسبی ۰/۳۸ بیشترین میزان استهلاک را داشته است. برتری مانع متخلخل در این رژیم در استهلاک انرژی در اثر سه بعدی بودن مانع متخلخل است که انرژی جریان را مستهلک می‌کند. در رژیم رویه‌ای برای شیب ۱:۳ نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که هر سه آرایش استفاده شده استهلاک انرژی نسبت به حالت شاهد افزایش یافته است و در این حالت به ترتیب صفحه متخلخل (ES)، مانع متخلخل (EP) و مانع پر (EO) دارای بیشترین میزان استهلاک انرژی بوده‌اند. برای مثال در دبی حداکثر، میزان استهلاک انرژی حالت شاهد ۴۶ درصد است و این مقدار برای صفحه متخلخل (ES) ۵۵ درصد، مانع متخلخل (EP) ۵۲ درصد و برای مانع پر (EO) ۴۹ درصد است.



شکل ۵- مقایسه استهلاك انرژی آرایش‌های مختلف در شیب ۱:۳  
Figure 5- Comparison of different obstacle on energy dissipation, slope 1:3

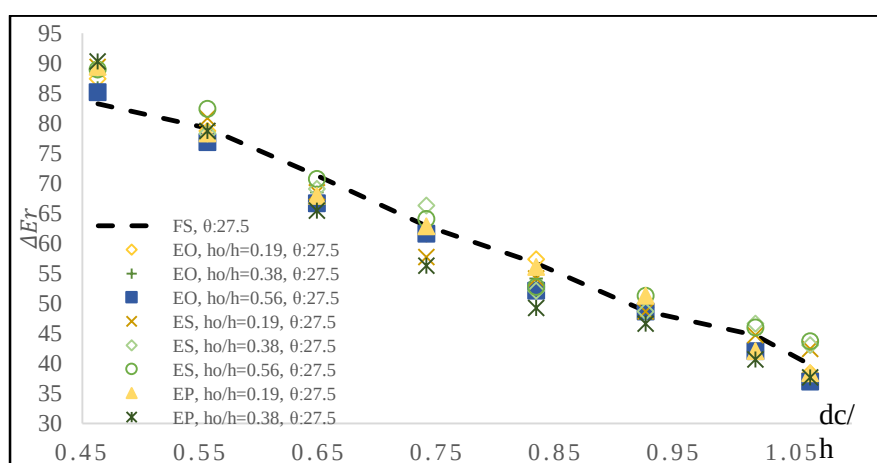
پیر (ho/h=0.74)، به علت تشکیل حالت حوضچه روی پلکان اثر استهلاکی مانع حتی نسبت به حالت شاهد نیز در رژیم‌های بالا کمتر می‌شود. افزایش ارتفاع مانع (بدون در نظر گرفتن نوع مانع) از یک ارتفاع نسبی بالاتر با توجه به نوع مانع، سبب می‌شود که جریان گردابه‌ای تشکیل شود که کل سطح پله را در بر می‌گیرد و در نتیجه در سطح پله از شدت نوسان‌ها و تلاطم‌های جریان سطحی کاسته می‌شود.

برای شیب ۱:۲ در رژیم انتقالی فقط صفحه متخلخل اثر استهلاکی مثبت (آن هم کمتر از ۳ درصد) نسبت به حالت شاهد داشته است در حالی که موانع پر و متخلخل اثر استهلاکی مثبت نداشته‌اند. در رژیم رویه‌ای نیز فقط صفحه متخلخل استهلاك انرژی را نسبت به حالت شاهد افزایش داد و ارتفاع نسبی ۰/۳۸ به عنوان ارتفاع بهینه برای دو رژیم جریان انتقالی و رویه‌ای در این شیب انتخاب گردید. برای رژیم ریزشی ارتفاع نسبی ۰/۵۶ اثر استهلاکی بهتری داشته است. اگر چه در ارتفاع نسبی ۰/۵۶ برای رژیم جریان انتقالی و رویه‌ای نیز در برخی از موارد مانند dc/h=0.93 و dc/h=0.65

برای آرایش صفحه متخلخل فقط امکان شکل‌گیری جت آب خروجی از درون تخلخل و در نتیجه اندرکنش آن با جریان عبوری از روی مانع در محل کف پله وجود دارد و از این رو نسبت به مانع پر در این شیب عملکرد استهلاکی بهتری دارد. برای مانع متخلخل، علاوه بر جت خروجی و با توجه به ماهیت سه بعدی بودن جریان و امکان شکل‌گیری حالت گردابه‌ای در درون تخلخل‌ها (Asghari Pari & Kordnaeij, 2021)، میزان استهلاك انرژی جریان، نسبت به صفحه متخلخل، نیز افزایش می‌یابد. برای آرایش‌های مانع متخلخل و صفحه متخلخل ارتفاع نسبی ۰/۳۸ بیشترین میزان استهلاك انرژی را داشته است و از این رو ارتفاع نسبی (ho/h=0.38) به عنوان ارتفاع بهینه در استهلاك انرژی در شیب ۱:۳ برای هر سه رژیم جریان برای این دو مانع در نظر گرفته شده است در حالی که برای مانع پر، ارتفاع نسبی ۰/۵۶ بیشترین میزان استهلاك انرژی را دارد. نتایج بررسی‌ها همچنین نشان می‌دهد که برای ارتفاع بیشتر از حالت بهینه در برخی از موانع مانند مانع

گردید و بدین ترتیب ارتفاع نسبی ۰/۳۸ برای هر سه رژیم جریان برای صفحه متخلخل به عنوان ارتفاع بهینه (در محدوده متغیرهای بررسی شده تحقیق حاضر) در نظر گرفته شده است. مانع پر و متخلخل در رژیم‌های انتقالی و رویه-ای اثر استهلاکی منفی داشته‌اند به طوری که با افزایش ارتفاع نسبی مانع، این تأثیر منفی نیز افزایش می‌یابد (شکل ۶).

