نمایه

تغییر اقلیم و جنگل‌ها: از گرمایش جهانی تا تهدید بوم‌نظام‌های جنگلی ایران.
پدرام عطارد، محمود زبیری، مجید فرخنده مخدوم، جهانگیر فقهی، نغمه مبرقعی و مقداد جورغلامی..... ۱
بهره‌گیری از ویژگی‌های دگرآسیبی گیاهان زراعی برای کنترل علف‌های ناخواسته.
فرود صالحی و امیرهوشنگ جلالی ۱۵
نمونه‌برداری در علوم محیطی: اصول و روش‌ها با تأکید بر پوشش گیاهی و عامل‌های بوم‌شناختی.
محمدعلی زارع چاهوکی ۳۱
پیشران‌های اثرگذار بر تاب‌آوری چایکاران ایران.
محمدامین غلام آزاد و محمد کاوسی کلاشمی ۴۵
واکاوی فرصت‌ها، تهدیدها، نقطه‌های قوت و ضعف طرح‌های پخش سیلاب در ایران.
سعید رضا موذنی و آرش ملکیان ۶۳
واکاوی ظرفیت سازگاری عشایر قشقایی در رویارویی با تغییر اقلیم در مرتع‌های میان‌بند شهرستان شیراز.
حمیدرضا رستم مراددوقزلو، مهدی قربانی، حمیدرضا ناصری، علی طویلی و سارا جلیلیان..... ۷۷
واکاوی جایگاه آب و کود در تدوین سیاست‌های صادرات محصول‌های کشاورزی.
امیرحسین خوشگفتارمنش و حدیث وطن‌خواه ۹۳
کاربرد شاخص بهره‌وری انرژی در سیاست‌گذاری داده‌محور و انتقال نوآوری در کشاورزی:
بررسی موردی گندم در سامانه‌های خاک‌ورزی البرز.
عادل طاهری حاجی‌وند و مهسا عباسی ۱۰۵

پیوست‌ها

بیانیه‌های همایش‌های برگزار شده در گروه علوم کشاورزی و منابع طبیعی..... ۱۱۵

راهنمای نویسندگان

مجله پژوهش های راهبردی در علوم کشاورزی و منابع طبیعی

مجله پژوهش‌های راهبردی علوم کشاورزی و منابع طبیعی مقاله‌های زیر را منتشر می‌کند: **(الف)** یافته‌های پژوهش‌های راهبردی کلان کشور در زمینه‌های علوم کشاورزی و منابع طبیعی، **(ب)** مقاله‌های واکاوی یا رهیافتی درباره یکی از چالش‌های کلی علوم کشاورزی و منابع طبیعی کشور، **(پ)** مقاله‌های دعوتی از صاحبنظران درباره چالش‌ها و دشواری‌های مهم کشور یا موضوعی ویژه، در زمینه‌های علوم کشاورزی و منابع طبیعی.

از نویسندگان محترم تقاضا می شود برای آسانی فرایند رسیدگی به مقاله ارسالی، نکته های زیر را به دقت رعایت فرمایید:

اصول اخلاقی مجله

نویسنده یا نویسندگان موظفند پیش از ارسال مقاله اصول اخلاقی مجله را به دقت خوانده و فرم تعهدنامه را که در سایت مجله آمده است، تکمیل و امضا نمایند.

طرح کلی مقاله‌ها

مقاله‌ها به طور معمول نبایستی از ۱۵ صفحه چاپ شده، بیشتر شود. لازم است نویسندگان مقاله‌ها استانداردهای زیر را رعایت کنند: هر مقاله باید به صورت اینترنتی با **نرم افزار Office 2007 یا بالاتر در Windows XP** یا **Windows 7** در فارسی با قلم BNazanin ۱۲ و در انگلیسی با قلم Times New Roman ۱۰ و با فاصله خطها ۱/۱۵ تهیه و به نشانی **http://srj.asnr.ias.ac.ir** ارسال شود. در نگارش مقاله‌ها توصیه می‌شود که تا حد امکان از به کار بردن واژه‌های بیگانه پرهیز شده، نام‌ها و واژه‌های علمی، مواد و سایر اصطلاح‌های خارجی، همچنین معادل واژه‌های جدید فارسی، با گذاشتن شماره در بالا و سمت چپ این واژه‌ها، خواننده به زیرنویس همان صفحه که در آن‌جا واژه مورد نظر نوشته شده است، هدایت شود. به کارگیری واژه‌های مصوب **فرهنگستان علوم جمهوری اسلامی ایران** که در **فرهنگ‌های نوین کشاورزی و منابع طبیعی** برای هر رشته کشاورزی و منابع طبیعی آمده‌اند، ضروری است. مسئولیت کامل نظرهای ابراز شده در مقاله‌ها و نیز رعایت حق مؤلفین و پژوهشگران به عهده نویسنده(گان) مقاله می‌باشد. بخش‌های مختلف مقاله‌های پژوهشی باید به صورت زیر، تهیه شوند و در مورد مقاله‌های مروری یا واکاوی، باید تا حد ممکن، به این تقسیم‌بندی توجه شود:

شناسه مقاله

لازم است به همراه هر مقاله یک صفحه که در برگیرنده عنوان مقاله، نام و نام‌خانوادگی و مرتبه علمی نویسنده یا نویسندگان مقاله، نام و نشانی مؤسسه‌ای که نویسنده یا نویسندگان در آن‌جا اشتغال دارند و نام محلی که پژوهش مورد نظر در آن‌جا صورت گرفته است، همراه با شماره تلفن و پست الکترونیکی ارسال گردد.

عنوان مقاله

عنوان مقاله باید نشانگر محتوای مقاله بوده، ساده و به راحتی قابل درک باشد. همچنین عنوان مقاله نباید بیش از ۲۰ واژه باشد.

چکیده فارسی

چکیده فارسی مقاله باید دستکم ۱۵۰ تا بیشینه ۲۵۰ واژه و بیانگر مسئله، هدف، روش و نتایج پژوهش باشد. از آن‌جا که بیشتر خوانندگان تنها به چکیده مقاله دسترسی دارند، لازم است که این قسمت از مقاله با دقت کافی و روان نوشته شود.

چکیده هر مقاله ممکن است توسط مرکزها و مؤسسه‌های خدمت رسانی اطلاعات و منابع علمی، منتشر شود. به ویژه در مورد مقاله های مروری لازم است در پایان چکیده یک نتیجه گیری کلی آورده شود.

واژه‌های کلیدی

پس از چکیده، ۳ تا ۵ واژه کلیدی آورده شود. توصیه می‌شود که تا حد ممکن، از به کار بردن واژه‌هایی که در عنوان مقاله آورده شده، در واژه‌های کلیدی پرهیز شود.

مقدمه

در این بخش باید مقاله‌های پژوهشی موضوع مورد بحث یا پژوهش معرفی شده، فرضیه مورد نظر تعریف، به اهم کارهای پژوهشی انجام شده پیشین اشاره، زمینه لزوم پژوهش مورد نظر تشریح و هدف بررسی مشخص شود. در مورد مقاله های مروری لازم است به پژوهش های مهم انجام شده، اشاره شود و در پایان واکاوی و نتیجه‌گیری شود. هدف اصلی این بخش این است که اطلاعات کافی قبلی درباره موضوع مورد بحث یا پژوهش داده شود که خواننده بتواند نتایج را درک کرده و آن‌ها را نسبت به کارهای قبلی انجام شده، بدون بررسی منابع اصلی، مقایسه و ارزیابی نماید. **لازم است در تمام مقاله‌ها، استناد به منابع علمی بر اساس شیوه‌نامه APA نوشته شوند که نسخه‌ای از آن در سایت مجله موجود است و چکیده‌ای از آن در پایان این راهنمای نویسندگان آمده است.**

مواد و روش‌ها

در این قسمت در مقاله‌های پژوهشی باید شرح دقیق و کامل تیمارها، طرح آزمایشی و مواد و روش‌های مورد استفاده در اجرای پژوهش آورده شود. در صورتی‌که از روش‌های متداول منتشر شده استفاده می‌شود از شرح آن‌ها خودداری گردد و تنها به بیان منبع بسنده گردد، اما اگر از روش جدیدی استفاده شده است، شرح کامل آن روش ضرورت دارد. در مورد تغییرهای ایجاد شده در روش‌های متداول قبلی هم تنها به شرح تغییرها پرداخته شود. هدف از این بخش این است که اطلاعات کافی در اختیار پژوهشگران دیگری که علاقمند به تکرار چنین آزمایش‌هایی هستند قرار داده شود. درباره مواد استفاده شده باید نام‌های دقیق علمی و تجاری و منبع یا روش تهیه آن‌ها نوشته شود. در مورد مقاله‌های مروری نیز لازم است که پژوهش‌های مهم پیشین به گونه‌ای آورده شوند که موضوع موردنظر به خوبی بیان شود. نام‌های علمی همراه با خلاصه نام نامگذارنده انواع گیاهان، جانوران و مانند این‌ها، باید به طور دقیق آورده و زیرنویس شوند.

نتایج

نتایج حاصل از پژوهش می‌تواند به صورت جدول و شکل ارائه گردد. برخی از نتایج ساده را می‌توان در داخل متن و بدون ارائه جدول یا شکل ارائه نمود. جدول‌ها و شکل‌ها در بخش نتایج باید به طور کامل روشن و به راحتی قابل درک و بیانگر واقعی داده‌های حاصل از پژوهش باشند. شماره‌های ارائه شده در جدول‌ها یا شکل‌ها نباید در این بخش، بحث و تفسیر شوند، بلکه تنها به بیان یافته‌های اساسی بسنده گردد. همچنین لازم است این شماره ها در جدول‌ها یا شکل‌ها به فارسی آورده شوند. نتایج ارائه شده نباید به صورت جدول، منحنی یا متن نوشتاری تکرار گردد. هر جدول یا شکل باید دارای عنوان مشخص به صورت وسط‌چین باشد. عنوان باید تا حد ممکن کوتاه، واضح و بیانگر محتوای جدول و شکل مربوطه باشد. برای نوشتن عنوان جدول (یا شکل) باید پس از واژه جدول (یا شکل)، شماره آن و سپس یک خط تیره و بعد از آن عنوان جدول (یا شکل)، نوشته شود. هر ستون جدول باید دارای عنوان و واحد مربوط به آن ستون باشد، مگر این که تمام ستون‌ها دارای واحد یکسان باشند که در این صورت باید واحد مربوط را در عنوان جدول آورد. برای بیان توضیح‌های اضافی درباره هر جدول می‌توان به ترتیب از نشانه‌های اختصاری †، ††، ††† در متن جدول استفاده کرد و با نشان دادن آن‌ها در زیر جدول

و ارائه توضیح، اطلاعات لازم را در اختیار خواننده قرار داد. شکل‌های رایانه‌ای، ترسیمی و تصویرها باید به طورکامل واضح و در صورت لزوم دارای واحد باشند و عنوان هر یک در زیر آن‌ها نوشته شود.

بحث

در این بخش، در مورد مقاله‌های پژوهشی نتایج ارائه شده مورد واکاوی و تفسیر قرار گرفته، توجه خواننده به موضوع اصلی پژوهش، فرضیه(های) مطرح شده در بخش مقدمه و نتایج به دست آمده از این پژوهش جلب می‌شود. در این قسمت می‌توان رابطه‌ها بین عامل‌های تاثیرگذار در پژوهش و یا کاستی‌های مشاهده شده در این رابطه‌ها و در نهایت زمینه‌هایی که نیاز به پژوهش بیشتری دارند را برشمرد. تا حد ممکن بایستی موارد اتفاق نظر و یا اختلاف نتایج این پژوهش با پژوهش‌های دیگر در این زمینه، بررسی شوند و سرانجام، کاربردهای عملی و تئوری نتایج پژوهش انجام شده و نتیجه‌گیری اساسی از آن ارائه شود. در مقاله های مروری لازم است قسمت بحث و نتیجه‌گیری همراه شوند و کاستی‌ها و برتری‌های پژوهش‌های انجام شده، واکاوی، بحث و نتیجه‌گیری شوند.

نتیجه‌گیری

در مقاله‌های پژوهشی در صورت لزوم، بخشی به نام نتیجه‌گیری می‌تواند در پایان مقاله آورده شود که نتایج اصلی مقاله را به طور مختصر ارائه می‌کند. به ویژه در مورد مقاله‌های مروری لازم است یک نتیجه‌گیری کلی توسط نویسنده یا نویسندگان، در پایان مقاله آورده شود.

سپاسگزاری

نویسنده(گان) می‌توانند از اشخاص، سازمان‌ها، نهادها و یا هر فرد حقیقی یا حقوقی که امکان اجرای پژوهش مانند تامین بودجه، وسیله‌های آزمایشگاهی، صحرائی و مانند این‌ها را فراهم نموده‌اند و یا در اجرای آن کمک کرده‌اند، تشکر و قدردانی نمایند. توصیه می‌شود این قسمت تا حد ممکن کوتاه و بیشینه ۵۰ واژه باشد.

منابع مورد استفاده

منابع مورد استفاده باید دربرگیرنده جدیدترین اطلاعات در زمینه کار مورد نظر باشد. از آوردن منابع خیلی قدیمی پرهیز شود. منابع مورد استفاده در پایان مقاله، باید بر اساس شیوه‌نامه APA نوشته شوند که چکیده‌ای از آن در پایان این راهنمای نویسندگان آمده است. منابعی مجاز به ارائه در این بخش هستند که به صورت کتاب چاپ شده، مقاله یا مقاله کوتاه، چاپ یا پذیرفته شده در مجله‌های مختلف باشند و از راه کتابخانه‌ها یا اینترنت، بتوانند در دسترس قرار گیرند. لازم است به کلیه منابع فارسی و لاتین در متن اشاره شده و در لیست منابع، ابتدا منابع فارسی و سپس منابع لاتین آورده شوند. در صورتی که از یک نویسنده بیش از یک مقاله استفاده شده باشد باید مقاله‌های آن نویسنده بر حسب دوره زمانی افزایشی شماره‌گذاری شود. در صورتی که یک نویسنده مقاله‌هایی مستقل و مشترک با سایر نویسندگان داشته باشد، ابتدا مقاله‌هایی مستقل وی و سپس مقاله‌های مشترک او به ترتیب حروف الفبای نام فامیل نفرهای بعدی و دوره انتشار، نوشته می‌شوند.

چکیده انگلیسی

ترجمه صحیحی که بیانگر پژوهش یا موضوع موردنظر در مقاله‌های مروری باشد و تا حد ممکن با چکیده فارسی برابری کند، باید به انگلیسی ارائه شود.

فرایند داوری مقاله‌ها

هر مقاله بدون نام نویسنده و به صورت محرمانه، به دستکم ۳ داور در رشته تخصصی مربوط ارسال می‌شود و در صورت نظر مثبت ۲ داور برای تصویب در شورای دبیران، مطرح می شود. اتخاذ تصمیم نهایی درباره رد یا پذیرفتن و نیز هر گونه

ویرایش لازم در مقاله‌ها برای شورای دبیران محفوظ است. هر مقاله که توسط داوران پذیرفته می شود، برای بازنگری نخستین به نویسنده ارسال می شود. مقاله بازنگری شده، ابتدا به ویراستار فنی ارسال می‌شود و پس از طرح در شورای دبیران در صورت پذیرش توسط ویراستار ادبی بررسی شده و برای بازنگری دومین، برای نویسنده، نسخه پیش چاپ ارسال می شود.

دیگر نکته ها

۱- به منظور بهبود کیفیت مقاله و رفع اشتباه‌های احتمالی توصیه می‌شود که نگارندگان پیش از ارسال مقاله به این مجله، از همکاران صلاحیتدار خود تقاضا نمایند که آن را مطالعه نموده و کاستی‌های احتمالی را گوشزد کنند.

۲- در مورد مقاله‌های پذیرفته نشده، نظر داور یا داوران برای نویسنده یا نویسندگان ارسال خواهد شد.

۳- چاپ مقاله در این مجله رایگان است. همچنین خوانندگان مقاله های مجله می توانند، مقاله موردنظر خود را در صورت نیاز، به صورت رایگان دریافت دارند.

چکیده‌ای برگرفته از استناد شیوه‌نامه APA ویرایش ششم نسخه ۲

نمونه مقاله علمی فارسی

در متن: (جعفری، ۱۳۸۹)

در فهرست منابع: جعفری، علی. (۱۳۸۹). اندیشه‌های پیتر بوردیو. *مطالعات جامعه‌شناختی*، ۱۷ (۷)، ۲۵-۴۸.

نمونه مقاله علمی انگلیسی

در متن:

(Waughray & Workman, 2011)

در فهرست منابع:

Waughray, D. & Workman, J.G.J. (2011). Water security: the water-food-energy-climate nexus: the World Economic Forum water initiative. *Environmental Science, Economics, Political Science* DOI:10.5860/choice.49-1001 Corpus ID: 128220209.

نمونه مقاله اینترنتی فارسی

در متن: (خسروجردی، ۱۳۹۱)

در فهرست منابع: خسروجردی، محمود. (۱۳۹۱). ترسیم میان رشتگی در پژوهش های علم‌سنجی. پردازش و مدیریت اطلاعات، دوره ۲۸، شماره ۲، صص. ۳۹۳- ۴۰۹. بازیابی شده در ۱۰ آذر ۱۳۹۲، از

http://pubj.ricest.ac.ir/ojs/index.php/code13pp/article/view/100/108

نمونه مقاله اینترنتی انگلیسی

در متن:

(Capurro, 2013)

در فهرست منابع:

Capurro, R. (2013). Go Glocal: Intercultural Comparison of Leadership Ethics. *Infopreneurship Journal*, 1 (1), pp. 1-9. Retrieved 2013, Dec. 25, from http://infopreneurship.net/wp-content/uploads/2013/09/GoGlocal-Intercultural-Comparison-of-Leadership-Ethics-InfoJour-11pp.1-91.pdf

نمونه مقاله فارسی در همایش‌ها

در متن: (جمالی، ۱۳۹۰)

در فهرست منابع: جمالی، حمیدرضا. (آبان ۱۳۹۰). تولید علم در ایران. در محمدصادق حسینی (ویراستار)، مجموعه مقالات علم در ایران. مقاله منتشر شده در کنفرانس علوم اجتماعی ایران، تالار قدس (صص. ۲۵- ۲۸). تهران: انجمن جیحون.

نمونه مقاله انگلیسی در همایش‌ها

در متن:

(Rowling, 1993)

در فهرست منابع:

Rowling, L. (1993, September). Schools and grief: How does Australia compare to the United States. In *Wandarna coowar: Hidden grief.* Paper presented at the Proceedings of the 8th National Conference of the National Association for Loss and Grief (Australia), Yeppoon, Queensland) pp. 196-201). Turramurra, NSW: National Association for Loss and Grief.

نمونه کتاب فارسی

در متن: در بار اول (حسینی، جعفری، ایزدی، منانی، ماکانی، ۱۳۸۰)

در دفعه‌های بعد (حسینی و همکاران، ۱۳۸۰)

در فهرست منابع: حسینی، علی؛ جعفری، حسن؛ ایزدی، غلام؛ منانی، حنانه؛ و ماکانی، جعفری. (۱۳۸۰). جامعه شناسی نشر. تهران: قو.

نمونه کتاب انگلیسی

در متن:

(Chessick, 2007)

در فهرست منابع:

Chessick, R. D. (2007). *The future of psychoanalysis.* New York, NY: State University of New York Press.

نمونه پایان‌نامه فارسی

در متن: (خسروجردی، ۱۳۸۷)

در فهرست منابع: خسروجردی، محمود. (۱۳۸۷). نقش شخصیت و باورهای معرفت‌شناختی در رفتار اطلاع‌جویی دانشجویان کارشناسی ارشد دانشگاه تهران. پایان نامه منتشر نشده کارشناسی ارشد، دانشکده روان‌شناسی و علوم تربیتی، گروه کتابداری و اطلاع‌رسانی.

نمونه پایان‌نامه انگلیسی

در متن:

(Hall, 2007)

در فهرست منابع:

Hall, E. M. (2007*). Posttraumatic stress symptoms in parents of children with injuries.* (Unpublished doctoral dissertation). Boston University, Boston, MA.

مجله پژوهش‌های راهبردی در علوم کشاورزی و منابع طبیعی جلد ۱۱ شماره ۱ صفحه‌های ۱ تا ۱۴ (۱۴۰۵)

تغییر اقلیم و جنگل‌ها: از گرمایش جهانی تا تهدید بوم‌نظام‌های جنگلی ایران[۱،۲]

پدرام عطارد[۳]، محمود زبیری، مجید فرخنده مخدوم، جهانگیر فقهی، نغمه مبرقعی و مقداد جورغلامی[۴]

چکیده

تغییر اقلیم به‌عنوان یکی از مهمترین چالش‌های محیط‌زیستی سده حاضر، تأثیرهای گسترده‌ای بر بوم‌نظام‌های جنگلی دارد و همزمان، تخریب جنگل‌ها نیز به تشدید آن دامن زده‌است. این بررسی به رابطه دوسویه بین تغییر اقلیم و جنگل‌ها می‌پردازد و نشان می‌دهد که افزایش گازهای گلخانه‌ای[۵] ناشی از فعالیت‌های انسانی، همراه با عامل‌های طبیعی، موجب گرمایش جهانی، تغییر الگوهای بارش، افزایش خشکسالی‌ها و آتش‌سوزی‌های جنگلی شده است. جنگل‌ها به‌عنوان مهمترین ذخیره‌گاه‌های کربن، نقش کلیدی در تعدیل اقلیم دارند، اما جنگل‌زدایی نیز سهم چشمگیری در انتشار دی‌اکسیدکربن دارد. در ایران، تغییراقلیم موجب افزایش دما، کاهش بارندگی و تشدید خشکسالی‌ها شده است، که تهدیدی جدی برای جنگل‌های کشور است. پژوهش حاضر، بر لزوم اجرای راهکارهایی برای حفاظت و احیای جنگل‌ها، مدیریت پایدار منابع آب، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و برنامه‌ریزی بوم‌شناسی تأکید دارد تا از تشدید بحران جلوگیری شود.

واژه‌های کلیدی: زوال جنگل، گازهای گلخانه‌ای، مدیریت پایدار.

مقدمه

تغییر اقلیم به معنای دگرگونی‌ها و تغییرها در رفتار اقلیمی یک ناحیه نسبت به دوره‌های زمانی بلندمدت است (علیزاده، ۱۳۸۲). به عبارت دیگر، تغییر اقلیم به تغییر آماری معنی‌دار در میانگین شاخص‌های اقلیمی گفته می‌شود که برای دوره‌ای طولانی (اغلب دهه‌ها یا بیشتر) تداوم می‌یابد. این تغییرها می‌توانند ناشی از فرایندهای طبیعی، عامل‌های بیرونی یا تغییرهای پایدار انسانی در ترکیب جوی یا کاربری زمین‌ها باشند. تغییراقلیم موضوعی علمی یا نگرانی محیط زیستی و نظارتی نیست، بلکه به بحرانی فراگیر تبدیل شده است (Planton *et al.*, 2008). از زمان انقلاب صنعتی در

۱- تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۳/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۶/۵

۲- بخشی از طرح «اثرات تغییر اقلیم و تحولات اجتماعی- سیاسی جهانی بر کشاورزی و منابع طبیعی ایران و راهبردهای سازگاری با آنها با نگرشی بوم‌سازگار» گروه علوم کشاورزی فرهنگستان علوم ج. ا. ایران.

۳- پست الکترونیک نویسنده مسئول: attarod@ut.ac.ir

۴- به ترتیب، استاد دانشگاه تهران (عضو وابسته)، استاد دانشگاه تهران (عضو وابسته)، استاد دانشگاه تهران (عضو وابسته)، دانشیار دانشگاه شهید بهشتی (همکار مدعو) و استاد دانشگاه تهران (همکار مدعو). اعضای شاخه جنگل و محیط زیست، گروه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، فرهنگستان علوم، ج.ا. ایران.

5. Greenhouse gases

حدود ۲۵۰ سال پیش، فعالیت‌های انسانی، مقدار فراوانی از گازهای گلخانه‌ای را به جو زمین افزوده‌اند. افزایش سطح گازهای گلخانه‌ای موجب گرمایش بیشتر شده‌است و پدیده‌ای به نام تغییراقلیم را ایجاد کرده است.

براساس گزارش ششم هیات بین‌الدولی تغییر اقلیم[1]، فعالیت‌های انسانی مهمترین عامل این روند بوده‌اند، به‌طوری‌که میانگین دمای کره زمین در فاصله سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۰، حدود ۱/۱ درجه سلسیوس بالاتر از میانگین دمای دوره ۱۸۵۰ تا ۱۹۰۰ بوده است (IPCC, 2023). این بحران رو به گسترش، جنبه‌های اقتصادی، بهداشتی-امنیتی، تولید غذایی، امنیت ملی و مانند این‌ها را زیر تأثیر قرار داده‌است. برای نمونه، تغییر الگوهای اقلیمی، تولید غذا را از راه پیش‌بینی‌ناپذیری بارش‌ها تهدید می‌کند. افزایش سطح آب دریاها، ذخیره‌های آب شیرین ساحلی را آلوده و خطر سیلاب‌های فاجعه‌بار را افزایش می‌دهد و جو گرم‌تر، گسترش آفت‌ها و بیماری‌هایی را که پیش از این به منطقه‌های گرمسیری محدود بودند، به سمت قطب‌ها آسانتر می‌کند. شاهدهای هشداردهنده‌ای وجود دارد که نشان می‌دهند نقطه‌های اوج اقلیمی و بوم‌شناسانه[2]، ممکن است از پیش، فرا رسیده یا حتی عبورکرده است و موجب تغییرهای بازگشت‌ناپذیر در بوم‌نظام‌های حیاتی و سیستم اقلیمی زمین شده‌است. برای نمونه، بررسی‌های جدید نشان می‌دهند که جنگل‌های بارانی آمازون، به دلیل ترکیبی از جنگل‌زدایی، گرمایش جهانی و خشکسالی‌های پیوسته، در حال نزدیک شدن به آستانه‌ای است که پس از آن به گرم‌دشت[3] تبدیل خواهند شد (Lovejoy & Nobre, 2018; Boulton *et al.*, 2022). همچنین، ذوب سریع یخچال‌های قطبی و کوهستانی و کاهش ذخیره‌های آب شیرین، تأثیرهای فزاینده‌ای بر جامعه‌های انسانی و بوم‌نظام‌ها دارند (IPCC, 2023).

بی‌تردید، این تغییرهای اقلیمی می‌توانند به صورت ذاتی بر بوم‌نظام‌های جنگلی تأثیر بگذارند. تغییر شدید اقلیم یکی از دلیل‌های جنگل‌زدایی است که می‌تواند موجب بیابان‌زایی شود، در حالی که همین جنگل‌زدایی نیز به نوبه خود یکی از عامل‌های محرک تغییر اقلیم است. افزایش دما و خشکسالی، تأثیرهای منفی بر تنوع گونه‌ها و همچنین کالاها و خدمت‌های بوم‌نظامی برای بشریت دارد (Gnacadja & Lesch, 2009). حدود ده هزار سال پیش، جنگل‌های جهان مساحتی در حدود شش میلیارد هکتار را پوشش می‌دادند که به تقریب ۴۵٪ از کل سطح خشکی‌های زمین بود. با این حال، از آن دوره به بعد، پوشش جنگلی به‌تدریج کاهش یافت و تا سال ۲۰۲۰، تنها حدود ۳۱/۲٪ از مساحت خشکی‌های جهان را جنگل‌ها تشکیل می‌دهند (FAO & UNEP, 2020). گسترش کشاورزی و تغییر کاربری زمین‌ها همچنان یکی از عامل‌های اصلی جنگل‌زدایی در منطقه‌های گرمسیری است (Curtis *et al.*, 2018; Pendrill *et al.*, 2019). براساس گزارش ارزیابی منابع جنگلی جهانی (FRA, 2020)، نرخ سالانه جنگل‌زدایی در دهه گذشته به‌طور میانگین ۰/۱٪ (معادل ۴/۷ میلیون هکتار جنگل‌زدایی خالص سالانه) بوده است (FAO, 2022). همچنین، در طول دو دهه گذشته، جنگل‌زدایی در جنگل‌های معتدل کاهش یافته‌است، در حالی که در منطقه‌های گرمسیری، به‌ویژه در آمازون و جنوب شرق آسیا، همچنان با سرعت زیادی ادامه دارد (WWF, 2021; Tyukavina *et al.*, 2022). در سطح جهانی، مشخص شده است که انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از جنگل‌زدایی و تخریب جنگل‌ها، حدود یک‌پنجم از کل انتشار گازهای گلخانه‌ای را تشکیل می‌دهد. در پژوهش حاضر، رابطه پیچیده بین تغییراقلیم و بوم‌نظام‌های جنگلی بررسی می‌شود. هدف اصلی، درک بهتر چرخه‌های تشدیدکننده‌ای است که در آن تغییر اقلیم به تخریب جنگل‌ها می‌انجامد و این تخریب خود به تغییرهای اقلیمی بیشتر دامن می‌زند.

1. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 2. Climate and ecological tipping points 3. Savanna

تغییر اقلیم و عامل‌های پدیدآورنده آن

تغییرهای اقلیمی یکی از چالش‌های عمده سده حاضر است که از سال‌های آخر سده نوزدهم تاکنون با افزایش میانگین دمای جهانی همراه بوده است. این پدیده بیشتر زیر تأثیر فعالیت‌های انسانی مانند انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از سوخت‌های فسیلی، جنگل‌زدایی و توسعه صنعتی تشدید شده و پیامدهای گسترده‌ای همچون ذوب یخ‌های قطبی، افزایش سطح دریاها، تشدید بلاهای طبیعی (مانند موج‌های گرمایی، سیل‌ها و خشکسالی‌ها) و تهدید تنوع زیستی را به دنبال داشته است. اگرچه عامل‌های طبیعی مانند تغییر در تابش خورشیدی و فعالیت‌های آتشفشانی نیز در نوسان‌های اقلیمی نقش دارند، بررسی‌های جدید (UNDP, 2019; NASA, 2020; IPCC, 2021) تأثیر غالب فعالیت‌های انسانی را تأیید می‌کنند. با این حال، بحث‌های علمی درباره سهم دقیق هر یک از این عامل‌ها ادامه دارد. درک این سازوکارها برای طراحی راهکارهای اثرگذار کاهش و سازگاری با تغییرهای اقلیمی ضروری است.

الف- عامل‌های طبیعی اثرگذار بر تغییر اقلیم

تابش خورشیدی به عنوان نیروی محرکه اصلی سیستم اقلیمی زمین، نقش تعیین‌کننده‌ای در اقلیم دارد. بررسی‌ها نشان می‌دهند که تغییرهای دوره‌ای در فعالیت‌های خورشیدی (مانند چرخه‌های ۱۱ساله لکه‌های خورشیدی)، می‌توانند بر الگوهای اقلیمی تأثیر بگذارند. هرچند این اثر در مقایسه با تأثیر گازهای گلخانه‌ای انسانی کمتر است (Lean, 2017; IPCC, 2021). اثر گلخانه‌ای طبیعی که توسط گازهایی مانند دی‌اکسیدکربن، متان و بخار آب ایجاد می‌شود، برای حفظ دمای زیست روی زمین ضروری است و بدون آن، میانگین دمای زمین به منفی ۱۸ درجه سلسیوس می‌رسید (NASA, 2020). تغییرهای مداری زمین به نام چرخه‌های میلانکوویچ[1]، شامل نوسان‌های مرکز مداری (۱۰۰ هزار ساله)، زاویه محور (۴۱ هزار ساله) و پیشروی محوری (۲۶ هزار ساله)، الگوهای توزیع تابش خورشید را تغییر می‌دهند و با دوره‌های یخبندان در ارتباط هستند (Ruddiman, 2014). فعالیت‌های آتشفشانی بزرگ نیز از راه انتشار ذره‌های شناور و گازهای گوگردی به استراتوسفر[2]، می‌توانند اثر خنک‌کنندگی موقتی بر اقلیم جهانی داشته باشند (Robock, 2000). نوسان‌های طبیعی سیستم‌های اقیانوسی-جوی مانند ال‌نینو-نوسان جنوبی[3] و نوسان اطلس شمالی[4] الگوهای اقلیمی را زیر تأثیر قرار می‌دهند (Trenberth, 2018). برخی از بررسی‌ها به ارتباط احتمالی بین تغییرهای میدان مغناطیسی زمین و اقلیم اشاره کرده‌اند، هرچند سازوکار این رابطه نیاز به بررسی بیشتری دارد (Courtillot *et al.*, 2006). در حالی که این عامل‌های طبیعی همواره در تغییرهای اقلیمی نقش داشته‌اند، یافته‌های علمی نشان می‌دهند که تغییرهای سریع اقلیمی سده اخیر، بیشتر ناشی از فعالیت‌های انسانی بوده است (IPCC, 2021).

ب- عامل‌های انسانی اثرگذار بر تغییر اقلیم

تغییرهای اقلیمی تا حدود زیادی ناشی از فعالیت‌های انسانی است (Sagan & Chyba, 1997; IPCC, 2007). مهمترین نگرانی در این عامل‌های انسان‌ساز، افزایش سطح دی‌اکسیدکربن ناشی از سوختن سوخت‌های فسیلی است. دی‌اکسیدکربن و سایر گازهای گلخانه‌ای، گرما را در جو زمین به دام می‌اندازند و موجب گرم‌شدن زمین می‌شوند. پس از دی‌اکسیدکربن، ذره‌های شناور (مواد ذره‌ای در جو) و فرایندهای صنعتی مانند تولید سیمان، از جمله عامل‌های مهم دیگری هستند که توسط فعالیت‌های انسانی ایجاد می‌شوند و بر اقلیم تأثیر می‌گذارند. عامل‌های دیگر، از جمله استفاده

1. Milankovitch 2. Stratosphere 3. El Niño–southern oscillation 4. North Atlantic oscillation

از زمین، تخریب لایه ازن، دامداری صنعتی و جنگل‌زدایی نیز، هم به طور جداگانه و هم در ارتباط با عامل‌های دیگر، در تأثیرگذاری بر اقلیم، اقلیم محلی و معیارهای متغیرهای اقلیمی، مورد توجه هستند. برای نمونه، جنگل‌زدایی به کاهش جذب دی‌اکسیدکربن از جو می‌انجامد و دامپروری صنعتی، مقدار زیادی گاز متان تولید می‌کند که یکی از گازهای گلخانه‌ای است (Zhong, 2016).

تغییر اقلیم در ایران

ایران نیز مانند دیگر کشورهای جهان به شدت با تغییر اقلیم و اثرهای آن در ارتباط است. در حقیقت، تغییر اقلیم بحثی فرامرزی است که محدود به یک یا چند کشور نیست و گریبانگیر تمام جهان است. تغییرهایی که در اثر گرم‌شدن زمین و تغییر اقلیم در منطقه‌های مختلف جهان در حال بروز است و یا در آینده بروز خواهد کرد، ایران را نیز در برخواهد گرفت (اکبری و صیاد، ۱۴۰۰). داده‌های هواشناسی ثبت شده در ۱۱۰ ایستگاه هواشناسی همدیدی در کشور نشان می‌دهند تغییر اقلیم به طور چشمگیری در ایران رخ داده است، به طوری که در مجموع، ۵۰٪ روندهای دما، بارش و سرعت باد در فاصله سال‌های ۱۳۶۶ تا ۱۳۹۶، افزایش یا کاهش معنی‌داری داشته‌اند (Attarod *et al.*, 2023b). افزون بر این، افزایش دمای کشور در این فاصله زمانی، حدود ۱/۳ درجه سلسیوس است (Attarod *et al.*, 2023b). با توجه به پژوهش‌های انجام شده در ایران، از آغاز بروز پدیده گرمایش جهانی، دما رو به افزایش است و بارش نیز با وجود تغییرپذیری زمانی و مکانی زیاد، کاهش یافته است (آبکار و همکاران، ۱۳۹۲). مهمترین تأثیر پدیده تغییر اقلیم، افزایش فرین‌ها (رخدادهای حدی) است. به این صورت که یا بازه زمانی و مکانی الگوهای اقلیمی تغییر کرده است یا رخداد آن‌ها بیشتر یا کمتر از میانگین بوده است (صفرراد و همکاران، ۱۳۹۴). در حال حاضر، دماهای فرین گرم رو به افزایش و دماهای فرین سرد رو به کاهش است و بسامد بارش‌های فرین نیز رو به افزایش است (دارند، ۱۳۹۴). بررسی روند نمایه‌های حدی اقلیمی دما در ایران نشان می‌دهند که نمایه‌های حدی چون روزهای یخبندان، روزهای یخی، روزهای سرد، شب‌های سرد و دامنه تغییرهای شبانه‌روزی دما در اغلب جاهای ایران دارای روندی منفی است و نمایه‌هایی چون روزهای تابستانی، روزهای گرم و شب‌های گرم درکشور، روندی افزایشی نشان می‌دهند. به طور کلی، روند نمایه‌ها، جدا از موردهای استثنایی، همسو با آخرین یافته‌های هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم و بررسی‌های جهانی دیگر است (رحیم‌زاده و همکاران، ۱۳۸۸). تغییر در مقدار و الگوی بارندگی، پدیده دیگری است که در اثر تغییر اقلیم ایجاد شده است. این تغییرها بیشتر به دلیل تغییر در مقدار آب موجود در جو رخ داده است. شدت بارندگی نیز در اثر تغییر اقلیم دچار نوسان‌های شدیدی شده است، به‌طوری که بروز بارش‌های با شدت زیاد در منطقه‌های خشک روند رو به رشد دارد. بروز سیل‌های نادر و شدید در کنار خشکسالی‌های متعدد، گویای اثرهای مخرب تغییر اقلیم بر وضعیت اقلیمی جهان است (Wang *et al.*, 2012). بررسی‌ها نشان می‌دهند که میانگین دمای کمینه ایران بین سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۴۵ افزایش خواهد داشت (محمدی و همکاران، ۱۳۹۵). در بررسی روشن و همکاران (۱۳۹۱) برای دوره‌های ۲۰۲۵ تا ۲۰۵۰، افزایش بارش و دما و طولانی‌تر شدن فصل رشد و نمو گیاهان، افزایش تبخیر و تعرق، کاهش بارش جامد، افزایش بارش‌های همرفتی و در پایان، افزایش پتانسیل سیلاب در ایران پیش‌بینی شده است.

پدیده‌های حدی مانند خشکسالی بیش از دیگر پدیده‌ها زیر تأثیر تغییر اقلیم قرار می‌گیرند. خشکسالی به‌عنوان بی‌تعادلی طبیعی، اما موقتی موجودی آب است که با بروز پیوسته بارندگی‌های کمتر از میانگین، فراوانی، تداوم و شدت

نامعین و رخدادهای پیش‌بینی‌ناپذیر همراه است و موجب کاهش موجودی منابع آب و کاهش پایداری بوم‌نظام‌ها می‌شود (Pereira *et al.*, 2002). پژوهش‌های دیرینه اقلیم‌شناسی نشان داده‌اند که ایران در گذشته، دوره‌های خشکسالی طولانی‌مدت (از جمله یک دوره ۳۰۰ ساله) را تجربه کرده است (شیخ بگلو اسلام، ۱۳۹۷). این یافته‌ها با بررسی‌های جدید بر پایه حلقه‌های سالیانه درختان ارس در زاگرس (۱۸۰۲ تا ۲۰۲۲) تأیید می‌شود (Beiranvand *et al.*, 2024). در این بررسی، نه تنها خشکسالی‌های شدید تاریخی (مانند سال‌های ۱۸۳۲، ۱۸۶۷ و ۱۸۷۶) شناسایی شده‌اند، بلکه نشان می‌دهند که این رویدادها با الگوهای اقلیمی جهانی مانند ال‌نینو-نوسان جنوبی در ارتباط بوده‌اند. یافته‌های هر دو پژوهش نشانگر این است که تغییر اقلیمی کنونی می‌تواند احتمال تکرار چنین دوره‌های خشکسالی طولانی و شدیدی را افزایش دهد. از جمله عارضه‌های خشکسالی، بروز پدیده گردوغبار در سرزمین‌های بیابانی ایران است. این پدیده در منطقه‌هایی با اقلیم خشک و نیمه‌خشک شدیدتر است (Keyantash, 2002). بررسی‌های اخیر نشانگر تشدید چشمگیر خشکسالی در منطقه‌های خشک و نیمه‌خشک ایران است که اثرهای مخربی بر بخش کشاورزی آن‌ها داشته است (خورانی و جمالی، ۱۳۹۵). قابل بیان است که افزایش دما به عنوان یکی از کلیدی‌ترین عامل‌های اثرگذار بر حیات گیاهی، می‌تواند رشد و توسعه گیاهان را به شدت زیر تأثیر قرار دهد (Luo, 2007). این پیامدهای تغییر اقلیم به ویژه در منطقه‌های زیست‌اقلیمی حساسی مانند ناحیه‌های کوهستانی زاگرس، البرز، آذربایجان و خراسان شمالی که از اقلیمی معتدل سرد و چهارفصلی برخوردارند، نمود بیشتری داشته است. پژوهش‌های اخیر در ناحیه رویشی زاگرس نشان می‌دهند که پدیده‌های بوم‌شناسانه مانند زوال بلوط را نمی‌توان تنها به تغییرهای الگوی بارش نسبت داد، بلکه ترکیب عامل‌های اقلیمی گوناگون از جمله افزایش دما و کاهش رطوبت خاک نقش تعیین‌کننده‌ای در این روند دارند (Attarod *et al.*, 2023a; Attarod *et al.*, 2023b; Attarod *et al.*, 2025). این یافته‌ها با بررسی‌های دیگری که آسیب‌پذیری جنگل‌های ایران را بررسی کرده‌اند، همخوانی دارد. براساس این بررسی‌ها، سهم آسیب‌پذیری ناشی از تغییراقلیم در جنگل‌های زاگرس و شمال کشور به ترتیب با ۵۳ و ۳۱/۷٪ است (Karim *et al.*, 2020). به‌طور ویژه، جنگل‌های زاگرس به‌عنوان یکی از مهمترین بوم‌نظام‌های کشور با چالش‌های متعددی از جمله افزایش دما، کاهش بارندگی و تشدید خشکسالی روبه‌رو شده‌اند. این تغییرها نه تنها بر پوشش گیاهی این منطقه‌ها تأثیر گذاشته، بلکه زندگی جامعه‌های محلی و گوناگونی زیستی را نیز به خطر انداخته اند (عطارد و همکاران، ۱۴۰۰). برای نمونه در ایلام به‌عنوان یکی از کانون‌های اصلی بروز پدیده زوال جنگل در دهه‌های اخیر، سالانه به‌طور میانگین، ۲۷ دوره خشک ثبت می‌شود که به جز شمار محدودی دوره خشک بلندتر از ۳۰ روز (حدود ۴٪ دوره‌ها)، دیگر دوره‌های خشک، کوتاه‌تر از ۳۰ روز هستند و پژوهش‌ها نشان داده‌اند که روند افزایش شمار این دوره‌های خشک بلندتر از ۳۰ روز، در ۳۵ سال اخیر معنی‌دار بوده است (میرزایی و همکاران، ۱۴۰۴). براساس بررسی‌ها، عامل‌های اقلیمی کلیدی مانند افزایش دما و تغییرهای الگوی بارش، پیامدهای زیادی بر پویایی آتش‌سوزی در جنگل‌های زاگرس دارند (بیگی حیدرلو و کرامت میرشکارلو، ۱۴۰۳). افزایش دما موجب سرعت بیشتر تبخیر و تعرق، خشک شدن پوشش گیاهی و ایجاد شرایط مساعد برای آتش‌سوزی و گسترش آتش می‌شود (Živanović *et al.*, 2002). پیامدهای آتش‌سوزی‌های جنگلی ناشی از تغییر اقلیم بسیار فراتر از تخریب بوم‌شناسی است و به بافت جامعه‌های انسانی که ارتباط نزدیکی با این جنگل‌ها دارند، آسیب می‌رساند (Trenberth, 2018). تغییراقلیم موجب تغییر در پراکنش و مرز گونه‌ها می‌شود و تغییرهای اقلیمی در آینده ممکن است موجب انقراض جمعیت گونه‌های گیاهی و جانوری، تغییرهای پدیده‌شناسی و برهمکنش‌های تغذیه‌ای، تغییرهای محدوده پراکنش، مهاجرت، آشفتگی‌های

محیط زیستی و ناسازگاری گونه‌ها با شرایط محلی شود (Koralewski *et al.*, 2015). براساس این حقیقت، طالشی و همکاران (۱۳۹۷)، پیش‌نگری کردند که در جنگل‌های هیرکانی، گونه راش[1] به تغییرهای اقلیمی بسیار حساس است، به طوری که حتی با خفیف‌ترین گرمایش جهانی و با سناریوهای خوش‌بینانه، در سال ۲۰۷۰، حدود ۷۰٪ از رویشگاه‌های خود را از دست می‌دهد. در شش دهه گذشته، دمای هوا در ناحیه خزری بیش از یک درجه سلسیوس افزایش یافته است و براساس نظرهای کارشناسی، محدوده ارتفاعی پراکنش پوشش گیاهی، حدود ۱۰۰ متر به سمت بالا حرکت کرده است (جعفری، ۱۳۸۷). پژوهش دیگری نیز نشان می‌دهد که از سال ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۸، دمای هوا در ناحیه رویشی هیرکانی، ۰/۷۴ درجه سلسیوس افزایش یافته است (عطارد و همکاران، ۱۳۹۶). پراکنش گیاهان در هر اقلیم، به شرایط دمایی و رطوبتی آن بستگی مستقیم دارد.

اثر تغییر اقلیم بر بوم‌نظام‌های جنگلی

تغییر اقلیم به‌عنوان چالش جهانی، تأثیرهای گسترده و ژرفی بر بوم‌نظام‌های جنگلی در سراسر جهان دارد و این تأثیرها نه‌تنها در حال حاضر مشاهده می‌شوند، بلکه پیش‌بینی می‌شود در آینده‌ای نه چندان دور، به طور چشمگیری افزایش یابند (Melillo *et al.*, 2014). اهمیت این تغییرها، با توجه به تفاوت‌های منطقه‌های زیستی و جغرافیایی گوناگون و همچنین مقدار افزایش دما و تغییرهای بارندگی، متغیر است. با این حال، باور عمومی بر این است که افزایش دما و تغییر در مقدار بارش، به جابه‌جایی و تغییر مکان بوم‌نظام‌های جنگلی، پراکندگی گونه‌های درختی و درختچه‌ای، تغییر در ترکیب گونه‌های گیاهی و حتی نابودی یک گونه و جایگزینی آن با گونه‌ای جدید می‌انجامد. برای نمونه، در شمال آمریکا، تغییر اقلیم موجب انتقال و مهاجرت جنگل‌ها به عرض‌های شمالی‌تر شده است. در شرایطی که تغییراقلیم به صورت تدریجی و یکنواخت رخ دهد، شانس سازگاری بوم‌نظام‌ها با این تغییرهای تدریجی، افزایش می‌یابد، اما در سناریوهای تغییر افزایشی یا ناگهانی اقلیم، امکان سازگاری بوم‌نظام‌ها به شدت کاهش می‌یابد، به ویژه در منطقه‌های خشک و نیمه‌خشک که آسیب‌پذیری بیشتری دارند. به طور کلی، تأثیرهای تغییر اقلیم بر بوم‌نظام‌های جنگلی بسیار گوناگون است و شامل موردهایی می‌شود که در ادامه آورده شده‌اند.

تغییر اقلیم توانایی بوم‌نظام‌های جنگلی را برای بهبود کیفیت و تنظیم جریان آب کاهش می‌دهد (Melillo *et al.*, 2014). این کاهش توانایی، در ترکیب با سایر عامل‌های تنش‌زا، موجب می‌شود بوم‌نظام‌های جنگلی در رویارویی با رخدادهای حدی مانند آتش‌سوزی، سیل و توفان ضعیف‌تر عمل کنند (Melillo *et al.*, 2014). به دنبال تغییر اقلیم، بوم‌نظام‌های جنگلی به سرعت در حال تغییرند و گونه‌های شاخص از برخی ناحیه‌ها، به طور کامل حذف یا حتی منقرض می‌شوند (Muluneh, 2021). این پدیده به دلیل افزایش دما و تخریب زیستگاه‌ها، موجب از بین رفتن ارتباط بین گونه‌ها شده و جامعه‌های موجود را تغییر شکل می‌دهد و حتی می‌تواند به انقراض گونه‌ها بیانجامد. البته، برخی از گونه‌ها توانایی سازگاری با این تغییرها را دارند. افزون بر این، تغییر اقلیم با تغییر زمان‌بندی رخدادهای زیستی (پدیده‌شناسی[2]) مانند جوانه زدن در فصل بهار و زمستان گذرانی و همچنین تغییر زمان شروع مهاجرت گونه‌های جانوری، اثرهای شگرفی بر گونه‌ها و زیستگاه‌های جنگلی خواهند داشت. تغییر اقلیم، آسیب‌پذیری جنگل‌ها به تغییرهای بوم‌نظامی و از بین رفتن درختان را از راه آتش‌سوزی، هجوم آفت‌ها و بیماری‌های گیاهی و همچنین خشکسالی افزایش می‌دهد (Gray, 2008;

1. *Fagus orientalis* L.
2. Phenology

Vose *et al.*, 2012). استقرار نهال در جنگل و حاصلخیزی جنگل، به آب قابل دسترس در خاک وابسته است و خشکسالی‌های پیوسته ناشی از تغییر اقلیم، حاصلخیزی جنگل و ساختار آن را تغییر می‌دهد (Schulze *et al.*, 1987; Hanson & Weltzin 2000; Veron & Paruelo, 2010). مرگ درختان ناشی از خشکسالی، در حقیقت پاسخ بوم‌نظام‌های جنگلی به تغییر اقلیم و نوسان‌های اقلیمی است (Clark *et al.*, 2016).

در پاسخ به تغییر اقلیم، زیست‌توده جنگل در کوتاه‌مدت تغییر می‌کند که به تغییر در ترکیب گونه‌های جنگل (به عنوان اثر غیرمستقیم تغییر اقلیم) و نیز ذخیره کربن زیست‌توده (به عنوان اثر مستقیم تغییر اقلیم) می‌انجامد (Zhang *et al.*, 2018). همچنین، تغییر اقلیم، رویش گونه‌های جنگلی را به سمت عرض‌های جغرافیایی بالاتر و ارتفاع‌های بیشتر سوق می‌دهد (Theurillat & Guisan 2001; Walther *et al.*, 2002). در منطقه‌هایی از ارتفاع‌ها و عرض‌های جغرافیایی بالاتر که پیشتر به واسطه سرما، امکان رشد و نمو درختان وجود نداشت، ممکن است در آینده شرایط مناسبی برای رویش درختان فراهم شود. در مقابل، ارتفاع‌های پایین و عرض‌های جغرافیایی کم، به‌دلیل خشکسالی و کمبود آب، برای رویش درختان نامناسب خواهد بود (Cairns *et al.*, 2007; Gehrig-Fasel *et al.*, 2007). این تغییر در مرز رویش، چه در جهت عرض جغرافیایی و چه در جهت ارتفاع، موجب انقراض گونه‌های محلی خواهد شد (Allen *et al.*, 2015).

تأثیرهای مستقیم تغییر اقلیم بر بوم‌نظام‌های جنگلی شامل تغییر در فرایندهای سوخت‌وساز و رشد درختان، تغییر بارش و تغییر رطوبت خاک و نیز تغییر در حاصلخیزی جنگل به واسطه افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن و نیتروژن است (جدول ۱) (McMahon *et al.*, 2010; Vose *et al.*, 2012). در مقابل، تأثیر غیرمستقیم تغییر اقلیم، شامل تغییر در رژیم‌های آشفتگی‌های طبیعی، تکرار و شدت بیشتر رخدادهای حدی، بروز آتش‌سوزی‌های گسترده، حمله گسترده آفت‌ها و بیماری‌ها، فرسایش آبی، بروز سیلاب‌ها و مرگ درختان ناشی از خشکسالی است (Gray, 2008; Vose *et al.*, 2012). همچنین، تغییر اقلیم، عملکرد بسیاری از جنگل‌های کران‌رودی را برای اثر خنک‌کنندگی آب و نیز تولید آب با کیفیت برای تفرج‌های طبیعت محور، زیر تاثیر قرار می‌دهد (جدول ۱) (Nelson *et al.*, 2013).

جدول ۱- تاثیرهای مستقیم و غیرمستقیم افزایش دی‌اکسیدکربن و تغییر اقلیم بر بوم‌نظام‌های جنگلی (Keenan, 2015).

	مستقیم	غیرمستقیم
تأثیر سریع‌تر	فتوسنتز، مصرف آب/ انتقال، گلدهی/ پدیده‌شناسی، میوه‌دهی/ زادآوری، رشد/ از بین رفتن، کیفیت/ تراکم چوب، یخبندان/ توفان سهمگین	افزایش شدت و تکرار آتش‌سوزی‌ها، تاثیر بیماری‌ها، افزایش آفت‌ها و حشره‌های بیشتر، افزایش هجوم گونه‌های مهاجم، کیفیت آب
تأثیر کندتر	تجزیه لاشبرگ، وضعیت مواد غذایی برگ، تغییرهای ژنتیکی، پراکنش درختان و ترکیب توده	ساختار و ترکیب زیستگاه، تامین چوب، فرسایش و زوال خاک، تولید چوب

روند فعلی گرم شدن کره زمین موجب ایجاد آتش‌سوزی‌های گسترده در جنگل‌ها خواهد شد که به از بین رفتن بسیاری از خدمت‌های ارزشمند آن‌ها مانند تولید چوب و ایجاد تفرجگاه‌ها و چشم‌اندازهای بدیع می‌شود (Nelson *et al.*, 2013). حتی تغییری جزیی در اقلیم نیز می‌تواند تأثیر مخربی بر بوم‌نظام‌های جنگلی داشته باشد. تغییر اقلیم، در کنار دشواری‌های اقتصادی و اجتماعی، آسیب‌پذیری جنگل‌ها را افزایش می‌دهد. توسعه شهری و روستایی بر گوناگونی

زیستی و احتمال آتش‌سوزی جنگل‌ها و از بین رفتن زیستگاه‌های حیات وحش تأثیر می‌گذارد (Tvaronavičienė, 2021). با افزایش دمای کره زمین، ظرفیت سازگاری جنگل‌ها کاهش می‌یابد. بسیاری از درختان جنگلی، عمری طولانی و ظرفیت گسترش و پراکندگی محدودی دارند (Watkiss *et al.*, 2005). جنگل‌های منطقه‌های کوهستانی، تأمین‌کننده آب برای جامعه‌های پایین‌دست هستند و تغییر اقلیم با تاثیر گذاشتن بر این عملکرد، دسترسی به آب را دچار دشواری می‌کند (Palomo *et al.*, 2017). به نظر می‌رسد تغییر اقلیم موجب افزایش حاصلخیزی جنگل در منطقه‌هایی شده است که با کمبود آب روبه‌رو نبوده‌اند (Keenan, 2015). به‌طور خلاصه، تغییر اقلیم نه تنها ساختار و عملکرد بوم‌نظام‌های جنگلی را زیر تأثیر قرار می‌دهد، بلکه بر خدمت‌ها و سودمندی‌هایی که این بوم‌نظام‌ها برای انسان و دیگر گونه‌ها فراهم می‌کنند نیز تأثیرگذار است.

نقش جنگل‌ها در تعدیل اثرهای تغییر اقلیم

جنگل‌ها به عنوان یکی از پیچیده‌ترین و حیاتی‌ترین بوم‌نظام‌های زمین، نقشی چند بعدی در تنظیم شرایط اقلیمی جهان دارند. این بوم‌نظام‌های غنی، نه تنها از راه سازوکارهای طبیعی خود به جذب و ذخیره‌سازی گازهای گلخانه‌ای کمک می‌کنند، بلکه اثرهای مستقیم و غیرمستقیمی بر الگوهای بارشی، چرخه‌های آبی و حتی خنک‌سازی دمای محلی و جهانی دارند (IPCC, 2022). درک جامع این نقش‌ها نیازمند بررسی سازوکارهای زیستی، بوم‌شناسی و ژئوشیمیایی است که جنگل‌ها را به یکی از اثرگذارترین ابزارهای طبیعت در رویارویی با تغییرهای اقلیمی تبدیل کرده است (Bonan, 2008).

الف- کارکردهای کلیدی جنگل‌ها در تنظیم اقلیم

کربن‌گیری (ترسیب کربن) و ذخیره‌سازی بلندمدت- جنگل‌ها دی‌اکسیدکربن جو را با فتوسنتز جذب و آن را در زیست‌توده هوایی (مانند تنه، شاخه و برگ‌ها)، زیست‌توده زیرزمینی (ریشه‌ها) و همچنین در لایه‌های ژرف خاک ذخیره می‌کنند. بررسی‌ها نشان می‌دهند که خاک‌های جنگلی، به ویژه در بوم‌نظام‌های باستانی مانند جنگل‌های بارانی گرمسیری، می‌توانند کربن را برای سده‌ها یا حتی هزاره‌ها در خود نگه دارند (Schlesinger, 2013). این ویژگی، جنگل‌ها را به یکی از پایدارترین مخزن‌های کربن در کره زمین تبدیل کرده است.

تنظیم چرخه آب و تأثیر بر الگوهای بارشی- جنگل‌ها با تأثیر بر فرایند تبخیر و تعرق، نقش تعیین‌کننده‌ای در چرخه آبی دارند. پوشش گیاهی جنگل‌ها موجب افزایش رطوبت جو، تشکیل ابر و بارندگی در مقیاس‌های محلی و حتی فرامنطقه‌ای می‌شوند (Ellison *et al.*, 2017). برای نمونه، جنگل‌های آمازون با تولید رطوبت فراوان نه تنها بارندگی‌های منطقه‌ای را تنظیم می‌کنند، بلکه بر الگوهای اقلیمی در نقطه‌های دوردست نیز تأثیر می‌گذارند. تخریب این جنگل‌ها می‌تواند موجب کاهش بارندگی‌ها و حتی تشدید خشکسالی‌ها در منطقه‌هایی دور از محل جنگل‌زدایی بشود (Spracklen *et al.*, 2012).

خنک‌سازی سطح زمین- جنگل‌ها افزون بر جذب دی‌اکسیدکربن، با سایه‌اندازی و افزایش رطوبت محیطی، اثر خنک‌کنندگی محلی ایجاد می‌کنند. این ویژگی به ویژه در منطقه‌های شهری که با اثر جزیره گرمایی روبه‌رو هستند، اهمیت دوچندان پیدا می‌کند. پژوهش‌ها نشان می‌دهند که جنگل‌های شهری می‌توانند دمای هوا را در مقایسه با منطقه‌های بدون پوشش گیاهی به طور محسوسی کاهش دهند (Nowak *et al.*, 2014).

ب- تهدیدهای پیش‌رو و پیامدهای اقلیمی

جنگل‌زدایی و انتشار کربن- با وجود نقش حیاتی جنگل‌ها در تعدیل اقلیم، فعالیت‌های انسانی مانند کشاورزی صنعتی، توسعه شهری و بهره‌برداری ناپایدار از منابع چوب، موجب تندتر شدن جنگل‌زدایی در بسیاری از نقطه‌های جهان شده

است. این فرایند نه تنها ظرفیت جذب کربن را کاهش می‌دهد، بلکه موجب انتشار مقدار زیادی از کربن ذخیره شده در خاک و زیست‌توده به جو می‌شود (Baccini *et al.*, 2017). برای نمونه، تخریب جنگل‌های گرمسیری به تنهایی مسئول بخش چشمگیری از انتشار گازهای گلخانه‌ای جهانی است (Spracklen *et al.*, 2012).

تغییر کاربری زمین‌ها و کاهش گوناگونی زیستی- تبدیل جنگل‌ها به زمین‌های کشاورزی یا منطقه‌های مسکونی، نه تنها توازن کربن را برهم می‌زند، بلکه زندگی بسیاری از گونه‌های گیاهی و جانوری را که در تنظیم بوم‌نظام‌های طبیعی نقش دارند، تهدید می‌کند. از دست دادن این گوناگونی زیستی، می‌تواند مقاومت جنگل‌ها را در برابر تغییرهای اقلیمی کاهش داده و آن‌ها را در برابر آفت‌ها، بیماری‌ها و رخدادهای طبیعی آسیب‌پذیرتر کند (Isbell *et al.*, 2015).

پ- راهکارهای حفاظتی و سیاست‌های کلان

تقویت برنامه‌های بین‌المللی- طرح‌هایی مانند REDD+[1] (کاهش انتشار ناشی از جنگل‌زدایی و تخریب جنگل‌ها) با ارائه مشوق‌های اقتصادی به کشورهای در حال توسعه، تلاش می‌کنند تا از تخریب بیشتر جنگل‌ها جلوگیری کنند. موفقیت این برنامه‌ها نیازمند مشارکت فعال دولت‌ها، بخش خصوصی و جامعه‌های محلی است (Angelsen *et al.*, 2013).

بازسازی بوم‌نظام‌های تخریب‌شده- بازسازی جنگل‌های آسیب‌دیده از راه کاشت گونه‌های بومی و مدیریت پایدار می‌تواند به بازیابی کارکردهای اقلیمی این بوم‌نظام‌ها کمک کند. برنامه‌های احیای جنگل‌های حرا در جنوب شرق آسیا نمونه‌ای موفق از این رویکرد هستند (Friess *et al.*, 2019).

پیوند دانش بومی و علوم نوین- بهره‌گیری از دانش سنتی جامعه‌های محلی در مدیریت جنگل‌ها، می‌تواند به توسعه راهکارهای پایدارتر بیانجامد. این جامعه‌ها در طول نسل‌ها، تجربه‌های ارزشمندی در زمینه حفاظت از جنگل‌ها کسب کرده‌اند که می‌تواند مکمل یافته‌های علمی نوین باشد (Berkes *et al.*, 2000).

نتیجه‌گیری

تغییر اقلیم به‌عنوان یکی از جدی‌ترین چالش‌های جهانی عصر حاضر، تأثیرهای ژرف و چندجانبه‌ای بر بوم‌نظام‌های جنگلی سراسر جهان گذاشته است. این بررسی نشان می‌دهد که افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای ناشی از فعالیت‌های انسانی همراه با عامل‌های طبیعی، به تغییرهای چشمگیری در الگوهای اقلیمی شده است. پیامدهای این تغییرها شامل گرمایش جهانی، تغییر رژیم‌های بارشی، افزایش فراوانی و شدت پدیده‌های حدی اقلیمی و تغییر در پراکنش گونه‌های گیاهی و جانوری بوده است. جنگل‌ها به عنوان ریه‌های زمین و مهمترین ذخیره‌گاه‌های کربن، نقش حیاتی در تنظیم اقلیم جهانی دارند، اما شوربختانه تخریب و جنگل‌زدایی سهم چشمگیری در تشدید تغییر اقلیم داشته است. در ایران نیز تأثیر مخرب تغییر اقلیم بر جنگل‌های زاگرس و هیرکانی مشاهده می‌شوند که شامل افزایش دمای هوا، کاهش بارندگی‌ها، تشدید خشکسالی‌ها و افزایش خطر آتش‌سوزی‌های جنگلی می‌شود. این شرایط، بقای بسیاری از گونه‌های بومی ارزشمند مانند بلوط در ناحیه رویشی زاگرس را با تهدید جدی روبه‌رو ساخته است. برای رویارویی با این چالش‌ها، اجرای راهکارهای فراگیر از جمله حفاظت و احیای جنگل‌ها، مدیریت پایدار منابع آب، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، پایش پیوسته تغییر اقلیم و برنامه‌ریزی بوم‌شناختی بر اساس آمایش سرزمین، ضروری به نظر می‌رسد. بی‌شک، توجه نکردن به این اقدام‌ها می‌تواند به تشدید بحران و بروز خسارت‌های جبران‌ناپذیر بیانجامد. بنابراین، تنها با عزمی جهانی و اقدام‌های هماهنگ و

1. Reducing emissions from deforestation and forest degradation

فوری بر پایه یافته‌های علمی، می‌توان امیدوار بود که از شدت اثرهای منفی تغییر اقلیم کاسته و به سمت آینده‌ای پایدار برای نسل‌های حاضر و آینده حرکت کرد. پژوهش حاضر بر اهمیت درک رابطه‌های پیچیده بین تغییر اقلیم و بوم‌نظام‌های جنگلی تأکید داشت و نیازمند توجه جدی‌تر به این موضوع در سیاست‌گذاری‌های کلان محیط‌زیستی را خاطر نشان می‌کند.

