

راهبرد بقای فردی، منجر به چرای شدید شاخه‌زادها و تشدید روند قهقراپی مراتع گشته است. سوم، «تاب‌آوری فرسایشی» در مدیریت مراتع که با حضور جمعیت دامی ۱۱۹ درصد بیش از سقف ظرفیت برد، عملاً «تراژدی منابع مشترک» را رقم زده است. مدل مفهومی پیشنهادی بر ضرورت گذار از «مدیریت اضطراری» به «مدیریت ریسک ساختاری» از طریق پنج ابزار اجرایی شامل سامانه هشدار زودهنگام، بیمه شاخص محور بر پایه SPI یا VHI، هوشمندسازی یارانه‌ها، پرداخت برای خدمات بوم‌سازگانی (PES) و تنوع‌بخشی به معیشت روستایی تأکید دارد.

کلید واژه: استان لرستان، تاب‌آوری، خشک‌سالی، مدل مفهومی، مدیریت پایدار

مقدمه

خشک‌سالی پدیده‌ای پیچیده و چندوجهی محسوب می‌شود که درک و تعریف دقیق آن، متناسب با زمینه تخصصی پژوهشگران متفاوت است [۱]. اگرچه این معضل بر تمامی بخش‌های اقتصادی تأثیرگذار است، اما برخلاف دیگر بلایای طبیعی نظیر سیل یا زلزله، از آن با عنوان «پدیده خزنده» یاد می‌شود؛ زیرا آثار تخریبی آن به تدریج و در بازه‌های زمانی طولانی بر منابع طبیعی و فعالیت‌های اقتصادی سایه می‌افکند. بر اساس مبانی علمی، کاهش میزان تأمین آب نسبت به تقاضای موجود، به‌ویژه در مقایسه با میانگین بلندمدت منطقه، زیربنای اصلی تعریف خشک‌سالی است [۱۴]. در پژوهش حاضر، تمرکز اصلی بر پیامدهای ترکیبی خشک‌سالی کشاورزی و هیدرولوژیکی بر منابع طبیعی و معیشت روستایی استان لرستان است.

این بحران در مناطقی نظیر ایران که با بارندگی ناپایدار و وابستگی بالای معیشتی به منابع آبی مواجه هستند، نمودی ویرانگرتر دارد. در استان لرستان نیز به‌رغم قرارگیری در زمره مناطق پربراش زاگرس، بررسی‌های آماری نشان می‌دهند که وقوع خشک‌سالی نه تنها پدیده‌ای نادر نیست، بلکه ماهیتی بازگشت‌پذیر دارد. بر اساس تحلیل‌های موجود، احتمال وقوع خشک‌سالی‌هایی که بیش از ۸۰ درصد سطح استان را تحت تأثیر قرار می‌دهند، در هر سال حدود ۳۷ درصد برآورد شده است [۱۵]. اهمیت محوری این پژوهش از پیوند ناگسستنی اقتصاد استان لرستان با کشاورزی دیم و دام‌پروری نشئت می‌گیرد. خشک‌سالی‌های مستمر، به‌ویژه در سایه تغییرات اقلیمی اخیر، امنیت غذایی و معیشت خانوارهای روستایی را که با درآمدهای محدود به منابع طبیعی وابسته‌اند، به شدت تهدید می‌کند.

ارائه مدل مفهومی مدیریت پایدار منابع طبیعی و کشاورزی (درس آموخته‌های راهبردی خشک‌سالی استان لرستان)

گلاره غفاری^{۱*}، مهران زندآ، رضا چمن پیرا^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۳/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۶/۲۳

DOI: / 10.22034/wmji.2026.2089518.1137

چکیده

این پژوهش باهدف طراحی «مدل مفهومی ارتقای تاب‌آوری بوم‌سازگان طبیعی و مدیریت پایدار» در مواجهه با خشک‌سالی‌های اجتناب‌ناپذیر استان لرستان تدوین شده است. روش‌شناسی تحقیق بر پایه رویکرد ترکیبی و مرور نظام‌مند شش طرح تحقیقاتی کلان استوار است که ابعاد بیوفیزیکی، اقتصادی و مدیریتی خشک‌سالی را در پهنه زاگرس میانی واکاوی کرده‌اند. یافته‌ها نشان‌دهنده وقوع یک «تغییر رژیم اقلیمی» در منطقه است که در بازه زمانی آماری ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۸ رخ داده و طی آن بارش تجمعی استان ۹/۱۹ درصد کاهش و دمای سالانه ۱/۱ درجه افزایش یافته است. این تغییرات منجر به کاهش دوره بازگشت خشک‌سالی‌های حاد از ۱۲ به هفت سال شده و سامانه‌های تولیدی را از «خشک‌سالی‌های نوسانی» به وضعیت «نیمه دائمی و ساختاری» سوق داده است. پژوهش حاضر سه ناهنجاری راهبردی را آشکار می‌سازد: نخست، «پارادوکس کارایی» (منطبق بر پارادوکس جونز) که در آن افزایش ۱۵۳ درصدی کارایی فنی مصرف آب در شهرستان‌هایی نظیر خرم‌آباد، باوجود بهبود عملکرد در مقیاس خرد، منجر به افت ۰/۸ متری تراز آب‌های زیرزمینی و ناپایداری در مقیاس کلان شده است. دوم، پدیده «سازگاری معکوس» در بخش دام‌پروری که طی آن تغییر ترکیب گله از گوسفند به بز به‌عنوان

۱- نویسنده مسئول، بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران، Email: g.ghaffari@areeo.ac.ir
 ۲- دانشیار پژوهشی گروه خشکسالی و تغییر اقلیم، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایران.
 ۳- دانشیار پژوهشی بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان، ایران.

[۷]. نگاهی به آمارهای خسارت در سال‌های اخیر نشان‌دهنده ابعاد بحران است؛ به‌طوری‌که تنها در یک سال زراعی، بیش از ۱۳۰۰ میلیارد ریال خسارت به اراضی و باغات استان وارد شده است. از سوی دیگر، بهبود سامانه‌های پایش و مدیریت خشک‌سالی برای تحقق چارچوب‌های بین‌المللی کاهش خطر بلایا و اهداف توسعه پایدار، امری حیاتی تلقی می‌شود [۱۲].

