



Technical Note

یادداشت فنی

Comparing Effects of Restoration Policies Under Climate Change By Using System Dynamics; Case Study Urmia Lake Ecosystem

مقایسه تأثیر سیاست‌های احیاء تحت تأثیر تغییر اقلیم به کمک پویایی سیستم‌ها؛ مطالعه موردی زیست‌بوم دریاچه ارومیه

E. Ebrahimi Sarindizaj^{1} and M. Zarghami²*

الهام ابراهیمی سرین دیزج^{۱*} و مهدی ضرغامی^۲

Abstract

Finding sustainable and cost-effective solutions in water resources management is one of the most prominent challenges which communities are confronting. Urmia Lake is one of largest hyper saline lakes with an strategic significance in the region. While the status of Urmia Lake is catastrophic, finding management practices to restore a sustainable ecological status for the Lake, is vital. In this paper, system dynamics approach was used in order to evaluate the effects of different restoration policies on Urmia Lake. Policies such as increasing irrigation efficiency, reduction in cultivated land, changing in crop patterns and water transfer from Aras and Zab Rivers were evaluated in this regard. The results showed that none of the individual projects was effective on Urmia Lake restoration and the simultaneous implementing of increasing irrigation efficiency, changing in crop patterns, and reducing cultivated area had the greatest effect on increasing water level in the Lake and in a period of about 8 years Urmia lake could be restored.

Keywords: System Dynamics, Climate Change, Urmia Lake, Simulation, Environmental Management.

Received: March 4, 2017

Accepted: May 26, 2017

چکیده

یافتن راهکارهای پایدار و مقرون به صرفه در مدیریت منابع آب یکی از مهمترین چالش‌های پیش‌روی جوامع به‌شمار می‌رود. دریاچه ارومیه به عنوان یکی از بزرگترین دریاچه‌های فوق شور از موقعیت استراتژیکی برخوردار است و از مهمترین عوامل تأثیرگذار در منطقه می‌باشد. درحالیکه وضعیت دریاچه ارومیه فاجعه‌بار است، یافتن راهکارهای مدیریتی احیاء آن به وضعیت اکولوژیکی پایدار، حیاتی می‌باشد. در مقاله حاضر از دیدگاه پویایی سیستم‌ها به منظور بررسی تأثیر سیاست‌های احیاء مختلف بر دریاچه ارومیه استفاده می‌شود. تأثیر سیاست‌هایی مانند افزایش بهره‌وری کشاورزی، کاهش سطح زیرکشت آبی، تغییر الگوی کشت و انتقال آب از رودخانه‌های ارس و زاب بر دریاچه بررسی می‌گردد. نتایج بررسی نشان می‌دهند که هیچ یک از طرح‌ها به صورت منفرد، در احیاء دریاچه ارومیه مؤثر نیستند. سیاست افزایش بهره‌وری آبیاری، تغییر الگوی کشت و کاهش سطح زیرکشت بیشترین تأثیر را در افزایش تراز دریاچه دارد و در صورت اعمال دقیق در حدود ۸ سال سبب احیاء دریاچه ارومیه خواهند شد.

کلمات کلیدی: پویایی سیستم‌ها، تغییر اقلیم، دریاچه ارومیه، شبیه‌سازی، مدیریت محیط‌زیست.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۱۲/۱۴

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۶/۳/۵

1- M.Sc. Graduate in Environmental Engineering, Department of Civil Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran
Email: elhamebrahimi_s@yahoo.com

2- Professor, Department of Civil Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran
*- Corresponding Author

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست، دانشکده عمران، دانشگاه تبریز

۲- استاد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز

*- نویسنده مسئول

بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان خرداد ۱۳۹۷ امکانپذیر است.

