ارزیابی جریان زیست محیطی رودخانه آجی‌چای با روش‌های اکو-هیدرولوژیکی

محمد همتی[۱*]، سهیلا علیزاده[۲]، مهدی یاسی[۳]، رسول ایلخانی‌پور[۴]

تاریخ ارسال : ۱۳۹۷/۰۴/۳۰
تاریخ پذیرش:۱۳۹۷/۰۹/۱۹

مقاله پژوهشی، برگرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد

چکیده

طرح‌های توسعه منابع آب دارای اثرات زیست محیطی متعددی می‌باشند، که تغییر رژیم طبیعی رودخانه و کاهش جریان سطحی پایین‌دست از مهم‌ترین آن است. برآورد جریان زیست محیطی مورد نیاز، برای سلامت رودخانه‌ها و اکوسیستم‌های آبی پایین‌دست از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. با توجه به اینکه رودخانه آجی‌چای تأمین کننده ۱۰ درصد سهم آب سطحی ورودی به دریاچه ارومیه است. لذا تأمین و تخصیص نیاز آب زیست محیطی این رودخانه یک کار مهم بشمار می‌رود. هدف اصلی در این پژوهش، ارزیابی توزیع ماهیانه جریان زیست محیطی یک رودخانه شاخص با جریان دائمی (آجی‌چای در حوضه دریاچه ارومیه)، با استفاده از روش‌های اکو- هیدرولوژیکی می‌باشد. بطور کلی نتایج تحقیق حاضر نشان داد که برآورد جریان زیست محیطی از روش FDC-shifting تطابق بهتری با پتانسیل جریان آجی‌چای و روش مدیریت زیست محیطی آن دارد. برای حفظ رودخانه آجی‌چای در حداقل وضعیت اکولوژیکی قابل قبول (کلاس مدیریت زیست محیطی C)، شدت جریان متوسط سالیانه معادل ۱/۵۲ مترمکعب بر ثانیه، باید در موقعیت ایستگاه هیدرومتری آخولا (در کیلومتر ۷۰ از دریاچه ارومیه)، برقرار باشد.

واژه‌های کلیدی: آجی‌چای، آخولا، اکولوژی، حوضه دریاچه ارومیه، کیفیت آب.

۱- دانشیار گروه مهندسی آب دانشگاه ارومیه، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران، ۰۹۱۴۳۸۸۴۴۷۳، m.hemmati@urmia.ac.ir (*: نویسنده مسؤل)
۲- کارشناسی ارشد سازه های آبی، گروه مهندسی آب، دانشگاه ارومیه، alizadeh_s87@yahoo.com
۳- دانشیار، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج، دانشگاه تهران، کرج، ایران، m.yasi@ut.ac.ir
۴- استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه ارومیه، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران، ilkhanipour.bayram@gmail.com

مقدمه

طرح‌های توسعه منابع آب و کشاورزی در کنار اثرات مثبت اقتصادی و اجتماعی، منجر به تغییرات در رژیم هیدرولوژیکی رودخانه‌ها و کاهش آب‌های سطحی پایین‌دست می‌شود. این امر به نوبه خود موجب اثرات منفی در اکوسیستم رودخانه شده و بقای آن را به خطر می‌اندازد. آثار تغییرات کمی و کیفی آب رودخانه در اکوسیستم آب پذیرنده ظاهر می‌شود (Zhang et al.,2009). شناسایی تغییرات هیدرولوژیکی رودخانه‌ها و تأثیراتی که بر محیط زیست دارند، زمینه توسعه علم برآورد جریان زیست محیطی گردید که در آن کیفیت و کمیت آب مورد نیاز برای حفاظت اکوسیستم منابع آبی (حفظ زیستگاه گونه‌های مختلف آبزی، جانوری و گیاهان) تخمین زده می‌شود (Shaeri Karimi et al., 2014). بیش از ۲۰۰ روش مختلف برای تعیین جریان زیست محیطی در منابع مختلف ذکر شده است (Vadas and Orth, 2000). هم اکنون طیفی گسترده از روش‌های ساده (مبتنی بر درصدی از میانگین جریان سالانه رودخانه) تا مدل‌های پیچیده (بر اساس آب مورد نیاز گونه‌های گیاهی و جانوری موجود و درجه کیفی رودخانه) در اختیار کارشناسان رودخانه و محیط زیست قرار دارد. روش‌های مورد استفاده برای تعیین نیاز آبی زیست محیطی عموماً به روش‌های هیدرولوژیکی، هیدرولیکی، شبیه‌سازی زیستگاه و مدل‌های جامع‌نگر تقسیم می‌شوند (Marchand, 2006).

در سال ۲۰۱۰ روشی جدید و جامع برای ارزیابی نیازهای جریان زیست محیطی تعریف شد (Poff et al., 2010). این روش که محدودیت‌های اکولوژیکی ناشی از تغییرات هیدرولوژیکی[1] نام دارد، بر اساس مبانی هیدرولوژیکی ایجاد شده است. این روش قابل انعطاف برای مناطق مختلف بوده و با اهداف اجتماعی، اطلاعات اکولوژیکی و استانداردهای موجود، شرایط را برای مدیریت صحیحی از جریان زیست محیطی فراهم می‌سازد. برای تعیین تراز اکولوژیک دریاچه ارومیه، سه شاخص آرتمیای دریاچه ارومیه به عنوان شاخص بیولوژیک، نمک به عنوان شاخص کیفیت آب، و تراز سطح آب دریاچه به عنوان شاخص کیمت آب انتخاب شد. بر اساس این سه شاخص، با در نظر گرفتن آستانه تحمل شوری معادل ۲۴۰ گرم در لیتر به عنوان آستانه تحمل شاخص بیولوژیک، تراز اکولوژیک سطح آب دریاچه برابر با ۱۲۷۴/۱ متر تعیین شد که میزان نیاز آب زیست محیطی سالانه دریاچه در حدود ۳ میلیارد مترمکعب برآورد گردید (نظری‌دوست، ۱۳۸۵). برآورد نیاز زیست محیطی رودخانه شهرچای (در حوضه غربی دریاچه ارومیه) از روش‌های هیدرو-اکولوژیکی، نشان داد که مقادیر محاسباتی از روش "انتقال منحنی تداوم جریان"، به دلیل در نظر گرفتن خصوصیات اکولوژیکی اکوسیستم رودخانه نسبت به سایر روش‌ها ارجحیت دارد (Shaeri Karimi et al., 2012). برای رودخانه نازلو (در حوضه غربی دریاچه ارومیه)، روش شبیه‌ساز زیستگاه به دلیل انعطاف‌پذیری منطقی‌تر آن در برآورد بده‌های ماههای مختلف در تعیین نیاز آب زیست محیطی، پیشنهاد شده است (احمدی‌پور و یاسی، ۱۳۹۳). برخی محققان به شرح کامل روش‌های هیدرو-اکولوژیکی و کاربرد آنها پرداخته‌اند (Shaeri Karimi et al., 2014). تصمیم برای انتخاب روش مناسب بستگی به نوع رودخانه (دایمی، فصلی، جریان پایه بالا، سیلابی)، اهمیت زیست محیطی سامانه رودخانه، پیچیدگی تصمیم گیری‌ها، هزینه‌های زیاد و دشواری جمع‌آوری مقادیر زیاد اطلاعات و تأثیرات توسعه طرح‌های منابع آبی در سامانه رودخانه دارد (Tharme,2003). روش‌های ارزیابی جریان زیست محیطی عموماً در کشورهای توسعه یافته طراحی و یا به کار برده شده‌اند. شکاف آشکاری از نظر دانش و تجربه جریان زیست محیطی در رویکردهای فعلی مدیریت

