مطالعات مدیریت راهبردی
شماره ۴۲ ـ تابستان ۱۳۹۹
ص‌ص ۹۸-۷۷

تراژدی منابع مشترک استفاده از منابع آب‌های زیرزمینی بخش کشاورزی

مهدی مقدم‌منش *، سعید پورمعصومی لنگرودی **

چکیده

در حال حاضر بسیاری از کشورها از جمله ایران در وضعیت تنش آبی بسیار بالا قرار دارند، به این معنا که بیش از ۸۰ درصد از آب‌های مصرفی از آب‌های زیرزمینی برداشت می‌شود. بر اساس آمار موجود، بخش کشاورزی مسئول مصرف بیش از ۹۰ درصد از آب‌های مصرفی در ایران است. تا به امروز، تقاضای در حال افزایش آب در بخش کشاورزی با استخراج از منابع آب‌های زیر زمینی تأمین شده است. طی دهه‌های اخیر تعداد چاه‌ها به‌صورت تصاعدی افزایش و طبیعتاً موجودی ذخایر آب‌های زیرزمینی نیز تصاعدی کاهش یافته است. ناگفته پیداست که این روند نمی‌تواند برای مدتی طولانی پایدار بماند و تصمیم‌گیران می‌بایست اقداماتی عاجل و مؤثر برای مدیریت آن بیندیشند. هدف اصلی این مطالعه یافتن ریشه اصلی این مشکل بوده و به ارزیابی راه حل‌های پیشنهادی برای مقابله با این مسأله می‌پردازد. روش پژوهش به صورت ترکیبی (کمی و کیفی) بوده و از رویکرد پویایی‌شناسی سیستمی مطابق چارچوب PHAPI استفاده شده است. مدل ارائه شده این مقاله بر اساس نظریه «تراژدی منابع مشترک» است و در آن توضیح داده می‌شود که چگونه تلاش کشاورزان برای حداکثر کردن منافع خود تبدیل به تهدیدی جدی برای پایداری منابع آب‌های زیر زمینی شده است. در ادامه، برای ارزیابی استراتژی‌های مختلف جهت مدیریت آب‌های زیر زمینی از مدل «تحلیل شکاف» استفاده شده است. در پایان نتایج ذیل به دست آمده اند: ۱) بازدهی آبیاری یک نقطه اهرمی است و با افزایش بازدهی از ۴۰ درصد به ۴۵ درصد می‌توان به طور قابل توجهی این مشکل را درمان نمود، لذا دولت می‌بایست تمرکز خود را بر روی بهبود بازدهی آبیاری بگذارد، البته به طور همزمان می‌بایست برای کنترل اثر ارتجاعی از افزایش زمین‌های زیر کشت و افزایش زمین-های زیرکشت محصولات با مصرف آب بالا جلوگیری شود، ۲) هیچ راه‌حلی به تنهایی برای حل این معضل وجود ندارد و می‌بایست اقدامات متنوعی به صورت همزمان انجام گیرد.

کلیدواژه‌ها: مدیریت آب، مدیریت آب‌های زیرزمینی؛ کشاورزی؛ پویایی‌شناسی سیستمی؛ اثر ارتجاعی؛ تراژدی منابع مشترک

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۵/۲۷ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۵/۱۸

* کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران (نویسنده مسئول)

Email: moghadam_manesh@yahoo.com

** استاد، دانشگاه ایالتی نیومکزیکو.

۱. مقدمه

در حال حاضر ۳۷ کشور از جمله ایران در وضعیت تنش آبی بسیار بالا قرار دارند، به این معنا که بیش از ۸۰ درصد از مصارف آب در بخش کشاورزی، خانگی، و صنعتی از منابع آب‌های زیرزمینی تأمین می شود. بحران آب چنان جدی است که، کوفی عنان رئیس پیشین سازمان ملل معتقد است که «در آینده رقابت شدید برای آب شیرین می‌تواند علت درگیری و جنگ شود» [۱۵] ؛ همچنین تحقیقات مجمع جهانی اقتصاد در سال ۲۰۱۶ [۱۷] نشان می‌دهد که در ده سال آینده خطر شماره یکی که جهان را تهدید می‌کند، بحران آب است و بحران شماره چهار نیز غذاست که آن نیز ریشه در مشکل آب دارد [۱۹]. یکی از مقصران اصلی مصرف بیش از اندازه آب در ایران، بخش کشاورزی است. در ادامه ابتدا در مورد مصرف آب و بخش کشاورزی در ایران توضیحاتی داده خواهد شد. سپس مسأله مورد پژوهش مطرح شده و با بیان یک فرضیه پویا تلاش خواهیم کرد توضیحی برای آن مشکل ارائه دهیم. در انتها نیز با استفاده از فرضیه پویا مطرح شده به بررسی راه‌حل‌های پیشنهادی خواهیم پرداخت.

نگاهی اجمالی به مصرف آب در ایران

بر اساس گزارش سازمان فاو (FAO) در سال ۲۰۰۹ بیش از ۹۰درصد از آب مصرفی در ایران در بخش کشاورزی مصرف می‌شود و ۵۷درصد از مجموع آب مصرفی در ایران از برداشت آب‌های زیرزمینی است [۱۸]. در حقیقت بنابر گزارش تهیه شده در دانشگاه استنفورد در سال ۲۰۱۶ توسط مسگران و همکاران [۸]، ایران به عنوان یکی از مناطق خشک در دنیا با بارندگی ناچیز محسوب می‌شود که بیشتر مناطق (بیش از ۷۰درصد) آن خشک و در حدود ۲۵درصد آن نیمه خشک است. علاوه بر میزان کم بارش، ایران با مشکل محل بارش[1] و زمان بارش[2] مواجه است. به این معنا که تنها ۲۵درصد از بارش در دشت‌ها و مابقی (۷۵درصد) در ارتفاعات و کوهستان‌ها اتفاق می‌افتد. همچنین ۷۵درصد بارش در فصول سرد سال است که امکان کشاورزی وجود ندارد، و در تابستان و فصول گرم که مناسب برای کشاورزی است میزان بارش بسیار کم است. لذا جای شگفتی نیست که تنها ۱۱درصد از محصولات کشاورزی در ایران به‌صورت دیم[3] است (در حالی که این رقم ۶۰درصد برای متوسط جهانی است) و بخش عمده کشاورزی در ایران به‌صورت کشت آبی[4] است. با این وجود آب‌های سطحی تنها می‌توانند ۳۸درصد آب مورد نیاز برای این حجم کشت آبی را تأمین کنند و ۶۲درصد مابقی از آب‌های زیرزمینی برداشت می‌شود. به همین دلیل بخش کشاورزی مسئول بیش از ۹۰درصد از مصرف آب‌های زیرزمینی در ایران است [۱۸].

ویژگی مهم دیگر مصرف آب در بخش کشاورزی این است که دولت ایران برای حمایت کشاورزان و کاهش قیمت تمام شده محصولات، انرژی و آب را با سوبسید بالا و قیمت ناچیز در اختیار کشاورزان قرار می‌دهد، که این مسأله باعث شده است که انگیزه کافی برای افزایش بهره‌وری و بازدهی وجود نداشته باشد. «الگوی نامناسب کشت» و «بازدهی پایین آبیاری» سبب شده است، بازدهی بخش کشاورزی در حدود ۳۰درصد باشد (در حدود ۹۲ درصد از آبیاری زمین‌ها زیر کشت به‌صورت آبیاری سطحی[5] است)[۱۸].

نگاهی اجمالی به بخش کشاورزی در ایران

محصولات کشاورزی در سال ۲۰۱۶ در حدود ۱۰درصد از تولید ناخالص ملی (GDP) ایران را تشکیل داده [۱۴] و بخش کشاورزی سبب ایجاد اشتغال برای حدود ۲۰درصد از افراد شاغل شده است [۱۴]. در مورد مجموع

---

1 spatial
2 temporal
3 rain-fed
۴ irrigated
5 surface irrigation

زمین‌های زیر کشت نیز می‌توان گفت از ۹/۴۷ میلیون هکتار در سال ۱۹۷۸ تا ۱۲/۱۶ میلیون هکتار در سال ۲۰۱۳ رسیده است (شکل ۱) [۲]. گندم به دلیل اینکه کالایی استراتژیک محسوب می‌شود، در حدود ۵۰ درصد از زمین‌های زیر کشت و حدود ۱۴ درصد از مجموع محصولات کشاورزی در ایران را شامل می‌شود. دیگر محصولات عمده که در ایران کشت می‌شوند ذرت، چغندرقند، گوجه، هندوانه، یونجه، سیب زمینی، نیشکر، جو، و برنج هستند [۲].

۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

پیشینه تحقیق در رابطه با استفاده از رویکرد پویایی‌شناسی سیستمی در مطالعه مدیریت آب بسیار غنی است. با این وجود از این روش برای بررسی تصمیمات مدیریتی آب‌های زیرزمینی یک منبع مشترک به ندرت استفاده شده است و تا آنجایی که نویسنده مطلع است تنها یک پژوهش توسط علی کریم سیسل و همکاران و بر روی مورد «ترکیه» [۱۳] انجام شده است.

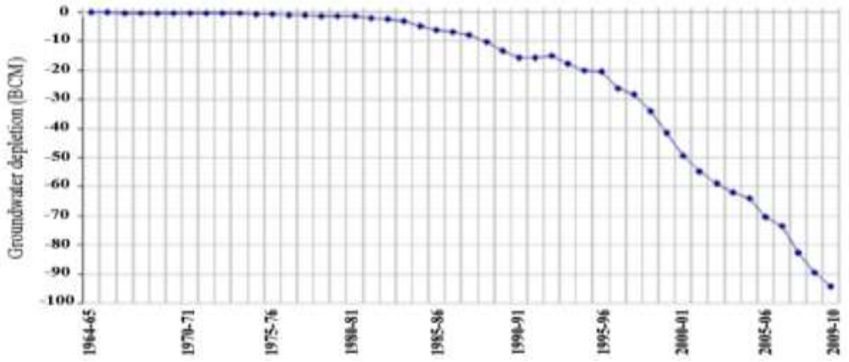
۳. روش‌شناسی پژوهش

در این تحقیق از رویکرد پویایی‌شناسی سیستمی مطابق چارچوب PHAPI استفاده شده است. این چارچوب دارای پنج گام است: گام اول تعریف مشکل[۱] است که در بیشتر مواقع از یک نمودار مرجع[۲] برای طرح مسأله استفاده می‌شود. در گام دوم فرضیه دینامیکی[۳] مطرح می‌گردد. فرضیه پویا در این مرحله به‌صورت مدل کیفی علّی و معلولی (CLD) یا حالت و جریان (SFD) به تصویر کشیده می‌شود. سپس در گام سوم (بررسی و تحلیل[۴])این مدل کیفی، کمی شده، مدل کامپیوتری آن ساخته می‌شود و با استفاده از تست‌های مختلف (مانند شرایط حدی) اعتبار آن سنجیده می‌شود. بعد از آنکه مشخص شد فرضیه و مدل قابل اعتماد است، در گام بعد سیاست‌های پیشنهادی[۵] با استفاده از آن مورد سنجش و بررسی قرار می‌گیرند. در نهایت و در گام آخر مشکلات و چالش‌های اجرایی[۶] مورد بحث قرار می‌گیرند.

