نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره4، جلد 11، مهر - آبان 1396، ص. 551-539

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 4, Vol. 11, Oct.-Nov. 2017, p. 539-551

نگرشی نوین بر هیدرولوژی کلاسیک

آمنه میان‌آبادی[1*]، حجت میان‌آبادی[2]، امین علیزاده[3]

تاریخ دریافت: 1395/10/1 تاریخ پذیرش: 1395/10/29

چکیده

با توجه به افزایش فعالیت‌های انسانی در طبیعت و اثرات آن بر محیط زیست و منابع آبی، لزوم تغییر رویکرد در مدل‌سازی هیدرولوژی اجتناب‌ناپذیر است. برای مدل‌سازی بهتر رفتار هیدرولوژیکی حوضه‌ها به‌ویژه با درنظرگرفتن دخالت انسان در طبیعت، متخصصان هیدرولوژی باید درک درستی از هیدرولوژی، مدل و مدل‌سازی داشته باشند. بنا به تعریف، علم هیدرولوژی که رفتار آب را در بالا، رو و داخل زمین توصیف می‌کند، یک علم چندبخشی است که ارتباط بین علوم زمین و علوم زیستی را بررسی می‌کند. مدل‌سازی در هیدرولوژی با دو رویکرد نیوتنی و داروینی انجام می‌شود و بر اساس این رویکردها، رویکردهای پایین- بالا و بالا- پایین توسعه یافته‌اند. با توجه به مزایا و معایب هر رویکرد، ترکیب این دو رویکرد می‌تواند به فهم بهتر سیستم هیدرولوژیکی حوضه‌ها و مدل‌سازی آن کمک کند. در این مقاله با مرور مطالعات صورت گرفته، به مباحث مطرح شده جدید در زمینه مدل‌سازی هیدرولوژی و چالش‌های جدید مربوط به آن پرداخته می‌شود. بر اساس مطالعات صورت گرفته برای درک بهتر سیستم‌های درهم تنیده جفت شده انسان- محیط باید نگرش خود را به علم هیدرولوژی تغییر داده و رویکرد جدیدی در این زمینه اتخاذ شود. پیدایش علوم جدید هیدرولوژی اجتماعی و علم پایداری نشان از نقش غیرقابل انکار انسان در محیط زیست و اهمیت زیاد توسعه پایدار دارد که برای رسیدن به این هدف باید با تغییر سیستم آموزش هیدرولوژی متخصصان جوان هیدرولوژی را برای مدیریت چالش‌های جدید مربوط به منابع آبی در جهان در حال تغییر آماده کرد.

واژه‌های کلیدی: آموزش هیدرولوژی، توسعه پایدار، سیستم‌های درهم تنیده، علم پایداری، هیدرولوژی اجتماعی

مقدمه

هیدرولوژی چیست؟

از دیدگاه ساواناى "هیدرولوژی علم زمین است"، "علمی که وقوع و رفتار آب را در بالا، رو و داخل زمین توصیف می‌کند" (Savenije., 2009). اما او معتقد است که هر فرد با توجه به زمینه تخصصی خود می‌تواند تفسیر متفاوتی از تعریف هیدرولوژی داشته باشد. به‌عنوان مثال، خاک‌شناسان یا مهندسین کشاورزی هیدرولوژی را از منظر منطقه غیراشباع خاک و متخصصان هیدرولوژی آب‌های زیرزمینی، از منظر منطقه اشباع خاک به تفسیر هیدرولوژی می‌پردازند. در علم هیدرولوژی نمی‌توان از یک منظر خاص به بررسی پدیده‌های هیدرولوژی پرداخت، چرا که بخش‌های مختلف یک سیستم حوضه آبریز دارای اثرات متقابل و بازخوردهایی هستند که تنها از طریق فراتر رفتن از مرزهای تخصصی می‌توان آن‌ها را توضیح داد (Savenije, 2009). به عنوان مثال ناهنجاری موجود در رفتار هیدرولوژی دلتای اوکاوانگو[1]، با درنظر گرفتن اثر متقابل بین آب زیرزمینی و سطحی و اثر متقابل بین بارش، تبخیر و سیل تولید شده از رودخانه اوکاوانگو، توسط (Wolski et al., 2006) توضیح داده شد. نگاه صِرف به بخشی از یک حوضه و درنظر نگرفتن اثرات متقابل و بازخوردها می‌تواند باعث خطاهایی در مدل‌سازی هیدرولوژی شود، بنابراین باید توجه داشت که"هیدرولوژی یک علم میان رشته‌ای است که ارتباط بین علوم زمین و علوم زیستی را برقرار می‌کند" (Savenije., 2009).

مدل چیست؟

به اعتقاد ساواناى (Savenije., 2009) دیدگاه یک دانشمند و یک مهندس نسبت به مدل متفاوت است: از نظر دانشمندان، مدل "فرضیه‌ای از کارکرد دنیای واقعی" است که به صورت کد نوشته می‌شود و باید مورد آزمون قرار گیرد، اما از دید یک مهندس، "مدل لزوما یک ابزار است". دانشمند در جستجوی این است که بداند کدام بخش مدل و مهم‌تر از آن چرا اشتباه است تا بتواند مدل بهتری بسازد، اما "مهندس مدل را به عنوان بهترین گزینه موجود، برای حل

1- فارغ تحصیل دکترای گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد
2- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه تربیت مدرس
3- استاد گروه پژوهشی زیست محیطی خاوران، مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: ammianabadi@gmail.com)

مسئله و تصمیم‌گیری استفاده می‌کند" (Savenije., 2009). ساده سازی‌ها، کمبود دانش، داده‌ها و اطلاعات، عدم قطعیت و عدم واسنجی و صحت‌سنجی مناسب باعث می‌شود که مدلی که در یک منطقه خاص با شرایط خاص و با دانش فعلی طراحی شده است، لزوماً برای هر منطقه و شرایط خاص دیگری قابل استفاده نباشد. همچنین با توجه به ساختار متفاوت مدل‌های مختلف، دانشمند در جستجوی این است که به جای استفاده مستقیم از یک مدل، ساختار مدل را بررسی، ایرادات ممکن را برطرف و خطاهای آن را با توجه به دانش مناسبی که از شرایط سیستم خود دارد، کاهش دهد. بنابراین به اعتقاد ساوانای (Savenije., 2009) هدف از مدل‌سازی هیدرولوژی در یک حوضه، پیدا کردن یک مدل خوب نیست، چرا که در واقع چیزی به عنوان مدل خوب وجود ندارد، بلکه هدف از مدل‌سازی باید توسعه یک مدل بهتر باساختار مناسب‌تر، اجرای بهتر و عدم قطعیت کم‌تر باشد (Savenije, 2009). مدل هیدرولوژی فرضیه‌ای است که باید مورد آزمون قرار بگیرد و کاملاً انعطاف‌پذیر و مخصوص شرایط حوضه مورد مطالعه باشد (Savenije., 2009) (مانند مدل FLEX (Fenicia et al., 2008). بنابراین نمی‌توان از مدل هیدرولوژی که برای یک حوضه در شرایط خاصی (مثلا یک حوضه پرآب در هلند) توسعه یافته است، برای سایر حوضه‌ها (مثلا یک حوضه خشک در ایران) استفاده نمود. چنین شرایطی مانند این است که فردی به خیاط مراجعه کند و خیاط به جای این‌که بر اساس اندازه فرد برای او لباس بدوزد، لباسی که به اندازه دیگری آماده شده است به او بدهد!

مدل‌سازی یک‌پارچه و توزیعی

مدل‌های یک‌پارچه، حوضه آبریز را به صورت یک واحد منفرد در نظر می‌گیرند و متغیرها و پارامترها به صورت مقادیر متوسط در سطح حوضه وارد مدل می‌شوند (Qi and Grunwald, 2005; Refsgaard., 1990). این مدل‌ها تنها تابعی از زمان هستند. در مدل‌سازی توزیعی، حوضه آبریز به شبکه‌های همگن کوچک‌تری تقسیم شده و معادلات فیزیکی در هر شبکه حل می‌شوند (Refsgaard., 1997). این مدل‌ها علاوه بر زمان، تابعی از مکان نیز هستند. به طور کلی مهم‌ترین تفاوت بین مدل‌های یک‌پارچه و توزیعی نحوه در نظر گرفتن تغییرات مکانی پارامترها در این مدل‌ها می‌باشد (Qi and Grunwald, 2005). برخلاف مدل‌های توزیعی که نیاز به داده‌های ورودی زیادی دارند و محاسبات و اجرای آن‌ها زمان‌بر است، مدل‌های یک‌پارچه با داده‌های کم‌تر و در زمان سریع‌تر قابل اجرا هستند. اما علی‌رغم داشتن این مزیت، مدل‌های یک‌پارچه مبنای فیزیکی نداشته و بر اساس روابط تجربی ارایه می‌شوند. وجود ساختار پیچیده و نیاز به داده‌های زیاد از یک سو و مشکلات مربوط به واسنجی، اعتبارسنجی، عدم قطعیت و اصل هم پایانی (Beven., 2001) از سوی دیگر باعث شده است که کاربرد مدل‌های توزیعی برای پیش‌بینی مولفه‌های هیدرولوژی در دوره‌های آینده به‌ویژه در حوضه‌های فاقد داده‌های اندازه‌گیری با محدودیت روبه‌رو باشد. برای ارایه پیش‌بینی‌های مناسب برای آینده در حوضه‌های مختلف (دارای داده یا فاقد داده)، لازم است که درک مناسبی از نحوه چگونگی کارکرد سیستم هیدرولوژی حوضه داشته باشیم (Sivapalan et al., 2003). اگر مدل بتواند ماهیت و رفتار هیدرولوژیکی یک حوضه دارای داده را به خوبی شبیه‌سازی کند، می‌توان با اعتماد بیش‌تری از آن برای حوضه‌های فاقد داده یا برای پیش‌بینی استفاده نمود (Sivapalan et al., 2003).

