

فشرده‌سازی پایدار سامانه‌های کشاورزی در ایران برای سازگاری با تغییر اقلیم: فرصت‌ها و چالش‌ها^۱

عبدالمجید مهدوی دامغانی^۲، جعفر کامبوزیا، سیده فاطمه آقامیر و حسین محمودی^۳

چکیده

دستیابی به امنیت غذایی پایدار در ایران، که در منطقه‌ای خشک و نیمه‌خشک واقع شده است، مستلزم غلبه بر چالش‌های گوناگون مانند محدودیت منابع پایه (آب و خاک زراعی)، بهبود ایمنی و سلامت غذا، ارتقای بهره‌وری کشت‌بوم‌ها همراه با تجدید ساختار بازار و افزایش توان خرید مصرف‌کنندگان است. تغییر اقلیم از عامل‌های تهدیدکننده پایداری سامانه‌های کشاورزی کشور به شمار می‌رود. تجدیدنظر در کشاورزی فشرده به دلیل کاهش کمی و کیفی منابع آب، خاک و تنوع زیستی، که ناشی از عملیات کشاورزی رایج در طولانی‌مدت است، یکی از ضرورت‌های تامین پایداری کشت‌بوم‌ها در ایران می‌باشد. با این حال، امنیت غذایی نباید در این فرایند دچار کاستی و بی‌ثباتی شود، به همین دلیل نیاز زیادی به الگوی فشرده‌سازی پایدار احساس می‌شود که در آن امنیت غذایی و پایداری بوم‌شناختی این سامانه‌ها به شکلی یکپارچه رعایت شود. فشرده‌سازی پایدار پیش‌نیاز سازگاری^۴ با تغییر اقلیم در ایران است، زیرا برای کاهش مصرف آب و افزایش کارایی مصرف آب، بهینه‌سازی خاک‌ورزی و مدیریت خاک و بهینه‌سازی بهره‌وری زنجیره تولید به سازگاری نیاز است. این امر در قالب مراحل سه‌گانه ۱- کاهش مصرف نهاده‌ها، ۲- جایگزینی نهاده‌ها و عملیات رایج با گزینه‌های تلفیقی و پایدار، و ۳- طراحی مجدد و بازآفرینی کشت‌بوم‌های تاب‌آور در برابر اقلیم محقق می‌شود. تجارب موفق فشرده‌سازی کشاورزی در کشورهای در حال توسعه می‌تواند افق امیدوارکننده‌ای برای پذیرش این رهیافت در ایران باشد. مستندها نشان می‌دهد روش‌ها و عملیات فشرده‌سازی پایدار در ۵۷ کشور و در ۳۷ میلیون هکتار زمین اجرا می‌شود که در برخی از این موارد، عملکرد و تولید محصول‌های کشاورزی تا ۷۰٪ افزایش داشته است. در مقاله حاضر فرصت‌ها و چالش‌های آن مورد بررسی قرار گرفته است.

واژه‌های کلیدی: امنیت غذایی، بهره‌وری، پایداری، تاب‌آوری.

مقدمه

کشاورزی پیشینه‌ای ده‌هزار ساله در ایران دارد و ایران یکی از مرکزهای تکامل کشاورزی است (۱۲). کشاورزان ایرانی در هزاران سال کشت‌بوم‌های سنتی خود را با تمرکز بر پایداری درازمدت محصول، و نه بهینه‌سازی محصول‌های کوتاه‌مدت،

تاریخ پذیرش: ۹۸/۲/۱۲

۱- تاریخ دریافت: ۹۷/۷/۱

۲- نویسنده مسئول، پست الکترونیک: mahdavi.a@sbu.ac.ir

۳- عضو مدعو فرهنگستان علوم جمهوری اسلامی ایران و دانشیار دانشگاه شهید بهشتی، دانشیار و استادیار دانشگاه شهید بهشتی.

مدیریت کرده‌اند. مدیریت زمین در ایران بر عملیات و دانش بومی خوداتکا و کار خانوادگی استوار بوده‌است. این نظام بهره‌برداری از زمین بر پایه اصول ساختاری و کارکردی زیر تکامل یافته است (۵).

❖ کاربرد شمار زیادی گونه گیاهی و جانوری و تنوع ساختاری زمانی و مکانی زیاد.

❖ بهره‌برداری از گستره‌ای چشمگیر از خُردمحیطها و خُرداقلیمها.

❖ روی آوردن به بازیافت مواد و بهره‌گیری از پسماندها.

❖ اتکا به وابستگی‌ها و ارتباط‌های زیستی.

❖ اتکا به منابع محلی و انرژی انسان و دامها (فناوری کم‌نهاده).

❖ اتکا به ارقام زراعی محلی و کاربرد گیاهان و جانوران غیراهلی.

❖ کاربست مجموعه‌ای تلفیقی از فعالیت‌های تولیدی در جامعه‌های خودکفا و خوداتکا.