میزان استهلاک نسبت به ارتفاع نسبی ۰/۳۸ بیشتر بوده است ولی استفاده از مانع با ارتفاع نسبی ۰/۵۶ ضمن اینکه تأثیر بسزایی در استهلاک انرژی نداشته است، سبب افزایش ارتفاع تراز آب روی سرریز و در نتیجه افزایش ارتفاع دیواره کناری سرریز می‌شود، از این رو ارتفاع نسبی ۰/۳۸ به عنوان ارتفاع بهینه در نظر گرفته شده است. این اثر برای رژیم جریان ریزشی نیز اعمال



شکل ۶- مقایسه استهلاک انرژی آرایش‌های مختلف در شیب ۱:۲

Figure 6- Comparison of different obstacle on energy dissipation, slope 1:2

به شیب ۱:۲ بیشتر است و افزایش ابعادی ناحیه اختلاط را عامل افزایش استهلاک انرژی می‌دانند. برای حالت قرارگیری مانع پیوسته نیز می‌گویند که در برخورد جریان با مانع بخشی از جریان در ناحیه اختلاط و در نزدیکی مانع منحرف می‌شود که آن را ناحیه جریان برگشتی<sup>۳</sup> (RF) نامیده‌اند. با افزایش ارتفاع نسبی مانع پیوسته ناحیه چرخشی کل سطح پله را در برمی‌گیرد و به حالت استخری<sup>۴</sup> (RZp) تبدیل می‌شود. نواحی اشاره شده توسط اصغری‌پری و کردنائیج (Asghari Pari & Kordnaeij, 2021) برای جریان رویه‌ای بوده است که برای آزمایش‌های تحقیق حاضر نیز نواحی اشاره شده مشاهده گردید.

## خطوط جریان و نواحی ایجاد شده با استفاده از روش BIV

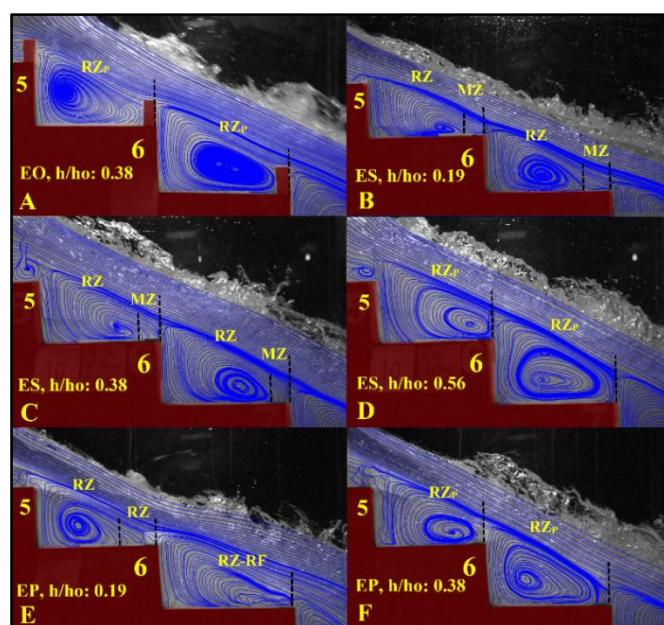
برای حالت بدون مانع، نتایج به کارگیری روش BIV در هر دو شیب ۱:۲ و ۱:۳ ناحیه چرخشی<sup>۱</sup> (RZ) در زیر کف کاذب و ناحیه اختلاط<sup>۲</sup> (MZ) در قسمت لبه توسط اصغری‌پری و کردنائیج (Asghari Pari & Kordnaeij, 2021) گزارش گردید که این حالت را دیگر محققان (Zare & Doering, 2012; Boes & Hager, 2003 a & b) نیز گزارش کرده‌اند. محققان یاد شده همچنین اضافه می‌کنند که هم ابعاد و شکل ناحیه چرخشی در کف کاذب در دو پله متوالی و هم طول ناحیه اختلاط در شیب ۱:۳ نسبت

1- Recirculation zone  
3- Redirected Flow

2- Mixing zone  
4- Pooled Recirculation zone

۱:۳ ارتفاع بیشتر مانع نسبت به شیب ۱:۲ نیاز است که حالت استخری بر روی پلکان ایجاد شود (Asghari Pari & Kordnaeij, 2021& 2019). نواحی شکل گرفته به لحاظ نوع نواحی و ابعاد نواحی بر روی پله برای حالت مانع متخلخل (EP) با ابعاد معادل مانع پیوسته پر چوب در هر دو شیب مشابه هستند. هر چند در مورد جریان‌های سطحی عبوری در این حالت‌ها، متفاوت‌اند.