رویکرد نیوتنی[2](فرآیندهای فیزیکی) و رویکرد داروینی[3] (هم تکاملی[4]) در هیدرولوژی

از نظر علمی، دو رویکرد برای فهم چگونگی کارکرد سیستم‌ها وجود دارد: رویکرد نیوتنی (مبتنی بر رویکرد پایین- بالا[5]) و رویکرد داروینی (مبتنی بر رویکرد بالا- پایین[6]). در رویکرد نیوتنی در هیدرولوژی فرآیندهای هیدرولوژیکی حوضه با توجه به شرایط اولیه، شرایط مرزی و پارامترهای مدل و با استفاده از قوانین حرکت نیوتن به ویژه معادله ممنتم و معادلات پیوستگی جرم و انرژی مدل می‌شوند (Wang and Tang., 2014). در رویکرد داروینی فرآیندهای هیدرولوژیکی به صورت جزیی بررسی نمی‌شوند، بلکه رفتار هیدرولوژیکی به صورت یک سیستم کلی مورد بررسی قرار می‌گیرد (Harman and Troch., 2014). رویکرد داروینی به دنبال یافتن الگوی مکانی و زمانی ساده و درعین حال قدرتمندی برای مدل کردن رفتار هیدرولوژیکی مجموعه‌ای از سیستم‌های هیدرولوژی و ارایه فرضیه‌ای برای توضیح ارتباط بین الگوی مشاهده شده با مکانیسم‌ها و شرایط تولیدکننده این الگوهاست (Harman and Troch., 2014).

رویکرد پایین- بالا

توسعه مدل‌های هیدرولوژی شامل 5 مرحله است (Blschl and Sivapalan., 1995) 1- جمع آوری و تحلیل داده‌ها، 2- توسعه یک مدل مفهومی[7]، 3- تبدیل مدل مفهومی به مدل ریاضی، 4- واسنجی مدل و 5- صحت‌سنجی مدل. مدل‌هایی که به این طریق توسعه می‌یابد، مدل‌های فرآیند مبنا یا فیزیک مبنا نامیده می‌شوند، و رویکردی که باعث تولید چنین مدل‌هایی می‌شود را پایین- بالا، تقلیل گرایی[8] یا مکانیکی[9] (با رویکرد نیوتنی) می‌نامند (Sivapalan et al., 2003). مبنای رویکرد پایین-بالا این است که می‌توان با پیش‌بینی و مدل‌سازی پاسخ حوضه در مقیاس‌های زمانی و مکانی کوچک‌تر، پاسخ سیستم حوضه آبریز را در مقیاس‌های بزرگ‌تر به

دست آورد (Jarvis., 1993; Klemes., 1983).

رویکرد پایین- بالا در هیدرولوژی ابتدا توسط فریز و هارلان (Freeze and Harlan., 1969) مورد توجه قرار گرفت و پس از آن مطالعات بسیاری برای مدل‌سازی هیدرولوژی از الگوی آن‌ها پیروی کردند. هدف این مطالعات این بود که در صورت پیش‌بینی موفق فرآیندهای هیدرولوژیکی در مقیاس کوچک‌تر در یک حوضه، بتوانند این فرآیندها را در مقیاس بزرگ‌تر نیز با اطمینان پیش‌بینی کنند. اما مطالعات بیون (Beven., 1989) و گرایسون و همکاران (Grayson et al., 1992) نشان داد که نمی‌توان به چنین نتیجه‌ای به آسانی دست یافت، چرا که اهمیت برخی فرآیندها در یک مقیاس، لزوما به معنی اهمیت آن‌ها در مقیاس بزرگ‌تر یا کوچک‌تر نیست (Blschl and Sivapalan., 1995).

رویکرد بالا- پایین

رویکرد بالا- پایین توسط کلمس (Kleme., 1983) ارایه شد. در این رویکرد ابتدا بررسی پاسخ هیدرولوژیکی در مقیاس زمانی بلند مدت (سالانه) و مقیاس مکانی بزرگ (حوضه) و سپس به صورت جزیی‌تر در مقیاس‌های زمانی و مکانی کوچک‌تر انجام می‌شود. به این دلیل مدل‌هایی که با این رویکرد توسعه یافتند را مدل‌های بالا- پایین می‌گویند (Jarvis., 1993). تفاوت مهم این رویکرد با رویکرد پایین – بالا این است که در رویکرد بالا- پایین، ساختار مدل از رفتار داده‌ها منشا می‌گیرد و بر اساس مبنای فیزیکی از پیش تعیین شده نمی‌باشد (Sivapalan et al., 2003). مزیت اصلی رویکردهای بالا- پایین کاهش نیاز به داده و کاهش پیچیدگی مدل‌هاست (Littlewood et al., 2003). در رویکرد بالا- پایین مدل‌سازی به صورت گام به گام یا توالی انجام می‌شود، به این معنی که ابتدا عوامل کنترل کننده اولیه در مدل‌سازی پاسخ حوضه مورد بررسی و استفاده قرار می‌گیرند و سپس با توجه به نیاز مدل و در صورت عدم تطبیق داده‌های مشاهداتی با خروجی مدل، می‌توان پیچیدگی مدل را افزایش داده و عوامل کنترل کننده ثانویه را وارد مدل کرد (Sivapalan et al., 2003).

رویکرد بالا- پایین ریشه در رویکرد سیستم‌ها که اولین بار توسط زیست‌شناس اتریشی (Von Bertalanffy., 1968) ارایه شد (Heylighen and Joslyn., 1995)، دارد (Sivapalan et al., 2003). در حالی‌که رویکرد تقلیل‌گرایی بر تک، تک مولفه‌ها یا فرآیندهایی که سیستم کل را می‌سازد تاکید دارد، اما بر اساس تعریف هیلیگن و جوسلین (Heylighen and Joslyn., 1995) نظریه سیستم‌ها بر کل سیستم متمرکز است. سیواپالان و همکاران معتقدند که با درنظر گرفتن این نکته که خصوصیات تک، تک فرآیندها نشان‌دهنده خصوصیات کل سیستم نیست، بنابراین برای مطالعه خصوصیات اجزای یک سیستم باید درک کاملی از کل سیستم داشته و اثرات متقابل، بازخوردها و روابط بین بخش‌های مختلف یک سیستم را نیز در نظر گرفت (Sivapalan et al., 2003).

یک نمونه از مدل‌های هیدرولوژی که با رویکرد بالا- پایین توسعه یافته است، چارچوب بادیکو[10] است. بادیکو رابطه ساده‌ای برای تخمین تبخیر سالانه به صورت تابعی از انرژی سالانه (تابش خالص) و بارش سالانه ارایه کرد (Budyko., 1974) که منحنی بادیکو[11] نام گرفت. پیش از آن شریبر (Schreiber., 1904)، اولدکاپ (Ol'dekop., 1911)، تورک (Turc., 1954) و پایک (Pike., 1964) معادلات دیگری که تبخیر را تنها تحت تاثیر اقلیم بزرگ مقیاس (تبخیر پتانسیل و بارش سالانه) می‌دانستند، ارایه کردند. منحنی‌های بادیکو که برای مقیاس زمانی سالانه و مقیاس مکانی حوضه ارایه شدند، نمونه خوبی از رویکرد بالا- پایین است که اثر متقابل دینامیکی بین اقلیم، خاک و پوشش گیاهی و کنترل آن‌ها بر بیلان آب را نشان می‌دهد (Sivapalan et al., 2003). میلای برای تخمین تبخیر متوسط سالانه چارچوبی نظری با استفاده از مدل‌سازی استاتیکی- دینامیکی ارایه کرد (Milly., 1993; 1994). بر اساس این چارچوب تخمین متوسط بلند مدت تبخیر بر اساس اندرکنش بارش و تبخیر پتانسیل و با درنظر گرفتن ذخیره آب خاک صورت می‌گیرد. وی نشان داد در صورتی‌که ذخیره خاک در مقایسه با بارش زیاد باشد، کاهش رواناب و افزایش تبخیر را به دنبال دارد. بنابراین علاوه بر بارش و تبخیر پتانسیل، ظرفیت رطوبتی منطقه ریشه یکی از مهم‌ترین عوامل موثر بر تعیین مولفه‌های بیلان آب می‌باشد. مدل کلی که میلای برای بررسی کنترل اقلیم و حوضه بر بیلان آب سالانه استفاده کرد بسیار ساده‌تر از مدل‌های فرآیند- مبنای پیچیده ایگلسون (Eagleson., 1978) است (Sivapalan et al., 2003). پس از میلای، چادوری (Choudhury., 1999) اثر تغییرپذیری مکانی بارش و انرژی (تبخیر پتانسیل) را بر منحنی‌های بادیکو مورد بررسی قرار داد. بر اساس مدل ساده ارایه شده توسط ژانگ و همکاران (Zhang et al., 2001) تبخیر سالانه علاوه بر بارش و تبخیر پتانسیل، تحت تاثیر ظرفیت آب در دسترس گیاه نیز می‌باشد. مدل آن‌ها نشان داد که در شرایط اقلیمی یکسان، میانگین بلند مدت تبخیر تحت تاثیر خصوصیات پوشش گیاهی قرار می‌گیرد. وانگ و علیمحمدی نشان دادند که میزان رطوبت اولیه خاک به ویژه در حوضه‌های آبریز مناطق خشک دارای اهمیت زیادی در بیلان آب می‌باشد (Wang and Alimohammadi., 2012). علاوه بر مطالعات فوق، مطالعات دیگری برای بررسی اثر عوامل کنترل کننده دیگر که بر تبخیر و رواناب موثر هستند، بر روی منحنی‌های بادیکو انجام شده است که از آن جمله می‌توان به مطالعات چن و همکاران، دو و همکاران، گریو و همکاران، هان و همکاران، وانگ و ژو و ژانگ و همکاران اشاره کرد (Chen et al., 2013; Du et al., 2016; Greve et al., 2016; Han et al., 2011; Wang and Zhou,