[1] The ecological limits of hydrologic alteration

منابع آبی، تقریباً در تمام کشورهای در حال توسعه به چشم می‌خورد (Dyson et al., 2003). فقط تعدادی از کشورها مانند: استرالیا، آفریقای جنوبی و انگلیس این مفهوم را به طور کامل در مدیریت آب گنجانده‌اند. در حال حاضر بسیاری کشورهای آمریکای لاتین، آفریقا و آسیا، قانون‌گذاری روشنی در زمینه جریان زیست محیطی ندارند و یا روش‌های پذیرفته شده‌ای برای ارزیابی این جریان‌ها ندارند (Vadas and Orth,2000).

حفاظت چرخه زیست بوم در سامانه‌های آبی، نیازمند تخصیص حقابه معینی تحت نام "جریان زیست محیطی" به رودخانه‌ها و آب‌های پذیرنده (تالاب‌ها، دریاچه‌ها و دریاها) است. با اینکه دریاچه ارومیه و تالاب‌های پیرامون آن در کنوانسیون جهانی رامسر به ثبت رسیده است، اما تاکنون مطالعات جامعی در زمینه برآورد سهم جریان زیست محیطی در رودخانه‌های ورودی به دریاچه صورت نگرفته است. در شبکه جریانات سطحی ورودی به دریاچه ارومیه، تعداد ده رودخانه اصلی با پتانسیل جریان دایمی وجود دارد (۱- آجی چای؛۲- نازلو چای؛۳- زرینه رود؛ ۴- سیمینه رود؛ ۵- مهابادچای؛ ۶- گدارچای؛ ۷- باراندوز چای؛ ۸- شهرچای؛ ۹- روضه چای؛ ۱۰- زولاچای). در روند احیای دریاچه ارومیه تخصیص "حداقل سهم جریان زیست محیطی" برای هریک از ده رودخانه؛ و تضمین "تداوم جریان" به دریاچه، از رهکارهای اصلی و پایدار در "خروج از بحران دریاچه ارومیه" است (احمدی‌پور و یاسی، ۱۳۹۳).

هر یک از روش‌های تعیین جریان زیست‌محیطی رودخانه‌ها، مقادیر متفاوتی را برآورد می‌کنند؛ لذا هدف تحقیق حاضر مقایسه روش‌های مختلف از جمله تنانت، تسمن، منحنی تداوم جریان، اسمختین، شاخص‌های منفرد جریان کم آبی، تغییر منحنی تداوم جریان، مدل ذخیره رومیزی، محدوده تغییرپذیری و روش کیفیت آب در پیش‌بینی نیاز زیست‌محیطی رودخانه آجی‌چای از حوضه آبریز دریاچه ارومیه می‌باشد. علاوه بر آن، حداقل جریان زیست محیطی رودخانه آجی چای بر اساس پتانسیل آبدهی رودخانه، ملاحظات اکولوژیکی - هیدرولیکی (بر پایه نیازهای بیولوژیکی گونه شاخص زیستی رودخانه)، انتخاب کلاس مناسب مدیریت زیستی رودخانه و یا قضاوت کارشناسی، در ماه‌های مختلف سال تعیین خواهد شد.