با این حال، پیچیدگی خشک‌سالی در استان لرستان تنها به آمارهای هواشناسی یا خسارات مستقیم مالی محدود نمی‌شود؛ بلکه چالش اصلی در «واکنش‌های متناقض» بوم‌سازگان تولیدی و جوامع محلی به این پدیده نهفته است. در واقع، گسست عمیقی میان مدیریت سنتی بحران محور و واقعیت‌های میدانی وجود دارد که در آن، متغیرهای اقتصادی و رفتاری، خروجی‌های فنی شاخص‌هایی نظیر SPI یا SPEI را به چالش می‌کشند. برای گذار از رویکردهای واکنشی و اضطراری به سمت یک مدیریت ریسک ساختاری، دیگر نمی‌توان تنها به پایش تغییرات اقلیمی بسنده کرد. از این رو، ضرورت دارد که لایه‌های پنهان تاب‌آوری و آسیب‌پذیری در مقیاس خرد واکاوی شوند تا مشخص گردد که چگونه مداخلات انسانی و راهبردهای معیشتی، اثرات فیزیکی کم‌آبی را بازتعریف می‌کنند. بر همین اساس، پرسش‌های راهبردی این مطالعه فراتر از ثبت «چقدر باران کم شده» می‌روند. این پژوهش می‌کوشد دریابد که چرا در برخی شهرستان‌ها، کاهش بارش با افزایش عملکرد در واحد سطح همراه شده؟ چرا دامداران با وجود زیان ۸۵ درصدی به فعالیت ادامه می‌دهند؟ و چرا برخی «راهکارهای سازگاری» در واقع آسیب‌پذیری سامانه را تشدید می‌کنند؟ پاسخ به این پرسش‌ها، درس‌هایی دارد که از مرز استان لرستان فراتر می‌رود و برای تمام مدیریت پایدار منابع طبیعی در مناطق نیمه‌خشک ایران و منطقه خاورمیانه ارزش راهبردی دارد.

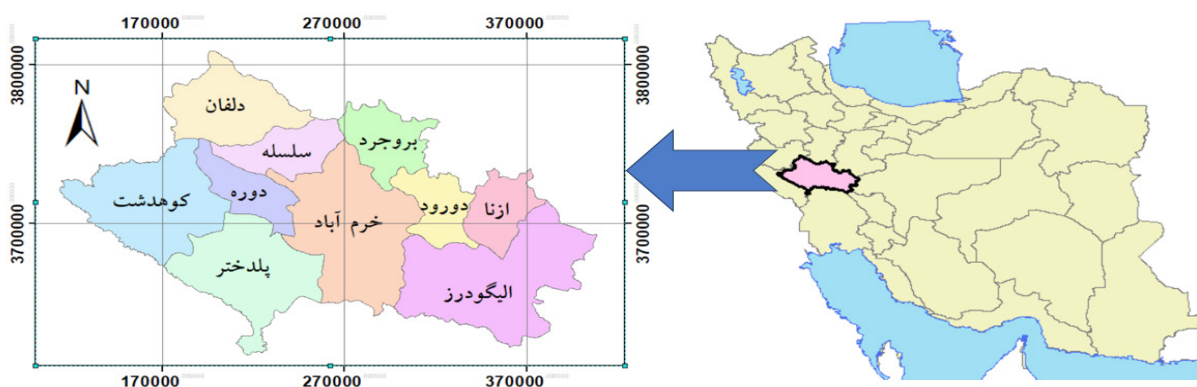
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان لرستان با وسعتی بالغ بر ۲۸۵۵۹ کیلومتر مربع در بخش

غربی کشور و در منطقه زاگرس میانی واقع شده است (شکل ۱). استان لرستان از نظر توپوگرافی منطقه‌ای کوهستانی محسوب می‌شود که دامنه ارتفاع آن از ۵۰۰ متر در مناطق پست جنوبی تا بیش از ۴۰۰۰ متر در ارتفاعات شمالی متغیر است. این ناهمواری‌ها، همراه با جریانات جوی غالب، سبب ایجاد تنوع اقلیمی محسوس در سطح استان شده‌اند. علی‌رغم میانگین نسبتاً مطلوب بارندگی، استان لرستان به دلیل وابستگی بالا به کشاورزی دیم، توزیع نامنظم بارش، افزایش دما و تبخیر و رخداد‌های اقلیمی غیرعادی در سال‌های اخیر، از جمله استان‌های با آسیب‌پذیری بالا نسبت به خشک‌سالی محسوب می‌شود. اقتصاد غالب مناطق روستایی و عشایری لرستان مبتنی بر زراعت دیم، دام‌پروری و بهره‌برداری مستقیم از مراتع است. این وضعیت، همراه با فقدان زیرساخت‌های مقاوم‌ساز، لرستان را به یکی از کانون‌های حساس در برابر خشک‌سالی‌های اقلیمی و کشاورزی در کشور تبدیل کرده است (شکل ۱).

انتخاب استان لرستان به‌عنوان محدوده مورد مطالعه، بر پایه چهار محور راهبردی و علمی استوار است که ضرورت تحقیق حاضر را تبیین می‌کند. نخست، تنوع اقلیمی کم‌نظیر این منطقه با دامنه ارتفاعی ۵۰۰ تا ۴۰۵۰ متر، امکان پایش دقیق اثرات خشک‌سالی را در بوم‌سازگان متنوع کوهستانی و دشتی فراهم می‌آورد. دوم، ساختار اقتصادی استان پیوند ناگسستنی با بخش کشاورزی دارد؛ به‌طوری‌که ۶۷ درصد اشتغال روستایی در این حوزه تمرکز یافته و هرگونه نوسان اقلیمی، معیشت اکثریت جمعیت را به چالش می‌کشد. سوم، بررسی آسیب‌پذیری‌های خاص منطقه حاکی از بحرانی جدی در حوزه دامداری است؛ چنان‌که جمعیت دام سبک طی ۳۰ سال اخیر با کاهشی ۵۰ درصدی روبرو شده که این امر نشان‌دهنده ابعاد ویرانگر خشک‌سالی بر سرمایه‌های دامی است. در نهایت، ویژگی‌های جغرافیایی لرستان آن را به نماینده‌ای شایسته برای کل منطقه زاگرس تبدیل کرده است، از این رو نتایج حاصل از این پژوهش قابلیت تعمیم بالایی به سایر مناطق مشابه در پهنه زاگرس دارد.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی استان لرستان و شهرستان‌های تابعه در پهنه زاگرس میانی

جدول ۱: منابع و مستندات کلیدی مورد استفاده در تدوین مدل مفهومی پژوهش

ردیف	عنوان طرح یا سند پژوهشی	پژوهشگران کلیدی	سال انتشار	سازمان متولی	قلمرو تحلیلی و دستاورد
۱	ارزیابی خشکسالی کشاورزی و منابع طبیعی در استان لرستان	زند، قرمز چشمه و قربانی	۱۴۰۱	پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری	پایش الگوهای زمانی و مکانی خشکسالی در سطح کلان استان
۲	برآورد عملکرد نسبی محصولات دیم با استفاده از شاخص FAPAR و داده‌های میدانی (مطالعه موردی: الشتر)	زند، میری و همکاران	۱۴۰۱	پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری	ارزیابی شاخص‌های فتوسنتزی و مدل‌سازی عملکرد محصولات در دیم‌زارها
۳	ارزیابی تأثیر خشکسالی بر زراعت آبی استان لرستان	زند، میری و همکاران	۱۴۰۰	پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری	واکاوی اثرات تنش آبی بر تولیدات تحت آبیاری
۴	ارزیابی تأثیر خشکسالی بر زراعت دیم استان لرستان	قرمز چشمه، گودرزی و همکاران	۱۴۰۰	پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری	بررسی همبستگی بارش و راندمان تولید در دیم‌زارهای حساس به اقلیم
۵	ارزیابی تأثیر خشکسالی بر مراتع در استان لرستان	قرمز چشمه، زند و همکاران	۱۴۰۰	پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری	پایش وضعیت سلامت و تراکم مراتع ییلاقی، میان‌بند و قشلاقی
۶	ارزیابی تأثیر خشکسالی بر صنعت دام و آبزیان و راهکارهای مقابله	قربانی، پیامنی و همکاران	۱۴۰۰	پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری	تحلیل پیامدهای اقتصادی بر تولیدات پروتئینی و صنعت شیلات
۷	مقالات علمی داخلی و بین‌المللی	پژوهشگران مختلف	-	مجلات معتبر آکادمیک	تطبیق نتایج بومی با روندهای جهانی و خشکسالی