(2016; Zhang et al., 2015). با توجه به توضیحات داده شده، توسعه چهارچوب بادیکو و تکمیل شدن آن در طی زمان نمونه‌ای از مدل‌سازی بالا- پایین است. در این مدل در ابتدا بر اساس رفتار هیدرولوژیکی حوضه در مقیاس بزرگ زمانی و مکانی، تبخیر متوسط سالانه تخمین زده شده و سپس با رویکرد بالا- پایین سایر عوامل موثر بر تبخیر در مقیاس‌های کوچک‌تر مورد بررسی قرار گرفت.

بر اساس پیشنهاد کلمس (Kleme., 1983) و هارت (Harte., 2002)، سیواپالان و همکاران توصیه کرده‌اند که با توجه به مزایا و معایب رویکردهای بالا- پایین و پایین- بالا، کاربرد این دو رویکرد در کنار هم و نه در مقابل هم، می‌تواند موجب پیشرفت‌های بزرگی در علم هیدرولوژی شود (Sivapalan et al., 2003).

هنر مدل‌سازی

به گفته کینزلباخ، علم و فناوری دو اصل مهم در هیدرولوژی هستند که برای حل مسایل هیدرولوژی باید درکنار هم قرار گیرند (Kinzelbach., 2008). اما ساوانای تاکید دارد که علم و فناوری به تنهایی کافی نیستند، بلکه توسعه و آزمودن فرضیه‌های هیدرولوژی نیازمند بینش (درک)، مهارت، تخیل و خلاقیت است که این ویژگی‌ها عموما به رشته هنر تعلق دارند (Savenije., 2009). بنابراین به عقیده ساوانای مدل‌سازی در هیدرولوژی یک هنر است (Savenije., 2009). در هیدرولوژی معمولا اثرات متقابل پیچیده بین آب و خاک و تبادل جرم و انرژی بین بخش‌های مختلف یک حوضه قابل مشاهده نیست؛ به علاوه، محیطی که آب در آن جریان دارد، در هر مقیاسی به شدت ناهمگن است (Savenije., 2009). به همین دلیل نمی‌توان از رویکرد پایین- بالا یا تقلیل‌گرایی به تنهایی در هیدرولوژی استفاده نمود.

بر اساس نظر ساوانای روش صحیح برای توسعه یک مدل این است که ابتدا رفتار هیدرولوژیکی یک حوضه را بررسی کنیم، سپس فرضیه مکانیسم‌های غالب موثر بر فرآیندهای هیدرولوژیکی را تعریف کنیم و این مکانیسم‌ها را توسط آزمایشات و تحلیل داده‌ها بیازماییم (Savenije., 2009)، بنابراین بهترین روش برای این کار رویکرد بالا- پایین است که از رویکرد دارویینی یا کلی‌گرایی[12] سرچشمه می‌گیرد. ساوانای تاکید کرده است که برای پیداکردن راه حل‌های مهندسی برای مسایل مربوط به آب، باید علم و فناوری را باهم درنظر گرفت، اما هنگامی که نیاز به توسعه بینش‌ها و رویکردهای جدید است، هنر عنصری ضروری در تحقیقات هیدرولوژی است که باید در کنار علم و فناوری قرار گیرد (Savenije., 2009).

هیدرولوژی اجتماعی

یکی از مسایل مهمی که اخیرا مورد توجه متخصصان هیدرولوژی قرار گرفته است، نقش مردم و فعالیت‌های انسانی (جامعه) در پاسخ هیدرولوژیکی حوضه‌هاست. به طوری‌که علم جدید هیدرولوژی اجتماعی (Sivapalan et al., 2012) وارد مطالعات هیدرولوژی شده است. پیش از این، نقش فعالیت‌های انسان در مدیریت منابع آب (با فرض ثابت بودن) به عنوان واداشت خارجی در چرخه آب درنظر گرفته می‌شد (Milly et al., 2008; Peel and Bloschl., 2011)، اما در هیدرولوژی اجتماعی، انسان و فعالیت‌های انسانی به عنوان بخشی از چرخه آب درنظر گرفته می‌شود. سیواپالان و همکاران، هیدرولوژی اجتماعی را به عنوان علم جدید انسان و آب معرفی می‌کنند که هدف آن درک پویایی و هم‌تکاملی سیستم‌های جفت شده انسان-آب است (Sivapalan et al., 2012). آن‌ها با ارایه مثالی از حوضه رودخانه موروممبیج[14] در استرالیا اهمیت هیدرولوژی اجتماعی را مورد توجه قرار دادند. در این حوضه به دلیل افزایش جمعیت و افزایش نیاز به غذا و صادرات محصولات کشاورزی، مزارع کشت آبی گسترش و برداشت از آب رودخانه افزایش یافت. با امکان دسترسی به تکنولوژی و ساخت سازه‌های آبی (سدها و سرریزها) برای تامین آب آبیاری، مزارع کشاورزی به سمت بالادست جریان گسترش یافت که این مسئله باعث ایجاد مخاطرات زیست محیطی برای رودخانه شد. پس از گذشت 30 سال از شروع بحران در این منطقه و به دلیل خشکسالی‌های طولانی‌مدت در حوضه رودخانه، دولت در سال 2007 اجرای طرحی برای حفظ محیط زیست و کمک به کشاورزان در شرایط خشکسالی را آغاز کرد. در این طرح دولت حق‌آبه کشاورزان را خریده و سازه‌های جدیدتری برای افزایش راندمان کاربرد آب و حفظ محیط زیست تاسیس کرد. به عنوان مثال دولت حق‌آبه برنج-کاران در بالادست حوضه را خریده و در فصول کم آب، به باغبانان پایین دست می‌فروخت. اتخاذ قوانین جدید باعث نارضایتی کشاورزان شده و واکنش آن‌ها را در پی داشت.

مسایل به وجود آمده در حوضه رودخانه موروممبیج نمونه‌ای از اثر تغییرات اجتماعی در رفتار هیدرولوژیکی است و بررسی این رفتار بدون در نظر گرفتن اثرات متقابل و بازخوردهای سیستم هیدرولوژیکی با سیستم انسانی به آسانی امکان‌پذیر نخواهد بود (Sivapalan et al., 2012). مشکل حوضه رودخانه موروممبیج و موارد مشابه دیگر این سوال را در پی دارد که اثر تغییرات اجتماعی بر پویایی چرخه آب چیست و پیش‌بینی شرایط آینده با درنظر گرفتن نقش انسان، در حیطه وظایف هیدرولوژیست‌هاست یا جامعه شناسان (Sivapalan et al., 2012)؟ لوی و همکاران معتقدند که در حل مشکلات آبی، تاکنون نقش انسان که هم در ایجاد این چالش‌ها سهیم بوده و هم قدرت سازگاری با چالش‌ها را دارد، درنظر گرفته نشده است (Levy et al., 2016).

