

برگشت ناپذیری در تخصیص منابع زیست‌محیطی: کاربرد الگوی کروتیلا- فیشر در تخصیص بهینه‌ی آب رودخانه‌ی زرینه‌رود

غلامعلی شرزهای

دانشیار دانشکده‌ی اقتصاد دانشگاه تهران gasharzei@yahoo.com

وحید ماجد*

استادیار دانشکده‌ی اقتصاد دانشگاه علوم اقتصادی majed@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۱/۲/۱۱ تاریخ پذیرش: ۹۱/۸/۲۳

چکیده

توسعه‌ی منابع آبی و انتقال آب از حوضه‌های آبریز به مناطق دیگر جهت مصارف شهری، تجاری و صنعتی و عدم توجه به حقوق آبی اکوسیستم‌های طبیعی به‌ویژه در مناطق پایین دست، سبب صدمات جبران‌ناپذیر و برگشت‌ناپذیری به اکوسیستم طبیعی در دوره‌های جاری و آتی می‌شود و رفاه نسل‌های حال و آتی را کاهش می‌دهد، به‌ویژه این که اگر منافع حاصل از حفاظت و صیانت از این منابع فزاینده در نظر گرفته شود، زیان‌های رفاهی قابل ملاحظه‌ای را متوجه آیندگان خواهد کرد.

بهره‌برداری گسترده از رودخانه‌های ورودی به دریاچه‌ی ارومیه، به‌ویژه زرینه‌رود، سبب به‌وجود آمدن خطرات زیست‌محیطی جبران‌ناپذیری شده که ابعاد بین‌المللی به خود گرفته است. در مطالعه‌ی حاضر با در نظر گرفتن ارزش‌های برگشت‌ناپذیر زیست‌محیطی برای یک منبع آبی با کارکردهای اقتصادی و زیست‌محیطی نرخ بهینه‌ی برداشت در قالب یک مدل کنترل ارائه و سپس بر مبنای داده‌های تجربی، برای زرینه‌رود وضعیت برداشت از آب رود با در نظر گرفتن برگشت‌ناپذیری در دو حالت وجود و عدم وجود انباشت برگشت‌ناپذیری از دوره‌های قبل به کار برده شده است. نتایج نشان می‌دهد که در دوره مطالعه همواره برداشت از آب منبع بیش‌تر از حد بهینه‌ای است که توسط مدل ارائه شده است و این امر موجب ایجاد و تشدید برگشت‌ناپذیری در اکوسیستم رودخانه می‌گردد.

طبقه‌بندی: Q25, Q27, Q57, C61

کلید واژه: آب، برگشت‌ناپذیری، منابع زیست‌محیطی، الگوی کروتیلا فیشر، زرینه‌رود

۱- مقدمه

توجه به کفایت موهبت‌های طبیعت، حداقل از زمان مالتوس در تألیفات اقتصادی منعکس شده است. در عقاید مالتوسی، محیط زیست طبیعی، اساساً به‌عنوان یک منبع کمیاب برای حفاظت از فعالیت اقتصادی می‌باشد. برخی مدارک و شواهد بیانگر آن است که پیشرفت تکنولوژیکی، دسترسی به منابع را گسترده‌تر کرده، به‌طوری‌که کمیابی پیش‌بینی‌شده توسط مالتوس، در عمل واقعیت نیافته است. با این حال اگر چه مدارک آماری نشان می‌دهد که هزینه‌های ثابت تولید ناشی از منابع طبیعی در طول زمان کاهش یافته، اما به نظر می‌رسد که برخی از هزینه‌های زیست محیطی افزایش داشته است.^۱

در این مقاله بر مبنای دیدگاهی که کروتیلا- فشر در مورد توسعه‌ی مناطق جنگلی در نواحی بیابانی و نیمه‌ی بیابانی داشته‌اند، توسعه‌ی یک اکوسیستم طبیعی ایجاد شده توسط رودخانه از زاویه‌ی دیگری به جز تحلیل‌های هزینه - فرصت مرسوم مورد توجه قرار گرفته است. موضوع هزینه‌های فرصت از دست رفته در توسعه‌ی منابع زیست محیطی و اکوسیستم‌های طبیعی موضوع بحث مقاله حاضر است. در این راستا مدل اقتصادی استفاده‌ی بهینه از یک منبع زیست محیطی با در نظر گرفتن هزینه‌های برگشت‌ناپذیر ارائه شده است. سپس نتایج بهینه‌ی مدل مذکور برای زرينه‌رود به‌عنوان مطالعه‌ی موردی که یک اکوسیستم طبیعی غنی را حمایت می‌کند، به کار برده شده است.

۲- برگشت‌ناپذیری زیست محیطی

منابع طبیعی زیست محیطی محدود هستند و فرایند رشد اقتصادی می‌تواند به تقلیل، تخلیه و حتی اتمام این منابع بیانجامد. این منابع از این جهت پایان‌پذیر هستند که برداشت و استفاده‌ی مداوم می‌تواند سبب اتمام منبع برای همیشه شود. در تصمیم‌گیری‌ها برای استفاده از منابع پایان‌پذیر و یا توسعه‌ی آن‌ها ممکن است جامعه از انتخاب‌های اولیه خود متأسف باشد، ولی بخشی از این انتخاب‌ها قابل برگشت نیستند. برگشت‌ناپذیری^۲ در مورد منبع طبیعی تجدید شذنی نیز اهمیت دارد. فرض کنید نرخ برداشت از یک منبع تجدیدشذنی مثل یک گونه‌ی خاص منجر به کاهش سطح ذخیره‌ی آن منبع به حدی کم‌تر از حداقل مقدار مورد نیاز برای تولید پایدار در طول

1- Krutilla and Fisher, 1986.

2- Irreversibility.

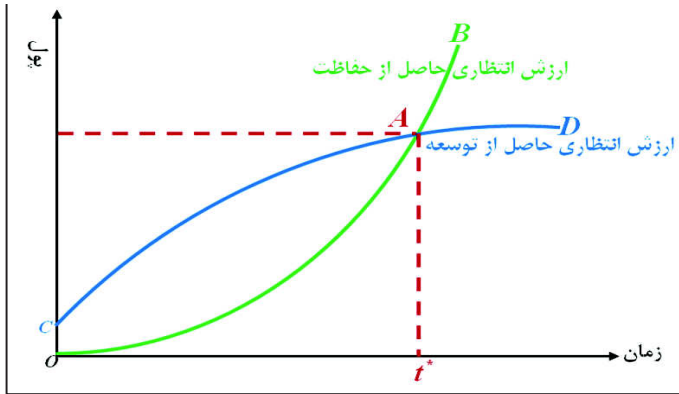
زمان شود، در این صورت این گونه‌ها به طور غیرقابل برگشتی منقرض خواهند شد. یک طبقه‌ی دیگر از وضعیت‌های برگشت‌ناپذیر به تصمیمات مربوط به توسعه‌ی مناطق بایر و تغییر کاربری بعضی از سیستم‌های منابع طبیعی زیست محیطی مربوط می‌شود. پس از توسعه‌ی مناطق کشت نشده، برگشت آن به وضعیت اولیه امکان‌پذیر نیست و یا حداقل نمی‌تواند در یک دوره‌ی زمانی به وضعیت قبلی بازگردد^۱.

در این جا یک عدم تقارن بسیار اساسی وجود دارد: تصمیمی که به مرحله‌ی اجرا گذاشته نشده است می‌تواند برگشت داده شود، ولی تصمیمی که به مرحله‌ی اجرا درآمد، و سبب تغییرات شد، غیرقابل برگشت است. در حالت دوم، انتخاب توسعه، انتخاب عدم توسعه را برای تمام دوره‌های بعد منتفی می‌کند. براساس دیدگاه برگشت‌ناپذیری، چنانچه مکان‌های طبیعی در فرآیند توسعه از حالت اولیه خارج شوند و یا کاربری آن‌ها تغییر داده شود، امکان برگشت برای این منابع به حالت اولیه در بیش‌تر حالات غیرممکن است و تنها در حالات بسیار محدودی امکان‌پذیر است.

