Shahid Chamran University of Ahvaz

Irrigation Sciences and Engineering (JISE) **Vol. 42, No. 2, Summer 2019, p. 75-88**

EXTENDED ABSTRACT

Conservation of Open Water Resources and Wastewater using a Mixture of Polyvinyl Butyral Resin and Fatty Alcohols

H. Afkhami[1*], H. Malekinezhad[2], G. H. Shahidi Bonjar[3] and E. Esmailzadeh[4]

1*- Corresponding Author, Ph.D Gratuate, Faculty of Natural Resources, Yazd University (*hamide.afkhami@gmail.com*).

2- Associate Professor, Natural Resources and Desertification Department, Yazd University.

3- Professor, Agriculture Department, Shahid Bahonar University of Kerman.

4- Head of Water and Environment Division, Research and Development Unit, Sarcheshmeh Kerman Copper Complex.

Received: 23 February 2017 Revised: 5 September 2017 Accepted: 11 September 2017

Keywords: Evaporation, Reducing Evaporation Coating, Sarcheshmeh Copper Complex, Water Loss, Water Shortage. ***DOI:*** 10.22055/jise.2017.20887.1498.

Introduction

Today, the problems of water scarcity, limited water resources, high volume of evaporation, and water losses have highlighted the importance of ways to reduce the rate of evaporation from small and large reservoirs. In order to increase water supplies, reducing losses through evaporation have been investigated both in theoretical aspects and in practical applications in a number of countries (Ali et al., 2011; Barnes, 2008; Coleman, 2000). One of the most important methods for water conservation is the application of chemical films for reducing evaporation from open water resources such as reservoirs, lakes, and the like (Craig et al., 2007). These applications are especially important in arid and semiarid areas for the purpose of reducing evaporation rates from water surfaces. Most materials suggested by researchers for reduced evaporation have been the fatty alcohols containing 14 to 22 carbon atoms, such as Tetradecanol (C_{14}), Pentadecanol (C_{15}), Xadecanol (C_{16}), Heptadecanol (C_{17}), Octadecanol (C_{18}), Nonadecanol (C_{19}), Eicosanol (C_{20}), Heneicosanol (C_{21}), and Docosanol (C_{22}).The two most favoured compounds used for evaporation control are Hexadecanol (C16H33OH) and Octadecanol (C18H35OH) although more complex variants are currently in development since they offer high resistance to water evaporation. In fact, small flakes of the solid alcohol spread spontaneously to form monolayers with a high molecular packing density (Manges and Crow, 1966). In this study, a new chemical method has been used to reduce the rate of evaporation. A new combination is made from polyvinyl butyral resin and Hexadecanol and Octadecanol as two fatty alcohols to reduce of evaporation from surface water sources and wastewater tailings dam of Sarcheshmeh Copper Complex.

Methodology

Experiments were performed using two water samples and two repeats. For two water samples, 16 Polyethelene rectangular containers were provided. Sixteen containers were filled with 500ml tap water and the eight other containers were filled with recycled water of the reservoirs of wastewater at Sarcheshme dam. For each water sample, 6 containers were considered with a monolayer film including polyvinyl butyral resin and the fatty alchohols of Hexadecanol and Octadecanol (with two repeats) and two containers of water with no monolayer film were used as the control. The scenarios used in this study include 1- mixtures 3:7 (m:m) of Hexadecanol and Octadecanol 2- Polyvinyl butyral resin 3- Mixture 3:7 (m:m) of Hexadecanol and Octadecanol and Polyvinyl butyral. In sample1, 1 g of solid powder of fatty alcohols was

dissolved in 25 ml of ethanol and then the solution was spread to the water surface using a sprayer. In sample 2, some solid powder of the resin was dissolved in chloroform and sprayed on the water surface. The polymer layer was formed on the water surface which prevented the evaporation of water, and in sample 3, the polymer layer created at the surface of water was used as a fatty alcohol dispersion substrate. All samples were placed in the same condition of temperature, air circulation and relative humidity and the primary pH in the two water samples, waste water and drinking water, were 4.2 and 7.9, respectively. Materials were added to surface water every seven days and the change in water volume of the containers was monitored over 24 h from 2016.10.18 until 2016.11.03. At the end of the experiments, the rate of evaporation reduction of water surface was estimated for two water samples by comparing the volume of water evaporated from the samples with and without a film (control).

Results and Discussion

The results showed that the eficacy of treatments regarding drinking water and wastewater for Scenarios 1 and 2 were 50.64 and 27.44 and 43.48 and 24.56 percent, respectively.

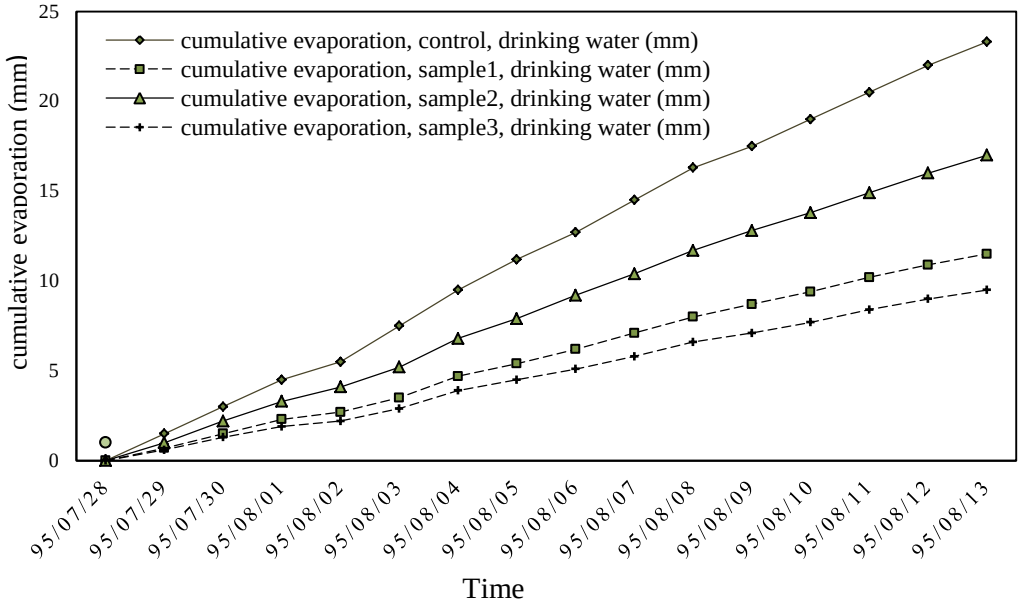

Fig. 1- Cumulative evaporation values of drinking water in three different treatments

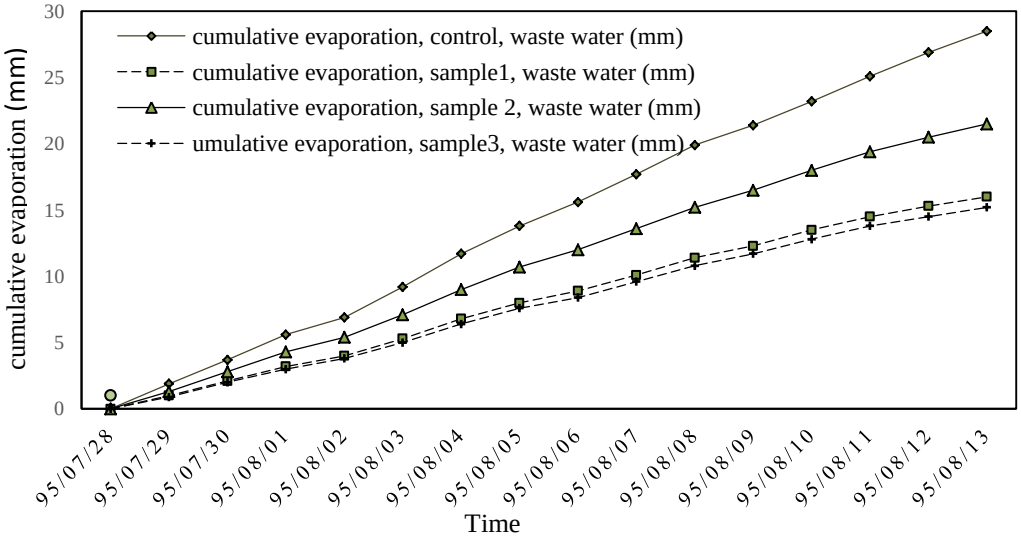

Fig. 2- Evaporation rates of wastewater in three different treatments

Regarding Figs. (1) and (2), although the polyvinyl butyral resin and the fatty alcohols alone can have a positive effect on reducing water evaporation, a combination of two substances presented better results than using each material alone. In fact, the distribution of fatty alcohols on the resin layer, formed at the surface water and wastewater, results in a decrease of evaporation as much as 54% and 47% compared with the state of using pure resin. It is important to note that the efficacy of resin compounds and fatty alcohols is only due to the fact that the distribution of fatty alcohols occurs after polymer formation on the surface of water.

Conclusions

Polyvinyl butyral resin is an organic material which, after dissolving, forms a polymeric layer on the water surface and, because of its physical nature, it does not react with water. On the other hand, fatty alcohols are also certified in terms of environmental standards and are even used in drinking water reservoirs due to their proven non-toxicity as well as having no adverse effect on water quality. At present, the efficacy of this resin has been investigated on a volumetric scale for evaporation reduction, and further studies are needed for wider use and applications.