VENSIM تهیه می‌شود و بر اساس خروجی‌های مدل تأثیر هر یک از سیاست‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲-۱- بررسی تغییر اقلیم

نسخه پنجم مدل LARS-WG از نتایج ۱۵ مدل چرخه عمومی جو استفاده می‌نماید و با سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای در مجموع ۳۵ سناریوی تغییر اقلیم تولید می‌کند. در ابتدا داده‌های مربوط به اقلیم دوره ۲۵ ساله (۱۹۹۱-۲۰۱۶) هشت ایستگاه سینوپتیک ارومیه، تبریز، تکاب، سراب، سلماس، سردشت، مراغه و مهاباد، مورد تحلیل قرار گرفتند. مطالعات برای افق ۲۰۳۱ میلادی (۲۰۱۵-۲۰۳۱) انجام گردید. پس از بررسی داده‌های خروجی از مدل، متوسط تغییر دما و بارش تحت سه سناریوی A1B، A2 و B1 مطابق با شکل ۱ بدست آمد.

۲-۲- پویایی سیستم‌ها

ابتدا داده‌های مربوط به عوامل مؤثر بر دریاچه ارومیه از سازمان‌های مربوطه اخذ گردید و سپس مدل‌سازی در VENSIM انجام شد. نمودار علت و معلولی در شکل ۲ نشان داده شده است.

۲-۲-۱- بارش

پنج ایستگاه باران‌سنجی آباچالو سفلی، بناب، داشخانه، شرفخانه و یالقوز آغاج طی دوره شاخص به عنوان ورودی بارش در نظر گرفته شدند.

۲-۲-۲- جریان‌های سطحی اندازه‌گیری شده

از ایستگاه‌های هفده‌گانه هیدرومتری پایاب رودخانه‌های بزرگ منتهی به دریاچه ارومیه برای تعیین جریان‌های سطحی اندازه‌گیری شده استفاده شد.

دریاچه ارومیه به‌عنوان یکی از بزرگترین دریاچه‌های دایمی فوق شور جهان، زیستگاه گونه‌های متنوع جانداران مختلف می‌باشد. در حالیکه دریاچه در وضعیتی بحرانی قرار دارد، احیاء دریاچه می‌تواند از وقوع فاجعه زیست‌محیطی نظیر فاجعه دریای آرال جلوگیری کند (AghaKouchak et al., 2015). طبق مطالعه (Alipour, 2006)، افت تراز آب دریاچه ارومیه ممکن است نتیجه یک دوره طولانی مدت آب و هوای خشک باشد. بنابراین هر جست‌وجویی در خصوص ارزیابی علل افت تراز آب دریاچه ارومیه ابتدا باید با تحلیل اثر اقلیم محلی روی دریاچه شروع شود. براساس مطالعه (Hassanzadeh et al., 2012) کاهش تراز آبی دریاچه، ۲۵ درصد مربوط به احداث سد، ۱۰ درصد مربوط به تغییر بارش و ۶۵ درصد به دلیل اضافه برداشت از منابع سطحی حوضه است. در مطالعه (Zarghami and AmirRahmani, 2015) تأثیر چند سیاست بر دریاچه ارومیه مورد بررسی قرار گرفت؛ اما به جوانب اجتماعی و اقتصادی توجه نشد. مطالعه حاضر مدلی پویا و جامع برای دریاچه ارومیه توسعه می‌دهد. مدل مربوط به دریاچه ارومیه با لحاظ عوامل هیدرولوژیکی و تغییر اقلیم، جمعیت و مصارف آبی مختلف از جمله مصرف آب در بخش کشاورزی تهیه گردید و عواملی مانند مقاومت مردمی در مقابل برخی سیاست‌ها به کار گرفته شد. بنابراین، این مدل تصویری نزدیک به واقعیت از وضعیت فعلی دریاچه ارومیه را در اختیار سیاست‌گذاران قرار می‌دهد، که می‌تواند در درک تأثیر سیاست‌های جدید پیش از اجرا، کمک کند و تأثیر هر طرح بر وضعیت دریاچه را پیش از اعمال آنها نشان دهد.