روش تحقیق

روش‌شناسی این پژوهش بر پایه یک رویکرد ترکیبی^۱، تحلیلی و مقیاس‌پذیر استوار است که باهدف یکپارچه‌سازی یافته‌های پراکنده و ارائه «مدل مفهومی تاب‌آوری بوم‌سازگان تولیدی» طراحی شده است. برای دستیابی به این هدف، از پروتکل مرور نظام‌مند^۲ جهت ترکیب نتایج شش طرح تحقیقاتی مستقل، اسناد راهبردی مدیریت خشکسالی استان لرستان و فرا تحلیل مقالات تخصصی استفاده شد. پایگاه داده این مطالعه شامل نتایج حاصل از طرح کلان خشکسالی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری است که ابعاد مختلف بیوفیزیکی، اقتصادی و مدیریتی را در سطح استان لرستان پوشش می‌دهد. این ساختار نظام‌مند، امکان دستیابی به یک تحلیل یکپارچه و عاری از سوگیری را فراهم کرده و پایه و اساس ارائه راهکارهای سیاستی را تشکیل می‌دهد. به لحاظ روش‌شناختی، این تلفیق در قالب رویکرد فراترکیب^۳ و سنتز شواهد کیفی^۴ انجام شده است [۱۸]. به این ترتیب که یافته‌های کمی حاصل از شاخص‌های آماری و سنجش‌ازدور (SPEI، SPI، VHI) با یافته‌های کیفی برخاسته از مشاهدات میدانی و تحلیل رفتار انطباقی جوامع محلی، در قالب یک چارچوب تفسیری واحد ترکیب و مقایسه شدند. منابع و مستندات کلیدی مورد استفاده در این فرآیند در جدول (۱) ارائه شده است [۲].

1. Mixed Method
2. Systematic Review
3. Meta-Synthesis
4. Qualitative Evidence Synthesis

فرآیند استخراج داده‌ها و تدوین مدل مفهومی

فرآیند تحلیل و پیکره‌بندی پژوهش در سه گام عملیاتی و به هم پیوسته به اجرا درآمد. در گام نخست، سنتز داده‌های بیوفیزیکی از طریق تحلیل الگوهای زمانی و مکانی خشکسالی، بررسی واکنش پوشش گیاهی دیم و محصولات آبی به تنش‌های اقلیمی و تحلیل همبستگی وضعیت سلامت مراتع در سطوح ییلاقی، میان‌بند و قشلاقی با پدیده کم‌آبی انجام شد. این مرحله هم‌چنین شامل واکاوی پیامدهای اقتصادی و راهکارهای مقابله در صنعت دام و آبزیان استان بود تا تصویری جامع از اثرات زنجیره‌ای خشکسالی بر معیشت استان لرستان ترسیم گردد. در گام دوم، با استفاده از روش تحلیل شکاف، نقاط گسست و ناسازگاری‌های موجود بین رویکردهای «مدیریت اضطراری» فعلی و الزامات «مدیریت ریسک ساختاری» شناسایی شد تا مبنایی برای تغییر پارادایم از واکنش‌های مقطعی به برنامه‌ریزی راهبردی فراهم آید.

در گام نهایی، با تلفیق یافته‌های حاصل از بررسی عملکرد محصولات زراعی و تغییرات جمعیت دام با مفاهیم ظرفیت برد^۵، مدل مفهومی تاب‌آوری طراحی گردید که هدف آن ارائه نقشه راهی عملیاتی برای مدیریت پایدار منابع طبیعی و بوم‌سازگان تولیدی در مناطق نیمه‌خشک می‌باشد. در تمامی مراحل محاسباتی، شاخص‌های اقلیمی نظیر SPI و شاخص‌های گیاهی نظیر VHI به عنوان متغیرهای کلیدی در تحلیل واکنش بوم‌سازگان به خشکسالی مورد استفاده قرار گرفتند. برای مثال، در تحلیل عملکرد دیم، همبستگی شاخص‌ها در مقیاس‌های زمانی سه و شش ماهه واکاوی شد [۲].

5. Carrying Capacity

علاوه بر این، به منظور شناسایی و وزن دهی نسبی عوامل مؤثر بر افت عملکرد محصولات دیم و کاهش جمعیت دام سبک استان، از مدل رگرسیون لجستیک به عنوان ابزار تبیین سهم متغیرهای اقلیمی (خشک سالی) در برابر عوامل غیر اقلیمی (مهاجرت، هزینه نهاده ها و سیاست های یارانه ای) استفاده شد.

نتایج و بحث

تغییر رژیم اقلیمی: از نوسان به سمت ثبات خشکی

تحلیل سری زمانی بارش در بازه ۱۳۷۰-۱۳۹۸ نشان دهنده کاهش معنی دار ۹/۱۹ درصدی در بارش تجمعی استان است که ۲/۱ برابر میانگین کاهش بارش در مدیریتانه شرقی محسوب می شود. این روند با افزایش ۱/۱ درجه ای دمای سالانه همراه شده که پیامد مستقیم آن، جهش در نرخ تبخیر-تعرق پتانسیل و تشدید ۴۶ درصدی خشک سالی های هیدرولوژیک است. تحلیل شاخص SPEI نشان می دهد که به دلیل افزایش دما، حتی در سال هایی با بارش نزدیک به نرمال، بوم سازگان به دلیل تقاضای بالای تبخیر، تنش آبی شدیدی را تجربه می کند. مهم ترین دستاورد آماری این تحلیل، تغییر ساختاری در الگوی دوره های خشک است: میانگین طول دوره های خشک سالی از ۳/۵ سال به ۵/۵ سال افزایش یافته و دوره بازگشت خشک سالی های حاد از ۱۲ سال به هفت سال کاهش پیدا کرده است [۱۷]. به منظور تحکیم آماری این یافته، نتایج آزمون های ناپارامتری روند من-کندال (Mann-Kendall) و تشخیص نقطه شکست پتیت (Pettitt) بر روی سری زمانی میانگین گیری شده [۱۹ و ۲۱] در سطح استان [۲۳] نشان داد که SPEI-12 روند کاهشی معنی داری دارد ($p = 0.002$, $\tau = -0.25$)، در حالی که SPEI-12 روند کاهشی غیر معنی داری نشان می دهد ($p = 0.09$, $\tau = -0.13$)؛ این تفاوت، اثر افزایش دما و تبخیر و تعرق پتانسیل (روند افزایشی معنادار با $p < 0.001$, $\tau = +0.32$) را در تشدید خشک سالی تأیید می کند. آزمون پتیت نیز نقطه شکست احتمالی سری بارش را در سال ۲۰۲۱ شناسایی کرد ($p = 0.34$, $K = 349$)؛ اگرچه این شکست به دلیل کوتاهی دوره پس از آن (چهار سال) هنوز به سطح معنی داری آماری نرسیده است، تمرکز خشک سالی های شدید در سال های اخیر (۲۰۲۱-۲۰۲۲) با فرضیه تغییر رژیم اقلیمی همسو است.