ایران یکی از ۳۷ کشوری است مصرف آب آن از منابع آب‌های سطحی در دسترس بسیار فراتر بوده و برداشت از آب‌های زیرزمینی برای جبران این کمبود و برآورده کردن تقاضای موجود طی زمان، سبب کاهش آب ذخیره شده در سفره‌های زیرزمینی شده است. در نمودار ۱ می‌توان مشاهده نمود که طی دو دهه اخیر، منابع آب-های زیرزمینی به شکل غم‌انگیزی رو به افول بوده است و اگر این روند ادامه یابد، دیر نخواهد پایید که این منابع به کلی به پایان برسند. یکی از دلایل این افزایش برداشت طی دهه‌های اخیر بهبود تکنولوژی پمپ‌های آب بوده که امکان این برداشت را میسر کرده است. از سوی دیگر، تعداد چاه‌های آب نیز طی دهه‌های اخیر به-صورت تصاعدی در حال افزایش بوده است. در ۳۰ سال گذشته، تعداد چاه‌های آب از حدود ۹۰ هزار به حدود ۶۵۰ هزار رسیده است، که باعث برداشت حدود ۱۰۰ میلیارد متر مکعب از آب‌های زیرزمینی شده است. بدیهی است که این رویه پایدار نبوده و دیر یا زود ایران با مشکلات بسیار جدی در زمینه امنیت آبی و غذایی روبرو خواهد شد [۱۱].

---

1 Problem definition
2 reference mode
3 Hypothesis
4 Analyze
۵ Policies
۶ Implementation



نمودار ۱: کاهش آب‌های زیر زمینی (۲۰۱۰ - ۱۹۶۴)[۱۱]

فرضیه تحقیق در قالب حلقه‌های علّی و معلولی

پیش از صحبت در مورد مدل لازم است توضیحات بیشتری در مورد رفتار کشت کشاورزان و نحوه تصمیم-گیری آن‌ها اطلاعاتی به‌دست آوریم. لازم به ذکر است که تغییر در پاسخ هر کدام از سؤال زیر منجر به فرضیه دینامیکی متفاوتی می‌گردد. در این رابطه اول این است که هنگامی که آب بیشتری در اختیار کشاورزان قرار گیرد آن‌ها چه عکس العملی خواهند داشت؟ ۱- افزایش زمین زیر کشت یا ۲- کاشت محصولات با مصرف آب بالاتر؟ در پاسخ باید گفت گزارش وزارت کشاورزی در سال ۲۰۱۵ [۲]، نشان می‌دهد که علیرغم افزایش تعداد چاه‌های آب، مصرف آب در بخش کشاورزی، و افزایش پنج برابری محصولات کشاورزی طی ۳۰ سال گذشته، مساحت زمین‌های زیر کشت تنها ۲۸درصد افزایش داشته است و این حاکی از آن است کشاورزان به سمت محصولاتی سوق پیدا کرده‌اند که در مصرف آب بالاتر و محصول بیشتری در هر هکتار دارند. سؤال دوم این است که چرا بر افزایش آب در دسترس، کشاورزان به کشت محصولات با مصرف آب بالا روی می‌آورند؟ از آنجا که کشاورزان به دنبال حداکثر کردن سود خود هستند، جواب این سؤال را باید در فرمول محاسبه سود جستجو کنیم:«**سود = زمین زیر کشت * میزان تولید در هر هکتار * قیمت**»

آیا محصولات با مصرف آبی بالا قیمت بالاتری دارند و به این دلیل است که کشاورزان به کشت محصولات پرمصرف آبی تمایل دارند؟ بر اساس داده‌های موجود [۱۲] ارتباط معناداری بین مصرف آب و قیمت محصولات کشاورزی مشاهده نمی‌شود. البته جای شگفتی نیست، چرا که زمانی که قیمت آب بسیار ناچیز است طبیعتاً میزان آب مصرفی نمی‌تواند تأثیر زیادی بر روی قیمت محصولات داشته باشد. پس دلیل گرایش کشاورزان به کشت محصولات با مصرف آب بیشتر (مانند سبزیجات، محصولات جالیزی، و علوفه) [۸] چه می‌تواند باشد؟ همان‌طور که در جدول ۱ نشان داده شده است محصولات با مصرف آب بیشتر، محصول بیشتری هم به لحاظ وزنی در هر هکتار می‌دهد که می‌تواند سبب افزایش درآمد کشاورزان شود. به عنوان مثال محصول گوجه و سیب‌زمینی که بیشترین میزان رشد را در ۳۶ سال گذشته داشته‌اند (به ترتیب ۶/۵ درصد و ۵/۵ درصد در هر سال) در هر هکتار به ترتیب ۲۹ و ۲۱ تن محصول می‌دهند.

جدول ۱: رابطه بین رد پای آب محصولات (متر مکعب در هر هکتار) و میزان محصول (تن در هر هکتار)[۱]

Crop Type	Yield (ton/ha)	Water Footprint m^3/ton	Water Footprint (m^3/ha)	Average Growth Rate during recent 36 Years
tomato	29	214	6200	6.56 %
potato	21	287	6027	5.54 %
barely	2.5	1423	3557	2.63 %
wheat	2.7	1827	5000	2.6 %

در یک توضیح کلی، منطق و ایده اصلی موجود در پشت نمودار حلقه‌های علّی (شکل ۱) این است که کشاورزان بر اساس دو متغیر اصلی نسبت به میزان زمین زیر کشت و نوع محصول تصمیم می‌گیرند، یکی میزان سوددهی (نسب درآمد به مخارج) و دیگری میزان آب در دسترس. میزان سوددهی اندازه مطلوب زمین زیر کشت و سهم محصولات با مصرف آب بالا را تعیین می‌کند، اما اینکه چه مقدار از این اندازه‌های مطلوب قابل حصول باشد، به میزان آب در دسترس مقید است. پس ما یک اندازه مطلوب زمین زیر کشت و اندازه «مطلوب» سهم محصولات پر مصرف آبی و پر بازده خواهیم داشت که تابع میزان سوددهی است، و یک اندازه «واقعی» زمین زیر کشت و سهم واقعی محصولات پر مصرف آبی که تابعی است از اندازه‌های مطلوب ذکر شده و محدودیت منابع (آب در دسترس).

نمودار حلقه‌های علّی (شکل ۱) از این نقطه شروع می‌شود که کشاورزان همانند سایر کسب و کارها وقتی سوددهی (نسبت درآمد به مخارج) افزایش می‌یابد، علاقمند گشته تا میزان تولید خود را بالا ببرند. این افزایش تولید به دو صورت امکان‌پذیر است: ۱- افزایش زمین زیر کشت ۲- کاشت محصولات با مصرف آب بیشتر (که محصول بیشتری نیز در هر هکتار می‌دهند). یعنی براساس سوددهی (نسبت درآمد به مخارج) یک مقدار مطلوب از اندازه زمین زیر کشت[۲] و یک مقدار مطلوب از سهم محصولات پر بازده (با برداشت بیشتر در هر هکتار)[۳] در ذهن کشاورز بوجود می‌آید، که این دو متغیر میزان آب مورد نیاز مطلوب[۴] را مشخص می‌کنند. از این میزان آب مطلوب مورد نیاز[۵] بخشی، توسط آب‌های سطحی[۶] و فاضلاب‌های تصفیه شده[۷] تأمین می‌شود و کشاورزان برای تأمین مابقی نیاز خود به سراغ حفر چاه و برداشت از آب‌های زیرزمینی می‌رود. به عبارت دیگر، اندازه مطلوب زمین زیر کشت و میزان مطلوب محصولات پر بازده و با مصرف آب بالا[۸]، میزان آب در دسترس مطلوب و متعاقباً تعداد مطلوب چاه‌های آب[۹] را دیکته می‌کند. تفاوت میان تعداد چاه‌های آب موجود[۱۰] و تعداد چاه‌های مطلوب یک حلقه منفی هدف‌جو (B_3) ایجاد می‌کند که سبب تغییر در تعداد چاه‌های آب موجود می‌گردد. این تعداد چاه‌های آب موجود نیز به نوبه خود میزان آب برداشتی[۱۱] و میزان آب در دسترس را مشخص می‌کند. سپس این نسبت آب در دسترس به میزان آب مطلوب، نسبت زمین زیر کشت واقعی و سهم واقعی محصولات پر مصرف به میزان مطلوب[۱۲] اولیه را مشخص می‌کند. در ادامه این اندازه‌های واقعی زمین زیر کشت و نوع محصولات، میزان برداشت و در نتیجه درآمد و میزان سود کشاورزان محاسبه می‌شود. این روابط علّی و معلولی موجود حلقه مثبت (R_1) را ایجاد می‌کنند:

---

[۱] میزان مصرف آب از منبع [۵] و میزان رشد تولید آنها از منبع [۸] توسط نویسندگان استخراج شده است

۲ desired irrigated land

۳ desired share of high-water-demand crops

۴ desired available water

5 desired available water

6 surface water

7 treated & reused waste water

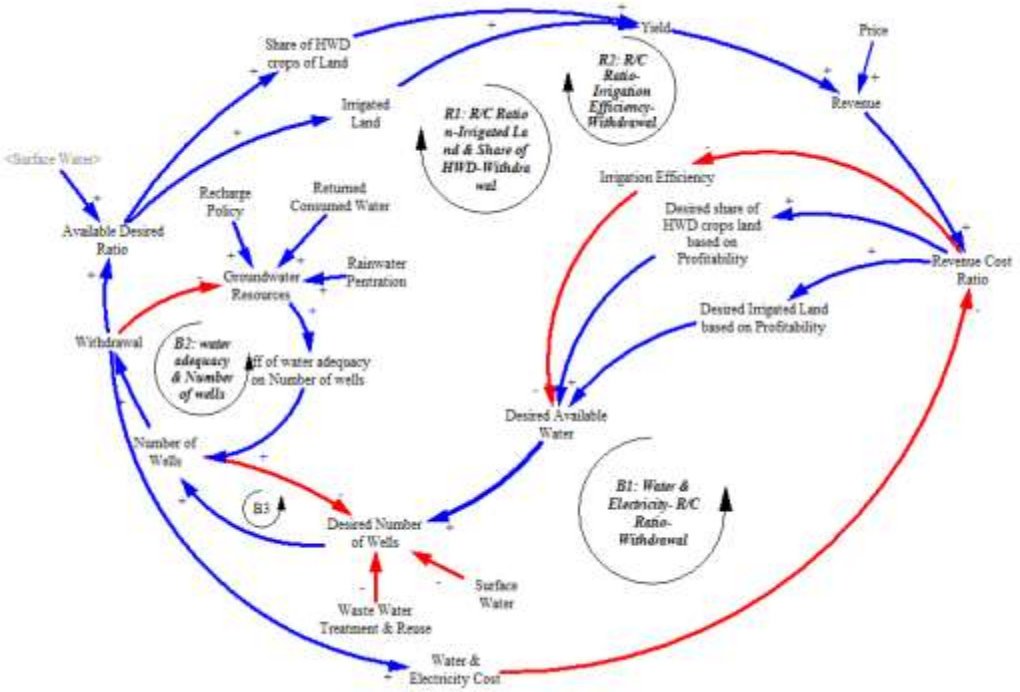
8 HWD crops

9 desired number of wells

10 number of wells

11 withdrawal

12 desired



شکل ۱. فرضیه پویا در قالب حلقه های علّی و معلولی (CLD)

حلقه R_1: هر چه آب در دسترس بیشتر باشد، زمین زیر کشت و سهم محصولات پر مصرف آبی (HWD) بیشتر خواهد که منجر به تولید بیشتر محصولات کشاورزی خواهد شد. تولید بیشتر نیز به معنای درآمد و سود (نسبت درآمد به هزینه) بیشتر است. این درآمد و سود بیشتر به نوبه خود سبب افزایش انگیزه کشاورزان برای افزایش تولید، با افزایش زمین زیر کشت و سهم محصولات پر بازده می‌شود. لذا میزان زمین زیر کشت مطلوب و سهم مطلوب محصولات پر بازده افزایش می‌یابد که موجب افزایش میزان مطلوب آب در دسترس و تعداد مطلوب چاه‌های آب می‌شود. افزایش تعداد مطلوب چاه‌های آب نیز توسط حلقه هدف‌جوی (B_1) موجب افزایش تعداد واقعی چاه‌ها و میزان برداشت آب می‌شود. و این افزایش تعداد چاه به معنای افزایش آب در دسترس است که نقطه ابتدایی حلقه (R_1) بود.