۲- مواد و روش‌ها

در این مقاله، ابتدا از مدل LARS-WG به منظور بررسی اقلیم دریاچه استفاده می‌گردد. مدل پویای دریاچه ارومیه با در نظر گرفتن عوامل هیدرولوژیکی و تغییر اقلیم، جمعیت و مصارف آبی، با نرم‌افزار

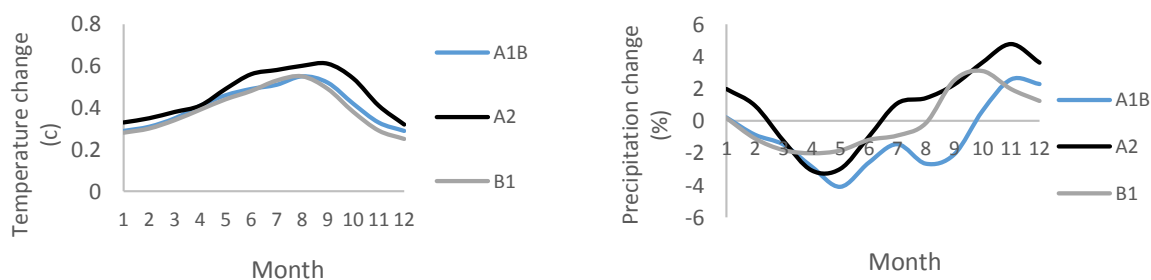


Fig. 1- Variation in precipitation and temperature mean values in the basin under climate change scenarios

شکل ۱- متوسط تغییرات ماهانه بارش و دمای کل حوضه تحت سناریوهای تغییر اقلیم

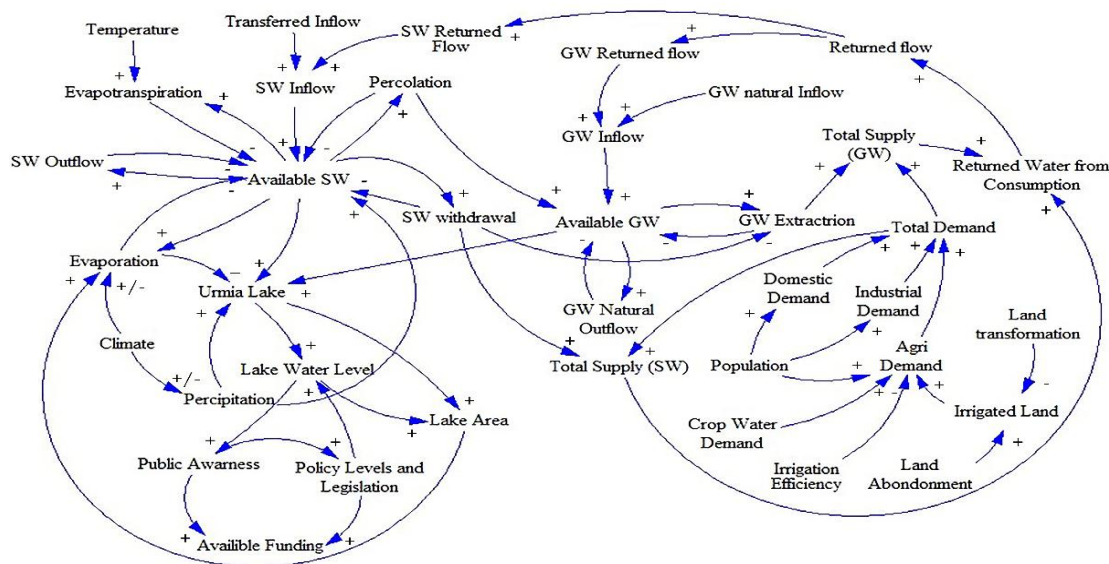


Fig. 2- Casual loop diagram for Urmia Lake
 شکل ۲- نمودار علت و معلولی دریاچه ارومیه

سطحی در نظر گرفته شده است.

رواناب با برقراری یک رگرسیون خطی بین بارش و رواناب سال‌های گذشته حوضه و بارش پیش‌بینی شده توسط مدل لارس محاسبه گردید.

