





Impacts assessment of Karun Bozorg Catchment development on production of hydropower energy

Hasan Torabi Poodeh¹ , Simin Khosravi² 

¹ Corresponding author, Associate Professor, Department of the Water Engineering, Lorestan University, Lorestan, Iran. Email: _torabi.ha@lu.ac.ir

² M. Sc graduated of Water structures, Department of the Water Engineering, Lorestan University, Lorestan, Iran. Email: simin.khosravi@gmail.com

ABSTRACT

Introduction

Iran, with rainfall of less than one third of the world average, is considered one of the arid regions, and this is despite the fact that on the one hand, a significant part of the water leaves the country. On the other hand, due to improper exploitation of sources and lack of integration in the studies of different plans at the level of catchment basins. The goals of many dam construction projects such as water regulation and containment in order to meet the need and produce electric energy in contrast to other plans such as water transfer between basins or the expansion of agricultural areas. The subject of the present research is to investigate the effects of the development of the Great Karun watershed, whether in the form of inter-basin water transfer plans or in the form of intra-basin development, on the amount of electrical energy produced by the dams of this basin.

Materials and methods

The area studied in this research is the Great Karun watershed, which consists of Karun and Dez rivers that are two important and large rivers in Iran. These two rivers currently have 6 dams with the ability to produce electric energy, of which 5 dams, Karun 4, Karun 3, Karun 1, Godarlander and upper Gotund are located on the Karun River and Dez reservoir dam is located on the Dez river.

Results and discussions

After 2008, the amount of withdrawal from underground water resources has increased and currently it is more than the amount considered in this research, so definitely the amount of the effect of excessive withdrawal from underground water resources on the production of electric energy is more than the value shown has been done in this research. And if this upward trend of extraction from underground water resources continues, the reduction of produced electrical energy due to excessive extraction from underground water resources will be significant in the future time horizons. Excessive extraction of the underground water resources of the Sezar basin, contrary to the fact that it is expected to be effective only in the amount of electric energy production of the Dez dam power plant, the power plants of other reservoirs, especially the Karun 3 power plant, are also effective on the Karun river.

The development of the Great Karun catchment basin has had the greatest impact on the primary energy production of Dez and Karun 4 and Karun 3 reservoir dams, which is primarily due to the transfer plans between water basins and secondly due to the relationship with the Karun 4 and Dez dams, there is no other reservoir dam immediately upstream of these two dams, because the presence of one dam immediately upstream of the other dam causes the water flow to enter the dam in a regulated manner, which it causes a significant increase in electricity production.

Conclusion

The results of this research show that according to the energy requirement defined for the power plants of Great Karun basin, there is currently a significant lack of primary energy, which is the lack of ability of the basin for further development, both internally and externally. The existence of the annual deficit percentage of the required primary energy is equal to 29% for the current basin power plant complex and with the current water transfer needs and plans, and the increase of this deficit percentage to 36% for the horizon of 2040 and the uses within the basin and the plan. The inter-basin water transfer considered in this research, for this time horizon, considering the importance of electric energy as one of the most important and best sources of electricity production in the country and the impossibility of predicting the future climate and its effect on the drainage of the basin is very important and somewhat worrying.

Keywords: Hydropower energy, Karun Bozorg Catchment, Water inter-basin transfer, Weap model.

Article Type: Research Article

Article history: Received: 29 January 2022 Revised: 25 April 2022 Accepted: 31 May 2022 ePublished: 23 August 2022

Cite this article: Torabi Poodeh, H., & Khosravi, S. (2022). Impacts assessment of Karun Bozorg Catchment development on production of hydropower energy, *Advanced Technologies in Water Efficiency*, 2(2), 1-13. DOI: 10.22126/atwe.2022.7429.1010





ارزیابی اثرات توسعه‌ی حوضه‌ی آبریز کارون بزرگ بر تولید انرژی برقابی

حسن ترابی پوده^۱ , سمین خسروی^۲ 

^۱ نویسنده مسئول، دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران. رایانامه: torabi.ha@lu.ac.ir

^۲ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران. رایانامه: simin.khosravi@gmail.com

چکیده

حوضه‌ی آبریز کارون بزرگ به‌عنوان تأمین‌کننده‌ی بخش مهمی از انرژی برقابی کشور، حائز اهمیت فراوان است. در این پژوهش اثرات توسعه‌ی حوضه‌ی آبریز کارون بزرگ بر تولید انرژی برقابی این حوضه موردبررسی قرار گرفته است. به این منظور با توجه به زمان‌بندی پروژه‌های اجرایی توسعه‌ی منابع آب در حوضه‌ی موردبررسی، مدل منابع، مصارف و مخازن حوضه، تحت ۱۱ سناریو در سه افق زمانی شرایط موجود، افق زمانی ۱۴۰۴ و افق زمانی ۱۴۲۰ با در نظر گرفتن ترکیب‌های گوناگون از منابع و مصارف آب حوضه در محیط نرم‌افزار ویپ تهیه گردید، و سپس با توجه به نتایج حاصل از اجرای مدل تهیه شده، انرژی برقابی اولیه تولیدشده در محیط نرم‌افزار اکسل محاسبه گردید، و نتایج آن موردبررسی و تحلیل قرار گرفت. نتایج حاصل از این پژوهش نشان‌دهنده‌ی کمبود قابل‌ملاحظه‌ی انرژی برقابی اولیه تولیدشده در نیروگاه‌های حوضه در مقایسه با نیاز انرژی، در هر سه افق زمانی موردبررسی و در نتیجه عدم توانایی منابع آب حوضه جهت توسعه‌ی بیشتر و اثرات قابل‌توجه طرح‌های انتقال بین حوضه‌ای آب بر میزان تولید انرژی برقابی است.

واژه‌های کلیدی: انرژی برقابی، حوضه‌ی آبریز کارون بزرگ، مدل ویپ، مطالعه‌ی یکپارچه منابع آب.

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

سابقه مقاله: دریافت: ۰۹ بهمن ۱۴۰۰ اصلاح: ۰۵ اردیبهشت ۱۴۰۱ پذیرش: ۱۰ خرداد ۱۴۰۱ چاپ الکترونیکی: ۰۱ شهریور ۱۴۰۱

استناد: ترابی پوده، ح. و خسروی، س. (۱۴۰۱). ارزیابی اثرات توسعه‌ی حوضه‌ی آبریز کارون بزرگ بر تولید انرژی برقابی، فناوری‌های پیشرفته در بهره‌وری آب، (۲)،

۱-۱۳. شناسه دیجیتال: 10.22126/atwe.2022.7429.1010



© نویسنده‌گان.

ناشر: دانشگاه رازی

مقدمه

کشور ایران با میانگین بارش کمتر از یک‌سوم متوسط جهانی، جزء مناطق خشک محسوب شده و این در حالی است که از یک‌سو بخش قابل توجهی از آب‌ها از کشور خارج می‌گردد و از سوی دیگر به دلیل بهره‌برداری نادرست از منابع و عدم یکپارچه نگری در مطالعات طرح‌های مختلف در سطح حوضه‌های آبریز، اهداف بسیاری از پروژه‌های سدسازی همانند تنظیم و مهار آب به‌منظور تأمین نیاز و تولید انرژی برقی در تقابل با دیگر طرح‌ها نظیر انتقال آب بین حوضه‌ای یا گسترش مناطق کشاورزی قرار می‌گیرد. روند مطالعات و اجرای طرح‌های مختلف بهره‌برداری از منابع آب حوضه‌های دز و کارون، در سال‌های اخیر از شتاب بیشتری برخوردار شده است و به دلایلی نظیر عدم هم‌زمانی مطالعات، تغییراتی که به‌صورت پیش‌بینی‌نشده در طرح‌ها رخ می‌دهد و همچنین معرفی طرح‌های جدید، هیچ‌گاه رویکردی جامع و یکپارچه مدنظر نبوده و ارزیابی اقتصادی این طرح‌ها بدون در نظر گرفتن اثرات متقابلشان بر سیستم انجام پذیرفته است، این مهم لزوم بازنگری و بررسی مجدد سیستم دز و کارون را با رویکردی سیستمی یادآور می‌شود، البته باید در نظر داشت که مطالعات یکپارچه با توجه به تأثیرپذیری از کوچک‌ترین تغییرات در سطح حوضه همانند تغییرات اقلیمی یا تغییرات پیش‌بینی‌نشده در پارامترهای طراحی، باگذشت چند سال نیاز به بازنگری و اعمال ملاحظات جدید دارد. بنابر مطالب بیان‌شده، در این پژوهش به بررسی اثرات توسعه‌ی حوضه‌ی آبریز کارون بزرگ چه در قالب طرح‌های انتقال بین حوضه‌ای آب و چه به‌صورت توسعه‌ی درون حوضه‌ای بر میزان تولید انرژی برقی نیروگاه‌های سد‌های این حوضه پرداخته‌شده است. پیشینه مطالعات سیستمی در حوضه‌ی دز و کارون به اواخر دهه‌ی ۷۰ برمی‌گردد. در یکی از جدیدترین این مطالعات، طرح جامعی در رابطه با حوضه‌ی موردنظر، توسط دو مشاور ایرانی و خارجی مه‌اب قدس^۱ و اسکات ویلسون انگلستان^۲، با عنوان طرح مدیریت بهینه سیستم رودخانه‌های کارون و دز انجام پذیرفت. این طرح شامل مطالعات محیط‌زیست، برنامه‌ریزی نیرو، منابع و نیازها، سیلاب، کشتیرانی و مدل بهره‌برداری و برنامه‌ریزی جهت سیستم رودخانه‌های دز و کارون است. کارفرمای این طرح سازمان آب و برق خوزستان بوده و در اواخر سال ۱۳۸۰ به مشاورین ابلاغ گردید.

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

افتخار جوادی و نیک‌فال^۳(۱۳۸۵) اثرات توسعه‌ی حوضه‌ی آبریز دز و کارون را بر تولید انرژی برقی ارزیابی کردند، نتایج بررسی‌های آن‌ها نشان‌دهنده‌ی کاهش تولید انرژی برقی در اثر به مدار آمدن طرح‌های انتقال بین‌حوضه‌ای و افزایش نیاز آبی کشاورزی است. فرخیان و همکاران^۴(۱۳۹۱) در مطالعه‌ای به بررسی زیست‌محیطی و مدیریتی طرح انتقال بین‌حوضه‌ای قمرود از حوضه‌ی کارون بزرگ پرداخته‌اند. نتایج بررسی‌های آن‌ها بیانگر بروز خطرات جدی مانند کاهش دبی رودخانه‌های دز و کارون، کاهش سطح زیر کشت محصولات کشاورزی، کاهش تولید برق از نیروگاه‌های برقی، عدم دریافت نیاز آبی تالاب‌ها و خشک شدن چاه‌های آب در استان خوزستان حوضه‌ی پایین‌دست طرح، با بهره‌برداری از طرح قمرود می‌باشد. هاریسون و وایت‌تینگتون^۵(۲۰۰۲)؛ بلیفوس^۶(۲۰۱۰)؛ همودیو و کیل‌لینگت‌ویت^۷(۲۰۱۲)؛ گایودارد و همکاران^۸(۲۰۱۳)؛ ماران و همکاران^۹(۲۰۱۴)؛ اسپالدینگ فیچر و همکاران^{۱۰}(۲۰۱۴)؛ و آرهن‌هیمر و همکاران^{۱۱}(۲۰۱۴) هرکدام در پژوهشی جداگانه و با روش‌ها و مدل‌های گوناگون به بررسی تأثیرپذیری و حساسیت تولید انرژی برقی در نیروگاه‌های سدها در حوضه‌های آبریز مختلف جهان پرداخته‌اند. نتیجه‌ی مشترک تمامی این پژوهش‌ها و روش‌ها و مدل‌های به‌کاربرده شده در مناطق مختلف دنیا، نشان‌دهنده‌ی وابستگی و

¹ Consulting Engineering Company Mahab GHods

² Consulting Engineering Company Scott Wilson England

³ Eftekharijavadi & Nikfal

⁴ Farokhian et al

⁵ Harrison & WHittington

⁶ Beilfuss

⁷ Hamududu & Killingtveit

⁸ Gaudard et al

⁹ Maran et al

¹⁰ Spalding-Fecher et al

¹¹ Rheinheimer et al

حساسیت بسیار بالای تولید انرژی برقی در نیروگاه‌های سدها نسبت به رواناب جریان ورودی به مخازن سدها است، که بنابراین هرگونه عامل تأثیرگذار در کمیت رواناب مانند کاهش رواناب در اثر تغییرات اقلیمی و گرم شدن زمین و یا کاهش در میزان بارندگی، کاهش جریان ورودی به مخازن در اثر بهره‌برداری از طرح‌های انتقال بین حوضه‌ای و توسعه‌ی مناطق کشاورزی در بالادست و یا افزایش رهاسازی از مخازن به دلیل افزایش نیاز آبی مناطق پایین‌دست و یا باهدف تأمین نیاز زیست‌محیطی رودخانه در پایین‌دست، موجب کاهش تولید انرژی برقی در نیروگاه‌های سدها می‌شود و تمامی این پژوهش‌ها، توجه به مدیریت یکپارچه‌ی منابع آب را در توسعه‌ی حوضه‌های آبریز، جهت توسعه‌ی پایدار امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر می‌دانند و خواستار توجه به اصول مدیریت یکپارچه‌ی منابع آب در مطالعات پایه‌ی طرح‌های توسعه‌ی منابع آب می‌باشند. اونوکوای وهمکاران (۲۰۲۲) از روش RSM برای بهینه‌سازی تولید انرژی برقی جبا در نیجریه استفاده نمودند. مطالعات نشان داد که توان خروجی خالص، سرعت توربین و راندمان نیروگاه آبی را می‌توان با افزایش دبی و هد ناخالص بهینه کرد. دانشگر و زاهدی (۲۰۲۲) تولید و سودآوری نیروگاه‌های آبی را با رویکرد سیستم پویا مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه عدم قطعیت وضعیت جریان آب ورودی و قیمت برق برای این تولیدکننده توسط مدل گومز پیش‌بینی و وارد مدل شده است. روش‌های رهاسازی آب و هزینه‌های قابل قبول سناریوهای جداگانه‌ای در نظر گرفته می‌شوند. نتایج نشان داد که سناریوی تخلیه ۱۵ درصد سد با ۳۰۴۷ دلار بر مگاوات برای بیست و چهارمین ماه بیشترین سود را دارد. اوزیگیس و همکاران (۲۰۲۲) عملکرد نیروگاه برق آبی کاینجی با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و رگرسیون خطی چندگانه مورد ارزیابی قرار دادند. آن‌ها از نتایج یافتند که حداکثر توان خروجی ۴۷۶ مگاوات و ۳۹۱ مگاوات به ترتیب برای سال‌های ۲۰۲۱ و ۲۰۲۵ در مقابل ظرفیت طراحی ۷۶۰ مگاوات پیش‌بینی شد. بنابراین، نگهداری سیستم توربین برای افزایش خروجی نیروگاه مطلوب است. با انجام این پژوهش به دنبال یافتن پاسخی برای این سوال می‌باشیم، که با در نظر گرفتن کلیه‌ی نیازهای حوضه‌ی کارون بزرگ در شرایط فعلی و تغییراتی که پیش‌بینی شده است در مصارف آب حوضه رخ دهد، وضعیت تولید انرژی برقی در نیروگاه‌های سدهای حوضه به چه صورت خواهد بود، و آنگاه با توجه به پاسخ این سوال، توانایی حوضه‌ی آبریز کارون بزرگ را برای توسعه، با توجه به پتانسیل تولید انرژی برقی، مورد ارزیابی قرار دهیم.

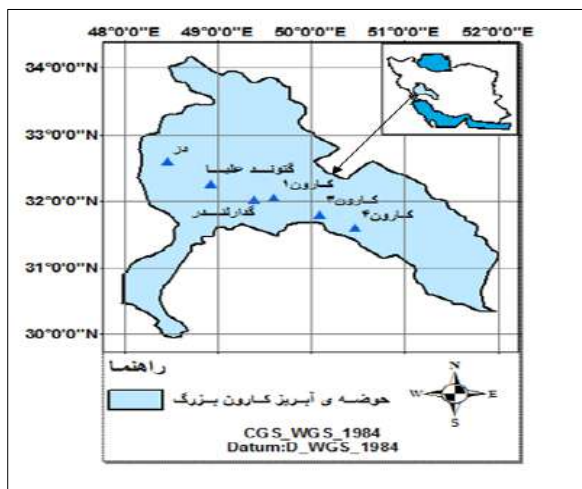
روش پژوهش

منطقه‌ی مورد مطالعه

منطقه‌ی مورد مطالعه در این پژوهش، حوضه‌ی آبریز کارون بزرگ متشکل از دو رودخانه‌ی مهم و بزرگ کارون و دز است. این دو رودخانه در حال حاضر دارای ۶ سد با توانایی تولید انرژی برقی می‌باشند، که ۵ سد، کارون ۴، کارون ۳، کارون ۱، گذارلندر و گتوند علیا بر روی رودخانه‌ی کارون و سد مخزنی دز بر روی رودخانه‌ی دز قرار دارد. موقعیت حوضه‌ی آبریز کارون بزرگ و ۶ سد مذکور مورد مطالعه در این پژوهش در شکل (۱) نمایش داده شده است. داده‌های مورد استفاده در این پژوهش، داده‌های ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه‌ی کارون بزرگ جهت محاسبه‌ی آبدی سرشاخه‌ها و رودخانه‌های حوضه‌های میانی به منظور مدل‌سازی منابع آب این حوضه، داده‌های مربوط به مصارف آب حوضه در تمامی زمینه‌های شرب و صنعت، کشاورزی و آبی‌پروری، زیست‌محیطی و طرح‌های انتقال بین حوضه‌ای آب از سرشاخه‌های حوضه تا خلیج فارس و همچنین اطلاعات مربوط به ۶ سد موجود و مورد بررسی حوضه‌ی آبریز کارون بزرگ، شامل حجم نرمال، حجم حداقل بهره‌برداری، نمودار حجم-سطح-ارتفاع، میزان تیخیر ماهانه از سطح مخازن، منحنی دبی-اشل پایاب نیروگاه‌ها، ظرفیت نصب نیروگاه، راندمان نیروگاه، ضریب کارکرد پیک نیروگاهی، تعداد واحدهای نیروگاه، دبی طراحی و ارتفاع طراحی توربین‌ها، با همکاری سازمان آب و برق خوزستان، مشاوران محترم و همچنین از طریق گزارش‌ها مختلف مربوط به منابع، مصارف و مخازن این حوضه گردآوری شد. برخی از این اطلاعات در جداول (۱) و (۲) ارائه شده است.

¹ Onokwai et al

² Ozigis et al



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی حوضه‌ی آبریز و مخازن مورد مطالعه

جدول ۱. طرح‌های انتقال بین حوضه‌ای آب در نظر گرفته‌شده در این پژوهش

عنوان طرح	محل برداشت	اهداف طرح	وضعیت طرح
کوه‌رنگ ۱	سرشاخه‌های رود کارون	شرب و کشاورزی	بهره‌برداری
کوه‌رنگ ۲	سرشاخه‌های رود کارون	شرب و کشاورزی	بهره‌برداری
ماربران (مکمل کوه‌رنگ ۲)	سرشاخه‌های رود کارون	شرب و کشاورزی	بهره‌برداری
کوه‌رنگ ۳	سرشاخه‌های رود کارون	شرب و کشاورزی	اجرایی
بهشت‌آباد	سرشاخه‌های رود کارون	شرب- صنعت- تولید برق	اجرایی
قمرود	سرشاخه‌های رودخانه بختیاری- زیر حوضه‌ی دز- حوضه کارون بزرگ	شرب و صنعت	بهره‌برداری
چشمه لنگان	سرشاخه‌های رودخانه بختیاری- زیر حوضه‌ی دز- حوضه کارون بزرگ	شرب و صنعت و کشاورزی	بهره‌برداری
خدنگستان	سرشاخه‌های رودخانه بختیاری- زیر حوضه‌ی دز- حوضه کارون بزرگ	شرب و صنعت و کشاورزی	بهره‌برداری
کمال صالح	سرشاخه‌های رودخانه سزار- زیر حوضه‌ی دز- حوضه کارون بزرگ	شرب و صنعت	بهره‌برداری

جدول ۲. مشخصات سد و نیروگاه های مورد بررسی در این پژوهش

کارون ۴	کارون ۳	کارون ۱	گدارلندر	گتوندعلیا	دز	
۲۱۹۲	۲۷۵۰	۲۸۰۰٫۸	۲۲۶٫۳	۴۵۹۵٫۴	۳۰۴۶٫۳	حجم نرمال (MCM)
۱۳۱۸٫۳	۱۲۵۰	۱۵۱۸٫۱	۱۸۰٫۷	۲۸۶۴٫۷	۵۵۹٫۷	حجم حداقل بهره برداری (MCM)
۱۰۰۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۵۲۰	ظرفیت نصب نیروگاه (MW)
۴	۸	۸	۸	۸	۸	تعداد واحدهای نیروگاهی
۲۰	۱۶	۱۳	۱۰	۱۵	۴۴	ضریب کارکرد پیک نیروگاهی (%)
۹۲	۹۲	۹۰	۹۲	۹۳	۹۰	راندمان (%)
۱۸۰٫۱	۱۷۶٫۹	۱۸۶٫۶	۱۹۴٫۸	۲۳۱٫۲	۵۴	دبی طراحی هر واحد (m ³ /s)
۱۶۰٫۸	۱۵۶٫۶	۱۵۱٫۷	۱۳۶٫۳	۱۲۳٫۸	۱۳۶٫۵	هد طراحی (m)

در این پژوهش به منظور بررسی اثرات توسعه‌ی حوضه‌ی آبریز بر وضعیت تولید انرژی برقی، با توجه به زمان بندی اجرای پروژه‌ها، مدل حوضه در سه افق زمانی شرایط موجود، افق زمانی ۱۴۰۴ و افق زمانی ۱۴۲۰ تهیه گردید، و کلیه‌ی مصارف این حوضه از طرح‌های انتقال بین حوضه‌ای آب تا مصارف درون حوضه‌ای از سرشاخه‌ها تا خلیج فارس در این سه افق زمانی با توجه به میزان مصرف سالانه آب، تغییرات ماهانه مصرف آب و همچنین میزان آب برگشتی آن‌ها در مدل در نظر گرفته شد. سدهای مدل سازی شده نیز عبارت از ۶ سد کارون ۴، کارون ۳، کارون ۱، گدارلندر و گتوند علیا بر روی رودخانه کارون و سد مخزنی دز بر روی رودخانه دز است. جهت مدل سازی منابع آب حوضه از سری زمانی آبدهی سرشاخه‌ها و حوضه‌های میانی سدها در یک دوره‌ی آماری ۵۰ ساله استفاده شده است. نکته‌ی قابل توجه در مدل سازی منابع آب حوضه‌ی آبریز کارون بزرگ، آبدهی رودخانه‌ی سزار از سرشاخه‌های اصلی رودخانه‌ی دز، است. پژوهش‌های انجام شده بر روی آبدهی رودخانه‌ی سزار نشان دهنده‌ی وجود روند منفی معنادار در جریان آبدهی این رودخانه است. نتایج بررسی‌ها نشان دهنده‌ی این موضوع است که علت وجود این روند منفی معنادار آبدهی رودخانه‌ی سزار، کاهش بارندگی و یا افزایش برداشت از منابع آب سطحی حوضه‌ی سزار نیست، بلکه نتایج نشان می‌دهد، با توجه به وجود تعاملات آب‌های سطحی و زیرزمینی و با توجه به این موضوع که آب‌های سطحی و زیرزمینی منابعی جدا از هم نیستند و پیوسته با یکدیگر در تعامل هستند، برداشت بیش از حد از منابع آب‌های زیرزمینی موجب کاهش آبدهی معنادار این رودخانه شده است. به طوری که میانگین سری زمانی پیش‌بینی شده‌ی این رودخانه با احتساب برداشت‌های زیرزمینی، در حدود $22,42 \text{ (m}^3/\text{s)}$ از میانگین سری زمانی آبدهی این رودخانه در حالت عدم برداشت بیش از حد از منابع آب‌های زیرزمینی که موجب تعاملات آب‌های سطحی و زیرزمینی نمی‌شود، کمتر است (خسروی، ۱۳۹۴). بنابراین لازم است با توجه به اصل مدیریت یکپارچه منابع آب این تغییر در آبدهی رودخانه سزار نیز در پیش‌بینی جریان آبدهی ورودی به دریاچه سد دز از رودخانه سزار و در نهایت در مدل سازی حوضه‌ی آبریز کارون بزرگ لحاظ شود، تا بازتاب کلی آن در وضعیت حوضه مشخص شود. به منظور بررسی اثرات تغییرات در منابع و مصارف حوضه لازم است، مدل سازی و بررسی وضعیت حوضه در شرایط مختلف در نظر گرفته شود. بدین منظور در این پژوهش ۱۱ سناریو در نظر گرفته شده است، که شرایط حوضه در این سناریوها به طور خلاصه در جدول (۳) ارائه شده است. در این پژوهش برای مدلسازی منابع، مصارف و مخازن حوضه آبریز در افق‌های زمانی و سناریوهای مذکور از نرم افزار ارزیابی و برنامه ریزی سیستم منابع آب ویپ^۱ استفاده شده است. مدل ویپ بر اساس معادلات بیلان آبی عمل کرده و می‌تواند محدوده زیادی از مسائل مانند تحلیل نیاز هر بخش، حقابه‌ها و اولویت‌های تخصیص، شبیه سازی آب‌های سطحی، بهره برداری از مخزن، تولید انرژی برقی و نیازهای اکوسیستم را پوشش دهد. تحلیل گر، سیستم را به صورت اجزای مختلف، منابع تأمین (مانند رودخانه‌ها)، برداشت و انتقال، نیازهای اکوسیستم و نیازهای آبی ارائه می‌دهد. ساختار داده‌ها و سطح جزئیات را می‌توان به شکل دلخواه درآورد تا نیازهای یک تحلیل خاص را برآورده کرد و محدودیت‌های ناشی از کمبود داده‌ها را نشان

¹ Water Evaluation And Planning System

داد. مزیت اصلی مدل ویپ، در رویکرد یکپارچه در شبیه‌سازی سیستم‌های آبی و جهت‌گیری آن در راستای سیاست‌ها است (خودآموز ویپ، ۲۰۰۸). فرضیات در نظر گرفته‌شده در این پژوهش برای تهیه مدل حوضه موردنظر توسط نرم‌افزار ویپ به شرح زیر است.

- اولویت تأمین نیاز به ترتیب شرب و صنعت، زیست‌محیطی، کشاورزی و آبی‌پروری است.
- هدف اولیه سدهای کارون ۴، کارون ۳، کارون ۱ و گذارلندر تولید انرژی برقابی و هدف اولیه سدهای گتوندعلیا و دز تأمین نیاز پایین دست است.
- آب برگشتی شرب و صنعت ۸۰٪ و کشاورزی ۲۰٪ در نظر گرفته‌شده است.
- مدل در گام زمانی ماهانه تهیه‌شده است.

جدول ۳. مشخصات سناریوهای مدل‌سازی شده جهت بررسی اهداف پژوهش

تأثیر	مصارف مدل شده	طرح‌های انتقال آب مدل شده
برداشت		
پیش‌ازحد		
منابع آب	شرایط	چشمه
زیرزمینی	افق ۱۴۰۴	لنگان
بر آبدهی	افق ۱۴۲۰	بهشت‌آباد
حوضه		خدانگستان
		قمرود
		کمال
		صالح
		کوه‌رنگ ۱
		کوه‌رنگ ۲
		ماربران
		کوه‌رنگ ۳
		سناریو ۱
		سناریو ۲
		سناریو ۳
		سناریو ۴
		سناریو ۵
		سناریو ۶
		سناریو ۷
		سناریو ۸
		سناریو ۹
		سناریو ۱۰
		سناریو ۱۱

علیرغم توانایی‌های بسیار نرم‌افزار ویپ، این نرم‌افزار در زمینه‌ی مطالعه‌ی سیستم‌های برقابی نقاط ضعفی دارد و امکان تعریف سدهای صرفاً برقابی در مدل وجود ندارد. در این تحقیق برای رفع این مشکل و جهت مدل‌سازی نیروگاه‌های مخازن کارون ۴، کارون ۳، کارون ۱ و گذارلندر که هدف اولیه‌ی آن‌ها تولید انرژی برقابی است از روش ارائه‌شده توسط جلالی و همکاران (۱۳۸۷)^۲ استفاده‌شده است. مطابق با این روش در مدل ویپ،

¹ Weap, User Manual

² Jalali et al

یک محل نیاز مجازی در پایین دست سد تعریف شده و چون آب خروجی از نیروگاه به طور کامل به پایین دست انتقال پیدا می کند، مقدار مصرف آب^۱ در محل نیاز صفر وارد شده و در نتیجه صد درصد آب ورودی به محل نیاز مجازی، برگشت داده شده و با یک خط برگشتی به رودخانه بازمی گردد. در تعریف مقدار نیاز انرژی برای این گره مجازی، ابتدا محدودیت هد حداکثر و حداقل بررسی می شود و سپس در صورتیکه هد خالص روی توربین در محدوده مجاز باشد، مقدار حجمی نیاز محاسبه می شود. رابطه نیاز انرژی به صورت رابطه (۱) تعریف می شود.

$$\text{if } H_{net} > H_{min} \rightarrow V_D = 0, \text{ if } H_{net} > H_{max} \rightarrow V_D = 0, \quad (1)$$

$$\text{if } H_{min} \leq H_{net} \leq H_{max} \rightarrow V_D = Q_{req} \times PF \times 3600$$

در این رابطه:

V_D : حجم آب مورد نیاز نیروگاه برای تولید انرژی اولیه بر حسب مترمکعب

H_{min} : حداقل هد مجاز آب روی توربین بر حسب متر

H_{max} : حداکثر هد مجاز آب روی توربین بر حسب متر

PF : تعداد ساعات پیک ماهانه نیروگاه

Q_{req} : دبی مورد نیاز نیروگاه برای تولید انرژی اولیه بر حسب مترمکعب بر ثانیه که با رابطه (۲) قابل محاسبه است.

$$Q_{req} = \min \left(\frac{P_{dep} \times 1000}{9810 \times E \times H_{net}}, Q_{max} \right) \quad (2)$$

دبی مورد نیاز نیروگاه دارای دو محدودیت است، محدودیت دبی حداکثر عبوری از توربین ها و محدودیت حداکثر توان تولیدی نیروگاه که به ظرفیت نصب محدود است.

H_{net} : هد خالص آب روی توربین که با رابطه (۳) قابل محاسبه است.

$$H_{net} = H_t - TWL - H_f \quad (3)$$

H_t : تراز مخزن در ابتدای ماه بر حسب متر

TWL : تراز پایاب نیروگاه بر حسب متر از سطح دریا

H_f : افت هد بر حسب متر

تمامی پارامترهای مورداستفاده در روابط فوق برای هر چهار مخزن کارون ۴، کارون ۳، کارون ۱ و گذارلندر در قسمت فرضیات اصلی مدل ویپ وارد شده اند. برای تعریف پارامترهای مورداستفاده از توابع داخلی مدل ویپ که به سه گروه کلی: توابع ریاضی، توابع مدل سازی و توابع منطقی تقسیم می شوند، استفاده شده است. پس از محاسبه حجم آب مورد نیاز نیروگاه با رعایت تمامی ملاحظات و عوامل محدودکننده در مدل ویپ، این مقادیر حجم آب، به نرم افزار اکسل جهت انجام محاسبات برقایی فرستاده شده و محاسبه ی میزان تولید انرژی اولیه، در محیط نرم افزار اکسل با روشی که در ادامه آورده شده است، انجام گردید. محیط نرم افزار اکسل جهت انجام محاسبات برقایی به گونه ای طراحی گردید، که بار دیگر تمامی محدودیت ها و ملاحظات مؤثر بر میزان تولید انرژی اولیه نیروگاه را بررسی می کند و سپس میزان انرژی اولیه ی شده را ارائه می دهد.

^۱Consumption

رابطه اصلی توان که در محاسبات انرژی به کار می‌رود، به صورت رابطه (۴) است:

$$P_t = \frac{\gamma Q_t H_t E_t}{1000} \quad (4)$$

که در آن:

P_t : توان تولیدشده در دوره t به کیلووات

γ : وزن مخصوص آب معادل ۹۸۱۰ نیوتن بر مترمکعب

Q_t : دبی ورودی به توربین در دوره t به مترمکعب بر ثانیه

H_t : ارتفاع هیدرولیکی خالص (هد) آب روی توربین در طی دوره t به متر

E_t : راندمان کلی نیروگاه

و محدودیت‌های زیر که بر تولید انرژی تأثیرگذار می‌باشند در نظر گرفته شده است:

تعداد واحدهای نیروگاه $N \rightarrow$

$$P_t \leq PPC$$

$$Q_{\min} \leq Q_t \leq Q_{\max}$$

$$H_{\min} \leq H_t \leq H_{\max}$$

PPC : ظرفیت نصب نیروگاه به کیلووات

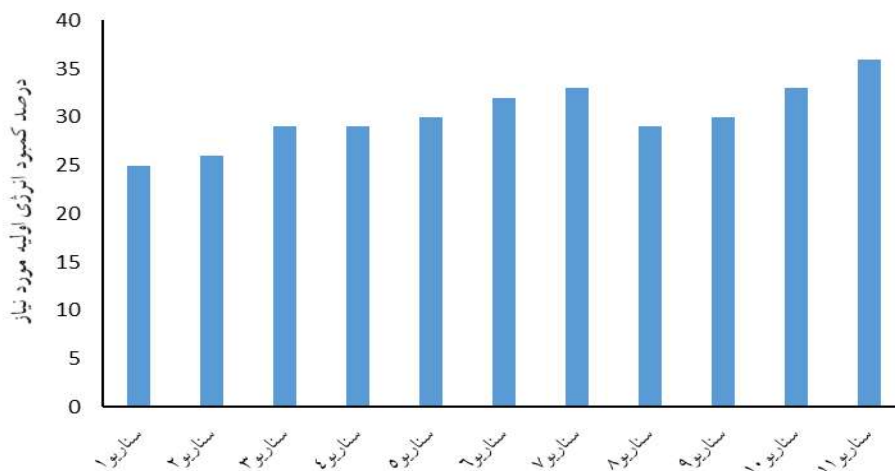
Q_{\min} : حداقل دبی مجاز توربین به مترمکعب بر ثانیه

Q_{\max} : حداکثر دبی مجاز توربین به مترمکعب بر ثانیه

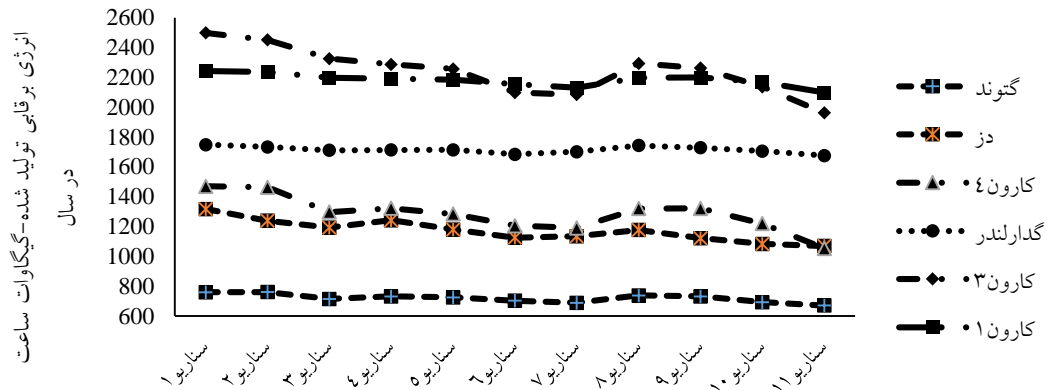
یافته‌ها

نیاز انرژی اولیه به صورت حاصل ضرب ظرفیت نصب نیروگاه در تعداد ساعات پیک در همراه تعریف می‌گردد. با توجه به این تعریف و انرژی تولیدشده در هر سناریو می‌توان درصد کمبود انرژی اولیه موردنیاز را محاسبه کرد. مقادیر درصد کمبود سالانه انرژی اولیه موردنیاز تعریف شده برای سیستم مخازن حوضه‌ی آبریز کارون بزرگ، برای هریک از سناریوهای ۱ تا ۱۱ در شکل (۲) نشان شده است. با توجه به تعاریفی که از سناریوهای ۱ تا ۱۱ در جدول (۳) ارائه شده است و همان‌طور که در شکل (۲) دیده می‌شود، توسعه‌ی حوضه‌ی آبریز کارون بزرگ باعث کاهش تولید انرژی اولیه گردیده است. سناریوهای ۲، ۵ و ۹ به منظور بررسی اثر برداشت بیش‌ازحد از منابع آب زیرزمینی حوضه‌ی سزار که موجب کاهش آبدی ورودی به دریاچه سد دز شده است، طراحی گردیده است. با توجه به شکل‌های (۲) و (۳) و مقایسه سناریو ۱ با سناریو ۲، سناریو ۴ با سناریو ۵ و همچنین سناریو ۸ با سناریو ۹ می‌توان دریافت که برداشت بیش‌ازحد از منابع آب زیرزمینی حوضه‌ی سزار باعث کاهش تولید انرژی اولیه در حوضه‌ی موردبررسی گردیده است، اگرچه این میزان کاهش بسیار ناچیز به نظر می‌رسد، اما بایستی به این نکته توجه داشت که برداشت از منابع آب زیرزمینی در این پژوهش تا پایان سال آبی ۸۷-۱۳۸۶ موردبررسی قرار گرفته است، در صورتیکه در چند سال اخیر پس از سال ۱۳۸۷ میزان برداشت از منابع آب زیرزمینی افزایش یافته و در حال حاضر بیش از مقدار در نظر گرفته شده در این پژوهش است، بنابراین قطعاً میزان تأثیر برداشت بیش‌ازحد از منابع آب زیرزمینی بر تولید انرژی برقابی بیشتر از مقدار نشان داده شده در این پژوهش و در شکل‌های (۲) و (۳) است، و

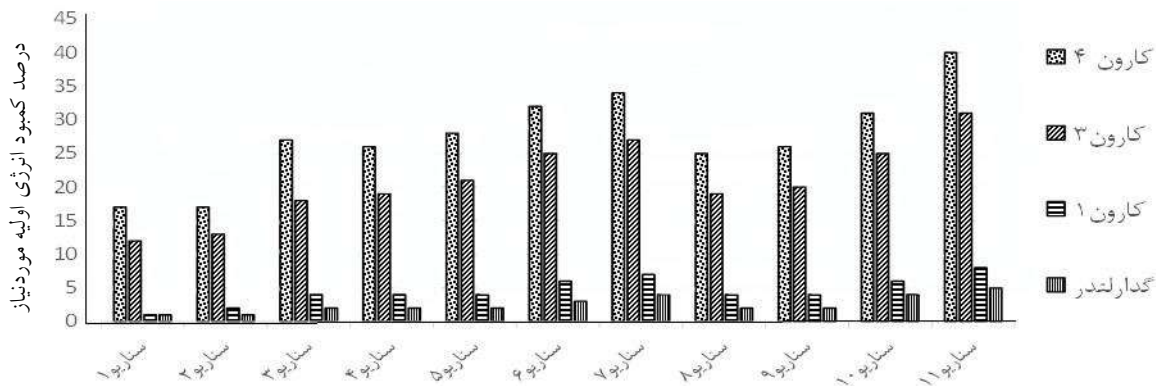
چنانچه این روند صعودی برداشت از منابع آب زیرزمینی ادامه یابد، کاهش انرژی برقی تولیدی در اثر برداشت بیش از حد از منابع آب زیرزمینی در افق‌های زمانی آینده فراوان خواهد بود. نکته‌ی جالب‌توجه دیگری که با ملاحظه شکل (۳) در رابطه با نتایج سناریوهای ۲، ۵ و ۹ می‌توان دریافت، این است که برداشت بیش از حد از منابع آب زیرزمینی حوضه‌ی سزار برخلاف اینکه انتظار می‌رود تنها بر میزان تولید انرژی برقی نیروگاه سد دز مؤثر باشد، بر نیروگاه‌های مخازن دیگر به‌ویژه نیروگاه سد کارون ۳ بر روی رودخانه‌ی کارون نیز مؤثر است، و این نکته ضرورت مطالعه‌ی سیستمی و یکپارچه‌ی منابع آب را گوشزد می‌کند، که هرگونه تغییر در گوشه‌ای از سیستم دارای بازتاب کلی در کل سیستم است. سناریوهای ۳، ۶، ۷، ۱۰ و ۱۱ به‌منظور بررسی اثرات طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای و همچنین اثرات توسعه‌ی این طرح‌ها نسبت به شرایط موجود، در کنار برداشت بیش از حد از منابع آب زیرزمینی، طراحی گردیده است. در شبکه (۲) با مقایسه سناریوهای مذکور با سناریوهای ۱، ۲، ۴، ۵، ۸ و ۹ می‌توان اثرات قابل توجه این طرح‌ها را بر کاهش انرژی اولیه تولیدی نیروگاه‌های حوضه درک کرد، به‌گونه‌ای که همان‌طور که در شکل (۴) مشاهده می‌شود، در سناریو ۱۱ درصد کمبود انرژی اولیه‌ی موردنیاز برای نیروگاه کارون ۴ و کارون ۳ به ترتیب ۱۰ و ۷ درصد نسبت به سناریو ۱۰ افزایش یافته است، درحالی‌که تنها تفاوت سناریوهای ۱۰ و ۱۱ با توجه به جدول (۳) در به مدار آمدن طرح انتقال آب بهشت‌آباد و کوه‌رنگ ۳ در سناریو ۱۱ است، همچنین با توجه به شکل (۳) طرح‌های انتقال بین حوضه‌ای آب سبب می‌شود که در افق‌های زمانی ۱۴۰۴ و ۱۴۲۰ میزان تولید انرژی اولیه نیروگاه سد کارون ۳ باوجود ساعات کارکرد پیک بیشتر، کمتر از میزان انرژی اولیه تولیدی سد کارون ۱ شود. با مقایسه سناریو ۱ با سناریوهای ۴ و ۸ در شکل (۲) و (۳) می‌توان اثرات توسعه درون حوضه‌ای را بر میزان تولید انرژی اولیه حوضه‌ی آبریز کارون بزرگ دریافت. اما نکته‌ی بسیار مهم و جالب‌توجه در شکل‌های (۲)، (۳) و (۴) این است، که با مقایسه سناریوهای ۳، ۶، ۷، ۱۰ و ۱۱ با سناریوهای ۱، ۴ و ۸ می‌توان دریافت که طرح‌های انتقال بین حوضه‌ای آب نسبت به توسعه‌ی درون حوضه‌ای مصرف آب، اثرات بسیار بیشتر و فراوان‌تری بر کاهش انرژی اولیه حوضه‌ی آبریز کارون بزرگ دارد. نکته‌ی قابل توجه دیگری را که می‌توان با ملاحظه شکل (۳) و همچنین شکل (۴) دریافت این است، که توسعه‌ی حوضه‌ی آبریز کارون بزرگ بیشترین تأثیر را بر روی تولید انرژی اولیه سدهای مخزنی دز و کارون ۴ و کارون ۳ داشته است که دلیل آن در درجه‌ی اول طرح‌های انتقال بین حوضه‌ای آب و در درجه دوم در رابطه با سدهای کارون ۴ و دز، عدم وجود سد مخزنی دیگری بلافاصله در بالادست این دو سد است، چراکه وجود یک سد بلافاصله در بالادست سد دیگر سبب می‌شود، جریان آب به‌صورت تنظیم‌شده وارد سد شود، که این امر سبب افزایش قابل توجه تولید برق می‌گردد (افتخار جواد و نیک‌فال، ۱۳۸۵).



شکل ۲. درصد کمبود انرژی اولیه موردنیاز تعریف‌شده برای سیستم مخازن کارون بزرگ تحت سناریوهای مختلف



شکل ۳. تغییرات میزان انرژی اولیه تولیدشده توسط نیروگاه‌های سیستم موردبررسی تحت سناریوهای مختلف



شکل ۴. درصد کمبود انرژی اولیه موردنیاز تعریف‌شده برای مخازن باهدف تولید انرژی تحت سناریوهای مختلف

بحث

مهم‌ترین هدفی که در این مطالعات دنبال می‌شود، یادآوری لزوم یکپارچه نگری در حوضه‌های آبریز به‌عنوان یک سیستم بهم‌پیوسته است. در چنین سیستمی اجزاء مستقل از یکدیگر عمل نمی‌کنند و هر تغییری در گوشه‌ای از سیستم دارای بازتاب کلی است. تأثیراتی از این دست بر سیستم فارغ از مثبت یا منفی بودنشان حائز اهمیت فراوان است. چراکه این مهم ارزیابی اقتصادی طرح‌ها را تحت تأثیر قرار داده و می‌تواند موجب توجیه‌پذیری یک پروژه غیراقتصادی و یا بالعکس گردد. البته چنین موضوعاتی در قالب این مطالعات نمی‌گنجد و خود نیازمند مطالعاتی جامع در سطح حوضه‌ی آبریز به‌منظور تعیین پارامترهای طراحی بر مبنای ارزیابی اقتصادی پروژه‌ها با رویکرد سیستمی است. بررسی نتایج مطالعات حاضر دارای موضوعاتی در خور توجه است، که مهم‌ترین آن اثرات منفی برداشت از سرشاخه‌های حوضه‌ی آبریز دز و کارون به‌منظور انتقال بین حوضه‌ی آب و همچنین اثرات منفی توسعه‌ی درون حوضه‌ی بیشتر از توان منابع آبی این حوضه، بر کار آبی نیروگاه‌های برقابی حوضه است. که با توجه به نتایج بررسی‌های انجام‌گرفته در این پژوهش اثرات طرح‌های انتقال بین حوضه‌ی آب بر کاهش تولید انرژی برقابی بسیار بیشتر از اثرات توسعه‌ی درون حوضه‌ی مصرف آب بر تولید انرژی است. بنابراین ضروری است به‌منظور آسیب‌پذیری کمتر حوضه‌های مبدأ، در فرآیند تصمیم‌گیری برای انتقال بین حوضه‌ی آب مطالعات پایه دقیق‌تری از اثرات این‌گونه طرح‌ها بر حوضه‌ی مبدأ صورت گیرد و تا حد امکان از تعریف این‌گونه طرح‌ها جهت مقابله با کم آبی صرف‌نظر شود و به‌جای آن، راه‌کارهای دیگری مانند مدیریت مصرف، محدود کردن مساحت زیر کشت و

استفاده از الگوهای کشت بهینه مورد توجه قرار گیرد. همچنین در رابطه با مصرف درون حوضه‌ای آب نیز بایستی در نظر داشت که با توجه به این موضوع که، بخش کشاورزی بزرگ‌ترین بخش مصرف‌کننده آب است، توسعه‌ی مناطق کشاورزی و همچنین انتخاب الگوی کشت این مناطق بایستی متناسب با توان آبی حوضه صورت گیرد.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که با توجه به نیاز انرژی تعریف‌شده برای نیروگاه‌های حوضه کارون بزرگ در حال حاضر نیز درصد کمبود انرژی اولیه قابل توجهی وجود دارد، که این موضوع عدم توانایی حوضه جهت توسعه‌ی بیشتر چه به شکل درون حوضه‌ای و چه در قالب طرح‌های انتقال بین حوضه‌ای آب را گوشزد می‌کند. نتایج این پژوهش بازنگری و بررسی دقیق‌تر وضعیت نیروگاه‌های برقابی را به‌عنوان یک ضرورت یادآور می‌شود. چراکه وجود درصد کمبود سالانه انرژی اولیه مورد نیاز برابر با ۲۹ درصد برای مجموعه نیروگاه‌های حوضه در حال حاضر و با نیازها و طرح‌های انتقال آب فعلی و افزایش این درصد کمبود تا ۳۶ درصد برای افق ۱۴۲۰ و مصارف درون حوضه‌ای و طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای در نظر گرفته‌شده در این پژوهش، برای این افق زمانی، با توجه به اهمیت انرژی برقابی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین و بهترین منابع تولید برق در کشور و عدم امکان پیش‌بینی وضعیت آب و هوایی آینده و تأثیر آن بر آبدهی حوضه، حائز اهمیت فراوان و تا حدی نگران‌کننده است.

منابع

- افتخار جوادی، الهام، و نیک فال، محمدرضا. (۱۳۸۵). بررسی اثرات توسعه حوضه آبریز دز و کارون بر تولید انرژی برقابی. دومین کنفرانس مدیریت منابع آب، اصفهان. <https://civilica.com/doc/13317>
- جلالی، محمدرضا، آذرانفر، آرش، و افضل، راحله. (۱۳۸۷). توسعه قابلیت‌های برقابی در نرم افزار مدیریت یکپارچه منابع آب WEAP. سومین کنفرانس مدیریت منابع آب، تبریز. <https://civilica.com/doc/50094>
- خسروی، سیمین. (۱۳۹۴). ارزیابی اثرات طرح‌های انتقال آب سطحی و برداشت‌های زیرزمینی از حوضه کارون بزرگ بر کشاورزی و تولید انرژی سد و نیروگاه‌های این حوضه با استفاده از مدل WEAP. پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی آب، دانشگاه لرستان.
- شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس و شرکت اسکات ویلسون انگلستان. (۱۳۸۵). مدیریت بهینه‌سازی سیستم رودخانه‌های کارون و دز و بهره‌برداری از سیستم‌های منابع آب و نیروگاه‌های حرارتی- برقابی. گزارش میانکار شماره ۷، برنامه‌ریزی یکپارچه سیستم رودخانه‌های دز و کارون، سازمان آب و برق خوزستان.
- فرخیان، فروزان، ابراهیم زاده، سیدمحمدامین، و مفاخر، مرتضی. (۱۳۹۱). بررسی زیست محیطی و مدیریتی انتقال آب بین حوضه‌ای، مطالعه موردی حوضه کارون بزرگ، طرح قمرود. اولین کنفرانس ملی راه کارهای دستیابی به توسعه پایدار (کشاورزی، منابع طبیعی و محیط زیست)، تهران. <https://civilica.com/doc/197255>

References

- Beilfuss, R. (2010). Modelling trade-offs between hydropower generation and environmental flow scenarios: a case study of the lower Zambezi River Basin, Mozambique. *International Journal of River Basin Management*, 8(3-4), 331-347. <https://doi.org/10.1080/15715124.2010.533643>
- Daneshgar, S., & Zahedi, R. (2022). Investigating the hydropower plants production and profitability using system dynamics approach. *Journal of Energy Storage*, 46. <https://doi.org/10.1016/j.est.2021.103919>
- Eftekhari Javadi, A., & Nick Fal, M. (2006). Investigation of the effects of Dez and Karun catchment development on hydropower generation. *Proceedings of the Second Iranian Water Resources Management Conference*, Isfahan, University of Technology. <https://civilica.com/doc/13317> [In Persian]

- Farrokhian, F., Ebrahimzadeh, S. & Mafakher, M. (2012). Environmental and management study of inter-basin water transfer Case study of Karun Bozorg basin, Qamroud project. The first national conference on strategies for achieving sustainable development in Iran. Tehran, Ministry of Interior. <https://civilica.com/doc/197255> [In Persian]
- Gaudard, L., Romerio, F., Dalla Valle, F., Gorret, R., Maran, S., Ravazzani, G., Stoffel, M., & Volonterio, M. (2013). Climate change impacts on hydropower in the Swiss and Italian Alps. *Journal of Science of the Total Environment*, 493, 1211-1221. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.10.012>
- Hamududu, B., & Killingtveit, A. (2012). Assessing climate change impacts on global hydropower. *Journal of Energies*, 5(2), 305-322. <https://doi.org/10.3390/en5020305>
- Harrison, G.P., & Whittington, H(B). W. (2002). Susceptibility of the Batoka Gorge hydroelectric scheme to climate change. *Journal of Hydrology*, 264(1-4), 230-241. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(02\)00096-3](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(02)00096-3)
- Jalali, M., Azaranfar, A., & Afzali, R. (1387). Development of hydropower capabilities in WEAP integrated water resources management software. Third Iranian Water Resources Management Conference. Tabriz, University of Tabriz, Faculty of Civil Engineering. <https://civilica.com/doc/50094> [In Persian]
- Khosravi, S. (2015). Evaluation of the effects of surface water transfer projects and groundwater withdrawals from the Greater Karun Basin on agriculture and energy production of dams and power plants in this basin using the WEAP model. Master Thesis in Water Engineering, Lorestan University. [In Persian]
- Mahab Ghods Consulting Engineering Company & Scott Wilson Company of England. (2006). Optimization management of Karun and Dez river systems and operation of water resources systems and thermal-hydropower plants. Intermediate Report No. 7, Integrated Planning of Dez and Karun River Systems, Khuzestan Water and Electricity Organization. [In Persian]
- Maran, S., Volonterio, M., & Gaudard, L. (2014). Climate change impacts on hydropower in an alpine catchment. *Journal of Environmental Science & Policy*, 43, 15-25. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2013.12.001>
- Onokwai, A.O., Owamah, H. I., Ibiwoye, M.O., Ayuba, G.C., & Olayemi, O. A. (2022). Application of Response Surface Methodology (RSM) for the optimization of energy generation from Jebba hydro-power plant, Nigeria. *ISH Journal of Hydraulic Engineering*, 28(1), 1-9. <https://doi.org/10.1080/09715010.2020.1806120>
- Ozigis, I.I., Adeyemi, R.A., Ondachi, P.A., & Oodo, S.O. (2021) Performance evaluation of Kainji hydroelectric power plant using artificial neural networks and multiple linear regression. *Int J Energ Water Res*, 6, 231–241. <https://doi.org/10.1007/s42108-021-00135-3>
- Rheinheimer, D.E., Viers, J.H., Sieber, J., Kiparsky, M., Mehta, V.K., & Ligare, S.T. (2014). Simulating high-elevation hydropower with regional climate warming in the west slope, Sierra Nevada. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 140, 714-723. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000373](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000373)
- Spalding-Fecher, R., Chapman, A., Yamba, F., Walimwipi, H., Kling, H., Tembo, B., Nyambe, I., & Cuamba, B. (2014). The vulnerability of hydropower production in the Zambezi River Basin to the impacts of climate change and irrigation development. *Journal of Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 19, 411-430. <http://dx.doi.org/10.1007/s11027-014-9619-7>
- Water Evaluation and Planning System(Weap), User Guide. (2008). <https://www.weap21.org/index.asp?action=208>



Improving the power outputs of oscillating water column wave energy converters by optimizing the geometrical parameters

Mohammad Hossein Jahangir¹ , Mohammad Sharafi² 

¹ Corresponding Author, Associate Professor, Faculty of New Sciences Technologies, Tehran University, Tehran, Iran. Email: mh.jahangir@ut.ac.ir

² M. Sc student of Renewable Energy Engineering, Faculty of New Sciences Technologies, Tehran University, Tehran, Iran. Email: mohammad.sharafi@ut.ac.ir

ABSTRACT

Introduction

There are currently a variety of methods for extracting energy and generating electricity from wave energy, one of the simplest and most practical methods is to use a water oscillating column. The oscillating water column (OWC) consists of a chamber in which the rising and falling of the wave inside the chamber produces positive and negative dynamic pressure, which in turn can cause the turbine to rotate at the end of the duct. Our study on OWC has a chamber with a front wall that is oriented against the direction of flow.