Acknowledgment

The present study was sponsored by Sarcheshmeh Copper Complex. The authors are keen to thank the various units at the complex, including the Research and Development Unit, which contributed to the project.

References

1- Ali, H., Madramootoo, C. A. and Abdel Gwad, S., 2001. Evaporation model of Lake Qaroun as influenced by lake salinity. *Irrigation and Drainage*, *50*(1), pp. 9-17.

2- Barnes, G.T., 2008. The potential for monolayers to reduce the evaporation of water from large water storages. *Agricultural Water Management*, *95*(4), pp.339-53.

3- Coleman, M., 2000. Review and Discussion on the Evaporation Rate of Brines. *Actis Environmental Services. Mundijong, Washington.*

4- Craig, I., Aravinthan, V. C., Baillie, P., Beswick, A., Barnes, G., Bradbury, R., Connell, L., Cooper, P., Fellows, C., Fitzmaurice, L. and Foley, J.P., 2007. Evaporation, seepage and water quality management in storage dams: a review of research methods. *Environmental Health*, *7*(3), pp. 84-97.

5- Manges, H. and F.R. Crow., 1966. Evaporation suppression by chemical and mechanical treatments. *In Proceedings of the Oklahoma Academy of Science*, (46), pp. 251-254.

© 2019 by the authors. Licensee SCU, Ahvaz, Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license) (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

علوم و مهندسی آبیاری
جلد ۴۲، شماره‌ی ۱، تابستان ۹۸، ص. ۸۸-۷۵

حفاظت از منابع روباز آبی و پساب‌ها با استفاده از ترکیب رزین پلی ونیل بوتیرال و الکل‌های چرب

حمیده افخمی[1*]، حسین ملکی‌نژاد[2]، غلامحسین شهیدی بنجار[3] و عصمت اسمعیل‌زاده[4]

۱*-نویسنده مسئول، دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و کویر شناسی، دانشگاه یزد hamide.afkhami@gmail.com
۲- دانشیار و عضو هیئت علمی دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد.
۳-استاد و عضو هیئت علمی دانشکده کشاورزی، بخش مهندسی گیاهپزشکی دانشگاه شهید باهنر کرمان.
۴- رئیس بخش آب و محیط زیست واحد تحقیقات و توسعه، مجتمع مس سرچشمه کرمان.

دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۵ بازنگری: ۱۳۹۶/۶/۱۴ پذیرش: ۱۳۹۶/۶/۲۰

چکیده

امروزه معضل کم‌آبی و محدودیت منابع آبی و همچنین حجم بالای تبخیر و هدررفت آب، باعث شده تا اهمیت روش‌های کاربردی مبنی بر کاهش میزان تبخیر از مخازن کوچک و بزرگ در سراسر دنیا روز به روز برجسته‌تر گردد. در تحقیق حاضر از یک روش شیمیایی جدید به‌منظور کاهش میزان تبخیر از سطح منابع آب شرب و پساب سد باطله مجتمع مس سرچشمه استفاده شده است. در این روش با استفاده از رزین پلی ونیل بوتیرال به همراه الکل‌های چرب هگزادکانول و اکتادکانول ترکیبی جدید جهت کاهش میزان تبخیر ارائه شده است. به این منظور، با حل پودر جامد این رزین در حلال کلروفورم و پخش آن در سطح آب یک لایه پلیمری تشکیل می‌شود که این لایه مانع از خروج مولکول‌های سطح آب و تبخیر می‌شود. علاوه بر این حضور لایه پلیمری فوق در سطح آب می‌تواند به‌عنوان بستر پخش الکل‌های چرب نیز استفاده گردد. نتایج به‌دست‌آمده از تحقیق فوق نشان می‌دهد، ترکیب رزین پلی ونیل بوتیرال با الکل‌های چرب نتایج بهتری را نسبت به استفاده خالص از این مواد ارائه می‌دهد. نتایج پژوهش حاضر میزان کاهش تبخیر بر روی دو نمونه آب شرب و پساب با استفاده از ترکیب دو ماده فوق را به ترتیب ۵۹/۲۳ و ٤٦/٦٧ درصد نشان می‌دهد.

کلید واژه ها: تلفات آب، تبخیر، کمبود آب، پوشش‌های کاهنده تبخیر، مجتمع مس سرچشمه.

مقدمه

رشد جمعیت، افزایش استانداردهای زندگی و فعالیت‌های اقتصادی منجر به افزایش تقاضا برای آب در سرتاسر جهان شده است. امروزه بیشترین مصارف آب مربوط به بخش کشاورزی و صنعتی بوده و بالتبع بیشترین تلفات آب نیز مربوط به همین بخش‌ها می‌باشد. با توجه به کمبود و بحران آب در بسیاری از مناطق، اندک ذخیره و بهینه‌سازی در مصرف آب کمک بزرگی در راستای رفع چالش فوق می‌نماید. از جمله تلفات مهم به‌خصوص در مخازن و سطوح روباز، تبخیر از سطح آب می‌باشد. در واقع تبخیر عامل بسیار مهم و درعین‌حال نامحسوس در خروج آب قابل‌استفاده از چرخه مصرف به حساب می‌آید. از طرفی افزایش عمومی دمای کره زمین و تغییر اقلیم نیز در دهه‌های اخیر تلفات تبخیر را دوچندان نموده است. به جرات می‌توان گفت جلوگیری و کاهش تبخیر در محل، یکی از مفیدترین و کاربردی‌ترین روش‌ها در ذخیره و بهینه‌سازی مصرف آب به‌شمار می‌رود. تاکنون تکنیک‌های مختلفی در کاهش میزان تبخیر از سطوح روباز ارائه و مورد بررسی قرار گرفته است (Ali et al., 2001; Crow and Danial, 1958; Crow, 1961; La Mer, 2014; Barnes, 2008; Coleman, 2000).

استفاده از پوشش‌های فیزیکی، پوشش‌های زنده بیولوژیک، اقدامات مدیریتی، مکانیکی و اضافه نمودن مواد شیمیایی در سطح آب از جمله مهم‌ترین روش‌های کاهش تبخیر محسوب می‌گردد (Craig et al., 2005). روش شیمیایی با استفاده از مونولیرها، اقتصادی‌ترین روش برای کنترل تبخیر از سطح مخازن بزرگ به حساب می‌آید (Craig et al., 2007). مونولیرها یک لایه مولکولی ضخیم هستند که در یک جهت شکل داده شده و با لایه‌ی مرزی مثل هوا/آب در تماس هستند(Manges and Crow, 1966). این مواد که بیشتر شامل الکل‌های چرب زنجیر بلند، مواد تجاری از جمله واترسیو (Watersave) و آکواتین(Aquatin) و همچنین موادی با وزن مخصوص کمتر از آب مثل موم و پارافین می‌باشند، لایه‌ای نازک در سطح آب ایجاد کرده که این لایه در شرایط ایده‌ال تا ۶۰ درصد مانع از ایجاد تبخیر می‌گردد، اما در عمل کارایی این مواد کمتر از میزان ذکر شده می‌باشد. البته در استفاده از این مواد باید نوع ماده شیمیایی، کارایی و دوام، تأثیر بر کیفیت آب، سطح قابل پوشش، هزینه و سایر عوامل محدودکننده آن از