۲-۲-۵- تبخیر سطحی

به منظور تعیین صحیح تبخیر دریاچه ارومیه، داده‌های پنج ایستگاه تبخیرسنجی آبالو سفلی، داشخانه، شرفخانه، گل‌منخانه آب شیرین و یالقوز آغاج به عنوان معرف میزان تبخیر از تشتک انتخاب شدند. مطالعه‌های مختلفی دامنه‌های مناسب برای ضریب تشتک و ضریب تبدیل تبخیر آب شیرین به آب شور پیشنهاد می‌کنند؛ به طوری که مقدار ضریب تشتک از ۰/۶ (Kohler, 1954; Nimmo, 1964) تا ۰/۹۴ (Garrett and Hoy, 1978) و ضریب تبدیل تبخیر آب شیرین به آب شور مقداری بین ۰/۷۲ تا ۰/۹۶ (Quants, 2014) می‌تواند اختیار کند. در مطالعه حاضر ضریب تشتک و ضریب تبدیل تبخیر آب شیرین به آب شور به ترتیب ۰/۹۲۵ و ۰/۹۳ منظور شدند.

۲-۲-۶- کشاورزی

در بخش کشاورزی، طبق آمار بخش مطالعات مصارف کشاورزی (Iran Ministry of Energy, 2012)، ۷۰ درصد اراضی حوضه دریاچه ارومیه به محصولات زراعی و ۳۰ درصد اراضی حوضه به محصولات باغی اختصاص یافته است. متوسط راندمان آبیاری سطوح زیر کشت زراعی ۳۷ درصد و برای سطوح زیر کشت باغی ۴۵ درصد در نظر گرفته شد. برای برآورد میزان نیاز خالص آبیاری از نرم‌افزار NETWAT استفاده شد.

۲-۲-۳- جریان‌های سطحی اندازه‌گیری نشده

ایستگاه‌های هیدرومتری پایاب رودخانه‌ها حدود ۸۲ درصد حوضه دریاچه ارومیه را پوشش می‌دهند. جریان‌های سطحی حاشیه دریاچه با توجه به ارتفاع بارش ماهانه و ضریب جریان سطحی به صورت رابطه ۱ قابل محاسبه خواهد بود. A_m نشانگر وسعت حوضه حاشیه دریاچه و A_1 نشانگر وسعت دریاچه ارومیه که تابعی از سطح تراز آب دریاچه است، می‌باشد.

$$A_m = 13830 - A_1 \quad (1)$$

جریان‌های سطحی اندازه‌گیری نشده نیز به صورت رابطه ۲ خواهد بود. در این رابطه R رواناب سطحی ماهانه بر حسب میلیون متر مکعب، c ضریب جریان سطحی (برابر با ۰/۲۱) و p ارتفاع بارش بر حسب میلی متر می‌باشد (Samadzadeh Fahim et al., 2015).

$$R = 0.001 \times c \times \frac{|p - 5| + (p - 5)}{2} \times A_m \quad (2)$$

۲-۲-۴- آب زیرزمینی

بررسی بیلان آب دریاچه نشان می‌دهد که میزان آب زیرزمینی ورودی به دریاچه ناچیز می‌باشد (Samadzadeh Fahim et al., 2015). در این مطالعه مقدار آب زیرزمینی ورودی برابر با یک درصد آب‌های

۷-۲-۲- ایجاد مدل و اجرای آن

در رویکرد پویایی سیستم‌ها جهت به تصویر کشیدن تأثیر عوامل مختلف بر هم و تعامل آنها از توسعه نمودار حلقه علی و حلقه بازخورد اساسی استفاده می‌شود. نمودار علی اطلاعات ارزشمندی در مورد سیستم‌ها از جمله با حضور حلقه‌های بازخورد و تأخیر زمانی فراهم می‌کنند (Ebrahimi Sarindizaj, 2016). مدل شبیه‌سازی شده در شکل ۳ نشان داده شده است.