سپاسگزاری

مقاله حاضر از بخشی از طرح کلان فرهنگستان علوم جمهوری اسلامی ایران با عنوان «اثرات تغییر اقلیم و تحولات اجتماعی- سیاسی جهانی بر کشاورزی و منابع طبیعی ایران و راهبردهای سازگاری با آنها با نگرشی بوم‌سازگار»، استخراج شده است که به این وسیله از حمایت مالی فرهنگستان علوم تقدیر و تشکر می‌شود.

منابع

اکبری، مهری؛ صیاد، مهری. (۱۴۰۰). تحلیل مطالعات تغییر اقلیم در ایران. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۵۳(۱)، ۳۷–۷۴.

بیگی‌حیدرلو، هادی؛ کرامت میرشکارلو، اسما. (۱۴۰۳). درک اثرات تغییر اقلیم بر آتش‌سوزی جنگل‌های زاگرس شمالی ایران، شهرستان سردشت. *پژوهش و توسعه جنگل*، ۱۰(۳)، ۳۷۹–۳۹۳.

جعفری، مصطفی. (۱۳۸۷). تحقیق و تحلیل عامل‌های تغییر اقلیم طی پنجاه سال گذشته در جنگل‌های منطقه خزری. *تحقیقات جنگل و صنوبر ایران*، ۱۶(۲)، ۳۱۴–۳۲۶.

دارند، محمد. (۱۳۹۴). ارزیابی و شناخت تغییر اقلیم در ایران‌زمین طی دهه‌های اخیر. *مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران*، ۹(۳۰)، ۱–۱۴.

روشن، غلامرضا؛ خوش‌اخلاق، فرامرز؛ عزیزی، قاسم. (۱۳۹۱). آزمون مدل مناسب گردش عمومی جو برای پیش‌یابی مقادیر دما و بارش ایران تحت شرایط گرمایش جهانی. *جغرافیا و توسعه*، ۱۰(۲۷)، ۱۹–۳۵.

عطارد، پدرام؛ بیرانوند، سمیرا؛ عسگری، محمد؛ فنایی، نفیسه؛ هاشم‌زاده، مهدیه. (۱۴۰۰). اثرگذاری نوسانات بارندگی بر زوال جنگل‌های ناحیه رویشی زاگرس در استان‌های ایلام و لرستان. *مجله جنگل ایران*، ۱۳(۲)، ۱۴۱–۱۵۴.

عطارد، پدرام؛ خیرخواه، فهیمه؛ خلیقی‌سیگارودی، شهرام؛ صادقی، سید محمد معین؛ دولتشاهی، آوازه؛ بایرام‌زاده، ویلما. (۱۳۹۶). تحلیل روند تغییرات پارامترهای اقلیمی و تبخیرتعرق در ناحیه خزری. مجله جنگل ایران، ۹(۲)، ۱۷۱–۱۸۵.

علیزاده، امین. (۱۳۸۲). *مبانی هواشناسی و تغییرات اقلیمی*. مشهد: انتشارات دانشگاه فردوسی. ۳۹۲ صفحه.

صفرراد، طاهر؛ عزیزی، قاسم؛ محمدی، حسین؛ فرجی‌سبکبار، حسنعلی. (۱۳۹۴). تغییرپذیری شدت پرفشار سیبری در دوره تشدید گرمایش جهانی. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۴(۱۳)، ۷۷–۹۴.

طالشی، حمید؛ جلالی، سیدغلامعلی؛ علوی، سید جلیل؛ حسینی، سید حسین؛ نعیمی، بابک. (۱۳۹۷). اثر تغییر اقلیم بر پراکنش جغرافیایی بالقوه گونه راش شرقی (*Fagus orientalis* Lipsky) در جنگل‌های هیرکانی ایران. *مجله جنگل ایران*، ۱۰(۲)، ۲۵۱–۲۶۶.

محمدی، حسین؛ رنجبر، فیروز؛ مقبل، معصومه. (۱۳۹۵). اثرات گرمایش جهانی بر دمای کمینه ایران. *جغرافیا*، ۱۴(۵۱ دوره جدید)، ۳۵۱–۳۶۶.

میرزایی، سمیه؛ عطارد، پدرام؛ مصطفی‌نژادنشلی، کیمیا. (۱۴۰۴). تأثیر روندهای درازمدت بارندگی و روزهای خشک متوالی بر زوال جنگل‌های زاگرس در استان ایلام. *نشریه جنگل و فرآورده‌های چوب*، ۷۸(۱)، ۱–۱۰.

Allen, C.D., Breshears, D.D. & McDowell, N.G. (2015) On underestimation of global vulnerability to tree mortality and forest die-off from hotter drought in the Anthropocene. *Ecosphere* 6: 1–55.

Angelsen, A., Brockhaus, M., Sunderlin, W. D., & Verchot, L. (Eds.). (2013). Análisis de REDD+: Retos y opciones. CIFOR.

Attarod, P., Beiranvand, S., Pypker, T.G., Bayramzadeh, V., Helali, J., Mashayekhi, Z. & Mariv, H. S. (2023a). Are precipitation characteristics and patterns impacting oak trees decline in the Zagros region of western Iran?. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 21(4), 753-765.

Attarod, P., Dezhban, A., Pypker, T.G., Khalighi Sigaroodi, S.H., Bayramzadeh, V. *et al*. (2023b). Iran's changing climate over the past 30 years, Russian Meteorology and Hydrology, 48 (1): 76-8.

Attarod, P., Zhu, H., Beiranvand, S., Pypker, T.G., Bayramzadeh, V., Mariv, H.S. & Karimi, K. (2025). Past and future climate change in the Zagros region of western Iran. *Anthropocene*, 50, 100475.

Baccini, A., Walker, W., Carvalho, L., Farina, M., Sulla-Menashe, D. & Houghton, R.A. (2017). Tropical forests are a net carbon source based on aboveground measurements of gain and loss. *Science*, 358(6360), 230-234.

Beiranvand, S., Bayramzadeh, V., Attarod, P., Pourtahmasi, K., Pypker, T.G., Bräuning, A. & Nadi, M. (2024). Increasing drought frequency in the central Zagros Mountains of western Iran over the past two centuries. *Journal of Arid Environments*, 224, 105240.

Berkes, F., Colding, J. & Folke, C. (2000). Rediscovery of traditional ecological knowledge as adaptive management. *Ecological applications*, 10(5), 1251-1262.

Bonan, G. B. (2008). Forests and climate change: forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests. *Science*, 320(5882), 1444-1449.

Boulton, C.A., Lenton, T.M. & Boers, N. (2022). Pronounced loss of Amazon rainforest resilience since the early 2000s. *Nature Climate Change*, 12(3), 271-278.

Cairns D., Lafon C., Moen J., Young A. (2007) Influences of animal activity on treeline position and pattern: implications for treeline responses to climate change. *Physical Geography* 28(5): 419–433.

Clark, J.S., Iverson L., Woodall C.W., Allen C.D., Bell D.M. *et al.* (2016) The impacts of increasing drought on forest dynamics, structure, and biodiversity in the United States. *Global Change Biology* 22, 2329–2352.

Courtillot, V., Gallet Y., Le Mouël JL., Fluteau F., Genevey A. (2006) Are there connections between the earth's magnetic field and climate? ', *Earth and Planetary Science Letters*, Vol. 253, Nos. 328–339, p.620.

Curtis, P.G., Slay, C. M., Harris, N.L., Tyukavina, A. & Hansen, M. C. (2018). Classifying drivers of global forest loss. *Science*, 361(6407), 1108-1111.

Ellison, D., Morris, C.E., Locatelli, B., Sheil, D., Cohen, J., Murdiyarso, D. & Sullivan, C.A. (2017). Trees, forests and water: Cool insights for a hot world. *Global environmental change*, 43, 51-61.

FAO & UNEP. (2020). *The State of the World's Forests 2020: Forests, biodiversity and people*. FAO.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2020). Global Forest Resources Assessment 2020: Main report. *FAO*. Retrieved from: *https://doi.org/10.4060/ca9825en*

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2022). Food safety is everyone's business in street food vending. World Health Organization. https://apps. Who. Int/iris/handle/10665/354468. License: CC BY-NC-SA, 3.

Friess, D.A., Rogers, K., Lovelock, C.E., Krauss, K.W., Hamilton, S.E., Lee, S.Y. *et al*. (2019). The state of the world's mangrove forests: past, present, and future. *Annual Review of Environment and Resources*, 44(1), 89-115.

Gehrig-Fasel J., Guisan A. & Zimmermann N.E. (2007) Tree line shifts in the Swiss Alps: climate change or land abandonment? *Journal of Vegetation Science* 18(4): 571–582.

Gnacadja L. & Lesch A.K. (2009). Running dry? Climate change indrylands and how to cope with it. Germany: Muunchen.

Gray D.R., (2008) The relationship between climate and outbreak characteristics of the spruce budworm in Eastern Canada. *Climatic Change* 87: 361–383.

Hanson P.J. & Weltzin J.F. (2000) Drought disturbance from climate change: response of United States forests. *Science of the Total Environment* 262(3): 205–220.

IPCC. (2023) Summary for Policymakers. In: Climate Change 2023: Synthesis Report. A Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (Eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 36 pages. (In press).

IPCC. (2022). Impacts, Adaptations, and Vulnerability

IPCC. (2021). Climate Change 2021: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. Retrieved from: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/

IPCC. (2007) Climate Change 2007: Synthesis Report (Summary for Policymakers), Cambrige University Press, U.K.

Isbell, F., Craven, D., Connolly, J., Loreau, M., Schmid, B., Beierkuhnlein, C. & Eisenhauer, N. (2015). Biodiversity increases the resistance of ecosystem productivity to climate extremes. *Nature*, 526(7574), 574-577.

Karim, M.H., Sardar Shahraki, A., Kiani Ghalesard, S. & Fahimi, F. (2020). Management challenges and adaptations with climate change in Iran forests. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 18(1): 81-91.

Keenan, R.J. (2015) Climate change impacts and adaptation in forest management: a review, *Annals of Forest Science* 72: 145-167.

Keyantash, J. & Dracup, J.A. (2002). The quantification of drought: an evaluation of drought indices. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83(8), 1167-1180.

Koralewski, T.E., Wang, H.H., Grant, W.E. & Byram, T.D. (2015). Plants on the move: Assisted migration of forest trees in the face of climate change. *Forest Ecology and Management*, 344, 30–37.

Lean, J. (2017). Solar irradiance variability and climate. Annual Review of Astronomy and Astrophysics.

Lovejoy, T.E. & Nobre, C. (2018). Amazon tipping point. *Science advances*, 4(2), eaat2340.

Luo, Y. (2007). Terrestrial carbon–cycle feedback to climate warming. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematic. 38(1), 683-712.

McMahon, S.M., Parker, G.G. & Miller, D.R. (2010) Evidence for a recent increase in forest growth. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107, 3611–3615.

Melillo, J.M., Richmond, T.C., Gary, W. & Yohe, Eds. (2014) *Highlights of Climate Change Impacts in the United States: The Third National Climate Assessment*. U.S. Global Change Research Program, 148 pp.

Muluneh, M.G., (2021) Impact of climate change on biodiversity and food security: a global perspective—a review article, *Agriculture & Food Security*, 10 (36), Retrieved from: https://doi.org/10.1186/s40066-021-00318-5

National Aeronautics and Space Administration [NASA]. (2020). Global climate change: Vital signs of the planet. *NASA*. Retrieved from: *https://climate.nasa.gov*

Nelson, E.J., Kareiva, P., Ruckelshaus, M., Arkema, K., Geller, G. *et al*. (2013) Climate change's impact on key ecosystem services and the human well-being they support in the US. *Frontiers in Ecology and Environment* 11 (9), 483-493. Retrieved from: doi:10.1890/120312

Nowak, D.J., Hirabayashi, S., Bodine, A. & Greenfield, E. (2014). Tree and forest effects on air quality and human health in the United States. *Environmental Pollution*, 193, 119-129.

Palomo, I. (2017) Climate Change Impacts on Ecosystem Services in High Mountain Areas: A Literature Review, *Mountain Research and Development (MRD)* 37 (2), 179-187.

Pendrill, F., Persson, U. M., Godar, J., Kastner, T., Moran, D., Schmidt, S. & Wood, R. (2019). Agricultural and forestry trade drives large share of tropical deforestation emissions. *Global environmental change*, 56, 1-10.

Pereira, L.S.; Cordery, I. & Iacovides, I. (2002). Coping with water scarcity, UNESCO IHP VI, Technical Documents in Hydrology, No. 58, UNESCO, Paris, 267.

Planton, S., Déqué, M., Chauvin, F., & Terray, L. (2008). Expected impacts of climate change on extreme climate events. *Comptes Rendus Geoscience*, 340(9-10), 564-574.

Robock, A. (2000). Volcanic eruptions and climate. *Reviews of Geophysics*, 38(2), 191-219.

Ruddiman, W. F. (2014). *Earth transformed*. New York: WH Freeman.

Sagan, C. & Chyba, C. (1997). The early faint sun paradox: organic shielding of ultraviolet-labile greenhouse gases', *Science*, 276, (5316), 1217–1221.

Schlesinger, W.H. (2013). An estimate of the global sink for nitrous oxide in soils. *Global change biology*, 19(10), 2929-2931.

Schulze E.D., Robichaux R.H., Grace J., Rundel P.W. & Ehleringer J.R. (1987) Plant water balance. *Bioscience* 37, 30–37.

Spracklen, D.V., Arnold, S.R. & Taylor, C.M. (2012). Observations of increased tropical rainfall preceded by air passage over forests. *Nature*, 489(7415), 282-285.

Theurillat J.P., Guisan A. (2001) Potential impact of climate change on vegetation in the European Alps: a review. *Climate Change* 50(1), 77–109.

Trenberth, K.E. (2018). Climate change caused by human activities is happening and it already has major consequences. *Journal of Energy & Natural Resources Law*, 36(4), 463-481.

Tvaronavičienė, M. (2021) *Effects of climate change on environmental sustainability*. E3S Web of Conferences 250, 01005 (2021) TRESP. Retrieved from: https://doi.org/10.1051/e3sconf/202125001005

Tyukavina, A., Potapov, P., Hansen, M.C., Pickens, A.H., Stehman, S.V. *et al*. (2022). Global trends of forest loss due to fire from 2001 to 2019. *Frontiers in Remote Sensing*, 3, 825190.

United Nations Development Programme (UNDP). (2019). *Human Development Report 2019: Beyond income, beyond averages, beyond today—Inequalities in human development in the 21st century*. UNDP. Retrieved from: *https://hdr.undp.org/content/human-development-report-2019*

Veron, S.R. & Paruelo, J.M. (2010) Desertification alters the response of vegetation to changes in precipitation. *Journal of Applied Ecology* 47,1233–1241.

Vose, J.M., Peterson, D.L. & Patel-Weynand, T. (2012) *Effects of climatic variability and change on forest ecosystems: a comprehensive science synthesis for the U.S. Forest sector*. USDA Forest Service General Technical Report, PNW-GTR-870.

Walther, G.R., Post, E. & Convey, P. (2002) Ecological responses to recent climate change. *Nature*, 416(28), 389–395.

Wang, H.J., Sun, J.Q., Chen, H.P., Zhu, Y.L., Zhang. Y. *et al*. (2012). Extreme climate in China: Facts, simulation and projection. *Meteorologische Zeitschrift*, 21(3), 279.

Watkiss, P., Downing, T., Handley, C., Butterfield, R. (2005) *The Impacts and Costs of Climate Change, AEA Technology Environment.* DG Environment Stockholm Environment Institute, Oxford, Commissioned by European Commission, Modeling support for Future Actions – Benefits and Cost of Climate Change Policies and Measures'. ENV.C.2/2004/0088.

WWF (World Wildlife Fund). (2021). *Deforestation Fronts. Drivers and Responses in a Changing World*.

Zhang T., Niinemets Ü., Sheffield J. & Lichstein J.W. (2018) Shifts in tree functional composition amplify the response of forest biomass to climate. *Nature* 556, 99-102.

Zhong, C.X. (2016). Causes of global climate change. *International Journal of Global Warming*, 10(4), 482-495.

Živanović, S., Ivanović, R., Nikolić, M., Đokić, M. & Tošić, I. (2020). Influence of air temperature and precipitation on the risk of forest fires in Serbia. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 132, 869-883.

Strategic Research Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources 11(1):1-14 (2026)

Climate Change and Forests: From Global Warming to a Threat Against Forest Ecosystems

Attarod, P.[1], Zobeiri, M., Farkhondeh Makhdom, M., Feghhi, J., Mobarghaee, N. and Jourgholami, M.[2]

Climate change, as one of the most critical environmental challenges of the current century, extensively impacts forest ecosystems, while forest destruction has, in turn, exacerbated this phenomenon. This study investigates the two-way relationship between climate change and forests, demonstrating that the increase in greenhouse gases from human activities, along with natural factors, has led to global warming, altered precipitation patterns, increased droughts, and forest fires. Forests, acting as the most important carbon sinks, play a key role in moderating the climate, but deforestation is a significant contributor to carbon dioxide emissions. In Iran, climate change has caused increased temperatures, reduced rainfall, intensified droughts, and a serious threat to the country's forests. This research emphasizes the need to implement solutions for the protection and restoration of forests, sustainable water resource management, reduction of greenhouse gas emissions, and ecological planning to prevent the escalation of the crisis.

Key words: Forest decline, Greenhouse gases, Sustainable management.

1. Corresponding author's Email: attarod@ut.ac.ir

2. Professor of University of Tehran (Associate Member), Professor of University of Tehran (Associate Member), Professor of University of Tehran (Associate Member), Associate Professor of Shahid Beheshti University (Invited Scholar) and Professor of University of Tehran (Invited Scholar). Members of Forestry and Environmental Sciences Branch, Agricultural and Natural Resources Group, Academy of Science, I.R. Iran, respectively.

مجله پژوهش‌های راهبردی در علوم کشاورزی و منابع طبیعی جلد ۱۱ شماره ۱ صفحه‌های ۱۵ تا ۳۰ (۱۴۰۵)

بهره‌گیری از ویژگی‌های دگرآسیبی گیاهان زراعی برای کنترل علف‌های ناخواسته[1]

فرود صالحی[2] و امیرهوشنگ جلالی[3]

چکیده

برخی از گیاهان با ترشح ترکیب‌های شیمیایی به‌ویژه ماده‌های آللوشیمیایی، بر رشد گیاهان دیگر تأثیر می‌گذارند که این فرایند، دگرآسیبی[4] نامیده می‌شود. شماری از ترکیب‌های دگرآسیب[5] در گونه‌های گیاهی مختلف گزارش شده است. مهمترین گروه‌های آللوشیمیایی در گیاهان زراعی اصلی شامل ترکیب‌های فنولیک، بنزوکسازینوئید، سورگولئون، گلوکوزینولات، ترپن‌ها، آلکالوئیدها و مومیلاکتون‌ها است. این قابلیت دگرآسیبی محصول‌های زراعی به چندین روش می‌تواند برای کنترل علف‌های ناخواسته (هرز) در کشتزار مورد بهره‌برداری قرارگیرد. این موضوع ممکن است با مشخص کردن فعالیت دگرآسیبی محصول‌های زراعی برای کنترل علف‌های ناخواسته به چندین روش صورت پذیرد. این روش‌ها می‌توانند موجب رشد رقم‌های زراعی شوند که دارای قابلیت دگرآسیبی هستند. راه‌های دیگر شامل کشت مخلوط یک محصول زراعی با داشتن قابلیت دگرآسیبی با محصول زراعی بدون این ویژگی، کشت یک گیاه دارای فعالیت دگرآسیبی در تناوب زراعی، استفاده از پسماند محصول دارای ویژگی دگرآسیبی به‌عنوان خاکپوش و بهره‌گیری از گیاه دگرآسیب به‌عنوان گیاه پوششی برای کنترل علف‌های ناخواسته می‌باشد. با توجه به افزایش دغدغه‌های محیطزیستی ناشی از مصرف سم‌های شیمیایی، تجاری‌سازی ترکیب‌های دگرآسیب برای کنترل علف‌های ناخواسته مورد علاقه پژوهشگران است.

واژه‌های کلیدی: دگرآسیبی، گیاهان زراعی دگرآسیب، علف‌های ناخواسته، ماده‌های آللوشیمیایی.

مقدمه

دشواری‌های تکامل مقاومت به علفکش در علف‌های ناخواسته، آلودگی محیطزیستی و توسعه کشاورزی ارگانیک، اهمیت روش‌های غیرمتعارف مدیریت علف‌های ناخواسته را برجسته کرده است. پدیده دگرآسیبی، اگر به درستی بهره‌برداری شود، می‌تواند نقش زیادی در مدیریت علف‌های ناخواسته کشتزارها داشته باشد. واژه *allelopathy* از دو واژه یونانی allelon و pathos به‌ترتیب به معنای دیگری و رنج بردن گرفته شده است (Rizvi *et al.*, 1992). به همین

۱- تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۸/۷

۲- پست الکترونیک نویسنده مسئول: f.salehi@areeo.ac.ir

۳- به‌ترتیب، دانشیاران پژوهشی بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان.

4. Allelopathy 5. Allelopathic

دلیل، در فارسی دگرآسیبی گفته‌می‌شود. از دید مفهومی، دگرآسیبی به معنای هر گونه اثر مستقیم یا غیرمستقیم زیانبار یا سودمند یک گیاه با تولید ترکیب‌های شیمیایی است که به محیط‌زیست موجود دیگری وارد می‌کند (Rice, 1984). پدیده دگرآسیبی شامل تولید متابولیت‌های ثانویه است. متابولیت‌های ثانویه ممکن است از گیاهان، قارچ‌ها، باکتری‌ها و جلبک‌ها به‌وجود آیند. متابولیت‌های ثانویه به‌عنوان ماده‌های آللوشیمیایی نامیده می‌شوند و در رشد و عملکرد بوم‌نظام‌های زیستی و کشاورزی نقش دارند (IAS, 1996). دگرآسیبی همچنین شامل تبادل متابولیت‌های ثانویه میان گونه‌های مختلف گیاهی (و حتی برهمکنش‌های درون گونه‌ای)، گیاهان و میکروارگانیزم‌ها، گیاهان و حشره‌ها و گیاهان و ویروس‌ها می‌شود. به غیر از متابولیت‌های ثانویه در گیاهان، ماده‌های تجزیه‌شده از آن‌ها نیز دارای فعالیت زیستی بوده و در منابع علمی همواره به عنوان ماده‌های آللوشیمیایی شناخته شده‌اند.

متابولیت‌های ثانویه به طور طبیعی توسط گیاهان زنده ساخته می‌شوند. با این حال، غلظت ماده‌های آللوشیمیایی در بافت‌های گیاهی ممکن است به طور چشمگیری متفاوت باشد. فعالیت دگرآسیبی گونه‌های گیاهی دارای ویژگی دگرآسیبی در شرایط تنش افزایش می‌یابد (Song *et al.*, 2008). انتظار می‌رود که کاشت گیاهان دگرآسیب در شرایط تنش نازیوا (مانند کمبود ماده‌های غذایی، خشکی و و مانند این‌ها) یا زیوا (برای نمونه، آلودگی علف‌های ناخواسته یا آسیب‌های ناشی از آفت‌ها یا بیماری‌ها) موجب تولید و ترشح ماده‌های آللوشیمیایی در غلظت‌های بیشتر شود (Fang *et al.*, 2010). ماده‌های آللوشیمیایی در دفاع گیاهان در برابر تنش‌ها، به ویژه تنش‌های زیوا، یعنی حمله بیماریزاها (بیمارگرها)، آفت‌ها یا آلودگی علف‌های ناخواسته، نقش مهمی دارند. گیاهان می‌توانند از ماده‌های آللوشیمیایی برای ارتباط با محیط پیرامونشان استفاده کنند. این موضوع با ترشح ماده‌های آللوشیمیایی از ریشه‌های گیاه، متصاعد شدن از قسمت‌های هوایی گیاه، شستشو از بافت‌های زنده و ترشح ماده‌های آللوشیمیایی از تخمیر پسماند گیاهی حاصل می‌شود (Scognamiglio *et al.*, 2013).

ماده‌های آللوشیمیایی در گونه‌های زراعی

نوع و غلظت ماده‌های آللوشیمیایی با توجه به گونه گیاهی و رقم‌های آن‌ها متفاوت است (Burgos *et al.*, 1999) (جدول ۱). ماده‌های آللوشیمیایی ممکن است شامل ترکیب‌های فنولی، گلوکوزینولات‌ها، بنزوکسازینوئیدها، کینون‌ها، آلکالوئیدها، ترپن‌ها، فلاونوئیدها، کومارین‌ها، اسیدهای چرب زنجیره بلند، گلیکوزید هیدروکسامیک اسید، تانن‌ها و مانند این‌ها باشند (Muzell Trezzi *et al.*, 2016).

فنول‌ها رایج‌ترین گروه ماده‌های آللوشیمیایی شامل اسیدهای فنولیک مانند فرولیک، سیناپیک، کافئیک، کوئوماریک و مانند این‌ها هستند که در گیاهانی مانند چاودار[۱]، گندم[۲]، سورگوم[۳] و مانند این‌ها وجود دارند و می‌توانند علف‌های ناخواسته‌ای مانند علف خرچنگ[۴]، خرفه[۵]، سوروف[۶]، یولاف وحشی[۷]، تاج‌خروس ریشه قرمز[۸] و به‌ویژه علف‌های پهن‌برگ را کنترل کنند (Mushtaq & Fauconnier, 2024).

گلوکوزینولات‌ها در گیاهان تیره کلم‌سانان (شب‌بوسانان)[۹] وجوددارند. پس از خردشدن پسماند، گلوکوزینولات توسط مایروزیناز به ایزوتیوسیانات‌ها و مشتق‌های فعال تبدیل می‌شود و علف‌های ناخواسته‌ای مانند اویارسلام ارغوانی[۱۰]، تاج‌خروس

1. *Secale cereale* L. 2. *Triticum aestivum* L. 3. *Sorghum bicolor* Moench (L.) 4. *Digitaria ciliaris* L.
5. *Portulacea oleracea* L. 6. *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv 7. *Avena fatua* L. 8. *Amaranthus retroflexus* L.
9. Brassicaceae (Cruciferae) 10. *Cyperus rotundus* L.

ریشه قرمز، سوروف، فالاریس[1] و انواع دیگر را کنترل می‌کنند. در پژوهشی، استفاده از آن موجب کاهش ۹۳ درصدی جمعیت اویارسلام ارغوانی و کاهش نیاز به علفکش گلایفوسیت شده است (Dayan *et al*., 2021; Tseu & Dias, 2021).

بنزوکسازینوئیدها گروه مهمی از ماده‌های آللوشیمیایی هستند که از گونه‌های گیاهی مختلف گزارش شده‌اند (Makowska *et al*., 2015). این متابولیت‌های ثانویه به‌ویژه در برخی از غلات (برای نمونه در ذرت[2]، گندم و چاودار)، مقاومت گیاه نسبت به تنش‌های زیوا (بیماریزاها و آفت‌ها) را تحریک کرده و در سم‌زدایی علفکش و بیان فعالیت دگرآسیبی به گیاهان کمک می‌کنند (Niemeyer, 1988). تنش‌های زیوا یا نازیوا می‌تواند موجب تولید بنزوکسازینوئید در گیاهان شود (Zheng *et al*., 2010).

کینون‌ها در برخی از گیاهان ترپنوئیدی مانند سورگوم تولید می‌شوند. سورگوم با تولید سورگولئون در ریشه‌هایش علف‌های ناخواسته مانند تاج‌خروس، سوروف و علف خرچنگ را کنترل می‌کند. آلکالوئیدها کمتر در بررسی‌های دگرآسیبی گیاهان زراعی گزارش شده‌اند، اما برخی از گیاهان مانند شاهدانه[3] دارای آلکالوئید هستند، اما بررسی‌های کاربردی کمتری در این زمینه منتشر شده است (Cheng *et al*., 2020).

ترپن‌ها و ترکیب‌های ترپنوئیدی در برنج[4] تولید می‌شوند. برنج مومیلاکتون‌های A و B را دارد که رشد سوروف را مهار می‌کنند. همچنین، ترکیب تریسین (یک فلاونوئید) در تولید اثر ضد علف ناخواسته نقش دارد. سورگوم نیز ترپن‌هایی تولید می‌کند (مانند دیورین) که همراه با سورگولئون برای مهار سایر گونه‌های علف ناخواسته به کار می‌رود (Serra *et al*. 2025; Rahaman *et al*., 2022).

در برگ‌ها یا پسماند سیب‌زمینی شیرین[5] کومارین و اسیدهای آمیسین و کلوجنیک تولید می‌شود. این ترکیب‌ها رشد علف‌های ناخواسته‌ای مانند آرتمسیا[6] و حتی غلات را کاهش می‌دهند. همچنین، کاهش رشد لوبیا چشم بلبلی[7] در تناوب زراعی با آن نیز گزارش شده است (Scavo & Mauromicale, 2021). فلاونوئیدها در برنج، کلزا[8] و برخی لگوم‌ها وجود دارند. این ترکیب‌ها در برخی از بررسی‌ها موجب کاهش تندش و رشد علف ناخواسته شده‌اند (Serra *et al*, 2025; Rahaman *et al*., 2022).

غلظت ماده‌های آللوشیمیایی در میان گیاهان زراعی و رقم‌های آن‌ها متفاوت است. در چاودار، مقدار کل ۲-۴-دی هیدروکسی ۱-۴-بنزوکسازین-۳-یک[9] و بنزوکسازولین-۲-یک[10] (در مرحله ساقه‌دهی) در محدوده ۱۳۷ تا ۱۴۶۹ میکروگرم در گرم وزن خشک گیاه بود (Burgos *et al*., 1999). مهمترین ترکیب‌های آللوشیمیایی در گندم، ترکیب‌های فنولی و بنزوکسازینوئیدها هستند (Wu *et al*., 2000b). ریشه‌های گندم دارای مقدار بیشتری ماده‌های آللوشیمیایی نسبت به بخش هوایی آن است (Wu *et al*., 2000a, 2000b, 2001). ریشه‌های مویین گیاهان سورگوم ماده‌ی آللوشیمیایی با فعالیت زیستی زیاد (سورگولئون) ترشح می‌کنند. غلظت این ماده‌ی آللوشیمیایی در سورگوم تا بیش از ۴۰ میکروگرم در گرم وزن خشک گیاه می‌رسد (Uddin *et al*., 2010). سورگولئون به‌صورت فراورده فرموله شده، ساخته شده است و در کنترل علف‌های ناخواسته بسیار کاراست (Uddin *et al*., 2014). آفتابگردان[11] دارای بیش از ۵۰ ترکیب از ۱۰ کلاس شیمیایی در عصاره‌های دگرآسیبی خود است که فلاونوئیدها، دیترپن‌ها و لاکتون‌های سسکوئی‌ترپن مهمترین آن‌ها هستند (El Marsni *et al*., 2015).

1. *Phalaris paradoxa* L. 2. *Zea mays* L. 3. *Canabis sativa* L. 4. *Oryza sativa* L.
5. *Ipomoea batatas* L. 6. *Artemisia argyi* L. 7. *Vigna unguiculata* (L.) Walp 8. *Brassica napus* L.
9. 2,4-Dihydroxy- 1,4 benzoxazin- 3-one (DIBOA) 10. Benzoxazolin-2-one (BOA) 11. *Helianthus annuus* L.

مومیلاکتون‌ها ماده‌های آللوشیمیایی مهمی هستند که در فعالیت آللوپاتیک گیاه برنج نقش دارند (Schmelz *et al.*, 2014). گیاهان تیره کلم‌سانان (شب‌بوسانان) در غلظت‌های بالای گلوکوزینولات یکتا هستند که ایزوتیوسیانات، فرآورده هیدرولیز شده گلوکوزینولات است (Mithen, 2001). جو[1] دارای ترکیب‌های فنولیک و آلکالوئیدها به عنوان ماده‌های آللوشیمیایی است (Hura *et al.*, 2006).

جدول ۱- گروه‌های آللوشیمیایی مهم گزارش شده در گیاهان مهم زراعی.

گیاه زراعی	نوع و گروه ماده آللوشیمیایی	منبع
گندم	بنزوکسازینوئیدها (ترکیب‌های فنولیک)	Zheng *et al.*, 2010
گیاهان تیره کلم‌سانان (شب‌بوسانان)	گلوکوزینولات‌ها (ترکیب‌های فنولیک)	Al-Sherif *et al.*, 2013
ذرت	بنزوکسازینوئیدها (ترکیب‌های فنولیک)	Qi *et al.*, 2015
برنج	مومیلاکتون‌ها (ترکیب‌های فنولیک)	Schmelz *et al.*, 2014
چاودار	بنزوکسازینوئیدها (ترکیب‌های فنولیک)	Rice *et al.*, 2012 ،Burgos *et al.*, 1999
جو	آلکالوئیدها (ترکیب‌های فنولیک)	Hura *et al.*, 2006
سورگوم	سورگولئون (ترکیب‌های فنولیک)	Uddin *et al.*, 2010 ،Alsaadawi & Dayan, 2009
آفتابگردان	ترپن‌ها (ترکیب‌های فنولیک)	Farhoudi & Lee, 2015 ،El Marsni *et al.*, 2015

شیوه عمل ماده‌های آللوشیمیایی

بسیاری از ترکیب‌های آللوشیمیایی ممکن است شیوه عمل نامشخص (یا کشف نشده) و یا بیش از یک سازوکار داشته باشند. اثر دگرآسیبی و یا اثر فیزیولوژیکی ناشی از ماده‌های آللوشیمیایی ممکن است در صورت کاربرد ترکیبی، حالت هم‌افزایی داشته باشد. گرچه سازوکار اولیه کارکرد ماده‌های آللوشیمیایی شناخته شده نیست. بااین حال، برخی از فعالیت‌های فیزیولوژیکی دارای ماده‌های آللوشیمیایی مانند جلوگیری از تندش بذر، رشد ریشه یا رشد گیاهچه هستند (جدول ۲). سورگولئون از تولید ATP[2] در فتوسیستم II جلوگیری می‌کند. در حالی که بنزوئیک اسید و سینامیک اسید موجب اختلال در فعالیت‌های یاخته می‌شوند. تأثیرهای دیگر ترکیب‌های فنولی شامل کاهش فتوسنتز، جذب عنصرهای معدنی، جریان کربن، محتوای کلروفیل و فعالیت هورمون‌های گیاهی می‌باشد (Einhellig, 1995). ترکیب‌های فنولی ممکن است موجب اختلال در غشای یاخته‌ای، جلوگیری از تقسیم یاخته‌ای، فتوسنتز، ساخت پروتئین‌ها و هورمون‌ها، تنفس و کاهش جذب عنصرهای غذایی توسط گیاهان شوند (Li *et al.*, 2010). بیشتر ماده‌های آللوشیمیایی، ساختار و تقسیم یاخته‌ای، فعالیت غشای یاخته، تنفس، فتوسنتز و جذب عنصرهای غذایی در گیاهان را مختل می‌کنند (Gniazdowska & Bogatek, 2005). اسیدهای هیدروکسامیک می‌توانند فعالیت‌های آنزیمی و عملکرد یاخته‌ای در گیاهان را از کار می‌اندازند (Venturelli *et al.*, 2015). تعیین دقیق شیوه عمل فعالیت‌های مختلف

1. *Hordeum vulgare* L.
2. Adenosine triphosphate

ماده‌های آللوشیمیایی به منظور فرمولاسیون آن‌ها به‌عنوان محصول تجاری ضروری است. از این‌رو، فعالیت‌های بین رشته‌ای لازم است تا سازوکار عمل و اثربخشی ماده‌های آللوشیمیایی مهم را مستند سازد.

جدول ۲- شیوه عمل برخی از ماده‌های آللوشیمیایی مختلف.

ماده آللوشیمیایی	شیوه عمل یا اثر فیزیولوژیکی	منشا	منبع
سورگولئون	جلوگیری از وظیفه‌های میتوکندری و سیستم نوری دو	سورگوم	Alsaadawi & Dayan, 2009 Einhellig *et al.*, 1993
بنزوکسازینوئیدها	کاهش باززایی یاخته‌های نوک ریشه، طویل‌شدن ریشه و شمار ریشه‌های جانبی	چاودار	Burgos *et al.*, 2004
بنزوکسازینوئیدها	کاهش ساخت کلروفیل	چاودار	Barnes & Putnam, 1987
ترکیبات فنولی	جلوگیری از تقسیم یاخته، فتوسنتز، تنفس و جذب عنصرهای معدنی، تخریب غشای یاخته‌ای، هورمون‌ها و ساخت پروتئین‌ها	چند گونه گیاهی	Li *et al.*, 2010

کنترل علف‌های ناخواسته

می‌توان از قابلیت دگرآسیبی گونه‌های زراعی برای کنترل علف‌های ناخواسته در محصول‌های زراعی دیگر بهره‌گیری کرد (Jabran & Farooq, 2013). استخراج ماده‌های آللوشیمیایی از گونه‌های زراعی و تشکیل فرآورده حمل‌شدنی، بسیار سخت و پرهزینه است (Scognamiglio *et al.*, 2013). از این‌رو، برخی از پژوهشگران، تشکیل محلول‌های دگرآسیبی با ترشح ماده‌های آللوشیمیایی از گونه‌های گیاهی را پیشنهاد داده‌اند (Aliki *et al.*, 2014). چنین محلول‌های دگرآسیبی ممکن است به منظور جلوگیری از رشد، روی علف‌های ناخواسته پاشیده شوند (Khaliq *et al.*, 2012). با این وجود، دانستن ماده‌های تشکیل‌دهنده فعال (ماده‌های آللوشیمیایی) در محلول، غلظت آن‌ها و شیوه عمل، مدت فعالیت زیستی و ثبات آن‌ها مهم است. راهکار عملی این است که قابلیت دگرآسیبی گونه‌های زراعی با هدف سرکوب علف‌های ناخواسته دستکاری شود (Jabran *et al.*, 2015). راهکارهای زیادی وجود دارد که توسط آن‌ها می‌توان به‌طور طبیعی با فعالیت دگرآسیبی گیاهان زراعی، علف‌های ناخواسته را در شرایط کشتزار سرکوب کرد. به‌طور معمول، چنین فن‌هایی نیاز به تغییر عمده در وضعیت کاشت گیاهان و/یا صرف هزینه‌های زیاد ندارد. عامل مهم دیگر، چگونگی رشد رقم‌های زراعی است که می‌توان از ویژگی دگرآسیبی آن‌ها استفاده کرد. اگر چنین فن‌هایی با دیگر روش‌های کنترل علف‌های ناخواسته ترکیب شوند، مدیریت پایدار علف‌های ناخواسته به‌دست خواهد آمد. دیگر روش‌های مهم برای دستکاری قابلیت دگرآسیبی محصول‌های زراعی برای کنترل علف‌های ناخواسته می‌تواند شامل استفاده از محصول‌های زراعی دگرآسیبی به عنوان گیاه پوششی، استفاده از پسماند گیاهی محصول‌های زراعی دگرآسیبی به‌عنوان خاکپوش، استفاده از محصول‌های زراعی دگرآسیب در کشت مخلوط با محصول‌های زراعی

غیردگرآسیب و همچنین تناوب زراعی شامل گیاهان زراعی دگرآسیبی در تناوب با گیاهان زراعی غیردگرآسیب در هر سامانه کاشت باشد. برخی رقم‌های گیاهی دارای ویژگی دگرآسیبی هستند، به این معنی که می‌توانند ماده‌های شیمیایی ویژه‌ای تولید کنند که بر رشد گیاهان دیگر، به‌ویژه علف‌های ناخواسته، تأثیر منفی بگذارد. این ویژگی می‌تواند در مدیریت غیرشیمیایی علف‌های ناخواسته استفاده شود (Khamare *et al*, 2022; Motmainna *et al*. 2023; Pedrol & Puig, 2024).

استفاده از گیاهان زراعی پوششی دگرآسیب به‌عنوان روش مدیریت زیستی در کشاورزی، به‌معنی بهره‌گیری از ویژگی دگرآسیبی این گیاهان برای کنترل علف‌های ناخواسته و بهبود حاصلخیزی خاک است. این گیاهان با ترشح برخی از ترکیب‌های شیمیایی، رشد و توسعه علف‌های ناخواسته را مهار می‌کنند و همچنین می‌توانند ماده‌های مغذی را به خاک بازگردانند و به بهبود ساختار خاک کمک کنند. ترکیب‌های دگرآسیبی ترشح شده از این گیاهان، رشد و توسعه علف‌های ناخواسته را مهار می‌کنند. برخی از گیاهان پوششی می‌توانند تأثیر منفی بر گیاهان زراعی داشته باشند، بنابراین باید آن گروه از گیاهان پوششی را برگزید که با گیاهان زراعی در تناوب کشت، سازگاری داشته باشند. چمن چند ساله[1]، شبدر[2]، چاودار، گندم و یولاف[3] نمونه‌هایی از گیاهان پوششی دگرآسیب هستند (Khamare *et al*., 2022; Wang & Li, 2022; Motmainna *et al*., 2023; Gerhards & Schappert, 2024; Pedrol & Puig, 2024). گیاهان پوششی مانند گندم، چاودار، سورگوم یا جو تا ارتفاع ۴۰ تا ۵۰ سانتیمتر رشد می‌کنند و سپس با یک علفکش تماسی خشک می‌شوند (Khamare *et al*., 2022; Gerhards & Schappert, 2024; Pedrol & Puig, 2024).

خاکپوش دگرآسیب، نوعی خاکپوش است که از ماده‌هایی ساخته شده است که هنگام تجزیه، ماده‌های شیمیایی آزاد می‌کند که بر رشد گیاهان دیگر تأثیر می‌گذارد. این ماده‌های شیمیایی می‌توانند رشد علف‌های ناخواسته را مهار کنند یا به عنوان یک نوع دفاع طبیعی برای گیاهان عمل کنند. برای نمونه، برخی از خاکپوش‌های آلی مانند کاه و برگ‌های خرد شده، دارای ماده‌هایی هستند که می‌توانند رشد علف‌های ناخواسته را مهار کنند. همچنین، برخی از گیاهان مانند درختان گردو[4]، دارای ماده‌هایی هستند که می‌توانند روی گیاهان دیگر تأثیر بگذارند (Khamare *et al*., 2022; Motmainna *et al*. 2023; Pedrol & Puig, 2024).

کشت مخلوط گیاهان زراعی، به ویژه هنگامی که یک گیاه دگرآسیب (که با ترشح ماده‌های شیمیایی بر رشد گیاهان دیگر تأثیر می‌گذارد) با یک گیاه غیردگرآسیب کشت شود، می‌تواند سودمندی‌ها و کاستی‌هایی داشته باشد. این نوع کشت می‌تواند به کنترل علف‌های ناخواسته و کاهش نیاز به علفکش‌ها کمک کند، اما ممکن است رقابت بر سر منابع و اثرهای منفی دگرآسیبی نیز وجود داشته باشد (Khamare *et al*., 2022; Motmainna *et al*. 2023; Pedrol & Puig, 2024).

برخی از تجربه‌های موفق استفاده از ترکیب‌های دگرآسیب در کنترل علف‌های ناخواسته

۱- آفتابگردان

آفتابگردان یکی از مهمترین محصول‌های زراعی روغنی در جهان است. ترپن‌های موجود در آفتابگردان نقش مهمی در دفاع گیاه در شرایط تنش داشته‌اند (Gershenzon & Dudareva, 2007). کاه آفتابگردان از راه فعالیت دگرآسیبی، بر رشد

1. Perennial ryegrass 2. *Trifulium* spp. 3. *Avena sativa* L. 4. *Juglans regia* L.

جامعه‌های میکروبی و قارچی محیط خاک تأثیر می‌گذارد (Staman *et al*., 2001). استفاده از خاکپوش‌های دگرآسیب آفتابگردان راهی برای بهره‌برداری از ویژگی دگرآسیبی آفتابگردان برای کنترل علف‌های ناخواسته است. در پژوهشی عصاره حاصل از پسماند آفتابگردان در مقایسه با شاهد (آب)، طول محور زیر لپه، وزن محور زیر لپه، وزن ریشه، تندش بذر و طول ریشه‌چه جو وحشی را به‌ترتیب به مقدار ۴۴، ۵۷۸، ۶۱، ۶۸۶ و ۷۹٪ کاهش داد (Ashrafi *et al*., 2008). به نظر می‌رسد رقم‌های متفاوت یک گیاه زراعی نیز قابلیت‌های دگرآسیبی متفاوتی دارند. برای نمونه، 'مگاسان' یک رقم آفتابگردان دگرآسیب از ایران بود که چند علف ناخواسته را سرکوب کرد (Nikneshan *et al*., 2011). ثابت شده است که تولید ماده‌های آللوشیمیایی در رقم‌های آفتابگردان اسپانیایی نیز چشمگیر است (El Marsni *et al*., 2011).

آفتابگردان با استفاده از آزادسازی مستقیم ترکیب‌های دگرآسیب از ریشه و برگ در خاک، تأثیر سمی دارد و تندش و رشد اولیه علف‌های ناخواسته را مهار می‌کند. همچنین، پوشاندن سطح خاک با پسماند آن یا افزودن آن‌ها به خاک موجب کاهش تراکم و زیست‌توده علف‌ها می‌شود (کاهش ۶۰ تا ۸۷ درصدی در تراکم و ۳۴ تا ۸۱ درصدی در زیست‌توده در گیاهان تاتوره[1]، سوروف و سلمه‌تره[2]). بررسی پسماند آفتابگردان در کشتزار گندم، نشان داد ترکیب آفتابگردان با سایر گونه‌ها می‌تواند تراکم علف‌های ناخواسته را تا ۸۷٪ و زیست‌توده آن‌ها را تا ۸۱٪ کاهش دهد. همچنین، عملکرد گندم افزایش یافت (Abbas *et al*., 2021; Janusauskaite, 2023). پژوهش‌های میدانی در عراق روی دو رقم آفتابگردان نشان داد که ریشه‌های آن‌ها به‌ویژه در رقم‌های با تراکم بیشتر، فنول تا حدود ۶۸٪ کاهش تراکم و ۶۱٪ کاهش زیست‌توده علف‌های همراه را به‌دنبال داشت (Rashid *et al*., 2021; Janusauskaite, 2023).

۲- گندم

گندم یکی از محصول‌های اصلی در بیشتر استان‌های ایران است. در بررسی Labbafi *et al*., (2010) فعالیت چهار رقم گندم دگرآسیب روی چهار گونه علف ناخواسته شامل چاودار، یولاف، پیچک صحرایی[3] و ماشک[4] ارزیابی شد و نشان دادند که فعالیت دگرآسیبی گندم با رقم گندم و شمار گیاهچه‌های تولید شده از بذر گندم مرتبط است. همچنین، طول کل بوته و ریشه گونه‌های علف ناخواسته در حضور رقم‌های گندم به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. آن‌ها همچنین گزارش کردند که مقدار مهار رشد علف‌های ناخواسته به شمار گیاهچه گندم بستگی دارد. آن‌ها نشان دادند که طول بوته کامل (۳۰/۲۲-٪) و ریشه (۵۷/۷۴-٪) پیچک صحرایی و طول ساقه (۱۳/۲۴-٪) چاودار از موردهایی بودند که بیشترین حساسیت را به تأثیرهای دگرآسیبی داشتند.

گندم با تولید و ترشح ترکیب‌های شیمیایی بنزوکسازینوئیدها و اسیدهای فنولی به صورت ترشح‌های ریشه‌ای، با ورود پسماند برگ‌ها به خاک یا آبکشی پسماند گیاهی، روی علف‌های ناخواسته اثر دگرآسیبی دارد (Hussain *et al*., 2022). بررسی‌های تجربی نشان داده‌اند که گندم می‌تواند رشد و تندش بذر چند گونه مهم علف ناخواسته از جمله چچم[5]، خرفه، تاج خروس[6] و مرغ[7] را کاهش چشمگیری دهد (González-García *et al*., 2025). بررسی در سال ۲۰۲۳ روی چهار رقم گندم نشان داد رقم 'Maurizio' بیشترین تأثیر کنترل را بر نوعی چچم و خرفه به ویژه به سبب ترشح بالای بنزوکسازینوئیدها از ریشه‌ها دارد (Vieites-Álvarez *et al*., 2023).

1. *Datura stramonium* L. 2. *Chenopodium album* L. 3. *Convolvulus arvensis* L. 4. *Vicia sativa* L.
5. *Lolium rigidum* Gaudin 6. *Amaranthus palmeri* S.Watson 7. *Cynodon dactylon* (L.) Pers

۳- جو

در پژوهشی، رقم‌های جو از نظر اثرهای دگرآسیبی به سه گروه رقم‌های بسیار دگرآسیب، به نسبت دگرآسیب و با قابلیت دگرآسیبی پایین دسته‌بندی شدند. در میان ترکیب‌های فنولی، اثر تجمعی چهار ترکیب (اسیدهای وانیلیک، کلوجنیک، پوماریک و فرولیک) در میانگین تندش بذر علف‌های ناخواسته بسیار زیاد بود (Asghari & Tewari, 2007). تعامل دگرآسیبی بین جو و خردل سفید[1] موجب کاهش مقدار تندش، طول ریشه‌چه، زیست‌توده و سطح برگ خردل سفید از راه فعالیت دگرآسیبی جو شد (Liu & Lovett, 1993). در یونان، از ۵۰ رقم جو مورد ارزیابی برای توان ذاتی دگرآسیبی، رقم 'آتینایدا' در کاهش رشد علف‌های ناخواسته‌ای مانند سوروف (دژگال)، فالاریس و دم‌روباهی[2] موثر بود (Vasilakoglou *et al*., 2009). جو، ترکیب‌های بنزوکسازینون‌ها (به‌ویژه DIBOA و BOA) را تولید می‌کند که از راه ریشه‌ها، برگ‌ها و پسماند گیاهی وارد خاک می‌شوند و انتشار آن‌ها، تندش و رشد اولیه علف‌های ناخواسته را مهار می‌کند. علف‌های ناخواسته‌ای مانند سلمه‌تره و تاج‌خروس ریشه قرمز بسیار به ترکیب‌های دگرآسیب پاسخ نشان داده‌اند (Scavo & Mauromicale, 2021).

۴- سورگوم

سورگوم بیشتر در ناحیه‌های نیمه‌خشک، گرمسیری و نیمه‌گرمسیری جهان کاشته می‌شود. سورگولئون ماده دگرآسیب مهمی است که در ریشه‌های سورگوم تولید می‌شود (Jabran & Farooq, 2013). استفاده از فرمولاسیون ۴۰۰ گرم ماده موثره در هکتار سورگولئون به صورت کاربرد پس‌رویشی توانست بیش از ۹۰ تا ۱۰۰٪ علف‌های ناخواسته پهن‌برگ (بارهنگ چینی[3]، تاج‌خروس ریشه قرمز، خردل سفید و خرفه) را کنترل کند. در مقایسه با علف‌های ناخواسته، بیشتر گیاهان زراعی کاربرد پیش یا پس‌رویشی سورگولئون را تحمل کردند که به معنی کنترل گزینشی علف‌های ناخواسته در گیاهان زراعی توسط سورگولئون است (Uddin *et al*., 2014).

۵- برنج

برنج یکی از مهمترین محصول‌های دانه‌ای در جهان است (Kumar *et al*., 2016). ماده‌های آللوشیمیایی در برنج ممکن است شامل مومیلاکتون‌ها، ترکیب‌های فنولی و ترکیب‌های برخی از دسته‌های شیمیایی دیگر باشند (Jabran & Farooq, 2013). پژوهشی در جمهوری کره نشان داد که برنج دگرآسیب موجب جلوگیری از رشد علف‌های ناخواسته سوروف (دژگال)، مستور خوابیده[4] و یونجه[5] شد (Chon & Kim, 2004). فعالیت دگرآسیبی ۲۷ نژادگان[6] برنج علیه علف‌های ناخواسته‌ای مانند سوروف (دژگال)، و قاشق‌واش[7] ارزیابی شد. هفت نژادگان برنج با بیشترین قابلیت دگرآسیبی توانستند موجب کاهش ۹۰ درصدی در رشد علف‌های ناخواسته شوند (Seal & Pratley, 2010). در ایران، ۱۵ رقم برنج برای فعالیت دگرآسیبی و محتوای فنولی بررسی شدند. رقم برنج 'دینورادو' دارای بیشترین فعالیت دگرآسیبی بود و رقم‌های 'دم‌سرخ' و 'دالار' به ترتیب در رتبه‌های بعد قرارگرفتند (Berendji *et al*., 2008).

برنج دگرآسیب از راه ریشه و پسماندهای خود (پوسته، کاه و کلش) ترکیب‌های شیمیایی آللوشیمیایی مانند مومیلاکتون‌های A و B، اسیدهای فنولیک، تریسین و بنزوکسازولین‌ها را آزاد می‌کند. این ترکیب‌ها موجب مهار تندش و رشد ریشه و ساقه علف‌های ناخواسته می‌شوند (Li *et al*., 2024). همچنین، گزارش‌هایی از کنترل خرفه و

1. *Sinapis alba* L. 2. *Alopecurus myosuroides* Huds 3. *Plantago asiatica* L. 4. *Eclipta prostrata* L.
5. *Medicago sativa* L. 6. Genotype 7. *Heteroranthera limosa* (Sw.) Willd

چچم توسط برنج و سایر غلات نشانگر تأثیر ضد علف ناخواسته‌ای آن‌ها است. برنج با افزایش ترشح DIBOA و BOA رشد این گونه‌ها را سرکوب می‌کند (González-García *et al*., 2025).

۶- چاودار

از کاه چاودار می‌توان برای خاکپوش و کنترل علف‌های ناخواسته یا برای تغذیه جانوران یا بستر آن‌ها استفاده کرد (Schulz *et al*., 2013). ماده‌های آللوشیمیایی اصلی در چاودار، هیدروکسامیک اسید و ترکیب‌های فنولی هستند (Teasdale *et al*., 2012). به‌نظر می‌رسد که ریشه‌های چاودار دارای ترکیب‌های آللوشیمیایی بنزوکسازینوئید مانند DIMBOA و DIBOA هستند (Wilkes *et al*., 1999). با استفاده از چاودار به عنوان گیاه پوششی، ۵۰٪ کنترل علف‌های ناخواسته در ذرت به‌دست آمد (Malik *et al*., 2008). گیاه پوششی چاودار توانست اویارسلام زرد[1] را چهار هفته پس از رویش ذرت سرکوب کند (Bezuidenhout *et al*., 2012). محصول پوششی چاودار می‌تواند به تقریب ۵۰٪ از علف‌های ناخواسته ذرت را درابتدای فصل در کشت بدون شخم کنترل کند (Burgos & Talbert, 1996). در سامانه بدون خاک‌ورزی، اگر تراکم علف ناخواسته کم (۲۰ تا ۴۰ بوته در متر مربع) باشد، چاودار می‌تواند سلمه‌تره را کنترل کند (Zasada *et al*., 1997).

ماده‌های دگرآسیب چاودار از تندش و رشد اولیه علف‌های ناخواسته جلوگیری می‌کنند. این ترکیب‌ها از برگ و ریشه‌های چاودار به خاک آزاد می‌شوند. بااستفاده از خاکپوش پسماند چاودار، تراکم علف‌های ناخواسته‌ای مانند تاج‌خروس ریشه قرمز، یولاف وحشی، مرغ و دم روباهی ۴۳ تا ۸۸٪ کاهش یافت. ترکیب چاودار و شبدر به عنوان خاکپوش، می‌تواند موجب افزایش قابلیت دگرآسیبی در کنترل علف‌های ناخواسته شود (Godar *et al*., 2024).

۷- گیاهان تیره کلم‌سانان (شب‌بوسانان)

برخی از گیاهان تیره کلم‌سانان (شب‌بوسانان) دارای فعالیت دگرآسیبی هستند. شماری از گیاهان این تیره (به‌ویژه گیاهان جنس کلم‌سانان یا شب‌بوسانان) به‌عنوان سبزی، گیاهان علوفه‌ای یا محصول‌های روغنی زراعی کشت می‌شوند. گلوکوزینولات‌ها و ترکیب‌های فنولی مهمترین ماده‌های آللوشیمیایی هستند که توسط گیاهان تیره کلم‌سانان (شب‌بوسانان) ساخته می‌شوند. از ترب[2] برای کنترل علف‌های ناخواسته در کشتزار پنبه[3] در ترکیه استفاده می‌شود. در ترکیه، کشاورزان ترب را تا مرحله رویشی رشد می‌دهند و سپس آن را در کشتزار، یعنی پیش از کاشت پنبه، با خاک مخلوط می‌کنند. این عملیات به کنترل علف‌های ناخواسته در فصل طولانی رشد پنبه، کمک می‌کند. همچنین از قابلیت دگرآسیبی ترب برای کنترل قیاق[4] در پنبه استفاده شده است (Uludag *et al*., 2006). گیاهان پوششی خردل سفید و ترب در سرکوب علف‌های ناخواسته مانند سلمه‌تره و دانه قناری[5] در شرایط کشتزار مفید بوده‌اند (Kunz *et al*., 2016).

گیاهان تیره کلمسانان یا شب‌بوسانان (مانند انواع کلزا، خردل و ترب) به‌دلیل داشتن گلوکوزینولات‌ها در بافت‌های خود شناخته شده‌اند. وقتی بافت این گیاهان آسیب می‌بینند (با تجزیه پسماند یا برش)، این ترکیب‌ها توسط آنزیم میروزیناز تجزیه می‌شوند و ماده‌های ثانویه‌ای مانند ایزوتیوسیانات‌ها، نیتریل‌ها و تیوسیانات‌ها تولید می‌کنند که می‌توانند رشد و تندش بذر علف‌های ناخواسته را مهار کنند. همچنین، ترکیب‌های فنولی مانند وانیلیک اسید، کافئیک

1. *Cyperus esculenthus* L.
2. *Raphanus sativus* L.
3. *Gossypium hirsutum* L.
4. *Sorghum halepense* (L.) Pers
5. *Stellaria media* (L.) Vill.

اسید، سیترینیک اسید و مانند این‌ها نقش مهمی در این سازوکار دارند و با مهار زیست‌ساخت پروتئین، نوکلئیک اسید و آنزیم‌ها فعالیت می‌کنند. به بیان دیگر تندش را به تأخیر می‌اندازند یا مهار می‌کنند، طول ریشه و ساقه را کاهش می‌دهند و ویژگی‌های فتوشیمیایی و آنزیمی گیاه ناخواسته را مختل می‌سازند. خردل سفید و ترب تندش برخی از علف‌های ناخواسته را تا ۷۵٪ کاهش دادند. کاهش زیست‌توده علف‌های ناخواسته در حضور کلزا و خردل هندی ۵۰ تا ۹۰٪ گزارش شده است (Shahzad *et al*., 2019).

نتیجه‌گیری

در گیاهان زراعی چندین گونه مهم وجود دارند که دارای توان ذاتی دگرآسیبی قوی هستند. این توان دگرآسیبی گونه‌های زراعی را می‌توان در قالب شیوه‌های مختلف برای کنترل علف‌های ناخواسته در شرایط کشتزار به کار برد. مهمترین این فن‌ها عبارتند از کاشت رقم‌های زراعی با فعالیت دگرآسیبی علیه علف‌های ناخواسته، بهره‌گیری از پسماند گیاهان زراعی دگرآسیب برای خاکپوش، محصول‌های زراعی دگرآسیب به‌عنوان گیاهان پوششی، کشت مخلوط گیاهان زراعی دگرآسیب با گونه‌های زراعی غیردگرآسیب، بهره‌گیری از گیاهان زراعی دگرآسیب در تناوب زراعی و استفاده از ماده‌های آللوشیمیایی گیاهان زراعی دگرآسیب به‌عنوان علفکش.

در صورت پرکردن برخی از شکاف‌های موجود در دانش کنونی، ماده‌های آللوشیمیایی می‌توانند با علفکش‌های طبیعی فرموله شوند. برای نمونه، مهمترین کار در آینده شامل تعریف دقیق شیوه عمل انواع مختلف ماده‌های آللوشیمیایی است. این‌کار به‌عنوان اولین گام برای فرمولاسیون ماده‌های آللوشیمیایی از منابع گیاهی در قالب فرآورده‌های تجاری کنترل علف‌های ناخواسته، قابل پیگیری است.

افزون براین، پژوهش‌های آینده باید با توجه به تأثیرهای محیط زیستی و بوم‌شناختی ماده‌های آللوشیمیایی (بر سلامت انسان، جانوران و میکروارگانیزم‌ها در خاک)، بهبود روش‌های واکاوی برای شناسایی و تعیین مقدار ماده‌های آللوشیمیایی، استفاده ترکیبی از ماده‌های آللوشیمیایی یا ماده‌های آللوشیمیایی با دیگر روش‌های کنترل علف‌های ناخواسته، پایش انتقال و تجزیه ماده‌های آللوشیمیایی در خاک (اثر خاک‌های گوناگون بر این فرایندها) و بررسی‌های استفاده از دگرآسیبی برای کنترل علف‌های ناخواسته در سامانه‌های کشاورزی باشد. البته، برای گزینش ماده‌های آللوشیمیایی کار بیشتری مورد نیاز است. این کارها می‌تواند فرصتی برای استفاده از ماده‌های دگرآسیب برای کنترل علف‌های ناخواسته گزینشی در محصول‌های زراعی را فراهم کند.

منابع

Abbas, T., Ahmad, A., Kamal, A., Nawaz, D., Jamil, M. *et al*.(2021). Ways to use allelopathic potential for weed management: a Review. *International Journal of Food Science and Agriculture*, 5. Retrieved from: https://doi.org/10.26855/ijfsa.2021.09.020.

Aliki, H.M., Reade, J.P. & Back, M.A. (2014). Effects of concentrations of *Brassica napus* (L.) water extracts on the germination and growth of weed species. *Allelopathy Journal*, 34, 287-298.

Alsaadawi, I.S. & Dayan, F.E. (2009). Potentials and prospects of sorghum allelopathy in agroecosystems. *Allelopathy Journal*, 24, 255–270.

Al-Sherif, E., Hegazy, A., Gomaa, N. & Hassan, M. (2013). Allelopathic effect of black mustard tissues and root exudates on some crops and weeds. *Planta Daninha*, 31, 11–19.

Asghari, J. & Tewari, J.P. (2007). Allelopathic potentials of eight barley cultivars on Brassica jucea (L) Czern. and Setaria viridis (L.). *Journal of Agricultural Science and Technology*, 9, 165–176.

Ashrafi, Y.Z., Sadeghi, S., Mashhadi, R.H. & Hassan, A.M. (2008). Allelopathic effects of sunflower (*Helianthus annuus*) on germination and growth of wild barley (*Hordeum spontaneum*). *Journal of Agricultural Science and Technology*, 4, 219–229.

Barnes, J.P. & Putnam, A.R. (1987). Role of benzoxazinones in allelopathy by rye (*Secale cereale* L.). *Journal of Chemical Ecology*, 13, 889–906.

Berendji, S., Asghari, J.B. & Matin, A.A. (2008). Allelopathic potential of rice (*Oryza sativa*) varieties on seedling growth of barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*). *Journal of Plant Interactions*, 3, 175–180.

Bezuidenhout, S., Reinhardt, C. & Whitwell, M. (2012). Cover crops of oats, stooling rye and three annual ryegrass cultivars influence maize and *Cyperus esculentus* growth. *Weed Research*, 52, 153–160.

Burgos, N.R. & Talbert, R.E. (1996). Weed control and sweet corn (*Zea mays* var. rugosa) response in a no-till system with cover crops. *Weed Science*, 44, 355–361.

Burgos, N.R., Talbert, R.E. & Mattice, J.D. (1999). Cultivar and age differences in the production of allelochemicals by *Secale cereale*. *Weed Science*, 47, 481–485.

Burgos, N., Talbert, R., Kim, K. & Kuk, Y. (2004). Growth inhibition and root ultrastructure of cucumber seedlings exposed to allelochemicals from rye (*Secale cereale*). *Journal of Chemical Ecology*, 30, 671–689.

Cheng, F., Cheng, Z., Meng, H., Tang, X. & Zhang, G. (2020). Allelopathy and allelochemicals of rice – A review of recent progress. *Agronomy*, 10(4), 561. Retrieved from: https://doi.org/10.3390/agronomy10040561.

Chon, S.U. & Kim, Y.M. (2004). Herbicidal potential and quantification of suspected allelochemicals from four grass crop extracts. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 190, 145–150.

Dayan, F.E., Duke, S.O. & Belz, R.G. (2021). Sorgholeone and other allelochemicals from *Sorghum bicolor*: Physiology and potential for weed management. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 69(4), 1189–1200. Retrieved from: https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c06473.