مواد و روش‌ها

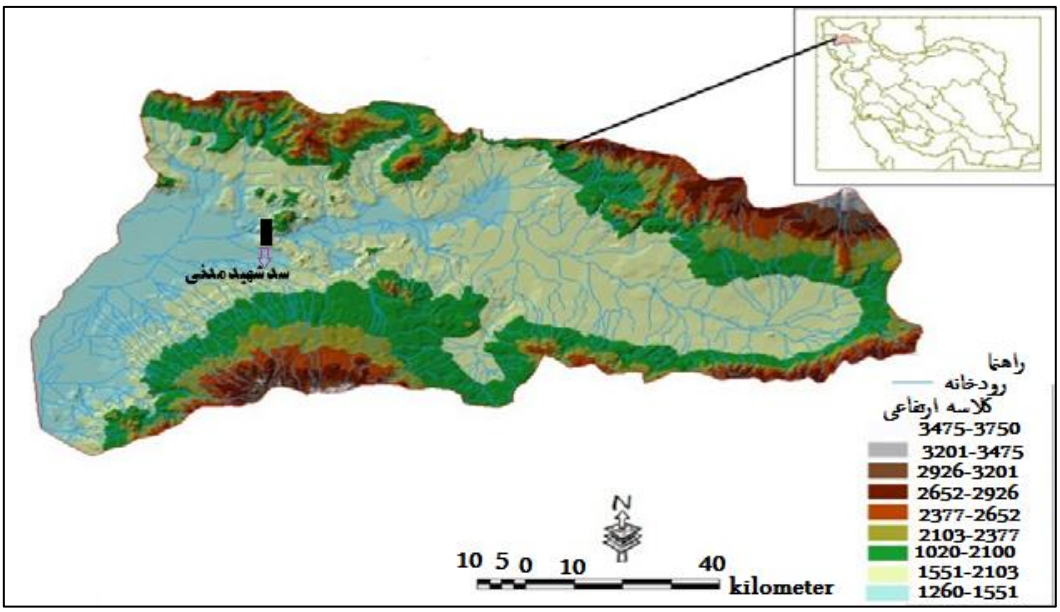
اطلاعات رودخانه

حوضه اصلی رودخانه آجی‌چای (بر اساس تقسیم تماب) و بازه‌های مطالعاتی آن به عنوان محدوده مکانی مطالعه حاضر می‌باشد (شکل ۱). حوضه آجی‌چای در شمال غرب ایران یکی از مهمترین زیرحوضه‌های دریاچه ارومیه است و به لحاظ موقعیت جغرافیایی بین عرض های ˚۳۷ ′۴۲ تا ˚۳۸ ′۳۰ شمالی و طول ˚۴۵ ′۴۰ تا ˚۴۷ ′۵۳ شرقی واقع شده است. این حوضه از ارتفاع ۳۴۰۰ متری دامنه‌های جنوب و جنوب غربی کوه سبلان و حدود ۳۳ کیلومتری شهرستان سراب شروع شده و با عبور از شمال شهر تبریز، در غرب آذرشهر در ارتفاع ۱۲۷۰ متری به دریاچه ارومیه می‌ریزد. وسعت این حوضه در حدود ۱۲۷۹۰ کیلومتر مربع است (ثانی- خانی و همکاران، ۱۳۹۲).

جهت مطالعه شرایط زیست محیطی در طول رودخانه، از اطلاعات آماری ۲۳ سال در ایستگاه‌های هیدرومتری آخولا برای انجام تحلیل‌های لازم استفاده شده است. ایستگاه آخولا در پایین‌دست سد شهید مدنی ونیار (با حجم مفید ۲۷۷ میلیون متر مکعب) در فاصله ۷۰ کیلومتری از دریاچه ارومیه قرار دارد که اطلاعات آن در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول (۱): مشخصات رودخانه آجی چای در بازه ایستگاه آخولا

نام رودخانه	ایستگاه هیدرومتری	فاصله از دریاچه ارومیه (km)	فاصله از سد (km)	ارتفاع (m)	مساحت حوضه (km^2)	متوسط آورد سالانه (MCM)	متوسط جریان (m^3/s)	سال آماری
آجی چای	آخولا	۷۰	۳۰	۱۳۱۲	۱۲۷۹۰	۲۱۷/۶	۶/۹	۱۳۹۴-۱۳۷۱



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی و نقشه رقومی حوضه آبریز آجی‌چای در محدوده مورد مطالعه از دریاچه ارومیه (ثانی‌خانی و همکاران، ۱۳۹۲)

روش‌های برآورد جریان زیست محیطی

در تحقیق حاضر برای برآورد جریان زیست محیطی رودخانه آجی‌چای از ۹ روش اکو-هیدرولوژیکی شامل روش‌های تنانت، تسمن، تحلیل منحنی تداوم جریان، اسمختین، شاخص‌های منفرد جریان کم‌آبی، تغییر منحنی تداوم جریان، مدل ذخیره رومیزی، روش محدوده تغییرپذیری و کیفیت آب استفاده شد که در ادامه به معرفی و کاربرد آنها پرداخته شده است.

روش تنانت[1]: از ساده‌ترین و سریع‌ترین روش‌ها می‌باشد که درصدهای مختلفی از متوسط جریان سالیانه رودخانه را درقالب سطوح مختلف کیفیت زیست بوم رودخانه در نظر می‌گیرد (Tharme, 2003). روش تنانت از متوسط جریان سالانه برای دو دوره ۶ ماهه سال که در آن اکوسیستم رودخانه در حد قابل قبولی حفظ شود، استفاده می‌کند (Tennant,1976). سطح مورد نظر با توجه به نشریه استاندارد وزارت نیرو برای حالت قابل قبول، معادل ۳۰ درصد متوسط جریان سالیانه برای نیمه فروردین تا شهریور ماه و ۱۰ درصد متوسط جریان سالیانه برای مهرماه تا نیمه فروردین می‌باشد.

[1] Tennant

روش تسمن[1] : تسمن در سال ۱۹۸۰با اقتباس از پیشنهادات فصلی روش تنانت از ترکیبی از متوسط جریان ماهیانه (MMF[2]) و متوسط جریان سالیانه (MAF[3]) برای تعیین حداقل جریان ماهیانه مورد نیاز استفاده کرد(Tessman,1980)؛ به‌طوری‌که:

- اگر $MMF < 0.4MAF$ باشد، MMF به‌عنوان حداقل جریان زیست محیطی انتخاب می‌شود.
- اگر $MMF > 0.4MAF$ باشد، در آن صورت 0.4MAF به عنوان جریان زیست محیطی در نظر گرفته می‌شود.
- اگر $MAF < MMF$ باشد، 0.4MMF برای جریان زیست محیطی تعیین می‌گردد.

تحلیل منحنی تداوم جریان[4](FDC) : در این روش عموماً بده جریان در سطح اطمینان ۷۰ درصد تا ۹۵ درصد (Q_{70} تا Q_{95}) به عنوان شاخص جریان کم‌آبی، برای حداقل جریان زیست محیطی در نظر گرفته می‌شود. منحنی تداوم جریان یکی از مفیدترین روش‌های نمایش محدوده کامل بده‌های جریان رودخانه از رخدادهای کم‌آبی تا سیلابی می‌باشد.

روش اسمختین[5] : در این روش نیاز آب زیست محیطی به صورت ترکیبی از نیاز حداقل جریان زیست محیطی و نیاز حداکثر جریان زیست محیطی در نظر گرفته شده است. LFR، حداقل آب مورد نیاز برای ماهیان و سایر موجودات آبزی در سال می‌باشد و HFR نیز در موارد سیلاب و تأثیر آن در شکل رودخانه و گیاهان اطراف رودخانه نمود پیدا می‌کند (Smakhtin,2001).