کروئیل و فیشر با مطالعه‌ی توسعه‌ی منابع طبیعی نواحی بیابانی کم درخت با پوشش گیاهی اندک به دو نوع استفاده از این منابع اشاره دارند. اول استفاده از فضای موجود از طریق قطع درختان جنگل، استخراج معدن و بهره‌گیری از زمین که آن را کاربرد توسعه‌ای نامیده‌اند و دوم، حفظ دارائی‌های موجود در منطقه به همان صورت اولیه و طبیعی خود و استفاده از خدمات رفاهی مانند تسهیلات و امکانات رفاهی، چشم‌اندازهای زیبا و سایر خدمات که این مورد را خدمات کاربری منبع ذکر کرده‌اند^۱. ایشان با طرح برگشت‌ناپذیری بر این واقعیت تأکید داشته‌اند که ذخایر منابع طبیعی پس از بهره‌برداری و استفاده از آن‌ها به‌طور عمده به حالت اولیه‌ی خود بازمی‌گردند. این موضوع به این نکته اشاره دارد که سرمایه‌های طبیعی در فرآیند استفاده از آن‌ها غیرقابل بازگشت به حالت اولیه‌اند. در مقابل کاربردهای توسعه‌ای مبتنی بر پیشرفت‌های فنی و قابلیت‌های جانشینی هر چند که تا حدودی می‌توانند کاهش ذخایر طبیعی و میزان استفاده از آن‌ها را کم کنند، اما در بلندمدت قادر نیستند به‌طور کامل جانشین خدمات و کالاهای زیست محیطی شوند.

مفهوم برگشت‌ناپذیری را می‌توان به صورت نمودار ۱ نشان داد. در مراحل اولیه توسعه‌ی منافع توسعه بیش از منافع یا ارزش‌های حاصل از حفظ منبع زیست محیطی است، ولی با گذشت زمان به دلیل فزاینده بودن منافع و ارزش‌های انتظاری حاصل از

حفظ منبع طبیعی و کاهش دادن منافع حاصل از توسعه، منافع انتظاری حفاظت، از منافع انتظاری توسعه پیشی می‌گیرد (بعد از نقطه‌ی A روی نمودار ۱).



نمودار ۱- روند زمانی افزایش در منافع توسعه و حفاظت از مکان‌های طبیعی

این موضوع می‌تواند به طرح‌های توسعه‌ی منابع آبی نیز تعمیم داده شود. اشاره شده است که نظریه‌ی برگشت‌ناپذیری تنها در برنامه‌های توسعه و نتایج آن در نواحی جنگلی مناطق نیمه‌بیابانی به کار گرفته شده است و فقط بر در نظر گرفتن برگشت‌ناپذیری در تحلیل فایده- هزینه تأکید داشته است، این در حالی است که منابع آب و اکوسیستم‌های طبیعی ایجاد شده توسط این منابع نیز حداقل به اندازه‌ی توسعه‌ی دیگر اکوسیستم‌های طبیعی مانند جنگل‌ها و مناطق بیابانی کم درخت اهمیت دارند، به‌ویژه اگر منابع آب مذکور و اکوسیستم‌های متکی در مناطق خشک و نیمه خشک قرار گرفته باشند.

توسعه‌ی منابع آبی و انتقال آب از حوضه‌های آبریز به مناطق دیگر جهت مصارف شهری، تجاری و صنعتی و عدم توجه به حقوق آبی اکوسیستم‌های طبیعی به‌ویژه در مناطق پایین دست، سبب صدمات جبران‌ناپذیر و برگشت‌ناپذیری به اکوسیستم طبیعی در دوره‌های جاری و آتی می‌شود و رفاه نسل‌های حال و آتی را کاهش می‌دهد، به‌ویژه این که اگر منافع حاصل از حفاظت و صیانت از این منابع فزاینده در نظر گرفته شود، زیان‌های رفاهی زیادی را متوجه آیندگان خواهد کرد.

در این زمینه شواهد زیادی وجود دارد. برنامه‌های توسعه جهت استفاده‌ی اقتصادی از آب رودخانه‌های ورودی به دریاچه‌ی آرال موجب شده است که این دریاچه‌ی خشک شده و آثار زیست‌محیطی جبران‌ناپذیر و برگشت‌ناپذیری را در حوضه‌ی آبریز آرال

به‌جای گذارد و نه تنها زندگی گونه‌های مختلفی گیاهی و جانوری را به خطر انداخته، بلکه تداوم زندگی ساکنان منطقه را با خطرات گوناگونی مواجه کرده است. در ایران نیز برنامه‌های توسعه و برداشت از رودخانه‌های ورودی به دریاچه‌ی ارومیه، در این حوضه‌ی آبریز سبب به‌وجود آمدن خطرات زیست‌محیطی جبران‌ناپذیری شده که ابعاد بین‌المللی به خود گرفته است. احداث سد و انتقال آب رودخانه‌های حوضه‌ی دریاچه‌ی ارومیه جهت مصرف در بخش‌های مختلف شهری، کشاورزی و صنعتی در کنار بروز خشکسالی به خشک شدن بزرگ‌ترین دریاچه‌ی داخلی و دومین دریاچه‌ی شور جهان شتاب زیادی بخشیده است.

استفاده از آب رودخانه‌هایی مثل زرینه‌رود که طبق آمار سازمان مدیریت منابع آب استان آذربایجان غربی به تنهایی سهمی در حدود ۴۰ درصد از آب رودخانه‌های ورودی از این استان به دریاچه را داشته است، جهت مصرف کشاورزی و تأمین آب شرب ۱۲ شهر کوچک و بزرگ^۱، سبب شده است که عملاً آب ورودی آن به دریاچه‌ی ارومیه به‌ویژه در فصل‌های کم بارش به صفر برسد و صدمات جبران‌ناپذیر زیست‌محیطی و انسانی را رقم بزند.^۲

مثال‌های مذکور، همه نمونه‌هایی از آثار برگشت‌ناپذیر زیست‌محیطی استفاده از منابع طبیعی است که در صورت عدم توجه به منافع و کارکردهای بلندمدت منابع زیست‌محیطی و از جمله منابع آب می‌تواند بروز نماید و مورد توجه مطالعه‌ی حاضر قرار گرفته است.

۳- استفاده از یک منبع طبیعی آب و ارزش‌های برگشت‌ناپذیر

برداشت و استفاده از آب یک منبع طبیعی با کارکردهای چندگانه مثل رودخانه برای مصارف مختلف در بخش‌های شهری، کشاورزی و صنعتی، منافع و مطلوبیتی را برای مصرف‌کنندگان مختلف در بخش‌های مذکور ایجاد می‌کند. در عین حال برداشت از آن سبب می‌شود که آب در اختیار اکوسیستم رودخانه و خدمات ارائه شده توسط اکوسیستم مذکور کاهش یابد که این به نوبه‌ی خود سبب کاهش مطبوعیت^۳ اکوسیستم و ایجاد مطلوبیت منفی در دوره‌ی جاری و دوره‌های آتی در اثر برداشت آب می‌شود. از جمله خدمات و منافی که در اثر برداشت آب از رودخانه در دوره‌ی جاری و دوره‌های آتی از بین می‌روند، می‌توان به کاهش مطبوعیت هوای اکوسیستم ایجاد شده توسط

۱- شهرهای مذکور عبارتند از: میاندوآب، ملکان، بناب، عجبشیر، آذرشهر، خسروشهر، شهرک شهید سلیمی، ایلخچی، سردود

۲- شهرهای مذکور بر اساس اطلاعات میدانی و به نقل از آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی بیان شده است.

رودخانه، کاهش رشد گیاهان بستر، حاشیه و پایین رود و کاهش سرسبزی و مطبوعیت و چشم‌اندازها و مناظر زیبا به‌ویژه در پایین دست رود، کاهش آب ورودی رود به مقصد آن که می‌تواند دریاچه، تالاب، مرداب و یا باتلاق باشد کاهش حجم آب در آن و آثار منفی و زیست محیطی، کاهش و یا از بین رفتن برخی از جانداران و توده‌های زیستی در پایین دست به‌ویژه کاهش مواد غذایی برخی گونه‌ها و از بین رفتن محل زیست گونه‌های دیگر از جمله پرندگان، ماهیان و دیگر آبزیان، در معرض خطر افتادن یا از بین رفتن برخی از فعالیت‌های اقتصادی از جمله ماهی‌گیری و شیلات و از دست رفتن برخی از خدمات تفریحی اکوسیستم مثل شنا و قایقرانی، اشاره کرد.