Einhellig, F.A. (1995). Mechanism of action of allelochemicals in allelopathy. In: *Allelopathy: Vol. 582. ACS Symposium Series* (pp. 96–116). Washington, DC: American Chemical Society.

Einhellig, F.A., Rasmussen, J.A., Hejl, A.M. & Souza, I.F. (1993). Effects of root exudate sorgoleone on photosynthesis. *Journal of Chemical Ecology*, 19, 369–375.

El Marsni, Z., Casas, L., Mantell, C., Rodriguez, M., Torres, A., Macias, F., Martinez de la Ossa, E.J., Molinillo, J.M.G. & Varela R.M. (2011). Potential allelopathic of the fractions obtained from sunflower leaves using supercritical carbon dioxide. *The Journal of Supercritical Fluids*, 60, 28–37.

El Marsni, Z., Torres, A., Varela, R.M., Molinillo, J.M., Casas, L., Mantell, C., Martinez de la Ossa, E.J. & Macias, F.A. (2015). Isolation of bioactive compounds from sunflower leaves (*Helianthus annuus* L.) extracted with supercritical carbon dioxide. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63, 6410–6421.

Fang, C.X., He, H.B., Wang, Q.S., Qiu, L., Wang, H.B., Zhuang, Y.E., Xiong, J. & Lin, W.X. (2010). Genomic analysis of allelopathic response to low nitrogen and barnyardgrass competition in rice (*Oryza sativa* L.). *Plant Growth Regulation*, 61, 277–286.

Farhoudi, R. & Lee, D.J. (2015). Allelopathic potential of sunflower (*Helianthus annus*) water extracts to reduce the pendimethalin herbicide dose to control *Chenopodium album* in corn (*Zea mays*). *Allelopathy Journal*, 35, 97-108.

Gerhards, R. & Schappert, C. (2024). Weed suppression by cover crops: A field evaluation of allelopathic potential in different cereal and legume mixtures. *Weed Research*, 64(1), 12–23. Retrieved from: https://doi.org/10.1111/wre.12627.

Gershenzon, J. & Dudareva, N. (2007). The function of terpene natural products in the natural world. *Nature Chemical Biology*, 3, 408–414.

Gniazdowska, A. & Bogatek, R. (2005). Allelopathic interactions between plants. Multi site action of allelochemicals. *Acta Physiologiae Plantarum*, 27, 395–407.

Godar, A.S., Norsworthy, J.K. & Barber, L. T. (2024). Effect of cereal rye cover crop termination timings on weed control and corn yield under a two-pass herbicide program. *Frontiers in Agronomy, Sec. Weed Management*, 6, 2024. Retrieved from: https://doi.org/10.3389/fagro.2024.1419228.

González-García, E., Sánchez-Moreiras, A.M. & Vieites-Álvarez1, Y. (2025). Allelopathic potential and chemical profile of wheat, rice and barley against the herbicide-resistant weeds *Portulaca oleracea* L. and *Lolium rigidum* Gaud. *BMC Plant Biology*, 25, 624. Retrieved from: https://doi.org/10.1186/s12870-025-06634-3.

Hura, T., Dubert, F., Dąbkowska, T., Stupnicka-Rodzynkiewicz, E., Stokłosa, A. & Lepiarczyk, A. (2006). Quantitative analysis of phenolics in selected crop species and biological activity of these compounds evaluated by sensitivity of *Echinochloa crus-galli*. *Acta Physiologiae Plantarum*, 28, 537–545.

Hussain, M.I., Vieites-Álvarez, Y., Otero, P., Prieto, M.A., Simal-Gandara, J., Reigosa, M.J. & Sánchez-Moreiras A. M. (2022). Weed pressure determines the chemicalprofile of wheat (*Triticum aestivum* L.) and itsallelochemicals potential. *Pest Management Science*, 78(4):1605-1619. Retrieved from: https://doi.org/10.1002/ps.6779.

IAS (International, Allelopathy and Society). (1996). *Constitution. Drawn up during the First World Congress on Allelopathy: A science for the future*, Cadiz, Spain.

Jabran, K. & Farooq, M. (2013). Implications of potential allelopathic crops in agricultural systems. In Z. A. Cheema, M. Farooq, & A. Wahid (Eds.), *Allelopathy* (pp. 349–385). Berlin: Springer.

Jabran, K., Mahajan, G., Sardana, V. & Chauhan, B.S. (2015). Allelopathy for weed control in agricultural systems. *Crop Protection*, 72, 57–65.

Janusauskaite, D. (2023). The allelopathic activity of aqueous extracts of *Helianthus annuus* L., grown in Boreal conditions, on germination, development, and physiological indices of *Pisum sativum* L. *Plants*, 12(9), 1920. Retrieved from: https://doi.org/10.3390/plants12091920.

Khaliq, A., Matloob, A., Tanweer, A. & Khan, M.B. (2012). Naturally occurring phytotoxins in allelopathic plants help reduce herbicide dose in wheat. *Natural Product Research*, 26, 1156–1160.

Khamare, Y., Chen, J. & Marble, S.C. (2022). Allelopathy and its application as a weed management tool: A review. *Fronties in Plant Science*, 13, 1-17. Retrieved from: https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1034649

Kumar, A., Sengupta, B., Dasgupta, D., Mandal, T. & Datta, S. (2016). Recovery of value added products from rice husk ash to explore an economic way for recycle and reuse of agricultural waste. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 15, 47–65.

Kunz, C., Sturm, D., Varnholt, D., Walker, F. & Gerhards, R. (2016). Allelopathic effects and weed suppressive ability of cover crops. *Plant, Soil and Environment*, 62, 60–66.

Labbafi, M.R., Hejazi, A., Maighany, F., Khalaj, H. & Mehrafarin, A. (2010). Evaluation of allelopathic potential of Iranian wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars against weeds. *Agriculture and Biology Journal of North America*, 1, 355–361.

Li, J., Wang, T., Fan, Y., Chen, S., Ye, X., Wang, Y. & Cheng, C. (2024). Inductive effect of exogenous abscisic acid on the weed-suppressive activity of allelopathic and non-allelopathic rice accessions at the root level. *Agronomy*, 14, 2297. Retrieved from: https://doi.org/10.3390/agronomy14102297

Li, Z.H., Wang, Q., Ruan, X., Pan, C.D. & Jiang, D.A. (2010). Phenolics and plant allelopathy. *Molecules*, 15, 8933–8952.

Liu, D.L. & Lovett, J. (1993). Biologically active secondary metabolites of barley. I. Developing techniques and assessing allelopathy in barley. *Journal of Chemical Ecology*, 19, 2217–2230.

Makowska, B., Bakera, B. & Rakoczy-Trojanowska, M. (2015). The genetic background of benzoxazinoid biosynthesis in cereals. *Acta Physiologiae Plantarum*, 37(176), 1–12.

Malik, M.S., Norsworthy, J.K., Culpepper, A.S., Riley, M.B. & Bridges Jr., W. (2008). Use of wild radish (*Raphanus raphanistrum*) and rye cover crops for weed suppression in sweet corn. *Weed Science*, 56, 588–595.

Mithen, R. (2001). Glucosinolates–biochemistry, genetics and biological activity. *Plant Growth Regulation*, 34, 91–103.

Motmainna, M., Juraimi, A.S., Ahmad-Hamdani, M.S., Hasan, M., Yeasmin, S., Anwar, M.P. & Mominul Islam, A.K.M. (2023). Allelopathic potential of tropical plants: a review. *Agronomy*, 13(8), 2063. Retrieved from: https://doi.org/10.3390/agronomy13082063

Mushtaq, W. & Fauconnier, M.L. (2024). Phenolic profiling unravelling allelopathic encounters in agroecology. *Plant Stress*, 13, 100523. Retrieved from: https://doi.org/10.1016/j.stress.2024.100523

Muzell Trezzi, M., Vidal, R.A., Balbinot Junior, A.A., von Hertwig Bittencourt, H. & da Silva Souza Filho, A.P. (2016). Allelopathy: driving mechanisms governing its activity in agriculture. *Journal of Plant Interactions*, 11, 53–60.

Niemeyer, H.M. (1988). Hydroxamic acids (4-hydroxy-1, 4-benzoxazin-3-ones), defence chemicals in the Gramineae. *Phytochemistry*, 27, 3349–3358.

Nikneshan, P., Karimmojeni, H., Moghanibashi, M. & al-Sadat-Hosseini, N. (2011). Allelopathic potential of sunflower on weed management in safflower and wheat. *Australian Journal of Crop Science*, 5(11), 1434-1440.

Pedrol, N. & Puig, C.G. (2024). Application of Allelopathy in Sustainable Agriculture. *Agronomy*, 2024, 14, 1362. Retrieved from: https://doi.org/10.3390/agronomy14071362.

Qi, Y.Z., Zhen, W.C. & Li, H.Y. (2015). Allelopathy of decomposed maize straw products on three soil-born diseases of wheat and the analysis by GC-MS. *Journal of Integrative Agriculture*, 14, 88–97.

Rahaman, F., Juraimi, A., Rafii, M., Uddin, K., Hassan, L., Chowdhury, A., Karim, S., Rezaul, M., Rini, B., Oladosu, Y., Bashar, H. M. & Hossain, A. (2022). Allelopathic potential in rice - a biochemical tool for plant defence against weeds. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1072723. Retrieved from: https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1072723

Rashid, H., Tahir, N., Zamin, M., Shehzad, N., Ullah, A., Zainub, B. & Azam, F. (2021). Integration of sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Conard Moench.], sunflower (*Helianthus annuus* L.) and parthenium (*Parthenium hysterophorus* L.) allelopathy for weed management in maize under different tillage regimes. *Sarhad Journal of Agriculture*, 37. Retrieved from: https://doi.org/10.17582/journal.sja/2021/37.4.1323.1333.

Rice, E. L. (1984). *Allelopathy*. 2nd Edition, Academic Press, New York, 422 p.

Rice, C.P., Cai, G. & Teasdale, J.R. (2012). Concentrations and allelopathic effects of benzoxazinoid compounds in soil treated with rye (*Secale cereale*) cover crop. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60, 4471–4479.

Rizvi, S., Haque, H., Singh, V. & Rizvi, V. (1992). A discipline called allelopathy. In *Allelopathy* (pp. 1–10). Berlin: Springer.

Scavo, A. & Mauromicale, G. (2021). Crop allelopathy for sustainable weed management in agroecosystems: Knowing the present with a view to the future. *Agronomy*, 11(11), 2104. Retrieved from: https://doi.org/10.3390/agronomy11112104

Schmelz, E.A., Huffaker, A., Sims, J.W., Christensen, S.A., Lu, X. *et al*. (2014). Biosynthesis, elicitation and roles of monocot terpenoid phytoalexins. *The Plant Journal*, 79, 659–678.

Schulz, M., Marocco, A., Tabaglio, V., Macias, F.A. & Molinillo, J.M. (2013). Benzoxazinoids in rye allelopathy-from discovery to application in sustainable weed control and organic farming. *Journal of Chemical Ecology*, 39, 154–174.

Scognamiglio, M., D'Abrosca, B., Esposito, A., Pacifico, S., Monaco, P. & Fiorentino, A. (2013). Plant growth inhibitors: allelopathic role or phytotoxic effects? Focus on Mediterranean biomes. *Phytochemistry Reviews*, 12, 803–830.

Seal, A. & Pratley, J. (2010). The specificity of allelopathy in rice (*Oryza sativa*). *Weed Research*, 50, 303–311.

Serra, A. A., Gomes, M. M. A., Ferreira, R. R., dos Santos, J. B. & Coelho, C. M. M. (2025). Allelopathic potential of rice (*Oryza sativa* L.) genotypes on weed control. *BMC Plant Biology*, 25, Article 113. Retrieved from: https://doi.org/10.1186/s12870-025-06634-3

Shahzad, B., Ur Rehman, S., Bajwa, A., Hussain, S., Rehman, A., Alam, S., Abbas, T., Ali, A., Shah, L., Adkins, S. & Li, P. (2019). Utilizing the allelopathic potential of brassica species for sustainable crop production: a review. *Journal of Plant Growth Regulation*, 38. Retrieved from: 10.1007/s00344-018-9798-7

Song, B., Xiong, J., Fang, C., Qiu, L., Lin, R., Liang, Y. & Lin, W. (2008). Allelopathic enhancement and differential gene expression in rice under low nitrogen treatment. *Journal of Chemical Ecology*, 34, 688–695.

Staman, K., Blum, U., Louws, F. & Robertson, D. (2001). Can simultaneous inhibition of seedling growth and stimulation of rhizosphere bacterial populations provide evidence for phytotoxin transfer from plant residues in the bulk soil to the rhizosphere of sensitive species? *Journal of Chemical Ecology*, 27, 807–829.

Teasdale, J.R., Rice, C.P., Cai, G. & Mangum, R.W. (2012). Expression of allelopathy in the soil environment: Soil concentration and activity of benzoxazinoid compounds released by rye cover crop residue. *Plant Ecology*, 213, 1893–1905.

Tseu, R. & Dias, T. (2021). Glucosinolate-rich brassica green manures for weed control in sustainable farming systems. *Sustainability*, 13(2), 789. Retrieved from: https://doi.org/10.3390/su13020789

Uddin, M.R., Park, K.W., Kim, Y.K., Park, S.U. & Pyon, J.Y. (2010). Enhancing sorgoleone levels in grain sorghum root exudates. *Journal of Chemical Ecology*, 36, 914–922.

Uddin, M.R., Park, S.U., Dayan, F.E. & Pyon, J.Y. (2014). Herbicidal activity of formulated sorgoleone, a natural product of sorghum root exudate. *Pest Management Science*, 70, 252–257.

Uludag, A., Uremis, I., Arslan, M. & Gozcu, D. (2006). Allelopathy studies in weed science in Turkey—A review. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 20, 419–426.

Vasilakoglou, I., Dhima, K., Lithourgidis, A. & Eleftherohorinos, I. (2009). Allelopathic potential of 50 barley cultivars and the herbicidal effects of barley extract. *Allelopathy Journal*, 24.

Vieites-Álvarez, Y., Otero, P., Prieto, M.A., Simal-Gandara, J., Reigosa, M.J., Sánchez-Moreiras, A. M. & Hussain, M.I. (2023). Testing the role of allelochemicals in different wheat cultivars to sustainably manage weeds. *Pest Management Science*, 79(7), 2625-2638. Retrieved from: https://doi.org/1002/ps.7444

Venturelli, S., Belz, R.G., Kamper, A., Berger, A., von Horn, K. *et al*. (2015). Plants release precursors of histone deacetylase inhibitors to suppress growth of competitors. *The Plant Cell*, 27, 3175–3189.

Wang, J. & Li, X. (2022). Cover crops and their allelopathic effects on weed suppression: A review. *Plants*, 11(12), 1549. https://doi.org/10.3390/plants11121549.

Wilkes, M.A., Marshall, D.R. & Copeland, L. (1999). Hydroxamic acids in cereal roots inhibit the growth of take-all. *Soil Biology and Biochemistry*, 31, 1831–1836.

Wu, H., Haig, T., Pratley, J., Lemerle, D. & An, M. (2000a). Allelochemicals in wheat (*Triticum aestivum* L.): Variation of phenolic acids in root tissues. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48, 5321–5325.

Wu, H., Haig, T., Pratley, J., Lemerle, D. & An, M. (2000b). Distribution and exudation of allelochemicals in wheat *Triticum aestivum*. *Journal of Chemical Ecology*, 26, 2141–2154.

Wu, H., Haig, T., Pratley, J., Lemerle, D. & An, M. (2001). Allelochemicals in wheat (*Triticum aestivum* L.): Production and exudation of 2, 4-dihydroxy-7-methoxy-1, 4-benzoxazin-3-one. *Journal of Chemical Ecology*, 27, 1691–1700.

Zasada, I.A., Linker, H.M. & Coble, H.D. (1997). Initial weed densities affect no-tillage weed management with a rye (*Secale cereale*) cover crop. *Weed Technology*, 11, 473–477.

Zheng, Y., Liu, X., Dong, F., Li, J., Gong, Y. & Zhu, G. (2010). Biological induction of DIMBOA in wheat seedlings by weeds. *Allelopathy Journal*, 25, 433-440.

Strategic Research Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources 11(1):15-30 (2026)

Using of Allelopathic Properties of Agronomic Plants for Weed Control

Salehi, F.[1] and Jalali, A.H.[2]

Plants affect the growth of other plants through the use of certain chemical compounds (allelochemicals), a process known as allelopathy. Presence of allelopathic compounds have also been reported in various plant species. The most important allelochemical groups in major crops include phenolics, benzoxazoles, sorgoleon, glucosinolates, terpenes, alkaloids, and mumilactones. The allelopathic potential of crops can be used for weed control in the field. This may become possible by characterizing the allelopathic activities of crops and their application methods for weed control. These methods include the development of slow-growing crop cultivars with allelopathic potential, intercropping a crop with allelopathic potential with a crop without this feature, growing another crop with allelopathic activity in the field, using crop residues with allelopathic properties as mulch, and using an allelopathic crop as a cover crop. Given the increasing environmental risks caused by chemical pesticides, the commercialization of allelopathic compounds for weed control is an attractive branch of research.

Key words: Allelochemicals, Allelopathic crops, Allopathy, Weeds.

1. Corresponding author's Email: f.salehi@areeo.ac.ir
2. Associate Research Professors, Crop and Horticultural Science Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, respectively.

مجله پژوهش‌های راهبردی در علوم کشاورزی و منابع طبیعی جلد ۱۱ شماره ۱ صفحه‌های ۳۱ تا ۴۴ (۱۴۰۵)

نمونه‌برداری در علوم محیطی: اصول و روش‌ها با تأکید بر پوشش گیاهی و عامل‌های بوم‌شناختی[1]

محمدعلی زارع چاهوکی[2و3]

چکیده

نمونه‌برداری در علوم محیطی به‌عنوان پایه‌ای اساسی برای جمع‌آوری داده‌های معتبر و واکاوی پدیده‌های بوم‌شناختی شناخته می‌شود. بررسی حاضر با تمرکز بر پوشش گیاهی و عامل‌های بوم‌شناختی، به واکاوی اصول، روش‌ها و چالش‌های نمونه‌برداری در محیط‌های طبیعی می‌پردازد. روش‌های اصلی شامل نمونه‌برداری غیرتصادفی، تصادفی، طبقه‌بندی‌شده، خوشه‌ای، مکانی و تلفیقی هستند که هر یک با توجه شرایط و پیچیدگی‌های بوم‌نظام‌های طبیعی، چالش‌ها در جمع‌آوری داده‌ها در محیط‌های طبیعی، هدف‌ها و مقیاس مکانی- زمانی پژوهش و نوع متغیرهای مورد بررسی، گزینش می‌شوند. برای بررسی عامل‌های بوم‌شناختی در جامعه‌های گیاهی، گزینش صحیح واحدهای نمونه‌برداری و ابزارها، روش نمونه‌برداری و استفاده از فناوری‌های نوین مانند GIS[4] و سنجش از دور، در کاهش خطا، نبود قطعیت و افزایش دقت داده‌ها نقش کلیدی دارند. افزون بر این، توجه به ناهمگنی مکانی و پراکنش گونه‌ها، تکرار زمانی نمونه‌برداری و تعیین اندازه و شمار نمونه بهینه، کیفیت داده‌ها و تعمیم‌پذیری نتایج را تضمین می‌کند. رویکرد این بررسی، ارائه چارچوب تلفیقی برای گزینش روش‌های نمونه‌برداری با بهره‌گیری از داده‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در بررسی‌های پوشش گیاهی و بوم‌نظام‌های ناهمگن است که امکان کاهش خطا، نبود قطعیت و بهینه‌سازی هزینه‌ها را فراهم می‌کند. نتایج نشان می‌دهند که ترکیب روش‌های سنتی و فناوری‌های نوین مانند سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور همراه با رعایت اصول آماری و طراحی پژوهش بر پایه هدف‌های آن، نه تنها دقت داده‌ها را افزایش می‌دهد، بلکه توانایی ارائه توصیه‌های مدیریتی عملی برای حفاظت و مدیریت بوم‌نظام‌های مرتعی را نیز بهبود می‌دهد.

واژگان کلیدی: بوم‌نظام‌های طبیعی، پایش محیطی، دقت نمونه‌برداری، فناوری‌های نوین، نبود قطعیت.

مقدمه

با توجه به گستردگی جامعه آماری در علوم محیطی، در بیشتر موردها، امکان سرشماری و اندازه‌گیری ویژگی‌های همه افراد جامعه وجود ندارد. از این‌رو، نمونه‌برداری به‌عنوان یکی از پایه‌های اصلی پژوهش‌های علوم محیطی، نقشی کلیدی در شناخت وضعیت بوم‌نظام‌ها و واکاوی پویایی آن‌ها دارد. داده‌های به‌دست‌آمده از نمونه‌برداری مبنای اصلی درک روابط پیچیده

۱- تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۳

۲- پست الکترونیک نویسنده مسئول: mazare@ut.ac.ir

۳- استاد دانشگاه تهران، تهران.

4. Geographic information system

بین اجزای زیستی و غیرزیستی محیط هستند و بر اساس آن‌ها می‌توان الگوهای بوم‌شناختی را شناسایی و پیامدهای مدیریتی یا اقلیمی را پیش‌بینی کرد (Yoccoz *et al*., 2001). در این میان، پوشش گیاهی که بازتاب‌دهنده شرایط بوم‌شناختی و تغییر عامل‌های محیطی در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف است، جایگاه ویژه‌ای در نمونه‌برداری دارد. بررسی ساختار، گوناگونی و پراکنش جامعه‌های گیاهی نه‌تنها وضعیت بوم‌نظام را آشکار می‌کند، بلکه به‌عنوان شاخصی برای ارزیابی سلامت بوم‌نظام‌ها و اثربخشی اقدام‌های مدیریتی استفاده می‌شود (Krebs, 2014).

در ایران، به‌دلیل گوناگونی زیاد اقلیمی (از بیابان‌های خشک مرکزی تا جنگل‌های نیمه‌مرطوب هیرکانی و مراتع کوهستانی زاگرس)، طراحی و اجرای نمونه‌برداری با چالش‌های ویژه‌ای همراه است. در منطقه‌های بیابانی، پراکنش گیاهان به‌صورت لکه‌ای و پراکنده است و روش‌های نقطه‌ای یا نوار خطی[1] برای برآورد دقیق‌تر پوشش توصیه می‌شوند (زارع چاهوکی، ۱۴۰۱). در مقابل، مراتع نیمه‌خشک که از نظر اقتصادی و بوم‌شناختی بسیار پراهمیت هستند، به‌دلیل ترکیب گیاهان علفی، بوته‌ای و درختچه‌ای، نیازمند طراحی ترکیبی شامل قطعه نمونه‌های کوچک برای گونه‌های علفی و قطعه‌های بزرگتر برای گونه‌های درختچه‌ای می‌باشند (Higgins, 2020). همچنین، در ارتفاع‌های کوهستانی با شیب‌های تند و ریزاقلیم‌های گوناگون، استفاده از طرح‌های طبقه‌بندی‌شده بر پایه جهت جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا، توصیه می‌شود تا نمایی واقعی از گوناگونی پوشش گیاهی به‌دست آید (Mörsdorf *et al*., 2015).

با وجود این، اهمیت نمونه‌برداری پوشش گیاهی با محدودیت‌ها و منابع خطای گوناگون روبه‌رو است. از یک سو، تغییرهای فصلی و سالانه در مقدار بارش و دما می‌تواند بر تراکم و تولید زیستی گیاهان تأثیرگذار باشد و موجب تغییر در داده‌های حاصل از نمونه‌برداری شود (Lisner, 2020). از سوی دیگر، خطاهای مشاهده‌گر در تخمین چشمی پوشش یا تشخیص گونه‌ها منبعی جدی از نبود قطعیت است که در بررسی‌های پوشش گیاهی به‌ویژه در جامعه‌های گوناگون مراتع بسیار گزارش شده است. افزون بر این، محدودیت‌های عملی مانند دشواری دسترسی به ارتفاع‌ها، پراکندگی جغرافیایی گسترده مراتع و شرایط اقلیمی نامساعد (گرمای شدید بیابان یا بارش‌های ناگهانی کوهستان) بر گزینش روش و شمار نمونه‌ها تأثیر مستقیم دارد (Sparrow *et al*., 2020).

بر این اساس، طراحی درست نمونه‌برداری در علوم محیطی باید بر پایه اصولی مانند تناسب با مقیاس فضایی و زمانی، گزینش روش مناسب برای نوع پوشش گیاهی و به‌کارگیری طرح‌های ترکیبی برای کاهش خطا و افزایش دقت باشد. استفاده از قطعه نمونه‌های همیشگی و پایش‌های طولانی‌مدت، امکان واکاوی روندهای بلندمدت تغییر پوشش گیاهی را فراهم کرده و ابزار مهمی برای پیش‌بینی اثر تغییرهای اقلیمی و سنجش اثربخشی سیاست‌های مدیریتی مراتع به‌شمار می‌رود (زارع چاهوکی، ۱۴۰۱). از این رو، پژوهش حاضر با هدف مشخص‌کردن اصول و روش‌های نمونه‌برداری در علوم محیطی، تمرکز ویژه‌ای بر پوشش گیاهی و عامل‌های بوم‌شناختی دارد و می‌کوشد چارچوبی کاربردی برای بهبود بررسی‌های بوم‌شناختی ارائه دهد.

چالش‌های نمونه‌برداری در علوم محیطی

جمع‌آوری داده‌ها در علوم محیطی به‌طور معمول در محیط‌های کنترل‌شده آزمایشگاهی و محیط‌های طبیعی صورت می‌گیرد. برای جمع‌آوری داده‌ها در محیط‌های کنترل‌شده آزمایشگاهی مانند نهالستان، گلخانه، آزمایشگاه، استخر پرورش

1. Line transect

ماهی یا هر محیط کنترل‌شده دیگر، به‌دلیل محیط کنترل‌شده، جمع‌آوری داده‌ها ساده‌تر و بر مبنای اصول طرح‌های آزمایشی است، اما در صورتی‌که جمع‌آوری داده‌ها در محیط‌های طبیعی انجام شود، با توجه به تغییرپذیری متغیرهای محیطی، شرایط پیچیده‌تر است و باید شیوه علمی دقیقی برای نمونه‌برداری اتخاذ شود (زارع چاهوکی، ۱۴۰۱). نمونه‌برداری در محیط‌های طبیعی با چالش‌های گوناگونی روبه‌رو است که می‌تواند بر دقت و اعتبار داده‌ها تأثیر بگذارد. برخی از این چالش‌ها در ادامه آورده شده‌اند.

ناهمگنی مکانی[1]

بوم‌نظام‌های طبیعی از نظر ویژگی‌های عامل‌های محیطی مانند پستی- بلندی، اقلیم، خاک، و پوشش گیاهی دارای تنوع هستند. برای نمونه، در مراتع نیمه‌خشک ایران، گونه‌های علفی بیشتر در دشت‌ها و در کوهپایه‌ها گسترش دارند، در حالی‌که گونه‌های درختچه‌ای در شیب‌ها یا منطقه‌هایی با رطوبت بیشتر تجمع می‌کنند. این ناهمگنی‌ها موجب می‌شود که واحد نمونه‌برداری گزینشی نماینده کل منطقه نباشد (Legendre & Legendre, 2012). برای رفع این دشواری باید از روش‌های نمونه‌برداری طبقه‌بندی‌شده یا طرح‌های ترکیبی استفاده کرد.

تغییرهای زمانی[2]

پوشش گیاهی و عامل‌های محیطی در طول زمان دارای تغییر روزانه، فصلی یا سالانه هستند. برای نمونه، در مراتع کوهستانی زاگرس، گونه‌های یکساله در نخستین روزهای بهار رشد می‌کنند، در حالی‌که در تابستان اغلب خشک می‌شوند و پوشش غالب، به گیاهان چندساله تغییر می‌یابد. داده‌های جمع‌آوری‌شده تنها در یک فصل، نمی‌تواند بیانگر تغییرهای بوم‌نظام در کل سال باشد (Krebs, 2014). بنابراین، پایش‌های فصلی و چندساله برای درک پویایی واقعی بوم‌نظام‌ها ضروری است.

تأثیر عامل‌های انسانی[3]

نمونه‌برداری ممکن است زیر تأثیر فعالیت‌های انسانی مانند چرای دام، تغییر کاربری و گردشگری باشد (Kent, 2012). برای کاهش تأثیر عامل‌های انسانی، لازم است محل‌های نمونه‌برداری تا حد امکان دورتر از منطقه‌های زیر تأثیر فعالیت‌های انسانی گزینش شوند. همچنین، در صورت نیاز به ارزیابی تأثیر عامل‌های انسانی، ضروری است با گزینش شاخص‌های مناسب اثر فعالیت‌های انسانی نیز تعیین شود.

نبود قطعیت و خطا[4]

خطاهای انسانی (مانند تخمین چشمی درصد پوشش)، خطاهای ابزاری (برای نمونه در روش نقطه‌ای) و گزینش نامناسب شمار نمونه‌ها از عامل‌های عمده نبود قطعیت در داده‌های میدانی هستند (Regan *et al*., 2002). در مراتع کشور که اغلب ترکیبی از گونه‌های علفی، بوته‌ای و درختچه‌ای هستند، احتمال خطا در شناسایی گونه‌ها و گزینش درست راهبرد نمونه‌برداری، زیاد است. همچنین، پراکنش خوشه‌ای گونه‌های گیاهی موجب می‌شود که برآوردهای تصادفی ساده با سوگیری همراه باشد. به‌کارگیری آموزش‌های استاندارد برای تیم‌های میدانی و استفاده از فناوری‌هایی مانند عکسبرداری هوایی و تصویربرداری پهپادی برای صحت‌سنجی داده‌ها می‌تواند این خطاها را کاهش‌دهد.

گونه‌های نادر یا پراکنش نامتعادل[5]

یکی دیگر از چالش‌های نمونه‌برداری مراتع، خطر نادیده گرفتن گونه‌های نادر یا گونه‌هایی است که به‌صورت لکه‌ای پخش شده‌اند (Thompson, 2015). برای رفع این مشکل باید در طراحی سیستم نمونه‌برداری افزون بر افزایش شمار نمونه‌ها و دقت در گزینش واحد و ابزار نمونه‌برداری، از روش نمونه‌برداری تلفیقی استفاده کرد.

1. Spatial heterogeneity
2. Temporal variability
3. Human impacts
4. Uncertainty and error
5. Rare species or patchy distributions

محدودیت دسترسی به واحدهای نمونه‌برداری

در برخی از مکان‌ها، دسترسی به واحدهای نمونه‌برداری به‌دلیل مانع‌های جغرافیایی یا قانونی دشوار است. این موضوع می‌تواند به محدودیت در گزینش واحدهای نمونه‌برداری و کاهش دقت داده‌ها بیانجامد (Anderson & Gaston, 2013). برای نمونه در مراتع کوهستانی با شیب‌های تند، دسترسی به محل‌های نمونه‌برداری دشوار است. بارش‌های ناگهانی، لغزش زمین یا مقررات حفاظتی نیز می‌توانند مانع انجام نمونه‌برداری شوند. استفاده از پهپادها و داده‌های سنجش از دور در چنین موردهایی، ابزاری کارآمد برای جمع‌آوری داده‌های جاهای سخت‌دسترس را فراهم می‌آورد.

هزینه زیاد نمونه‌برداری

جمع‌آوری داده‌های محیطی اغلب نیازمند زمان و هزینه چشمگیری است. این موضوع می‌تواند به محدودیت در شمار نمونه‌ها و کاهش دقت نتایج بیانجامد (Krebs, 2014 و Thompson, 2015). برای رفع این دشواری، استفاده از طرح‌های نمونه‌برداری بهینه و ترکیب داده‌های میدانی با تصویرهای ماهواره‌ای توصیه می‌شود.

پیچیدگی بوم‌نظام[1]

در بوم‌نظام مراتع، عامل‌های متعدد بوم‌شناختی و انسانی در ارتباط پیچیده با همدیگر موجب ایجاد تغییرهای زمانی و مکانی در پوشش گیاهی می‌شوند. یکی دیگر از چالش‌ها این است که نمونه‌برداری سنتی کنونی باید بتواند ارتباط‌های پیچیده در اجزای بوم‌نظام را پوشش‌دهد (Turner *et al*., 2015). طراحی سیستم‌های نمونه‌برداری چندمقیاسی و یکپارچه‌سازی داده‌ها از منابع مختلف (زمینی، پهپادی و سنجش از دوری) راهکاری برای پوشش این پیچیدگی‌ها است.

چالش‌های نمونه‌برداری در محیط‌های طبیعی، از ناهمگنی مکانی و تغییرهای زمانی تا تأثیر عامل‌های انسانی و هزینه‌های زیاد، همگی بیانگر ضرورت طراحی دقیق و چندسطحی سیستم نمونه‌برداری در پژوهش‌های علوم محیطی هستند. در ایران، به‌دلیل گوناگونی زیاد اقلیمی و پیچیدگی بوم‌شناختی، این چالش‌ها، شدت بیشتری دارند. ترکیب اصول آماری پیشرفته، پایش‌های دوره‌ای و استفاده از فناوری‌های نوین مانند سنجش از دور می‌تواند ضمن کاهش خطاها، داده‌هایی معتبر برای مدیریت پایدار مراتع کشور فراهم کند.

اصول نمونه برداری در علوم محیطی

نمونه‌برداری به‌عنوان یکی از پایه‌های اساسی پژوهش‌های علوم محیطی، نقش تعیین‌کننده‌ای در دقت و اعتبار نتایج دارد. گزینش نادرست روش، ابزار یا مقیاس نمونه‌برداری می‌تواند به سوگیری، خطای آماری و تفسیرهای نادرست بیانجامد (Krebs, 2014). از این‌رو، طراحی سیستم نمونه‌برداری باید بر اساس اصول علمی دقیق، ویژگی‌های بوم‌نظام مورد بررسی، مقیاس، هدف‌های پژوهش و محدودیت‌های منابع صورت گیرد. در ادامه مهمترین اصول نمونه‌برداری بیان می‌شوند.

تعیین هدف‌ها و پرسش/فرضیه پژوهش

نخستین گام در طراحی هر سیستم نمونه‌برداری، تعیین هدف‌ها و پرسش‌ها یا فرضیه‌های پژوهش است. پژوهشگر باید بداند چه متغیرهایی را در چه مقیاسی و برای چه هدفی اندازه‌گیری می‌کند. برای نمونه، اگر هدف ارزیابی اثر چرای دام بر گوناگونی گیاهی مراتع در منطقه زاگرس باشد، گزینش شاخص‌های گوناگونی و تراکم گونه‌های گیاهی اولویت دارد. درحالی‌که در بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر جنگل‌های هیرکانی، تمرکز بر تغییرهای ترکیب گونه‌ای و باززایی ضروری است

1. Ecosystem complexity

(Kent, 2012). تعیین دقیق هدف‌ها، از بروز نمونه‌برداری‌های پرهزینه و غیرضروری جلوگیری کرده و به افزایش کارآیی پژوهش کمک می‌کند.

تعیین واحدهای نمونه‌برداری

واحد نمونه‌برداری می‌تواند از یک فرد (گیاه، حیوان یا انسان) تا یک منطقه گسترده (مانند فرد جامعه) متغیر باشد. گزینش این واحد به‌طور کامل به هدف‌های بررسی، مقیاس مکانی-زمانی، ویژگی‌های جامعه آماری و منابع در دسترس، بستگی دارد. واحدهای نمونه‌برداری باید به گونه‌ای گزینش شوند که همگن باشند، از سوگیری جلوگیری شده باشد و نمایندگی جامعه آماری را تضمین کنند.

در بررسی‌های جامعه‌شناسی گیاهی، شناسایی و تعریف دقیق واحد پایه‌ای برای نمونه‌برداری و واکاوی‌های بوم‌شناختی از اهمیّت بنیادین برخوردار است. این واحد که با عنوان فرد جامعه یا فیتوسنوز[1] شناخته می‌شود، به سطحی گفته می‌شود که از نظر ترکیب گونه‌ای، به‌طور نسبی همگن است، ساختار فیزیونومیک[2] و شرایط بوم‌شناختی انسجام و یکنواختی نسبی دارد. در حقیقت، فرد جامعه نماینده‌ای از یک جامعه گیاهی مشخص است که در فضای طبیعی محدود، الگوی ثابتی از حضور گونه‌ها را نشان می‌دهد. تشخیص این واحد در مرحله‌های آغازین پژوهش، گام مهمی برای استقرار درست قطعه نمونه‌ها و تفسیر دقیق داده‌ها است (Chytrý *et al*., 2020; Kent, 2012).

مرز فرد جامعه به طور معمول از طریق تغییر آشکار در ترکیب گونه‌ای، ساختار فیزیونومیک یا ویژگی‌های فیزیکی-بوم‌شناختی محیط قابل شناسایی است. در شرایطی که در یک مرتع، دخالت عامل‌های انسانی کمینه باشد و پایداری محیطی برقرار بماند، انتظار می‌رود که پوشش گیاهی با شرایط محیطی در تعادل باشد. در چنین وضعیتی واحدهای تکرارشونده‌ای از جامعه‌های گیاهی با الگوهای مکانی به نسبت قابل پیش‌بینی شکل می‌گیرند. این فرض بوم‌شناختی، مبنایی برای طراحی نقشه واحدهای نمونه‌برداری و تعیین دقیق‌تر مرز فرد جامعه به‌شمار می‌رود.

با توجه به ماهیّت مکانی داده‌های پوشش گیاهی، استفاده از فناوری‌های نوین مانند سیستم اطلاعات جغرافیایی و داده‌های سنجش از دور به‌عنوان ابزار مکمل در تعیین حدود فرد جامعه و تهیه نقشه واحدهای نمونه‌برداری موضوعی اجتناب‌ناپذیر است. از مهمترین داده‌هایی که می‌توان در این زمینه از آن‌ها بهره گرفت، مدل رقومی ارتفاع[3] است که امکان استخراج نقشه‌های شیب، جهت و ارتفاع از سطح دریا را فراهم می‌آورد. همچنین، ترکیب این نقشه‌ها با اطلاعات زمین‌شناسی، نقشه‌های خاک (در صورت وجود) و تصویرهای ماهواره‌ای با قدرت جداسازی مناسب می‌تواند مبنای تهیه نقشه اولیه واحدهای نمونه‌برداری (فرد جامعه یا واحدهای همگن بوم‌شناختی) باشد. فرآیند روی‌هم‌گذاری لایه‌ها در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی ، اگر با گزینش درست طبقه‌ها (برای نقشه‌های ارتفاع از سطح دریا، شیب و جهت)، وزن‌دهی به لایه‌ها و روش‌های مناسب روی هم‌گذاری انجام شود، می‌تواند به تهیه نقشه‌ای با دقت پذیرفتنی بیانجامد که بازتابی از وضعیت واقعی الگوهای بوم‌شناختی در منطقه است (Jensen, 2015).

پس از تهیه نقشه اولیه واحدهای نمونه‌برداری باید با استفاده از تصویرهای سنجش از دور و عکس‌های هوایی، دقت و اعتبار مکانی مرزها ارزیابی و اصلاح شود. در پایان، گام مهم و تکمیلی، پیمایش میدانی و مقایسه داده‌های مکانی با واقعیت زمینی است. در این مرحله، داده‌های کیفی و کمّی حاصل از مشاهده‌های مستقیم، نقش مهمی در بازنگری نقشه واحدهای

1. Phytocoenosis 2. Physiognomic structure 3. Digital elevation model (DEM)

نمونه‌برداری دارند. چنین روندی موجب می‌شود که مرزهای فرد جامعه نه تنها بر پایه داده‌های محیطی و الگوهای فضایی، بلکه با اتکا به درستی میدانی و واقعیت زیستی پوشش گیاهی تعیین شوند.

بدیهی است که هرچه این فرآیند با دقت بیشتری انجام شود، نتایج حاصل از نمونه‌برداری‌ها و واکاوی‌های آماری قابل اعتمادتر خواهد بود. به‌همین دلیل، تعیین فرد جامعه نباید موضوعی تنها ظاهری یا بر پایه داوری‌های ذهنی باشد، بلکه باید بر مبنای روش‌های کمّی و مستند بر پایه فناوری‌های مکانی و دانش بوم‌شناسی انجام شود. در این صورت می‌توان اطمینان داشت که واحدهای تعریف‌شده به‌عنوان فرد جامعه، پایه‌ای دقیق برای جمع‌آوری داده‌ها جهت تعیین ساختار و عملکرد جامعه‌های گیاهی را فراهم می‌کنند.

توجه به مقیاس[1] در نمونه‌برداری محیطی

مقیاس در نمونه‌برداری پژوهش‌های علوم محیطی که با داده‌های مکانی[2] سر و کار دارند، یکی از مهمترین مفهوم‌ها است که بر گزینش شمار نمونه، روش نمونه‌برداری، نوع متغیرهای مورد اندازه‌گیری، دقت، تعمیم‌پذیری و تفسیر نتایج تأثیر مستقیم دارد. گزینش مقیاس مناسب به معنای تعیین اندازه، گسترش و چگونگی نمونه‌برداری است که با هدف‌های بررسی، ویژگی‌های بوم‌نظام و محدودیت‌های منابع (زمان، هزینه و نیروی انسانی) باید هماهنگ باشد. مقیاس به بُعدهای مکانی و زمانی رخداد یک پدیده یا فرآیند محیطی اشاره دارد و دو مؤلفه اصلی مکانی و زمانی دارد. ناهمخوانی مقیاس بررسی با هدف‌های پژوهش می‌تواند موجب خطاهای تفسیری شود. برای نمونه، نتایج حاصل از داده‌های مقیاس کوچک به کل بوم‌نظام تعمیم نمی‌یابند.

برای گزینش و مدیریت مقیاس مناسب در نمونه‌برداری محیطی، استفاده از فن‌های کمّی اهمیت ویژه‌ای دارد. از جمله این فن‌ها می‌توان به واکاوی واریوگرام[3] برای تعیین دامنه همبستگی مکانی متغیرها و فاصله بهینه بین جاهای نمونه اشاره کرد. روش‌های نمونه‌برداری تصادفی، نظام‌مند و تصادفی طبقه‌بندی‌شده نیز بسته به ناهمگنی مکانی و گستره مورد بررسی کاربرد دارند. همچنین، الگوسازی‌های آماری و مکانی مانند کریجینگ[4] و میانگین وزنی معکوس فاصله[5] ابزارهای مؤثری برای برآورد مقدارهای محیطی در مقیاس‌های بزرگترند. افزون بر این، استفاده از شاخص‌های گوناگونی و ناهمگنی برای تعیین شمار بهینه نمونه‌ها و بهره‌گیری از واکاوی چندمقیاسی به‌منظور بررسی الگوهای مکانی و زمانی در سطح‌های مختلف، به دقت و اعتبار نتایج کمک می‌کند.

در کنار این روش‌ها، بهره‌گیری از نرم‌افزارهای تخصصی نیز نقشی کلیدی در مدیریت مقیاس نمونه‌برداری دارد. نرم‌افزارهایی مانند ArcGIS و QGIS به‌طور گسترده برای طراحی شبکه‌های نمونه‌برداری، واکاوی الگوهای مکانی و انجام واکاوی‌های فضایی استفاده میشوند (ESRI, 2020). ابزارهای زمین-آماری[6] مانند GS+ و GeoDa امکان بررسی همبستگی مکانی، واکاوی ساختار فضایی داده‌ها و محاسبه و مدل‌سازی واریوگرام را فراهم می‌سازند. همچنین، زبان‌های برنامه‌نویسی و محیط‌های واکاوی داده مانند R (با بسته‌هایی مانند gstat، spatstat و raster) و Python (با کتابخانه‌هایی مانند geopandas، pykrige و rasterio) در اجرای واکاوی‌های پیشرفته مکانی، شبیه‌سازی الگوهای فضایی و توسعه طرح‌های نمونه‌برداری پیچیده کاربرد گسترده‌ای دارند (Bivand *et al*., 2013). افزون بر این، نرم‌افزارهای پردازش تصویرهای سنجش از دور مانند ENVI و ERDAS Imagine در تعیین مقیاس‌های مناسب نمونه‌برداری بر پایه داده‌های ماهواره‌ای، استخراج ویژگی‌های پوشش زمین و پایش تغییرهای بوم‌نظام‌ها نقش مؤثری دارند (Lillesand *et al*., 2015).

1. Scale 2. Spatial data 3. Variogram 4. Kriging 5. Inverse distance weighting (IDW) 6. Geostatistic

ابزار نمونه‌برداری

ابزارهای نمونه‌برداری در علوم محیطی به مجموعه‌ای از تجهیزات و دستگاه‌ها گفته می‌شود که برای جمع‌آوری داده‌های کمّی و کیفی از محیط طبیعی، شامل پوشش گیاهی، خاک، آب، اقلیم، سایر عامل‌های بوم‌شناختی و همچنین ویژگی‌های بهره‌برداران انسانی به‌کار گرفته می‌شوند. استفاده صحیح از این ابزارها به پژوهشگر امکان می‌دهد تا نمونه‌ها و اطلاعات محیطی را با کمترین خطا و بیشترین دقت ثبت کند و نتایج قابل اعتماد برای واکاوی‌های بوم‌شناختی و مدیریتی ارائه دهد. گزینش ابزار مناسب بسته به هدف بررسی، نوع و پراکنش جامعه نمونه، مقیاس نمونه‌برداری، و متغیرهای مورد بررسی تعیین می‌شود. در ادامه فهرست این ابزارها ارائه می‌شود (جدول ۱).

جدول ۱- مقایسه ابزارهای نمونه‌برداری در علوم محیطی.

گروه ابزار	نمونه ابزار	دقت	هزینه	نیاز به آموزش	محدودیت‌ها	مقیاس مناسب
مصاحبه	مصاحبه فردی، گروهی	متوسط	پایین	کم تا متوسط	سوگیری پاسخ، تأثیر عامل‌های اجتماعی	محلی
پرسشنامه	کاغذی، برخط	متوسط	پایین	کم تا متوسط	کیفیت وابسته به طراحی پرسش‌ها	محلی تا ناحیه‌ای
قطعه نمونه و نوار خطی	قطعه نمونه، نوار خطی یا ترکیبی	زیاد	پایین تا متوسط	متوسط	زمان‌بر، محدود به مساحت کوچک	محلی تا ناحیه‌ای
بزارهای آزمایشگاهی	اسیدیته‌سنج، هدایت الکتریکی‌سنج، رطوبت‌سنج	زیاد	متوسط	کم تا متوسط	نیازمند واسنجی و شرایط پایدار	محلی/آزمایشگاهی
ابزارهای پایش میدانی و فضایی	دماسنج، باران‌سنج، GPS، پهپاد، سیستم اطلاعات جغرافیایی	متوسط تا بسیار زیاد	متوسط تا زیاد	متوسط تا زیاد	هزینه نگهداری و داده‌برداری، محدودیت فنی	محلی تا منطقه‌ای در سیستم اطلاعات جغرافیایی و در پهپاد حتی جهانی

۱- **ویژگی‌های انسانی بهره‌برداران**- برای جمع‌آوری داده‌های مربوط به رفتار، دانش، و نگرش بهره‌برداران از ابزارهایی مانند مصاحبه‌های ساختاریافته و پرسشنامه‌ها استفاده می‌شود. این داده‌ها می‌توانند در واکاوی‌های بوم‌شناختی-اجتماعی و مدیریت منابع طبیعی نقش کلیدی داشته باشند.

۲- **پوشش گیاهی**- برای اندازه‌گیری ویژگی‌های پوشش گیاهی از قطعه نمونه (پلات) یا نوار خطی استفاده می‌شود. در شرایطی که پراکنش گیاهان تصادفی یا یکنواخت است، استفاده از قطعه نمونه مناسب است. در صورتی‌که پراکنش گیاهان کپه‌ای یا تغییرپذیری زیاد پوشش مشاهده شود، استفاده از نوار خطی ترجیح داده می‌شود. همچنین، امکان ترکیب دو روش نمونه‌برداری با قطعه نمونه‌ها در امتداد نوار وجود دارد تا الگوهای مکانی پوشش گیاهی دقیق‌تر ارزیابی شود.

۳- **خاک**- نمونه‌های خاک پس از برداشت از عرصه و آماده‌سازی در آزمایشگاه با استفاده از ابزارهایی مانند اسیدیته‌سنج، هدایت الکتریکی‌سنج، رطوبت‌سنج و دیگر تجهیزات تخصصی بررسی می‌شوند. گزینش ابزار و شاخص بستگی به ویژگی فیزیکی و شیمیایی خاک و هدف، بررسی دارد.

۴- **اقلیم**- برای اندازه‌گیری داده‌های اقلیمی از داده‌نگارها برای ثبت پیوسته دما، رطوبت، تبخیر، بارش و سرعت باد استفاده می‌شود. همچنین برای جمع‌آوری نمونه‌های بارش می‌توان از بطری‌های باران‌سنج بهره برد و برای جمع‌آوری ذره‌های معلق یا نمونه‌های هوا، از پمپ‌های مکش هوا استفاده می‌شود.

۵- **سایر ویژگی‌های بوم‌شناختی**- برای اندازه‌گیری ارتفاع از سطح دریا، شیب، جهت و سایر شاخص‌های محیطی از ابزارهایی مانند GPS و سایر حسگرهای محیطی استفاده می‌شود. افزون بر این، نرم‌افزارهای تخصصی مانند سیستم اطلاعات جغرافیایی و نرم‌افزارهای تجزیه و واکاوی مکانی و پهپادها نقش مؤثری در جمع‌آوری داده‌های گسترده، مدل‌سازی الگوهای فضایی و تعیین مقیاس نمونه‌برداری دارند.

تعیین اندازه و شمار نمونه

نمونه‌برداری در پژوهش‌های محیطی باید به گونه‌ای طراحی شود که نماینده جامعه آماری باشد. گزینش نامناسب اندازه و شمار نمونه می‌تواند به خطای نمونه‌برداری، سوگیری و نتایج غیرقابل اعتماد بیانجامد. در نمونه‌برداری از پوشش گیاهی و عامل‌های بوم‌شناختی، این موضوع به‌دلیل ناهمگنی بوم‌نظام‌ها و پراکنش نامتعادل گونه‌ها اهمیّت دوچندان دارد (Krebs, 2014).

اندازه و شمار نمونه به وضعیت همگنی یا ناهمگنی جامعه آماری مورد بررسی، مقدار دقت مورد نیاز، امکانات در دسترس و نوع ابزار نمونه‌برداری بستگی دارد. هر چه شمار نمونه بیشتر باشد، دقت نتایج بیشتر می‌شود، البته لازم است با افزایش شمار نمونه، کنترل همگنی نیز صورت گیرد.

برای تعیین شمار نمونه برحسب نوع متغیرهای مورد بررسی با استفاده از روش‌های آماری، پراکنش آن‌ها و آزمونی که سپس قرار است تجزیه و واکاوی با آن انجام شود، رابطه‌های مختلفی ارائه شده است. در صورتی‌که داده‌ها پیوسته باشند، رابطه ۱ ارائه شده است (Krebs, 2014).

$$n = \frac{t^2 CV^2}{d^2}$$ رابطه ۱

که در آن، n شمار نمونه لازم، t از جدول t با n-۱ درجه آزادی در سطح معنی‌دار مورد نظر، s انحراف معیار داده‌ها، $\bar{X}$ میانگین مقدارهای نمونه‌گیری اولیه، d درصد خطای قابل قبول و CV ضریب تغییرات که برابر است با $CV = \frac{S}{\bar{X}}$.

هنگامی‌که داده‌ها نسبتی باشند، رابطه تعیین شمار نمونه به‌صورت زیر است (Krebs, 2014).

$$n = \frac{t^2 (pq)^2}{d^2}$$ رابطه ۲

که در آن، t از جدول t با درجه آزادی n-۱ و سطح معنی‌دار مورد نظر، p نسبت مشاهده‌شده و q برابر است با p-۱ و d خطای مطلق است.

اگر شمار افراد جامعه معلوم باشد، از رابطه زیر که به رابطه کوکران[1] معروف است، برای تعیین شمار نمونه در مورد متغیرهای کمّی استفاده می‌شود:

$$n = \frac{Nt^2 s^2}{Nd^2 + t^2 s^2}$$ رابطه ۳

که در این رابطه، N شمار افراد جامعه مورد بررسی، S^2 واریانس داده‌ها، t و d نیز پیش از این گفته شد.

در صورتی‌که شمار افراد جامعه نامحدود باشد، از رابطه زیر استفاده می‌شود.

$$n = \frac{t^2 s^2}{d^2}$$ رابطه ۴

اگر متغیرهای مورد بررسی کیفی باشند، رابطه کوکران برای جامعه محدود به‌صورت زیر است.

1. Cochran

رابطه ۵ $$n = \frac{\frac{t^2 pq}{d^2}}{1+\frac{1}{N\left(\frac{t^2 pq}{d^2}-1\right)}}$$

در صورتی‌که شمار افراد جامعه نامحدود باشد، از رابطه زیر استفاده می‌شود.

رابطه ۶ $$n = \frac{t^2 pq}{d^2}$$

تعیین اندازه و شمار نمونه در بررسی جامعه‌های گیاهی نیازمند ترکیبی از روش‌های آماری، مشاهده‌های میدانی و فناوری‌های نوین است. گزینش نادرست این ویژگی می‌تواند موجب داده‌برداری نادرست و تصمیم‌گیری‌های اشتباه بیانجامد. برای کاهش خطا، توصیه می‌شود از روش‌های استاندارد و نرم‌افزارهای تخصصی استفاده شود.

تعیین منطقه‌های همگن بوم‌شناختی به‌عنوان واحدهای نمونه‌برداری با استفاده از فناوری‌های نوین مانند داده‌های سنجش از دور، سیستم اطلاعات جغرافیایی، الگوی رقومی ارتفاع و سایر نقشه‌های رقومی می‌تواند با تخمین اولیه متغیرهای محیطی به گزینش درست شمار بهینه نمونه‌ها کمک کند (زارع چاهوکی، ۱۴۰۱ و Anderson & Gaston, 2013 ,Longley *et al*., 2015).

روش‌های نمونه‌برداری

گزینش و پیاده‌سازی روش نمونه‌برداری مناسب، ترکیبی از دانش، هنر و فناوری است. افزون بر توجه به شرایط جامعه آماری مورد بررسی، هدف‌های پژوهش، مقیاس مکانی- زمانی، ابزار نمونه‌برداری و متغیرهای مورد بررسی که در گزینش روش مناسب نمونه‌برداری مؤثر هستند، استفاده از فناوری‌های نوین مانند سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی ، امکان نمونه‌برداری در مقیاس‌های بزرگتر و پیچیده‌تر را فراهم می‌کنند. در ادامه شرایط استفاده از هر روش نمونه‌برداری بیان می‌شود (زارع چاهوکی، ۱۴۰۱).

نمونه‌برداری غیرتصادفی[1]- در این روش، گزینش نمونه بر اساس سلیقه، تشخیص و صلاحدید پژوهشگر انجام می‌شود. نتایج به‌دست آمده از این روش نمونه‌برداری، تعمیم‌پذیر نیست. یعنی پژوهشگر نمی‌تواند مقدارهای محاسبه‌شده برای شاخص‌های نمونه را به جامعه آماری تعمیم دهد و پارامترهای جامعه را از آن‌ها نتیجه‌گیری کند.

نمونه‌برداری تصادفی[2]- از این روش در شرایط جامعه آماری همگن استفاده می‌شود. در این روش، تمام عنصرها، احتمال مساوی برای گزینش‌شدن دارند. داده‌های تولیدی از این روش نااریب است و بهترین شرایط را برای تجزیه و واکاوی آماری دارند. مهمترین محدودیت استفاده از این روش در علوم محیطی این است که امکان کدگذاری همه افراد جامعه برای گزینش تصادفی از بین آن‌ها وجود ندارد. همچنین، در بوم‌شناختی، استفاده از این روش نمونه‌برداری دارای محدودیت‌های زیر است (Krebs, 2014).

- گزینش تصادفی نمونه‌ها ممکن است موجب شود که بعضی از نمونه‌ها دور از دسترس قرار گیرند و اطلاعات حاصل، هزینه و زمان صرف‌شده را جبران نکند.
- در نمونه‌برداری از پوشش گیاهی، گزینش تصادفی نمونه‌ها ممکن است برحسب اتفاق روی کپه‌هایی قرارگیرد که پوشش گیاهی انبوهی داشته باشند. برعکس، ناحیه‌های بدون پوشش با شدت کمتری نمونه‌گیری شده و در نتیجه تمامی تغییرهای پوشش گیاهی در نمونه‌گیری وارد نشود.
- نمونه‌برداری تصادفی از گونه‌های نادر اغلب برآوردی کمتر از حد لازم ارائه می‌دهد.

1. Systematic sampling 2. Random sampling

نمونه‌برداری طبقه‌بندی‌شده[1]- در شرایطی از این روش استفاده می‌شود که جامعه آماری ناهمگن است، اما با طبقه‌بندی بتوان همگن‌سازی کرد.

نمونه‌برداری خوشه‌ای[2]- از این روش در جامعه بسیار گسترده یا پراکنده استفاده می‌شود. در این روش برعکس دیگر روش‌ها، واحد نمونه‌برداری فرد یا یک عضو نیست، بلکه گروهی هستند که به‌صورت طبیعی شکل گرفته و گروه خود را تشکیل داده‌اند. به همین دلیل، نمونه‌برداری خوشه‌ای زمانی به‌کار می‌رود که گزینش گروهی از اعضا، امکان‌پذیرتر و آسانتر از گزینش اعضای جامعه باشد. برای نمونه، اگر هدف بررسی گونه‌های گیاهی ویژه در یک کشور باشد، این امکان وجود دارد که این گونه‌ها در مکان‌های مختلف کشور به‌صورت پراکنده وجود داشته باشند. در این شرایط بهترین روش نمونه‌برداری، شناسایی هر جمعیت یا جامعه یا خوشه‌هایی از هر جامعه و سپس گزینش تصادفی هر نمونه در خوشه‌هاست.

نمونه‌برداری مکانی[3]- این روش نمونه‌برداری بیشتر برای بررسی پدیده‌ها و ویژگی‌های مکان‌ها و ناحیه‌های جغرافیایی به‌کار می‌رود. در فضای جغرافیایی پدیده‌ها و متغیرهای گوناگونی وجود دارند که گاهی بُعد طبیعی دارند مانند جنس زمین، گونه‌های گیاهی، ریزاقلیم‌ها، کمّیت و کیفیت آب و مانند آن و گاه بُعد انسانی دارند مانند وضعیت اجتماعی و اقتصادی بهره‌برداران و مانند آن و گاهی نیز ترکیب هر دو بُعد طبیعی و انسانی را دارند مانند عنصرهای مکانی روستا، شهر، راه‌های ارتباطی، کارخانه، منطقه‌های گردشگری، سد، کشتزار و مانند این‌ها. هر کدام از پدیده‌ها و عنصرهای یادشده مکان و فضای جغرافیایی خاصی را به خود اختصاص داده‌اند و بررسی تمام آن‌ها ممکن نیست. از این‌رو، پژوهشگر ناچار است با گزینش شماری از مکان‌ها یا ناحیه‌های جغرافیایی آن‌ها را بررسی کند. در این روش نمونه‌گیری، واحدهای نمونه انواع مختلفی دارند مانند نمونه نقطه‌ای، سطح یا قطعه و خطی. نمونه‌برداری مکانی و زمانی با استفاده از شبکه‌های سنجش و دستگاه‌های ثبت داده‌های محیطی، به‌ویژه در پایش پوشش گیاهی در زمان‌های مختلف، اهمیّت زیادی دارد.

نمونه‌برداری تلفیقی[4]- نمونه‌برداری تلفیقی به ترکیب دو یا چند روش نمونه‌برداری اشاره دارد که با هدف بهره‌مندی از سودمندی‌های هر روش و کاهش محدودیت‌های آن‌ها طراحی می‌شود. این روش به‌ویژه در پژوهش‌های محیطی که با پیچیدگی بوم‌نظام‌ها، ناهمگنی مکانی و تغییرهای زمانی روبه‌رو هستند، کاربرد دارد.

با تلفیق دو روش نمونه‌برداری غیرتصادفی و تصادفی در روش تصادفی-سیستماتیک، نمونه اولیه به‌طور تصادفی گزینش و نمونه‌های دیگر با افزایش یک فاصله ثابت از آن مشخص خواهند شد. همچنین، با تلفیق دو روش طبقه‌بندی‌شده و تصادفی، ابتدا جامعه به طبقه‌های همگن تقسیم و نمونه‌برداری تصادفی در هر طبقه انجام می‌شود. با ترکیب دو روش طبقه‌بندی‌شده و خوشه‌ای، جامعه به طبقه‌های همگن تقسیم شده و نمونه‌برداری خوشه‌ای در هر طبقه انجام می‌شود. برای نمونه، در بررسی کیفیت آب دریاچه‌ها، تقسیم بر اساس ژرفا و نمونه‌برداری خوشه‌ای در هر ژرفا، انجام می‌شود (Lohr, 2021). ترکیب روش‌های نمونه‌برداری و استفاده از فناوری‌های نوین مانند داده‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌تواند به بهبود دقت و کاهش هزینه در منطقه‌های گسترده و دشواری دسترس، کمک کند (Anderson & Gaston, 2013). ترکیب درست روش‌های نمونه‌برداری با توجه به شرایط منطقه مورد بررسی، هدف‌های پژوهش، ابزار نمونه‌برداری، مقیاس بررسی و نوع متغیرهای مورد بررسی می‌تواند راهکاری مؤثر برای چیرگی بر چالش‌های نمونه‌برداری در محیط‌های پیچیده و ناهمگن باشد. این روش در کاهش خطاها، افزایش دقت، کاهش هزینه‌ها و ایجاد پوشش گسترده‌تر در نمونه‌برداری مؤثر است، هر

1. Stratified sampling 2. Cluster sampling 3. Spatial sampling 4. Integrated sampling

چند که استفاده از روش‌های ترکیبی به دانش تخصصی و تجهیزات نیاز دارد. در جدول ۲ سودمندی‌ها و محدودیت‌های روش‌های نمونه‌برداری ارائه شده است.

جدول ۲- مقایسه سودمندی‌ها و محدودیت‌های روش‌های نمونه‌برداری در علوم محیطی.

روش نمونه‌برداری	سودمندی‌ها	محدودیت‌ها
غیرتصادفی	ساده، سریع و کم‌هزینه، مناسب برای بررسی‌های مقدماتی یا پایلوت، امکان گزینش منطقه‌های مورد نظر پژوهشگر (انعطاف‌پذیری زیاد).	نتایج تعمیم‌ناپذیر به جامعه آماری، سوگیری شدید در داده‌ها، احتمال نادیده گرفتن گونه‌های نادر.
تصادفی	داده‌ها بدون سوگیری و تعمیم‌پذیر، امکان استفاده در واکاوی‌های آماری، شفافیت در گزینش نمونه‌ها.	دشواری پیاده‌سازی در جامعه‌های گسترده یا سخت‌دسترس، احتمال افتادن تصادفی نمونه‌ها در منطقه‌های غیرنماینده (برای نمونه لکه‌های متراکم و تُنک)، کارآیی پایین در مورد گونه‌های نادر.
طبقه‌بندی‌شده	استفاده در جامعه‌های ناهمگن، امکان مقایسه دقیق طبقه‌های بوم‌شناختی (برای نمونه شیب، خاک یا ارتفاع از سطح دریا).	نیاز به اطلاعات پایه و نقشه‌های دقیق، افزایش هزینه و زمان طراحی اولیه.
خوشه‌ای	مناسب برای جامعه‌های بسیار گسترده و پراکنده، کاهش هزینه و زمان در بررسی‌های ملّی/منطقه‌ای، کاربردی در بررسی گونه‌های پراکنده.	خطای بیشتر به‌دلیل همبستگی درون‌خوشه‌ای، کاهش دقت نسبت به نمونه‌برداری تصادفی یا طبقه‌بندی‌شده، نیازمند تعیین خوشه‌های طبیعی یا منطقی.
مکانی	مناسب برای بررسی‌های جغرافیایی و فضایی، امکان استفاده از واحدهای نقطه‌ای، خطی یا سطحی، ترکیب‌پذیر با سیستم اطلاعات جغرافیایی و داده‌های سنجش از دور، کاربردی در پایش زمانی و مکانی پوشش گیاهی.	نیازمند داده‌های مکانی دقیق و تجهیزات فنی، هزینه زیاد ایجاد شبکه‌های سنجش و ثبت داده
تلفیقی	بهره‌مندی همزمان از سودمندی‌های چند روش، کاهش خطا و افزایش دقت، انعطاف‌پذیر در شرایط محیطی گوناگون، کاهش هزینه‌ها با استفاده از ترکیب مناسب.	نیازمند تخصص زیاد در طراحی سیستم نمونه‌برداری، پیچیدگی در واکاوی و تفسیر داده‌ها، وابستگی به فناوری‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی و RS.