روش شاخص‌های منفرد جریان کم‌آبی[6] (7Q10 و 7Q2): Pyrce (2004) از میان شاخص‌های منفرد جریان کم‌آبی، دو جریان حداقل ۷ روزه با دوره بازگشت ۱۰ و ۲ سال ($7Q_{10}$, $7Q_2$) را به‌عنوان پرکاربردترین شاخص‌ها معرفی کرد. برای محاسبه نیاز آب زیست محیطی در این روش از نرم افزارهای Hydro Office و SMADA استفاده می‌شود.

روش تغییر منحنی تداوم جریان (FDC-Shifting): این روش توسط Smakhtin and Anputas در سال ۲۰۰۶ توسعه یافته است. در این روش، با استفاده از داده‌های ماهیانه جریان، منحنی‌های تداوم جریان زیست محیطی رودخانه تهیه می‌شود. سپس از طریق یک میانیابی فضایی، می‌توان منحنی‌های تداوم جریان زیست محیطی را به سری‌های زمانی جریان زیست محیطی ماهیانه تبدیل کرد (Smakhtin and Anputhas, 2006). با استفاده از سری زمانی جریان ماهیانه طبیعی رودخانه، متوسط جریان سالیانه (MAR) و متوسط جریان زیست محیطی سالیانه (EWR) محاسبه می‌شود. سپس با نسبت (EWR/MAR) می‌توان درصدی از MAR را که باید برای هرکلاس مدیریتی به عنوان جریان زیست محیطی در نظر گرفته شود، محاسبه کرد. نرم افزار "محاسب جهانی جریان زیست محیطی[7](GEFC)" توسط موسسه بین‌المللی مدیریت منابع آب (IWMI)، در سال ۲۰۰۷ توسعه یافت (Smakhtin and Eriyagama,2008). از این نرم‌افزار برای محاسبه جریان زیست محیطی رودخانه آجی‌چای استفاده شد.

روش مدل ذخیره رومیزی (DRM[8]): این روش برای ارزیابی جریان زیست محیطی رودخانه های آفریقای جنوبی توسعه یافته است (Hughes and Hannart,2003) در این روش، چهار کلاس مدیریت زیست محیطی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

روش م حدوده تغییر پذیری (RVA[9]): روش م حدوده تغییر پذیری (RVA) به‌عنوان یک روش پیچیده از روش‌های هیدرولوژیکی ا ست که در سال ۱۹۹۷ توسعه یافت (Richter et al.,1997). این روش مطلوب‌ترین روش از د سته شاخص‌های هیدرولوژیکی

[1] Tessman
[2] Mean Monthly Flow
[3] Mean Annually Flow
[4] Flow Duration Curve
[5] Smakhtin
[6] Single low flow indices
[7] Global Environmental Flow Calculator
[8] Desktop Reserve Model
[9] Range of Variability Approach

ا ست. هدف آن تهیه یک سری از ویژگی‌های آماری، جنبه های اکولوژیکی رژیم جریان با برج سته کردن نقش مهم تغییرات ه یدرولوژیکی در ح فا ظت از اکو سی ستم‌ها ا ست. روش RVA برای پرکردن شکاف بین ا هداف مدیر یت رود خا نه و نظر یه های فعلی اکولوژیکی توسعه داده شده است. این روش حداقل به آ مار ۲۰ ساله جریان نیاز دارد و از یک محدوده قراردادی از تغییرپذیری مبنی بر ۱± انحراف استاندارد از میانگین و یا از چارک‌های ۲۵ یا ۷۵ در صد ا ستفاده می‌کند.

روش کیفیت آب: در فرآیند تعیین نیاز زی ست محیطی بر ا ساس کیف یت آب، ابتدا با تو جه به ویژگی‌های هیدرولوژیکی و اکولوژیکی اکو سیستم، نیاز آبی به لحاظ کمی تعیین می شود و سپس کنترل کیف یت آب ان جام می‌گیرد. د ما، جا مدات محلول (TDS)، اک سیژن محلول (DO)، اک سیژن خواهی بیو شیمیایی (BOD)، مواد مغذی (N و P) و ا سیدیته (PH) از جم له مهمترین پارامتر های کیف یت آب می‌با شند که بر روی اکو سی ستم‌های آبی تأثیرگذار می‌باشند. اگر منبع آبی برای اهداف دیگر مورد استفاده قرار گیرد در آن صورت پارامترهای پایش دیگری نیز بسته به نوع مصرف آب (مانند سدیم، COD، سختی و ...) مورد نظر قرار می‌گیرد. برای برر سی اثر کیفیت آب در جریان زیست محیطی، از رابطه (۱) با عنوان معادله Q استفاده می‌شود (Tchobanoglus et al.,2003).

$$(Q_1+ Q_c) \times C_0 =(Q_1\times C_1) + (Q_2\times C_2) \qquad (۱)$$

که در آن: Q_1: بده اولیه

Q_2: بده ثانویه

Q_c: بده لازم که باید اضافه شود تا به غلظت مطلوب برسد

C_1: غلظت اولیه

C_2: غلظت ثانویه

C_0: غلظت مطلوب می‌باشد.

دلایل انتخاب روش‌های فوق به شرح زیر است:

- از داده‌های آمار تاریخی جریان (ماهانه و روزانه) استفاده می‌کنند و نیاز به داده‌های کمتری دارند.
- برای مراحل شنا سایی و ارزیابی اولیه خوب می‌باشند.
- به زمان و هزینه کمتری نیاز دارند و بی شترین کاربرد را در جهان دارا می‌باشند.

روش های دیگر برآورد جریان زی ست محیطی، نیاز به داده های اکولوژیکی دقیق دارند و ب سیار پر هزینه و زمان بر می‌با شند. همچنین احتمال تناقض اطلاعات به د ست آمده در این روش‌ها زیاد می‌با شد. برای م ثال روش های ه یدرولیکی تن ها یک مقطع از رود خانه را در نظر می‌گیرند و در نظر گرفتن م قاطع زیاد نیاز به هزینه و ز مان زیاد دارد و یا روش های شبیه ساز زی ستگاه، فقط برای گونه شاخص تمرکز می‌کنند.

