



دیدگاه

آگرو فارستری مبتنی بر صنوبر به عنوان راهبردی برای توسعه پایدار روستایی در ایران

تحلیل تطبیقی تجربه هند، چین و اروپا با تأکید بر بهره‌وری زمین، معیشت و سیاست‌گذاری

فاطمه احمدلو^{۱*}، محسن کلاگری^۲، سعیده اسکندری^۳، سارا تیموری^۴ و پدرام غدیری پور^۵

مقدمه

2021) و در اروپا با سیاست‌های کشاورزی چندکارکردی و خدمات

محیط‌زیستی پیوند خورده است (Thiesmeier, 2024). در ایران نیز سابقه صنوبرکاری قابل توجه است، به‌ویژه در شمال، شمال غرب و بخش‌هایی از مناطق دارای آب کافی و خاک مناسب. با این حال، بخش عمده پژوهش‌ها و برنامه‌های اجرایی، صنوبر را بیشتر به عنوان زراعت چوب مستقل دیده‌اند و کمتر آن را در قالب یک نظام توسعه روستایی تحلیل کرده‌اند. از این رو، پرسش اصلی این مقاله چنین است: آیا آگرو فارستری مبتنی بر صنوبر می‌تواند در ایران به عنوان راهبردی برای توسعه پایدار روستایی عمل کند؟ و تحت چه شرایطی؟. این مطالعه با هدف پاسخ به این پرسش، سه محور زیر را دنبال می‌کند: ✓ تحلیل شاخص‌های کلیدی ارزیابی کارایی تولیدی، اقتصادی و اکولوژیک سامانه‌های آگرو فارستری مبتنی بر صنوبر، شامل شاخص نسبت برابری زمین (LER: Land Equivalent Ratio)، شاخص ارزش فعلی خالص

در بسیاری از مناطق روستایی ایران، الگوهای سنتی کشاورزی با چالش‌های فزاینده‌ای مانند کاهش منابع آب، کوچک شدن اراضی، افت حاصلخیزی خاک، نوسان قیمت محصولات، محدودیت فرصت‌های اشتغال و مهاجرت نیروی کار روبه‌رو هستند. در چنین شرایطی، سامانه‌هایی که بتوانند هم‌زمان تولید، پایداری و تنوع درآمد را افزایش دهند، اهمیت راهبردی پیدا می‌کنند.

در بسیاری از مناطق روستایی ایران، الگوهای سنتی کشاورزی با چالش‌های فزاینده‌ای مانند کاهش منابع آب، کوچک شدن اراضی، افت حاصلخیزی خاک، نوسان قیمت محصولات، محدودیت فرصت‌های اشتغال و مهاجرت نیروی کار روبه‌رو هستند. در چنین شرایطی، سامانه‌هایی که بتوانند هم‌زمان تولید، پایداری و تنوع درآمد را افزایش دهند، اهمیت راهبردی پیدا می‌کنند. آگرو فارستری یکی از این سامانه‌هاست. رویکردی که در آن درختان، محصولات زراعی و در برخی موارد دام، در یک نظام مدیریتی تلفیق می‌شوند تا بهره‌وری منابع زمین و آب افزایش یابد و خدمات اکوسیستمی تقویت شود (Coulibaly et al., 2017). در این میان، صنوبر به عنوان گونه‌ای سریع‌الرشد و دارای ارزش اقتصادی، جایگاه ویژه‌ای در بسیاری از نظام‌های آگرو فارستری جهان دارد. صنوبر علاوه بر تولید چوب صنعتی، قابلیت کاشت را در ردیف‌ها، حاشیه

مزارع و اراضی مستعد زراعت چوب دارد و در صورت مدیریت درست، می‌تواند با تولیدات زراعی هم‌افزایی ایجاد کند. مرور پژوهش‌های اخیر نشان می‌دهد، آگرو فارستری مبتنی بر صنوبر در کشورهای مختلف با نتایج متفاوتی همراه بوده است. در هند بیشتر با سودآوری مزرعه و بازار چوب (Venn et al., 2024)، در چین با بهینه‌سازی خرداقلیم و بهره‌وری زمین (Dai et al.,

(NPV: Net Present Value)، شاخص نسبت منفعت به هزینه (BCR: Benefit–Cost Ratio) و شاخص‌های خرداقلیم مانند شدت تابش، رطوبت خاک، دمای هوا و کربن آلی خاک. ✓ مرور تجربه‌های جهانی در هند، چین و اروپا ✓ و استخراج دلالت‌های سیاستی و اجرایی برای ایران، با تأکید بر معیشت، زنجیره ارزش چوب و نقش واقعی زنان.

* نویسنده مسئول، دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات صنوبر و درختان سریع‌الرشد، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. پست الکترونیک: fatemeh_ahmadloo@yahoo.com

۲- دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات صنوبر و درختان سریع‌الرشد، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

۳- دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات جنگل، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

۴- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات صنوبر و درختان سریع‌الرشد، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

۵- کارشناس پژوهش، بخش تحقیقات صنوبر و درختان سریع‌الرشد، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران



چهارچوب مفهومی: پیوند زمین، معیشت و جامعه

آگروفرستری مبتنی بر صنوبر را می‌توان در قالب یک مدل سه‌لایه تحلیل کرد:

✓ لایه زمین و اکولوژی: شامل نور، آب، خاک، رقابت ریشه‌ای، خرداقلیم و کارایی مصرف منابع