قبیل ایجاد موج و باد مد نظر قرار داده شود-Ultimate Agri) Products, 2006). دوام کمتر از ۳ تا ۴ روز مونولیرها بر سطح آب و نیاز به تزریق مداوم این مواد یکی از مشکلات اساسی استفاده از آن هست (بارنز، ۲۰۰۸). در دهه ۱۹۵۰ تا ۱۹۶۰ تحقیقات در زمینه استفاده از مواد شیمیایی جهت کاهش تبخیر با دو نمونه الکل‌های چرب زنجیره بلند هگزادکانول(C16H33OH) و اکتادکانول(C18H37OH) آغاز گردید. Crow و Sattler (1958) در دانشگاه ایالت اوکلاهما پروژه‌های تحقیقاتی در رابطه با افزایش آب کشاورزی با روش‌های کاهش تبخیر را آغاز نمودند. نتایج این تحقیقات طی ۴ سال منجر به ارائه و توسعه سیستم‌های کاربردی و تأثیر مثبت استفاده از فیلم‌های شیمیایی در راستای کنترل تبخیر از ذخایر کشاورزی گردیده است. Grundy (1962) در تحقیقات خود استفاده از ستیل الکل را به‌عنوان عاملی مثبت در راستای کاهش تبخیر در منطقه غرب افریقا گزارش نمود. Manges و Crow (1966) در آمریکا تحقیقاتی روی استفاده از ترکیبات مختلف الکل‌های چرب زنجیره بلند انجام دادند و تأثیر استفاده از این الکل‌ها در کاهش چشمگیر تبخیر را به اثبات رسانیدند. Bursztyn (1966) از پارافین جامد در سطح آب در مقیاس تشتک کلاس A استفاده نمود. نتایج تحقیق این دانشمند نشان داد پارافین مایع با پایداری ایجاد کرده در سطح آب نقش برجسته‌ای در کاهش میزان تبخیر خواهد داشت. Desai et al (1990) آمولسیونی تهیه شده از گیاهان روغنی در هند که بیشتر شامل ستیل الکل و استریل الکل می‌باشد را توسط یک جسم شناور در مکان‌های مختلف دریاچه سد پخش کرده و در نهایت کاهش ۳۰ درصد را در میزان تبخیر با استفاده از این مواد گزارش نمودند. Barnes (1992) در بررسی‌های خود اذعان داشت کارایی منولیرهایی که اساس آن‌ها بر پایه ستیل الکل هست ممکن است هنگامی‌که با دیگر مواد شیمیایی ترکیب می‌گردد، به‌طور فزاینده‌ای افزایش یابد. برای مثال پلی ونیل استیرات (PVS) پلیمری با ساختار متراکمی است که می‌تواند مقاومت منولیرها را در برابر استرس باد افزایش دهد. Craig et al (2005) با استفاده از مواد شیمیایی بر پایه هگزادکانول کاهش تبخیری معادل ۵ تا ۳۰ درصد را گزارش نمود. Ultimate Agri-Products (2006) در کاهش میزان تبخیر از روغن سیلیکات بنیان آکواتین استفاده نمود و تأثیر این ماده را بر افزایش مقاومت مولکول‌های آب در مقابل تبخیر مثبت نشان داد. O'Brien (2006) نیز استفاده از ماده تجاری واترسیو که شامل هگزادکانول ترکیب شده با هیدروکسید کلسیم و کمی سیلیکات هست را در کاهش میزان تبخیر مفید ارزیابی نمود. نتایج منتشر شده توسط Barnes (2008) در برزیل نیز نشان داد که استفاده از مونولیری بر پایه الکل چرب و سنگ‌آهک، به‌طور متوسط بین صفر تا ۴۰ درصد در کاهش تبخیر مؤثر بوده است همچنین این دانشمند اذعان داشت الکل‌های هگزادکانول و اکتادکانول در کاهش میزان تبخیر از مخازن بزرگ سودمند بوده و دوام این الکل‌ها در شرایط واقعی بر روی این مخازن بین یک تا دو روز می‌باشد. Chen et al (2010) تأثیر نانو ذره نقره، اکسید آهن III و ذرات رس را در کاهش میزان تبخیر مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد استفاده از نانو ذره نقره و رس میزان تبخیر را افزایش و نانو ذره آهن III منجر به کاهش میزان تبخیر می‌گردد. Herzig et al (2011) به بررسی تأثیر سورفکتانت غیر یونی Tween60 و Brij78 (به‌عنوان عامل آمولسیون) برای بهبود پخش سه الکل هگزادکانول، اکتودکانول و اکوسانل در سطح آب پرداختند. نتایج نشان داد تأثیر عامل آمولسیونی در فرایند پخش بروی اکتادکانول و اکوسانل مثبت می‌باشد درحالی‌که بر روی هگزادکانول تأثیر معناداری نداشته است. Moghiman و Aslani (2013) به بررسی تأثیر برخی نانوذرات از قبیل نانو ذره رس، Tio2،Zro2،Fe2o3 و Ni/Fe در غلظت‌های متفاوت در کاهش میزان تبخیر پرداختند. نتایج ارائه شده، تأثیر نانوذرات Tio2،Zro2،Fe2o3 و Ni/Fe (سیال) را در کاهش میزان تبخیر مثبت نشان داد درحالی‌که تأثیر استفاده از نانوذره رس تأثیر بر روی کاهش تبخیر منفی می‌باشد. Piri et al (2011) برای کاهش میزان تبخیر در سطح آزمایشگاهی به بررسی کاربرد الکل‌های سنگین پرداختند. بدین منظور هگزادکانول و اکتادکانول در اتانول حل شده و معادل ۲۰ و ۴۰ گرم در هکتار در سه تکرار روی سطح تشت‌های تبخیر کلاس A اسپری گردید سپس عمق آب داخل تشت‌ها، در دو مرحله و در طی مدت ۳۶ روز اندازه‌گیری و تبخیر روزانه محاسبه شد. نتایج به‌دست‌آمده نشان دادند، به کار بردن پیوسته و مداوم الکل‌ها، باعث کاهش محسوس در مقدار تبخیر خواهد شد. در تحقیق حاضر به‌منظور کاهش تبخیر از سطح آب از یک رزین خاص بنام پلی ونیل بوتیرال (Butvar, Polyvinyl Butyral (PVB) Resin) با فرمول شیمیایی (C8H14O2)n استفاده گردیده است که به‌منظور افزایش کارایی در کاهش تبخیر، این رزین با برخی از الکل‌های چرب ترکیب و به سطح آب اضافه شده است. پلی وینیل بوتیرال ازجمله وینیل استال‌هایی است که در ساختمان آن‌ها بوتیل آلدهید وجود دارد. این رزین به روش محلول در حلال‌های آلی در مقیاس صنعتی تهیه می‌شود. بدین ترتیب پلیمر نامبرده از ترکیب پلی وینل الکل و بوتیر آلدهید، اتانول و کمی اسیدسولفوریک در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به‌صورت رسوب ذرات جامد به عمل می‌آید. شایان ذکر است این پلیمر به‌راحتی در حلال‌های آلی از قبیل کلروفورم حل می‌گردد و به‌محض قرارگیری بر سطح آب، با فرار حلال از محلول، این پلیمر تشکیل یک لایه پیوسته و پلاستیک مانندی را می‌دهد که با ایجاد یک لایه محافظ در سطح آب می‌تواند در جلوگیری از فرار ملکول‌های سطحی آب و جلوگیری از فرایند تبخیر موثر باشد. لازم به یادآوری است تاکنون در رابطه با استفاده از مواد شیمیایی در کاهش میزان تبخیر به کاربرد این رزین در هیچ مرجعی اشاره نشده است. در مطالعه حاضر سعی شده تا تأثیر رزین پلی ونیل بوتیرال به صورت خالص و همچنین

DOI: 10.22055/jise.2017.20887.1498

ترکیب شده با الکل‌های چرب هگزادکانول و اکتادکانول در کاهش میزان تبخیر از آب‌های سطحی بررسی گردد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق به‌منظور تعیین کارایی رزین پلی ونیل بوتیرال در کاهش میزان تبخیر از سطوح آبی روباز مجتمع معدن سرچشمه انجام گرفته است. بدین منظور چون مطالعه‌ای در زمینه استفاده از این رزین در کاهش تبخیر آب شرب نیز صورت نگرفته است و از طرفی بیشترین حجم آب مخازن روباز مجتمع مس سرچشمه پساب خروجی کارخانه با ترکیبی کاملاً متفاوت از آب شیرین است سعی شده تا به‌طور هم‌زمان تأثیر این ماده بر روی دو نمونه آب لوله‌کشی با pH= 7.9 و پساب پشت سد با pH= 4.2 مورد بررسی قرار گیرد. نمونه پساب بعد از برداشت از مکان سد رسوب‌گیر به آزمایشگاه منتقل و بلافاصله آزمایش‌ها بر روی آن آغاز گردید.

بدین منظور تعداد ۱۶ ظرف پلی‌اتیلنی برای دو نمونه آب تهیه و سپس ظرف‌ها با دو نمونه آب لوله‌کشی و پساب تا تراز مشخص پرگردید. دمای اولیه دو نمونه آب تقریباً یکسان و معادل ۲۵ درجه سانتی‌گراد و دمای اولیه اتاق نیز ۲۸ درجه سانتی‌گراد هست. در این مطالعه چهار تیمار مختلف در دو تکرار بر روی نمونه‌های شرب و پساب در نظر گرفته شد. نمونه اول شامل ترکیب الکل‌های چرب هگزادکانول و اکتادکانول به نسبت (C_{16}:C_{18},3:7)، نمونه دوم رزین پلی ونیل بوتیرال محلول و نمونه سوم ترکیب هگزادکانول و اکتادکانول و رزین پلی ونیل بوتیرال می‌باشد. شایان ذکر است نسبت به‌کار رفته بین الکل‌ها حاصل نتایج بهینه به‌دست آمده از نسبت‌های مختلف الکل است که در همین مجتمع انجام شده است. همچنین دو ظرف به‌عنوان شاهد آب لوله‌کشی و دو ظرف به‌عنوان شاهد پساب پشت سد در نظر گرفته شد. در نمونه اول میزان ۱ گرم پودر هگزادکانول و اکتادکانول با نسبت (C_{16}:C_{18},3:7) در ۲۵ سی‌سی اتانول حل شده و در سطح چهار ظرف اسپری گردید (دو ظرف آب شرب و دو ظرف پساب). به‌منظور تهیه محلول مورد استفاده جهت نمونه دوم، مقداری پودر جامد پلی ونیل بوتیرال در محلول کلروفورم حل گردید. میزان پودر جامد مورد استفاده در حلال، مقداری است تا این جامد در محلول به حالت اشباع درآید. سپس محلول تهیه شده در ظروف شیشه‌ای با قابلیت اسپری نگهداری و در سطح دو نمونه آب پخش گردید. بعد از فرار کلروفورم لایه نازکی از پلیمر نامبرده در سطح آب تشکیل می‌گردد که نمونه آن در شکل (۱) آورده شده است. در نمونه سوم بعد از اسپری محلول رزین در سطح آب، محلول ترکیبی الکل‌های چرب نیز بر سطح رزین اضافه گردید. میزان مصرف الکل‌های چرب به‌صورت ترکیبی در پژوهش حاضر در نمونه اول و سوم یک گرم بر مترمربع می‌باشد. به‌این‌ترتیب از هر نمونه چهار ظرف در نظر گرفته شد و بعد از اعمال تیمارها بر سطح آب مقادیر تبخیر روزانه از تاریخ ۹۵/۰۷/۲۸ تا تاریخ ۹۵/۰۸/۱۳ با استفاده از کولیس اندازه‌گیری گردید. ذکر این نکته حائز اهمیت است که تیمار الکل‌های چرب در نمونه اول در مدت‌زمان اندازه‌گیری به فاصله زمانی ۷ روز، تنها دو بار بر سطح آب اعمال گردید. در نهایت کارایی سناریوهای مختلف در کاهش میزان تبخیر با استفاده از معادله ۱ محاسبه گردید.