ب عد از برآورد ن یاز زی ست محیطی رود خا نه آجی‌چای با روش‌های مختلف، خروجی آنها با پتانسیل رودخانه و و ضعیت موجود حو ضه از نظر م صارف ک شاورزی در پایین‌د ست ای ستگاه آخولا مورد ارزیابی قرار گرفت. در نهایت روش و یا روش‌هایی که تطابق بهتری با پتان سیل رودخانه دارد به عنوان منا سب‌ترین روش معرفی شد. همچنین میزان بده ماهانه زی ست محیطی لازم برای حفظ ح یات رود خا نه پی شنهاد گرد ید. علاوه بر آن در این تحقیق با در نظر گرفتن و ضعیت احیاء دریاچه ارومیه در تراز اکولوژیک، در این را ستا، پی شنهاداتی نیز برای نیاز زی ست محیطی رودخانه آجی‌چای ارائه شده است.

نتایج و بحث

با توجه به وضعیت پیش آمده برای دریاچه اورمیه، ارزیابی جریان زیست محیطی رودخانه‌های منتهی به دریاچه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. نیاز زیست محیطی محاسبه شده در تحقیق حاضر برای حفظ اکوسیستم رودخانه‌ای است که سهم ۱۰ درصدی را در تأمین آب دریاچه ارومیه دارد. روشهای مختلفی برای تعیین نیاز زیست محیطی رودخانه مذکور استفاده شده است که در ادامه تشریح می‌گردد.

با استفاده از روش تنانت و مطابق ابلاغیه وزارت نیرو (۱۳۷۴) مقدار جریان زیست محیطی برای آجی‌چای از فروردین تا شهریور ماه برابر با ۲/۰۸ مترمکعب بر ثانیه (معادل۳۰ درصد متوسط جریان سالیانه) و از مهرماه تا اسفند ۱۰ درصد متوسط جریان سالانه، معادل ۰/۶۹۲ متر مکعب بر ثانیه تعیین می‌شود. اختصاص ۱۰ درصد متوسط جریان سالانه (MAR) برای ماه‌های مهر تا اسفند می‌تواند شرایط بحرانی برای آبزیان و اکوسیستم رودخانه به وجود آورد و غیر قابل پذیرش است. روش تسمن (۱۹۸۰) متوسط جریان زیست محیطی این رودخانه را معادل ۳/۹۱ مترمکعب در ثانیه که ۵۷ درصد متوسط جریان سالیانه (۱۲۴ میلیون مترمکعب در سال) می‌باشد، برآورد کرد. بده جریان زیست محیطی محاسبه شده معمولاً برای ۶ ماه تیر تا آذر شامل تمام جریان رودخانه می شود که قابل قبول نیست. روش اسمختین نیاز زیست محیطی را ۱/۸۰ متر مکعب بر ثانیه (حدود ۵۷ میلیون مترمکعب در سال) پیش‌بینی کرده است که می‌توان گفت نیاز آب زیست محیطی در بازه آجی چای حدود ۲۶ درصد متوسط جریان سالیانه می‌باشد. این درحالی است که مقدار جریان زیست محیطی در روش شاخص‌های منفرد جریان کم‌آبی معادل ۰/۶۱۷ مترمکعب در ثانیه می‌باشد.

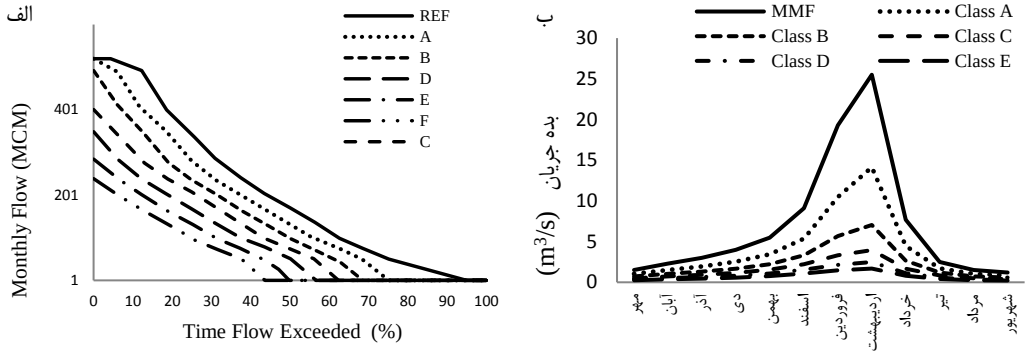
با کاربرد روش FDC-Shifting، منحنی تداوم جریان زیست محیطی آجی‌چای برای شش کلاس مدیریت زیست محیطی A تا F در شکل ۲-الف ارائه شده است. کلاس مدیریتی C (نسبتاً تغییر یافته) حدود ۲۰ الی ۳۰ درصد بده متوسط جریان را به عنوان جریان زیست محیطی در نظر می‌گیرد؛ که در این حالت عملکرد اساسی اکوسیستم رودخانه هنوز دست نخورده بوده و اکثر گونه‌ها حفظ می‌شود. روش FDC-Shifting، جریان زیست‌محیطی برای رودخانه زهره در جنوب غربی ایران را حدود ۳۷ درصد جریان سالیانه (۲۷/۸ مترمکعب بر ثانیه) در کلاس مدیریتی C برآورد کرده است (کریمی و همکاران، ۱۳۹۶). همچنین کلاس مدیریتی C با پتانسیل جریان آجی‌چای در ماه‌های مختلف مطابقت خوبی داشته و از لحاظ مدیریتی، مصارف کشاورزی و شرب و غیره در منطقه مورد قبول می‌باشد. بنابراین نتایج حاصل از کلاس مدیریتی C به عنوان جریان زیست محیطی رودخانه آجی چای در نظر گرفته شد. بطور کلی شدت جریان زیست محیطی آجی‌چای برای حفظ شرایط متوسط (کلاس C) برابر با ۲۰ درصد متوسط جریان سالیانه (معادل ۱/۳۸ متر مکعب بر ثانیه) می‌باشد (جدول ۲). به‌عبارتی دیگر حجم کل جریان زیست‌محیطی آجی‌چای در ایستگاه آخولا در حدود ۴۴ میلیون مترمکعب در سال برآورد می‌گردد. نتایج تحقیق حاضر تطابق خوبی با نتایج چاشی و همکاران (۲۰۱۴) دارد که در آن ۱۹/۸ درصد از میانگین آورد سالیانه رودخانه سانه در نزدیکی فلات آمارکانتاک به عنوان نیاز زیست محیطی در کلاس C تعیین شده است. برای حفظ رودخانه آجی‌چای در کلاس A، ۵۴ درصد MAR، در کلاس B ۳۱ درصد، و در کلاس D که حداقل کلاس قابل قبول می‌باشد ۱۳ درصد MAR به عنوان نیاز زیست محیطی مورد نیاز است (جدول ۲). روش Tennant پیشنهاد می‌کند که پایین‌ترین حد ممکن برای نیاز آب زیست محیطی مطابق با شرایط بسیار ضعیف یک اکوسیستم رودخانه‌ای، ۱۰ درصد MAR می‌باشد. در تحقیق حاضر برای رودخانه آجی‌چای این مقدار (۱۰ درصد MAR) در ۴ شیفت عرضی و به عبارت دیگر در کلاس E که قابل قبول نیست، بدست آمد. بنابراین می‌توان گفت که ۱۰ درصد پیشنهادی Tennant نمی‌تواند برای شرایط این رودخانه مناسب باشد.