اندازه‌گیری و ثبت داده‌های بوم‌شناختی

عامل‌های بوم‌شناختی مانند پستی و بلندی، خاک، اقلیم و عامل انسانی بر پراکنش و ترکیب پوشش گیاهی تأثیر دارند و ضروری است این داده‌ها نیز به همراه داده‌های پوشش گیاهی و هماهنگ با روش نمونه‌برداری اندازه‌گیری و ثبت شوند (Kent, 2012). برای ثبت داده‌ها می‌توان از سیستم اطلاعات جغرافیایی و داده‌های دورکاوری بهره‌گیری کرد(Harris & King, 2021).

مدیریت نبود قطعیت و خطاها در نمونه‌برداری

نبود قطعیت یکی از چالش‌های اساسی در پژوهش‌های علوم محیطی است و می‌تواند بر کیفیت داده‌ها و اعتبار نتایج پژوهش تأثیر جدی بگذارد؛ نبود قطعیت ممکن است از منابع مختلفی ناشی شود. از جمله گزینش نادرست مقیاس یا واحد نمونه‌برداری، طراحی غیربهینه شبکه نمونه‌برداری، استفاده از ابزار نامناسب، خطاهای انسانی در برداشت میدانی و نیز خطاهای ناشی از روش‌های آزمایشگاهی و پردازش داده (Harris & King, 2021). افزون بر این، تغییر ذاتی در بوم‌نظام‌ها و ناهمگنی مکانی و زمانی نیز بر مقدار نبود قطعیت می‌افزایند.

برای مدیریت این نبود قطعیت، چند راهبرد کلیدی وجود دارد. نخست، باید طراحی نمونه‌برداری با دقت و بر اساس استانداردهای علمی انجام گیرد. استفاده از طرح‌های نمونه‌برداری تصادفی طبقه‌بندی‌شده یا تصادفی-سیستماتیک می‌تواند به کاهش سوگیری و افزایش نمایندگی داده‌ها کمک کند (Thompson, 2015). دوم، گزینش و واسنجی درست ابزارهای اندازه‌گیری اهمیّت دارد، زیرا ابزارهای بدون واسنجی مناسب می‌توانند خطاهای نظام‌مند ایجاد کنند.

در مرحله واکاوی داده، بهره‌گیری از روش‌های آماری پیشرفته می‌تواند نقش مهمی در مدیریت نبود قطعیت داشته باشد. برای نمونه، روش‌های واکاوی حساسیت امکان شناسایی متغیرهایی را فراهم می‌کند که بیشترین تأثیر را بر نتایج دارند. الگوسازی آماری و مکانی مانند رگرسیون چندمتغیره، کریجینگ و الگوهای سلسله‌مراتبی نیز به پژوهشگر اجازه می‌دهند تا تغییرهای مکانی-زمانی و خطاهای نمونه‌برداری را بهتر مدیریت کند (Guisan & Zimmermann, 2000). افزون بر این، استفاده از روش‌های اعتبارسنجی تقاطعی[1] و تقسیم داده به مجموعه‌های آموزش و آزمون می‌تواند در ارزیابی دقت الگوها و کاهش نبود قطعیت پیش‌بینی‌ها مؤثر باشد.

در پایان، مستندسازی دقیق فرایند نمونه‌برداری، شفاف‌سازی منابع احتمالی خطا و گزارش مقدار نبود قطعیت در نتایج از الزام‌های پژوهش‌های محیطی است. این اقدام‌ها نه‌تنها توانایی بازتولید داده‌ها را افزایش می‌دهند، بلکه امکان مقایسه یافته‌ها در پژوهش‌های مختلف و در مقیاس‌های زمانی و مکانی متفاوت را نیز فراهم می‌کند (Beven, 2023).

نتیجه‌گیری

نمونه‌برداری و تولید داده‌های دقیق و با اعتبار زیاد، اساس هر پژوهش علمی است. در علوم محیطی و به‌ویژه بوم‌نظام‌های مرتعی، از آن‌جا که شرایط محیطی و پوشش گیاهی در زمان و مکان متغیر هستند و پیچیدگی زیادی در بوم‌نظام در ارتباط‌های بین متغیرهای بوم‌شناختی وجود دارد، ضروری است که سیستم نمونه‌برداری مناسبی متناسب با این شرایط طراحی شود.

در پژوهش‌های بوم‌شناسی با چالش‌های زیادی از جمله ناهمگنی مکانی و زمانی، محدودیت دسترسی به واحدهای نمونه‌برداری، هزینه زیاد نمونه‌برداری، خطاهای نمونه‌برداری نبود قطعیت، نادیده گرفتن گونه‌های نادر، تأثیر عامل‌های انسانی و پیچیدگی بوم‌نظام روبه‌رو هستیم. برای رفع این چالش‌ها ضروری است سیستم نمونه‌برداری متناسب با ویژگی‌های بوم‌نظام‌های مرتعی طراحی شود.

در طراحی این سیستم افزون بر این که باید به اصول نمونه‌برداری شامل هدف‌های پژوهش، تعیین واحدهای نمونه‌برداری، مقیاس زمانی و مکانی، ابزار نمونه‌برداری، تعیین اندازه و شمار نمونه، روش نمونه‌برداری، ثبت داده‌های بوم‌شناختی و مدیریت نبود قطعیت و خطاها در نمونه‌برداری توجه کرد، لازم است از روش‌های تلفیقی و همچنین فناوری‌های نوین مانند تصویرهای ماهواره‌ای، پهپادها، حسگرهای زیست‌محیطی، سیستم اطلاعات جغرافیایی و نقشه‌های رقومی استفاده کرد. در این حالت افزون بر کاهش زمان و هزینه نمونه‌برداری، داده‌های دقیق و با اعتبار تولید می‌شوند.

منابع

زارع چاهوکی محمدعلی، ۱۴۰۱. روش تحقیق در علوم محیطی. انتشارات جهاد دانشگاهی تهران، ۲۸۸ صفحه.

Anderson, K. & Gaston, K.J. (2013). Lightweight unmanned aerial vehicles will revolutionize spatial ecology. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 11(3), 138-146.

1. Cross-validation

Beven, K. (2023). Evolving concepts of uncertainty. In J. Wainwright & M. Mulligan (Eds.), *Environmental modelling: Finding simplicity in complexity* (3nd ed., pp. 15-34). John Wiley & Sons, Ltd.

Bivand, R. S., Pebesma, E., & Gómez-Rubio, V. (2013). *Applied spatial data analysis with R* (2nd ed.). New York, NY: Springer, 405 p.

Bonham, C. D. (2013). *Measurements for terrestrial vegetation* (2nd ed.). Hoboken, NJ: Wiley-Blackwell, 246 p.

Chytrý, M., Hennekens, S.M., Jiménez-Alfaro, B., Knollová, I., Dengler, J. *et a*l. (2020). European Vegetation Archive (EVA): New developments and applications in vegetation science. *Journal of Vegetation Science*, 31(4), 733-735.

Environmental Systems Research Institute (ESRI). (2020). *ArcGIS Desktop: Release 10.8*. Redlands, CA: Author.

Guisan, A. & Zimmermann, N.E. (2000). Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling*, 135(2-3), 147-186.

Harris, M., & King, R. (2021). Utilizing sensor networks for environmental monitoring. *Environmental Monitoring*, 37(4), 202-214.

Higgins, K.F. (2020). Vegetation sampling and management. In: Wildlife Techniques Manual. Mörsdorf, M. A., *et al.* (2015). Definition of sampling units begets conclusions in ecology. *Ecological Indicators*, 57, 556-559.

Jensen, J.R. (2015). *Introductory digital image processing: A remote sensing perspective* (4th ed.). Boston, MA: Pearson Education, Inc, 623 p.

Kent, M. (2012). *Vegetation description and data analysis: A practical approach* (2nd ed.). Hoboken, NJ: Wiley-Blackwell. 414 pp.

Krebs, C.J. (2014). *Ecological methodology* (3rd ed.). Boston, MA: Pearson Education, Inc. 624 pp.

Legendre, P. & Legendre, L. (2012). *Numerical ecology* (3rd English ed.). Amsterdam, The Netherlands: Elsevier. 1006 pp.

Lillesand, T.M., Kiefer, R.W. & Chipman, J.W. (2015). *Remote sensing and image interpretation* (7th ed.). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons. 720 p.

Lisner, A. (2020). Everyone makes mistakes: A case study of sampling errors in vegetation surveys. *Applied Vegetation Science*, 23(3), 512-520.

Lohr, S.L. (2021). *Sampling: Design and analysis* (3rd ed.). Boca Raton, FL, USA: Chapman & Hall/CRC Press, 674 p.

Longley, P.A., Goodchild, M.F., Maguire, D.J. & Rhind, D.W. (2015). *Geographic Information Science and Systems* (4th ed.). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 477 p.

Mörsdorf, M.A., Ravolainen, V.T., Støvern, L.E., Yoccoz, N.G., Jónsdóttir, I.S. & Bråthen, K.A. (2015). Definition of sampling units begets conclusions in ecology: The case of habitats for plant communities. *Peer Journal*, 3, e815, 1-24.

Regan, H.M., Colyvan, M. & Burgman, M.A. (2002). A taxonomy and treatment of uncertainty for ecology and conservation biology. *Ecological Applications*, 12(2), 618-628.

Sparrow, B.D., McDonald, T. & McIntyre, S. (2020). A vegetation and soil survey method for surveillance monitoring. *Australian Ecology*, 45(1), 157-174.

Thompson, S.K. (2015). *Adaptive sampling*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 265 p.

Turner, W., Rondinini, C., Pettorelli, N., Mora, B., Leidner, A.K. *et al.* (2015). Free and open-access satellite data are key to biodiversity conservation. *Biological Conservation*, 182, 173-176.

Yoccoz, N.G., Nichols, J.D. & Boulinier, T. (2001). Monitoring of biological diversity in space and time. *Trends in Ecology & Evolution*, 16(8), 446-453.

Strategic Research Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources 11(1):31-44 (2026)

Sampling in Environmental Sciences; Principles and Methods with Emphasis on Vegetation and Ecological Factors

Zare Chahouki, M.A.[1, 2]

Sampling in the environmental sciences is recognized as a fundamental basis for collecting reliable data and for analyzing ecological phenomena. This review, with an emphasis on vegetation and associated ecological factors, examines the principles, methods, and challenges of sampling in natural environments. Primary sampling approaches include non-probability (non-random), probability (random), stratified, cluster, spatial, and integrated (hybrid) designs, each is selected according to the conditions and complexity of natural ecosystems, the practical challenges of field data collection, the study's spatiotemporal scale and objectives, and the types of variables under investigation. For the assessment of ecological drivers in plant communities, correct selection of sampling units and instruments, appropriate sampling protocols, and the incorporation of modern technologies such as geographic information systems (GIS) and remote sensing play a central role in reducing measurement error and uncertainty and in increasing data accuracy and precision. Moreover, explicit consideration of spatial heterogeneity and species distributions, temporal replication of sampling, and the determination of optimal sample size and sampling intensity ensure data quality and the generalizability of findings. This review presents an integrated framework for selecting sampling methods that leverages remote sensing and GIS data in vegetation studies of heterogeneous ecosystems, thereby enabling error and uncertainty reduction and cost optimization. The findings indicated that combining traditional field methods with advanced technologies (e.g., GIS and remote sensing), together with adherence to statistical principles and objective-driven study design, not only improves data accuracy but also strengthens the capacity to provide practical management recommendations for the conservation and sustainable management of rangeland ecosystems.

Key words: Environmental monitoring, Natural ecosystems, Novel technologies, Sampling accuracy, Uncertainty.

1. Corresponding author's Email: mazare@ut.ac.ir
2. Professor of University of Tehran, Tehran.

مجله پژوهش‌های راهبردی در علوم کشاورزی و منابع طبیعی جلد ۱۱ شماره ۱ صفحه‌های ۴۵ تا ۶۲ (۱۴۰۵)

پیشران‌های اثرگذار بر تاب‌آوری چایکاران ایران[1]

محمدامین غلام آزاد[2] و محمد کاوسی کلاشمی[3]

چکیده

تاب‌آوری به‌معنای توانایی بقا و رشد در شرایط متغیر است و در رویارویی با تکانه‌هایی همچون تغییر اقلیم، افزایش هزینه نهاده‌های تولید، فراز و فرودهای شدید قیمت خرید تضمینی و بازار آزاد و حضور واسطه‌های بی‌شمار در زنجیره ارزش، نقشی حیاتی دارند. تولید چای در ایران به ویژه با چنین چالش‌هایی روبه‌رو است و همین موضوع ضرورت بررسی پیشران‌های مؤثر بر تاب‌آوری چایکاران را دوچندان می‌کند. هدف پژوهش حاضر، شناسایی و اولویت‌بندی پیشران‌های اثرگذار بر تاب‌آوری چایکاران ایران است که در سال ۱۴۰۴ انجام شد. در این راستا، چهار دسته پیشران اقتصادی، اجتماعی، فنی و فیزیکی در قالب ۲۷ خرده‌پیشران با مشارکت ۱۵ نفر از خبرگان و کارشناسان بررسی‌شد. نتایج نشان دادند که پیشران‌های اقتصادی و بازار (۴۸/۱۳٪) و فنی (۲۵/۸۰٪) بیشترین نقش را در ارتقای تاب‌آوری دارند. بر این پایه، پیشنهاد می‌شود سیاست‌گذاری‌ها با محوریت بازنگری در نظام قیمت‌گذاری و تعیین قیمت تضمینی متناسب با هزینه‌های واقعی تولید به عنوان اصلی‌ترین عامل اقتصادی، همراه با ارتقای مهارت‌های مدیریتی چایکاران به‌عنوان مهمترین پیشران فنی و نوسازی تجهیزات و دارایی‌های فیزیکی دنبال شود، زیرا تمرکز بر این بخش‌ها می‌تواند همزمان پایداری اقتصادی، بهبود بهره‌وری و افزایش تاب‌آوری چایکاران در برابر بحران‌های محیطی و نوسان‌های بازار را تضمین کند.

واژه‌های کلیدی: پرسشنامه، درخت تصمیم، فرایند سلسله مراتبی فازی، نرخ ناسازگاری، نمونه‌گیری هدفمند.

مقدمه

تاب‌آوری[4] در کشاورزی، به توانایی سامانه‌ها برای تحمل، سازگاری و بهبود در برابر انواع تنش‌ها و تکانه‌ها، مانند دگرگونی‌های اقلیمی، نوسان‌های بازار و چالش‌های زیست‌محیطی اشاره دارد (Berbeć, 2024). تاب‌آوری دارای سه ظرفیت کلیدی استحکام، تغییرپذیری و تحول‌پذیری است (Meuwissen *et al*., 2019). در این بین، پایداری به توانایی یک سامانه برای تحمل نارسایی‌ها بدون تغییر چشمگیر اشاره دارد. این ظرفیت نشانگر مقدار فشاری است که یک سامانه می‌تواند پیش از شکست تحمل کند (Walker *et al*., 2004). تغییرپذیری ظرفیت بازیگران درون سامانه برای تنظیم

۱- تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۲/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۳

۲- پست الکترونیک نویسنده مسئول: m.amin.gholamazad@ut.ac.ir

۳- به ترتیب، دانشجوی دکتری دانشگاه تهران و دانشیار دانشگاه گیلان.

4. Resilience

پاسخ‌های خود به شرایط متغیر است که به سامانه اجازه می‌دهد تا تولید و ساختار خود را در طول زمان حفظ کند (Folke *et al*., 2010). تحول‌پذیری نیز عبارتند از توانایی ایجاد یک سامانه جدید، زمانی که آن سامانه به دلیل فشارهای بوم‌شناختی، اقتصادی یا اجتماعی تحمل‌ناپذیر می‌شود (Paas *et al*., 2021).

کشت چای در ایران از نظر اقتصادی و فرهنگی اهمیت زیادی دارد (Rahmani *et al*., 2023). اقلیم مرطوب و خاک حاصلخیز استان‌های گیلان و مازندران شرایط مناسبی برای رشد چای فراهم می‌کند (Khormali *et al*., 2007). از نظر اقتصادی، چایکاری به زندگی محلی کمک کرده و از راه مصرف داخلی و پتانسیل صادرات، در اقتصاد ملی نقش دارد (Shokrzadeh *et al*., 2022). افزون بر این، چای نه تنها یک نوشیدنی اصلی در خانواده‌های ایرانی محسوب می‌شود، بلکه به‌طور ژرف در فرهنگ محلی ریشه دارد و نقش مهمی در آداب و رسوم اجتماعی دارد (Rahmani *et al*., 2023). تاب‌آوری چایکاران نتیجه برهمکنش پیچیده‌ای از عامل‌های محیطی، اقتصادی و اجتماعی است که نیازمند سازگاری و حمایت پیوسته می‌باشد. بررسی‌ها نشان داده‌اند که میانگین کارایی اقتصادی باغ‌های چای در ایران تنها ۶۱٪ است. این آمار نشان می‌دهد که هنوز فضای چشمگیری برای بهبود بهره‌وری و استفاده بهینه از منابع وجود دارد (Ghaderi *et al*., 2019). همچنین، از دیگر چالش‌های پیش روی چایکاران، محدودیت منابع مالی است. بسیاری از آن‌ها با کمبود منابع مالی روبه‌رو هستند که این موضوع توانایی آن‌ها را در سرمایه‌گذاری روی نهاده‌ها و فناوری‌های نوین برای افزایش بهره‌وری کاهش می‌دهد. این چالش مالی، همچنین مانعی جدی بر سر راه گذار به روش‌های کشاورزی پایدار است (Veisi *et al*., 2017). افزایش هزینه‌های مربوط به نهاده‌ها مانند کود، سم‌ها و نیروی کار و دسترسی محدود به فناوری‌های پیشرفته و وابستگی به شیوه‌های سنتی کشت موجب پایین بودن بهره‌وری تولید و تشدید مشکل‌های مالی برای چایکاران می‌شود (Fami *et al*., 2009; Motamed *et al*., 2010; Ghaderi *et al*., 2019) از سوی دیگر، چایکاران با خطر زیاد نوسان‌های قیمت روبه‌رو هستند، به‌طوری که تغییرهای پیوسته در قیمت خرید تضمینی و بازار آزاد، ثبات درآمدی آنان را به شدت زیر تأثیر قرار می‌دهد. این ناپایداری قیمت، انگیزه سرمایه‌گذاری بلندمدت را کاهش داده و آسیب‌پذیری اقتصادی را افزایش می‌دهد (لبابی میرقوامی و همکاران، ۱۳۹۵). افزون بر این، نوسان‌های بازار و تقاضا موجب می‌شود کشاورزان نتوانند برنامه‌ریزی مطمئنی برای تولید و فروش داشته باشند. همچنین، چایکاران از قدرت چانه‌زنی اندکی در زنجیره ارزش برخوردارند. ضعف اتحادیه‌ها و ارتباط ناکافی با مرکزهای قدرت موجب می‌شود که توان دفاع از سودمندی‌ها و دریافت قیمت مناسب کم شود (مؤذن جمشیدی و هاشمی، ۱۴۰۳). ساختار رقابتی بازارهای بین‌المللی و داخلی چای و نبود بازارهای پایدار موجب نبود قطعیت برای چایکاران شده و چالشی دیگر بر سر راه چایکاران ایران است که مانع ورود آن‌ها به این بازارها می‌شود (Hicks, 2009; Fami *et al*., 2009). عامل‌های دیگری مانند سن و تحصیل چایکار، کمبود حمایت‌های نهادی، نبود دسترسی به منابع و آموزش‌های لازم و دشواری‌های تجارت الکترونیک از جمله عامل‌هایی است که موجب کاهش توان رقابتی چایکاران ایرانی در بازارهای بین المللی شده است (Asadihkoob & Ebrahimi, 2014; Ghaderi *et al*., 2019). از دیگر عامل‌هایی که تاب‌آوری چایکاران را در ایران زیر تأثیر قرار می‌دهد چالش‌های محیطی و شیوه‌های کشاورزی است. کشت چای در ایران با دشواری‌هایی مانند آلودگی خاک به فلزهای سنگین و پسماندهای سم‌ها روبه‌رو است که می‌تواند بر سلامت کشاورزان و کیفیت چای تأثیر منفی بگذارد (Ziarati *et al*., 2013). افزون بر این، عامل‌های اقلیمی، به ویژه نوسان‌های دمایی، تأثیر چشمگیری بر سطح تولید و کیفیت چای دارند، در حالی که ویژگی‌های زمین مانند شیب و ویژگی‌های خاک نیز می‌توانند بهره‌وری کشاورزان را محدود کنند (Khormali *et al*., 2007).

پژوهش‌ها درباره تاب‌آوری کشاورزان نشان می‌دهند که عامل‌های مختلفی بر سطح سازگاری و پایداری آن‌ها تأثیر می‌گذارد. یکی از این عامل‌ها، دانش بومی کشاورزان است که نقش مهمی در افزایش تاب‌آوری کشاورزی دارد، زیرا این دانش پویا بوده و با تغییر شرایط سازگار می‌شود و به تاب‌آوری فردی و جمعی در کشت چای کمک می‌کند (Lin *et al*., 2022). همچنین، تغییرهای اقلیمی چالش‌های جدی مانند فرسایش خاک و کاهش بازدهی را برای کشاورزان چای ایجاد کرده است، اما به‌کارگیری روش‌های هوشمند سازگار با تغییرهای اقلیمی، مانند تراس‌بندی و کشت پوششی، می‌تواند تاب‌آوری را در برابر این مشکل‌ها افزایش دهد (Biyagama, 2024). افزون بر این، سرمایه اجتماعی، شامل شبکه‌های ارتباطی و اعتماد میان کشاورزان، نقش اساسی در حفظ همکاری‌ها و افزایش تاب‌آوری دارد، زیرا سرمایه اجتماعی قوی به اشتراک بهتر منابع و حل دشواری‌ها به صورت جمعی کمک می‌کند (Trimerani & Ardiani, 2023). این عامل‌ها در کنار یکدیگر به تاب‌آوری چایکاران کمک کرده و آن‌ها را توانا می‌سازد تا با چالش‌های اقتصادی و محیطی به طور کاراتری روبه‌رو شوند.

پیشران‌های مختلف اجتماعی، اقتصادی، فنی و فیزیکی بر تاب‌آوری بهره‌برداران کشاورزی اثرگذار است. بهبود پیشران‌های اجتماعی تاب‌آوری بر توانایی یک جامعه در رویارویی و سازگاری با تغییرهای اجتماعی اثرگذارند. این پیشران‌ها دربرگیرنده شبکه‌های اجتماعی، ظرفیت‌های اجتماعی جامعه و حمایت‌های نهادی است که به‌طور کلی ظرفیت جامعه را برای پاسخ به چالش‌ها بهبود می‌دهند. بهبود پیشران‌های اجتماعی تاب‌آوری برای رفاه جامعه ضروری است، زیرا امکان پاسخ‌های جمعی به بحران‌ها، مانند بلاهای طبیعی یا ناآرامی‌های اجتماعی-سیاسی را فراهم می‌کند (Carpenter, 2013). پیشران‌های اقتصادی تاب‌آوری بر توانایی یک جامعه در رویارویی با بحران‌ها و چالش‌های اقتصادی از راه استفاده بهینه از منابع برای ایجاد رفاه اجتماعی و اقتصادی اثرگذار است. این پیشران‌ها شامل عامل‌هایی مانند درآمد کشاورزان و دارایی آن‌ها، گوناگونی در منبع درآمد خانواده و حمایت‌های دولتی و سیاست‌های اقتصادی است و به جامعه‌های کشاورزی کمک می‌کند تا در برابر بحران‌هایی مانند رکود مالی و بلاهای طبیعی مقاوم شوند و می‌تواند با تقویت بنگاه‌های کوچک و متوسط و ارائه آموزش‌های مالی بهبود یابد (Sutomo, 2024; Fauzi *et al*., 2025). تقویت پیشران‌های اقتصادی تاب‌آوری موجب ایجاد امنیت غذایی، افزایش کارایی تولیدهای کشاورزی، گوناگونی در تولید محصول‌ها و کاهش خطر ناشی از نوسان‌های بازار و بروز توسعه پایدار، به ویژه در منطقه‌های روستایی که جمعیت فقیر بیشتری را در خود جای داده است، می‌شود (Ding *et al*., 2020; Luo *et al*., 2025; Yao *et al*., 2024). پیشران‌های فیزیکی تاب‌آوری به توانایی بهره‌برداران بخش کشاورزی در رویارویی با چالش‌های محیطی مانند تغییرهای اقلیمی و بلاهای طبیعی اشاره دارد و شامل بُعدهایی است که به جلوگیری از آسیب‌ها و بازگشت به شرایط عادی کمک می‌کند. این پیشران‌ها زیر تأثیر عامل‌هایی مانند گوناگونی کشت، استفاده از فناوری‌های مقاومت در برابر خشکسالی و مدیریت منابع آب قرار دارد که موجب افزایش تاب‌آوری کشاورزان در برابر شرایط نامساعد می‌شود (Ranjan & Athalye, 2009). تقویت تاب‌آوری فیزیکی کشاورزان نه تنها موجب حفظ تولیدهای کشاورزی می‌شود، بلکه به توسعه پایدار جامعه‌های روستایی نیز کمک می‌کند و نیازمند سیاست‌های حمایتی و آموزش‌های مناسب است (Kalogiannidis *et al*., 2023). پیشران‌های فنی تاب‌آوری توانایی بهره‌برداران بخش کشاورزی برای بهره‌گیری از فناوری‌ها و روش‌های نوین برای رویارویی با چالش‌های محیطی، افزایش تولید و مقاومت در برابر تغییرهای اقلیمی و بلاهای طبیعی را بهبود می‌دهد (Kumar *et al*., 2024). از سوی دیگر، پیشران‌های فیزیکی تاب‌آوری شامل مساحت کشتزار، مالکیت زمین، تأسیسات

زهکشی زمین، دسترسی به جاده‌های مناسب و دسترسی به شبکه پایدار توزیع برق تأثیر زیادی بر تاب‌آوری بهره‌برداران بخش کشاورزی دارند (Jayadas & Ambujam, 2021).

تاب‌آوری کشاورزی در دهه‌های اخیر در نوشته‌های علمی به عنوان یکی از محورهای اصلی پایداری و توسعه روستایی مطرح بوده و پژوهشگران داخلی و خارجی از رویکردهای گوناگون برای بررسی آن بهره گرفته‌اند. در ایران، شاکری بستان‌آباد و همکاران (۱۴۰۰) با استفاده از داده‌های زمانی و شاخص‌های اقتصادی در دوره ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۴، کاهش تاب‌آوری اقتصادی کشاورزی را گزارش نموده و عامل‌هایی چون بی‌ثباتی درآمد، تمرکز صادرات و ضعف در کنترل فساد را مهمترین متغیرهای اثرگذار دانستند. همچنین، احسانی و شکوهی (۱۴۰۱) با به‌کارگیری یک شاخص ترکیبی متشکل از ۳۶ متغیر در شش جنبه اقلیمی، جمعیت‌شناختی، تولیدی، اقتصادی، زیرساختی و زیست‌محیطی و با تکیه بر روش واکاوی سلسله مراتبی، تاب‌آوری کشاورزی استان‌های ایران را سنجیدند. نتایج ایشان تفاوت معنادار میان استان‌ها را آشکار ساخت، به‌گونه‌ای که گیلان و هرمزگان دارای بیشترین مقدار تاب‌آوری و قم در کمترین سطح قرارگرفت. در پژوهش‌های جدیدتر، استفاده از الگوهای پیشرفته واکاوی داده افزایش یافته است. دماوندی و همکاران (۱۴۰۳) با بهره‌گیری از الگوسازی معادله‌های ساختاری SEM[1] نشان دادند که سرمایه‌های فیزیکی-زیربنایی و انسانی نقش تعیین‌کننده‌ای در تاب‌آوری خانوارهای روستایی همدان در شرایط فقر آبی دارند. همچنین معتمد و همکاران (۱۴۰۲) با استفاده از پرسشنامه‌های مقایسه زوجی و به‌کارگیری فرایند واکاوی سلسله مراتبی خاکستری، پیشران‌های مؤثر بر تاب‌آوری شالیکاران گیلان را شناسایی و اولویت‌بندی کردند و دریافتند که جنبه اقتصادی با سهمی معنادار، مهمترین و جنبه فیزیکی کم‌اهمیت‌ترین معیار تاب‌آوری است. در سطح بین‌المللی نیز روش‌شناسی‌های گوناگونی برای بررسی تاب‌آوری به‌کار رفته است. Lin *et al*. (2022) در چین با رویکرد کیفی و با بهره‌گیری از مشاهده مشارکتی و مصاحبه‌های ژرف، نشان دادند که دانش بومی و تجربه‌های روزانه کشاورزان مانند یک منبع پویا، به بهبود تاب‌آوری فردی و جمعی و همچنین به پایداری بازاریابی و هویت‌بخشی اجتماعی کمک می‌کند. Jayadas & Ambujam (2021) در هند با توسعه شاخص تاب‌آوری کشاورزان متشکل از ۱۸ پارامتر و ۵۵ متغیر در چهار جنبه اقتصادی، اجتماعی، فنی و فیزیکی نشان دادند که سطح تاب‌آوری در میان کشاورزان خرد، پایین‌تر است و ضعف اقتصادی و موقعیت جغرافیایی نامساعد از مهمترین مانع‌ها محسوب می‌شوند. در پژوهشی دیگر، Tanuputri & Bai, (2023) در اندونزی با استفاده از واکاوی موردی و واکاوی فرایند کسب و کار، چالش‌های زنجیره تأمین چای را بررسی کرده و بر ضرورت واکاوی آسیب‌پذیری، همکاری در زنجیره تأمین و کنترل‌های دولتی در ایجاد یک زنجیره مقاوم تأکید کردند. در نپال نیز، یک بررسی بر پایه پیمایش پرسشنامه‌ای و واکاوی رگرسیون چندگانه و لجستیک نشان داد که منابع اطلاعاتی، آموزش و دسترسی به اعتبارهای نهادی از عامل‌های کلیدی در افزایش ظرفیت تطبیقی کشاورزان خُرد به شمار می‌روند. افزون بر این، Kuo & Boseley (2024) در تایوان با رویکرد ترکیبی کمی-کیفی، تهدیدهای اقلیمی کشاورزان چای را بررسی و خشکسالی را اصلی‌ترین دغدغه شناسایی کرده و گوناگون‌سازی محصول‌ها و استفاده از کشت‌های دوستدار محیط‌زیست را مهمترین راهبرد رویارویی معرفی کردند.

مرور بررسی‌های گذشته نشان می‌دهد که گرچه پژوهش‌های گوناگونی به موضوع تاب‌آوری کشاورزی پرداخته‌اند، اما تاکنون بررسی جامعی در زمینه تاب‌آوری چایکاران ایران صورت نگرفته است. این در حالی است که چای یکی از محصول‌های راهبردی کشور به شمار می‌رود و زندگی هزاران خانوار روستایی در استان‌های شمالی به آن وابسته است. نوسان‌های قیمت خرید تضمینی، وابستگی به بازار محدود داخلی، افزایش هزینه نهاده‌ها و حضور پررنگ واسطه‌ها،

1. Structural equation modeling

شرایطی را ایجاد کرده است که چایکاران بیش از سایر گروه‌های کشاورزی در برابر آسیب‌های اقتصادی قرارگیرند. افزون بر این، ویژگی‌های اقلیمی خاص منطقه‌های چایکاری و تأثیرپذیری بالای این محصول از تغییرهای اقلیمی، آسیب‌پذیری دو برابری را به وجود آورده است. از سوی دیگر، نقش دیرینه چای در فرهنگ و هویت محلی موجب می‌شود که هرگونه تضعیف این بخش پیامدهایی فراتر از اقتصاد داشته باشد و بر همبستگی اجتماعی جامعه‌های روستایی نیز تأثیرگذار باشد. در چنین شرایطی، یکی از مهمترین راهکارهای بهبود تاب‌آوری چایکاران، شناسایی و اولویت‌بندی پیشران‌های تأثیرگذار بر آن است. بر این پایه، پژوهش حاضر با استفاده از فرایند واکاوی سلسله مراتبی فازی FAHP[1] به شناسایی و اولویت‌بندی پیشران‌های کارا بر تاب‌آوری چایکاران پرداخته است. سودمندی اصلی این روش در این است که در شرایطی که اطلاعات با نبود اطمینان همراه است، امکان رتبه‌بندی دقیق‌تر و تمایز روشن‌تر میان معیارها را فراهم می‌سازد. برای گردآوری داده‌ها، ابتدا با مرور گسترده پژوهش‌های پیشین و سپس اجرای گروه خبرگان، پرسشنامه‌های مقایسه زوجی در اختیار گروهی از متخصصان قرار گرفت. گزینش خبرگان به روش نمونه‌گیری هدفمند انجام شد و شامل کارشناسان سازمان جهاد کشاورزی استان گیلان، اعضای هیأت علمی دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان و پژوهشگران مؤسسه تحقیقات چای کشور بود. در پایان، معیارها و زیرمعیارها با بهره‌گیری از روش فرایند واکاوی سلسله مراتبی فازی رتبه‌بندی شد. شناسایی این پیشران‌ها و برنامه‌ریزی درست در راستای اجرای سیاست‌های پیشنهادی می‌تواند زمینه‌ساز بهبود تاب‌آوری چایکاران و تقویت پایداری این صنعت در ایران باشد.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر از دید ماهیت در ردیف پژوهش‌های کاربردی ـ توصیفی (واکاوی) قرار می‌گیرد و هدف آن شناسایی و اولویت‌بندی پیشران‌های مؤثر بر تاب‌آوری چایکاران ایران است. ابزار اصلی گردآوری داده‌ها، پرسشنامه مقایسه‌های زوجی بر پایه مقیاس نه‌تایی عددهای فازی بود که روایی آن بر پایه مبانی نظری و نظر خبرگان تأیید شد. برای گردآوری داده‌ها، مصاحبه‌های حضوری و چهره‌به‌چهره با خبرگان برگزیده (شامل پژوهشگران مؤسسه تحقیقات چای کشور، اعضای هیئت‌های علمی دانشگاه‌های مرتبط و کارشناسان سازمان جهاد کشاورزی استان گیلان) انجام‌شد. پرسشنامه‌ها توسط خبرگان تکمیل گردید و در پایان، اطلاعات جمع‌آوری‌شده بر مبنای مقایسه‌های زوجی با استفاده از فرایند واکاوی سلسله مراتبی فازی تجزیه و واکاوی شد.

برای شناسایی و واکاوی پیشران‌ها می‌توان از رویکردهای گوناگونی بهره گرفت. برخی از روش‌ها مانند واکاوی عاملی و دیگر فنون اکتشافی بیشتر برای استخراج و شناسایی عامل‌های پنهان میان متغیرها به‌کار می‌روند و امکان آشکارسازی بُعد زیربنایی را فراهم می‌سازند. در مقابل، از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره MCDM[2] همچون AHP، فرایند واکاوی سلسله مراتبی فازی و BWM[3] بیشتر با هدف رتبه‌بندی و اولویت‌بندی پیشران‌ها استفاده می‌شوند. این دسته از روش‌ها، به دلیل نیاز به داده‌های کمتر، شفاف و قابل پیگیر بودن و ارائه نتایج معتبر و قابل اعتماد، بیش از سایر روش‌ها در پژوهش‌های مشابه مورد توجه قرارگرفته‌اند (Emrouznejad & Ho, 2018).

Saaty (1977) روش AHP رایج را ارائه کرد که با وجود محبوبیت، دارای کاستی‌هایی است. این روش، توانا به مدل‌سازی ناروشنی‌های ذاتی نبوده و در تبدیل ادراک‌های کیفی به مقدارهای کمی، دقت کافی ندارد. وابستگی شدید به داوری‌های انسانی، از دیگر محدودیت‌های آن محسوب می‌شود. برای حل این دشواری‌ها، نسخه فازی فرایند واکاوی

1. Fuzzy analytic hierarchy process 2. Multiple criteria decision making 3. Best-worst method

سلسله مراتبی فازی ابداع شدکه از ترکیب دو چارچوب شامل ساختار سلسله مراتبی AHP و نظریه مجموعه‌های فازی ساخته شده است (Bozdag *et al*., 2003).

تفاوت اصلی این دو روش در تعریف توابع عضویت است. در نسخه رایج، مقدارهای قطعی (۰ یا ۱) و در نسخه فازی، طیف پیوسته [۰،۱] است. این ویژگی به تصمیم‌گیرندگان اجازه می‌دهد که **۱**- نبود قطعیت را در الگوسازی در نظر گیرند، **۲**- دامنه ارزشیابی را انعطاف‌پذیر تعیین نمایند و **۳**- پدیده‌های مبهم واقعی را بهتر شبیه‌سازی کنند. روش فرایند واکاوی سلسله مراتبی فازی امکان تبدیل داوری‌های کیفی کارشناسان به عددهای فازی را فراهم می‌سازد. در این روش، مقایسه‌های زوجی با عددهای فازی انجام می‌شود، برتری‌ها به صورت مقدارهای فازی مثلثی بیان می‌گردند، مقدارهای قطر اصلی ماتریس به صورت (۱، ...، ۱) تعریف می‌شوند. سودمندی کلیدی این روش، نمایش طیف نبود قطعیت در ارزیابی‌ها می‌باشد. در سال ۱۹۹۶، روش واکاوی توسعه‌ای به‌عنوان رویکردی کاربردی برای پردازش داده‌های فازی در تصمیم‌گیری معرفی شد که دقت واکاوی‌ها را بهبود می‌بخشد (Chang, 1996; Zou *et al*., 2013؛ مؤمنی، ۱۳۸۶). در فرآیند مقایسه‌های زوجی، پژوهشگر می‌تواند از مقیاس‌های ۵، ۷ و یا ۹ تایی بهره گیرد. گزینش طیف ۹ تایی به دلیل جامعیت و دقت بالاتر آن در بازتاب دادن داوری‌های خبرگان بهترین گزینه است. این طیف امکان تفکیک دقیق‌تر شدت برتری‌های زبانی را فراهم کرده و به خبرگان اجازه می‌دهد تا ارزیابی‌های خود را با ظرافت بیشتری بیان نمایند. بنابراین، در پژوهش حاضر، طیف نه‌تایی به عنوان مناسب‌ترین مقیاس برای مقایسه معیارها و زیرمعیارهای درخت تصمیم برگزیده شده است تا توانایی تشخیص و تمایز میان گزینه‌ها با دقت بیشتری انجام شد (Saaty, 2008).

جدول ۱- عددهای فازی، معادل کلامی و مقیاس عددهای فازی در فرایند واکاوی سلسله مراتبی فازی.

عدد فازی	مقیاس کلامی	مقیاس عدد فازی
۱	مساوی	(۱،۱،۱)
۲	اندکی مهمتر	(۱،۲،۳)
۳	کمی برتر	(۲،۳،۴)
۴	ترجیح‌داده‌شده	(۳،۴،۵)
۵	مهم	(۴،۵،۶)
۶	به نسبت مهم	(۵،۶،۷)
۷	خیلی مهم	(۶،۷،۸)
۸	به طور کامل برتر	(۷،۸،۹)
۹	نهایت اهمیت (عالی)	(۸،۹،۱۰)

برگرفته از: Abdel *et al*. (2001)

در فرایند واکاوی سلسله مراتبی فازی، تصمیم‌گیرندگان برتری‌های خود را با مقایسه‌های زوجی بر پایه عبارت‌های زبانی بیان می‌کنند. این عبارت‌ها به عددهای فازی مثلثی با فرمت $M = (l, m, u)$ تبدیل می‌شوند (Emrouznejad & Ho, 2018). عملگرهای اصلی محاسبه‌های فازی عبارتند از:

$$M_1 + M_2 = (l_1+l_2, M_1+M_2, u_1+u_2) \quad \text{رابطه ۱}$$

$$M_1 \times M_2 = (l_1 \times l_2, M_1 \times M_2, u_1 \times u_2) \quad \text{رابطه ۲}$$

$$M^{-1} = (\frac{1}{u_1}, \frac{1}{m_1}, \frac{1}{l_1}) \quad \text{رابطه ۳}$$

که در آن l، حد پایین. m، مقدار مرکزی و u، حد بالا را نشان می‌دهند.

در گام‌های زیر، فرایند واکاوی سلسله مراتبی فازی به صورت ساختاریافته اجرا می‌شود.

گام اول، تشکیل ساختار سلسله مراتبی- در این گام درخت تصمیم شامل هدف، معیارها و گزینه‌ها ترسیم و مقایسه‌های زوجی بین عنصرهای هر سطح توسط خبرگان انجام می‌شود (اصغرپور، ۱۴۰۲).

گام دوم، محاسبه‌های فازی- در این گام نظرهای خبرگان به عددهای فازی مثلثی (l,m,u) تبدیل و ماتریس‌های مقایسه زوجی فازی تشکیل شده و مقدارهای ترکیبی هر سطر (S_k) با رابطه (۴) محاسبه می‌شود.

رابطه ۴
$$S_k = \sum_{j=1}^{n} M_{kl} \times \left[\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} M_{ij}\right]^{-1}$$

که k نمایانگر شماره سطر در ماتریس مقایسه زوجی است و i و j به ترتیب نشانگر گزینه‌ها و شاخص‌ها هستند.

گام سوم، مقایسه و وزن‌دهی- در این گام مرحله‌های زیر به ترتیب انجام می‌شود (Emrouznejad & Ho, 2018):

۱- محاسبه درجه بزرگی نسبی (V) برای عددهای فازی.

رابطه ۵
$$V = (M_1 \geq M_2) = \begin{cases} 1 & if \quad m_1 \geq m_2 \\ \dfrac{u_1 - l_2}{(u_1 - l_2) + (m_2 - m_1)} & otherwise \end{cases}$$

۲- تعیین وزن نهایی شاخص‌ها (Peng *et al.*, 2026)

رابطه ۶
$$W'(x_i) = \min\{V(S_i \geq S_k)\}, \quad k = 1,...,n, k \neq i$$

۳- نرمال‌سازی وزن‌ها به‌صورت بردار (مؤمنی، ۱۳۸۶)

رابطه ۷
$$W' = [W'(C_1), W'(C_2), ..., W'(C_n)]^T$$

گام چهارم، تخصیص و محاسبه سطح‌های اطمینان در فرایند واکاوی سلسله مراتبی فازی- در این گام، برای ارتقای دقت نتایج، مقدار اطمینان هر یک از خبرگان نسبت به داوری‌های خود در مقایسه‌های زوجی مشخص شد. برای این منظور، سه سطح اطمینان در نظر گرفته شد که شامل اطمینان بالا[1] (۱)، اطمینان متوسط[2] (۰/۵) و اطمینان پایین[3] (۰) بود (اصغرپور، ۱۴۰۲). سپس این مقدارها در قالب یک ماتریس اختصاصی سازماندهی شدند که از نظر ساختاری مشابه ماتریس مقایسه‌های زوجی است. در ادامه، با استفاده از روش پیشنهادی Emrouznejad & Ho (2018)، وزن نهایی هر تصمیم‌گیرنده متناسب با سطح اطمینان او محاسبه شد. بدین ترتیب، نظرهای خبرگانی که با سطح اطمینان بیشتری داوری کرده بودند، در محاسبه‌های نهایی وزن بیشتری دریافت نموده و بدین وسیله اعتبار نتایج حاصل از الگو افزایش یافت.

گام پنجم، محاسبه وزن‌های نهایی در فرایند واکاوی سلسله مراتبی فازی گروهی- در این مرحله، برای به‌دست‌آوردن وزن‌های نهایی، نتایج حاصل از مقایسه‌های زوجی تمامی خبرگان با یکدیگر ادغام شدند. بدین منظور، وزن‌های محلی هر تصمیم‌گیرنده با در نظر گرفتن مقدار اعتبار و سطح اطمینان او ترکیب گردید تا وزن نهایی معیارها و زیرمعیارها به صورت گروهی محاسبه شود. این رویکرد موجب می‌شود نظرهای خبرگان به شکلی یکپارچه و منسجم در الگو در نظر گرفته شده و برآیند داوری‌ها دقت و اعتبار بیشتری پیدا کند (مومنی، ۱۳۸۶).

گام ششم، رتبه‌بندی پیشران‌های تاب‌آوری- گام آخر بر پایه بررسی موردی در این پژوهش بوده و شامل مرحله‌های اجرایی زیر است:

1. High confidence 2. Average confidence 3. Low confidence

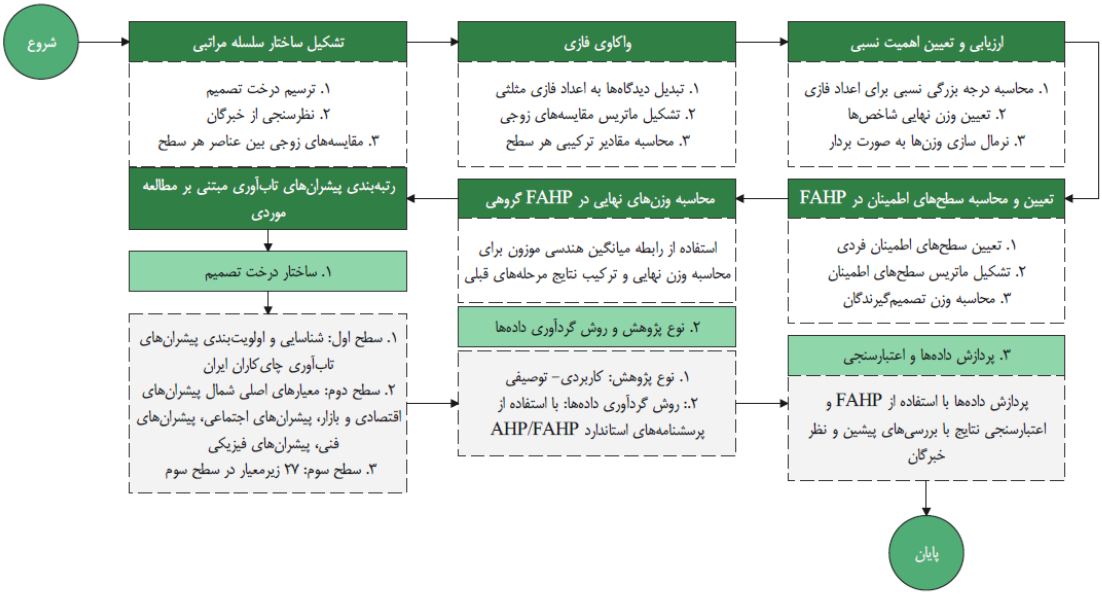
۱- ساختار درخت تصمیم که شامل سطح اول یعنی سطح هدف (شناسایی و اولویت‌بندی پیشران‌های تاب‌آوری چایکاران گیلان)، سطح دوم که شامل چهار معیار اصلی پیشران‌های اقتصادی و بازار {با هفت زیرمعیار (A1-A7)}، پیشران‌های اجتماعی {با هفت زیرمعیار (B1-B7)}، پیشران‌های فنی {با هشت زیرمعیار (C1-C8)}، پیشران‌های فیزیکی {با پنج زیرمعیار (D1-D5)} و در مجموع ۲۷ زیرمعیار در سطح سوم است.

۲- این پژوهش از نوع کاربردی-توصیفی (واکاوی) بوده و روش جمع‌آوری داده‌ها به‌صورت میدانی بود که با انجام ۸۶ مقایسه زوجی که در نظرسنجی از ۱۵ خبره در زمستان ۱۴۰۳ و با استفاده از پرسشنامه‌های استاندارد AHP/FAHP جمع‌آوری شده است (Saaty, 2008, Saaty & Peniwati, 2008).

۳- پردازش داده‌ها که از روش فرایند واکاوی سلسله مراتبی فازی برای محاسبه وزن‌های نسبی و پیاده‌سازی مدل در محیط MATLAB استفاده شد.

۴- اعتبارسنجی نتایج با بررسی‌های پیشین که در این راستا از جمع‌بندی پژوهش‌های پیشین (Han *et al*., 2023, Yusriadi *et al*., 2024, Kurlavičius *et al*., 2024) (احسانی و شکوهی، ۱۴۰۱؛ معتمد و همکاران، ۱۴۰۲) و نظر خبرگان این بخش بهره‌گیری شد.

شکل ۱ فرآیند روش فرایند واکاوی سلسله مراتبی فازی را به صورت تصویری نشان می‌دهد.



شکل ۱- فرایند روش فرایند واکاوی سلسله مراتبی فازی.

معیارها و زیرمعیارهای مورد استفاده در پژوهش حاضر به صورت درخت تصمیم در جدول ۲ ارائه شده است. گزینش معیارها و زیرمعیارهای مربوط به تاب‌آوری چایکاران بر مبنای چارچوب‌های نظری معتبر صورت گرفته است. در این میان، نظریه پویایی‌های تطبیقی[1] در تعیین چگونگی سازگاری کشاورزان با تغییرهای محیطی و اجتماعی-اقتصادی در گذر زمان نقش مهمی دارد. این نظریه بر ماهیت چند بُعدی تاب‌آوری شامل بُعدهای بوم‌شناختی، اقتصادی و اجتماعی تأکید دارد و راه را برای شناسایی و گزینش راهبردهای انطباقی واقعی مانند گوناگونی کشت، استفاده از رقم‌های مقاوم به تنش‌های اقلیمی،

1. Adaptive dynamics theory

مدیریت آب و خاک و به‌کارگیری دانش بومی هموار می‌سازد. همچنین، این نظریه بر پویایی و تداوم ارزیابی‌ها و ضرورت توجه به تغییرهای زمانی در ظرفیت تاب‌آوری تأکید دارد (Metz & Geritz, 2010; He *et al*., 2024; McKenzie *et al*., 2024). افزون بر این، نظریه حکمرانی توانمندساز[1] چارچوبی نهادی و سیاستی فراهم می‌آورد که بر سه ظرفیت اصلی تاب‌آوری یعنی مقاومت[2]، انطباق‌پذیری[3] و تحول‌پذیری[4] متمرکز است. بر اساس این رویکرد، معیارها و زیرمعیارها باید بازتاب‌دهنده عامل‌هایی چون انعطاف‌پذیری سیاست‌ها، حمایت نهادی، مشارکت بهره‌وران، مدیریت خطر و تخصیص منابع باشند. چنین نگاهی سبب می‌شود بُعدهای نهادی و سیاستی تاب‌آوری کشاورزان نیز در چارچوب ارزیابی در نظر گرفته شود (Duit *et al*., 2010; Feindt *et al*., 2021).

جدول ۲- درخت تصمیم سلسله مراتبی.

پیشران‌های مؤثر بر تاب‌آوری چایکاران ایران			
اقتصادی و بازار (A)	اجتماعی (B)	فنی (C)	فیزیکی (D)
هزینه فرصت بالای زمین (A1)	سرمایه اجتماعی چایکار (B1)	شناخت انواع محصول‌ها (C1)	ویژگی‌های باغ چای (D1)
درآمد چایکار (A2)	وضعیت تحصیلی چایکار (B2)	دسترسی به ماشین‌های به روز چایکاری (C2)	دسترسی به زیرساخت‌های به روز مانند سامانه‌های آبیاری و زهکشی، شبکه‌های ترابری و وسیله‌های ذخیره‌سازی (D2)
قیمت خرید تضمینی چای (A3)	دسترسی به خدمت‌های ترویج رسمی (آموزش، افزایش مهارت کشاورزی و مانند این‌ها) (B3)	دسترسی به نهاده‌های تولید (C3)	نزدیکی به جاده (D3)
مشارکت چایکار در فعالیت-هایی مانند گردشگری کشاورزی (A4)	انعطاف‌پذیری ذهنی چایکار (توانایی با تغییر شرایط محیطی و مانند این‌ها) (B4)	شناخت انواع شیوه‌های تولید (C4)	عامل‌های فیزیکی دسترسی به برق (D4)
گوناگونی زندگی (فعالیت‌های اقتصادی جایگزین) (A5)	جمعیت چایکاران منطقه (B5)	دسترسی به اطلاعات اقلیمی (C5)	دارایی‌های فیزیکی چایکار مانند ماشین‌ها و مانند این‌ها (D5)
دسترسی به بازار (A6)	تجربه چایکار (B6)	بهره‌گیری از دانش روز دنیا (C6)	
درامد سرانه کشاورزان منطقه (A7)	شمار اعضای خانواده چایکار (B7)	مهارت‌های مدیریتی چایکار (C7)	
		تولید چای (C8)	

برگرفته از: احسانی و شکوهی، ۱۴۰۱؛ Han *et al*., 2023; Motamed *et al*., 2024; Kurlavičius *et al*., 2024; Yusriadi *et al*.,2024

نتایج

وزن‌های محاسبه شده برای معیارها به ترتیب در جدول‌های ۳ تا ۷ آمده است. نتایج جدول ۳ نشان می‌دهند که پیشران‌های اقتصادی و بازار با وزن نسبی ۴۸/۱۳٪ بیشترین اهمیت را در تاب‌آوری چایکاران استان گیلان دارند. این موضوع بیانگر این است که عامل‌های اقتصادی مانند درآمد، قیمت تضمینی و دسترسی به بازار بیش از سایر بُعدهای (اجتماعی، فنی و فیزیکی) بر توان سازگاری و پایداری چایکاران اثرگذار هستند. در مقابل، پیشران‌های اجتماعی با وزن ۱۲/۴۱٪ کمترین سهم را به خود اختصاص داده‌اند و از دید خبرگان، نقش کمتری در مقایسه با سایر بُعدها دارند. این یافته‌ها نشان می‌دهند که تاب‌آوری چایکاران در درجه اول به متغیرهای اقتصادی وابسته است و ضعف در این بخش می‌تواند موجب کاهش توان سرمایه‌گذاری در باغ‌ها، استفاده از نهاده‌های باکیفیت و فناوری‌های نوین شود. این نتیجه با بررسی (2019)

1. Enabling governance theory 2. Robustness 3. Adaptability 4. Transformability

Maltou & Yonas همخوانی دارد که بر اهمیت درآمد کشاورزان و نقش اعتبارها و حمایت‌های دولتی در کاهش خطر تأکید داشتند. با این حال، یافته‌های این پژوهش با برخی از پژوهش‌های پیشین متفاوت است. برای نمونه، در بررسی‌های Limo (2013) و وزیریان و همکاران (۱۳۹۹) بُعد اجتماعی مهمترین عامل تاب‌آوری گزارش شده است. این تفاوت می‌تواند ناشی از تفاوت‌های زمینه‌ای، شرایط اقتصادی و ساختار حمایتی در منطقه‌های مورد بررسی باشد.

جدول ۳- وزن‌های نسبی مربوط به معیارهای درخت تصمیم.

نماد	پیشران	وزن نسبی (درصد)
A	پیشران‌های اقتصادی و بازار	۴۸/۱۳
C	پیشران‌های فنی	۲۵/۸۰
D	پیشران‌های فیزیکی	۱۳/۶۴
B	پیشران‌های اجتماعی	۱۲/۴۱

منبع: یافته‌های پژوهش Inconsistency rate=0.038

در درخت تصمیم برای معیار پیشران‌های اقتصادی و بازار، هفت زیرمعیار تعریف و نتایج حاصل برای وزن این زیرمعیارها در جدول ۴ گزارش شد.

جدول ۴- وزن‌های نسبی مربوط به خرده‌پیشران‌های اقتصادی و بازار درخت تصمیم.

نماد	خرده‌پیشران	وزن نسبی (درصد)
A2	درآمد چایکار	۴۰/۰۴
A3	قیمت خرید تضمینی چای	۲۲/۷۷
A4	مشارکت چایکار در فعالیت‌هایی مانند گردشگری کشاورزی	۱۵/۳۱
A1	هزینه فرصت بالای زمین	۸/۲۹
A5	گوناگونی زندگی (فعالیت‌های اقتصادی جایگزین)	۶/۲۷
A6	دسترسی به بازار	۴/۲۷
A7	درآمد سرانه کشاورزان منطقه	۳

منبع: یافته‌های پژوهش Inconsistency rate = 0.037

یافته‌های جدول ۴ نشان می‌دهند که در میان زیرمعیارهای مرتبط با پیشران‌های اقتصادی و بازار، درآمد چایکار با وزن نسبی ۴۰/۰۴٪ زیادترین اهمیت را دارد. این نتیجه بیانگر این است که سطح درآمد فردی چایکاران تأثیر مستقیم و تعیین‌کننده‌ای بر تاب‌آوری آنان دارد، به گونه‌ای که افزایش درآمد امکان سرمایه‌گذاری در بهبود کیفیت تولید، نوسازی باغ‌ها، استفاده از نهاده‌های باکیفیت و بهره‌گیری از فناوری‌های نوین کشاورزی را فراهم می‌آورد. در مقابل، کم‌بودن سطح درآمد به کاهش توان مالی در مدیریت هزینه‌های تولید، افزایش وابستگی به واسطه‌ها و در نهایت افت کیفیت محصول نهایی می‌انجامد. پس از این، قیمت خرید تضمینی چای با وزن ۲۲/۷۷٪ و مشارکت در فعالیت‌های مکمل مانند گردشگری کشاورزی با وزن ۱۵/۳۱٪ در رتبه‌های بُعدی قرار گرفته‌اند. این موضوع اهمیت سیاست‌های حمایتی دولت و ایجاد فرصت‌های درآمدزایی جایگزین را در تقویت تاب‌آوری چایکاران نشان می‌دهد. در مقابل، درآمد سرانه کشاورزان منطقه با وزن ۳/۰۱٪ کمترین اهمیت را دارد، زیرا آن‌چه بیش از همه در تاب‌آوری مؤثر است، سطح درآمد مستقیم هر چایکار

و نه میانگین درآمد منطقه، است. این یافته‌ها با نتایج بررسی Maltou & Yonas (2019) همسو است. ایشان نیز بر نقش کلیدی درآمد کشاورزان و دسترسی به اعتبارها و حمایت‌های دولتی در کاهش خطر تولید تأکید داشتند. با این حال، نتایج این پژوهش با برخی از بررسی‌های دیگر، از جمله پژوهش عنابستانی و همکاران (۱۳۹۷) که جنبه اقتصادی را کم اهمیت‌ترین عامل در تاب‌آوری روستایی دانسته‌اند، متفاوت است. این تفاوت می‌تواند ناشی از ویژگی‌های خاص بخش چای در گیلان باشد که وابستگی شدیدی به وضعیت اقتصادی و سیاست‌های بازار دارد.

درباره پیشران‌های اجتماعی هفت زیرمعیار در درخت تصمیم در نظر گرفته شد. خروجی وزن‌های مربوط به این زیرمعیارها در جدول ۵ گزارش شده است.

جدول ۵- وزن‌های نسبی مربوط به خرده‌پیشران‌های اجتماعی درخت تصمیم.

نماد	خرده‌پیشران	وزن نسبی (٪)
B6	تجربه چایکار	۳۶/۷۲
B7	شمار اعضای خانواده چایکار	۲۴/۴۶
B3	دسترسی به خدمت‌های ترویج رسمی (آموزش، افزایش مهارت کشاورزی و مانند این‌ها)	۱۶/۹۰
B1	سرمایه اجتماعی چایکار	۱۱/۲۵
B2	وضعیت تحصیلی چایکار	۴/۸۲
B4	انعطاف‌پذیری ذهنی چایکار (توانایی با تغییر شرایط محیطی و مانند این‌ها)	۳/۳۳
B5	جمعیت چایکاران منطقه	۲/۴۹

منبع: یافته‌های پژوهش Inconsistency rate = 0.053

نتایج نشان می‌دهند که در میان زیرمعیارهای اجتماعی، تجربه چایکار با وزن نسبی ۳۶/۷۲٪ بیشترین اهمیت را از نظر خبرگان دارد. این یافته نشانگر این است که دانش و مهارت‌های تجربی نقشی کلیدی در مدیریت بهینه باغ‌های چای، استفاده مؤثر از نهاده‌ها، رویارویی با آفت‌ها و بیماری‌ها و ارتقای کیفیت محصول نهایی دارند. در واقع، چایکاران باتجربه نسبت به کشاورزان تازه‌کار با چالش‌های کمتری در بخش‌هایی مانند مدیریت مصرف نهاده‌ها، کنترل آفت‌ها و بیماری‌ها، کاهش پسماندها و تضمین کیفیت محصول روبه‌رو هستند. برخورداری از تجربه بیشتر به افزایش بهره‌وری، کاهش هزینه‌های اضافی و بهبود روش‌های برداشت و فرآوری می‌انجامد و از این راه تاب‌آوری اقتصادی و معیشتی کشاورزان تقویت می‌شود. در مقابل، کمبود تجربه و دانش عملی در میان چایکاران تازه‌کار، آن‌ها را در برابر چالش‌های گوناگونی همچون کاهش کیفیت محصول، کاهش تولید و افزایش وابستگی به واسطه‌ها قرار می‌دهد. در مرتبه دوم، شمار اعضای خانواده چایکار با وزن ۲۴/۴۶٪ قرار دارد که نشانگر نقش منابع انسانی خانوار در تأمین نیروی کار و حمایت اجتماعی از فعالیت‌های کشاورزی است. همچنین، دسترسی به خدمات ترویج رسمی (۱۶/۹۰٪) و سرمایه اجتماعی چایکار (۱۱/۲۵٪) در مرتبه‌های بعدی قرار دارند که بیانگر اهمیت آموزش‌های تخصصی و شبکه‌های اجتماعی در انتقال دانش و ارتقای مهارت‌های کشاورزان است. در مقابل، جمعیت چایکاران منطقه با وزن ۲/۴۹٪ کمترین اهمیت را دارد، زیرا شمار کشاورزان به تنهایی نمی‌تواند نقش چشمگیری در تاب‌آوری داشته باشد، مگر این‌که با سرمایه اجتماعی و همکاری‌های سازمان‌یافته همراه باشد. این نتایج با یافته‌های Lin *et al*. (2022) همسو است که بر اهمیت دانش بومی و تجربه‌های روزانه کشاورزان در تقویت تاب‌آوری تأکید کرده‌اند. همچنین، نقش آموزش و خدمت‌های ترویجی در این پژوهش با بررسی‌های Jayadas & Ambujam (2021) همخوانی دارد که نشان دادند آموزش و دسترسی به اطلاعات

می‌تواند سطح تاب‌آوری کشاورزان در برابر دغدغه‌های اقلیمی را بیشتر کند. با این حال، نتایج حاضر با بررسی‌هایی مانند Limo (2013) و وزیریان و همکاران (۱۳۹۹) که بُعد اجتماعی را مهمترین عامل تاب‌آوری دانسته‌اند، تفاوت دارد، زیرا در این پژوهش هرچند تجربه فردی اهمیت زیادی دارد، اما در مقایسه با عامل‌های اقتصادی و فنی، بُعد اجتماعی در مجموع اولویت کمتری دارد.

برای معیار پیشران‌های فنی، هشت زیرمعیار در درخت تصمیم در نظر گرفته شد. وزن نسبی این زیرمعیارها در جدول ۶ آمده است. با توجه به نظر کارشناسان و خبرگان، زیرمعیار مهارت‌های مدیریتی چایکار با وزن نسبی ۳۱/۸۹٪ بیشترین رتبه را به خود اختصاص داد. وزن زیاد این پیشران بیانگر این است که توانایی چایکاران در مدیریت منابع، برنامه‌ریزی، کنترل هزینه‌ها و بازاریابی، نقش کلیدی در افزایش بهره‌وری و کاهش وابستگی به واسطه‌ها دارند. ضعف در مهارت‌های مدیریتی می‌تواند افزایش هزینه‌های تولید، کاهش کیفیت محصول و در نهایت کاهش توان رقابتی می‌انجامد. بنابراین، ارتقای این مهارت‌ها از راه دوره‌های آموزشی و مشاوره‌های تخصصی یکی از کاراترین راهکارها برای تقویت تاب‌آوری چایکاران است. در رتبه‌های بُعدی، تولید چای در واحد سطح با وزن ۲۲٪ و دسترسی به نهاده‌های تولید با وزن ۱۵/۷۹٪ قراردارند که نشان می‌دهد ارتقای بهره‌وری و تأمین نهاده‌های مناسب از دیگر عامل‌های مؤثر بر تاب‌آوری فنی هستند. همچنین، بهره‌گیری از دانش روز دنیا (۱۲/۵۳٪) بیانگر نقش نوآوری و دسترسی به فناوری‌های نوین در پایداری تولیداست. در مقابل، شناخت دیگر شیوه‌های تولید با وزن ۲/۱۰٪ کمترین اهمیت را از دید خبرگان داشته است که می‌تواند ناشی از چیرگی شیوه‌های سنتی و محدودیت در به‌کارگیری روش‌های گوناگون تولید در این بخش باشد. این یافته‌ها با پژوهش Kumar *et al.* (2024) همخوانی دارد که بر اهمیت به کارگیری روش‌های مدیریتی نوین و فناوری‌های سازگار با تغییرهای اقلیمی در ارتقای تاب‌آوری کشاورزی تأکید داشته‌اند. همچنین، نتایج حاضر با نتایج Jayadas & Ambujam (2021) همسو است که دسترسی به نهاده‌ها و اطلاعات محیطی را از عامل‌های کلیدی در افزایش تاب‌آوری کشاورزان برشمرده‌اند. با وجود این، مقایسه این نتایج با پژوهش‌هایی که بُعد اجتماعی یا نهادی را مهمتر دانسته‌اند (وزیریان و همکاران، ۱۳۹۹؛ فتاحی و همکاران، ۱۴۰۲) که نشان می‌دهند که در بخش چای، عامل‌های فنی به ویژه مهارت‌های مدیریتی نقشی برجسته‌تر دارند.