آثار منفی برداشت بیش از حد از منبع طبیعی مثل رودخانه که کارکردهای چندگانه در اکوسیستم دارد، سبب کاهش و از بین رفتن بسیاری از مطلوبیت‌های ایجاد شده در دوره‌ی جاری و دوره‌های آتی می‌شود، که علاوه بر کاهش رفاه جامعه، صدمات جبران ناپذیر و برگشت‌ناپذیری را به اکوسیستم و توانایی ارائه‌ی خدمات اکوسیستمی آن در هر یک از دوره‌های آتی وارد می‌کند. بر مبنای مدل فورستر^۱ در زمینه‌ی استفاده از انرژی، که هم مطلوبیت ایجاد می‌کند و هم دارای پیامد خارجی است و با گسترش و تعدیل مدل مذکور، می‌توان مسئله‌ی برگشت‌ناپذیری را در استفاده از منابع آب مورد تجزیه و تحلیل قرار داد. در پژوهش حاضر ایده‌ی برگشت‌ناپذیری به‌صورت قیدی که حالت فزاینده به خود می‌گیرد در نظر گرفته می‌شود و مسئله‌ی بهینه‌یابی را تشکیل می‌دهد که تا به حال چنین قیدی در مسائل استفاده‌ی بهینه از منابع طبیعی اعمال نشده است.

اگر میزان برداشت و مصرف آب را با W نشان دهیم، تابع مصرفی که از برداشت مذکور مطلوبیت ایجاد می‌کند به‌صورت $C = C(W)$ خواهد بود. از سوی دیگر برداشت آب از منبع سبب از دست رفتن ارزش‌هایی که می‌تواند در آینده به‌وجود آید، می‌شود. اگر میزان مجموع ارزش از دست رفته را در هر زمانی در آینده برابر ρ در نظر بگیریم، نرخ رشد ارزش از دست رفته تابعی از میزان برداشت آب خواهد بود. اگر نرخ رشد ارزش از دست رفته با $\dot{\rho}$ نشان داده شود، خواهیم داشت:

$$\dot{\rho} = f(W) \quad f' > 0 \quad (1)$$

در رابطه‌ی مذکور نرخ رشد ارزش از دست رفته ($\dot{\rho}$) به‌صورت تابعی از W (میزان برداشت از آب) منبع است.

حجم آب منبع تحت تأثیر دو جریان دیگر علاوه بر برداشت از آب رودخانه نیز می‌باشد. یکی ورود سالانه‌ی جریان آب است که در اثر بارش و فعالیت‌های برگشت دادن بخشی از آب برداشتی مثل تصفیه‌ی فاضلاب و رهاسازی آن در رودخانه است که

سالانه مقداری از برگشت ناپذیری برداشت از منبع را جبران می‌کند. دیگری، تبخیر آب از منبع است که اثر برداشت روی برگشت ناپذیری را تشدید می‌کند. اگر میزان خالص ورود آب به اکوسیستم را با مقدار K نشان دهیم، در این صورت نرخ رشد ارزش برگشت ناپذیر، تابعی از این مقدار نیز خواهد بود و یا:

$$\dot{\rho} = g(K) \quad g' < 0 \quad (2)$$

که در آن نرخ رشد ارزش از دست رفته ($\dot{\rho}$) تحت تأثیر میزان خالص ورود آب به اکوسیستم و یا به عبارتی میزان آب اختصاص یافته به اکوسیستم (K) نیز قرار می‌گیرد.

هم‌چنین اگر میزان ارزش‌های برگشت ناپذیر در طول زمان، در اثر وجود ارزش‌های از دست رفته رشد کند، در این صورت ارزش‌های برگشت‌ناپذیر با نرخ δ تحت تأثیر کمبودهای گذشته‌ی رشد خواهد بود. بدین معنی که وجود آثار برگشت‌ناپذیر قبلی موجب ازدیاد نرخ رشد برگشت‌ناپذیری خواهد شد. با ترکیب عواملی که میزان برگشت ناپذیری را تحت تأثیر قرار می‌دهند می‌توان نوشت:

$$\dot{\rho} = f(w) - g(K) + \delta\rho \quad (3)$$

اگر متوسط حجم آب منبع در هر دوره‌ی زمانی برابر با S باشد، که یک متغیر ذخیره است و میزان آن تحت تأثیر برداشت از منبع جهت مصارف مختلف، جریان‌های ورودی و رهاسازی در اکوسیستم جهت کاهش اثرات برگشت‌ناپذیری می‌باشد، نرخ تغییرات آن در هر لحظه به صورت زیر است:

$$\dot{S} = -W - K \quad (4)$$

روابط ۱ تا ۴ تغییرات پویای ρ و S را نشان می‌دهند که در مدلی که ارائه می‌شود به عنوان معادلات حرکت از آن‌ها استفاده می‌شود. ρ میزان ارزش برگشت ناپذیر و S متوسط حجم آب در هر دوره‌ی زمانی به عنوان متغیرهای وضعیت هستند.

میزان برداشت از منبع (W)، منهای جریان‌های ورودی خالص و میزان اختصاص آب به اکوسیستم (K) به عنوان متغیرهای کنترل هستند.

حال اگر تابع مطلوبیت اجتماعی حاصل از مصرف آب منبع را به صورت تابعی از برداشت و استفاده از منبع و ارزش‌های برگشت‌ناپذیر که در ارتباط با خدمات و منافع اکوسیستمی هستند در نظر بگیریم به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$SU(t) = U[C(W(t)), \rho(W(t))] \quad U_C > 0, \quad U_\rho < 0 \quad (5)$$

$$U_{CC} < 0 \quad U_{\rho\rho} < 0 \quad C' > 0 \quad C'' < 0$$

در رابطه‌ی فوق SU سطح رفاه اجتماعی است؛ $U_C > 0$ و $U_{CC} < 0$ نشان‌دهنده‌ی مطلوبیت نهایی مثبت، ولی نزولی برداشت آب از منبع؛ $U_\rho < 0$ نشان‌دهنده‌ی عدم مطلوبیت نهایی منافع ارزش از دست رفته (ارزش برگشت ناپذیر) و

$U_{pp} < 0$ نشان دهنده‌ی عدم مطلوبیت نهائی فزاینده‌ی ارزش مذکور است که در اثر ازدیاد برداشت از منبع ایجاد می‌شود. $C' > 0$ و $C'' < 0$ نشان دهنده‌ی افزایش مصرف آب در طول زمان ولی با نرخ کاهنده است.

تصریح رابطه‌ی نرخ رشد برگشت‌ناپذیری به‌صورت تابعی از برداشت آب جهت مصارف کشاورزی و رهاسازی در محیط زیست به‌صورت زیر تصریح می‌شود.

$$\dot{\rho} = \alpha W - \beta K + \delta \rho, \quad 0 < \beta \leq \alpha, 0 < \delta < 1 \quad (6)$$

در رابطه‌ی مذکور β ، نرخ جبران برگشت‌ناپذیری در اثر اقدامات پیش‌گیرانه است که همواره کوچک‌تر یا مساوی α است، زیرا در بهترین حالت اقدامات پیش‌گیرانه (تخصیص آب به اکوسیستم) تنها می‌تواند از ارزش‌های برگشت‌ناپذیر حال در اثر برداشت از منبع جلوگیری کند. بیان رابطه‌ی ۳ و تصریح آن به‌صورت رابطه‌ی ۶، نوآوری محققان در وارد کردن قیدهای زیست محیطی، در مسائل بهینه‌سازی مرسوم اقتصادی است.

می‌توان مسأله‌ی بهینه‌سازی را به‌صورت زیر بیان کرد:

$$\begin{array}{l} \text{Max} \quad \int_0^T U[C(W), \rho(W)] dt \\ \text{St.} \quad \left\{ \begin{array}{l} \dot{\rho} = \alpha W - \beta K + \delta \rho \\ \dot{S} = -W - K \\ \rho(0) = \bar{\rho}, \quad \rho(T) \geq 0 \\ S(0) = \bar{S}, \quad S(T) \geq 0 \\ W \geq 0, \quad 0 \leq K \leq \hat{K} \\ T = \text{Constant (Planning Horizon)} \end{array} \right. \end{array} \quad (7)$$

تابع هامیلتونین برای بهینه‌سازی مذکور به‌صورت زیر است:

$$H = U[C(W), \rho(W)] + \lambda_1(-W - K) + \lambda_2[\alpha W - \beta K + \delta \rho] \quad (8)$$

در رابطه‌ی فوق متغیرهای S و ρ متغیرهای وضعیت^۱ هستند و متغیرهای W و K متغیرهای کنترل^۲ می‌باشند. برای به‌دست آوردن مقدار بهینه‌ی برداشت به‌صورتی که تابع رفاه اجتماعی حداکثر شود، می‌توان نوشت:

$$\frac{\partial H}{\partial W} = U_C C'(W) + U_\rho \rho'(W) - \lambda_1 + \lambda_2 \alpha + \lambda_3 \delta \rho'(W) = 0 \quad (9)$$

به‌منظور حداکثر شدن تابع هامیلتون لازم است که $W \frac{\partial H}{\partial W} \leq 0$ و $K \frac{\partial H}{\partial K} \leq 0$ باشد.