Methodology

In this research, a two-dimensional numerical study on the geometric optimization of an ocean wave energy converter (WEC) to electrical energy is presented, the main factor of which is OWC. To do this, the geometric parameter of the OWC chamber length was optimized, while the other parameters (height-to-length ratio) were kept constant. In this study, a regular wave with dimensions on a laboratory scale was considered. The main purpose was to optimize the geometry of the device with the aim of maximizing the absorbed power in conditions that are exposed to the defined wave environmental conditions. A multi-phase volume of fluid model was used to investigate climate interaction. The computational amplitude was represented by an OWC device with a wave tank.

The main purpose of this study is to present a mathematical model for optimal design and study of the converter under study. To determine the optimal energy converter parameter based on environmental parameters (water depth, wave period and altitude), first using the Particle Swarm Optimization (PSO) meta-processing algorithm and coding in MATLAB software to create an algorithm to study and provide the most optimal chambers with the widest range of text and waves We did different depths.

PSO algorithm

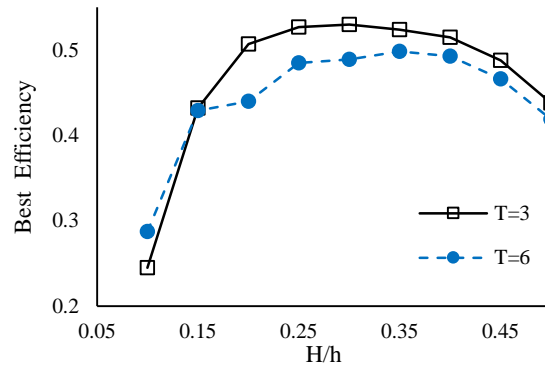
A meta-heuristic optimization algorithm modeled on the movements of a group of birds or a group of fish that live in groups. The PSO algorithm shows flying birds to accurately detect motion and analyzes flight patterns. This algorithm, like other evolutionary techniques, uses a population that contains potential solutions to a problem that it uses to explore the search space. The main difference between this method and other methods is that each particle has a velocity vector that by its changes continuously searches in the decision space. They are selected randomly with an initial velocity of zero. In the next steps, the particles have acceleration and velocity, so that the movement and displacement of each particle and the position of the particle in the new position is calculated according to the previous position and velocity.

In this study, an attempt is made to investigate the simultaneous effect of environmental parameters on the efficiency of wave energy converters. For this purpose, the parameters of the period of impact waves (T), water depth (h), and the height of the index wave (H) are selected as the problem variables. Also, the water density parameter (ρ) enters the algorithm according to the region as a specific input. Also, the necessary changes were made to define the main optimization equation and auxiliary equations, and the limit state equations were added to the algorithm. The problem under study specifically includes a principal equation, auxiliary equations, and limit state equations (boundary constraints). The main equation was considered according to the amount of impact wave energy and considering the angle of impact based on the mentioned relations. Also, the limit equations of the problem (boundary constraints) are determined based on the minimum and maximum parameters of the variable. Therefore, according to the defined quantities, the initial range for searching for answers will be in the form of limit equations and the minimum and maximum values of the original quantities. After determining the initial region of the answers, according to the hierarchy of the algorithm during the process of the coded iteration cycle, it obtains the best values of the mentioned parameters in such a way that the amount of wave energy is maximized.

Simulation and Results

Changes in efficiency under geometric ratio change

The optimal efficiency is shown in Figure 1. According to the diagram, the changes in maximum efficiency with increasing H/h ratio increase at first, then remain almost constant and finally decrease. Considering $T = 3s$, the highest efficiency was 54% when $H/h = 0.3$, considering $T = 6s$, the highest efficiency value was 49%.



Conclusions

The results of this study indicate the very appropriate answers of the proposed PSO algorithm to determine the parameter of the optimal operating chamber of the wave oscillator energy converter in comparison with other algorithms. The performance of the designed converter in the obtained optimal state is equal to 54%, which increase in comparison with the research background is a self-confirmation of the results obtained from the determination of the optimal state by the proposed algorithm.

Keywords: Wave energy converter, OWC, Geometric Optimization, PSO

Article Type: Research Article

Article history: Received: 09 April 2022 Revised: 21 May 2022 Accepted: 29 May 2022 ePublished: 23 August 2022

Cite this article: Jahangir, M.H., & Sharafi, M. (2022). Improving the power outputs of oscillating water column wave energy converters by optimizing the geometrical parameters, *Advanced Technologies in Water Efficiency*, 2(2), 14-27. DOI: 10.22126/ATWE.2022.7855.1019

Publisher: Razi University

© The Author(s).





ارتقای تولید توان مبدل موج ستون نوسانی آب از طریق بهینه‌سازی ابعاد هندسی

محمدحسین جهانگیر^۱ ✉، محمد شرفی^۲ ID

^۱ نویسنده مسئول، دانشیار دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: mh.jahangir@ut.ac.ir

^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی انرژی‌های تجدید پذیر، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: mohammad.sharafi@ut.ac.ir

چکیده

در حال حاضر روش‌های متنوعی برای استحصال انرژی و تولید برق از انرژی امواج وجود دارد که یکی از ساده‌ترین و کاربردی‌ترین روش‌ها استفاده از ستون نوسانی آب است. ستون نوسانی آب (OWC) از یک محفظه تشکیل شده که بالا و پایین آمدن موج در داخل محفظه به ترتیب باعث تولید فشار دینامیکی مثبت و منفی شده که به نوبه خود می‌تواند باعث چرخش توربین قرارگرفته در انتهای مجرا گردد. تحقیق حاضر بر روی OWC دارای محفظه با دیوار جلویی است که جهت‌گیری آن در مقابل جهت جریان بوده است. در این پژوهش یک مطالعه عددی دوبعدی در مورد بهینه‌سازی هندسی یک مبدل انرژی امواج اقیانوسی به انرژی الکتریکی ارائه می‌شود که عامل اصلی آن OWC است. برای انجام این کار، پارامتر هندسی طول محفظه OWC بهینه می‌شد، درحالی‌که پارامترهای دیگر (نسبت ارتفاع به طول)، ثابت نگه‌داشته شد. در این مطالعه یک موج منظم با ابعاد در مقیاس آزمایشگاهی در نظر گرفته شد. از مدل چند فازی حجم سیال برای بررسی برهم‌کنش آب و هوا استفاده شد. دامنه محاسباتی توسط یک دستگاه OWC همراه با مخزن موج نشان داده شد. هدف اصلی این پژوهش ارائه مدلی ریاضی جهت بررسی و سپس طراحی بهینه مبدل به منظور به حداکثر رساندن توان جذب شده آن در معرض شرایط محیطی موج تعریف شده است. جهت تعیین پارامتر بهینه مبدل انرژی بر اساس پارامترهای محیطی (عمق آب، پرپود موج و ارتفاع)، ابتدا با به‌کارگیری الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات PSO^۲ و کد نویسی در نرم‌افزار MATLAB اقدام به ایجاد الگوریتمی برای بررسی و ارائه بهینه‌ترین محفظه برای امواج با پارامترهای متنوع و در اعماق مختلف شده است. نتایج حاصل از این پژوهش بیانگر پاسخ مناسب الگوریتم پیشنهادی جهت تعیین پارامتر بهینه کارگذاری مبدل انرژی نوسانگر امواج بوده است علاوه بر این، بر اساس طراحی ابعاد صفحه مبدل و مطالعه موردی انجام شده، ضریب عملکرد مبدل طراحی شده در حالت بهینه به دست آمده برابر با ۵۴٪ است، که افزایش آن در مقایسه با پیشینه تحقیقات، خود تأییدی بر نتایج حاصله از تعیین حالت بهینه توسط الگوریتم ارائه شده بوده است.

واژه‌های کلیدی: مبدل انرژی امواج، OWC، بهینه‌سازی هندسی، الگوریتم PSO

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

سابقه مقاله: دریافت: ۲۰ فروردین ۱۴۰۱ اصلاح: ۳۱ اردیبهشت ۱۴۰۱ پذیرش: ۰۸ خرداد ۱۴۰۱ چاپ الکترونیکی: ۰۱ شهریور ۱۴۰۱

استناد: جهانگیر. م. ح. و شرفی. م. (۱۴۰۱). ارتقای تولید توان مبدل موج ستون نوسانی آب از طریق بهینه‌سازی ابعاد هندسی، فناوری‌های پیشرفته در بهره‌وری آب،

(۲)، ۲۷-۱۴. شناسه دیجیتال: 10.22126/ATWE.2022.7855.1019



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه رازی

¹ Oscillating Water Column

² Particle Swarm Optimization

مقدمه

انرژی امواج دریا به واسطه روش‌های استحصال آن، پاک‌ترین و غیر آلاینده‌ترین نوع انرژی، در بین انرژی‌های دریایی است. انرژی امواج به‌طور متوسط ۵ برابر انرژی باد و ۱۲/۵ برابر انرژی استحصالی از خورشید است. بنابراین بحث طراحی دستگاه‌های جاذب انرژی امواج، در چند دهه گذشته یکی از مهم‌ترین مباحث چالش‌برانگیز مهندسی، در عرصه انرژی‌های تجدید پذیر بوده است. این فناوری‌ها همواره در حال بهینه‌سازی است تا هزینه‌های سرمایه‌گذاری، تعمیر، نگهداری و تولید انرژی توسط آن‌ها کاهش یابد. مبدل‌های انرژی امواج معمولاً بر اساس موقعیت نصب مبدل و روش استحصال انرژی موج، طبقه‌بندی می‌شوند. موقعیت نصب مبدل‌های انرژی امواج به سه گروه فراساحل، نزدیک به ساحل و روی خط ساحل تقسیم‌بندی می‌شود. روش استحصال انرژی موج یا نوع عملکرد دستگاه معمولاً بر پنج گروه، شامل روش تجمع امواج، روش ستون نوسانگر آب، بالاروی موج بر یک سطح شیب‌دار، روش نوسان رول-سرج و روش تضعیف انرژی موج تقسیم می‌شود (محسن و همکاران، ۲۰۲۰).

در حال حاضر روش‌های متنوعی برای استحصال انرژی و تولید برق از انرژی امواج وجود دارد که یکی از ساده‌ترین و کاربردی‌ترین روش‌ها استفاده از OWC است. OWC از یک محفظه تشکیل شده که بالا و پایین آمدن موج در داخل محفظه به ترتیب باعث تولید فشار دینامیکی مثبت و منفی شده که به‌نوبه خود می‌تواند باعث چرخش توربین قرارگرفته در انتهای مجرا گردد. ساخت تأسیسات موردنیاز این مبدل‌ها در کنار ساحل و یا نقاط دوردست نیازمند صرف هزینه زیاد است. از این رو تلاش می‌گردد تا با افزایش بازده این مبدل‌ها و همچنین بهره‌برداری از آن‌ها در سازه‌های فراساحلی، هزینه نهایی تولید انرژی را کاهش داد. هندسه‌ی عمومی در طرح‌های مختلف واحدهای نیروگاهی OWC عبارت است از محفظه‌ای با دو انتهای باز که به‌صورت ایستا در معرض امواج قرار می‌گیرد. سطح آزاد آب، حجم داخلی استوانه را به دو ناحیه تقسیم می‌کند، به‌گونه‌ای که هر دو ناحیه تنها در یک انتهای خود دارای بازشدگی می‌باشند. به این ترتیب حجم اصلی محفظه هم‌زمان محل نوسان دو ستون نوسانگر سیال (آب‌هوا) خواهد بود. وضعیت نصب سازه به شکلی است که مقطع بازشدگی تحتانی (با ابعاد به‌مراتب بزرگ‌تر) در معرض میدان امواج قرار داشته و در نتیجه در هنگام کار دستگاه، سطح آب داخل محفظه متأثر از تلاطم خارجی موج، به نوسان درمی‌آید. در اثر این حرکت رفت و بازگشتی سطح آب داخل محفظه، حجم ناحیه ی فوقانی (مرز ستون نوسانگر هوا) به‌صورت متناوب تغییر نموده و متناسب با دو مشخصه‌ی سرعت نوسان سطح آب و افت مقطع فوقانی خروج هوا، فشار نسبی ستون هوا در این ناحیه، به‌صورت ضربانی حول مقدار فشار سطح آزاد آب (فشار هوای داخل محفظه در حالت غیر برانگیخته) نوسان می‌نماید. بازشدگی تعبیه‌شده در انتهای ناحیه فوقانی، جریان تحت‌فشار هوای داخل محفظه را به سمت یک توربین هوایی هدایت می‌سازد. طراحی این توربین به این صورت است که بر اثر هر دو جهت نوسان سیال (رفت یا برگشت)، در یک‌جهت می‌چرخد. حاصل این فرایند، انتقال انرژی تراکمی جریان هوای خروجی به محور یک مولد الکتریکی و در نهایت تولید الکتریسیته خواهد بود.

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

مبدل‌های مختلفی برای بهره‌برداری از انرژی امواج دریا معرفی شده‌اند که OWC یکی از پرطرفدارترین آن‌هاست؛ به‌طور کلی مطالعات صورت گرفته روی OWC را می‌توان به دودسته‌ی مطالعات تئوری و تجربی دسته‌بندی نمود. تلاش‌های متعددی برای بررسی تحلیلی و آزمایشگاهی مشخصات هیدرودینامیکی OWC انجام شده است. سورسو^۲ (۲۰۰۵) کارایی OWC را برای دو هندسه متفاوت و نیز شرایط گوناگون امواج برخوردی مورد بررسی تجربی قرارداد. نتایج نشان داد، شرایط مختلف موج از جمله پریود و ارتفاع موج برخوردی بر فشار درون محفظه اثرگذار بوده، منجر به افزایش فشار درون محفظه می‌شود، همچنین تغییر هندسه می‌تواند با تغییر الگوی جریان منجر به افزایش بازدهی گردد. موریس و همکاران^۳ (۲۰۰۷) به‌صورت تجربی تأثیر پارامترهای هندسی دستگاه OWC را در توان خروجی مورد بررسی قراردادند. آب‌خور دیوار جلویی، ضخامت و شکل دریچه مغروق پارامترهای اصلی تحقیق بودند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که افزایش آب‌خور دیوار باعث کاهش بازده هیدرودینامیکی در امواج کوتاه می‌شود. این نتیجه در مورد افزایش ضخامت دیواره جلویی تکرار می‌شود. همچنین دریچه دایره‌ای عملکرد بهتری نسبت به دریچه مستطیلی دارد.

رام و همکاران^۴ (۲۰۱۰) باهدف بهینه‌سازی انرژی جنبشی هوای گذرنده از اوریفیس، سطح مقطع اوریفیس را تا حد امکان کاهش دادند. نتایج نشان داد که همواره با تغییر پارامترهای موج از جمله فرکانس و عمق آب مقدار قدر مطلق سرعت هوای گذرنده از اوریفیس،

¹ Oscillating Water Column

² Sorso

³ Moris et al

⁴ Ram et al

در طول حرکت رو به پایین آب همواره کوچکتر از مقدار قدر مطلق فشار آن در طول حرکت رو به بالا است. دیزاجی و سجادیان (۲۰۱۱) مشخصه‌های هندسی محفظه از جمله زاویه دیوارهای جلویی و عقبی را بهینه‌سازی نمودند؛ نتایج نشان دادند که با افزایش ارتفاع و طول موج، نرخ جریان خروجی هوا افزایش می‌یابد. همچنین نشان دادند که رفتار هیدرودینامیکی سامانه حساسیت شدیدی به هندسه آن دارد. یکی از روش‌های افزایش بازدهی سامانه OWC، تغییر هندسه کانال خروجی هوا از حالت عمودی به افقی است؛ این موضوع توسط پاتل و همکاران^۱ (۲۰۱۳) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد وقتی محور مقطع خروجی جریان افقی باشد، بازدهی محور توان دهی افزایش می‌یابد؛ به گونه‌ای که برای موقعیت افقی، دور توربین ۲۰٪ الی ۳۰٪ بیشتر می‌شود. تیکسیرا و همکاران (۲۰۱۳) یک کد عددی بر مبنای حل معادلات متوسط‌گیری شده رینولدز برای تحلیل مبدل OWC امواج که در ساحل نصب شده است، ارائه نمودند. حل عددی هیدرودینامیک امواج در یک مرحله و تحلیل عملکرد توربین در مرحله دوم انجام گرفته است. در این تحقیق اثر امواج با پریودهای مختلف مورد ارزیابی قرار گرفته است. رضا نژاد و همکاران (۲۰۱۳) اثر وجود پله در بستر آب را بر عملکرد یک مبدل OWC که در نزدیک ساحل نصب شده را مورد ارزیابی قرار دادند. آن‌ها با تغییر فاصله پله از مبدل موج و استفاده از یک روش ریاضی ترکیبی توانستند با تغییر هندسه بستر ساحل، بازده مبدل را تا حد زیادی افزایش دهند. حداد پور و همکاران (۲۰۱۴) نشان دادند، برای دستیابی به حداکثر بازدهی مبدل انرژی جاذب نقطه‌ای در بندر انزلی، ارتفاع موج باید به ۲ متر و پریود آن به ۴ تا ۷ ثانیه برسد. عالمیان و همکاران (۲۰۱۴) به بررسی و تحلیل پتانسیل انرژی امواج کل دریای مازندران پرداختند. آن‌ها بر مبنای پتانسیل امواج دریای مازندران انواع مبدل‌های انرژی را برای گزینش مبدل بهینه ارزیابی کردند.

کامات و همکاران^۲ (۲۰۱۵) عملکرد هیدرودینامیکی مبدل OWC با استفاده از یک تحلیل عددی دوبعدی، اثر امواج با طول و شیب موج‌های متفاوت را بر بازده مبدل بررسی کرده و نتایج خود را با داده‌های آزمایشگاهی معتبر مقایسه نمودند. فایرهورست^۳ (۲۰۱۵) به مطالعه تئوری و تجربی OWC در مقیاس ۱:۲۵ با امواج در محدوده پریود نوسانات ۱/۵ تا ۳/۲۵ ثانیه پرداخت. آزمایش‌ها و مدل‌سازی‌ها برای دو حالت کاملاً مغروق و سطحی انجام شدند. نتایج تجربی نشان دادند که حداکثر بازده دستگاه در حالت سطحی ۲۶٪ و در حالت مغروق ۲۲٪ است؛ اما مدل‌سازی ریاضی در این مطالعه، بازده مبدل را به این ترتیب برای حالت سطحی و مغروق ۱۰٪ و ۱۵٪ پیش‌بینی کرد. هو و همکاران^۴ (۲۰۱۷) با استفاده از روش آزمایشگاهی و عددی، آثار تغییر هندسه ورودی را برای مبدل انرژی امواج بر مبنای OWC در دو حالت مبدل تنها و یا نصب شده بر روی یک موج‌شکن بررسی نمودند. نتایج آن‌ها نشان‌دهنده این موضوع بود که تغییر هندسه ورودی مبدل از مقطع دایره‌ای به مستطیلی، اثر چندانی بر روی عملکرد این مبدل نداشته است. از طرفی نصب این مبدل بر روی موج‌شکن، علاوه بر بهبود عملکرد آن، می‌تواند هزینه‌های نصب و انتقال انرژی را تا حد زیادی کاهش دهد. سیمونتی و همکاران (۲۰۱۸) یک مدل تجربی برای بهینه‌سازی متغیرهای طراحی یک OWC ثابت ارائه نمودند. آن‌ها اطلاعات موجود از تحلیل‌های آزمایشگاهی و حل عددی سایر محققان را بررسی نموده و یک مدل تجربی برای تعیین حالت بهینه به دست آوردند. اشلین و همکاران با استفاده از روش آزمایشگاهی، آثار قرارگیری چندین OWC در عرض یکدیگر را که در یک موج‌شکن تعبیه شده‌اند مورد بررسی قرار دادند. با این کار، آن‌ها بازده کلی این مبدل را نسبت به یک مبدل افزایش دادند.

سلیک و همکاران^۵ (۲۰۱۹) اثر پارامتر بی‌بعد بازشدگی نسبی را تحت شرایط امواج مختلف بر بازدهی OWC مورد بررسی قرار دادند و نشان دادند که با افزایش این پارامتر بازدهی مبدل افزایش می‌یابد. اشلین و همکاران^۶ (۲۰۱۹) به بررسی اثر ضریب دمپینگ بر رفتار OWC پرداختند و نشان دادند با افزایش نسبت مساحت اوریفیس به سطح مبدل، میزان میرایی کاهش می‌یابد و در نتیجه می‌توان گفت که با افزایش نسبت مساحت سطح میزان تغییرات سطح آزاد آب زیادتر می‌شود ولی از طرف دیگر فشار در محفظه کاهش می‌یابد. رضانژاد و همکاران (۲۰۱۹) عملکرد هیدرودینامیکی یک OWC که به شکل L ساخته شده را بررسی نمودند. آن‌ها توانستند در عمق کمتر به بازده بیشتری دست پیدا کنند. در مطالعه شهسواری زاده و همکاران (۲۰۱۹) تأثیر زبانه انتهایی بر میزان کارایی سیستم OWC در پریود مختلف امواج مورد بررسی گرفته شد. نتایج نشان داد که وجود زبانه باعث افزایش قابل توجه فشار دینامیکی در مجرای سیستم می‌گردد و با افزایش ارتفاع زبانه، کارایی سیستم نیز افزایش می‌یابد. راج و همکاران^۷ (۲۰۱۹) با استفاده از روش آزمایشگاهی آثار وجود

¹ Patel et al

² Texiera

³ Comos et al

⁴ Fier horst

⁵ Hu et al

⁶ Simunti

⁷ Celic et al

⁸ Eshlin et al

⁹ Raj et al

دیواره‌های جانبی در مجاورت مبدل امواج را بررسی نموده‌اند. آن‌ها توانستند با چیدمان مناسب این دیوارها، بازده چنین مبدل‌هایی را تا حد بسیار زیادی افزایش دهند. نائینی و امینی (۱۳۹۹)، مدلی ریاضی جهت مکان‌یابی محل احداث مبدل انرژی امواج و همچنین طراحی و بررسی مبدل مورد مطالعه در قالب یک مطالعه موردی، در بندر نوشهر ارائه کردند. جهت تعیین موقعیت بهینه مبدل انرژی نوسانگر دورانی بر اساس پارامترهای محیطی ابتدا با به‌کارگیری الگوریتم گرگ خاکستری اقدام به ایجاد الگوریتمی برای بررسی و ارائه بهینه‌ترین موقعیت در پهناهای آبی مختلف شده است. ضریب عملکرد مبدل طراحی شده در موقعیت بهینه به دست آمده برابر با ۶۳٪ است. لی و همکاران (۲۰۲۱) یک مبدل انرژی صفحه‌ای شناور پیشنهاد نمودند. این مبدل انرژی، متشکل از دو صفحه بوده که با یک لولا به یکدیگر متصل شده و در جهت خلاف یکدیگر نوسان می‌کنند. آن‌ها با شبیه‌سازی عددی نتیجه گرفتند که توان دستگاه با افزایش عرض، ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد. آن‌ها گزارش دادند که وجود سازه‌های حفاظتی ساحلی، از طریق افزایش انعکاس امواج، موجب بهبود عملکرد می‌گردد. همچنین در شرایطی که عمق اولیه آب کمتر از ارتفاع صفحه باشد عملکرد مبدل انرژی بهبود پیدا می‌کند.

روش پژوهش

مدل‌سازی و روابط

در این بخش، یک محفظه مستطیل شکل در نظر گرفته شده است که در سمت بالا، یک دریچه مستطیلی دارد. دیوار جلویی در آب غوطه‌ور است و با توجه به جهت جریان در یک زاویه دلخواه جهت‌گیری می‌کند. مشخصات هندسی دستگاه در شکل ۱ نشان داده شده است. با توجه به دامنه موج بالادست و طول موج مربوط به نظریه مرتبه دوم استوکس، بنابراین، مؤلفه‌های سرعت ارائه شده توسط این نظریه به‌عنوان شرایط مرزی بر موج ساز تحمیل می‌شود. مشخصه‌های موج طوری انتخاب می‌شوند که به‌خوبی توسط راه‌حل مرتبه دوم استوکس نشان داده می‌شود. مناطق مختلف اعتبار برای نظریه‌های مختلف توسط توصیف شده است. موج در نظر گرفته شده در این مطالعه دارای دوره ثابت T ، طول موج λ و ارتفاع موج ورودی H است. طبق نظریه مرتبه دوم، معادله ارتفاع سطح آزاد بدین صورت است (دین، ۱۹۸۴):

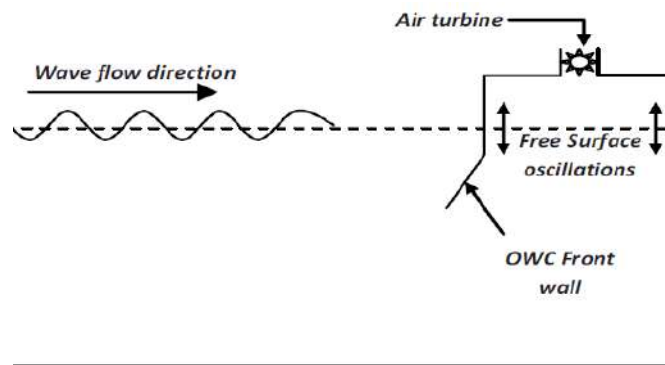
$$\eta = \frac{H}{2} \cos(kx - \omega t) + \frac{\pi H^2}{8\lambda} \frac{\cosh(kh)}{\sinh^3(kh)} [2 + \cosh(2kh) \cos(2kx - 2\omega t)] \quad (1)$$

که t زمان، h عمق آب، k عدد موج و λ فرکانس زاویه‌ای است. مؤلفه افقی u و مؤلفه عمودی w سرعت سیال محلی با روابط زیر به دست می‌آیند (دین، ۱۹۸۴):

$$u = \frac{Hgk \cosh k(z+h)}{2\omega \cosh(kh)} \cos(kx - \omega t) + \frac{3H^2}{16} \omega k \frac{\cosh 2k(z+h)}{\sinh^4(kh)} \cos 2(kx - \omega t)$$

$$w = \frac{Hgk \sinh k(z+h)}{2\omega \cosh(kh)} \sin(kx - \omega t) + \frac{3H^2}{16} \omega k \frac{\sinh 2k(z+h)}{\sinh^4(kh)} \sin 2(kx - \omega t) \quad (2)$$

رابطه پراکندگی و انتشار موج به صورت زیر ارائه می‌شود: (بوعلی و لری، ۲۰۱۳):



شکل ۱. شماتیکی از مبدل انرژی امواج OWC

¹ Li et al

² Din

$$\lambda = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi h}{\lambda}\right) \quad (۳)$$

از طرفی توان برخورد موج متناظر در واحد عرض برابر است با (مک کورمیک، ۲۰۱۳):

$$P_{in} = \frac{\rho g \lambda}{16T} H^2 \left(1 + \frac{9}{64} \frac{H^2}{k^4 h^6}\right) \left[1 + \frac{2kh}{\sinh(2kh)}\right] \quad (۴)$$

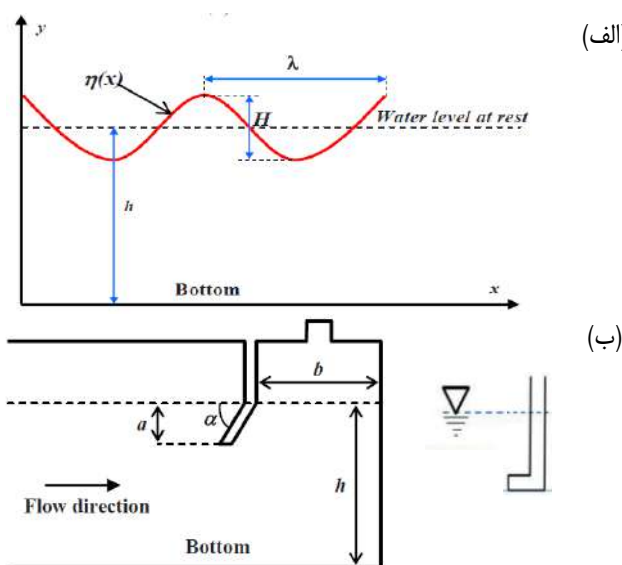
با فرض این که سطح بدون آب در OWC به صورت یک صفحه مسطح رفتار می کند، توان هیدرودینامیکی منتقل شده به ستون هوای داخل محفظه را می توان به صورت زیر تعیین کرد (بوعلی و لربی، ۲۰۱۳):

$$P_{hyd} = p_a b \frac{dz_p}{dt} \quad (۵)$$

که p_a فشار ستون هوا، b اندازه محفظه و Z_p ارتفاع سطح آزاد داخل محفظه است. نهایتاً بازده OWC با نسبت توان هیدرودینامیکی به توان ورودی $\varepsilon = \frac{P_{hyd}}{P_{in}}$ محاسبه می شود. مطابق شکل ۲ (ب)، حالت $\alpha = 0$ انتخاب شده است و مطابق منابع، این پیکربندی که جهت گیری مخالف جریان است، بهترین آرایش برای به حداکثر رساندن کارایی دستگاه است (بوعلی و لربی، ۲۰۱۳).

بهینه سازی به کمک الگوریتم ازدحام ذرات

الگوریتم ازدحام ذرات: الگوریتم بهینه سازی ذرات، یک الگوریتم بهینه سازی فرا اکتشافی است که از حرکات گروهی از پرندگان یا دسته ای از ماهیان که به شکل گروهی زندگی می کنند، الگوبرداری شده است. این الگوریتم از مفهوم اثر متقابل اجتماعی برای حل کردن مسئله استفاده می کند. در واقع این الگوریتم از مفهوم اثر متقابل اجتماعی برای حل کردن مسئله استفاده می کند. الگوریتم ازدحام ذرات اولین بار توسط کندی و همکاران^۳ (۱۹۹۵) معرفی و توسط شی و همکاران^۴ (۱۹۹۸) توسعه یافت. این الگوریتم ابتدا برای حل مسائل مهندسی برق، الکترونیک و مخابرات مورداستفاده قرار گرفت. الگوریتم PSO جهت کشف دقیق حرکت، پرندگان در حال پرواز را نشان داده و با تجزیه و تحلیل الگوهای پروازی، شکل بهینه ای به خود می گیرد. مطالعات نشان می دهد، تغییر مسیر هر ذره، از روی الگوی پروازی ذرات همسایه بوده و هر ذره، ذرات دیگر را الگو قرار می دهد. تغییر وضعیت ذرات با توجه به تجربه و دانش خود و دیگر ذرات است.



شکل ۲. الف) پارامترهای مختلف موج دوبعدی (ب) پارامترهای هندسی مبدل و نحوه قرارگیری پیکربندی مخالف جریان

¹ Mc Cormic

² Buali and Larbi

³ Kennedy et al

⁴ Shi et al

نتیجه مدل‌سازی این رفتار اجتماعی، فرآیند جستجویی است که ذرات به سمت موقعیت بهتر میل می‌کنند. ذرات با به‌کارگیری از دانش یکدیگر، از هم می‌آموزند و هر ذره با توجه دانش به‌دست‌آمده، به‌سوی بهترین ذره می‌رود و اگر در زمان جستجو، ذره موقعیت بهتری از ذره مورد جستجو پیدا کرد، باقی ذرات خود را با آن هم‌سو می‌کنند.

این الگوریتم مانند سایر فن‌های تکاملی، از یک جمعیت که شامل راه‌حل‌های بالقوه مسئله است که به‌منظور اکتشاف در فضای جستجو استفاده می‌کند. تفاوت اساسی این روش با سایر روش‌ها این است که هر ذره دارای یک بردار سرعت است که به‌وسیله تغییرات آن به جستجوی پیوسته در فضای تصمیم می‌پردازد. این بردار دارای دو جزء است که شامل حرکت ذره به سمت بهترین موقعیتی که تاکنون ملاقات کرده و همچنین بهترین موقعیتی که ذره در کل جمعیت به آن رسیده است. ذرات به سمت مکانی که بهترین تناسب برای خود ذره و همچنین بهترین موقعیت ذره در بین کل جمعیت را تأمین نماید جذب می‌شوند (ترلا^۱؛ ۲۰۰۳).

روند کار در الگوریتم ازدحام ذرات، بدین صورت است که جهت دستیابی به پاسخ بهینه، در ابتدا ذرات به صورت تصادفی و با سرعت اولیه صفر انتخاب می‌شوند. در مراحل بعد، ذرات دارای شتاب و سرعت می‌باشند، بدین ترتیب که حرکت و جابجایی هر ذره و قرارگرفته ذره در موقعیت جدید با توجه به موقعیت و سرعت قبلی محاسبه می‌شود. در الگوریتم PSO سرعت و موقعیت هر ذره، بر اساس برابری ذرات تغییر می‌کند (شی و ابرهارت^۲؛ ۱۹۹۸). فرمول سرعت و موقعیت ذره، کاملاً متناظر با یک‌ذره از میان کل جمعیت است (بای^۳؛ ۲۰۱۰). پس از مقداردهی، در مرحله بعد ذرات از نظر برازندگی و ارزشی که مدنظر است مورد بررسی قرار می‌گیرند. سپس با توجه به مکان هر ذره در گروه و بهترین مکان سراسر، ذرات باهم مقایسه شده و بهترین ارزش هر ذره و بهترین ارزش سراسر در بین گروه، مشخص می‌شود. در ادامه، در صورت احقاق هدف مدنظر، جستجوی ذرات خاتمه یافته و در غیراین صورت بار دیگر، ذره مورد ارزیابی قرارگرفته تا در ادامه فرآیند، معیار مورد بررسی محقق گردد. موقعیت ذره X_d و تغییرات آن را بر اساس رابطه زیر ارائه نمودند.

$$X_{k+1}^d = X_k^d + v_{k+1}^d \quad (6)$$

سرعت v_d به صورت رابطه زیر بروز می‌شود.

$$v_{k+1}^d = v_k^d + c_1 r_1 (p_k^d - x_k^d) + c_2 r_2 (p_k^g - x_k^g) \quad (7)$$

ثابت k برای افزایش شمارنده شبه زمانی بکار برده می‌شود. p_k^d بهترین موقعیت قبلی ذره d در زمان k باشد. همچنین p_k^g بهترین موقعیت سراسر ذره در زمان k را بیان می‌کند. r_1 و r_2 اعداد اتفاقی بین ۰ و ۱ هستند (شی و ابرهارت، ۱۹۹۸) فوری و همکاران^۴ (۲۰۰۲) در راستای تولید میانگین ۱ پیشنهاد دادند که $c_1 = c_2 = 2$ باشد نتیجه استفاده از این مقادیر پیشنهادی این است که پرندگان نیمی از زمان مورد هدف را تحت‌الشعاع قرار می‌دهند. سپس ضریب φ جهت اصلاح رابطه فوق به آن افزوده شد و فرم اصلاح شده به صورت زیر ارائه شد:

$$v_{k+1}^d = \varphi v_k^d + c_1 r_1 (p_k^d - x_k^d) + c_2 r_2 (p_k^g - x_k^g) \quad (8)$$

شی و ابرهارت (۱۹۹۸) پیشنهاد دادند که مقدار w می‌بایست بین ۰/۸ تا ۱/۴ باشد. بدین ترتیب آن‌ها نرخ همگرایی رازمانی که w صورت خطی در فرآیند بهینه‌سازی کاهش می‌یابد، بهبود بخشیدند. در الگوریتم PSO محلی، هر ذره موقعیت بهینه در اطراف خود را بسته به سرعت و موقعیت خود می‌یابد (بای^۳؛ ۲۰۱۰). مراحل پیاده‌سازی در این پژوهش به این شرح بوده است:

الف) توسعه کدهای الگوریتم بهینه‌ساز PSO با توجه به ماهیت مسئله در نرم‌افزار MATLAB: همان‌طور که گفته شد در این پژوهش سعی بر آن است تا تأثیر هم‌زمان پارامترهای محیطی بر تابع هدف که بازدهی مبدل انرژی امواج است، بررسی گردد. به این منظور پارامترهای پرپود امواج برخوردی (T) عمق آب (h)، ارتفاع موج شاخص (H) به‌عنوان متغیرهای تصمیم مسئله انتخاب می‌گردد. همچنین پارامتر چگالی آب (ρ) با توجه به منطقه مدنظر به‌عنوان ورودی مشخص وارد الگوریتم می‌گردد. همچنین تغییرات لازم برای تعریف معادله اصلی بهینه‌سازی و معادلات کمکی انجام شد و معادلات حالت حدی نیز به الگوریتم اضافه گردید. بر اساس روابط مطرح شده برای مجموعه متغیرها و مجموعه جواب‌ها داریم.

$$X = \{T, h, H, \rho\} \\ f(X) = \varepsilon(X) \quad (9)$$

¹ Terla

² Shi and Eberhart

³ Bai

⁴ Furi et al

مسئله مورد مطالعه به طور خاص شامل یک معادله اصلی، چندین معادله کمکی و معادلات حالت حدی (محدودیت‌های مرزی) است. معادله اصلی با توجه به میزان انرژی موج برخوردی و با در نظر گرفتن زاویه برخورد بر اساس روابط اشاره شده در نظر گرفته شد. همچنین معادلات حدی مسئله (محدودیت‌های مرزی) بر اساس حداقل و حداکثر پارامترهای متغیر تعیین می‌گردد:

$$\begin{aligned} T_{\min} < T_i < T_{\max} \\ h_{\min} < h_i < h_{\max} \\ H_{\min} < H_i < H_{\max} \end{aligned} \quad (10)$$

ب) تعیین مقدار بهینه پارامترهای طراحی از الگوریتم بهینه‌سازی: هدف اصلی فرآیند بهینه‌سازی به کارگیری الگوریتم PSO جهت یافتن مقادیر بهینه پارامتر اندازه محفظه، جهت تعیین کارائی بهینه مبدل برای موج معین است. از این رو، با توجه به کمیت‌های تعریف شده، ورودی‌های مناسب به مدل وارد می‌گردد. محدوده اولیه برای جستجوی جواب‌ها در قالب معادلات حدی و مقادیر کمینه و بیشینه کمیت‌های اصلی خواهد بود. پس از تعیین منطقه اولیه جواب‌ها، بنا بر سلسله مراتب الگوریتم در طی روند چرخه تکرار کد نویسی شده، بهترین مقادیر پارامترهای مذکور را به گونه‌ای به دست می‌آورد که مقدار انرژی موج حداکثر گردد.

ج) اعتبار سنجی الگوریتم بهینه‌سازی: برای سنجش الگوریتم مورد بررسی، تعدادی از توابع تست مورد استفاده قرار گرفته است. اگرچه الگوریتم ازدحام ذرات کارائی بسیار خوبی را از خود در حل مسائل بهینه‌سازی نشان داده است، اما همانند بسیاری از فن‌های جستجوی تصادفی ممکن است گرفتار هم‌گرایی زودرس شود. این مشکل در موارد بسیاری به پاسخ‌های بهینه محلی برای مسئله منجر می‌شود. برای حل این مشکل رویکردهای متنوعی وجود دارد که در بعضی موارد تنظیمات مناسب الگوریتم توسط کاربر منجر به هم‌گرایی به پاسخ بهینه می‌شود. در جدول ۱ توابع تستی که الگوریتم ازدحام ذرات با آن صحت‌سنجی شده‌اند معرفی شده است. صحت‌سنجی الگوریتم PSO با توابع محک مذکور انجام شده است. مشاهده می‌شود که کد عددی نوشته شده برای پیاده‌سازی الگوریتم ازدحام ذرات به خوبی توانسته مقدار بهینه تحلیلی را ره‌گیری کند (پانت و همکاران، ۲۰۰۹).

جدول ۱. جزئیات توابع محک

مقدار الگوریتم PSO	مقدار کمینه	بازه مورد بررسی	معادله تابع
$1/439 \times 10^{-12}$	۰	(-۵/۱۲، ۵/۱۲)	$f_1(x) = \sum_{i=1}^n x_i^2$
-۳۷۸۳۸	-۳۷۸۳۹۶	(-۵، ۵)	$f_2(x) = (x_2 + x_1^2 - 11)^2 + (x_1 + x_2^2 - 7)^2 + x_1$
-۱۸۶۷۳۰۸	-۱۸۶۷۳۰۹	(-۱۰، ۱۰)	$f_3(x) = \sum_{j=1}^5 [j \cos((j+1)x_1 + j)] \sum_{j=1}^5 [j \cos((j+1)x_2 + j)]$
-۸۳۷/۹۶۵۸	-۸۳۷/۹۶۵۸	(-۵۰۰، ۵۰۰)	$f_4(x) = - \sum_{j=1}^n x_j \sin \sqrt{ x_j }$
$7/3558 \times 10^{-9}$	۰	(-۵/۱۲، ۵/۱۲)	$f_5(x) = - \sum_{i=1}^n [x_i^2 - 10 \cos(2\pi x_i) + 10]$

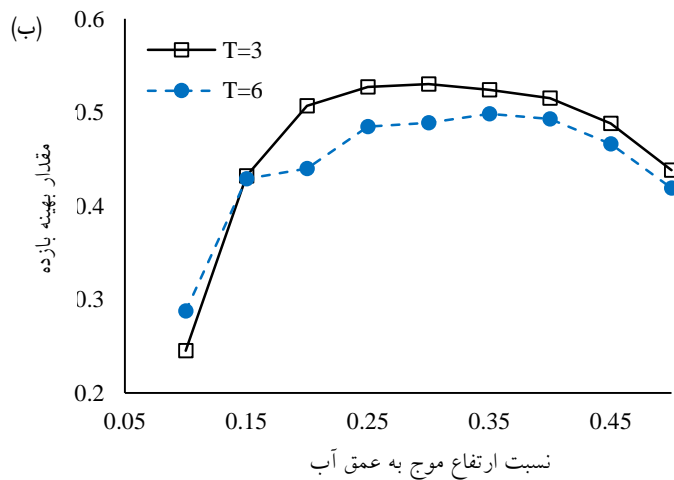
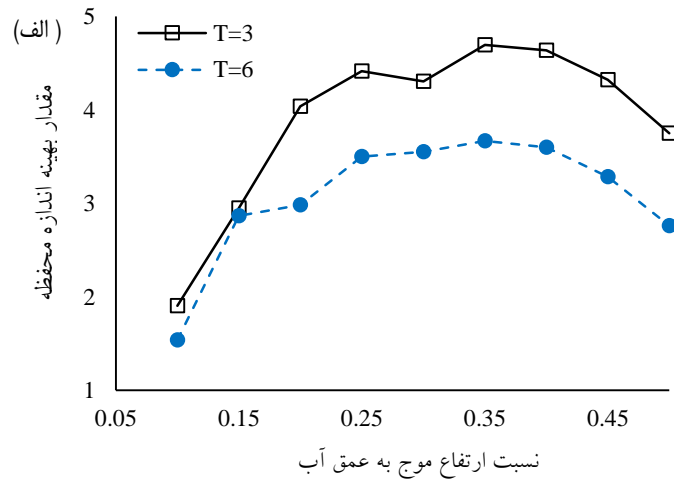
یافته ها

دقت و صحت امتد ارائه شده برای بررسی مدل محاسباتی و فرمولاسیون ارائه شده مسئله ما قبلاً توسط مقالات متعددی از طریق تست آزمایشگاهی (آشیلین و همکاران، ۲۰۱۶) و شبیه سازی نرم‌افزاری دینامیک سیالات محاسباتی (بوعلی و لربی، ۲۰۱۳) ارائه شده است و به همین دلیل صحت سنجی مدل بررسی شده برای سیستم ارائه نشده است. جدول ۲ نشان‌دهنده حالت‌های متعددی بوده است که برای ویژگی‌های محیطی موج لحاظ شده و مطابق آن‌ها الگوریتم بهینه‌سازی به کاررفته می‌شود. در این مطالعه پارامترهای $\alpha = 0$ و $a = 2.4m$ ثابت باقی می‌ماند و بر اساس تغییرات H, t, h ، هجده حالت مختلف در نظر گرفته می‌شود

جدول ۲. تغییرات پارامترهای هندسی و محیطی OWC برای حالت‌های مختلف

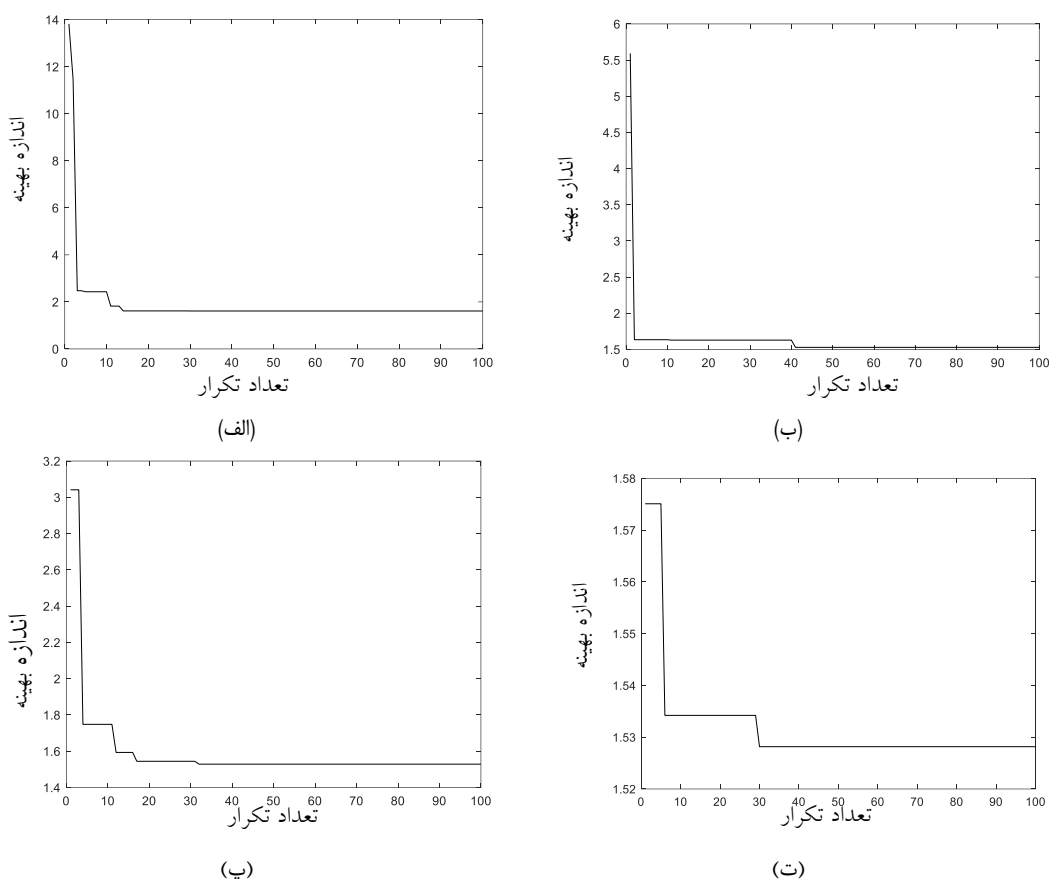
T(s)	H(m)	H/h	h(m)	a/h	شماره حالت‌ها
۶و۳	۰/۴	۰/۱	۴	۰/۶	۲و۱
۶و۳	۰/۶۸	۰/۱۵	۴/۵	۰/۵۳	۴و۳
۶و۳	۱	۰/۲	۵	۰/۴۸	۶و۵
۶و۳	۱/۳۸	۰/۲۵	۵/۵	۰/۴۴	۸و۷
۶و۳	۱/۸	۰/۳	۶	۰/۴	۱۰و۹
۶و۳	۲/۲۸	۰/۳۵	۶/۵	۰/۳۷	۱۲و۱۱
۶و۳	۳	۰/۴	۷/۵	۰/۳۲	۱۴و۱۳
۶و۳	۳/۶	۰/۴۵	۸	۰/۳	۱۶و۱۵
۶و۳	۴/۲۵	۰/۵	۸/۵	۰/۲۸	۱۸و۱۷

مطابق شکل ۳ (الف) ، مقدار بهینه محفظه b برای حصول بیشترین بازده مبدل، در هر حالت با استفاده از الگوریتم PSO ارائه شده است. با استفاده از این مقدار بهینه برای هر ۱۸ حالت ، بازده بهینه در شکل ۳(ب) نمایش داده شده است. مطابق نمودار، تغییرات بازدهی بیشینه به افزایش نسبت H/h ابتدا روند افزایش داشته، سپس تقریباً ثابت مانده و نهایتاً کاهش می‌شود. با در نظر گرفتن $T=3s$ بیشترین بازدهی برای حالت ۵ بوده ($H/h=0.3$) و مقدار آن ۵۴٪ است، با در نظر گرفتن $T=6s$ بیشترین بازدهی در حالت ۱۵ رخ داده و مقدار آن ۴۹٪ است.



شکل ۳. نمودار تغییرات پارامترهای بهینه مبدل برحسب پارامتر H/h ؛ (الف) اندازه محفظه بهینه، (ب) بازدهی بهینه

در شکل ۴، نحوه هم‌گرایی پاسخ الگوریتم PSO برای حالت ۱۰، در ۱۰۰ تکرار برای مقادیر مختلف تعداد ذرات استفاده شده در فرآیند بهینه‌سازی ارائه شده است. مشخص است که هر چه تعداد ذرات در الگوریتم بیشتر باشد، محدوده جواب کوچک‌تر پاسخ در تعداد تکرار کمتری به هم‌گرایی نهائی می‌رسد. لازم به ذکر است که افزایش تعداد ذرات، به سخت‌افزار قوی‌تر و زمان بیشتر برای پردازش احتیاج دارد.



شکل ۴. هم‌گرایی نتایج PSO برای اندازه بهینه b در حالت ۱۰ با تعداد ذرات مختلف؛ (الف) ۵، (ب) ۱۰، (پ) ۲۰، (ت) ۴۰

نتیجه‌گیری

مسئله عملکرد بهینه مبدل‌های انرژی امواج و برآورد بازده حداکثری آن به‌عنوان یکی از چالش‌های اصلی پژوهش‌گران بوده است، تعیین موقعیت بهینه کارگذاری مبدل به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین پارامترها در تأمین این مهم به‌حساب می‌آید. امروزه به‌کارگیری الگوریتم‌های بهینه‌سازی رشد چشم‌گیری در مسائل مختلف مهندسی داشته است و در عمل شاهد نتایج قابل‌قبول از پارامترهای PSO خروجی‌های این الگوریتم‌های بهینه‌ساز در شاخه‌های مختلف علوم مهندسی بوده‌ایم. در این پژوهش با استفاده از الگوریتم PSO محیطی برای کارگذاری مبدل انرژی امواج مورد ارزیابی قرار گرفته است و در نهایت پارامترهای بهینه این مبدل بر اساس بیشترین بازده عملکرد مبدل ارائه شده است. نوآوری اصلی پژوهش، بهینه‌سازی بازده مبدل موج از نوع OWC دارای محفظه با دیوار جلویی و جهت‌گیری خلاف جریان، با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات است که با به دست آوردن حالت بهینه ابعاد محفظه آن انجام گرفته است.

در این مطالعه تأثیر ابعاد یک محفظه مبدل انرژی OWC بر کارایی این دستگاه بررسی شده است. هدف اصلی این مطالعه بهینه‌سازی هندسه و ابعاد مبدل انرژی برای به دست آوردن حداکثر توان موجود در یک موج پیش‌رونده با دوره و طول موج ثابت است. مخزن موج عددی مورد استفاده در این مدل فرض می‌شود که مجهز به مولد موج مرتبه دوم استوکس است. جریان سیال به صورت دوفازی (هوا/آب)، مدل دوبعدی و آشفتگی تنظیم شده است. نتایج حاصل از این پژوهش بیانگر پاسخ مناسب الگوریتم PSO، جهت محاسبه اندازه محفظه بهینه برای مبدل OWC دارای محفظه با دیوار جلویی و برخلاف جریان بوده است. علاوه بر این، بر اساس طراحی ابعاد مبدل و مطالعه انجام شده، ضریب عملکرد مبدل طراحی شده در بهترین حالت برابر با ۵۴٪ به دست آمده که افزایش آن در مقایسه با پیشینه تحقیقات، خود تأییدی بر نتایج تعیین حالت بهینه توسط الگوریتم شده است.