در اینجا نیاز است وضع موجود بخش کشاورزی ایران به‌طور مختصر بررسی شود. بر پایه گزارش تطبیقی فائو (۱۱) منتشر شده در مهر ۱۳۹۶، جمعیت ایران در پایان سال ۱۳۹۶ حدود ۸۱/۴ میلیون نفر پیش‌بینی شده که از آن، حدود ۲۰/۹ میلیون نفر (۲۵/۷٪) روستایی و ۶۰/۵ میلیون نفر (۷۴/۳٪) شهری است. برای مقایسه، در سال ۱۳۶۹ کل جمعیت کشور ۵۶/۴ میلیون نفر و جمعیت روستایی آن ۲۴/۶ میلیون نفر (۴۳/۶٪) بوده است. در پایان سال ۱۳۹۳، مساحت زمین‌های زراعی (شامل گیاهان زراعی، جالیزی، باغبانی، گلخانه‌ای) ۱۴/۷ میلیون هکتار بوده است. افزون بر آن، ۲۹/۵ میلیون هکتار از زمین‌های کشور نیز به مراتع دائمی اختصاص داشته است. در همان سال، سطح جنگل‌های کشور ۱۰/۷ میلیون هکتار بوده است. به گزارش آمارنامه کشاورزی (۹)، در سال زراعی ۹۴-۹۳ نزدیک به ۷۷ میلیون تن محصول زراعی تولید شده است که غلات ۲۳/۷٪، بنشن ۰/۷٪، گیاهان صنعتی ۱۷/۵٪، سبزی‌ها ۲۲/۵٪، محصول‌های جالیزی ۹/۹٪، گیاهان علوفه‌ای ۲۵/۱۶٪ و دیگر محصول‌ها ۰/۱۱٪ بوده است. بیشترین مقدار تولید در گندم (۱۵٪)، ذرت علوفه‌ای (۱۴/۵٪)، نیشکر (۹/۶٪)، گوجه‌فرنگی (۷/۱۸٪)، یونجه (۷/۷٪)، سیب‌زمینی (۶/۱۷٪)، چغندر قند (۷/۳٪)، هندوانه (۴/۱۸٪) و جو (۴/۱۲٪) دیده شده است. بدین ترتیب ۷۷/۵٪ از کل تولیدهای زراعی مربوط به ۹ محصول پیش‌گفته است. از نظر مصرف نهاده‌های کشاورزی در سال ۲۰۱۴، در بخش عناصر غذایی اصلی شامل نیتروژن، فسفر، و پتاسیم، مقدار مصرف کودهای نیتروژنه ۱۷/۶ کیلوگرم، کودهای فسفات ۷/۵ کیلوگرم و کودهای پتاسیم‌دار ۱/۳ کیلوگرم در هکتار بوده است. این عددها در مقایسه با آن مقدار از این نهاده‌ها که در سال ۲۰۰۰ مصرف می‌شد (به ترتیب ۵۲/۵، ۲۱/۶ و ۶/۳ کیلوگرم در هکتار) بسیار افت کرده است؛ در آن گزارش به دلیل های این افت اشاره‌ای نشده است.

از نظر امنیت غذایی و بر اساس گزارش فائو (۱۱) و بر پایه میانگین‌های سه‌ساله، شمار افرادی که در ایران مقدار مواد غذایی کمتر از حد استاندارد دریافت کرده‌اند (تعریف رایج گرسنگی) در بازه زمانی ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۶ معادل ۴/۳ میلیون نفر (۵/۵٪ جمعیت کشور) و در بازه زمانی ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۱ برابر ۳/۲ میلیون نفر (۴/۹٪ جمعیت کشور) بوده است. بیشترین آمار رسمی از شمار افراد نابرخوردار از امنیت غذایی در کشور در این گزارش در دوره زمانی ۲۰۰۶ تا ۲۰۰۸ ثبت شده است (۴/۷ میلیون نفر یا ۶/۵٪ جمعیت کشور). از نظر سرانه مصرف پروتئین، این شاخص در بازه زمانی ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۳ در کشور ۷۴ گرم در روز، اما در بازه زمانی ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۱ معادل ۶۴ گرم در روز بوده است. در همین مقایسه باید اشاره شود در بازه زمانی ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۳ سرانه مصرف پروتئین حیوانی در کشور ۲۲ گرم در روز و در بازه زمانی ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۱ برابر ۱۹ گرم

در روز بوده است. در جدول ۱، خلاصه‌ای از آمارهای کلی کشاورزی ایران در سه دوره زمانی ۱۹۹۰، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۴ نشان داده شده است که افزون بر آماره‌ها، مقایسه‌ای تطبیقی نیز از چشم‌انداز کلی بخش کشاورزی کشور به دست می‌دهد.

جدول ۱- آمارهای وضعیت موجود کشاورزی ایران (۱۱).

۲۰۱۴	۲۰۰۰	۱۹۹۰	آماره
۷۸/۵	۶۵/۹	۵۴/۶	جمعیت کل (میلیون نفر)
۲۳/۹	۲۳/۷	۲۴/۶	جمعیت روستایی (میلیون نفر)
۱/۴	۳	-	هزینه‌های دولت در کشاورزی (درصد کل هزینه ها)
۲۲	۱۳	۱۴	سطح زیر کشت (میلیون هکتار)
-	۰/۲	۰/۲	نسبت تراکم کشت
۲	۲	۲	منابع آب (۱۰۰۰ متر مکعب در سال)
۹۵۵۳	-	-	سطح فاریاب (۱۰۰۰ هکتار)
۲۱/۲	۲۳	-	اشتغال در کشاورزی (درصد)
۳۰/۶	۱۶/۷	-	اشتغال زنان در کشاورزی (درصد)
۱۷/۶	۵۲/۵	-	کود نیتروژن دار (کیلوگرم عنصر کودی در هکتار)
۷/۵	۲۱/۶	-	کود فسفردار (کیلوگرم عنصر کودی در هکتار)
۱/۳	۶/۳	-	کود پتاسیم‌دار (کیلوگرم عنصر کودی در هکتار)
۱۶۸۸	۲۱۹	۲	مصرف انرژی، توان آبیاری (میلیون کیلووات ساعت)
۳۳۱۳	۲۵۵۸	۲۱۲۳	ارزش افزوده کشاورزی به‌ازای هر کارگر (دلار ثابت آمریکا)
ابعاد امنیت غذایی			
۳۲۸۷	۳۰۴	۲۹۵۰	تامین انرژی غذایی (کیلوکالری/روز)
۱۳۸	۱۳۰	۱۳۵	میانگین کفایت انرژی غذایی تامین شده (درصد)
۱۵۰۹۰	۱۰۶۹۴	۸۶۷۹	سرانه تولید ناخالص داخلی (دلار آمریکا، برابری قدرت خرید)
۵۹/۹	۹۴/۱	۹۲/۲	دسترسی به منابع آب (درصد انتشار آلاینده های آلی پایدار)
فراهمی غذا			
۲۵۵۸۸	۱۷۵۸۲	۱۲۲۱۰	ارزش تولید غذا (میلیون دلار)
۱۰	۱۴	۱۹	ارزش افزوده کشاورزی (درصد تولید ناخالص داخلی)
۳۹۷۰	۹۰۴	۳۴۵	صادرات مواد غذایی (میلیون دلار)
۹۶۶۸	۲۴۸۴	۲۲۱۱	واردات مواد غذایی (میلیون دلار)
تجارت خالص (واردات - و صادرات + میلیون دلار)			
-۴۳۸۷	-۱۴۶۵	-۹۸۱	غلات
۱۳۰۵	۴۵۲	۲۶۲	میوه و سبزی
-۵۰۶	-۳۳	-۲۹۰	گوشت
۱۸۸	-۴۹	-۱۶۱	فراورده‌های شیر
۱۷۸	۱۴	۳۷	ماهی
محیط زیست			
۷	۷	۷	مساحت جنگل (درصد)
۷	۶	۶	منطقه های حفاظت شده زمینی (درصد کل مساحت زمین)
۱	۱۳	۴	تولید سوخت زیستی (۱۰۰۰ کیلوگرم در واحد نفت)
۳۸	۴۳	۳۷	انتشار گازهای گلخانه‌ای خالص از سایر کاربری‌های زمین به جز منطقه های جنگلی و کشاورزی (معادل دی‌اکسید کربن در واحد متریک)