1- State Variables.

2- Control Variables.

برای برقراری $W \frac{\partial H}{\partial W} \leq 0$ ، از آنجا که $W = 0$ به معنی عدم استفاده از آب منبع برای مصارف اقتصادی است و این در تناقض با بهره‌مندی از منبع مذکور می‌باشد، لذا $W > 0$ باشد، که نشان می‌دهد باید $\frac{\partial H}{\partial W} \leq 0$ باشد و بر این مبناست که رابطه‌ی ۹ به صورت مذکور بیان شده است.

برای برقراری رابطه‌ی $K \frac{\partial H}{\partial K} \leq 0$ ، از آنجا که $K = 0$ به معنی عدم اختصاص آب منبع برای اکوسیستم است و این در تناقض با حفظ اکوسیستم و پایداری استفاده از منبع می‌باشد، لذا $K > 0$ است، که نشان می‌دهد باید $\frac{\partial H}{\partial K} \leq 0$ باشد.

$$\frac{\partial H}{\partial K} = -\lambda_1 - \lambda_2 \beta \quad (10)$$

رابطه‌ی ۱۱ برقراری شرط دوم بهینه‌سازی را تأیید می‌کند.

$$\frac{\partial^2 H}{\partial W^2} = U_{CC}C''(W) + U_C C''(W) + U_{\rho\rho}\rho''(W) + U_{\rho}\rho''(W) + \lambda_2 \delta \rho''(W) \leq 0 \quad (11)$$

از آنجا که تابع هامیلتونین نسبت به K خطی است، اگر $\frac{\partial H}{\partial K} < 0$ باشد، در

این صورت باید $K = 0$ باشد، ولی چون مقدار آب اختصاص داده شده به اکوسیستم مثبت است (یعنی $K \geq 0$ که می‌تواند هر مقدار مثبتی مانند \bar{K} باشد)، در این صورت $\frac{\partial H}{\partial K} > 0$ خواهد بود. به عبارتی می‌توان بیان داشت:

$$\begin{cases} -\lambda_1 - \lambda_2 \beta < 0 & \Rightarrow K = 0 \\ -\lambda_1 - \lambda_2 \beta > 0 & \Rightarrow K = \bar{K} \end{cases} \quad (12)$$

از رابطه‌ی ۹ می‌توان λ_1 را محاسبه کرد و در رابطه‌ی ۱۲ قرار داد.

$$\begin{aligned} \frac{\partial H}{\partial W} = 0 & \Rightarrow U_C C'(W) + U_{\rho}\rho'(W) - \lambda_1 + \lambda_2 \alpha + \lambda_2 \delta \rho'(W) = 0 \\ & \Rightarrow \lambda_1 = U_C C'(W) + U_{\rho}\rho'(W) + \lambda_2 \alpha + \lambda_2 \delta \rho'(W) \end{aligned} \quad (13)$$

از سوی دیگر داریم:

$$\dot{\lambda}_1 = \frac{\partial H}{\partial S} = 0 \quad \Rightarrow \quad \lambda_1 = \text{Const} \quad (14)$$

با توجه به این‌که $\dot{\lambda}_1 = 0$ است، در این صورت $\lambda_1 = \text{Const}$ برابر با یک عدد ثابت است.

$$\dot{\lambda}_\gamma = \frac{\partial H}{\partial \rho} = +\delta\lambda_\gamma + U_\rho = 0 \quad \Rightarrow \quad -\delta\lambda_\gamma = U_\rho \quad (15)$$

با جای‌گذاری رابطه‌ی ۱۵ در رابطه‌ی ۱۳ خواهیم داشت:

$$\lambda_1 = U_C C'(W) + U_\rho \rho'(W) + \lambda_\gamma \alpha - U_\rho \rho'(W) \quad (16)$$

$$\Rightarrow \lambda_1 = U_C C'(W) + \lambda_\gamma \alpha$$

با جای‌گذاری ۱۶ در ۱۲ خواهیم داشت:

$$\begin{cases} U_C C'(W) > -(\alpha + \beta) \lambda_\gamma & \Rightarrow \quad K^* = 0 \\ U_C C'(W) < -(\alpha + \beta) \lambda_\gamma & \Rightarrow \quad K^* = \bar{K} \end{cases} \quad (17)$$

با توجه به رابطه‌ی فوق، انتخاب مقدار بهینه‌ی رهاسازی آب برای استفاده‌ی اکوسیستم بستگی به λ_γ خواهد داشت.

انتخاب مقدار برداشت بهینه‌ی آب از منبع و مقدار بهینه‌ی رهاسازی آب برای استفاده‌ی اکوسیستم یا دارای جواب داخلی و یا دارای جواب مرزی است. در مدل حاضر نمی‌توان جواب داخلی به‌دست آورد و حتماً به جواب مرزی خواهیم رسید. معادلات حرکت متغیرهای الحاقی را در روابط ۱۴ و ۱۵ در نظر بگیرید. اگر مقدار رهاسازی بهینه برای استفاده‌ی اکوسیستم دارای یک جواب داخلی باشد در این صورت:

$$\begin{cases} U_C C'(W) > -(\alpha + \beta) \lambda_\gamma & \Rightarrow \quad K^* = 0 \\ U_C C'(W) < -(\alpha + \beta) \lambda_\gamma & \Rightarrow \quad K^* = \bar{K} \end{cases} \quad (18)$$

$$\frac{\partial H}{\partial K} = -\lambda_1 - \lambda_\gamma \beta = 0 \quad \Rightarrow \quad \lambda_1 + \lambda_\gamma \beta = 0$$

از آن‌جا که در رابطه‌ی ۱۴ نتیجه گرفته شد که λ_1 برابر با مقدار ثابتی است، رابطه‌ی ۱۸ نیز بیان می‌دارد که باید λ_γ برابر مقدار ثابتی باشد، در این صورت از رابطه‌ی ۱۵ نتیجه‌گیری می‌شود که مقدار U_ρ نیز باید ثابت باشد.

$$\dot{\lambda}_\gamma = \frac{\partial H}{\partial \rho} = +\delta\lambda_\gamma + U_\rho = 0 \quad \Rightarrow \quad -\delta\lambda_\gamma = U_\rho \quad (15')$$

نتیجه‌ی مذکور در تضاد با فرض نزولی بودن سطح مطلوبیت از افزایش برگشت‌ناپذیری $U_\rho < 0$ است، لذا فقط یک مقدار ρ می‌تواند وجود داشته باشد که مطلوبیت نهایی برگشت‌ناپذیری را برابر با مقدار ثابتی کند. از این رو اگر مقدار اختصاص

بهینه‌ی آب به اکوسیستم (K) یک جواب ثابت داخلی باشد، برگشت‌ناپذیری (ρ) نیز باید ثابت باشد.