$$\frac{L_{control} - L_{treatment}}{L_{control}} \times 100 \qquad (۱)$$

که در آن $L_{control}$ میزان تلفات از ظرف شاهد طی بازه اندازه‌گیری و $L_{treatment}$ میزان تلفات در هر یک از سناریوها در همان بازه می‌باشد. شایان ذکر است مقادیر اندازه‌گیری شده به صورت $Mean \pm S.d$ ارائه شد و از تحلیل واریانس یک طرفه و به دنبال آن از آزمون دانکن جهت مقایسه میانگین تأثیر انواع سناریوها بر کاهش تبخیر استفاده گردید. پس از به‌دست‌آوردن اطلاعات از انواع مختلف سناریوها، نتایج بدست آمده تجزیه و تحلیل و $P<0.05$ به عنوان شاخص معنی دار بودن مطرح گردید. برای تحلیل داده‌ها از نرم افزار SPSS استفاده شد.

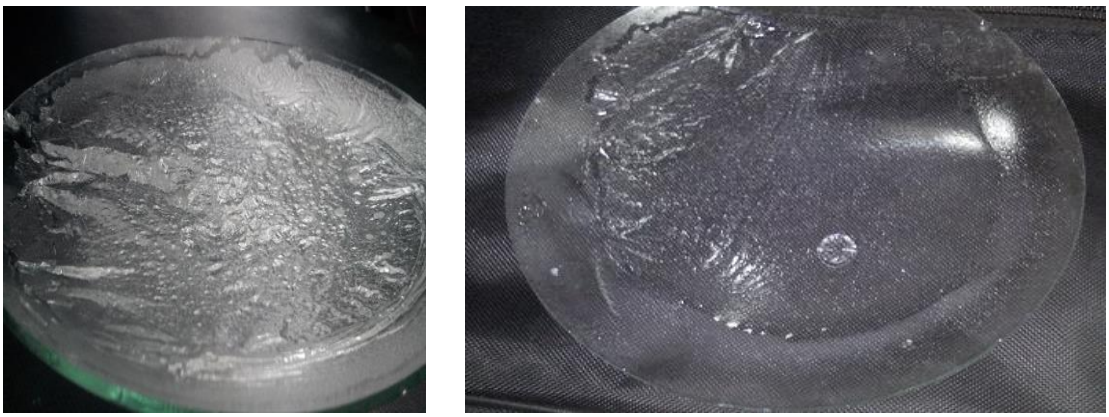

Fig. 1-Formation of polyvinyl butyral polymer at water surface
شکل ۱- تشکیل پلیمر پلی ونیل بوتیرال در سطح آب

نتایج و بحث

تحقیق حاضر که به منظور کاهش تبخیر با استفاده از ترکیبات شیمیایی از سطح آب شرب و پساب سد باطله مجتمع مس سرچشمه انجام گرفته است، نشان می‌دهد اعمال تیمارهای مختلف که حاصل ترکیبات مختلف از الکل‌های چرب و رزین پلی ونیل بوتیرال می‌باشد، نتایج متفاوتی را در دو نمونه آب به دنبال داشته است. مقادیر میانگین و انحراف استاندارد پارامترهای تبخیر در دو نمونه آب شرب و پساب سد رسوبگیر در جدول (۱) آورده شده است. علاوه بر این مقایسه مقادیر متوسط تبخیر تجمعی از دو نمونه آب شرب و پساب نشان می‌دهد در شرایط یکسان آزمایشگاهی میزان متوسط تبخیر در نمونه‌های پساب بیشتر از نمونه‌های آب شرب می‌باشد. شکل (۲) نمودار تغییرات تبخیر تجمعی در دو نمونه آب شاهد را نمایش می‌دهد.

جدول ۱- آماره های میانگین و انحراف استاندارد تبخیر در سناریوهای مختلف طی بازه اندازه‌گیری

Table 1- Mean and standard deviation of evaporation in different scenarios during the measurement period

Scenarios	Water type	Mean	Standard deviation
Control	drinking water(mm)	1.55	0.037
	Wastewater(mm)	1.90	0.073
Scenario 1(Mixture of Hexadecanol and Octadecanol)	drinking water(mm)	0.77	0.050
	Wastewater(mm)	1.05	0.060
Scenario 2 (Rezin of of Polyvinyl butyral)	drinking water(mm)	1.13	0.047
	Wastewater(mm)	1.43	0.047
Scenario 3(Mixture of Hexadecanol and Octadecanol and Polyvinyl butyral)	drinking water(mm)	0.63	0.043
	Wastewater(mm)	1.01	0.047

N=30

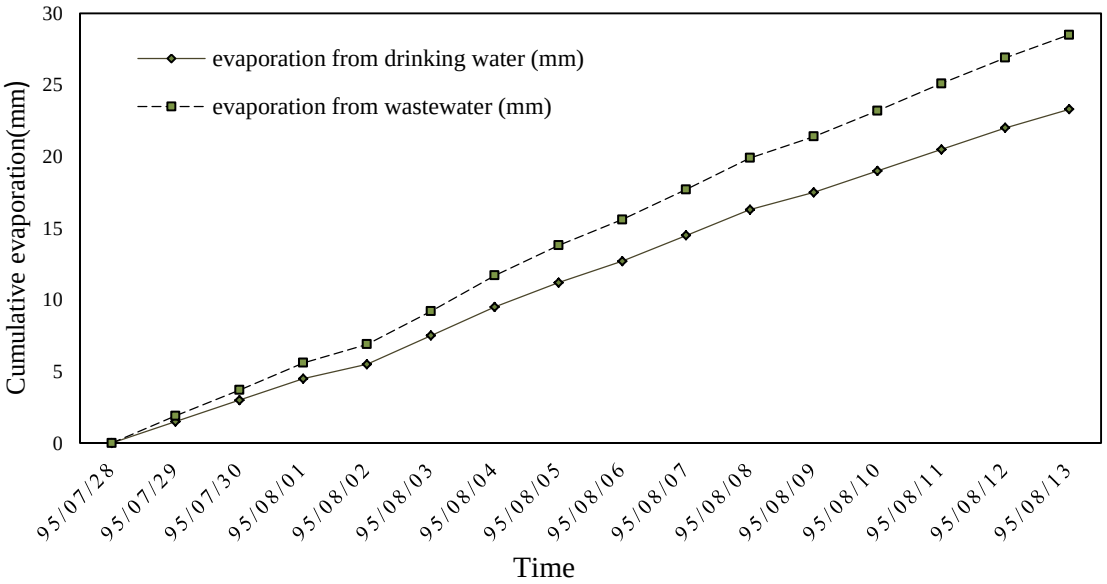

Fig. 2- Cumulative evaporation in two samples of drinking water and wastewater in the control sample

شکل ۲- مقادیر تبخیر تجمعی در دو نمونه آب شرب و پساب در نمونه شاهد

DOI: 10.22055/jise.2017.20887.1498

مقادیر به‌دست‌آمده از تبخیر تجمعی در دو نمونه شرب و پساب در ظرف شاهد به ترتیب ۲۳/۳ و ۲۸/۵ می‌باشد. در واقع تحت شرایط مشابه تبخیر از سطح پساب به میزان ۱۸/۲۴ درصد بیشتر از آب شرب برآورد گردیده است. این نتایج نشان می‌دهد شرایط اسیدی و ترکیبات موجود در پساب سد رسوب‌گیر نسبت به آب شرب می‌تواند عاملی مؤثر بر فرار مولکول‌های آب از سطح آب و افزایش میزان تبخیر باشد. علاوه بر این مقایسه مقادیر تبخیر در سه نمونه تحت آزمایش نیز نشان می‌دهد اگرچه سه تیمار اعمال‌شده منجر به کاهش تبخیر در دو نمونه آب شده است اما میزان کاهش تبخیر در ظروف پر شده با پساب، کمتر از ظروف پر شده با آب شرب می‌باشد. در نمونه یک که تنها از الکل‌های چرب هگزادکانول و اکتادکانول با نسبت ۳ به ۷ در سطح آب استفاده شده است، میزان کل تبخیر در دو نمونه شرب و پساب به ترتیب ۱۱/۵ و ۱۶ میلی‌متر می‌باشد. شکل (۳) نمودار مقادیر تجمعی تبخیر آب شرب و پساب در نمونه یک می‌باشد که با مقادیر شاهد مقایسه شده است. در این نمودار سطح زیر هر یک از منحنی‌های رسم شده تا محور افقی درواقع بیانگر حجم تبخیر می‌باشد. همان‌گونه که مشاهده می‌گردد میزان تبخیر از سطح آب شرب در نمونه شاهد و پوشیده شده با الکل‌های چرب کمتر از نمونه پساب می‌باشد. برآوردها نشان می‌دهد کارایی الکل‌های چرب در این نمونه برای آب شرب و پساب به ترتیب ۵۰/۶۴ و ۴۳/۸۶ درصد می‌باشد. در واقع عملکرد الکل‌های چرب در نمونه آب شرب ۱۳/۴ درصد بیشتر از پساب می‌باشد. نمونه دو که تحت تیمار رزین پلی ونیل بوتیرال می‌باشد عملکردی به نسبت کمتر از الکل‌های چرب را نشان می‌دهد. شکل (۴) نمودار تبخیر تجمعی در این نمونه را بر روی دو نوع آب نشان می‌دهد.