پهنه بندی مکانی با استفاده از تحلیل Gi^* (جهت شناسایی خوشه های معنی دار داغ و سرد آسیب پذیری مکانی) وجود یک «گرادین شمال-جنوب آسیب پذیری» را تأیید می کند؛ به طوری که مراتع قشلاقی جنوب استان با نرخ افت $Slope\ sSen = 0.42$ در شدیدترین وضعیت تخریب قرار دارند. در این تحلیل، سه دوره حاد خشک سالی شناسایی شد: بلندترین دوره (۲۰۱۵-۲۰۰۷) با شاخص $SPI = -2.3$ ، شدیدترین دوره (۲۰۱۷-۲۰۱۸) با میانگین شدت $(1/68)$ و یک دوره میانی. این تغییرات مبرهن می سازد که لرستان در حال

گذار از «خشک سالی های نوسانی و گذرا» به سمت وضعیت «نیمه دائمی و ساختاری» است. از منظر مدل مفهومی تاب آوری، این پایداری خشکی به معنای آن است که سامانه های تولیدی استان دیگر فرصت کافی برای بازیابی در دوره های مرطوب را ندارند و لزوم گذار از مدیریت اضطراری به مدیریت ریسک ساختاری بیش از هر زمان دیگری حیاتی است.

اثرات بر زراعت دیم: از کاهش محصول تا آستانه فروپاشی

تحلیل همبستگی نشان داد که شاخص SPI در مقیاس ۱۲ ماهه بیشترین قدرت تبیین کنندگی را برای عملکرد گندم دیم در استان لرستان دارد. بر اساس ارزیابی های سنجش از دور، شاخص سلامت پوشش گیاهی (VHI) با دقت ۸۰ درصد به عنوان کارآمدترین ابزار برای پیش بینی عملکرد تأیید شد. یافته های حاصل از مدل رگرسیون لجستیک نشان می دهد که سقوط عملکرد در تنش های مختلف از ۱۵ درصد (تنش ملایم) تا ۷۵ درصد (تنش فاجعه بار) متغیر است. مهم ترین یافته در این بخش، شناسایی آستانه فیزیکی $SPI = -1.5$ است که در آن بازدهی بیولوژیک مزارع دیم به طور عملی متوقف شده و سامانه وارد فاز «فروپاشی تولید» می گردد [۳].

تحلیل های دقیق فنولوژیک در ایستگاه سیلاخور طی سال زراعی ۱۳۹۹ نشان داد که وقوع «خشک سالی پایانه»^۲، یعنی تلاقی تنش خشکی با مرحله حساس پر شدن دانه، مخرب ترین سناریو برای غلات دیم استان است. در این شرایط، افزایش ۲/۵ درجه ای دمای محیط منجر به کاهش تعداد دانه در سنبله به حدود ۱۶ عدد و افت شدید وزن هزار دانه می گردد. این یافته بر اهمیت حیاتی «تاب آوری تقویمی» و اصلاح زمان بندی کاشت در مدل مفهومی پژوهش تأکید دارد تا ریسک فنولوژیک سامانه کاهش یابد. از منظر مدیریت ریسک ساختاری، این نتایج لزوم گذار به سمت ارقام زودرس و استفاده از تکنولوژی های حفظ رطوبت خاک را برای عبور از آستانه های بحرانی تولید مبرهن می سازد.

پارادوکس کارایی در زراعت آبی: بهبود خرد، ناپایداری کلان

یکی از چالش برانگیزترین یافته های این پژوهش، مشاهده همبستگی معکوس عملکرد در واحد سطح با شاخص SPI در برخی شهرستان ها است؛ به طوری که هم زمان با کاهش بارندگی، عملکرد در واحد سطح بهبود یافته است. این «پارادوکس کارایی» از طریق «اثر بازخورد مدیریتی» تبیین می شود: کشاورزان در سال های خشک، سطوح کشت خود را به شدت کاهش داده (کاهش ۳۸/۸ درصدی سطح زیر کشت آبی در خرم آباد) و منابع محدود آب را صرفاً بر مرغوب ترین اراضی متمرکز کرده اند. در شهرستان خرم آباد، نسبت استفاده از سامانه های آبیاری قطره ای از ۱۲ درصد به ۲۸ درصد جهش یافته و کارایی فنی مصرف آب به طرز چشمگیری ۱۵۳ درصد افزایش یافته است [۱۵].

۱- آماره ناهمبستگی فضایی Getis-Ord Gi^*

۲- شیب سن؛ برآورد ناپارامتری بزرگی روند بر پایه رتبه های آزمون من-کندال

بالین حال، این بهبود ظاهری در مقیاس مزرعه، سه معضل بنیادین و ساختاری را پنهان می کند که در مدل مفهومی این پژوهش تحت عنوان «ناپایداری کلان» طبقه بندی می شوند: نخست، افت تراز آب های زیرزمینی با نرخ ۰/۸ متر در سال که نشان دهنده «تجاوز به ذخایر استراتژیک» است؛ دوم، افزایش ۶۱/۵ درصدی در هزینه های پنهان انرژی ناشی از عمیق تر شدن چاه ها و افزایش ساعات پمپاژ؛ و سوم، قطبی شدن ثروت در جوامع روستایی. بررسی ها نشان می دهد کشاورزان خرد که فاقد توان مالی برای حفر چاه های عمیق یا نصب سامانه های نوین بوده اند، به طور کامل از چرخه تولید خارج شده اند. این وضعیت دقیقاً با «پارادوکس جونز» [۸] همخوانی دارد: افزایش کارایی فنی، به جای کاهش مصرف کل، در نهایت منجر به توسعه سطح کشت زیرپله ای و فشار مضاعف بر سفره های آب زیرزمینی شده است. از منظر مدل تاب آوری، این نوع سازگاری صرفاً «تاب آوری کاذب» ایجاد کرده است که با تخلیه منابع پایه، پایداری سامانه را در بلندمدت به خطر می اندازد.