تغییر اقلیم در ایران و اثرهای آن بر تولیدهای کشاورزی

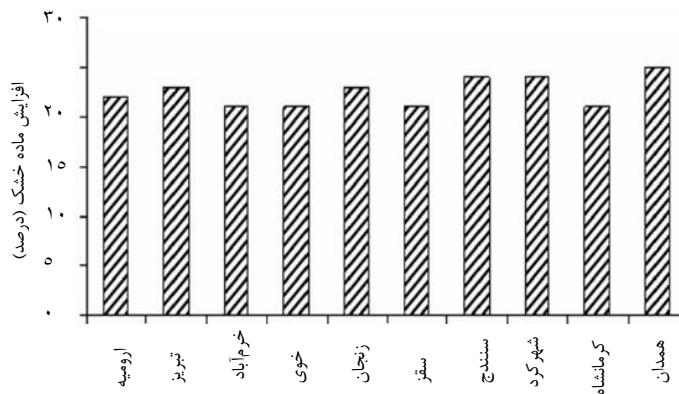
ایران نیز مانند دیگر منطقه‌های جهان زیر تاثیر تغییر اقلیم قرار گرفته است. کوچکی و همکاران (۶) با استفاده از داده‌های ۴۰ ساله هواشناسی از ۳۴ شهرستان، اثرهای تغییر اقلیم را بر کشاورزی ایران بررسی کردند و میانگین افزایش سالانه دما را بر اساس پیش‌بینی دو مدل گردش عمومی^۱ برای منطقه‌های مختلف کشور نشان دادند. این پژوهندگان نرخ افزایش دما در ایران برای سال ۲۰۵۰ در محدوده ۳/۵ تا ۴/۵ درجه سلسیوس است و در شرایط اقلیمی آینده افزایش دما جهت‌دار و از غرب به شرق و از شمال به جنوب کشور تشدید خواهد شد. نتایج پژوهش‌های دیگر نشان می‌دهند شدت افزایش دما در ماه‌های زمستان بیشتر است تا در سایر ماه‌های سال. نتایج همین پژوهش، کاهش بارندگی در سال ۲۰۵۰ را نسبت به شرایط فعلی برای تمامی منطقه‌های کشور تأیید می‌کند؛ مقدار این کاهش که در دامنه ۷ تا ۱۴٪ است دارای شیب مکانی مشابه تغییرهای گزارش‌شده برای دماست. شدت کاهش بارندگی در منطقه‌های خشک و نیمه خشک کشور بارزتر از شدت کاهش بارندگی در منطقه‌های مرطوب است.

نتایج پژوهش کوچکی و همکاران (۶) طولانی‌تر شدن فصل رشد و کاهش شمار روزهای بدون یخبندان در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه به‌روشنی نشان می‌دهد (شکل ۱) که به گفته این پژوهشگران، تأخیر در تاریخ نخستین یخبندان پاییزه و جلو افتادن تاریخ آخرین یخبندان بهاره، نتیجه دور از انتظاری نیست. در بخش‌های جنوبی کشور که در شرایط فعلی نیز تمام سال فصل رشد دارند و تا حدودی دوره یخبندان ندارند (مانند بوشهر یا بندرعباس)، افزایش طول فصل رشد اندک و در حدود ۱۸ روز است، در حالی که در منطقه‌های سردسیر غرب و شمال غرب کشور (مانند اردبیل که طول فصل رشد آن در حال حاضر حدود ۱۶۰ روز است) تغییر اقلیم طول فصل رشد را تا ۳۳ روز افزایش خواهد داد. بنابراین، به نظر می‌رسد در این شرایط، حتی در منطقه‌های بسیار سرد کشور نیز طول فصل رشد برای کاشت برخی از محصولات زراعی که امروزه امکان رشد ندارند فراهم شود. با این‌که افزایش میانگین دمای سالانه بهترین متغیر برای پیش‌بینی طول فصل رشد در شرایط تغییر اقلیم است، یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهند که افزایش میانگین دمای فصل پاییز عامل اصلی افزایش طول فصل رشد کشور در شرایط تغییر اقلیم است. باید توجه داشت که افزایش طول فصل رشد، بدون فراهم آمدن آب، مزیتی برای رشد و تولید بهتر گیاهان زراعی به همراه نخواهد داشت. بر این اساس، طول واقعی فصل رشد، یعنی طول دوره بدون یخبندان به شرط دسترسی به ذخیره کافی آب در خاک، در شرایط اقلیمی آینده در اغلب منطقه‌های کشور کاهش می‌یابد که به نوبه خود محدودیت بیشتری برای محصولات می‌دهد (شکل ۱).

علیزاده و کمالی (۳) نشان دادند با افزایش ۲، ۴ و ۶ درجه سلسیوس دما در دشت مشهد، نیاز خالص آبیاری با الگوی ترکیب کشت موجود در این دشت به ترتیب ۶، ۱۱ و ۱۷٪ افزایش خواهد یافت. پژوهش‌های ابراهیمی (۱) در خراسان رضوی نیز نشان می‌دهد نیاز آبی این منطقه در سال ۲۰۵۰، در مقایسه با سال ۲۰۰۰، حدود ۲۲٪ افزایش خواهد یافت.