منابع

- شهسواری زاده، افسانه، ظهیری، جواد، و جعفری، احمد. (۱۳۹۸). بررسی اثر زبانه انتهایی بر کارایی ستون نوسانی آب جهت استحصال انرژی موج. تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۰(۸)، ۱۹۳۷-۱۹۴۹. <https://dx.doi.org/10.22059/ijswr.2019.273724.668094>
- نائینی، سید تقی امید، و امینی، عرفان. (۱۳۹۹). تعیین موقعیت بهینه کارگذاری مبدل نوسانگر انرژی امواج از نوع نوسانگر دورانی (مطالعه موردی: بندر نوشهر). صنعت حمل و نقل دریایی، ۶(۱)، ۳۷-۲۵. <https://doi.org/10.30474/JMTI.2020.110562>

References

- Alamian, R., Shafaghat, R., Miri, S. J., Yazdanshenas, N., & Shakeri, M. (2014). Evaluation of technologies for harvesting wave energy in Caspian Sea. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 32, 468–476. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.01.036>
- Ashlin, S. J., Sannasiraj, S. A., & Sundar, V. (2018). Performance of an array of oscillating water column devices integrated with an offshore detached breakwater. *Ocean Engineering*, 163, 518–532. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2018.05.043>
- Ashlin, S. J., Sundar, V., & Sannasiraj, S. A. (2016). Effects of bottom profile of an oscillating water column device on its hydrodynamic characteristics. *Renewable Energy*, 96, 341–353. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2016.04.091>
- Bai, Q. (2010). Analysis of particle swarm optimization algorithm. *Computer and Information Science*, 3(1), 180. <https://doi.org/10.5539/cis.v3n1p180>
- Bouali, B., & Larbi, S. (2013). Contribution to the geometry optimization of an oscillating water column wave energy converter. *Energy Procedia*, 36, 565–573. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2013.07.065>
- Çelik, A., & Altunkaynak, A. (2019). Experimental investigations on the performance of a fixed-oscillating water column type wave energy converter. *Energy*, 188, 116071. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116071>
- Dean, R. G. (1984). *Water wave mechanics for engineers and scientists*. Adv. Series on Ocean Engineering, 2, 353. <https://doi.org/10.1142/1232>
- Dizadji, N., & Sajadian, S. E. (2011). Modeling and optimization of the chamber of OWC. *Energy*, 36(5), 2360–2366. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.01.010>
- Fairhurst, J., & Van Niekerk, J. (2016). Modelling, Simulation and Testing of a Submerged Oscillating Water Column. *International Journal of Marine Energy*, 16. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijome.2016.07.005>
- Fourie, P. C., & Groenwold, A. A. (2002). The particle swarm optimization algorithm in size and shape optimization. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 23(4), 259–267. <https://doi.org/10.1007/s00158-002-0188-0>
- Hadadpour, A., Jabbari, E., & Kamranzad, B. (2014). Wave energy and hot spots in Anzali port. *Energy*, 74, 529–536. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.07.018>
- Howe, D., & Nader, J.-R. (2017). OWC WEC integrated within a breakwater versus isolated: Experimental and numerical theoretical study. *International Journal of Marine Energy*, 20, 165–182. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2018.10.036>
- John Ashlin, S., Sannasiraj, S. A., Sundar, V., Kamath, A., & Bihs, H. (2019). Effects of power take-off

- damping and model scaling on the hydrodynamic performance of OWC device.(ICOE2018), 807–821. http://dx.doi.org/10.1007/978-981-13-3134-3_60
- Kamath, A., Bihs, H., & Arntsen, Ø. A. (2015). Numerical investigations of the hydrodynamics of an oscillating water column device. *Ocean Engineering*, 102, 40–50. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2015.04.043>
- Kennedy, J., & Eberhart, R. (1995). Particle swarm optimization. *Proceedings of ICNN'95-International Conference on Neural Networks*, 4, 1942–1948. <https://doi.org/10.1109/ICNN.1995.488968>
- Lia, Q., Mia, J., Lia, X., Chena, S., , & Zuoa, L. (2014). A self-floating oscillating surge wave energy converter. *Energy*, 230,120668. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.120668>
- McCormick, M. E. (2013). *Ocean wave energy conversion*. Courier Corporation. published by wiley,c. <https://books.google.sc/books?id=wkDDAgAAQBAJ&printsec=copyright#v=onepage&q&f=false>
- Morris-Thomas, M. T., Irvin, R. J., & Thiagarajan, K. P. (2007). An investigation into the hydrodynamic efficiency of an oscillating water column. <https://doi.org/10.1115/1.2426992>
- Naeeni, S., Amini, E. (2020). Numerical Optimization of Positioning and Performance of Oscillating Surge Wave Energy Converter, Case study: Nowshahr, Anzali and Amirabad Ports. *Journal of Maritime Transport Industry*, 6(1), 25-37. <https://doi.org/10.30474/JMTI.2020.110562> [in persian]
- Pant, M., Thangaraj, R., & Abraham, A. (2009). Particle swarm optimization: performance tuning and empirical analysis. In *Foundations of Computational Intelligence*, 3, 101–128. https://doi.org/10.1007/978-3-642-01085-9_5
- Patel, S. K., Ram, K., & Ahmed, M. R. (2013). Effect of turbine section orientation on the performance characteristics of an oscillating water column device. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 44, 642–648. <http://dx.doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2012.09.004>
- Raj, D. D., Sundar, V., & Sannasiraj, S. A. (2019). Enhancement of hydrodynamic performance of an Oscillating Water Column with harbour walls. *Renewable Energy*, 132, 142–156. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.07.089>
- Ram, K., Faizal, M., Rafiuddin Ahmed, M., & Lee, Y.H. (2010). Experimental studies on the flow characteristics in an oscillating water column device. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 24(10), 2043–2050. <http://dx.doi.org/10.1007/s12206-010-0621-z>
- Rezanejad, K., Bhattacharjee, J., & Soares, C. G. (2013). Stepped sea bottom effects on the efficiency of nearshore oscillating water column device. *Ocean Engineering*, 70, 25–38. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2013.05.029>
- Rezanejad, K., Souto-Iglesias, A., & Soares, C. G. (2019). Experimental investigation on the hydrodynamic performance of an L-shaped duct OWC wave energy converter. *Ocean Engineering*, 173, 388–398. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2019.01.009>
- S. Mohsen, P., Pourfayaz, F., Shirmohamadi, R., Moosavi, S., & Khalilpoor, N. (2021). Potential, Current Status, and Applications of Renewable Energy in Energy Sector of Iran: A Review. *Renewable Energy Research and Applications*, 2(1), 25-49. <https://doi.org/10.22044/rera.2020.8841.1008>
- Shahsavari-zadeh, A., Zahiri, J., & Jafari, A. (2019). Effect of the Back Wall Draft on the Performance of

- Oscillating Water Column for Wave Energy Extraction. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 50(8), 1937–1949. <https://dx.doi.org/10.22059/ijswr.2019.273724.668094> [In Persian]
- Shi, Y., & Eberhart, R. (1998). A modified particle swarm optimizer. 1998 IEEE International Conference on Evolutionary Computation Proceedings. (Cat. No. 98TH8360), 69–73. <https://doi.org/10.1109/ICEC.1998.699146>
- Simonetti, I., Cappietti, L., & Oumeraci, H. (2018). An empirical model as a supporting tool to optimize the main design parameters of a stationary OWC wave energy converter. *Applied Energy*, 231, 1205–1215. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.09.100>
- Suroso, A. (2005). Hydraulic model test of wave energy conversion. *Jurnal Mekanikal*, 19, 84–94. http://eprints.utm.my/id/eprint/8252/1/AriefSuroso2005_Hydraulic_model_test_of_wave_energy.pdf
- Teixeira, P. R. F., Davyt, D. P., Didier, E., & Ramalhais, R. (2013). Numerical simulation of an oscillating water column device using a code based on Navier–Stokes equations. *Energy*, 61, 513–530. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.08.062>
- Trelea, I. C. (2003). The particle swarm optimization algorithm: convergence analysis and parameter selection. *Information Processing Letters*, 85(6), 317–325. [https://doi.org/10.1016/S0020-0190\(02\)00447-7](https://doi.org/10.1016/S0020-0190(02)00447-7)
- Xu, C., & Huang, Z. (2019). 3D CFD simulation of a circular OWC with a nonlinear power-takeoff: Model validation and a discussion on resonant sloshing inside the pneumatic chamber. *Ocean Engineering*, 176, 184–198. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2019.02.010>



Assessment of downscaling methods for estimating evapotranspiration by combining MODIS and Landsat 8 images

Nasim Kamali ¹ , Bahman Farhadi Bansouleh ²

¹ M. Sc graduated, Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran. Email: nasimkamali81@yahoo.com

² Corresponding author, Assistant Professor, Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran. Email: bfarhadi@razi.ac.ir

ABSTRACT

Introduction

Evapotranspiration is one of the main components of water balance and also one of the key factors for proper irrigation planning to improve water use efficiency in irrigated lands (Lee et al. 2003). So far, various methods have been proposed for estimating evapotranspiration, including methods based on energy balance. Remote sensing has various applications in agriculture. One of the methods of estimating evapotranspiration, especially in large areas, is the use of remote sensing technology. SEBAL (Bastiaansen et al., 1998) is one of the remote sensing-based algorithms which is used worldwide including in Iran. Evapotranspiration was estimated using SEBAL based on Landsat and MODIS images in several studies. Satellite images have different temporal and spatial resolution; those with high temporal resolution have low spatial resolution (such as MODIS). Despite daily access to these images, they have low spatial resolution and may have different phenomena in each pixel. Satellite images with moderate spatial resolution have low temporal resolution (such as Landsat 8). Integration of satellite images with low and medium spatial resolutions is a way to use the advantages of both images. Some downscaling methods are complex and the user should have comprehensive information about the conditions in the area, while there are simpler methods that have been used in some studies. The purpose of this study is to investigate some of these simple methods in the study area.

Although there are several methods for estimating evapotranspiration based on satellite images (Zhang et al., 2016), the SEBAL algorithm is one of the methods whose accuracy has been confirmed in Kermanshah province and the study area (Ghamarnia et al., 2016; Karimi et al., 2012). Therefore, in this study, the SEBAL algorithm was used to estimate evapotranspiration. Although there are different methods for combining estimated evapotranspiration based on Landsat and MODIS satellite images, this issue has not been studied in the study area (Mahidasht plain, Kermanshah province, Iran). The aim of this study was to estimate evapotranspiration in the Mahidasht plain on a daily basis (time scale of MODIS images) and 100-meter pixels (spatial resolution of Landsat 8 images in thermal bands).

Methodology

The SEBAL algorithm was used to calculate evapotranspiration in the study area. This algorithm calculates evapotranspiration based on energy balance (Equation 1).

$$R_n = H + G + \lambda ET \quad 1$$

In this equation, R_n is the net radiation, H is the sensible heat flux, λET is the latent heat flux and G is the soil heat flux. All parameters are in W / m^2 . As the calculation procedure of the components of this method is available in the literature, including the article presented by Karimi et al. 2012, the details of this method are not stated in this article.

In this study, evapotranspiration was calculated using MODIS and Landsat 8 images in 2014. The Landsat 8 and MODIS images were downloaded free of the charge from the available websites. Landsat 8 and MODIS images were used on 6 dates (3 May, 20 June, 22 July, 7 August, 23 August, and 8 September 2014) in days without dust and clouds. The land surface temperature was calculated for Landsat 8 images according to Weng et al (2004) using thermal bands 10 and 11 (Equation 2), but the MOD11A1 product was used for MODIS images.

$$LST = \frac{BT}{1 + \left(\frac{w * BT * \ln(c)}{p} \right)} \quad 2$$

The methods of ratio and subtraction have been used to downscaling the evapotranspiration obtained from MODIS images (Equations 3 and 4).

$$ET_{\text{Subtraction}}(x,y,n) = ET_{\text{Landsat}}(x,y,n-1) + ET_{\text{Modis}}(x,y,n) - ET_{\text{Modis}}(x,y,n-1) \quad 3$$

$$ET_{\text{Ratio}}(x,y,n) = ET_{\text{Modis}}(x,y,n) \times \frac{ET_{\text{Landsat}}(x,y,n-1)}{ET_{\text{Modis}}(x,y,n-1)} \quad 4$$

Where, x and y are pixel coordinates, $ET_{\text{Landsat}}(x, y, n-1)$ is the amount of evapotranspiration from Landsat 8 image on time $n-1$ (the first date before day n where the Landsat 8 image is available). $ET_{\text{Modis}}(x, y, n-1)$ and $ET_{\text{Modis}}(x, y, n)$ are the amounts of evapotranspiration from MODIS image on the dates $n-1$ and n , respectively.

To evaluate the results of downscaling methods, the evapotranspiration obtained from both methods (on the dates on which we have Landsat 8 images) was compared with the evapotranspiration estimated with the Landsat 8 image on the same date.

Results and discussion

First, the maps of estimated evapotranspiration on the 6 dates mentioned in the previous section were prepared based on Landsat 8 and MODIS images. Then, based on those maps, the average of daily evapotranspiration estimated in the plain level was calculated. The results showed the

same trend in the estimated evapotranspiration based on both images, although there is a large difference between them on Julian day 219 (7 August 2014).

Statistical indicators of evapotranspiration obtained using Landsat 8 and MODIS images in the study area are listed in Table 1.

Table 1. Statistical indices of estimated evapotranspiration based on MODIS and Landsat 8 images

Date	Julian day	MODIS			Landsat 8		
		Max	Mean	S.D	Max	Mean	S.D
03-05-2014	123	7.4	3.5	2.9	7.0	3.3	1.7
20-06-2014	171	8.5	4.2	4.8	7.4	4.5	2.4
22-07-2014	203	10.0	4.5	3.9	9.6	5.0	1.8
07-08-2014	219	7.6	4.7	1.4	8.7	6.8	1.2
23-08-2014	235	6.4	2.8	2.0	5.8	2.6	0.9
08-09-2014	251	5.3	2.3	1.4	6.5	2.4	1.0

The root mean square error (RMSE) was used to evaluate the evapotranspiration estimated by downscaling methods (Table 2). The RMSE was between 1.91 and 3.12 mm/day. Although there was no specific trend of the RMSE in time, the mean of this statistic index was the same for both downscaling methods.

Table 2. RMSE of downscaling methods

Date	Subtraction	Ratio
22-07-2014	2.79	3.12
07-08-2014	3.02	2.63
23-08-2014	1.91	1.97
Average	2.57	2.57

Conclusions

In this study, evapotranspiration was calculated using the SEBAL algorithm based on Landsat and MODIS images. The time trend of evapotranspiration calculated based on MODIS and Landsat images was the same. Calculated evapotranspiration based on MODIS images was downscaled to Landsat scale by ratio and subtraction methods. Due to the large difference between the estimated values of evapotranspiration based on both methods of downscaling with the estimated values of this parameter based on the Landsat 8 image, these methods are not recommended for downscaling in the study area.

Keywords: Land surface temperature, Mahidasht, Remote sensing, SEBAL

Article Type: Research Article

Article history: Received: 25 July 2021 Revised: 01 October 2021 Accepted: 05 October 2021 ePublished: 23 August 2022

Cite this article: Kamali, N., & Farhadi Bansouleh, B. (2022). Assessment of downscaling methods for estimating evapotranspiration by combining MODIS and Landsat 8 images, *Advanced Technologies in Water Efficiency*, 2(2), 28-45. DOI: 10.22126/atwe.2021.6725.1004

Publisher: Razi University


© The Author(s).





ارزیابی روش های ریزمقیاس سازی در برآورد تبخیر و تعرق با تلفیق تصاویر مودیس و

لندست ۸

نسیم کمالی^۱ , بهمن فرهادی بانسوله^۲ 

^۱ دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. ایمیل: nasimkamali81@yahoo.com

^۲ نویسنده مسئول، استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. ایمیل: bfarhadi2001@yahoo.com

چکیده

تبخیر و تعرق یکی از مهم ترین پارامترها برای برنامه ریزی منابع آب در بخش کشاورزی است که دارای تغییرات زمانی و مکانی است. الگوریتم های برآورد تبخیر و تعرق مبتنی بر سنجش از دور در مطالعات متعددی استفاده شده است. با استفاده از تصاویر ماهواره ای مودیس می توان تبخیر و تعرق را به صورت روزانه و در پیکسل های ۱۰۰۰ متری برآورد نمود حال آنکه می توان با استفاده از تصاویر لندست ۸ مقدار این پارامتر را هر ۱۶ روز یک بار در پیکسل های ۱۰۰ متری برآورد نمود. روش های متعددی جهت تلفیق تصاویر با تفکیک پذیری مکانی پایین (مثل مودیس) و متوسط (مثل لندست ۸) به منظور برآورد تبخیر و تعرق به صورت روزانه و در پیکسل های کوچک تر ارائه شده است. ریزمقیاس سازی تصاویر یکی از این روش ها است که در این مطالعه در سطح یکی از دشت های استان کرمانشاه مورد ارزیابی قرار گرفته است. برای این منظور تبخیر و تعرق واقعی در سطح منطقه مورد مطالعه در تابستان ۱۳۹۳ با استفاده از الگوریتم سبال و بر اساس ۶ تصویر ماهواره ای لندست ۸ و مودیس برآورد گردید. هرچند روش های متعددی برای ریزمقیاس سازی تبخیر و تعرق برآورد شده بر اساس تصاویر مودیس وجود دارد، در این مطالعه از دو روش ریزمقیاس سازی ساده (نسبت و تفریق) برای تبدیل به مقیاس تصاویر لندست ۸ استفاده شد. نتایج به صورت گرافیکی و آماری مورد مقایسه قرار گرفت. با توجه به اینکه در منطقه مورد مطالعه کاربری های متعدد با سطح کوچک و به صورت مختلط وجود دارد نتایج به دست آمده با روش های ریزمقیاس سازی از دقت قابل قبولی برخوردار نبودند.

واژه های کلیدی: دمای سطحی، سبال، سنجش از دور، ماهیدشت.

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

سابقه مقاله: دریافت: ۰۳ مرداد ۱۴۰۰ اصلاح: ۰۹ مهر ۱۴۰۰ پذیرش: ۱۳ مهر ۱۴۰۰ چاپ الکترونیکی: ۰۱ شهریور ۱۴۰۱

استناد: کمالی، ن.، و فرهادی بانسوله، ب. (۱۴۰۱). ارزیابی روش های ریزمقیاس سازی در برآورد تبخیر و تعرق با تلفیق تصاویر مودیس و لندست ۸، فناوری های پیشرفته در بهره وری آب، (۲)، ۴۵-۲۸. شناسه دیجیتال: 10.22126/atwe.2021.6725.1004



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه رازی

مقدمه

تبخیر و تعرق یکی از مؤلفه‌های اصلی بیلان آبی و همچنین یکی از عوامل کلیدی برای برنامه‌ریزی درست و مناسب آبیاری برای بهبود راندمان آب مصرفی در اراضی فاریاب است (لی و همکاران؛ ۲۰۰۳). روش‌های مختلفی برای برآورد تبخیر و تعرق ارائه شده است که روش‌های مبتنی بر بیلان انرژی از جمله آن‌ها می‌باشند. امروزه روش‌های سنجش از دور کاربردهای مختلفی در کشاورزی دارند؛ یکی از روش‌های جدید برای تخمین تبخیر و تعرق خصوصاً در مناطق بزرگ، استفاده از فناوری سنجش از دور است. برای تعیین تبخیر و تعرق با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و الگوریتم سبال تحقیقات زیادی انجام شده است. باستیانس و همکاران^۱ (۱۹۹۶) از الگوریتم سبال، جهت تشخیص یکنواختی محصول، تنش آبی و مدیریت شبکه‌های آبیاری در مصر، هند، پاکستان، سری‌لانکا و آرژانتین استفاده کردند که نتایج رضایت‌بخشی حاصل گردید. مختاری (۲۰۰۵) تبخیر و تعرق دشت برخوار اصفهان را با استفاده از تصاویر مودیس^۲ و استر^۳ الگوریتم سبال محاسبه و با نتایج تبخیر و تعرق برآورد شده از مدل پنمن مانیتیت مقایسه کرد. نتایج نشان داد که ارتباط معناداری بین تبخیر و تعرق به‌دست‌آمده از روش سبال و پنمن مانیتیت وجود دارد. قمرنیا و همکاران (۱۳۹۵) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های هواشناسی موردنیاز و بر اساس معادله بیلان انرژی سطح (مدل سبال) تبخیر و تعرق واقعی را در دشت سراب نیلوفر واقع در استان کرمانشاه محاسبه کردند. در ادامه بر اساس معادله پنمن مانیتیت -اصلاح‌شده میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع را در محل به دست آوردند، که از طریق آن ضرایب گیاهی ذرت را نیز محاسبه کردند. یعقوبی فشکی (۱۳۸۸) با استفاده از مدل سبال و تصاویر ماهواره مودیس تبخیر و تعرق را در دشت چمچمال واقع در استان کرمانشاه محاسبه و نتایج را با تبخیر و تعرق به‌دست‌آمده از فرمول‌های بلانی کریدل، جنسن‌هیز، پنمن‌مانیتیت و تشتک تبخیر مقایسه کرد. نتایج نشان داد، اولاً تأثیر شرایط اتمسفری بر تبخیر و تعرق عملی بسیار چشمگیر است دوماً با مقایسه تبخیر و تعرق عملی در دو زمان دریافتند که تراکم بالای گیاهی باعث شده که اختلاف بین شرایط اتمسفری در این دو زمان تا حد زیادی خنثی شود. فرهادی بانسوله و همکاران (۲۰۱۵) تبخیر و تعرق واقعی در مقیاس منطقه‌ای را با استفاده از الگوریتم‌های سبال و سپس بر اساس تصاویر لندست ۵ محاسبه و با مقادیر لایسیمتری مقایسه کردند. این تحقیق در دشت ماهیدشت در استان کرمانشاه، با استفاده از ۴ تصویر ماهواره لندست ۵ در سال ۱۳۸۹ انجام گرفت. حداکثر درصد خطا بین تبخیر و تعرق محاسبه‌شده برای محصول ذرت با الگوریتم سبال و مقادیر اندازه‌گیری شده در لایسیمتر کمتر از ۱۰ درصد تعیین گردید. سیمایی و همکاران (۱۳۹۲) به ارزیابی مدل سبال برای برآورد تبخیر و تعرق با استفاده از اطلاعات تصاویر لندست و مودیس پرداختند. این پژوهش در بخشی از حوزه آبخیز زنجان‌رود واقع در استان زنجان که کشت غالب آن گندم آبی و دیم است انجام شد. در این مطالعه امکان استفاده از الگوریتم سبال برای تصاویر لندست ۵ و مودیس طی ماه‌های خرداد تا مرداد ۱۳۸۷ بررسی شد، سپس تبخیر و تعرق روزانه برآورد شده توسط مدل سبال برای اراضی آبی و دیم زیر کشت گندم با استفاده از ارقام تشتک تبخیر مقایسه شد. نتایج آماره‌های ارزیابی نشان داد، مدل سبال از کارایی مناسبی برای تخمین تبخیر و تعرق واقعی اراضی زیر کشت گندم آبی و دیم برخوردار است. یعقوب زاده و همکاران (۱۳۹۵) روند تغییرات مکانی و زمانی تبخیر و تعرق واقعی را در دشت نیشابور به‌وسیله تصاویر مودیس و سنجش از دور بررسی کردند. نتایج نشان داد که پوشش گیاهی و تبخیر و تعرق همبستگی خوبی باهم دارند.

¹ Li et al

² Surface Energy Balance Algorithms for Land (SEBAL)

³ Bastiaanssen et al

⁴ MODIS

⁵ Aster

تصاویر ماهواره‌ای دارای قدرت تفکیک زمانی و مکانی متفاوتی می‌باشند، آن‌هایی که تفکیک زمانی بالایی دارند دارای تفکیک مکانی پایین هستند (مانند تصاویر مودیس). از جمله مزایای این تصاویر دسترسی روزانه به آن‌هاست ولی با توجه به قدرت تفکیک مکانی پایین دقت زیادی ندارند و ممکن است در هر پیکسل از این تصاویر پدیده‌های مختلفی موجود باشد. تصاویری که تفکیک مکانی بالایی دارند دارای تفکیک زمانی پایین می‌باشند (مانند تصاویر لندست ۸). یکی از مزایای این تصاویر بالا بودن دقت در برداشت اطلاعات از سطح زمین است که به علت بالا بودن قدرت تفکیک مکانی بالای این تصاویر است (۳۰ متر) ولی این تصاویر دارای قدرت تفکیک زمانی پایین می‌باشند که استفاده از این تصاویر را با محدودیت مواجه می‌کند. یکی از راه‌حل‌های این مشکل ترکیب کردن این تصاویر است، که از جمله این روش‌ها می‌توان به روش‌های ادغام^۱ و ریزمقیاس سازی^۲ اشاره کرد.

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

ها و همکاران^۳ (۲۰۱۳) کل روش‌های تلفیق را به دو گروه طبقه‌بندی کردند: ۱- روش ریزمقیاس سازی که در این روش تصاویر با وضوح مکانی بزرگ به تصاویر با وضوح مکانی ریز تر بدون تغییر در ویژگی‌های رادیومتریک تبدیل می‌شود. ۲- روش ادغام که در این روش دو یا چند تصویر از یک سنجنده و یا سنجنده‌های متفاوت باهم تلفیق شده تا تصویری با وضوح مکانی بهتر به دست آید. آتکینسون^۴ (۲۰۱۳) در مطالعه‌ای به بررسی روش‌های ریزمقیاس سازی و چالش‌های پیش رو در ریزمقیاس سازی در سنجنش‌ازدور پرداخته است. در این مقاله فن‌های سطح - نقطه^۵ و ریزمقیاس سازی کوکریجینگ و کریجینگ و فن‌های بهینه‌سازی فضایی و زمین‌آمار چندنقطه‌ای را مورد بررسی قرار داده و در پایان چالش‌های ریزمقیاس سازی در زمینه تصاویر سری زمانی را بررسی کرده است. رامش و همکاران^۶ (۲۰۱۴) با ریزمقیاس سازی و تلفیق تصاویر لندست و مودیس در حوضه آبشخور کلرادو، نقشه تبخیر تعرق واقعی ماهیانه را ترسیم کردند. در این تحقیق از تصاویر ۸ روزه باند حرارتی مودیس و ۳۲۸ تصویر بدون ابر لندست استفاده شد. تبخیر و تعرق ماهانه به دست آمده از روش ریزمقیاس سازی شده تطابق خوبی با تبخیر و تعرق ماهیانه به دست آمده از روش ادغام داشت. کفاش و ثنائی نژاد (۱۳۹۹) با استفاده از الگوریتم تلفیق مکانی-زمانی تصویر (STI-FM) و تصاویر دمای سطح زمین سنجنده مودیس، تولید تصاویر شبه لندست دمای سطح زمین در بازه‌های کمتر از قدرت تفکیک زمانی لندست (۱۶ روزه) و بر روی منطقه‌ای از اراضی زمینی مختلف، مورد بررسی قرار دادند. الگوریتم STI-FM شامل دو گام اصلی است. ابتدا ضرایب رابطه خطی بین دو تصویر دمای سطح زمین مودیس در زمان‌های ۱ و ۲ تعیین می‌شود و در گام دوم این ضرایب به تصویر دمای سطح زمین لندست در زمان ۱ اعمال می‌شود تا تصویر شبه لندست در زمان ۲، پیش‌بینی کردند. نتایج نشان داد که رابطه خطی قوی بین دو تصویر مودیس در زمان‌های ۱ و ۲ وجود دارد. ارزیابی کیفی و کمی تصاویر مصنوعی دمای سطح زمین انجام شد؛ و مشخص شد که توافق بصری بالا و رابطه قوی بین تصاویر دمای سطح زمین واقعی و مصنوعی بر روی پوشش‌های مختلف زمینی وجود دارد. ارست و همکاران (۱۳۹۹) به بررسی اثرات ریزمقیاس نمایی کوکریجینگ دمای سطح زمین، برای برآورد تبخیر و تعرق واقعی (AET)، در ژوئن ۲۰۱۷ در حوضه زاینده‌رود پرداختند. در این راستا، ابتدا ریزمقیاس نمایی کوکریجینگ به محصول LST حاصل از ماهواره MODIS اعمال شد. سپس با استفاده از سیستم بیلان انرژی سطح (SEBS)، AET روزانه با وضوح متوسط (۲۵۰ متری) به دست آمد. در روش دوم، نقشه AET به وضوح متوسط (۲۵۰ متری) ریزمقیاس نمایی شد. اعتبار سنجی با استفاده از محصولات حاصل از Landsat 8 صورت پذیرفت. نتایج نشان داد مقادیر میانگین AET-SEBS ریزمقیاس با مرجع دارای اختلاف ناچیز هستند. این مطالعه نشان داد که مقادیر AET حاصله از دو روش ریزمقیاس نمایی، مشابه یکدیگر هستند. در مجموع یافته‌های پژوهش نشان داد با به‌کارگیری روش ریزمقیاس نمایی و SEBS، می‌توان تبخیر و تعرق واقعی را در حوضه زاینده‌رود و برای مناطق خشک و نیمه‌خشک با دقت

¹ Fusion

² Downscaling

³ Ha et al

⁴ Atkinson

⁵ Area-to-point

⁶ Ramesh

⁷ Eddy

مطلوب محاسبه نمود. صالحی و همکاران (۱۳۹۷) به امکان سنجی تولید نقشه های تبخیر- تعرق روزانه با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر پرداختند. آن ها با استفاده از الگوریتم های SADFAT و STARFM و تصاویر لندست ۸ و مودیس، باندهای مرئی و مادون قرمز با قدرت تفکیک زمانی روزانه و قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر تولید کردند و در نهایت با استفاده از الگوریتم سبال، نقشه های تبخیر و تعرق واقعی از باندهای شبیه سازی شده ایجاد نمودند. مقایسه تبخیر و تعرق شبیه سازی شده با تبخیر و تعرق به دست آمده با روش فائو- پنمن- مانتیث و همچنین مقایسه تبخیر و تعرق شبیه سازی شده با تبخیر و تعرق حاصل از تصویر لندست ۸، در همان روز نشان دهنده عملکرد خوب چهارچوب پیشنهادی برای ریزمقیاس سازی در این مطالعه است. هانگ و همکاران (۲۰۱۱) نتایج تبخیر و تعرق به دست آمده توسط تصاویر لندست ۷ و مودیس را ریزمقیاس سازی کردند. به این ترتیب که تبخیر و تعرق را با استفاده از روش سبال برای تصاویر لندست ۷ و مودیس به دست آوردند و برای اینکه با استفاده از تصاویر روزانه مودیس بتوانند با دقتی در حد تصاویر لندست مقدار تبخیر و تعرق را داشته باشند با دو روش ورودی و خروجی ریزمقیاس سازی کردند. نتایج نشان داد که روش خروجی به روش ورودی ارجحیت دارد. برخی از روش های ریزمقیاس سازی پیچیده هستند و کاربر بایستی اطلاعات جامعی از شرایط منطقه داشته باشد حال آنکه روش های ساده تری نیز وجود دارند که در برخی از مطالعات بکار رفته اند. هدف این مطالعه بررسی برخی از این روش های ساده در منطقه مورد مطالعه است.

هرچند روش های متعددی برای برآورد تبخیر و تعرق بر اساس تصاویر ماهواره ای وجود دارد (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۶) اما الگوریتم سبال یکی از روش هایی است که کار آیی آن در استان کرمانشاه و منطقه مورد مطالعه مورد تأیید قرار گرفته است (قمرنیا و همکاران، ۱۳۹۵؛ کریمی و همکاران، ۱۳۹۱). بنابراین در این مطالعه از الگوریتم سبال برای برآورد تبخیر و تعرق استفاده گردید. علیرغم اینکه روش های مختلفی برای تلفیق مقادیر تبخیر و تعرق برآورد شده با تصاویر ماهواره ای لندست و مودیس وجود دارد اما این موضوع در منطقه مورد مطالعه (دشت ماهیدشت در استان کرمانشاه) بررسی نشده است. هدف از این مطالعه برآورد تبخیر و تعرق در منطقه ماهیدشت برای دوره های روزانه (مقیاس زمانی تصاویر مودیس) و پیکسل های ۱۰۰ متری (مقیاس مکانی تصاویر لندست ۸ در باندهای حرارتی) با استفاده از روش های ساده ریزمقیاس سازی بوده است.

روش پژوهش

معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه دشت ماهیدشت در استان کرمانشاه است. این دشت بین عرض های جغرافیایی ۳۴ درجه و ۱۲ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۲۰ دقیقه شمالی و در طول های جغرافیایی ۴۶ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۴۷ درجه شرقی قرار دارد. منطقه مورد مطالعه، منطقه ای نیمه کوهستانی با آب و هوای معتدل کوهستانی دارای وسعت ۱۷۷۰ کیلومتر مربع و متوسط ارتفاع ۱۴۰۰ متر از سطح دریا است. شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه (دشت ماهیدشت) را در سطح کشور و استان کرمانشاه نشان می دهد.

¹ Hong et al

² Zhang et al



شکل ۱. موقعیت دشت ماهیدشت در سطح کشور و استان کرمانشاه

روش کلی تحقیق

الف) داندلود و پیش‌پردازش تصاویر ماهواره‌ای: تصاویر لندست ۸ و مودیس از سایت سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده آمریکا USGS به صورت رایگان داندلود گردید. در این مطالعه تصاویر ماهواره لندست ۸ و مودیس در ۶ تاریخ (۱۳ اردیبهشت، ۳۰ خرداد، ۳۱ تیر، ۱۶ مرداد، ۱۷ شهریور و ۲ مهر ۱۳۹۳) در شرایط هواشناسی مناسبی (روزهای بدون گردوغبار و ابر) مورد استفاده قرار گرفت. قبل از استفاده از تصاویر ماهواره‌ای داندلود شده، تصحیحات اتمسفری روی تصاویر اعمال گردید.

ب) اجرای الگوریتم سبال: تبخیر و تعرق روزانه در سطح منطقه مورد مطالعه با استفاده از الگوریتم سبال بر اساس تصاویر لندست ۸ و مودیس محاسبه گردید.

ج) ارزیابی روش‌های مختلف ریزمقیاس سازی: مقادیر تبخیر و تعرق برآورد شده با استفاده از تصاویر مودیس بر اساس دو روش ریزمقیاس سازی به مقیاس مکانی تصاویر لندست ۸ تبدیل شدند و نتایج مورد ارزیابی قرار گرفت.

الگوریتم سبال

سبال (الگوریتم توازن انرژی سطحی برای زمین) مدلی مبتنی بر پردازش تصویر بوده که مشتمل بر ۲۵ زیر مدل برای محاسبه تبخیر و تعرق به عنوان باقی مانده بیلان انرژی سطحی زمین است (باستیانسن، ۱۹۹۸). این مدل توسط باستیانسن در کشور هلند معرفی و همچنین برای حوضه آبریز رودخانه سنک در آیداهو با تکیه بر مقادیر تبخیر و تعرق اندازه‌گیری شده در سطح زمین مورد بسط و توسعه واقع شده است (آلن و همکاران، ۲۰۰۳). سبال الگوریتمی مناسب است که معادله بیلان انرژی را مطابق با رابطه (۱) حل می‌کند.

$$R_n = H + G + \lambda ET \quad (1)$$

در این رابطه، R_n تابش خالص، H شار گرمای محسوس، λET شار گرمای نهفته و G شار گرمای خاک است. همه پارامترها بر حسب W/m^2 می‌باشند. با توجه به اینکه نحوه محاسبه اجزای این معادله در منابع متعددی از جمله مقاله ارائه شده توسط کریمی و همکاران

¹ Allen et al

² Net radiation

³ Sensible heat flux

⁴ Latent heat flux

⁵ Soil heat flux

(۱۳۹۱) ارائه شده است، در این مقاله از بیان جزئیات این روش خودداری گردیده است و فقط به دلیل متنوع بودن معادلات در محاسبه شاخص دمای سطحی، معادلات به کار گرفته شده در رابطه با محاسبه این شاخص ارائه شده است. دمای سطحی زمین از جمله پارامترهای میانی الگوریتم سبال است که با استفاده از باندهای حرارتی ۱۰ و ۱۱ ماهواره لندست ۸ و گسیلندگی سطحی محاسبه می گردد. دمای سطحی تصاویر لندست ۸ را می توان به روش های مختلفی به دست آورد (راجش واری و مانی؛ ۲۰۱۴). در این مطالعه به خاطر سهولت محاسبات از روش ونگ و همکاران (۲۰۰۴) استفاده شد (رابطه ۲).

$$LST = \frac{BT}{1 + \left(\frac{w * BT * \ln(e)}{p} \right)} \quad (2)$$

در این رابطه، BT دمای درخشندگی ماهواره، w طول موج باند حرارتی برحسب میکرومتر، e قابلیت انتشار و p شاخصی است که مقدار آن برابر با ۱۴۳۸۰ است. برای محاسبه دمای سطحی از باندهای حرارتی (طول موج ۱۲/۴۲-۱۰/۴۴ میکرومتر) استفاده می شود (ونگ و همکاران ۲۰۰۴). در تصاویر لندست ۸ این طول موج شامل باندهای حرارتی ۱۰ و ۱۱ می شود. دمای درخشندگی برای باندهای ۱۰ و ۱۱ با استفاده از رابطه (۳) به دست می آید و قابلیت انتشار و نسبت پوشش سطحی نیز با استفاده از روابط (۴) و (۵) محاسبه گردید (سوبرینو و همکاران ۲۰۰۴). از آنجاکه دمای درخشندگی به دست آمده بر اساس باندهای ۱۰ و ۱۱ باهم متفاوت است میانگین این دماها در رابطه (۲) کار می رود.

$$BT_{\lambda} = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_{\lambda}} + 1\right)} \quad (3)$$

$$e = 0.004 * P_v + 0.986 \quad (4)$$

$$P_v = \left[\frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right]^2 \quad (5)$$

در این روابط، P_v^2 نسبت پوشش گیاهی، T دمای سطحی برحسب درجه کلون، K_1 و K_2 ثابت های تبدیل باند حرارتی هستند که در فایل اطلاعاتی همراه تصویر ارائه شده اند، L_{λ} تابش طیفی باند و $NDVI_{max}$ و $NDVI_{min}$ به ترتیب میزان حداکثر و حداقل شاخص پوشش گیاهی NDVI در منطقه مورد مطالعه می باشند. شاخص گیاهی NDVI، از نتایج میانی الگوریتم سبال است که مقدار پوشش گیاهی در سطح زمین را مشخص می کند. توسط نقشه های NDVI زمین های بایر را می توان از زمین های با پوشش متراکم تشخیص داد. این شاخص همچنین در تعیین آب و یخ می تواند مورد استفاده قرار گیرد. مقدار شاخص پوشش گیاهی با استفاده از رابطه (۶) برای تصاویر لندست ۸ محاسبه می گردد.

$$NDVI = \frac{\rho_5 - \rho_4}{\rho_5 + \rho_4} \quad (6)$$

در این رابطه، ρ_4 و ρ_5 به ترتیب بازتاب طیفی باندهای ۴ و ۵ است. مقدار شاخص NDVI بین -۱ تا +۱ متغیر است. زمین های شامل پوشش گیاهی متراکم دارای مقادیر مثبت ۰/۳ تا ۰/۸ هستند، در حالی که مناطق برفی و ابری دارای مقدار منفی می باشند (کریمی و همکاران ۱۳۹۱). مقادیر بازتاب طیفی باندهای ۴ و ۵ با استفاده از روابط (۷ و ۸) محاسبه می گردد.

$$\rho_{\lambda}' = M_p * DN + A_p \quad (7)$$

¹ Rajeshwari & Mani

² Vegetation proportion (P_v)

$$\rho_{\lambda} = \frac{\rho_{\lambda}'}{\cos(\theta_{SZ})} \quad (۸)$$

در این روابط، ρ_{λ} بازتاب طیفی باند؛ ρ_{λ}' بازتاب ماهواره‌ای در بالای اتمسفر بدون در نظر گرفتن زاویه خورشیدی، DN ارزش رقومی هر پیکسل در باند موردنظر، θ_{SZ} ؛ زاویه رأس خورشیدی^۱ ارائه شده در فایل همراه با تصویر، $M\rho$ و $A\rho$ ضرایبی می‌باشند که در فایل همراه با تصویر ارائه شده‌اند. خصوصیات طیفی، مکانی و زمانی تصاویر لندست ۸ در جدول (۱) آمده است.

در پژوهش حاضر تبخیر و تعرق با استفاده از تصاویر مودیس و مدل سیبال نیز به دست آمد، که از تصاویر MOD09GQ مودیس برای به دست آوردن تابش طیفی و برای باند حرارتی از تصاویر MOD11A1 مودیس استفاده شد. در جدول (۲) نام و مشخصات این تصاویر آورده شده است. دلیل استفاده از این دو تصویر وضوح زمانی بالای آن‌ها نسبت به سایر تصاویر مودیس است.

جدول ۱. خصوصیات طیفی، زمانی و مکانی سنجنده لندست ۸

نام باند	طول موج (μm)	وضوح مکانی (m)	دوره تکرار (روز)
باند ۱	۰/۰-۴۳/۴۵	۳۰	
باند ۲	۰/۰-۴۵/۵۱	۳۰	
باند ۳	۰/۰-۵۳/۵۹	۳۰	
باند ۴	۰/۰-۶۴/۶۷	۳۰	
باند ۵	۰/۰-۸۵/۸۸	۳۰	
باند ۶	۱/۱-۵۷/۶۵	۳۰	برای همه باندها روز ۱۶
باند ۷	۲/۲-۱۱/۲۹	۳۰	
باند ۸	۰/۰-۵۰/۶۸	۱۵	
باند ۹	۱/۱-۳۶/۳۸	۳۰	
باند ۱۰	۱۰/۱۱-۶/۱۹	۱۰۰	
باند ۱۱	۱۱/۱۲-۵/۵۱	۱۰۰	

جدول ۲. خصوصیات تصاویر مودیس مورد استفاده

نام باند	Platform	نوع داده مودیس	طول باند (m)	وضوح زمانی
MOD09GQ	Terra	Surface Reflectance Bands 1-2	250	Daily
MOD11A1	Terra	Land Surface Temperature & Emissivity	1000	Daily

الگوریتم توازن انرژی سطحی برای زمین (سیبال) برای تصاویر مودیس نیز مانند تصاویر لندست شامل مراحل مختلفی است. نحوه محاسبه اجزای این معادله در منابع متعددی از جمله مقاله ارائه شده توسط قمرنیا و رضوانی (۱۳۹۳) ارائه شده است.

برای برآورد دمای سطحی تصاویر مودیس از باند LST استفاده شد. اطلاعات مورد نیاز جهت محاسبه دمای سطحی در تصویر MOD11A1 ارائه شده است. این پارامتر با توجه به اطلاعات تصویر از رابطه (۹) به دست می‌آید.

$$LST = DN \times \text{Scale Factor} \quad (۹)$$

در این رابطه، LST دمای سطحی، DN ارزش رقومی هر پیکسل در باند LST، Scale_Factor با توجه به اطلاعات همراه تصویر ۰/۰۲ است.

^۱ Solar zenith angle

ریزمقیاس سازی

در تحقیق حاضر برای ریزمقیاس سازی تبخیر و تعرق به دست آمده از تصاویر لندست ۸ و مودیس از دو روش نسبت (و تفاضل^۱ استفاده شده است. در روش های ریزمقیاس سازی نسبت و تفاضل در تاریخ هایی که تصاویر لندست ۸ نداریم با استفاده از تصاویر قبلی لندست ۸ و مودیس و تصاویر فعلی مودیس تلاش شده تبخیر و تعرق روزانه با دقت تصاویر لندست ۸ در تاریخ موردنظر به دست آید. برای بررسی میزان صحت نتایج به دست آمده از این روش ها، نتایج تبخیر تعرق به دست آمده از هر دو روش ریزمقیاس سازی (در تاریخی که در آن تصاویر لندست ۸ داریم) با تبخیر و تعرق برآورد شده با تصویر لندست ۸ در همان تاریخ مقایسه شده است. رابطه (۱۰) تبخیر و تعرق به دست آمده از ریزمقیاس سازی به روش تفاضل^۲ را نشان می دهد. برای محاسبه ی تبخیر و تعرق به روش نسبت^۳ از رابطه (۱۱) استفاده شده است.

$$ET_{Subtraction}(x,y,n) = ET_{Landsat}(x,y,n-1) + ET_{Modis}(x,y,n) - ET_{Modis}(x,y,n-1) \quad (10)$$

$$ET_{Ratio}(x,y,n) = ET_{Modis}(x,y,n) \times \frac{ET_{Landsat}(x,y,n-1)}{ET_{Modis}(x,y,n-1)} \quad (11)$$

در این روابط، x و y مختصات پیکسل، $ET_{Landsat}(x,y,n-1)$ مقدار تبخیر و تعرق حاصل از تصاویر لندست ۸ در تاریخ $n-1$ (اولین تاریخ قبل از روز n ام است که در آن تصویر لندست ۸ داریم)، $ET_{Modis}(x,y,n)$ و $ET_{Modis}(x,y,n-1)$ به ترتیب مقدار تبخیر و تعرق حاصل از تصاویر مودیس در تاریخ های $n-1$ و n است.

اعتبار سنجی روش های ریزمقیاس سازی

جهت ارزیابی دقت نتایج به دست آمده در روش های ریزمقیاس سازی نیاز است نتایج به دست آمده از این روابط را صحت سنجی کنیم. به این منظور برای سه تاریخ مختلف که در آن تصاویر لندست موجود بودند با فرض اینکه این تصاویر وجود ندارند از طریق روش های ریزمقیاس سازی و تصاویر مودیس تبخیر و تعرق را در این زمان ها به دست آوردیم و سپس با استفاده از آماره ریشه میانگین مربعات خطا^۴ صحت نتایج به دست آمده بررسی گردید (رابطه ۱۲).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (V_i - R_i)^2}{n}} \quad (12)$$

در این رابطه V_i ، R_i ، i -امین مقدار محاسبه شده به وسیله روش ریزمقیاس سازی، R_i ، i -امین مقدار محاسبه شده توسط الگوریتم سبال و n شمار کل پیکسل ها است. هر چه مقدار این شاخص کمتر باشد (به صفر نزدیک باشد) دقت مدل بالاتر است. در ادامه یک رابطه رگرسیونی بین نتایج تبخیر و تعرق محاسبه شده به روش های ریزمقیاس سازی^۵ با تبخیر و تعرق محاسبه شده بر اساس تصویر لندست^۶ در روزهایی که ریزمقیاس سازی انجام شده است برآزش داده شد.

¹ Ratio

² Subtraction

³ ET Subtraction

⁴ ET Ratio

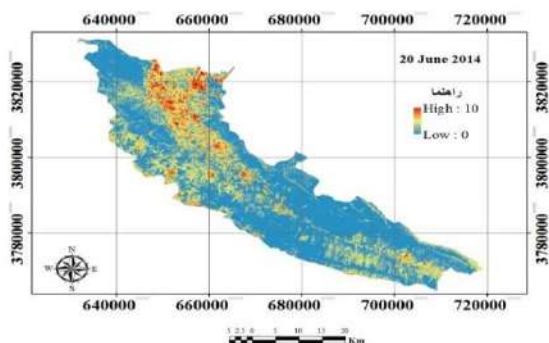
⁵ Root Mean Square Error (RMSE)

⁶ ET downscaling

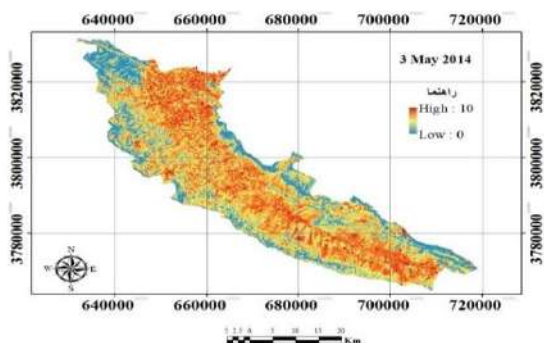
⁷ ET Landsat

یافته‌ها

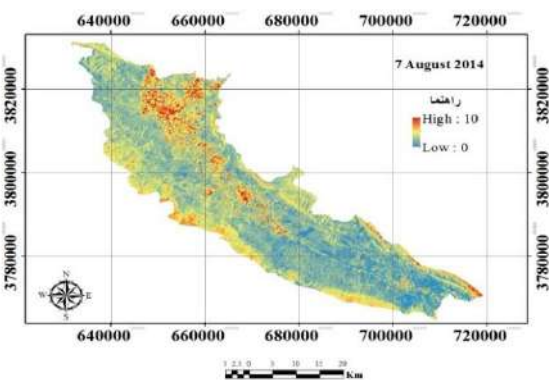
تبخیر و تعرق به‌دست‌آمده از روش سبال برای تصاویر لندست ۸ و مودیس به ترتیب در شکل‌های ۲ و ۳ ارائه شده است. برای مقایسه بهتر تصاویر، دامنه تغییرات تبخیر و تعرق در این نقشه‌ها یکسان (بین ۰ و ۱۰ میلی‌متر در روز) در نظر گرفته شده است. اطلاعات آماری مربوط به تبخیر و تعرق به‌دست‌آمده با استفاده از تصاویر لندست ۸ و مودیس در منطقه مورد مطالعه در جدول ۳ ذکر شده است. حداکثر تبخیر و تعرق در تاریخ ۱۳۹۳/۰۴/۳۱ اتفاق افتاده است که بر اساس تصاویر لندست ۸ و مودیس به ترتیب ۹/۶ و ۱۰ میلی‌متر در روز برآورد گردیده است که به دلیل گرم بودن هوا در فصل تابستان است؛ میزان تبخیر و تعرق در قبل و بعد از این تاریخ به علت خنک‌تر بودن هوا در بهار و اواخر تابستان کمتر است. میانگین تبخیر و تعرق مربوط به تاریخ‌های مورد مطالعه که از بهار تا اواخر تابستان را در برمی‌گیرد بین ۲/۴ تا ۶/۸ میلی‌متر در روز (تصاویر لندست ۸) و ۲/۳ تا ۴/۷ میلی‌متر در روز (تصاویر مودیس) است. حداکثر میانگین تبخیر و تعرق برآورد شده در تاریخ ۱۳۹۳/۰۵/۱۶ اتفاق افتاده است. انحراف معیار در تاریخ ۱۳۹۳/۰۳/۳۰ بیشترین مقدار را دارد که نشان‌دهنده پراکندگی داده‌ها از میانگین است. میزان حداقل تبخیر و تعرق به دلیل وجود داشتن ساختمان‌ها و کوه‌ها و زمین‌های آیش موجود در منطقه صفر است. در این جدول نیز می‌توان روند صعودی و نزولی تبخیر و تعرق را با توجه به فصل و دوره کشت محصول مشاهده کرد. در اوایل بهار به علت خنک بودن هوا و همچنین به علت قرار گرفتن گیاهان زراعی در مرحله اولیه رشد رویشی مقدار تبخیر و تعرق برآورد شده کم است؛ که با رشد محصولات زراعی و قرار گرفتن در دوره رشد و خمیری شدن دانه و گرم‌تر شدن هوا مقدار تبخیر و تعرق برآوردی زیاد می‌شود؛ همچنین با گذر از ماه‌های گرم تابستان و رسیدن به دوره رشد فیزیولوژی در اواخر تابستان از میزان تبخیر و تعرق کاسته می‌شود.