دامداری و نظریه ظرفیت برد: تراژدی منابع مشترک

جمعیت دام سبک استان لرستان طی دوره ۱۳۹۸-۱۳۷۰ با کاهش ۵۰ درصدی از ۵/۰۴ میلیون به ۲/۵۶ میلیون واحد دامی رسیده است. مدل رگرسیون لجستیک نشان داد که ۴۱ درصد از این فرآیند حذف، مستقیماً ناشی از تنش های خشک سالی و کاهش شدید علوفه در دسترس بوده است. سایر عوامل شامل روند زمانی و مهاجرت (۳۲ درصد)، فشار هزینه های نهاده (۱۸ درصد) و اثر تعدیل کننده یارانه های دولتی (نه درصد) در رتبه های بعدی قرار دارند. یافته های پژوهش نشان می دهد که نرخ رشد جمعیت دام در این دوره با معادله $dN = rN(1 - K(N))$ همخوانی داشته و سامانه به شدت تحت تأثیر نوسانات ظرفیت برد (K) قرار گرفته است [۵].

تطبیق داده های میدانی با نظریه ظرفیت برد هاردین [۶] نتایج هشداردهنده ای را آشکار می سازد: در سال ۱۳۷۰ با تولید ۵۲۰ هزار تن علوفه، ظرفیت برد محیطی معادل ۲/۹ میلیون واحد دامی بود؛ در حالی که جمعیت واقعی ۵/۰۴ میلیون واحد، یعنی ۱۷۴ درصد بیش از سقف مجاز گزارش شد. در سال ۱۳۹۸، پس از سقوط تولید علوفه به ۳۸۷ هزار تن (افت ۲۵/۶ درصدی)، ظرفیت برد به ۲/۱۵ میلیون واحد کاهش یافت، اما جمعیت واقعی همچنان ۱۱۹ درصد بیش از این سقف بود. این وضعیت مبرهن می سازد که کاهش ۵۰ درصدی جمعیت دام نه یک اقدام داوطلبانه مدیریتی، بلکه یک واکنش تأخیری و قهری به زوال منابع پایه بوده که با مفهوم «تراژدی منابع مشترک» انطباق دارد. از منظر مدل تاب آوری، این سامانه در وضعیت «تاب آوری فرسایشی» قرار دارد؛ جایی که حفظ جمعیت دام به قیمت تخریب دائمی مرتع و کاهش توان تولید زیستی در آینده تمام خواهد شد.

جابه جایی ترکیب گله از گوسفند به بز که نسبت بز را از ۲۸ درصد در ابتدای دوره به ۴۸ درصد در سال ۱۳۹۸ رسانده، نمونه ای بارز از «سازگاری معکوس»^۱ در بوم سازگان تولیدی لرستان است. از منظر عملیاتی، بزها به دلیل فیزیولوژی خاص، مقاومت بالاتری در برابر کمبود آب و فقر علوفه دارند و یک راهکار بقای منطقی برای دامدار در کوتاه مدت محسوب می شوند. با این حال، افزایش جمعیت بز منجر به چرای شدید شاخه زادها و جوانه های درختچه ها، به ویژه بلوط های جوان^۲ می شود و فرآیند بازسازی طبیعی مرتع و جنگل را به طور کامل متوقف می کند [۵].

نتایج نشان دهنده همبستگی منفی قوی بین نسبت بز و شاخص کیفیت مرتع ($r = -0.78$) در مناطق جنوبی و میان بند استان لرستان است. در مناطقی که نسبت بز در گله از ۶۰ درصد فراتر رفته، میانگین شاخص سلامت پوشش گیاهی (VHI) به ۳۲ واحد (وضعیت ضعیف) سقوط کرده، تولید علوفه قابل دسترس ۴۵ درصد کاهش یافته و تنوع گونه ای گیاهان مرغوب (Class I) حدود ۳۸ درصد افت کرده است. پژوهش مکوریا و آینکولو [۱۱] نیز تأیید می کند که تراکم بز فراتر از ۵۰ درصد منجر به تخریب غیرقابل بازگشت مراتع می گردد. این پدیده به روشنی نشان می دهد که اقدامات صورت گرفته برای کاهش ریسک فردی در یک مقطع، عملاً آسیب پذیری کل سامانه را در آینده تشدید کرده و بوم سازگان را به سمت یک «نقطه بی بازگشت»^۳ سوق می دهد. از دیدگاه مدل مفهومی پژوهش، گذار به مدیریت ریسک ساختاری نیازمند اصلاح زنجیره ارزش دام و جایگزینی معیشت های وابسته به جنگل با مشاغل جایگزین است تا از این چرخه سازگاری معکوس خارج شود.

پارادوکس اقتصادی ماندگاری دامداری

یافته های این پژوهش یک پارادوکس اقتصادی عمیق را در بوم سازگان تولیدی لرستان آشکار می سازد؛ علی رغم سقوط سود خالص واحدهای دامداری کوچک مقیاس تا مرز ۸۵ درصد در سال های حاد خشک سالی، همچنان ۲/۵۶ میلیون واحد دامی در سطح استان نگهداری می شود. بر اساس تحلیل های این مطالعه، سه تبیین نظری برای این پایداری فاقد توجیه اقتصادی وجود دارد: نخست، فقدان معیشت جایگزین (۷۶ درصد بهره برداران هیچ حرفه جایگزینی ندارند) که با نرخ بیکاری ۱۸/۲ درصدی روستایی ارتباط مستقیم دارد؛ دوم، چالش «سرمایه های غیرنقدشونده» که در بازار رکود ناشی از خشک سالی، قیمت دام زنده را تا ۶۰ درصد کاهش داده و مانع از خروج سرمایه توسط دامدار می شود؛ و سوم، «تورش خوش بینی» که طبق پیمایش ها ۶۵ درصد دامداران به بهبود شرایط در سال آینده اعتقاد دارند. این رفتار با نظریه چشم انداز کانمن و تورسکی [۹] انطباق دارد که در آن افراد در قلمرو زیان، ریسک پذیرتر می شوند.

1. Maladaptation
2. Quercus brantii
3. Tipping Point

سازگاری معکوس: وقتی راه حل، مشکل را تشدید می کند

در این میان، یارانه‌های دولتی اگرچه در کوتاه‌مدت مانع از فروپاشی معیشت خانوارهای روستایی شده‌اند، اما از سوی دیگر با جابه‌جایی مصنوعی مرز ورشکستگی، مانع از انتقال علائم واقعی بازار و تغییر رفتار بهره‌برداران شده‌اند. این امر جمعیت دام را در سطحی فراتر از ظرفیت برد بوم‌سازگان نگه‌داشته و منجر به ایجاد یک «تبادل ناپایدار» در منابع طبیعی استان شده است. از منظر مدل مفهومی تاب‌آوری، این وضعیت نشان‌دهنده «تاب‌آوری منفی» است؛ چراکه سامانه به‌جای تحول^۱ به سمت مدل‌های پایدارتر، در یک وضعیت تخریب‌گر تثبیت شده است. برای گذار به مدیریت ریسک ساختاری، الزامی است که بسته‌های حمایتی دولت از «تأمین نهاده برای جمعیت مازاد» به سمت «حمایت از معیشت‌های جایگزین و هوشمندسازی تولید» تغییر جهت یابند.