در شکل‌های ۷ و ۸ نتایج مربوط به خطوط جریان برای آرایش‌های مختلف بررسی شده در تحقیق حاضر برای هر دو شیب در رژیم جریان رویه‌ای (دبی حداکثر) آورده شده است. افزایش ارتفاع نسبی مانع پیوسته پر سبب شکل‌گیری حالت استخری می‌شود که در تحقیق حاضر برای شیب ۱:۲ در ارتفاع نسبی ۰/۳۸ در هر دو پله شکل ۷ (A) و برای شیب ۱:۳ در ارتفاع نسبی ۰/۷۴ رخ داده است. در این حالت به علت طول بیشتر پله در شیب



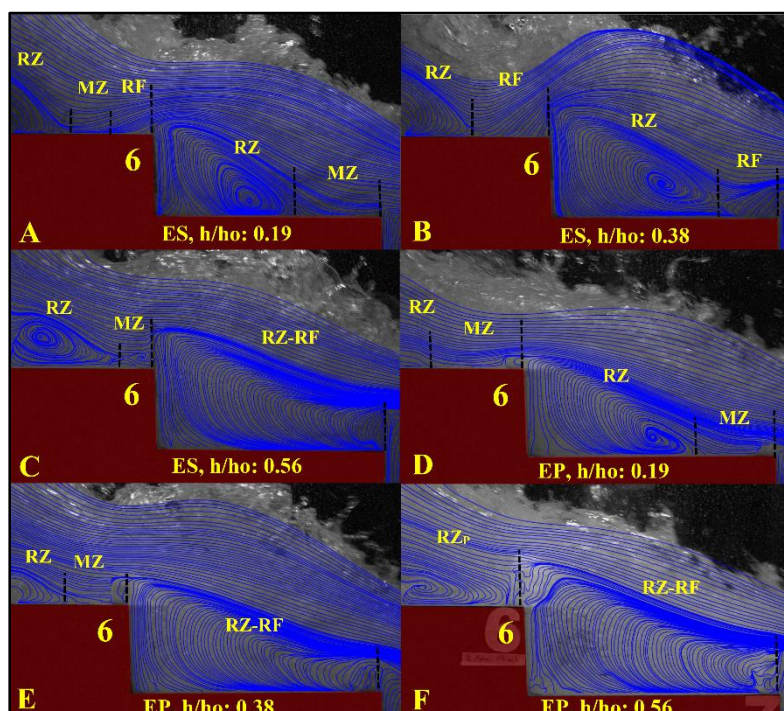
شکل ۷- مقایسه نواحی شکل گرفته بر روی دو پله ۶ و ۷ در جریان رویه‌ای در شیب ۱:۲

Figure 7- Comparison of the areas formed on two steps 6 and 7 in the skimming flow, slope 1:2

استخری نزدیک می‌شود و حالت جریان (RZ-RF) شکل می‌گیرد (شکل ۸ از A تا C). برای شیب ۱:۲ تا ارتفاع نسبی ۰/۳۸ شرایط مشابه با شرایط شاهد است ولی مجموع ناحیه MZ نسبت به شاهد افزایش می‌یابد.

در ارتفاع نسبی ۰/۵۶ به‌طور کامل حالت استخری (RZp) در هر دو پله متوالی شکل می‌گیرد (شکل ۸ از B تا D).

مقایسه نتایج به‌کارگیری روش BIV برای صفحه متخلخل (ES) در لبه سرریز در دو شیب نشان می‌دهد که در شیب ۱:۳ با افزایش ارتفاع نسبی ES از ۰/۱۹ به ۰/۳۸، علاوه بر گسترش ناحیه تحت تأثیر جریان‌های اختلاطی و برگشتی (MZ و RF)، میزان نوسان‌ها و پرتاب جریان نیز افزایش می‌یابد. زمانی که ارتفاع نسبی به ۰/۵۶ می‌رسد، شرایط جریان در پله پایین (شماره ۷) به حالت



شکل ۸- مقایسه نواحی شکل گرفته روی دو پله ۶ و ۷ در جریان رویه‌ای در شیب ۱:۳

Figure 8- Comparison of the areas formed on two steps 6 and 7 in the skimming flow, slope 1:3

و این عامل سبب شده است تا مجموع نواحی اختلاط برای صفحه متخلخل بیشتر باشد.

مقایسه تغییرات نواحی شکل گرفته روی پله در هر دو شیب برای آرایش‌های مختلف با نتایج استهلاک نشان می‌دهد که افزایش نواحی اختلاط شامل نواحی اختلاطی و برگشتی (MZ و RF) سبب افزایش استهلاک انرژی می‌شوند در حالی که نواحی چرخشی (RZ) و حالت استخری (RZp) اثر استهلاکی منفی دارند. برای حالت‌های انتقالی مانند ناحیه (RZ-RF) نیز اثر استهلاکی مثبت است ولی مانند اثر ناحیه اختلاط نیست.