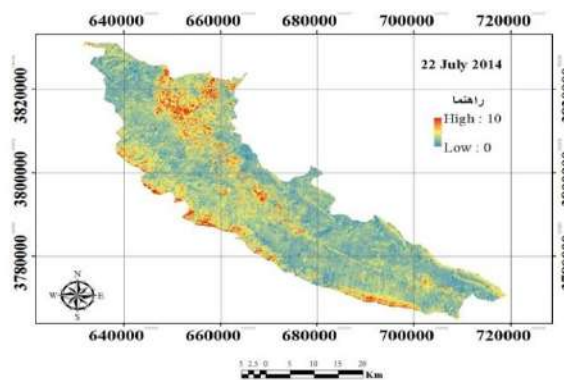
ب)



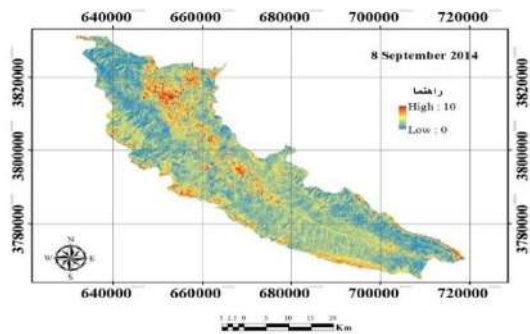
الف)



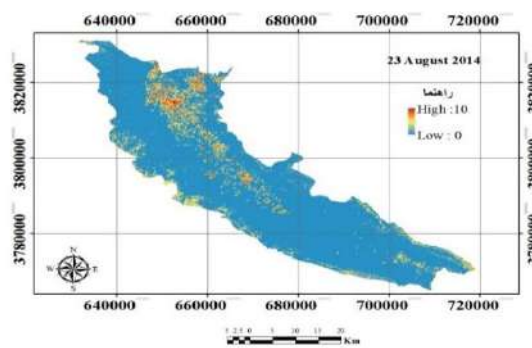
ت)



پ)

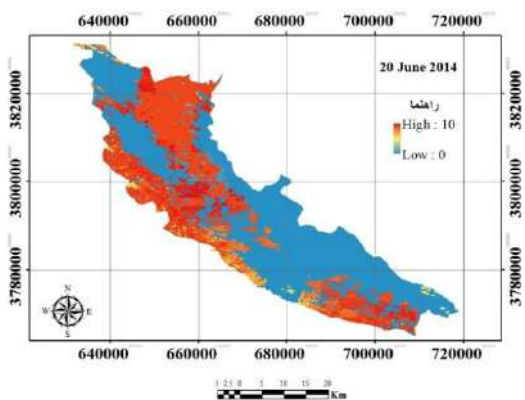


ج

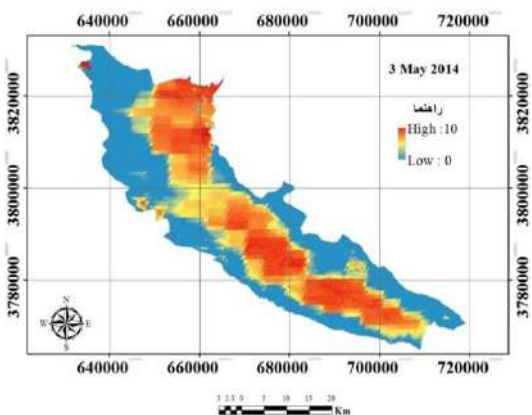


ث

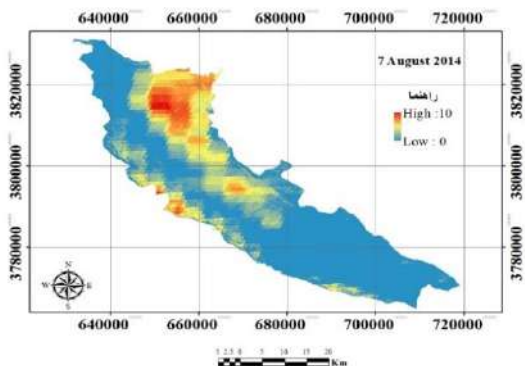
شکل ۲. تبخیر و تعرق روزانه (mm/day) محاسبه شده بر اساس تصاویر لندست ۸ در تاریخ های الف) ۱۳۹۳/۲/۱۳ (ب) ۱۳۹۳/۳/۳۰ (پ) ۱۳۹۳/۴/۳۱ (ت) ۱۳۹۳/۵/۱۶ (ث) ۱۳۹۳/۶/۱ (ج) ۱۳۹۳/۶/۱۷



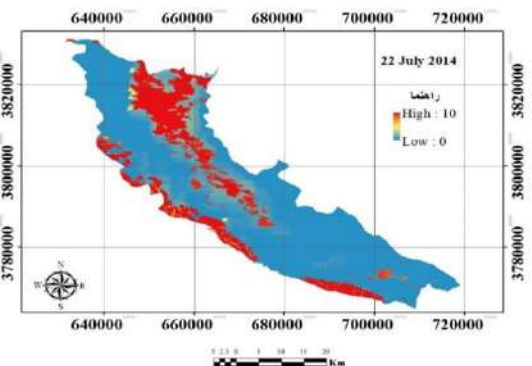
ب



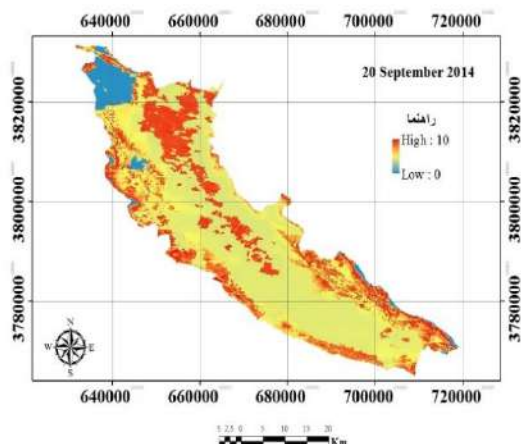
الف



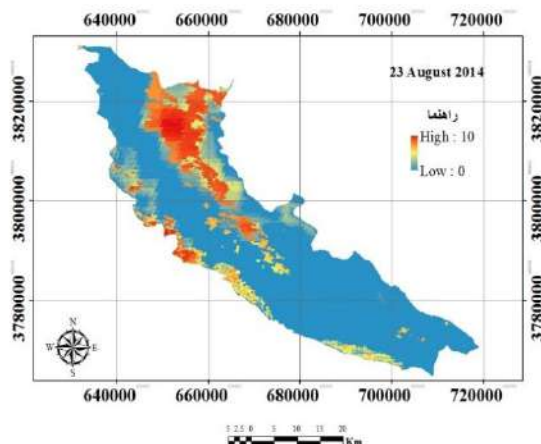
ت



پ



ج



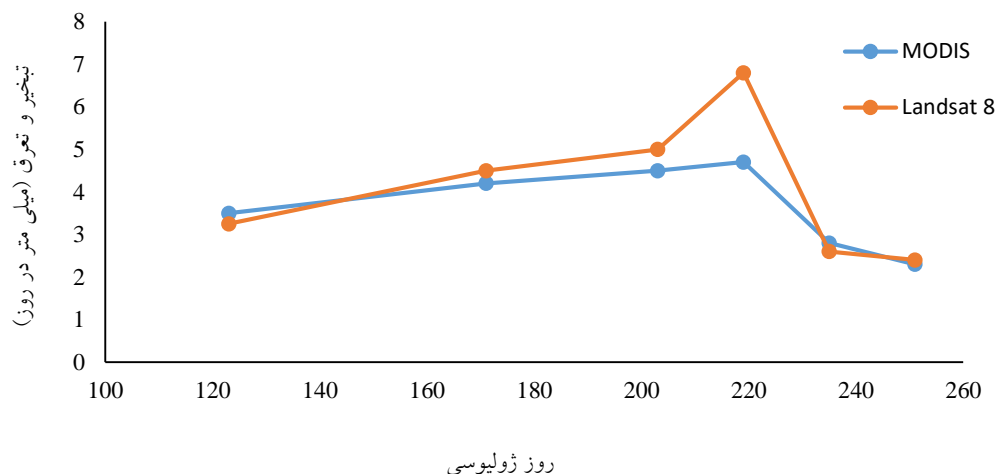
ث

شکل ۳. تبخیر و تعرق روزانه (mm/day) برآورد شده بر اساس تصاویر مودیس در تاریخ‌های الف) ۱۳۹۳/۲/۱۳ (ب) ۱۳۹۳/۳/۳۰ (پ) ۱۳۹۳/۴/۳۱ (ت) ۱۳۹۳/۵/۱۶ (ث) ۱۳۹۳/۶/۱ (ج) ۱۳۹۳/۶/۱۷ (ح) ۱۳۹۳/۶/۱۷

جدول ۳. خصوصیات آماری مربوط تبخیر و تعرق حاصل از تصاویر مودیس و لندست ۸ (میلی متر در روز)

تاریخ (شمسی)	تاریخ (میلادی)	روز ژولیوسی	مودیس			لندست ۸		
			حداکثر	میانگین	انحراف از معیار	حداکثر	میانگین	انحراف از معیار
۱۳۹۳/۰۲/۱۳	۲۰۱۴/۰۵/۰۳	۱۲۳	۷/۴	۳/۵	۲/۹	۷/۰	۳/۳	۱/۷
۱۳۹۳/۰۳/۳۰	۲۰۱۴/۰۶/۲۰	۱۷۱	۸/۵	۴/۲	۴/۸	۷/۴	۴/۵	۲/۴
۱۳۹۳/۰۴/۳۱	۲۰۱۴/۰۷/۲۲	۲۰۳	۱۰/۰	۴/۵	۳/۹	۹/۶	۵/۰	۱/۸
۱۳۹۳/۰۵/۱۶	۲۰۱۴/۰۸/۰۷	۲۱۹	۷/۶	۴/۷	۱/۴	۸/۷	۶/۸	۱/۲
۱۳۹۳/۰۶/۰۱	۲۰۱۴/۰۸/۲۳	۲۳۵	۶/۴	۲/۸	۲/۰	۵/۸	۲/۶	۰/۹
۱۳۹۳/۰۶/۱۷	۲۰۱۴/۰۹/۰۸	۲۵۱	۵/۳	۲/۳	۱/۴	۶/۵	۲/۴۰	۱/۰

میانگین تبخیر و تعرق روزانه برآورد شده در سطح دشت (mm/day) در شکل ۴ نشان داده شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود تبخیر و تعرق برآورد شده در هر دو تصویر روند یکسانی را نشان می‌دهد هر چند که در روز ۲۱۹ برابر با ۱۳۹۳/۰۵/۱۶ (زمان وقوع حداکثر تبخیر و تعرق) اختلاف زیادی بین تبخیر و تعرق برآورد شده بر اساس تصاویر مودیس و لندست وجود دارد. مقایسه نقشه‌های تهیه‌شده تبخیر و تعرق با استفاده از تصاویر مودیس (شکل ۴) بیانگر روند غیرمنطقی نتایج برآورد شده بر اساس تصاویر مودیس در روز ۲۱۹ است. البته این می‌تواند به علل مختلفی اتفاق افتاده باشد که خارج از موضوع مقاله است و بایستی به‌صورت جداگانه مورد بررسی قرار گیرد. هرچند بهتر این بود که در ادامه نتایج این روز از محاسبات و آنالیزها حذف می‌گردید اما با توجه به اینکه هدف مقایسه روش‌های ریزمقیاس سازی بود نه برآورد تبخیر و تعرق در یک روز خاص، کماکان نتایج این روز در ادامه مورد بررسی قرار گرفت.



شکل ۴. میانگین تبخیر و تعرق روزانه برآورد شده در سطح دشت (mm/day)

۳-۱- ارزیابی نتایج به دست آمده به روش های ریزمقیاس سازی

جهت ارزیابی تبخیر و تعرق برآورد شده به روش های ریزمقیاس سازی استفاده شده در پژوهش حاضر از آماره میانگین مربعات خطا استفاده شد. آماره میانگین مربعات خطا برای سه تاریخ (۳۱ تیر، ۱۶ مرداد و اول شهریور ۱۳۹۳) و برای هر دو روش ریزمقیاس سازی در جدول ۵ ارائه شده است.

تاریخ	روش نسبت	روش تفاضل
۲۰۱۴/۰۷/۲۲	۳/۱۲	۲/۷۹
۲۰۱۴/۰۸/۰۷	۲/۶۳	۳/۰۲
۲۰۱۴/۰۸/۲۳	۱/۹۷	۱/۹۱
میانگین	۲/۵۷	۲/۵۷

مشاهده می گردد که میانگین مربعات خطا در سه تاریخ بین ۱/۹۱ تا ۳/۱۲ میلی متر در روز بوده است. علیرغم اینکه روند خاصی بین میانگین مربعات خطا با زمان مشاهده نمی گردد ولیکن میانگین این آماره در سه تاریخ برای هر دو روش ریزمقیاس سازی یکسان است. با توجه به این نتایج می توان بیان کرد که هر دو روش دقت تقریباً یکسانی را در ریزمقیاس سازی نتایج تبخیر و تعرق دارند و هر دو روش دقت پایینی در برآورد تبخیر و تعرق دارند. البته بعد از به دست آوردن نتایج ضعیف این روش ها، مطالعه دیگری در سال بعد و در همین منطقه انجام گرفت و روش نسبتاً ساده دیگری برای ریزمقیاس سازی مورد بررسی قرار گرفت (وروانی و همکاران، ۱۳۹۸). در مطالعه انجام شده توسط وروانی و همکاران (۱۳۹۸) ریزمقیاس سازی بر اساس روش خطی با عرض از مبدأ صفر انجام شد، که نتایج حاصله دقت قابل قبولی را نشان داد. لذا با توجه به مطالب یاد شده می توان بیان نمود که در محدوده مورد نظر و در زمان خرداد الی شهریور روش خطی با عرض از مبدأ صفر نسبت به دو روش (تفریق و نسبت) دارای ارجحیت است.

¹ RMSE

² LINZI

روابط رگرسیونی بین نتایج تبخیر و تعرق محاسبه شده به روش های ریزمقیاس سازی با تبخیر و تعرق محاسبه شده بر اساس تصویر لندست در روزهایی که ریزمقیاس سازی انجام شده است در جدول ۶ ارائه شده است. ایده آل آن است که شیب و عرض از مبدأ معادلات به ترتیب یک و صفر باشد. با توجه به اینکه مقادیر شیب و عرض از مبدأ معادلات رگرسیونی با این مقادیر تفاوت زیادی دارند و ضمناً روند مشخصی ندارد می توان نتیجه گرفت که تبخیر و تعرق برآورد شده با روش های ریزمقیاس سازی مورد استفاده در این مطالعه از دقت بالایی برخوردار نمی باشند. علت این موضوع می تواند وجود کاربری های متعدد در پیکسل های مودیس باشد. با توجه به نتایج به دست آمده می توان گفت که برآورد تبخیر و تعرق در منطقه مورد مطالعه با تلفیق تصاویر ماهواره ای مودیس و لندست ۸ به روش ریزمقیاس سازی بایستی با احتیاط صورت گیرد.

جدول ۶- معادلات رگرسیونی برازش یافته بین تبخیر و تعرق محاسبه به روش های ریزمقیاس سازی

تاریخ	روش ریزمقیاس سازی	معادله برازش یافته	ضریب همبستگی (R ²)
۱۳۹۳/۴/۳۱	نسبت	$ET_{downscaling} = -1.438 + 0.701ET_{landsat}$	۰/۶۲
	تفاضل	$ET_{downscaling} = -0.832 + 0.674ET_{landsat}$	۰/۵۷
۱۳۹۳/۵/۱۶	نسبت	$ET_{downscaling} = 0.277 + 0.351ET_{landsat}$	۰/۲۲
	تفاضل	$ET_{downscaling} = 0.578 + 1.7ET_{landsat}$	۰/۶۶
۱۳۹۳/۶/۱	نسبت	$ET_{downscaling} = 0.684 + 1.147ET_{landsat}$	۰/۴۵
	تفاضل	$ET_{downscaling} = 1.729 + 0.548ET_{landsat}$	۰/۳۶

بحث

تبخیر و تعرق یکی از مهم ترین پارامترها برای برنامه ریزی منابع آب در بخش کشاورزی است که دارای تغییرات زمانی و مکانی است. الگوریتم های برآورد تبخیر و تعرق مبتنی بر سنجش از دور در مطالعات متعددی استفاده شده است. با استفاده از تصاویر ماهواره ای مودیس می توان تبخیر و تعرق را به صورت روزانه و در پیکسل های ۱۰۰۰ متری برآورد نمود حال آنکه می توان با استفاده از تصاویر لندست ۸ مقدار این پارامتر را هر ۱۶ روز یکبار در پیکسل های ۱۰۰ متری برآورد نمود. روش های متعددی جهت تلفیق تصاویر با تفکیک پذیری مکانی پایین (مثل مودیس) و متوسط (مثل لندست ۸) به منظور برآورد تبخیر و تعرق به صورت روزانه و در پیکسل های کوچک تر ارائه شده است. ریزمقیاس تصاویر یکی از این روش ها است. مطالعه حاضر نتایج تبخیر و تعرق منطقه مطالعاتی ماهیدشت واقع در استان کرمانشاه با استفاده از تصاویر ماهواره ای لندست و مودیس با استفاده از مدل سبال و همچنین ریزمقیاس سازی نتایج تبخیر و تعرق روزانه حاصل به روش نسبت و تفاضل در روزهای مختلف را نشان می دهد.

نتیجه گیری

روند تغییرات محاسبه شده تبخیر و تعرق در تصاویر مودیس و لندست ۸ یکسان بود و حداکثر تبخیر و تعرق در هر دو سری تصاویر در تاریخ ۱۳۹۳/۰۵/۱۶ با میانگین ۶/۸۰ و ۴/۷۰ میلی متر در روز در سطح منطقه محاسبه گردید. با توجه به اختلاف زیاد بین مقادیر برآورد شده تبخیر و تعرق بر اساس روش های ریزمقیاس سازی با مقادیر برآورد شده این پارامتر بر اساس تصویر لندست ۸ استفاده از روش های ریزمقیاس سازی مورد استفاده در این مطالعه تأیید نگردید. پیشنهاد می شود که روش های دیگر ریزمقیاس سازی در مطالعات آتی مورد ارزیابی قرار گیرد.

منابع

- ارست، مینا، رنجبر، ابوالفضل، عبدالهی، خدایار، و موسوی، سید حجت. (۱۳۹۹). بررسی وضوح فضایی نقشه های تبخیر و تعرق واقعی در حوضه زاینده رود. اطلاعات جغرافیایی، ۲۹(۱۱۳)، ۱۴۰-۱۲۹. http://www.sepehr.org/article_40475.html
- سیمایی، الهه، همایی، مهدی، و نوروزی، علی اکبر. (۱۳۹۲). ارزیابی مدل SEBAL برای برآورد تبخیر و تعرق با استفاده از اطلاعات سنجنده های TM و MODIS. نشریه حفاظت منابع آب و خاک، ۲(۴)، ۴۹-۲۹. https://wsrj.srbiau.ac.ir/article_2300.html

- صالحی، حمید، شمس‌الدینی، علی، و میر لطیفی، سید مجید. (۱۳۹۷). ریزمقیاس‌نمایی تصویر مودیس به‌منظور تهیه نقشه تبخیر-تعرق روزانه با قدرت تفکیک تصویر لندست با استفاده از الگوریتم‌های SADFDT و STARFM. *سنجش‌ازدور و GIS ایران*، ۱۰(۳)، ۱۲۳-۱۴۰. https://gisj.sbu.ac.ir/article_96580.html
- قمرنیا، هوشنگ، و رضوانی، سید وحیدالدین. (۱۳۹۳). محاسبه و پهنه‌بندی تبخیر-تعرق با استفاده از الگوریتم سیال (SEBAL) در غرب ایران (دشت میان دربند). *نشریه آب‌و‌خاک*، ۲۸(۱)، ۷۲-۸۱. <https://dx.doi.org/10.22067/jsw.v0i0.20634>
- قمرنیا، هوشنگ، غلامیان، سید محسن، و کمالی، نسیم. (۱۳۹۵). برآورد تبخیر تعرق و ضرایب گیاهی در گیاه ذرت با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ مطالعه موردی (دشت سراب نیلوفر کرمانشاه). *تحقیقات منابع آب ایران*، ۱۲(۴)، ۹۳-۱۰۷. http://www.iwrr.ir/article_42242.html
- کریمی، علیرضا، فرهادی بانسوله، بهمن، و حصادی، همایون. (۱۳۹۱). برآورد تبخیر و تعرق واقعی در مقیاس منطقه‌ای با استفاده از الگوریتم سیال و تصاویر لندست. *مجله آبیاری و زهکشی ایران*، ۶(۴)، ۳۶۴-۳۵۳. <https://www.magiran.com/paper/1133915>
- کفاش، مرتضی، و ثنایی نژاد، سیدحسین. (۱۳۹۹). تلفیق تصاویر دمای سطح زمین مودیس و لندست ۸ با استفاده از مدل تلفیق مکانی-زمانی تصویر. *تحقیقات آب‌و‌خاک ایران (علوم کشاورزی ایران)*، ۵۱(۳)، ۷۷۳-۷۶۳. <https://dx.doi.org/10.22059/IJSWR.2019.291016.668360>
- وروانی، هادی، فرهادی بانسوله، بهمن، و شریفی، محمدعلی. (۱۳۹۸). تلفیق تصاویر ماهواره LANDSAT8 و سنجنده MODIS جهت برآورد تبخیر تعرق ذرت علوفه‌ای در دوره رشد (منطقه مورد مطالعه: ماهیدشت کرمانشاه). *تحقیقات منابع آب ایران*، ۱۵(۱)، ۲۶۶-۲۵۷. http://www.iwrr.ir/article_80070.html
- یعقوب زاده، مصطفی، ایزدپناهی، زهرا، برومند نسب، سعید، و سید کابلی، حسام. (۱۳۹۵). مقایسه الگوریتم سیال با مدل SWAP و روش‌های محاسباتی جهت تعیین تبخیر و تعرق. *علوم مهندسی آبیاری*، ۳۹(۳)، ۴۹-۳۹. <https://dx.doi.org/10.22055/JISE.2016.12341>
- یعقوبی فشکی، مجید. (۱۳۸۸). کاربرد روش سیال (SEBAL) در محاسبه تبخیر و تعرق با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشگاه رازی، کرمانشاه. <https://ganj.irandoc.ac.ir/#/articles/b8199d09996ee7b9e2a69489e9b4a378>

References

- Allen, R.G., Morse, A., & Tasumi, M. (2003). Application of SEBAL for western US water rights regulation and planning. In Proc. ICID Int. Workshop on Remote Sensing, Montpellier, France. <https://www.semanticscholar.org/paper/Application-of-SEBAL-for-Western-US-Water-Rights-Allen-Morse/b4ade7e12766a89491e9a968f96ac0f99f3a019a>
- Arast, M., Ranjbar, A., Abdolahi, K., & Mousavi, S. H. (2020). Investigating the spatial resolution of actual evapotranspiration maps in the ZayandehRud basin. *Geographic Information*, 29 (113), 129-140. http://www.sepehr.org/article_40475.html [in Persian]
- Atkinson, P.M. (2013). Downscaling in remote sensing. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 22, 106-114. <https://dx.doi.org/10.1016/j.jag.2012.04.012>
- Bastiaanssen, W. G. M., Vander Wal T. & Visser, T. N. M. (1996). Diagnosis of regional evaporation by remote sensing to support irrigation performance management. *Irrigation and Drainage Systems*, 10, 1-23. <https://dx.doi.org/10.1007/BF01102762>
- Bastiaanssen, W. G. M., Menenti, M., Feddes, R. A., & Holtslag, A. A. M. (1998). A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL). 1. Formulation. *Journal of hydrology*, 212, 198-212. [https://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694\(98\)00253-4](https://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694(98)00253-4)
- Farhadi Bansouleh, B., Karimi, A.R., & Hesadi, H. (2015). Evaluation of SEBAL and SEBS Algorithms in the Estimation of Maize Evapotranspiration. *International Journal of Plant & Soil Science*, 6(6), 350-358. <https://dx.doi.org/10.9734/IJPSS/2015/15711>

- Ghamarnia, H., Gholamian, S.M., & Kamali, N. (2016). Estimating of Crop Coefficient and Actual Evapotranspiration of Corn Using LANDSAT8 Images (Case Study: Sarab Nilufar Plain in Kermanshah). Iran - Water Resources Research, 12 (4), 93-107. http://www.iwrr.ir/article_42242.html [in Persian]
- Ghamarnia, H., & Rezvani, S.V. (2014). Calculation and Zoning of Evapotranspiration using SEBAL method In the West of Iran (Miandarband Plain). Journal of Water and Soil, 28 (1), 72-81. <https://dx.doi.org/10.22067/jsw.v0i0.20634> [in Persian]
- Ha, W., Gowda, P. H., & Howell, T.A. (2013). A review of downscaling methods for remote sensing-based irrigation management: Part I. Irrigation Science, 31, 831-850. <https://dx.doi.org/10.1007/s00271-012-0331-7>
- Hong, S. H., Hendrickx, J. M., & Borchers, B. (2011). Down-scaling of SEBAL derived evapotranspiration maps from MODIS (250 m) to Landsat (30 m) scales. International journal of remote sensing, 21, 6457-6477. <https://dx.doi.org/10.1080/01431161.2010.512929>
- Kaffash, M., & Sanaei-Nejad, S. H. (2020). Fusion of MODIS and Landsat-8 Land Surface Temperature Images Using Spatio-Temporal Image Fusion Model. Iranian Journal of Soil and Water Research, 51 (3), 763-773. <https://dx.doi.org/10.22059/IJSWR.2019.291016.668360> [in Persian]
- Karimi, A., Farhadi Bansouleh, B., & Hesadi, H. (2012). Estimation of Regional Evapotranspiration Using LANDSAT TM Images and SEBAL Algorithm. Iranian Journal of Irrigation and Drainage, 6(4), 353-364. <https://www.magiran.com/paper/1133915> [in Persian]
- Li, Y.u., Cui, J. Y., Zhang, T. H., & Zhao, H. L. (2003). Measurement of evapotranspiration of irrigated spring wheat and maize in a semi-arid region of north China. Agricultural water management, 61, 1-12. [http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378-3774\(02\)00177-4](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378-3774(02)00177-4)
- Mokhtari, M. H. (2005). Agricultural drought impact assessment using remote sensing: A case study Borkhar district – Iran (M.Sc. Thesis), ITC, Enschede, the Netherlands
https://webapps.itc.utwente.nl/librarywww/papers_2006/msc/nrm/mokhtari.pdf
- Rajeshwari, A., & Mani, N.D. (2014). Estimation of land surface temperature of Dindigul district using Landsat 8 data. International Journal of Research in Engineering and Technology, 3(5), 122-126. <https://dx.doi.org/10.15623/ijret.2014.0305025>
- Ramesh, S. K., Senay, G. B., Velpuri, N. M., Bohms, S., & Verdin, J.P. (2014). On the downscaling of actual evapotranspiration maps based on combination of MODIS and Landsat-based actual evapotranspiration estimates. Remote Sensing, 6, 10483- 10509. <https://dx.doi.org/10.3390/rs61110483>
- Salehi, H., Shamsoddini, A., & Mirlatifi, S. M. (2018). MODIS image downscaling using STARFM and SADFAT algorithms for daily Landsat-like spatial resolution evapotranspiration mapping. Iranian Jpurnal of Remote Sensing & GIS, 10 (3), 123-140. https://gisj.sbu.ac.ir/article_96580.html [in Persian]
- Simaie, E., Homae, M., & Norouzi, A.A. (2013). Evaluating SEBAL model to estimate evapotranspiration using MODIS and TM sensors data. Journal of Water and Soil Resources Conservation, 2 (4), 29-49. <https://dx.doi.org/20.1001.1.22517480.1392.2.4.3.8> [in Persian]
- Sobrino, J. A., Jiménez-Muñoz, J. C. & Paolini, L. (2004). Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. Remote Sensing of environment, 90, 434- 440. <https://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2004.02.003>
- Varvani, H., Farhadi Bansouleh, B., & Sharifi, M.A. (2019). Integration of Landsat 8 satellite images and MODIS sensor to estimate the water requirement of maize during the growth period (Case study: Mahidasht, Kermanshah province). Iran - Water Resources Research, 15(1), 257-266. http://www.iwrr.ir/article_80070.html [in Persian]

- Weng, Q., Lu, D. & Schubring, J. (2004). Estimation of land surface temperature–vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote sensing of Environment*, 89, 467-483. <https://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2003.11.005>
- Yaghobzade, M., Izadpanahi, Z., Broomand nasab, S., & Seyed Kaboli, H. (2016). The Comparison of SEBAL Algorithm with SWAP Model and Computational Method to Determine Evapotranspiration. *Journal of Irrigation Sciences and Engineering*, 39 (3), 39-49. <https://dx.doi.org/10.22055/JISE.2016.12341> [in Persian]
- Yaghoubi Fashaki, M. (2009). Application of SEBAL method in calculating evapotranspiration using satellite images. MSc Thesis in Irrigation and Drainage, Razi University, Kermanshah, Iran. <https://ganj.irandoc.ac.ir/#/articles/b8199d09996ee7b9e2a69489e9b4a378> [in Persian]
- Zhang, K., Kimball, J. S., & Running, S. W. (2016). A review of remote sensing based actual evapotranspiration estimation. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 3, 834-853. <https://dx.doi.org/10.1002/wat2.1168>



Investigation of the environmental and circulation conditions of the event of heavy and sustained rainfall in the Dez basin

Sara Bani Naima ¹, Hassan Lashkari ², Mohammad Javad Nasr Esafahani ³

¹ Corresponding Author, Ph. D student of Hydrology and Meteorology, Faculty of Humanities, Department of Geography, Islamic Azad University, Ahvaz Branch, Ahvaz, Iran. Email: amiri.sara63@gmail.com

² Associate Professor of Hydrology and Meteorology, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. Email: dr_lashkari61@yahoo.com

³ Ph. D graduated of water structures, Head of applied research department of Khuzestan Water and Power Authority, Ahvaz, Iran. Email: mo.isfahani@gmail.com

ABSTRACT

Introduction

The diversity of the source of precipitation in different parts of Iran, along with the conditions of latitude, distance and proximity to moisture sources, etc., causes precipitation behaviors such as intensity and continuity to have temporal and spatial changes. Using statistical methods and the discharge data of Dez river, the violent floods of this river were extracted to identify the effective factors in their creation. The information of all the effective atmospheric levels has been analyzed in a combined manner using descriptive and appropriate maps, and synoptic and thermodynamic characteristics of heavy cloud precipitation in the catchment basin have been investigated and synoptic patterns leading to the prolongation of the systems in the catchment basin and its effect on the discharge of streams have been identified, and was presented. The aim of the research was to identify the pattern or patterns of sustainable rainfall systems in the Dez river basin. The results of the investigation showed that the presence of a deep depression in the east of the Mediterranean Sea has caused the cold air of Europe to fall in the west of this vessel, as well as the transfer of moisture from the Arabian Sea and the Persian Gulf to its east, and the conditions for creating an ascent of the most important elements of the pattern of heavy and durable precipitation in They are basins. Planning of water resources, prevention and timely notification and control and containment of floods are among the results that can be expected from this research.

Due to the importance of rainfall for a dry country like Iran, many researches have been conducted on the characteristics of rainfall in Iran. However, there are still many unknowns about this rebellious and variable climate element. In Iran, precipitation is one of the basic variables to evaluate the potential existence of water resources. Although it has a periodic nature, its temporal and spatial distribution is very uneven and therefore the distribution of water resources is not uniform. The maintenance and management of water resources is also a function of received rainfall and depends on its variability. Therefore, the smaller the spatial changes of precipitation, the greater the homogeneity and homogeneity of water resources (Massoudian, 2015). The diversity of the source of precipitation in different parts of Iran, along with the conditions of latitude, distance and proximity to moisture sources, etc., causes rainfall behaviors such as intensity and continuity to have temporal and spatial changes. Especially in the southern regions of Iran, which have less rainfall, these changes are more severe. Considering the importance of rainfall and its impact on various economic, agricultural, and social sectors and the need to investigate and identify the synergistic patterns of rainfall in the study area for use in planning and optimal management of water resources, the necessity of doing this is evident. Ecosystems and physical structures of human societies are adjusted to normal climatic conditions, and when extreme climatic phenomena occur, they can rarely equip and prepare themselves. It has been identified and investigated continuously with a duration of more than 5 days in the period of 1979-2006 (Ming, 2008, 331). (Canvas et al., 2019) in the analysis of the relationship between the classification of atmospheric circulation patterns and daily precipitation in the Pyrenees region in the north of Barcelona, Spain, concluded that during the statistical period of 1961-2010, the precipitation trend during the period was significantly decreasing, which The decrease corresponds to the change in the type of atmospheric systems during the statistical period. During the rainy years, Iceland's low pressure at sea level and deep mid-atmosphere troughs played an important role. Analysis of the trend and concentration of precipitation in the Sardinia region in western Italy by (Caluero et al., 2019) shows a decrease in precipitation in the winter months and an increase in the summer months during the period of 1945-2017. Also, the distribution of uniform rainfall during the year shows a significant increase and the trend is also significantly decreasing during the statistical period. In our country, studies have been conducted in the field of simultaneity investigation of durable and heavy rain waves and flood modeling of catchment basins. With the investigations conducted on 200 rainfall systems in a statistical period of 20 years, he showed that the Sudanese systems enter Iran from five main routes and cause rainfall according to the synoptic patterns. So that in two routes they enter the country as a merger with the Mediterranean roundabouts and in the other three routes independently.

Methodology

The studied area of synoptic and rain gauge stations is located in the Dez sub-basin. The location of the studied area is in latitude 32°30' to 33°44'N and longitude 48°41' to 49°40'E. The water basin of Dez River is a part of the Karon Basin. Two statistical and synoptic methods were used for a more detailed investigation of the synoptic situation of heavy rains in the Dez river basin. In the statistical part, factor analysis, which is one of the widely used statistical methods in climatology, was used, and in the synoptic part, maps of different atmospheric levels were extracted and analyzed using Grads software for the specified days. Factor analysis index and visual inspection were used for synoptic analysis and pattern finding of dominant systems in heavy rains. For synoptic analysis, maps of different atmospheric levels were prepared and drawn and analyzed.

Results and discussion

The water year of 1371-72 is one of the most watery years of Iran in the period of 1343-1400. The average water flow of the Dez River this year is equal to 503 cubic meters per second, a little more than twice the long-term water flow of 244 cubic meters per second. The water year of 1371-72 is one of the most watery years of Iran in the period of 1343-1400. The average water flow of the Dez River this year is equal to 503

cubic meters per second, a little more than twice the long-term water flow of 244 cubic meters per second. The investigation of rainfall and the hourly hydrograph of Tele Zang station shows that the cumulative rainfall in three stations Tang Panj Bakhtiari, Tele Zang and Kharsar during the rains that led to an increase in the daily discharge and instantaneous discharge of Tele Zang station was equal to 272, 173 and 143 mm, respectively. The flood continued for about 60 hours, which was recorded after 17 hours.

Conclusions

The synoptic analysis of maps of different levels showed that during the period of rain and flood in January 2011, the conditions of sea level pressure patterns (high pressure and low pressure), low level of 850 hectopascal and 500 hectopascal (falling of cold air from high latitudes) and its establishment on water areas (Mediterranean, Red Sea, Persian Gulf and Arabian Sea) and the flow of moisture from these water areas to the north, the establishment of rivers, the high level of Tavai and the negative amount of Omega in the region, as well as the intensification of the ascent process by the heights of Zagros, especially in the western slopes. (rainy mountain) environmental and circulation conditions have been provided for the occurrence of heavy rainfall and its continuation. Synoptic patterns before and during heavy rainfall in the region and neighboring affected areas are important indicators for comparison. In most of the extracted models of this research, a deep descent is formed in the east of the Mediterranean Sea and its extension to the north of the Red Sea at the level of 500 hectopascals, which causes the cold air of Northern Europe to fall to the south, and on the other hand, in the east of this vessel, or a deep descent of warm air. and moist moves from south to north. This pattern is the most important factor and has the largest contribution to heavy and steady rainfall in the studied area.

Keywords: Heavy rain, Symbide, Dez basin, flood

Article Type: Research Article

Article history: Received: 15 April 2022 Revised: 26 May 2022 Accepted: 31 May 2022 ePublished: 23 August 2022

Cite this article: Bani Naima, S., Lashkari, H., & Nasr Esfahani, M.J. (2022). Investigating the environmental and circulation conditions of the event of heavy and sustained rainfall in the Dez basin, *Advanced Technologies in Water Efficiency*, 2(2), 46-60. DOI: 10.22126/ATWE.2022.8057.1024

Publisher: Razi University

© The Author(s).





بررسی شرایط محیطی و گردشی رخداد بارش سنگین و بادوام حوضه دز

سارا بنی نعیمه^۱ ✉، حسن لشکری^۲ ID، محمدجواد نصر اصفهانی^۳ ID

^۱ نویسنده مسئول، دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، دانشکده علوم انسانی، گروه جغرافیا، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: amiri.sara63@gmail.com

^۲ دانشیار آب و هواشناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: dr_lashkari61@yahoo.com

^۳ دانش آموخته دکتری سازه‌های آبی، رئیس گروه نوآوری و توسعه فناوری سازمان آب و برق خوزستان، اهواز، ایران. رایانامه: mo.isfahani@gmail.com

چکیده

تنوع منشأ بارش در نقاط مختلف ایران به همراه شرایط عرض جغرافیایی، دوری و نزدیکی به منابع رطوبت و غیره سبب می‌گردد رفتارهای بارش مانند شدت و تداوم نیز دارای تغییرات زمانی و مکانی باشند. با استفاده از روش‌های آماری و داده‌های دبی رودخانه دز سیل‌های سهمگین این رودخانه برای شناسایی عوامل مؤثر در ایجاد آن‌ها استخراج گردید. اطلاعات تمام ترازهای جوی مؤثر با استفاده از نقشه‌های گویا و مناسب به‌صورت ترکیبی مورد تحلیل قرار گرفته و ویژگی‌های هم‌دیدگی و ترمودینامیکی بارش‌های ابرسنگین حوضه آبریز دز بررسی و الگوهای هم‌دیدگی منجر به طولانی شدن دوام سامانه‌ها بر روی حوضه آبریز و تأثیر آن بر دبی جریان‌ات شناسایی و ارائه گردید. هدف تحقیق شناسایی الگو یا الگوهای سامانه‌های بارشی بادوام در حوضه رودخانه دز بوده است. نتایج بررسی نشان داد وجود یک فرود عمیق در شرق دریای مدیترانه باعث ریزش هوای سرد اروپا در غرب این ناوه و همچنین انتقال رطوبت از دریای عرب و خلیج فارس در شرق آن شده است و شرایط ایجاد یک صعود از مهم‌ترین عناصر الگوی بارش سنگین و بادوام در حوضه می‌باشند. برنامه‌ریزی منابع آب، پیشگیری و اطلاع‌رسانی به‌موقع و کنترل و مهار سیلاب از نتایجی که می‌توان از این تحقیق انتظار داشت.

واژگان کلیدی: بارش سنگین، هم‌دیدگی، حوضه دز، سیل

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

سابقه مقاله: دریافت: ۲۶ فروردین ۱۴۰۱ اصلاح: ۵ خرداد ۱۴۰۱ پذیرش: ۱۰ خرداد ۱۴۰۱ چاپ الکترونیکی: ۰۱ شهریور ۱۴۰۱

استناد: بنی نعیمه، س، لشکری، ح، و نصر اصفهانی، م.ح. (۱۴۰۱). بررسی شرایط محیطی و گردشی رخداد بارش سنگین و بادوام حوضه دز، فناوری‌های پیشرفته در بهره‌وری آب، ۲(۲)، ۶۰-۴۶. شناسه دیجیتال: 10.22126/ATWE.2022.8057.1024



مقدمه

با توجه به اهمیت بارش برای کشور خشکی مانند ایران، تاکنون پژوهش‌های فراوانی درباره ویژگی‌های بارش ایران انجام گرفته است. با این حال هنوز ندانسته‌ها درباره این عنصر اقلیمی سرکش و متغیر فراوان است. در ایران، بارش یکی از متغیرهای اساسی برای ارزیابی موجودیت بالقوه منابع آب به شمار می‌رود. هرچند سرشتی تناوبی دارد، اما توزیع زمانی و مکانی آن بسیار ناموزون بوده و به همین دلیل توزیع منابع آب نیز از یکنواختی برخوردار نیست. نگهداری و مدیریت منابع آب نیز تابعی از بارش دریافتی بوده و هم به تغییرپذیری آن بستگی دارد. بنابراین هر چه تغییرات مکانی بارش کوچک‌تر باشد، همگنی و یکدستی منابع آب نیز بیشتر می‌شود (مسعودیان، ۱۳۸۵). تنوع منشأ بارش در نقاط مختلف ایران به همراه شرایط عرض جغرافیایی، دوری و نزدیکی به منابع رطوبت و غیره سبب می‌گردد تا رفتارهای بارش مانند شدت و تداوم نیز دارای تغییرات زمانی و مکانی باشند. به‌ویژه در مناطق جنوبی ایران که از بارش کمتری برخوردارند این تغییرات شدیدتر است. همچنین با بروز بارش‌های سیل‌آسا خسارات فراوانی را بر جای می‌گذارد از جمله بارش‌های ۱۵ اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۲ بیش از ۲۱۸ میلیارد ریال به بخش‌های مختلف استان بوشهر خسارت وارد کرده است، سیلاب یادشده ۱۱۹ میلیارد ریال به بخش کشاورزی شامل دام و طیور، باغی، زراعی، منابع آبی و ادوات کشاورزی خسارت وارد کرده است. (پژوه و جعفری، ۱۳۹۲).

با توجه به اهمیت بارش و تأثیر آن بر بخش‌های مختلف اقتصادی، کشاورزی، اجتماعی و این که نیاز به بررسی و شناسایی الگوهای هم‌دید بارش‌های منطقه مورد مطالعه برای استفاده در برنامه‌ریزی و مدیریت بهینه منابع آب، ضرورت انجام در این زمینه مشهود است. اکوسیستم‌ها و ساختارهای فیزیکی جوامع انسانی با شرایط اقلیمی بهنجار تنظیم شده‌اند و در زمان رخداد پدیده‌های حدی اقلیمی، به‌ندرت می‌توانند خود را تجهیز و آماده کنند. از این‌رو تغییرپذیری زمانی بارش به‌ویژه بارش‌های حدی دارای اثرات اقتصادی بسیاری است. این تغییرپذیری در مقیاس‌های مختلف، علت اصلی سیلاب‌ها و خشک‌سالی‌ها به حساب می‌آید (تسیویلی و زنگویل، ۲۰۰۵). حوضه آبریز دز یکی از مهم‌ترین حوضه‌های آبی کشور است آب جمع‌آوری شده از این حوضه نیاز آبی بخش مهمی از کشور را تأمین می‌کند. بارش‌های رگباری از ویژگی‌های اصلی بارش‌های استان خوزستان و در کل نوار جنوبی کشور است با این‌همه گاهی این بارش‌ها در غالب رگبارهای بسیار شدید نازل می‌شود که منجر به رواناب‌های سطحی مهیب و سیلاب‌های مخرب می‌گردد. که گاه سدها و بندهای مسیر خود را تهدید کرده و خسارت‌های جانی و مالی و زیست‌محیطی فراوانی را در پی دارد. این سیل‌های مهیب زمانی که سامانه بارشی برای مدت طولانی بر روی حوضه تداوم پیدا می‌کند بسیار سهمگین و مخرب می‌گردند. هدف از انجام این تحقیق شناسایی و واکاوی هم‌دید و دینامیکی شدیدترین و بادوام‌ترین بارش‌ها و آشکارسازی و معرفی الگوهای هم‌دید منجر به این سامانه‌های بارشی سیل‌آسا و بادوام و بررسی ارتباط این‌گونه بارش‌ها با رواناب در حوضه دز در استان خوزستان است.

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

از دسته مطالعات در جهان مطالعه متوسط تداوم بارش‌های سنگین و شدید در آفریقای جنوبی را بین ۵ تا ۶ روز می‌داند. (کریمپ و ماسون، ۱۹۹۹) در مدیترانه و به‌ویژه در مناطق با اقلیم خشک، رخدادهای بارش معمولاً کمتر از پنج روز ماندگاری دارند (پاز و کتیل، ۲۰۰۳). (نیشی یاماؤ همکاران، ۲۰۰۷) در زمینه شناخت الگوهای سینوپتیک منجر به بارش‌های سنگین در فصل بارندگی در ژاپن است. آن‌ها فرض را بر این گذاشتند که الگوهای سینوپتیک توسط نقشه‌های باد در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال و آب قابل بارش می‌توانند به‌سادگی آشکار شوند و این نقشه‌ها را خود سازمان یافته نامیدند. ایشان با استفاده از این نقشه‌ها و فن‌های خوشه‌ای الگوهای سینوپتیک بارش‌های سنگین را به ۸ خوشه تقسیم کردند و به این نتیجه رسیدند که این نقشه‌ها ابزار مؤثری برای آشکارسازی وقایع بارش‌های سنگین می‌باشند. همچنین پژوهش (لنا و همکاران، ۲۰۰۷) با عنوان الگوهای جوی به وجود آورنده بارش‌های سنگین جزایر بالریک واقع در شرق اسپانیا نمونه دیگری در این زمینه است.

¹ Tsvieli & Zangvil

² Crimp & Mason

³ Paz & Kutiel

⁴ Nishiyama et al

⁵ Lana et al

آن‌ها در مجموع ۱۵۷ روز بارش بیش از ۶۰ میلی‌متر مشخص کردند که از این تعداد بارش ۵۰ در صد در فصل پاییز رخ داده بود و تقریباً ۸۷ درصد بارش‌های سنگین در زمانی رخ داده بود که یک مرکز چرخندی در شعاع ۶۰۰ کیلومتری جزیره واقع شده بود. ارتباط بین رخداد بارش‌های سنگین مداوم در دره رودخانه هاوایی و توزیع الگوی فعالیت‌های همرفتی حاره‌ای غرب اقیانوس آرام از داده‌های بارش روزانه ۷۳۰ ایستگاه استفاده شده و ۹ رویداد بارش سنگین و مداوم با تداوم بیش از ۵ روز در دوره ۲۰۰۶-۱۹۷۹ شناسایی و بررسی گردیده است (مینگ، ۲۰۰۸).

(کانواس و همکاران، ۲۰۱۹) در تحلیل ارتباط بین طبقه‌بندی الگوی های گردشی جو و بارش‌های روزانه در منطقه پائین در شمال بارسلونای اسپانیا به این نتیجه رسیدند که طی دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۶۱ روند بارش طی دوره به‌طور معناداری کاهش یافته است که این کاهش منطبق بر تغییر نوع سامانه‌های جوی طی دوره آماری است. در طی سال‌های پربارش نیز، کم‌فشار ایسلند در تراز دریا و ناوه‌های عمیق تراز میانی جو نقش مهمی را ایفا می‌کرد. تحلیل روند و تمرکز بارش در منطقه ساردانیا در غرب ایتالیا توسط (کالوئرو و همکاران، ۲۰۱۹) نشان از کاهش بارش ماه‌های زمستان و یک افزایش در ماه‌های تابستان طی دوره ۲۰۱۷-۱۹۴۵ مشاهده می‌شود. همچنین توزیع بارش‌های یکنواخت در طی سال افزایش معناداری نشان می‌دهد و روند نیز به‌طور معناداری طی دوره آماری کاهش یافته است. در کشورمان نیز مطالعاتی در زمینه بررسی هم‌دید امواج بارشی بادوام و سنگین و مدل‌سازی سیل‌خیزی حوضه‌های آبریز انجام شده است که می‌توان به پژوهش (لشکری، ۱۳۸۱) اشاره کرده. ایشان با بررسی‌های انجام شده بر روی ۲۰ سامانه بارشی در یک دوره آماری ۲۰ ساله نشان داد که سامانه‌های سودانی با توجه به الگوهای سینوپتیکی از پنج مسیر عمده وارد ایران شده و باعث بارندگی می‌شوند. به طوری‌که در دو مسیر به‌صورت ادغامی با چرخندهای مدیترانه‌ای و در سه مسیر دیگر به‌صورت مستقل وارد کشور می‌شوند. در مقاله‌ای دیگر توسط (لشکری، ۱۳۸۲) به بررسی کم‌فشار سودانی و نقش آن در بارش‌های جنوب و جنوب غرب ایران پرداخته است. وی سامانه کم‌فشار سودانی را به‌عنوان یکی از عناصر سازنده گردش عمومی جو در شمال آفریقا معرفی می‌کند که در بیشتر ایام سال بر روی غرب اسیایی و کشور سودان تشکیل می‌شود و چهار الگوی کلی ناشی از نحوه آرایش سامانه‌های سیبری، و اچ‌رند شمال آفریقا و شبه‌جزیره عربستان و ناوه شمال آفریقا و کم‌فشار سودان در سطح‌های زیرین و میانی جو، منجر به رخداد بارش‌های سنگین در جنوب و جنوب غرب ایران می‌شوند. در گیاهیان و علیجانی (۱۳۹۲) در مطالعه اثر بن‌دال بر رخداد برف‌های سنگین و بادوام ایران نشان دادند که در بین الگوهای مؤثر بر بارش، تنها الگوی بن‌دال امگا تراف سمت راست منجر به بارش برف مداوم و سنگین می‌شود و ریزش هوای سرد از عرض‌های بالا سبب تقویت سامانه بارشی شده و فراهم بودن سایر شرایط سینوپتیکی لازم، منجر به ریزش برف مداوم و سنگین شده است. در گیاهیان و همکاران (۱۳۹۳) در بررسی الگوهای فشار مرتبط با بن‌دال‌های مؤثر در رخداد بارش‌های مداوم و سنگین در ایران طی دوره ۲۰۱۲-۱۹۵۳ نشان دادند که از ۷ الگو ۴ الگو بر بارش ایران مؤثر بودند. دو الگوی فشار ناشی از تراف سمت راست و چپ امگا بودند. دو الگوی فشار دیگر مؤثر بر بارش، یعنی الگوی بن‌دال دوقطبی و رکس، به ترتیب از فراوانی رخداد کمتری برخوردار هستند. مسعودیان و کارساز (۱۳۹۳) به بررسی و تحلیل هم‌دید الگوهای ضخامت بارش‌های سنگین ناحیه زاگرس جنوبی پرداختند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که فرود منتهی‌الیه شرق دریای مدیترانه با کمی تغییر موقعیت در جنوب غرب ایران و منطقه کژفشاری شدیدی را ایجاد نموده که در رخداد بارش‌های سنگین این منطقه نقش اساسی دارند. محمودآبادی و همکاران (۱۳۹۵) نقش کم‌فشار سودانی در تراز دریا و بن‌دال دوقطبی در تراز میانی تروپوسفر را در رخداد بارش‌های سیلابی فروردین ۱۳۹۲ در نیمه جنوبی ایران را حائز اهمیت می‌دانند. ذکی زاده و همکاران (۱۳۹۷) نیز استقرار رودباد با سرعت ۶۵ متر بر ثانیه در تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال در نیمه جنوبی ایران به همراه تشکیل ناوه سردچالی بر روی خزر را دلیل رخداد بارش‌های سنگین و فراگیر در ایران دانسته‌اند. زایل عباسی و اثمیری سعدآباد (۱۳۹۱) در بررسی آماری مشخصات بارندگی و دما در شهرستان بندرلنگه نشان دادند که در طی دوره آماری ۱۹۶۶-۲۰۰۰ بارندگی فصل بهار و تابستان روند کاهشی و فصل‌های پاییز و زمستان روندی افزایشی داشته است. توزیع فصلی بارش فصلی بندرلنگه طی دوره فوق از بهار تا تابستان به ترتیب ۲، ۷، ۲۱ و ۷۰ درصد از بارش سالانه است. نگارش و همکاران (۱۳۹۱) در بررسی تغییرات

¹ Ming

² Canovas et al

³ Caloiero et al

بارش سقز در دوره ۱۹۶۱-۲۰۰۵ نشان دادند که فراوانی روزهای بارش در آستانه ۱ تا ۲۰ میلی‌متر کاهش یافته ولی در آستانه بزرگ‌تر از ۲۵ میلی‌متر افزایش یافته است.

روش پژوهش

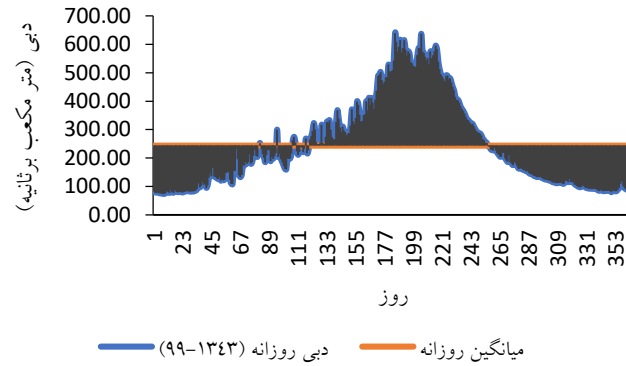
منطقه مورد مطالعه ایستگاه‌های سینوپتیک و باران‌سنجی واقع در زیر حوضه دز است موقعیت منطقه مورد مطالعه در عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۴۴ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۴۱ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۴۰ دقیقه طول شرقی قرار دارد. حوضه آبی رودخانه دز جزئی از حوضه کارون بزرگ است. این حوضه در واقع اولین حوضه آبی ایران است که در چارچوب مدیریت نوین منابع آب در دهه ۱۳۳۰ مورد توجه قرار گرفت. در اواخر دهه ۱۳۳۰ و اوایل دهه ۱۳۴۰ با احداث سد مخزنی دز و ایجاد نیروگاه برق-آبی وارد فاز بهره‌برداری در بخش کشاورزی و تولید انرژی شد. رژیم بارشی زمستانه و خشک فصل گرم سال باعث شده است این حوضه دارای آب و هوایی سیلابی باشد. بدین معنی حجم بالایی بارش‌های سالانه طی یک یا دو توفان در منطقه رخ دهد و همین امر موجب شکل‌گیری سیلاب‌های بزرگ گردد. برای بررسی دقیق‌تر وضعیت سینوپتیکی بارش‌های سنگین در حوضه رودخانه دز از دو روش آماری و سینوپتیکی بهره‌برداری شد. در بخش آماری از تحلیل عاملی که یکی از روش‌های آماری پرکاربردی در اقلیم‌شناسی است استفاده گردید و در قسمت سینوپتیکی نیز با استفاده از نرم‌افزار گرادس برای روزهای مشخص شده نقشه‌های سطوح مختلف جوی استخراج و این نقشه مورد تجزیه و تحلیلی قرار گرفتند. برای تحلیل همیدی و الگو یابی سامانه‌های غالب در بارش‌های سنگین از شاخص تحلیل عاملی و بررسی چشمی استفاده شد. برای تحلیل همدید، نقشه‌های سطوح مختلف جو تهیه و ترسیم و تحلیل گردید. که هر کدام از این نقشه‌ها یک یا چند عامل را بیان می‌کند. به منظور بررسی سیلاب‌های حوضه دز از دیدگاه اقلیم‌شناسی همدید دبی‌های روزانه ایستگاه تله زنگ به عنوان ورودی رودخانه دز در دوره آماری ۱۳۴۳-۹۹ با توزیع آماری نرمال‌سازی گردید و سپس سیلاب‌ها با بالاترین مقدار مثبت (Z) انتخاب شدند. برای استاندارد کردن داده‌ها از رابطه (۱) استفاده گردیده است:

$$SFI = \frac{X_{iF} - \bar{X}_F}{S_D} \quad (1)$$

در این رابطه:

SFI : شاخص استاندارد سیلاب، X_{iF} : دبی روزانه، \bar{X}_F : متوسط دبی روزانه، S_D : انحراف معیار دبی روزانه است.