ارائه مدل مفهومی مدیریت پایدار منابع در شرایط خشک‌سالی

مدل مفهومی ارائه‌شده در این مطالعه، با رویکردی نظام‌مند به دنبال تغییر پارادایم از «مدیریت اضطراری بحران» به سمت «مدیریت ریسک ساختاری» در حوزه‌های آبخیز استان لرستان است. این الگو در گام نخست بر پایه یک سامانه پایش و تشخیص چندجانبه بنا شده است که از طریق ترکیب داده‌های پایش اقلیمی نظیر شاخص‌های SPI، SPEI و RDI با ابزارهای سنجش‌ازدور همچون NDVI، FAPAR و دیدگاهی جامع از وضعیت سلامت بوم‌سازگان ارائه می‌دهد. همگام با این پایش‌ها، ارزیابی مستمر منابع آب سطحی و زیرزمینی از طریق کنترل تراز آبخوان‌ها و دبی چشمه‌ها، امکان طبقه‌بندی دقیق شدت خشک‌سالی را فراهم می‌سازد. در این مدل، آستانه بحران بر اساس شاخص SPI در محدوده کوچک‌تر از ۱/۵- تعریف شده است که با در نظر گرفتن گرادیان مکانی شمال-جنوب آسیب‌پذیری، مبنای تصمیم‌گیری‌های حساس قرار می‌گیرد.

در لایه تحلیل راهبردی، مدل به شناسایی و تبیین سه «تله مدیریتی» اساسی می‌پردازد که اغلب منجر به شکست سیاست‌های فعلی می‌شوند. «پارادوکس کارایی» به‌عنوان تله نخست، نشان می‌دهد که چگونه بهبودهای فنی در سطح خرد (نظیر افزایش ۱۵۳ درصدی کارایی در خرم‌آباد) می‌تواند منجر به افزایش مصرف کلان و فشار مضاعف بر منابع شود. در کنار آن، «سازگاری معکوس» به چالش راه‌حل‌های فردی و کوتاه‌مدت (نظیر تغییر ترکیب گله به بز) می‌پردازد که در بلندمدت تخریب سامانه‌ای را تشدید می‌کنند. این لایه تحلیلی با معرفی «تبادل ناپایدار» ناشی از تراکم مازاد جمعیت دام (۱۱۹ درصد بیش از سقف مجاز)، هشدار می‌دهد که مدیریت منابع باید از نگاه تک‌بعدی خارج شده و به تعاملات پیچیده میان سطوح ملی (آمایش سرزمین)، میانی (برنامه‌های مکان محور) و محلی (دانش بومی و آبخیزداری) توجه ویژه داشته باشد.

تحقق عملیاتی این مدل مستلزم به‌کارگیری پنج ابزار اجرایی اولویت‌دار است که از سامانه‌های هشدار زود هنگام تا سازوکارهای

اقتصادی نظیر بیمه شاخص محور و پرداخت برای خدمات بوم‌سازگانی (PES) را در بر می‌گیرد؛ این ابزارها برگرفته از تلفیق و تعمیم یافته‌های شش طرح پژوهشی زیربنایی این مطالعه (جدول ۱) و مستندات راهبردی مدیریت خشک‌سالی استان لرستان [۲] است. این ابزارها با هدفمندسازی یارانه‌ها و تنوع‌بخشی به معیشت‌های غیر وابسته به آب (با توجه به فقدان حرفه جایگزین در ۷۶ درصد بهره‌برداران)، بستری برای اقدامات زیربخشی در حوزه‌های زراعت دیم، مرتع‌داری و آبی‌پروری ایجاد می‌کنند. درنهایت، پایداری این چرخه مدیریتی در گرو یک «حلقه یادگیری مستمر» است که از طریق ارزیابی‌های سالانه و به‌روزرسانی مدل‌ها با تکیه بر داده‌های میدانی (نظیر سنجش LAI و پایش تراز آب)، دقت سامانه را ارتقا داده و هدف نهایی که همانا ارتقای تاب‌آوری بوم‌سازگان تولیدی و گذار به مدیریت ریسک پایدار است را محقق می‌سازد (شکل ۲).

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

یافته‌های این پژوهش هشدارهای بنیادی برای سیاست‌گذاران حوزه‌های آبخیز دارد؛ چراکه اتکای انحصاری به ارتقای تکنولوژی آبیاری بدون کنترل دقیق بر حجم کل برداشت، می‌تواند نتیجه معکوس داشته باشد. پارادوکس جونز [۸] به‌روشنی در آبخوان‌های دشت‌های لرستان مشاهده می‌شود؛ به‌طوری‌که بهبود کارایی آبیاری و افزایش ۱۵۳ درصدی بازدهی فنی در مناطقی نظیر خرم‌آباد، انگیزه توسعه سطح کشت را افزایش داده و درنهایت منجر به فشار مضاعف بر منابع آب زیرزمینی شده است. بر این اساس، اصلاح الگوی فناوری بدون بازنگری بنیادین در نظام تخصیص و قیمت‌گذاری آب، راهکاری ناقص و در میان‌مدت خطرناک خواهد بود. این الگو در مقیاس جهانی نیز مشاهده شده است: در منطقه ساحل آفریقا، توسعه شبکه‌های آبیاری و چاه‌های عمیق بدون کنترل هم‌زمان بر بار دامی، به تشدید بیابان‌زایی و تخریب پوشش گیاهی دامن زده است [۲۱] و در حوضه ماری-دارلینگ استرالیا طی بحران موسوم به خشک‌سالی هزاره^۲، توسعه فناوری آبیاری کارآمد به‌تنهایی از افت تراز منابع آب زیرزمینی جلوگیری نکرد تا اینکه دولت استرالیا با اجرای سیاست بازخرید حقه‌^۳ از کشاورزان، سقفی الزام‌آور بر حجم کل برداشت تعیین کرد [۲۲]؛ تجربه‌ای که نشان می‌دهد کنترل حجم مصرف در کنار بهبود کارایی، شرط لازم برای اجتناب از پارادوکس جونز در استان لرستان نیز خواهد بود. از سوی دیگر، این مطالعه چارچوبی برای تمایز «سازگاری هوشمند» از «سازگاری معکوس» ارائه می‌دهد؛ برای مثال، جایگزینی گوسفند با بز اگرچه در مقیاس فردی راهکاری منطقی برای بقا است، اما در مقیاس سامانه‌ای به دلیل تخریب جوامع بلوط، پایداری بوم‌سازگان زاگرس را تهدید می‌کند. این تضاد بین منطق فردی و پیامد جمعی که ریشه در تراژدی منابع مشترک دارد، مستلزم مداخلات نهادی و وضع قوانین

2. Millennium Drought

3. Water Buyback

1. Transformation

مدل مفهومی مدیریت پایدار منابع در شرایط خشک‌سالی

برگرفته از یافته‌های استان لرستان، قابل تعمیم به سایر مناطق

1- پایش و تشخیص

پایش اقلیمی RDI – SPEI – SPI	سنجش‌ازدور FAPAR – NDVI – VHI	پایش منابع آب تراز آبخوان – دبی چشمه‌ها
---------------------------------	----------------------------------	--