از سوی دیگر، هیچ رشدی نمی‌تواند تا بی‌نهایت ادامه یابد بدون اینکه با محدودیتی مواجه شود. منابع آب-های زیرزمینی نیز محدود، و این محدودیت و فراوانی آب‌های زیرزمینی[1] حلقه منفی(B_2) را ایجاد می‌کند که سبب کنترل رشد و افزایش تعداد چاه‌های آب می‌گردد؛ برداشت بیشتر از آب‌های زیرزمینی باعث کاهش منابع آب‌های زیرزمینی می‌شود و این کاهش منابع آب‌های زیرزمینی و کفایت[2] منابع افزایش کمتر تعداد چاه‌ها، و در نتیجه برداشت آب کمتر می‌گردد.

همان‌طور که در ابتدای بحث نیز مطرح شد، هدف نهایی هر یک از کشاورزان حداکثر کردن درآمد و سود شخصی است. این افزایش سود (نسبت درآمد به هزینه) می‌تواند به دو صورت محقق گردد: ۱) افزایش درآمد (با افزایش تولید)، ۲) با کاهش هزینه‌ها. هزینه تولیدات کشاورزی را می‌توان به دو دسته تقسیم کرد: هزینه‌های آب و برق مصرفی، و سایر هزینه‌ها که شامل خرید بذر، کود شیمیایی، استخدام نیروی کار است. به دلیل سوبسید بالای دولت به آب و برق مصرفی در بخش کشاورزی و قیمت بسیار پایین آب و برق مصرف آن‌ها در این بخش

1 water adequacy
2 adequacy

از حالت بهینه بسیار فاصله گرفته است. مصرف برق نیز پا به پای مصرف آب طی سالیان اخیر در بخش کشاورزی در حال افزایش بوده است و در حال حاضر سهم بخش کشاورزی از برق مصرفی کشور در حدود ۱۶ درصد است [۱]. بدیهی است که تا زمانی که سوددهی بخش کشاورزی با شرایط موجود بالا باشد، انگیزه‌ای برای بهینه‌سازی مصرف آب و برق وجود ندارد و تنها با کاهش سوددهی و افزایش قیمت آب و برق کشاورزان به فکر بهبود بهره‌وری خواهند افتاد. قیمت‌گذاری آب و برق به دو شیوه و بر اساس دو حلقه (R_2) و (B_1) بر رفتار کشاورزان و میزان مصرف آب آن‌ها می‌تواند اثر بگذارد:

حلقه B_1: برداشت بیشتر آب به معنای افزایش هزینه آب و برق مصرفی و کاهش سوددهی (نسبت سود به هزینه) است که اندازه مطلوب زمین زیر کشت و سهم مطلوب محصولات با مصرف آبی بالا را کاهش که منجر به میزان مطلوب آب در دسترس، تعداد مطلوب چاه‌های آب و نهایتاً تعداد چاه‌های واقعی و برداشت آب می‌گردد. با این تفاصیل، با قیمت‌گذاری پایین برق و آب در بخش کشاورزی عملاً این حلقه محدودکننده از دور خارج می‌گردد و نمی‌تواند تعداد چاه‌های آب را مهار کند (هر چند که از سوی دیگر این افزایش قمیت‌ها می‌تواند تعداد چاه‌های غیرمجاز و دزدی برق را افزایش دهد).

حلقه R2: افزایش هزینه‌های آب و برق می‌تواند از سوی دیگر باعث افزایش بهره‌وری شود که این افزایش بهره‌وری ایجاد حلقه مثبت (R_2) می‌کند که به نوبه خود باعث تضعیف حلقه محدودکننده (B_1) و ایجاد پدیده‌ای شود، که به آن تأثیر ارتجاعی[1] گفته می‌شود. در واقع افزایش هزینه‌های آب و برق موجب کاهش سوددهی (نسبت درآمد به هزینه) شده که می‌تواند کشاورزان را تشویق به اصلاح روش‌های آبیاری و افزایش بازدهی آبیاری[2] کند. افزایش بازدهی به جای آنکه باعث کاهش تعداد چاه‌های آب موجود و کاهش برداشت شود، باعث افزایش مقدار آب‌های در دسترس موجود و افزایش زمین زیر کشت و سهم محصولات با مصرف آب بالا می‌گردد. این افزایش تولید نیز به نوبه خود باعث افزایش سوددهی و کاهش انگیزه برای بهبود بیشتر بهره‌وری خواهد بود.

مرزهای مدل

۱) این مدل در مورد تراژدی منابع «آب‌های زیرزمینی» است و دینامیک «آب‌های سطحی» در آن لحاظ نشده است.

۲) این مدل در مورد «کمّیت»[3] آب‌های زیرزمینی مصرفی در بخش کشاورزی است و «کیفیت»[4] آب، شور شدن و آلودگی آب‌های زیرزمینی خارج از مرز مدل است.

۳) در این مدل تمرکز بر روی رفتار کشاورزان در مورد میزان «برداشت آب» برای حداکثر کردن منافع است و سایر عوامل اثرگذار بر روی تولید و سوددهی مانند «کیفیت خاک»، میزان استفاده از «کودهای شیمیایی»، کیفیت و تعداد «نیروی انسانی»، «ماشین‌آلات» و غیره خارج از مدل در نظر گرفته شده‌اند.

فرضیات مدل

۱) فرض شده است که «قیمت» محصولات کشاورزی ثابت بوده و تأثیر «تورم» نادیده گرفته شده چرا که از «نسبت درآمد به هزینه» استفاده شده و تورم درآمد و هزینه را به طور همزمان و تقریبا یکسان متأثر می‌سازد، لذا در نظر گرفتن یا نگرفتن تورم نمی‌تواند تأثیر بسزایی بر روی نتایج مدل بگذارد.

---

1 rebound effect
2 irrigation efficiency
3 quantity
4 quality

۲) فرض شده است که هر چقدر کشاورزان تولید کنند برای آن «تقاضا» وجود دارد و افزایش تولید منجر به مازاد عرضه و کاهش قیمت نخواهد شد. در واقع، این فرض نیز زیاد به دور از واقعیت نیست، چرا که بر اساس پروژه ایران ۲۰۴۰ دانشگاه استنفورد، افزایش محصولات کشاورزی طی ربع قرن گذشته حتی نتوانسته با سرعت افزایش تقاضای ناشی از افزایش سریع جمعیت حرکت کند. این امر منجر به افزایش واردات و منفی شدن تراز صادرات و واردات[1] کشور در بخش محصولات کشاورزی شده است، به گونه‌ای که در سال ۲۰۱۵ در حدود ۱۴ درصد از درآمد نفتی ایران (معادل پنج میلیارد دلار) صرف واردات خالص محصولات کشاورزی[2] شده است [۸].

۳) فرض شده است که مساحت زمین‌های زیر کشت دیم ثابت بوده و به دلیل ثابت بودن و عامل رشد میزان تولید محصولات کشاورزی (۵ برابر طی ... سال) افزایش مساحت زیر کشت دیم نبوده بلکه افزایش مساحت زیر کشت آبی و افزایش سهم محصولات پر بازده (تن در هر هکتار) با مصرف آب بیشتر بوده است. گزارش‌های وزارت کشاورزی نیز نشان می‌دهند این فرض نیز به واقعیت نزدیک است. همچنین نوع محصولات دیم نیز محدود بوده و تغییر خاصی در نوع محصولات دیم کشت شده و میزان بهره‌وری کشاورزی نیز تغییر بسزایی نکرده است که موجب افزایش سهم محصولات دیم شده باشد [۲].

۴) در سیستم دینامیک در بسیاری از مواقع عامل‌ها[3] با یکدیگر تجمیع می‌شوند[4] و اگر چه این کار می‌تواند از دقت مدل بکاهد، ولی در حین حال باعث ساده‌تر و قابل فهم‌تر شدن مدل می‌گردد. در حقیقت ما در مدل-های سیستم دینامیکی به دنبال پیش‌بینی دقیق اعداد نیستیم بلکه به دنبال فهم مسأله بوده و به همین دلیل در بسیاری موارد حاضر هستیم دقت مدل را فدای فهم بیشتر مسأله نماییم تا جایی که به اعتبار مدل لطمه نزند. در این مدل نیز در بخش کشاورزی بیش از ۱۰۰ نوع محصول وجود دارد و ما می‌بایست تنها یک محصول را با مصرف آب کم (LWD) و یک محصول را با مصرف آب بالا (HWD) در نظر بگیریم و آب مورد نیاز و سهم هر یک از محاسبه کنیم. به عبارت دیگر فرض می‌کنیم تنها دو محصول وجود دارد یکی با نام LWD (با مصرف آب پایین) و دیگری با نام HWD (با مصرف آب بالا) و کشاورز به متقضی شرایط (سوددهی و آب در دسترس) در مورد سهم و میزان کاشت هر کدام تصمیم خواهد گرفت. در اینجا برای محصول LWD از ویژگی جو (مصرف آب ۳۵۰۰WFT/ ha) و برای محصول HWD از ویژگی گوجه (با مصرف آب۶۵۰۰WFT/ha) استفاده شده است. همچنین چون گندم کالایی استراتژیک در کشور محسوب شده و کاشت آن از اولویت بالایی برخوردار است، در محاسبات فرض شده است که همواره ۵۰درصد از زمین زیر کشت به کشت گندم (با مصرف آب ۵۰۰۰WFT/ ha) اختصاص داده شده است، که این فرض نیز به استناد داده‌های موجود در گزارش وزارت کشاورزی [۲] صحیح به نظر می‌رسد. علاوه بر آن برای لحاظ کردن تقاضای بازار فرض شده است که حداکثر سهم محصول (HWD)، ۳۵درصد و حداقل آن ۱۵درصد خواهد بود. در غیر این صورت مدل در تست حدی[5] جواب معقولی نمی‌دهد. مثلاً با برداشتن محدودیت منابع آب‌های در دسترس معقول نیست که کشاورزان تمام زمین‌های خود را به کاشت (HWD) اختصاص دهند. اعداد ۱۵ و ۳۵ براساس گزارش وزارت کشاورزی [۲] و با تقریب محاسبه شده‌اند.