کوچکی و نصیری محلاتی (۷) با مقایسه محصول گندم، ذرت، نخود، و چغندر قند (چهار گونه مهم زراعی در شرایط اقلیمی سال ۲۰۵۰ میلادی) با مقادیر محصول فعلی آن‌ها، تغییرهای محصول ناشی از تغییرهای اقلیمی را در این محصولات ارزیابی کردند. در این پژوهش، شرایط اقلیمی سال ۲۰۵۰ براساس سناریوی استاندارد با مدل گردش عمومی برآورد و نتایج به عنوان داده‌های آب و هوایی در مدل سوکروز^۲ به‌کارگرفته شدند که پیش از این با داده‌های آزمایشی برای گیاهان مورد بررسی و اعتبارسنجی قرار گرفته بود. به منظور جداکردن تأثیر افزایش دما و تأثیر مثبت افزایش غلظت دی‌اکسید کربن،

مدل سوکروز برای هر محصول دو بار به اجرا درآمد. بار نخست تنها افزایش دما برای سال هدف در مدل تعریف و بار دوم تأثیر توأم دو عامل بر محصول ارزیابی شد. نتایج بررسی‌ها نشان داد که محصول چهار گیاه مورد مطالعه در هر دو شرایط کاهش خواهد یافت؛ بیشترین مقدار کاهش محصول در چغندر قند و کمترین آن در نخود خواهد بود. افزون بر این، اثرهای منفی دما به مراتب شدیدتر از نقش حاصلخیزکننده دی اکسید کربن است. زیاد شدن غلظت دی اکسید کربن تأثیر منفی دماهای زیاد را بر ذرت، گندم، نخود، و چغندر قند به ترتیب به مقدار ۳/۷، ۶/۹، ۴/۶ و ۷/۳٪ خنثی کرده است که در میانگین معادل ۵/۶٪ و در مقایسه با کاهش محصول ناشی از دما اندک است.



شکل ۱- پیش‌بینی افزایش طول فصل خشک (بر حسب روز) در سال ۲۰۵۰ نسبت به شرایط فعلی در برخی منطقه‌های دیم کشور به کمک مدل گردش عمومی GFDL (۶).

در پژوهشی دیگر، کوچکی و کمالی (۵) اثر تغییر اقلیم را بر تولید گندم دیم در ایران بررسی کردند و به این منظور داده‌های آب و هوایی تولیدشده با مدل گردش عمومی بر پایه سناریوهای IPCC برای سال‌های ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰ میلادی را به کار گرفتند؛ این داده‌ها شامل دمای کمینه، بیشینه و مقدار بارش به‌عنوان ورودی‌های مدل شبیه‌سازی رشد و محصول برای گندم دیم بود که پیش از این برای پیش‌بینی محصول و رشد گندم در شرایط فعلی واسنجی و تعیین اعتبار شده بود. نتایج این پژوهش نشان دادند که شاخص سطح برگ و میزان پرتوهای دریافتی سایه سار^۱ گندم در شرایط تغییر اقلیم نسبت به شرایط فعلی کاهش خواهد یافت. کاهش جذب تابش خورشیدی موجب کاهش سرعت رشد محصول و در نتیجه کاهش چشمگیر تولید ماده خشک خواهد شد. ارزیابی شاخص تنش خشکی در شرایط اقلیمی آینده نشان می‌دهد که کاهش سرعت رشد بیشتر به دلیل کمبود آب ناشی از افزایش تبخیر و تعرق است. کاهش دوره فصل رشد همراه با کاهش قابل توجه شاخص برداشت، محصول دانه گندم دیم را، با وجود اثر مثبت افزایش غلظت دی اکسید کربن، به مقدار چشمگیری کاهش خواهد داد. نتایج این شبیه‌سازی همچنین نشان می‌دهد شدت کاهش محصول در منطقه‌های شرقی کشور، نسبت به منطقه‌های غرب کشور، بیشتر است. مقدار پیش‌بینی شده کاهش محصول گندم دیم در منطقه‌های دیم خیز کشور برای سال ۲۰۲۵ در دامنه ۱۶ تا ۲۴٪ و برای سال ۲۰۵۰ در دامنه ۲۲ تا ۲۳٪ است.

سازگاری و کژسازگاری با تغییر اقلیم

دو واکنش اصلی در قبال تغییر اقلیم وجود دارد: تعدیل اثر و سازگاری. تعدیل اثر به دنبال کاستن از انتشار گازهای گلخانه‌ای با شناسایی عامل‌های ایجاد انتشار است، در حالی که سازگاری در جستجوی کاستن از خطرهای ناشی از تغییر اقلیم است. هر دو رهیافت ضروری‌اند، زیرا حتی اگر انتشار در سال‌های آتی به شکل قابل توجهی کاهش یابد، برای رویارویی با تغییرهای جهانی ایجاد شده باز هم به سازگاری نیاز خواهد بود.

سازگاری با تغییر اقلیم به افراد، جامعه‌ها، سازمان‌ها و سامانه‌های طبیعی کمک می‌کند تا به شکلی پایدار با پیامدهای گریزناپذیر تغییر اقلیم رویارو شوند. سازگاری در بردارنده کارهایی عملی برای مدیریت مخاطره‌های حاصل از تاثیرهای اقلیمی، حفاظت از جامعه‌ها، و بهبود تاب‌آوری اقتصادی آن‌ها است. سازگاری در مواردی مستلزم تغییرهای ساختاری تدریجی در طول زمان یا تغییرهایی جدی و سریع است.

راهبردهای سازگاری با هدف آگاه‌سازی و باری‌رسانی به جامعه‌ها در معرفی گزینه‌های محتمل ارائه می‌شوند. دو نکته اساسی در مورد راهبردهای بنیادین سازگاری با تغییر اقلیم وجود دارد (۱۰).

❖ راهبردها جداکننده حق از باطل نیستند، جهان‌شمول نیز نیستند، بسته به مورد خاص یا شرایط ویژه هر کشت‌بوم، می‌توان راهبردهایی جدید ارائه کرد.