با توجه به این‌که در زمان شروع، یک موجودی برگشت‌ناپذیر در نتیجه‌ی اقدامات قبلی وجود دارد ($\rho(0) > 0$)، برای این‌که نرخ رشد برگشت‌ناپذیری صفر $\dot{\rho} = 0$ شود، باید $\rho(T) = \rho(0)$ باشد. در این‌صورت شرایط تراگردی برای دوره‌ی برنامه‌ریزی $([0, T])$ به این‌صورت خواهد بود که:

$$\rho(T)\lambda_2(T) = 0 \quad (19)$$

اگر $\rho(T) > 0$ باشد، در این‌صورت $\lambda_2(T) = 0$ خواهد بود. اما قبلاً نتیجه گرفته شد که باید λ_2 ثابت باشد. این دو ویژگی هم‌زمان بدان معنی است که λ_2 برابر با مقدار ثابت صفر است. از برابر صفر بودن λ_2 طبق روابط ۱۶ و ۱۲ و از $\frac{\partial H}{\partial W}$ خواهیم داشت $U_C C(W) = 0$ ، که متناقض با فرض مربوط به مثبت بودن مطلوبیت نهایی استفاده‌ی اقتصادی از منبع ($U_C > 0$) است، در نتیجه نمی‌توان بر مبنای مدل حاضر برای مقدار

اختصاص بهینه‌ی آب به اکوسیستم (K) به یک جواب بهینه‌ی داخلی رسید. بنابراین تنها دو راهکار برای حداکثر سطح رفاه اجتماعی با در نظر گرفتن کنترل

برگشت‌ناپذیری وجود دارد، که یکی $K = 0$ (یعنی آبی برای اکوسیستم در نظر گرفته نشود) و دیگری این‌که مقدار آب در نظر گرفته شده به‌اندازه‌ی حداکثر ممکن

$$K = \bar{K} \quad \text{می‌باشد. از } \frac{\partial H}{\partial W} = 0 \text{ می‌توان نتیجه گرفت (رابطه‌ی ۱۶):}$$

$$U_C C(W) = \lambda_1 - \alpha \lambda_2 \quad (16')$$

شرط فوق از نظر اقتصادی بدین معناست که اثر برداشت از یک منبع آبی با کارکردهای اکوسیستمی بر مطلوبیت از طریق استفاده‌ی آن ($U_C C(W)$) باید تحت هر دو سیاست (اختصاص حداکثر آب ممکن به اکوسیستم و یا عدم اختصاص آب به اکوسیستم) برابر با قیمت سایه‌ای منبع مذکور (λ_1) باشد که با قیمت سایه‌ای برگشت‌ناپذیری (از طریق $-\alpha \lambda_2$) تعدیل شده است که در این‌صورت دو سیاست مذکور طبق رابطه‌ی (۲۰) از هم متمایز خواهند بود:

$$\begin{cases} \text{if } \lambda_1 > -\lambda_2 \alpha & \Rightarrow & K = 0 \\ \text{if } \lambda_1 < -\lambda_2 \alpha & \Rightarrow & K = \bar{K} \end{cases} \quad (20)$$

مفهوم اقتصادی رابطه‌ی اول بدین معنی است که سیاست عدم اختصاص آب به اکوسیستم در جایی مناسب است که قیمت سایه‌ای آب (λ_1) بیش‌تر از قیمت سایه‌ای کاهش برگشت‌ناپذیری ($-\alpha\lambda_2$) باشد، زیرا در این‌صورت ارزش منافع اقتصادی تخصیص آب به مصارف اقتصادی بسیار بالاتر از اختصاص آن به اکوسیستم است، اما رابطه‌ی دوم بیان می‌دارد در صورتی که قیمت سایه‌ای آب (λ_1) پایین‌تر از قیمت سایه‌ای کاهش برگشت‌ناپذیری ($-\alpha\lambda_2$) باشد، در این‌صورت باید حداکثر مقدار ممکن به اکوسیستم آب تخصیص داده شود (در حقیقت برداشت صفر برای مصارف اقتصادی).

شاید نتیجه‌ی مذکور عجیب و حدی به نظر برسد. ولی این نتیجه را می‌توان بر مبنای مشاهدات تجربی تفسیر کرد. می‌توان بیان کرد در مورد منابع طبیعی زیست محیطی که علاوه بر خدمات اکوسیستمی به عنوان کالای اقتصادی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند، استفاده از آن‌ها نباید به‌صورتی باشد که از حد آستانه‌ی آن‌ها در ارائه‌ی خدمات اکوسیستمی در روند بلندمدت پایدار آن‌ها بیش‌تر باشد، که در این‌صورت با مورد تهدید واقع شدن اکوسیستم باید بلافاصله استفاده از آن‌ها قطع شود و به‌اندازه‌ی روند بلندمدت آب لازم اکوسیستم که قبل از توسعه به آن اختصاص داده می‌شد، به آن اختصاص داده شود که حد مذکور (\bar{K}) نشان داده می‌شود، این مقدار حداکثر مقداری است که در روند بلندمدت اکوسیستم به آن اختصاص داده می‌شد و پایداری بلندمدت آن را تأمین می‌کرد و این در حالی بود که برنامه‌های توسعه ایجاد نشده بود که برداشت از اکوسیستم ازدیاد یابد و برداشت بر مبنای نیاز طبیعی بوده است. این موضوع به دلیل وارد کردن بحث برگشت‌ناپذیری در بحث استفاده از منبع مذکور خود را نشان می‌دهد. در حالت حدی دیگر زمانی که منبع در حالت پایدار بلندمدت خود قرار دارد، می‌توان از منبع برداشت کرد و تا زمانی که نشانه‌ای از برگشت‌ناپذیری رخ نداده است، می‌توان با دیگر ملاحظات زیست‌محیطی از منبع استفاده کرد.

بحث مذکور به یک قاعده‌ی حفاظت‌گرا منجر می‌شود که به دلیل منافع و خدماتی که منابع زیست‌محیطی عاید بشر می‌کند باید در حفظ آن‌ها کوشید. البته ممکن است در مسأله‌ی مذکور استدلال شود در صورتی که اجازه داده نشود برگشت‌ناپذیری رشد نماید، می‌توان به یک قاعده‌ی پایدار در استفاده از منبع مذکور نائل شد. به‌عبارتی بر مبنای رابطه‌ی ۶ که به‌صورت زیر داشتیم:

$$\dot{\rho} = \alpha W - \beta K + \delta \rho, \quad 0 < \delta < 1, \quad 0 < \beta \leq \alpha \quad (6')$$

اگر $\dot{p} = 0$ باشد، به یک قاعده‌ی برداشت پایدار می‌رسیم. البته این امر به شرطی است که برگشت‌ناپذیری از دوره‌های قبل وجود نداشته باشد که در این صورت خواهیم داشت:

$$\dot{p} = \alpha W - \beta K = 0$$

$$W = \frac{\beta}{\alpha} K \quad (21)$$

موضوعی که در این رابطه وجود دارد، انباشت ارزش‌های برگشت‌ناپذیری از قبل یا به عبارتی سطح برگشت‌ناپذیری در دوره‌ی جاری p است که بر نرخ رشد آن طبق رابطه‌ی مذکور تأثیر می‌گذارد و برای بسیاری از منابع زیست‌محیطی به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه و از جمله مورد مطالعه که در بخش بعدی به آن پرداخته می‌شود همواره به دلیل برنامه‌های توسعه‌ی انجام گرفته، برخی از منافع اکوسیستمی از دست رفته و یا کاهش یافته است.

با توجه به این که وجود برگشت‌ناپذیری از دوره‌های قبل به دلیل عدم توجه به مسائل زیست‌محیطی از دوره‌های قبل به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه امری بدیهی است، راه‌کاری که می‌توان ارائه داد به این صورت است که حداقل از گسترش بیش‌تر برگشت‌ناپذیری جلوگیری شود و یا به عبارتی نرخ رشد برگشت‌ناپذیری را به صفر برسد. در حقیقت این راهکار مستلزم برابر صفر قرار دادن \dot{p} است که حداقل، وضعیت از آن‌چه که هست بدتر نشود. در گام‌های بعدی می‌توان به سیاست‌های ترمیمی و اصلاحی زیست‌محیطی اقدام کرد.

۵- بررسی تجربی

در نظر گرفتن ارزش‌های برگشت‌ناپذیر در تخصیص بهینه‌ی منابع طبیعی، موضوعی است که در بخش قبلی مورد تأکید قرار گرفته است. در این بخش بحث مذکور برای یک بهره‌برداری و استفاده‌های توسعه‌ای از یک منبع آبی خاص به کار برده شده است. رودخانه زربینه‌رود (جفاتو) نام رودی است در شمال غربی ایران که در جنوب شرقی استان آذربایجان غربی قرار دارد و پرآب‌ترین رودخانه حوضه‌ی آبریز دریاچه‌ی ارومیه می‌باشد. این رودخانه با طول ۳۰۰ کیلومتر طولانی‌ترین رود استان آذربایجان غربی است که از شهرستان‌های بوکان، شاهین‌دژ و میاندوآب عبور می‌کند و سرانجام از قسمت جنوب شرقی دریاچه‌ی ارومیه به آن می‌ریزد. این رودخانه به عنوان بزرگ‌ترین رود حوضه‌ی آبریز دریاچه‌ی ارومیه نزدیک ۴۰ درصد از آب ورودی به دریاچه از طریق رودخانه‌های حوضه را تأمین می‌کند (شرکت مدیریت منابع آب آذربایجان غربی، ۱۳۹۰).