2- طبقه‌بندی شدت خشک‌سالی و ریسک

ملایم $1 < SPI$	متوسط SPI بین 1- تا 1.5	حاد – آستانه بحران $SPI > 1.5$	پهنه‌بندی مکانی گرا‌دیان شمال – جنوب
--------------------	----------------------------	-----------------------------------	---

3- سه تله راهبردی که باید از آن‌ها آگاه بود

تله ۱: پارادوکس کارایی بهبود فنی خرد ← فشار مضاعف کلان	تله ۲: سازگاری معکوس راه‌حل فردی کوتاه‌مدت ← تخریب سامانه‌ای بلندمدت	تله ۳: تعادل ناپایدار یارانه بدون کنترل ← تراکم مازاد
---	---	--

4- چارچوب پاسخ سه سطحی

سطح محلی آبخیزداری، دانش بومی	سطح میانی (آبخیز) برنامه مکان محور، هماهنگی	سطح ملی آمایش سرزمین، تخصیص آب
----------------------------------	--	-----------------------------------

5- پنج ابزار اولویت‌دار اجرایی

۱. سامانه هشدار زودهنگام پیش‌گیری ۱۰ برابر ارزان‌تر از جبران خسارت؛ داشبورد VHI+SPI		۲. بیمه شاخص محور پرداخت سریع و بدون بوروکراسی در $SPI > 1.5$
۳. یارانه هوشمند مشروط به ظرفیت برد (K)	۴. پرداخت خدمات بوم‌سازگانی (PES) پاداش حفاظت از مرتع	۵. تنوع معیشت گردشگری روستایی، صنایع‌دستی

6- اقدامات زیربخشی

زراعت دیم ارقام مقاوم، آبیاری تکمیلی	مراتع و دام چرای اصولی، بانک علوفه	زراعت آبی آبیاری هوشمند، قیمت واقعی آب	آبزی‌پروری و زنبورداری بازچرخانی آب، تغذیه کمکی
---	---------------------------------------	---	--

7- حلقه پایش و یادگیری مستمر

ارزیابی سالانه	به‌روزرسانی مدل‌ها	تنظیم راهبردها
اطلس خشک‌سالی استانی	داده میدانی VHI، دقت ۸۰ درصد	دانش بومی + یافته‌های تحقیق

هدف: تاب‌آوری بوم‌سازگان تولیدی

گذار از مدیریت اضطراری به مدیریت ریسک ساختاری

راهنما: پایش و تشخیص (آبی روشن) | تله‌های راهبردی (نارنجی روشن) | ابزارهای اجرایی (سبز روشن) | هدف نهایی (فیروزه‌ای)

شکل ۲: مدل مفهومی مدیریت پایدار منابع طبیعی در شرایط خشک‌سالی، برگرفته از یافته‌های استان لرستان

اساس، سه درس راهبردی برای گذار از «مدیریت اضطراری بحران» به «مدیریت ریسک ساختاری» پیشنهاد می‌شود. نخست آنکه بهبود کارایی فنی نباید ناپایداری‌های عمیق در مقیاس کلان را پنهان کند؛ دوم، هماهنگ‌سازی راهبردهای انفرادی با منافع جمعی از طریق هوشمندسازی یارانه‌ها بر پایه ظرفیت برد مرتع الزامی است؛ و سوم، استقرار یک چارچوب مدیریت سه سطحی شامل سطوح ملی، میانی

جمعی برای جلوگیری از ماریپچ تخریب در مراتع قشلاقی با نرخ افت $Sen's\ Slope = -0.42$ است.

تحلیل شاخص VHI با دقت ۸۰ درصد تأیید می‌کند که شاخص‌های ترکیبی سنجش‌ازدور می‌توانند جایگزین مناسبی برای پیمایش‌های گران‌قیمت میدانی باشند، اما ضرورت توسعه شاخص‌های بومی شده برای شرایط اقلیمی زاگرس همچنان به قوت خود باقی است. بر این

forecasting in the Awash River Basin in Ethiopia using wavelet neural networks and wavelet support vector regression models. *Journal of Hydrology*, 542, 77-96.

2. Ghaffari, G., and Zand, M. 2025. Scientific-analytical report on the assessment of agricultural and natural resources drought conditions in Lorestan Province. Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (In Persian).

3. Ghermezcheshmeh, B., Goudarzi, M., Zand, M., Hosseini, A., Khalkhali, A., Elmi, S., and Norouzi, K. 2021. Assessment of drought impacts on rainfed agriculture in Lorestan Province. Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (In Persian).

4. Ghermezcheshmeh, B., Zand, M., Kowsari, M. R., Kargar, H., Shokri, A., Alivardlou, M., and Norouzi, K. 2021. Assessment of drought impacts on rangelands in Lorestan Province. Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (In Persian).

5. Ghorbani, K., Paymani, K., Yarahmadi, B., and Agha Shahi, A. 2021. Assessment of drought impacts on the livestock and aquaculture sectors in Lorestan Province and associated mitigation strategies. Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (In Persian).

6. Hardin, G. 1968. The tragedy of the commons. *Science*, 162(3859), 1243-1248.

7. Hosseini, S. M., Mohammadi, A., and Razavi, S. H. 2011. Analysis of the consequences of drought on nomadic communities in Fars Province. *Iranian Social Studies*, 5(2), 45-67 (In Persian).

8. Jevons, W. S. 1865. The Coal Question: An Inquiry Concerning the Progress of the Nation, and the Probable Exhaustion of Our Coal-Mines. London: Macmillan and Co.

9. Kahneman, D., and Tversky, A. 1979. Prospect theory: An analysis of decision under risk. *Econometrica*, 47(2), 263-291.

10. Kogan, F. N. 1995. Drought detection and monitoring with NOAA polar-orbiting satellites. *Remote Sensing of Environment*, 51(1), 1-15.

11. Mekuria, W., and Aynekulu, E. 2013. Exclosure land management for restoring degraded land in

و محلی، شرط اصلی اثربخشی اقدامات خواهد بود.

در راستای تحقق این اهداف، ده اولویت اجرایی شامل راه‌اندازی سامانه هشدار زودهنگام، توسعه بیمه شاخص محور بر پایه SPI یا VHI، ایجاد بانک علوفه استراتژیک در نقاط میان‌بند و اجرای سازوکار پرداخت برای خدمات بوم‌سازگان (PES) باید در صدر برنامه‌های توسعه‌ای قرار گیرند. همچنین، واقعی‌سازی قیمت آب برای احیای دشت‌های بحرانی نظیر کوه‌دشت، مدیریت مشارکتی برای ایجاد حس مالکیت در جوامع محلی، اجرای طرح‌های بیولوژیک با نرخ بازگشت سرمایه (ROI) سریع و تنوع‌بخشی به معیشت‌های غیر وابسته به مرتع، می‌تواند فشار بر منابع پایه را کاهش دهد. خشک‌سالی در استان لرستان دیگر یک بحران گذرا نیست، بلکه یک واقعیت اقلیمی جدید است که تحول ساختاری در مدیریت منابع طبیعی را گریزناپذیر می‌کند. شواهد متقن مبنی بر عبور مراتع از نقاط بازگشت‌ناپذیر^۱ و حضور ۶۰ درصد مراتع در وضعیت تراکم مازاد^۲، ضرورت کنشگری فوری و مشارکت فعال میان سیاست‌گذاران و جوامع محلی را بیش از هر زمان دیگری مبرهن می‌سازد.