وجود تخلخل در موانع (EP و ES) سبب می‌شود تا جت خروجی از موانع با جریان عبوری از روی موانع در میانه پله با یکدیگر برخورد داشته باشند که در نتیجه تلاطم سطحی بیشتر را به همراه دارد. اثر اندرکنش در جت و جریان عبوری در رژیم

مقایسه نواحی بین آرایش‌ها (بر اساس نتایج به‌کارگیری روش BIV) نشان می‌دهد که برای آرایش صفحه متخلخل (ES) مجموع نواحی (MZ و RF) در شرایط یکسان ارتفاع نسبی مانع به ترتیب بیشتر از آرایش مانع متخلخل (EP) و آرایش مانع پیوسته پر (EO) است. همان‌گونه که در بخش مواد و روش‌ها اشاره شد، ضخامت صفحه متخلخل (ES) ۳ میلی‌متر است که در لبه بیرونی پله کار گذاشته شد و از این‌رو در هر دو شیب اندازه طول پله تحت تأثیر مانع قرار نگرفته است. این در حالی است که برای آرایش‌های EP و EO مانع دارای طول تقریبی ۲ سانتی‌متر بوده است که این طول بخشی از لبه پله را در برمی‌گیرد. از طرفی لبه پله محل شکل‌گیری ناحیه اختلاط (MZ) است که این دو مانع (EP و EO) سبب کاهش ابعاد این ناحیه می‌شوند در حالی که برای صفحه متخلخل این اتفاق رخ نمی‌دهد

۴- بر اساس نتایج به کارگیری روش BIV و مقایسه استهلاك انرژی می توان گفت موانعی که بتوانند نواحی اختلاط (شامل MZ و RF) را گسترش دهند سبب افزایش استهلاك انرژی می شوند. در واقع ناحیه چرخشی، نسبت به ناحیه اختلاط، اثر استهلاكی کمتر دارد.

۵- ایجاد مانع متخلخل و صفحه متخلخل در هر دو شیب سبب افزایش استهلاك انرژی در مقایسه با مانع پر و در هر سه رژیم جریان شده است. در شیب ۱:۳ برای رژیم ریزشی به طور متوسط ۲ درصد بیشتر بوده است تا برای شاهد که در رژیم رویه ای تا ۸ درصد نیز بیشتر از حالت شاهد بوده است. این مقدار برای شیب ۱:۲ در رژیم ریزشی به طور متوسط ۴ درصد بیشتر از شاهد و در رژیم رویه ای برای حالت های مثبت تا ۳,۵ درصد بهتر از شاهد بوده است؛ با افزایش ارتفاع نسبی مانع نیز تا زمانی که روی پلکان به حالت استخری نرسیده باشد بیشتر خواهد شد.

۶- ناحیه اختلاط ایجاد شده در شیب ۱:۳ در مقایسه با شیب ۱:۲ در حالت شاهد به دلیل طول بیشتر پله، از لحاظ اندازه طولی بزرگ تر است و از این رو ایجاد صفحه متخلخل در لبه پلکان در هر دو شیب ۱:۲ و ۱:۳ سبب افزایش استهلاك انرژی نسبت به حالت شاهد شده است. این در حالی است که مانع متخلخل و پیوسته تنها در شیب ۱:۳ اثر استهلاكی مثبت نسبت به حالت شاهد داشته است. ضخامت کم صفحه متخلخل و اشغال نشدن بخشی از فضای پلکان با صفحه متخلخل سبب شده است امکان برخورد موثر جریان با مانع فراهم آید.

ریزشی به دلیل ضعیف بودن جت کم است و در ادامه در حالت انتقالی این اثر شدت می یابد و برای رژیم های رویه ای مجدد کاهش می یابد. به طور کلی می توان گفت وجود اندرکنش میان جریان های عبوری سبب افزایش استهلاك انرژی شده است.

### نتیجه گیری

در تحقیق حاضر اثر موانع پیوسته با شکل و ارتفاع های مختلف در لبه سرریز پلکانی و با دبی های مختلف در دو شیب ۱:۲ و ۱:۳ بررسی شد که در این راستا برای بررسی و مقایسه بهتر خصوصیات جریان عبوری، از روش BIV نیز استفاده شده است. نتایج تحقیق نشان می دهد:

۱- قرارگیری مانع پیوسته در لبه سرریز پلکانی در هر دو شیب سبب می شود که جریان نسبت به حالت شاهد در هر دو شیب در دبی های پایین تر به حالت انتقالی و در ادامه به حالت رویه ای تبدیل شود و از این رو قرارگیری مانع به طور کلی سبب جابه جایی مرزهای رژیم جریان نسبت به حالت شاهد می گردد.

۲- قرارگیری مانع پیوسته (پر، متخلخل و صفحه متخلخل) در لبه سرریز پلکانی با ارتفاع های مختلف در هر دو شیب مورد بررسی نشان می دهد که محل هواگیری طبیعی سرریز با موانع بررسی شده در مقایسه با حالت شاهد، یک پله به سمت پایین دست حرکت می کند.

۳- به طور کلی بر اساس نتایج تحقیق حاضر، در حالت قرارگیری مانع پیوسته با شکل ها و ارتفاع های مختلف بررسی شده، با افزایش پارامتر بی بعد  $(dc/h)$ ، میزان استهلاك انرژی کاهش می یابد.