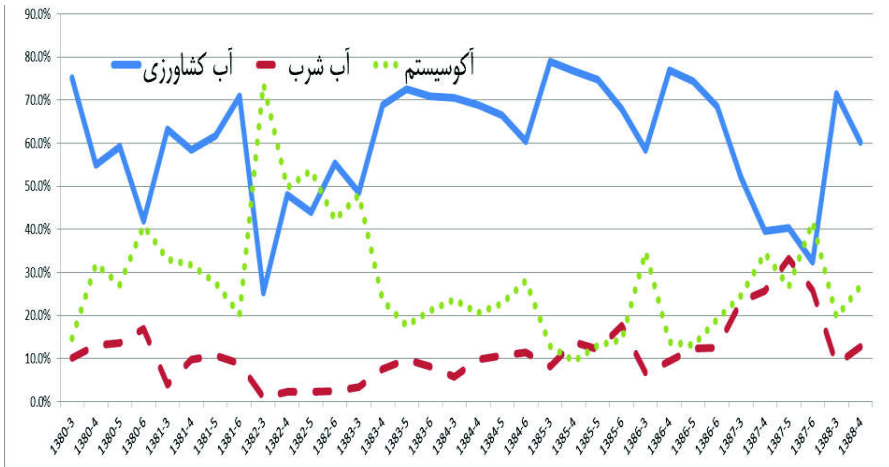
جدول ۱- مشخصات رودخانه‌های حوضه‌ی دریاچه‌ی ارومیه

نام رودخانه	طول رودخانه (کیلومتر)	سطح حوضه‌ی (کیلومتر مربع)	حجم رواناب سالانه (میلیون مترمکعب)	سهم از سطح حوضه	سهم از حجم رواناب سالانه
زربینه رود	۳۴۰	۱۱۸۹۷	۱۶۴۲	٪۴۸,۵	٪۴۰,۸
سیمینه رود	۲۴۵	۳۶۵۶	۵۰۳	٪۱۴,۹	٪۱۲,۵
مهاباد چای	۸۰	۲	۲۵۱	٪۰,۰	٪۸,۷
گذار چای	۱۰۰	۲۱۳۷	۴۲۵	٪۸,۷	٪۱۰,۵
باراندوز چای	۷۰	۱۳۱۸	۲۶۸	٪۵,۴	٪۶,۷
شهر چای	۷۰	۷۲۰	۲۶۰	٪۲,۹	٪۶,۵
نازلو چای	۸۵	۲۲۶۷	۳۹۹	٪۹,۲	٪۹,۹
روضه چای	۵۱	۴۵۳	۴۱	٪۱,۸	٪۱,۰
زولا چای	۸۴	۲۰۹۰	۱۴۰	٪۸,۵	٪۳,۵
مجموع	۱۱۲۵	۲۴۵۴۰	۴۰۲۹	٪۱۰۰,۰	٪۱۰۰,۰

منبع: شرکت سهامی مدیریت منابع آب استان آذربایجان غربی

اعتقادات برنامه‌ریزان و سیاست‌گذاران مبنی بر این‌که ارزش منابع آبی تنها به محصولات کشاورزی تولیدی و تأمین آب مورد نیاز بخش خانگی و صنعتی است، در برنامه‌های اجرا شده در تخصیص آب رودخانه به‌صورت آشکاری خود را نشان می‌دهد، به‌صورتی که ارزش‌های زیست محیطی و اکوسیستمی آن در برنامه‌های اجرا شده کم‌تر مورد توجه قرار گرفته است. نمودار ۲، میزان برداشت از آب زربینه‌رود جهت مصارف کشاورزی و شهری و میزان اختصاص آب به اکوسیستم را بعد از سد انحرافی نورزولو که بیش‌تر برداشت از آب رود از آن انجام می‌گیرد، به نمایش گذاشته است.

نمودار ۲، ممکن است در نگاه اول حاکی از سهم بالای اختصاص آب به اکوسیستم باشد، این امر از آن‌جا ناشی می‌شود که در آمارهای منتشر شده توسط مراجع ذی‌صلاح آب سریز شده از سد به عنوان آب اختصاص یافته به اکوسیستم تلقی می‌شود، این در حالی است که در اثر برداشت‌های مجاز و غیرمجاز در پایین‌دست رودخانه به‌ویژه جهت مصرف کشاورزی، نمی‌توان از آن به عنوان سهم اکوسیستم یاد کرد، به‌ویژه این‌که در اثر پیشرفت تکنولوژیک در پمپ‌های آب و همه‌گیر شدن آن، برداشت از منبع به حداکثر میزان ممکن خود رسیده است، به‌صورتی که در پایین‌دست و در ورودی دریاچه‌ی ارومیه در فصول کم بارش و فصول کشاورزی عملاً آبی به دریاچه نمی‌ریزد که این امر موجب تشدید آثار بد شده و برگشت‌ناپذیری در پایین‌دست را موجب می‌شود (ملاحظات میدانی).



نمودار ۲- سهم مصارف مختلف از آب زربینه رود

دومین نکته‌ای که باید به آن توجه کرد این است که در ماه‌های کم‌بارش یعنی از اواخر بهار تا اوایل پاییز، سهم آب اختصاص یافته به اکوسیستم بسیار پایین است و این امر در ماه‌هایی که اکوسیستم به دلیل گرما و تبخیر نیاز زیادی به آب دارد، برگشت‌ناپذیری را تشدید می‌کند.

علاوه بر موارد مذکور با توجه به بروز تهدیدهای زیست محیطی در حوضه‌ی آبریز دریاچه‌ی ارومیه، باید سهم اکوسیستم از آب منبع، برای کاهش آثار منفی مذکور و عدم شتاب‌گیری برگشت‌ناپذیری افزایش یابد و این امر از طریق مدیریت تقاضای آب و جایگزین کردن منابع دیگر تأمین‌کننده که آثار تخریبی زیست محیطی کم‌تری دارد، می‌تواند انجام پذیرد.

بر مبنای رابطه‌ی ۲۱ که میزان برداشت را به صورت نسبتی از آب اختصاص یافته به

اکوسیستم بیان می‌کند ($W = \frac{\beta}{\alpha} K$)^{*}، می‌توان با فرض مقادیر مختلف برای β

($0 < \beta \leq \alpha$)^۱ و سناریو سازی‌های گوناگون، مقدار برداشت بهینه را در صورتی که برگشت‌ناپذیری وجود نداشته باشد، شبیه‌سازی کرد و با برداشت حاضر مقایسه کرد. دلیل اتخاذ ضرایب فوق برای β با توجه به ماهیت مسئله است که اولاً حجم برداشت

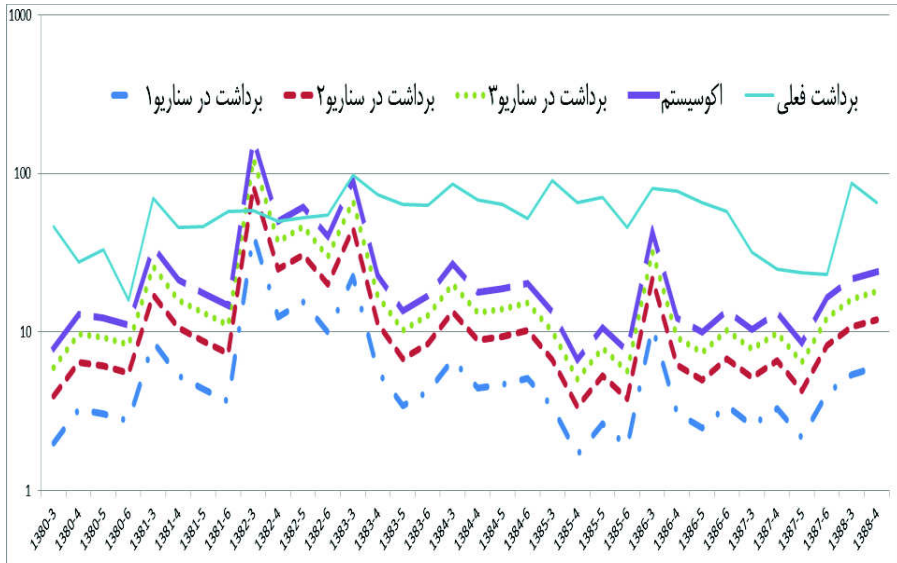
۱- همان‌طور که در صفحه‌ی ۹ در توضیح رابطه‌ی ۶ اشاره شده است، β ، نرخ جبران برگشت‌ناپذیری در اثر اقدامات پیش‌گیرانه است که در حقیقت همان میزان آب اختصاص یافته از منبع به اکوسیستم است. تغییرات β در این جا نشان‌دهنده‌ی میزان تغییر در تلاش‌های انجام گرفته جهت کاهش برگشت‌ناپذیری است که با تغییر در میزان آب اختصاص یافته به اکوسیستم قابل مشاهده است که برای سه وضعیت شبیه‌سازی شده است.