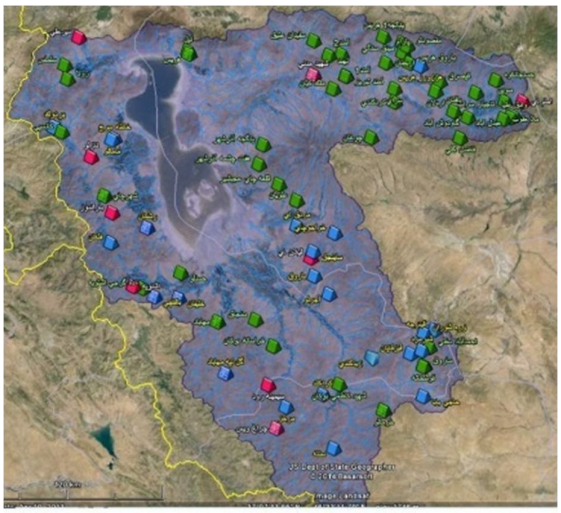
ارتباط هیدرولوژی با رشته‌های دیگر علمی از جمله خاک‌شناسی، اکولوژی، فیزیولوژی گیاهی و ژئومورفولوژی باعث گسترش افق علم

هیدرولوژی و بهبود پیش‌بینی‌ها شده است (Sivapalan et al., 2012). به عنوان مثال رشته اکوهیدرولوژی ارتباط و هم تکاملی پوشش گیاهی و آب را بررسی می‌کند (Berry et al., 2005; Eagleson., 1982; Rodriguez-Iturbe., 2000). هیدرولوژی اجتماعی نیز مشابه اکوهیدرولوژی است، با این تفاوت که به جای پوشش گیاهی، رفتار انسان را در ارتباط با آب مورد توجه قرار می‌دهد (Sivapalan et al., 2012). اما باید توجه داشت که چالش‌های هیدرولوژی اجتماعی بسیار بیش‌تر از اکوهیدرولوژی است، چرا که انسان‌ها ابزار و روش‌های کنترل قدرتمندتری نسبت به پوشش گیاهی برای کنترل دینامیک چرخه آب دارند و برخلاف پوشش گیاهی که خود را با محیط سازگار می‌کند، انسان محیط را با خود سازگار می‌کند (Sivapalan et al., 2012). پمپاژ (حرکت آب بر خلاف حرکت طبیعی آن) و انتقال آب به صورت آب مجازی نمونه‌هایی از مولفه‌های اجتماعی حاصل از فعالیت بشر هستند که باعث پیچیدگی سیستم انسان- آب می‌شوند و باید در هیدرولوژی اجتماعی مورد توجه قرار گیرند (Sivapalan et al., 2012). بنابراین به‌طور کلی می‌توان گفت هیدرولوژی اجتماعی علم جدیدی است که نقش انسان به عنوان بخش درونی مهمی از چرخه آب (Thompson et al., 2013; Vogel et al., 2015) و اثرات متقابل آن با سیستم را از طریق مصرف آب برای تامین غذا، انرژی، آب آشامیدنی، آلودگی منابع آب، سیاست‌گذاری‌ها، بازارها و فناوری‌ها مورد بررسی قرار می‌دهد (Sivapalan et al., 2012). هیدرولوژی اجتماعی تنها اصول و فرضیه‌های فیزیکی را در نظر نمی‌گیرد، بلکه به دنبال روش جامعی برای بررسی چالش‌های سیستم‌های آبی از طریق درگیر کردن فعالیت های اجتماعی است (Lane, 2013; Savenije et al., 2013; Troy et al., 2015).

نمونه‌ای از نقش فعالیت‌های انسانی در فرآیندهای هیدرولوژیکی حوضه‌های آبریز در ایران که هیدرولوژی اجتماعی می‌تواند به مطالعه آن بپردازد، حوضه دریاچه ارومیه است. این حوضه یکی از حوضه‌های پرتنش در ایران است که به دلیل خشک شدن بخش عظیمی از دریاچه طی سال‌های گذشته، اهمیت زیادی پیدا کرده است. تاکنون دلایل مختلفی برای خشک شدن دریاچه ارومیه ذکر شده است که از جمله آن‌ها می‌توان به اقدامات و سیاست‌گذاری‌های نامناسب درسال‌های گذشته، عدم وجود حکم‌رانی مناسب، سومدیریت منابع آب و خاک، توسعه ناپایدار، بهره‌برداری‌های غیراصولی، توسعه نامتعارف باغ‌ها و اراضی کشاورزی، افزایش چاه‌های غیرمجاز و تغییر اقلیم اشاره کرد. بنابراین به نظر می‌رسد ترکیب دو عامل فعالیت‌های انسانی و تغییرات اقلیمی باعث خشک شدن دریاچه ارومیه شده است (Fathian et al., 2015; Hamzekhani et al., 2016; Jalili et al., 2016). این در حالی است که آقاکوچک و همکاران نشان دادند که در سطح اطمینان 95 درصد روند معنی‌داری در خشک‌سالی (بر اساس شاخص SPI) در سه دهه گذشته در این حوضه وجود نداشته است (AghaKouchak et al., 2015). بنابراین به نظر می‌رسد برداشت بیش از حد آب‌های سطحی ورودی به دریاچه ارومیه و آب‌های زیرزمینی، سدسازی و پروژه‌های آبیاری عامل اصلی خشک شدن دریاچه ارومیه باشد (AghaKouchak et al., 2015). بر اساس اطلاعات ستاد احیای دریاچه ارومیه، در حوضه آبریز دریاچه ارومیه 32 رودخانه بزرگ و کوچک وجود دارد که جداگانه و یا پس از اتصال به یکدیگر به دریاچه می‌ریزند. تا سال 1392 در مجموع بیش از 85 سد مخزنی بر روی سرشاخه‌های تغذیه کننده دریاچه مطالعه، اجرا و بهره‌برداری شده است که شامل 53 سد در حال بهره‌برداری، 9 سد در حال اجرا و 23 سد در حال مطالعه می‌باشد (شکل 1).

ایجاد پروژه‌های آبی در جهت توسعه اقتصادی در استان‌های بالادست و ساخت گذرگاه 15 کیلومتری برای توسعه حمل و نقل باعث ایجاد مشکلات بیش‌تر در حوضه شده است (AghaKouchak et al., 2015) از سوی دیگر با توسعه شبکه‌های آبیاری، سطح زیر کشت محصولات کشاورزی در حوضه دریاچه ارومیه در 15 سال گذشته بیش از 7 برابر شده است (Iran Ministry of Energy., 2014) که این گسترش کشاورزی به همراه کشت محصولات آب‌بر باعث ایجاد این فاجعه زیست محیطی شده است (Hassanzadeh et al., 2012; Madani, 2014). سطح زیر کشت آبی کنونی در حوضه دریاچه ارومیه حدود 500 هزار هکتار برآورد شده است که نسبت به اوایل دهه 1350 حدود 200 هزار هکتار افزایش یافته است که این افزایش در فاصله سال‌های 1388 تا 1393 بسیار قابل ملاحظه بوده است (ستاداحیای دریاچه ارومیه، 1394). افزایش سطح زیرکشت در این سال‌ها که با خشک‌سالی نیز همراه بوده است، ناشی از سیاست‌های دولت برای توسعه بخش کشاورزی بوده است (ستاد احیای دریاچه ارومیه، 1394). تحقیقات کمالی و یوسف زاده جلیلی نیز نشان داد که مساحت اراضی آبی زراعی و باغی در سال 2013 نسبت به سال 1976، 1/36 برابر افزایش یافته است (4337 کیلومترمربع در سال 2013 و 3186 کیلومترمربع در سال 1976) (کمالی و یوسف زاده جلیلی، 1394). براساس گزارش ستاد احیای دریاچه ارومیه از 88 هزار حلقه چاه حفر شده در حوضه حدود40 هزار حلقه آن غیرمجاز است که باید مسدود شوند (ستاد احیای دریاچه ارومیه، 1394). اگر چه اقدامات اجتماعی موثر بر خشکی دریاچه ارومیه تنها به منابع آب سطحی محدود نمی‌شود، اما بنا به اظهار نظرهای رسمی، مسدود کردن چاه‌های غیرمجاز اولویت اصلی برنامه‌های ستاد احیا دریاچه ارومیه نمی‌باشد و اولویت بیش‌تر بر روی کنترل آب‌های سطحی است، چرا که شناسایی و پلمپ چاه‌های غیرمجاز به طور حتم با مشکلات اجتماعی و سیاسی بیش‌تری مواجه است. با توجه به آن‌چه که گفته شد، توسعه کشاورزی به منظور حل مشکل تامین غذا برای جمعیت رو به رشد در بخشی از حوضه، باعث ایجاد مشکلاتی در

بخش‌های دیگر حوضه شده است، به طوری‌که علاوه بر خشک شدن دریاچه، افزایش غلظت نمک آب دریاچه و وزش بادهای نمکی مشکلاتی را برای حوضه ایجاد کرده است. وزش بادهای نمکی علاوه بر ایجاد بیماری‌های خطرناک برای مردم، باعث کاهش سطح زیر کشت محصولات نیز شده است. براساس اظهارات مدیر کل منابع طبیعی استان آذربایجان‌غربی به‌دلیل ریزگردهای نمکی بیش از 80 درصد فعالیت‌های زنبورداری در شرق دریاچه ارومیه متوقف شده و تولید محصولات کشاورزی نیز 30 درصد کاهش یافته است. با توجه به کاهش سطح آب دریاچه می‌توان انتظار داشت که تبخیر از سطح دریاچه نیز نسبت به سال‌های قبل کاهش یابد. از سوی دیگر افزایش دما می‌تواند باعث افزایش تبخیر از سطح دریاچه شود. همچنین پیشنهادات ارایه شده برای طرح‌های انتقال آب از حوضه‌های دیگر به حوضه ارومیه که تبعات اجتماعی و سیاسی خاص خود را به دنبال خواهد داشت، بر درهم تنیدگی این سیستم خواهد افزود.