در نگاهی آینده‌پژوهانه، سه سناریوی محتمل پیش‌روی استان لرستان قابل‌تصور است. در سناریوی نخست «تداوم وضع موجود»، عدم‌اصلاح نظام تخصیص آب و یارانه‌ها، روند تخلیه سفره‌های زیرزمینی و تخریب مراتع را تشدید کرده و ظرفیت تاب‌آوری بوم‌سازگان را به‌صورت برگشت‌ناپذیر تحلیل می‌برد. در سناریوی دوم «اصلاح فناوری‌ها»، بدون کنترل هم‌زمان بر سقف برداشت، سرمایه‌گذاری در فناوری‌های نوین آبیاری صرفاً پارادوکس جونز را تشدید کرده و اثر خالص آن بر منابع آب زیرزمینی منفی خواهد بود. در سناریوی سوم «مدیریت راهبردی ریسک»، اجرای هم‌زمان مدل مفهومی ارائه‌شده در این پژوهش -شامل چارچوب مدیریت سه سطحی ملی-میانی-محلی، ابزارهای اقتصادی هدفمند و پایش مستمر شاخص‌ها- می‌تواند مسیر توسعه استان را از یک‌روند واکنشی و بحران محور به سمت یک الگوی پیش‌دستانه و مبتنی بر تاب‌آوری هدایت کند.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از همکاری پژوهشگران مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان و پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری در اجرای پروژه‌های تحقیقاتی که مبنای این مقاله بوده‌اند، تشکر و قدردانی می‌نمایند.

منابع

1. Belayneh, A., Adamowski, J., Khalil, B., and Ozga-Zielinski, B. 2016. Long-term SPI drought

1. Regime Shift
2. Overstocking

18. Sandelowski, M., and Barroso, J. 2007. Handbook for synthesizing qualitative research. Springer Publishing Company.
19. Mann, H. B. 1945. Nonparametric tests against trend. *Econometrica*, 13(3), 245-259.
20. Pettitt, A. N. 1979. A non-parametric approach to the change-point problem. *Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics)*, 28(2), 126-135.
21. Herrmann, S. M., and Hutchinson, C. F. 2005. The changing contexts of the desertification debate. *Journal of Arid Environments*, 63(3), 538-555.
22. Wittwer, G. 2011. Confusing policy and catastrophe: Buybacks and drought in the Murray-Darling Basin. *Economic Papers: A Journal of Applied Economics and Policy*, 30(3), 289-295.
23. Ghaffari, G. (under review). Meteorological drought analysis at Khorramabad synoptic station using SPI, SPEI indices and non-parametric trend tests. *Journal of Irrigation Science and Engineering* (In Persian).
- communal grazing lands in northern Ethiopia. *Land Degradation and Development*, 24(6), 528-538.
12. Svoboda, M., and Fuchs, B. 2016. Handbook of drought indicators and indices. World Meteorological Organization and Global Water Partnership.
13. Vicente-Serrano, S. M., Begueria, S., and Lopez-Moreno, J. I. 2010. A multiscalar drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate*, 23(7), 1696-1718.
14. Wilhite, D. A., and Glantz, M. H. 1985. Understanding the drought phenomenon: The role of definitions. *Water International*, 10(3), 111-120.
15. Zand, M., Ghermezcheshmeh, B., and Ghorbani, K. 2022. Assessment of agricultural and natural resources drought in Lorestan Province. *Soil Conservation and Watershed Management Research Institute* (In Persian).
16. Zand, M., Miri, M., Norouzi, A. A., Parhomet, J., Paymani, K., Rezaei, T., Kowsari, M. R., Rahmati, M., and Karimi Sangchini, A. 2022. Estimation of relative rainfed crop yield using the FAPAR index, ground observations, and field data (Case study: Alashtar County). *Soil Conservation and Watershed Management Research Institute* (In Persian).
17. Zand, M., Miri, M., Parhomet, J., Paymani, K., Veiskarami, A., Karimi Sangchini, A., Demizadeh, M., and Goudarzi, M. 2021. Assessment of drought impacts on irrigated agriculture in Lorestan Province. *Soil Conservation and Watershed Management Research Institute* (In Persian).



Abstract

A Conceptual Model for Sustainable Management of Natural Resources and Agriculture: Strategic Lessons from Drought in Lorestan Province

G. Ghaffari^{1*}, M. Zand² and R. Chamanpira³

Received: 2026/5/24 Accepted: 2026/09/14

This study was conducted to develop a conceptual model for enhancing the resilience of natural ecosystems and promoting sustainable management in the face of recurrent and unavoidable droughts in Lorestan Province, Iran. The research methodology was based on a mixed-methods approach and a systematic review of six major research projects that investigated the biophysical, economic, and managerial dimensions of drought across the Central Zagros region. The findings indicate the occurrence of a climate regime shift in the region during the 1991–2019 period of the Iranian calendar, characterized by a 19.9% decline in cumulative provincial precipitation and a 1.1 °C increase in annual mean temperature. These changes have shortened the return period of severe droughts from 12 to 7 years and shifted production systems from episodic drought conditions toward a semi-permanent and structurally embedded drought regime.

The study identifies three strategic anomalies. First, an efficiency paradox, consistent with the Jevons Paradox, was observed whereby a 153% increase in technical water-use efficiency in counties such as Khorramabad, despite improving performance at the local scale, was associated with a 0.8 m decline in groundwater levels and increasing instability at the broader scale. Second, a maladaptation phenomenon was identified in the livestock sector, whereby a shift in herd composition from sheep to goats, adopted as an individual survival strategy, intensified browsing pressure on rangeland vegetation and accelerated rangeland degradation. Third, an erosive resilience pattern was identified in rangeland management, whereby a livestock population exceeding the estimated carrying capacity by 119% effectively contributed to the emergence of a tragedy of the commons.

The proposed conceptual model emphasizes the need to shift from emergency management toward structural risk management through five implementation instruments: an early warning system; index-based insurance based on SPI or VHI; smart subsidy targeting; payments for ecosystem services (PES); and diversification of rural livelihoods.

Keywords: Conceptual model; Drought; Lorestan province; Resilience; Sustainable management

1. Corresponding Author, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Kermanshah Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Kermanshah, Iran.; Email: g.ghaffari@areeo.ac.ir

2. Associate Professor, Drought and Climate Change Research Group, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Iran.

3. Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Iran.