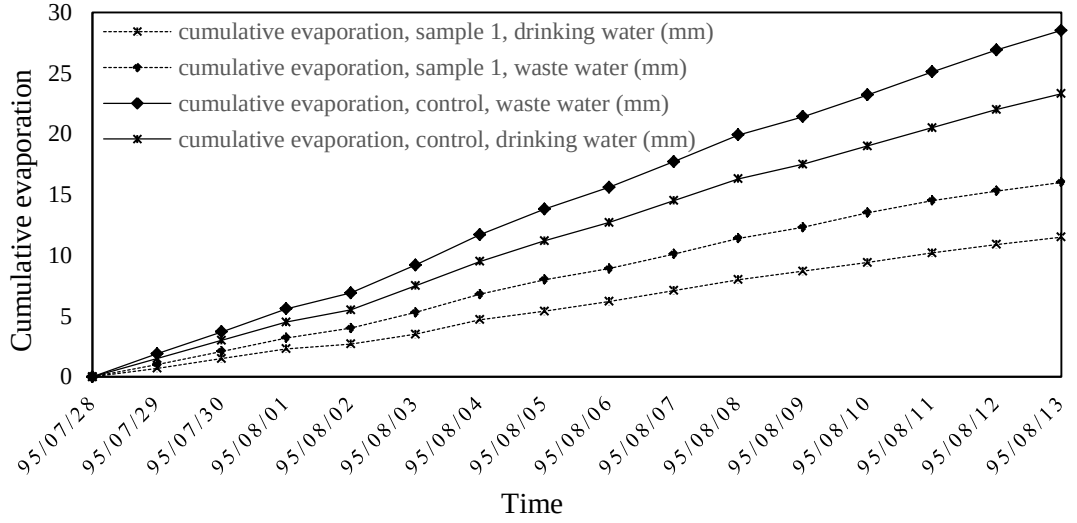

Fig. 3- Evaporation values from two samples of drinking water and wastewater using sample 1 compared to control values

شکل ۳- مقادیر تبخیر از دو نمونه آب شرب و پساب با استفاده از نمونه یک در مقایسه با مقادیر شاهد

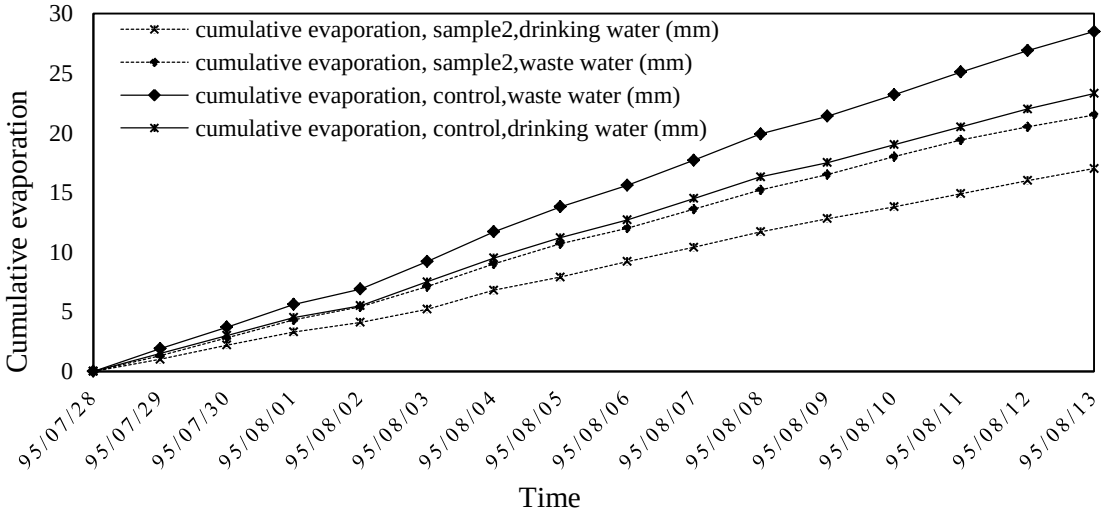

Fig. 4- Evaporation values from two samples of drinking water and wastewater using sample 2 compared to control values

شکل ٤- مقادیر تبخیر از دو نمونه آب شرب و پساب با استفاده از نمونه دو در مقایسه با مقادیر شاهد

مقادیر تبخیر تجمعی در این نمونه بر روی آب شرب و پساب به ترتیب ۱۷ و ۲۱/۵ میلی‌متر می‌باشد. مقایسه این مقادیر با مقادیر ثبت‌شده از نمونه‌های شاهد عملکرد ۲۷/۰۴ و ۲۴/۵۶ درصد رزین پلی ونیل بوتیرال را بر روی ظروف پر شده با آب شرب و پساب نشان می‌دهد. در این نمونه تأثیر رزین فوق بر روی پساب کمتر از ۹/۱ درصد آب شرب می‌باشد. نمونه سه که حاصل ترکیب الکل‌های چرب و رزین پلی ونیل بوتیرال می‌باشد نتایج بهتری را نسبت به دو نمونه قبل ارائه نموده است. شکل (۵) نمودار تجمعی مقادیر تبخیر در دو نمونه آب شرب و پساب که با این تیمار پوشش داده‌اند را نمایش می‌دهد. در این نمونه مقادیر تبخیر تجمعی در دو نمونه آب شرب و پساب به ترتیب ۹/۵ و ۱۵/۲ میلی‌متر می‌باشد. مقایسه این مقادیر با مقادیر ظروف شاهد، عملکرد پوشش ترکیبی الکل‌های چرب و رزین پلی ونیل بوتیرال را در کاهش تبخیر برای نمونه آب شرب و پساب به ترتیب ۵۹/۲۳ و ۴۶/۶۷ درصد نشان می‌دهد. افزایش عملکرد نمونه فوق در کاهش میزان تبخیر از سطح شرب و پساب گویای افزایش تأثیر الکل‌های چرب در ترکیب با رزین پلی ونیل بوتیرال می‌باشد. اگرچه تأثیر و کارایی این نمونه بر روی آب شرب بیش از ۲۱/۲ درصد پساب می‌باشد اما در میان سه نمونه ترکیب استفاده شده در این پژوهش، نمونه فوق تأثیر بیشتری بر روی کاهش تبخیر از سطح پساب داشته است. نتایج حاصل گویای این واقعیت است که پوشاندن سطح فوقانی پلیمر تشکیل شده ضخامت و دوام این لایه را افزایش داده و با افزایش مقاومت این لایه و تشکیل یه لایه مانع بر سطح آب، ملکول‌های آب نمی‌توانند به راحتی از سطح جدا شوند و در نتیجه میزان تبخیر کاهش می‌یابد. شکل(۶) و (۷) به ترتیب نمودار میله‌ای و خطی عملکرد سه نمونه ترکیبات مختلف مواد کاهنده تبخیر را بر سطح آب شرب و پساب نمایش می‌دهند.