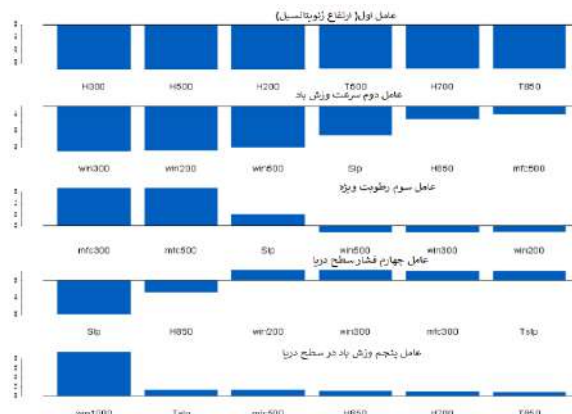
هیدرو گراف ساعتی سیلاب منتخب ترسیم و ضمن بررسی شرایط هیدرولوژی و اقلیمی بارش‌های منجر به سیلاب شرایط همدید سیلاب بررسی گردید. تحلیل هیدرو گراف روزانه رودخانه دز در ایستگاه تله زنگ نشان داد که میزان آورد این رودخانه به عنوان ورودی سد دز ۲۴۴ مترمکعب بر ثانیه طی دوره ۱۳۴۳-۹۹ است. تقویم زمانی آبدهی رودخانه دز نشان می‌دهد که کمترین میزان آبدهی در مهرماه بین ۷۳ تا ۷۹ مترمکعب بر ثانیه است. این روند با کاهش دما، کاهش مصرف آب کشاورزی در حوضه‌های بالادست و شروع بارندگی‌های منطقه از اواخر مهرماه روند افزایشی گرفته و از اواسط آذرماه میزان آبدهی به بالاتر از میانگین سال (۲۴۴ مترمکعب بر ثانیه) می‌رسد. این روند تا پایان بهمن ادامه داشته تا اینکه از اواخر اسفندماه تا اوایل فروردین به بالاترین مقدار خود (بین ۵۰۰ تا ۶۰۰ مترمکعب) رسیده سپس از اواسط خردادماه روند کاهشی آن شروع شده و در پایان شهریورماه به کمترین مقدار خود می‌رسد. آبدهی بلندمدت رودخانه از روز ۱۰۰ ام (۱۰ دی‌ماه) تا روز ۲۶۰ ام (۲۰ خردادماه) میزان دبی بیشتر از میانگین آبدهی سالانه است و از حدود ۲۰ ام خردادماه تا ۱۰ ام دی‌ماه میزان دبی از متوسط بلندمدت آبدهی رودخانه کمتر است. (شکل شماره ۱)



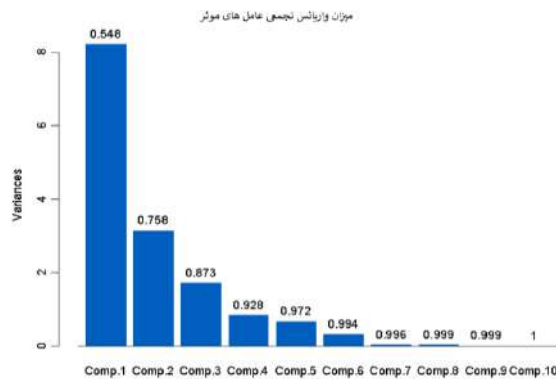
شکل ۱. هیدرو گراف روزانه رودخانه دز ایستگاه تله زنگ (۹۹-۱۳۴۳)

جدول ۱. سیلاب مورد مطالعه در حوضه دز جهت تحلیل همدید مترمکعب بر ثانیه

تاریخ سیل شمسی	دبی سیلاب	سیلاب استاندارد شده
۱۳۷۱/۱۰/۱۷	۴۰۲۲	۵/۸



شکل ۲. عامل های اصلی جهت تحلیل سینوپتیک سیلاب های دز

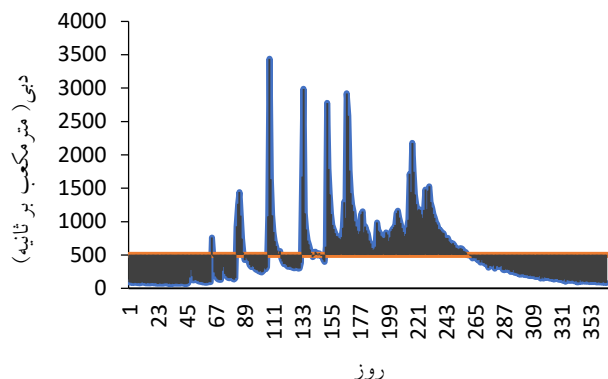


شکل ۳. واریانس تجمعی عامل های اصلی سینوپتیک سیلاب های حوضه دز

بین سامانه‌های فشار سطح زمین و ارتفاع ژئوپتانسیل ترازهای فوقانی روابط جالبی برقرار است که از روابط مذکور به‌منظور تحلیل دینامیک جو و شناسایی سامانه‌ها و پیش‌بینی هوا استفاده می‌شود. عموماً در عرض‌های میانه کم‌فشارها و پرفشارها در درون موج‌های غربی تولید شده و با حرکت موج جابجا شده و با تضعیف موج غربی از بین می‌روند. حرکت پادساعت‌گرد کم‌فشار یا سیکلون موجب واگرایی هوا و حرکت ساعت‌گرد و آنتی سیکلونی موجب حرکت همرفتی یا همگرایی هوا می‌شود. حدفاصل بین کم‌فشار و پرفشار در تراز فوقانی جو (۵۰۰ هکتوپاسکال) محل عبور محور ناوه است. همیشه حرکت هوا از پرفشار به‌سوی کم‌فشار است. تراز 500 هکتوپاسکال، تراز میانه تروپوسفر را تشکیل می‌دهد. این تراز به‌خوبی کنترل‌کننده جریان‌های بالاسو و پایین‌سوی لایه‌های زیرین خود است. در عرض‌های میانه بخش بالایی ابر (ابره‌ای پوششی) و در سامانه‌های همرفتی، این تراز بخش اصلی ابرهای جوشی کمولونیمبوس‌ها و استراتوکمولوس‌هاست. ملاحظه می‌شود که در این تراز نیز ناوه ارتفاعی عمیقی از مرکز کم ارتفاع بریده شمال اروپا با راستای شمالی-جنوبی بخش شرقی دریای مدیترانه و شرق صحرای آفریقا را در بر گرفته است. انتهای این ناوه سرد تا جنوب سودان امتداد یافته است. وجود این ناوه سرد در تراز میانی تروپوسفر، نیمرخ قائم جو را به‌شدت کژفشاری کرده است. پربندهای نصف‌النهاری بر روی جنوب غرب و جنوب ایران، تاوایی مثبت را بر روی دریای عرب و عمان تزریق کرده است. همچنان شاهد استقرار واچرخند عربستان و تشدید همگرایی و فرونشینی بر روی آب‌های این منطقه هستیم.

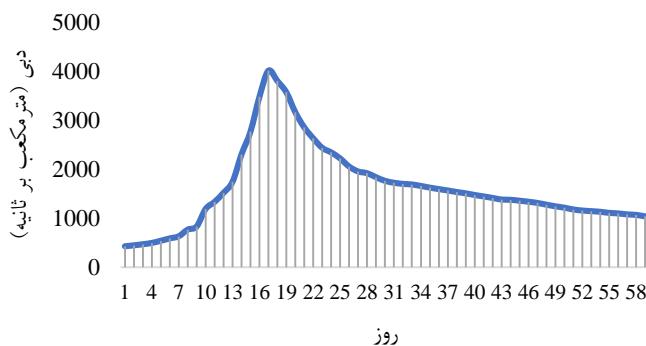
یافته‌ها

سال آبی ۷۲-۱۳۷۱ یکی از پرآب‌ترین سال‌های آبی ایران در دوره ۱۴۰۰-۱۳۴۳ است. متوسط آبدهی این سال رودخانه دز برابر با ۵۰۳ مترمکعب بر ثانیه کمی بیش از دو برابر آبدهی بلندمدت ۲۴۴ مترمکعب بر ثانیه است (شکل شماره ۴). بر اساس شاخص سیلاب استاندارد، سال ۱۳۷۱ دارای چندین سیلاب است که سیلاب ۱۸ ام دی‌ماه با دبی ۴۰۲۲ مترمکعب بر ثانیه و مقدار استاندارد (SFI=۷) بزرگ‌ترین آن‌ها است. هیدروگراف‌های ساعتی سیلاب منتخب ترسیم و ضمن بررسی شرایط هیدرولوژی و اقلیمی بارش‌های منجر به سیلاب شرایط همدید هر سیلاب بررسی گردید. تحلیل هیدروگراف روزانه رودخانه دز در ایستگاه تله‌زنگ نشان داد که میزان آورده این رودخانه به‌عنوان ورودی سد دز ۲۴۴ مترمکعب در ثانیه طی دوره ۹۹-۱۳۴۳ است. تقویم زمانی آبدهی رودخانه دز نشان می‌دهد که کمترین میزان آبدهی در مهرماه بین ۷۳ تا ۷۹ مترمکعب بر ثانیه است. این روند با کاهش دما، کاهش مصرف آب کشاورزی در حوضه‌های بالادست و شروع بارندگی‌های منطقه از اواخر مهرماه روند افزایشی گرفته و از اواسط آذرماه میزان آبدهی به بالاتر از میانگین سال (۲۴۴ مترمکعب بر ثانیه) می‌رسد. این روند تا پایان بهمن ادامه داشته تا اینکه از اواخر اسفندماه تا اوایل فروردین به بالاترین مقدار خود (بین ۵۰۰ تا ۶۰۰ مترمکعب) رسیده سپس از اواسط خردادماه روند کاهشی آن شروع شده و در پایان شهریورماه به کمترین مقدار خود می‌رسد. آبدهی بلندمدت رودخانه از روز ۱۰۰م (۱۰ دی‌ماه) تا روز ۲۶۰م (۲۰ خردادماه) میزان دبی بیشتر از میانگین آبدهی سالانه است و از حدود ۲۰ ام خردادماه تا ۱۰ ام دی‌ماه میزان دبی از متوسط بلندمدت آبدهی رودخانه کمتر است. جهت بررسی سیلاب‌های مذکور آب نمود روزانه دبی سال آبی ۷۲-۱۳۷۱ ترسیم گردید. آب نمود سال آبی مذکور از جمله آب نموده‌ای چند قله‌ای در حوضه کارون بزرگ است که مقادیر دبی آن برای اولین بار در ایستگاه پایاب حوضه در طی سال‌های آماری به ثبت رسیده است.



شکل ۴. هیدرو گراف روزانه ایستگاه تله زنگ سال آبی ۱۳۷۱-۷۲

بررسی بارش‌ها و هیدرو گراف ساعتی ایستگاه تله زنگ نشان می‌دهد که بارش تجمعی در سه ایستگاه تنگ پنج بختیاری، تله زنگ و کشور در طول بارش‌های منجر به افزایش دبی روزانه و دبی لحظه‌ای ایستگاه تله زنگ به ترتیب برابر با ۲۷۲، ۱۷۳ و ۱۴۳ میلی‌متر بوده است. مدت‌زمان تداوم سیلاب نیز حدود ۶۰ ساعت بوده است که بعد از ۱۷ ساعت تداوم به ثبت رسیده است (شکل ۵).

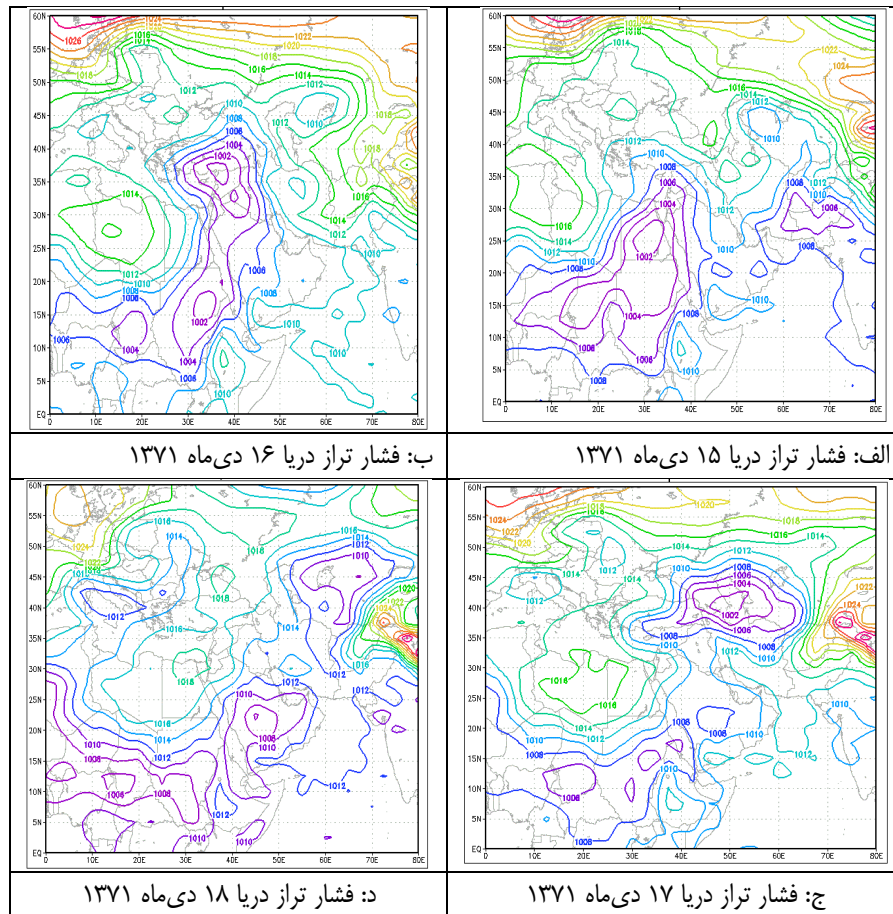


شکل ۵. هیدرو گراف سیلاب ۱۳۷۱/۱۰/۱۷ ایستگاه تله زنگ

فشار تراز دریا:

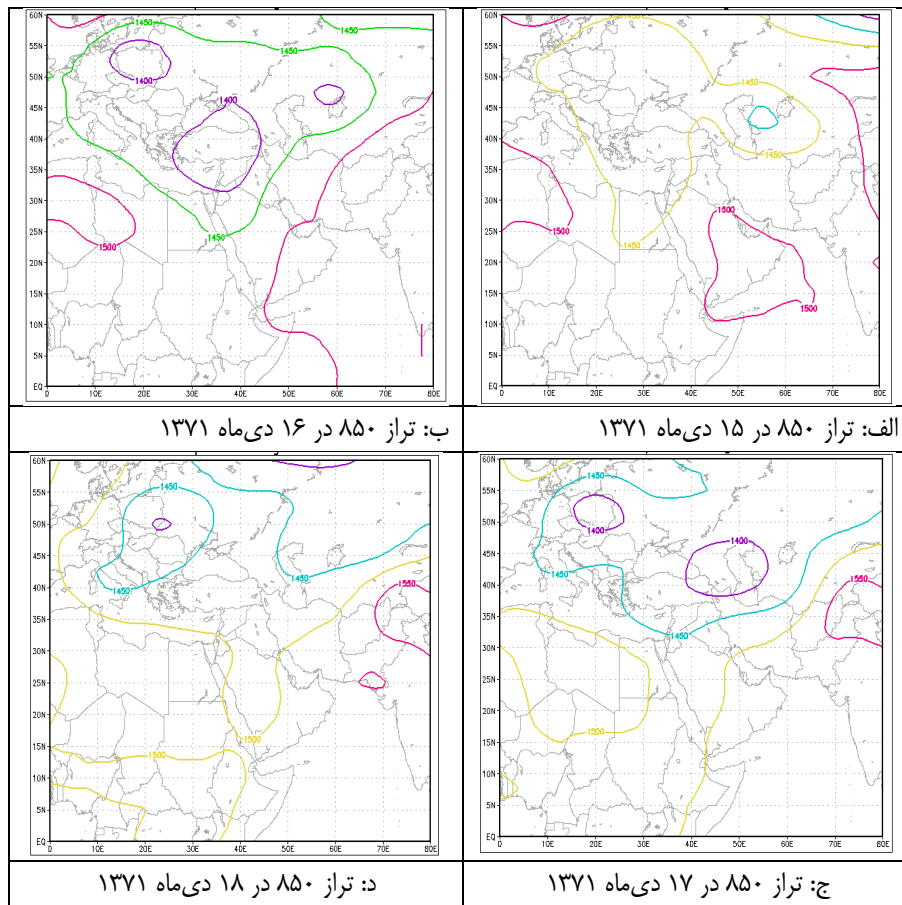
شکل ۶ (الف تا د) شرایط سینوپتیکی حاکم در فشار سطح دریا را در یک شبانه‌روز قبل از وقوع سیلاب و بارش (۱۵ ام دی‌ماه ۱۳۷۱) را نشان می‌دهند. همان‌طور که بر روی نگاره‌های ترسیمی مشاهده می‌شود روز ۱۶ ام دی‌ماه (شکل شماره ۷) دو سیستم پرفشار در نقشه قابل‌مشاهده است. سیستم پرفشار با منحنی همبسته ۱۰۱۶ هکتوپاسکال بر روی شمال غربی آفریقا و غرب ایتالیا قرار گرفته (آزورس) و پرفشار دیگری با منحنی هم‌فشار ۱۰۳۴ هکتوپاسکال بر روی سیبری واقع گردیده است. علاوه بر آن یک کم‌فشار با منحنی هم‌بسته ۱۰۰۲ هکتوپاسکال بر روی غرب و جنوب غربی دریای سرخ قرار دارد. بنابراین الگوی مکانی سامانه‌های فشار سطح دریا ایجاد یک پشته (ریج) در منطقه تفکیک‌شده را به‌خوبی نشان می‌دهد که در روزهای ۱۶ و ۱۷ دی‌ماه به‌صورت آشکارتری بر روی نقشه‌ها مشخص شده است. در روز دوم، همین الگو به سمت شرق حرکت نموده و کم‌فشار آن تا شرق دریای مدیترانه کشیده شده و محدوده وسیع‌تری را در بر گرفت‌هاست در روز هفتم ژانویه این سامانه بر

روی منابع رطوبتی دریای عرب، خلیج فارس و تا حدودی دریای عمان را شامل شده و همین الگو باعث شار رطوبتی مناسب بر روی منطقه جنوب غربی ایران، ارتفاعات زاگرس و حوضه‌های آبی کرخه و دز و ریزش بارش سنگین و رخداد سیلاب گردیده است.



شکل ۶. نقشه‌های فشار تراز دریاتراز ۸۵۰ هکتوپاسکال

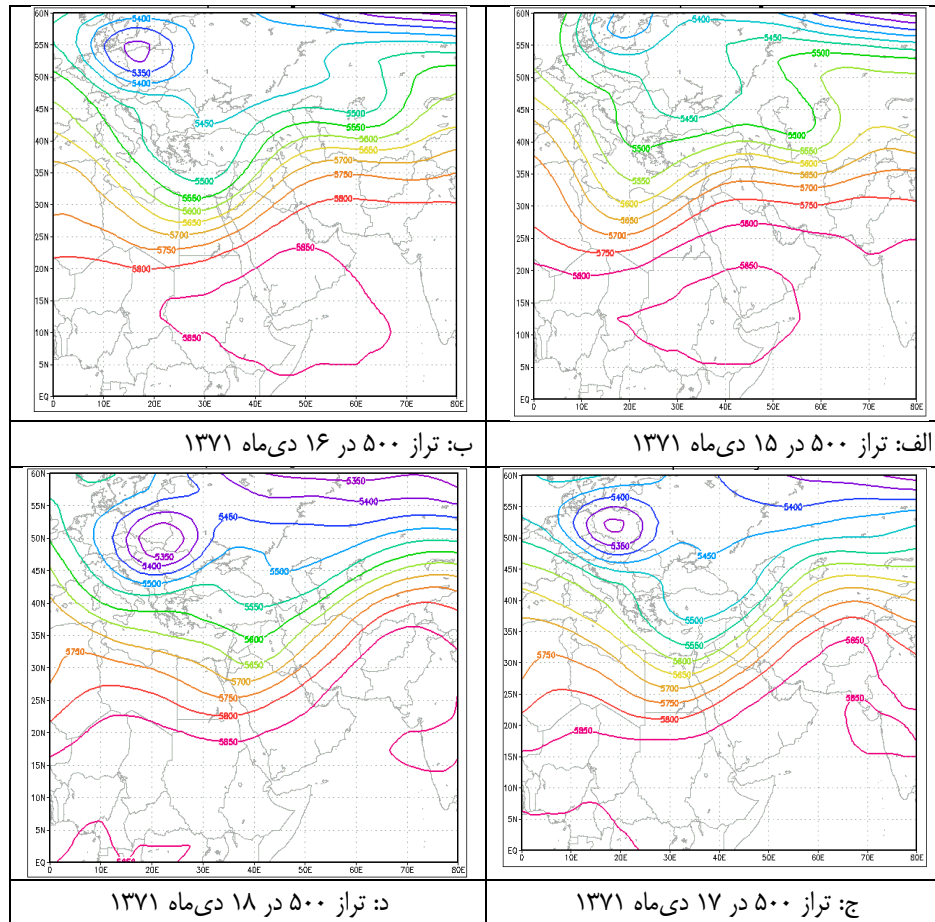
شکل ۷ (الف تا د) تغییرات مکانی تراز نقشه تراز ۸۵۰ هکتوپاسکالی در ۱۵ ام تا ۱۸ ام دی ماه ۱۳۷۱ را نشان می‌دهد. الگوی ارتفاعی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال نشان می‌دهد که یک مرکز کم ارتفاع با پربندی ۱۱۴۵۰ ژئوپتانسیل متر از روی اروپا و دریای مدیترانه تا شمال دریای سرخ امتداد یافته و در واقع بیانگر ریزش هوای سرد عرض‌های شمالی بر روی غرب خاورمیانه است. در این روز پربند ۱۵۰۰ ژئوپتانسیل متر به صورت کماتی پهنه‌های آبی دریای عرب و جنوب شبه جزیره عربستان را در بر گرفت‌هاست. در روزهای ششم و هفتم ژانویه الگوی پربندی روز گذشته تقویت شده و پربند ۱۴۵۰ ژئوپتانسل متر ضمن کاهش ارتفاع تا میانه دریای سرخ امتداد یافته و از نظر طول جغرافیایی نیز از غرب اروپا تا شرق روسیه را در بر گرفته و نفوذ بیشتر هوای سرد به منطقه و ریزش آن بر روی آب‌های گرم را نشان می‌دهد (مؤید شکل گیری جبهه قطبی) این الگوی مکانی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال تا پایان بارش‌ها تقویت شده و پس از آن در روز ۱۸ ام دی ماه تضعیف گردیده است.



شکل ۷. نقشه های تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال

تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

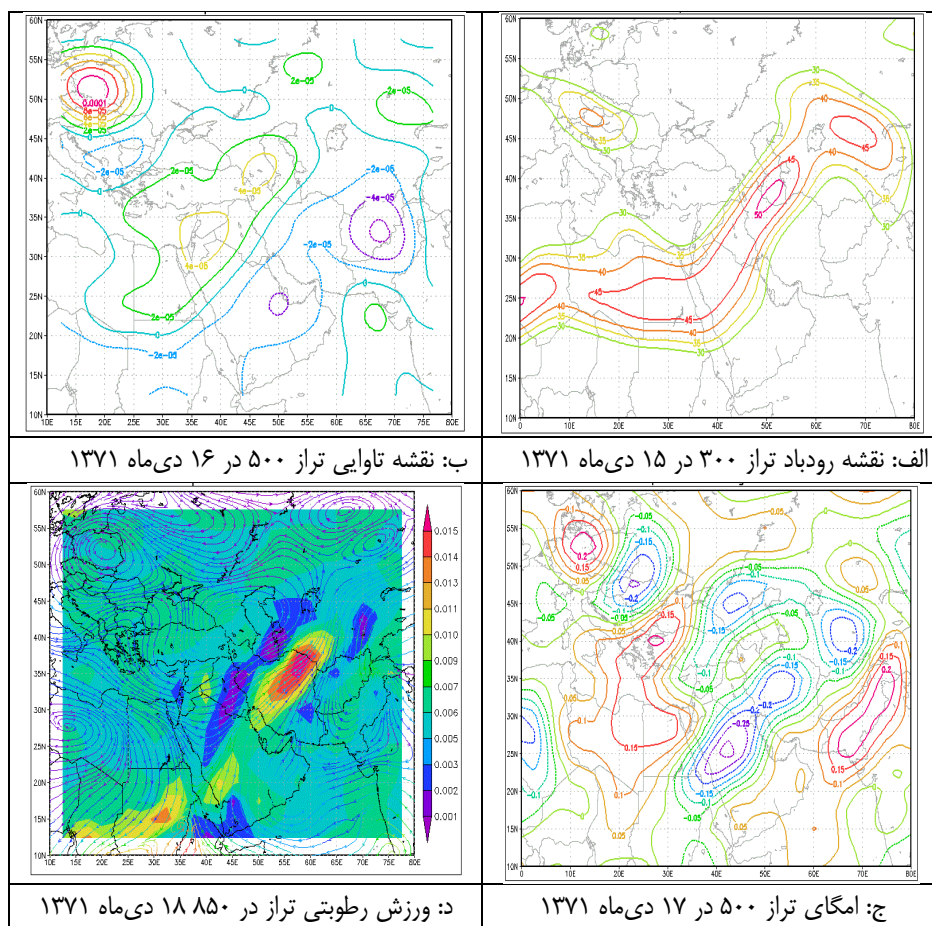
شکل ۸ (الف تا د) نقشه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (جو میانی) را نشان می دهند. الگوی سامانه های تراز ۵۰۰ هکتوپاسکالی نشان می دهد یک ناوه بر روی دریای مدیترانه و کشور لیبی شکل گرفته است. در این زمان مرکز پر ارتفاع ۵۸۵۰ ژئوپتانسیل متر بر روی خلیج عدن و شمال شرقی آفریقا بسته شده است. این مراکز یادشده دقیقاً منطبق با مراکز فشار سطح زمین و هم چنین تراز ۸۵۰ هکتوپاسکالی هستند. پر ارتفاع ۵۸۵۰ ژئوپتانسیل متری شکل گرفته با توجه به موقعیت و قرارگیری می تواند نقش مهمی در انتقال هوای گرم و مرطوب به داخل سامانه های سودانی ایجاد نماید. با توجه به جهت جریانات به سمت ایران و منطقه مورد مطالعه حالت پایداری در این روز حاکم است. در روز ۱۶ ام دی ماه ناوه شکل گرفته در روز قبل عمیق تر شده و با مرکزیت ۵۳۰۰ ژئوپتانسیل متر به صورت یک سرد چال بر روی اروپای مرکزی و شمالی قرار گرفته است. زبانه های این ناوه با عبور از نواحی شمالی اروپا وارد دریای مدیترانه شده و سبب ریزش هوای سرد عرض های بالاتر و مناطق قطبی به این مناطق شده است. با حرکت ناوه به سمت مرزهای ایران شاهد ناپایداری در غرب ایران گردیده و بارش ها در منطقه مورد مطالعه کم کم آغاز گردیدند. در روز ۱۷ ام دی ماه ناوه به سمت شرق حرکت کرده و محور آن بین ۲۸ تا ۳۳ درجه شرقی قرار گرفته است. عمیق تر شدن ناوه و نزدیک شدن آن به مرزهای غربی ایران و منطقه مورد مطالعه سبب ایجاد ناپایداری های شدید شده است.



شکل ۸. نقشه‌های تراز ۵۰۰ میلی بار

رودباد، تاوایی و نم ویژه

برای بررسی نقشه رودباد، تاوایی و نم ویژه با توجه به یکسان بودن نتایج عملگرها نقشه‌ها در روز اوج بارش‌ها ۱۷ ام دی ماه بررسی شدند. نگاره‌های (۹ الف تا د) وضعیت رودبادها، امگا، تاوایی و جریان‌های هوا در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و نم ویژه در تراز ۸۵۰ را نشان می‌دهند. نگاره (۹-الف) موقعیت رودباد جبهه قطبی و جنب حاره را نشان می‌دهد. هسته رودباد با جهت جنوب غربی-شمال شرقی از غرب دریای سرخ تا شرق دریای خزر کشیده شده و هسته مرکزی آن با خطوط هم سرعت ۵۰ متر بر ثانیه است. در رودباد منطقه مورد مطالعه در سمت چپ خروجی رودباد قرار گرفته است که این محدوده محل واگرایی سطح بالایی و همگرایی سطوح میانی بوده و باعث تشدید صعود می‌گردد. در روز حداکثر رخداد بارش‌ها و سیلاب (۱۷ ام دی ماه) حداکثر تاوایی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال بر روی منطقه مورد مطالعه وجود داشته است. بیشترین میزان تاوایی بر روی غرب ایران واقع شده و کمترین میزان امگا با مقدار منفی (۰/۳- پاسکال بر ثانیه) که نشان‌دهنده وجود جریان‌های صعودی و تغذیه مناسب سامانه سینوپتیک از نظر رطوبت است روی منطقه قرار دارد. در این روز به جز جنوب شرق ایران مقدار امگایی بر روی ایران به‌ویژه زاگرس منفی است. همچنین نگاره (۷-د) نشان می‌دهد که جهت جریان‌های جوی و شارهای رطوبتی از دریای مدیترانه، دریای سرخ، خلیج فارس، دریای عرب و شمال اقیانوس هند روی ایران به‌ویژه غرب ایران متمرکز است.



شکل ۹. نقشه‌های رودباد، تاوایی و نم ویژه

بحث

با توجه به ریزش هوای سرد و الگوهای تغییرات مکانی، مراکز کم‌فشار شرایط را جهت تشدید شار رطوبتی به سیستم بارشی فعال مهیا می‌کنند. در روز ۱۸ ام دی ماه مراکز پرفشار تضعیف‌شده و الگوی مکانی مراکز فشار تراز دریا توان تغذیه رطوبتی را نداشته و بارش‌ها عملاً کاهش یافته‌اند. الگوی مکانی و گسترش جغرافیایی موجب ریزش هوای سرد عرض‌های شمالی بر روی منطقه جنوبی (محدوده دریای مدیترانه، دریای سرخ و خلیج فارس) گردیده و همین الگو باعث شدت گرفتن جبهه قطبی و تقویت منابع رطوبتی گردیده است. این پدیده به‌خوبی در نقشه نم ویژه و جریان‌های جوی و جهت جریان آن‌ها به‌خوبی دیده می‌شوند. همچنین شرایط لایه‌های سطح زمین و انتقال هوای گرم توسط پر ارتفاع عربستان باعث گردیده که بارش‌ها در منطقه مورد مطالعه شدید و رگباری شوند و بارش باران در اکثر ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه اتفاق بیوفتد.

نتیجه‌گیری

بررسی سینوپتیک نقشه‌های ترازهای مختلف نشان داد که در دوره بارش و رخداد سیلاب دی ماه ۱۳۷۱ شرایط الگوهای فشار تراز دریا (پرفشار و کم‌فشار)، کم ارتفاع تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال و ۵۰۰ هکتوپاسکال (ریزش هوای سرد از عرض‌های بالا) و استقرار آن روی پهنه‌های آبی (مدیترانه، دریای سرخ، خلیج فارس و دریای عربی) و جریان رطوبت شمال سو از این پهنه‌های آبی، استقرار رودبادها، بالا بودن میزان تاوایی و منفی بودن مقدار امگا بر روی منطقه و همچنین تشدید فرایند صعود توسط ارتفاعات زاگرس به‌ویژه در دامنه‌های غربی (کوه بارشی) شرایط محیطی و گردشی جهت رخداد بارش سنگین و تداوم آن فراهم بوده است. الگوهای سینوپتیک قبل و هنگام بارش سنگین در منطقه و مناطق تأثیرگذار هم‌جوار

از جمله شاخص‌های مهم برای مقایسه است. در اغلب الگوهای استخراجی این تحقیق یک فرود عمیق در شرق دریای مدیترانه و امتداد آن تا شمال دریای سرخ در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال تشکیل می‌شود که باعث ریزش هوای سرد شمال اروپا به سمت جنوب می‌گردد و از طرف دیگر در شرق این ناهه یا فرود عمیق هوای گرم و مرطوب از جنوب به شمال حرکت می‌کند این الگو مهم‌ترین عامل و بیشترین سهم را در بارش‌های سنگین و بادوام منطقه مورد مطالعه دارد که منطبق با یافته‌های حسن سینایی (سال ۱۳۹۷)، کرامت هاشمی عنا (سال ۱۳۸۸)، نساء سپندار (سال ۱۳۹۹)، عاطفه میر مریدی (سال ۱۳۹۹) است.

تقدیر و تشکر

از سازمان آب و برق خوزستان دفتر پژوهش‌های کاربردی و دانشگاه شهید بهشتی و دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز که اطلاعات مورد نیاز این پژوهش را در اختیار نویسندگان قرار دادند، سپاسگزاری می‌گردد.

منابع

- پژوه، فرشاد، و جعفری، فرزانه. (۱۳۹۹). واکاوی همدید بارش‌های سیل آسا و مخاطره آمیز غرب و جنوب غرب ایران در دهه اول فروردین ۱۳۹۸. فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی، ۲۹(۱۱۴): ۱۸۴-۱۶۵. <https://www.doi.org/10.22131/sepehr.2020.44600>
- سپندار، نساء، و امیدوار مظفری مزیدی، کمال. (۱۴۰۰). واکاوی ارتباط بین بارش‌های سنگین جنوب و جنوب غرب ایران با رودخانه‌های جوی (ARS) . تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۲۱(۶۱): ۲۹۵-۳۱۴. <http://dx.doi.org/10.52547/jgs.21.61.295>
- سینایی، حسن، سلیقه، محمد، و اکبری، مهری. (۱۴۰۱). بررسی بارش‌های حدی و نقش رودبادهای در آن - مطالعه موردی: جنوب غرب ایران. فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی «سپهر»، ۳۱(۱۲۱): ۱۸۹-۱۷۷. <https://www.doi.org/10.22131/SEPEHR.2022.252777>
- لشکری، حسن. (۱۳۸۱). مسیر یابی سامانه‌های کم فشار سودانی ورودی به ایران. مجله مدرس علوم انسانی، ۶ (۲)، ۱۵۶-۱۳۳. <http://hsmmp.modares.ac.ir/article-21-2111-fa.html>
- لشکری، حسن. (۱۳۸۲). مکانسیم تکوین، تقویت و توسعه مرکز کم فشار سودان و نقش آن بر بارش‌های جنوب و جنوب غرب ایران. پژوهش‌های جغرافیایی، ۳۵(۳). https://jrg.ut.ac.ir/article_10765.html
- مسعودیان، سید ابوالفضل. (۱۳۸۵). مرزبندی مناطق آبی ایران به کمک شاخص آشفتگی بارش. مجله پژوهشی علوم انسانی دانشگاه اصفهان (ویژنامه جغرافیا)، ۲۰، ۱، ۱۴-۱. <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=54251>

References

- Caloiero, T., Coscarelli, R., & Pellicone, G. (2019). Trend Analysis of Rainfall Using Gridded Data over a Region of Southern Italy. *Water*, 13(16), 2271. <https://doi.org/10.3390/w13162271>
- Crimp, S. J., & Mason, S. J., (1999). the extreme precipitation event of 11 to 16 February 1996 over South Africa, *Meteorol. Atmos. Phys.* 70, 29 -42. <https://doi.org/10.1007/s007030050023>
- Lana, A., Campins, J., Genovés, A., & Jansà, A. (2007). Atmospheric patterns for heavy rain events in the Balearic Islands, *Adv. Geosci.*, 12, 27-32. <https://doi.org/10.5194/adgeo-12-27-2007>
- Lashkari, H. (1382). Mechanism of formation, strengthening and development of low pressure center in Sudan and its role on rainfall in south and southwest of Iran. *Geographical Research Quarterly*, 35(3). https://jrg.ut.ac.ir/article_10765.html [In Persian]
- Lashkari, H. (2002). Tracking Sudanese Low Systems Entering Iran. *MJSP*, 6 (2), 133-157. <http://hsmmp.modares.ac.ir/article-21-2111-fa.html> [In Persian]

- Lemus-Canovas, M., Lopez-Bustins, J., Trapero, L., & Martin-Vide, J. (2019). Combining circulation weather types and daily precipitation modelling to derive climatic precipitation regions in the Pyrenees. *Atmospheric Research*, 220, 181-193. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2019.01.018>
- Masoudian, S. (1385). Demarcation of Iran's water areas using rainfall disturbance index, *Isfahan University Humanities Research Journal (Geography Special)*, 20, 1, 1-14. <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=54251> [In Persian]
- Ming, B. (2008). Relationship Between Persistent Heavy Rain Events in the Huaihe River Valley and the Distribution Pattern of Convective Activities in the Tropical Western Pacific Warm Pool. *Advances in Atmospheric Sciences*, 25(2), 329–338. <https://doi.org/10.1007/s00376-008-0329-5>
- Nishiyama, K., Endo, S., Jinno, K., Uvo, C., Olsson, J., & Berndtsson, R. (2007). Identification of typical synoptic patterns causing heavy rainfall in the rainy season in Japan by a Self-Organizing Map. *Atmospheric Research*, 83, 185-200. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2005.10.015>.
- Paz, S., & Kutiel, H. (2003). Rainfall regime uncertainty (RRU) in an Eastern Mediterranean region a methodological approach. *Israel J. Earth Sci.* 52, 47-63. <http://dx.doi.org/10.1560/J8DJ-7VJC-CTD1-ME3H>
- Pazhoh, F., & Jafari, F. (2019). A synoptic analysis of heavy and hazardous rains in the west and southwest of Iran in the first decade of April 2018. *Scientific-Research Quarterly of Geographical Information*, 29(114), 165-184. <https://www.doi.org/10.22131/sepehr.2020.44600> [In Persian]
- Sepandar, N., & Omidvar, K. (2021). Investigation of the Relation between South and Southwest Iran's Heavy Rainfall with Atmospheric Rivers (ARs). *Jgs*, 21 (61), 295-314. <http://dx.doi.org/10.52547/jgs.21.61.295> [In Persian]
- Sinaei, H., Saliqe, M., & Akbari, M. (2022). Extreme precipitation and the role of jet streams - Case study: Southwestern Iran. *Scientific- Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 31(121), 177-189. <https://www.doi.org/10.22131/SEPEHR.2022.252777> [In Persian]
- Tsvieli, Y., & Zangvil, A. (2005). Synoptic climatological analysis of 'wet' and 'ry' Red Sea Troughs over Israel. *International Journal of Climatology*, 25, 1997-2015. <https://doi.org/10.1002/joc.1232>



The effect of mulching on vegetative traits of grape seedlings and its comparison to drip and capillary wick irrigation systems

Jalal Jalili¹ , Hamid Zare Abianeh² , Meisam Palash³ , Khalil Jalili⁴ 

¹ Corresponding Author, Faculty member, Department of Environmental Resources Management, ACECR, Kermanshah, Iran. E-mail: j.jalili@acecr.ac.ir

² Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran. E-mail: zare@basu.ac.ir

³ Researcher, Department of Environmental Resources Management, ACECR, Kermanshah, Iran. E-mail: meisampalash1371@gmail.com

⁴ Assistant Professor, Department of Environmental Resources management, ACECR, Kermanshah, Iran. E-mail: jalili@acecr.ac.ir

ABSTRACT

Introduction

Water limitation in arid and semi-arid regions is one of the important factors in the production of agricultural products. Supplying water and eliminating its shortage is one of the most important priorities in most countries of the world, including Iran, due to the increase in water demand due to population growth. Grape (*Vitis vinifera* L.) is a perennial woody plant that needs long hot and dry summers and cold winters to grow (Tafazoli et al., 1991). The cultivated area of the country's vineyards, including scattered grape vines, is about 312,000 hectares, of which 91.35% are fertile vines (Tedin and Sadeghi, 2018). Water is the main factor controlling the quantity and quality of grape fruit, especially in summer, and by applying the correct management of water, soil and plants, sustainable agriculture can be established while increasing the yield (Xu et al., 2019). Therefore, it is necessary to adopt appropriate methods for the optimal use of water resources, considering the necessity of water consumption in agriculture and the existence of evaporation losses under dry conditions (Gholami et al., 2013). Evaporation rate increases with increasing air temperature, soil temperature and decreasing relative humidity. Mulches are a useful tool for maintaining soil moisture and increasing irrigation efficiency, which disconnects dry air from the soil and prevents solar radiation from reaching the surface, reducing surface evaporation and maintaining soil moisture (Salehi, 2011). Therefore, the use of soil covers in combination with modern irrigation methods reduces water wastage and increases crop productivity. Therefore, this research was conducted with the aim of investigating the possibility of using plastic and organic mulches to improve vegetative traits compared to the condition without mulching in one-year grape seedlings under modern irrigation systems in Kermanshah region.

Methodology

This research was carried out in the research farm of ACECR, Kermanshah province unit by planting vine seedlings of Asgari variety (Located at 47 degrees and 6 minutes east longitude and 34 degrees and 26 minutes north latitude with 1320. meters above sea level) during 2017. In this research, in order to investigate the effect of different mulches on the vegetative characteristics of grape seedlings in two methods of drip and wick irrigation, an experiment was conducted in the form of a randomized complete block design with three replications. The used mulches included three treatments: plastic soil cover (A1), combination of sand and stubble (A3), stubble (A4) and no soil cover or control (A2). Cultivation of seedlings was done manually at the end of July 2017. In this study, 27 seedlings were planted in 3 rows at a distance of 2.5 meters in each row and 2 meters in each bush. The seedling irrigation period was 7 days, and the initial values of the vegetative characteristics of the vines, including collar diameter, seedling height, number of branches, branch length, shading area and number of leaves were measured on the first day after planting the seedlings. The second measurement of the above vegetative traits was done on November 2017. Finally, the change of vegetative characteristics of vines grown in different soil cover treatments under two irrigation methods compared to the control treatment in each irrigation method was investigated. Irrigation was carried out by two independent water tanks, equipped with water level regulators located at the beginning of the lateral line in the wick and drip irrigation system. By connecting the secondary lines to the tank, the suction height was adjusted in the wick pipes and the roots of the grape were irrigated. The volume of irrigation water in the two irrigation methods was completely the same and there was no difference in the amount of water received by the seedlings. Finally, after data collection, statistical analysis, including an analysis of variance and comparison of means, was performed using Duncan's multi-range test at a five percent probability level with SAS Ver 9.4 software.

Results and discussion

The results of variance analysis of the data showed that there was a significant difference between the soil cover variable and the irrigation method variable with the studied traits at the level of 1% and 5%. Based on the obtained results, the effect of irrigation method on the average of all vegetative traits, except the branch length trait, was significant at 5% level. In this experiment, among the vegetative traits, the maximum amount of collar diameter of 5.98 cm, number of branches of 9 branches and branch length of 151.33 cm were affected by the wick irrigation method. The lowest values of collar diameter (2.41 cm), number of branches (4 branches), and branch length (147.33 cm) were observed without significant difference in drip irrigation. In contrast, the lowest values of other indicators, such as seedling height, shading area, and number of leaves, were observed in the wick irrigation method. Regarding the effect of mulch treatments on collar diameter, it can be stated that the maximum collar diameter was 71.4 cm in stubble mulch, 33.4 cm in sand-stub mulch, and 28.4 cm in plastic mulch. Also, the results showed that the highest values of seedling height, branch length, shading area, and number of leaves were observed in plastic mulch. On the other hand, the treatment without soil covering caused the lowest values of seedling height, branch length, shade area and number of leaves compared to other treatments. Najafabadi et al. (2016), Eslami and Farzamnian (2018) and Kabhan and Mankar (2021) also recommended the use of plastic mulch, which is in line with the results of this research. In this regard, Gholami et al. (2012) stated that the presence of mulch has created suitable growth conditions such as maintaining soil moisture, reducing the growth of weeds, and increasing vegetative growth in olive trees. In examining the mutual effects of irrigation method and mulching, the results showed that the lowest amount of vegetative traits belongs to the drip irrigation treatment without soil covering (DA) and the highest growth values in vegetative traits were also observed in the

drip irrigation method and plastic mulch (DA1). Therefore, the results showed that the performance of plastic mulch in combination with drip irrigation was better compared to other treatments due to the higher water supply of the drip irrigation system and consequently the coolness of the soil around the roots and the reduction of water evaporation. In examining the mutual effects of the capillary method in different mulches, the results showed that the performance of the sand- stubble mulch was better, but this difference was not enough to cause a significant difference between the treatments.

Conclusions

The present study was conducted to investigate the effect of the effects of using soil cover in two drip and wick irrigation systems on the rate of growth of grapevine vegetative traits and comparing these effects in the case without soil cover. The experiment was carried out in different treatments, such as plastic soil cover (A1), combination of sand and stubble (A3), stubble (A4) and no soil cover or control (A2). The results of this study indicated that the use of soil cover in drip and wick irrigation increased the vegetative characteristics of vine seedlings compared to the condition without cover (control treatment). Drip irrigation showed a better performance than wick irrigation in 50% of the values of seedling height, shading area, and the number of vine leaves. The results showed that application of plastic mulch in the seedling height, branch length, shade area and number of leaves in the drip irrigation method compared to the same treatment in the wick irrigation method respectively caused an increase of 42.66, 16.42, 34.18 and 48%. Overall, the results showed that, in the case of designing a drip irrigation system, the use of soil cover can be useful, and for this purpose, plastic soil cover is recommended in this method.

Keywords: Drip irrigation, Capillary irrigation, Grape seedlings, Mulch

Article Type: Research Article

Article history: **Received:** 07 April 2022 **Revised:** 21 May 2022 **Accepted:** 27 May 2022 **ePublished:** 23 August 2022

Cite this article: Jalal Jalili, J., Zare Abianeh, H., Palash, M., & Jalili. Kh. (2022). The effect of mulching on vegetative traits of grape seedlings and its comparison to drip and capillary wick irrigation systems, *Advanced Technologies in Water Efficiency*, 2(2), 61-76. DOI: 10.22126/ATWE.2022.8085.1025

Publisher: Razi University

© The Author(s).





تأثیر خاکپوش بر صفات رویشی نهال انگور و مقایسه آن در دو سیستم آبیاری قطره‌ای و فنیله‌ای کاپیلاری

جلال جلیلی^۱ ✉، حمید زارع ایبانه^۲ ID، میثم پالاش^۳ ID، خلیل جلیلی^۴ ID

^۱ نویسنده مسئول، عضو هیئت علمی گروه مدیریت منابع محیطی جهاد دانشگاهی استان کرمانشاه، کرمانشاه، ایران. رایانامه: jalili@acecr.ac.ir

^۲ استاد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران. رایانامه: zare@basu.ac.ir

^۳ پژوهشگر گروه مدیریت منابع محیطی جهاد دانشگاهی استان کرمانشاه، کرمانشاه، ایران. رایانامه: meisampalash1371@gmail.com

^۴ استادیار، گروه مدیریت منابع محیطی، جهاد دانشگاهی استان کرمانشاه، کرمانشاه، ایران. رایانامه: jalili@acecr.ac.ir

چکیده

به منظور بررسی تأثیر خاکپوش‌های مختلف بر صفات رویشی نهال انگور و مقایسه آن‌ها در دو سیستم آبیاری قطره‌ای و فنیله‌ای کاپیلاری، آزمایشی در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. در کرت‌های اصلی روش آبیاری شامل قطره‌ای و فنیله‌ای کاپیلاری و در کرت‌های فرعی انواع مالچ‌ها شامل مالچ پلاستیکی، بدون مالچ، مالچ ماسه‌ای-کلش و مالچ کلشی مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که روش آبیاری، اثر معنی‌داری در سطح یک درصد بر صفات قطر یقه، ارتفاع نهال، تعداد شاخه، سطح سایه‌انداز و تعداد برگ داشت. اثر مالچ نیز بر صفات تعداد شاخه، طول شاخه، سطح سایه‌انداز و تعداد برگ در سطح یک درصد و در صفات قطر یقه و ارتفاع نهال در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. بیشترین میزان ارتفاع نهال، طول شاخه، سطح سایه‌انداز و تعداد برگ در روش آبیاری قطره‌ای با خاکپوش پلاستیکی مشاهده شد، هم‌چنین کمترین میزان صفات مذکور در روش آبیاری قطره‌ای و بدون خاکپوش مشاهده گردید. نتایج مقایسه میانگین نشان داد در سیستم آبیاری فنیله‌ای کاپیلاری استفاده از خاکپوش در عملکرد صفات رویشی مورد بررسی اثرات معنی‌داری نداشته است. ضمناً در روش آبیاری قطره‌ای استفاده از خاکپوش پلاستیکی شفاف نسبت به تیمار بدون خاکپوش سبب افزایش عملکرد صفات قطر یقه، ارتفاع نهال، تعداد شاخه، طول شاخه، سطح سایه‌انداز و تعداد برگ به ترتیب به میزان ۴۷/۵۶، ۴۰، ۶۸/۶۱، ۶۲/۳۶ و ۶۱/۱۸ درصد شد. نتایج تحقیق نشان داد در روش آبیاری فنیله‌ای کاپیلاری نیازی به استفاده از مالچ نیست و در صورت انجام آبیاری به روش قطره‌ای استفاده از مالچ پلاستیکی شفاف توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: شبکه عصبی مصنوعی، الگوریتم ژنتیک، برنامه‌ریزی بیان ژن، افت نوسانات فشاری، نشت

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

سابقه مقاله: دریافت: ۱۸ فروردین ۱۴۰۱ اصلاح: ۳۱ اردیبهشت ۱۴۰۱ پذیرش: ۰۶ خرداد ۱۴۰۱ چاپ الکترونیکی: ۰۱ شهریور ۱۴۰۱

استناد: جلیلی، ج.، زارع ایبانه، ح.، پالاش، م.، و جلیلی، خ. (۱۴۰۱). تأثیر خاکپوش بر صفات رویشی نهال انگور و مقایسه آن در دو سیستم آبیاری قطره‌ای و فنیله‌ای کاپیلاری، *فناوری‌های پیشرفته در بهره‌وری آب*، ۲(۲)، ۷۶-۶۱ شناسه دیجیتال: 10.22126/ATWE.2022.8085.1025



© نویسندگان

ناشر: دانشگاه رازی

مقدمه

محدودیت آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک یکی از فاکتورهای مهم در تولید محصولات کشاورزی است. تأمین آب و رفع کمبود آن با توجه به افزایش تقاضای آب به‌واسطه‌ی ازدیاد جمعیت، در اکثر کشورهای دنیا از جمله کشور ایران از مهم‌ترین اولویت‌ها است. انگور (*Vitis vinifera* L.) گیاهی چوبی چندساله‌ای است که برای رشد به تابستان‌های گرم و خشک طولانی و زمستان‌های سرد نیاز دارد (تفضلی و همکاران، ۱۹۹۱). سطح زیر کشت تاکستان‌های کشور با احتساب تاک‌های پراکنده انگور حدود ۳۱۲ هزار هکتار است که ۹۱/۳۵ درصد آن بوته‌های مو بارور هستند (تدین و صادقی، ۱۳۹۸). همچنین بر اساس آمارنامه کشاورزی (۱۳۹۹)، کل سطح بارور زیر کشت محصول انگور در استان کرمانشاه ۹۴۰۸ است که در این بین ۷۸۵۸ هکتار به‌صورت آبی و ۱۵۵۰ هکتار به‌صورت دیم کشت می‌شود و همچنین در استان کرمانشاه به‌طور متوسط عملکرد انگور در حالت کشت آبی ۱۳۸۹۷ کیلوگرم در هکتار و در کشت دیم نیز ۱۶۹۰ کیلوگرم در هکتار است.