❖ هیچ راهبردی در همه شرایط مناسب نیست، تناسب هر راهبرد با توجه به شرایط منطقه‌ای و عامل‌های گوناگون محیطی، اجتماعی و اقتصادی مشخص می‌شود.

پیش‌تر اشاره شد که کشاورزی یکی از مهم‌ترین بخش‌های معضل اقلیمی کنونی است. برآوردهای گوناگون نشانگر از سهم ۱۱ تا ۲۹ درصدی کشاورزی از انتشار گازهای گلخانه‌ای است. بنابراین، کشاورزی اقلیم-هوشمند^۱ به دنبال افزایش تناسب بخش کشاورزی با چالش‌های حاصل از تغییر اقلیم است که برای رسیدن به این هدف در پی افزایش پایدار بهره‌وری کشاورزی، کمک به بهبود تاب‌آوری سامانه‌های غذایی، و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای است؛ به مجموعه این فعالیت‌ها "سازگاری با تغییر اقلیم" گفته می‌شود. با این حال، همیشه خطر پذیرش و کاربست سازوکارهای "کژسازگاری"^۲ وجود دارد که بر اساس تعریف عبارت است از راه‌حل‌های نادرست و دروغین برای دشواری‌ها. در حقیقت، باتوجه به پیچیدگی مکانی و زمانی مسائل مرتبط با تغییرهای اقلیمی و پاسخ به آن‌ها، این احتمال وجود دارد که گزینه‌هایی که گروهی به عنوان سازگاری موفق تجربه کرده‌اند، افراد دیگر در مکان و زمان دیگر ناموفق بدانند. سازگاری ناموفق به الزام به معنای افزایش چشمگیر آسیب‌پذیری نیست، بلکه می‌تواند به معنای نداشتن کارکرد واقعی باشد و نیز ممکن است موجب افزایش میزان آسیب‌پذیری در آینده شود که به چنین مواردی کژسازگاری گفته می‌شود.

کشاورزی پایدار، بر اساس تعریف، رهیافتی است "ویژه هر منطقه"، بدین معنی که هیچ قاعده کلی وجود ندارد که برای همه منطقه‌ها و همه شرایط قابل تعمیم باشد. بر اساس معیارهای پایداری، سازگاری در یک منطقه می‌تواند در منطقه‌ای دیگر کژسازگاری باشد. در دهه‌های گذشته، موارد فراوانی از کژسازگاری در کشاورزی دیده شده است. در بحث آب و آبیاری، حفر چاه‌های عمیق که سطح آب زیرزمینی را به شدت پایین برده است یک کژسازگاری آشکار به خشکی و تنش آب است. خاک‌ورزی رایج در خاک‌های آسیب‌پذیر و کم‌کربن کشور نیز یکی دیگر از کژسازگاری‌ها با ضرورت‌های

افزایش تولید مواد غذایی بوده است. بنابراین، حکمرانی خوب برای مدیریت تغییر اقلیم و کمینه‌سازی اثرهای آن بر کشاورزی، محیط‌زیست، و منابع طبیعی، نیازمند سازگاری‌هایی پایدار است که در قالب فشرده‌سازی پایدار طرح و عرضه شده است.

فشرده‌سازی پایدار: سازگاری پایدار با تغییر اقلیم در کشاورزی

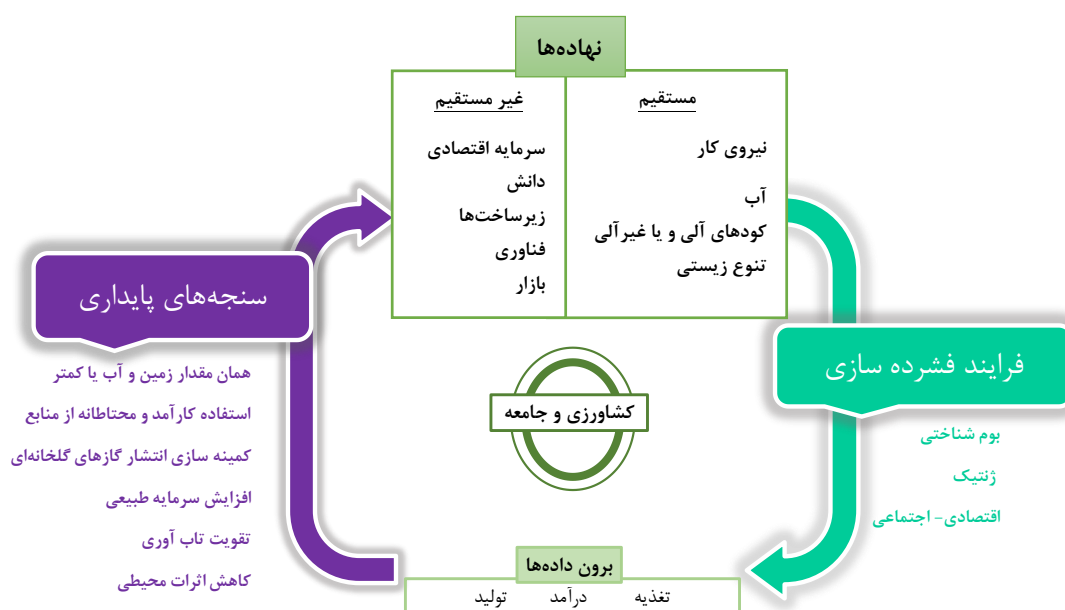
تعریف فشرده‌سازی پایدار^۱ این است: "رهیافتی در تولید که در آن محصول‌ها، بی‌آن‌که اثرهایی بد بر محیط وارد شود و بی‌این‌که زمین بیشتری زیر کشت برود، افزایش می‌یابد" (۱۳). فشرده‌سازی پایدار یا فشرده‌سازی بوم‌شناختی بدین معنی است که برای هر واحد نهاده مصرفی (زمین، آب، کود و غیره) محصول بیشتری تولید شود به شکلی که اثرهای زیانبار بر محیط کمینه شود (۲). این تعریف معادل تعریف کلاسیک بهره‌وری است. در فشرده‌سازی پایدار، ترکیبی از شرایط بهینه زیستی، فیزیکی، اجتماعی، عملیاتی، و اقتصادی لحاظ می‌شود. با کاربست فشرده‌سازی پایدار، محصول (یا به سخنی دیگر میزان تولید در واحد سطح)، با کاربرد ارقام اصلاح‌شده نوین و نهاده‌ها و در پیش‌گرفتن روش‌های مدیریت زراعی جدید افزایش می‌یابد. این روش‌ها، فناوری‌ها، و مدیریت‌های نوین و پایدار موجب می‌شوند افزایش تولید همراه با نگهداری از محیط و منابع باشد، بر خلاف فشرده‌سازی رایج که در آن افزایش تولید محصول‌های کشاورزی بیشتر همراه با آسیب‌رساندن به منابع پایه تولید و تهی شدن آن‌ها است (۱۷). بنابراین، مشاهده می‌شود "فشرده‌سازی پایدار" برابر تعریف ارائه شده رهیافتی نو نیست، بلکه ریشه در عملیات بوم‌شناختی و فشرده‌سازی ژنتیکی‌ای دارد که از دیرباز در سامانه‌های کشاورزی اجرا می‌شده است. آن‌چه در این رهیافت تازه است تلفیق مولفه‌های فشرده‌سازی پایدار در چارچوبی است که به دنبال یافتن راه‌حل‌های راستین برای بحران جهانی غذا و تغذیه است. مدل نظری فشرده‌سازی پایدار در شکل ۲ نشان داده شده است. در این مدل، فشرده‌سازی پایدار هدفی جاه‌طلبانه و بلندپروازانه به نظر می‌رسد، هر چند با تمرکز و توجه به اصول زیر، دست‌یافتنی خواهد بود (۱۸).