1 net international trade
2 net value of agricultural import
3 agents
4 aggregate
5 extreme test

اعتبارسنجی مدل

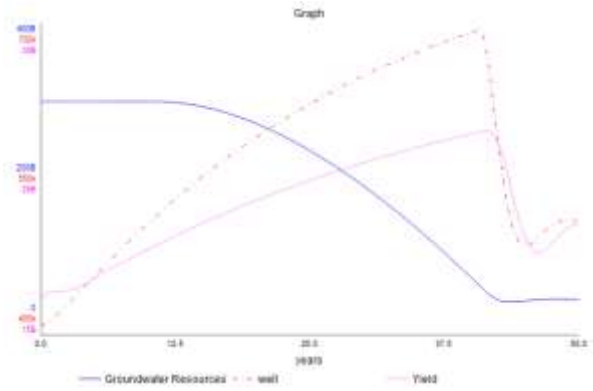
ساختار مدل با دانش موجود در این رابطه سازگار و تمام متغیرهای استفاده شده در مدل در دنیای واقع وجود دارند. علاوه بر آن واحدها با یکدیگر سازگار و فارغ از time step و روش numerical integration مورد استفاده در نرم‌افزار، مدل نموار مرجع را باز تولید می‌نماید. علاوه بر آن تست‌های حدی نیز بر روی مدل انجام گرفته است. تست حساسیت نیز انجام شده است تا متغیرهایی که مدل به آن‌ها حساسیت بالاتری دارند، با دقت و وسواس بیشتری نیز اعدادشان تعیین شوند.

نتایج مدل

در ادامه، از این مدل برای ارزیابی استراتژی‌های مختلف برای مدیریت آب‌های زیرزمینی استفاده خواهد شد که برای این منظور از «تحلیل شکاف»[1] استفاده شده است. در تحلیل شکاف، آینده تحت شرایط موجود پیش-بینی می شود، سپس اهداف یا آینده مطلوب تعریف و اختلاف و شکاف میان شرایط موجود و شرایط مطلوب تعیین می‌شود. سپس استراتژی‌هایی که می‌توانند به بسته شدن این شکاف کمک کنند طراحی می‌شوند [۶].

سناریوی ادامه روند موجود (*Business-as-Usual*)

نتایج مدل نشان می‌دهد که اگر دولت تدبیری نیندیشد و اقدام عاجلی انجام ندهد همان‌طور که در نمودار ۲ مشاهده می شود به زودی overshoot کردن تعداد چاه‌های آب به یک باره باعث ته کشیدن منابع آب‌های زیرزمینی و سقوط میزان تولیدات کشاورزی خواهد شد، و کشور با نبود جدی امنیت غذایی و آبی مواجه خواهد شد.



نمودار ۲. سناریوی ادامه روند موجود

بررسی راه حل های پیشنهادی

در ادامه هشت راه حل پیشنهادی معمول مطرح و سپس میزان تاثیر گذاری و چالش های اجرایی آن‌ها مورد بررسی قرار گرفته است (جدول ۲).

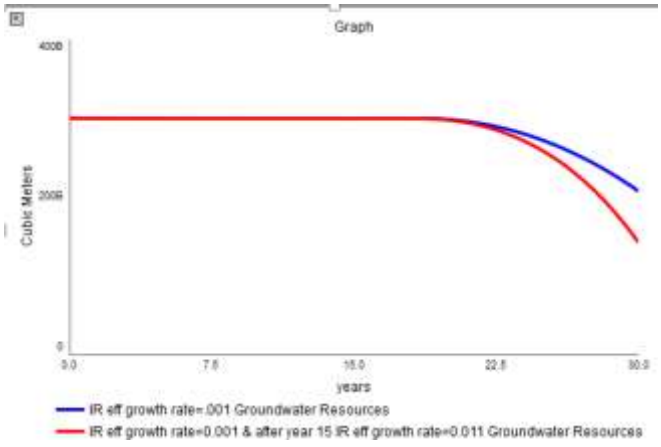
جدول ۲: راه‌حل‌های معمول پیشنهادی برای مدیریت بحران آب‌های زیرزمینی

ردیف	راه حل	ردیف	راه حل
۱	افزایش بازدهی آبیاری	۵	کوچک سازی بخش کشاورزی
۲	افزایش قیمت آب و برق	۶	تجارت آب مجازی و کم کردن سهم کاشت محصولات با رد پای بالای آب
۳	اختصاص آب های سطحی بیشتر به بخش کشاورزی	۷	محدود کردن تعداد چاه‌های مجاز و مسدود کردن چاه های غیر مجاز
۴	تصفیه فاضلاب‌ها و استفاده آن در بخش کشاورزی	۸	تغییر حاکمیت آب و ایجاد بازار آب

1 gap analysis

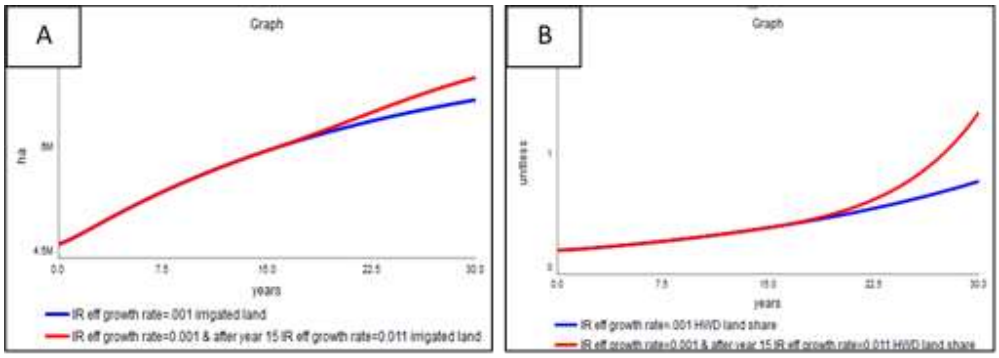
افزایش بازدهی آبیاری: برای حمایت بخش کشاورزی از یک سو و دادن یارانه غیر مستقیم به تولیدات کشاورزی برای پایین نگه داشتن قیمت محصولات کشاورزی و رضایت عمومی، دولت قیمت آب و برق در بخش کشاورزی را بسیار پایین نگه داشته و سوبسید فراوانی به آن اختصاص داده است. اما این قیمت پایین برق و آب از دیگر سو سبب شده است کشاورزان انگیزه زیادی برای افزایش بازدهی نداشته باشند. بازدهی متوسط آبیاری در حال حاضر حدود ۴۰درصد بوده در حالی که که این عدد در کشورهای در حال توسعه ۴۵ درصد و در کشورهای توسعه یافته ۶۵درصد است. تنها ۵درصد از زمین‌های زیر کشت از آبیاری تحت فشار استفاده می‌کنند و ۹۵ درصد مابقی از آبیاری سطحی و کرتی استفاده می‌کنند. طی ۳۰ سال گذشته، بازدهی کشاورزی سالانه تنها ۱درصد (۰/۰۱) بهبود یافته است [۱].

لذا به نظر می‌رسد که افزایش بازدهی آبیاری بتواند تا حد زیادی مشکل آب را مرتفع کند. اما بر خلاف انتظار نتایج مدل‌سازی نشان می‌دهد که این سیاست بحران آب را نه تنها بهبود نمی‌دهد، بلکه آن را تشدید می‌کند (نمودار ۳)



نمودار ۳. تاثیر افزایش بازدهی آبیاری

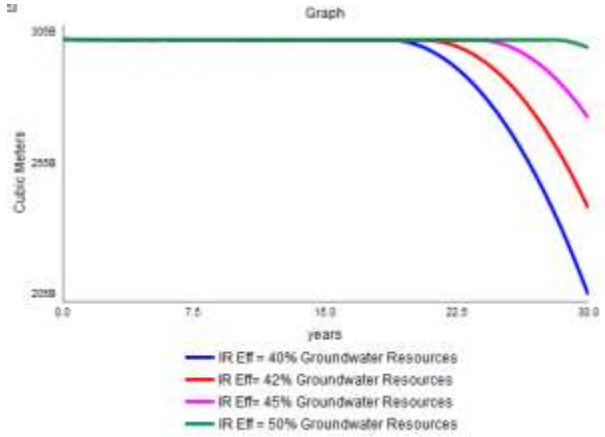
دلیل تشدید مشکل آب با افزایش بازدهی آبیاری را می‌توان در نمودار ۴ جستجو کرد. مشاهده می‌شود که افزایش بازدهی آبیاری منجر به اثر ارتجاعی[1] و افزایش اندازه زمین زیر کشت و سهم محصولات پر مصرف می‌گردد.



نمودار ۴. A) اثر ارتجاعی بر روی زمین زیر کشت. B) اثر ارتجاعی و سهم محصولات پرمصرف آبی

1 rebound effect

اما اگر اثر ارتجاعی کنترل شود، با تحلیل حساسیت[1] می‌توان دید که اتفاقاً سیستم بسیار به بازدهی آبیاری حساس است و تغییر اندک در آن می‌تواند باعث تغییری بزرگ در میزان مصرف آب‌های زیرزمینی شود. به طور مثال، با افزایش بهره‌وری آبیاری به ۵۰ درصد هیچ کاهشی در آب‌های زیرزمینی مشاهده نمی‌شود (نمودار ۵).



نمودار ۵: تحلیل حساسیت بر روی بازدهی آبیاری

چالش‌های پیاده سازی

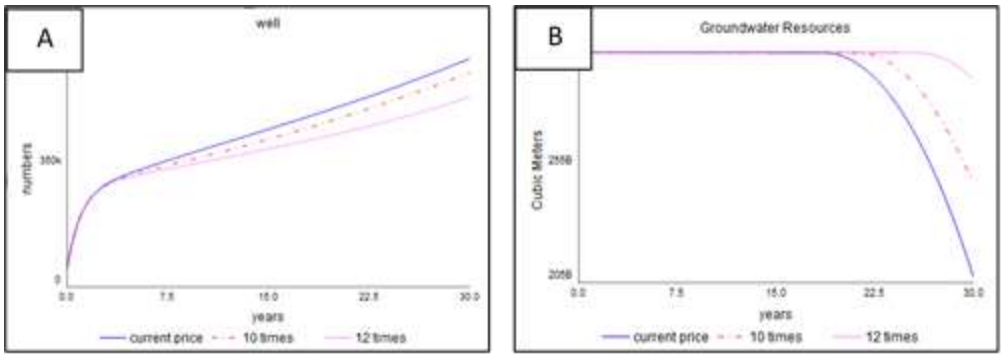
هزینه. اندازه زمین زیر کشت آبی در ایران حدود ۶ میلیون هکتار بوده همان‌طور که گفته شده ۹۵ درصد آن نیاز به تغییر روش آبیاری دارند و این تغییر مسلماً بودجه زیادی می‌طلبد که از توان دولت خارج است و در حال حاضر نیز از کسری شدید بودجه رنج می‌برد.