گیاه انگور در شرایط کم‌آبی با تولید ریشه‌های عمیق با محیط پیرامون سازگار می‌شود. تنش شدید خشکی باعث کندی رشد، تأخیر در رسیدگی میوه، کاهش کیفیت میوه، به هم خوردن تناسب تعداد برگ و میوه و در نهایت کاهش رشد شاخه می‌شود (دو و همکاران، ۲۰۰۸). آب عمده‌ترین عامل کنترل کمیت و کیفیت میوه انگور به‌ویژه در فصل تابستان است که با اعمال مدیریت صحیح آب، خاک و گیاه می‌توان ضمن افزایش محصول، کشاورزی پایداری را برقرار نمود (ژوو و همکاران، ۲۰۱۹). لذا، اتخاذ روش‌های مناسب در بهره‌برداری بهینه از منابع آبی با توجه به لزوم مصرف آب در کشاورزی و وجود تلفات تبخیری تحت شرایط خشکی، ضروری است (غلامی و همکاران، ۱۳۹۲). تبخیر آب از خاک متناسب با تقاضای تبخیر است که با افزایش دمای هوا، دمای خاک و کاهش رطوبت نسبی، افزایش می‌یابد. استفاده از خاک‌پوش، روشی فیزیکی است که در دودسته آلی و پلاستیکی دسته‌بندی می‌شوند. خاک‌پوش‌ها در ترکیب با روش‌های نوین آبیاری موجب کاهش هدر رفت آب و افزایش بهره‌وری محصول می‌شوند. خاک‌پوش‌ها ابزار مفیدی برای حفظ رطوبت خاک و افزایش راندمان آبیاری هستند که با قطع ارتباط هوای خشک با خاک و ممانعت از تابش خورشیدی به سطح، سبب کاهش میزان تبخیر سطحی و حفظ رطوبت خاک می‌شود (صالحی، ۲۰۱۱). آبیاری فته‌ای (WI)^۱ نوعی سامانه زیرسطحی است که آب توسط جسمی با خاصیت موینگی از مخزن به گیاه جابجا می‌شود. آبیاری زیرسطحی در مقایسه با آبیاری معمولی، موجب صرفه‌جویی در هزینه‌های کارگری، هزینه‌های آب و زمان آبیاری می‌شود (سون و همکاران، ۲۰۰۶). آبیاری قطره‌ای یکی دیگر از روش‌های آبیاری با راندمانی در حدود ۸۵ درصد است که از تلفات کمتر آب نسبت به سیستم‌های آبیاری سطحی برخوردار است.

با توجه به بررسی منابع مختلف و تأثیر مثبت خاک‌پوش‌ها بر زنده‌مانی و شاخص‌های رشد نهال‌ها و خصوصیت کاهش تبخیر سطحی در سیستم آبیاری فته‌ای و خود آبیاری بودن این سیستم، این تحقیق باهدف به‌کارگیری روش جدید سیستم آبیاری فته‌ای در مزرعه و بررسی موفقیت نسبی آن نسبت به آبیاری قطره‌ای با اعمال تیمارهای خاک‌پوش مختلف با مقایسه شاخص‌های رشد رویشی نهال‌ها در دو سیستم جهت ارزیابی مزرعه‌ای سیستم فته‌ای و مشخص نمودن خاک‌پوش مناسب و تأثیر آن‌ها بر رشد انجام شد.

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

کاربرد خاک‌پوش کاه و تفاله شیرین‌بیان در سایه‌انداز تاکستان‌های دیم منطقه فارس، تأثیر بسزایی برافزایش رطوبت خاک تا عمق ۵۰ سانتی‌متری داشت. به‌طوری‌که این‌دو خاک‌پوش به ترتیب موجب افزایش تجمعی رطوبت قابل‌دسترس خاک در محدوده ریشه به میزان ۲۴۸/۲ و ۲۱۳/۲ میلی‌متر معادل ۲۳/۸ و ۲۰/۵ درصد طی فصل رشد نسبت به تیمار شاهد گردیدند (تدین و همکاران، ۱۳۹۴). نتایج تحقیق نورزاده نامقی و همکاران (۱۳۹۷) نشان داد که استفاده از خاک‌پوش‌های آلی و غیرآلی در ایجاد دمای مطلوب خاک، حفظ رطوبت خاک و در صورت عدم محدودیت‌های محیطی، موجب بهبود هدایت روزنه‌ای و دمای برگ درختان پسته می‌شود.

¹ Du et al

² Xu et al

³ Wick irrigation

⁴ Son et al

رانا و همکاران^۱ (۲۰۰۴) نشان دادند تبخیر و تعرق، تلفات رطوبت خاک و آب مصرفی انگور در حالت بدون خاک‌پوش در مقایسه باحالت خاک‌پوش، بیشتر و مقاومت روزنه‌ای پس از آبیاری در تیمار بدون خاک‌پوش کمتر است.

ژئی و همکاران^۲ (۲۰۰۶) اثر سه قطر ۲-۵، ۲۰-۵، ۶۰-۲۰ میلی‌متر خاک‌پوش شن و ماسه درشت در کاهش تبخیر و تعرق (ET) و تعرق (E) را نسبت به تیمار بدون خاک‌پوش (شاهد) در یک مزرعه هندوانه در شمال غربی چین را مطالعه نمودند. نتایج بیان‌گر افزایش خطی تبخیر با اندازه‌ی شن و اثر بهتر خاک‌پوش شن و ماسه با قطر ۲-۵ میلی‌متر نسبت به سایر اندازه‌ها در کاهش تبخیر بود. اسوکاراجا^۳ (۲۰۱۲) در ایالت تامیل‌نادو در کشور هندوستان نشان داد که به‌کارگیری سیستم آبیاری قطره‌ای در تاکستان‌های مسن سبب بهبود کیفیت میوه می‌شود. نتایج پژوهش چاهان^۴ (۲۰۱۲) بر روی درختان مسن هلو و انگور نیز بیان‌گر بهبود ویژگی‌های کیفی میوه تولیدی در روش آبیاری میکرو است. براینارد و همکاران^۵ (۲۰۱۲) کاهش آب مصرفی، افزایش درجه حرارت خاک، افزایش میزان رطوبت خاک، افزایش کارایی مصرف آب و نیتروژن را از جمله فواید استفاده از خاک‌پوش‌ها بیان کردند. در یک مطالعه مزرعه‌ای اثر دو نوع خاک‌پوش ورقه‌ای پلی‌اتیلن و کاه در سیستم آبیاری قطره‌ای با سه سطح ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه گوجه‌فرنگی مطالعه گردید. نتایج نشان داد عملکرد و اجزاء عملکرد در تیمار دارای خاک‌پوش تمامی سطوح نیاز آبی بیش از تیمار فاقد خاک‌پوش بود. بیشترین مقدار عملکرد گوجه‌فرنگی در تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه در خاک‌پوش پلی‌اتیلن و خاک‌پوش کاه به میزان ۸۱/۱۲ و ۷۹/۴۹ تن در هکتار حاصل شد (بیسواس و همکاران^۶، ۲۰۱۵). ابواگیالا و خلف‌اله^۷ (۲۰۱۹) در تحقیق خود با عنوان تأثیر خاک‌پوش بر کارایی مصرف آب، رشد، عملکرد و کیفیت انگور یاقوتی در آبیاری سطحی، استفاده از خاک‌پوش کاه برنج را به‌واسطه تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی انگور توصیه کردند.

کدبانه و مانه‌کار^۸ (۲۰۲۱) نشان دادند استفاده از سیستم آبیاری قطره‌ای با خاک‌پوش پلاستیکی سبب افزایش ۳۵ تا ۴۰ درصدی عملکرد انگور در مقایسه با سایر روش‌های آبیاری می‌شود. آنان استفاده از آبیاری قطره‌ای با خاک‌پوش پلاستیکی و آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با بطری پلاستیکی را به‌عنوان بهترین گزینه‌های دست‌یابی به عملکرد بالای انگور با حداقل آب مصرفی توصیه نمودند. تأثیر مثبت عملکرد خاک‌پوش در دیگر محصولات زراعی نیز گزارش شده است. نتایج تحقیقات هائولیانگ دنگ و همکاران^۹ (۲۰۲۱) در بررسی تأثیر الگوهای مختلف آبیاری و سطوح مختلف خاک‌پوش بر عملکرد گیاه پیاز نیز نشان داد که بین راندمان مصرف آب و عملکرد محصول در خاک‌پوش‌های پلاستیک سیاه و پلاستیک شفاف تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. لیکن عملکرد خاک‌پوش‌های پلاستیکی نسبت به خاک‌پوش‌های ماسه‌ای تفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد اثرات مثبت کاربرد خاک‌پوش برای دیگر محصولات کشاورزی نیز گزارش شده است.

بررسی منابع نشان داد که فناوری استفاده از انواع خاک‌پوش‌ها برای محصولات مختلف زراعی و باغی در بسیاری از مناطق کشاورزی و در کشورهای پیشرفته در سطح وسیعی استفاده می‌شود. از طرفی بارندگی‌های محدود نامنظم مکانی و زمانی در مناطق خشک و نیمه‌خشک با شدت کم‌وزیاد در زمان کوتاه، به همراه پتانسیل تبخیر بالا، باعث افزایش هدر رفت آب حاصل از باران و رطوبت خاک در طی فصل زمستان و فصول رشد رویشی شده، که موجب کاهش تولید بالقوه محصول می‌گردد.

¹ Rana et al

² Xie et al

³ Asokaraja

⁴ Chauhan

⁵ Brainard et al

⁶ paddy straw

⁷ Biswas et al

⁸ Abo-Ogiala and Khalafallah

⁹ Kadbhane and Manekar

¹⁰ Haoliang Deng et al

تغییرات شدید دمایی به‌ویژه اختلاف زیاد دمای شب و روز و خطرات ناشی از آن بر محصولات کشاورزی این مناطق امری محرز است. استفاده از خاک پوش به‌منظور افزایش کار آبی آب مصرفی، ذخیره رطوبتی آب خاک، جلوگیری از تلفات تبخیر سطحی، بهبود شرایط فیزیکی و زیستی خاک، تعدیل درجه حرارت خاک و ریشه و اثرات آن برافزایش عملکرد و کیفیت محصولات در شرایط دیم و آبی مشخص است. بررسی منابع نشان داد که تاکنون در خصوص استفاده از خاک پوش‌های پلاستیکی و آلی روی نهال تاک رقم عسگری در منطقه کرمانشاه با سیستم آبیاری قطره‌ای و فتیله‌ای تحقیقی انجام نشده است. با توجه به حذف مؤلفه تبخیر سطحی در تیمارهای با پوشش پلاستیکی و نیز تغییر در وضعیت صعود کاپیلاری آب به سطح خاک به‌ویژه در زمانی که بیشترین تبخیر سطحی اتفاق می‌افتد تغییرات رشد رویشی تاک‌ها در انتهای فصل رشد در هر تیمار مورد بررسی قرار گرفت. لذا، این تحقیق باهدف بررسی امکان استفاده از خاک پوش‌های پلاستیکی و آلی در جهت بهبود صفات رویشی در مقایسه باحالت بدون خاک پوش در نهال‌های یک‌ساله انگور تحت پوشش سیستم‌های نوین آبیاری در منطقه کرمانشاه صورت گرفت.

روش پژوهش

این پژوهش در سال ۱۳۹۶ در مزرعه تحقیقاتی جهاد دانشگاهی کرمانشاه با کاشت نهال‌های تاک رقم عسگری در سطح ۰/۳ هکتار در مختصات طول جغرافیایی ۲۲°، ۰۶'، ۴۷ شرقی و عرض جغرافیایی ۲۲°، ۲۳'، ۳۴ شمالی و ارتفاع ۱۳۲۰ متر از سطح دریا اجرا گردید. قبل از کاشت نهال تاک‌ها خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش و خصوصیات شیمیایی آب مورد استفاده آزمایش شدند. نتایج مربوط به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک تا عمق ۴۰ سانتی‌متری و آب آبیاری در جداول ۱ و ۲ ارائه شده است. لازم به ذکر است آب آبیاری در کلیه تیمارها از یک حلقه چاه عمیق کشاورزی تأمین گردید.

جدول ۱. مشخصات فیزیکی خاک مزرعه مورد آزمایش

اندازه ذرات	نمونه خاک	وزن (gr)		حجم (cm ³)	تخلخل (n)			وزن مخصوص	رطوبت حجمی (%)		
		ظرفیت اشباع	ظرفیت مزرعه		خشک	کل	کل		ماکرو میکرو	ظاهر	ظرفیت قابل دسترس
شن	۱	۲۵۲/۶۶۰	۲۲۳/۳۴۵	۱۷۲/۱۳۳	۱۵۲	۱۷۲/۱۳۳	۰/۳۳۷	۰/۱۹۳	۰/۵۳۰	۳۳/۶۹	۱۵/۲۸
سیلت	۲	۲۳۰/۹۵۵	۲۰۸/۰۱۲	۱۵۶/۱۶۸	۱۵۰	۱۵۶/۱۶۸	۰/۳۴۶	۰/۱۵۳	۰/۴۹۹	۳۴/۵۶	۱۵/۵۸
رس	۳	۲۳۶/۷۲۴	۲۰۷/۷۱۲	۱۵۴/۱۴۳	۱۴۸	۱۵۴/۱۴۳	۰/۳۶۲	۰/۱۹۶	۰/۵۵۸	۳۶/۲۰	۱۶/۱۳
بافت Clayloam	میانگین	۲۴۰/۱۱۳	۲۱۳/۰۲۳	۱۶۰/۸۱۵	۱۵۰	۱۶۰/۸۱۵	۰/۳۴۸	۰/۱۸۱	۰/۵۲۹	۳۴/۸۴	۱۵/۶۶

جدول ۲. مشخصات شیمیایی خاک و آب مزرعه مورد آزمایش

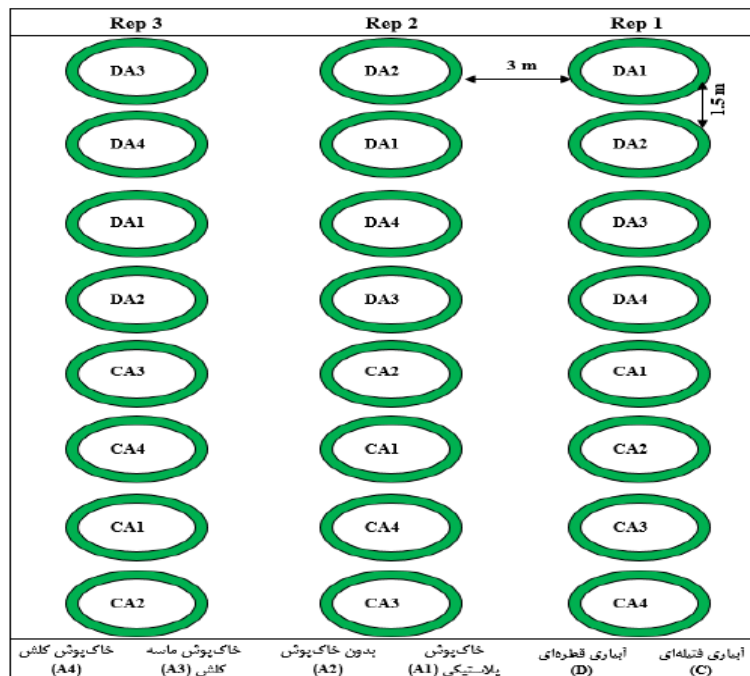
مشخصات شیمیایی خاک						مشخصات شیمیایی آب آبیاری							
۴۰-۰ (سانتی‌متر)						اطلاعات مربوط به آب							
۶/۵ منگنز (mg/kg)						آنیون‌ها							
۰/۸۵ آهن (mg/kg)						کاتیون‌ها							
۵/۰ روی (mg/kg)						واحد							
اسیدیته	۳/۶۰	EC×10 ⁶	۳۴۳	CO ₃ ²⁻	۰/۰۰	Ca ²⁺ +Mg ²⁺	۴/۲۵	اسیدیته	۷/۳۸	Cl ⁻	۰/۶۰	SAR	۰/۴۸
کربن آلی (%)	۱/۴۲	TDS (mg/L)	۲۱۹	HCO ₃ ⁻	۳/۱	Na ⁺	۰/۷۰	اسیدیته	۴/۹۵	مجموع آنیون‌ها	۱/۲۵	مجموع کاتیون‌ها	۴/۹۵
فسفر (ppm)	۰/۶۴	اسیدیته	۰/۶۴	اسیدیته	۰/۶۴	اسیدیته	۰/۶۴	اسیدیته	۰/۶۴	اسیدیته	۰/۶۴	اسیدیته	۰/۶۴
پتاسیم (ppm)	۳۷۰	کلاس خاک	غیرشور	کلاس خاک	غیرشور	کلاس خاک	غیرشور	کلاس خاک	غیرشور	کلاس خاک	غیرشور	کلاس خاک	غیرشور

میانگین ماهانه داده‌های هواشناسی در مدت تحقیق در این مطالعه مطابق جدول ۳ است.

جدول ۳. میانگین ماهانه پارامترهای هواشناسی محل اجرای آزمایش (اداره کل هواشناسی استان کرمانشاه)

پارامتر	واحد	تیر ۹۶	مرداد ۹۶	شهریور ۹۶	مهر ۹۶
درجه حرارت حداقل	(°C)	۱۷/۶	۱۸/۸	۱۴/۸	۱۷/۵۲
درجه حرارت حداکثر	(°C)	۳۸/۳	۳۹/۲	۳۶/۹	۳۶/۲۳
ساعات آفتابی	(hr/d)	۱۳/۴	۱۱/۴	۱۰/۵	۷/۱۷
رطوبت نسبی حداقل	(%)	۹/۸	۸/۸	۱۲/۴	۴/۱۲
رطوبت نسبی حداکثر	(%)	۳۳/۵	۳۰/۲	۳۹/۰	۲۱/۳۱
بارش	(mm)	-	-	-	-

به منظور بررسی تأثیر خاک پوش‌های مختلف بر صفات رویشی نهال انگور در دو روش آبیاری قطره‌ای و فیتله‌ای، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. در کرت‌های اصلی، دو روش آبیاری قطره‌ای (D) و فیتله‌ای (C) و در کرت‌های فرعی سه تیمار خاک پوش پلاستیکی (A1)، ترکیب ماسه و کلش (A3)، کلش (A4) و بدون خاک پوش یا شاهد (A2)، اجرا شد شکل (۱).



شکل ۱. نحوه اجرای آزمایش و تیمارهای اعمال شده

در تیمار خاک پوش پلاستیکی، خاک دو طرف ردیف هر نهال با پلاستیک سفید به طول ۱/۵ متر و عرض ۲ متر پوشش داده شد. خاک پوش پلاستیکی مقاوم به اشعه ماوراءبنفش خورشید (یو وی دار با $UV=1/5$) با ضخامت ۴۵ میکرون به رنگ سفید طوسی روشن بود. برای دو تیمار دیگر از پنج سانتی متر باقی مانده کلش گندم به عنوان خاک پوش و از ۵ سانتی متر مخلوط ماسه و کلش گندم به عنوان خاک پوش ترکیبی در سطح خاک دو طرف ردیف نهال‌ها استفاده شد. کشت نهال‌ها در اواخر تیرماه ۱۳۹۶ به صورت دستی انجام گرفت و در مجموع ۲۴ نهال در ۳ ردیف به فاصله ۳ متر در هر ردیف و ۱/۵ متر در هر بوته کشت شد. هر نهال در حدود ۱۰ سانتی متر طول و ۳۵ عدد برگ

داشت. دور آبیاری نهال‌ها طبق خصوصیات خاک و گیاه و نوع سیستم تعیین شد. مقادیر اولیه صفات رویشی تاک‌ها شامل قطر یقه، ارتفاع نهال، تعداد شاخه، طول شاخه، سطح سایه‌انداز و تعداد برگ در روز اول پس از کاشت نهال‌ها اندازه‌گیری شد. نوبت دوم اندازه‌گیری صفات رویشی فوق در ۱ آبان ۱۳۹۶ انجام شد. در نهایت تغییر صفات رویشی تاک‌های رشد یافته در تیمارهای مختلف خاک‌پوش، تحت دو روش آبیاری نسبت به تیمار شاهد در هر روش آبیاری مورد بررسی قرار گرفت.

نیاز آبی تاک‌ها با محاسبه تبخیر-تعرق اصلاح‌شده انگور بر اساس سطح سایه‌انداز کامل (۱۰۰٪) درصد از رابطه ۱ تعیین شد.

$$Tc = ETc \times \left[\frac{Ps}{100} + 0.15 \times \left(1 - \frac{Ps}{100} \right) \right] \quad (1)$$

که در آن Tc تبخیر و تعرق پس از تأثیر سطح سایه‌انداز (میلی‌متر در روز)، ETc تبخیر-تعرق گیاه انگور (میلی‌متر در روز) از رابطه ۲ برآورد گردید. Ps سطح سایه‌انداز گیاه (درصد) است. هر نهال در چاله‌هایی به قطر ۰/۵ متر کاشت گردید و تمام سطح چاله کشت آبیاری گردید. لذا سطح خیس شدگی برای هر نهال به دلیل آبیاری تمامی سطح چاله کاشت (۰/۵ متر) برابر $Pw=1$ لحاظ شد. سطح سایه‌انداز نیز به دلیل اینکه متوسط آسمان گیاهی در طول دوره رشد گیاه معادل ۰/۵ متر بود برابر $Ps=100\%$ در نظر گرفته شد. بدیهی است که سطح سایه‌انداز در مراحل اولیه رشد کمتر از قطر چاله است، لیکن مقدار آن به‌منظور پیش‌گیری از تنش گیاهی، ۱۰۰ درصد منظور شد. مقدار Tc در سطح خیس شدگی ۱، برابر ETc است. برای برآورد ETc ابتدا مقدار تبخیر-تعرق گیاه مرجع (ETo) با استفاده از اطلاعات ایستگاه سینوپتیک شهرستان کرمانشاه در نرم‌افزار CropWat برآورد گردید. سپس مقدار ETc با اعمال مقادیر ضریب گیاهی تاک ($Kc=0/9$) برای منطقه کرمانشاه از نرم‌افزار AGWAT از رابطه ۲، محاسبه شد (علیزاده و همکاران، ۱۳۸۱).

$$ETc = Kc (ETo) \quad (2)$$

در رابطه فوق ETc تبخیر-تعرق گیاه تاک معادل ۶/۱۲ میلی‌متر در روز، ETo تبخیر-تعرق گیاه مرجع برابر ۶/۸ میلی‌متر در روز و Kc ضریب گیاهی است. نیاز خالص آبی تاک (I_n) با توجه به عدم ریزش بارش در زمان اجرای طرح معادل مقدار تبخیر و تعرق روزانه (ETc) در نظر گرفته شد.

برای محاسبه دور آبیاری، رابطه ۳ به کار گرفته شد که اطلاعات مربوط به خاک مزرعه در جدول ۱ آمده است.

$$I_t = \frac{RAW \times D}{ET_{c \max}} = \frac{(AW) \times \rho_b \times (MAD) \times D}{ET_{c \max}} = \frac{(Fc - CEW) \times \rho_d \times MAD \times D}{ET_{c \max}} \quad (3)$$

در رابطه فوق I_t دور آبیاری (روز)، D عمق ریشه نهال (mm) که معادل ۴۰۰ میلی‌متر در نظر گرفته شد، MAD ضریب تخلیه مجاز رطوبتی (برای درختان خزان شونده ۰/۵)، RAW میزان رطوبت سهل‌الوصول (۷/۶۵ درصد) است. مقدار RAW ، با توجه به مقاومت بالای گیاه تاک به شرایط خشکی، معادل ۷۵ درصد حداکثر تخلیه مجاز رطوبتی در نظر گرفته شد (علیزاده، ۱۳۹۱). $ET_{c \max}$ میزان مصرف روزانه گیاه است مقدار آن برای گیاه تاک معادل ۸۰ درصد نیاز آبی گیاهان باغی در دوره حداکثر مصرف (mm/day) منظور شد (علیزاده، ۱۳۹۱). FC رطوبت وزنی در حد ظرفیت زراعی (درصد) و مقدار CEW آب قابل جذب گیاه که معادل رطوبت در شرایط PWP است و از رابطه θ_{vFC-AW} برابر ۱۹/۱۵ درصد محاسبه شد. ρ_b چگالی ظاهری خاک (gr/cm^3) و AW رطوبت قابل دسترس خاک (mm/m) است. رطوبت قابل دسترس خاک (AW) بر اساس میانگین درصد رطوبت ظرفیت زراعی حاصل از روابط ۴ و ۵ محاسبه شد (علیزاده، ۱۳۷۸).

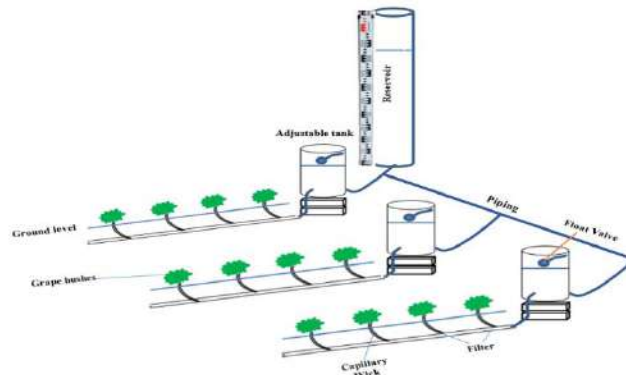
$$AW = 2.3 + 0.37Fc \quad (4)$$

$$AW = 1.55 \times 0.66Fc \quad (5)$$

در نهایت دور آبیاری نهال تاک‌ها از رابطه ۳ معادل ۶/۸۶ روز محاسبه و ۷ روز تعیین شد که برای تشابه در انجام مقایسات آماری در روش فیتله‌ای که به‌صورت ممتد خود آبیاری انجام می‌شد، در روش قطره‌ای دو بار آبیاری در طول دوره آبیاری هفت روز و به مقدار برابر حجم آب داده شده به گیاه در سیستم آبیاری فیتله‌ای انجام شد.

عملیات آبیاری توسط مخازن آب، مجهز به تنظیم‌کننده سطح آب مستقر در ابتدای خطوط فرعی (لاترال) در سیستم آبیاری فیتله‌ای اجرا شد. باتصال خطوط فرعی به مخزن، میزان ارتفاع مکش در لوله‌های فیتله دار تنظیم و آبیاری ریشه نهال‌های انگور انجام شد (شکل ۲). در روش آبیاری قطره‌ای نیز در زمان آبیاری با اندازه‌گیری دقیق آب به‌صورت حجمی و با مقدار برابر آب مصرف‌شده برای هر نهال در

سیستم آبیاری فنیله‌ای آبیاری انجام شد. حجم آب آبیاری در دو روش آبیاری قطره‌ای و فنیله‌ای کاملاً یکسان بود و تفاوتی در میزان آب دریافتی نهال‌ها وجود نداشت



شکل ۲. نحوه اجرای روش آبیاری فنیله‌ای

در نهایت جهت بررسی اثر تیمارهای اعمال شده بر خصوصیات رویشی نهال انگور در دو روش آبیاری قطره‌ای و فنیله‌ای، پارامترهای قطر یقه، ارتفاع نهال، تعداد شاخه، طول شاخه، سطح سایه‌انداز و تعداد برگ اندازه‌گیری شد. تجزیه و تحلیل‌های آماری شامل تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد با نرم‌افزار SAS Ver 9.4 انجام شد.

یافته‌ها

نتایج آزمایش آب و خاک محل آزمایش

مطابق اطلاعات جداول ۱ و ۲، آزمایش‌ها اولیه بیان‌گر کیفیت مناسب خاک و آب آبیاری برای کشت تاک‌های انگور است (ویل کاکس، ۱۹۶۰). کلاس آب آبیاری از نظر شوری در کلاس C1 و از نظر قلیایی‌ات در کلاس S1 است. بافت خاک لومرسی است که برای اغلب گونه‌های تاک، مؤلفه‌ای محدودکننده نیست. زیرا ریشه گیاه تاک مقاومت نسبتاً خوبی در خاک‌های مختلف دارد. در جدول ۴ نتایج تجزیه واریانس داده‌های اندازه‌گیری صفات رویشی آمده است.

جدول ۴. تجزیه واریانس صفات رویشی اندازه‌گیری شده نهال انگور

میانگین مربعات						درجه آزادی	منابع تغییر
تعداد برگ	سطح سایه‌انداز	طول شاخه	تعداد شاخه	ارتفاع نهال	قطر یقه		
۱۷۴/۸۲ ^{ns}	۶/۲۳ ^{ns}	۵۱/۰۴ ^{ns}	۲/۰۰ ^{**}	۲/۳۲ ^{ns}	۰/۵۳ ^{ns}	۲	بلوک
۱۹۵۲/۴۸ ^{**}	۵۴۸/۲۴ ^{**}	۹۵۶۶/۴۴ ^{**}	۵/۷۰ ^{**}	۵۱/۵۹ [*]	۱/۶۹ [*]	۳	خاک پوش
۳۷۱۲/۵۹ ^{**}	۱۲۰/۱۵ ^{**}	۹۶/۰۰ ^{ns}	۱۶۵/۳۷ ^{**}	۱۲۸/۳۴ ^{**}	۷۶/۴۷ ^{**}	۱	روش آبیاری
۸۲/۸۷ ^{ns}	۱۴/۷۴ ^{ns}	۱۰۱/۱۵ ^{ns}	۰/۶۶ [*]	۲/۶۵ ^{ns}	۰/۱۹ ^{ns}	۶	بلوک×خاک پوش
۲۷۴۰/۷۰ ^{**}	۵۲۸/۳۹ ^{**}	۵۶۱۵/۳۳ ^{**}	۲/۴۸ ^{**}	۵۳/۵۱ [*]	۰/۵۲ ^{ns}	۳	روش آبیاری×خاک پوش
۳۵۵/۹۰ ^{ns}	۲/۱۹ ^{ns}	۹۱/۶۲ ^{ns}	۲/۰۰ ^{**}	۲/۵۳ ^{ns}	۰/۲۱ ^{ns}	۲	بلوک×روش آبیاری
۷۶/۱۸	۸/۱۶	۳۵/۶۲	۰/۱۱	۲/۸۹	۰/۳۱	۶	خطا
۸/۸۲	۶/۴۴	۳/۹۹	۴/۸۴	۱۵/۸۲	۱۳/۴۳	-	ضریب تغییرات

^{ns}، * و ** به ترتیب عدم معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۴) نشان می‌دهد که بین متغیر خاک‌پوش و متغیر روش آبیاری با صفات مورد مطالعه در سطح ۱ درصد و ۵ درصد تفاوت معنی‌داری وجود دارد. معنی‌دار بودن تأثیر تیمار خاک‌پوش بر صفات رشدی نهال‌های تاک نشان‌دهنده نقش اثرگذار خاک‌پوش بر کشت و استقرار نهال‌های تاک است که تأثیر مثبت آن توسط بیاباجی و مختاری (۱۳۷۹) به‌عنوان فنی برای استقرار و بقاء حیات در نهال‌های بادام گزارش شده است. به همین ترتیب اثر خاک‌پوش بر تمامی صفات معنی‌دار بود. به‌طوری‌که نتایج تجزیه واریانس صفات رویشی در تیمارهای مختلف نشان داد که بین صفت قطر یقه با روش آبیاری و با خاک‌پوش به ترتیب اختلاف معنی‌داری در سطح یک و پنج درصد برقرار است. همچنین نتایج تجزیه واریانس بیان‌گر تأثیر روش‌های آبیاری بر ارتفاع نهال گیاه انگور در سطح یک درصد، اثر نوع خاک‌پوش بر ارتفاع نهال در سطح پنج درصد و اثر برهم‌کنش روش آبیاری در خاک‌پوش بر ارتفاع نهال در سطح پنج درصد معنی‌داری است. به‌عبارتی دیگر جدول ۵ نشان‌دهنده تأثیرپذیری صفات رویشی گیاه انگور از به‌کارگیری خاک‌پوش و تغییر روش آبیاری قطره‌ای به روش آبیاری فنیله‌ای است. به همین ترتیب اثر متقابل روش آبیاری × خاک‌پوش بر تمامی صفات به‌جز قطر یقه معنی‌دار بود. درحالی‌که اثر بلوک آزمایش، اثر متقابل بلوک × روش آبیاری و اثر متقابل بلوک × خاک‌پوش بر تمامی صفات به‌جز تعداد شاخه فاقد اثر معنی‌دار بود. در جدول ۵ اثر تیمارهای مختلف بر صفات رویشی قطر یقه، ارتفاع نهال، تعداد شاخه، طول شاخه، سطح سایه‌انداز و تعداد برگ آمده است.

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر سیستم‌های آبیاری بر صفات رویشی نهال انگور

متغیر	قطر یقه ارتفاع نهال		طول شاخه		سطح سایه‌انداز		تعداد شاخه	تعداد برگ
	سانتی متر		سانتی متر		سانتی متر مربع			
آبیاری فنیله‌ای	۵/۹۸a	۱۵/۹۵b	۱۵۱/۳۳a	۴۲/۰۸b	۹/۰۰a	۸۶/۴۵b		--
آبیاری قطره‌ای	۲/۴۱b	۲۰/۵۸a	۱۴۷/۳۳a	۴۶/۵۵a	۴/۰۰b	۱۱۱/۳۳a		
خاک‌پوش پلاستیکی (A1)	۴/۲۸a	۲۱/۵۰a	۱۸۸/۱۶a	۵۳/۷۵a	۸/۰۰a	۱۱۶/۰۰a		
بدون خاک‌پوش (A2)	۳/۴۵b	۱۴/۵۰b	۱۰۰/۵۰d	۳۱/۵۳d	۵/۰۰d	۷۵/۰۰c		
خاک‌پوش ماسه-کلش (A3)	۴/۳۳a	۱۷/۸۳ab	۱۳۳/۸۳c	۴۳/۱۶c	۷/۰۰b	۱۰۹/۰۰ab		
خاک‌پوش کلش (A4)	۴/۷۱a	۱۹/۲۵a	۱۷۴/۸۳b	۴۸/۸۳b	۶/۰۰c	۹۷/۰۰b		

اعداد دارای حروف مشترک در هر ستون، فاقد تفاوت معنی‌داری به روش دانکن در سطح ۵ درصد هستند.

مطابق نتایج جدول ۵، اثر روش آبیاری بر میانگین تمامی صفات رویشی، به‌جز صفت طول شاخه در سطح ۵ درصد معنی‌دار است. همان‌طور که از نتایج مندرج در جدول ۵ مشخص است، در این آزمایش، از بین صفات رویشی، بیشترین مقدار قطر یقه به‌میزان ۵/۹۸ سانتی‌متر، تعداد شاخه به میزان ۹ شاخه و طول شاخه به میزان ۱۵۱/۳۳ سانتی‌متر با حرف a، متأثر از روش آبیاری فنیله‌ای بود. کمترین مقادیر دو شاخص قطر یقه (۲/۴۱ سانتی‌متر) و تعداد شاخه (۴ شاخه) با حرف b، و طول شاخه (۱۴۷/۳۳ سانتی‌متر) بدون تفاوت معنی‌دار در آبیاری قطره‌ای مشاهده شد. در مقابل کمترین مقادیر سایر شاخص‌ها مانند ارتفاع نهال، سطح سایه‌انداز و تعداد برگ در روش آبیاری فنیله‌ای مشاهده شد (جدول ۵). در خصوص تأثیر تیمارهای خاک‌پوش بر صفت قطر یقه، می‌توان چنین اظهار داشت که بیشترین مقدار قطر یقه به ترتیب در تیمارهای خاک‌پوش کلش (A4)، برابر ۴/۷۱ سانتی‌متر، خاک‌پوش ماسه-کلش (A3) برابر ۴/۳۳ سانتی‌متر و در تیمار خاک‌پوش پلاستیکی (A1)، برابر ۴/۲۸ سانتی‌متر با حرف a اندازه‌گیری شد که تفاوت آن در مقایسه با تیمار فاقد خاک‌پوش یا شاهد (A2) معنی‌دار بود (جدول ۵). در خصوص مقادیر دیگر صفات رویشی، می‌توان چنین نتیجه گرفت که تأثیر خاک‌پوش‌های استفاده‌شده بر تمام صفات رویشی معنی‌دار بود. به‌طوری‌که بیشترین مقادیر صفات ارتفاع نهال، طول شاخه و سطح سایه‌انداز و تعداد برگ در تیمار خاک‌پوش پلاستیکی (A1) به ترتیب ۲۱/۵۰، ۱۸۸/۱۶، ۵۳/۷۵ و ۱۱۶ به دست آمد. در مقابل تیمار بدون خاک‌پوش سبب حصول کمترین مقادیر صفات ارتفاع نهال، طول شاخه و سطح سایه‌انداز و تعداد برگ نسبت به دیگر تیمارها شد (جدول ۵). خاک‌پوش پلاستیک به دلیل افزایش رطوبت نسبی زیر پلاستیک و پیش‌گیری از تبخیر سطحی موجب حفظ رطوبت در خاک شده و از اثرات تنش آبی تا حد زیادی پیش‌گیری می‌نماید.

نصف‌آبادی و همکاران (۱۳۹۶)، اسلامی و فرزامنیا (۱۳۸۸) و کابهان و مانکار (۲۰۲۱) نیز استفاده از مالچ پلاستیک را توصیه کردند که در راستای نتایج این تحقیق است. بر اساس مقایسه میانگین صورت گرفته تیمار بدون خاک‌پوش یا شاهد (A2) در تمام صفات موردبررسی عملکرد ضعیف‌تری نسبت به سایر تیمارها از خود نشان داد که این نتایج حاکی از اهمیت تأثیر استفاده از خاک‌پوش در جلوگیری از تبخیر رطوبت و حفظ آن برای استفاده گیاهان دارد. تاک‌های رشد یافته در تیمارهای خاک‌پوش علی‌رغم مصرف آب کمتر نسبت به تیمار شاهد و مقاومت بالای تاک به شرایط خشکی، از رشد خوبی برخوردار بودند که می‌تواند به دلیل عدم تبخیر سطحی آب و فراهمی رطوبت در خاک ناحیه ریشه باشد در همین راستا نتایج پژوهش غلامی و همکاران (۱۳۹۲) نشان داد که وجود خاک‌پوش سبب ایجاد شرایط مناسب رشد مانند حفظ رطوبت خاک، کاهش رشد علف‌های هرز، از بین بردن رقابت علف‌های هرز با گیاه اصلی و رشد رویشی بیشتر در درختان زیتون شده است. خاک‌پوش با حذف مؤلفه تبخیر سطحی و نیز تغییر در وضعیت صعود کاپیلاری آب به سطح خاک، موجب تغییرات مطلوب در وضعیت رطوبتی خاک نسبت به تیمار شاهد و برقراری شرایط رشدی بهتر نهال‌های تاک شده است. نتایج مشابهی از تأثیر خاک‌پوش بر رشد و عملکرد بهتر درختان باغ پسته در مقایسه با درختان فاقد خاک‌پوش از سوی صداقتی و همکاران (۱۳۹۴) گزارش شده است. در خصوص تیمار خاک‌پوش کلش نیز می‌توان چنین اظهار داشت که کلش در دسته مواد آلی است. مواد آلی توانایی تعدیل دمای خاک، کاهش رشد علف‌های هرز در باغات، حفظ رطوبت خاک و نیز کاهش تنش آبی را در جهت وضعیت بهتر شاخص‌های رشدی گیاهان دارند (گرینلی و راکو^۲ ۱۹۹۵). مقایسه میانگین اثرات متقابل روش آبیاری در خاک‌پوش بر صفات رویشی در جدول ۶ آمده است.

جدول ۶. مقایسه میانگین صفات رویشی اندازه‌گیری شده نهال انگور در اجرای آزمایش

تیمار آبیاری×خاک‌پوش	قطر یقه	ارتفاع نهال	طول شاخه	سطح سایه‌انداز	تعداد شاخه	تعداد برگ
	(سانتی متر)	(سانتی متر)	(سانتی متر مربع)	(--)	(--)	(--)
قطره‌ای (D)×خاک‌پوش پلاستیکی (A1)	۲/۵۱cd	۲۷/۳۳a	۲۰۵/۰۰a	۶۴/۸۳a	۵/۰۰d	۱۵۲/۰۰a
قطره‌ای (D)×بدون خاک‌پوش یا شاهد (A2)	۱/۷۰d	۱۴/۳۳d	۶۴/۳۳f	۲۴/۴۰e	۳/۰۰e	۵۹/۰۰e
قطره‌ای (D)×ترکیب ماسه و کلش (A3)	۲/۱۷d	۱۷/۶۷c	۱۱۵/۳۳e	۳۸/۶۷d	۴/۰۰d	۱۲۲/۰۰b
قطره‌ای (D)×خاک‌پوش کلش (A4)	۳/۲۷c	۲۳/۰۰b	۲۰۴/۶۷a	۵۸/۳۳b	۵/۰۰d	۱۱۲/۳۳bc
فتیله‌ای (C)×خاک‌پوش پلاستیکی (A1)	۷/۰۷ab	۱۵/۶۷c	۱۷۱/۳۳b	۴۲/۶۷cd	۱۱/۰۰a	۷۹/۰۰d
فتیله‌ای (C)×بدون خاک‌پوش یا شاهد (A2)	۵/۲۰b	۱۴/۶۷c	۱۳۶/۶۷d	۳۸/۶۷d	۹/۰۰bc	۹۰/۰۰d
فتیله‌ای (C)×ترکیب ماسه و کلش (A3)	۶/۵۰a	۱۸/۰۰c	۱۵۲/۳۳c	۴۷/۶۷c	۱۰/۰۰ab	۹۵/۸۳cd
فتیله‌ای (C)×خاک‌پوش کلش (A4)	۶/۱۶a	۱۵/۵۰c	۱۴۵/۰۰cd	۳۹/۳۳d	۸/۰۰c	۸۱/۰۰d

اعداد دارای حروف مشترک در هر ستون، فاقد تفاوت معنی‌داری به روش دانکن در سطح ۵ درصد هستند.

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده کمترین مقدار صفات رویشی به تیمار آبیاری قطره‌ای بدون خاک‌پوش (DA2) تعلق دارد که نشان‌دهنده اهمیت خاک‌پوش در حفظ رطوبت خاک پس از عملیات آبیاری است. بیشترین مقادیر صفات رویشی نیز در ۶۶/۶۷ درصد از اندازه‌گیری‌ها به تیمار آبیاری قطره‌ای با خاک‌پوش پلاستیکی (DA1) و در ۳۳/۳۳ درصد از موارد هم به تیمار آبیاری فتیله‌ای خاک‌پوش دار (CA) مربوط است (جدول ۶). صداقتی و همکاران (۱۳۹۴) در بررسی‌های خود به فزونی رطوبت لایه‌های مختلف خاک در تیمار خاک‌پوش پلاستیکی نسبت به تیمار بدون خاک‌پوش، به نقش مثبت و معنی‌دار خاک‌پوش‌های پلاستیکی در بهبود شرایط رشد گیاه توت‌فرنگی و در مجموع حذف کامل علف‌های هرز و کاهش هزینه‌های کارگری اشاره داشت. به همین ترتیب بیشترین مقادیر صفات ارتفاع نهال، طول شاخه، سطح سایه‌انداز و تعداد برگ به تیمار آبیاری قطره‌ای دارای خاک‌پوش پلاستیکی (DA1) تعلق دارد که مقدار آن‌ها نسبت به مقادیر متناظر در تیمار DA2 به ترتیب ۹۰/۷۲، ۲۱۸/۶۷، و ۱۵۷/۶۳ درصد افزایش را نشان می‌دهد (جدول ۶). ناس و سارما^۳ (۱۹۹۲) تأثیر خاک‌پوش، را سبب خنکی خاک به‌واسطه حفاظت خاک از گرما در روزهای گرم می‌دانند که این امر موجب افزایش دوره رشد رویشی و

¹ Kadbhane & Manekar

² Greenly and Rakow

³ Nath and Sarma

کاهش از دست رفتن رطوبت خاک می‌شود. لذا دلیل عملکرد بهتر تیمار خاک‌پوش پلاستیکی در ترکیب با آبیاری قطره‌ای می‌تواند آبدهی بیشتر سیستم آبیاری قطره‌ای و به تبع خنکی خاک محیط ریشه و عدم وجود هدر رفت جزء تبخیری آب ناشی از وجود خاک‌پوش پلاستیکی باشد.

مطابق نتایج جدول ۶ بیشترین قطر یقه معادل ۶/۵۰ سانتی‌متر در تیمار آبیاری فنیله‌ای دارای خاک‌پوش ترکیب ماسه و کلش (CA3) و بیشترین تعداد شاخه معادل ۱۱ شاخه در تیمار آبیاری فنیله‌ای دارای خاک‌پوش پلاستیکی (CA1) مشاهده شد که به ترتیب ۲۸۲/۳۵ و ۲۶۶/۶۷ درصد بیشتر از مقدار این دو صفت در تیمار شاهد بود. بررسی‌های جزئی‌تر جدول ۶ نشان داد که مقادیر بیشتر قطر یقه به تیمار روش آبیاری فنیله‌ای دارای خاک‌پوش تعلق دارد. به طوری که تفاوت معنی‌داری بین بیشترین مقدار صفت قطر یقه ۶/۵۰ سانتی‌متر در تیمار روش آبیاری فنیله‌ای با خاک‌پوش ترکیبی ماسه و کلش (CA3) و قطر یقه ۶/۱۶ سانتی‌متر در تیمار آبیاری فنیله‌ای با خاک‌پوش کلش (CA4) و قطر یقه ۶/۰۷ سانتی‌متر در تیمار آبیاری فنیله‌ای با خاک‌پوش پلاستیکی (CA1) مشاهده نشد. در خصوص صفت ارتفاع نهال‌های تاک مشخص گردید که اختلاف بین مقادیر آن در تمامی تیمارهای خاک‌پوش دار روش آبیاری قطره‌ای (DA) معنی‌دار و مقادیر آن در تمامی تیمارهای خاک‌پوش دار روش آبیاری فنیله‌ای (CA) فاقد اختلاف معنی‌دار است (جدول ۶). بیشترین و کمترین مقدار صفت ارتفاع نهال به ترتیب برابر ۲۷/۳۳ و ۱۴/۳۳ سانتی‌متر در تیمارهای DA1 و DA2 مشاهده شد. نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل روش آبیاری در خاک‌پوش نشان داد که کمترین میزان صفت تعداد شاخه معادل ۳ شاخه مربوط به تیمار DA2 و بیشترین میزان صفت مذکور معادل ۱۱ شاخه مربوط به تیمار CA1 بود. همچنین بر اساس نتایج جدول ۶ مشاهده گردید که نوع خاک‌پوش مورد استفاده در روش آبیاری قطره‌ای بر تعداد شاخه بی‌اثر بوده و مقدار آن در تمامی تیمارهای آبیاری قطره‌ای به جز تیمار آبیاری قطره‌ای بدون خاک‌پوش (شاهد) در یک گروه آماری مشترک با نماد d قرار دارند. در سیستم آبیاری کاپیلاری نیز خاک‌پوش کلش با تعداد ۸ شاخه نسبت به دیگر تیمارهای خاک‌پوش عملکرد ضعیف‌تری نشان داد. تأثیر اثر متقابل روش آبیاری با تیمارهای خاک‌پوش در جدول ۶ برای صفت طول شاخه نشان داد که کمترین میزان این صفت با مقدار ۶۴/۳۳ سانتی‌متر مربوط به تیمار شاهد به روش آبیاری قطره‌ای (DA2) و تیمار شاهد به روش آبیاری فنیله‌ای (CA2) بود. در مقابل بیشترین میزان صفت مذکور با میزان ۲۰۵ سانتی‌متر مربوط به تیمار خاک‌پوش پلاستیکی در آبیاری قطره‌ای (DA1) و تیمار خاک‌پوش پلاستیکی در گروه آبیاری فنیله‌ای (CA1) بود. نتایج همچنین بیان‌گر عدم تفاوت معنی‌دار مقدار طول شاخه بین خاک‌پوش پلاستیکی و خاک‌پوش کلش در روش آبیاری قطره‌ای بود. در حالی که افزودن ماسه به خاک‌پوش کلش (خاک‌پوش ترکیبی) در هر دو روش آبیاری سبب افت عملکرد صفت مذکور شد. از دلایل این افت عملکرد را می‌توان به خاصیت بالای جذب گرما در ماسه، افزایش میزان تعرق برگ‌ها و تقاضای بالاتر نهال‌های تاک برای جذب آب دانست. در تحقیقات صورت گرفته در ایستگاه تحقیقات زیست‌محیطی و کشاورزی مناطق سرد و خشک آکادمی علوم چین از سوی لی^۱ (۲۰۰۳) افزایش دما در تیمار خاک‌پوش شنی و در تحقیقات نورزاده نامقی و همکاران (۱۳۹۷) افزایش کمتر دما در خاک‌پوش چپس چوب و خاک‌پوش کلش جو گزارش شده است.

آخرین صفت مورد مطالعه تعداد برگ نهال‌های تاک‌ها بود که نتایج نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار آن در تیمارهای مختلف روش آبیاری قطره‌ای نسبت به تیمار شاهد بود. بیشترین و کمترین تعداد برگ به ترتیب به تیمار خاک‌پوش پلاستیکی در روش آبیاری قطره‌ای (DA1) و تیمار بدون خاک‌پوش در روش آبیاری قطره‌ای (DA2) در دامنه ۱۵۲ تا ۵۹ برگ تعلق دارد. همین شرایط برای صفت سطح سایه‌انداز گیاه نیز به واسطه ارتباط و همبستگی تعداد برگ و سطح سایه‌انداز در دامنه ۶۴/۸۳ سانتی‌متر مربع تا ۲۴/۴۰ سانتی‌متر مربع قابل مشاهده است. نتایج تعداد برگ در روش آبیاری فنیله‌ای حاکی از عدم تأثیرپذیری صفت فوق از خاک‌پوش‌های مختلف بود (جدول ۶). به طوری که میزان صفت تعداد برگ در تیمار بدون خاک‌پوش با تیمارهای دارای خاک‌پوش در یک گروه مشترک آماری قرار گرفتند. نتایج صداقتی و همکاران (۱۳۹۴) نیز حاکی از افزایش سطح برگ‌ها و افزایش رشد شاخه‌های گیاه پسته در تیمارهای دارای خاک‌پوش پلاستیکی نسبت به تیمار فاقد خاک‌پوش است. هائولیانگ

¹ Li

دنگ و همکاران (۲۰۲۱) نیز گزارش دادند که استفاده از خاکپوش موجب بهبود معنی‌دار صفات رشد و عملکرد بالاتر گیاه پیاز می‌شود.

بحث

کشور ایران با متوسط بارش یک‌سوم بارش جهانی، در رده مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا طبقه‌بندی شده و این مسئله سبب رویارویی کشور با بحران آب شده است. نظر به اینکه که منابع آبی باکیفیت مطلوب برای آبیاری محصولات در جهان محدود است، لذا باید در این زمینه تمهیدات اصولی در نظر گرفته شود. یکی از این موارد جهت استفاده بهینه از منابع آبی استفاده از روش‌های نوین آبیاری و روش‌های آبیاری میکرو است. لازم به ذکر است که بخش بزرگی از آب به‌کاررفته در عملیات آبیاری صرف تبخیر از سطح خاک می‌گردد، لذا کنترل تبخیر از سطوح فاریاب با استفاده از روش‌های فیزیکی و شیمیایی، راه‌حل مهمی در حفاظت از منابع آبی است. یکی از روش‌های فیزیکی کاهش تبخیر سطحی آب خاک، استفاده از انواع خاکپوش است. این روش با حفظ و ذخیره رطوبت خاک، استفاده حداکثر از آب را به‌ویژه در زراعت محصولات ردیفی امکان‌پذیر می‌سازد. در صورت استفاده از خاکپوش، به علت عدم تماس هوای خشک با سطح خاک و تابش خورشیدی به سطح آن، از تبخیر جلوگیری می‌شود، و با توجه به آنکه سهم زیادی از رطوبت سطحی خاک در اثر تبخیر از دست می‌رود، انتظار می‌رود استفاده از مالچ‌ها سبب کاهش میزان تبخیر سطحی و حفظ رطوبت خاک گردند. گیاه انگور (*Vitis vinifera L*) یک گیاه چوبی چندساله است. و برای رشد به تابستان‌های گرم و خشک طولانی و زمستان‌های سرد نیاز دارد. این گیاه در شرایط کم‌آبی با تولید ریشه‌های عمیق با شرایط محیط پیرامون سازگار می‌شود اما تنش شدید خشکی باعث کندی رشد، تأخیر در رسیدگی میوه، کاهش کیفیت میوه، به هم خوردن تناسب تعداد برگ و میوه و در نهایت کاهش رشد شاخه می‌شود. هدف از این پژوهش بررسی اثرات استفاده از خاکپوش در دو سیستم آبیاری قطره‌ای و فتیله‌ای در میزان رشد صفات رویشی گیاه انگور و مقایسه این اثرات در حالت بدون خاکپوش در دو سیستم آبیاری است. برای نیل به این هدف، آزمایش در دو روش آبیاری مذکور و در چهار حالت استفاده از خاکپوش‌های پلاستیکی، ترکیب ماسه و کلش، کلش و بدون مالچ صورت پذیرفت.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از خاکپوش در آبیاری قطره‌ای و فتیله‌ای، صفات رویشی نهال‌های تاک را نسبت به حالت بدون پوشش (تیمار شاهد) افزایش داد. استفاده از سیستم آبیاری فتیله‌ای بدون هیچ‌گونه تغییر در نحوه آبیاری و نیاز به دخالت نیروی انسانی در مدیریت آبیاری با ۱۰۰ درصد زنده‌مانی در نهال‌ها در بررسی مزرعه‌ای موفقیت‌آمیز ارزیابی شد. آبیاری قطره‌ای در ۵۰ درصد از مقادیر صفات رشدی ارتفاع نهال، سطح سایه‌انداز و تعداد برگ‌های تاک‌ها عملکرد بهتری نسبت به آبیاری فتیله‌ای نشان داد. زیرا ماهیت سیستم آبیاری فتیله‌ای به‌صورت آبیاری زیرسطحی است و تلفات تبخیری در این سیستم بسیار ناچیز است و تنها راه اتلاف رطوبت در اثر فرآیند تعرق گیاهی است. به‌عبارتی دیگر خاکپوش در روش آبیاری قطره‌ای سبب به وجود آمدن اختلاف معنی‌دار بین سطوح مختلف خاکپوش شده است. لیکن تفاوت بین عملکرد صفات رویشی در روش آبیاری فتیله‌ای با خاکپوش‌های مختلف نسبت به حالت بدون خاکپوش آبیاری فتیله‌ای به دلیل ماهیت زیرسطحی بودن این روش آبیاری معنی‌داری نبود. نتایج پژوهش زینالی و همکاران (۱۴۰۰) نیز بیان‌گر عدم نیاز به خاکپوش در ترکیب با روش آبیاری زیرسطحی قطره‌ای در مقایسه با آبیاری قطره‌ای سطحی دارای خاکپوش پلاستیکی است. از دیگر مزایای استفاده از خاکپوش محدود شدن رشد علف‌های هرز، کاهش رطوبت موردنیاز تاک‌ها و کاهش هزینه‌های کارگری است که در تیمار خاکپوش پلاستیکی این امر مشهودتر بود. نتایج نشان داد که استفاده از خاکپوش پلاستیکی در صفات ارتفاع نهال، طول شاخه، سطح سایه‌انداز و تعداد برگ در روش آبیاری قطره‌ای نسبت به تیمار مشابه در روش آبیاری فتیله‌ای به ترتیب سبب افزایش ۴۲/۶۶، ۱۶/۴۲، ۳۴/۱۸ و ۴۸ درصدی عملکرد صفات مذکور شده است. در مجموع در صورت طراحی سیستم آبیاری قطره‌ای، استفاده از خاکپوش می‌تواند مفید باشد و برای این منظور خاکپوش پلاستیکی در این روش قابل توصیه است.