- ❖ احتیاط در مصرف نهاده‌ها، به‌ویژه نهاده‌های کمیاب، گران، یا آسیب‌رسان به کمیت و کیفیت منابع طبیعی و محیط‌زیست.
- ❖ کارایی در افزایش سود و کاهش پسماند و کاربرد غیر ضروری نهاده‌ها و منابع کم‌یاب شیمیایی و طبیعی.
- ❖ تاب‌آوری در برابر تکان‌ها و تنش‌های آتی که سامانه‌های طبیعی و کشاورزی را تهدید می‌کنند.
- ❖ عدالت در دسترسی و برخورداری از نهاده‌ها و برون‌داده‌های فشرده میان همه بهره‌برداران در کلیه سطح‌های خانوار، محلی، منطقه‌ای، و ملی برای تضمین امکان پایداری فشرده‌سازی برای همه.

فشرده‌سازی پایدار هم‌زمان به دنبال بهینه‌سازی مصرف نهاده‌ها و نگهداری از منابع است. این رهیافت به‌طور فزاینده‌ای متکی بر فناوری‌های نو مانند تصویربرداری ماهواره‌ای، فناوری اطلاعات و ابزارهای مکان‌یابی زمینی است. برای نمونه، در این فناوری‌ها مقدار عناصر غذایی خاک در بخش‌های گوناگون هر مزرعه تجزیه و تحلیل و نقشه‌برداری می‌شود. پس از آن، از این داده‌ها در تراکتورهای مجهز به سامانه‌های موقعیت‌یاب ماهواره‌ای برای کاربرد دقیق مقادیر متغیر نهاده‌ها برپایه وضعیت هر نقطه از مزرعه استفاده می‌شود.

در این الگو، مدیریت خاک و عناصر غذایی بر پایه کاربرد و جذب کارآمد عناصر غذایی از منابع شیمیایی، زیستی و آلی است. سال‌های بین ۱۹۶۰ تا ۲۰۰۰، کارایی مصرف نیتروژن در تولید جهانی غلات از ۸۰٪ به ۳۰٪ کاهش یافته است. کشاورزان در کشورهایمانند ایران باید به موازنه دقیقی میان مدیریت ماده آلی خاک، باروی خاک و مقدار رطوبت آن با

کاربرد کودها دست پیدا کنند. یک رهیافت کارآمد و پایدار، بهره‌گیری از کشاورزی هوشمند برای کمینه‌سازی کاربرد بیش از حد کودهای غیر آلی، پایین آوردن اتکالی به آن‌ها، بهبود کارایی مصرف عناصر غذایی و حفاظت گیاه در برابر تنش‌هایی مانند خشکی است. همین قاعده در مورد کاربرد علف‌کش‌ها نیز صادق است که بیشتر به شکلی بی‌رویه و در سراسر مزرعه (بدون توجه به تفاوت تراکم علف‌های هرز) به مقدار یکسان و زیاد مصرف می‌شوند و افزون بر علف‌های هرز موجب مرگ دیگر گیاهان وحشی و گاه خود گیاهان زراعی نیز می‌شوند. کاربرد روش‌های کشاورزی دقیق هم‌زمان موجب رفع چالش‌های جدی تولید و کمتر کردن اثرهای ناخواسته و نامطلوب محیط‌زیستی می‌شود؛ از میان چالش‌ها می‌توان به هجوم علف‌های ناخواسته (هرز) اشاره کرد که گاه موجب کاهش محصول تا ۵۰٪ خواهد شد (۱۷).



شکل ۲- مدل نظری فشرده‌سازی پایدار (۱۸).