جدول ۶- وزن‌های نسبی مربوط به خرده‌پیشران‌های فنی درخت تصمیم.

نماد	خرده‌پیشران	وزن نسبی (٪)
C7	مهارت های مدیریتی چایکار	۳۱/۸۹
C8	تولید چای	۲۲
C3	دسترسی به نهاده های تولید	۱۵/۷۹
C6	بهره‌گیری از دانش روز دنیا	۱۲/۵۳
C2	دسترسی به ماشین آلات به روز چایکاری	۷/۰۷
C5	دسترسی به داده‌های اقلیمی	۵/۴
C1	شناخت انواع محصول‌ها	۳/۱۸
C4	شناخت انواع شیوه‌های تولید	۲/۱۰

منبع: یافته‌های پژوهش Inconsistency rate = 0.086

پنج زیرمعیار برای پیشران‌های فیزیکی در درخت تصمیم در نظر گرفته شد. مقدارهای وزن‌های محاسبه‌ای برای این زیرمعیارها در جدول ۷ گزارش شد. نتایج حاصل از مقایسه‌های زوجی برای زیرمعیارهای پیشران‌های فیزیکی نشان داد که دارایی فیزیکی چایکار مانند ماشین‌ها و مانند این‌ها با وزن نسبی ۴۸/۶۰٪ بیشترین رتبه را دارد. این نتیجه بیانگر

این است که دسترسی به ماشین‌های به روز و تجهیزات مناسب، نقشی تعیین‌کننده در ارتقای بهره‌وری، کاهش هزینه‌های تولید و بهبود کیفیت محصول دارد. در مقابل، کمبود یا فرسودگی تجهیزات موجب کاهش راندمان، افزایش هزینه‌های تولید و وابستگی بیشتر به نیروی کار سنتی می‌شود. از این رو، حمایت‌های دولتی و نهادی در زمینه ارائه کمک‌های مالی برای نوسازی ماشین‌ها می‌تواند نقش مهمی در افزایش تاب‌آوری چایکاران داشته باشد. پس از آن، دسترسی به زیرساخت‌های به روز مانند سامانه‌های آبیاری و زهکشی، شبکه‌های ترابری و تأسیسات ذخیره‌سازی با وزن ۲۷/۲۶٪ در مرتبه دوم اهمیت قرار گرفته است. این موضوع نشان می‌دهد که بهبود زیرساخت‌های پایه می‌تواند ظرفیت تولید و پایداری فعالیت‌های کشاورزی را به طور چشمگیری افزایش دهد. همچنین، ویژگی‌های باغ چای (۱۳/۶۸٪) و نزدیکی به جاده (۶/۰۹٪) در مرتبه‌های بُعدی قرار دارند که بیانگر نقش شرایط فیزیکی زمین و آسانی دسترسی به بازارهای محلی در تقویت تاب‌آوری است. در مقابل، دسترسی به برق با وزن ۴/۳۵٪ کمترین اهمیت را داشته است، زیرا این عامل به طور نسبی در منطقه مورد بررسی کمتر با محدودیت روبه‌رو بوده و تأثیر کمتری بر تاب‌آوری کشاورزان دارد. این یافته‌ها با نتایج Kalogiannidis *et al*. (2023) و همچنین پژوهش Ranjan & Athalye (2009) همخوانی دارد که بر اهمیت زیرساخت‌های فیزیکی و فناوری‌های مقاوم در برابر تغییرهای اقلیمی در ارتقای تاب‌آوری کشاورزان تأکید داشته‌اند. در جمع، می‌توان بیان کرد که ارتقای تاب‌آوری فیزیکی چایکاران نیازمند تدوین و اجرای سیاست‌های حمایتی در سه محور اساسی شامل نوسازی و به‌روزرسانی ماشین‌ها و تجهیزات کشاورزی، توسعه و بهبود زیرساخت‌های پایه‌ای به ویژه سامانه‌های آبیاری و شبکه‌های ترابری و همچنین، ارتقای ویژگی‌ها و شرایط باغ‌های چای می‌باشد. برآوری این اقدام‌ها می‌تواند به‌طور مستقیم به افزایش بهره‌وری، بهبود کارایی و تقویت پایداری تولید چای شود.

جدول ۷- وزن‌های نسبی مربوط به خرده‌پیشران‌های فیزیکی درخت تصمیم

نماد	خرده‌پیشران	وزن نسبی (٪)
D5	دارایی‌های فیزیکی چایکار مانند ماشین‌ها و مانند این‌ها	۴۸/۶۰
D2	دسترسی به زیرساخت‌های نوین مانند سامانه‌های آبیاری و زهکشی، شبکه‌های ترابری و تأسیسات ذخیرسازی	۲۷/۲۶
D1	ویژگی‌های باغ چای	۱۳/۶۸
D3	نزدیکی به جاده	۶/۰۹
D4	عامل‌های فیزیکی دسترسی به برق	۴/۳۵

منبع: یافته‌های پژوهش

Inconsistency rate = 0.026

نتیجه‌گیری و پیشنهادهای سیاستی

تاب‌آوری چایکاران یکی از عامل‌های کلیدی در حفظ و توسعه پایدار صنعت چای ایران است. با توجه به نقش اساسی این صنعت در اقتصاد محلی و تأمین زندگی هزاران خانوار، شناسایی و تقویت پیشران‌های مؤثر بر تاب‌آوری چایکاران از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این پیشران‌ها می‌توانند با بهبود شرایط تولید، افزایش بهره‌وری، کاهش آسیب‌پذیری اقتصادی و توانمندسازی چایکاران در رویارویی با چالش‌های محیطی و بازار، به پایداری این بخش کمک کنند. بررسی و تقویت این عامل‌ها نه‌تنها موجب حفظ جایگاه صنعت چای در اقتصاد ملی خواهدشد، بلکه به توسعه روستایی و افزایش امنیت معیشتی چایکاران نیز می‌انجامد.

در پژوهش حاضر با در نظر گرفتن پیشران‌های اقتصادی و بازار، اجتماعی، فنی و فیزیکی به عنوان معیارهای درخت تصمیم و شناسایی ۲۷ زیرمعیار، رتبه‌بندی این پیشران‌ها بر پایه مقایسه‌های زوجی خبرگان نمونه و کاربرد رهیافت واکاوی سلسله مراتبی فازی صورت گرفت. شناسایی این پیشران‌ها گامی مهم در راستای تدوین بسته سیاستی مناسب جهت رونق و توسعه تولید چای و بهبود تاب‌آوری چایکاران در ایران است. نتایج بررسی حاضر نشان می‌دهند که سیاست‌گذاران می‌توانند با تمرکز بر سه محور اصلی، به بهبود شرایط چایکاران و تقویت پایداری این صنعت کمک کنند.

۱- تقویت بنیان‌های اقتصادی و افزایش پایداری درآمدی- نتایج پژوهش حاضر نشان دادند که پیشران‌های اقتصادی و بازار با سهم ۴۸/۱۳٪ بیشترین نقش را در تاب‌آوری چایکاران دارند. در این میان، درآمد و قیمت تضمینی مهمترین زیرمعیارها بودند. بنابراین، بازنگری در نظام قیمت‌گذاری و همخوانی آن با هزینه‌های واقعی تولید، به همراه سازوکارهایی برای کاهش وابستگی درآمدی به واسطه‌ها، می‌تواند امنیت اقتصادی و تاب‌آوری معیشتی چایکاران را به شکل معناداری افزایش دهد.

۲- **ارتقای مهارت‌های مدیریتی برای بهبود بهره‌وری**- پیشران‌های فنی با سهم ۲۵/۸٪ در جایگاه دوم اهمیت قرار گرفتند. مهارت‌های مدیریتی چایکاران در این بُعد نقش محوری داشت. طراحی و اجرای برنامه‌های آموزشی در زمینه مدیریت کشتزار، مدیریت هزینه‌ها و استفاده از فناوری‌های نوین تولید، از الزام‌های اساسی برای ارتقای ظرفیت مدیریتی و افزایش تاب‌آوری چایکاران است.

۳- **نوسازی و تقویت دارایی‌های فیزیکی**- پیشران‌های فیزیکی با سهم ۱۳/۶٪، نشانگر اهمیت زیرساخت‌ها و تجهیزات در تاب‌آوری هستند. نتایج بر نقش دارایی‌های فیزیکی به عنوان عامل کلیدی تأکید داشت. نوسازی تجهیزات و تأمین ماشین‌های مورد نیاز باغ‌های چای، نه تنها بهره‌وری تولید را افزایش می‌دهد، بلکه مقاومت چایکاران در برابر بحران‌ها را نیز تقویت می‌کند.

۴- **به‌کارگیری تجربه‌های بومی برای افزایش تاب‌آوری اجتماعی**- پیشران‌های اجتماعی با سهم ۱۲/۴٪ در مرتبه چهارم قرار گرفتند و تجربه چایکاران مهمترین زیرمعیار بود. بهره‌گیری از دانش و تجربه‌های بومی کشاورزان در برنامه‌ریزی‌ها و سیاست‌گذاری‌ها می‌تواند حس اعتماد و انسجام اجتماعی را تقویت کند و زمینه‌ساز افزایش تاب‌آوری فردی و جمعی شود.

به‌طور کلی، نتایج حاضر نشان می‌دهند که تمرکز بر تقویت درآمد و قیمت‌گذاری عادلانه، ارتقای مهارت‌های مدیریتی، نوسازی دارایی‌های فیزیکی و بهره‌گیری از تجربه‌های محلی می‌تواند چارچوبی کارآمد برای افزایش تاب‌آوری چایکاران فراهم آورد. اتخاذ سیاست‌های همخوان با این محورها نه تنها موجب ارتقای پایداری صنعت چای کشور خواهد شد، بلکه امنیت معیشتی خانوارهای وابسته به آن را نیز تضمین می‌کند.

منابع

احسانی، مریم؛ شکوهی، زینب. (۱۴۰۱). برآورد شاخص تاب آوری کشاورزی ایران در برابر تغییرهای اقلیمی. *مجله پژوهش های راهبردی در علوم کشاورزی و منابع طبیعی*، ۷(۱)، ۶۳-۷۸. از: doi: 10.22047/srjasnr.2022.147432

اصغرپور، محمدجواد. (۱۴۰۲). تصمیم‌گیری چندمعیاره. چاپ اول، انتشارات دانشگاه تهران. ص ۴۱۲.

دماوندی، عاطفه؛ سعدی، حشمت‌اله؛ نادری مهدی، کریم. (۱۴۰۳). سنجش و تحلیل تاب‌آوری خانوارهای روستایی استان همدان در برابر فقر آب کشاورزی. *جغرافیا و توسعه*، ۲۲(۷۴)، ۱۱۱-۱۳۸.

شاکری بستان آباد، رضا؛ مهدیار اسماعیلی، محمد رضا؛ صالحی کمرودی، محسن. (۱۴۰۰). تاب آوری اقتصادی بخش کشاورزی ایران. *فصلنامه علمی -پژوهشی تحقیقات اقتصاد کشاورزی*، ۱۳(۴)، ۴۱-۵۹. از: doi: 10.30495/jae.2021.20982.2000

عنابستانی، علی‌اکبر؛ جوانشیری، مهدی؛ محمودی، حمیده؛ دربان آستانه، محمدرضا. (۱۳۹۷). تحلیل فضایی سطح تاب‌آوری سکونتگاه‌های روستایی در برابر مخاطرات محیطی (مورد مطالعه: بخش مرکزی شهرستان فاروج). *سامانه نشریات علمی*، ۵(۱)، ۱۷-۳۸.

فتاحی، صابر؛ واحدی، مرجان؛ آرایش، محمد باقر؛ اشراقی سامانی، رویا. (۱۴۰۲). ارزیابی سطح تاب‌آوری اجتماعی کشاورزان در مواجهه با بحران‌های مبتنی بر آب: مورد شهرستان هریس. *مجله تحقیقات اقتصاد و توسعه کشاورزی ایران*، ۵۴(۱)، ۱۰۷-۱۲۹. از: doi:10.22059/IJAEDR.2022.338067.669128

لبابی میرقوامی، مهسا؛ نصابیان، شهریار؛ و یزدانی، سعید. (۱۳۹۵). عوامل موثر بر عرضه چای در ایران (مطالعه موردی:استان گیلان). *مدلسازی اقتصادی*، ۱۰(۲ (پیاپی ۳۴))، ۱۱۵-۱۳۱. از: https://sid.ir/paper/492469/fa

معتمد، محمدکریم؛ کاووسی-کلاشمی، محمد؛ خلیق خیاوی، پریسا؛ قربانی پیرعلیدهی، فاطمه؛ عسکری بزایه، فاطمه؛ هودنه دافچی، فاطمه. (۱۴۰۲). شناسایی و اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر تاب‌آوری شالیکاران استان گیلان .*تحقیقات غلات*، ۱۳(۴)، ۳۱۵-۳۲۹. از: doi: 10.22124/cr.2024.26768.1810

موذن جمشیدی، میر هادی؛ و هاشمی، سید حامد. (۱۴۰۳). واکاوی و آسیب‌شناسی فروش و بازرگانی چای ایران و ارائه راهبردهای برون‌رفت از آن. *نشریه علمی راهبردهای بازرگانی*، ۲۰(۲۱)، ۴۷-۹۸. از: doi: 10.22070/cs.2024.18726.1365

مومنی، منصور(۱۳۸۶). *مباحث نوین در تحقیق در عملیات*، دانشگاه تهران، انتشارات دانشکده مدیریت .ص ۳۶۰.

وزیریان، رویا؛ کریمیان، علی اکبر؛ قربانی، مهدب؛ افشانی، علیرضا؛ دستورانی، محمدتقی. (۱۳۹۹). سنجش و ارزیابی ابعاد مؤثر بر ارتقاء تاب آوری جوامع روستایی در مواجهه با خشکسالی (موردمطالعه: شهرستان سبزوار). *پژوهشهای روستائی*، ۱۱(۴)، ۶۳۰-۶۴۵.

Asadihkoob, H. & Ebrahimi, M.S. (2014). Challenges and strategies of e-commerce in Iran's agriculture. *Agricultural Communications*, 2(1), 80–88.

Berbeć, A.K. Agricultural resilience and agricultural sustainability – which is which? *Current Agronomy*, 2024, Sciendo, 53(1), 10-22. Retrieved from: https://doi.org/10.2478/cag-2024-0002

Biyagama, K. K. (2024). Climate smart tea (*Camellia sinensis*) cultivation practices in Rathnapura District. In *Proceedings of International Forestry and Environment Symposium* (Vol. 28). Retrieved from: https://doi.org/10.31357/fesympo.v28.7123

Bozdag, C., Ruan, D. & Kahraman, E. (2003). Fuzzy group decision making for selection among computer. *Integrated Manufacturing Systems Computer in Industry, Computers in Industry*, 51(1), 13-29. Retrieved from: doi:10.1016/S0166-3615(03)00029-0

Carpenter, A. (2013). Social ties, space, and resilience: Literature review of community resilience to disasters and constituent social and built environment factors. *FRB Atlanta Community and Economic Development Discussion Paper*, (2013-02).

Chang, D.Y. (1996). Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP, *European Journal of Operational Research*, 95(3), 649-655. Retrieved from: doi: 10.1016/0377-2217(95)00300-2.

Ding, J.J., Wang, Z., Liu, Y. H. & Yu, F. (2020). Measurement of economic resilience of contiguous poverty-stricken areas in China and influencing factor analysis. Prog. Geogr, 39, 924-937. Retrieved from: https://doi.org/10.18306/dlkxjz.2020.06.004

Duit, A., Galaz, V., Eckerberg, K. & Ebbesson, J. (2010). Governance and resilience: A framework for analysis. Ecology and Society, 15(4), 18. Retrieved from: https://www.ecologyandsociety.org/vol15/iss4/art18/

Emrouznejad, A. & Ho, W. (2018). Fuzzy analytic hierarchy process, CRC Press, Taylor & Francis Group. P.430.

Fami, H.S., Samiee, A. & Sadati, S.A. (2009). An examination of challenges facing peasant farming system in Iran. *World Applied Sciences Journal*, 6(9), 1281-1286.

Fauzi, A., Rosmiati, S. & Juliansyah, R. (2025). Building farmers' economic resilience: The role of quality seeds, fertilizers, and land size in increasing farmers' income. *Baileo: Jurnal Sosial Humaniora*, *2*(2), 211-224.

Feindt, P., Newig, J. & Challies, E. (2021). Adaptive governance and resilience capacity of farms. *Frontiers in Environmental Science*, 9, Article 668836. Retrieved from: https://www.frontiersin.org/journals/environmental-science/articles/10.3389/fenvs.2021.668836/full

Folke, C., Carpenter, S.R., Walker, B., Scheffer, M., Chapin, T. & Rockström, J. (2010). Resilience thinking: integrating resilience, adaptability and transformability. *Ecology and society*, 15(4). Retrieved from: https://doi.org/10.5751/ES-03610-150420

Ghaderi, Z., Menhaj, M. H., Kavoosi-Kalashami, M., & Sanjari, S. M. (2019). Efficiency analysis of traditional tea farms in Iran. *Економика Пољопривреде*, 66(2), 423-436.

Han, Z., Youn, Y. C., Kim, S. & Choe, H. (2023). Improving Farmer Livelihood Resilience to Climate Change in Rural Areas of Inner Mongolia, China. *Agriculture*, 13(10), 2030. Retrieved from: https://doi.org/10.3390/agriculture13102030

He, X., Li, Y. & Zhang, W. (2024). Linking smallholders' livelihood resilience with their adaptation strategies: A case study from the Tibetan Plateau. *Ecology and Society*, 29(2), Article 7. Retrieved from: https://ecologyandsociety.org/vol29/iss2/art7/

Hicks, A. (2009). Current status and future development of global tea production and tea products. *Australian Journal of Dairy Technology*, 12(4), 251-264.

Jayadas, A. & Ambujam, N. (2021). Research and design of a farmer resilience index in coastal farming communities of Tamil Nadu, India. *Journal of Water & Climate Change*, 12(7), 3144-3158.

Kalogiannidis, S., Papadopoulou, C.I., Loizou, E. & Chatzitheodoridis, F. (2023). Risk, vulnerability, and resilience in agriculture and their impact on sustainable rural economy development: A case study of Greece. *Agriculture*, 13(6), 1222. Retrieved from: https://doi.org/10.3390/agriculture13061222

Khormali, F., Ayoubi, S., Kananro Foomani, F., Fatemi, A. & Hemmati, K. (2007). Tea yield and soil properties as affected by slope position and aspect in Lahijan area, Iran. *International Journal of Plant Production*, 1(1), 99-111. Retrieved from: https://doi.org/10.22069/IJPP.2012.529

Kumar, M., Boruah, A., Sonia, H. & Padha, K. (2024). Building Agricultural Resilience: Strategies for Climate Change Adaptation. *International Journal of Environment and Climate Change*, 14(11), 561–568. Retrieved from: https://doi.org/10.9734/ijecc/2024/v14i114568

Kuo, Y. L. & Boseley, C. (2024). Resilience Strategies to Weather Hazards in Tea-Farming Households in Pinglin, Taiwan. In: *Handbook of Nature-Based Solutions to Mitigation and Adaptation to Climate Change* (pp. 1-24). Cham: Springer Nature Switzerland.

Kurlavičius, A., Žukovskis, J., Gozdowski, D. & Wójcik-Gront, E. (2024). Economic, Social, and Environmental Factors Impacting Resilience and Disturbances of Lithuanian Family Farms. *Agriculture*, 14(7), 1088. Retrieved from: https://doi.org/10.3390/agriculture14071088

Limo, W. K. (2013). *Factors influencing climate change adaptation among tea farmers in chebut catchment area, Nandi central district, Kenya* (Doctoral dissertation, University of Nairobi).

Lin, X., Zhu, H. & Yin, D. (2022). Enhancing rural resilience in a tea town of China: exploring tea farmers' Knowledge production for tea planting, tea processing and tea tasting. *Land*, 11(4), 583. Retrieved from: https://doi.org/10.3390/land11040583

Luo, W., Zuo, S., Song, Y. & Tang, S. (2025). The impact of data elements on agricultural economic resilience: a dynamic QCA analysis. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 8, 1510328.

Maltou, R. & Bahta, Y.T. (2019). Factors influencing the resilience of smallholder livestock farmers to agricultural drought in South Africa: Implication for adaptive capabilities. *Jàmbá: Journal of Disaster Risk Studies*, 11(1), 1-7. Retrieved from: https://doi.org/10.4102/jamba.v11i1.805

McKenzie, F., Brown, C., & Smith, J. (2024). Eastern Australian farmers managing and thinking differently: Innovative adaptation cycles. *ECU Works*, 2022-2026. Retrieved from: https://ro.ecu.edu.au/cgi/viewcontent.cgi?article=3998&context=ecuworks2022-2026

Metz, J. A. J. & Geritz, S. A. H. (2010). Adaptive dynamics theory: Case study of a NP model [PDF]. Istituto Veneto di Scienze, *Lettere ed Arti*. Retrieved from: http://www.istitutoveneto.org/bess/conclusions_2010/Bess_presentation.pdf

Meuwissen, M., Feindt, P., Spiegel, A., Termeer, C., Mathijs, E. *et al*. (2019). A framework to assess the resilience of farming systems. *Agricultural Systems*, 176, 102656. Retrieved from: https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102656

Motamed, M.K., Irannejad, F., Rezaei, M. & Rousta, K. (2010). An investigation of educational needs of Guilan-Iran's tea–planters. *Journal of Development and Agricultural Economics*, *2*(3), 086-093.

Paas, W.H., Coopmans, I., Severini, S., Van Ittersum, M.K., Meuwissen, M.P. & Reidsma, P. (2021). Participatory assessment of sustainability and resilience of three specialized farming systems. *Ecology and Society*, 26(2). Retrieved from: https://doi.org/10.5751/ES-12200-260202

Rahmani, A., Armak, F., Khazaei, M., Asgari, G., Leili, M. & Rashti, M.E. (2023). Human Health Risk Assessment of Organophosphorus Pesticides in Tea Leaves Harvested from Farm Regions of Gilan Province, Iran. *Avicenna Journal of Environmental Health Engineering*, *10*(2), 78-84. Retrieved from: https://doi.org/10.34172/ajehe.5310

Ranjan, R. & Athalye, S. (2009). Drought resilience in agriculture: The role of technological options, land use dynamics, and risk perception. *Natural Resource Modeling*, 22(3), 437-462. Retrieved from: https://doi.org/10.1111/j.1939-7445.2009.00044.x

Saaty, T. L. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, 15(3), 234-281.

Saaty, T. L. (2008). Decision Making for Leaders: The Analytic Hierarchy Process for Decisions in a Complex World. Pittsburgh, *Pennsylvania: RWS Publications*. pp. 83-98.

Saaty, T.L. & Peniwati, K. (2008). Group Decision Making: Drawing out and Reconciling Differences.Pittsburgh, *Pennsylvania: RWS Publications*. P. 389.

Shokrzadeh, M., Hosseinzadeh, M.H., Boustani, M. & Habibi, E. (2022). Determination of caffeine, total phenol, and heavy metals content in green and black tea collected from Gilan Province, Iran by spectroscopic method. *Pharmaceutical and Biomedical Research*, *8*(1), 23-30. Retrieved from: https://doi.org/10.18502/pbr.v8i1.9383

Sutomo, D. A. (2024). Community-led Economic Resilience: Fostering SME Growth through Financial Education. *Golden Ratio of Data in Summary*, 4(2), 361-371.

Tanuputri, M. R. & Bai, H. (2023). A framework to build a resilient supply chain: a case study of Javanese tea in Indonesia. *The International Journal of Logistics Management*, *34*(6), 1629-1648.

Trimerani, R., & Ardiani, F. (2023). Evaluation of The Role of Social Capital in the Tea Farmer Partnership System at PT. Pagilaran Afdeling Samigaluh Kulon Progo. *AGRITEPA: Jurnal Ilmu dan Teknologi Pertanian*, *10*(2), 357-370. Retrieved from: https://doi.org/10.37676/agritepa.v10i2.5146

Veisi, H., Carolan, M.S. & Alipour, A. (2017). Exploring the motivations and problems of farmers for conversion to organic farming in Iran. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 15(3), 303-320.

Walker, B., Holling, C. S., Carpenter, S. R., & Kinzig, A. (2004). Resilience, adaptability and transformability in social–ecological systems. *Ecology and Society*, *9*(2). Retrieved from: https://doi.org/10.5751/ES-00650-090205

Yao, R., Ma, Z., Wu, H. & Xie, Y. (2024). Mechanism and measurement of the effects of industrial agglomeration on agricultural economic resilience. *Agriculture*, *14*(3), 337.

Yusriadi, Y., Cahaya, A. & Masriadi, M. (2024). Tourism and farmers' economic transformation: lessons from North Toraja. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 8, 1487452

Ziarati, P., Khoshhal, Z., Asgarpanah, J., & Qomi, M. (2013). Contaminations of heavy metals in tea leaves, finished tea products and liqour in Gilan province, Iran. *International Journal of Farming and Allied Sciences*, 2(13), 383-387.

Zou, Q., Zhou, J. Z., Zhou, C., Song, L. X. & Guo, J. (2013). Comprehensive flood risk assessment based on set pair analysis-variable fuzzy sets model and fuzzy AHP. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 27, 525-546. Retrieved from: doi: 10.1007/s00477-012-0598-5

Strategic Research Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources 11(1):45-62 (2026)

Key Drivers Affecting the Resilience of Iranian Tea Farmers

Gholamazad, M.A.[1] and Kavoosi Kalashami, M.[2]

Resilience refers to the ability to survive and grow under changing conditions and plays a vital role in coping with shocks such as climate change, rising production input costs, severe fluctuations in guaranteed purchase prices and free-market rates, and the dominance of multiple intermediaries in the value chain. Tea production in Iran is particularly confronted with such challenges, which highlights the necessity of examining the drivers influencing tea farmers' resilience. The aim of this study, conducted in 2025, is to identify and prioritize the drivers affecting the resilience of Iranian tea farmers. To this end, four categories of drivers (economic, social, technical, and physical) comprising 27 sub-drivers were assessed through the participation of 15 experts and specialists. The results revealed that economic and market drivers (48.13%) and technical drivers (25.80%) play the most significant roles in enhancing resilience. On this basis, it is recommended that policies focus on revising the pricing system and setting guaranteed purchase prices consistent with the actual cost of production as the main economic factor, while simultaneously strengthening tea farmers' managerial skills as the key technical driver and modernizing equipment and physical assets. Such emphasis can simultaneously ensure economic sustainability, improve productivity, and enhance the resilience of tea farmers against environmental crises and market fluctuations.

Key words: Decision tree, Fuzzy analytic hierarchy process (FAHP), Inconsistency rate, Purposive sampling, Questionnaire.

1. Corresponding author's Email: m.amin.gholamazad@ut.ac.ir
2. Ph.D. student in Agricultural Economics, Faculty of Economics and Agricultural Development, University of Tehran; and Associate Professor of University of Guilan, respectively.

مجله پژوهش‌های راهبردی در علوم کشاورزی و منابع طبیعی جلد ۱۱ شماره ۱ صفحه‌های ۶۳ تا ۷۶ (۱۴۰۵)

واکاوی فرصت‌ها، تهدیدها، نقطه‌های قوت و ضعف طرح‌های پخش سیلاب در ایران[1]

سعید رضا موذنی[2] و آرش ملکیان[3]

چکیده

طرح‌های پخش سیلاب یکی از روش‌های مدیریت رواناب و افزایش نفوذ طبیعی آب در زمین‌های پایین‌دست، به ویژه در منطقه‌های خشک و نیمه‌خشک ایران، نقش مهمی در کاهش اثرهای مخرب سیلاب، تقویت تغذیه طبیعی آبخوان‌ها و بهبود وضعیت بوم‌زیستی مرتع‌ها و زمین‌های دیم دارند. هدف پژوهش حاضر، واکاوی نظام‌مند نقطه‌های قوت، ضعف، فرصت‌ها و تهدیدهای مرتبط با طرح‌های پخش سیلاب در ایران و تدوین راهبردهای بهینه برای بهبود عملکرد و توسعه پایدار این طرح‌ها با استفاده از الگوهای واکاوی SWOT[4] و QSPM[5] است. در این بررسی، عامل‌های داخلی (نقطه‌های قوت و ضعف) و خارجی (فرصت‌ها و تهدیدها) از راه مصاحبه‌های هدفمند با خبرگان، مدیران و متخصصان منابع طبیعی و استادان دانشگاه شناسایی و ارزیابی شدند و مشخص شد که این طرح‌ها در موقعیتی قرار دارند که به‌کارگیری راهبردهای محافظه‌کارانه می‌تواند بهترین نتیجه را به همراه داشته باشد. بر اساس نتایج به دست آمده، به‌کارگیری فناوری‌های نوین الگوسازی و پایش سیلاب (مانند سیستم اطلاعات جغرافیایی، سنجش از دور و الگوهای عددی هیدرولوژیک)، تقویت همکاری میان نهادهای علمی، اجرایی و محلی و همچنین افزایش مشارکت جامعه‌های محلی از مهمترین راهبردهایی هستند که می‌توانند به بهبود عملکرد و پایداری طرح‌های پخش سیلاب کمک کنند. همچنین، بهره‌گیری از دانش بومی در کنار حمایت‌های مالی و بومی‌سازی تجربه‌های موفق جهانی، ظرفیت این طرح‌ها را برای رویارویی با چالش‌هایی مانند شوری خاک و رسوب‌گذاری افزایش می‌دهد. یافته‌ها همچنین نشان می‌دهند که نظارت‌های محیط‌زیستی و استفاده از فناوری‌های پیشرفته در بهبود عملکرد این طرح‌ها نقشی تعیین‌کننده دارند. در پایان، پژوهش حاضر نشان می‌دهد که با به‌کارگیری رویکردهای مناسب و مدیریت جامع، می‌توان طرح‌های پخش سیلاب را به ابزاری کارا برای کاهش تأثیر تغییر اقلیم و بهبود مدیریت منابع آب در منطقه‌های خشک و نیمه‌خشک تبدیل کرد.

واژه‌های کلیدی: پایداری بوم‌نظام، تاب‌آوری اقلیمی، مدیریت جامع، مشارکت جامعه محلی، واکاویSWOT .

مقدمه

مدیریت منابع آب در منطقه‌های خشک و نیمه‌خشک، به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه، با چالش‌های اساسی روبه‌رو است؛ سیلاب‌ها به‌عنوان منبع مهم تغذیه آب‌های زیرزمینی شناخته می‌شوند، اما مدیریت ناکارآمد آن‌ها خسارت‌های

۱- تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۲/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۳

۲- پست الکترونیک نویسنده مسئول: malekian@ut.ac.ir

۳- دکتری تخصصی و استاد دانشگاه تهران، تهران.

4. Strengths, weaknesses, opportunities, threats

5. Quantitative strategic planning matrix

اقتصادی، محیط‌زیستی و اجتماعی چشمگیری به بار می‌آورد. در این زمینه، طرح‌های پخش سیلاب به‌عنوان ابزاری کلیدی برای کاهش خسارت‌های سیلاب و بهره‌برداری پایدار از منابع آب مورد توجه قرار گرفته‌اند (Ahmadvand *et al*., 2017). این طرح‌ها در ایران، به‌دلیل کمبود شدید منابع آب سطحی و زیرزمینی، اهمیت ویژه‌ای دارند و هدف اصلی آن‌ها هدایت سیلاب‌های فصلی و ناگهانی به سفره‌های آب زیرزمینی است که به تغذیه منابع آب، کاهش فرسایش و هدر رفت خاک و افزایش بهره‌وری در بخش کشاورزی کمک شایانی می‌کند (کرمی و همکاران، ۱۳۹۲؛ سلاجقه و همکاران، ۱۴۰۱).

اجرای این طرح‌ها در ایران سابقه‌ای چنددهه‌ای دارد، هرچند استفاده از سیلاب برای تغذیه خاک و احیای زمین‌ها ریشه در فناوری‌های بومی چند هزارساله مانند کشاورزی سیلابی، بندسارها و سیستم‌های سنتی پخش رواناب دارد. نمونه برجسته ملی، طرح پخش سیلاب دشت گربایگان فسا به مدیریت زنده‌یاد دکتر نیک‌آهنگ کوثر است که با سازه‌های ساده (سدهای انحرافی، کانال‌های توزیع و حوضچه‌های ته‌نشینی) رواناب را به پهنه‌های پایین‌دست هدایت می‌کند تا نفوذ تدریجی آب، کاهش اوج سیلاب، کنترل فرسایش و احیای پوشش گیاهی و زمین‌های فرسایشی را فراهم آورد (شکل ۱). بررسی‌های کوثر (۱۹۹۲) و Pakparvar *et al.* (2017) نشان داد که این روش در کنترل بیابان‌زایی، بهبود بهره‌وری زمین، افزایش پوشش گیاهی و احیای بوم‌نظام‌ها مؤثر است و شرایط بوم‌زیستی و اقتصادی جوامع محلی را بهبود بخشیده است.

شکل ۱- نمایی از سامانه‌های پخش سیلاب شامل کانال‌های هدایت و حوضچه‌های ته‌نشینی.

پژوهش‌های زیادی در ایستگاه‌های مختلف ایران (مانند دهلران، پسکوه، یزد، بیرجند، رومشکان، کوهدشت و تربقان) تأثیر مثبت طرح‌ها بر کاهش خسارت سیلاب، بهبود شرایط کشاورزی، افزایش ذخیره آب در خاک، بهبود کیفیت آب زیرزمینی، کاهش شوری و هدایت الکتریکی، افزایش تولید علوفه، ترسیب کربن و احیای بوم‌نظام‌ها را گزارش کرده‌اند (سنجری و زورقی، ۱۳۸۰؛ حاجی هاشمی جزی و همکاران، ۱۳۸۸؛ جعفری، ۱۳۹۱؛ زند و همکاران، ۱۳۹۲؛ جوادی و همکاران، ۱۳۹۳؛ باقریان و همکاران، ۱۳۹۴؛ پادیاب و همکاران، ۱۳۹۴؛ فاضل پور عقدائی و همکاران، ۱۳۹۵؛ زند، ۱۳۹۸؛ جعفری و همکاران، ۱۳۹۹؛ پورامینی و همکاران، ۱۴۰۲؛ پورامینی و فتوحی، ۱۴۰۳). با این حال، نتایج هیدرولوژیک و اجتماعی متفاوت بوده و نیاز به تلفیق یافته‌های میدانی و توصیفی برای ارزیابی دقیق دارد.

در سطح جهانی نیز، طرح‌های مشابه در چین (Song *et al*., 2024)، هند (Jain, 2012)، برزیل (dos Santos *et al*.,2021)، کاربرد فناوری‌های نوین مانند الگوسازی هیدرولوژیک (Hidaka *et al*.,2005) و داده‌کاوی (Naghibi *et al*.,2020) دستاوردهای مثبتی در کاهش بیابان‌زایی، احیای زیست‌بوم‌ها و مدیریت پایدار رواناب داشته‌اند و بر ترکیب فناوری‌های پیشرفته، روش‌های سنتی و مشارکت محلی تأکید کرده‌اند.

با وجود این پتانسیل‌ها، چالش‌هایی مانند جانمایی نادرست، هزینه زیاد، نیاز به فناوری پیشرفته، محدودیت سیاست‌گذاری و نبود پایش بلندمدت وجود دارد (Ahmadvand & Karimi, 2009). در ایران، حدود ۴۲ طرح پخش سیلاب با پوشش بیش از ۲/۱ میلیون هکتار اجرا شده یا در حال بهره‌برداری است (پادیاب و همکاران، ۱۳۹۴؛ پورامینی و همکاران، ۱۴۰۲) که تنوع مقیاس، اقلیم و شرایط اجتماعی، واکاوی جامع را ضروری می‌سازد. بهره‌گیری از دانش بومی (بندسارها و خوشاب‌ها) می‌تواند فناوری‌های نوین را با شرایط محلی همخوان کند.

رویکرد SWOT به‌عنوان ابزار راهبردی، با شناسایی عامل‌های داخلی و خارجی، امکان بررسی چندبُعدی طرح‌ها از دیدگاه محیط‌زیستی، اجتماعی و اقتصادی را فراهم می‌آورد (Bennett, 1985؛ Ahmadvand *et al*., 2011). این پژوهش با تلفیق مرور نظام‌مند بررسی‌های پیشین و مصاحبه‌های نیمه‌ساختار یافته با خبرگان، نقطه‌های قوت، ضعف، فرصت‌ها و تهدیدها را واکاوی کرده و هدف آن ارائه راهکارهای عملی برای بهبود عملکرد طرح‌های پخش سیلاب و توسعه چارچوبی جامع برای مدیریت پایدار منابع آب در ایران و منطقه‌های مشابه اقلیمی است.

روش پژوهش

پیش از واکاوی اصلی، مرور نظام‌مندی از منابع علمی، گزارش‌های فنی و پایان‌نامه‌های مرتبط با طرح‌های پخش سیلاب در ایران انجام شد تا جنبه‌های فنی، مدیریتی، هیدرولوژیک، زیست‌محیطی و اقتصادی این طرح‌ها شناسایی و مبنای تدوین چارچوب پژوهش قرار گیرد (جعفری و خسروانیان، ۱۳۹۱؛ جوادی و همکاران، ۱۳۹۳؛ پادیاب و همکاران، ۱۳۹۴؛ پورامینی و همکاران، ۱۴۰۲). این پژوهش ماهیت کاربردی-توصیفی دارد و با رویکرد ترکیبی (کیفی-کمی) طراحی شده است. روند انجام پژوهش شامل چندین مرحله پیوسته است که در ادامه آورده شده اند.

شناسایی و واکاوی عامل‌های محیطی

با ترکیب مرور منابع پیشین و انجام مصاحبه‌های نیمه‌ساختار یافته حضوری با ۳۰ نفر از خبرگان (استادان دانشگاه، مدیران ارشد و متخصصان منابع طبیعی و آبخیزداری) که دارای تجربه مستقیم در بخش مدیریت منابع آب، آبخیزداری و طرح‌های پخش سیلاب بودند، نقطه‌های قوت، ضعف، فرصت‌ها و تهدیدها استخراج و اعتبارسنجی شدند.

دسته‌بندی عامل‌های داخلی و خارجی

عامل‌های شناسایی‌شده به صورت ساختارمند دسته‌بندی و فهرست‌بندی شدند.

واکاوی راهبردی با ماتریس SWOT

عامل‌های داخلی و خارجی در ماتریس SWOT قرار گرفتند و چهار راهبرد اصلی (SO: تهاجمی، WO: محافظه‌کارانه، WT: تدافعی، ST: بهبود تدریجی) تدوین شدند.

اولویت‌بندی راهبردی‌ها

با استفاده از ماتریس برنامه‌ریزی راهبردی کم امکان‌پذیری و پایداری راهبردهای پیشنهادی در رویارویی با شرایط محیطی و وضعیت موجود ارزیابی شد.

ماتریس SWOT

پس از شناسایی نقطه‌های قوت، ضعف، فرصت‌ها و تهدیدها از طریق مرور نظام‌مند منابع و مصاحبه‌های نیمه‌ساختار یافته با خبرگان و متخصصان منابع طبیعی و آبخیزداری، عامل‌های داخلی و خارجی در ماتریس SWOT قرار گرفتند. برای وزن‌دهی کمی، هر یک از ۳۰ خبره به‌طور مستقل اهمیت نسبی هر عامل را در دستیابی به هدف‌های طرح‌های

پخش سیلاب با استفاده از مقیاس لیکرت[1] چهار درجه‌ای (۱ = کم‌اهمیت، ۲ = به نسبت مهم، ۳ = مهم، ۴ = بسیار مهم) امتیازدهی کرد. میانگین امتیازهای دریافت‌شده برای هر عامل محاسبه و سپس نرمال‌سازی شد تا مجموع ضریب‌های اهمیت نسبی در هر دسته (داخلی و خارجی) به طور دقیق برابر با یک گردد. این ضریب‌های نرمال‌شده به‌عنوان وزن نهایی هر عامل در نظر گرفته شد. سپس، هر عامل بر اساس شدت تأثیر آن رتبه‌بندی شد (در عامل‌های داخلی: ۴ = قوت بسیار زیاد تا ۱ = ضعف بحرانی، در عامل‌های خارجی: ۴ = فرصت طلایی تا ۱ = تهدید جدی). نمره جذابیت هر عامل از حاصل‌ضرب وزن (ضریب اهمیت نسبی) در رتبه به‌دست آمد و میانگین نمره‌های هر دسته محاسبه گردید. این فرآیند مطابق رویه استاندارد بررسی‌های ترکیبی SWOT–QSPM انجام شد و پایایی داوری‌ها با آلفای کرونباخ[2] ۰/۸۳ تأیید گردید. در نهایت، با استفاده از ماتریس QSPM، راهبردهای استخراج‌شده از ماتریس SWOT (SO، WO، WT، ST) بر اساس جذابیت و امکان‌پذیری اولویت‌بندی شدند تا مناسب‌ترین راهبرد برای شرایط موجود تعیین گردد. ماتریس ارزیابی عامل‌های خارجی و داخلی براساس جدول ۱ شرح داده می‌شود (David, 2011):

جدول۱- ماتریس ارزیابی عامل‌های داخلی و خارجی در الگوی SWOT.

عامل‌های خارجی	ضریب اهمیت نسبی	رتبه	نمره	عامل‌های داخلی	ضریب اهمیت نسبی	رتبه	نمره
فرصت‌ها				قوت‌ها			
تهدیدها				ضعف‌ها			
مجموع	∑=1	1<x<4		مجموع	∑=1	1<x<4	

ماتریس برنامه‌ریزی راهبردی کمی (QSPM)

ماتریس برنامه‌ریزی کمی راهبردی (QSPM) با بهره‌گیری از اطلاعات مرحله‌های پیشین واکاوی راهبردی، ابزاری نظام‌مند برای ارزیابی امکان‌پذیری، جذابیت و پایداری راهکارهای پیشنهادی است. این فن بااستفاده از داوری آگاهانه خبرگان و بر مبنای ضریب‌ها اهمیت نسبی عامل‌های داخلی و خارجی، امکان اولویت‌بندی گزینه‌های راهبردی را بر اساس شرایط محیطی و وضعیت موجود فراهم می‌کند. روش QSPM نخستین بار توسط David (1986) معرفی و بُعدها در بررسی‌های چند مدیریتی و محیط‌زیستی تکمیل شد (David, 2011; Weihrich, 1982). راهبردهای مورد استفاده در این مرحله، بر پایه نتایج واکاوی SWOT است. در این فرایند، برهمکنش بین عامل‌های داخلی (نقطه‌های قوت و ضعف) و عامل‌های خارجی (فرصت‌ها و تهدیدها) بررسی و برای هر ترکیب، گزاره‌های راهبردی هم‌نظر تدوین می‌شود. جدول ۲ ساختار کلی ماتریس QSPM را نشان می‌دهد که برای تعیین جذاب‌ترین راهبردها از آن استفاده می‌شود.

شیوه کار با ماتریس QSPM

پس از شناسایی عامل‌های داخلی (نقطه‌های قوت و ضعف) و عامل‌های خارجی (فرصت‌ها و تهدیدها)، ترکیب این عامل‌های در قالب ماتریس SWOT چهار نوع راهبرد کلان استخراج می‌شود. این ماتریس به طور معمول از چهار خانه تشکیل می‌شود که موقعیت‌های راهبردی SO، WO، ST و WT را بازتاب می‌دهند. بر اساس نمره‌های به‌دست آمده،

1. Likert scale
2. Cronbach's Alpha

راهبردهای پیشنهادی در یکی از این چهار موقعیت قرار می‌گیرند و در پایان، جذاب‌ترین راهبردها بر اساس امتیازهای نهایی مشخص می‌شوند. این واکاوی یکپارچه، امکان تصمیم‌گیری آگاهانه و کارآمد را برای سازمان فراهم می‌کند (David, 2011; Weihrich, 1982).

جدول ۲- ماتریس ارزیابی کمی (QSPM) برای تعیین جذاب‌ترین راهبرد.

نمره ارزیابی عامل‌های داخلی

1 – 1.5	2 – 2.5	3 – 3.5	4
راهبرد WO: بهبود مستمر یا محافظه‌کارانه		راهبرد SO: سیاست تهاجمی (توسعه)	4 – 3.5
راهبرد WT: سیاست تدافعی یا کاهشی		راهبرد ST: سیاست تغییر تدریجی رقابتی	3 – 2.5 – 2 – 1.5

نمره ارزیابی عامل‌های خارجی

راهبردهای تهاجمی (SO) – راهبردهایی هستند که از نقطه‌های قوت داخلی برای بهره‌برداری از فرصت‌های محیطی استفاده می‌کنند و به رشد و توسعه طرح‌ها کمک می‌کنند.

راهبردهای محافظه‌کارانه (WO) - راهبردهایی که با تکیه بر فرصت‌های محیطی درصدد جبران یا کاهش نقطه‌های ضعف داخلی هستند.

راهبردهای رقابتی یا تنوع‌گرا (ST) - راهبردهایی که از نقطه‌های قوت داخلی برای رویارویی با تهدیدهای بیرونی بهره می‌گیرند.

راهبردهای تدافعی (WT) - راهبردهایی که هدف آن‌ها کاهش آسیب‌پذیری در برابر تهدیدها از راه به کمینه رساندن ضعف‌های داخلی است.

نتایج

در این پژوهش، فهرست نقطه‌های قوت، ضعف، فرصت‌ها و تهدیدهای طرح‌های پخش سیلاب با بهره‌گیری ترکیبی از دو منبع اصلی داده، استخراج شد: نخست، مرور نظام‌مند بررسی‌های علمی و گزارش‌های فنی مرتبط با طرح‌های پخش سیلاب در ایران و دوم، واکاوی محتوای مصاحبه‌های نیمه‌ساختار یافته با ۳۰ نفر از خبرگان و متخصصان بخش منابع طبیعی، آبخیزداری و مدیریت سیلاب. شاخص‌ها و گزاره‌های شناسایی‌شده بر اساس چهار بُعد اصلی طبقه‌بندی شدند: جنبه‌های کمی و فنی، محیطی و بوم‌شناختی، انسانی و اجتماعی، و سازمانی و مدیریتی. این دسته‌بندی به منظور ارائه تصویری جامع و چندجانبه از عملکرد، ظرفیت‌ها و چالش‌های موجود در اجرای این طرح‌ها انجام گرفت.

از مهمترین نقطه‌های قوت طرح‌های پخش سیلاب می‌توان به بهبود تغذیه طبیعی آبخوان‌ها و افزایش ذخیره آب در خاک (به‌ویژه در شرایط هیدرولوژیک مناسب)، کاهش رواناب سطحی، افزایش نفوذپذیری خاک و ارتقای رطوبت لایه‌های فوقانی خاک اشاره کرد. این ویژگی‌ها اگرچه در بسیاری از منطقه‌های ایران به افزایش مستقیم و قابل‌توجه سطح ایستابی نینجامیده‌اند، اما نقش تعیین‌کننده‌ای در پایداری بوم‌نظام‌های خشک و نیمه‌خشک دارند (جعفری و خسروانیان، ۱۳۹۱؛ پادیاب و همکاران، ۱۳۹۴؛ پورامینی و همکاران، ۱۴۰۲). همچنین کاهش هزینه‌های ناشی از خسارت به زیرساخت‌ها در

اثر سیلاب از دیگر نقطه‌های قوت برجسته به شمار می‌رود. در مقابل، نقطه‌های ضعف بیشتر به محدودیت‌ها و موانع اجرایی و مدیریتی مربوط می‌شوند که موفقیت طرح‌ها را با دشواری روبه‌رو می‌سازند. از جمله این چالش‌ها می‌توان به نیاز به سرمایه‌گذاری اولیه زیاد، کمبود داده‌های علمی و فنی دقیق و به‌روز، ضعف در نظام پایش و ارزیابی بلندمدت و ناهماهنگی میان نهادهای سیاست‌گذار و اجرایی اشاره کرد. این موردها نشان می‌دهند که دستیابی به هدف‌های مورد انتظار طرح‌های پخش سیلاب نیازمند برنامه‌ریزی یکپارچه‌تر، مدیریت بر پایه داده‌های کمی و اقلیمی دقیق‌تر و هماهنگی نهادی قوی‌تر است.

بر اساس نتایج جدول ۳ برخی از نقطه‌های قوت مانند بهبود تغذیه طبیعی آبخوان‌ها و افزایش ذخیره آب در خاک در شرایط هیدرولوژیک مناسب (S1) و «کاهش هزینه‌های خسارت به زیرساخت‌ها در اثر سیلاب (S8) دارای ضریب اهمیت نسبی زیادتر و در نتیجه تأثیر راهبردی بیشتری هستند. از سوی دیگر، نقطه‌های ضعفی مانند نیاز به سرمایه‌گذاری اولیه زیاد (W1) و دشواری‌های مدیریتی در پیاده‌سازی و تداوم بلندمدت (W5) از عامل‌های بحرانی به شمار می‌روند که نیازمند توجه ویژه در مرحله برنامه‌ریزی و اجرا هستند. به‌طور کلی، مجموع امتیازهای عامل‌های داخلی به عدد ۲/۲۰ رسیده است که نشان‌دهنده چیرگی نسبی نقطه‌های ضعف بر نقطه‌های قوت است. این نتیجه تأیید می‌کند که هرچند طرح‌های پخش سیلاب از ظرفیت‌ها و پتانسیل‌های چشمگیری برخوردارند، اما چالش‌ها و محدودیت‌های موجود، تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای بر مقدار موفقیت و پایداری عملکرد آن‌ها دارند. بنابراین، رفع یا کاهش این نقطه‌های ضعف می‌تواند به‌طور مؤثری کارایی و اثربخشی این طرح‌ها را در آینده ارتقا دهد.

در این پژوهش، عامل‌های خارجی تأثیرگذار بر طرح‌های پخش سیلاب در دو دسته فرصت‌ها و تهدیدها شناسایی و در جدول ۴ به‌طور کامل فهرست و تشریح شده‌اند. این عامل‌ها شامل شرایط محیطی، اقتصادی، نهادی، فناوری‌محور و بین‌المللی هستند که می‌توانند موفقیت، پایداری و اثربخشی طرح‌ها را به‌طور تعیین‌کننده زیر تأثیر قرار دهند. مهمترین فرصت‌ها به امکان بهره‌گیری از حمایت‌های مالی و فنی بین‌المللی (در چارچوب مقابله با بیابان‌زایی و سازگاری با تغییر اقلیم)، دسترسی رو به رشد به داده‌های سنجش از دور و فناوری‌های نوین، گسترش همکاری‌های علمی-پژوهشی، وجود دشت‌های سیلابی مستعد در منطقه‌های خشک، و تقویت سیاست‌های جهانی و منطقه‌ای مدیریت پایدار آب مربوط می‌شوند. در مقابل، تهدیدهای اصلی شامل محدودیت منابع مالی، پراکندگی نهادی، رسوب‌گذاری شدید در سازه‌ها (به‌ویژه در اقلیم رگباری ایران)، تأثیر تحریم‌های بین‌المللی بر انتقال فناوری و جذب اعتبار، و ناپایداری اقلیمی (تغییر الگوی بارش و تخریب پوشش گیاهی) هستند.

نتایج بررسی عامل‌های خارجی نشان می‌دهند که هرچند طرح‌های پخش سیلاب با تهدیدهایی مانند تغییرهای اقلیمی، ناپایداری منابع مالی و تخریب پوشش گیاهی روبه‌رو هستند، اما وجود فرصت‌های محیطی و نهادی چشمگیری می‌تواند زمینه‌ساز بهبود عملکرد آن‌ها باشد. فرصت‌هایی همچون بهره‌گیری از ظرفیت‌های منطقه‌های خشک ایران برای مدیریت پایدار آب، گسترش همکاری‌های علمی و پژوهشی، توسعه فناوری‌های نوین پایش سیلاب و افزایش آگاهی و مشارکت جامعه‌های محلی، نقش مؤثری در تقویت کارایی و پایداری این طرح‌ها دارند.

جدول ۳- عامل‌های داخلی تأثیر طرح‌های پخش سیلاب.

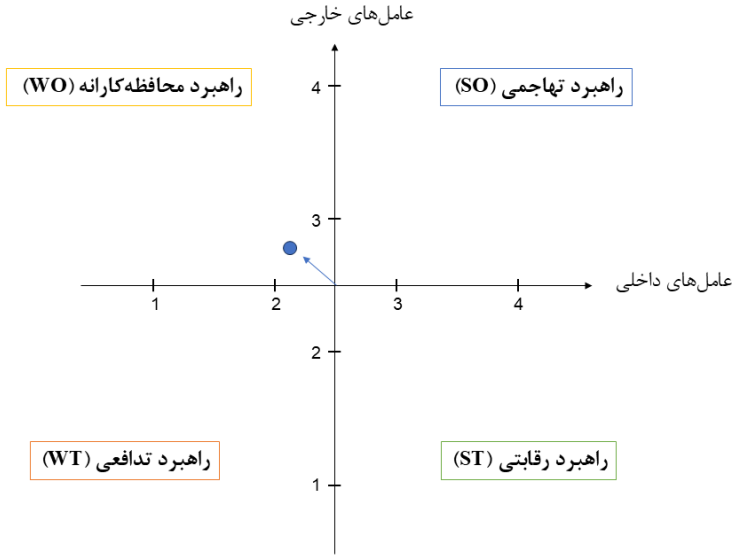
		عامل‌های داخلی	ضریب اهمیت نسبی	رتبه	نمره
نقطه‌های قوت S	S1	بهبود تغذیه طبیعی آبخوان‌ها و افزایش ذخیره آب در خاک در شرایط هیدرولوژیک مناسب	۰/۰۵۵	۴	۰/۲۲
	S2	کاهش آسیب‌های ناشی از سیلاب‌های فصلی در بخش کشاورزی	۰/۰۴۴	۳	۰/۱۳
	S3	افزایش پوشش گیاهی و بهبود کیفیت خاک	۰/۰۳۳	۳	۰/۱۰
	S4	قابلیت زیاد برای احیای بوم‌سازگان‌های تخریب‌شده	۰/۰۳۳	۳	۰/۱۰
	S5	بهبود ذخیره کربن خاک با شیوه‌های زیستی	۰/۰۲۷	۳	۰/۰۸
	S6	افزایش عملکرد کشاورزی و دامداری در منطقه‌های زیر طرح	۰/۰۲۷	۳	۰/۰۸
	S7	بهبود بهره‌وری و استفاده بهینه از رواناب	۰/۰۴۴	۴	۰/۱۷
	S8	کاهش هزینه‌های خسارت به زیرساخت‌ها در اثر سیلاب	۰/۰۴۴	۴	۰/۱۷
	S9	افزایش مشارکت جامعه‌های محلی در حفاظت منابع طبیعی	۰/۰۳۸	۳	۰/۱۱
	S10	تقویت تاب‌آوری بوم‌نظام‌های محلی در برابر نوسان‌های اقلیمی از راه افزایش ذخیره رطوبت و پوشش گیاهی	۰/۰۴۴	۴	۰/۱۷
	S11	کاهش شوری و بهبود کیفیت آب زیرزمینی	۰/۰۳۳	۳	۰/۱۰
نقطه‌های ضعف W	W1	نیاز به سرمایه‌گذاری اولیه زیاد برای اجرای طرح	۰/۰۵۵	۱	۰/۰۵
	W2	کمبود اطلاعات دقیق در مورد اثرهای درازمدت طرح	۰/۰۳۸	۲	۰/۰۸
	W3	چالش‌های مرتبط با ارزیابی اثرهای محیط‌زیستی و اجتماعی طرح	۰/۰۳۸	۲	۰/۰۸
	W4	دشواری‌های مربوط به مشارکت‌های اجتماعی و مقاومت برخی از جامعه‌های محلی در برابر تغییرها	۰/۰۴۴	۱	۰/۰۴
	W5	دشواری‌های مدیریتی در پیاده‌سازی بلندمدت طرح‌ها و پایش پیوسته اثرهای آن	۰/۰۴۴	۱	۰/۰۴
	W6	تأثیر محدود در منطقه‌هایی با شرایط هیدروژئولوژیک ویژه	۰/۰۳۳	۲	۰/۰۷
	W7	احتمال انباشت رسوب‌ها در کانال‌های پخش	۰/۰۴۴	۱	۰/۰۴
	W8	کمبود پژوهش‌های نظام‌مند درباره روش‌های بهینه‌سازی اقتصادی	۰/۰۲۷	۲	۰/۰۵
	W9	احتمال تداخل محدود با کاربری‌های محلی یا طرح‌های توسعه‌ای در برخی از منطقه‌های ویژه	۰/۰۴۹	۱	۰/۰۵
	W10	ضعف در هم‌افزایی و هماهنگی بین نهادهای دولتی و خصوصی در زمینه اجرای طرح	۰/۰۴۴	۱	۰/۰۴
	W11	خطرهای ذاتی در نتیجه تغییرهای اقلیمی و عدم پیش‌بینی شرایط بحرانی	۰/۰۴۴	۱	۰/۰۴
	W12	کاهش نفوذپذیری خاک در اثر بسته شدن منفذها با رسوب‌ها	۰/۰۴۴۴	۱	۰/۰۴
	W13	کمبود اطلاعات علمی و داده‌های دقیق در برخی از منطقه‌ها برای تصمیم‌گیری بهتر	۰/۰۳	۲	۰/۰۷
	W14	کاهش عملکرد در شرایط خشکسالی پیوسته	۰/۰۴۴	۱	۰/۰۴
		جمع	۱		۲/۲۰

جدول ۴- عامل‌های خارجی مؤثر در طرح‌های پخش سیلاب.

		عامل‌های خارجی	ضریب‌اهمیت نسبی	رتبه	نمره
فرصت‌ها O	O1	امکان جذب حمایت‌های فنی و مالی بین‌المللی در چارچوب طرح‌های رویارویی با بیابان‌زایی و سازگاری با خشکسالی	۰/۰۵۱	۴	۰/۲۰
	O2	فرصت بهبود آگاهی عمومی و افزایش مشارکت جامعه‌های محلی از راه برنامه‌های آموزشی و ترویجی در بخش پخش سیلاب	۰/۰۴۱	۴	۰/۱۶
	O3	افزایش بهره‌وری اقتصادی غیرمستقیم از راه بهبود پوشش گیاهی، تولید علوفه و تقویت خدمت‌های بوم‌نظام	۰/۰۴۱	۳	۰/۱۲
	O4	گسترش همکاری‌های علمی میان دانشگاه‌ها و نهادهای اجرایی برای توسعه فناوری‌ها و الگوهای نوین پخش سیلاب	۰/۰۴۱	۴	۰/۱۶
	O5	وجود دشت‌های سیلابی توانمند در منطقه‌های خشک ایران برای توسعه طرح‌های پخش سیلاب، مشروط به ارزیابی اقتصادی و فنی	۰/۰۵۱	۴	۰/۲۰
	O6	بهبود فن‌های پیش‌بینی و الگوسازی سیلاب‌ها با استفاده از فناوری‌های نوین	۰/۰۴۶	۴	۰/۱۸
	O7	رشد سیاست‌های جهانی در زمینه مدیریت پایدار منابع آب و سازگاری با تغییرهای اقلیمی	۰/۰۴۶	۴	۰/۱۸
	O8	افزایش دسترسی به داده‌های مکانی و هیدرولوژیک از راه فناوری‌های سنجش از دور و سامانه‌های پایش فضایی برای شناسایی پهنه‌های مناسب اجرای طرح	۰/۰۴۱	۳	۰/۱۲
	O9	گسترش استفاده از فناوری‌های جدید در زمینه پخش سیلاب، مانند حسگرها و سیستم‌های هوشمند مدیریت سیلاب	۰/۰۳۶	۴	۰/۱۴
	O10	بهبود کیفیت زندگی و معیشت مردم از راه اجرای طرح‌های اقتصادی و توسعه‌ای	۰/۰۳۶	۳	۰/۱۱
	O11	امکان همکاری‌های بین‌استانی برای مدیریت رواناب و اجرای طرح‌های پخش سیلاب در حوضه‌های مشترک داخلی	۰/۰۳۶	۴	۰/۱۴
	O12	توسعه فن‌های نوین برای کاهش رسوب‌گذاری	۰/۰۴۶	۴	۰/۱۸
	O13	افزایش نیاز به امنیت آب در جامعه‌های شهری و روستایی	۰/۰۵۱	۴	۰/۲۰
تهدیدها T	T1	کمبود بودجه و منابع مالی پایدار برای اجرا و نگهداری طرح‌ها	۰/۰۴۶	۱	۰/۰۵
	T2	ناهمخوانی‌های اجتماعی و مقاومت جامعه‌های محلی در برابر طرح‌های پخش سیلاب به دلیل نگرانی‌ها درباره منابع آب و زمین	۰/۰۳۶	۱	۰/۰۴
	T3	تخریب زیستگاه‌های طبیعی در اثر توسعه ناپایدار	۰/۰۳۰	۲	۰/۰۶
	T4	محدودیت‌های فنی-علمی و نبود قطعیت پیش‌بینی و الگوسازی دقیق سیلاب‌ها	۰/۰۲۵	۲	۰/۰۵
	T5	بی‌توجهی به مدیریت یکپارچه منابع آب	۰/۰۳۰	۲	۰/۰۶
	T6	آسیب‌های ذاتی به زیرساخت‌ها در صورت بروز سیلاب‌های شدید در منطقه‌هایی که طرح‌ها به درستی اجرا نشده‌اند	۰/۰۴۱	۱	۰/۰۴
	T7	نبود زیرساخت‌های لازم برای آسانی اجرای طرح‌های پخش سیلاب در برخی از منطقه‌های روستایی و دورافتاده	۰/۰۲۵	۲	۰/۰۵
	T8	احتمال کاهش منابع آب ورودی به منطقه‌های طرح	۰/۰۳۶	۲	۰/۰۷
	T9	تخریب زیرساخت‌های هیدرولیکی به دلیل نبود نگهداری مناسب و پایش پیوسته	۰/۰۳۰	۲	۰/۰۶
	T10	اثرهای منفی تغییرهای کاربری زمین بر نتایج طرح	۰/۰۲۰	۲	۰/۰۴
	T11	افزایش رقابت بر سر منابع آب محدود	۰/۰۴۶	۱	۰/۰۵
	T12	رسوب‌گذاری در سازه‌ها و مخزن‌های پخش سیلاب	۰/۰۳۶	۲	۰/۰۷
	T13	تأثیر تحریم‌های بین‌المللی بر جذب حمایت‌ها و اعتبارهای خارجی	۰/۰۴۱	۱	۰/۰۴
		جمع	۱		۲/۷۹

واکاوی عامل‌های داخلی و خارجی طرح‌های پخش سیلاب و ارزیابی آن‌ها در ماتریس QSPM نشان داد که این طرح‌ها در موقعیت راهبرد محافظه‌کارانه (WO) قرار دارند. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، امتیاز نهایی عامل‌های داخلی ۲/۲۰ و عامل‌های خارجی ۲/۷۹ محاسبه شدند که نشانگر وجود فرصت‌های محیطی چشمگیر در کنار ضعف‌های درونی است. این یافته‌ها بیانگر این است که هرچند پخش سیلاب در ایران از نظر ظرفیت‌های طبیعی، اقلیمی و حمایت‌های نهادی از موقعیت مناسبی برخوردار است، اما چالش‌هایی مانند کمبود منابع مالی، ضعف در نظام پایش و ارزیابی، ناهماهنگی میان دستگاه‌های اجرایی و محدودیت در به‌کارگیری فناوری‌های نوین، مانع از دستیابی کامل به هدف‌های توسعه‌ای این طرح‌ها شده است. بر این اساس، به کارگیری راهبردی که بتواند از فرصت‌های بیرونی برای رفع ضعف‌های درونی و بهبود عملکرد طرح‌ها استفاده کند، منطقی‌ترین رویکرد در وضعیت کنونی است.