## مراجع

- Ali, A. S., & Yousif, O. S. Q. (2019, October). Characterizations of flow over stepped spillways with steps having transverse slopes. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 344, No. 1, p. 012019). IOP Publishing.
- Amador, A., Sanchez-Juni M, Dolz J. (2006). Characterization of the non-aerated flow region in a stepped spillway by PIV. J Fluid Eng ASME 138(6):1266–1273.
- Asghari Pari, S. A, Kordnaeij, M. (2019). Investigating the Effect of eliminate of lateral discontinuous Obstacle on the Stepped Spillway on Flow Characteristics with image processing. 18<sup>th</sup> Iranian Hydraulic Conference. Tehran, Iran. (In Persian)
- Asghari Pari, S. A, Kordnaeij, M. (2021). Investigating the Effect of Different Arrangements of Obstacle on the Stepped Spillway on Flow Characteristics and Energy Dissipation. Irrigation Sciences and Engineering, 43(4), 33-49. doi: 10.22055/jise.2021.36213.1940
- Ashoor, A., & Riazzi, A. (2019). Stepped Spillways and Energy Dissipation: A Non-Uniform Step Length Approach. Applied Sciences, 9(23), 5071.
- Boes, R. M. and Hager, W.H. (2003a). Hydraulic design of stepped spillways. Journal of Hydraulic Engineering, 129(9), 671-679.
- Boes, R. M. and Hager, W.H. (2003b). Two-Phase flow characteristics of stepped spillways. Journal of Hydraulic Engineering, 129(9), 661-670.
- Bühler, P., Leandro, J., Bung, D., Lopes, P. and Carvalho, R. (2015). Measuring void fraction of a stepped spillway with non-intrusive methods using different image resolutions. *IWHS 2015*, 41.
- Bung D and Valero D. (2015). Image Processing for Bubble Image Velocimetry in self Aerated Flow, 36th IAHR World Congress, 28 June – 3 July, Huges, Netherland.
- Bung, D. B. (2013). Non-intrusive detection of air-water surface roughness in self-aerated chute flows. Journal of Hydraulic Research, 51(3), 322–329.
- Bung, D.B. (2011). Developing flow in skimming flow regime on embankment stepped spillways. Journal of Hydraulic Research, 49(5), 639–648.
- Bung, D.B. and Schlenkhoff, A. (2010). Self-aerated skimming flow on embankment stepped spillways: the effect of additional micro-roughness on energy dissipation and oxygen transfer. Proceedings of 1 st European IAHR Congress, Edinburgh, Flash-drive.
- Chang K-A and Liu P L-F. (1998). Velocity, acceleration and vorticity under a breaking wave. Phys. Fluids 10 327–9.
- Chanson, H. (1995). Hydraulic design of stepped cascades, channels, weirs and spillways.
- Chanson, H. (2001). Hydraulic design of stepped spillways and downstream energy dissipators. *Dam Engineering*, 11(4), 205-242
- Chanson, H. (2001). A transition flow regime on stepped spillways: the facts In: Proceedings of the 29 The IAHR Congress. Beijing, China, Pp: 490-498.
- Chanson, H., Bung, D. B., & Matos, J. (2015). Stepped spillways and cascades. *IAHR Monograph. School of Civil Engineering, University of Queensland, Brisbane, Australia*.
- Emadzadeh, A. CHiew, Y. M. (2017). Bubble Dynamics and PIV Measurements in a Hydraulic Jump. The 37th IAHR World Congress August 13 – 18, Kuala Lumpur, Malaysia.
- Felder, S and Chanson, H. (2014). Effects of Step Pool Porosity upon Flow Aeration and Energy Dissipation on Pooled Stepped Spillways. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol.140 , No. 4, Paper 04014002, 11 pages.
- Felder, S., & Chanson, H. (2015). Simple design criterion for residual energy on embankment dam stepped spillways. Journal of Hydraulic Engineering, 142(4), 04015062.