شکل 1- توزیع مکانی سدهای درحال مطالعه (رنگ آبی)، اجرا (رنگ قرمز) و بهره‌برداری شده (رنگ سبز) در حوضه دریاچه ارومیه (ستاد احیای دریاچه ارومیه)

تغییرات ناشی از محرک‌های پویای درونی و بیرونی از جمله جمعیت، تغییر سبک زندگی، تغییر نظام‌ها و ساختارهای فرهنگی و اجتماعی به‌همراه فعالیت‌های اقتصادی و رویکردهای سیاسی جوامع مختلف اثرات عمده‌ای بر رفتار هیدرولوژیکی حوضه دارد. چنین اثرات متقابل و بازخوردهایی بین فعالیت‌های انسانی (از جمله توسعه کشاورزی، حفر چاه، ساخت سازه‌های آبی، برداشت بی‌رویه آب‌های سطحی و زیرزمینی و سیاست‌گذاری نامناسب)، تغییر اقلیم و فرآیندهای هیدرولوژیکی حوضه باید مورد توجه متخصصان هیدرولوژی و هیدرولوژی اجتماعی قرار گرفته تا بهتر بتوانند رفتار هیدرولوژیکی حوضه درهم تنیده دریاچه ارومیه را شبیه‌سازی کنند.

علی‌رغم لزوم و اهمیت هیدرولوژی اجتماعی، پیاده‌سازی آن با چالش‌های مختلفی مواجه است. لوی و همکاران در تحقیقی با مشارکت چند دانشجوی دکترا با پیش‌زمینه‌های مختلف مهندسی، علوم اجتماعی، زمین‌شناسی، ریاضی، فیزیک و کامپیوتر، این چالش‌ها را مورد بررسی قرار دادند (Levy et al., 2016). یکی از چالش‌های پیش‌روی هیدرولوژی اجتماعی این است که متخصصان برای انجام کار تحقیقی بین رشته‌ای هیدرولوژی اجتماعی، نیاز به زمان، تلاش برای یادگیری علوم مرتبط و حمایت مالی زیادی دارند و باید مهارت‌های لازم برای انجام کار تیمی و گفتگوی مناسب بین تخصص‌های مختلف را بدانند یا یاد بگیرند. یکی دیگر از چالش‌های مرتبط داده است. عدم وجود داده کافی به ویژه در زمینه اجتماعی، ترکیب داده‌های هیدرولوژی و اجتماعی برای استفاده در مدل‌ها و استانداردهای متفاوت برای بررسی صحت، کیفیت و عدم قطعیت داده‌ها می‌تواند مشکلاتی را در مسیر تحقیقات هیدرولوژی اجتماعی ایجاد کند. سومین چالش مطرح شده توسط لوی و همکاران (Levy et al., 2016) این است که با توجه به پیچیدگی سیستم‌های جفت شده اجتماعی و هیدرولوژیکی نمی‌توان به شکل قدیمی و سنتی به پیش‌بینی رفتار هیدرولوژیکی پرداخت. ترکیب سیستم‌های هیدرولوژی و اجتماعی باعث افزایش عدم قطعیت و ایجاد چالش در پیش‌بینی‌ها می‌شود (Milly et al., 2008; Viglione et al., 2014).

با توجه به آن‌چه گفته شد، هیدرولوژی اجتماعی زیربنای مدیریت پایدار منابع آب است و باید به عنوان علم بین رشته‌ای جدیدی به آن توجه کرد. با توجه به پیچیدگی‌های سیستم انسان- آب باید متون درسی گذشته که هیدرولوژی را برای یک سیستم دست نخورده و

بدون درنظر گرفتن فعالیت‌های انسانی به دانشجویان آموزش می‌دادند، تغییر کند. از سوی دیگر برای تربیت دانشمندان هیدرولوژی که بتوانند چالش‌ها و تغییرات جدید (رفتارهای نوظهور[15]) در جهان در حال تغییر (Wagener et al., 2010) و تنش‌های بین انسان و محیط و بین خود انسان‌ها را مدیریت کنند (Koutsoyiannis., 2011; Postel., 2011)، باید سیستم آموزشی جدیدی برنامه‌ریزی شود. به عنوان مثال یکی از چالش‌های موجود که هیدرولوژی اجتماعی در ایران با آن روبه‌رو است، خشک‌سالی‌های اخیر در منطقه سیستان و مهاجرت مردم به گرگان می‌باشد که تبعات امنیتی، اجتماعی و فرهنگی زیادی به همراه داشته است. بنابراین مدیریت ناپایدار منابع آب در یک منطقه، می‌تواند باعث ایجاد اثرات نامطلوب در منطقه‌ای دیگر شود (Mianabadi et al., 2013). دانشجویان و متخصصان هیدرولوژی باید برای مدیریت چنین چالش‌هایی آموزش داده شوند.

تغییر چهارچوب آموزش هیدرولوژی

جهان امروز درگیر اثرات بی‌سابقه‌ای از فعالیت‌های انسانی بر همه بخش‌های سیستم زمین، از جمله فرآیندهای فیزیکی و زیست‌شناسی می‌باشد (King et al., 2012). تغییرات ترکیب جو زمین از زمان انقلاب صنعتی، کنترل بشر بر آب که باعث شده است یک چهارم حوضه رودخانه‌ها قبل از رسیدن به اقیانوس‌ها خشک شوند (Molden et al., 2007)، تغییر کاربری اراضی و تخریب اکوسیستم‌ها (Ellis, 2011; Zedler and Kercher, 2005) نمونه‌هایی از دخالت انسان در محیط زیست می‌باشد. در حالی‌که در شرایط فعلی، تقریبا اکوسیستمی وجود ندارد که تحت تاثیر فعالیت‌های بشر نباشد، اما این تاثیرات نگرانی‌های بیش‌تری را در آینده ایجاد خواهد کرد (King et al., 2012). حداقل 2/4 میلیارد نفر در نواحی دارای تنش آبی ناشی از تغییرات میزان آب در دسترس زندگی می‌کنند (Oki and Kanae, 2006). کمبود آب علاوه بر سلامت و امنیت غذایی، امنیت سیاسی مناطق خشکی که منابع آب مرزی و بین‌المللی دارند، را نیز تهدید می‌کند (Amery., 2002). برای رسیدن به یک سیستم پایدار هیدرولوژی نمی‌توان از نقش فعالیت‌های انسانی غافل ماند. با افزایش رشد جمعیت در آینده و کاهش منابع آب ناشی از تغییر اقلیم، اهمیت هیدرولوژی و بررسی نقش انسان بیش‌تر خواهد شد (Vorosmarty et al., 2000). بنابراین از دانشجویان رشته هیدرولوژی انتظار می‌رود که بتوانند مسایل پیچیده مربوط به سیستم‌های جفت شده انسان- محیط را مدیریت کنند. اگرچه تسلط بر اصول و مفاهیم اولیه هیدرولوژی اهمیت زیادی دارد، اما باید با مطالعه سیستم‌های انسان- محیط و ارایه ایده‌ها، توصیه‌ها و نمونه راهکارها، دانشجویان را برای حل مسایل مهم انسان و محیط آموزش داد تا بتوانند برای تقبل نقش‌های مختلف در ساختن آینده پایدار توانمند شوند (King et al., 2012). در این ارتباط اصطلاح جدیدی در زمینه علوم محیطی به نام علم پایداری[16] ایجاد شده است که بر اساس نظر آکادمی ملی علوم ایالات متحده[17]، به‌عنوان یک علم میان رشته‌ای به فهم پویایی و رفتار سیستم‌های درهم تنیده[18] انسان‌محیط می‌پردازد (Clark, 2007). علم پایداری، علوم مختلفی از جمله فیزیک، زیست شناسی، اقتصاد، علوم اجتماعی و علوم سیاسی را کنار هم قرار می‌دهد و اثرات متقابل و بازخوردهای بین آن‌ها را بررسی می‌کند (King et al., 2012). درک این موضوع که رفتار هیدرولوژیکی تحت تاثیر تصمیمات انسانی و رفتارهای سیستم درهم تنیده انسان- محیط است، گام اولیه در تغییر چهارچوب آموزش هیدرولوژی برای حل مشکلات زیست محیطی است (King et al., 2012).