راهبرد محافظه‌کارانه (WO) بر بهره‌گیری هدفمند از فرصت‌های محیطی برای بهبود توان داخلی و نهادی تمرکز دارد. در این چارچوب، تقویت زیرساخت‌های فنی، بهبود ظرفیت‌های مدیریتی و آموزشی، گسترش همکاری‌های بین‌سازمانی و دانشگاهی، جلب حمایت‌های مالی و فنی داخلی و بین‌المللی و بومی‌سازی فناوری‌های نوین از جمله محورهای کلیدی آن است. در چنین رویکردی، هدف اصلی نه گسترش سریع و گسترده طرح‌ها، بلکه بهبود تدریجی، بهبود بهره‌وری و افزایش پایداری در اجرای آن‌ها است. نتایج حاصل از ماتریس QSPM (شکل ۲) نیز نشانگر این است که در وضعیت کنونی، به کارگیری راهبرد محافظه‌کارانه می‌تواند با استفاده از ظرفیت‌های علمی و نهادی کشور، زمینه‌ساز مدیریت کاراتر منابع آب و افزایش کارایی طرح‌های پخش سیلاب در سطح ملی است.



شکل۲- تعیین موقعیت راهبردی ماتریس QSPM.

واکاوی ثانویه بررسی‌های برگزیده ایران

در این بخش، برای غنی‌سازی واکاوی راهبردی و بهره‌گیری از یافته‌های تجربی، نتایج مجموعه‌ای از پژوهش‌های علمی و میدانی انجام شده در ناحیه‌های مختلف کشور در چارچوب الگو SWOT یکی‌سازی شد. این بررسی‌ها که در استان‌های ایلام، خراسان رضوی، یزد، لرستان، فارس، کرمان و سیستان و بلوچستان اجرا شده‌اند، تأثیر طرح‌های پخش سیلاب را بر جنبه‌های هیدرولوژیک، محیط‌زیستی و اجتماعی ارزیابی کردند. یافته‌های تلفیقی نشان می‌دهند که اجرای

این طرح‌ها در بیشتر منطقه‌ها موجب افزایش تغذیه آبخوان‌ها، کاهش شدت رواناب‌های فصلی، بهبود کیفیت خاک و بهبود پوشش گیاهی طبیعی شده است. بررسی‌های انجام‌شده در دشت‌های یزد، کاشمر و دهلران بیانگر کاهش شوری و بهبود کیفیت منابع آب زیرزمینی است که با نتایج پژوهش‌های فاضل‌پور عقدائی و همکاران (۱۳۹۵) و پورامینی و فتوحی (۱۴۰۳) همخوانی دارد.

در منطقه‌های کوهدشت و رومشکان نیز اثرهای مثبت این طرح‌ها بر ترسیب کربن، تثبیت خاک و احیای بوم‌نظام‌های تخریب‌شده گزارش شده است (زند و همکاران، ۱۳۹۲؛ زند، ۱۳۹۸). در بُعد اقتصادی و اجتماعی، بررسی‌های انجام‌شده در ناحیه‌های جنوبی و شرقی کشور نشان می‌دهند که پخش سیلاب افزون بر بهبود عملکرد کشاورزی، موجب کارآفرینی محلی، افزایش درآمد روستاییان و تقویت مشارکت اجتماعی در حفاظت از منابع طبیعی گردیده است. این یافته‌ها با نتایج باقریان و همکاران (۱۳۹۴) و Ahmadvand *et al.* (2017) نیز همسو است.

با وجود این دستاوردها، برخی از بررسی‌ها به چالش‌هایی مانند انباشت رسوب‌ها در مجاری پخش، کمبود منابع مالی، ضعف در هماهنگی نهادی و محدودیت در پایش بلندمدت اشاره کرده‌اند. این موردها در پژوهش‌های Ahmadvand & Karami (2009) و Sovacool *et al.* (2018) نیز تأیید شده اند. واکاوی تلفیقی این داده‌ها نشان داد که نقطه‌های قوت و فرصت‌های طرح‌ها، به ویژه در زمینه بهبود بهره‌وری آب، بازسازی پوشش گیاهی و توسعه همکاری‌های علمی، از وزن بیشتری نسبت به ضعف‌ها و تهدیدها برخوردارند. بر این اساس، موقعیت نهایی طرح‌های پخش سیلاب در ماتریس QSPM در محدوده راهبرد تهاجمی (SO) قرار می‌گیرد.

راهبردهای پیشنهادی توسعه طرح‌های پخش سیلاب

راهبردهای استخراج‌شده از الگو SWOT–QSPM در این پژوهش، با هدف ارائه چارچوبی ملی و سیاست‌محور برای بهبود مدیریت و توسعه طرح‌های پخش سیلاب تدوین شده‌اند. این راهبردها در سطح کلان تنظیم شده‌اند تا ضمن ارائه جهت‌گیری‌های اصلی، امکان بومی‌سازی و همخوانی آن‌ها با ویژگی‌های اقلیمی، هیدرولوژیکی و اجتماعی هر منطقه فراهم شود. بدیهی است که هر استان یا حوضه آبریز، با توجه به شرایط ویژه خود، می‌تواند اولویت‌ها و اقدام‌های اجرایی متناسب با این چارچوب را استخراج کند. راهبردهای پیشنهادی عبارتند از:

۱- **بهبود زیرساخت‌های فنی و افزایش کارایی هیدرولوژیک طرح‌ها**

- ❖ بازنگری در طراحی سازه‌های پخش سیلاب متناسب با ویژگی‌های خاک، شیب و نوع رسوب‌ها.
- ❖ استفاده از فناوری‌های نوین برای افزایش نفوذپذیری خاک و کاهش انباشت رسوب در مجاری پخش سیلاب.
- ❖ توسعه سامانه‌های هوشمند پایش رطوبت خاک، دبی جریان و تغذیه طبیعی آبخوان‌ها.

۲- **توسعه همکاری‌های علمی، آموزشی و بین‌سازمانی در بخش مدیریت سیلاب**

- ❖ ایجاد ارتباط پژوهشی بین دانشگاه‌ها، مؤسسه‌های پژوهشی و سازمان‌های منابع طبیعی.
- ❖ برگزاری دوره‌های تخصصی برای کارشناسان برای افزایش دانش فنی در طراحی و بهره‌برداری طرح‌های پخش سیلاب.
- ❖ انتقال و بومی‌سازی تجربه‌های موفق جهانی در زمینه تغذیه مصنوعی و مدیریت رواناب در منطقه‌های خشک.

۳- **جلب حمایت‌های مالی، نهادی و بین‌المللی برای طرح‌های پخش سیلاب**

- ❖ تهیه طرح‌های جامع اقتصادی–محیط زیستی برای جذب سرمایه از نهادهای ملی و بین‌المللی.
- ❖ استفاده از ظرفیت نهادهای مرتبط با تغییر اقلیم و رویارویی با بیابان‌زایی برای تأمین اعتبار طرح‌ها.

❖ طراحی مشوق‌های اقتصادی برای بخش خصوصی و جامعه‌های محلی در اجرای طرح‌های پخش سیلاب.

۴- **افزایش مشارکت جامعه‌های محلی و بهره‌گیری از فناوری‌های بومی**

❖ بازآفرینی فناوری‌های سنتی همچون بندسار، خوشاب و سیلاب‌گیرهای محلی در چارچوب علمی جدید.

❖ بهبود آگاهی و توانمندسازی جامعه‌های محلی از راه آموزش و مشارکت در نگهداری طرح‌ها.

❖ ایجاد سازوکارهای مشارکتی برای مدیریت بهره‌برداری و نگهداری از سازه‌های پخش سیلاب.

۵- **بهبود سیاست‌گذاری و مدیریت یکپارچه منابع آب در سطح حوضه‌ها**

❖ تلفیق طرح‌های پخش سیلاب با برنامه‌های تغذیه آبخوان‌ها و کنترل سیلاب در طرح‌های مدیریت جامع.

❖ تقویت هماهنگی بین سازمان‌های متولی آب، منابع طبیعی و محیط زیست برای جلوگیری از در هم رفتن وظیفه‌ها.

❖ تدوین روش‌کارهای ملی برای اولویت‌بندی منطقه‌های توانمند اجرای طرح‌های پخش سیلاب.

۶- **مدیریت و کاهش آسیب‌های محیط‌زیستی و رسوب‌گذاری**

❖ طراحی مهندسی زیستی[1] برای تثبیت خاک و کنترل فرسایش.

❖ اجرای برنامه‌های منظم پایش رسوب و شوری خاک برای حفظ پایداری عملکرد طرح‌ها.

❖ استفاده از گونه‌های گیاهی بومی و مقاوم برای افزایش پایداری بسترهای پخش سیلاب.

۷- **پایش و ارزیابی کمی و کیفی اثرهای طرح‌ها**

❖ ایجاد نظام ارزیابی بر پایه شاخص‌های کمی شامل نفوذپذیری، پوشش گیاهی و تغییرهای سطح آب زیرزمینی.

❖ واکاوی اثرهای اقتصادی-اجتماعی طرح‌ها بر سطح معیشت جامعه‌های محلی.

❖ انتشار گزارش‌های دوره‌ای برای افزایش شفافیت و تصمیم‌سازی بر پایه داده‌ها.

بحث و نتیجه‌گیری

طرح‌های پخش سیلاب به‌عنوان یکی از مؤثرترین راهکارهای مدیریت پایدار منابع آب در منطقه‌های خشک و نیمه‌خشک ایران، نقش برجسته‌ای در کاهش خطرهای سیل، تغذیه آبخوان‌ها، احیای بوم‌نظام‌های تخریب‌شده و افزایش تاب‌آوری جامعه‌های محلی در برابر تغییر اقلیم دارند. یافته‌های این پژوهش که با بهره‌گیری از واکاوی SWOT و ماتریس QSPM انجام شد، نشان داد که راهبرد محافظه‌کارانه، یعنی بهره‌برداری بیشینه از فرصت‌های خارجی برای جبران و کاهش ضعف‌های داخلی، مناسب‌ترین و واقع‌بینانه‌ترین رویکرد راهبردی برای توسعه پایدار این طرح‌ها در شرایط کنونی کشور است. نتایج واکاوی کمی عامل‌های داخلی بیانگر چیرگی نسبی ضعف‌ها بر قوت‌ها با مجموع امتیاز ۲/۲۰ بود، به‌طوری‌که قوت‌های اصلی (بهبود نفوذ آب در خاک، افزایش رطوبت سطحی و گسترش پوشش گیاهی) بیشتر فنی-طبیعی بودند، اما ضعف‌های چیره (کمبود بودجه، نبود داده‌های دقیق و به‌روز، ناهماهنگی نهادی و ضعف پایش بلندمدت) ماهیتی سازمانی-مدیریتی داشتند. در مقابل، عامل‌های خارجی با امتیاز کلی ۲/۷۹ و برتری فرصت‌ها بر تهدیدها، پتانسیل چشمگیری برای پشتیبانی از طرح‌ها فراهم می‌کنند؛ فرصت‌هایی مانند ظرفیت وسیع دشت‌های سیلابی، دسترسی رو به رشد به فناوری‌های سنجش از دور و پایش هوشمند، توجه جهانی به مدیریت پایدار آب و امکان گسترش همکاری‌های علمی و بین‌المللی. مشارکت فعال جامعه‌های محلی نیز به‌عنوان عامل کلیدی موفقیت، همراستا با بررسی‌های پیشین،

1. Bioengineering

بر ضرورت ایجاد انگیزه‌های اقتصادی، اجتماعی و آموزشی تأکید دارد. با وجود چالش‌های جدی مانند رسوب‌گذاری شدید، ضعف طراحی سازه‌ها و نبود نظام ارزیابی پیوسته، اجرای راهبرد WO با تمرکز بر تقویت هماهنگی نهادی، تأمین مالی پایدار، توسعه نظام پایش مستمر، بهره‌گیری از فناوری‌های نوین و بومی‌سازی تجربه‌های موفق می‌تواند عملکرد و پایداری این طرح‌ها را به‌طور تدریجی ارتقا دهد.

منابع

باقریان کلات، علی؛ مظهری، محمد؛ شادمانی، علیرضا. (۱۳۹۴). ارزیابی اقتصادی پروژه پخش سیلاب کاشمر. *مجله علمی سامانه های سطوح آبگیر باران*, ۳(۴)، ۴۹-۵۶.

پادیاب، محسن؛ فیض‌نیا، سادات؛ احمدی، حسن؛ شفیعی، اردشیر. (۱۳۹۴). تعیین میزان نفوذ عمقی رسوب در عرصه‌های پخش سیلاب (مطالعه موردی: ایستگاه پخش سیلاب گچساران). *مرتع و آبخیزداری*، ۶۸(۱)؛ ۱۵-۲۴.

پورامینی، طاهره؛ فتوحی فیروزآباد، فرزانه؛ برخورداری، جلال. (۱۴۰۳). بررسی عملکرد سامانه پخش سیلاب بر کیفیت آب زیرزمینی. *محیط زیست و مهندسی آب*، ۱۰(۲)، ۲۱۲-۲۲۶.

جعفری، علی؛ خسروانیان، حسن؛ فخری، فرهاد. (۱۳۹۱). ارزیابی تاثیر پخش سیلاب و تیمار قرق بر تغییرات پوشش گیاهی ایستگاه تنگستان در استان بوشهر. *مهندسی و مدیریت آبخیز*، ۴(۲)، ۱۰۳-۱۰۹.

جعفری، علی؛ توکلی‌راد، فاطمه؛ نظری سامانی، علی اکبر. (۱۳۹۹). تاثیر پخش سیلاب بر کانی های رسی خاک در استان بوشهر (مطالعه ی موردی: ایستگاه پخش سیلاب تنگستان). *نشریه مرتع و آبخیزداری*، ۷۳(۳)، ۴۸۹-۴۹۷.

جوادی، محمدرضا؛ باقری، مهدی؛ وفاخواه، مهدی؛ غلامی، شعبانعلی. (۱۳۹۳). تأثیر پخش سیلاب بر خصوصیات فیزیکی خاک (مطالعه موردی: پخش سیلاب دلیجان، استان مرکزی). *پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز*، ۵(۹)، ۱۱۹-۱۲۹.

حاجی هاشمی جزی، محمدرضا؛ نحوی‌نیا، محمدجواد؛ زهتابیان، غلامرضا؛ زورمند، سمانه. (۱۳۸۸). *تاثیر پخش سیلاب بر منابع آب زیرزمینی شرق دشت بیرجند*. پنجمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران (مدیریت پایدار بلایای طبیعی)، گرگان.

زند، مهران. (۱۳۹۸). ارزیابی اثر بخشی عملیات مدیریتی و احیایی آبخیزداری در ترسیب کربن، مطالعه موردی: حوضه‌های ریمله، رومشکان و کوهدشت. *مهندسی و مدیریت آبخیز*، ۱۱(۱)، ۱۶۶-۱۷۹.

زند، مهران؛ سیاه منصور، رضا؛ تقوی گودرزی، سعید؛ ذوالفقاری، فرجاله. (۱۳۹۲). ارزیابی اثر بخشی عملیات بیومکانیکی آبخیزداری در ترسیب کربن به‌منظور اصلاح تغییرات اقلیمی، مطالعه موردی: آبخوان‌داری کوهدشت و پخش سیلاب رومشکان. *مهندسی و مدیریت آبخیز*، ۵(۱)، ۹-۱۶.

سلاجقه، افشین؛ سعیدیان، حمزه؛ آقامیرزاده، شاهین؛ معدنچی، پیمان. (۱۴۰۱). اثر پخش سیلاب بر میزان پوشش، تراکم و تولید گونه های درختی و مرتعی در ایستگاه پخش سیلاب آب باریک بم. *نشریه علمی خشک بوم*، ۱۲(۲)، ۵۷-۶۸.

سنجری غلامرضا؛ زورقی، غلامحیدر. (۱۳۸۰). بررسی اثر پخش سیلاب بر تغییرات سطح آب های زیرزمینی آبخوان پسکوه سراوان. *نشریه پژوهش سازندگی*، ۱۴(۱)، ۵۴-۵۷.

فاضل پور عقدائی، محمدرضا؛ ملکی نژاد، حسین؛ اختصاصی، محمدرضا؛ برخورداری، جلال؛ زارع چاهوکی، اصغر. (۱۳۹۵). ارزیابی تاثیر پروژه‌های پخش سیلاب بر ویژگی‌های خاک در استان یزد. *نشریه علمی-پژوهشی مرتع و آبخیزداری*، ۶۹(۴)، ۹۸۳-۹۹۷.

Ahmadvand, M. & Karami, E. (2009). A social impact assessment of the floodwater spreading project on the Gareh-Bygone plain in Iran: a causal comparative approach. *Environmental Impact Assessment Review*, 29(2), 126-136.

Ahmadvand, M. & Karami, E. (2017). Social impacts evaluation and insider-outsider paradigm: Floodwater spreading project on the Gareh-Bygone plain as an illustrative case. *Evaluation and Program Planning*, 65, 69-76.

Ahmadvand, M., Karami, E. & Iman, M.T. (2011). Modeling the determinants of the social impacts of agricultural development projects. *Environmental Impact Assessment Review*, 31(1), 8-16.

David, F.R. (1986). The strategic planning matrix—a quantitative approach. *Long Range Planning*, 19(5), 102-107.

David, Fred R. (2011). *Strategic management: concepts and cases.* Prentice Hall, 13th ed*,* pp. 172- 352.

dos Santos, M.F.N., Barbassa, A.P., Vasconcelos, A.F. & Ometto, A.R. (2021). Stormwater management for highly urbanized areas in the tropics: Life cycle assessment of low impact development practices. *Journal of Hydrology*, 598, 126409.

Hidaka, M., Goto, A., Umino, S. & Fujita, E. (2005). VTFS project: Development of the lava flow simulation code LavaSIM with a model for three-dimensional convection, spreading, and solidification. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 6(7), 1-26.

Jain, S.K. (2012). Harnessing the managed aquifer recharge potential for sustainable ground water management in India. *Water and Energy International*, 69(8), 32-38.

Kowsar, A. (1992). Desertification control floodwater spreading in Iran. *Unasylva*, 43, 27-30.

Naghibi, S.A., Vafakhah, M., Hashemi, H., Pradhan, B. & Alavi, S.J. (2020). Water resources management through flood spreading project suitability mapping using frequency ratio, k-nearest neighbors, and random forest algorithms. *Natural Resources Research*, 29, 1915-1933.

Nasiri, H., Boloorani, A.D., Sabokbar, H.A.F., Jafari, H.R., Hamzeh, M. & Rafii, Y. (2013). Determining the most suitable areas for artificial groundwater recharge via an integrated PROMETHEE II-AHP method in GIS environment (case study: Garabaygan Basin, Iran). *Environmental Monitoring and Assessment*, 185, 707-718.

Pakparvar, M., Walraevens, K., Cheraghi, S.A.M., Ghahari, G.H., Cornelis, W., Gabriels, D. & Kowsar, S.A. (2017). Assessment of groundwater recharge influenced by floodwater spreading: an integrated approach with limited accessible data. *Hydrological Sciences Journal*, 62(1), 147-164.

Rostami, N., Sohrabi, T. & Kazemi, Y. (2021). Stability analysis of flood spreading systems in arid regions, Iran. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 45, 1819-1829.

Song, J., Betz, F., Aishan, T., Halik, Ü. & Abliz, A. (2024). Impact of water supply on the restoration of the severely damaged riparian plants along the Tarim River in Xinjiang, Northwest China. *Ecological Indicators*, 158, 111570.

Sovacool, B. K., Tan-Mullins, M. & Abrahamse, W. (2018). Bloated bodies and broken bricks: Power, ecology, and inequality in the political economy of natural disaster recovery. *World Development*, 110, 243-255.

Weihrich, H. (1982). The TOWS matrix—A tool for situational analysis. *Long Range Planning*, 15(2), 54-66.

Strategic Research Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources 11(1): 63-76 (2026)

An Analytical Examination of Opportunities, Threats, Strengths, and Weaknesses of Floodwater Spreading Projects in Iran

Moazeni, S.R.[1] and Malekian, A. [2]

Floodwater spreading projects, as one of the key methods for runoff management and enhancing natural water infiltration in downstream lands—particularly in arid and semi-arid regions of Iran—play a vital role in reducing flood damages, strengthening the natural recharge of aquifers, and improving the ecological condition of rangelands and rain-fed farmlands. The aim of this study was to systematically analyze the strengths, weaknesses, opportunities, and threats (SWOT) associated with floodwater spreading projects in Iran and to develop optimal strategies for improving their performance and achieving sustainable development through the use of analytical models SWOT and QSPM. In this research, internal factors (strengths and weaknesses) and external factors (opportunities and threats) were identified and evaluated through targeted interviews with experts, managers, natural resources specialists, and university professors. The results revealed that these projects are in a position where adopting conservative (WO) strategies can lead to the best outcomes. Based on the findings, applying advanced technologies for flood modeling and monitoring (such as GIS, remote sensing, and numerical hydrological models), strengthening cooperation among scientific, executive, and local institutions, and enhancing community participation are among the most important strategies that can improve the performance and sustainability of floodwater spreading projects. Moreover, integrating indigenous knowledge with financial support and localization of successful global experiences can enhance these projects' capacity to cope with challenges such as soil salinity and sedimentation. The results also indicated that environmental monitoring and the use of advanced technologies play a decisive role in improving project performance. Ultimately, this study demonstrates that through appropriate strategies and integrated management, floodwater spreading projects can become an effective tool for mitigating climate change impacts and enhancing water resources management in arid regions.

Key words: Climate resilience, Ecosystem sustainability, Integrated management, Local community engagement, SWOT analysis.

1. Corresponding author's Email: malekian@ut.ac.ir
2. Ph.D. Student and Professor, University of Tehran, Tehran, respectively.

مجله پژوهش‌های راهبردی در علوم کشاورزی و منابع طبیعی جلد ۱۱ شماره ۱ صفحه‌های ۷۷ تا ۹۲ (۱۴۰۵)

واکاوی ظرفیت سازگاری عشایر قشقایی در رویارویی با تغییر اقلیم در مرتع‌های میان‌بند شهرستان شیراز[1]

حمیدرضا رستم مراد دوقزلو، مهدی قربانی[2]، حمیدرضا ناصری، علی طویلی و سارا جلیلیان[3]

چکیده

در این پژوهش، درک و ظرفیت سازگاری عشایر قشقایی در مرتع‌های میان‌بند شهرستان شیراز نسبت به تغییر اقلیمی بررسی شد. هدف، واکاوی درک بهره‌برداران از نشانه‌های تغییر اقلیم و ارزیابی بُعدهای مختلف ظرفیت سازگاری شامل اقتصادی، اجتماعی، زیرساختی، دانشی و سیاست‌های دولتی به منظور ارائه راهکارهای تقویت تاب‌آوری معیشتی بود. پژوهش به شیوه توصیفی-پیمایشی و با استفاده از پرسشنامه‌ای ساختاریافته انجام شد که روایی آن توسط متخصصان تأیید و پایایی آن با آلفای کرونباخ ۰/۷۷۳ برای درک اقلیمی و ۰/۷۷۲ برای ظرفیت سازگاری محاسبه شد. جامعه آماری دربرگیرنده عشایر طایفه‌های شش‌بلوکی و رحیملو بود و ۷۹ نفر از اعضای شورای عشایری دوره پنجم به شیوه هدفمند و به صورت نمونه کامل بررسی شدند. نتایج نشان دادند که عشایر دارای درک متوسط تا زیادی از تغییر اقلیمی دارند (میانگین۳/۲۳)، به‌ویژه کاهش بارش برف و خشکیدن منابع آبی به‌عنوان شاخص‌ترین نشانه‌ها شناسایی شدند، در حالی‌که افزایش آفت‌های جدید و تغییر در الگوهای باد، کمتر مورد توجه بودند. در ارزیابی بُعدهای ظرفیت سازگاری، بُعد دانشی با میانگین ۲/۳۳ بیشترین و بُعدهای اقتصادی (۱/۸۶) و سیاست‌های دولتی (۱/۹۴) کمترین میانگین‌ها را داشتند. آزمون فریدمن[4] تفاوت معنی‌داری را بین این بُعدها نشان‌داد. الگوسازی معادله‌های ساختاری نیز رابطه معنی‌دار را بین درک اقلیم و ظرفیت سازگاری تأیید نکرد. بر اساس یافته‌ها، پیشنهاد می‌شود با تقویت تعاونی‌های عشایری، آموزش‌های ترکیبی بومی و نوین، توزیع عادلانه فناوری و حمایت از خانوارهای آسیب‌پذیر، تاب‌آوری عشایر در برابر تغییرهای اقلیمی افزایش یابد.

واژه‌های کلیدی: اقلیم، بهره‌برداران مرتع، ظرفیت سازگاری، عشایر قشقایی، میان‌بند.

مقدمه

جامعه‌های عشایری از پیچیده‌ترین و همزمان، پویاترین نظام‌های اجتماعی-بوم‌شناختی در ایران هستند که به‌ویژه در منطقه‌های خشک و نیمه‌خشک کشور نقش مهمی در حفظ گوناگونی زیستی، پایداری منابع طبیعی و امنیت غذایی

۱- تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۲/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۳

۲- پست الکترونیک نویسنده مسئول: mehghorbani@ut.ac.ir

۳- به ترتیب، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، استاد، استادیار، استاد و دانشجوی دکتری دانش‌آموخته دانشگاه تهران، کرج.

4. Friedman test

دارند (کاویانپور و همکاران، ۱۴۰۳؛ حسین زاده و همکاران، ۱۳۹۷). با این حال، در دهه‌های اخیر، این شیوه زندگی به واسطه فشارهای فزاینده محیطی و اجتماعی، به ویژه تغییرهای اقلیمی، با چالش‌های بی‌سابقه‌ای روبه‌رو شده است (محمدی و همکاران، ۱۳۹۹).

تغییر در الگوهای بارش، افزایش دما، تشدید خشکسالی‌ها و بروز پدیده‌های حدی اقلیمی از جمله عامل‌هایی هستند که سبب تضعیف توان بوم‌شناسانه مرتع‌ها و کاهش معیشت پایدار خانوارها شده‌اند (Behmanesh *et al*., 2025؛ Briske *et al*., 2015). همزمان، رشد فزاینده جمعیت در گذشته، محدودیت‌های قانونی در بهره‌برداری از منابع و کمرنگ شدن حمایت‌های نهادی، مقدار تاب‌آوری جامعه‌ها را کاهش داده است (Smith *et al*., 2023). همچنین، کاهش پوشش گیاهی، خشک شدن چشمه‌ها و تغییر در الگوی رویش گیاهان مرتعی از نتایج مستقیم این تغییرها هستند که بر تأمین علوفه دام تأثیر منفی گذاشته‌اند (Ghazali *et al*., 2022).

چنین شرایطی، لزوم ارزیابی علمی و نظام‌مند از ظرفیت سازگاری جامعه‌ها را برای اتخاذ تصمیم‌های دقیق‌تر در عرصه مدیریت منابع و برنامه‌ریزی توسعه‌ای دوچندان کرده است. ظرفیت سازگاری، مفهومی چندبُعدی است که از ترکیب عنصرهای اقتصادی، اجتماعی، دانشی، زیرساختی و حکمرانی شکل می‌گیرد و تعیین‌کننده توان یک جامعه در رویارویی، تعدیل و بازیابی از اثرهای منفی تغییرهای اقلیمی است (Cinner *et al*., 2018؛ Lemos *et al*., 2013؛ Marshall, 2015). در این میان، هر یک از این بُعدها، به گونه‌ای بر راهبردهای معیشتی، قدرت تصمیم‌گیری و پایداری منابع اثرگذار هستند. برای نمونه، در بُعد اقتصادی، ظرفیت سازگاری یافته‌ها نشان داده است که خانوارهایی که به جای اتکای صرف به دامداری، به کشاورزی مکمل، خدمت‌های محلی یا صنایع دستی نیز مشغول‌اند، در برابر تغییرهای اقلیمی آسیب‌پذیری کمتری دارند (Datta & Behera, 2022؛ Ghazali *et al*., 2022). همچنین، دسترسی به بازار، اعتبار مالی، بیمه و برنامه‌های حمایتی دولتی در افزایش این ظرفیت مؤثر شناخته شده است.

بُعد اجتماعی که به انسجام، اعتماد اجتماعی، مشارکت و شبکه‌های درون‌قبیله‌ای اشاره دارد، به ویژه در جامعه‌ای مانند عشایر قشقایی با ساختار قبیله‌ای قوی، نقش مؤثری در انتقال تجربه، تصمیم‌گیری جمعی و توزیع منابع در شرایط بحرانی دارد (قربانی و همکاران، ۱۴۰۴؛ شریعتی نیا و همکاران، ۱۴۰۴؛ Smith *et al*., 2023). همبستگی اجتماعی زیاد موجب می‌شود راهبردهای سازگاری مانند زمان‌بندی کوچ، نگهداری منابع مشترک و هماهنگی‌های فصلی با موفقیت بیشتری اجرا شوند.

دانش بومی، به‌عنوان یکی از بُعدهای دانشی ظرفیت سازگاری، بخش مهمی از پاسخ‌های موفق عشایر به تغییرهای اقلیمی را تشکیل می‌دهد. عشایر قشقایی با توجه به تجربه‌های بین‌نسلی، از راه مشاهده نشانه‌های طبیعی مانند رفتار جانوران، شکل‌گیری ابرها و نوع گیاهان، الگوی مهاجرت، محل چرا و زمان استقرار خود را تنظیم می‌کنند (صبوحی و همکاران، ۱۳۹۷). این دانش سنتی در سال‌های اخیر با ساخت آب‌بند، خانه‌های سیمانی مقاوم در برابر گرما و سیلاب و تغییر ترکیب گونه‌های دامی به‌کار گرفته شده است (صبوحی و همکاران، ۱۳۹۷؛ Tugjamba *et al*., 2023؛ Ghazali *et al*., 2022).

از سوی دیگر، زیرساخت‌هایی مانند جاده‌های عشایری، منابع آبرسانی، بهداشت دام و سرپناه مناسب، پایه فیزیکی برای سازگاری فراهم می‌کنند. نبود زیرساخت مقاوم در منطقه‌های ییلاق و قشلاق، دسترسی عشایر به منابع را دشوار کرده و روند کوچ را مخاطره‌آمیز ساخته است. در مقابل، جامعه‌هایی که در آنها خانه‌های مقاوم و آبگیرهای ذخیره‌ای ایجاد شده‌اند، ظرفیت بیشتری برای سازگاری از خود نشان داده‌اند (Jamshidi *et al*., 2020 ؛ Datta & Behera, 2022).

بُعد نهادی یا حکمرانی، شامل نقش دولت در تدوین سیاست‌های اقلیمی، آسان‌سازی دسترسی به منابع، حمایت مالی و آموزش‌های ترویجی است. یافته‌ها نشان می‌دهند که مشارکت پایین در فرآیند تصمیم‌سازی، بی‌توجهی به ساختارهای سنتی و ناهمخوانی طرح‌های توسعه‌ای با شرایط بومی، کارآمدی این سیاست‌ها را کاهش داده است (قربانی و همکاران، ۱۳۹۴؛ Marshall, 2015؛ Wesche & Chan, 2010). با این حال، بررسی‌هایی مانند Ghazali *et al.* (2022) نشان داده‌اند که تلفیق دانش بومی با برنامه‌های دولتی می‌تواند به طور چشمگیری ظرفیت سازگاری را تقویت کند.

عشایر، با وجود آسیب‌پذیری زیاد، بااستفاده از مجموعه‌ای از راهبردهای سازگاری، از جمله تنوع‌بخشی به معیشت، تغییر مسیر کوچ، استفاده از منابع آبی جایگزین، اصلاح ساختار دامداری و بهره‌گیری از معماری سنتی متحرک، تلاش کرده‌اند با شرایط اقلیمی جدید سازگار شوند (Ghazali *et al*., 2022؛ Tugjamba *et al*., 2023).

دانش بومی این جامعه‌ها، که حاصل تعامل پیوسته با محیط و انتقال نسلی تجربه است، پشتوانه‌ای مهم برای طراحی برنامه‌های مبتنی بر مشارکت و پایداری است (صبوحی و همکاران، ۱۳۹۷). بررسی‌ها نشان داده‌اند که تلفیق دانش بومی با دانش علمی می‌تواند کارآمدی سازگاری را به طور چشمگیری افزایش دهد (Cinner *et al*., 2018؛ Chepkoech *et al*., 2020).

بررسی‌های پیشین نشانگر تأثیرهای ژرف تغییرهای اقلیمی بر جامعه‌های عشایری و ضرورت بررسی ظرفیت سازگاری آن‌ها هستند. یک بررسی در منطقه ناگچو تبت، Wang *et al.* (2014) با استفاده از چارچوب اوستروم[1]، آسیب‌پذیری سیستم‌های عشایری را بررسی کردند و نشان‌دادند که تغییر اقلیم، با کاهش تولید علوفه و دسترسی به آب، معیشت عشایر را تهدید می‌کند. آن‌ها راهبردهای سازگاری مانند کاشت علوفه، خرید خوراک دام، اجاره مرتع‌ها، پیوستن به تعاونی‌ها و گوناگونی معیشتی را شناسایی کردند، اما چالش‌های اجتماعی، فرهنگی و نهادی را نیز برجسته کردند. به‌طور مشابه، Wang *et al.* (2025) با بررسی سه نوع استپ (بیابانی، معمولی و مرتعی) در منطقه‌های عشایری، دریافتند که عشایر استپ بیابانی با تجربه بیشتر در رویارویی با خشکسالی و دریافت حمایت دولتی (۲۸٪)، ظرفیت سازگاری زیادتری دارند، درحالی‌که استپ‌های معمولی و مرتعی با خسارت‌های سنگین‌تر و حمایت کمتر (۲۲/۲۲٪) روبه‌رو هستند. این بررسی‌ها بر اهمیت ترکیب دانش محلی، سیاست‌گذاری و علم برای تقویت تاب‌آوری تأکید دارند.

در همین راستا، Omerkhil *et al.* (2020) آسیب‌پذیری کشاورزان خرده‌پا در منطقه یانگی‌قلعه افغانستان را با چارچوب IPCC[2] بررسی کردند و نشان دادند که ۵۰٪ روستاها، به ویژه در منطقه‌های تپه‌ای با منابع محدود و ظرفیت سازگاری پایین، به شدت آسیب‌پذیرند. آن‌ها رویکردهای کم‌هزینه مانند خدمت‌های ترویجی و حفاظت از بوم‌نظام را پیشنهاد کردند. همچنین، Pandey *et al.* (2018) در جامعه‌های حاشیه‌نشین هیمالیای هند، آسیب‌پذیری زیاد خانوارها را با ظرفیت جذب و رویارویی پایین گزارش کردند و تفاوت‌های اجتماعی در تصمیم‌گیری و منابع را عامل کلیدی دانستند. با تمرکز بر مدیریت منابع طبیعی، Thurman *et al.* (2014) اقدام‌های مدیریتی و رفع دشواری‌های انسانی را برای تقویت ظرفیت سازگاری پیشنهاد کردند. در پژوهشی، Snaibi *et al.* (2021) درک دقیق عشایر مراکش از کاهش بارش و افزایش دما را تأیید کردند و نشان دادند که عشایر ثروتمندتر راهبردهای گوناگون‌تری دارند، درحالی‌که عشایر فقیرتر به اقدام‌های کم‌اثر مانند کار موقت وابسته‌اند. همچنین، Tan *et al.* (2018) با محاسبه شاخص ظرفیت سازگاری (۰/۴۰) در مغولستان داخلی، سرمایه مالی و اجتماعی را عامل‌های اصلی سازگاری دانستند.

1. Ostrom
2. Intergovernmental Panel on Climate Change

به‌طور کلی بررسی‌های حاصل از پیشینه‌های پژوهشی نشان داد که بررسی‌های مربوط به ظرفیت سازگاری در ایران بیشتر روی جامعه‌های روستایی و کشاورزان بوده و به ظرفیت سازگاری مرتعداران و جنبه‌های چندگانه ظرفیت سازگاری عشایر کوچ‌نشین کمتر پرداخته شده است. از سوی دیگر، بیشتر این پژوهش‌ها تمرکز محدودی روی شاخص‌های فرهنگی، نهادی و زیرساختی دارند و بیشتر بر بُعد اقتصادی متمرکز شده‌اند و ترکیب منسجمی از پنج بُعد ظرفیت‌سازگاری ارائه نمی‌دهند.

ایل قشقایی به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین و باسابقه‌ترین ایل‌های عشایری کشور، با برخورداری از نظام کوچ‌نشینی فصلی و دانش بومی گسترده، قرن‌هاست که در قلمروهای گوناگون مرتعی از جمله مرتع‌های میان‌بند به فعالیت دامداری مشغول است (صبوحی و همکاران، ۱۳۹۷). عشایر قشقایی، متشکل از طایفه‌هایی مانند شش‌بلوکی و رحیملو، با ساختار اجتماعی قبیله‌ای قوی، انسجام اجتماعی زیاد و دانش بومی غنی در مدیریت مرتع‌ها و منابع آبی، از راه تجربه‌های بین‌نسلی و تعامل پیوسته با محیط، الگوهای کوچ و دامداری خود را تنظیم می‌کنند. این ویژگی‌ها، همراه با فرهنگ غنی و صنایع دستی منحصر به فرد مانند گبه‌بافی، آن‌ها را به عنوان یکی از جامعه‌های کلیدی در حفظ میراث فرهنگی و بوم‌شناختی ایران مطرح کرده است (قربانی و همکاران، ۱۴۰۴).

مرتع‌های میان‌بند شهرستان شیراز، به عنوان منطقه‌های گذرا در مسیر کوچ فصلی عشایر قشقایی، نقش حیاتی در نظام معیشتی دامداری سیار دارند. با این حال، در دهه‌های اخیر، این مرتع‌ها نیز مانند بیشتر مرتع‌های کشور با چالش‌های جدی ناشی از تغییر اقلیم روبه‌رو شده‌اند که بر معیشت عشایر و پایداری بوم‌نظام تأثیر منفی گذاشته است. این چالش‌ها به کاهش و گاهی حذف مرتع‌های میان‌بند از برنامه کوچ عشایر شده است. به‌دلیل وجود نداشتن ظرفیت سازگاری که از اصلی‌ترین عامل‌های آن مشکل‌های بوم‌شناختی و هیدرولوژیکی ناشی از تغییرهای اقلیمی است، بی‌تردید، موجب ایجاد اختلال‌های جدی در روند زندگی عشایری مبتنی بر کوچ شده و در آینده نیز تشدید خواهد شد. بی‌شک، نتیجه حذف میان‌بند نیز، فشار دوبرابری بر مرتع‌های ییلاقی و قشلاقی و در نهایت تخریب آن‌ها و همچنین تضعیف و حذف جامعه‌های عشایری است. به‌همین دلیل، بررسی حاضر، با هدف بررسی درک و تجربه عشایر از تغییرهای اقلیمی، واکاوی وضعیت بُعدهای مختلف ظرفیت سازگاری آن‌ها و ارائه پیشنهادهایی برای تقویت تاب‌آوری معیشت‌های عشایری در برابر تهدیدهای اقلیمی انجام شد.

مواد و روش‌ها

این بررسی از نوع توصیفی–پیمایشی است و با رویکرد کاربردی انجام شده است. هدف اصلی پژوهش، بررسی مقدار درک بهره‌برداران عشایر قشقایی از تغییرهای اقلیمی و ارزیابی ظرفیت سازگاری آن‌ها در رویارویی با این تغییرها است.

جامعه آماری شامل عشایر ایل قشقایی است که یکی از بزرگ‌ترین اتحادیه‌های ایلی ایران است. این ایل از هشت طایفه شامل کشکولی بزرگ، کشکولی کوچک، دره‌شوری، شش‌بلوکی، فارسیمدان، رحیملو، قره‌چای و عمله تشکیل شده است و قلمرو آن در استان‌های فارس، بوشهر، کهگیلویه و بویراحمد، چهارمحال و بختیاری، خوزستان و اصفهان گسترش دارد. قلمرو پژوهش، مرتع‌های میان‌بند در اختیار دو طایفه شش‌بلوکی و رحیملو در پیرامون شهرستان شیراز بود. بر اساس سرشماری سال ۱۴۰۰، جمعیت عشایر کوچنده در شهرستان شیراز ۱۵۰۶۶ نفر است.

نمونه‌گیری این پژوهش به صورت هدفمند و با روش تمام‌شماری انجام شد. در این روش، تمامی ۷۹ نفر از اعضای شورای عشایری دوره پنجم از دو طایفه شش‌بلوکی و رحیملو که در منطقه میان‌بند حضور فعال داشته‌اند، به‌عنوان

نمونه بررسی شدند. انتخاب این دو طایفه و شوراها به‌دلیل دسترسی، نقش محوری و مشارکت مؤثر آن‌ها در فعالیت‌های عشایری منطقه مورد بررسی بوده است.

ابزار اصلی گردآوری داده‌ها، پرسشنامه‌ای ساختاریافته بود که به‌صورت حضوری میان پاسخ‌دهندگان توزیع و تکمیل شد. پرسشنامه بر پایه بررسی‌های پیشین، از جمله پژوهش‌های Swanson & Venema (2007) و صبوحی و همکاران (۱۳۹۷) طراحی و سپس بر اساس شرایط محلی بومی‌سازی و استانداردسازی شد. پرسشنامه شامل سه بخش اطلاعات فردی، ادراک نسبت به پیامدهای تغییراقلیم و ظرفیت سازگاری در برابر آن بود. در طراحی پرسش‌ها از مقیاس لیکرت[1] پنج گزینه‌ای استفاده‌شد.

روایی محتوایی پرسشنامه توسط جمعی از استادان دانشگاه و داوران متخصص تأیید شد. برای سنجش پایایی، از آزمون آلفای کرونباخ استفاده شد. ضریب آلفای حاصل از واکاوی گویه‌ها با نرم افزار IBM SPSS v27 برای دو بخش اصلی پرسشنامه شامل ادراک از تغییرهای اقلیمی ۰/۷۷۳ و ظرفیت سازگاری ۰/۷۷۲ اندازه‌گیری شد که نشانگر پایایی مطلوب ابزار و دقت اندازه‌گیری آن است.

مرتع‌های میان‌بند عشایری ایل قشقایی شامل چندین شهرستان در استان فارس است و از آن‌ها به‌صورت فصلی و موقت، به ویژه در فصل‌های بهار و پاییز، برای چرای دام بهره‌گیری می‌شود و نقش مهمی در نظام معیشتی دامداری کوچنده دارند. با توجه به سبک زندگی کوچ‌نشینی و جابه‌جایی‌های منظم عشایر بین منطقه‌های ییلاقی و قشلاقی، مرتع‌های میان‌بند به‌عنوان منطقه‌ای گذرا، اما بسیار حیاتی در مسیر کوچ قراردارند. مرتع‌های اصلی میان‌بند مورد استفاده دو طایفه شش‌بلوکی و رحیملو در شهرستان شیراز و شهرهای پیرامون آن است.

از دید ویژگی‌های جغرافیایی - اقلیمی، شهرستان شیراز در موقعیت جغرافیایی ۵۲/۳۳° طول شرقی و ۲۹/۳۶° عرض شمالی، با ارتفاع ۱۵۰۰ متر از سطح دریا قراردارد و میانگین بارندگی و دمای سالانه آن به ترتیب ۳۳۷ میلی‌متر و ۱۸ درجه سلسیوس است.

بر پایه گزارش اداره امور عشایر استان فارس در سال ۱۴۰۰، از مجموع ۵۱۷۰۱۲/۶ هکتار مساحت مرتع‌های شهرستان شیراز و منطقه‌های پیرامونی آن ـ شامل زرقان، بیضاء، سروستان، کوار و خرامه ـ حدود ۳۴۶،۴۰۰ هکتار (معادل ۶۷٪) به مراتع عشایری اختصاص دارد. مقدار تولید علوفه در این عرصه‌ها (مراتع عشایری) نیز ۶۲۷۴۴/۶ تن گزارش شده است. بر اساس این داده‌ها، متوسط تولید علوفه در مراتع عشایری منطقه حدود ۱۸۱ کیلوگرم در هکتار برآورد می‌شود. این مقدار نشان می‌دهد که مراتع عشایری میان‌بند از نظر تولید علوفه در مرز بین وضعیت فقیر تا متوسط قرار می‌گیرند.

برای واکاوی‌های توصیفی و آزمون‌های آماری استنباطی مانند آزمون‌های همبستگی و بررسی میانگین نمره‌های متغیرهای مورد بررسی، نرم‌افزار IBM SPSS Statistics 27 به‌کارگرفته شد. همچنین، برای الگوسازی معادله‌های ساختاری و بررسی رابطه‌های میان متغیرهای پنهان و آشکار از نرم‌افزار SmartPLS 4 بهره‌گیری شد.

نتایج

برای بررسی امکان استفاده از آزمون‌های پارامتریک، توزیع داده‌های پژوهش با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف[2] در نرم‌افزار SPSS 27 بررسی شد. داده‌های این پژوهش بر اساس مقیاس لیکرت پنج گزینه‌ای گردآوری شده‌اند که در

1. Likert scale
2. Kolmogorov-Smirnov test

بررسی‌های علوم اجتماعی بیشتر به صورت شبه‌کَمی واکاوی می‌شوند (Norman, 2010; Sullivan & Artino, 2013). نتایج آزمون در جدول ۱ نشان دادند که به‌جز متغیر درک تغییر اقلیم، دیگر متغیرها (اقتصادی، اجتماعی، زیرساختی، دانشی و سیاست‌های دولتی) توزیع غیرنرمال دارند. باتوجه به غیرنرمال بودن بیشتر متغیرها و حجم نمونه اندک (۷۹ نفر)، از آزمون غیرپارامتری فریدمن برای واکاوی‌های استنباطی استفاده‌شد. نتایج آزمون کولموگروف-اسمیرنوف در جدول ۱ گزارش شده است.

جدول ۱- نتایج آزمون کولموگروف-اسمیرنوف برای بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها.

داده‌های حاصل از هر بخش پرسشنامه	معنی دار بودن
درک از تغییر اقلیم	۰/۲۰۰
ظرفیت سازگاری از نظر اقتصادی	۰
ظرفیت سازگاری از نظر اجتماعی	۰/۰۲۱
ظرفیت سازگاری از نظر زیرساخت	۰
ظرفیت سازگاری از نظر دانش	۰/۰۱۴
ظرفیت سازگاری از نظر دولت و سیاست گذاری‌ها	۰

در جدول ۲، آمار توصیفی مربوط به درک و شناخت بهره‌برداران عشایری از تغییر اقلیم بررسی شده است. این واکاوی شامل متغیرهایی است که بهره‌برداران به روشنی تغییرهای اقلیمی را از راه آن‌ها تجربه کرده‌اند. متغیرهای مختلفی از جمله تغییرهایی در بارش باران، دما، وضعیت پوشش گیاهی، تغییر در زمان و مکان بادها و همچنین تأثیر خشکسالی و سیلاب‌های غیرمعمول، بررسی شده‌اند. میانگین کلی درک بهره‌برداران عشایری از تغییرهای اقلیمی در میان‌بند برابر با ۳/۲۳ از پنج نمره است که نشانگر درک میانگین تا زیاد از تغییرهای اقلیمی توسط آنان است.

جدول ۲- اطلاعات توصیفی درک و شناخت از تغییر اقلیم منطقه معتدل.

پرسش مربوط به درک از تغییر اقلیم	میانگین	انحراف معیار
تغییر در مکان و زمان بارش باران	۳/۰۶	۱/۰۳۰
تغییر دما در فصل‌های مختلف	۳/۲۴	۰/۹۲۳
بارش برف کم و ذوب شدن زودهنگام آن	۴/۱۶	۰/۸۳۹
تغییر زمان شروع و پایان فصل‌ها	۳/۲۲	۰/۹۲۹
تغییر در زمان و مکان بادها	۲/۶۵	۱/۱۲۱
کم‌آب شدن و خشکیدن دریاچه‌ها، رودخانه‌ها و چشمه‌ها	۳/۸۴	۰/۹۵۳
کاهش گیاهان قابل چرا برای دام‌ها	۳/۱۵	۱/۰۲۶
خشک شدن و کاهش درختان و گیاهان	۳/۳۹	۱/۰۵۵
ظاهر شدن آفت‌های جدید در مرتع‌ها	۲/۵۱	۱/۱۷۵
تغییر در زمان و شیوه کوچ عشایر	۳/۰۵	۱/۲۵۰
رخداد خشکسالی‌های بلندمدت یا سیلاب‌های غیرمعمول	۳/۲۹	۱/۰۲۷

نتایج آمار توصیفی (جدول۲) نشان می‌دهند که بهره‌برداران عشایری تغییرهای اقلیمی را به روشنی از راه برخی از نشانه‌ها تجربه کرده‌اند. از جمله مهمترین این نشانه‌ها می‌توان به بارش برف کم و ذوب شدن زودهنگام آن با میانگین ۴/۱۶ و کم‌آب شدن و خشکیدن دریاچه‌ها، رودخانه‌ها، چشمه‌ها و قنات‌ها با میانگین ۳/۸۴ اشاره کرد که بیشترین تأثیر را در درک بهره‌برداران داشته‌اند. این نشانه‌ها به روشنی نشانگر اثرهای محسوس تغییرهای اقلیمی بر منابع آبی و الگوهای بارش در منطقه معتدل هستند و بهره‌برداران این تغییرها را در زندگی روزانه خود تجربه کرده‌اند.

در مقابل، متغیرهایی که تأثیر کمتری بر زندگی بهره‌برداران داشته‌اند، شامل ظاهر شدن حشره‌ها و آفت‌های جدید در مرتع‌ها با میانگین ۲/۵۱ و تغییرها در زمان و مکان بادها با میانگین ۲/۶۵ است که به‌عنوان کمترین نشانه‌های درک و شناخت تغییر اقلیم از دیدگاه عشایر بررسی شده‌اند. این یافته‌ها نشان می‌دهند که این متغیرها به مقدار کمتری بر معیشت و شرایط محیطی بهره‌برداران تأثیرگذار بوده و به طور کمتری درک شده‌اند.

در بررسی، واکاوی ظرفیت سازگاری بهره‌برداران عشایری نسبت به تغییرهای اقلیمی مشخص شد که واکاوی بر اساس سنجه‌های مختلف اقتصادی، اجتماعی، زیرساختی، دانش و مهارت و سیاست‌های دولتی است که هر کدام به شیوه‌ای توانایی بهره‌برداران در رویارویی با تغییرهای اقلیمی را نشان می‌دهند. نتایج حاصل از میانگین پاسخ‌های جامعه پژوهش به هر یک از این پارامترها در جدول ۳ آمده‌است.

جدول ۳- میانگین ظرفیت سازگاری بهره‌برداران در هر سنجه.

سنجه‌های ظرفیت سازگاری بهره‌برداران نسبت به تغییر اقلیم		میانگین	انحراف معیار
اقتصادی	دسترسی به اعتبار و وام	۱/۵۷	۱/۰۳۴
	منابع درآمدی جایگزینی به جز دامداری	۱/۶۷	۱/۰۸۳
	بازار فروش مناسب و گوناگون برای دام	۲/۳۴	۱/۱۴۲
	گوناگون‌سازی نژاد یا نوع دام	۱/۸۵	۰/۸۷۸
اجتماعی	وابستگی به گروه‌ها و شبکه‌های اجتماعی	۱/۸۰	۰/۹۷۹
	دسترسی به اطلاعات دقیق و به‌هنگام	۲/۶۵	۱/۱۶۶
	دسترسی به خدمت‌های بهداشتی و آموزشی	۲/۱۶	۰/۹۲۶
	دسترسی به حمایت اجتماعی دولت یا دیگر سازمان‌ها	۱/۹۵	۰/۹۸۶
زیرساخت	دسترسی به منابع آب، برق و اینترنت	۲/۳۰	۰/۹۷۹
	دسترسی به جاده‌ها و امکانات جابجایی	۲/۳۹	۰/۹۲۶
	دسترسی به خدمت‌های دامپزشکی و امکانات بهداشتی دام	۲/۳۷	۰/۹۸۹
دانش	دسترسی به فناوری‌ها و شیوه‌های نوین مرتعداری	۱/۶۶	۰/۷۴۹
	دانش سازگاری شیوه دامداری با تغییر اقلیم	۲/۴۴	۱/۰۲۲
	استفاده از تجربه‌ها و نوآوری‌های دیگر دامداران	۲/۷۷	۱/۰۲۵
	استفاده از دانش و شیوه‌های سنتی یا بومی	۲/۵۳	۱/۱۷۵
دولت و سیاست‌ها	دریافت آموزش در مورد سازگاری با تغییر اقلیم	۱/۵۷	۰/۷۶۳
	رسانه و نمایندگی در تصمیم‌گیری‌ها	۱/۶۱	۰/۹۳۹
	دریافت کمک مالی یا فنی از دولت	۱/۲۷	۰/۵۷۱
	اعتماد به توانایی و تمایل دولت برای حمایت	۲/۱۴	۱/۱۲۹
	همکاری با دولت در اجرای طرح‌های سازگاری با تغییر اقلیم	۲/۷۶	۱/۰۶۵

داده‌های جدول ۳ نشان می‌دهند که در میان شاخص‌های اقتصادی، دسترسی به اعتبار و وام با میانگین ۱/۵۷ کمترین مقدار ظرفیت سازگاری را نشان می‌دهد در حالی که شاخص بازار فروش مناسب و گوناگون برای دام با میانگین ۲/۳۴ بیشترین مقدار ظرفیت را دارد. در بعد اجتماعی، شاخص‌های وابستگی به گروه‌ها و شبکه‌های اجتماعی با میانگین ۱/۸۰ و دسترسی به اطلاعات دقیق و به‌هنگام با میانگین ۲/۶۵ به ترتیب کمترین و بیشترین مقدار ظرفیت را در این بُعد نشان می‌دهند.

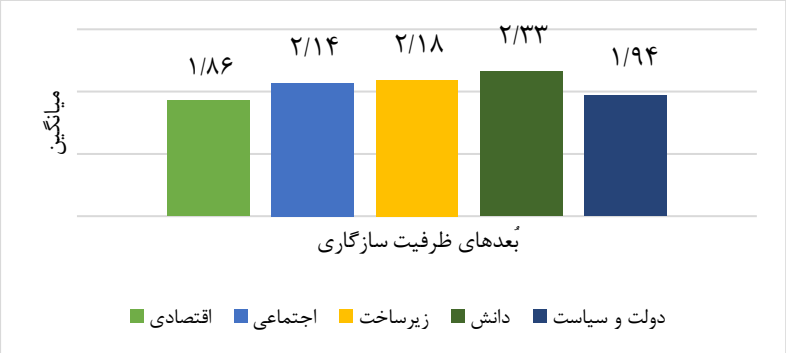
در زمینه زیرساخت‌ها، دسترسی به جاده‌ها و امکان ترابری با میانگین ۲/۳۹ ظرفیت سازگاری بیشتری را نشان داده و شاخص دسترسی به فناوری‌ها و شیوه‌های نوین مرتعداری با میانگین ۱/۶۶ در پایین‌ترین رده قرار دارد. در

بخش دانش، استفاده از تجربه‌ها و نوآوری‌های دیگر دامداران با میانگین ۲/۷۷ و دریافت آموزش در مورد سازگاری با اقلیم با میانگین ۱/۵۷، به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار ظرفیت را در این بُعد نشان می‌دهند. در پایان، در بخش دولت و سیاست‌ها، دریافت کمک مالی یا فنی از دولت با میانگین ۱/۲۷ کمترین مقدار ظرفیت را نشان داده، در حالی که همکاری با دولت در اجرای طرح‌های سازگاری با میانگین۲/۷۶ بیشترین ظرفیت این بُعد را دارد.

شکل ۱ بر اساس داده‌های مربوط به میانگین هر یک از بُعدهای ظرفیت سازگاری بهره‌برداران نسبت به تغییرهای اقلیمی در منطقه میان‌بند، نشان می‌دهد که بُعد دانش با میانگین ۲/۳۳ بیشترین سطح را در میان دیگر بُعدها دارد. این موضوع بیانگر اهمیت زیاد دانش و تجربه در افزایش تاب‌آوری بهره‌برداران است. عشایر با تکیه بر دانش بومی بین‌نسلی، زمان‌بندی کوچ و مدیریت چرا را با شرایط متغیر اقلیمی هماهنگ کرده‌اند. نزدیکی به شیراز نیز تبادل دانش با دیگر دامداران را آسانتر و این بُعد را تقویت کرده است.

بُعدهای زیرساخت و اجتماعی با میانگین نمره ۲/۱۸ و ۲/۱۴ به احتمال به دلیل موقعیت جغرافیایی مرتع‌های میان‌بند، نزدیکی به شیراز و شهرهای پیرامون آن (زرقان، بیضاء و سروستان)، از وضعیت متوسطی برخوردارند. دسترسی به جاده‌های عشایری (میانگین ۲/۳۹) جابه‌جایی دام و محصول‌ها را آسان‌تر کرده، اما کمبود فناوری‌های نوین (میانگین ۱/۶۶) مانع پیشرفت این بُعد شده است. ساختار قبیله‌ای قوی، شبکه‌های اجتماعی درون‌طایفه‌ای را تقویت می‌کند، اما ضعف در ارتباط‌های فراطایفه‌ای (میانگین ۱/۸۰) و محدودیت‌های جغرافیایی، بُعد اجتماعی را در رتبه سوم قرار داده است.

بُعدهای اقتصادی (میانگین ۱/۸۶) و دولت و سیاست (میانگین ۱/۹۴) به دلیل پراکندگی مرتع‌ها و تمرکز ناکافی سیاست‌ها بر نیازهای عشایری، پایین‌ترین رتبه را دارند. شرایط سختگیرانه وام‌ها (میانگین ۱/۵۷) بُعد اقتصادی را تضعیف کرده است، هرچند دسترسی به بازارهای شهری (میانگین ۲/۳۴) نقطه قوت نسبی است. ضعف حمایت‌های دولتی (میانگین ۱/۲۷) و مشارکت پایین عشایر در تصمیم‌گیری‌ها (۱/۶۱) نیز به دلیل نبود هماهنگی سیاست‌ها با نیازهای بومی، این بُعد را محدود کرده است.



شکل ۱- میانگین ظرفیت سازگاری بهره برداران در بُعدهای مختلف.

برای بررسی معنی‌دار بودن تفاوت میان بُعدهای مختلف ظرفیت سازگاری بهره‌برداران نسبت به تغییرهای اقلیمی در منطقه معتدل، از آزمون ناپارامتریک فریدمن[1] استفاده شد. نتایج حاصل از این آزمون نشان داد که میانگین رتبه بُعدهای مختلف ظرفیت سازگاری با یکدیگر تفاوت قابل توجهی دارند. بر اساس داده‌های به‌دست‌آمده، بُعد دانشی

1. Friedman Non-Parametric test

بالاترین میانگین رتبه را در میان سایر بُعدها داشته و مقدار آن برابر با ۳/۵۳ گزارش شده است. پس از آن، بُعد زیرساختی با میانگین رتبه ۳/۳۲ در جایگاه بُعدی قرار دارد که نشانگر نقش قابل توجه امکان‌ها و زیرساخت‌ها در تقویت ظرفیت سازگاری بهره‌برداران است. بُعد اجتماعی نیز میانگین رتبه ۳/۱۳ را به خود اختصاص داده است و این امر نشان می‌دهد که ارتباط‌های اجتماعی، مشارکت و شبکه‌های حمایتی در سطحی به نسبت مطلوب ارزیابی شده‌اند.

در مقابل، بُعد اقتصادی با میانگین رتبه ۲/۴۱ کمترین مقدار را در میان سایر بُعدها دارد. این نتیجه نشان می‌دهد که بهره‌برداران وضعیت اقتصادی خود را ضعیف‌تر از سایر بخش‌های مرتبط با سازگاری ارزیابی کرده‌اند و این بُعد می‌تواند یکی از اصلی‌ترین جاهای ضعف در فرآیند سازگاری با تغییر اقلیم باشد. همچنین بُعد دولت و سیاست‌ها با میانگین رتبه ۲/۶۳ در جایگاهی پایین‌تر از بُعدها دانشی، زیرساختی و اجتماعی قرار گرفته است که نشانگر سطح به نسبت پایین ارزیابی بهره‌برداران از نقش دولت، سیاست‌گذاری‌ها و حمایت‌های رسمی در تقویت ظرفیت سازگاری است. این ترتیب رتبه‌ها در مجموع بیانگر این است که بهره‌برداران ظرفیت سازگاری خود را به‌صورت یکسان در میان بُعدها مختلف ارزیابی نکرده و تفاوت‌هایی در درک و تجربه آن‌ها نسبت به هر یک از بُعدها وجود دارد.

برای واکاوی معنی‌داری این تفاوت‌ها، آزمون فریدمن با در نظر گرفتن پنج بُعد ظرفیت سازگاری انجام شد. نتایج آزمون نشان دادند که مقدار آماره خی‌دو[1] برابر با ۳۰/۱۹۹ و درجه آزادی آن چهار است. سطح معنی‌داری آزمون کمتر از ۰/۰۰۱ گزارش شده است که کوچکتر از سطح خطای ۰/۰۵ می‌باشد. بنابراین، این نتیجه به‌طور آماری تأیید می‌کند که اختلاف مشاهده‌شده میان میانگین رتبه‌های بُعدها مختلف ظرفیت سازگاری، معنی‌دار است. به عبارت دیگر، بهره‌برداران بُعدها اقتصادی، اجتماعی، زیرساختی، دانشی و دولت و سیاست‌ها را از نظر مقدار ظرفیت سازگاری به یک اندازه ارزیابی نکرده‌اند و این تفاوت‌ها از نظر آماری نیز تأیید می‌شود.

الگوسازی معادله‌های ساختاری

در گام نخست از واکاوی الگوی اندازه‌گیری، بارهای عاملی گویه‌ها بررسی شد تا مقدار همبستگی هر گویه با سازه مربوطه سنجیده شود (جدول ۴). بر اساس نتایج به‌دست آمده (جدول ۴)، گویه‌هایی که دارای بار عاملی کمتر از ۰/۳۰ بودند (شامل ردیف ۱-۴-۵-۱۲-۱۶-۱۸-۱۹-۲۶-۲۸) از الگوی ساختاری حذف شدند، زیرا از دیدگاه نظری و آماری، بار عاملی کمتر از ۰/۳۰ به معنای ضعف همبستگی گویه با سازه محسوب می‌شود.

همچنین، برای برازش الگوی اندازه‌گیری در بررسی پایایی ترکیبی، از سه شاخص آلفای کرونباخ، Rho_A و Rho_C استفاده شد. مقدار آلفای کرونباخ برای هر دو سازه زیادتر از مقدار مرزی ۰/۷۰ بود (درک از تغییرهای اقلیمی برابر ۰/۷۹۰، ظرفیت سازگاری برابر ۰/۸۲۶) که نشانگر انسجام درونی مناسب گویه‌ها است. همچنین، Rho_A برای هر دو سازه بیشتر از ۰/۷۰ بود و بیانگر ثبات نسبی در گویه‌های اندازه‌گیری است. مقدار Rho_C نیز برای درک اقلیم، مناسب (۰/۸۲۹) و برای ظرفیت سازگاری (۰/۷۱۶)، پذیرفتنی بود. بنابراین، از دید پایایی، الگو در وضعیت پذیرفتنی قرار دارد.