کوچک بودن مزارع و تعداد بسیار زیاد کشاورزان نیز چالش و مانع دیگری برای افزایش بازدهی آبیاری است. میانگین مزارع در ایران زیر ۵ هکتار است در حالی که در کشورهای موفق در این رابطه این رقم بالای ۸۰ هکتار است. به این دلیل نه تنها تعداد کشاورزان بسیار زیاد است که پیاده سازی را دشوار می‌سازد، بلکه به دلیل کوچک بودن مزارع ضریب نفوذ تکنولوژی هم پایین است. به این دلیل برای حصول نتیجه بهتر شاید دولت می‌بایست تدابیری در جهت تجمیع مزارع در قالب تعاونی‌ها بیندیشد. البته طی سالیان اخیر «کوچک شدن سایز خانواده در بخش کشاورزی، از سرعت خرد شدن بیشتر زمین‌ها کاسته است. مهاجرت نسل جوان به شهرها بیشتر شده و به نقطه‌ای رسیده‌ایم که هر پدر کشاورز، یک فرزند کشاورز دارد و مدیریت زمین در دست یک نفر تجمیع می‌شود. این دینامیک درونی شاید به مرور زمان بتواند به صورت طبیعی، توسعه کشاورزی را متوقف کند و در مناطقی که کشاورزی فاقد مزیت نسبی است، جمعیت به شهر مهاجرت کنند»

افزایش قیمت آب و برق. روش دیگر برای کنترل حلقه (R_1) که منجر به برداشت بیشتر از آب‌های زیرزمینی می‌شود تقویت حلقه (B_1) با افزایش قیمت آب و برق است. به استثنای کشورهای معدودی، مانند هلند و اتریش، آب برای کشاورزی بسیار ارزان است. در ایران نیز علیرغم کمیابی منابع آبی، قیمت آب تنها dollar/ m^3 ۰/۰۰۲۵[2] و قیمت برق تنها dollar/ kwh ۰/۰۰۲[3] است. نمودار ۶ نشان می‌دهد که سیستم خیلی به قیمت آب و برق حساس نبوده و اگر دولت می‌خواهد قیمت‌ها را افزایش دهد می‌بایست در تعیین مقدار آن کمی دقیق باشد. در مدل تهیه شده به نظر می‌رسد، حتی زمانی که قیمت آب و برق ۱۰ برابر شود تغییر مهمی بر مصرف

1 sensitivity analysis
2 http://www.isna.ir

آب نمی‌گذارد (حتی با اینکه فرض شده است که افزایش نهاده‌های تولید باعث افزایش قیمت محصولات نمی‌شود). با این وجود افزایش قیمت‌ها به اندازه ۱۲ برابر می‌تواند تأثیر بسزایی بگذارد. در واقع تا نقطه‌ای که کاشت محصولات هنوز سودآور است تغییر قیمت خیلی اثرگذار نیست، اما از یک نقطه‌ای به بعد دیگر کشاورزان بقای خود را در بهبود تکنولوژی و بهره‌وری می‌یابد و تصمیم به سرمایه‌گذاری جهت افزایش بهره‌وری خواهند گرفت. نکته قابل ذکر اینکه این اعداد به اندازه کافی دقیق نیستند و بستگی دارد به توابعی که تحت عنوان " eff of R/C on IR effi"، "eff of R/C on desired HWD growth"، و " eff of R/C on desired irrigated land growth" که توابعی غیرخطی هستند، و همین غیر خطی بودن سبب می‌شود که تغییر رفتار کشاورزان در رابطه با تغییر قیمت‌ها نیز خطی نباشد.



نمودار ۶. A) تأثیر افزایش قیمت برق و آب بر روی تعداد چاه‌های آب. B) تأثیر افزایش قیمت برق و آب بر روی برداشت از آب‌های زیرزمینی

مطالبی که جا دارد اینجا به آن اشاره شود، این است که چون در حال حاضر بخش کشاورزی مسئول مصرف حدوداً ۱۵ درصد برق مصرفی کشور است لذا وزارت نیرو علاقمند است تا کشاورزان را تشویق به استفاده از پنل‌های خورشیدی نماید تا از این برق در بخش صنعت و خانگی استفاده شود و برای پاسخ به نیاز روز افزون برق در این بخش‌ها مجبور به افزایش ظرفیت‌های تولید نباشد. با این وجود دیده می‌شود که این اقدام اگر چه می‌تواند از تقاضای برق در بخش کشاورزی بکاهد اما از سوی دیگر می‌تواند باعث تضعیف حلقه کنترل کننده (B_1) و افزایش برداشت آب و تشدید معضل کاهش آب‌های زیرزمینی شود. علاوه بر آن اشکال دیگر این روش آن است که بهترین زمان برای آبیاری شب هنگام است و هنگام ظهر که معمولاً از انرژی خورشیدی برای پمپاژ آب استفاده می‌شود (به دلیل حداکثر بودن تابش خورشید و عدم نیاز به خرید باطری جهت ذخیره انرژی) بدترین زمان برای آبیاری است، چرا که تبخیر در بالاترین سطح است.

چالش‌های اجرایی

مقاومت و اعتصاب کشاورزان. «مصرف آب در بخش کشاورزی که در حدود ۹۰ درصد و مجموع آب مصرفی است بسیار ارزان بوده که حکومت به دلیل موانع سیاسی به آسانی قادر به افزایش آن نیست. قیمت آب و انرژی می‌بایست به طور قابل توجهی افزایش یابد تا منعکس‌کننده قیمت واقعی آب و انرژی در هر ناحیه از کشور باشد. البته این کار می‌تواند در کوتاه‌مدت عواقب منفی جدی بر شرایط اقتصادی و اجتماعی کشاورزان و هزینه سیاسی سنگینی برای دولت داشته باشد. برای اجتناب از این تأثیرات، دولت می‌بایست مدرن‌سازی بخش کشاورزی را حمایت مالی کند و کمک کند کشاورزان به طور کارا مصرف آب و انرژی خود را کاهش دهند. گر چه این استراتژی نیازمند سرمایه‌گذاری اولیه بالایی است، اما در بلند مدت انتظار می‌رود که این هزینه کمتر باشد از هزینه فعلی دولت که صرف سوبسید بالا به مصارف روز افزون آب و انرژی در بخش کشاورزی می‌شود» [۵].

موانع تکنولوژیک برای مانیتور کردن و اندازه‌گیری آب برداشتی: برای مرتفع کردن این چالش نیز دولت اقدام به فروش کنتورهای ویژه‌ای به کشاورزان نموده است که می‌تواند به طور همزمان آب و برق مصرفی را اندازه بگیرد و کشاورزان می‌تواند در قالب اقساط ماهانه هزینه آن را بپردازند [۱۰].

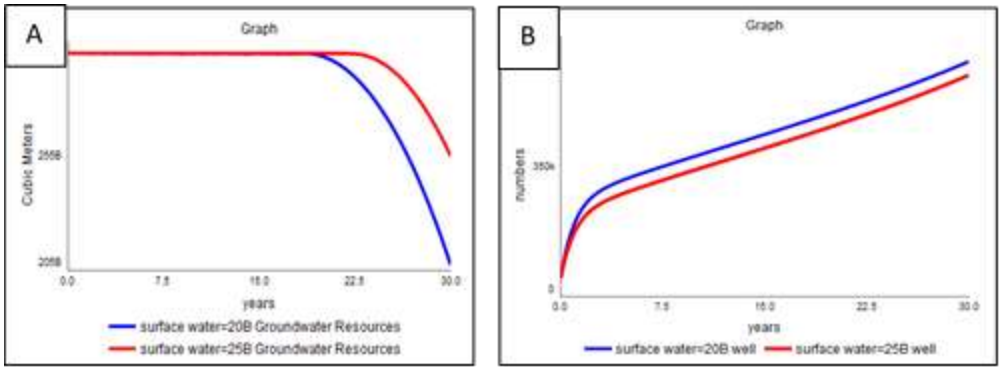
افزایش حفر چاه‌های غیر مجاز و دزدی برق

پوپولیسم. اقدامات پوپولیستی تصمیم‌گیران در ایران، مانند سوبسید بالا به آب و انرژی برای حمایت کشاورزان در افزایش سطح رفاه کشاورزان موفق نبوده است. به دلیل بی‌ثباتی سیاسی موجود و عدم امنیت در درون سیستم، تصمیم‌سازان بیشتر علاقمند به انجام فعالیت‌های پوپولیستی بوده که تأثیرات سریع اقتصادی داشته باشند. به عنوان مثال، نماینده مجلس یک منطقه می‌توانند مسئولان حوزه آب را تحت فشار قرار دهند تا برای ساخت سد در آن ناحیه بودجه صرف کنند تا به کشاورزان آن منطقه کمک کنند. اگر پروژه موفقیت‌آمیز باشد، می‌تواند سبب تقویت و رونق اقتصادی منطقه و افزایش محبوبیت و شانس موفقیت دوباره در انتخابات آن نماینده مجلس شود. عواقب بلندمدت زیست محیطی تأثیری بر منافع اقتصادی کوتاه مدت و محبوبیت سیاسی ندارد [۵].

افزایش نارضایتی عمومی به دلیل تورم و افزایش قیمت محصولات کشاورزی.

رابطه مستقیمی بین کمیابی آب و سطح فقر وجود دارد و اگر آب بر اساس کمیابی آن در هر منطقه قیمت‌گذاری شود، کشاورزان ضعیفی که در مناطق کم آب زندگی می‌کنند مجبور خواهند بود پول بیشتری برای آب پرداخت کنند [۴].

اختصاص آب‌های سطحی بیشتر به بخش کشاورزی. مشاهده می‌شود که اگر سهم بخش کشاورزی از آب‌های سطحی از ۲۰ میلیارد متر مکعب به ۲۵ میلیارد متر مکعب برسد مشکل کاهش آب‌های زیرزمینی به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد (نمودار ۷).



نمودار ۷. A) تأثیر افزایش سهم آب‌های سطحی بر کاهش آب‌های زیرزمینی . B) تأثیر افزایش سهم آب‌های سطحی بر تعداد چاه‌های آب

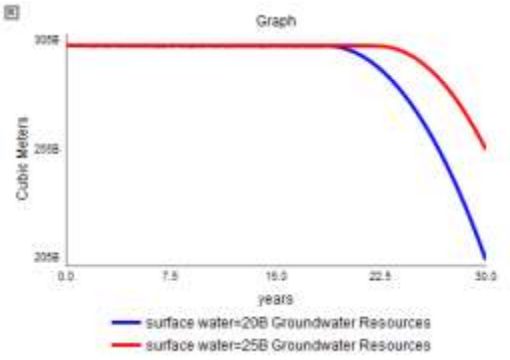
چالش‌های اجرایی:

آب‌های سطحی محدود هستند و افزایش سهم کشاورزی به معنای کاهش سهم خانگی، صنعت، و یا محیط زیست خواهد بود. سهم بخش خانگی به دلیل افزایش صعودی جمعیت و شهرنشینی نه تنها قابل کاهش نیست، بلکه خود متقاضی سهم بیشتر است. اما اگر افراد مصارف شخصی خود را کاهش دهند، این راه‌حل ممکن است امکان‌پذیر شود. با این حال می‌بایست به خاطر داشت که مصرف خانگی تنها ۶ درصد از کل آب مصرفی و کاهش آن نمی‌تواند تأثیر بزرگی بر کاهش مصرف آب‌های زیرزمینی در بخش کشاورزی ایجاد کند. کما اینکه اگر محدودیت‌های لازم اعمال نشود، می‌تواند منجر به اثر ارتجاعی و بسط بخش کشاورزی شود. راه حل دیگر

می‌تواند کاهش نشت شبکه آبرسانی باشد. در مورد بخش صنعت نیز به طور مشابه به دلیل اینکه حکومت به دنبال بهبود GDP و کاهش نرخ بیکاری برای نسل انفجار جمعیت[۱] بوده است، سهم صنعت نیز در دهه‌های اخیر صعودی بوده است. راه حلی که دولت‌ها طی دهه‌های گذشته بیشتر به آن علاقمند و متمایل بوده‌اند ساخت سد بوده است. راه حلی ظاهراً معقول که مشکل زمان بارش[۲]، تولید انرژی برق، و نیاز آب بخش کشاورزی و خانوار را را می‌تواند مرتفع کند. با این وجود سد سازی منجر به مشکلات بسیار جدی زیست محیطی شده است که تراژدی دریاچه ارومیه یکی از آن‌ها است.