کینگ و همکاران (King et al., 2012) سه نوع چهارچوب را برای حل مسایل هیدرولوژی تعریف کرده‌اند. طبق نظر آن‌ها، تسلط بر مفاهیم اولیه هدف اصلی بیش‌تر دروس هیدرولوژی در دوره کارشناسی می‌باشد، اما یادگیری اصول و مفاهیم اولیه به تنهایی، دید دانشجویان را برای حل مسایل هیدرولوژی محدود می‌کند. به چنین نگرشی چارچوب دید محدود[19] اطلاق می‌شود. علاوه بر یادگیری اصول و مفاهیم اولیه هیدرولوژی، دانشجویان باید با چگونگی اثرگذاری استفاده از منابع آبی و حکمرانی آب بر سیستم‌های هیدرولوژی آشنا شده و به این ترتیب دید خود را از مسایل هیدرولوژی گسترش داده و از چهارچوب دید گسترده[20] برای حل مسایل استفاده نمایند. اگرچه با داشتن دید گسترده ارتباط بین ورودی و خروجی در حوضه‌ها قابل بررسی خواهد بود، اما همچنان به‌دلیل وسعت و پیچیدگی سیستم‌های انسان- محیط، باید به دید وسیع‌تری برای حل مسایل هیدرولوژی دست یافت. چرا که در این حالت، سیستم به صورت فرآیند ساده‌ای درنظر گرفته می‌شود که ورودی‌های خاص منجر به تولید خروجی‌های خاص می‌شود. اما رفتار سیستم‌های انسان- محیط به ندرت قطعیت دارند و خروجی هیدرولوژیکی می‌تواند بازخوردهایی بر ورودی‌های مدیریتی داشته باشد. در این صورت ارتباط بین مدیریت و سیستم‌های هیدرولوژیکی باید به صورت پویا و از طریق چهارچوب دید گسترده و پویا[21] مورد بررسی قرار گیرد. در چهارچوب دید محدود، معادلات آموزش داده شده در دروس هیدرولوژی، متغیرهای بیوفیزیکی یا هیدرولوژیکی را به عنوان ورودی درنظر گرفته و خروجی‌های هیدرولوژیکی را محاسبه می‌کنند. در چهارچوب دید گسترده، انسان و دیگر ابعاد اکولوژیکی، به عنوان ورودی مدل هیدرولوژیکی در نظر گرفته شده و خروجی‌ها برای بهینه‌سازی اثرات بر انسان و موجودات زنده ارزیابی می‌شوند. توجه به نقش فعالیت‌ها و تصمیمات انسان می‌تواند به دانشجویان نشان دهد که اگرچه فرآیندهای هیدرولوژی مولفه‌ای کلیدی در مدیریت منابع

آب است، اما تمام آن نیست (King et al., 2012). این مفهوم هسته اولیه تلاش‌های اخیر برای توسعه علم هیدرولوژی اجتماعی است (King et al., 2012; Sivapalan et al., 2012). بنابراین گسترش چهارچوب دید گسترده و پویا از طریق آموزش به دانشجویان، امری ضروری در آموزش نسل بعدی متخصصین هیدرولوژی خواهد بود. در واقع آموزش هیدرولوژی باید به گونه‌ای باشد که دانشجویان دید خود را فراتر از سیستم هیدرولوژیکی گسترش دهند و ورودی‌ها و خروجی‌های محیطی و انسانی و بازخوردهای آن‌ها را درنظر بگیرند. چارچوب دید گسترده و پویا نشان می‌دهد که سیستم انسان- محیط شامل ابعاد هیدرولوژیکی، اکولوژیکی و اجتماعی در هم تنیده و دارای ارتباط درونی و پویا می‌باشد (King et al., 2012).

کینگ و همکاران (King et al., 2012) کاربرد چهارچوب دید محدود، دید گسترده و دید گسترده و پویا درحل مسایل هیدرولوژیکی درهم تنیده را با ارایه نمونه‌های از تکالیف دانشجویان از جمله پروژه-ای در منطقه خشکی در محدوده لایکیپیا[22] در کنیا مورد بررسی قرار دادند. بر اساس این پروژه، دانشجویان در دو مقطع از رودخانه ایواسو نیرو[23] عمق متوسط شیب جریان را اندازه‌گیری کردند. سرعت جریان آب و میزان تعرق گونه غالب درختی اطراف رودخانه نیز اندازه‌گیری شد. سپس از دانشجویان خواسته شد که به سوالات زیر به صورت تحلیلی پاسخ دهند:

"1- رواناب رودخانه را در قسمت پل و در مقاطع جریان با استفاده از مقطع و پروفیل کانال محاسبه نموده و با رواناب اندازه-گیری شده مقایسه کنید. 2- تعرق کل پوشش گیاهی در فاصله بین دو مقطع رودخانه را تخمین زده و درباره عوامل موثر بر تعرق بحث کنید. با استفاده از تراکم درختان و طول رودخانه تعرق کل در طول رودخانه را به روش بزرگ مقیاس نمایی محاسبه نمایید. 3- با استفاده از داده‌های خرد اقلیم‌شناسی، کل تبخیر از سطح آب بین دو مقطع جریان را تخمین بزنید. 4- هرگونه تلفات آبی دیگری که ممکن است در مسیر رودخانه اتفاق بیفتد (شامل مصارف انسانی و حیوانی) را تخمین زده و ببینید که این تلفات قابل اغماض است یا خیر. 5- تخمین‌های مراحل قبل را در معادله بیلان آب در مقطع رودخانه قرار داده و بررسی کنید که آیا معادله توازن دارد یا خیر و اگر ندارد، بزرگ-ترین منبع خطا از نظر شما چیست؟ 6- برای افزایش تولید کشاورزی در لایکیپیا، دولت محلی می‌خواهد که گیاهان را در یک سوی رودخانه کشت کند. به این منظور یک سد کوچک که از آن کانال کشاورزی منشعب می‌شود، ساخته خواهد شد. با فرض این‌که تعرق گیاهان 10 برابر درختان محلی است، مسیر احتمالی انشعابات رودخانه را مورد بررسی و بحث قرار دهید."

بر اساس توضیحات کینگ و همکاران (King et al., 2012) در این پروژه، بخش‌های 1 تا 3 از دانشجویان می‌خواهد که با کمک چهارچوب دید محدود کمیت‌های هیدرولوژیکی را تخمین بزنند و روش‌های اندازه‌گیری را ارزیابی کنند. در بخش 4 و 5 باید با استفاده از تجربیات خود، مطالعه و کار در منطقه بتوانند "عنصر انسانی" بیلان آب (استخراج آب برای مصارف خانگی، آبیاری و چهارپایان) و عوامل اکولوژیکی طبیعی (مصرف آب توسط حیوانات منطقه) را تخمین بزنند. در این صورت دانشجویان باید از چهارچوب دید گسترده استفاده کنند. در بخش 6 پروژه، از دانشجویان خواسته می‌شود که اثرات ساخت سد را در نظر بگیرند. در این صورت دو مسئله مورد توجه است: 1- تبدیل دامداری به کشاورزی در حالی‌که مصرف آب آبیاری بیش از مصرف آب برای دام‌ها است؛ 2- مهاجرت حیوانات حیات‌وحش بر اثر خشک شدن منابع آب. این مسئله باید از طریق چهارچوب دید گسترده و پویا مورد بررسی قرار گیرد. در این حالت بازخوردهایی در سیستم وجود دارد، از جمله افزایش تقاضا برای منابع آبیاری جدید و یا حذف شهرک‌های کشاورزی در صورت مهاجرت حیوانات حیات‌وحش، که برای درک بهتر سیستم، این بازخوردها باید مورد توجه قرار گیرد.

پروژه‌هایی از این قبیل می‌تواند به دانشجویان کمک کند که برای حل مسایل دنیای واقعی آماده شوند. در تمرینات معمولی هیدرولوژی تنها بر ورودی‌ها و خروجی‌ها تاکید می‌شود و جنبه‌های پویایی و اجتماعی سیستم به صورت مولفه‌های ثانوی و جانبی در نظر گرفته می‌شوند (King et al., 2012).

بر این اساس با توجه به وجود چالش‌های زیاد در هیدرولوژی و عدم اطمینان به پایداری هیدرولوژی، اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی، به اعتقاد کینگ و همکاران هرچه مدرسان، نویسندگان و ناشران زودتر به اهمیت چهارچوب دید پویا و گسترده در آموزش دانشجویان پی ببرند، بهتر می‌توانند نسل بعدی هیدرولوژیست‌ها را برای مدیریت این چالش‌ها تربیت نمایند (King et al., 2012).