افزون بر عناصر غذایی، آب نیز از نهاده‌های مهمی است که باید در زمان مناسب و به مقدار متناسب در اختیار گیاه زراعی قرار گیرد، زیرا تنش خشکی در دوره رشد موجب کاهش جدی محصول گیاهان زراعی خواهد شد. در این مورد و دیگر موارد مشابه، به‌هم‌پیوستگی عملیات حفاظت آب، خاک و عناصر غذایی اهمیتی بنیادین دارد. موفق‌ترین سامانه‌ها آن‌هایی هستند که تامین آب، عناصر غذایی و کودها و به‌سازهای خاک در آن‌ها به شکلی هم‌افزا پیش‌رود، بدین معنا که تامین آب در این سامانه‌ها همراه با بیشترین کارایی مصرف عناصر غذایی، کاربرد عناصر غذایی همراه با جذب بهینه آب و عملیات خاک‌ورزی همراه با نگهداری مطلوب آب و عناصر غذایی است. در مورد برهمکنش فیزیولوژیک آب و عناصر غذایی بررسی‌های زیادی شده است؛ جذب عناصر غذایی و اثر آن بر رشد و نمو گیاه تا حد زیادی به‌واسطه وضعیت آب سامانه گیاه-خاک-آب تعیین می‌شود. از سوی دیگر، وضعیت بهینه عناصر غذایی (کود) گیاه بر مقدار آب و کارایی مصرف آب^۱ گیاه تاثیر می‌گذارد. مشخص شده است که مهم‌ترین عنصرهای غذایی که با آب در گیاه زراعی برهمکنش دارند نیتروژن و فسفر هستند. به همین ترتیب کارایی مصرف عنصرهای غذایی^۲ گیاه در تاثیر رژیم رطوبتی خاک خواهد گرفت و کارایی مصرف آب گیاه

1. Water use efficiency (WUE)

2. Nutrient use efficiency (NUE)

زراعی نیز متأثر از مقدار و نوع عنصرهای غذایی است که در اختیار آن خواهد بود (۴). در شکل ۳، رهیافت‌های عملیاتی فشرده‌سازی پایدار برای کشورهایمانند ایران نشان داده شده است.



شکل ۳- رهیافت‌های عملیاتی برای فشرده‌سازی پایدار.

تجربه‌های بین‌المللی فشرده‌سازی کشاورزی

از موفقیت فشرده‌سازی کشاورزی در دستیابی همزمان به تولید مطلوب و حفاظت از منابع و پایداری سامانه‌های کشاورزی در منطقه‌های گوناگون جهان و در گستره متنوعی از سامانه‌های کشاورزی و شرایط اقلیمی، امروزه مدرک‌های قابل قبولی در دسترس هست. برخی از صاحب‌نظران بر این باورند که فشرده‌سازی پایدار بیشتر یک "رهیافت" است تا "مجموعه‌ای از عملیات" که بتوان موفقیت و امکان‌پذیری آن را به شکل کمی تعیین کرد، اما آمارها از موفقیت و قابل اجرا بودن این الگو در شرایط مختلف و متنوع کشاورزی در سراسر جهان حکایت دارند.

در مقاله‌ها و گزارش‌های بی‌شمار به افزایش محصول ناشی از پذیرش عملیات و روش‌های کشاورزی بوم‌شناختی برگرفته از فشرده‌سازی کشاورزی اشاره شده است. موفقیت‌های فشرده‌سازی کشاورزی به ویژه در کشورهای در حال توسعه می‌تواند افق امیدوارکننده‌ای برای پذیرش این رهیافت در ایران رسم کند. در مطالعه‌ای گسترده، پرتی و همکاران^۱ (۱۴، ۱۵) با واکاوی نتایج کاربرد روش‌ها و عملیات فشرده‌سازی پایدار در ۵۷ کشور می‌گویند در مجموع این کشورها ۱۲/۶ میلیون کشاورز در ۳۷ میلیون هکتار زمین و در قالب ۲۸۶ پروژه درگیر گذار از کشاورزی رایج به کشاورزی فشرده پایدار هستند. این رقم معادل فقط ۳٪ کل سطح زیر کشت ۱/۱۴ میلیارد هکتاری کشورهای در حال توسعه است. در ۳۶۰ مورد مقایسه محصول از ۱۹۸ پروژه از ۲۸۶ پروژه پیش‌گفته، که به طور تصادفی انتخاب شدند، مشخص شد که در گستره متنوعی از سامانه‌ها و محصول‌های کشاورزی، محصول بر اثر گذار به فشرده‌سازی کشاورزی معادل ۷۹٪ افزایش یافته است (۱۶). در جدول ۲، نتایج این فراواکاوی ارائه شده است.

1. Pretty et al.

جدول ۲- چکیده‌ای از نتایج پذیرش و کاربست فناوری‌ها و عملیات کشاورزی فشرده پایدار در ۲۸۶ پروژه در ۵۷ کشور (۱۵).

نوع سامانه کشاورزی	شمار مزرعه‌ها	سطح (هکتار)	میانگین افزایش عملکرد (/.)
زمین‌های خُرد فاریاب	۱۷۷۲۸۷	۳۵۷۹۴۰	۱۲۹/۸
برنج دیم	۸۷۱۱۲۳۶	۷۰۰۷۵۶۴	۲۲/۳
دیمزارهای خُرد منطقه‌های مرطوب	۱۷۰۴۹۵۸	۱۰۸۱۰۷۱	۱۰۲/۲
دیمزارهای خُرد منطقه‌های مرتفع	۴۰۱۶۹۹	۷۲۵۵۳۵	۱۰۷/۳
دیمزارهای خُرد منطقه‌های سرد و خشک	۶۰۴۸۰۴	۷۳۷۸۹۶	۹۹/۲
کشت‌های مخلوط	۵۳۷۳۱۱	۲۶۸۴۶۷۵۰	۷۶/۵
کشتزارهای ساحلی	۲۲۰۰۰۰	۱۶۰۰۰۰	۶۲/۰
مزرعه‌های شهری	۲۰۷۴۷۹	۳۶۱۴۷	۱۴۶/۰
مجموع	۱۲۵۶۴۷۷۴	۳۶۹۵۲۹۰۳	۷۹/۲

نتیجه‌گیری

کاربست عملی اصول فشرده‌سازی پایدار در کشت‌بوم‌ها برای سازگاری با تغییر اقلیم، فرایندی تدریجی و چند مرحله‌ای است. گذار اصولی به فشرده‌سازی پایدار در ایران موجب کاهش تولید کشاورزی و درآمد کشاورزان نخواهد شد. افزون بر این، هرگز کشاورزان موظف نیستند با پذیرش این رهیافت، نهاده‌ها و عملیات کشاورزی فشرده را کنار بگذارند. طراحی و مدیریت کشت‌بوم‌ها در این الگو نیاز دارد با دقت به ماهیت منطقه‌ای هر کشت‌بوم توجه شود. پشتیبانی‌های حاکمیتی و دسترسی به آموزش، تضمین‌کننده موفقیت جهانی فشرده‌سازی پایدار است (۸). فشرده‌سازی پایدار رهیافتی مناسب برای سازگاری با تغییر اقلیم و نیز کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در واحد تولید است که از این رهگذر با کشاورزی هوشمند به اقلیم همراستا است. بنابراین، برای هوشمند کردن کشاورزی در مقابل تهدیدهای تغییر اقلیم، توسعه فشرده‌سازی پایدار قابل توصیه است.