این خشک شدن دریاچه‌ها و تالاب‌ها منجر به طوفان‌های نمک و گرد و غبار در بسیاری از نقاط ایران شده است که مشکلات تنفسی جدی برای مردم ایجاد کرده است. طوفان‌های نمک نیز به نوبه خود در حال تخریب مزارع کشاورزی اطراف هستند، که می‌تواند روستاییانی که معاش‌شان وابسته به کشاورزی است را نهایتاً مجبور به مهاجرت به شهرها نماید که می‌تواند از یک سو بحران آب در شهرهای بزرگ را تشدید کند و سوی دیگر وضعیت حاشیه نشینی و زاغه نشینی شهرهای بزرگ را بدتر کند و مشکلات و معضلات اجتماعی را افزایش دهد.

تصفیه فاضلاب‌ها و استفاده آن در بخش کشاورزی: دوباره لازم به ذکر است که تنها ۶درصد از کل آب مصرفی مربوط به بخش خانگی است (۱/۵ درصد صنعت و مابقی بخش کشاورزی) لذا نمی‌بایست انتظار داشت این روش نیز منجر به تغییری قابل توجه در کاهش مصرف آب‌های زیر زمینی ایجاد کند و علاوه بر آن می‌بایست در کنار آن محدودیت‌هایی برای جلوگیری از اثر ارتجاعی اعمال شود (نمودار ۸).



نمودار ۸. اثر استفاده از فاضلاب تصفیه شده بر کاهش آب‌های زیرزمینی

چالش‌های اجرایی

مشکلات مالی. به دلیل تحریم‌ها ایران قادر به تأمین مالی این‌گونه پروژه‌ها از طریق دریافت وام از بانک-های بین‌المللی نبوده و از سوی دیگر چون آب بخش کشاورزی تقریباً رایگان است، انگیزه‌ای برای سرمایه‌گذار خصوصی (چه داخلی و چه خارجی) وجود ندارد تا در این بخش سرمایه‌گذاری کند. مشاهده می‌شود که قیمت‌گذاری پایین آب در بخش کشاورزی نه تنها به پایین بودن بازدهی آبیاری دامن زده است، بلکه از سوی دیگر مانع توسعه تصفیه خانه بوده است.

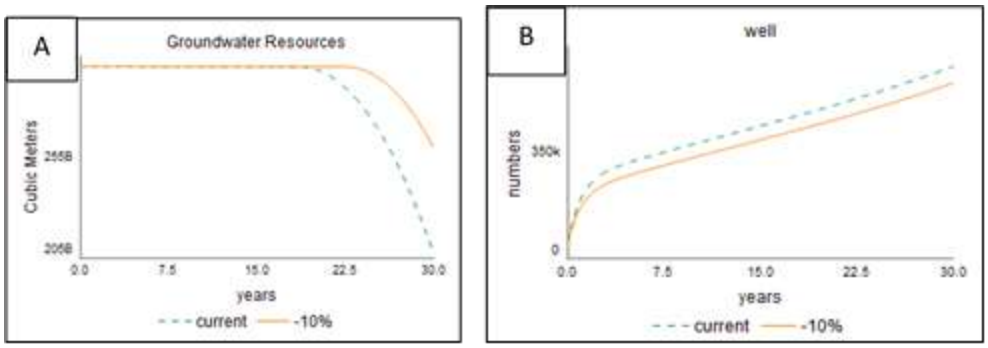
کوچک‌سازی بخش کشاورزی. بدیهی است که کوچک‌سازی بخش کشاورزی می‌تواند باعث تقلیل مشکل کاهش آب‌های زیرزمینی شود. در واقع برای پایدار بودن سرمایه‌های طبیعی، لازم است اندازه فعالیت‌های

---

1 baby boom

۲ temporal

انسانی نهایت تا ظرفیت تحمل[1] باشد و ورودی به استاک بیشتر یا نهایتاً برابر با خروجی باشد. زمانی که امکان افزایش ورودی نباشد باید خروجی را کاهش داد و فزونی مخارج بر درآمد منجر به ورشکستگی خواهد شد. به طور مثال ۱۰ درصد کوچک‌سازی بخش کشاورزی منجر به نتیجه نشان داده شده در نمودار ۹ می‌شود.



نمودار ۹. A) تأثیر کوچک‌سازی بخش کشاورزی بر کاهش منابع آب‌های زیرزمینی، B) تأثیر کوچک‌سازی بخش کشاورزی بر تعداد چاه‌ها

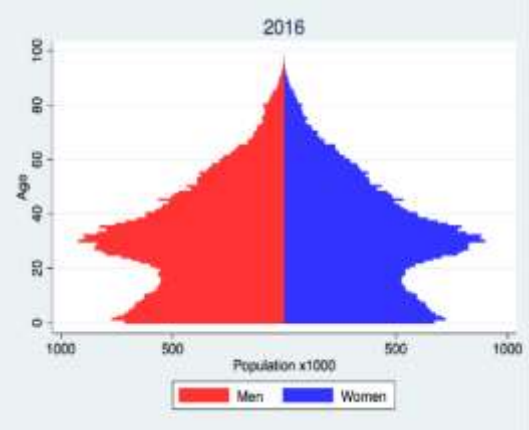
چالش‌های اجرایی

تضاد منافع میان وزارت کشاورزی و وزارت نیرو: هدف اصلی وزارت کشاورزی امنیت غذایی و خودکفایی در زمینه محصولات کشاورزی است. با این حال، حصول امنیت آبی و امنیت غذایی در حال حاضر با شرایط موجود ناممکن به نظر می‌رسد. برای دستیابی توأمان امنیت غذایی و آبی لازم است مصرف و یا «نیاز» را به نحوی مدیریت کنیم. از جمله روش‌های مهار تقاضا برای محصولات غذایی می‌توان به شش مورد زیر اشاره کرد:

- **بازبینی در سیاست‌های جمعیتی:** پس از جنگ با عراق، به دلیل سیاست‌های افزایش جمعیت اتخاذ شده، جمعیت ایران دو برابر شد (در سال ۱۹۸۰ جمعیت ایران ۴۰ میلیون، و در سال ۲۰۱۶، ۸۰ میلیون). بعد از این انفجار جمعیت مقامات ایرانی سیاست‌های کنترل جمعیت را با شعار «یک بچه خوب است، دو بچه کافی است» به کار گرفتند. با این وجود با به سن ازدواج رسیدن کودکان دهه ۶۰ بار دیگر هرم جمعیتی رو به چاق شدن گذاشته است (شکل ۲)[۳]. دلیل دیگری نیز که مزید بر علت شده است تغییر سیاست‌های جمعیتی کشور بوده است. طی سالیان اخیر، علاوه بر آنکه سیاست‌های کنترل جمعیتی نیز در کشور تغییر کرده است و بار دیگر دولتمردان مردم به داشتن فرزندان بیشتر تشویق می‌کنند.

یکی از دلایل آن‌ها این است، که این پیک جمعیتی در چند دهه آینده پیر خواهند شد و این خیل عظیم بازنشستگان نیاز به جمعیت پشتیبان دارند. هر چند که وضعیت نامناسب معاش و نرخ بالای بیکاری سبب شده این تشویق‌ها آن‌گونه که انتظار می‌رفت میسر نیفتد که هر چند ممکن است از منظر پیر شدن جمعیت کشور و عواقب آن خبر خوبی نباشد، اما اگر از دید ظرفیت منابع آبی کشور دیده شود می‌تواند خبر امیدوار کننده‌ای باشد.

1 carrying capacity



شکل ۲. هرم جمعیتی کشور ایران

- **مصرف کمتر گوشت:** امروزه در بیشتر نقاط دنیا مردم خوردن گوشت را به خوردن سبزیجات ترجیح می‌دهند و این خبر بدی برای منابع آبی است، چرا که سبزیجات در حدود ۲۰۰۰ لیتر به ازای هر کیلو آب مصرف می‌کنند در حالی که هر کیلو گوشت قرمز در حدود ۱۵ هزار لیتر (بیش از ۷ برابر) آب مصرف می‌کند. مطالعات ونهام (۲۰۱۳)[۱۶] با استفاده از مفهوم «آب مجازی»[1] نشان می‌دهد که رژیم غذایی کنونی مردم، روزانه ۱۰۰۰ لیتر بیش از یک رژیم غذایی سالم و ۱۶۰۰ لیتر بیش از یک رژیم غذایی گیاهی است.

به این معنا که اگر مردم مصرف گوشت قرمز را کاهش دهند و به سطح رژیم غذایی سالم برسانند، نه تنها می‌تواند بسیاری از مشکلات سلامت از جمله اضافه وزن و بیماری‌های قلبی عروقی را که فشار زیادی به وزارت بهداشت و بودجه سلامت وارد می‌کند را بهبود بخشد، بلکه می‌تواند مشکل برداشت آب‌های زیرزمینی را تا حد زیادی درمان کند. با این وجود در برخی نقاط ممکن است تشویق این سیاست به مشکلات دیگری از جمله صید بیش از حد ماهی[2] منجر شود لذا لازم است پیش از آن برای مدیریت عوارض احتمالی[3] نیز برنامه‌هایی تدوین شود.

- **کاهش دور ریز غذا:** بر اساس آمار موجود در حدود ۳۵ درصد از محصولات کشاورزی به سطل‌های زباله ریخته می‌شوند که معادل ۳/۹ میلیارد متر مکعب آب است. و برای تغییر این رویه نیاز به فرهنگ‌سازی و تغییر ذهنیت مردم است
- **استفاده از منابع غذایی جدید** که آب کمتری مصرف می‌کنند مانند نان حشرات به جای نان گندم
- **یافتن روش‌های نوین کشاورزی** در خاک شور
- **تغییر تعریف «خودکفایی».** ممکن و منطقی نیست یک کشور در تمام محصولات کشاورزی خودکفا باشد. در این میان باید به منابع آب‌های زیرزمینی ضریب اهمیت بالاتری در تصمیم‌گیری‌ها داد، و از این منابع استراتژیک برای شرایط بحرانی و روز مبادا محافظت کرد و بلکه بر مقدار آن افزود تا کشور توان ایستادگی در محاصره‌های غذایی را داشته باشد. و گرنه همین نقطه می‌تواند پاشنه آشیلی باشد

1 virtual water
2 overfishing
3 side effects

برای کشور و در شرایط دشوار کشور را مجبور به پذیرفتن «نفت در برابر غذا» کنند در حالیکه داشتن منابع آبی کافی می‌تواند کشور را در موقعیت بهتری در این‌گونه مذاکرات و شرایط قرار دهد.

چالش اجرایی دوم برای کوچک‌سازی بخش کشاورزی آمار بالای بیکاری است. بخش کشاورزی در ایران نیرو بر است، تا سرمایه بر و در حدود ۴ میلیون کشاورز در ایران وجود که کوچک‌سازی این بخش می‌تواند نرخ بیکاری را به طور وخیم‌تر از شرایط فعلی کند. در حال حاضر نرخ بیکاری بیش از ۲۰درصد است و دولت‌ها از کنترل آن مستأصل هستند، چرا که ایجاد فرصت‌های شغلی نیازمند بودجه و سرمایه‌گذاری است که از یک سو به دلیل پایین بودن شاخص‌های مؤثر بر فضای کسب و کار[1] و تحریم‌ها سرمایه گذاران خارجی و داخلی تمایلی به سرمایه گذاری ندارند و از سوی دیگر حکومت نیز توان و بودجه کافی برای آن ندارد و در حال حاضر نیز از کسری بودجه رنج می‌برد. مشاهده می‌شود که سیاست‌های جمعیتی سی سال پیش چگونه دست دولت را بعد از سه دهه برای کوچک‌سازی بخش کشاورزی برای مدیریت آب‌های زیرزمینی بسته است. مسأله دیگر این است که متوسط سنی کشاورزان بیش از ۵۰ سال است و اکثر آن‌ها سواد بالایی نداشته و کار دیگری به غیر از کشاورزی نمی‌توانند انجام دهند.