نتیجه‌گیری

با توجه به آن‌چه گفته شد، فعالیت‌های انسانی و اثرات آن بر طبیعت، باعث ایجاد چالش‌های زیادی در سیستم زمین، اکوسیستم و جوامع انسانی شده است که برای حل این چالش‌ها باید از رویکردهایی که سیستم انسانی و طبیعت را به صورت جفت شده درنظر بگیرد، استفاده شود. بنابراین برای بررسی و مدل‌سازی بهتر رفتار هیدرولوژیکی حوضه‌ها، به عنوان سیستم‌های درهم تنیده جفت شده انسان- محیط، باید به هنر مدل‌سازی مسلح شد. برای مدل‌سازی هیدرولوژی نمی‌توان تنها یک جنبه از سیستم را درنظر گرفت و باید همه بخش‌های سیستم درهم تنیده انسان- آب در کنار هم مورد توجه قرار گرفته و به اثرات متقابل بین بخش‌های مختلف و بازخوردهای آن‌ها اهمیت داد. به این منظور باید درک درستی از هیدرولوژی، رفتار هیدرولوژیکی سیستم‌های درهم تنیده انسان- آب،

مدل و مدل‌سازی داشته باشیم تا بتوانیم مدل مناسب هر حوضه را با توجه به شرایط خاص آن بسازیم، مدلی که ساختار مناسب‌تر، اجرای بهتر و عدم قطعیت کم‌تری داشته باشد. بر اساس آن‌چه گفته شد، رویکرد تقلیل‌گرایی (پایین- بالا) به‌تنهایی نمی‌تواند نتایج مناسبی برای مدل‌سازی هیدرولوژیکی به همراه داشته باشد، چرا که این رویکرد اثرات متقابل و بازخوردها را درنظر نمی‌گیرد، بنابراین بهتر است این رویکرد را با رویکرد بالا- پایین ترکیب نمود تا بتوان به نتایج قابل اطمینان‌تری دست یافت. از آن‌جا که برای بررسی سیستم-های درهم تنیده انسان- محیط علوم مختلفی از جمله علوم اجتماعی (نقش انسان بر رفتار هیدرولوژیکی حوضه‌ها) را باید مورد استفاده قرار داد، بنابراین در سال‌های اخیر علوم جدید هیدرولوژی اجتماعی و علم پایداری مورد توجه متخصصین هیدرولوژی قرار گرفته است. این علوم به بررسی نقش انسان بر منابع آب و هیدرولوژی حوضه و اثرات متقابل انسان - حوضه و بازخوردهای ایجاد شده می‌پردازند. برای مدل‌سازی هیدرولوژی اجتماعی یک حوضه نیاز است که متخصصان هیدرولوژی اطلاعات مناسبی از هر دو حیطه علمی داشته باشند تا بتوانند چالش‌های موجود در حوضه‌های آبریز، به‌ویژه با درنظر گرفتن فعالیت‌های انسانی را مدیریت کنند. به همین دلیل نیاز است که با تغییر چهارچوب سیستم آموزش هیدرولوژی در دانشگاه‌ها، دانشجویان را برای مدیریت و حل کردن چنین مشکلاتی که در آینده شدت بیش‌تری خواهد یافت، آموزش دهند. مدیریت مناسب سیستم درهم تنیده و پویای انسان- محیط مستلزم این است که دانشجویان درک درستی از سیستم داشته و با اجزای مختلف آن آشنایی داشته باشند و از دید پویا و گسترده برای حل مسایل آبی استفاده نمایند. در این صورت آن‌ها علاوه بر علم و تکنولوژی به هنر مدل‌سازی نیز نیاز دارند.

پی‌نوشت‌ها

1- Okavango
2- Newtonian approach
3- Darwinian approach
4- Co-evolution
5- Bottom-up
6- Top-down
7- Conceptual model
8- Reductionist
9- Mechanistic
10- Budyko framework
11- Budyko curve
12- Holism
13- Socio-hydrology
14- Murrumbidgee
15- Emergent behaviors
16- Sustainability science
17- The United States National Academy of Sciences
18- Complex systems
19- narrow lens
20- Wide lens
21- Wide dynamic lens
22- Laikipia District
23- Ewaso Nyiro

منابع

ستاد احیای دریاچه ارومیه. 1394. دریاچه ارومیه، علل خشکی و تهدیدات احتمالی. گزارش شماره یک کمیته اجتماعی- فرهنگی ستاد احیای دریاچه ارومیه. 37 صفحه.

کمالی،م.، یونس‌زاده جلیلی،س. 1394. بررسی تغییرات کاربری اراضی حوضه آبریز دریاچه ارومیه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای. مرکز تحقیقات سنجش از دور، دانشگاه صنعتی شریف. دفتر برنامه-ریزی و تلفیق ستاد احیای دریاچه ارومیه. 71 صفحه.

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 Lakes Research. 41.1:307-311.

Amery,H.A. 2002. Water Wars in the Middle East: A Looming Threat. The Geographical Journal. 168.4:313-323.

Berry, S., Farquhar, L.G.D. and Roderick, M. 2005. Co-evolution of climate, soil and vegetation. Editor: M. Anderson, . Encyclopedia of Hydrological Sciences. London: John Wiley, p. 3456.

Beven,K. 1989. Changing ideas in hydrology - The case of physically-based models. Journal of Hydrology. 105.1-2:157-172.

Beven,K. 2001. How far can we go in distributed hydrological modelling? Hydrology and Earth System Sciences. 5.1:1-12.

Blschl,G and Sivapalan,M. 1995. Scale issues in hydrological modelling: A review. Hydrological Processes. 9:251-290.

Budyko,M.I. 1974. Climate and life, Orlando, Fla: Academic Press. San Diego. California. 508.

Chen,X., Alimohammadi,N and Wang,D. 2013. Modeling interannual variability of seasonal evaporation and storage change based on the extended Budyko framework. Water Resources Research. 49.9:6067-6078.

Choudhury,B. 1999. Evaluation of an empirical equation for annual evaporation using field observations and results from a biophysical model. Journal of Hydrology. 216.1-2:99-110.

Clark,W.C. 2007. Sustainability Science: A room of its own. Proceedings of the National Academy of

Modeling. Water Resources Management. 26.1:129-145.

Heylighen,F., Joslyn,C. 1995. Systems theory. In R. Audi, ed. Cambridge Dictionary of Philosophy. Cambridge: Cambridge University Press, p. 1001.

Iran Ministry of Energy, Deputy of Water and Wastewater, Macro Planning Bureau. 2014. The National Water Master Plan Study in the Aras, Sefidrood, between Sefidrood and Haraz, Atrac and Urmia Basins. Volume 19: Agricultural Development for 2040 Horizon. Report number: 3385070-250.

Jalili,S., Hamidi,S.A., Ghanbari,R.N. 2016. Climate variability and anthropogenic effects on Lake Urmia water level fluctuations. northwestern Iran. Hydrological Sciences Journal.6667:1-11.

Jarvis,P.G. 1993. Prospects for bottom-up models. In Scaling Physiological Processes: Leaf to Globe. California: Academic Press, p. 388.

King,E.G., O Donnell,F.C and Caylor,K.K. 2012. Reframing hydrology education to solve coupled human and environmental problems. Hydrology and Earth System Sciences. 16.11:4023-4031.

Kinzelbach,W. 2008. Hydrological science and engineering: the yin and yang of water resources management. Geophysical Research Abstracts. 10. p.EGU2008-A-10943.

Kleme,V. 1983. Conceptualization and scale in hydrology. Journal of Hydrology. 65.1-3:1-23.

Koutsoyiannis,D. 2011. Scale of water resources development and sustainability: small is beautiful, large is great. Hydrological Sciences Journal. 56.4:553-575.

Lane,S.N. 2013. Acting, predicting and intervening in a socio-hydrological world. Hydrology and Earth System Sciences Discussions. 10.8:10659-10717.

Levy,M. C., Garcia,M., Blair,P., Chen,X., Gomes,S.L. Gower,D.B., Grames,J., Kuil,L., Liu,Y. Marston,L., McCord,P.F., Roobavannan,M and Zeng,R. 2016. Wicked but worth it: student perspectives on socio-hydrology. Hydrological Processes. 30.9:1467-1472.

Littlewood,I.G., Croke,B.F.W., Jakeman,A.J and Sivapalan,M. 2003. The role of top-down modelling for Prediction in Ungauged Basins (PUB). Hydrological Processes. 17:1673-1679.

Madani,K. 2014. Water management in Iran: what is causing the looming crisis? Journal of Environmental Studies andSciences. 4.4:315-328.

Mianabadi,H., Mostert,E and Van de Giesen,N. 2013. Glocal transboundary river basins management. In NCR-DAYS 2013 Conference, 3-4 October. pp. 5-6.

Milly,P.C.D. 1993. An analytic solution of the stochastic storage problem applicable to soil water. Water Resources Research. 29.11:3755-3758.

Sciences, 104.6:1737-1738.

Du,C., Sun,F., Yu,J., Liu,X and Chen,Y. 2016. New interpretation of the role of water balance in an extended Budyko hypothesis in arid regions. Hydrology and Earth System Sciences. 20.1:393-409.

Eagleson,P.S. 1978. Climate, soil, and vegetation: 4. The expected value of annual evapotranspiration. Water Resources Research. 14.5:731-739.

Eagleson,P.S. 1982. Ecological optimality in water-limited natural soil-vegetation systems: 1. Theory and hypothesis. Water Resources Research. 18.2:325-340.

Ellis,E.C. 2011. Anthropogenic transformation of the terrestrial biosphere. Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences. 369.1938:1010-1035.

Fathian,F., Morid,S., Kahya,E. 2014. Identification of trends in hydrological and climatic variables in Urmia Lake basin, Iran. Theoretical and Applied Climatology. 119.3-4:443-464.

Fenicia,F., Savenije,H.H.G., Matgen,P and Pfister,L. 2008. Understanding catchment behavior through stepwise model concept improvement. Water Resources Research. 44.1:1-13.

Freeze,R.A and Harlan,R.L. 1969. Blueprint for a physically-based, digitally-simulated hydrologic response model. Journal of Hydrology. 9.3:237-258.

Grayson,R.B., Moore,I.D and McMahon,T.A. 1992. Physically based hydrologic modeling: 2. Is the concept realistic? Water Resources Research. 28.10:2659-2666.