نمی‌تواند بیش‌تر از ظرفیت منبع باشد و بنابر این باید از α کوچک‌تر باشد و ثانیاً حجم برداشت به‌دلیل نیازهای اقتصادی باید بزرگ‌تر از صفر باشد که این موضوع را نیاز شهری و کشاورزی و صنعتی ایجاب می‌کند، لذا β بزرگ‌تر از صفر می‌شود. لذا با اعمال شرط $0 \leq \beta \leq \alpha$ در سه سناریو مدل‌سازی انجام گرفته است. سناریوها در سه حالت به‌صورت این‌که β برابر با ۲۵ درصد، ۵۰ درصد و یا ۷۵ درصد α باشد، که به ترتیب سناریوی ۱ تا ۳ تعریف شده‌اند. نتایج شبیه‌سازی بر مبنای سناریوهای تعریف شده، در جدول ۲ و نمودار ۴ به نمایش گذاشته شده است.

جدول ۲- مقایسه‌ی میزان برداشت از منبع با سناریوهای بهینه در ماه‌های کم بارش (m^3/s)

ماه	برداشت عملی	برداشت در سناریو ۱	برداشت در سناریو ۲	برداشت در سناریو ۳	اکوسیستم	ماه	برداشت	برداشت در سناریو ۱	برداشت در سناریو ۲	برداشت در سناریو ۳	اکوسیستم
۱۳۸۰-۳	۴۶۲۰۲۸	۱۰۹۸۷۲	۳۰۹۷۲	۳۲۰۶۷۲	۱۷۰۷۹۸۴	۱۳۸۰-۳	۶۸۲۴۸۷	۴۰۳۴۹۶	۸۸۹۹۲	۱۳۳۴۸۸	۷۰۹۴۸۸
۱۳۸۰-۴	۲۷۶۴۳	۳۰۲۴	۶۴۸	۲۷۶۴۳	۱۸۰۷۴۸۸	۱۳۸۰-۴	۶۳۶۳۹۶	۴۶۸۷۲	۹۳۳۷۴۴	۱۴۰۶۱۶	۱۲۰۹۶
۱۳۸۰-۵	۳۲۰۹۷۷۸	۳۰۰۶۷۲	۶۰۱۳۴۴	۳۲۰۹۷۷۸	۲۰۰۳۹۰۴	۱۳۸۰-۵	۵۲۰۰۸۸۹	۵۰۰۹۷۶	۱۰۰۱۹۵۲	۱۵۰۲۹۲۸	۱۲۰۲۶۸۸
۱۳۸۰-۶	۱۵۰۹۳۱۲	۲۰۷۶۴۷۵	۵۵۲۹۵	۱۵۰۹۳۱۲	۱۳۰۴۷۸	۱۳۸۰-۶	۹۰۰۹۴۹	۳۰۳۶۹۵	۶۰۳۹	۱۰۰۱۰۸۵	۱۱۰۰۵۹
۱۳۸۱-۳	۷۰۰۳۶۲	۸۶۴	۱۷۰۲۸	۷۰۰۳۶۲	۶۰۷۳۹	۱۳۸۱-۳	۶۵۰۳۰۹	۱۶۸۴۷۵	۳۳۶۹۵	۵۰۰۵۴۲۵	۳۴۰۵۶
۱۳۸۱-۴	۴۵۰۷۶۰۵	۵۰۳۱۳۶	۱۰۰۶۳۷۲	۴۵۰۷۶۰۵	۱۰۰۶۲۸	۱۳۸۱-۴	۷۰۰۴۶۸	۲۶۵۷	۵۰۳۱۴	۷۰۹۷۱	۳۱۰۲۵۴۴
۱۳۸۱-۵	۴۶۰۳۹۶	۴۰۶۲۵	۸۸۱۲۵	۴۶۰۳۹۶	۷۶۰۳	۱۳۸۱-۵	۴۵۰۴۹	۱۹۰۰۷۵	۳۸۰۱۵	۵۷۰۲۲۵	۱۷۰۶۲۵
۱۳۸۱-۶	۵۷۰۷۷۲	۳۶۷۲	۷۰۳۴۴	۵۷۰۷۷۲	۴۳۰۱۱	۱۳۸۱-۶	۸۰۰۷۳	۱۰۰۷۷۷۵	۲۱۰۵۵۵	۳۳۰۳۳۲۵	۱۴۰۶۸۸
۱۳۸۲-۳	۵۸۰۵۱	۴۱۰۲۰۷۵	۸۲۰۴۱۵	۵۸۰۵۱	۱۲۰۲۶	۱۳۸۲-۳	۷۷۰۲۵	۳۰۰۹	۶۰۱۸	۹۰۲۷	۱۶۰۸۳
۱۳۸۲-۴	۵۰۰۳۳۶	۱۲۰۴۵۶	۲۴۰۹۱۲	۵۰۰۳۳۶	۹۰۹۴	۱۳۸۲-۴	۶۵۰۶	۲۰۴۸۵	۴۰۹۷	۷۰۴۵۵	۴۹۰۸۲۴
۱۳۸۲-۵	۵۳۰۳۳	۱۵۰۳۹۶۷۵	۳۰۰۷۹۳۵	۵۳۰۳۳	۱۳۰۶۵	۱۳۸۲-۵	۵۷۰۹	۳۰۴۱۲۵	۶۸۲۵	۱۰۰۲۳۷۵	۶۱۰۵۸۷
۱۳۸۲-۶	۵۴۰۷۰۴	۱۰۰۰۰۱۵	۲۰۰۰۰۳	۵۴۰۷۰۴	۱۰۰۳۷	۱۳۸۲-۶	۳۱۰۶۸	۲۵۰۹۲۵	۵۰۱۸۵	۷۰۷۷۷۵	۴۰۰۰۰۶
۱۳۸۳-۳	۹۷۰۴۵	۲۲۰۵۴۲۵	۴۵۰۰۸۵	۹۷۰۴۵	۱۳۰۲۲	۱۳۸۳-۳	۲۵۰۰۳	۳۰۳۰۵	۶۶۱	۹۰۹۱۵	۹۰۰۰۱۷
۱۳۸۳-۴	۷۳۰۶۹	۵۰۶۸	۱۱۰۳۶	۷۳۰۶۹	۸۰۵۷	۱۳۸۳-۴	۲۳۰۷۱	۲۰۱۴۲۵	۴۰۲۸۵	۶۰۴۲۷۵	۲۲۰۷۲
۱۳۸۳-۵	۶۳۰۸۷	۳۰۴۱۲۵	۶۸۲۵	۶۳۰۸۷	۱۶۰۴۸	۱۳۸۳-۵	۲۲۰۹۶	۴۰۱۲	۸۰۲۴	۱۲۰۳۶	۱۳۰۶۵
۱۳۸۳-۶	۶۳۰۲	۴۰۲۳۲۵	۸۰۴۶۵	۶۳۰۲	۲۱۰۵۴۳۲	۱۳۸۳-۶	۸۷۰۵۸۹	۵۰۳۹۰۸	۱۰۰۷۸۱۶	۱۶۰۱۷۳۴	۱۶۰۹۳
۱۳۸۴-۳	۸۵۰۹۵۳۳	۶۷۰۵۵	۱۳۰۴۱۱	۸۵۰۹۵۳۳	۲۴۰۵۸۴	۱۳۸۴-۳	۶۰۰۱۴۶	۶۰۰۱۴۶	۱۲۰۰۲۹۲	۱۸۰۰۴۳۸	۲۶۰۸۲۲

منبع: محاسبات محققین



نمودار ۲- سهم مصارف مختلف از آب زرینه رود

با توجه به ارقام جدول ۲ و نمودار ۳، مشاهده می‌شود^۱ که حتی با فرض عدم بروز برگشت‌ناپذیری در دوره‌های قبل، برداشت‌های جاری همواره بیش‌تر از حد بهینه‌ای است که موجب ایجاد برگشت‌ناپذیری نشود. این موضوع حادث‌تر از آن است که به نظر می‌رسد، چرا برداشت‌های مذکور یک نرخ مثبت برای رشد برگشت‌ناپذیری را برای اکوسیستم فراهم می‌کنند (رابطه‌ی ۲۰). این موضوع سبب آسیب‌های جدی زیست‌محیطی می‌شود که علاوه بر افزایش نرخ برگشت‌ناپذیری و افزایش ارزش‌های از دست رفته موجبات صدمات جبران‌ناپذیر زیست‌محیطی می‌شود که نمونه‌ی آن در از بین رفتن و در معرض خطر قرار گرفتن اکوسیستم حوضه‌ی آبریز دریاچه‌ی ارومیه است.