چالش دیگر در مورد روش اجراست. چگونه دولت می‌خواهد بخش کشاورزی را کوچک کند؟ دو روش در این رابطه به ذهن می‌رسد: «طرح نکاشت» و خرید زمین از کشاورزان.

- در مورد طرح نکاشت دولت به کشاورزان پول پرداخت می‌کند تا چیزی نکارند، با این حال به دلیل نبود اعتماد به توان مالی سازمان تأمین اجتماعی: «یک انتظار تاریخی از کشاورزی وجود دارد که این بخش را محور توسعه و مسئول ایجاد اشتغال می‌داند. اگر بخواهیم بخش کشاورزی را کوچک کنیم و همزمان از تبدیل شدن اشتغال به یک مسأله حاد و افزایش مهاجرت جلوگیری کنیم، باید همزمان توسعه صنعتی را در روستاها پیش ببریم. همین الان در کشاورزی برخی مناطق کشور با «بیکاری پنهان» مواجه هستیم، به این معنا که اگر فرد از چرخه تولید خارج شود، هیچ اتفاقی نمی‌افتد. اما اگر این فرد به همین کشاورزی هم اشتغال نداشته باشد، آیا پتانسیلی برای جذب او در بازار کار روستا به نحوی که به حاشیه شهرها نیاید وجود دارد؟ کشاورز، سال‌ها براساس تجربه آبا و اجدادی کشاورزی کرده است و سیاست‌ها نمی‌تواند حتی نوع یا سطح زیر کشت محصول را تغییر بدهد.

وزارت کشاورزی با کشاورزان جنوب قرارداد می‌بندد که سیب‌زمینی به مقدار مشخصی کاشته شود و خرید آن را نیز تضمین می‌کند؛ اما این ابزارهای حمایتی حتی نمی‌تواند سطح زیر کشت محصول را تغییر دهد. مثال دیگر در حوزه دریاچه ارومیه اتفاق افتاد که کشاورزهای گندم‌کار، به دلیل توسعه صنعتی نامناسب کارخانجات قند، چغندر کاشتند و دیگر نتوانستیم محصول کشت‌شده را به قبل برگردانیم؛ چه رسد به اینکه هزینه «نکاشت» را به او بدهیم که اصلاً چیزی نکارد. چرا که از جنبه مهارتی، فردی که سال‌های زیادی از عمرش را صرف کشاورزی کرده است، الان مهارت دیگری ندارد و تأمین اجتماعی ما آنقدر قوی نیست که بتواند ریسک رها کردن شغل را برای فرد مدیریت کند.

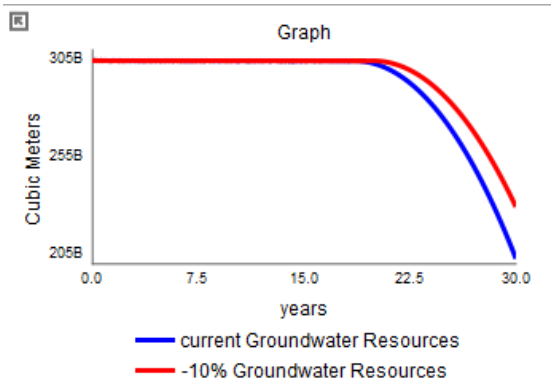
ساختار سنتی و زمین‌های کوچک کشاورزی، نکته دیگر است. براساس سرشماری، متوسط مساحت اراضی کمتر از پنج هکتار است و در مناطق روستایی برای برخی از محصولات و به خصوص باغ‌ها، این سطح به یک تا دو هکتار می‌رسد. حتی اگر به فرد بگوییم که در این زمین یکی دو هکتاری کشاورزی نکند و به اندازه درآمد ماهآن‌هاش پول بگیرد، چنین اعتمادی وجود ندارد. شاید ابزارهایی وجود داشته باشد که بتوانیم در قالب شرکت‌های تعاونی، زمین‌ها ابتدا تجمیع بشوند و بعد تقلیل پیدا کنند. برای

1 doing business

زیرساخت‌هایی که الان در بخش کشاورزی وجود دارد و از جمله چاه‌ها، هزینه‌هایی صرف شده است و در نتیجه توقف فعالیت آن‌ها آسان نیست» [۴].

- در مورد خرید زمین از کشاورزان: «در مثال دریاچه ارومیه وقتی می‌خواستیم هزینه نکاشت را حساب کنیم، دو مکانیسم وجود داشت: می‌توانستیم زمین بخریم؛ یا زمین نخریم و به کشاورز پول بدهیم که نکارد. در هر دو مکانیسم، یک‌سری برآوردهایی هم انجام شد که چقدر پرداخت شود. اتفاقی که در مرحله اجرا می‌افتد این است که وقتی زمین‌های روستای اول را بخرید، دیگر نمی‌توانید بقیه را خریداری کنید. چراکه وارد یک فرآیند چانه‌زنی می‌شوید» [۴].

تجارت آب مجازی و کم کردن سهم کاشت محصولات با رد پای بالای آب[1]: به عنوان مثال دولت می‌تواند خرید محصولات با مصرف آبی پایین را با قیمت بالاتر از محصولات با مصرف آبی بالا تضمین کند یا می‌تواند مالیات بالاتری برای محصولات با مصرف آبی بالا تعریف کند. علاوه بر آن صادرات محصولات با رد پای آب بالا (مانند هندوانه) را ممنوع و یا آن‌ها را با قیمت پایین‌تر وارد کند تا انگیزه‌ای برای کاشت در داخل نباشد. در نمودار ۱۰ تأثیر این سیاست بر منابع آب‌های زیرزمینی را می‌توان مشاهده کرد.



نمودار ۱۰: تأثیر تجارت آب مجازی و کاهش سهم محصولات پر مصرف آبی بر کاهش منابع آب‌های زیرزمینی

چالش‌های اجرایی

در مورد تجارت آب مجازی یک‌سری انتقادات و عدم اطمینان‌ها وجود دارد. برخی از کشورهایی که دارای منابع آبی غنی هستند فاقد کافی مناسب برای کشاورزی هستند (مانند کانادا). برخی دیگر از کشورها نیز که آب و خاک کافی و مناسب دارند به دلیل گران بودن نیروی کار و همچنین نگرانی‌های زیست محیطی ترجیح می‌دهد محصولات کشاورزی را وارد کنند (مانند ژاپن). مورد دیگر این است که علاوه بر ۳۷ کشور ذکر شده که دچار تنش آبی بالا هستند برخی کشورهای دیگر نیز در آستانه بحران هستند (از جمله کشور چین) که اگر بخواهند همگی از تجارت آب مجازی استفاده کنند فشار بالایی را به کشورهای صادر کننده آب مجازی (مانند برزیل) وارد خواهد کرد، چرا که عملاً تنها فشار از یک کشور به کشوری دیگر منتقل می‌کند، ولی باعث کم شدن مجموع آن نمی‌شود. بنابراین این راه حل نیز خیلی قابل اتکا نبوده و نمی‌تواند پایدار بماند.

1 high-water footprint

محدود کردن تعداد چاه‌های مجاز و مسدود کردن چاه‌های غیر مجاز

چالش‌های اجرایی. تمایل سیاستمداران به راه حل‌هایی است که هر چه سریع‌تر (و نه هر چه ریشه‌ای‌تر) مسأله را حل کند: زمانیکه مشکل کمبود آب وجود دارد، دولت می‌تواند دو راه حل را در پیش بگیرد: یکی ایجاد فرصت‌های شغلی جدید برای کشاورزان و کوچک کردن اندازه کشاورزی، و دیگری اجازه حفر چاه بیشتر برای جبران کم آبی. راه اول زمان‌بر و هزینه‌بر است، لذا مطلوب سیاستمدارانی نیست که به دنبال راه حل‌هایی هستند که به سرعت مشکل را برطرف نمایند. این‌گونه راه حل‌های کوتاه مدت و مقطعی نه تنها ریشه مشکل را برطرف نمی‌کنند بلکه به آن فرصت می‌دهند تا بیشتر پیش برود و عمیق‌تر شود (آرکیتایپ انتقال فشار ۱).

افزایش تعداد چاه‌های غیر مجاز با کاهش تعداد مجوز برای حفر چاه به دلیل مجازات سبک و ریسک پایین آن: « یکی دیگر از عواملی که متخلفان را برای دست اندازی به این منابع تشویق نموده، مجازات سبک و البته مبهم تعریف شده برای تخلفات است. طبق ماده ۴۵ قانون توزیع عادلانه آب، کسانی که بدون رعایت مقررات به حفر چاه، قنات یا بهره برداری از منابع آب زیرزمینی مبادرت کنند (بند هـ)، « علاوه بر اعاده وضع سابق و جبران خسارت به ۱۰ تا ۵۰ ضربه شلاق یا از ۱۵ روز تا سه ماه حبس تأدیبی بر حسب موارد جرم به نظر حاکم شرع محکوم می‌شوند». از این منظر این مجازات سبک است که مجازات را به تعدادی شلاق یا حداکثر سه ماه حبس محدود کرده و از این منظر مبهم است که «اعاده به وضع سابق» را ذکر نموده که عملاً برای یک بهره‌بردار اعاده احجام استحصالی به آب‌خوان غیرممکن است و تنها برای بستن چاه معنی و مفهوم خواهد داشت.

البته مصاحبه شوندگان در وزارت نیرو همگی به عدم همکاری مناسب دستگاه قضایی در برخورد با متخلفین اشاره نمودند که به دلیل عدم آگاهی و دانش کافی از اثرات مخرب برداشت‌های غیرمجاز، در اکثر موارد به راحتی رأی را به نفع متجاوزان صادر می‌کردند» [۹]. فصل دوم قانون توزیع عادلانه آب شامل موادی است که به آب‌های زیرزمینی می‌پردازد (از ماده ۰۳ تا ۱۷). بر اساس اولین ماده از این فصل (ماده سه)، هر گونه استفاده از منابع آب زیرزمینی باید تحت کنترل و موافقت وزارت نیرو صورت گیرد (به استثنای چاه‌های با آب‌دهی کمی که در مناطق غیرممنوعه و برای مصارف خاص غیرکشاورزی احداث شده‌اند).