- Frizell, K. W., Renna, F. M., and Matos, J. (2013). Cavitation potential of flow on stepped spillways. *J. Hydraulic. Eng.*, 10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000715, 630–636.
- Goepfert, C., Marié, J. L. and Lance, M. (2004). Characterizing of an experimental device generating homogeneous and Isotropic turbulence by synthetic jets. The 9<sup>th</sup> French Congress of Laser Velocimetry. ULB. Sept.14-17. Brussels. Belgium. (In French)
- Gonzalez, C. A., & Chanson, H. (2007). Hydraulic design of stepped spillways and downstream energy dissipators for embankment dams. *Dam Engineering*, 17(4), 223-244.
- Guenher, P., Felder, S., and Chanson, H. (2013). Flow Aeration, Cavity Processes and Energy Dissipation on Flat and Pooled Stepped Spillways for Embankments." *Environmental Fluid Mechanics*, Vol. 13, No. 5, pp. 503-525 (DOI: 10.1007/s10652-013-9277-4).
- Habibi, K, Asghari Pari, S. A, Kordnaeij, M. (2021). Experimental investigating of the Effect of location of discontinuous Obstacle on the Stepped Spillway on Flow Characteristics with image processing. 19th Iranian Hydraulic Conference. Mashhad, Iran. (In Persian)
- Hamed, A., Mansoori, A., Shamsai, A., & Amirahmadian, S. (2014). Effects of End Sill and Step Slope on Stepped Spillway Energy Dissipation. *J. Water Sci. Res*, 6(1), 1.
- Hunt, S. L., and Kadavy, K. C. (2010). "Energy dissipation on flat-sloped stepped spillways: Part 1. Upstream of the inception point." *Trans. ASABE*, 53(1), 103–109.
- Hussein, B. S. and S. A. Jalil. (2016). Hydraulic Comparison between Labyrinth and Plain Stepped Falls. *Journal of University of Duhok*, Vol. 19, No.1 (Pure and Eng. Sciences), Pp
- Kordnaeij, M., Asghari Pari, S., Sajjadi, S., Shafai Bajestan, M. (2017). Experimentally Comparisons of the Effect of Porous Sheets and 3D-Porous Obstacles in Controlling Turbidity Current. *Water and Soil Science*, 27(1), 43-54. (In Persian)
- Kordnaeij, M, Asghari Pari, S. A. (2019). Experimental Investigating the Effect continuous Obstacle on the edge of Stepped Spillway on Flow Characteristics with image processing (BIV). 11<sup>th</sup> international River Engineering Conference, Ahwaz, Iran. (In Persian)
- Kökpınar, M. A. (2004). Flow over a stepped chute with and without macro-roughness elements. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 31(5), 880-891.
- Kramer, M and Chanson, H. (2018). Transition flow regime on stepped spillways: air–water flow characteristics and step-cavity fluctuations, *Environ Fluid Mech* <https://doi.org/10.1007/s10652-018-9575-y>.
- Leandro, J., Bung, D.B. & Carvalho, R. (2014). Measuring void fraction and velocity fields of a stepped spillway for skimming flow using non-intrusive methods. *Exp Fluids*
- Lopes, P., Leandro, J., Carvalho, R. F., & Bung, D. B. (2017). Alternating skimming flow over a stepped spillway. *Environmental Fluid Mechanics*, 17(2), 303-322.
- Meireles, I. and Matos, J. (2009). Skimming flow in the non-aerated region of stepped spillways over embankment dams. *Journal of Hydraulic Engineering*, 135(8), 685-689.
- Mero, S., & Mitchell, S. (2017). Investigation of energy dissipation and flow regime over various forms of stepped spillways. *Water and environment journal*, 31(1), 127-137.
- Novakoski, C. K., Ferla, R., Prá, M. D., Canellas, A. V. B., Marques, M. G., & Teixeira, E. D. (2020). Stepped spillway with pre-aeration by a deflector: flow characteristics. *RBRH*, 25.
- Ostad Mirza, M. J. (2016). Experimental study on the influence of abrupt slope changes on flow characteristics over stepped spillways (No. THESIS). EPFL.
- Ostad Mirza, M. J., Matos, J., Pfister, M., & Schleiss, A. J. (2016). Effect of an abrupt slope change on air entrainment and flow depths at stepped spillways. *Journal of Hydraulic Research*, 55(3), 362-375.
- Razmkhah, A, Asghari Pari, S. A, Kordnaeij, M. (2021). Experimental investigating of the Effect of location of continuous Obstacle on the Stepped Spillway on Flow Characteristics with image processing. 19th Iranian Hydraulic Conference. Mashhad, Iran. (In Persian)



- Ryu Y., Chang KA. and Lim HJ. (2005). Use of bubble image velocimetry for measurement of plunging wave impinging on structure and associated green water, *Meas. Sci. Technol.*, 16(10), 1945-1953.
- Takahashi, M, Gonzalez, CA., Chanson, H. (2006). Self-aeration and turbulence in a stepped channel Influence of cavity surface roughness. *International Journal of Multiphase Flow*, 32, 1370-1385.
- Thielicke, W and Stamhuis, E J. (2014). PIVlab – Towards User-friendly, Affordable and Accurate Digital Particle Image Velocimetry in MATLAB. *Journal of Open Research Software*, 2: e30, DOI: <http://dx.doi.org/10.5334/jors.bl>.
- Torabi, H., Parsaie, A., Yonesi, H., & Mozafari, E. (2018). Energy dissipation on rough stepped spillways. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 42(3), 325-330.
- Wright, H. J. (2010, May). Improved energy dissipation on stepped spillways with the addition of triangular protrusions. In 78th ICOLD Annual Meeting, Hanoi.
- Zare, H. K., & Doering, J. C. (2012). Energy dissipation and flow characteristics of baffles and sills on stepped spillways. *Journal of hydraulic research*, 50(2), 192-199.
- Zhang, G., & Chanson, H. (2018). Air-water flow properties in stepped chutes with modified step and cavity geometries. *International Journal of Multiphase Flow*, 99, 423-436. 55: 1732. <https://doi.org/10.1007/s00348-014-1732-6>.