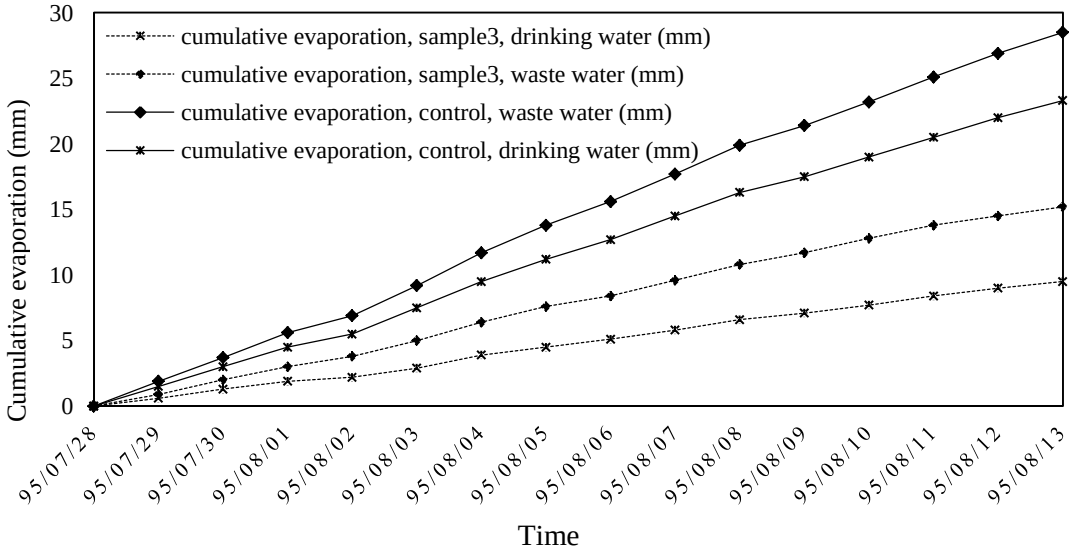

Fig. 5- Evaporation values from two samples of drinking water and wastewater using sample 3 compared to control values

شکل ۵- مقادیر تبخیر از دو نمونه آب شرب و پساب با استفاده از نمونه سه در مقایسه با مقادیر شاهد

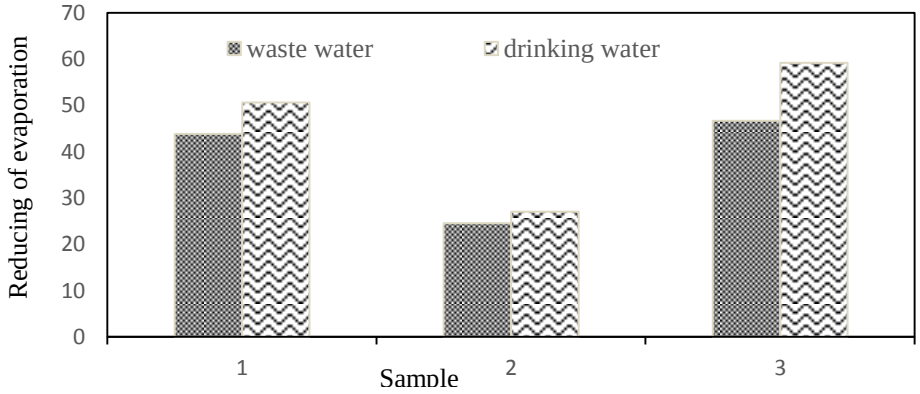

Fig. 6- Performance chart of the three samples used in this research on drinking water and wastewater

شکل ٦- نمودار عملکرد سه نمونه استفاده شده در این پژوهش بر آب شرب و پساب

DOI: 10.22055/jise.2017.20887.1498

همان‌گونه که در شکل (۶) مشاهده می‌گردد بیشترین عملکرد در دو نمونه آب شرب و پساب مربوط به نمونه سه می‌باشد که حاصل اثربخشی بیشتر الکل‌های چرب در مجاورت رزین پلی ونیل بوتیرال می‌باشد. در این میان تفاوت عملکرد نمونه‌های مختلف بر آب شرب و پساب در نمودار ترسیم‌شده شکل (۶) به‌وضوح مشخص می‌باشد. بیشترین تفاوت عملکرد در نمونه ۳ مشاهده می‌گردد که این اختلاف بیش از ۲۱/۲ درصد بوده و کمترین اختلاف عملکرد بین دو نمونه آب مربوط به نمونه دو (رزین پلی ونیل بوتیرال به‌صورت خالص) می‌باشد که این اختلاف کمتر از ۹/۱ درصد برآورد شده است. علاوه بر این، نمودار مقایسه سه تیمار بر آب شرب در مقایسه با شاهد آب شرب و همچنین نمودار مقایسه سه تیمار بر پساب در مقایسه با شاهد پساب به‌صورت جداگانه در شکل (۷) و (۸) ترسیم شده است.

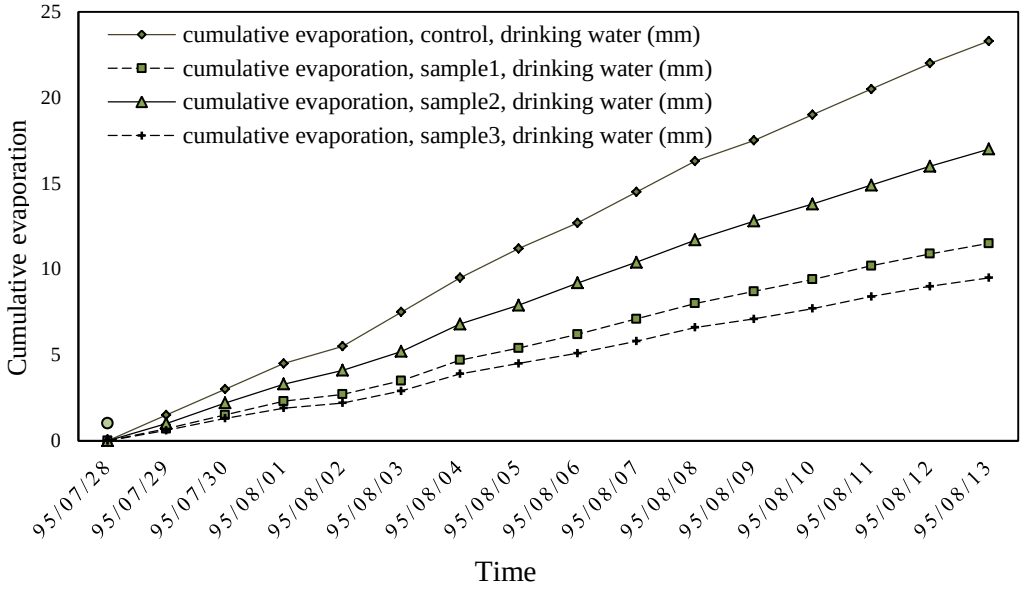

Fig. 7- The graph of cumulative evaporation values of drinking water in three different treatments in this research

شکل ۷- نمودار مقادیر تبخیر تجمعی از آب شرب در سه تیمار متفاوت در این پژوهش

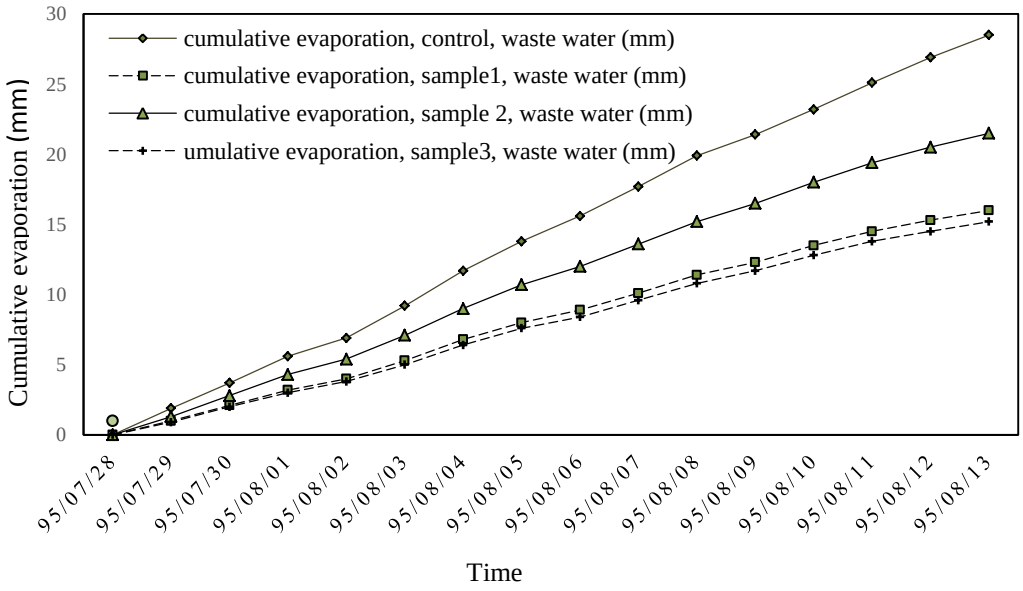

Fig. 8- The graph of evaporation rates of wastewater in three different treatments in this research

شکل ۸- نمودار مقادیر تبخیر تجمعی از پساب در سه تیمار متفاوت در این پژوهش

نمودارهای ترسیم شده در شکل (۸) و (۹) گویای این واقعیت می‌باشد که اگرچه رزین پلی ونیل بوتیرال و الکل‌های چرب به تنهایی می‌تواند در کاهش میزان تبخیر از سطح آب تأثیر مثبت داشته باشد، اما قرارگیری این دو ماده در کنار یکدیگر تأثیر به نسبت بالاتری را در دو نمونه آب شرب و پساب خواهد داشت. به‌طوری‌که پخش الکل‌های چرب با نسبت ذکرشده در این پژوهش بر روی لایه تشکیل شده رزین در سطح آب و پساب، به ترتیب منجر به افزایش عملکرد ۵۴ و ۴۷ درصد نسبت به استفاده از رزین خالص بر سطح آب شده است. نکته حائز اهمیت اینکه عملکرد ترکیبات رزین و الکل‌های چرب تنها در حالتی است که پخش الکل‌های چرب بعد از تشکیل لایه پلیمری رزین بر سطح آب صورت پذیرد. در ادامه به منظور بررسی تفاوت میان سناریوهای مختلف بر میزان تبخیر و تحلیل آماری آن‌ها انحراف واریانس یک‌سویه محاسبه و ارائه گردید. بر اساس مقادیر نسبت پراش در نتایج ارائه شده از جدول (۲) تجزیه واریانس بین سناریوهای مختلف از نظر میزان تبخیر در سطح احتمال ۹۹ درصد اختلاف معنی‌داری وجود دارد. علاوه بر این جهت تشخیص تفاوت بین میانگین تبخیر در هر یک از زوج سناریوها از آزمون دانکن در سطح اطمینان ۰/۰۱ استفاده شده است. نتایج این آزمون به منظور بررسی تأثیر سناریوهای مختلف با دو نمونه آب بر میانگین تبخیر، در جدول (۳) آورده شده است.