در تبصره ذیل این ماده که تقریباً پر چالش‌ترین ماده قانونی در بحث آب‌های زیرزمینی است، به صاحبان چاه‌های بدون پروآن‌های که تا زمان وضع قانون حفر شده‌اند اجازه داده می‌شود، که در صورت تأیید دو کارشناس از وزارت نیرو مبنی بر عدم وارد آوردن ضرر بر مصالح عمومی، بتوانند پروانه بهره‌برداری اخذ کنند. با توجه به متن این تبصره، این موارد می‌توانند حتی در مناطق ممنوعه قرار داشته باشند که توسط وزارت نیرو، طبق ماده ۴ همین قانون، بررسی و به عنوان منطقه ممنوعه اعلام شده باشند. طبیعتاً اضافه کردن چنین تبصره-های در قانون بدون توجه به محدودیت آب‌خوآن‌ها، خود حاکی از روحیه بی‌توجهی قانون‌گذاران نسبت به حفاظت از منابع آب زیرزمینی می‌باشد، چرا که طبق این تبصره نظر دو کارشناس بر تمامی مطالعات استاندارد و مشخصی که می‌بایست در راستای بررسی محدودیت دشت‌ها صورت گیرد، اولی می‌شود و این یعنی باز نمودن عرصه برای اعمال سلیقه و زدوبند؛ به طوری که یکی از مدیران وزارت نیرو این‌گونه می‌گوید که: «قریب به اتفاق (این چاه‌ها) به دلیل نفوذ، به دلیل فساد، به دلیل رأی قضایی (غیرکارشناسی) پروانه‌دار شدند». به عبارت دیگر، همین تبصره این امکان را فراهم آورد تا متخلفین بتوانند حتی چاه‌هایی را که پس از سال ۶۱ حفر کرده بودند نیز وارد فرآیند اخذ پروانه بهره‌برداری نموده، برایشان پروانه دریافت کنند.

یکی از مدیران وزارت نیرو این‌گونه به توضیح اثرگذاری این ماده اشاره نمود که: «این قانون باعث شد ۱۵۰ هزار چاه غیرمجاز را مجاز کنند». بعد منفی دیگر این قانون که با وضع «قانون تعیین تکلیف چاه‌های بدون

---

1 shifting burden archetype

پروانه» (۱۳۸۹) تشدید شد جا افتادن «رویه جایزه دادن به متخلف در منابع آب کشور» است. در این قانون آمده است که تبصره ذیل ماده ۳ ملغی شده و چاه‌های بدون پروآن‌های (بدون اجازه) که تا سال ۸۵ حفر شده بودند می‌توانند برای تعیین تکلیف وضعیت پروانه چاه خود، به صورت قانونی اقدام کنند. یکی از مدیران اسبق وزارت نیرو که عبارت «رویه جایزه دادن به متخلف» را مطرح نمود، این‌گونه تعبیر خود را توصیف می‌کند که: «این قوانین به شما می‌گویند که اگر شما بدون مجوز به منابع آب تجاوز کردید، یک روزی چاه شما پروانه‌دار خواهد شد. اگر مقاومت بکنید و متجاوز بودید... نگران نباشید» [۹] افزایش تعداد چاه‌های غیر مجاز قبح آن را از بین می‌برد و این اعتقاد را ایجاد می‌کند که می‌توان چاه غیر مجاز داشت و با مشکل خاصی نیز مواجه نشد، و باز چاه‌های غیر مجاز بیشتری حفر خواهد شد (حلقه مثبتی که منجر به افزایش تصاعدی چاه‌های غیر مجاز می‌شود).

مقاومت کشاورزان در برابر مسدود کردن چاه‌های غیر مجاز: بر اساس مصاحبه‌های صورت گرفته، مسأله معیشت کشاورزان یکی از ابعاد بسیار تأثیرگذار بر اقدامات حفاظتی است و بخش قابل توجهی از کشاورزان (که براساس گفته‌های مصاحبه شوندگان مختلف از ۱۰ تا ۹۰ درصد متغیر است) به منظور حفظ معاش خانواده خود نیازمند همین برداشت‌های غیرمجاز می‌باشند. یکی از مدیران وزارت نیرو این طور مسأله وابستگی بخش قابل توجهی از بهره‌برداران به برداشت غیرمجاز از منابع آب زیرزمینی را توصیف کرد: «طرف (کشاورز) دست بچه‌اش را گرفته (آویزان بالای چاه) که یا بروید یا میاندازمش داخل چاه. چون تمام زندگیش است» [۹].

عدم درک اهمیت این مسأله توسط قاضی‌ها و سایر مجریان: « در رابطه با نقش وزارت کشور و تأثیر فرمانداران یکی از مدیران وزارت نیرو این‌گونه از تجربه خود صحبت نمود که: «(قبلاً)من خودم (برای) اجرای حکم (بستن چاه غیرمجاز) می‌رفتم. معاون حفاظت و بهره‌برداری بود، با تیم می‌رفتم برای اجرای حکم. ماشین‌آلات بیل و لودر و کارگر و نیروی انتظامی را بر می‌داشتیم می‌رفتیم .آنجا فرماندار خودش شخصاً جلوی (مقابل) ما بود». یکی دیگر از مدیران در رابطه با عملکرد قضات نیز به این شکل مشکل را توصیف نمود: «ما وقتی یک متخلفی را می‌بریم دادگاه که برایش حکم صادر شود، قوه قضاییه باید این دید حفاظتی را داشته باشد که این مجرم را با نگاه یک بدبختی که حالا یک چاه غیرمجاز زده نگاه نکند، به عنوان یک دزد به آن نگاه کند که دستش را کرده در جیب من و شما. منابع آبی را که ما رفتیم بر اساس آن برنامه‌ریزی کردیم و کارخانه ساختیم، یا زمین کشاورزی یا باغ، حالا این آقا دارد اضافه یا غیرمجاز برداشت می‌کند و سهم ما را دارد می‌خورد نه اینکه یک بدبخت است.» [۹].

حاکمیت آب و بازار آب. دلیل اصلی «تراژدی منابع مشترک» آن است که مالکیت آب در اختیار دولت است. واگذاری مالکیت آب به کشاورزان و تأسیس «بانک آب» (مانند آنچه در کالیفرنیا صورت گرفته است) می‌تواند باعث افزایش بهره‌وری و بازدهی مصرف آب شود. کشاورزان می‌توانند تصمیم بگیرند که آب را خودشان مصرف کنند یا حق آب خود را به بخش‌های دیگر با بهره‌وری بالاتر بفروشند (مانند فروش به صنعت). به عنوان مثال تولید ۱ تن گندم یک میلیون لیتر آب مصرف می‌کند در حالی که برای تولید یک تن فولاد تنها ۱۴ هزار لیتر آب مصرف می‌شود. همچنین دولت می‌بایست سایر ذی‌نفعان را در تصمیم‌گیری‌ها مشارکت دهد و رویکرد «بالا به پایین» نه تنها کارا و مؤثر نیست بلکه تحت اجرایی آن نیز توسط دیگران پایین است و دولت مجبور خواهد بود برای دیکته کردن آن بودجه و نیروی انسانی زیاد را به خدمت بگیرد. در حالی که تصمیم‌گیری مشارکتی می‌تواند مقاومت ذی‌نفعان را کاهش و تعهد اجرایی آن را افزایش دهد.

٤. تحلیل داده‌ها و یافته‌ها

نتایج مدلسازی نشان می دهد که اولاً بازدهی آبیاری یک نقطه اهرمی برای سیستم است که تغییری کوچک در آن می تواند تأثیری بزرگ ایجاد کند. نتیجه دیگری که از خروجی های مدل می توان گرفت آن است که مابقی سیاست‌ها به تنهایی تأثیر قابل توجهی ندارند و برای مؤثر بودن آن‌ها می بایست به صورت همزمان و ترکیبی استفاده شوند.

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهاد

با استفاده از مدل پویای تحقیق می‌توان به ساختار زیرینی[1] که موجب برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی می‌شود پی‌برد. همان‌گونه که مشاهده گردید کاشت محصولات با مصرف آبی بالا و بازدهی پایین آبیاری دو دلیل عمده تقاضای بالای آب در بخش کشاورزی هستند و برای کنترل آن‌ها لیستی از سیاست‌ها مورد آزمایش قرار گرفتند. نتیجه حاصله آن بود که اولاً بازدهی آبیاری یک نقطه اهرمی[2] برای سیستم است که تغییری کوچک در آن می‌تواند تأثیری بزرگ ایجاد کند، لذا دولت می‌بایست تمرکز بودجه و انرژی خود را بر روی بهبود بازدهی آبیاری بگذارد. البته نکته بسیار مهم آن است که دولت به طور همزمان می‌بایست برای کنترل اثر ارتجاعی[3] از افزایش زمین‌های زیر کشت و افزایش سهم محصولات با مصرف آبی بالا جلوگیری کند. در غیر این صورت سیاست بهبود بازدهی آب بی‌نتیجه خواهد بود و از ته کشیدن آب‌های زیرزمینی جلوگیری نخواهد کرد. نتیجه دیگری که از خروجی‌های مدل می‌توان گرفت آن است که مابقی سیاست‌ها به تنهایی تأثیر قابل توجهی ندارند و برای مؤثر بودن آن‌ها می‌بایست به صورت همزمان و ترکیبی استفاده شوند.

پیشنهاد برای مطالعات آتی

پیشنهاد می‌شود به منظور دستیابی به نتایج دقیق‌تر، تاثیر جزییات ذیل نیز مورد بررسی قرار گیرند:

- کاهش سطح آب‌های زیرزمینی باعث فرونشستن زمین و کاهش ظرفیت ذخیره آب سفره‌های زیرزمینی می‌شود.
- کاهش سطح آب‌های زیرزمینی و فرو نشست زمین سبب سفت و متراکم شدن خاک، کاهش فضا برای نفوذ آب، و در نتیجه کاهش نفوذ آب‌های سطحی به خاک برای شارژ منابع زیر زمینی شود.

---

1 underlying structure
2 leverage point
۳ rebound effect

منابع

1. Abbasi, F., Sohrab, F., & Abbasi, N. (2017). Evaluation of irrigation efficiencies in Iran.
2. An Statistical Overview of Field Crops Harvested Area and Production in the Past 36 Years, Iranian Ministry of Agriculture, (In Persian), www.maj.ir/dorsapax/userfiles/file/barasiSH.pdf
3. en.wikipedia.org/wiki/Demographics_of_Iran
4. Ghoddusi, H., & Tahamipour, M. (2015). Water and agriculture skein, *Journal of Tejarate Farda*. (in Persian)
5. Madani, K. (2014). Water management in Iran: what is causing the looming crisis?. *Journal of environmental studies and sciences*, 4(4), 315-328.
6. Mashayekhi, A. N. (1990). System dynamics in strategic planning, in the proceedings of 1990 interna onal system Dynamics Conference. *System Dynamics Society*.
7. Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2011). The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products.
8. Mesgaran, M., Madani, K., Hashemi, H., & Azadi, P. (2016). Evaluation of land and precipitation for agriculture in Iran. *Stanford Iran 2040 Project*, (2).
9. Mirnezami, S. J., & Bagheri, A. (2017). Assessing the water governance system for groundwater conservation in Iran. (in Persian)
10. patenmages.storage.googleapis.com/33/fe/5e/1e77014f9dc0d7/US20090099700A1.pdf
11. Poor-Asghar, F .(2015). Quantity and quality limitations of water resources, the most important challenge facing with sustainable development in the 6th development plan. *Management and Planning Organization, Tehran, 43pp (In Persian)*
12. price.forsatnet.ir/food/fruit.html &https://www.iranjib.ir
13. Saysel, A., & Mirhanoglu, A. (2018). Sustaining groundwater irrigation in mardin kızıltepe plains of southeast Turkey. In *36th Interna onal Conference of the System Dynamics Society*. tsd.cbi.ir/DisplayEn/Content.aspx
14. unu.edu/media-relations/releases/water-called-a-global-security-issue.html
15. Vanham, D., Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2013). The water footprint of the EU for different diets. *Ecological indicators*, *32*, 1-8.
16. World Economic Forum (WEF): The Global Risks Report 2016
17. www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/IRN/
18. www.weforum.org/agenda/2016/01/what-are-the-top-global-risks-for-2016/