نیاز آب زیست محیطی به روش DRM برای هفت کلاس اکولوژیکی A تا D برای رودخانه آجی‌چای در جدول ۳ ارائه شده است. برای حفظ رودخانه آجی‌چای در کلاس C جریانی معادل ۲۱ دصد متوسط جریان سالیانه (۴۶ میلیون مترمکعب در سال) مورد نیاز است که تقریباً برابر با مقدار پیش‌بینی شده با استفاده از روش FDC-Shifting می‌باشد. یکی از محدودیت‌های مدل DRM این است که در محاسبه شاخص تغییر پذیری جریان (CV) ماه‌های ژانویه (دی) تا مارس (اسفند) را به عنوان ماه‌های پرآبی و ماه‌های ژوئیه

(خرداد) تا آگوست (مرداد) را به عنوان ماه‌های کم‌آبی در نظر می‌گیرد (با توجه به شرایط آفریقای جنوبی)، که این گزینه در مدل قابل تغییر نمی‌باشد. این در حالی است که برای رودخانه آجی چای، ماه‌های آوریل (فروردین) تا ژوئیه (خرداد) ماه‌های پرآب و ماه‌های آگوست (مرداد) تا اکتبر (مهر) ماه‌های کم آب می‌باشد. بنابرین برای اینکه مدل، شاخص CV را بسیار نزدیک به واقعیت محاسبه کند و از آنجا که ماه‌های پرآب بر ماه‌های کم آب غلبه دارند، سری زمانی داده‌های جریان ماهیانه ورودی به مدل، دو ماه شیفت داده شدند (یعنی ژانویه به مارس و به همین ترتیب تا انتها). جریان زیست محیطی پیشنهادی FDC-Shifting در تمام کلاس‌های مدیریتی اندکی کمتر از DRM می‌باشد.

جدول (۲): نیاز آب زیستی محیطی آجی‌چای بر حسب درصدی از متوسط جریان سالانه (MAR) – از روش FDC-Shifting

متوسط جریان سالیانه (MAR) (m^3/s)	نیاز آب زیست محیطی بلند مدت (EWR) در کلاس‌های مدیریتی مختلف (درصدی از MAR)					
	A	B	C	D	E	F
۶/۹	۵۴	۳۱	۲۰	۱۳	۹	۷



شکل (۲): الف) منحنی تداوم جریان زیست محیطی آجی‌چای و ب) توزیع ماهیانه جریان زیست محیطی آجی چای در شش کلاس مدیریتی با روش FDC- Shifting ایستگاه آخولا

جدول (۳): نیاز آب زیست محیطی آجی‌چای از روش DRM بر حسب درصدی از متوسط جریان سالیانه

متوسط جریان سالیانه (MAR) (m^3/s)	نیاز آب زیست محیطی بلند مدت (EWR) (درصدی از MAR)						
	A	A/B	B	B/C	C	C/D	D
۶/۹	۴۵	۳۸	۳۲	۲۶	۲۱	۱۷	۱۴

روش RVA بر اساس دو دوره قبل از احداث سد و بعد از احداث سد، تغییرات ۳۳ پارامتر هیدرولوژیکی را مورد بررسی قرار می‌دهد. شکل ۳ توزیع ماهیانه جریان زیست محیطی با استفاده از روش RVA و منحنی مؤلفه‌های جریان زیست محیطی رودخانه آجی‌چای (خروجی نرم افزار IHA) را نشان می‌دهد.

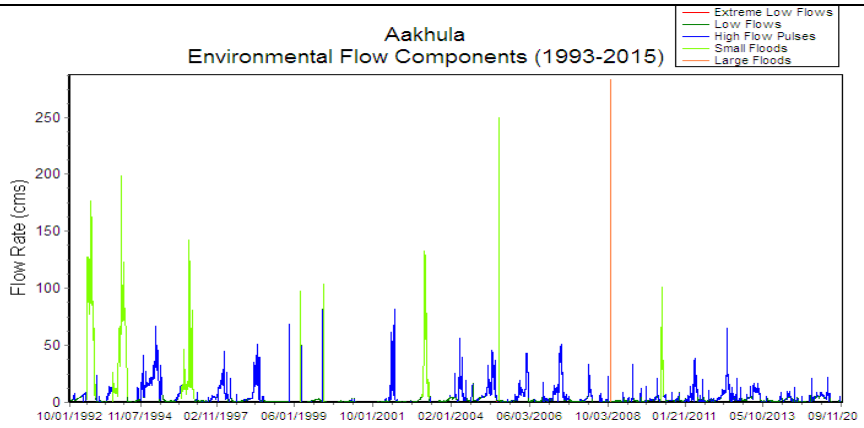
این روش حدود ۳۲ درصد بده متوسط جریان را برای رودخانه آجی‌چای به عنوان جریان زیست محیطی در نظر می‌گیرد؛ که با توجه به لزوم تخصیص جریان به بخش کشاورزی، شرب، صنعت و ... از لحاظ مدیریتی در منطقه مورد قبول نمی‌باشد.

در روش کیفیت آب برای محاسبه نیاز زیست محیطی آجی‌چای در بازه آخولا، فسفات به دلیل بحرانی بودن مقادیر آن، به عنوان آلوده کننده آب آجی‌چای انتخاب شد. با استفاده از رابطه (۱) و با توجه به غلظت فسفات، مقادیر Q_1، Q_2، Q_c، C_0، C_1 و C_2 به ترتیب برابر ۰/۰۲۳، ۰/۰، ۰/۰۶۴، ۱۵/۰، ۵۶/۶۹ و ۰/۰ بدست آمد. از نظر کیفیت آب، بده جریان زیست محیطی حداقل برابر ۰/۰۶۴ مترمکعب بر ثانیه در ماه‌های بحرانی بدست آمد. بنابراین با توجه به نتایج کیفیت آب آجی‌چای در حد نامطلوب است.