به منظور مقایسه تراز آب دریاچه بدست آمده از مدل‌سازی (محاسباتی) و تراز آب اندازه‌گیری شده (مشاهداتی) از برخی معیارهای آماری نظیر ضریب تعیین و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) استفاده شد. نتایج اعتبارسنجی، برای ضریب تعیین و جذر میانگین مربعات خطا، به ترتیب ۰/۳۷ و ۰/۹ را نشان داد. شکل ۴ به مقایسه سطح تراز آب دریاچه ارومیه در دو حالت مدل‌سازی شده و مشاهده شده، می‌پردازد.

۸-۲-۲- طرح‌های مطرح برای احیاء دریاچه

طرح‌های ارائه شده برای احیاء دریاچه ارومیه به شرح زیر می‌باشند: طرح اول افزایش بهره‌وری آبیاری: تبدیل نصف سطوح زیرکشت از روش آبیاری غرقایی به روش‌های آبیاری مکانیزه، طرح دوم کاهش سطح زیرکشت: کاهش ۱۵ درصدی سطح زیرکشت، طرح سوم تغییر الگوی کشت: محدودیت و یا توقف کشت محصولات با نیاز آبی بالا،

طرح چهارم انتقال آب رودخانه‌های ارس و زاب: انتقال سالانه ۱۰۰۰ میلیون مترمکعب از رودخانه زاب و ارس به دریاچه ارومیه، طرح پنجم افزایش بهره‌وری آبیاری و تغییر الگوی کشت، طرح ششم افزایش بهره‌وری آبیاری، تغییر الگوی کشت و کاهش سطح زیر کشت