تقدیر و تشکر

در پایان از سازمان جهاد دانشگاهی استان کرمانشاه جهت فراهم ساختن زیرساخت‌های این پژوهش، سپاسگزاری می‌گردد.

منابع

- آمارنامه کشاورزی. (۱۳۹۹). محصولات باغبانی. وزارت جهاد کشاورزی معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات، جلد سوم.
- اسلامی، امیر، و فرزاد نیا، مسعود. (۱۳۸۸). اثر انواع مالچ برافزایش ظرفیت نگهداری آب خاک و عملکرد درختان پسته. مجله آبیاری و زهکشی ایران، ۳(۲) ۸۷-۷۹. <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=122822>
- بیناباجی، مهدی، و مختاری، علی. (۱۳۷۹). استفاده از تکنیک بقاء حیات گیاهان برای کشت و استقرار نهال‌های جوان. دومین کنگره علوم باغبانی ایران.
- زینالی، فاطمه، بشارت، سینا، و بهمنش، جواد. (۱۴۰۰). مقایسه عملکرد و شبیه‌سازی حرکت و جذب آب و الگوی پخش ریشه ذرت دانه‌ای در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی و مالچ پلاستیکی. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۱۵(۴) ۹۶۶-۹۵۵. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.20087942.2021.15.4.18.8>
- علیزاده، امین، وظیفه دوست، مهدی، کمالی، غلام، باستانی، خداداد، مرتضوی، امید، و ایزدی، امین. (۱۳۹۱). نرم‌افزار بهینه‌سازی الگوی مصرف آب کشاورزی AGWAT.
- غلامی رحمت اله، ارجی عیسی، گردکانه محمد. (۱۳۹۲). بررسی اثرات دور آبیاری و مالچ بر صفات رویشی زیتون در استان کرمانشاه. مجله علوم باغبانی، ۲(۱) ۸۱-۷۴. <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=200013>
- نجف آبادی، شکوفه، نوری امامزاده ای، محمدرضا، قبادی نیا، مهدی، و دانش شهرکی، عبدالرزاق. (۱۳۹۶). بررسی اثرات انواع خاکپوش بر کارایی مصرف آب و شاخص‌های رشد ذرت سینگل کراس ۷۰۴. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۳۱(۳) ۷۳۷-۷۲۷. <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=313378>
- تدین، محمد سعید، و صادقی، سهراب. (۱۳۹۸). دستورالعمل استفاده مالچ آلی و مصنوعی در کشاورزی. نشریه فنی ۵۷۷ مؤسسه تحقیقات خاک و آب. انتشارات سنا. https://agrilib.areeo.ac.ir/book_8058.html
- تفضلی، ع. ج. حکمتی و پ. فیروزه. ۱۳۷۰. انگور. انتشارات دانشگاه شیراز.
- صالحی محمد حسن، اسفندیار بروجنی، عیسی، مهاجر، رضا، و باقری بداق آبادی، محسن. (۱۳۹۰). حفاظت اضافی خاک و آب انتشارات دانشگاه پیام نور. <https://www.gisoom.com/book/11557214>
- صدادتی، ناصر، علیزاده، امین، انصاری، حسین، و حسینی فرد، سیدجواد. (۱۳۹۴). اثر استفاده از خاکپوش پلاستیکی در آبیاری قطره‌ای بر رشد، عملکرد و بهره‌وری مصرف آب پسته. نشریه پژوهش آب در کشاورزی (علوم خاک و آب). ۲۹(۴) ۴۹۵-۴۸۳. <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=286925>
- نورزاده نامقی، مینا، داوری نژاد، غلامحسین، انصاری، حسین، نعمتی، سیدحسین، و زارع فیض آبادی، احمد. (۱۳۹۷). تأثیر مالچ‌های آلی و غیرآلی بر تغییرات رطوبت، دمای خاک، هدایت روزنه‌ای و دمای برگ درختان پسته (*Pistacia vera* L.) در اقلیم خشک و نیمه خشک. مجله علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی). ۳۲(۱) ۹۱-۷۵. <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=492815>
- تدین، محمدسعید، معاف‌پوریان، غلام رضا، منصوری، بهمن، و شجری، شهاب. (۱۳۹۴). بررسی اثر کاربرد انواع خاک‌پوش بر افزایش ذخیره رطوبتی خاک و عملکرد کمی و کیفی انگور دیم (*Vitis vinifera* L.) در استان فارس. گزارش نهایی شماره ۴۷۴۳۶، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران.

References

- Abo-Ogiala, A. M. M. E. N., & Khalafallah, N. E. (2019). Effect of Rice Straw Mulching on Water Use Efficiency, Growth, Yield and Quality of King Ruby Grape under Surface Irrigation. *Egyptian Journal of Horticulture*, 46(1), 29-39. <https://dx.doi.org/10.21608/ejoh.2018.6795.1092>
- Agricultural statistics. (2019). Horticultural products. Ministry of Agricultural Jihad, Vice President of Planning and Economic Information and Communication Technology Center. Volume 3 [In Persian]
- Alizadeh, A., Vazifeh doost, M. Kamali, G., Bastani, K., Mortazavi, A., & Yazidi, A. (2012). Agricultural water consumption pattern optimization software AGWAT [In Persian]
- Binabaji, M., & Mokhtari A. (2000). The use of plant life survival technique for planting and establishment of young seedlings. The second congress of horticultural sciences of Iran.
- Brainard, D. C., Bakker, J., Noyes, D. C., & Myers, N. (2012). Rye living mulch effects on soil moisture and weeds in asparagus. *HortScience*, 47(1), 58-63. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.47.1.58>
- Biswas, S. K., Akanda, A. R., Rahman, M. S., & Hossain, M. A. (2016). Effect of drip irrigation and mulching on yield, water-use efficiency and economics of tomato. *Plant, Soil and Environment*, 61(3), 97-102. <https://doi.org/10.17221/804/2014-PSE>
- Du, Y., Wang, Z., Sun, Q., Zhai, H., & Wang, Z. (2008). Evaluation on grape phylloxera resistance in several grape varieties and rootstocks. *Acta Entomol Sinica*, 511, 33-39.
- Chauhan, H.S. (2012). Subsurface drip irrigation. 8th International Micro Irrigation Congress. 21 October 2011, Tehran, Iran. 59-67. http://wg-on-farm.icidonline.org/micro_irrigation_tehran.pdf
- Eslami, A., & Farzam Nia, M. (2009). The effect of different types of mulch on increasing soil water holding capacity and yield of pistachio trees. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 3(2), 79-87. <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=122822> [In Persian]
- Gholami, R.A., Arji, I., & Gurdkaneh, M. (2012). Investigating the effects of irrigation and mulching on vegetative characteristics of olives in Kermanshah province. *Horticultural sciences (agricultural sciences and industries)*. 2(1), 74-81. <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=200013> [In Persian]
- Greenly, K. M., & Rakow, D. A. (1995). The effect of wood mulch type and depth on weed and tree growth and certain soil parameters. *Journal of Arboriculture*, 21, 225-225. <https://doi.org/10.48044/jauf.1995.036>
- Deng, H., Wang, P., Xiao, R., Zhang, H., Zhang, Y., Wang, J., & He, W. (2021). Effect of Different Irrigation Patterns and Covering Methods on Onion Yield in the Hexi Corridor. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 643, 1, 012096. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/643/1/012096>
- Kadbane, S. J., & Manekar, V. L. (2021). Grape production assessment using surface and subsurface drip irrigation methods. *Journal of Water and Land Development*. <https://dx.doi.org/10.24425/jwld.2021.137109>
- Li, X. Y. (2003). Gravel-sand mulch for soil and water conservation in the semiarid loess region of northwest China. *Catena*, 52(2), 105-127. [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(02\)00181-9](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(02)00181-9)
- Nath, J. C., & Sarma, R. (1992). Effect of organic mulches on growth and yield of Assam lemon (*Citrus Limon* Burm.). *Horticultural Research*, 5, 19-23.
- Najafabadi, S., Nouri Imamzadei, M. R., Ghobadnia, M., & Danesh Shahraki, A. R. (2016). Investigating the effects of soil types on water use efficiency and growth indices of single cross maize 704. *Water and Soil (Agricultural Sciences and Industries)*. 31(3), 737-727. <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=313378> [In Persian]
- Noorzadeh Namghi, M., Davarinejad, G. H., Ansari, H., Nemati, S. H., & Zare Faizabadi, A. (2017). The effect of organic and inorganic mulches on changes in humidity, soil temperature, stomatal conductance and leaf temperature of pistachio trees (*Pistacia Vera* L in arid and semi-arid climates. *Horticultural Sciences (Agricultural Sciences and Industries)*. 32 (1), 75-91. <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=492815> [In Persian]

- Rana, G., Katerji, N., Introna, M., & Hammami, A. (2004). Microclimate and plant water relationship of the "overhead" table grape vineyard managed with three different covering techniques. *Scientia Horticulturae*, 102(1), 105-120. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2003.12.008>
- Sedaghati, N., Alizadeh, A., Ansari, H., & Hosseini Fard, S. J. (2014). The effect of using plastic mulch in drip irrigation on the growth, yield and water consumption efficiency of pistachios. *Water research in agriculture (soil and water sciences)*. 29 (4): 483-495. <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=286925> [In Persian]
- Salehi M.H., Esfandiari Borojeni A., Mohajer R., & Bagheri Badaghabadi M. (2011). *Additional Soil and Water Conservation*. Payam Noor University Publishers. <https://www.gisoom.com/book/11557214/> [in Persian]
- Son, J. E., Oh, M. M., Lu, Y. J., Kim, K. S., & Giacomelli, G. A. (2006). Nutrient-flow wick culture system for potted plant production: System characteristics and plant growth. *Scientia horticulturae*, 107(4), 392-398. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2005.11.001>
- Tadin, M. S. & Sadeghi, S. (2018). Guidelines for the use of organic and synthetic mulch in agriculture. Technical publication 577 of soil and water research institute. Senate Publications. https://agrilib.areeo.ac.ir/book_8058.html [In Persian]
- Tadin, M. S., Maafpurian, G. R., Mansouri, B., & Shajari, S. (2014). Investigating the effect of applying different types of soil cover on increasing soil moisture storage and quantitative and qualitative yield of dry grapes (*Vitis vinifera* L.) in Fars province. Final Report No. 47436, Soil and Water Research Institute, Karaj, Iran. [In Persian]
- Tafazoli, A., Hekmati, J., & Firoozeh P. (1991). *Grape*. Shiraz University press. [in Persian]
- Zinali, F., Basharat, S., & Bahmanesh, J. (2021). Performance comparison and simulation of movement and absorption of water and seed maize root spreading pattern in surface and subsurface drip irrigation systems and plastic mulch. *Iran Irrigation and Drainage Journal*. 15(4), 955-966. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.20087942.2021.15.4.18.8> [In Persian]
- Wilcox, L. V. (1960). Boron Injury to Plants. U.S. Dept. of Agriculture, Information Bulletin No. 211.
- Xie, Z., Wang, Y., Jiang, W., & Wei, X. (2006). Evaporation and evapotranspiration in a watermelon field mulched with gravel of different sizes in northwest China. *Agricultural water management*, 81(1-2), 173-184. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2005.04.004>
- Xu, J., Bai, W., Li, Y., Wang, H., Yang, S., & Wei, Z. (2019). Modeling rice development and field water balance using AquaCrop model under drying-wetting cycle condition in eastern China. *Agricultural Water Management*, 213, 289-297. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.10.028>



Determination of transient flow pressure losses due to leakage from pipe wall using intelligent algorithms

Kamran Mohammadi¹ ✉

¹ Corresponding Author, Assistant Professor, Department of Planning and Research Supervisory, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail : k_mohammadi@razi.ac.ir

ABSTRACT

Introduction

The use of intelligent and meta-heuristic algorithms has many applications in engineering sciences, which is generally achieved by advances in computer computing. Hydraulic is one of the sciences that researchers use intelligent algorithms widely. Transient flow is a type of unsteady flow whose analysis always has special complexities and time consuming. One of the most important characteristics of transient flow is the rate of losses, which determines the damping rate of pressure waves. On the other hand, pipelines have leaked in their walls over time for various reasons, therefore it is necessary to study losses in transient flow in the presence of leaks. So, due to the complexity of equations, boundary conditions, effective factors and time-consuming calculations, the use of intelligent algorithms in determining amount of head losses in pressure waves of transient flow (H_{LPW} – Head Loss of Pressure Wave) despite leakage in the pipe wall is helpful. In this study, according to the application of intelligent algorithms in the analysis and optimization of transmission pipelines, transient flows, leaks, pressure losses, etc., based on dimensional analysis, we use artificial neural networks (ANN), genetic algorithms (GA) and gene expression programming (GEP) to study and estimate the H_{LPW} and also provide an optimal relationship to determine and calculate this parameter. Also, the performance of the mentioned models has been compared with hydraulic inverse transient analysis (ITA) model.

Methodology

In this study, laboratory data were used from Mohammadi (2016). The laboratory model equipment used includes reservoir, pipe, and a valve (RPV). The pipe used is made of polyethylene with a working pressure of 10 bar, nominal diameter of 63 mm and length of 47 meters. A total of 120 series of experiments were performed by very fast closure of valve (almost instantaneous closure) at 6 discharges, 5 leak diameters and 4 different leak locations (Table 1).

Table 1- Range of variables during experiments

Parameters	Diameter (mm)	Pipe length (m)	Discharge (l/s)	Leak diameter (mm)	Distance of leak from reservoir (m)
Range	63	47	2 - 2.5 - 3 - 3.5 - 4 - 4.5	4 - 6 - 8 - 10 - 12	27 - 33 - 39 - 45

Applying Buckingham's π theorem and performing dimensional analysis and consideration (H_{LPW}) as one of the effective parameters during the experiments we will have:

$$f(\text{Re}_p, \frac{D_L}{D_p}, \frac{L_L}{D_p}, \frac{VT_c}{D_p}, \frac{H_{LL}}{D_p}) = 0 \quad (1)$$

Artificial Neural Networks (ANN)

In order to use the ANN technique, a network with 4 dimensionless parameters (Re_p), (D_L/D_p), (L_L/D_p) and (VT_c/D_p) for input variables and (H_{LPW}/D_p) as the target organized that consisted of 5 neurons in the middle layer. In this study, the neural network is preprocessor multilayer perceptron (MLP) that uses the Error Back-Propagation algorithm to generate the error signal.

Genetic Algorithms (GA)

In GA analysis, the following general equation is proposed to determine H_{LPW} :

$$H_{LPW}/D_p = a(\text{Re}_p)^b + c(D_L/D_p)^d + e(L_L/D_p)^f + g(VT_c/D_p)^h + i \quad (2)$$

In the above equation, the coefficients a, b, c, d, e, f, g, h and i are fixed parameters that have been tried to determine the best answer for them during the optimization process.

Gene Expression Programming (GEP)

In order to estimate the (H_{LPW}) using GEP method, the equation with the following form is presented:

$$H_{LPW}/D_p = A+B+C+D+E \quad (3)$$

Which A, B, C, D and E are terms to be determined by GEP.

Results and discussion

Application of ANN to determination of H_{LPW}

The data were randomly divided into two categories, with 70% of the data used for training and the remaining 30% for the network test phase. During the training process, the optimal learning rate was 0.1492 and the movement size coefficient was 0.89. In the training stage, the values of R^2 , RMSE and standard deviation were 0.989, 0.067 and 0.025, respectively, which indicates the accuracy of training. After completing the training, the test step was performed and the results are presented in Table 2. Statistical indices show that the trained multilayer perceptron has been able to successfully calculate the target values in best form.

Application of GA to determination of H_{LPW}

By converging the genetic algorithm to the absolute optimal solution, the equation of (H_{LPW}) was obtained as follows:

$$H_{L,PW}=78.87D_p Re_p^{0.15}+877.96D_p^{0.49} D_L^{0.51}-1.96D_p^{0.12} L_L^{0.88}-388.05D_p^{2.01} V T_c^{-1.01}+315.41D_p \quad (4)$$

Statistical indices show the average performance of GA in providing a equation for calculating $H_{L,PW}$. As shown in Table 2, with $R^2=0.721$, it had the weakest performance among intelligent algorithms.

Application of GEP to determination of $H_{L,PW}$

Statistical results related to the GEP model show that the obtained equation has $R^2=0.9015$ in the training phase and $R^2=0.905$ in the test phase, which shows the high accuracy of the equation:

$$A=(\cos(Re)-2.52)^3+[(9.94\frac{D_L}{D_p})+Re-9.94]/(2\frac{L_L}{D_p}) \quad (5)$$

$$B=\exp\left[\sin\left(\sin\left(\frac{V T_c}{D_p}\right)\times\left[\frac{L_L}{9.53D_p}+\frac{0.64D_L}{D_p}\right]\right)^3\right] \quad (6)$$

$$C=[(\sin(\sqrt{\frac{D_L}{D_p}})+(\frac{D_L}{D_p}-72.08))\times\sin(\frac{L_L}{D_p}+7.23)]-\frac{V T_c}{D_p} \quad (7)$$

$$D=[\left|\sin\left(8.23+\left(\frac{L_L}{D_p}\times Re^2\right)\right)\right|\times Re]+Re^{\frac{1}{3}} \quad (8)$$

$$E=\left(\frac{V T_c}{D_p}+\frac{D_L}{D_p}\right)+\frac{(9.87Re)+\left(Re\frac{D_L}{D_p}\right)}{\frac{D_L}{D_p}\left(\frac{L_L}{D_p}+1\right)} \quad (9)$$

Comparison of intelligent algorithms with hydraulic analysis

In order to compare the efficiency of intelligent algorithms with the existing hydraulic analysis, the results calculated by ANN, GA and GEP have been compared with the results calculated by the hydraulic analysis of transient flow by invers transient analysis (ITA) method in presence of leakage with application of double coefficient instantaneous accelerated base (IAB) unsteady friction model.

Table 2- Range of variables during experiments

Method of calculation	R^2	RMSE	ME	MAPE	α
ITA	0.891	0.180	0.026	2.23%	1.033
ANN	0.987	0.019	0.004	1.82%	0.996
GA	0.721	6.892	0.537	12.24%	0.965
GEP	0.905	0.110	0.018	2.07%	1.028

Conclusions

The results showed that the ANN model has the best performance among the intelligent algorithms for calculation ($H_{L,PW}$). Also, ANN, GEP, ITA and GA models with R^2 equal to 0.987, 0.905, 0.891 and 0.721, have the best performance in estimation of ($H_{L,PW}$), respectively. In general, for estimation of ($H_{L,PW}$) some intelligent algorithms are more powerful than the existing hydraulic analyzer. Therefore, their use is recommended in both terms of reducing time and increasing the accuracy of calculations.

Keywords: Artificial neural network (ANN), Genetic algorithm (GA), Gene expression programming (GEP), Pressure wave losses, Leakage

Article Type: Research Article


Article history: Received: 14 December 2021 Revised: 24 April 2022 Accepted: 06 June 2022 ePublished: 23 August 2022

Cite this article: Mohammadi, K. (2022). Determination of transient flow pressure losses due to leakage from pipe wall using intelligent algorithms. *Advanced Technologies in Water Efficiency*, 2(2), 77-96. DOI: 10.22126/ATWE.2022.7254.1009





تعیین میزان افت نوسانات فشاری جریان های میرا بر اثر نشت از جدار لوله به کمک الگوریتم های هوشمند

کامران محمدی 

^۱ نویسنده مسئول، استادیار گروه برنامه ریزی و نظارت پژوهشی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: k_mohammadi@razi.ac.ir

چکیده

الگوریتم های هوشمند که محصول پیشرفت در علوم رایانه می باشند، توانایی مهندسان در تحلیل و مدل سازی پدیده های هیدرولیکی پیچیده را به مقدار بسیار زیادی افزایش داده اند. از آن جمله، تحلیل جریان های میرا است که همواره بخش مهمی از هیدرولیک مجاری تحت فشار در انتقال و توزیع سیالات را به خود اختصاص می دهند. در این بین با گذشت زمان، خطوط لوله دچار شکستگی، نشت و ... می گردد. از سویی یکی از مهم ترین خصوصیات جریان های میرا، میزان افت در نوسانات فشاری است که این مسئله با وجود نشت از جداره لوله تشدید خواهد شد. در تحقیقات قبل به محاسبه و تخمین میزان افت ناشی از نشت به صورت مستقیم توجه چندانی نشده است. در این تحقیق سعی بر آن است تا با استفاده از الگوریتم های هوشمند نظیر شبکه عصبی مصنوعی (ANN)، الگوریتم ژنتیک (GA) و برنامه ریزی بیان ژن (GP)، میزان افت امواج فشاری عبوری از روزه نشت در جدار لوله (HLPW) تعیین و کاربرد آن با تحلیل هیدرولیکی مقایسه گردد. بنابراین ابتدا به کمک آنالیز ابعادی، پارامترهای مؤثر بر (HLPW) مشخص و سپس در مجموع تعداد ۱۲۰ آزمایش با ۶ دبی، ۵ قطر نشت و ۴ محل نشت که بر روی لوله پلی اتیلن به قطر نامی ۶۳ میلی متر و به طول ۴۷ متر به انجام رسیده بود برای انجام تحقیق انتخاب شد. نتایج نشان داد مدل ANN بهترین عملکرد را در بین الگوریتم های هوشمند برای تخمین و محاسبه (HLPW) دارد. همچنین، به ترتیب مدل های ANN، GEP، ITA و GA با R^2 برابر ۰/۹۸۷، ۰/۹۰۵، ۰/۸۹۱ و ۰/۷۲۱ دارای بهترین عملکرد در تخمین (HLPW) هستند. به صورت کلی برخی الگوریتم های هوشمند در تخمین پارامتر (HLPW) از تحلیل گر هیدرولیکی موجود توانمندتر بوده و لذا استفاده از آن ها هم به لحاظ کاهش زمان و هم از جهت افزایش دقت محاسبات توصیه می گردد.

واژه های کلیدی: شبکه عصبی مصنوعی، الگوریتم ژنتیک، برنامه ریزی بیان ژن، افت نوسانات فشاری، نشت

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

سابقه مقاله: دریافت: ۲۳ آذر ۱۴۰۰ اصلاح: ۰۴ اردیبهشت ۱۴۰۱ پذیرش: ۱۶ خرداد ۱۴۰۱ چاپ الکترونیکی: ۰۱ شهریور ۱۴۰۱

استناد: محمدی، ک. (۱۴۰۱). تعیین میزان افت نوسانات فشاری جریان های میرا بر اثر نشت از جداره لوله به کمک الگوریتم های هوشمند. فناوری های پیشرفته در بهره وری آب، ۲(۲)، ۷۷-۹۶. شناسه دیجیتال: 10.22126/ATWE.2022.7254.1009



© نویسنده گان.

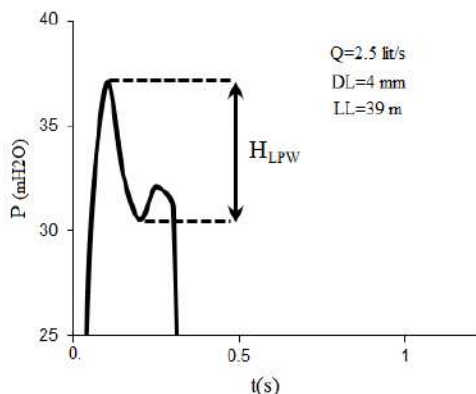
ناشر: دانشگاه رازی

مقدمه

استفاده از فناوری های پیشرفته به صورت روزافزون در علوم مختلف در حال گسترش است. در این میان الگوریتم های هوشمند و فرا کاوشی کاربردهای فراوانی در علوم مهندسی به خود اختصاص داده است و در میان مهندسان به دلیل توانایی های بسیاری که دارد دارای محبوبیت قابل قبولی است. این الگوریتم ها که عموماً با پیشرفت در محاسبات کامپیوتری حاصل شده اند امکان تحلیل پدیده های پیچیده را برای کاربران فراهم می آورند. هیدرولیک از بزرگ ترین علمی است که الگوریتم های هوشمند جایگاه خود را در بین محققین این زمینه به خوبی باز نموده و به کمک مهندسان آمده است. جریان های میرا نوعی از جریان های غیر ماندگار هستند که عوامل و پارامترهای مختلفی بر روی آن اثر گذار است و لذا تحلیل آن همواره دارای پیچیدگی های خاص خود بوده و معمولاً زمان بر است. یکی از مهم ترین خصوصیات جریان های میرا میزان افت آن ها است که روند استهلاک در نوسانات فشاری را مشخص می کند. خطوط لوله با گذشت زمان و به دلایل گوناگون در جدار خود دچار نشت شده که در نتیجه در شرایط واقعی، افت در جریان های میرا باید در حضور نشت مورد بررسی و تحلیل قرار بگیرد. بنابراین به دلیل پیچیدگی های فراوان معادلات، شرایط مرزی، عوامل مؤثر و زمان بر بودن محاسبات، استفاده از الگوریتم های هوشمند در تعیین میزان افت فشار در نوسانات فشاری جریان های میرا با وجود نشت در جدار لوله (Headloss of Pressue Wave – H_{LPW}) می تواند بسیار راهگشا باشد.

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

تاکنون تحقیقات مختلفی در خصوص جریان های میرا در حضور نشت، چگونگی افت و روند استهلاک آن ها و همچنین کاربرد الگوریتم های هوشمند در علوم مرتبط با هیدرولیک ارائه شده است. شکل ۱ مقدار پارامتر میزان افت فشار در نوسانات فشاری جریان های میرا با وجود نشت در جدار لوله H_{LPW} را نشان می دهد. با تعیین پارامتر مورد اشاره، اکنون با استفاده از الگوریتم های هوشمند این امکان وجود دارد تا بتوان رابطه ای نیز جهت افت فشار ناشی از نشت در جریان های میرا ارائه نمود.



شکل ۱. نمایی از مقدار پارامتر H_{LPW} در موج فشاری جریان گذرا برای وجود نشت در خط لوله

شاملو و همکاران (۱۳۸۹) با کمک گرفتن از فن الگوریتم ژنتیک، به نشت یابی در خطوط لوله با استفاده از مدل سازی جریان غیر ماندگار پرداختند. نتایج نشان داد در لوله هایی که به مرور زمان یافتن ضریب اصطکاک مشکل است، این روش کمکی مضاعف می نماید. در این روش انجام مطالعات آزمایشگاهی برای عملی و امکان پذیر بودن در خط لوله انتقال ضروری است. این روش علاوه بر خط انتقال قابلیت اجرا برای شبکه های انتقال را نیز دارا است. نصیریان و همکاران (۱۳۹۲) با استفاده از الگوریتم ژنتیک و به کمک واسنجی فشارهای گرهی، به نشت یابی در شبکه های توزیع آب پرداختند. در این پژوهش روشی جدید مبتنی بر حذف مرحله ای گزینه های وجود نشت در شبکه به کمک الگوریتم ژنتیک مورد بررسی قرار گرفت. مطالعات انجام شده حاکی از کارایی خوب این روش در بهبود نشت یابی در شبکه بود. مقدم و همکاران (۱۳۹۳) به کمک الگوریتم ژنتیک با آشفستگی سریع (FMGA)، افزایش سرعت همگرایی تحلیل ها در بهینه سازی شبکه های توزیع آب را بررسی نمودند. نتایج نشان داد که FMGA قادر است با افزایش سرعت همگرایی در حل مسائل بهینه سازی شبکه های توزیع آب، راه حل بسیار عالی در مقایسه با نتایج دیگر محققین برای دو شبکه مرجع ارائه دهد. احدیان و کیان فرد (۱۳۹۵) با استفاده از برنامه ریزی خطی در حالت جریان میرا به بهینه سازی سامانه های

آبرسانی تحت فشار پرداختند. در این پژوهش ابتدا سامانه در حالت تجربی اجرا شده بررسی شد، سپس هر سه بخش سامانه از جمله لوله‌گذاری، سامانه پمپاژ و سازه‌های کنترلی جریان‌های میرا با استفاده از سیستم برنامه‌ریزی خطی بهینه شد. عطاری و فغفور مغربی (۱۳۹۵) روشی نوین را به‌منظور تعیین نشت با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی ارائه نمودند. در این روش آموزش شبکه با داده‌های آموزشی با اعمال نشت فرضی در گره‌های مشخصی از شبکه و برداشت فشار گرهی در آن گره انجام می‌پذیرد. سرکمریان و همکاران (۱۳۹۹) طی پژوهشی استفاده از مدل جایگزین شبکه عصبی مصنوعی به‌منظور کاهش محاسبات شناسایی نشت در شبکه‌های آبرسانی را مطالعه نمودند. در این تحقیق باهدف افزایش راندمان انجام محاسبات و کاهش زمان آن، استفاده از مدل‌های جایگزین در بخش بهینه‌سازی پیشنهاد شده است. به همین منظور دو الگوریتم جایگزین مبتنی بر اعضای جمعیت (PS) Pre-selection Strategy و (BS) Best Strategy مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج نشان داد الگوریتم به‌کاررفته PS با ۷۸٪ صرفه‌جویی در زمان محاسبات عملکرد بهتری را دارا است. حاضری و همکاران (۱۴۰۰) کاربرد روش‌های بهینه‌سازی تک هدفه (GA) و چند هدفه (NSGA-II) را در طراحی شبکه‌های تحت فشار بررسی و مقایسه نمودند. نتایج این تحقیق نشان داد در هر دو روش، هزینه لوله‌گذاری تقریباً یکسان بوده و اختلاف آن‌ها کمتر از ۱٪ خواهد بود، اما زمان محاسبات کامپیوتری در روش NSGA-II حدود یک‌پنجاهم روش GA است. رستمی و درویشی (۱۴۰۰) در مقاله خود ترکیبی از روش حل معکوس جریان و الگوریتم فرا کاوشی را برای محاسبه مقدار و موقعیت نشت در شبکه‌های توزیع آب مورد بررسی قرار دادند. در روش پیشنهادی، تنها شماره گره‌های نشت به‌عنوان متغیر تصمیم در روش جستجوی هارمونی در نظر گرفته شده و دبی نشت با استفاده از حل معکوس معادلات پیوستگی و انرژی محاسبه می‌شود. نتایج نشان داد که روش مذکور موقعیت و مقدار نشت را حتی در حالتی که دبی نشت کم باشد با دقت بالایی تخمین می‌زند.

سالداریاگا و همکاران^۱ (۲۰۰۶) با استفاده از الگوریتم ژنتیک به یافتن آثار نشت در شبکه توزیع آب شهر Chia پرداختند. در این مطالعات مدلی محاسباتی توسعه داده شد که محدوده جریان‌های گذرا و همچنین جریان‌های ماندگار دارای نوسان را مورد بررسی قرار داد. این شهر به دلیل قطر پایین لوله‌های آن که از جنس PVC بودند انتخاب شد. نتایج عملکرد بسیار خوب مدل ارائه شده را نشان داد. رکا و مارتینز^۲ (۲۰۰۶) با استفاده از الگوریتم ژنتیک مدلی کامپیوتری به نام (GENOME) به جهت طراحی شبکه‌های آبیاری به‌صورت حلقه‌ای معرفی نمودند. این مدل به شکل لینک شده با مدل کامپیوتری EPANET عمل می‌نماید. جین و همکاران^۳ (۲۰۱۰) با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی روشی را به کمک امواج صوتی جهت تشخیص نشت در شبکه‌های توزیع پیشنهاد دادند. در این تحقیق از شبکه عصبی مصنوعی به‌منظور طبقه‌بندی داده‌ها استفاده شد که درجه خودمشابهتی را در داده‌های ورودی معین می‌نمود. دقت روش پیشنهادی در پیدا کردن نشت‌ها در لوله‌های آب مدفون برابر ۹۲/۵٪ برآورد گردید. عبدا... و هرزالا^۴ (۲۰۱۳) با استفاده از مدلی آزمایشگاهی و تجزیه و تحلیل احتمالاتی شبکه عصبی چند مدلی، که یک سیستم تصمیم گیر است، نشتیابی را برای خطوط لوله به انجام رساندند. نتایج نشان‌گر کارایی خوب مدل ارائه شده بود. ماکایا و هنسل^۵ (۲۰۱۵) با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی، دینامیک سیال را در شبکه توزیع آب به‌منظور ایجاد فنی برای تعیین هدر رفت آب مدل‌سازی کردند. در این مطالعات مشخص شد که ANN می‌تواند آموزش دیده و با ۹۹٪ اطمینان جریان را پیش‌بینی نماید و بنابراین به عنوانی ابزاری منعطف و کارآمد برای تعیین هدر رفت آب در شبکه‌های توزیع به‌کاربرده شود. مولالی و همکاران^۶ (۲۰۱۷) به کمک یک مدل شبکه عصبی مصنوعی پیش‌تغذیه شونده با الگوریتم پس انتشار بر پایه روابط رگرسیونی به بررسی بهینه‌سازی متغیرهای طراحی مخزن ضربه‌گیر تحت فشار پرداختند. نتایج به‌دست‌آمده برای اندازه‌های خروجی از نرم‌افزار Hammer برای متغیرهای طراحی مخزن ضربه‌گیر با شبکه عصبی مقایسه شد و مشخص گردید مدل شبکه عصبی مصنوعی اندازه‌های اقتصادی را نتیجه می‌دهد. ریاحی و همکاران^۷ (۲۰۱۸) از برنامه‌ریزی بیان ژن به‌منظور کاهش خطاهای ناشی از خطی سازی در تحلیل‌های دامنه نوسان جریان‌های گذرا در خطوط لوله پرداختند. در این تحقیق با استفاده از برنامه‌ریزی بیان ژن ضرایب تصحیحی جهت کاهش خطاهای ناشی از خطی سازی ارائه گردید که نتایج کاربرد آن نشان داد خطای سیستم با اعمال فاکتورهای تصحیحی به مقدار قابل توجهی کاهش می‌یابد. سان و همکاران^۸ (۲۰۱۹) مدلی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی به‌منظور مدل‌سازی جریان‌های گذرا ارائه دادند.

¹ Saldarriaga et al

² Reza & Martí nez

³ Jin et al

⁴ Abdulla & Herzallah

⁵ Makaya & Hensel

⁶ Mowlali et al

⁷ Riyahi et al

⁸ San et al

این مدل همچنین آموزش داده شده بود تا معادلات دویعدی بوزینسک را تحلیل نماید. چاری و همکاران^(۲۰۲۰) با استفاده از ترکیب شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم ژنتیک روشی به منظور مدل سازی افت فشار در لوله های حاوی جریان های دوفازی پرداختند. در این مدل از شبکه عصبی مصنوعی به عنوان شبیه ساز حالات مختلف جریان و از الگوریتم ژنتیک به عنوان بهینه ساز داده های ورودی استفاده شد. نیکولینی و فالکومر^(۲۰۲۰) با استفاده از فن جدیدی که در استفاده از الگوریتم ژنتیک ارائه نمودند، شبکه توزیع آب شهر Udine را به جهت تخمین پارامترهای هدر رفت آب بررسی کردند. نتایج کاربرد مدل مذکور، کاهش تلفات، کالیبراسیون پارامترهای نشت و سیستم شبکه توزیع، به کارگیری حالت بهینه پمپاژ و کاهش مصرف انرژی بود. بهورکووز و همکاران^(۲۰۲۰) طی تحقیقی تشخیص نشت و تحلیل توپولوژی در خطوط لوله را با استفاده از ترکیب جریان های گذرا و شبکه های عصبی مصنوعی عملی ساختند. نتایج این پژوهش معین نمود در یک لوله به طول ۱۰۰۰ متر، در بیش از ۹۵٪ موارد موقعیت نشت با متوسط خطای کمتر از ۳ متر تخمین زده شد. نوح و همکاران^(۲۰۲۱) به استفاده از روش رگرسیون گیری چند ژنه در برنامه ریزی بیان ژن مدلی را جهت پیش بینی پارامترهای مدل حجم ذخیره عبوری در رودخانه های طبیعی تهیه نمودند. در این تحقیق به منظور اجتناب از کالیبراسیون هزینه بر پارامترهای مدل که با استفاده از آزمایش ها ردیابی انجام می گردد، دو پارامتر تجربی بدون نیاز به برنامه ریزی بیان ژن استخراج شده است. نتایج نشان داد مدل تهیه شده بر اساس برنامه ریزی بیان ژن می تواند در جهت صرفه جویی اقتصادی در تعیین مدل حجم ذخیره عبوری در رودخانه های طبیعی مفید واقع گردد.

همان طور که اشاره شد، در مطالعات پیشین الگوریتم های هوشمند مانند شبکه عصبی مصنوعی، الگوریتم ژنتیک و برنامه ریزی بیان ژن توسط محققین مختلف طی کاربردهای فراوان و متنوعی به منظور تحلیل و بهینه سازی در مسائل مربوط به شبکه های توزیع آب شرب، خطوط انتقال، جریان های گذرا، نشت، افت فشار و ... به کار برده شده اند که کاربرد آن ها توأم با موفقیت بوده است. بنابراین با توجه به اهمیت و ضرورت تعیین میزان افت فشار در نوسانات فشاری جریان های میرا با وجود نشت در جدار لوله (HLPW) که قبلاً به آن اشاره شد، به منظور اجتناب از ورود به پیچیدگی های فراوان معادلات و زمان بر بودن محاسبات، در این تحقیق با استفاده از الگوریتم های هوشمند به بررسی و تخمین میزان HLPW و همچنین ارائه رابطه ای بهینه جهت تعیین و محاسبه این پارامتر بر مبنای آنالیز ابعادی صورت گرفته خواهیم پرداخت.

روش پژوهش

به منظور تخمین پارامتر میزان افت فشار در نوسانات فشاری جریان های میرا با وجود نشت در جدار لوله (HLPW) در این تحقیق، از داده های آزمایشگاهی محمدی (۱۳۹۴) استفاده شد. تجهیزات مدل آزمایشگاهی به کار رفته شامل یک مخزن، لوله و شیر قطع و وصل انتهایی (RPV) است. لوله به کار رفته از جنس پلی اتیلن با فشار کاری ۱۰ bar به قطر نامی ۶۳ میلی متر (قطر داخلی ۵۳/۶ میلی متر) و به طول ۴۷ متر است. جدول (۱) نشان دهنده محدوده پارامترهای موجود در آزمایش ها است. با توجه به دمای متوسط محیط، آزمایش ها در دمای ۲۰ درجه سانتی گراد انجام پذیرفته و لذا اعداد رینولدز جریان در خط لوله در این تحقیق برای دبی های ۲، ۲/۵، ۳، ۳/۵، ۴ و ۴/۵ لیتر بر ثانیه به ترتیب برابر ۴۷۲۰۳، ۵۹۰۰۳، ۷۰۸۰۴، ۸۲۶۰۵، ۹۴۴۰۵ و ۱۰۶۲۰۶ به دست آمده اند. تعداد ۱۲۰ سری آزمایش به وسیله بستن خیلی سریع شیر در ۶ دبی، ۵ قطر نشت و ۴ محل مختلف نشت انجام و مقادیر HLPW برای هر سری آزمایش به واسطه حس گرهای موجود بلافاصله قبل و بعد از محل نشت ثبت و محاسبه شد (شکل ۲). در اینجا لازم به توضیح است که کاربرد روابط و نتایج این تحقیق مربوط به محدوده پارامترهای مورد استفاده در آزمایش ها است و برای دیگر حالات، بعد از صحت سنجی می توان از آن استفاده نمود.

جدول ۱. محدوده متغیرهای به کار رفته در مطالعات آزمایشگاهی

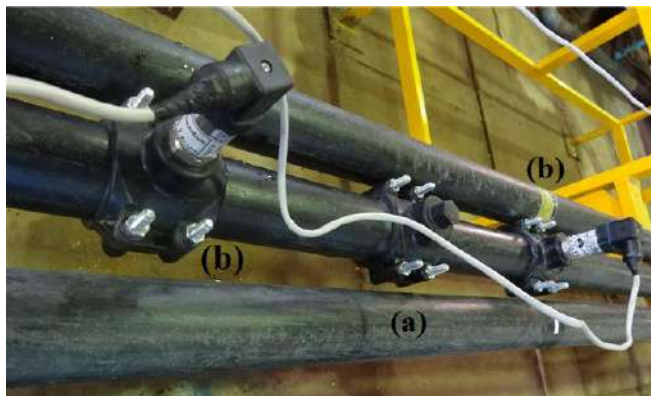
پارامتر	قطر لوله (mm)	طول لوله (m)	دبی (l/s)	قطر نشت (mm)	فاصله نشت از مخزن (m)
محدوده	۶۳	۴۷	۲ - ۲/۵ - ۳ - ۳/۵ - ۴ - ۴/۵	۴ - ۶ - ۸ - ۱۰ - ۱۲	۲۷ - ۳۳ - ۳۹ - ۴۵

¹ Chaari et al

² Nicolini & Falcomer

³ Bohorquez et al

⁴ Noh et al



شکل ۲. نمایی از (a) روزنه تعبیه‌شده در جدار لوله و (b) حس گر مبدل فشاری در آزمایش‌ها

آنالیز ابعادی

با اعمال قضیه π باکینگهام، انجام آنالیز ابعادی و مدنظر قرار دادن افت فشار در نوسانات فشاری جریان‌های میرا باوجود نشت در جدار لوله (H_{LPW}) به‌عنوان یکی از پارامترهای مؤثر در طول آزمایش‌ها، خواهیم داشت:

$$f(Re_p, Fr_p, Ma, \frac{D_L}{D_p}, \frac{L_p}{D_p}, \frac{L_L}{D_p}, \frac{H}{D_p}, \frac{VT_c}{D_p}, \frac{H_{LPW}}{D_p})=0 \quad (1)$$

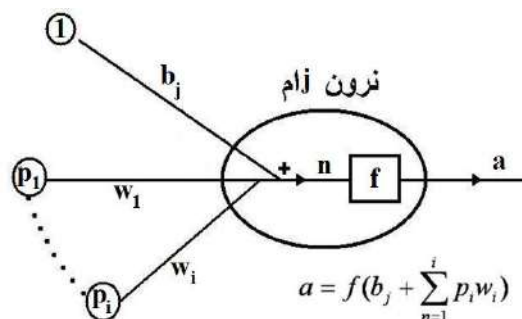
که در آن، سرعت متوسط جریان V ، قطر لوله D_p ، قطر روزنه نشت D_L ، طول لوله L_p ، ارتفاع آب در مخزن H ، زمان بسته شدن شیر T_c و فاصله نشت از ابتدای لوله L_L است و به دلیل ثابت بودن سه کمیت L_p ، H و D_p در آزمایش‌ها، می‌توان از دو پارامتر $\frac{L_p}{D_p}$ و $\frac{H}{D_p}$ صرف‌نظر کرد. به‌علاوه با مدنظر قرار دادن این که خط لوله به‌صورت افقی قرار دارد و نیروی ثقل بر روی آزمایش‌ها اثری نخواهد داشت و همچنین عدد ماخ در آزمایش‌ها بسیار کوچک بوده، لذا از دو مؤلفه بی‌بعد عدد فرود و عدد ماخ نیز صرف‌نظر می‌گردد. بنابراین داریم:

$$f(Re_p, \frac{D_L}{D_p}, \frac{L_L}{D_p}, \frac{VT_c}{D_p}, \frac{H_{LPW}}{D_p})=0 \quad (2)$$

همان‌طور که معین شد، روابطی که به دست خواهد آمد دارای ۵ پارامتر مختلف به شرح رابطه ۲ خواهد بود.

مدل شبکه عصبی مصنوعی (ANN)

شبکه عصبی به کار گرفته‌شده در تحقیق حاضر از معمول‌ترین نوع ANN بوده که در بسیاری از موارد مهندسی به‌کاررفته است. شبکه مذکور مجموعه‌ای از نرون‌های ورودی می‌باشند که لایه ورودی را تشکیل خواهند داد. یک‌لایه پنهان و یک‌لایه خروجی نیز در مدل ANN ارائه‌شده موجود است. داده‌های ورودی در طول شبکه و در مسیری روبه‌جلو به‌صورت لایه به لایه انتشار داده می‌شوند. این نوع شبکه عصبی را پیش‌تغذیه‌کننده یا پرسپترون چندلایه (MLP) می‌نامند (شکل ۳). تعداد نرون‌ها در لایه ورودی برابر با تعداد پارامترهای ورودی (۴ عدد) و تعداد نرون‌های لایه خروجی برابر با پارامترهای خروجی (۱ عدد) است. بنابراین به‌منظور استفاده از فن ANN لازم است شبکه‌ای با ۴ متغیر ورودی تحت عنوان پارامترهای بی‌بعد (Re_p) ، (D_L/D_p) ، (L_L/D_p) و (VT_c/D_p) و همچنین (H_{LPW}/D_p) به‌عنوان هدف تشکیل گردد. همچنین در این تحقیق، تعداد نرون‌های لایه میانی معادل یکی بیشتر از پارامترهای ورودی (۵ عدد) مورد استفاده قرار گرفته که به‌طور تجربی و با ارائه بهترین نتیجه معین شده است.



شکل ۳. نمایشی شماتیک از یک نرون در لایه ورودی شبکه MLP

نحوه انجام محاسبات مدل تک نرون در شکل ۳ نمایش داده شده است. a به ترتیب کمیت‌های ورودی و خروجی هر نرون می‌باشند. پارامتر w میزان اثرگذاری p روی a را نشان می‌دهد (وزن ارتباطی لایه‌ها) و از طرفی پارامتر b با مقدار $w \times p$ جمع شده و مجموع آن، مقدار ورودی خالص n برای تابع f خواهد بود. بنابراین مقدار خروجی تک نرون به شکل زیر محاسبه خواهد شد:

$$a = f(b_j + \sum_{n=1}^i p_i w_i) \quad (۳)$$

در طی روند فوق، تابع غیرخطی f نقش انتقال دهنده محاسبات از لایه‌ای به لایه دیگر را عهده‌دار است. تابع مذکور به لحاظ تعاریف ریاضی باید هموار بوده و از میان توابعی که چنین خصوصیتی دارند، تابع سیگموئید $S(x) = 1/(1 + \exp(-a))$ در بیشتر تحلیل‌های مهندسی کاربرد دارد. با توجه به مطالب گفته شده، اگر شبکه‌ای عصبی با n نرون ورودی و h نرون در لایه میانی و یک خروجی را متصور باشیم، مقدار پارامتر خروجی از آن به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$Y = S_2 \left(\sum_{j=1}^h w_j \times \left(S_1 \left(b_j + \sum_{i=1}^n w_{i,j} \cdot p_i \right) \right) \right) \quad (۴)$$

فرآیند و مسیر آموزش در ANN بدین گونه است که پارامترهای w و b به شکلی تغییر می‌یابد که رابطه ورودی و خروجی نرون باهدف موردنظر مطابقت داشته باشد. این فرآیند از دو مسیر متفاوت عبور در میان لایه‌ها شکل گرفته است، مسیر روبه جلو^۱ و مسیر رو به عقب^۲ در مسیر روبه جلو، بردار ورودی به نرون‌ها اعمال شده و تأثیر آن در شبکه و از لایه‌ای به لایه دیگر منتقل می‌گردد. در انتها مجموعه‌ای از خروجی‌ها تحت عنوان پاسخ واقعی شبکه تولید شده و وزن‌های سیناپسی شبکه معین خواهند شد. در مسیر رو به عقب، تمام وزن‌های سیناپسی با توجه قانون تصحیح خطا تنظیم می‌گردند. بدین شکل که پاسخ واقعی شبکه از پاسخ هدف کاسته می‌شود تا سیگنال خطا به وجود آید. سپس این سیگنال خطا در مسیر رو به عقب در شبکه انتشار می‌یابد. لذا این الگوریتم، پس انتشار خطا^۳ نامیده می‌شود.

مدل الگوریتم ژنتیک (GA)

فن الگوریتم ژنتیک برای اولین بار در سال ۱۹۷۵ میلادی معرفی گردید (هالند^۴؛ ۱۹۷۵) و سپس این الگوریتم به شکل گسترده‌ای در امور مهندسی، به خصوص در مسائل مربوط به بهینه‌سازی لوله‌های آب‌رسانی، سازه‌های آبی، کالیبراسیون، مدل‌های هیدرولوژیکی و ... مورد استفاده قرار گرفت. GA از بهترین فن‌ها در فرآیند بهینه‌سازی به شمار می‌آید زیرا روش الگوریتم ژنتیک در مقایسه با سایر روش‌های بهینه‌سازی دارای برتری‌هایی است که در ادامه به آن‌ها اشاره خواهیم کرد (سیواناندام و دیپا^۵؛ ۲۰۰۸). الگوریتم ژنتیک به مشتقات تابع هدف نیاز ندارد، بنابراین مشتق ناپذیر بودن تابع هدف برای حل مسئله مشکلی ایجاد نمی‌نماید. GA توانایی تلفیق با سایر فن‌های بهینه‌سازی را دارا است. کارایی الگوریتم ژنتیک در فضاهای با طراحی نامناسب و پیچیده به شکل تئوری و تجربی اثبات شده است. الگوریتم ژنتیک برای اجرای جستجوی مؤثر فقط به

¹ Forward Pass

² Backward Pass

³ Error Back-Propagation

⁴ Holland

⁵ Sivanandam & Deepa

مقادیر تابع هدف نیاز دارد و اطلاعات از پیش تعیین شده را نادیده می‌گیرد که این ویژگی الگوریتم ژنتیک را نسبت به سایر روش‌های جستجو مناسب‌تر می‌نماید.

هدف از انجام بهینه‌سازی در این تحقیق به دست آوردن یک رابطه بدون بعد برای تعیین افت فشار در نوسانات فشاری جریان‌های میرا با وجود نشت در جدار لوله (HLPW) جهت کمینه کردن تفاوت پاسخ این رابطه با افت فشار مشابه به دست آمده از نتایج آزمایشگاهی است. نظر به آنالیز ابعادی، رابطه پارامترهای بدون بعد ارائه شده (رابطه ۲) و انجام تحلیل‌های مختلف با فرم‌های گوناگون روابط، رابطه‌ای به شکل کلی زیر جهت تعیین HLPW پیشنهاد می‌گردد:

$$H_{LPW}/D_p = a(Re_p)^b + c(D_L/D_p)^d + e(L_L/D_p)^f + g(VT_c/D_p)^h + i \quad (5)$$

در رابطه فوق ضرایب $a, b, c, d, e, f, g, h, i$ پارامترهای ثابتی هستند که در طی فرآیند بهینه‌سازی سعی شده است تا بهترین پاسخ برای آن‌ها تعیین گردد. به شکلی که بین پارامترهای HLPW محاسباتی و آزمایشگاهی کمترین خطا وجود داشته باشد. لذا تابع هدف به شکل زیر خواهد بود:

$$\min(f) : f = \sum (H_{LPW-ex.} - H_{LPW-cal.})^2 \quad (6)$$

مدل برنامه‌ریزی بیان ژن (GEP)

برنامه‌ریزی بیان ژن برای اولین بار در سال ۱۹۹۹ توسط فریرا ارائه گردید. این مدل ترکیبی از GP و GA است که کروموزوم‌های خطی و ساده با طول ثابت، که در الگوریتم ژنتیک مورد استفاده قرار می‌گیرد و ساختارهای شاخه‌ای با اندازه‌ها و اشکال متفاوت، مانند درختان تجزیه در برنامه‌ریزی ژنتیک، ترکیب می‌شوند (فریرا؛ ۲۰۰۱). GP یکی از شاخه‌های هوش مصنوعی است که امروزه در شاخه‌های مختلف مهندسی آب مورد استفاده قرار می‌گیرد (بزرگ حداد و همکاران، ۲۰۱۷؛ پورزنگبار و همکاران، ۲۰۱۷). در GEP بهسازی‌ها در یک ساختار خطی انجام شده و پس از آن به شکل ساختار درختی بیان می‌شود. این مسئله باعث می‌گردد تنها ژنوم اصلاح شده به نسل بعد انتقال یافته و به ساختارهای سنگین برای تکثیر و جهش نیاز نباشد (فریرا، ۲۰۰۴). تفاوت بین سه الگوریتم GA، GP و GEP به این صورت است که در GA افراد رشته‌های خطی با طول ثابت و در GP نهادهای غیرخطی با اندازه‌ها و اشکال متفاوت (درختان تجزیه) می‌باشند، در حالی که در GEP افراد به صورت رشته‌های خطی با طول ثابت (ژنوم یا کروموزوم‌ها) کدگذاری شده و سپس به شکل نهادهای غیرخطی با اندازه‌ها و اشکال متفاوت (یعنی نمایش دیاگرام ساده یا بیان درختی) بیان خواهند شد. در این تحقیق از روش برنامه‌ریزی بیان ژن (GEP) نیز برای برآورد پارامتر افت فشار در نوسانات فشاری جریان‌های میرا با وجود نشت در جدار لوله (HLPW) استفاده شده است. رابطه ارائه شده دارای فرم کلی زیر است:

$$H_{LPW}/D_p = A + B + C + D + E \quad (7)$$

که A, B, C, D و E عباراتی می‌باشند که توسط GEP تعیین می‌شوند.