## **Laboratory Examination of Comparison of The Effect of Porous Screen, Continuous Obstacle and Continuous Porous obstacle on The Edge of a Stepped Spillway**

**S. A. Asghari Pari\* and M. Kordnaeij**

\* Corresponding Author: Associated professor of civil engineering/Behbahan Khatam Alanbia university of technology, Behbahan, Iran. Email: asghari\_amin@bkatu.ac.ir

Received: 26 May 2021, Accepted: 23 September 2021

### **Extended Abstract**

#### **Introduction**

Step chutes as a structure are commonly used in earth dams and weighted concrete dams (Chanson, 2001). The presence of a step in the spillway acts like a roughness compared to a smooth chute, which causes the amount of air to enter and as a result, the amount of energy dissipation in the direction of the spillway step increases. In recent decades, extensive research, often laboratory-oriented, has been conducted by researchers to identify the type of flow, the effect of step dimensions, the onset of aeration, and the mechanism of energy dissipation. Further research has attempted to place continuous and discontinuous obstacles and roughness at the bottom of the steps in Floors and edges of step with a variety of shapes and arrangements, deformation of steps, creating angles along the spillway, creating angles in the floor of the steps and edge obstacle, artificial aeration in the steps investigated the hydraulic conditions. In general, in some cases, depending on the height of the obstacle used, the slope of the spillway, the outlet flow, the type of obstacles and the location of the obstacle, the depreciation effect has been positive or negative.

#### **Methodology**

The flume used was direct, with a length of 10 m, a width of 1.2 m and a height of 1.2 m in the first 2 m, and 1 m in length of the flume with maximum flow rate 150 liters per second. Measurement of water depth in the tail-water and upstream was carried out using a point gage with an accuracy of  $\pm 1$  mm. The spillway have 8 steps, where the vertical length of step (h) is 10.9 cm, the horizontal length of step (L) is 31.3 cm, and the total height is 87 cm, while at a 1:2 slope, the length of step is 20.9 cm and the total height is 88 cm. The image was recorded by Sony FS5 camera with 240 frames per and second, along with 3 LED150 projectors.

#### **Results and Discussion**

In the 1: 3 slope in the transition regime, the obstacles used had a positive dissipation effect compared to the flat step. In this slope and flow regime, the porous obstacle (EP) has a greater dissipation effect than the porous screen (ES) and the full obstacle (EO), respectively, and in all three expressed arrangements (EO, ES, EP) in this regime the relative height of 0.38 had the highest dissipation rate. The superiority of the porous obstacle in this regime in energy dissipation is due to the three-dimensionality of the porous obstacle, which depletes the flow energy. Then in the procedure regime for 1: 3 slope, the results show that all three arrangements used have increased energy dissipation compared to the flat step, in this case, respectively, porous screen (ES), porous obstacle (EP) and full obstacle (EO), respectively. Had the highest energy consumption. For example, at the maximum flow rate, the flat steep energy dissipation

rate is 46%, which is 55% for the porous screen (ES), 52% for the porous obstacle (EP) and 49% for the full obstacle (EO).

### **Conclusions**

The present study compares the use of continuous obstacle, porous obstacle (3 dimensional) and screen obstacle (2 dimensional) with three heights at the edge of the step at two slopes of 1: 3 and 1: 2 in all three flows regime of nappe, transitional, and skimming.

1- The placement of continuous obstacle with different shape (filled continuous, porous obstacle and screen obstacle) at the edge of spillway for both slopes of this research causes the onset of the flow regime shift to the flat step and start of the inception point of free aeration (IP) was transmitted to a lower step toward the downstream relative to flat step on both slopes of the present research.

2- Based on the BIV results and a comparison of energy dissipation, it can be stated that continuous obstacles that can expand the mixing zones (including MZ and RF) increase energy dissipation. In fact, the recirculation zone has less dissipation effect than the mixing zone.

3- The creation of a porous obstacle and a porous screen on both slopes has increased energy dissipation compared to the full obstacle in all three flow regimes. This effect will increase with increasing the relative height of the obstacle until it reaches the pool (RZp) on the steps.

**Keywords:** Energy dissipation, BIV Technique, Step spillway, Screen obstacle, Continuous obstacle, Porous obstacle.

# ***Irrigation and Drainage Structures Engineering Research***

***(Agricultural Engineering Research)***

**Vol. 22      No. 82      2021**

**Published by: Agricultural Engineering Research Institute (AERI)**

---

**Executive Director: H. Dehghani-sanij, Associate Professor**

---

**Editor in Chief: N. Abbasi, Professor**

## **Editorial Board:**

|                           |                                                                                             |
|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>F. Abbasi</b>          | <b>Professor, Agricultural Engineering Research Institute</b>                               |
| <b>N. Abbasi</b>          | <b>Professor, Agricultural Engineering Research Institute</b>                               |
| <b>N. Heydari</b>         | <b>Associate Professor, Agricultural Engineering Research Institute</b>                     |
| <b>A. Kiani</b>           | <b>Professor, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center</b> |
| <b>S. Koochakzadeh</b>    | <b>Professor, University of Tehran</b>                                                      |
| <b>M. J. Monem</b>        | <b>Associate Professor, Tarbiat Modares University</b>                                      |
| <b>A. Nasserli</b>        | <b>Associate Professor, Agricultural Engineering Research Institute</b>                     |
| <b>M. H. Omid</b>         | <b>Professor, University of Tehran</b>                                                      |
| <b>A. Parvaresh Rizi</b>  | <b>Associate Professor, University of Tehran</b>                                            |
| <b>H. Rahimi</b>          | <b>Professor, University of Tehran</b>                                                      |
| <b>M. Shafai-Bejestan</b> | <b>Professor, Shahid Chamran University of Ahvaz</b>                                        |