مقدار ضریب تعیین (R^2) برای سازه ظرفیت سازگاری برابر با ۰/۲۵۵ است که می‌توان نتیجه گرفت که درک از تغییرهای اقلیمی توانسته است حدود ۲۵/۵٪ از تغییرهای ظرفیت سازگاری را توضیح دهد. همچنین، در بررسی روایی همگرا، مقدارهای میانگین واریانس استخراج‌شده[2] برای سازه درک از تغییرهای اقلیمی، ۰/۳۸۷ و برای ظرفیت سازگاری، ۰/۲۱۸ بود. کم بودن مقدار AVE می‌تواند ناشی از کوچکی حجم نمونه (۷۹ نفر) و پیچیدگی چندبُعدی

1. Chi-square statistic
2. Average variance extracted (AVE)

سازه ظرفیت سازگاری (شامل پنج بُعد) باشد که گوناگونی پاسخ‌ها را افزایش داده است. با این حال، مقدار آماره t و p-value برای هر دو سازه معنادار است ($p < 0.001$) که نشانگر پایایی پذیرفتنی ساختارهای اندازه‌گیری‌شده از نظر آماری است. ضریب مسیر مقدار آماره t برابر با ۱/۵۱۳ و سطح معنادار بودن (p-value) برابر با ۰/۱۳۰ شده است که نشان می‌دهد این مسیر از نظر آماری معنادار نیست ($p>0.05$). بنابراین، با وجود همسویی بالای درک از تغییرهای اقلیمی و ظرفیت سازگاری بهره‌برداران، این رابطه معنی‌دار نیست. برای ارزیابی برازش کلی الگو، شاخص SRMR برابر با ۰/۰۶۲ به‌دست آمد که کمتر از آستانه متعارف ۰/۰۸ است و نشانگر برازش مناسب الگو است. همچنین، مقدارهای شاخص‌های d_ULS و d_G به ترتیب برابر با ۶/۶۰۲ و ۱/۸۶۵ محاسبه شدند.

جدول ۴- بار عاملی گویه‌ها در الگوی اندازه‌گیری.

ردیف	گویه	نشانه در الگو	بار عاملی
۱	تغییرها در مکان و زمان بارش باران	MCLQ1	۰/۱۱۱
۲	تغییر در زمان و شیوه کوچ عشایر	MCLQ10	۰/۵۰۵
۳	رخداد خشکسالی‌های بلندمدت یا سیلاب‌های غیرمعمول	MCLQ11	۰/۵۵۴
۴	تغییر دما در فصل‌های مختلف	MCLQ2	۰/۲۸۸
۵	بارش برف کم و ذوب شدن زودهنگام آن	MCLQ3	۰/۲۴۵
۶	تغییر زمان شروع و پایان فصل‌ها	MCLQ4	۰/۵۱۹
۷	تغییر در زمان و مکان بادها	MCLQ5	۰/۵۷۵
۸	کم‌آب شدن و خشکیدن دریاچه‌ها، رودخانه‌ها و چشمه‌ها	MCLQ6	۰/۵۳۷
۹	کاهش گیاهان قابل چرا برای دام‌ها	MCLQ7	۰/۶۰۷
۱۰	خشک شدن و کاهش درختان و گیاهان	MCLQ8	۰/۷۵۵
۱۱	ظاهر شدن آفت‌های جدید در مرتع‌ها	MCLQ9	۰/۵۰۶
۱۲	دسترسی به اعتبار و وام	MAAEQ1	۰/۱۸۸
۱۳	منابع درآمدی جایگزینی به جز دامداری	MAAEQ2	۰/۶۸۴
۱۴	بازار فروش مناسب و گوناگون برای دام	MAAEQ3	۰/۳۵۲
۱۵	گوناگون‌سازی نژاد یا نوع دام	MAAEQ4	۰/۷۴۲
۱۶	رسانه و نمایندگی در تصمیم‌گیری‌ها	MAAGQ17	۰/۲۹۷
۱۷	دریافت کمک مالی یا فنی از دولت	MAAGQ18	۰/۵۳۱
۱۸	اعتماد به توانایی و تمایل دولت برای حمایت	MAAGQ19	۰/۲۰۶
۱۹	همکاری با دولت در اجرای طرح‌های سازگاری با تغییرهای اقلیمی	MAAGQ20	۰/۰۹۸
۲۰	دسترسی به جاده‌ها و امکانات ترابری	MAAIQ10	۰/۶۰۴
۲۱	دسترسی به خدمت‌های دامپزشکی و امکانات بهداشتی دام	MAAIQ11	۰/۴۸۳
۲۲	دسترسی به فناوری‌ها و شیوه‌های نوین مرتعداری	MAAIQ12	۰/۵۳۲
۲۳	دسترسی به به منابع آب، برق و اینترنت	MAAIQ9	۰/۳۰۳
۲۴	دانش سازگاری شیوه دامداری با تغییرهای اقلیمی	MAAKQ13	۰/۴۶۶
۲۵	استفاده از تجربه‌ها و نوآوری‌های دیگر دامداران	MAAKQ14	۰/۳۶۲
۲۶	استفاده از دانش و شیوه‌های سنتی یا بومی	MAAKQ15	۰/۱۷۷
۲۷	دریافت آموزش یا خدمت‌های ترویجی در مورد سازگاری با اقلیم	MAAKQ16	۰/۴۹۲
۲۸	وابستگی به گروه‌ها و شبکه‌های اجتماعی	MAASQ5	۰/۲۳۱
۲۹	دسترسی به اطلاعات دقیق و به‌هنگام	MAASQ6	۰/۶۲۹
۳۰	دسترسی به خدمت‌های بهداشتی و آموزشی	MAASQ7	۰/۵۵۰
۳۱	دسترسی به به حمایت اجتماعی دولت یا سایر سازمان‌ها	MAASQ8	۰/۳۲۶

بحث

پژوهش حاضر با هدف بررسی ظرفیت سازگاری عشایر قشقایی در مرتع‌های میان‌بند شهرستان شیراز نسبت به تغییرهای اقلیمی انجام شد. نتایج نشان دادند که عشایر درک متوسط تا زیادی از تغییر اقلیم دارند و ظرفیت سازگاری آنها در بُعد دانش قوی‌تر از دیگر بُعدهاست. درحالی‌که بُعدهای اقتصادی و سیاست‌های دولتی ضعیف‌ترین عملکرد را دارند. این یافته‌ها با بررسی صبوحی و همکاران (۱۳۹۷) همخوانی دارند که دانش بومی عشایر قشقایی در سمیرم را عامل کلیدی سازگاری با تغییرهای اقلیمی معرفی کردند. درک عشایر از تغییر اقلیم به‌ویژه در کاهش بارش برف و خشکیدن منابع آبی برجسته است، اما درک آن‌ها از آفت‌های جدید و تغییر باد کمتر است. این نتایج با پژوهش Snaibi *et al.* (2021) در مورد عشایر مراکش همراستا است که کاهش منابع آبی را نشانه اصلی تغییرهای اقلیمی دانستند. با این حال، بررسی Snaibi *et al.* (2021) بر اثرهای گسترده‌تر مانند افزایش دما و بادهای شدید نیز تمرکز دارد.

با شدت گرفتن تغییر اقلیم، عشایر قشقایی با چالش‌های فزاینده‌ای مانند افزایش خشکسالی و کاهش منابع طبیعی روبه‌رو خواهند شد. این یافته، با نتایج Thurman *et al.* (2022) همخوانی دارد که بر مدیریت منابع برای افزایش ظرفیت سازگاری تأکید کردند. با این حال، با پژوهش حاضر می‌توان نتیجه گرفت که ترکیب دانش بومی با فناوری‌های نوین و تقویت تعاونی‌های عشایری می‌تواند پایداری معیشت را بهبود بخشد، درحالی که بررسی آن‌ها بیشتر بر حفاظت از زیستگاه‌ها تمرکز دارد. این رویکرد ترکیبی می‌تواند به کاهش آسیب‌پذیری کمک کند.

عشایر قشقایی در بُعد دانش، به ویژه از راه استفاده از تجربه‌های دیگر دامداران و دانش بومی، بالاترین میانگین ظرفیت سازگاری را نشان دادند. این یافته با پژوهش Tugjamba *et al.* (2023) همخوانی دارد که دانش سنتی را پایه سازگاری عشایر در منطقه‌های خشک معرفی کردند. با این حال، پژوهش حاضر نشان داد که کمبود آموزش‌های رسمی مانع تقویت این ظرفیت است، موضوعی که در بررسی آن‌ها کمتر توجه شده و بیشتر بر حفظ دانش سنتی تأکید شده است. این ضعف نشانگر نیاز به برنامه‌های آموزشی ترکیبی است که دانش بومی را با علوم نوین تلفیق کند.

نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد که در بعد دانش، بهره‌برداران عشایر قشقایی همچنان بر دانش سنتی یا بومی تکیه داشته و میانگین بالاتری دارند، در حالی که دسترسی به فناوری‌ها و شیوه‌های نوین مرتعداری میانگین نمره کمتری دارد. این یافته‌ها نشانگر اهمیت بالای دانش بومی در سازگاری بهره‌برداران با تغییرهای اقلیمی است، اما مشاهده‌های میدانی نشان دادند که جوانان تمایل زیادی به استفاده از فناوری‌های نوین دارند و علاقه کمتری به یادگیری دانش سنتی و بومی نشان می‌دهند. در نتیجه، این دانش به نسل جوان کمتر منتقل می‌شود و کاهش انتقال آن یک چالش اساسی برای حفظ توانمندی سازگاری بلندمدت عشایر ایجاد می‌کند. این یافته‌ها با بررسی Tugjamba *et al.* (2023) همخوانی دارد که بر کاهش دانش سنتی تأکید کرده‌اند. با این حال، نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد که ترکیب دانش بومی با فناوری‌های نوین می‌تواند اثر بیشتری در تقویت ظرفیت سازگاری بهره‌برداران در رویارویی با شرایط تغییر اقلیم شدیدتر داشته باشد، در حالی که بررسی‌های پیشین بیشتر بر حفظ دانش سنتی تمرکز داشته‌اند.

بُعد اقتصادی بهره‌برداران، به ویژه در دسترسی به اعتبار و وام و منابع درآمدی جایگزین، ضعیف‌ترین سطح ظرفیت سازگاری را نشان داد. این نتیجه با یافته‌های Omerkhil *et al.* (2020) هماهنگ‌است که محدودیت‌های مالی را مانع اصلی سازگاری کشاورزان خرده‌پا در افغانستان دانستند. با این حال، پژوهش حاضر نشان داد که عشایر قشقایی به

بازارهای فروش دام وابستگی بیشتری دارند، درحالی‌که بررسی آن‌ها بر گوناگونی معیشتی تأکید کرده است. این وابستگی به بازارهای دام ممکن است عشایر را در برابر نوسان‌های اقتصادی آسیب‌پذیرتر کند.

بُعد اجتماعی با میانگین ۲/۱۴ از ظرفیت متوسطی برخوردار است، اما وابستگی به شبکه‌های اجتماعی ضعیف است. این یافته با گزارش Tan *et al.* (2018) همخوانی دارد که سرمایه اجتماعی را عامل کلیدی سازگاری عشایر مغولستان داخلی (منطقه‌ای خودمختار در چین که از سوی شمال با مغولستان و روسیه هم‌مرز است) معرفی کردند، با این حال، پژوهش حاضر نشان داد که دسترسی به اطلاعات به‌هنگام تا حدی این ضعف را جبران می‌کند، درحالی‌که بررسی آن‌ها بیشتر بر تقویت شبکه‌های اجتماعی تمرکز دارد. این تفاوت نشانگر اهمیت تقویت ارتباط‌های محلی و دسترسی به اطلاعات اقلیمی برای بهبود سازگاری است. پژوهش‌های زیادی نشان می‌دهند که انسجام اجتماعی و شبکه‌های اجتماعی، نقش مؤثری در انتقال تجربه و تصمیم‌گیری جمعی در شرایط بحرانی دارند (Wesche & Chan, 2010؛ قربانی و همکاران، ۱۴۰۴).

ظرفیت سازگاری درباره شاخص زیرساخت از وضعیت متوسطی برخوردارست که محل قوت بهره‌برداران دسترسی به جاده‌ها و ترابری بوده و فناوری‌های نوین مرتعداری دارای وضعیت ضعیف است و از این دید، محل ضعف آن‌ها در این شاخص می‌باشد. این نتایج با یافته‌های صبوحی و همکاران (۱۳۹۷) همخوانی دارد که زیرساخت‌هایی مانند حوضچه‌های ذخیره آب را حیاتی دانستند، با این حال، پژوهش حاضر نشان داد که نابرابری در دسترسی به فناوری‌های نوین بین خانوارها، اثربخشی زیرساخت‌ها را کاهش داده است، موضوعی که در بررسی آن‌ها کمتر بررسی شده است. این نابرابری نیازمند سیاست‌های هدفمند برای توزیع عادلانه فناوری است.

نقش دولت در تقویت ظرفیت سازگاری بهره‌برداران با تغییرهای اقلیمی ضعیف گزارش شده است و اصلی‌ترین عامل این کاهش، کمبود حمایت‌ها و ارائه ناکافی کمک‌های مالی و فنی عنوان شده است. این یافته با بررسی Wang *et al.* (2025) همخوانی دارد که حمایت‌های دولتی در منطقه‌های مرتعی را ناکافی دانستند. از سویی، پژوهش حاضر نشان داد که همکاری با دولت در طرح‌های سازگاری قابلیت بهبود دارد، زیرا بهره‌برداران بسیار از این مسئله استقبال کرده‌اند. این قابلیت همکاری نشانگر فرصتی برای تقویت حمایت‌های دولتی است.

نتیجه‌گیری

در جمع‌بندی پژوهش، عشایر قشقایی در مرتع‌های میان‌بند درک چشمگیری از تغییر اقلیم دارند، اما ظرفیت سازگاری آن‌ها به دلیل محدودیت‌های اقتصادی، زیرساختی و نهادی محدود شده است. محل قوت آن‌ها شامل دانش بومی قوی (میانگین ۲/۳۳) و دسترسی نسبی به زیرساخت‌های جابه‌جایی (میانگین ۲/۳۹) است، در حالی که ضعف دسترسی به منابع مالی (میانگین ۱/۵۷)، فناوری‌های نوین (میانگین ۱/۶۶) و حمایت‌های دولتی (میانگین ۱/۲۷) چالش‌های کلیدی هستند. با توجه به نقش حیاتی مرتع‌های میان‌بند در نظام کوچ‌نشینی، حذف یا کاهش استفاده از این مرتع‌ها به دلیل تغییر اقلیم می‌تواند فشار بیشتری بر مرتع‌های ییلاقی و قشلاقی وارد کرده و پایداری بوم‌نظام و معیشت عشایری را تهدید کند. نتایج پژوهش حاضر بر ضرورت حفظ زندگی کوچ‌نشینی به عنوان نظامی پایدار و حامل دانش بومی ارزشمند تأکید دارد که می‌تواند الگویی برای سازگاری با تغییرهای اقلیمی در منطقه‌های خشک و نیمه‌خشک باشد.

راهکارهای زیر برای تقویت ظرفیت سازگاری عشایر قشقایی در مرتع‌های میان‌بند پیشنهاد می‌شوند:

- با توجه به کم‌بودن میانگین شاخص دسترسی به اعتبار و وام، پیشنهاد می‌شود برنامه‌های تسهیلات مالی کم‌بهره و هدفمند برای عشایر طراحی شوند. این تسهیلات می‌توانند برای خرید دام‌های مقاومتر، بهبود مرتع‌ها یا سرمایه‌گذاری

در منابع درآمدی جایگزین استفاده شود. نهادهای دولتی و بانک‌های کشاورزی باید شرایط دریافت وام را ساده‌تر کنند، زیرا پیشتر وام‌هایی ارائه شده‌اند، اما به‌دلیل شرایط سختگیرانه بانک‌ها، عشایر توانا به استفاده از آن‌ها نبوده‌اند.

- شاخص منابع درآمدی جایگزین به جز دامداری نشانگر ضعف در این بخش است. با توجه به نزدیکی عشایر میان‌بند به شهر شیراز و دسترسی مناسب به امکان جابه‌جایی، توسعه شغل‌های مکمل مانند تولید صنایع‌دستی، گردشگری عشایری و کشت گیاهان دارویی متحمل به خشکی می‌تواند معیشت عشایر را پایدارتر کند. تعاونی‌های عشایری، که تاکنون بیشتر نقش توزیع‌کننده آرد داشته‌اند، می‌توانند با حمایت از کسب و کارهای جدید، تولید و عرضه خدمت‌های و کالاهای مورد نیاز عشایر را بر عهده گیرند.
- با توجه به میانگین بیشتر شاخص بازار فروش مناسب و گوناگون برای دام، ایجاد بازارهای محلی و دیجیتال برای فروش دام و محصول‌های دامی، همراه با حذف واسطه‌ها، می‌تواند درآمد عشایر را بهبود بخشد. نزدیکی عشایر میان‌بند به مرکز استان، برخلاف منطقه‌های ییلاق و قشلاق، این فرصت را فراهم می‌کند. همچنین، احداث سردخانه‌های کوچک و حمل‌شدنی برای نگهداری محصول‌های دامی در فصل‌های گرم می‌تواند از فساد محصول‌ها جلوگیری کرده و ارزش افزوده ایجاد کند.
- شاخص دسترسی به فناوری‌ها و شیوه‌های نوین مرتعداری کمترین میانگین را دارد. معرفی فناوری‌های ساده و اقتصادی مانند سیستم‌های آبیاری قطره‌ای، پمپ‌های خورشیدی برای استخراج آب، ردیاب‌های GPS برای مدیریت دام، برنامه‌های کاربردی هواشناسی برون‌خط[1]، دستگاه‌های بذرپاش دستی برای احیای مرتع و اجاق‌های خورشیدی برای کاهش مصرف هیزم می‌تواند بهره‌وری را افزایش دهد و تاب‌آوری عشایر در برابر پیامدهای تغییراقلیم بیشتر کند.
- شاخص دریافت آموزش در مورد سازگاری با اقلیم کمترین میانگین را دارد. برگزاری کارگاه‌های آموزشی حضوری و برخط[2] درباره روش‌های دامداری مقاوم به تغییرهای اقلیمی، مدیریت مرتع‌ها و استفاده از گونه‌های گیاهی مقاوم می‌تواند دانش عشایر را افزایش‌دهد.
- با توجه به میانگین بیشتر شاخص استفاده از تجربه‌ها و نوآوری‌های دیگر دامداران، ایجاد ساختارهای تبادل دانش، مانند جلسه‌های محلی، گروه‌های مجازی یا برنامه‌های رادیویی، برای به اشتراک‌گذاری تجربه‌های موفق می‌تواند مؤثر باشد. برای نمونه، تبادل تجربه در زمینه کشت علوفه مقاوم یا مدیریت کوچ می‌تواند به کار گرفته شود.
- با توجه به میانگین مناسب شاخص استفاده از دانش و شیوه‌های سنتی، ترکیب دانش بومی (مانند گزینش مسیرهای کوچ یا گونه‌های گیاهی محلی) با فناوری‌های نوین (مانند امکان‌های نوین آبدهی یا ردیابی دام) می‌تواند سازگاری با تغییر اقلیم را بهبود بخشد.
- شاخص دریافت کمک مالی یا فنی از دولت کمترین میانگین را دارد. طراحی برنامه‌های حمایتی مستقیم، مانند یارانه برای خرید نهاده‌های دامی یا تجهیزات مقاوم به تغییرهای اقلیمی، ضروری است. این حمایت‌ها به ویژه در سال‌های اخیر که خشکسالی بسیاری از دامداران را مجبور به فروش دام‌هایشان کرده، اهمیت بیشتری یافته است.

1. Offline
2. Online

- ❖ شاخص رسانه و نمایندگی در تصمیم‌گیری‌ها نشانگر ضعف مشارکت عشایر است. عشایر احساس می‌کنند حرفه و سبک زندگی آن‌ها در جامعه و رسانه‌ها دیده نمی‌شود. بنابراین، طراحی برنامه‌های رسانه‌ای، مانند مستندها و گزارش‌های تلویزیونی برای معرفی و ترویج زندگی عشایری، می‌تواند حس دیده شدن و مشارکت آن‌ها را تقویت کند.
- ❖ با توجه به میانگین پایین شاخص اعتماد به توانایی و تمایل دولت برای حمایت، شفافیت در ارائه خدمت، اجرای دقیق طرح‌های حمایتی و اطلاع‌رسانی مؤثر می‌تواند اعتماد عشایر را جلب کند.

منابع

حسین‌زاده، عسگر؛ حیدری، قدرت‌الله؛ معمری، مهدی؛ مولایی، مریم. (۱۳۹۷). سنجش پایداری بوم‌شناختی در مراتع ییلاقی: مطالعه موردی چهار سامان عرفی عشایر شاهسون مشگین‌شهر .*فصلنامه روستا و توسعه*، ۲۱(۴)، ۶۹–۸۸. از: https://sid.ir/paper/94709/fa

شریعتی‌نیا، لیلا؛ قربانی، مهدی؛ آذرنیوند، حسین؛ رحیمی، مجید. (۱۴۰۴). تصویرسازی مشترک و سازگاری مبتنی بر شبکه انتقال دانش در نظام حکمرانی مرتع. *نشریه علمی-پژوهشی مرتع و آبخیزداری*، از: https://doi.org/10.22059/jrwm.2025.384716.1787

صبوحی، راضیه؛ بارانی، حسین؛ خداقلی، مرتضی؛ عابدی‌سروستانی، احمد؛ طهماسبی، اصغر. (۱۳۹۷). درک و سازگاری عشایر نسبت به تغییر پارامترهای اقلیمی منطقه سمیرم (مطالعه موردی: عشایر قشقایی. *فصلنامه تحقیقات مرتع و بیابان ایران*، ۲۵(۲)، ۴۳۸–۴۵۳. از: https://doi.org/10.22092/ijrdr.116854.2018

قربانی، مهدی؛ عوض‌پور، لیلا؛ یوسفی، محسن. (۱۳۹۴). تحلیل و ارزیابی سرمایه اجتماعی در راستای تقویت تاب‌آوری جوامع محلی و مدیریت پایدار سرزمین) منطقه مورد مطالعه: استان خراسان جنوبی، پروژه بین‌المللی .(RFLDL *نشریه علمی-پژوهشی مرتع و آبخیزداری*، ۶۸(۳)، ۶۲۵–۶۴۵. از: https://doi.org/10.22059/jrwm.2015.56141

قربانی، مهدی؛ گرکانی، سید امیرحسین؛ حمیدی، مینا؛ امیری، سجاد؛ رحیمی، مجید. (۱۴۰۴). ارزیابی سرمایه اجتماعی اجتماعات محلی در راستای حکمرانی سرزمین (منطقه مورد مطالعه: شهرستان تفتان) .*نشریه علمی-پژوهشی مرتع و آبخیزداری*، ۷۸(۱)، ۱۷–۲۷. از: https://doi.org/10.22059/jrwm.2024.291226.1759

کاویانپور، مریم؛ مهدوی، سیده خدیجه؛ شهرکی، محمدرضا؛ قاسمی‌آریان، یاسر. (۱۴۰۳). راهبردهای سازگاری بهره‌برداران ترکمن در مواجهه با تغییر اقلیم (مطالعه موردی: حوزه آبخیز قره‌دونگ استان گلستان) .*فصلنامه تحقیقات مرتع و بیابان ایران*، ۳۱(۲)، ۱۴۹–۱۶۸. از: https://doi.org/10.22092/ijrdr.2024.131789

محمدی، پروین؛ قربانی، مهدی؛ ملکیان، آرش؛ نظری‌سامانی، علی‌اکبر. (۱۳۹۹). سنجش و تحلیل آسیب‌پذیری اجتماعات محلی در مواجهه با تغییرات اقلیمی (منطقه مورد مطالعه: شهرستان قصرشیرین) .*فصلنامه تحقیقات مرتع و بیابان ایران*، ۲۷(۲)، ۲۸۷–۲۹۹. از: https://doi.org/10.22092/ijrdr.121771.2020

Behmanesh, B., Sharaftmandrad, M., Shahraki, M. & Badripour, H. (2025). Climate change adaptation strategies adopted by pastoralists in rangelands in Golestan province, Iran. *Scientific Reports*, 15(1), 2496.

Briske, D.D., Joyce, L.A., Polley, H.W., Brown, J.R., Wolter, K. *et al.* (2015). Climate-change adaptation on rangelands: Linking regional exposure with diverse adaptive capacity. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 13(5), 249–256.

Chepkoech, W., Mungai, N.W., Stöber, S. & Lotze-Campen, H. (2020). Understanding adaptive capacity of smallholder African indigenous vegetable farmers to climate change in Kenya. *Climate Risk Management*, 27, 100204.

Cinner, J.E., Adger, W.N., Allison, E.H., Barnes, M.L., Brown, K. *et al.* (2018). Building adaptive capacity to climate change in tropical coastal communities. *Nature Climate Change*, 8(2), 117–123.

Datta, P. & Behera, B. (2022). Climate change and Indian agriculture: A systematic review of farmers' perception, adaptation, and transformation. *Environmental Challenges, 8*, 100543.

Ghazali, S., Zibaei, M. & Keshavarz, M. (2022). The effectiveness of livelihood management strategies in mitigating drought impacts and improving livability of pastoralist households. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 77, 103063.

Jamshidi, O., Asadi, A., Kalantari, K., Movahhed Moghaddam, S., Dadrass Javan, F. *et al.* (2020). Adaptive capacity of smallholder farmers toward climate change: Evidence from Hamadan province in Iran. *Climate and Development*, 12(10), 923–933.

Lemos, M.C., Agrawal, A., Eakin, H., Nelson, D.R., Engle, N.L. & Johns, O. (2013). Building adaptive capacity to climate change in less developed countries. *Climate Science for Serving Society: Research, Modeling and Prediction*, 437–457.

Marshall, N.A. (2015). Adaptive capacity on the northern Australian rangelands. *The Rangeland Journal*, 37(6), 617-622.

Norman, G. (2010). Likert scales, levels of measurement and the "laws" of statistics. *Advances in health sciences education*, 15(5), 625-632.

Omerkhil, N., Chand, T., Valente, D., Alatalo, J.M. & Pandey, R. (2020). Climate change vulnerability and adaptation strategies for smallholder farmers in Yangi Qala District, Takhar, Afghanistan. *Ecological Indicators*, 110, 105863.

Pandey, R., Alatalo, J.M., Thapliyal, K., Chauhan, S., Archie, K.M. *et al.* (2018). Climate change vulnerability in urban slum communities: Investigating household adaptation and decision-making capacity in the Indian Himalaya. *Ecological Indicators*, 90, 379-391.

Smith, A.P., Vallury, S. & Metcalf, E.C. (2023). Social dimensions of adaptation to climate change in rangelands: a systematic literature review. *Climatic Change*, 176(12), 180.

Snaibi, W., Mezrhab, A., Sy, O. & Morton, J.F. (2021). Perception and adaptation of pastoralists to climate variability and change in Morocco's arid rangelands. *Heliyon*, 7(11).

Sullivan, G.M. & Artino Jr, A.R. (2013). Analyzing and interpreting data from Likert-type scales. *Journal of Graduate Medical Education*, 5(4), 541.

Swanson-IISD, D. & Venema–IISD, H. (2007). Indicators of Adaptive Capacity to Climate Change for Agriculture in the Prairie Region of Canada. *(No journal name provided — possibly a report or grey literature)*

Tan, S., Li, T. & Huntsinger, L. (2018). Analyzing herder adaptive capacity to climate change: a case study from an ecologically fragile area in inner Mongolia, People's Republic of China. *Human Ecology*, 46, 399-409.

Thurman, L.L., Gross, J.E., Mengelt, C., Beever, E.A., Thompson, L.M. *et al.* (2022). Applying assessments of adaptive capacity to inform natural-resource management in a changing climate. *Conservation Biology*, 36(2), e13838.

Tugjamba, N., Walkerden, G. & Miller, F. (2023). Adapting nomadic pastoralism to climate change. *Climatic Change*, 176(4), 28.

Wang, Y., Wang, J., Li, S. & Qin, D. (2014). Vulnerability of the Tibetan pastoral systems to climate and global change. *Ecology and Society*, 19(4).

Wang, Z., Xue, Z., Zhang, X., Yan, H. & Liu, G. (2025). Adaptive Capacity to Climate Change in Pastoral Areas. *Sustainability*, 17(3), 1337.

Wesche, S.D. & Chan, H.M. (2010). Adapting to the impacts of climate change on food security among Inuit in the Western Canadian Arctic. *EcoHealth*, 7, 361-373.

Strategic Research Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources 11(1):77-92 (2026)

Analysis of the Adaptive Capacity of Qashqai Nomads in Response to Climate Change in Rangelands of Shiraz County

Rostam Morad Doquzlu, H.R., Ghorbani, M.[1], Naseri. H.R., Tavili A. and Jalilian S.[2]

This study investigated the perceptions and adaptive capacity of Qashqai nomads in the mid-range rangelands of Shiraz County in response to climate change. The objective was to analyze herders' understanding of climate change indicators and to assess various dimensions of adaptive capacity—including economic, social, infrastructural, knowledge-based, and governmental policy aspects—in order to propose strategies for enhancing livelihood resilience. The research followed a descriptive-survey method using a structured questionnaire, whose validity was confirmed by experts and reliability assessed using Cronbach's alpha: 0/773 for climate perception and 0/772 for adaptive capacity. The statistical population included nomads from the Sheshboluki and Rahimlu tribes, with 79 members of the fifth-term tribal council selected through purposeful and complete sampling. Results showed that the nomads had a moderate to high perception of climate change (mean = 3/23), particularly identifying reduced snowfall and drying water resources as the most evident signs, whereas increased pest outbreaks and wind pattern changes were perceived as less significant indicators. Among the dimensions of adaptive capacity, the knowledge-based aspect had the highest mean score (2/33), while the economic (1/86) and governmental policy (1/94) dimensions had the lowest. The Friedman test confirmed significant differences among these dimensions. Structural equation modeling did not reveal a significant relationship between climate perception and adaptive capacity. Based on these findings, it is recommended to enhance nomadic resilience to climate change by strengthening cooperatives, offering integrated indigenous and modern training programs, ensuring equitable distribution of technology, and providing targeted support to vulnerable households.

Key words: Adaptive capacity, Climate perception, Mid-altitude rangelands, Qashqai nomads, Rangeland users.

1. Corresponding author's Email: mehghorbani@ut.ac.ir
2. Graduated M.Sc., Professor, Assistant Professor, Professor and Graduated Ph.D. Student of University of Tehran, Karaj, respectively.

مجله پژوهش‌های راهبردی در علوم کشاورزی و منابع طبیعی جلد ۱۱ شماره ۱ صفحه‌های ۹۳ تا ۱۰۴ (۱۴۰۵)

واکاوی جایگاه آب و کود در تدوین سیاست‌های صادرات محصول‌های کشاورزی[1]

امیرحسین خوشگفتارمنش[2] و حدیث وطن‌خواه[3]

چکیده

در سال‌های گذشته توجه ویژه‌ای به صادرات محصول‌های کشاورزی از جمله محصول‌های گلخانه‌ای شده است. توسعه و رونق پایدار این بخش نیازمند توجه به برخی از شاخص‌های ویژه و جنبه‌های زراعی-اقتصادی است که تاحد زیادی نادیده گرفته شده و کمتر مورد توجه سیاستگذاران صادرات محصول‌های کشاورزی قرارگرفته است. در مقاله حاضر، برخی از جنبه‌های پنهان و گوشه‌های دیده نشده صادرات محصول‌های کشاورزی برپایه گزارش‌های رسمی مرجع‌های مرتبط، مورد وکاوی قرارگرفته است. شناسایی این گوشه‌ها که در رابطه با دیگر کالاها مطرح نیست، برای تدوین سیاست‌های نوین و علمی صادرات محصول‌های کشاورزی مفید و گاهی ضروری می‌باشد. در نظرگرفتن مقدار آب، انرژی و عنصرهای غذایی صادر شده (در قالب آب مجازی، انرژی و کود مجازی) در برابر هر واحد محصول و دیگر جنبه‌های پنهان در تولید محصول‌های کشاورزی در تدوین سیاست‌های مرتبط با صادرات این محصول‌ها، اهمیت راهبردی دارد. افزون بر این، توجه به امکان تهاتر نیازهای راهبردی کشور با محصول صادر شده، ضروری است. باید به این نکته توجه داشت که در صورت صادرات محصول، یارانه تنها به تولیدکننده محصول و نه به مردم تخصیص داده شده است. در صورتی عدالت اجتماعی برقرار خواهد شد که قیمت واقعی نهاده در ارزش‌گذاری محصول صادراتی در نظر گرفته شده و با شیوه‌های مشخص، در اختیار همه مردم قرار داده شود.

واژگان کلیدی: آب مجازی، انرژی مجازی، کود مجازی، محصول سالم.

مقدمه

اهمیت صادرات

سیاست‌گذاری علمی و جامع‌نگری در برنامه‌های صادرات و واردات، نقش مهمی در توسعه اقتصادی پایدار کشور دارد. صادرات به‌عنوان یکی از ستون‌های اصلی توسعه اقتصادی هر کشور است و ایجاد تراز تجاری مثبت و پایدار

۱- تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۳/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۳

۲- پست الکترونیک نویسنده مسئول: amirhkhosh@iut.ac.ir

۳- به ترتیب، استاد و دانشجوی کارشناسی دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان.

موجب بهبود عملکرد و سلامت چرخ اقتصاد می‌شود (Attrey, 2017). صادرات و سود حاصل از آن می‌تواند موجب کاهش تکانه‌های اقتصادی از جمله تغییرهای شدید در قیمت خدمت‌ها و کالاهای راهبردی مانند نرخ ارز، مواد غذایی، نهاده‌های دام و فلزها شود. از سوی دیگر، صادرات و ورود به بازارهای جهانی می‌تواند سبب توسعه و گسترش شرکت‌های تولیدی داخلی به ویژه شرکت‌های دانش‌بنیان و ایجاد برندهای جهانی، کارآفرینی به ویژه برای نخبگان علمی و به کارگیری نیروی انسانی در چرخه تولید، توزیع و ترابری شود. همچنین، شرکت‌ها با ورود به بازار جهانی متعهد به رعایت استانداردهای کیفی و همخوانی محصول‌های خود با استانداردهای جهانی و رقابت با محصول‌های مشابه می‌شوند که از این راه، بهره‌وری تولید و کیفیت محصول‌ها در بازارهای داخلی و خارجی بهبود می‌یابد.

در میان ظرفیت‌های صادراتی کشور، به ویژه در سال‌های گذشته، توجه ویژه‌ای به محصول‌های کشاورزی شده است. در شرایطی که نوسان بازارهای بین‌المللی و برخی از دشواری‌ها در مسیر تولید کالا در داخل، اثرهای منفی بر منابع درآمدی کشور دارند، به نظر می‌رسد صادرات محصول‌هایی مانند پسته، فلفل دلمه‌ای، گوجه‌فرنگی و خیار گلخانه‌ای نقش مهمی در تأمین پایدار ارز مورد نیاز کشور داشته باشند (Attrey, 2017).

با توجه به موقعیت راهبردی کشور و همچنین ناتوانی برخی از کشورهای همسایه (که روابط تجاری خوبی نیز با ایران دارند) در تأمین بخش مهمی از نیازهای غذایی خود، صادرات محصول‌های کشاورزی به این کشورها جایگاه ممتازی دارد، به طوری که براساس برخی از گزارش‌ها، محصول‌های کشاورزی در بازه زمانی ۱۳۹۵ تا ۱۴۰۰، معادل ۱۴٪ از ارزآوری غیرنفتی کشور را به خود اختصاص داده‌اند (خوش‌گفتارمنش، ۱۴۰۳). برای نمونه، براساس گزارش پایگاه اطلاع رسانی دولت، صادرات غیرنفتی ایران به روسیه در نیمه نخست ۱۴۰۴ از نظر وزنی ۲۰٪ و از نظر ارزش اقتصادی ۱۲٪ افزایش یافته است و در این میان، خشکبار و فلفل‌دلمه‌ای از پررونق‌ترین محصول‌های کشاورزی صادراتی به روسیه بوده‌اند (خوش‌گفتارمنش، ۱۴۰۳).

توسعه و رونق پایدار صادرات محصول‌های کشاورزی نیازمند توجه به برخی از شاخص‌های ویژه و جنبه‌های زراعی-اقتصادی است که به نظر می‌رسد تا حد زیادی نادیده گرفته شده و کمتر مورد توجه سیاستگذاران صادرات محصول‌های کشاورزی قرار گرفته‌اند. در واقع، با توجه به اهمیت صادرات محصول‌های کشاورزی، در نظر گرفتن این جنبه‌های پنهان و گوشه‌های دیده نشده صادرات ضروری است. بدیهی است با در نظر گرفتن آن‌ها در تجارت بین‌المللی محصول‌های کشاورزی و اتخاذ راهبردها و تدبیرهای ویژه می‌توان افزون بر جلوگیری از ایجاد زیان‌های جبران‌ناپذیر اقتصادی و زیست‌محیطی و تهدید امنیت غذایی در طولانی مدت، زمینه‌های تأمین هدفمند و جهت‌دار کالاهای اساسی کشور در اوج تحریم‌های بین‌المللی را فراهم نمود (Michael *et al*., 2024).

بیان این نکته ضروری است که نویسندگان مقاله حاضر، تنها به برجسته‌سازی برخی از جنبه‌های صادرات محصول‌های کشاورزی پرداخته‌اند و بی‌شک، تدوین سیاست‌ها و الگوهای صادرات در تخصص کارشناسان دیگری است که با بهره‌گیری از شرایط بازار داخل و بین‌الملل به بهترین صورت در این زمینه عمل نموده و در آینده نیز عمل خواهند نمود.

مواد و روش‌ها

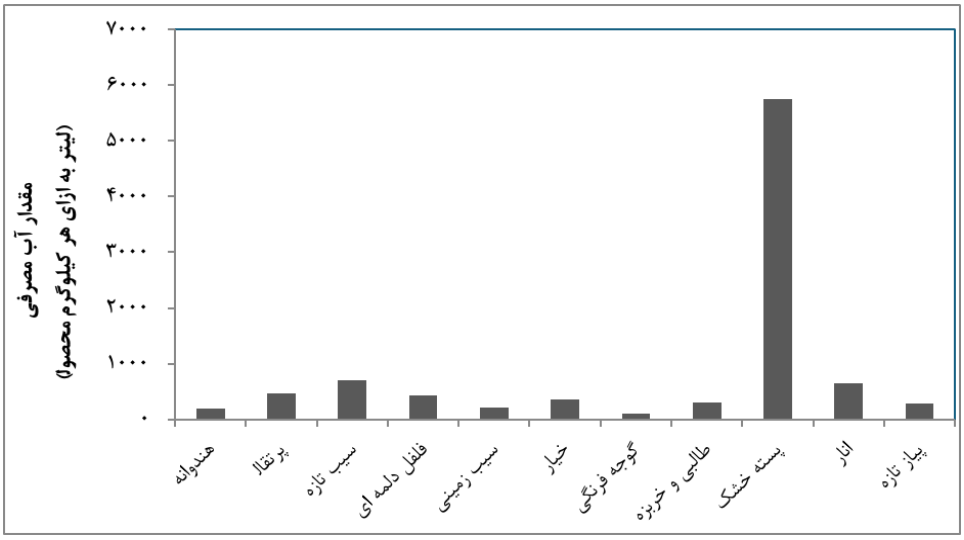
در این پژوهش، گوشه‌های پنهان صادرات محصول‌های کشاورزی از دو منظر اصلی مورد تجزیه و واکاوی قرار گرفته است. در بخش اول، با محاسبه مقدار آب مصرفی برای تولید برخی از محصول‌های کشاورزی، نسبت حجم آب

صادراتی به وزن محصول صادر شده تعیین شده است. افزون بر این، مقدار عنصرهای اصلی (نیتروژن، فسفر و پتاسیم) خارج شده از راه صادرات محصول‌های کشاورزی تخمین زده شده است. همچنین، مفهوم انرژی مجازی برای اولین بار، معرفی و در ارتباط با صادرات محصول‌های کشاورزی، شرح داده شده است. در بخش دوم، جنبه‌های کیفیت محصول‌های کشاورزی در صادرات واکاوی شده، برخی از راهکارها برای تدوین سیاستگزاری صادرات محصول‌های کشاورزی پیشنهاد شده است.

نتایج

آب مجازی

یکی از جنبه‌های مهم کارا در برنامه‌ریزی صادرات محصول‌های کشاورزی که در سال‌های گذشته مورد توجه کارشناسان بخش کشاورزی و اقتصاد قرار گرفته، موضوع آب مجازی است. آب مجازی به بیان ساده، مقدار آب مصرف‌شده در برابر تولید هر کیلوگرم محصول است (خوش‌گفتارمنش، ۱۳۹۳). مقدار آب مصرفی برای تولید هر کیلوگرم از محصول‌های مختلف در شکل ۱ مقایسه شده است. برای نمونه، برای تولید هر کیلوگرم خیار، هویج، گوجه‌فرنگی، پیاز و سیب‌زمینی به ترتیب، ۳۵۰، ۱۳۰، ۱۱۰، ۲۸۰ و ۲۱۰ لیتر آب نیاز است (خوش‌گفتارمنش، ۱۳۹۳). با صادرات هر تن خیار، ۳۵۰ هزار لیتر آب از کشور خارج می‌شود. بر اساس گزارش اتاق بازرگانی ایران، در سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۸ و در میان محصول‌های عمده صادراتی، صادرات پسته بالاترین خروج آب مجازی از کشور را داشته است. به طوری که مقدار آب مجازی صادرات پسته از ۱۲۰۷ میلیون متر مکعب در سال ۱۳۹۰ به ۱۵۲۱ میلیون متر مکعب در سال ۱۳۹۸ افزایش یافته است و در میانگین در نه سال گذشته، صادرات پسته سالانه ۱۳۸۲ میلیون مترمکعب آب مجازی از کشور خارج نموده است (خوش‌گفتارمنش، ۱۴۰۳). حجم صادرات محصول‌های مختلف کشاورزی در سال ۱۴۰۳ در شکل ۲ نشان داده شده است. همچنان که در شکل دیده می‌شود، هندوانه و گوجه‌فرنگی بیشترین حجم صادرات را در این سال به خود اختصاص داده‌اند. با توجه به حجم آب مصرفی برای هر یک از محصول‌های صادراتی (شکل ۳)، نسبت حجم آب خارج شده از کشور به واحد وزنی هر محصول محاسبه و مشخص شد که حجم آب خارج شده در برابر وزن محصول در پسته به طور چشمگیری بیشتر از سایر محصول‌ها است (شکل ۴). البته، با وجود بالا بودن نسبت وزن آب به وزن محصول پسته، سودآوری صادرات این محصول نیز بسیار زیاد است.



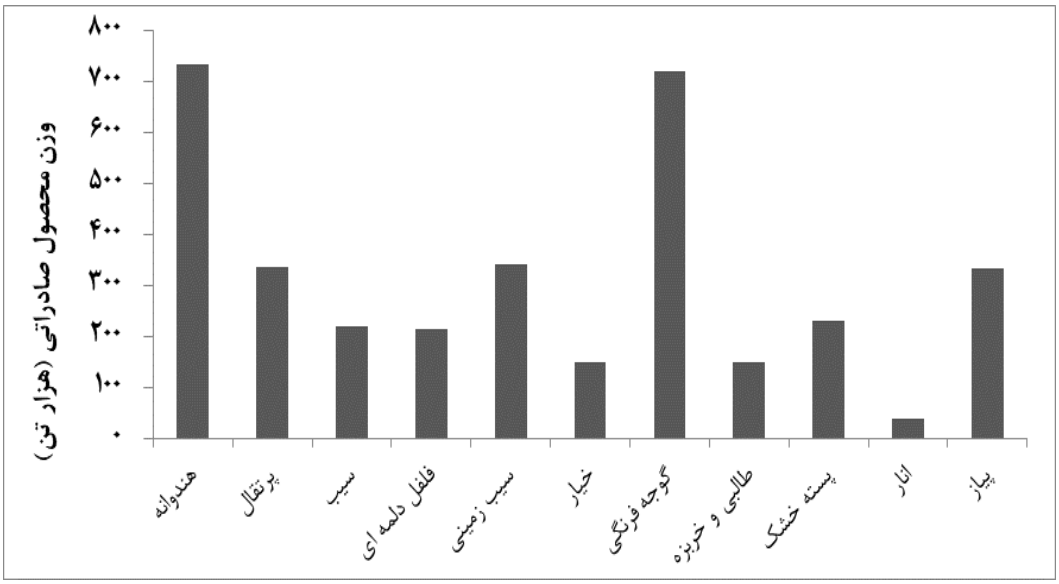
شکل ۱- مقایسه مقدار آب مصرفی برای تولید هر کیلوگرم از محصول‌های مختلف (خوش‌گفتارمنش، ۱۴۰۳).

باتوجه به کاهش میانگین بارش‌های سالانه در ایران، کشت و صادرات برخی از محصول‌های کشاورزی آب‌بر (محصول‌های با آب مجازی بیشتر) می‌تواند نگران‌کننده باشد. خوشبختانه، این موضوع تاحدی مورد توجه سیاستگذاران تجارت قرارگرفته است و در این موضوع بسیاری از پژوهشگران، بررسی‌های کاربردی انجام دادند و جنبه‌های اقتصادی و زیست‌بومی آن را ارزیابی کرده‌اند. اگرچه، به نظر می‌رسد هنوز ارائه آمار دقیق از شاخص بهره‌وری آب محصول[1] برای برخی از محصول‌ها در دسترس نیست و این موضوع باید از اولویت‌های بخش کشاورزی باشد تا از آن، هم در الگوی کشت و هم در تجارت محصول‌های کشاورزی بهره برد.

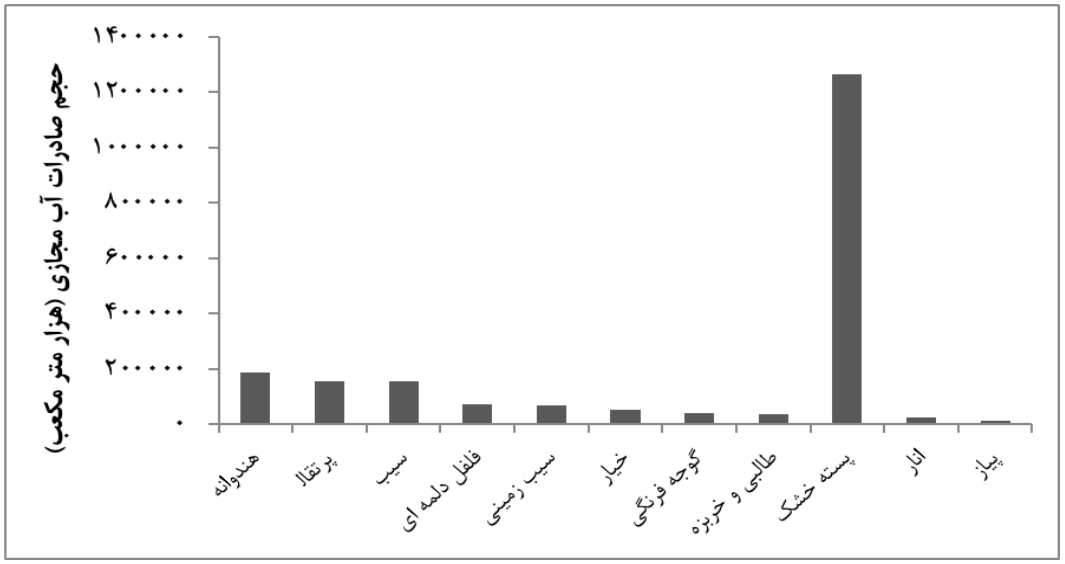
کود مجازی و دیگر نهاده‌های کشاورزی

یکی از جنبه‌های مهم که مورد توجه قرار نگرفته، این است که در صادرات محصول‌های کشاورزی، به خارج شدن ناخواسته عنصرهای غذایی مورد نیاز گیاه و در نتیجه از دست رفتن تعادل عنصرهای غذایی در سطح ملی می‌انجامد (FAO, 2019). گاهی مقدار عنصرهای غذایی صادرشده به کشورهای دیگر، چشمگیر است. در برابر هر تن غلات، حدود ۱۵ کیلوگرم نیتروژن و کمتر از پنج تا شش کیلوگرم فسفر (به شکل P_2O_5) و پتاسیم (به شکل K_2O) صادر می‌شود (شکل ۵) (FAO, 2016). مقدار تخمینی برداشت عنصرهای آهن، روی، مس و منگنز توسط غلات نیز در شکل ۶ نشان داده شده است. با در نظر گرفتن حدود ۲۰ هزار تن صادرات یک محصول گلخانه‌ای مانند گوجه‌فرنگی در سال ۱۴۰۲ و برداشت مقدار زیاد عنصرهای غذایی توسط این محصول‌ها در مقایسه با غلات، صادرات خالص نیتروژن از کشور از راه این محصول حدود ۵۰ تن و برای فسفات و پتاسیم به ترتیب چهار و ۲۰ تن تحمین زده می‌شود (Roy *et al*., 2006).

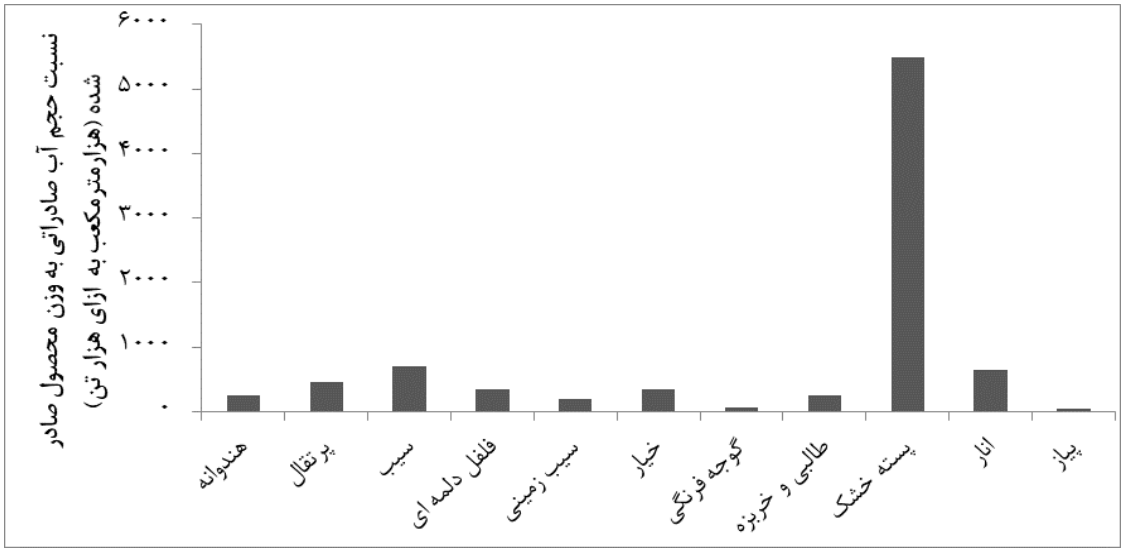
1. Crop water productivity



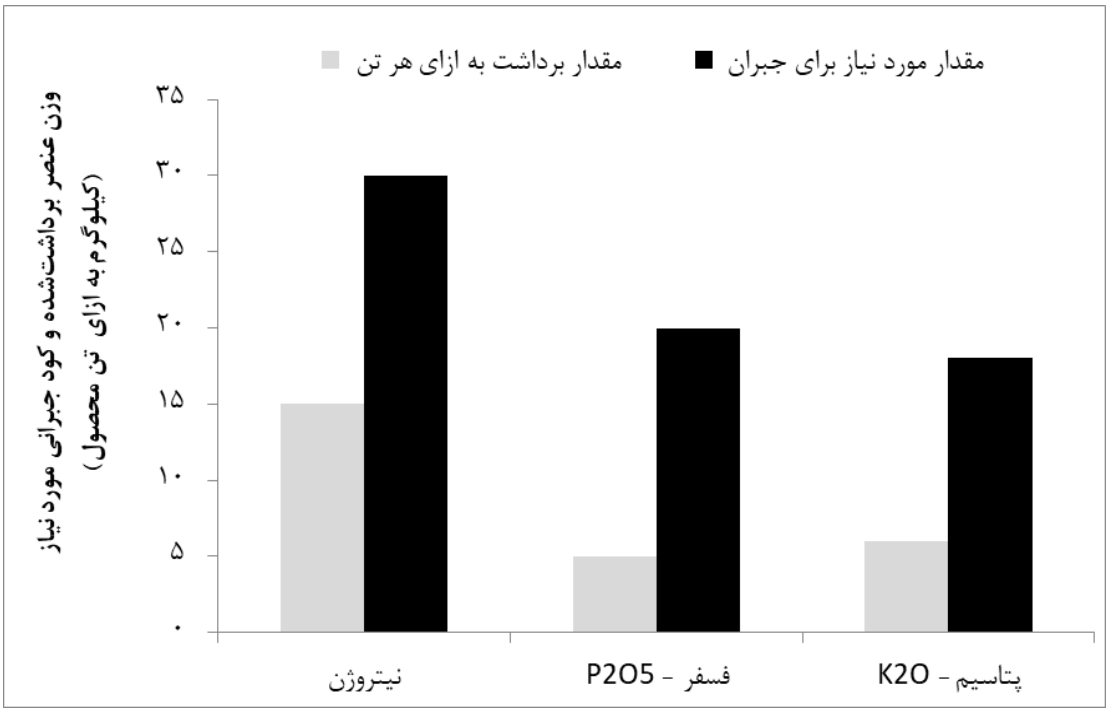
شکل ۲- حجم صادرات محصول‌های مختلف کشاورزی در سال ۱۴۰۳ (خوش‌گفتارمنش، ۱۴۰۳).



شکل ۳- حجم آب خارج شده از کشور در سال ۱۴۰۳ از راه صادرات محصول‌های مختلف کشاورزی.

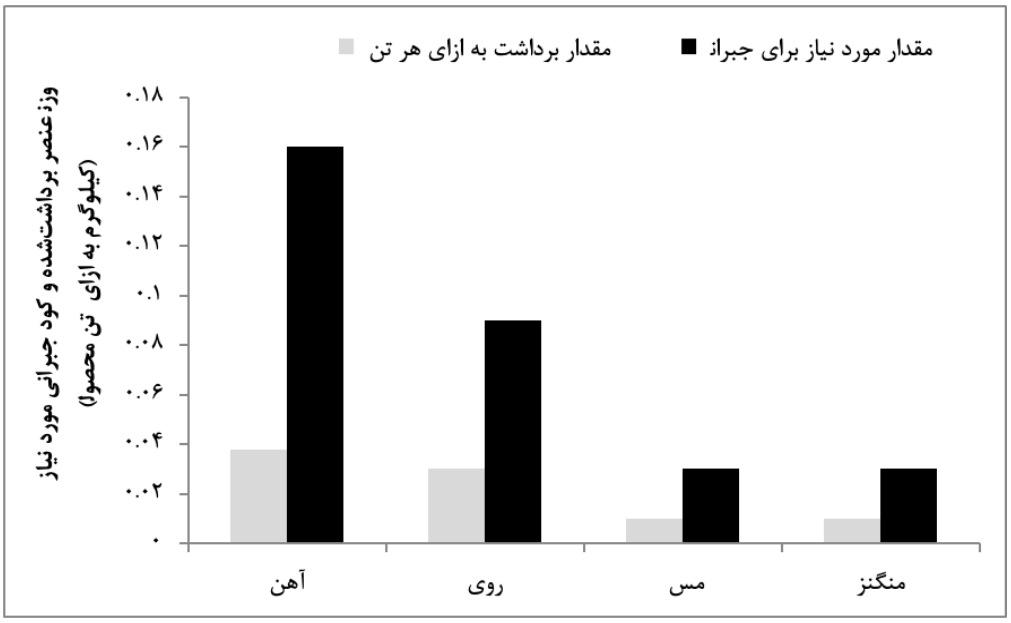


شکل ۴- نسبت حجم آب صادراتی به وزن محصول صادر شده برای محصول‌های مختلف کشاورزی در سال ۱۴۰۳.



شکل ۵- مقدار عنصرهای نیتروژن، فسفر (به شکل P_2O_5) و پتاسیم (به شکل K_2O) صادر شده در برابر هر تن غلات و مقدار کودی که برای جبران عنصرهای تخلیه شده از خاک لازم است. براساس میانگین کارایی کوددهی، ضریب کود مورد نیاز برای جبران عنصر خارج شده از خاک برای نیتروژن، فسفر و پتاسیم به ترتیب دو، چهار و شش در نظر گرفته شده است (خوش‌گفتارمنش، ۱۳۹۳).

در حقیقت، همه عنصرهای غذایی موجود در محصول از راه صادرات خارج می‌شوند. چنین صادراتی موجب تخلیه چشمگیر عنصرهای غذایی خاک می‌شود. اگر عنصرهای غذایی خارج شده از کشور از راه صادرات محصول‌های کشاورزی، با واردات مجدد کودهای شیمیایی جبران شود (یا امکان جبران آن باشد)، تخلیه عنصرهای غذایی خاک مشکل جدی نخواهد بود، اما باید جنبه‌های مختلف اقتصادی و محیط‌زیستی واردات و مصرف کود از یک‌سو و خاک فرسایش یافته یا جابه‌جا شده، در نظرگرفته شود. همچنین باید برآورد شود که از کودها برای چه سطحی از عملکرد محصول استفاده می‌شود. در هر صورت، عنصرهای غذایی صادر شده به همراه محصول‌های کشاورزی، بخش قابل جذب گیاه یا به عبارت دیگر خروجی خالص و البته با ارزش هستند. بدیهی است برای جبران هر واحد از عنصرهای غذایی موجود در محصول‌های صادر شده، حدود دو تا چهار واحد کودی نیاز است (خوش‌گفتارمنش، ۱۳۹۳). به عبارت دیگر در برابر هر کیلوگرم عنصر غذایی صادر شده، دستکم دو تا چهار کیلوگرم کود آن عنصر لازم است. البته، در ایران به ویژه در برخی از سیستم‌های کشت گلخانه‌ای، به دلیل مدیریت تغذیه غیرعلمی، کارایی مصرف کودها بسیار اندک بوده و مقدارهای بیشتر کود برای جبران عنصرهای تخلیه شده از خاک ضروری است (خوش‌گفتارمنش، ۱۴۰۳). در هر صورت، نسبت عنصرهای غذایی صادرشده از راه محصول‌های زراعی به نسبت عنصرهای غذایی وارد شده از راه کود، نمی‌تواند ۱:۱ باشد. برهمین اساس، توجه به موضوع عنصرهای غذایی (کود) مجازی، در تدوین سیاست‌های صادرات محصول‌های کشاورزی، ضروری است.



شکل ۶ - مقدار عنصرهای آهن، روی، مس و منگنز صادر شده در برابر هر تن غلات و مقدار کود لازم برای جبران عنصرهای تخلیه شده (خوش‌گفتارمنش، ۱۳۹۳).

افزون بر موردهای یاد شده باید توجه داشت که برخی از کودهای شیمیایی و آلی مصرفی توسط تولیدکنندگان محصول‌های کشاورزی از یارانه برخوردارند و قیمت واقعی آن‌ها ممکن است بسیار بیش از قیمت کنونی در دسترس تولیدکنندگان باشد. بدیهی است هدف اصلی اختصاص یارانه به این نهاده‌ها برای حمایت از بخش کشاورزی برای

امنیت غذایی و تأمین نیاز غذایی مردم کشور است که از این راه، یارانه نه تنها به تولیدکننده محصول، بلکه به همه جامعه اختصاص یافته است. در صورت صادرات محصول، این یارانه تنها به تولیدکننده محصول و نه به مردم تخصیص داده شده است. در صورتی عدالت اجتماعی برقرار خواهد شد که قیمت واقعی نهاده در ارزشگذاری محصول صادراتی در نظر گرفته شده و با شیوه‌های مشخص، در اختیار همه مردم قرار داده شود.

البته باید توجه داشت که بیان گوشه‌های پنهان بیان شده پیرامون صادرات محصول‌های کشاورزی (با پایه آمار منابع رسمی کشور از جمله اتاق بازرگانی ایران) به این دلیل است که این جنبه‌ها در اولویت‌بندی محصول‌ها برای صادرات و یا قیمت‌گذاری و موردهای دیگر در نظر گرفته شود. برای نمونه، اگر تولیدکننده برای یک محصول از کود یارانه‌ای استفاده کرده است، شیوه بازگرداندن یارانه به دیگر مردم جامعه از راه ارزیابی هزینه واقعی کود (بدون یارانه) در قیمت محصول صادراتی مشخص شود. بدیهی است در مرحله‌های بعدی، با محاسبه دقیق‌تر مقدارهای آب، انرژی و کود مصرفی توسط هر یک از محصول‌های کشاورزی و قیمت واقعی و یارانه‌ای این منابع، درباره اولویت‌های صادراتی و جنبه‌های مثبت و منفی صادرات هر یک از محصول‌ها، تصمیم‌گیری خواهد شد.

انرژی مجازی، سوخت و برق

آنچه در مورد نهاده‌های کشاورزی گفته شد، در مورد منابع انرژی از جمله سوخت و برق مصرفی تولیدکنندگان محصول‌های کشاورزی نیز درست است. تولید محصول در برابر انرژی[1] در واقع مقدار انرژی (برق، گاز، گازوئیل و دیگر منابع انرژی) مورد استفاده برای تولید هر واحد وزنی محصول است. این شاخص در مورد محصول‌های گلخانه‌ای بین منطقه‌های مختلف متفاوت است. برای نمونه، در یک منطقه سردسیر انرژی بیشتری در مقایسه با منطقه‌های معتدل برای حفظ دمای مطلوب داخل گلخانه مورد نیاز است و در نتیجه، نرخ تولید محصول در برابر انرژی در این منطقه‌ها کاهش می‌یابد. بر این اساس، در برابر هر کیلوگرم محصول صادر شده از یک گلخانه در منطقه‌های سردسیر مقدار انرژی بیشتری در مقایسه با منطقه‌های معتدل خارج می‌شود (انرژی مجازی). بدیهی است یارانه اختصاصی به سوخت و برق واحدهای تولیدی در شرایط صادرات محصول باید متفاوت از شرایط تأمین نیاز داخل ارزیابی شود. در حقیقت، همانند آنچه در مورد عنصرهای غذایی مطرح شد، در مورد منابع ارزشمند انرژی نیز باید بحث یارانه اختصاص داده شده به تولیدکنندگان محصول‌های کشاورزی، هدفمند و جهت‌دار باشد. در شرایط صادرات یک محصول، لازم است قیمت واقعی (بدون اختصاص یارانه) نهاده‌ها و منابع انرژی در قیمت‌گذاری محصول هم برای تولیدکننده داخلی و هم برای خریدار خارجی (بازار هدف در کشور دیگر) در نظر گرفته شود.

کیفیت محصول‌های کشاورزی و استانداردهای صادرات

یک نکته مهم در تجارت محصول‌های کشاورزی این است که کشور صادرکننده همواره باید محصول‌هایی همسو با شرایط و استانداردهای کشور مقصد تولید کند. پیروی نکردن استانداردها و ناهمخوانی محصول‌ها با شرایط تعیین شده در این استانداردها، چه از نظر شاخص‌های کیفیت ظاهری و چه از نظر شاخص‌های کیفیت سلامت تغذیه‌ای مانند غلظت ترکیب‌ها و عنصرهای ضروری مفید یا نامطلوب موجود در محصول، می‌تواند پیامدهای زیانباری برای کشور صادرکننده به همراه داشته باشد (Harker *et al.*, 2003). در صورت ناهمخوانی محصول‌های تولیدی با استانداردهای

1. Crop energy productivity

کشور مقصد (خریدار)، این کشور می‌تواند به قرارداد خود با کشور صادرکننده پایان دهد. در این صورت لازم است به نکته‌های زیر توجه شود:

۱- توقف صادرات و بازگرداندن محصول صادرشده موجب افزایش عرضه این محصول در بازارهای داخلی و در پی آن، کاهش قیمت محصول و آسیب دیدن زیاد تولیدکنندگانی که هدف‌گذاری تولید آن‌ها بازار داخلی بوده است.

۲- محصول‌های بازگردانده شده در صورت تزریق به بازارهای داخلی خطر تهدید سلامت مردم کشور را در پی داشته و موجب ایجاد هزینه‌های مازاد پنهان، غیرمستقیم و جبران‌ناپذیر به بخش بهداشت و درمان کشور می‌شوند. همچنین، ورود این محصول‌های بی‌کیفیت یا کم ارزش تغذیه‌ای به بازار داخلی، بر سلامت روانی مردم جامعه نیز تأثیر بد خواهد داشت.

۳- ناهمخوانی کیفیت محصول‌های صادراتی با استانداردهای کشور هدف و برگشت این محصول‌ها، موجب از دست رفتن اعتبار کشور و یا شرکت صادرکننده و ایجاد بی‌اعتمادی در بین تاجران دیگر کشورها، نسبت به کالاهای ایرانی می‌شود. صحبت‌های برخی از رایزن‌های اقتصادی و تاجران کشورهای همسایه، گواه بر این حقیقت است.