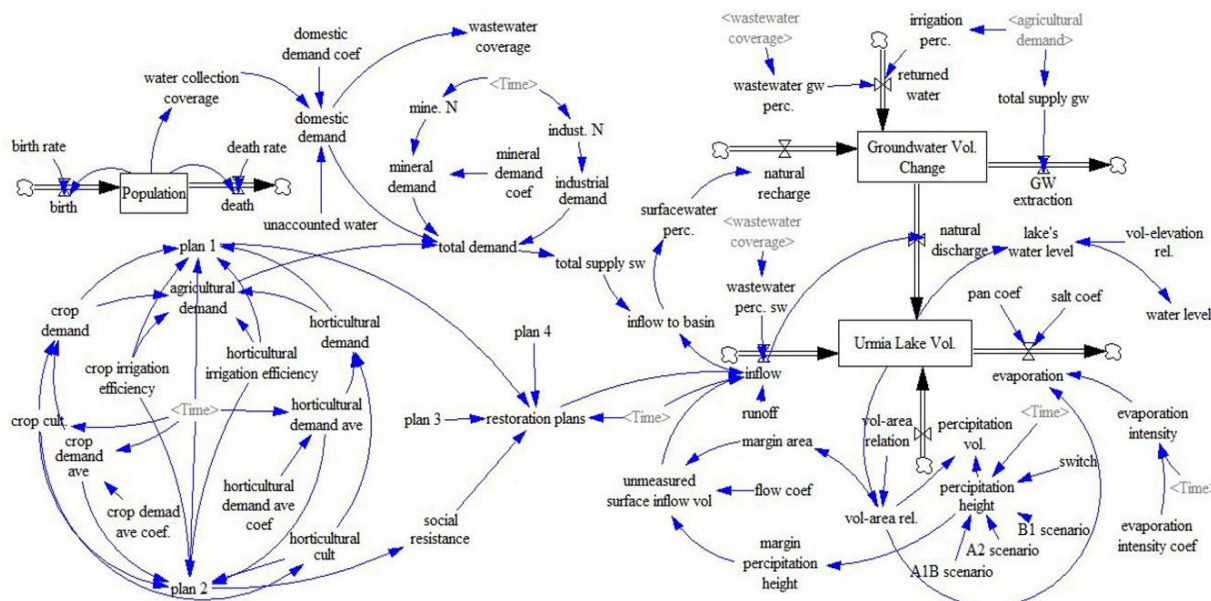


Fig. 3- Stock and flow diagram for Urmia Lake SD model

شکل ۳- مدل ذخیره- جریان دریاچه ارومیه

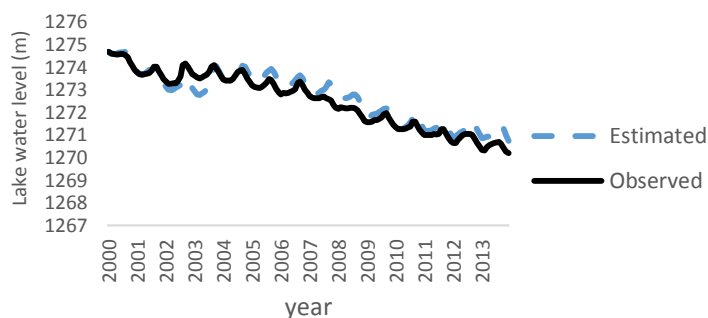


Fig. 4- Observed water level in Urmia Lake and estimated values from the SD model

شکل ۴- مقایسه سطح تراز آب دریاچه مدل‌سازی شده و مشاهداتی

۳- نتایج و تحلیل

با اعمال اثر طرح‌ها می‌توان به مقایسه وضعیت دریاچه پرداخت (شکل ۵). جدول ۱ تأثیر هر طرح در رسیدن به تراز اکولوژیک را نشان می‌دهد.

در این مطالعه، مشارکت ذینفعان در انتخاب و اجرای طرح‌ها بررسی نشده است. پیشنهاد می‌شود هزینه‌های طرح‌ها با برآورد ریالی مقایسه شود و همچنین مقایسه طرح‌ها از لحاظ مسائل اجرایی و فنی نیز انجام شود.

۴- نتیجه‌گیری

طبق پیش‌بینی این مطالعه، دمای حوضه در آینده تا ۰/۶۸ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت. پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهند متوسط رواناب طی سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۳۱ نسبت به متوسط آن طی سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۴ پانزده درصد کاهش خواهد یافت.

باتوجه به مدل‌سازی دریاچه ارومیه و عوامل مؤثر بر آن در نرم‌افزار VENSIM و بررسی سناریوهای پیشنهادی این نتیجه حاصل می‌شود که در طول سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۳۱، هیچ یک از سناریوهای احیاء به صورت منفرد متضمن احیاء دریاچه نمی‌باشد. اما اعمال سناریوی ششم که عبارت است از افزایش بهره‌وری آبیاری، تغییر الگوی کشت و کاهش سطح زیر کشت، سبب می‌شود که پس از حدود ۸ سال تراز آب دریاچه به تراز اکولوژیک برسد.

نتایج بررسی برنامه مدیریت ریسک خشکسالی حوضه آبخیز دریاچه ارومیه نشان داد که در سطوح مختلف خشکسالی، با در نظر گرفتن شبیه‌سازی با پارامترهای ۵۰ ساله جریان و تخصیص کامل آب حبابه دریاچه تراز قابل حصول برای دریاچه برابر با ۱۲۷۳/۰۶ متر خواهد بود؛ این در حالی است که در این مطالعه کل تأثیر اقدامات مدیریتی، ۱۰ تا ۲۰ درصد کاهش در مصرف ایجاد می‌کند (CIWP and Tarbiat Modares University, 2012). این نتایج با موارد منتج از این مطالعه نیز همخوانی دارد؛ به طوری که هیچ یک از طرح‌های منفرد سبب احیاء دریاچه نمی‌شود و در میان طرح‌های ترکیبی نیز تنها طرح افزایش بهره‌وری آبیاری در نصف سطوح زیر کشت و تغییر الگوی کشت توأم با کاهش سطح زیر کشت متضمن احیاء دریاچه خواهد بود. با تقریب خوبی می‌توان اشاره کرد که به منظور احیاء بیش از ۳۰ درصد مصرف آب بایستی کاهش یابد. در واقع طرح ترکیبی متضمن احیاء دریاچه در مطالعه حاضر، بایستی اجرایی شود و در کنار آن اقدامات مدیریت ریسک خشکسالی نیز انجام گیرد.