جدول ۲- انحراف واریانس یک سویه برای بررسی تغییرات تبخیر در این تحقیق

Table 2- One-Way Variation Deviation to investigate evaporation changes in this research

	Source of variation	ss	df	ms	f	p
drinking water	Between infections	15.33	3	120.97	5.11	0.000
	Error (within infections)	4.90	116		0.042	
	Total	20.23	119			
wastewater	Between infections	15.27	3	75.33	5.33	0.000
	Error (within infections)	7.83	116		0.068	
	Total	23.10	119			

The P value is significant difference between means. df, degrees of freedom; F, test statistic MS, mean squares; ss, sum of squares.

جدول ۳- نتایج آزمون دانکن جهت مقایسه میانگین تاثیر سناریوهای مختلف در میزان تبخیر از سطح آب

Table 3- Duncan test results to compare of the effect average of different scenarios on evaporation rate from water level

	Scenarios	1	2	3	4
Drinking water	Scenario 3	0.63a			
	Scenario 1		0.77b		
	Scenario 2			1.13c	
	Control				1.55d
Waste water	Scenario 3	1.01a			
	Scenario 1	1.06a			
	Scenario 2		1.43b		
	Control			1.90c	

And N=30 Subset for alpha = 0.01

DOI: 10.22055/jise.2017.20887.1498

همان‌گونه که در جدول (۳) نیز مشاهده می‌شود نتایج به‌دست آمده از مقایسه میانگین تأثیر سناریوهای مختلف بر میزان تبخیر با استفاده از روش دانکن بر روی دو نمونه آب نتایج متفاوتی ارائه داده است. در آب شرب سناریوها در گروه‌های مختلف آماری قرار گرفته‌اند. مقایسه مقادیر میانگین تبخیر در این نمونه آب هیچ‌گونه حروف مشترکی را نشان نمی‌دهد و این بدان معناست که تمام زوج پوشش‌ها در سطح ۰/۰۱ اختلاف معنی‌داری را با هم دارند. بر این اساس، ظرف شاهد بیش‌ترین مقدار تبخیر را در بین دیگر سناریوها داشته است درحالی‌که سناریوی سه که ترکیبی از الکل‌های چرب و رزین پلی ونیل بوتیرال می‌باشد کمترین مقدار تلفات تبخیر را نشان می‌دهد. نتایج بدست آمده از سناریوهای مختلف بر روی پساب سد رسوب‌گیر اختلاف معنی‌داری را با مقادیر ظرف شاهد نشان می‌دهد. در این نمونه آب سناریوها در دو گروه آماری قرار گرفته‌اند. به‌طوری‌که سناریوی دو و سه با یک حرف اختصاری نمایش داده شده‌اند و این بدان معناست که سناریوی دو و سه در نمونه پساب در سطح ۰/۰۱ اختلاف معنی داری را به لحاظ آماری نداشته‌اند. این موضوع نشان می‌دهد این دو سناریو در یک گروه آماری قرار گرفته و بیشترین تأثیر و عملکرد را در کاهش میزان تبخیر از سطح آب داشته اند که این موضوع در شکل (۸) نیز به صراحت مشخص می‌باشد. شکل (۹) نیز نمودار میله‌ای سه سناریو در مقایسه با مقادیر شاهد بر روی دو نمونه آب را به‌منظور مقایسه هم‌زمان نمایش می‌دهد. در این نمودار نیز تأثیر ترکیب رزین پلی ونیل بوتیرال با الکل‌های چرب در کاهش میزان تبخیر از دو نمونه آب شرب و پساب به‌وضوح نشان داده شده است. به‌این‌ترتیب در میان تیمارهای استفاده شده به‌منظور کاهش تبخیر در این پژوهش، در آب شرب، نمونه سه با عملکرد ۵۹/۲۳ درصد در اولویت نخست و نمونه یک و دو به ترتیب با ۵۰/۲۴ و ۲۷/۰۴ درصد در اولویت‌های دوم و سوم قرار می‌گیرند. شایان ذکر است عملکرد این سه نمونه در پساب نیز به ترتیب ۴۶/۶۷ درصد برای نمونه سه و ۴۳/۸۶ و ۲۴/۵۶ درصد برای نمونه‌های یک و دو می‌باشد. آنچه از نتایج ارائه شده برمی‌آید، تأثیر مثبت رزین پلی ونیل بوتیرال بر روی دو نمونه آب شرب و پساب سد باطله مجتمع مس سرچشمه می‌باشد. اگر چه تأثیر این رزین به‌تنهایی در کاهش میزان تبخیر نسبت به ترکیب بهینه الکل‌های چرب هگزادکانول و اکتادکانول که با رعایت نسبت ۳ به ۷ به دست می‌آید کمتر می‌باشد اما ترکیب این دو ماده فوق منجر به افزایش کارایی این ترکیب نسبت به حالت خالص آن می‌گردد. از طرفی استفاده از رزین پلی ونیل بوتیرال منجر به افزایش زمان تداوم و ماندگاری این الکل‌ها در سطح آب می‌شود. در واقع ماندگاری لایه تشکیل شده در سطح آب به صورت چشمی قابل ملموس می‌باشد به‌طوری‌که بعد از گذشت ۷ روز ترک‌هایی بر روی پلیمر ایجاد می‌شود و سطح تماس آب با هوا افزایش می‌یابد. اما دوام و پیوستگی این لایه در مدت زمان یاد شده گویای این واقعیت است که ماندگاری این رزین بر سطح آب نسبت به ماندگاری الکل‌های چرب که نهایتاً سه تا چهار روز گزارش شده، بیشتر است. در تحقیق حاضر که در شرایط آزمایشگاهی انجام گرفته است، در نمونه دو که از ترکیب دو الکل چرب هگزادکانول و اکتادکانول استفاده شده است، طی دو مرحله در ابتدا و وسط بازه اندازه‌گیری، الکل‌های چرب در سطح آب اسپری گردید اما در نمونه سوم که ترکیب رزین و الکل‌های چرب مورد استفاده قرار گرفت تنها در زمان شروع اندازه گیری‌ها، الکل‌های چرب در سطح رزین پخش گردید و تا انتهای بازه اندازه‌گیری ماده دیگری به سطح آب اضافه نگردید. این عامل علی‌رغم افزایش کارایی در کاهش تبخیر، با به تأخیر انداختن زمان استفاده مجدد از الکل‌های چرب در سطح آب عاملی مثبت در کاهش میزان استفاده از الکل‌های چرب و کاهش هزینه نیروی انسانی و تجهیزات برای پخش الکل‌های چرب در سطح آب قلمداد می‌گردد.

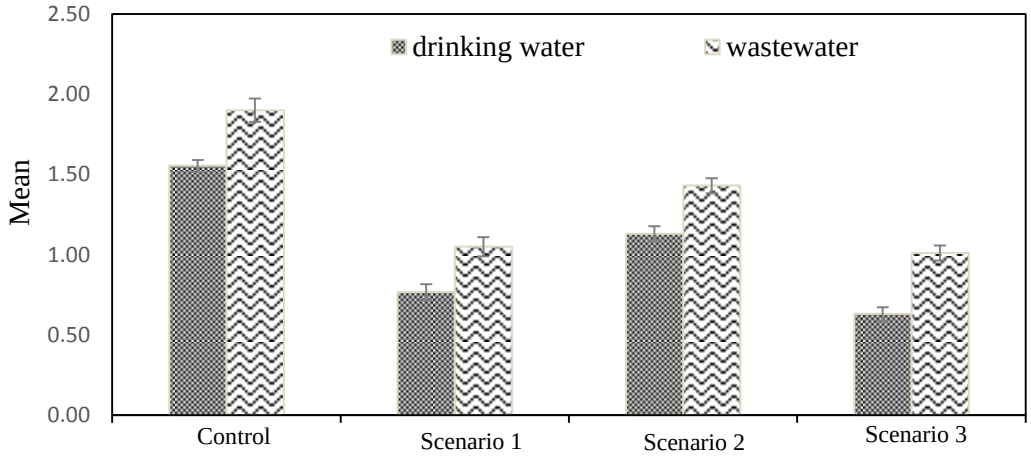

Fig.9- Bar chart of evaporation values in three treatments applied to drinking water and wastewater compared to control