۴- نکته دیگر این است که کشور مقصد می‌تواند به خاطر رعایت نکردن استانداردهای لازم توسط کشور صادرکننده و برگشت محصول، درخواست غرامت کرده و کشور صادرکننده را موظف به پرداخت آن کند. ضمن این‌که، در بیشتر موردها، کشور مقصد محصول‌های نامناسب را تا زمانی که نتایج آزمایش‌های مربوطه مشخص شود در گمرک توقیف می‌کند. با توجه به شرایط ویژه مورد نیاز برای نگهداری و انبارداری محصول‌های کشاورزی از یک سو و فسادپذیری اغلب این محصول‌ها از سوی دیگر، احتمال هدررفت محصول و کاهش کیفیت آن‌ها زیاد است. افزون بر این، در صورت ناهمخوانی نتایج آزمایش‌ها با استانداردهای مورد نظر، کشور مقصد محصول‌ها را به کشور صادرکننده برمی‌گرداند که در این میان، هزینه‌های اضافی شامل خسارت گذر زمان[1] و هزینه‌های ترابری و انبارداری به آن افزوده می‌شود.

در صورتی که یارانه‌های پنهان، همچنان که پیش از این گفته شد، در قیمت محصول در نظر گرفته شود یا تولیدکنندگان موظف به پرداخت غرامت برای تولید محصول‌های ناسالم شوند، می‌توان تا حدی از خسارت وارده کم کرد و البته مهمتر این است که از این راه، فرهنگ مصرف بهینه منابع و نهاده‌ها در بخش کشاورزی ترویج شود. در صورت تدوین استانداردهای لازم و ایجاد سازوکارهای پایش محصول‌های کشاورزی، می‌توان با به‌کارگیری نیروهای جوان و متخصص، ضمن پایش پیوسته محصول‌های کشاورزی در محل تولید، راهکارهای افزایش کیفیت محصول‌های کشاورزی را برای تولیدکنندگان تعیین نمود. در این صورت، تا حد زیادی از خسارت‌های حاصل از برگشت محصول صادر شده به دیگر کشورها، چه به دلیل‌های درست و منطقی و چه ناشی از جوسازی‌های سیاسی، جلوگیری می‌شود. افزون بر این، مردم جامعه نیز از افزایش کیفیت سلامت محصول‌های مصرفی خود بهره‌مند خواهند شد (Aghili *et al*., 2009a,b).

گزینش کشورهای هدف برای صادرات

یکی دیگر از عامل‌هایی که می‌تواند در افزایش سوددهی حاصل از صادرات محصول‌های کشاورزی موثر باشد، گزینش کشور هدف است. همچنان که پیش از این بیان شد، کشور مبدأ با صادرات محصول‌های کشاورزی در حال

1. Demurrage

فرستادن آب، نهاده‌های کشاورزی و منابع انرژی به کشور دیگر است. برهمین اساس، کشور هدف باید با نهایت دقت و همه‌جانبه‌نگری به گونه‌ای گزینش شود که یک معامله دو سر سود، حاصل شود. برای نمونه، گاهی کشوری که در برابر کالاهای صادراتی به‌تواند نیازهایی که خود نمی‌تواند تولید کند یا کالاهایی که برای ایجاد امنیت غذایی در کشور مفید باشد را از راه واردات تأمین کند، در مقایسه با کشوری که در برابر محصول دریافتی، هزینه پرداخت می‌کند، برتری دارد. این موضوع به ویژه در شرایط تحریم که امکان انتقال مستقیم ارز دشوار است، اهمیت راهبردی دارد. در حقیقت، شناسایی کشورهای هدف که بتوان با آن‌ها در تأمین کالاهای مورد نیاز کشور تهاتر کرد، از اولویت‌های صادرات محصول‌های کشاورزی است. از این راه، از یک سو دشواری انتقال ارز حاصل از فروش محصول کاهش می‌یابد و از سوی دیگر، با واردات کالاهای اساسی مورد نیاز داخل، افزون بر تضمین امنیت غذایی، به‌طور غیرمستقیم، ارزآوری چشمگیری دارد.

جمع بندی

همچنان که در این مقاله اشاره شد، توجه به موضوع آب، انرژی و عنصرهای غذایی مجازی و دیگر جنبه‌های پنهان در تولید محصول‌های کشاورزی در تدوین سیاست‌های مرتبط با صادرات این محصول‌ها، اهمیت راهبردی دارند. افزون بر این، شناسایی کشورهای هدف صادرات محصول‌های کشاورزی براساس شاخص‌های بیان شده و با توجه به امکان تهاتر نیازهای راهبردی کشور با محصول صادر شده ضروری است. به هرحال، متخصصان تغذیه گیاه نقش مهمی در تدوین استانداردهای کیفیت تغذیه سلامت محصول‌های کشاورزی و پایش پیوسته این محصول‌ها، دارند. همراه با پایش محصول‌ها، ارائه راهکارهای مدیریتی برای مصرف بهینه کود و مواد اصلاحی خاک یا سایر بسترهای کاشت توسط تولیدکنندگان کشاورزی به ویژه گلخانه‌داران برعهده متخصصان تغذیه گیاه است که به کاهش هزینه‌های تولید محصول (به نفع سودآوری خالص تولیدکننده) از یک‌سو و افزایش کیفیت محصول (به نفع سلامت مردم جامعه) از سوی دیگر می‌انجامد. بدیهی است، با این کار، همخوانی کیفیت محصول‌های تولیدی با استانداردهای صادراتی به راحتی امکان‌پذیر است.

منابع

خوش‌گفتارمنش، امیرحسین. (۱۳۹۳). *مدیریت تغذیه گیاهان گلخانه‌ای*. انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه صنعتی اصفهان. اصفهان، ایران.

خوش‌گفتارمنش، امیرحسین. (۱۴۰۳). *آزمون خاک و مدیریت بهینه مصرف کودهای شیمیایی: مبانی زراعی، اقتصادی و جایگاه در امنیت غذایی*، انتشارات دانشگاه تهران، ایران.

Aghili, F., Khoshgoftarmansh, A.H., Afyuni, M. & Mobli, M. (2009a). Relationships between fruit mineral nutrients concentrations and some fruit quality attributes in greenhouse cucumber. *Journal of Plant Nutrition*. 32, 1994-2007.

Aghili, F., Khoshgoftarmansh, A.H., Afyuni, M. & Schulin, R. (2009b). Health risks of heavy metals through consumption of greenhouse vegetables grown in Central Iran, *Human and Ecological Risk Assessment*. 15 (5), 999-1015. ISBN 9780128017739

Attrey, D.P. (2017). Chapter 37 - *Food safety in international food trade—imports and exports*, 455-468, Academic Press.

FAO. (2016). *World fertilizer trends and outlook to 2019*. Summary Report. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

FAO. (2019). *World fertilizer trends and outlook to 2022*. Summary Report. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Harker, F.R., Gunson, F.A. & Jaeger, S.R. (2003). The case for fruit quality: an interpretive review of consumer attitudes, and preferences for apples. *Postharvest Biology and Technology*. 28(2), 333-347.

Michael Wehr, H. & Tuverson, R.T. (2024). Providing food safety assurances in a global market: Approaches/best fit for importing and exporting countries. *Encyclopedia of Food Safety*. 2, 425-457.

Roy, R.N., Finck, A., Blair, G.J., Tandon, H.L.S. & Montanez, A. (2006). *Plant Nutrition for Food Security*. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Strategic Research Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources 11(1):93-104 (2026)

Analyzing the Role of Water and Fertilizer in Agricultural Export Policymaking

Khoshgoftarmanesh, A.H.[1] and Vatankhah, H.[2]

In recent years, special attention has been paid to the export of agricultural products, including greenhouse products. However, the sustainable development and prosperity of this sector require attention to certain indicators and agricultural-economic aspects that seem to have largely been overlooked and received less attention from policymakers. This article highlights some hidden aspects and unseen angles of agricultural product exports. Identifying these principles, which do not apply to other goods, is beneficial and perhaps necessary for formulating innovative and scientific policies for the export of agricultural products. Considering the amount of water, energy, and nutrients exported per unit of product (namely virtual water, virtual energy, and virtual fertilizer, respectively), as well as other hidden aspects in the production of agricultural products, it is strategically important to formulate related export policies for each product. Furthermore, identifying target countries for export is essential, taking into account the possibility of bartering the strategic needs of the country with the exported product. It should be noted that in the case of product exports, the subsidy is allocated only to the producer of the product and not to the general public. Social justice will only be established if the real cost of inputs is considered in the valuation of the exported product and made available to the public through specific methods.

Key words: Safe food, Virtual energy, Virtual fertilizer, Virtual water.

1. Corresponding author's Email: amirhkhosh@iut.ac.ir
2. Professor and B.Sc. Student of Isfahan University of Technology, Isfahan, respectively.

مجله پژوهش‌های راهبردی در علوم کشاورزی و منابع طبیعی جلد ۱۱ شماره ۱ صفحه‌های ۱۰۵ تا ۱۱۴ (۱۴۰۵)

کاربرد شاخص بهره‌وری انرژی در سیاست‌گذاری داده‌محور و انتقال نوآوری در کشاورزی: بررسی موردی گندم در سامانه‌های خاک‌ورزی البرز[1]

عادل طاهری حاجی‌وند[2] و مهسا عباسی[3]

چکیده

افزایش نگرانی‌ها پیرامون بحران منابع پایه، کاهش بهره‌وری نهاده‌ها و پیامدهای محیط‌زیستی، لزوم بازنگری در نظام‌های تولید گندم ایران را دو چندان کرده است. پژوهش حاضر با هدف ارزیابی تطبیقی شاخص بهره‌وری انرژی بین دو سامانه خاک‌ورزی مرسوم و حفاظتی در کشتزارهای گندم استان البرز و کاربرد آن در سیاست‌گذاری انجام شد. این کار، بر پایه رویکرد داده‌برداری میدانی با مقایسه شاخص‌های انرژی و ارزیابی چرخه زندگی[4] انجام شد. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای Excel 2021 و IBM SPSS Statistics 26 و برای ارزیابی چرخه زندگی نرم‌افزار SimaPro v9.0 با روش IMPACT 2002+ واکاوی شدند. نتایج نشان دادند که کاهش مصرف کود نیتروژن (۳۸/۷٪) و سوخت دیزل (۲۵٪) بیشترین سهم را در کاهش بار محیط‌زیستی دارند. شاخص بهره‌وری انرژی از ۱/۲۳ به ۱/۳۷ و شدت مصرف انرژی از ۲۲/۱۸ به ۱۹/۹۴ مگاژول بر کیلوگرم گندم تغییرکرد. همچنین، شاخص‌های ارزیابی چرخه زندگی کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن معادل ۲٪، تأثیر بر سلامت انسان ۲۳٪ و بوم‌نظام ۱۹٪ را نشان دادند. بنابراین توسعه با بهره‌گیری از شاخص‌های انرژی بر پایه پایش داده‌ها، همراه با آموزش هدفمند و آسان‌سازی دسترسی به فناوری‌های کشاورزی حفاظتی، می‌تواند دوره گذار به کشاورزی پایدار و تاب‌آور را در ایران شتاب بخشد و به‌عنوان راهبردی عملی در تصمیم‌سازی سیاست‌گذاران بخش کشاورزی مورد توجه قرارگیرد.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی چرخه زندگی، بهره‌وری انرژی، خاک‌ورزی حفاظتی، سیاست‌گذاری، کشاورزی هوشمند، گندم.

مقدمه

گندم در سبد امنیت غذایی ایران نه تنها به‌عنوان محصولی با بیشترین سطح زیرکشت، بلکه به عنوان پایه اصلی پایداری معیشت خانوارهای روستایی و تضمین استقلال غذایی است. بر اساس آمار فائو (۲۰۲۳) و وزارت جهاد کشاورزی،

۱- تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۴/۳۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۳

۲- پست الکترونیک نویسنده مسئول: a.taheri@tabrizu.ac.ir

۳- به ترتیب، استادیار و دانش‌آموخته کارشناسی ارشد دانشگاه تبریز، تبریز.

4. Life cycle assessment (LCA)

سطح زیرکشت گندم ایران سالانه بیش از هشت میلیون هکتار است و میانگین تولید سالانه این محصول نیز در سال‌های گذشته در حدود ۱۱ میلیون تن برآورد می‌شود. فراهم آوردن چنین حجم زیادی از تولید، نقشی بنیادین در پایداری اجتماعی، اقتصادی و امنیت غذایی همه منطقه‌های کشور دارد و موجب شده سیاست‌گذاری و مدیریت آن همواره در اولویت ملی قرار گیرد (Ministry of Jihad Agriculture, Alborz, 2021; FAO, 2023).

با این حال، پایداری تولید گندم در دهه گذشته با فشارهای زیادی روبه‌رو شده است. بحران منابع آب و کاهش بارندگی‌ها، فرسایش و کاهش حاصلخیزی زمین‌ها، وابستگی سامانه تولید به نهاده‌های شیمیایی پرانرژی (به‌ویژه کودهای نیتروژن‌دار و سوخت‌های فسیلی)، افزایش هزینه‌های تولید و شدت گرفتن رقابت جهانی، چالش‌هایی است که چشم‌انداز تولید گندم را با تهدیدهای جدی روبه‌رو می‌کند (Statistical Center of Iran, 2023; Bakhshi *et al*., 2024; Kumar *et al*., 2024). حتی در شرایطی که سیاست خودکفایی در دستور کار قرار دارد، ادامه تکیه بر روش‌های مرسوم خاک‌ورزی و مدیریت سنتی نهاده‌ها، آسیب‌پذیری بوم‌نظام‌های زراعی را افزایش می‌دهد، فشار بر منابع آب و خاک را دوچندان و موجب افزایش انتشار آلاینده‌ها و گازهای گلخانه‌ای می‌شود (Houshyar & Grundmann, 2017; Abbasi, 2022).

بررسی‌های ملی و فراملی نشان می‌دهند که بخش زیادی از انرژی مصرفی در کشاورزی ایران به تولید و مصرف کود نیتروژن و عملیات مکانیزه اختصاص دارد و نرخ مصرف انرژی در کشت گندم کشور به طور چشمگیری بیشتر از میانگین جهانی است (Nobavi-Pelleh Serai *et al*., 2018; Boschiero *et al*., 2023). این موضوع افزون بر افزایش هزینه تولید، بهره‌وری اقتصادی و پایداری زیستی را اندک و نظام تولید را به الگوی انرژی‌بر و کم‌بازده تبدیل کرده است. این وضعیت با تشدید تأثیر تغییر اقلیم، اثرهای منفی بیشتری بر امنیت غذایی، معیشت روستایی و مدیریت منابع بوم‌شناختی کشور می‌گذارد.

بررسی‌های گذشته بیانگر این است که دگرگونی اساسی در پایداری کشاورزی به اصلاح مدیریت مصرف نهاده‌ها و بازنگری در شیوه‌های خاک‌ورزی وابسته است (Lal, 2015; Kassam *et al*., 2021; Pishgar-Komleh *et al*., 2021). خاک‌ورزی حفاظتی به‌عنوان یکی از محورهای نوآورانه در کشاورزی پایدار با حذف شخم ژرف، حفظ پسماندهای گیاهی و کاهش رفت و آمد ماشین، نه تنها کیفیت و ساختار خاک را بهبود می‌بخشد، بلکه مصرف انرژی، سوخت و نهاده‌های پرهزینه را به‌طور چشمگیری کاهش و بهره‌وری اقتصادی را افزایش می‌دهد (Bakhshi *et al*., 2024; Noč *et al*., 2025). پژوهش‌ها نشان داده‌اند که این سامانه‌ها افزون بر صرفه‌جویی در مصرف منابع، پیامدهای منفی انتشار آلاینده‌ها و تخریب بوم‌نظام را کاهش می‌دهند (Boschiero *et al*., 2023).

در کنار دگرگونی‌های فنی، ابزارهای ارزیابی جامع مانند ارزیابی انرژی و ارزیابی چرخه زندگی نیز در دهه گذشته به عنوان ابزارهای کلیدی در سیاست‌گذاری بر پایه داده و تصمیم‌گیری مدیریتی مورد توجه قرار گرفته‌اند (Anonymous, 2006; Goula *et al*., 2023; Aminifard *et al*., 2024). این واکاوی‌ها امکان مقایسه کمی و کیفی انواع سامانه‌های کشت را از دید شاخص‌های انرژی، مصرف منابع و پیامدهای زیست‌محیطی فراهم آورده و زمینه‌ساز شناسایی گلوگاه‌ها و تدوین سیاست‌های بهینه در سطح ملی و منطقه‌ای شده‌اند.

در ایران، بیشتر پژوهش‌ها تنها به بررسی انرژی نهاده‌ها یا شاخص‌های اقتصادی نظام‌های کشت مرسوم پرداخته‌اند (Pishgar-Komleh *et al*., 2021; Bakhshi *et al*., 2024). در حالی که در بررسی‌های بین‌المللی (González *et al*., 2019a,b; Zhao *et al*., 2021a,b) از تلفیق واکاوی انرژی و چرخه زندگی برای ارزیابی جامع اثرهای

محیط‌زیستی استفاده شده است. پژوهش حاضر این خلأ را با ترکیب داده‌های کشتزاری و مدل IMPACT 2002+ در نرم‌افزار SimaPro v9.0 برطرف کرده و نخستین گام را در همترازی یافته‌های ایران با بررسی‌های جهانی برداشته است. باتوجه به جایگاه پژوهشی، آموزشی و سیاست‌گذاری استان البرز در تولید گندم ایران و آسیب‌پذیری شدید آن نسبت به بحران‌های طبیعی، پیاده‌سازی رویکردهای علمی و نوین مدیریت نهاده‌ها و بهبود بهره‌وری انرژی در این منطقه الزامی است. با توجه به همسانی شرایط اقلیمی و زراعی، نتایج این مدل را می‌توان به دیگر منطقه‌های نیمه‌خشک ایران، از جمله استان‌های همدان، قزوین و بخش‌هایی از آذربایجان شرقی گسترش داد. البته، در ناحیه‌های خشک‌تر کشور مانند منطقه‌های مرکزی و جنوبی، لازم است ضریب‌های مربوط به مصرف کود نیتروژن و سوخت دیزلی متناسب با شرایط اقلیمی بازتنظیم شوند.

پژوهش حاضر، با واکاوی تطبیقی شاخص بهره‌وری انرژی در دو سامانه خاک‌ورزی مرسوم و حفاظتی گندم در استان البرز، تلاش دارد ضمن بیان ظرفیت این شاخص برای سیاست‌گذاری بر پایه داده‌ها، آموزش کشاورزان و توسعه نوآوری مدیریتی، الگویی عملی برای گذار از کشاورزی سنتی به کشاورزی پایدار، هوشمند و آینده‌نگر معرفی کند. در این راستا، نتایج پژوهش حاضر می‌تواند زمینه‌ساز به کارگیری شاخص‌های انرژی در فرایند سیاست‌گذاری داده‌محور و برنامه‌های افزایش فناوری و آموزش کشاورزی کشور باشد.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر، با رویکرد میدانی و واکاوی، به منظور مقایسه شاخص بهره‌وری انرژی در دو سامانه خاک‌ورزی مرسوم و حفاظتی در کشتزارهای گندم آبی استان البرز در سال ۱۴۰۲ انجام شد. استان البرز با اقلیم نیمه‌خشک، میانگین بارش ۲۵۰ میلی‌متر و خاک غالب رسی-لومی، از منطقه‌های کلیدی تولید گندم ایران است (Statistical Center of Iran, 2020). همه نمونه‌برداری‌ها در کشتزارهای گندم آبی با شرایط همسان اقلیمی انجام شد تا یکسانی داده‌ها حفظ شود. در ادامه، دو سامانه اصلی خاک‌ورزی این‌گونه تعریف می‌شوند، نخست خاک‌ورزی مرسوم که عبارت است از شخم ژرف، دیسک چندمرحله‌ای، آمیختن پسماند و رفت و آمد زیاد ماشین‌ها و مصرف زیاد نهاده‌های شیمیایی و همچنین خاک‌ورزی حفاظتی یعنی حذف شخم ژرف، حفظ پسماندهای گیاهی روی سطح خاک، کاهش رفت و آمد و عملیات ماشینی و مدیریت بهینه نهاده‌ها.

نمونه‌گیری و جمع‌آوری داده‌ها با استفاده از پیمایش میدانی، پرسشنامه، مصاحبه حضوری با کشاورزان، بازدیدهای میدانی و بهره‌گیری از منابع آماری معتبر انجام شد. نمونه‌گیری به‌صورت تصادفی طبقه‌بندی‌شده در ۴۰ کشتزار (۲۰ مورد مرسوم و ۲۰ مورد حفاظتی) صورت گرفت (Aminifard *et al*., 2024). در هر کشتزار، داده‌های مربوط به بذر، انواع کود، سم‌های شیمیایی، سوخت دیزل، برق مصرفی، آبیاری، شمار عملیات مکانیزه، نیروی کار انسانی و خروجی‌ها (عملکرد محصول و پسماند) به‌طور کامل ثبت و کنترل شد. به‌دلیل محدودیت حجم مقاله، از ارائه جدول‌های تفصیلی داده‌های خام در بخش نتایج پرهیز شده است. با این حال، تمامی شاخص‌های انرژی و زیست‌محیطی گزارش‌شده به طور مستقیم بر اساس همین داده‌های اولیه میدانی محاسبه شده‌اند. ضریب‌های استاندارد انرژی نهاده‌ها از منابع معتبر (Pishgar-Komleh *et al*., 2012; Azizi *et al*., 2015) و روش Kitani (1999) برای برآورد انرژی ماشین‌آلات به‌کار گرفته شد. در نهایت، انرژی ورودی و خروجی به‌صورت مگاژول بر هکتار محاسبه و واکاوی شد.

مهمترین شاخص‌های انرژی مورد نظر در پژوهش حاضر عبارتند از بهره‌وری انرژی (کیلوگرم محصول/مگاژول مصرفی)، کارایی انرژی و نسبت خروجی/ورودی، شدت مصرف انرژی (مگاژول بر کیلوگرم محصول) و در پایان سهم انرژی تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر برای هر سامانه. چکیده‌ای از داده‌ها و آزمون آماری برای مقایسه سامانه‌ها به کار رفت و برای تفسیر سیاستی و واکاوی روایتی، با سیاست‌های ملی کشاورزی کشور مقایسه شد (Karimi *et al*., 2024).

داده‌های میدانی پس از کنترل کیفی و طبقه‌بندی در نرم‌افزار SPSS v26 و Excel 2021 واکاوی شدند. برای مقایسه میانگین شاخص‌های بهره‌وری انرژی، کارایی و شدت مصرف انرژی بین دو سامانه خاک‌ورزی (مرسوم و حفاظتی)، از آزمون مستقل t-Student استفاده شد. از آزمون ANOVA یک‌طرفه برای مقایسه بیش از دو گروه نهاده (مانند انواع کودها و سوخت‌ها) در سطح احتمال آماری ۵٪ بهره‌گیری‌شد. شاخص‌های کلیدی این پژوهش شامل بهره‌وری انرژی و شدت مصرف انرژی بر اساس استاندارد Kitani (1999) تعریف شدند (رابطه ۱). به بیان دیگر، بهره‌وری انرژی نشانگر مقدار محصول تولیدشده در هر واحد انرژی مصرفی است، در حالی که شدت مصرف انرژی بیانگر مقدار انرژی مورد نیاز برای تولید یک واحد محصول می‌باشد.

$$EP = Y / Ein$$

$$EI = Ein / Y$$

$$ENE = Eout - Ein$$ رابطه ۱

EP بهره‌وری انرژی، IE شدت مصرف انرژی، ENE انرژی خالص بوده و Y عملکرد محصول (کیلوگرم در هکتار). Ein کل انرژی ورودی (مگاژول در هکتار). Eout انرژی خروجی (مگاژول در هکتار) است. افزون بر شاخص‌های انرژی، شاخص‌های محیط‌زیستی شامل تأثیر گرمایش جهانی[1]، سلامت انسان (سال‌های تعدیل‌شده بر حسب ناتوانی)[2] و کیفیت بوم‌نظام (کسری بالقوه ناپدیدشده گونه‌ها)[3] و شاخص‌های اقتصادی شامل بهره‌وری اقتصادی[4]، هزینه انرژی[5] و سود خالص[6] برای مقایسه سامانه‌ها محاسبه شدند. در جمع‌آوری داده‌ها، محدودیت‌هایی از جمله تفاوت‌های خرداقلیمی کشتزار، دقت نسبی داده‌های خود اظهاری کشاورزان و محدودیت در اطلاعات دقیق برخی از ماشین‌ها وجود داشت. این محدودیت‌ها در تفسیر نتایج مورد توجه قرارگرفته‌اند.

نتایج

برای آسانی درک داده‌های کلیدی، جدول‌های ۱ تا ۳ چکیده‌ای از شاخصه‌های اصلی نتایج را نشان می‌دهند. این جدول‌ها به ترتیب، مصرف انرژی نهاده‌ها، شاخص‌های بهره‌وری انرژی و شاخص‌های محیط‌زیستی را بین دو سامانه خاک‌ورزی مقایسه می‌کنند.

1. Global warming potential (GWP)
2. Disability adjusted life years (DALY)
3. Potentially disappeared fraction of species ($PDF \cdot m^2 \cdot yr$)
4. Economic food production (EFP)
5. Energy cost (EC)
6. Gross profit (GP)

جدول ۱ – مصرف انرژی و نهاده‌ها در دو سامانه خاک‌ورزی گندم (مگاژول در هکتار).

نوع نهاده	سامانه مرسوم	سامانه حفاظتی	درصد تغییر
ماشین‌آلات	۲۴۶۲۵	۴۶۲۳	-۸۱
سوخت دیزل	۹۶۵۰	۲۴۵۰	-۷۵
کود نیتروژن	۱۴۶۱۴	۶۶۹۶	-۵۴
کود فسفات	۱۳۱۱	۶۲۲	-۵۲
کود پتاسیم	۹۰۴	۳۶۵	-۶۰
برق	۴۵۴۱	۲۴۸۰	-۴۵
جمع کل	۵۵۶۴۵	۱۷۲۳۶	-۶۹

نتایج حاصل از پژوهش حاضر در چهار مورد ارائه می گردد:

الف- مصرف نهاده‌ها و ساختار انرژی- مصرف انرژی کل در خاک‌ورزی حفاظتی تا بیش از ۵۰٪ نسبت به خاک‌ورزی مرسوم کاهش یافت. مهمترین دلیل‌های این کاهش، صرفه‌جویی معنی‌دار در مصرف سوخت دیزل، کود نیتروژن، ماشین‌ها و برق بود. سهم بذر و انرژی‌های تجدیدپذیر نیز در سامانه حفاظتی افزایش یافت.

جدول ۲ – شاخص‌های بهره‌وری و کارایی انرژی در دو سامانه.

شاخص	سامانه مرسوم	سامانه حفاظتی	درصد تغییر
انرژی ورودی (مگاژول بر هکتار)	۵۵۶۴۵	۱۷۲۳۶	-۶۹
انرژی خروجی (مگاژول بر هکتار)	۵۲۲۲۸	۵۰۹۶۳	-۲
نسبت خروجی/ورودی	۰/۹۴	۲/۹۶	+۲۱۵
بهره‌وری انرژی (کیلوگرم بر مگاژول)	۰/۵۱	۰/۷۵	+۴۷
شدت مصرف انرژی (مگاژول بر کیلوگرم)	۱/۹۵	۱/۰۲	+۴۸

ب- شاخص‌های بهره‌وری و کارایی انرژی- بهره‌وری انرژی در خاک‌ورزی حفاظتی، با افزایش ۴۷٪، بیشتربود. یعنی برای هر واحد انرژی مصرفی، محصول بیشتری برداشت شد. همچنین، نسبت انرژی خروجی/ ورودی و کارایی مصرف انرژی در خاک‌ورزی حفاظتی به تقریب دو برابر سامانه مرسوم شد. از سوی دیگر، شدت مصرف انرژی (انرژی ورودی در هر کیلوگرم محصول) تا نصف کاهش یافت.

پ- ساختار انرژی تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر- در سامانه حفاظتی، سهم انرژی تجدیدپذیر (مانند بذر و نیروی انسانی) افزایش یافته و در مقابل، سهم انرژی تجدید ناپذیر (سوخت، کود شیمیایی و ماشین‌ها) کاهش یافت و این تغییر ساختار، پایداری محیط‌زیستی و کاهش وابستگی به منابع آسیب‌زا را به‌همراه داشته است.

جدول ۳ – شاخص‌های محیط‌زیستی (روش+ IMPACT 2002).

شاخص اثر محیط‌زیستی	سامانه مرسوم	سامانه حفاظتی	درصد تغییر
انتشار دی‌اکسیدکربن معادل (کیلوگرم بر هکتار)	۹۰۰	۸۸۲/۵	-۲
آسیب به سلامت انسان (سال‌های تعدیل‌شده بر حسب ناتوانی × $۱۰^{-۳}$)	۰/۰۴۳	۰/۰۳۳	-۲۳
تخریب بوم‌نظام (کسری بالقوه ناپدید شده گونه‌ها × $۱۰^{۳}$ مترمربع در سال)	۲۲۴	۱۸۲	-۱۹
کاهش منابع طبیعی (مگاژول انرژی اولیه)	۵۲۳۰	۳۲۹۱	-۳۷

ت- <u>پیامدهای محیط‌زیستی و اقتصادی</u>- ارزیابی چرخه زندگی بااستفاده از نرم‌افزار SimaPro v9.0 و روش IMPACT 2002+ (v2.15) نشان داد که کود نیتروژن (۳۸/۷٪)، کود فسفات (۲۰/۷٪) و سوخت دیزل (۱۳٪) بیشترین سهم را در بار محیط‌زیستی سامانه مرسوم داشتند. در سامانه حفاظتی با کاهش مصرف این نهاده‌ها، شاخص‌های گرمایش جهانی، تخریب بوم‌نظام و آسیب به سلامت انسان، به‌طور محسوسی کاهش یافت. البته، کاهش جزئی عملکرد در سامانه حفاظتی مشاهده شد که می‌تواند با آموزش و بهبود فن کاشت، مدیریت شود.

بحث

با توجه به نتایج به‌دست آمده سه مطلب زیر قابل بحث و ارائه هستند:

الف- <u>جایگاه شاخص بهره‌وری انرژی</u>

استفاده سیاست‌گذاران، مدیران و کشاورزان از شاخص بهره‌وری انرژی، می‌تواند ابزار ارزیابی و مبنای تصمیم‌گیری برای افزایش مدیریت کشتزار باشد. به ویژه در شرایط حاضر و با بحران منابع، این رویکرد داده‌محور، ارزیابی واقع‌بینانه و سیاست‌گذاری بر پایه داده‌ها را برای سطح‌های مختلف کشور آسان می‌سازد. نتایج حاصل از این پژوهش، از نظر کاهش مصرف انرژی نهاده‌ها و بهبود بهره‌وری، با یافته‌های بین‌المللی قابل مقایسه است. به ویژه، González *et al*. (2019a,b) در سامانه‌های خاک‌ورزی حفاظتی گندم در اسپانیا، کاهش تقریبی ۶۵٪ در مصرف سوخت فسیلی و ۵۰٪ در کل انرژی ورودی را گزارش کردند. Zhao *et al*. (2021a,b) در چین نیز کاهش میانگین ۵۵٪ انرژی نهاده‌ها را در شرایط نیمه‌خشک و افزایش نسبت خروجی/ورودی تا حدود ۲/۸ به دست آوردند. بررسی Singh *et al*. (2020) در شمال هند نیز الگوی همسانی از صرفه‌جویی ۴۵٪ در انرژی و بهبود ۴۰٪ در بهره‌وری انرژی را نشان داد. همسویی نتایج حاضر با این بررسی‌ها، بیانگر سازگاری روندهای انرژی در سامانه‌های حفاظتی گندم با الگوهای بهینه جهانی است و نشانه‌ای بر توانایی گسترش یافته‌ها به جاهای دارای اقلیم نیمه‌خشک ایران محسوب می‌شود.

ب- پیشنهاد کاربردی برای بهبود سیاست‌های بخش کشاورزی و مدیریت انرژی

۱- **مدیریت هدفمند نهاده‌ها**- ضروری است در سیاست‌های بخش کشاورزی، به مدیریت هدفمند مصرف نهاده‌ها، به‌ویژه کود نیتروژن و سوخت، توجه بیشتری شود.

۲- **حمایت از توسعه مکانیزاسیون حفاظتی**- نتایج پژوهش حاضر نشانگر این است که توسعه مکانیزاسیون حفاظتی می‌تواند سهم مؤثری در کاهش مصرف انرژی و اثرهای محیط‌زیستی داشته باشد.

۳- **پایش و ارزیابی داده‌ها**- استقرار سامانه‌های جمع‌آوری و واکاوی داده‌های کشتزار (داده‌نگاری دیجیتال) حتی برای کشتزارهای کوچک توصیه می‌شود.

۴- **ارتباط نهادهای پژوهشی با بدنه اجرا**- تشکیل شبکه مشورتی بین دانشگاه، دستگاه سیاست‌گذار و کشاورزان می‌تواند به آسانی انتقال دانش کمک کند.

۵- **حمایت از نوآوری و آینده‌پژوهی**- سرمایه‌گذاری بر پژوهش، آینده‌نگاری و تلفیق فناوری‌های داده‌محور و کشاورزی دقیق با سیاست‌گذاری ملی، از پیش‌نیازهای گذار به کشاورزی پایدار است.

پ- از نظر دشواری‌ها و چالش‌ها

برخی از دشواری‌های ساختاری همچون دسترسی محدود به ابزارهای بیوسیستمی (مکانیزاسیون) نوین، نبود چارچوب منسجم و استاندارد برای طراحی و اجرای آموزش‌های ترویجی، همراه با تفاوت‌های نامتوازن در محتوا، کیفیت و اثربخشی آموزش‌ها متناسب با شرایط اقلیمی، اقتصادی و اجتماعی منطقه‌ها، و وابستگی نسبی به نهاده‌های شیمیایی، همچنان به‌عنوان چالش‌هایی نیازمند پژوهش و سیاست‌گذاری تکمیلی باقی مانده‌اند. توجه هدفمند به این چالش‌ها در سیاست‌گذاری ملی و برنامه‌ریزی استانی، با تأکید بر بومی‌سازی آموزش‌ها در چارچوب استانداردهای ملی، ضروری است.

نتیجه‌گیری

این پژوهش با ارزیابی مقایسه‌ای شاخص‌های انرژی، محیط‌زیستی و اقتصادی در دو سامانه خاک‌ورزی مرسوم و حفاظتی در تولید گندم استان البرز نشان داد که سامانه خاک‌ورزی حفاظتی از نظر کارایی مصرف انرژی و پایداری محیط‌زیستی عملکرد برتری نسبت به سامانه مرسوم دارد. نتایج بیانگر کاهش بیش از ۵۰ درصدی مصرف کل انرژی، کاهش وابستگی به انرژی‌های فسیلی و نهاده‌های تجدیدناپذیر، و بهبود معنی‌دار شاخص‌های بهره‌وری انرژی در سامانه حفاظتی است. یافته‌های ارزیابی چرخه زندگی با استفاده از نرم‌افزار SimaPro v9.0 و روش IMPACT 2002+ نشان دادند که در سامانه خاک‌ورزی حفاظتی، پتانسیل گرمایش جهانی، اثر بر سلامت انسان و آسیب به کیفیت بوم‌نظام به‌ترتیب حدود ۲، ۲۳، ۱۹ و ۲۰٪ کاهش یافته است که بیانگر بهبود همزمان عملکرد محیط‌زیستی این سامانه است. اگرچه اجرای خاک‌ورزی حفاظتی با کاهش جزئی عملکرد محصول (حدود ۲ تا ۳٪) همراه بود، اما کاهش هزینه‌های تولید، افزایش بهره‌وری انرژی، و بهبود شاخص‌های محیط‌زیستی نشان می‌دهد که این سامانه از منظر پایداری بلندمدت، گزینه‌ای کارآمد برای تولید گندم در شرایط نیمه‌خشک محسوب می‌شود. در مجموع، نتایج این پژوهش بر ضرورت گذار هدفمند به سامانه‌های حفاظتی، همراه با حمایت‌های سیاستی، آموزشی و فناورانه، به‌عنوان راهبردی مؤثر برای ارتقای پایداری کشاورزی تأکید دارد.

منابع

Abbasi, M. (2022). Energy analysis in wheat production: An Iranian perspective. *Agricultural Sustainability Science*, 22(3), 45–59.

Aminifard, M. H., Movahedi Naeini, S.A.R., Mosavi, F., Rahimi, J., Ale Shaybani, M., Ahmadi, A. & Bagheri, A. (2024). Comparative life cycle assessment (LCA) of wheat production under different irrigation systems in a semi-arid region. *Journal of Environmental Management*, 351, 119475. Retrieved from: https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.119475

Anonymous. (2006). *ISO 14040: Environmental management—Life cycle assessment—Principles and framework*. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization.

Azizi, A., Rafiee, S., & Sharifi, M. (2015). Energy use efficiency of wheat production in Iran. *Energy Reports*, 1, 183–188. Retrieved from: https://doi.org/10.1016/j.egyr.2015.04.008

Bakhshi, M., Maleki, A., Keyhani, A., Rafiee, S. & Yoo, S. (2024). Environmental impacts of different wheat production systems using life cycle assessment: A case study from northwest Iran. *Agricultural Water Management*, 292, 1082355. Retrieved from: https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.1082355

Boschiero, M., De Laurentiis, V., Caldeira, C. & Sala, S. (2023). Comparison of organic and conventional cropping systems: A systematic review of life cycle assessment studies. *Environmental Impact Assessment Review*, 102, 107187. Retrieved from: https://doi.org/10.1016/j.eiar.2023.107187

FAO. (2023). *FAOSTAT agricultural data*. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization. Retrieved from: https://www.fao.org/faostat/

González, P., Martínez, L. & Campos, J. (2019a). Life cycle assessment of conservation agriculture systems in semi-arid Mediterranean environments. *Journal of Cleaner Production*, 220, 458–474. Retrieved from: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.032

González, J., Romero, R. & Hernández, E. (2019b). Energy flow and environmental performance of conservation tillage systems in Mediterranean wheat farming. *Journal of Cleaner Production*, 225, 380–391. Retrieved from: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.231

Houshyar, E. & Grundmann, P. (2017). Environmental impacts of energy use in wheat tillage systems: A comparative life cycle assessment (LCA) study in Iran. *Energy*, 122, 11–24. Retrieved from: https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.01.069

Karimi, M., Esfahanian, E. & Houshyar, E. (2024). Energy and environmental impacts assessment of different tillage practices in wheat production: Integrated application of artificial neural network and life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, 434, 1401434. Retrieved from: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.1401434

Kassam, A., Friedrich, T., Derpsch, R. & Kienzle, J. (2021). Overview of the worldwide spread of conservation agriculture. *Field Actions Science Reports*, 24, 8–18.

Kitani, O. (1999). *CIGR handbook of agricultural engineering, Volume V: Energy and biomass engineering.* St. Joseph, MI: ASAE.

Lal, R. (2015). Sequestering carbon and increasing productivity by conservation agriculture. *Journal of Soil and Water Conservation*, 70(3), 55A–62A. Retrieved from: https://doi.org/10.2489/jswc.70.3.55A

Noč, M., Pečan, U., Zupanc, V., Pintar, M. & Glavan, M. (2025). Assessing plant soil water availability in drought conditions: A comparative analysis of conventional and minimum tillage, example from Slovenia. *International Soil and Water Conservation Research*. Retrieved from: https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2025.07.003

Pishgar Komleh, S. H., Keyhani, A., Sefeedpari, P. & Rafiee, S. (2021). Environmental impact assessment of wheat production using different tillage systems: A case study from northwestern Iran. *Journal of Cleaner Production*, 279, 123837. Retrieved from: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123837

Singh, G., Kumar, A. & Sharma, R. (2020). Energy use pattern and conservation tillage performance for wheat cultivation in Indo-Gangetic plains. *Energy Reports*, 6, 320–327. Retrieved from: https://doi.org/10.1016/j.egyr.2020.01.012

Zhao, W., Li, Q. & Zhang, S. (2021a). Energy efficiency and carbon footprint of wheat production in semi-arid China. *Agricultural Systems*, 189, 103051. Retrieved from: https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103051

Zhao, X., Liu, H. & Zhang, L. (2021b). Energy balance and environmental assessment of no-till wheat under semi-arid conditions in China. *Sustainability*, 13(18), 10215. Retrieved from: https://doi.org/10.3390/su131810215

Strategic Research Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources 11(1):105-114 (2026)

The Role of Energy Productivity Index in Data-Driven Policy and Innovation Transfer in Agriculture: A Case Study of Wheat in Tillage Systems of Alborz Province

Taheri Hajivand, A.[1] and Abbasi, M.[2]

Rising concerns over resource crises, declining input productivity and environmental impacts have amplified the need to reform wheat production systems in Iran. This study aims to provide a comparative analysis of the energy productivity index and to elucidate the significance of data-driven, evidence-based policymaking by comparing conventional and conservation tillage systems in wheat farms of Alborz Province. Data were collected through field surveys, recording input consumption, energy inflows and outflows and environmental indicators and analyzed using validated coefficients and standard software. The results demonstrated that implementing conservation tillage led to a significant reduction (over 50%) in total energy consumption, saving fuel and nitrogen fertilizer, while markedly improving energy productivity and the output-input ratio. Furthermore, the share of renewable energy increased and negative environmental effects, including ecosystem damage and depletion of non-renewable resources were reduced. Life cycle assessment indicated that targeted management of fertilizer and fuel constitutes the most effective tools for minimizing the environmental footprint of wheat in the region. Thus, the development of energy indices and data-driven analysis, combined with targeted education and enhanced access to conservation mechanization technologies, can accelerate the transition to sustainable and resilient agriculture in Iran and serve as a practical strategy for informed policymaking in the agricultural sector.

Key words: Conservation tillage, Data-driven policymaking, Energy productivity, Smart agriculture, Wheat.

1. Corresponding author's Email: a.taheri@tabrizu.ac.ir
2. Assistant Professor and Graduated M.Sc. Student of University of Tabriz, Tabriz, respectively.

پیوست‌ها

بر اساس مصوبه شورای دبیران مجله پژوهش‌های راهبردی در علوم کشاورزی و منابع طبیعی، به منظور یادآوری، اطلاع‌رسانی و ثبت فعالیت‌های گذشته گروه علوم کشاورزی فرهنگستان علوم، شماری از بیانیه‌های همایش‌های برگزار شده، چکیده طرح‌های پایان یافته یا خلاصه سخنرانی‌های ایراد شده و مانند این‌ها، در هر شماره مجله به صورت پیوست و **بدون هیچ تغییری** آورده می‌شوند.

بیانیه همایش

لزوم مدیریت پایدار جنگل‌های هیرکانی با دیدگاه همگام با طبیعت[1]

خسرو ثاقب طالبی [2]

جلسه سخنرانی با عنوان «لزوم مدیریت پایدار جنگلهای هیرکانی با دیدگاه همگام با طبیعت» در تاریخ ۲۸ شهریور ۱۴۰۳ توسط شاخه جنگل و محیط زیست گروه علوم کشاورزی فرهنگستان علوم جمهوری اسلامی ایران، با شرکت بیش از ۵۰ نفر از استادان و پژوهشگران از دانشگاه‌ها، مراکز پژوهشی، مدیران دستگاه‌های اجرایی (سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری و ...)، اعضای گروه فرهنگستان و نیز متخصصان جنگل و محیط زیست کشور در فرهنگستان علوم برگزار شد.

در ابتدای جلسه آقای دکتر حسن احمدی رئیس گروه علوم کشاورزی فرهنگستان علوم ضمن خوش‌آمدگویی به شرکت‌کنندگان با بیاناتی در خصوص اهمیت مدیریت جنگل‌های کشور، جلسه را افتتاح کرد و سپس آقای دکتر جهانگیر فقهی، عضو وابسته شاخه جنگل و محیط زیست فرهنگستان علوم و دبیر علمی نشست، ضمن تبیین اهمیت موضوع در خصوص لزوم تهیه طرح مدیریت پایدار جنگل در سطح حوضه آبخیز به منظور تضمین پایداری کارکردهای اقتصادی، اکولوژیکی و اجتماعی جنگل‌های هیرکانی، سخنران جلسه، آقای دکتر خسرو ثاقب طالبی، استاد مؤسسه تحقیقات جنگل ها و مراتع کشور را معرفی کرد. سپس آقای دکتر خسرو ثاقب طالبی سخنرانی مبسوط و تحلیلی خود را ارائه کردند که خلاصه آن بشرح زیر است.

در جنگل‌داری کلاسیک، جنگل به عنوان یک معدن تولید چوب دیده می‌شود. درخت به عنوان عنصر اصلی محسوب شده و توده جنگلی عموماً همسال، همگن و منظم، در بیشتر موارد خالص و عرصه جنگل پاک و پاکیزه از درختان خشک و مقطوعات بهره‌برداری در نظر گرفته می‌شود. در پایان دوره بهره‌برداری، کلیه درختان قطع شده و نسل جدید همسال

۱- برگرفته از نشست هم اندیشی که در تاریخ ۱۴۰۳/۰۶/۲۸ در گروه علوم کشاورزی فرهنگستان علوم ج. ا. ایران برگزار شده است.

۲- استاد مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، تهران.

در توده مستقر می‌شود. در حالی‌که در دیدگاه نزدیک به طبیعت که یک فلسفه مدیریت جنگل با نگرش اکوسیستمی است، به همه عناصر تشکیل‌دهنده جنگل توجه می‌شود. درخت همچنان به عنوان عنصر اصلی جنگل در نظر گرفته می‌شود ولی سایر عناصر گیاهی (فلور) به همراه سایر موجودات (پرندگان، پستانداران، خزندگان، حشرات، قارچ‌ها و خاک جنگل با همه عناصر زنده) نیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند. به عبارت دیگر، تنوع زیستی و پایداری توده‌های جنگلی جایگاه مهمتری به دست آورده‌اند. هدف این دیدگاه «حفظ و ایجاد توده‌های پایدار، سالم، تامین کارکردهای اکولوژیکی و محیط‌زیستی و تولید چوب با ارزش به صورت مستمر با تاکید بر نگرش اکوسیستمی» است. جنگل همیشه باید مورد مدیریت و نظارت قرار بگیرد. اگر چه طرح تنفس جنگل یا توقف بهره‌برداری از جنگل در یک برهه زمانی الزامی به نظر می‌رسید، ولی عملًا به رهاسازی جنگل و توقف مدیریت منجر شده است. نه تنها بهره‌برداری بلکه سایر الزامات و تعهدات قابل اجرا در طرح های جنگل‌داری، به ویژه حفاظت، به فراموشی سپرده شده است. در دیدگاه جنگل‌شناسی همگام با طبیعت حفظ آمیختگی، ناهمسالی، تنوع زیستی، پایداری خاک و سایر کارکردهای محیط زیستی جنگل، جنگل‌کاری با گونه‌های مناسب رویشگاه، پرهیز از گونه‌های غیربومی، حفظ خشک‌دارها و درختان زیستگاهی و همچنین زیبایی‌شناختی جنگل برای جامعه در دستور کار قرار می‌گیرد.

در ادامه نکات برجسته و مهم حاصل از سخنرانی و میزگرد بعد از آن به صورت خلاصه و بیانیه جلسه ارایه می‌شود:

- مدیریت پایدار و چند منظوره جنگل‌های هیرکانی که ضمن ایجاد فرصت‌های شغلی و رضایت‌مندی ذینفعان، در امنیت غذایی و زیستی کشور نقش موثری دارد، در دستور کار سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری قرار گیرد.

- تهیه طرح مدیریت پایدار جنگل برای حوضه‌های آبخیز با هدف تضمین پایداری کارکردهای اکولوژیکی، اقتصادی و اجتماعی جنگل‌های هیرکانی با مشارکت کلیه ذینفعان در تمامی مراحل (از برنامه‌ریزی تا اجرا و پایش و ارزیابی) و همچنین با توجه ویژه به آشفتگی‌های مهم مانند آتش‌سوزی‌ها و آفات و بیماری‌های جنگل در دستور کار سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری قرار گیرد.

- اجرای طرح‌های مدیریت پایدار جنگل‌های هیرکانی به شرکت‌های تعاونی تخصصی دانش بنیان که هیات مدیره آن با اکثریت متخصصان جنگل باشد، واگذار گردد.

- پایداری کارکردهای اکولوژیکی، اقتصادی و اجتماعی جنگل‌های هیرکانی، از طریق توانمندسازی نیروی انسانی و جوامع محلی از طریق ترویج و آموزش و همچنین در نظر گرفتن مشارکت کلیه ذینفعان در کنار شرکت‌های دانش بنیان، استارت آپ‌ها، دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی در دستور کار سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری قرار گیرد.

- حکمرانی جنگل با تأکید بر رعایت حقوق و مشارکت کلیه ذینفعان، کاهش تصدی‌گری سازمان‌های دولتی و توانمندسازی نیروی انسانی و جوامع محلی در دستور کار سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری قرار گیرد.

- با توجه به تغییرات اقلیمی و آثار ناشی از آن بر جنگل‌ها، لازم است هر چه سریعتر گذار از مرحله جنگلداری سنتی به جنگلداری هوشمند اقلیم‌محور (Climate – Smart Forestry) و پایدار در دستور کار سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری قرار گیرد.

- توسعه و بکارگیری فناوری‌های نوین و هوش مصنوعی در حفظ، توسعه، احیاء و بهره‌برداری از جنگل‌های کشور در دستور کار سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری قرار گیرد.

- در راستای شناخت ارزش‌های نهفته جنگل‌های هیرکانی، ارزش‌گذاری یکپارچه خدمات غیر بازاری این اکوسیستم ارزشمند و به‌روز رسانی سالانه آن در دستور کار سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری قرار گیرد.

- توسعه و پی‌گیری تحقیقات ترویج و آموزش منابع طبیعی در دانشکده‌های منابع طبیعی دانشگاه‌ها و موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور در دستور کار قرار گیرد.

- ارتقاء جایگاه سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور از یکی از معاونت‌های وزارت جهاد کشاورزی به یک سازمان مستقل در دستور کار مراجع ذیصلاح قرارگیرد.

- برگزاری جلسه‌های سخنرانی و میزگرد مشابه برای مدیریت سایر مناطق جنگلی (جنگل‌های زاگرس و ...) مورد تاکید قرار گیرد.

بیانیه همایش

ناترازی تأمین و مصرف آب در کشاورزی، آسیب‌شناسی و امکان‌سنجی برون‌رفت [1]

عباس کشاورز [2]

جلسه سخنرانی و میزگرد **«ناترازی تأمین و مصرف آب در کشاورزی آسیب‌شناسی و امکان‌سنجی برون‌رفت»** در روز چهارشنبه مورخ ۲۳ آبان ۱۴۰۳ توسط اتاق فکر مهندسان برجسته کشاورزی و منابع طبیعی گروه علوم کشاورزی و منابع طبیعی فرهنگستان علوم برگزار شد. این جلسه به صورت حضوری-برخط با حضور بیش از ۱۶۰ نفر متشکل از اعضای گروه، استادان دانشگاه‌ها و پژوهشگران مراکز پژوهشی سراسر کشور و نیز صاحبنظران و متخصصین ارگان‌های اجرایی مرتبط در محل فرهنگستان علوم و با سخنرانی آقای مهندس عباس کشاورز برگزار شد.

در آغاز جلسه آقای دکتر حسن احمدی رئیس گروه علوم کشاورزی و منابع طبیعی فرهنگستان علوم به شرکت‌کنندگان خوش آمد گفتند، سپس آقای دکتر علی اکبر صالحی معاون پژوهشی و قائم مقام ریاست فرهنگستان علوم، درباره بحران آب سخنانی کوتاه ارائه کردند و در ادامه آقای دکتر جواد وفابخش دبیر علمی جلسه و مسئول هماهنگی اتاق فکر مهندسان برجسته گروه ضمن ارائه گزارش مختصری از اقدامات اتاق فکر در ماه‌های اخیر، رئوس و کلیات مباحث مطروحه و علت تشکیل جلسه را بیان نمودند. پس از آن آقای مهندس عباس کشاورز عضو اتاق فکر مهندسان برجسته کشاورزی و منابع طبیعی منتخب فرهنگستان علوم سخنرانی خود را ایراد کردند. خلاصه مباحث و مذاکرات جلسه به شرح ذیل اعلام می‌شود:

طبق نتایج مطالعات علمی بحران آب و پیامدهای ناشی از آن جزء سه ابر چالش بزرگ کشور می‌باشد. شرایط نامطلوب کنونی آب کشور معلول سیاست‌گذاری، تصمیمات و رویدادهای سه دهه گذشته کشور ناشی از استفاده بیش ازحد از منابع آب در مقاصد اقتصادی، بدون توجه به ظرفیت‌های زیست بومی آب کشور بوده است، به نحوی که مقدار روان آب‌های سطحی کشور طی ۴۰ سال گذشته با کاهش حدود ۵۰ درصدی از حدود ۹۶ میلیارد مترمکعب به کمتر از ۴۸ میلیارد مترمکعب کاهش یافته است. این در حالی است که میزان بارندگی کشور طی این مدت تنها حدود ۱۷ درصد کاهش داشته است. میزان اضافه برداشت تجمعی از آبخوان‌های کشور که تا اوایل دهه هفتاد تقریباً در حال تعادل بوده با مقدار اضافه برداشت حدود ۱۵۰ میلیارد مترمکعب رسیده

۱- برگرفته از نشست هم اندیشی که در تاریخ ۱۴۰۳/۷/۲۳ در گروه علوم کشاورزی فرهنگستان علوم ج. ا. ایران برگزار شده است.

۲- مهندس برجسته کشاورزی منتخب فرهنگستان علوم و معاون پژوهشی مرکز ملی مطالعات راهبردی کشاورزی و آب اتاق ایران، تهران.

است و برنامه و اقدامات دولتی نیز تاکنون نتوانسته کمکی به برون‌رفت از این عدم تعادل بنماید. اگرچه حداکثر سهم مصرف (برداشت) از منابع آب‌های تجدیدپذیر برای مقاصد اقتصادی نباید بیش از ۶۰ درصد باشد، بارگذاری بیش از اندازه برمنابع آب‌های کشور موجب گردیده است تا این شاخص به بیش از ۹۲ درصد برسد.

در اجرای پنج برنامه توسعه کشور توجه خاصی به ضرورت صرفه‌جویی و مصرف بهینه آب در مقاصد اقتصادی صورت نگرفته است، لیکن در سال‌های اول دهه ۹۰ وزارت نیرو مقادیر آب قابل برنامه‌ریزی برای مصارف بخش‌های اقتصادی را (به تفکیک بخش‌های کشاورزی، صنعت و شرب و بهداشت)، با توجه به ضرورت حداقل تأمین و تخصیص حقابه محیط زیستی توام با مقدار کاهش برداشت از منابع آب‌های زیرزمینی (در راستای تعادل‌بخشی) در یک افق بیست ساله، رسماً به وزارتخانه‌های ذیربط اعلام کرد. متعاقباً تلاشی در جهت تنظیم برنامه‌ها و ایجاد آمادگی اصلاح برنامه‌ها مطرح شد که در اجرای آن توفیق چندانی حاصل نشد. سپس در ماده ۳۵ قانون برنامه توسعه ششم مقرر شد که با کاهش برداشت آب‌های زیرزمینی (به مقدار ۱۱ میلیارد مترمکعب تا سال آخر برنامه) بتوان کمکی به تعادل‌بخشی و جبران اضافه برداشت تجمعی نمود که در اجرای این قانون نیز توفیق موثر و قابل توجهی مشاهده نشد. استمرار اضافه برداشت، بیشتر از ظرفیت زیست‌بومی منابع آب کشور، موجب استمرار افت سطح سفره‌های آب‌های زیرزمینی و بروز پدیده فرونشست و فروچاله‌ها و تهدید زیرساخت‌ها در شهرها و تهدید آثار تمدن کشور کهن ایران گردیده است. همچنین نادیده گرفتن حقابه‌های محیط زیستی موجب بروز و تشدید پدیده گرد و غبار و خشک شدن دریاچه‌ها، تالاب‌ها و تبعات منفی دیگری شده و به تبع آن موجب آثار ناگواری بر محیط زیست، تشدید اثرات تغییر اقلیم و به خطر افتادن سلامت مردم در نقاط مختلف کشور گردیده است.

مجموعه عوامل و اتفاقات فوق که به طور بسیار خلاصه بیان شد، معلول وجود چالش‌های ذاتی مهمی در مدیریت منابع طبیعی تجدیدشونده از جمله منابع آب کشور است که خلاصه اهم آنها را می‌توان به قرار زیر جمع‌بندی کرد:

۱. وجود تعارض منافع ناشی از تمرکز وظایف حاکمیتی آب با وظایف تصدی‌گری آن (ناشی از قانون توزیع عادلانه آب)
۲. تحقق افزایش تولیدات کشاورزی با اتکاء به توسعه سطح زیر کشت اراضی آبی در برخی از سال‌ها و معطوف شدن تلاش بخش کشاورزی به توسعه سطح زیرکشت به منظور تأمین تقاضای محصولات در مقاطع زمانی خاص
۳. عدم سرمایه‌گذاری مکفی در زیرساخت‌های بخش کشاورزی از سوی دولت برای زمینه‌سازی در تسریع روند ارتقای بهره‌وری این بخش
۴. عدم استقرار زنجیره ارزش در بخش کشاورزی و تجاری نبودن حجم عمده‌ای از فعالیت‌های این بخش

۵. عدم اجرای کامل فرآیند تحویل حجمی آب علی‌رغم تاکید قانون توزیع عادلانه آب پس از گذشت بیش از ۴۲ سال از زمان تصویب آن قانون مذکور
۶. عدم توجه به پیش‌بینی و تخصیص حقابه‌های محیط زیستی در پروژه‌ها و برنامه‌های آبی
۷. استمرار بارگذاری بیش از حد مجاز برسفره های آب زیرزمینی و عدم توفیق در اجرای برنامه‌های تعادل‌بخشی آب‌های زیرزمینی در سال‌های گذشته به دلیل حل نشدن مشکلات و اختلافات بین بخشی تولید و مصرف آب در بخش‌های دولتی
۸. ناکارآمدی نظام جاری حکمرانی آب و واگرایی و ناهمسویی بخش‌های تأمین و مصرف آب و گسست-های حاکمیتی بین آنها و تمرکز حاکمیت بخش دولتی و سپردن تصدیِ بین بخشی در حوزه‌های مختلف آب (اقتصادی، اجتماعی، و زیست‌محیطی) به تنها یک وزارتخانه در درون دولت
۹. نادیده گرفتن مشارکت بخش خصوصی، ذینفعان، ذی‌مدخلان و بهره‌برداران در نظام مدیریت آب به ویژه آب کشاورزی
۱۰. ضعف ساختار و عملکرد شورای‌عالی آب در ایجاد هماهنگی بین بخش‌ها
۱۱. عدم وجود نظام پایش و دقیق و بروز اطلاعات و آمار منابع آب کشور و نبود حسابداری دقیق آب در کشور
۱۲. نادیده گرفتن ظرفیت آمایش آب در توسعه مناطق جمعیتی و صنعتی

راهکارهای برون‌رفت

برای برون‌رفت و مدیریت این ابر چالش مهم و حیاتی فرهنگستان علوم و با توجه به فرصت بسیار محدود، ضرورت اتخاذ رویکردها و اقدامات زیر را مورد تاکید قرار می‌دهد:

۱. انتخاب شعار ریاضت آبی در یک دوره حداقل ۱۰ ساله، با دو رویکرد اصلی: الف) ضرورت صرفه‌جویی در بخش‌های مصرف به خصوص کشاورزی، ب) تأکید بر اتخاذ سیاست‌ها، برنامه‌ها و اقدامات افزایش بهره‌وری بخش‌های مصرف با اولویت بخش کشاورزی همراه با سرمایه‌گذاری مکفی و موثر دولت و حاکمیت در زیرساخت‌های این بخش که بتواند موجبات تحکیم پایداری سرزمینی و تقویت امنیت غذائی و توسعه کشور و تشویق بخش خصوصی به سرمایه‌گذاری در این بخش را فراهم نماید.
۲. ایجاد نهاد مستقل تخصیص آب برای انجام وظایف حاکمیتی و تجدید نظر جدی در ساختار شورای‌عالی آب با تاکید بر مشارکت ذینفعان و کنشگران و ذی‌مدخلان
۳. تلاش دولت برای ایجاد تراز مابین سنجه‌های کمی برنامه هفتم توسعه و مدیریت منابع آب کشور و فراهم نمودن ابزار تحقق اهداف کمی مذکور با زمینه‌سازی سرمایه‌گذاری و در دسترس بودن تکنولوژی‌های مورد نیاز و تهیه برنامه اجرایی با نظارت مستمر و دقیق برتحقق آن و پیش‌بینی‌های

لازم برای استمرار آن در برنامه هشتم به نحوی که امکان تحقق بهره‌وری مدنظر فراهم گردد و بتوان میزان آب تخصیص یافته به بخش کشاورزی طی ده سال آینده را از میزان ۸۲ میلیارد مترمکعب وزارت نیرو یا ۷۱ میلیارد مترمکعب وزارت جهاد کشاورزی در سال پایه به حداکثر ۵۰ میلیارد مترمکعب طی سال دهم کاهش داد.

۴. تخصیص آب صرفه‌جوئی شده‌ی حاصل از رعایت الگوی بهینه مصرف، بازچرخانی و تأمین آب غیر شرب بازیافتی، به بخش‌های شرب و صنعت

۵. استقرار نظام تحویل حجمی دقیق آب از کلیه منابع آب (سطحی و زیرزمینی) در کلیه بخش‌های مصرف طی حداکثر سه سال

۶. استقرار واحد مستقل پایش دقیق و بروز اطلاعات و آمار آب و استقرار نظام حسابداری آب کشور

۷. واگذاری امور تصدی‌گری مدیریت آب به ذینفعان (در قالب تشکل‌های منطقه‌ای یا مکانی) یا واحد اجرائی دیگری غیر از نهاد فعلی مسئول تخصیص

۸. تمرکز به امور غیر سازه‌ای در بخش آب و هوشمندسازی مدیریت آب کشوردر بخش‌های تأمین، مصرف و پایش حمایت از توسعه سامانه‌های آبیاری تحت فشار نقطه‌ای سطحی و زیرسطحی و هوشمندسازی مدیریت آبیاری در مصرف آب و تعیین ضمانت مشروط حمایت از عملیات زیربنایی آب و خاک (زهکشی اراضی اجرای سامانه‌های آبیاری تحت فشار نقطه‌ای سطحی و زیرسطحی) مشروط بر کاهش مصرف آب با نصب سامانه تحویل حجمی آب.

CONTENTS

Climate Change and Forests: From Global Warming to a Threat Against Forest Ecosystems.
Attarod, P., Zobeiri, M., Farkhondeh Makhdom, M., Feghhi, J., Mobarghaee, N. and Jourgholami, M. ……1

Using of Allelopathic Properties of Agronomic Plants for Weed Control.
Salehi, F. and Jalali, A.H. …….....….15

Sampling in Environmental Sciences; Principles and Methods with Emphasis on Vegetation and Ecological Factors.
Zare Chahouki, M.A. ……...…….....….31

Key Drivers Affecting the Resilience of Iranian Tea Farmers.
Gholamazad, M.A. and Kavoosi Kalashami, M. .....….45

An Analytical Examination of Opportunities, Threats, Strengths, and Weaknesses of Floodwater Spreading Projects in Iran.
Moazeni, S.R. and Malekian, A. ….....……..……..…….…… 63

Analysis of the Adaptive Capacity of Qashqai Nomads in Response to Climate Change in Rangelands of Shiraz County.
Rostam Morad Doquzlu, H.R., Ghorbani, M., Naseri. H.R., Tavili A. and Jalilian S. …….....77

Analyzing the Role of Water and Fertilizer in Agricultural Export Policymaking.
Khoshgoftarmanesh, A.H. and Vatankhah, H. ……...….93

The Role of Energy Productivity Index in Data-Driven Policy and Innovation Transfer in Agriculture: A Case Study of Wheat in Tillage Systems of Alborz Province.
Taheri Hajivand, A. and Abbasi, M. ……...……...…….....105

APPENDICES

Declarations of Seminars Performed in Department of Agricultural Sciences and Natural Resources ...…..115