معیارهای مقایسه

در این بخش به بررسی توانایی و عملکرد فن‌های الگوریتم‌های هوشمند مانند مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی (ANN)، الگوریتم ژنتیک (GA) و برنامه‌ریزی بیان ژن (GEP) در تخمین پارامتر افت فشار در نوسانات فشاری جریان‌های میرا با وجود نشت در جدار لوله (HLPW) و همچنین مقایسه آن‌ها با یکدیگر می‌پردازیم. شایان ذکر است جهت مقایسه و ارزیابی عملکرد مدل‌ها در تحقیق حاضر از شاخص‌های آماری جذر میانگین مربعات خطا (Root Mean Squares of Error-RMSE)، متوسط خطای مطلق (Mean Error-ME)، مجذور ضریب همبستگی (R^2)، شیب خط رگرسیون (α) و معیار درصد میانگین مطلق خطا (Mean Absolute Percentage of Error-MAPE) استفاده شد. روابط نام برده به‌قرار زیر می‌باشند:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n [(H_M)_i - (H_P)_i]^2} \quad (8)$$

$$ME = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n [(H_M)_i - (H_P)_i] \quad (9)$$

$$R^2 = \frac{(\sum_{i=1}^n (H_P - \bar{H}_P)(H_M - \bar{H}_M))^2}{\sum_{i=1}^n (H_P - \bar{H}_P)^2 \sum_{i=1}^n (H_M - \bar{H}_M)^2} \quad (10)$$

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \left| \frac{e_i}{Y_i} \right| \times 100 \quad (11)$$

که در روابط فوق n تعداد داده‌ها، H_M میزان افت فشار اندازه‌گیری شده، H_P مقدار افت فشار محاسبه‌شده، e_i اختلاف بین ارقام مشاهده‌ای و محاسبه‌ای (میزان خطا) و Y_i مقادیر مشاهده‌ای می‌باشند.

یافته‌ها

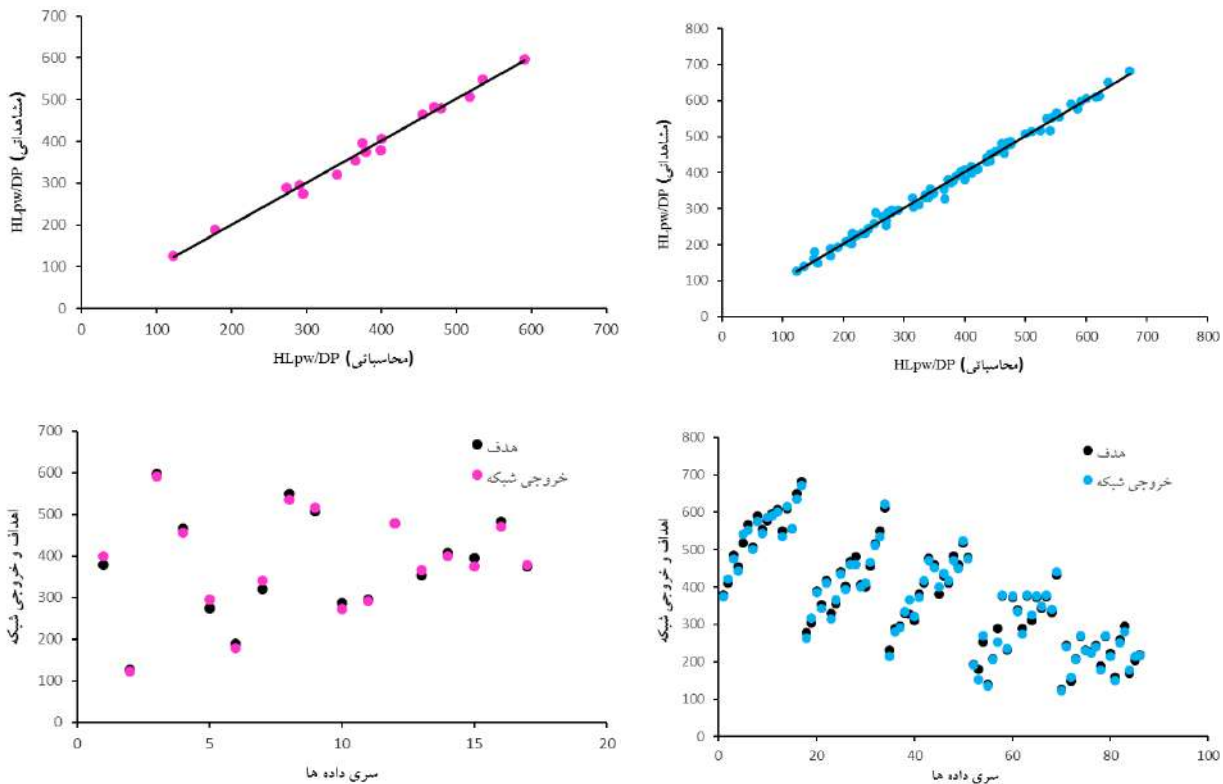
کاربرد ANN در تعیین HLPW

در تحقیق حاضر، داده‌ها به شکل تصادفی به دودسته مجزا تقسیم شده‌اند که ۷۰٪ داده‌ها به جهت آموزش (۸۴ سری داده) که از بین آن‌ها ۲۰٪ برای آزمودن مرحله آموزش یا واسنجی (۱۷ سری داده) و ۳۰٪ باقی‌مانده (۳۶ سری داده) نیز برای مرحله آزمون شبکه مورد استفاده قرار گرفته است. حال با معین شدن پارامترهای بی‌بعد ورودی و خروجی، شبکه‌ای با ۴ پارامتر ورودی و ۱ خروجی ایجاد شد. بعد از آن، شبکه مذکور جهت تعیین تعداد لایه‌های پنهان و تابع محرک تحت آزمون و خطا قرار گرفت. همچنین تعداد گره‌ها در لایه پنهان نیز به‌عنوان متغیر مورد آزمایش تعیین و نتایج به‌دست‌آمده مورد مقایسه قرار داده شد. در نهایت شبکه‌ای با تابع محرک سیگموئید، یک لایه پنهان و تعداد ۵ گره، حداقل مقدار خطا را به هنگام آموزش آزمون ایجاد کرد.

حداکثر تعداد تکرار جهت انجام آموزش، برابر ۶۰۰۰۰۰ تکرار تعیین شد. در طول فرآیند آموزش، نرخ یادگیری بهینه معادل ۰/۱۴۹۲ به دست آمد. از سویی چون مشکل الگوریتم پس انتشار خطا، احتمال افتادن شبکه در کمینه محلی، به‌جای کمینه مطلق است، به جهت حل مشکل مورد اشاره، ضریب اندازه حرکت برابر ۰/۸۹ قرار داده شد. در مرحله آموزش مقادیر R^2 ، RMSE و انحراف معیار محاسبه‌شده به ترتیب ۰/۹۸۹، ۰/۰۶۷ و ۰/۰۲۵ بود که نشان‌دهنده دقت آموزش است. این ارقام برای مرحله تست آموزش (واسنجی) به ترتیب ۰/۹۸۲، ۰/۰۶۶ و ۰/۰۲۶ محاسبه شد. بنابراین شبکه پرسپترون آموزش‌دیده به شکل قابل قبولی تخمین افت فشار در نوسانات فشاری جریان‌های میرا با وجود نشت در جدار لوله (HLPW) کالیبره شده است (شکل ۴).

حال پس از انجام مراحل آموزش و واسنجی، به جهت تخمین افت فشار در نوسانات فشاری جریان‌های میرا با وجود نشت در جدار لوله (HLPW) مرحله آزمون اجرا شده تا توانایی مدل در محاسبه پارامتر مورد نظر مشخص شود. همان‌طور که قبلاً گفته شد، در این مرحله تعداد ۳۶ سری داده که از ابتدا از دیگر داده‌ها جدا شده و در مرحله آموزش شبکه دخالت داده نشده‌اند، به‌عنوان ورودی به شبکه داده‌شده تا پس از تحلیل، خروجی شبکه تعیین و با ارقام اندازه‌گیری شده مورد مقایسه قرار گیرد. جدول ۲ تجزیه و تحلیل آماری نتایج به‌دست‌آمده از مقایسه مقادیر خروجی پیش‌بینی‌شده توسط شبکه عصبی را با مقادیر آزمایشگاهی برداشت و محاسبه‌شده برای پارامتر (HLPW) را نشان می‌دهد.

مهم‌ترین شاخص آماری که R^2 است نشان می‌دهد که پرسپترون چندلایه آموزش‌دیده با موفقیت توانسته مقادیر هدف را در مرحله آزمون محاسبه نماید و مقدار ۰/۹۸۷ برای این شاخص خود گواه این موضوع است. به‌علاوه با بررسی دیگر شاخص‌ها نیز از نشان‌دهنده کارایی مناسب مدل شبکه عصبی ارائه‌شده است. در بررسی‌های آماری، شاخص‌های ME و MAPE نسبت به R^2 و RMSE کم‌اهمیت‌تر هستند، اما مقادیر محاسبه‌شده ME و MAPE حاکی از آن است که شبکه عصبی مصنوعی آموزش‌دیده، با خطای بسیار کمی نسبت به مقادیر برداشت‌شده آزمایشگاهی، داده‌ها را محاسبه و پیش‌بینی می‌نماید. در شکل ۵ مقادیر خروجی برآورد شده و اندازه‌گیری شده برای پارامتر (HLPW/Dp) به همراه پارامتر α نشان داده‌شده است. پارامتر α کاملاً به عدد یک نزدیک است که این موضوع همچنین نشان می‌دهد مقادیر (HLPW) محاسبه‌ای با مقادیر مشاهده‌ای دارای اختلاف ناچیزی هستند.



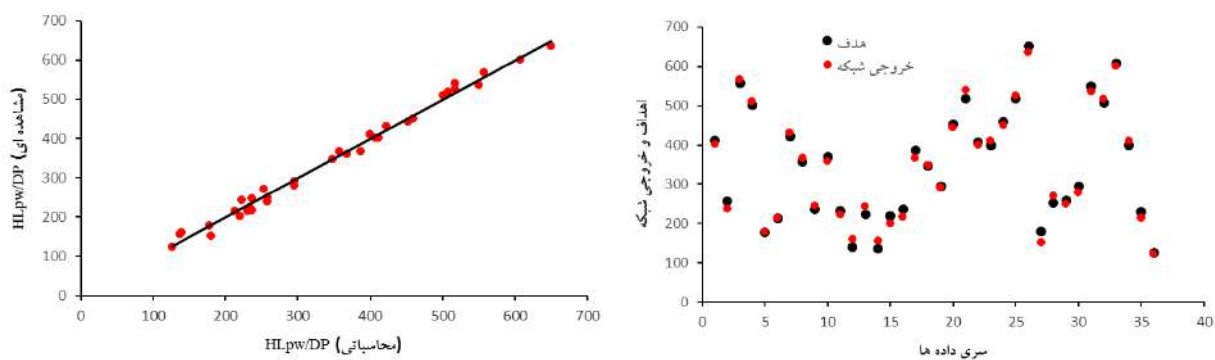
مرحله آموزش

مرحله تست آموزش (واسنجی)

شکل ۴. مقادیر خروجی برآورد شده و اندازه‌گیری شده (هدف - HLPW/DP)، به هنگام آموزش و تست آموزش شبکه ANN

جدول ۲. قیاس آماری نتایج پیش‌بینی شده شبکه عصبی و مقادیر آزمایشگاهی HLPW در مرحله آزمون

پارامتر آماری	R^2	RMSE	ME	MAPE	α
مقدار	۰/۹۸۷	۰/۰۱۹	۰/۰۰۴	٪ ۱/۸۲	۰/۹۹۶



شکل ۵. مقادیر اندازه‌گیری شده و محاسبه شده (HLPW/DP) توسط شبکه عصبی در مرحله آزمون

کاربرد GA در تعیین HLPW

همان گونه که می‌دانیم، تولید نسل‌ها در الگوریتم ژنتیک با استفاده از روش‌های احتمالاتی انجام می‌پذیرد، لذا تابع برازش برای هر یک از پارامترها چندین بار محاسبه شده تا پارامترهای بهینه الگوریتم مشخص و سپس و میانگین آن‌ها ملاک عمل قرار گیرد. از سوی دیگر، معمول‌ترین معیار برای اتمام فرآیند بهینه‌سازی حداکثر تعداد دوره تکرار است. تعداد دوره تکرار بزرگ باشد، منجر به افزایش زمان بهینه‌سازی شده و تعداد دوره تکرار کم نیز باعث احتمال عدم جستجوی کامل فضای پاسخ و کاهش امکان رسیدن به جواب‌های بهینه می‌گردد. بنابراین مشخص است که انتخاب مقدار مناسب تعداد تکرار برای الگوریتم ژنتیک، رسیدن به جواب‌های بهینه در کمترین زمان ممکن را میسر می‌سازد. لذا با انجام آنالیز حساسیت، همگرایی در حدود ۵۰۰ تکرار حاصل گردید. مقادیر بهینه پارامترهای کنترل GA در جدول ۳ ارائه گردیده است.

جدول ۳. مقادیر بهینه پارامترهای کنترل GA در بهترین برازش با داده‌های اصلی

پارامتر	مقدار - نوع
سرعت جهش (Mutation rate)	۵۰
تعداد نسل (Number of Generation)	۵۰۰
بازه انتقال (Migration intervals)	۴
اندازه جمعیت (Population size)	۱۰۰
باقیمانده هر نسل (Survivors per generation)	۵۰

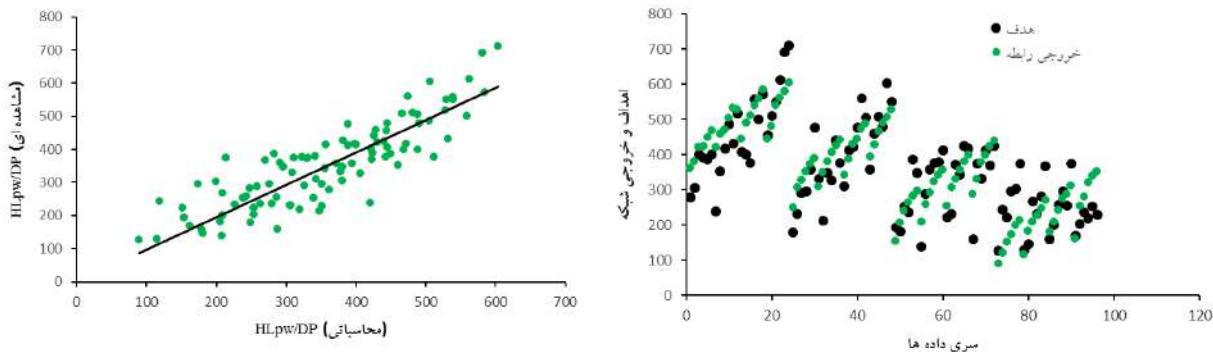
نهایتاً با همگرا شدن الگوریتم ژنتیک به جواب بهینه مطلق، پارامترهای a تا i به ترتیب برابر $۰/۸۸$ ، $۰/۹۶$ ، $۰/۵۱$ ، $۸۷۷/۹۶$ ، $۰/۱۵$ ، $۷۸/۸۷$ ، $۳۸۸/۰۵$ ، $-۱/۰۱$ و $۳۱۵/۴۱$ محاسبه شدند. لذا رابطه پارامتر افت فشار در نوسانات فشاری جریان‌های میرا با وجود نشت در جدار لوله (HLPW) مطابق فرم زیر به دست آمد:

$$\frac{HLPW}{D_p} = 78.87(Re_p)^{0.15} + 877.96 \left(\frac{D_L}{D_p}\right)^{0.51} - 1.96 \left(\frac{L_L}{D_p}\right)^{0.88} - 388.05 \left(\frac{VT_c}{D_p}\right)^{-1.01} + 315.41 \quad (12)$$

رابطه فوق را همچنین می‌توان به شکل زیر نوشت:

$$HLPW = 78.87 D_p Re_p^{0.15} + 877.96 D_p^{0.49} D_L^{0.51} - 1.96 D_p^{0.12} L_L^{0.88} - 388.05 D_p^{2.01} VT_c^{-1.01} + 315.41 D_p \quad (13)$$

در این مرحله رابطه به دست آمده از ۷۰٪ داده‌ها (۸۴ سری داده) در حالت بهینه مطلق با مقادیر R^2 و RMSE به ترتیب $۰/۷۴۹$ و $۶/۵۹۵$ محاسبه شده که نشان دهنده دقت نسبتاً پایین آن است. سپس رابطه محاسبه شده برای باقیمانده ۳۰٪ داده‌ها (۳۶ سری داده) مورد آزمون قرار گرفت که نتایج آن در جدول ۴ ارائه شده است.



شکل ۶. مقادیر اندازه‌گیری شده و محاسبه شده (HLPW/DP) توسط GA در مرحله آموزش

جدول ۴. قیاس آماری نتایج پیش‌بینی‌شده شبکه و مقادیر آزمایشگاهی HLPW در مرحله آزمون

پارامتر آماری	R^2	RMSE	ME	MAPE	α
مقدار	۰/۷۲۱	۶/۸۹۲	۰/۵۳۷	٪ ۱۲/۲۴	۰/۹۶۵

شاخص‌های آماری در مرحله آزمون نشان از عملکرد متوسط GA در ارائه رابطه‌ای برای تخمین و محاسبه پارامتر HLPW دارد. در مقایسه با الگوریتم ANN همان‌گونه که مشخص است، عملکرد نسبت به GA در تخمین پارامتر HLPW بسیار مناسب‌تر بوده و تنها ضعف ANN آن است که برای محاسبه HLPW رابطه‌ای ارائه نمی‌دهد و باید از خود شبکه آموزش‌دیده استفاده نمود.

کاربرد GEP در تعیین HLPW

در نخستین گام برای تعیین پارامتر افت فشار در نوسانات فشاری جریان‌های میرا با وجود نشت در جداره لوله (HLPW) و به منظور مشخص نمودن عبارات A, B, C, D و E در رابطه ۷، تولید جمعیت اولیه است که با استفاده از یک سری توابع و پایانه‌ها صورت می‌گیرد. سپس کروموزوم‌ها به صورت بیان درختی نشان داده می‌شوند. در مرحله بعد باید کارایی یا سازگاری هر عضو جمعیت کروموزوم‌ها را به کمک تابع برازش ارزیابی کرد. به این شکل با استفاده از تابع برازش و حفظ پاسخ‌های برتر و حذف پاسخ‌های نامناسب‌تر کم‌کم به پاسخ موردنظر نزدیک می‌شویم. با طی این روند، GEP بدون هیچ فرضیه و محدودیتی در ساختار رابطه بین متغیرهای وابسته و مستقل، رابطه‌ای مناسب بین پارامترهای بی‌بعد ارائه شده در قسمت آنالیز ابعادی برقرار می‌کند. همان‌طور که قبلاً گفته شد، جهت ارائه رابطه موردنظر از ۱۲۰ سری داده ثبت شده در آزمایش‌ها، ۸۴ سری برای آموزش و از این میان، ۱۷ سری داده برای تست آموزش (واسنجی) مورد استفاده قرار گرفته است. به علاوه ۳۶ سری داده باقیمانده برای مرحله آزمون نگه‌داشته شد تا با استفاده از آن‌ها کاربرد مدل برنامه‌ریزی بیان ژن در برآورد رابطه (HLPW) بررسی گردد. لذا بعد از معرفی داده‌ها و متغیرهای وابسته، پارامترهای لازم جهت پیش‌بینی (HLPW) انتخاب و به صورت دستی برای GEP وارد و این مقادیر برای اجراهای مختلف تا رسیدن بهترین برازش با داده‌های اصلی ادامه یافته است. مقادیر این پارامترها در جدول ۵ نشان داده شده است.

نتایج آماری مربوط به مراحل آموزش و تست آموزش (واسنجی) مدل GEP در جدول ۶ ارائه شده است. همچنین عبارات A, B, C, D و E در رابطه ۷ توسط مدل GEP معین و طی روابط ۱۴ تا ۱۸ نشان داده شده‌اند. رابطه به دست آمده دارای $R^2 = 0/9015$ در مرحله آموزش و $0/9083$ در مرحله تست آموزش است که نشان‌دهنده دقت بالای رابطه ارائه شده دارد.

جدول ۵. مقادیر پارامترهای تنظیمی ورودی مدل GEP در بهترین برازش با داده‌های اصلی

پارامتر	مقدار - نوع
اندازه سر (Head size)	۱۰
تعداد کروموزوم (Chromosomes)	۳۰
تعداد ژن‌ها (Number of gens)	۵
سرعت جهش (Mutation Rate)	۰/۰۴۴
سرعت وارونگی (Inversion Rate)	۰/۱
سرعت تلاقی با یک نقطه (One-point Recombination Rate)	۰/۳
سرعت تلاقی با دو نقطه (Two-point Recombination Rate)	۰/۳
سرعت تلاقی ژن (Gene Recombination Rate)	۰/۳
سرعت جابه‌جایی (Transposition Rate)	۰/۱
معیار خطای تابع برازش (Fitness Function Error Type)	RMSE
تابع مرتبط کننده (Linking Function)	جمع (+)

جدول ۶. قیاس آماری نتایج پیش‌بینی شده در مدل GEP و مقادیر آزمایشگاهی HLPW در مرحله آموزش و تست آموزش

پارامتر آماری	R ^۲	RMSE	MAPE
مرحله آموزش	۰/۹۰۲	۰/۰۸	٪ ۱/۹۶
مرحله تست آموزش (واسنجی)	۰/۹۰۸	۰/۰۷	٪ ۱/۹۳

$$A = (\cos(Re) - 2.52)^3 + [((-9.94 \frac{D_L}{D_p}) + Re - 9.94) / (2 \frac{L_L}{D_p})] \quad (14)$$

$$B = \exp \left[\sin \left(\sin \left(\frac{VT_c}{D_p} \right) \times \left[\frac{L_L}{9.53 D_p} + \frac{0.64 D_L}{D_p} \right] \right)^3 \right] \quad (15)$$

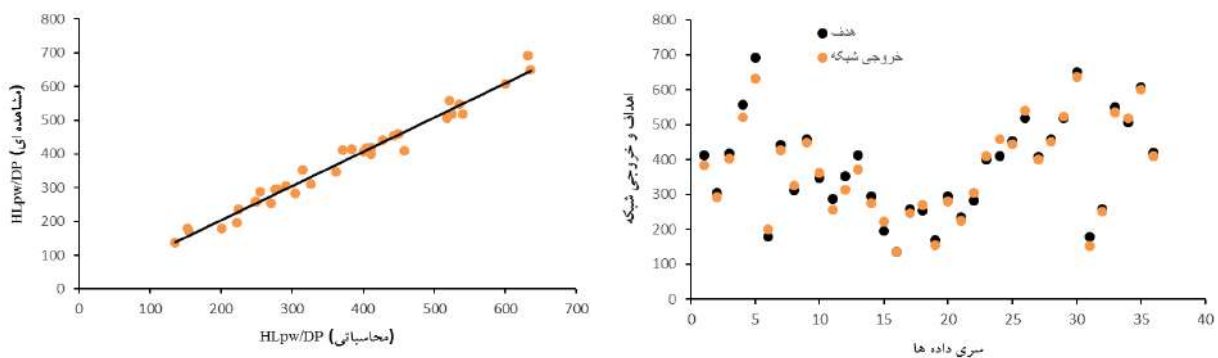
$$C = \left[\left(\sin \left(\sqrt{\frac{D_L}{D_p}} \right) + \left(\frac{D_L}{D_p} - 72.08 \right) \right) \times \sin \left(\frac{L_L}{D_p} + 7.23 \right) \right] - \frac{VT_c}{D_p} \quad (16)$$

$$D = \left(\left[\sin \left(8.23 + \left(\frac{L_L}{D_p} \times Re^2 \right) \right) \right] \times Re \right) + Re^{\frac{1}{3}} \quad (17)$$

$$E = \left(\frac{VT_c}{D_p} + \frac{D_L}{D_p} \right) + \frac{(9.87 Re) + (Re \frac{D_L}{D_p})}{\frac{D_L}{D_p} (\frac{L_L}{D_p} + 1)} \quad (18)$$

سپس در ادامه در مدل GEP با ثابت نگاه داشتن پارامترها در مرحله آموزش و واسنجی، مرحله آزمون (پیش‌بینی) برای ۳۶ داده باقیمانده انجام تا رابطه ارائه شده مورد آزمایش قرار گیرد. نتایج حاصل از این مرحله در مقایسه با مقادیر مشاهده‌ای در شکل ۷ و تحلیل آماری مربوطه نیز در جدول ۷ ارائه شده است.

آن گونه که از شاخص‌های آماری مشخص است، پارامترهای ضریب همبستگی R^۲ و شیب خط رگرسیون α نیز به ترتیب ۰/۹۰۵ و ۱/۰۱۸ بوده که حکایت از عملکرد بسیار خوب رابطه ارائه شده دارند. اکنون با در اختیار داشتن خصوصیات فیزیکی طول لوله، قطر لوله، زمان بستن شیر، دبی جریان، لزجت سیال و قطر نشت، پارامتر افت فشار در نوسانات فشاری جریان‌های میرا با وجود نشت در جدار لوله (HLPW) به راحتی از رابطه ۷ قابل محاسبه خواهد بود.



شکل ۷. مقادیر اندازه‌گیری شده و محاسبه شده (HLPW/Dp) توسط رابطه ارائه شده در مدل برنامه‌نویسی بیان ژن GEP

جدول ۷. قیاس آماری نتایج پیش‌بینی‌شده در مدل GEP و مقادیر آزمایشگاهی HLPW در مرحله آزمون

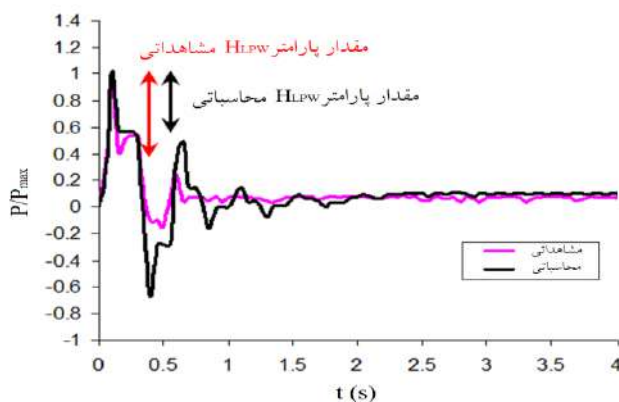
پارامتر آماری	R ²	RMSE	ME	MAPE	α
مقدار	۰/۹۰۵	۰/۱۱	۰/۰۱۸	٪ ۲/۰۷	۱/۰۲۸

مقایسه الگوریتم‌های هوشمند با تحلیل‌های هیدرولیکی

به‌منظور سنجش و مقایسه کارایی و عملکرد الگوریتم‌های هوشمند با تحلیل‌های هیدرولیکی موجود در ارتباط با شبیه‌سازی و حل معادلات جریان‌های گذرای سریع و به‌خصوص در حضور نشت در خط لوله، در این قسمت ارقام محاسبه‌شده توسط الگوریتم‌های هوشمند GA، ANN و GEP با ارقام محاسبه‌شده توسط تحلیل هیدرولیکی جریان گذرای سریع در حضور نشت مقایسه گردیده است. به جهت شبیه‌سازی جریان‌های گذرای سریع و به‌خصوص در حضور نشت در خط لوله، معادلات مونتوم و پیوستگی جریان‌های غیر ماندگار باوجود شرایط مرزی نشت (محمدی و همکاران، ۱۳۹۶ - شاملو و حقیقی، ۲۰۰۹ - مینیکنی و همکاران؛ ۲۰۱۳)، به کمک روش خطوط مشخصه (MOC) (چادری؛ ۲۰۱۴) و با استفاده از مدل اصطکاکی غیر ماندگار دو ضریبی شتاب لحظه‌ای (IAB) (چادری، ۲۰۱۴ - ویتکوفسکی و همکاران؛ ۲۰۰۶) برای داده‌های ارائه‌شده در حالی مورد شبیه‌سازی قرار گرفت که تأثیر خاصیت ویسکوالاستیک لوله در مدل لحاظ نشده است. در این روش مدلی کامپیوتری تهیه‌شده که به روش تحلیل معکوس جریان گذرا (ITA) که در آن تحلیل‌گر معکوس یک موتور جستجو است که تلاش می‌نماید تا بهترین پاسخ را برای مسئله کمینه‌سازی پیدا کند و از سوی دیگر، تحلیل‌گر جریان گذرا عمل شبیه‌سازی هیدرولیکی جریان گذرا را با در نظر گرفتن شرایط مرزی معین بر عهده دارد (کواس و راموس؛ ۲۰۰۱)، امواج فشاری گذرا را در حضور نشت شبیه‌سازی نموده و بهترین برازش آن با داده‌های آزمایشگاهی را ثبت می‌نماید. درواقع روش (ITA) تضمین می‌نماید به کمک روش (MOC) و با به‌کارگیری مدل اصطکاکی غیر ماندگار دو ضریبی شتاب لحظه‌ای (IAB)، شبیه‌سازی بهینه امواج آزمایشگاهی توسط تحلیل معادلات هیدرولیکی انجام پذیرد. سپس مقدار پارامتر (HLPW) محاسباتی از روی موج شبیه‌سازی‌شده محاسبه و استخراج می‌شود (شکل ۸). در این حالت تابع هدف برابر خواهد بود با:

$$Of = \sum_{i=1}^k (Hc_i - Ho_i)^2 \quad (۱۹)$$

که در آن Of تابع هدف، k تعداد بار فشاری محاسبه‌شده، Hc_i مقدار فشاری محاسباتی و Ho_i مقدار فشاری مشاهداتی می‌باشند. مقایسه آماری ارقام محاسبه‌شده پارامتر (HLPW) توسط و تحلیل معکوس معادلات هیدرولیکی جریان گذرای سریع در حضور نشت (ITA) و الگوریتم‌های هوشمند ANN، GA و GEP با ارقام ثبت‌شده آزمایشگاهی در جدول ۸ و نمودار شکل ۹ نشان داده‌شده است.



شکل ۸. شبیه‌سازی موج فشاری جریان گذرا در حضور نشت با استفاده از مدل اصطکاکی غیر ماندگار دو ضریبی به کمک روش ITA در مقایسه با نتایج آزمایشگاهی برای محل نشت ۳۹ متر، قطر روزنه نشت ۱۰ میلی‌متر و دبی ۳/۵ لیتر بر ثانیه

¹ Meniconi et al

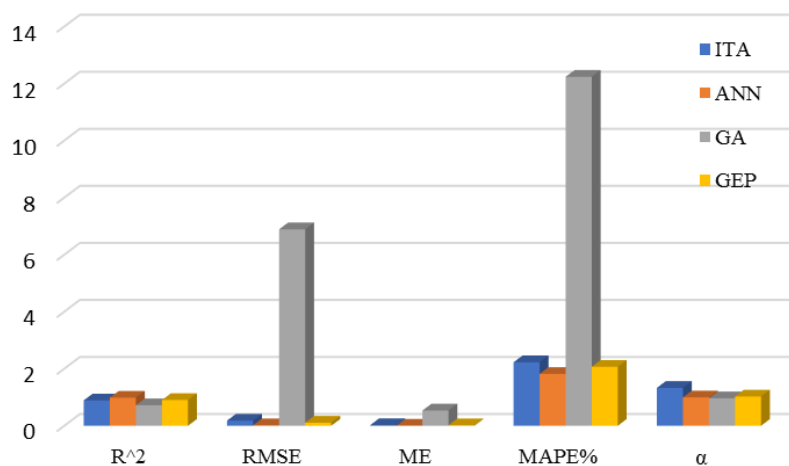
² Chaudhry

³ Vitkovsky et al

⁴ Covas & Ramos

جدول ۸. مقایسه آماری نتایج محاسبه شده در مدل ITA و الگوریتم های هوشمند ANN، GA و GEP با ارقام ثبت شده آزمایشگاهی

پارامتر HLPW					
α	MAPE	ME	RMSE	R ²	روش محاسبه
۱/۰۳۳	٪ ۲/۲۳	۰/۰۲۶	۰/۱۸۰	۰/۸۹۱	ITA
۰/۹۹۶	٪ ۱/۸۲	۰/۰۰۴	۰/۰۱۹	۰/۹۸۷	ANN
۰/۹۶۵	٪ ۱۲/۲۴	۰/۵۳۷	۶/۸۹۲	۰/۷۲۱	GA
۱/۰۲۸	٪ ۲/۰۷	۰/۰۱۸	۰/۱۱۰	۰/۹۰۵	GEP



شکل ۹. نمودار میله ای مقایسه آماری نتایج محاسبه شده در مدل ITA و الگوریتم های هوشمند ANN، GA و GEP با ارقام ثبت شده

آزمایشگاهی پارامتر HLPW

همان گونه که از ارقام جدول ۸ مشخص است، به ترتیب روش های شبکه عصبی مصنوعی (ANN)، برنامه ریزی بیان ژن (GEP)، تحلیل معکوس جریان میرا (ITA) و الگوریتم ژنتیک (GA) در تخمین و محاسبه پارامتر افت فشار در نوسانات فشاری جریان های میرا با وجود نشت در جدار لوله (HLPW) توانا تر می باشند. این موضوع به خوبی روشنگر کاربرد مناسب الگوریتم های هوشمند و به خصوص روش های شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و برنامه ریزی بیان ژن (GEP) در تخمین پارامتر HLPW است. از این طریق می توان با اجتناب از تحلیل معادلات پیچیده که به شکلی کاملاً زمان بر انجام می شوند، با اتکا بر الگوریتم های هوشمند، افت فشار در نوسانات فشاری جریان های میرا با وجود نشت در جدار لوله را محاسبه و پیش بینی نمود.

بحث

امروزه از فناوری های پیشرفته به منظور افزایش سرعت و دقت محاسبات و همچنین تخمین و پیش بینی موارد گوناگون در علوم مختلف استفاده می شود. از طرفی با توجه به این که هیدرولیک جریان در خطوط لوله معمولاً به صورت غیر ماندگار میرا بوده و تحلیل آن پیچیده و زمان بر است، در این تحقیق از الگوریتم های هوشمند شبکه عصبی مصنوعی (ANN)، الگوریتم ژنتیک (GA) و برنامه ریزی بیان ژن (GEP) به منظور تعیین پارامتر افت فشار در نوسانات فشاری جریان های میرا با وجود نشت در جدار لوله (HLPW) استفاده شد و نتایج آن با نتایج حاصل از تحلیل های هیدرولیکی به روش آنالیز معکوس جریان میرا (ITA) مقایسه گردید. بدین منظور پس از استخراج مقدار (HLPW) از امواج آزمایشگاهی ثبت شده، به کمک آنالیز ابعادی، پارامترهای بی بعد مؤثر بر (HLPW) معین و سپس با آموزش الگوریتم های هوشمند مورد اشاره به منظور افزایش دقت و

کاهش زمان محاسبات، پارامتر (HLPW) به کمک پارامترهای بی‌بعد محاسباتی تخمین زده شد. از شاخص‌های آماری به جهت مقایسه عملکرد مدل‌های مختلف استفاده شده است.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان‌دهنده آن است که ارائه رابطه‌ای به‌منظور محاسبه افت فشار در نوسانات فشاری جریان‌های میرا با وجود نشت در جدار لوله (HLPW) گرچه ممکن است اما نتایج حاصل از آموزش الگوریتم‌های هوشمند هم در دقت محاسبات افزایش ایجاد نموده و هم در زمان انجام محاسبات کاهش قابل توجهی به وجود آورده است. اگر شاخص آماری R^2 را مبنای اصلی مقایسات آماری قرار دهیم (گرچه تمامی شاخص‌های آماری مؤید شاخص R^2 می‌باشند) در روابط ارائه‌شده، فرمولی که توسط GA ارائه گردیده است دارای R^2 برابر $0/721$ بوده و پایین‌ترین دقت و عملکرد را دارد. اگرچه کار کردن و انجام محاسبات با این فرمول نسبتاً ساده است اما دقت پایین آن، استفاده از آن را با چالش جدی مواجه می‌سازد به‌گونه‌ای که تنها برای یک حدس کاملاً اولیه از مقدار پارامتر هدف مناسب است. در رابطه ارائه‌شده توسط GEP مقدار R^2 برابر $0/905$ محاسبه شده است که حاکی از عملکرد مناسب و نسبتاً قوی این الگوریتم هوشمند است. همان‌طور که در روابط 14 تا 18 نمایان است، به‌رغم دقت نسبتاً مناسب، رابطه ارائه‌شده پیچیده بوده و کار کردن با آن به‌سادگی میسر نیست. در مدل ANN یک شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چندلایه با الگوریتم پس انتشار خطا آموزش داده شده است که با دقت R^2 برابر $0/987$ بهترین عملکرد را در بین الگوریتم‌های هوشمند داشته برای تخمین و محاسبه (HLPW) دقت کاملاً مناسبی است. در این حالت رابطه‌ای ارائه نشده و برآورد مقدار (HLPW) از طریق شبکه آموزش دیده انجام می‌پذیرد. در تحقیقات گذشته، به محاسبه مستقیم (HLPW) توجه چندانی نشده است و بیشتر تمرکز محققین بر روی نشت‌یابی و میزان میرایی امواج بوده است. به‌علاوه رابطه و روشی برای تخمین و محاسبه مستقیم آن نیز ارائه نگردیده است. بنابراین در این تحقیق امکان مقایسه با تحقیقات گذشته وجود نداشته و لذا خروجی مدل‌های الگوریتم هوشمند صرفاً با نتایج حاصل از شبیه‌سازی امواج فشاری در حضور نشت در جدار لوله به کمک روش تحلیل هیدرولیکی ITA مقایسه گردید. در روش ITA، مقدار پارامتر R^2 به‌منظور تخمین (HLPW) برابر $0/891$ است. لذا همان‌طور که توضیح داده شده، به ترتیب مدل‌های ANN، GEP، ITA و GA دارای بهترین عملکرد در تخمین (HLPW) می‌باشند. بررسی سایر شاخص‌های آماری RMSE، MAPE و ME نشان می‌دهد که همگی مؤید شاخص R^2 بوده و پارامتر α برای مدل‌های ANN، GEP، ITA و GA به ترتیب برابر $0/996$ ، $1/028$ ، $1/033$ و $0/965$ محاسبه شده است. مقادیر مورد اشاره نشان می‌دهد به‌صورت کلی مدل‌های GEP و ITA مقادیر محاسباتی را بیشتر از مقادیر آزمایشگاهی و مدل‌های ANN و GA مقادیر محاسباتی را کمتر از مقادیر آزمایشگاهی تعیین می‌نمایند. نتایج تحقیق به‌صورت کلی نشان داد برخی الگوریتم‌های هوشمند در تخمین پارامتر افت فشار در نوسانات فشاری جریان‌های میرا با وجود نشت در جدار لوله (HLPW) از تحلیل گر هیدرولیکی موجود حال حاضر توانمندتر بوده و لذا استفاده از آن‌ها و همچنین بررسی دیگر فن‌ها هم به لحاظ کاهش زمان و هم از جهت افزایش دقت محاسبات توصیه می‌شود. در پایان تأکید می‌گردد نتایج حاصله صرفاً منحصر به محدوده پارامترهای فیزیکی و هیدرولیکی آزمایش‌ها تحقیق حاضر بوده و در باقی موارد باید آزمایش‌ها جدید انجام و صحت موارد مورد اشاره درباره آن‌ها بررسی شود.

تقدیر و تشکر

بدین وسیله از دانشگاه شهید چمران اهواز که آزمایش‌ها مربوط به این تحقیق در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده مهندسی آب و محیط‌زیست آن دانشگاه انجام پذیرفته است قدردانی و تشکر به عمل می‌آید.

منابع

- احدیان، جواد، و کیان فرد، مجید. (۱۳۹۵). بهینه‌سازی سیستم‌های آبرسانی تحت فشار به روش برنامه‌ریزی خطی در حالت جریان میرا. مجله پژوهش آب ایران، ۱۰(۲)، ۴۶ - ۳۷. http://iwrj.sku.ac.ir/article_10477.html
- رستمی، ایمان، و درویشی، الهام. (۱۴۰۰). ترکیب روش حل معکوس و الگوریتم فرا کاوشی برای محاسبه مقدار و موقعیت نشت در شبکه‌های توزیع آب. نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران، ۱۱(۴۴)، ۸۷-۱۰۴. <https://dx.doi.org/10.22125/iwe.2021.133686>

- سرکمریان، سعید، اشرفی، سید محمد، حقیقی، علی، و محمد ولی سامانی، حسین. (۱۳۹۹). استفاده از مدل جایگزین شبکه عصبی مصنوعی به منظور کاهش محاسبات شناسایی نشت در شبکه های آب رسانی. نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، ۵۲(۱۰)، ۱-۱۳.
<https://dx.doi.org/10.22060/ceej.2019.15980.6096>
- حاضری، آتنا، قبادیان، رسول، و حیدری، محمد مهدی. (۱۴۰۰). کاربرد و مقایسه روش های بهینه سازی تک هدفه (GA) و چند هدفه (NSGA-II) در طراحی شبکه های تحت فشار. مجله تحقیقات مهندسی سازه های آبیاری و زهکشی، ۲۲(۸۴)، ۱-۱۸.
<https://dx.doi.org/10.22092/idser.2021.355057.1477>
- شاملو، حمید، کیانفر، آناهیتا، و حقیقی، علی. (۱۳۸۹). نشت یابی در خطوط لوله با استفاده از مدل سازی جریان غیر ماندگار و الگوریتم ژنتیک. پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. <https://civilica.com/doc/80729/>
- عطاری، محمد، و فغفور مغربی، محمود. (۱۳۹۵). روش نوین نشت یابی با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی. مجله آب و فاضلاب، ۲۹(۱)، ۱۴-۲۶.
<https://dx.doi.org/10.22093/wwj.2017.45360.2095>
- محمدی، کامران. (۱۳۹۴). تحلیل جریان گذرا به منظور نشت یابی در خطوط لوله. رساله دکتری، گروه سازه های آبی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- محمدی، کامران، فتحی مقدم، منوچهر، احدیان، جواد، و حقیقی پور، صادق. (۱۳۹۶). مطالعه اثر فاصله و قطر نشت بر مشخصات هیدرولیکی امواج فشاری جریان غیر ماندگار. مجله علوم و مهندسی آبیاری، ۴۰(۱)، ۳۷-۵۰.
<https://dx.doi.org/10.22055/jise.2017.12644>
- مقدم، علیرضا، علیزاده، امین، ضیایی، علی نقی، فرید حسینی، علیرضا، و فلاح هروی، دانیال. (۱۳۹۳). افزایش سرعت همگرایی در بهینه سازی شبکه های توزیع آب با استفاده از الگوریتم ژنتیک با آشفتنی سریع. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۸(۱)، ۲۲-۳۴.
<https://dx.doi.org/10.22067/jsw.v0i0.35734>
- نصیریان، علی، فغفور مغربی، محمود، و یزدانی، سیاوش. (۱۳۹۲). نشت یابی مرحله ای شبکه های توزیع آب بر اساس واسنجی فشارهای گرهی به روش الگوریتم ژنتیک. مجله تحقیقات منابع آب ایران، ۹(۲)، ۷۸-۸۳.
http://www.iwrr.ir/article_17528.html

References

- Abdulla, M. B., & Herzallah, R. (2013). Probabilistic Multiple Model Neural Network Based Leak Detection System: Experimental Study. Proceedings of International Conference on Modelling, Identification & Control (ICMIC).
- Ahadian, J., & Kianfred, M. (2016). Optimization of pressurized water supply systems by linear programming method in transient flow mode. Iranian Journal of Water Research, 10(2), 37-46. http://iwrr.sku.ac.ir/article_10477.html [In Persian]
- Attari, M., & Faghfor Maghribi, M. (2016). A new method of leak detection using artificial neural networks. Journal of Water and Wastewater, 29(1), 14 - 26. <https://dx.doi.org/10.22093/wwj.2017.45360.2095> [In Persian]
- Bohorquez, J., Alexander, B., Simpson, A., & Lambert, M. F. (2020). Leak Detection and Topology Identification in Pipelines Using Fluid Transients and Artificial Neural Networks, Journal of Water Resources and Planning Management. 146(6), 04020040. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0001187](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0001187)
- Bozorg-Haddad, O., Soleimani, S., & Loáiciga, H. A. (2017). Modeling Water-Quality Parameters Using Genetic Algorithm-Least Squares Support Vector Regression and Genetic Programming, Journal of Environmental Engineering, 143(7). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EE.1943-7870.0001217](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0001217)
- Chaari, M., Ben Hmida, J., Seibi, A. C., & Fekih, A. (2020). An Integrated Genetic-Algorithm / Artificial-Neural-Network Approach for Steady-State Modeling of Two-Phase Pressure Drop in Pipes. Journal of SPE Production & Operation, 35(03), 628-640. <https://doi.org/10.2118/201191-PA>
- Chaudhry, M. H. (2014). Applied Hydraulic Transients. Springer, New York. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4614-8538-4>

- Covas, D., & Ramos, H. (2001). Hydraulic transients used for leakage detection in water distribution systems. In: Proceedings of the 4th Conference on Water Pipeline Systems: Managing Pipeline Assets in an Evolving Market. York, UK.
- Ferreira, C. (2001). Gene expression programming: A new adaptive algorithm for solving problems. *Complex Systems*, 13 (2), 87-129. <https://doi.org/10.48550/arXiv.cs/0102027>
- Ferreira, C. (2004). Gene expression programming and the evolution of computer programs. Source: Castro, L.N., Von Zuben, F.J., (Eds.), *Recent Developments in Biologically Inspired Computing*, pages 82-103, Idea Group Publishing. <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.170.8372&rep=rep1&type=pdf>
- Hazeri, A., Ghobadian, R., & Heidari, M. M. (2021). Application and Comparison of Single-Objective (GA) and Multi-Objective (NSGA-II) Optimization Methods in Optimal Design of Pressurized Network. *Irrigation and Drainage Structures Engineering Research*, 22(84), 1-18. <https://dx.doi.org/10.22092/idser.2021.355057.1477> [In Persian]
- Holland, J. H. (1975). *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. The University of Michigan Press, Ann Harbor, MI. <https://mitpress.mit.edu/books/adaptation-natural-and-artificial-systems>
- Jin, Y., Yumei, W., & Ping, L. (2010). Approximate Entropy-based Leak Detection Using Artificial Neural Network in Water Distribution Pipelines. 11th Int. Conf. Control, Automation, Robotics and Vision, Singapore, 7-10th December. <https://doi.org/10.1109/ICARCV.2010.5707291>
- Makaya, E., & Hensel, O. (2015). Modelling flow dynamics in water distribution networks using artificial neural networks - A leakage detection technique. *International Journal of Engineering, Science and Technology*. 7(1), 33-43. <https://doi.org/10.4314/ijest.v7i1.4>
- Meniconi, S., Brunone, B., Ferrante, M., & Massari, C. (2013). Numerical and experimental investigation of leaks in viscoelastic pressurized pipe flow. *Journal of Drinking Water Engineering Science*, 6, 11-16. <https://doi.org/10.5194/dwes-6-11-2013>, 2013
- Moghaddam, A., Alizadeh, A., Ziaei, A. N., Farid Hosseini, A., & Fallah Heravi, D. (2014). Convergence Rate Improvement in Water Distribution Network Optimization Using Fast Messy Genetic Algorithm (FMGA). *Journal of Water and Soil*, 28(1), 22-34. <https://dx.doi.org/10.22067/jsw.v0i0.35734> [Persian]
- Mohammadi, K. (2016). *Transient Analysis for Leak Detection in Pipelines*. PhD Thesis, Department of Water Structures, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran. <https://dx.doi.org/10.22055/jise.2017.12644> [In Persian]
- Mohammadi, K., Fathi Moghadam, M., Ahadian, J., & Haghhighipour, S. (2017). Study of the effect of leakage distance and diameter on hydraulic characteristics of unsteady flow pressure waves. *Journal of Irrigation Science and Engineering*, 40(1), 37 - 50. <https://dx.doi.org/10.22055/jise.2017.12644> [In Persian]
- Mowlali, N., Nerella, R., & Erva, V. R. (2017). Design of Air Chamber for Mitigating Transient Pressures in A Pumping Main. Proceedings of the 37th IAHR World Congress. August 13 – 18, Kuala Lumpur, Malaysia. <https://www.iahr.org/library/infor?pid=3157>
- Nasirian, A., Faghfor Maghribi, M., & Yazdani, S. (2013). Step-by-step leak detection of water distribution networks based on calibration of nodal pressures by genetic algorithm. *Iranian Journal of Water Resources Research*, 9(2), 78-83. http://www.iwrr.ir/article_17528.html [In Persian]
- Nicolini, M., & Falcomer, L. (2020). Genetic Algorithm for Calibration and Leakage Identification in Water Distribution System. 3rd IEEE International Conference on Knowledge Innovation and Invention. <https://doi.org/10.1109/ICKII50300.2020.9318899>
- Noh, H., Kwon, S., Seo, I. W., Beak, D., & Jung, S. H. (2021). Multi-Gene Genetic Programming Regression Model for Prediction of Transient Storage Model Parameters in Natural Rivers. *Water Journal*, (13), 76. <https://doi.org/10.3390/w13010076>

- Pourzangbar, A., Saber, A., Yeganeh-Bakhtiary, A., & Rasoul Ahari, L. (2017). Predicting scour depth at seawalls using GP and ANNs. *Journal of Hydroinformatics*, 19 (3), 349-363. <https://doi.org/10.2166/hydro.2017.125>
- Reca, J., & J. Marti'nez. (2006). Genetic algorithms for the design of looped irrigation water distribution networks, *Water Resources Research*, (42), W05416. <https://doi.org/10.1029/2005WR004383>
- Riyahi, M. M., Rahmanshahi, M., & Ranginkman, M. H. (2018). Frequency domain analysis of transient flow in pipelines; application of the genetic programming to reduce the linearization errors. *Journal of Hydraulic Structures*, 4(1), 75-90. <https://dx.doi.org/10.22055/jhs.2018.25596.1073>
- Rostami, A., & Darwish, A. (2021). Combining inverse solution method and meta-heuristic algorithm to calculate the amount and location of leaks in water distribution networks. *Journal of Irrigation and Water Engineering*, 11(44), 87-104. <https://dx.doi.org/10.22125/iwe.2021.133686> [In Persian]
- Saldarriaga, J. G., Fuentes, D. A. A., & Galvis, L. F. C. (2006). Implementation of The Hydraulic Transient and Steady Oscillatory Flow with Genetic Algorithms for Leakage Detection in Real Water Distribution Networks. 8th Annual Water Distribution Systems Analysis Symposium, Cincinnati, Ohio, USA, August 27-30. [https://doi.org/10.1061/40941\(247\)52](https://doi.org/10.1061/40941(247)52)
- San, O., Maulik, R., & Ahmed, M. (2019). An artificial neural network framework for reduced order modeling of transient flows. *Journal of Commun. Nonlinear Sci. Numer. Simul.*, (77), 271-287. <https://doi.org/10.1016/j.cnsns.2019.04.025>
- Sarkamarian, S., Ashrafi, S. M., Haghghi, A., & Mohammad Vali Samani, H. (2020). Using an alternative model of artificial neural network to reduce leak detection calculations in water supply networks. *Amirkabir Journal of Civil Engineering*, 52(10), 1 to 13. <https://dx.doi.org/10.22060/ceej.2019.15980.6096> [In Persian]
- Shamloo, H., Kianfar, A., & Haghghi, A. (2010). Leak detection in pipelines using unsteady flow modeling and genetic algorithm. 5th National Congress of Civil Engineering, Ferdowsi University, Mashhad, Iran. <https://civilica.com/doc/80729> [In Persian]
- Shamloo, H., & Haghghi, A. (2009). Leak detection in pipelines by inverse backward transient analysis. *Journal of Hydraulic Research*, 47(3), 311-318. <https://doi.org/10.1080/00221686.2009.9522002>
- Sivanandam, S. N., & Deepa, S. N. (2008). *Introduction to Genetic Algorithm*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-540-73190-0>
- Vitkovsky, J. P., Bergant, A., Simpson, A. R., & Lambert, M. F. (2006). Systematic Evaluation of One-dimensional Unsteady Friction Models in Simple Pipelines. *Journal of Hydraulic Engineering*, 132(7), 696-708. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(2006\)132:7\(696\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(2006)132:7(696))