منابع

- ۱- ابراهیمی، ح. ۱۳۸۹. تغییر مصرف آب کشاورزی با توجه به تغییر اقلیم. پژوهش در علوم زراعی ۱۲۰-۱۰۹: ۳(۹).
- ۲- سلطانی، ا. ۱۳۹۷. مدل‌سازی و تحلیل نتایج امنیت غذایی کشور تا ۲۰۵۰. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی و دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، تهران، ۲۶۸ صفحه.
- ۳- علیزاده، ا. و غ.ع. کمالی. ۱۳۸۱. اثرات تغییر اقلیم بر افزایش مصرف آب کشاورزی در دشت مشهد. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی ۲۰۱-۱۸۹: ۱۷(۳و۲).
- ۴- کامکار، ب. و ع. مهدوی دامغانی. ۱۳۸۷. مبانی کشاورزی پایدار. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۳۲۲ صفحه.
- ۵- کوچکی، ع. و غ.ع. کمالی. ۱۳۸۹. تغییر اقلیم و تولید گندم دیم در ایران. پژوهش‌های زراعی ایران ۵۲۰-۵۰۸: ۸(۳).
- ۶- کوچکی، ع.، م. نصیری محلاتی و ل. جعفری. ۱۳۹۴. بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر کشاورزی ایران: ۱- پیش‌بینی وضعیت اگروکلیماتیک آینده. پژوهش‌های زراعی ایران ۶۶۴-۶۵۱: ۱۳(۴).

- ۷- کوچکی، ع. و م. نصیری محلاتی. ۱۳۹۵. بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر کشاورزی ایران: ۲- پیش‌بینی تولید محصولات زراعی و راهکارهای سازگاری. پژوهش‌های زراعی ایران ۲۰-۱:۱۴(۱).
- ۸- مهدوی دامغانی، ع.، ف. آقامیر. ۱۳۹۷. فشرده‌سازی پایدار سامانه‌های تولید محصولات زراعی: مبانی و روش‌ها. سومین کنگره بین‌المللی و پانزدهمین کنگره ملی علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران (مقاله کلیدی). ۱۳ تا ۱۵ شهریور، کرج.
- ۹- وزارت جهاد کشاورزی. ۱۳۹۵. آمارنامه کشاورزی سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ (جلد اول: محصولات زراعی). مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات وزارت جهاد کشاورزی.
10. EPA (United States Environmental Protection Agency). 2017. Strategies for climate change adaptation. Retrieved from: <https://www.epa.gov/arc-x/strategies-climate-change-adaptation>.
11. FAO. 2017. FAOSTAT, Country Profile: Islamic Republic of Iran. Retrieved from: <http://www.fao.org/faostat/en/#country/102>.
12. Flanner, K.V. 1962. Origins and ecological efforts of early domestication in Iran and the Near East. In: Ucko, P.J. and Dimbleby, B.W. (Eds.). The Domestication and Exploitation of Plants and Animals. Duckworth and Co., pp. 73-100.
13. Garnett, T., C. Godfray. 2012. Sustainable Intensification in Agriculture. Navigating a course through competing food system priorities, Food Climate Research Network and the Oxford Martin Programme on the Future of Food, University of Oxford, UK, 51.
14. Koocheki, A. and R. Ghorbani. 2005. Traditional agriculture in Iran and development challenges for organic agriculture. *Int. J. Biodiver. Sci. Manag.* 11:52-57.
15. Pretty, J., Noble, A.D., Bossio, D., Dixon, J., Hine, R.E., Penning de Vries, F.W.T., Morison, J.I.L. 2006. Resource-conserving agriculture increases yields in developing countries. *Environ. Sci Tech.* 3:24-43.
16. Pretty, J., Bharucha, Z.P. 2018. Sustainable intensification in agricultural systems. *Anna. Bot.* doi: 10.1093/aob/mcu205.
17. Pretty J, Toulmin, C., Williams, S. 2011. Sustainable intensification in African agriculture. *Int. J. Agr. Sustain.* 9(1):5-24.
18. The Montpellier Panel. 2013. Sustainable Intensification: A New Paradigm for African Agriculture. London, UK.

Sustainable Intensification of Agricultural Systems in Iran for Adaptation to Climate Change: Opportunities and Challenges

A. Mahdavi Damghani¹, J. Kambouzia, F. Aghamir and H. Mahmoudi²

Attaining sustainable food security in Iran, as a country located in arid and semi-arid region requires overcoming many challenges including limited basic resources (water and arable land), improving food safety and health and increasing productivity of agroecosystems as well as reconstructing market and affordability to food. Climate change has further threatened country's capabilities for sustainability of agricultural systems. Reconsideration for intensive farming due to diminished quality and quantity of water, soil, and biodiversity resources which are caused by long time conventional practices is a necessity for providing sustainability of agroecosystems in Iran. Food security, however, should not be declined in the process; so, we need a new paradigm of "sustainable intensification" which integrates food security and meanwhile ecological sustainability of these systems. Sustainable intensification is a prerequisite of adaptation to climate change in Iran, as adaptation needs to reduce water consumption and increase water use efficiency (WUE), optimize soil tillage and management and maximize productivity of whole production chain. This would be done in triple steps of 1- reducing input consumption, 2- replacing conventional inputs and practices by integrated and sustainable ones and 3- recreating and redesigning climate- resilient agroecosystems. Opportunities and challenges of the duty is reviewed in the text.

Key words: Food security, Productivity, Resilience, Sustainability.

1. Corresponding author, Email: mahdavi.a@sbu.ac.ir

2. Invited Scholar of I.R. Academy of Sciences, Associate Professors and Assistant Professors, Shahid Beheshti University, respectively.