شکل ۹- نمودار میله‌ای مقادیر تبخیر در سه تیمار اعمال‌شده بر روی آب شرب و پساب در مقایسه با شاهد

علاوه بر این وجود رزین پلی ونیل بوتیرال با ایجاد یک لایه شفاف پلیمری در سطح آب نه‌تنها اجازه ورود نور را به داخل آب را خواهد داد، بلکه مقاومت لایه سطحی را در برابر باد نیز افزایش می‌دهد. اگرچه نتایج تحقیق فوق دستاوردی جدید محسوب می‌گردد و در هیچ منبعی دیگری به آن اشاره نشده است اما نتایج به‌دست‌آمده از آن را می‌توان با نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش Gugliotti et al (2005) مقایسه گردید. در تحقیق انجام شده توسط نامبردگان تأثیر کارایی نسبت‌های متفاوت از الکل‌های چرب هگزادکانول و اکتادکانول بر روی دو نمونه طبیعی از مخازن آب سائو پالو (Sao Paulo) واقع در برزیل انجام شده است. نتایج نشان می‌دهد، ترکیب ((C16:C18, (1:9) بهترین عملکرد را در کاهش میزان تبخیر از سطح آب داشته استو میزان این عملکرد در شرایط آزمایشگاهی و ظرف مدت ۴۸ ساعت ۵۷ درصد گزارش شده است. همچنین در پژوهش دیگری که در مجتمع مس سرچشمه جهت استفاده بهینه از نسبت‌های مختلف الکل‌های چرب انجام گرفته است ترکیب ((C16:C18, (3:7) بهترین عملکرد را در کاهش میزان تبخیر داشته است، این ترکیب که به‌عنوان بهترین ترکیب شناسایی گردیده است، بار دیگر در پژوهش حاضر به‌صورت ترکیب‌شده با رزین پلی ونیل بوتیرال و بدون ترکیب با رزین استفاده گردید. نکته حائز اهمیت این‌که فاصله زمانی جهت استفاده مجدد الکل‌ها در سطح آب در تحقیق حاضر در دو حالت ترکیب‌شده با رزین و بدون استفاده از رزین نسبت به تحقیقات قبل بیشتر بوده که در متن پژوهش نیز به آن اشاره گردیده است. نتایج تحقیق حاضر بهترین کارایی حاصل از ترکیب رزین و الکل‌های چرب را ۵۹/۲۳ درصد نشان می‌دهد که در مقایسه با مطالعات انجام‌شده قبل تأثیر استفاده رزین به‌صورت ترکیب‌شده با الکل‌های چرب در افزایش عملکرد به‌وضوح مشخص می‌باشد. نکته قابل‌توجهی دیگری که از این پژوهش حاصل شده است، افزایش تبخیر از سطح پساب نسبت به آب شرب در شرایط یکسان می‌باشد. افزایش ۱۸/۲۴ درصدی میزان تبخیر از پساب نسبت به آب شرب می‌تواند به دلیل ترکیبات موجود در پساب و pH اسیدی آب باشد که با تأثیر بر پیوندهای مولکولی آب، شرایط فرار مولکول‌های آب از سطح را فراهم می‌نماید. این عامل منجر به کاهش تأثیر سه نمونه مواد کاهنده (استفاده شده در این پژوهش) در پساب نسبت به آب شرب نیز شده است. اگرچه کاهش تبخیر در نمونه‌های پساب کمتر از آب شرب می‌باشد اما تأثیر ترکیب رزین و الکل‌های چرب با کارایی نسبتاً خوب منجر به کاهش تبخیر ۴۶/۶۷ درصد از سطح پساب شده که این کارایی نیز تأثیر بالاتر نمونه ترکیبی رزین و الکل‌های چرب را نسبت به استفاده هر یک از مواد نامبرده به‌صورت خالص نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری

رزین پلی ونیل بوتیرال یک ماده آلی است که بعد از حل شدن با تشکیل لایه پلیمری که بر سطح آب تشکیل می‌دهد که قابلیت جلوگیری از تبخیر آب را دارد و این قابلیت با به کارگیری الکل‌های چرب افزایش می‌یابد. این ماده به دلیل ماهیت فیزیکی، واکنشی با آب ندارد و از طرفی الکل‌های چرب نیز به لحاظ استانداردهای زیست محیطی و حتی استفاده در مخازن شرب مورد تائید بوده و عدم سمیت و تاثیر منفی آن بر کیفیت آب به اثبات رسیده است (Barnes, 2008). اما در عین حال به دلیل وجود حلال کلروفورم، استفاده از این ترکیب برای آب شرب توصیه نمی‌شود. از طرفی عملکرد رزین نامبرده در حال حاضر تنها در مقیاس آزمایشگاهی به منظور کاهش تبخیر از سطح آب شرب و پساب بررسی شده است و برای استفاده در مقیاس وسیع‌تر و کاربردهای متعدد دیگر، نیاز به مطالعات بیشتری خواهد داشت.

تشکر و قدردانی

پژوهش حاضر با حمایت مالی مجتمع مس سرچشمه انجام گرفته است. نگارندگان بر خود لازم می‌دانند از واحدهای مختلف مجتمع از جمله واحد تحقیقات و توسعه که در انجام این پروژه مساعدت و همکاری نموده اند، صمیمانه تشکر و قدردانی نمایند.

References

1- Ali, H., Madramootoo, C. A. and Abdel Gwad, S., 2001. Evaporation model of Lake Qaroun as influenced by lake salinity. *Irrigation and Drainage*, *50*(1), pp. 9-17.

2- Barnes, G.T., 1992. Optimum conditions for evaporation control by monolayers. *Journal of Hydrology*, *145*(1-2), pp.165-173.

3- Barnes, G.T., 2008. The potential for monolayers to reduce the evaporation of water from large water storages. *Agricultural Water Management*, *95*(4), pp.339-53.

4- Bursztyn, I., 1966. Evaporation reduction of water. *Nature*, *211*(5048), P. 521.

5- Chen, R.H., Phuoc, T.X. and Martello, D., 2010. Effects of nanoparticles on nanofluid droplet evaporation. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, *53*(19), pp. 3677-82.

6- Coleman, M., 2000. Review and Discussion on the Evaporation Rate of Brines. *Actis Environmental Services. Mundijong, Washington.*

7- Craig, I., Aravinthan, V. C., Baillie, P., Beswick, A., Barnes, G., Bradbury, R., Connell, L., Cooper, P., Fellows, C., Fitzmaurice, L. and Foley, J.P., 2007. Evaporation, seepage and water quality management in storage dams: a review of research methods. *Environmental Health*, *7*(3), pp. 84-97.

8- Craig, I., Green, A., Scobie, M. and Schmidt, E., 2005. Controlling Evaporation Loss from Water Storages, *National Centre for Engineering in Agriculture Publication 1000580/1, USQ, Toowoomba, <http://www.ncea.org.au<*.

9- Crow, F. R. and Daniel, E. R., 1958. Chemicals for controlling evaporation from open water surfaces. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, *1*(1), pp. 72-75.

10- Crow, F. R. and Sattler, H., 1958. The influence of wind on chemical films for reservoir evaporation retardation. Paper presented at the meeting of the Southwest-Southeast Sections of the American Society of Agricultural Engineers at Little Rock, *Arkansas*.

11- Crow, F.R., 1961. Reducing reservoir evaporation; application of surface films cuts losses. *Agricultural Engineering*, *42*(5), pp. 240-243.

12- Desai, A.C., Iyer, T.K. and Tople, V.M., 1990. Use of water evaporation retardants for water conservation. *Indian Water Works Assocition*, pp.193–194.

13- Grundy, F., 1962. Some problems of maintaining a monomolecular film on reservoirs affected by winds. *In Retardation of Evaporation by Monolayers, pp.213-218.*

14- Gugliotti, M., Baptista, M. S. and Politi, M. J., 2005. Reduction of evaporation of natural water samples by monomolecular films. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, *16*(6A), pp. 1186-1190.

15- Herzig, M.A., Barnes, G.T. and Gentle, I.R., 2011. Improved spreading rates for monolayers applied as emulsions to reduce water evaporation, *Journal of Colloid and Interface Science*, *357*(1), pp. 239–242.

16- La Mer, V.K. (Ed.)., 2014. Retardation of Evaporation by Monolayers: Transport Processes. *Academic Press, New York*, pp. 213–218.

17- Manges, H. and F.R. Crow., 1966. Evaporation suppression by chemical and mechanical treatments. *In Proceedings of the Oklahoma Academy of Science,* (46), pp. 251-254.

18- Moghiman, M. and Aslani, B., 2013. Influence of nanoparticles on reducing and enhancing evaporation mass transfer and its efficiency. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, *30*(61), pp. 114–118.

19- O'Brien, R.N., 2006. Method for making a coated powder for reducing evaporative water loss. *International Patent Application, WO 2006/012740 A1*.

20- Piri, M., Hesam, M., Dehghani, A.A., Meftah Halaghi, m., 2011. Experimental study on the effect of physical and chemical approach in reducing the evaporation from water surface. *Journal of Water and Soil Conservation*, *17*(4), pp. 141-154 .(In Persian).

21- Ultimate Agri-Products, 2006. www.ultimateagri.com.au.