جدول ۴ نتایج برآورد جریان زیست محیطی رودخانه آجی‌چای از روش‌های مختلف را نشان می‌دهد. با توجه به جدول ۴ ملاحظه می‌شود که درصد نیاز زیست محیطی رودخانه از روشهای مختلف بین ۰ تا ۵۷ درصد جریان متوسط سالیانه را شامل می‌شود که روش تسمن با پیش‌بینی ۵۷ درصد بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده است. عدم اختصاص جریان زیست محیطی در گزارش زیست محیطی سد شهید مدنی برای رودخانه آجی‌چای، باید توجه بیشتر جامعه مهندسین و دستگاههای اجرایی درگیر در مسائل آب و محیط زیست را به نیاز زیست محیطی رودخانه‌ها و دریاچه‌ها جلب نماید. در نهایت جریان زیست محیطی پیشنهادی برای حفظ رودخانه آجی‌چای در کلاس مدیریتی C در حدود ۲۲ درصد متوسط بده سالیانه (برابر با ۱/۵۲ مترمکعب بر ثانیه) می‌باشد که این میزان نیاز دریاچه ارومیه برای حفظ شرایط اکولوژیکی را شامل نمی‌شود.

جدول (۴): برآورد جریان زیست محیطی از روش‌های مختلف- رودخانه آجی‌چای (متر مکعب بر ثانیه)

روش ها		نیاز آب زیست محیطی رودخانه آجی‌چای (EWR)	
		آخولا (پایین‌دست سد شهید مدنی)	
		*(٪MAR)	(m^3/s)
FDC shifting	کلاس C	۲۰	۱/۳۸
DRM	کلاس C	۲۱	۱/۴۵
Modified Tennant IRAN	فروردین و اردیبهشت	۳۰	۲/۰۷
	خرداد تا اسفند	۱۰	۰/۶۹
Tessman		۵۷	۳/۹۳
Smakhtin		۲۶	۱/۸۰
شاخص‌های جریان‌های کم‌آبی	$7Q_{10}$	۱۴	۰/۹۷
	$7Q_2$	۴	۰/۳۴
شاخص‌های تداوم جریان	Q_{70}	۲۶	۱/۸
	Q_{75}	۱۳	۰/۹۰
	Q_{80}	۱۱	۰/۷۶
	Q_{85}	۱۰	۰/۶۹
	Q_{90}	۶	۰/۴۲
	Q_{95}	۰	۰/۰۰۶
محدوده تغییرپذیری (RVA)		۳۲	۲/۲۱
کیفیت آب	رابطه Q	۹	۰/۰۶۲
گزارش زیست محیطی سدشهید مدنی	مهر تا فروردین	-	-
	فروردین تا شهریور	-	-
جریان زیست محیطی پیشنهادی		**۲۲**	**۱/۵۲**



شکل (۳): منحنی مؤلفه‌های جریان زیست محیطی خروجی نرم افزار IHA آجی‌چای با روش‌های مختلف

نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر، حداقل جریان زیست محیطی رودخانه آجی‌چای (به عنوان شاخصی از ۱۰ رودخانه دایمی ورودی به دریاچه ارومیه)، با استفاده از روش‌های هیدرو-اکولوژیکی ارزیابی شد. نتایج نشان داد که استفاده از روش FDC (نظیر Q_{95})، به علت در نظر نگرفتن ویژگی‌های زیستی رودخانه، گزینه مناسبی نیست. در رودخانه آجی‌چای، این شاخص در ماه‌های مختلف سال می‌تواند توازن اکو سیستم‌ها را برهم بزند. برآورد حداقل جریان رودخانه آجی‌چای از روش تنانت کمتر از نیاز رودخانه برای حفظ اکوسیستم است. روش‌های هیدرولوژکی DRM و FDC-Shifting مقادیر تقریباً مشابهی ارائه می‌دهند. برآورد این دو روش در دوره حضور آبزیان شاخص رودخانه تقریباً برابر کل تقاضای پایین‌دست سد است. بنابرین روش FDC-Shifting مناسب‌ترین روش در برآورد نیاز حداقل زیست محیطی رودخانه آجی‌چای انتخاب شد. لازم به ذکر می‌باشد که نتایج تحقیق حاضر برای حفظ شرایط اکولوژیکی رودخانه در کلاس مدیریتی C بوده و قابل تعمیم به احیاء دریاچه ارومیه نیست. با توجه به اینکه آجی‌چای ۱۰ درصد آب دریاچه ارومیه را تأمین می‌کند و برای احیاء دریاچه ارومیه در شرایط اکولوژیک (تراز اکولوژیکی ۱۲۷۴/۱)، حدود ۳ میلیارد مترمکعب آب در سال مورد نیاز می‌باشد (نظری‌دوست، ۱۳۸۵). لذا سهم آجی‌چای از این میزان در حدود ۳۰۰ میلیون مترمکعب (معادل ۱۰ درصد) می‌باشد. این مقدار (۳۰۰ میلیون مترمکعب) از پتانسیل رودخانه آجی‌چای در ایستگاه آخولا که متوسط آورد سالیانه آن برابر ۲۲۰ میلیون مترمکعب است، بیشتر می‌باشد. لذا برای تحقق این امر لازم است از مصرف آب کشاورزی در مناطق بالادست کاسته شود که این امر در راستای کاهش ۴۰ درصد مصرف آب کشاورزی مصوب ستاد احیاء دریاچه ارومیه قابل اجرا می‌باشد. علاوه بر آن نتایج تحقیق حاضر می‌تواند برای اختصاص جریان زیست محیطی آجی‌چای که در گزارش زیست محیطی سد شهید مدنی به آن توجه نشده است مورد استفاده سازمان آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی و وزارت نیرو قرار گیرد.

منابع

احمدی‌پور، ظ. و م. یاسی. ۱۳۹۳. مقایسه روشهای اکوهیدرولوژیکی- هیدرولیکی در ارزیابی جریان زیست محیطی رودخانه‌ها (رودخانه نازلو، حوضه دریاچه ارومیه). مجله هیدرولیک، دوره ۹، شماره ۲، ص ۸۲-۶۹.