## **International Editorial**

### **Board:**

|                           |                                                                                                                                                                                       |
|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>H. Rahimi</b>          | <b>Professor, Geotechnical Group Leader, Geotechnical Services, Civil Section, ESI<br/>Maintenance Directorate, Sydney Trains, ( A retired professor at the University of Tehran)</b> |
| <b>M. A. Sharifi</b>      | <b>Professor, International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation<br/>(ITC), University of Twente Enschede, Netherlands</b>                                     |
| <b>A. Torabi Haghighi</b> | <b>Professor, Leader of Hydrosystems Engineering &amp; Management research group at Water,<br/>Energy, and Environmental Research unit in University of Oulu, Finland</b>             |

---

**Text Editor: M. R. Dahi**

**English Editor: M. R. Dahi**

---

**Coordinating Manager: A. Uossef -Gomrokchi**

**Typesetting & Layout: S. Vatandoust**

---

## **Reviewers:**

|                         |                               |                     |                         |
|-------------------------|-------------------------------|---------------------|-------------------------|
| - F. Abbasi             | - M. Bijenkhan                | - H. Hamidifar      | - A. Rouzbehani         |
| - R. Alimohamadi-Nafchi | - S. Emamgholizadeh           | - N. Heidary        | - A. Samadi             |
| - A. Arman              | - M. Esmaeili-Varaki          | - A. Liaghat        | - M. A. Sharifi         |
| - R. Bahramloo          | - M. A. Shahrokhnia           | - M. M. Nakhjavani  | - A. R. Tavakkoli       |
| - E. Barikani           | - S. A. Haghayeghi- Moghaddam | - A. Parvaresh-Rizi | - A. Uossef - Gomrokchi |

---

**AERI Site: [www.aeri.ir](http://www.aeri.ir)**

**Journal Site: <http://idser.areeo.ac.ir>**

**E-mail: [aridsej@areeo.ac.ir](mailto:aridsej@areeo.ac.ir)**



Ministry of Jihad - e - Agriculture  
Agricultural Research, Education and Extension Organization  
Agricultural Engineering Research Institute (AERI)

## ***Irrigation and Drainage Structures Engineering Research*** ***(Agricultural Engineering Research)***

Vol. 22, No. 83, Summer 2021

ISSN: 2476-4000

### **Contents**

|                                                                                                                                                                                                                                                            |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Comparison of Computed Sugar Beet Evapotranspiration by the Penman-Monteith Equation Using Measured Climatological Parameters and Predicted Products of GFS, ECMWF and GFS Meteorological Forecasting Models in the Jovein Region</b>                   |     |
| S. H. Tabatabaie, S. M. Mirlatifi, H. Dehghanisanij, A. Shokri .....                                                                                                                                                                                       | 1   |
| <b>Concrete Channels Investigation on Conveyance Efficiency and Operation Issues of Precast in Moghan Irrigation Network (Canalette)</b>                                                                                                                   |     |
| K. Akhavan, N. Abbasi, Milad Kheiry Ghojeh Biglou and H.Ahmadpari.....                                                                                                                                                                                     | 21  |
| <b>Determination of Apple Water Productivity with Surface and Drip Irrigation Systems in Iran</b>                                                                                                                                                          |     |
| A. Nasser, F. Abbasi, A. Nourjou, J. Ahmad Ali, MA. Shahrokhnia, A. R. Mamanpoush, M. Keramati Toroghi, S. Sepehri Sadeghian, K. Akhavan, S. H. Mousavifazl, N. Abbasi, M. Akbari, J. Baghani, M. M. Nakhjavanimoghaddam, R. Nikanfar, A. Zolfegharan..... | 43  |
| <b>Prioritization of Construction of Irrigation Structures With Multi-Criteria Decision-Making Methods and Pmbok Failure Structure in Conditions of Uncertainty</b>                                                                                        |     |
| M. R. Shahraki and M. Derakhshideh .....                                                                                                                                                                                                                   | 59  |
| <b>Economic Evaluation and Efficiency of Sprinkler Irrigation Method in Wheat Production (Case Study of Ardabil Province)</b>                                                                                                                              |     |
| S. Rahmani .....                                                                                                                                                                                                                                           | 83  |
| <b>Investigation of The Position of Control Section in Steady and Unsteady Flow Using Numerical Model and Laboratory Data</b>                                                                                                                              |     |
| E. Darvishi, S. Kouchakzadeh.....                                                                                                                                                                                                                          | 105 |
| <b>Laboratory Examination of Comparison of The Effect of Porous Screen, Continuous Obstacle and Continuous Porous obstacle on The Edge of a Stepped Spillway</b>                                                                                           |     |
| S. A. Asghari Pari and M. Kordnaeij.....                                                                                                                                                                                                                   | 121 |