Greve,P., Gudmundsson,L., Orlowsky,B and Seneviratne,S.I. 2016. A two-parameter Budyko function to represent conditions under which evapotranspiration exceeds precipitation. Hydrology and Earth System Sciences. 20.6:2195-2205.

Hamzekhani,F.G., Saghafian,B., Araghinejad,S. 2016. Environmental management in Urmia Lake: thresholds approach. Internal Journal of Water Resources Development. 32.1: 77-88.

Han,S., Hu,H., Yang,D and Liu,Q. 2011. Irrigation impact on annual water balance of the oases in Tarim Basin, Northwest China. Hydrological Processes. 25.2:167-174.

Harman,C and Troch,P.A. 2014. What makes Darwinian hydrology darwinian? Asking a different kind of question about landscapes. Hydrology and Earth System Sciences. 18.2:417-433.

Harte,J. 2002. Toward a synthesis of the Newtonian and Darwinian worldviews. Physics Today. 55.10:29-34.

Hassanzadeh,E., Zarghami,M., Hassanzadeh,Y. 2012. Determining the Main Factors in Declining the Urmia Lake Level by Using System Dynamics

Sivapalan,M., Savenije,H.H.G and Blöschl,G. 2012. Socio-hydrology: A new science of people and water. Hydrological Processes. 26.8:1270-1276.

Thompson,S.E., Sivapalan,M., Harman,C.J., Srinivasan,V., Hipsey,M. R., Reed,P., Montanari,A and Blöschl,G. 2013. Developing predictive insight into changing water systems: use-inspired hydrologic science for the Anthropocene. Hydrology and Earth System Sciences Discussions. 10.6:7897-7961.

Troy,T.J., Konar,M., Srinivasan,V and Thompson,S. 2015. Moving sociohydrology forward: a synthesis across studies. Hydrology and Earth System Sciences Discussions. 12.3:3319-3348.

Turc,L. 1954. The water balance of the soil. Relationship between precipitation, evaporation and runoff. Annals of Agronomy. 5:491- 569.

Viglione,A., Di Baldassarre,G., Brandimarte,L., Kuil,L., Carr,G., Salinas,J.L., Scolobig,A and Blöschl,G. 2014. Insights from socio-hydrology modelling on dealing with flood risk – Roles of collective memory, risk-taking attitude and trust. Journal of Hydrology. 518:71-82.

Vogel,R.M., Lall,U., Cai,X., Rajagopalan,B., Weiskel,P.K., Hooper.R.P and Matalas,N.C. 2015. Hydrology: The interdisciplinary science of water. Water Resources Research. 51.6:4409-4430.

Von Bertalanffy,L. 1968. General system theory: Foundations, development, applications, New York: George Braziller Inc.

Vorosmarty,C.J., Green,P., Salisbury,J and Lammers,R.B. 2000. Global Water Resources: Vulnerability from Climate Change and Population Growth. Science. 289.5477:284-288.

Wagener,T., Sivapalan,M., Troch,P.A., McGlynn,B.L., Harman,C.J., Gupta,H.V., Kumar,P., Rao,P.S.C., Basu,N.B and Wilson,J.S. 2010. The future of hydrology: An evolving science for a changing world. Water Resources Research. 46.5:1-10.

Wang,D and Alimohammadi,N. 2012. Responses of annual runoff, evaporation, and storage change to climate variability at the watershed scale. Water Resources Research. 48.5:1-16.

Wang,D and Tang,Y. 2014. A one-parameter Budyko model for water balance captures emergent behavior in darwinian hydrologic models. Geophysical Research Letters. 41.13:4569-4577.

Wang,X and Zhou,Y. 2016. Shift of annual water balance in the Budyko space for catchments with groundwater-dependent evapotranspiration. Hydrology and Earth System Sciences. 20.9:3673-3690.

Wolski,P., Savenije,H.H.G., Murray-Hudson,M and Gumbricht,T. 2006. Modelling of the flooding in the

Milly,P.C.D. 1994. Climate, soil water storage, and the average annual water balance. Water Resources Research, 30.7:2143-2156.

Milly,P.C.D., Betancourt,J., Falkenmark,M., Hirsch,R.M., Kundzewicz,Z.W., Lettenmaier,D.P and Stouffer,R.J. 2008. Stationarity Is Dead: Whither Water Management? Science. 319.5863:573-574.

Molden,D., Frenken,K., Barker,R., De Fraiture,C., Mati,B., Svendsen,M., Sadoff,C and Finlayson,C. 2007. Trends in water and agricultural development. In D. Molden, ed. Water for food, water for life: a comprehensive assessment of water management in agriculture. Colombo, Sri Lanka: Earthscan, London, UK and International Water Management Institute, p. 645.

Oki,T and Kanae,S. 2006. Global Hydrological Cycles and World Water Resources. Science. 313.5790:1068-1072.

Ol'dekop,E.M. 1911. On evaporation from the surface of river basins. Transactionson Meteorological Observations, 4, p.200.

Peel, M.C and Bloschl,G. 2011. Hydrological modelling in a changing world. Progress in Physical Geography. 35.2:249-261.

Pike,J.G. 1964. The estimation of annual run-off from meteorological data in a tropical climate. Journal of Hydrology. 2.:116-123.

Postel,S.L. 2011. Foreword—Sharing the benefits of water. Hydrological Sciences Journal. 56.4:529-530.

Qi,C and Grunwald,S. 2005. GIS-based hydrologic modeling in the Sandusky watershed using SWAT. Transactions of the ASAE. 48.1:169-180.

Refsgaard,J.C. 1997. Parameterisation, calibration and validation of distributed hydrological models. Journal of Hydrology. 198.1-4:69-97.

Refsgaard,J.C. 1990. Terminology, Modelling Protocol And Classification of Hydrological Model Codes. In Distributed hydrological modelling. pp. 17-39.

Rodriguez-Iturbe,I. 2000. Ecohydrology: A hydrologic perspective of climate-soil-vegetation dynamies. Water Resources Research. 36.1:3-9.

Savenije,H.H.G. 2009. The art of hydrology. Hydrology and Earth System Sciences. 13:157-161.

Savenije,H.H.G., Hoekstra,A.Y and van der Zaag,P. 2013. Evolving water science in the Anthropocene. Hydrology and Earth System Sciences Discussions. 10.6:7619-7649.

Schreiber,P. 1904. About the relationship between the precipitation and the water management of the river in Central Europe. Meteorology. 21.10:441- 452.

Sivapalan,M., Bloschl,G., Zhang,L., Vertessy,R. 2003. Downward approach to hydrological prediction. Hydrological Processes. 17.11:2101–2111.

Okavango Delta, Botswana, using a hybrid reservoir-GIS model. Journal of Hydrology. 331.1-2:58-72.

Zedler,J.B and Kercher,S. 2005. WETLAND RESOURCES: Status, Trends, Ecosystem Services, and Restorability. Annual Review of Environment and Resources. 30.1:39-74.

Zhang,D., Cong,Z., Ni,G., Yang,D and Hu,S. 2015. Effects of snow ratio on annual runoff within the Budyko framework. Hydrology and Earth System Sciences. 19.4:1977-1992.

Zhang,L., Dawes,W.R and Walker,G.R. 2001. Response of Mean Annual Evapotranspiration to Vegetationchanges at Catchment Scale. Water Resources.37.3:701-708.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 4, Vol. 11, Oct.-Nov. 2017, p. 539-551

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره4، جلد 11، مهر - آبان 1396، ص. 551-539

A Novel Attitude on Classical Hydrology

A. Mianabadi[1*], H. Mianabadi[2], A. Alizadeh[3]
Recived: Dec.21, 2016 Accepted: Jan.18, 2017

Abstract

Due to increasing human activities and its impacts on the environment and water resources, a paradigm shift in hydrological modeling is inevitable. For better modeling of basins' hydrological behavior, especially with considering the human influences, hydrologist should have an appropriate understanding of the hydrology, models and modeling. By definition, hydrology, which describes the behavior of water above, over and through the Earth, is a multi-disciplinary science which investigates the relationship between the earth and life sciences. There are two approaches for hydrological modeling, Newtonian and Darwinian, based on which the bottom-up and top-down approaches were developed. Considering the pros and cons of each approach, combination of the bottom-up and top-down approaches can help to a better understanding and modeling of the hydrological system of the basins. In this paper, we discuss the novel approach and its challenges in hydrological modeling. Based on the previous studies, we must change our approach to model hydrological systems for a better understanding of the complex coupled human-environmental systems. Emerging the new sciences of socio-hydrology and sustainability science indicates the undeniable role of humans in the environment and the importance of sustainable development. To reach a sustainable development, it is crucial to empower the young hydrologists to cope with the new water resources challenges in a changing world by reframing hydrology education.

Keywords: Complex systems, hydrology education, Socio-hydrology, Sustainability science, Sustainable development.

1- Graduated PhD Student, Water Engineering Department, Ferdowsi University of Mashhad
2- Assistant professor, Water Engineering Department, Tarbiat Modares University
3- Professor, Khavaran Emvironment Research Group, Mashhad
(*-Corresponding Author: ammianabadi@gmail.com)