از ارقام جدول ۲ و نمودار ۳ مشاهده می‌شود که اولاً میزان اختصاص آب به مصارف اقتصادی و اکوسیستم بستگی به میزان بارش دارد و در حقیقت با پذیرفته شدن شرایط طبیعی میزان اختصاص آب به اهداف مذکور بر مبنای تصمیمات بشری مدنظر قرار داده شده و این موضوع تأکید بر این نکته است که با توجه به شرایط داده شده باید حوائج جامعه‌ی انسانی با ملاحظات زیست‌محیطی همراه باشد و در مواقعی که فشارهای طبیعی از قبیل خشک‌سالی وجود داشته باشد، باید انسان با طبیعت در این فشارها

۱- نمودار به صورت لگاریتم ارقام شبیه‌سازی شده جهت مقایسه‌ی بهتر رسم شده است.

سهیم باشد و ثانیاً مشاهده می‌شود که نوساناتی در اختصاص آب به اکوسیستم، از نوسانات مصارف اقتصادی در دوره‌ی مورد مطالعه بیش‌تر است و از این واقعیت سرچشمه می‌گیرد که برداشت‌های اقتصادی بدون توجه به وضعیت و شرایط اکوسیستمی انجام می‌پذیرد. روند برداشت جهت مصارف اقتصادی یک وضعیت با ثبات و پایدار را دارد که بدون توجه به سطح بارش و منابع در دسترس است، در حالی که اختصاص آب به اکوسیستم به شرایط جوی وابسته است. در سال‌هایی که بارش زیاد بوده (طی ماه‌های سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۸۴)، میزان اختصاص آب به اکوسیستم به‌دلیل شرایط جوی بوده است که نشان دهنده‌ی عدم برنامه‌ریزی و عدم توجه به ملاحظات زیست محیطی در استفاده از منبع مذکور می‌باشد.

این موضوع نه تنها یک تهدید زیست محیطی است، بلکه حتی می‌تواند به تهدیدهای اجتماعی و انسانی تبدیل شده و علاوه بر فاجعه‌های زیست محیطی، فاجعه‌ی انسانی و اجتماعی، همانند آن‌چه در مورد دریاچه‌ی آرال مورد اشاره قرار گرفت، در این حوضه‌ی آبریز را موجب شود که نه تنها منطقه‌ی مذکور، بلکه کشور را تهدید کرده و ابعاد فرا ملی نیز پیدا کند.

۶- خلاصه و نتیجه‌گیری

زمانی که در تحلیل‌های اقتصادی این واقعیت در نظر گرفته شود که تصمیم‌گیری‌های مربوط به استفاده از منابع طبیعی غیرقابل برگشت هستند، آن‌گاه زمینه‌ی دفاع و حمایت از نظریه‌های مربوط به قابلیت پایداری منابع از بین می‌رود. اگر بشر در استفاده از منابع طبیعی به این نتیجه برسد که رفتار کنونی آن‌ها از بیش‌تر جنبه‌ها ناپایدار است، آن‌گاه تصمیم‌گیری‌های وی باید در وضعیت‌ها و زمان‌های مختلف بتواند تغییر کند. نظریه‌ی برگشت‌ناپذیری مطرح می‌کند که در فرآیند ارزش‌گذاری و برنامه‌ریزی جهت بهره‌برداری از ذخایر طبیعی باید این نکته مهم مد نظر قرار گیرد که ارزش ذخایر طبیعی در بلندمدت از یک ضریب فزاینده‌ی کمیابی قابل ملاحظه‌ای برخوردار است.

بررسی تجربی مطالعه‌ی حاضر نشان می‌دهد که حتی با فرض عدم وجود برگشت‌ناپذیری از دوره‌های قبل، برداشت‌های جاری همواره بیش‌تر از حد بهینه‌ای است که موجب ایجاد برگشت‌ناپذیری نشود. بر مبنای مسأله‌ی کنترل بهینه که برداشت بهینه را بر مبنای نرخ رشد برابر صفر برای برگشت‌ناپذیری در نظر می‌گیرد، اطلاعات موجود نشان می‌دهد که بهره‌برداری از منبع زیست محیطی مذکور بالاتر از حد بهینه

می‌باشد. اگر به این موضوع وجود منافع از دست رفته برگشت‌ناپذیر قبلی نیز اضافه شود، آثار منفی برداشت‌های غیربهبینه بیش‌تر خود را نشان می‌دهد.

فهرست منابع

- ۱- سازمان مدیریت منابع آب آذربایجان غربی (۱۳۹۰). مشخصات رودخانه‌های حوضه‌ی دریاچه‌ی ارومیه. دریافت شده به تاریخ ۱۳۹۰/۰۹/۱۰ از <http://www.agrw.ir/Farsi/SurfaceF.asp?nID=4&Id=18>
- ۲- شرزهای، غلامعلی (۱۳۹۰). ارزش‌گذاری خدمات اکوسیستمی، ارائه شده در سمینار محیط زیست، فرهنگستان علوم، تهران.
- ۳- مک گیلوری، ج و پرمن. ر (۱۳۸۷). اقتصاد محیط‌زیست و منابع طبیعی. ترجمه‌ی ارباب، حمیدرضا، نشرنی، تهران
- 4- Arrow, K. J., and Fisher, Anthony C. (1974). Environmental preservation, uncertainty, and irreversibility. *Quarterly Journal of Economics*, 88(2), 312-319. JSTOR.
- 5- Dasgupta, P., and Mäler, K.-G. (2003). The Economics of Non-Convex Ecosystems: Introduction. *Environmental and Resource Economics*, 26(4), 499-525. Springer.
- 6- Fisher, Anthony C., and Krutilla, John V. (1975). Resource Conservation, Environmental Preservation, and the Rate of Discount. *Quarterly Journal of Economics*, 89(3), 358-370.
- 7- Fisher, Anthony C., and Krutilla, John V. (1985). Economics of nature preservation. *Science*, 1, 165-189.
- 8- Fisher, Anthony C. (2000). Investment under uncertainty and option value in environmental economics. *Resource and Energy Economics*, 22(3), 197-204.
- 9- Forester A. Bruce. (1980). Optimal Energy Use in a Polluted Environment. *Journal of Environmental Economics and Management*, 7, 321-333.
- 10- Krutilla, J V., and Fisher, A C. (1975). The Economics of Natural Environments: Studies in the Valuation of Commodity and Amenity Resources. *Resources For the Future*, Washington ST - The Economics of Natural Environm. *Resources For the Future*.
- 11- Perman, R. (1996). *Environmental and natural resource economics*. New York, p. xxv, 699 p., Longman.
- 12- Perman, R. (2003). *Natural resource and environmental economics. Framework*, Vol. 3, p. 660, Pearson Education.

- 13- Pindyck, R. (2002). Optimal timing problems in environmental economics. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 26(9-10), 1677-1697.
- 14- Postel, Sandra. (1999). *Last Oasis: Facing Water Scarcity*. W. W. Norton and Co.; 2nd edition.
- 15- Smith, R. B. W., Kumar, P., and Roe, T. L. (2010). *Economics and Ecosystems: Efficiency, Sustainability and Equity in Ecosystem Management*. TEEB. Edward Elgar.
- 16- Stern, D. I. (1997). Limits to substitution and irreversibility in production and consumption: A neoclassical interpretation of ecological economics. *Ecological Economics*, 21(3), 197-215.
- 17- Swallow, S. K. (1990). Depletion of the environmental basis for renewable resources: The economics of interdependent renewable and nonrenewable resources. *Journal of Environmental Economics and Management*, 19(3), 281-296. Elsevier.