ثانی‌خانی، ه.، دین پژوه، ی.، پوریوسف، س.، زمان زاد قویدل، س. و ب. صولتی. ۱۳۹۲. بررسی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب حوضه های آبریز (مطالعه موردی : حوضه آبریز آجی‌چای در استان آذربایجان شرقی). آب و خاک، جلد ۲۷، شماره ۶، ص ۱۲۳۴-۱۲۲۵.

کریمی، س.، سالاری جزی، م. و خ. قربانی. ۱۳۹۶. برآورد جریان زیست‌محیطی رودخانه با استفاده از روش‌های هیدرولوژیکی تنانت، تسمن، انتقال منحنی تداوم جریان و مدل ذخیره رومیزی. اکوهیدرولوژی، جلد ۴، شماره ۱، ص ۱۷۷-۱۸۹.

نظری دوست، ع. ۱۳۸۵. تدوین متدولوژی، دستورالعمل و برنامه نرم‌افزاری جهت محاسبه حداقل نیاز آبی اکوسیستم-های تالابی. رساله دکترا، واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی، تهران.

وزارت نیرو. ۱۳۷۴. طرح سد شهید مدنی (ونیار). شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان آذربایجان شرقی و اردبیل.

Dyson, M., Bergkamp, G. and J. Scanlon. 2003. The essentials of environmental flows. Gland, Switzerland and Cambridge, UK: IUCN, p. 118.

Joshi, K.D., Jha, D.N., Alam, A., Srivastava, S.K., Kumar, V., Sharma, A.P. 2014. Environmental flow requirements of river Sone: impacts of low discharge on fisheries. Current Science, 107(3):478-488.

Hughes, D.A. and P. Hannart. 2003. A desktop model used to provide an initial estimate of the ecological instream flow requirements of rivers in South Africa. Journal of Hydrology, 270:167-181.

Marchand, M.D. 2006. Environmental flow requirements for rivers: An integrated approach for river and coastal zone management. Report No. Z2850 WL|Delft Hydraulics.

Poff, N., Richter, B., Arthington, A., Bunn, S., Naiman, R., Kendy, E. and M. Acreman. 2010. The ecological limits of hydrologic alteration (ELOHA): a new framework for developing regional environmental flow standards. Freshwater Biology, 55: 147–170.

Pyrce, R. 2004. Hydrological low flow indices and their uses. Watershed Science Centre, (WSC), Report 04-2004.

Richter, B.D., Baumgartner, J.V., Wigington, R. and D.P. Braun. 1997. How much water does a river need? Freshwater Biology, 37: 231-249.

Shaeri Karimi, S., Yasi, M. and S. Eslamian. 2012. Use of hydrological methods for assessment of environmental flow in a river reach. International Journal of Environmental Science and Technology, 9:549-558.

Shaeri Karimi S., Yasi M. Cox J.P. and S. Eslamian. 2014. Environmental flow. In Chapter 63, Vol.3: Environmental Hydrology and Water Management, Handbook of Engineering Hydrology. Taylor and Francis Group, LLC, USA.

Smakhtin, V.U. 2001. Low flow hydrology: a review. Journal of Hydrology, 240, 147-186.

Smakhtin, V. U., and M. Anputhas. 2006. An assessment of EF requirements of Indian river basins. Research Report 107, International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka.

Smakhtin, V.U. and N. Eriyagama. 2008. Developing a software package for global desktop assessment of environmental flows. Journal of Environmental Modeling & Software, 23: 1396-1406.

Tchobanoglus, G., Burton, F. and H.D. Stensel. 2003. Wastewater engineering: Treatment and reuse. American Water Works Association Journal, 95(5), p.201.

Tharme, R.E. 2003. A global perspective on environmental flow assessment: emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers. River Research and Applications, 19: 397-441.

Tennant, D. L. 1976. Instream flow regimens for fish, wildlife, recreation and related environmental resources. Fisheries, 1: 6–10.

Tessman, S. A. 1980. Environmental assessment, technical appendix e, in environmental use sector reconnaissance elements of the western Dakotas region of South Dakota study. Water Resources Research Institute, South Dakota State University, Brookings, SD.

Vadas, R.L. and D.J. Orth. 2000. Habitat use offish communities in a Virginia stream. Environmental Biology of Fishes, 59(3): 253-269.

Zhang Z., Dehoff A.D., Pody R.D. and J.W. Balay. 2009. Detection of streamflow change in the Susquehanna River Basin. Water Resources Management, 24 (10): 1947-1964.

Evaluation of Environmental Flows in the Ajichay River Using Eco-Hydrological Methods

Mohammad Hemmati[1*], Soheyla. Alizadeh[2], Mehdi Yasi[3] , Rasoul Ilkhanipour[4]

Abstract
Development of water resources projects are accompanied by several environmental impacts, among them, the changes in the natural flow regime and the reduction of downstream water flows. The assessment of environmental flow requirements in a river eco-system is a challenging practice. Ajichay River is the most important river of Urmia Lakes Basin, Providing 10% of entrance surface water flow to the lake. Therefore, Provision of environmental water requirements of this river is to be an important task. The main aim of the present study was to use different Eco-hydrologic methods to determine the environmental flow requirements in a typical perennial river, the Ajichay River. The overall results indicate that the FDC Shifting method is well adapted to the river condition. In order to maintain the Ajichay River at minimum acceptable environmental status (i.e. Class C of the River environmental management), an average annual flow of 1.52 m^3/s is to be allocated along the river in the Akhula Station, located 70 km upstream from the Urmia Lake.
Keywords: Ajichay river, Akhula, ecology, Urmia lake basin, water quality.

1- Associate professor of water engineering, Urmia University, Urmia, Iran (*:Corresponding author Email: m.hemmati@urmia.ac.ir)
2- Graduate of M. Sc. in water structures, department of water engineering, Urmia University. Urmia, Iran (alizadeh_s87@yahoo.com)
3- Associate professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, University of Tehran, College of Agriculture and Natural Resources, Karaj, Iran. (m.yasi@ut.ac.ir)
4- Assistant professor of water engineering, Urmia University. (ilkhanipour.bayram@gmail.com)