Table 1- Effect of applying restoration plans on Urmia Lake

جدول ۱- تأثیر اعمال طرح‌های احیاء بر دریاچه ارومیه

Plan	Effect	Plan	Effect
1. Increasing the irrigation efficiency	11%	4. Inter-basin water transfer	3%
2. Reducing cultivated area	1%	5. Increasing irrigation efficiency, changing crop pattern	19%
3. Changing crop pattern	6%	6. Increasing irrigation efficiency, reducing cultivated changing crop pattern	24%

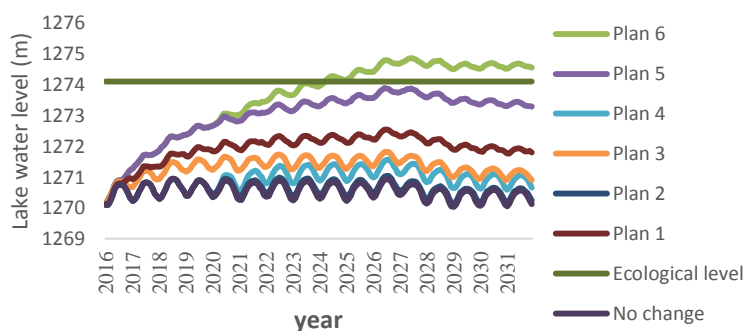


Fig. 5- Impact of restoration plans on Urmia Lake water level

شکل ۵- مقایسه تأثیر طرح‌های احیاء و ادامه وضعیت فعلی

- Lake level by using system dynamics modeling. *Water Resources Management*, 26:129-145
- Iran Ministry of Energy, Water and Waste Water Macro Planning Bureau (2012) <http://waterplan.moe.gov.ir/TopNav/About-Us?lang=en-US> (In Persian)
- Kohler MA (1954) Lake and pan evaporation, water loss investigations: Lake Hefner studies, U.S. Geol Surv Prof Pap, 269:127-148
- Nimmo WHR (1964) Measurement of evaporation by pans and tanks, *Aust Meteorol Mag*, 46:17-53
- Quants (2014) Analysis of the Urmia Lake water balance: Part I - the amount of evaporation. <http://www.quants.ir/> (In Persian)
- Samadzadeh Fahim R, Zarghami M, Nourani V, Hoseinlar MR (2015) The simulation of the effects of new dikes to reduce the evaporation area: case study of Urmia Lake. Water sciences and engineering conference, shahid Beheshti conference center, Tehran, Iran (In Persian)
- Zarghami M, AmirRahmani M (2015) Toward effective water diplomacy by using system dynamics: case study. The 33rd International Conference of the system dynamics Society Cambridge, Massachusetts, USA
- AghaKouchak A, Norouzi H, Madani K, Mirchi A, Azarderakhsh M, Nazemi A, Nasrollahi N, Farahmand A, Mehran A, Hasanzadeh E (2015) Aral sea syndrome desiccates Lake Urmia: Call for action. *Journal of Great Lake Research*, 41:307-311
- Alipour S (2006) Hydrogeochemistry of seasonal variation of Urmia Salt Lake, Iran. *Saline Systems*, 2:9
- CIWP Conservation of Iranian Wetlands Project (2012) Drought risk management plan for lake Urmia basin, Working Group on Sustainable Management of Water Resources and Agriculture, Tarbiat Modares University (In Persian)
- Ebrahimi Sarindizaj E (2016) Assessing sustainability of ecological restoration plans under climate change by using system dynamics; application on Urmia Lake, Iran. Master's thesis Civil Engineering Faculty of Tabriz University, Tabriz, Iran (In Persian)
- Garrett DR, Hoy RD (1978) A study of monthly lake to pan coefficients using a numerical lake model. In: *Proc. Hydrology Symposium*, 5-6 September. Institution of Engineers, Canberra, A.C.T., 145-149
- Hassanzadeh E, Zarghami M, Hassanzadeh Y (2012) Determining the main factors in declining the Urmia