✓ لایه اقتصاد و معیشت: شامل درآمد، هزینه، سودآوری، ریسک، بازار و زنجیره ارزش

✓ لایه جامعه و نهاد: شامل مشارکت خانوار، دانش محلی، تعاونی‌ها،

تصمیم‌گیری و نقش زنان

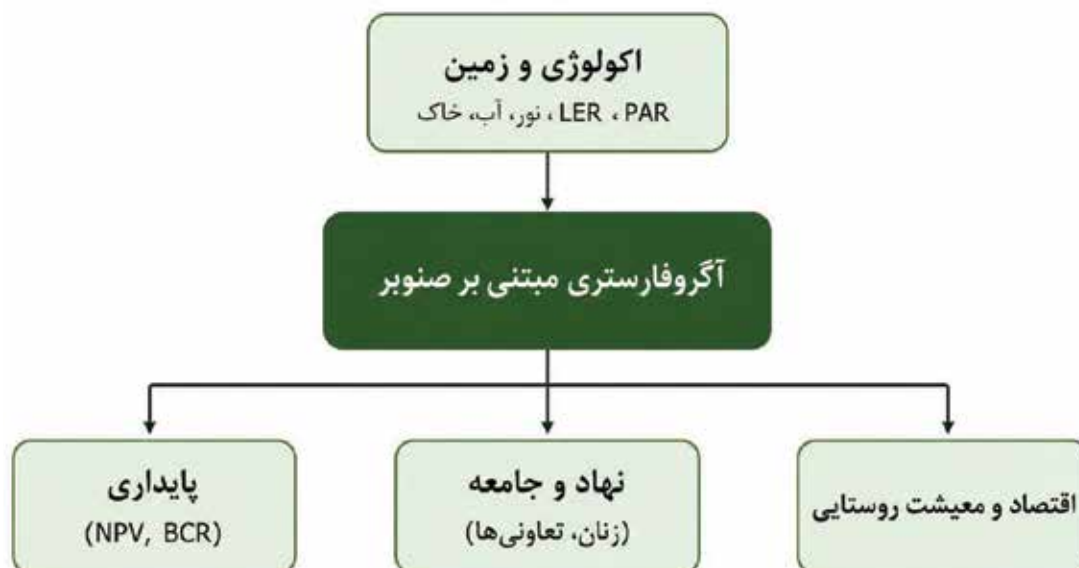
این سه لایه با یکدیگر پیوند دارند (شکل ۱). اگر درختان و محصولات

زراعی از نظر اکولوژیک سازگار باشند، LER بالاتر از ۱ می‌شود. اگر

نظام از نظر اقتصادی سودآور باشد، NPV مثبت و BCR بالاتر از ۱

خواهد بود و اگر نهادهای محلی و خانوارها بتوانند آن را مدیریت

کنند، پایداری اجتماعی آن افزایش می‌یابد.



شکل ۱- مدل مفهومی آگروفرستری مبتنی بر صنوبر در توسعه روستایی ایران (Nair, 1993)

روش‌شناسی

پژوهش پیش‌رو از نوع مروری-تحلیلی و تطبیقی است. داده‌ها و استدلال‌ها بر پایه منابع علمی منتخب در حوزه آگروفرستری مبتنی بر صنوبر، اقتصاد مزرعه، پایداری زمین و سیاست‌گذاری توسعه روستایی استخراج شده‌اند. تمرکز تحلیل بر سه الگوی جهانی است:

✓ هند: الگوی تجاری و بازارمحور

✓ چین: الگوی بهره‌وری محور و اکولوژیک

✓ اروپا: الگوی سیاست‌محور و خدمات اکوسیستمی

برای سنجش کارآمدی، شاخص‌های زیر مورد توجه قرار گرفته‌اند:

✓ LER برای بهره‌وری زمین

✓ NPV برای ارزش فعلی خالص

✓ BCR برای نسبت منفعت به هزینه

✓ شاخص‌های PAR، رطوبت خاک و کربن آلی خاک برای

تحلیل اکولوژیک

✓ شاخص‌های مشارکت، اشتغال و اختیار تصمیم‌گیری برای

تحلیل اجتماعی

تحلیل داده‌های کمی در ایران نشان می‌دهد، در پایلوت‌های

پژوهشی انجام شده (مانند طرح‌های آگروفرستری صنوبر با یونجه در ایستگاه تحقیقاتی البرز و کشت صنوبر در حاشیه شالیزارهای گیلان)، شاخص نسبت برابری زمین (LER) همواره بزرگ‌تر از یک ($LER > 1$) بوده است که نشان‌دهنده کارایی بالای مصرف منابع مشترک آب و نور است (جدول ۱). با این حال، چالش اصلی در ایران، نوسانات شدید نسبت منفعت به هزینه (BCR) به دلیل نبود ثبات قیمت چوب در بازار غیرمستقیم محلی است. برخلاف الگوی هند که بازار چوب ساختاریافته دارد، در ایران نقدینگی بهره‌بردار در ۳ سال نخست استقرار صنوبر به شدت تحت فشار قرار می‌گیرد که لزوم ترکیب کشت با محصولات زیرکشت جهت بهبود نقدینگی را دوچندان می‌سازد.

شاخص‌های کلیدی ارزیابی در آگروفرستری مبتنی بر صنوبر

روابط مورد استفاده برای ارزیابی عملکرد نسبی اجزای سامانه، تحلیل اقتصادی، بررسی میزان دسترسی و کاهش تابش فعال فتوسنتزی، برآورد پاسخ فتوسنتزی به نور، محاسبه تولید ماده خشک و تعیین شدت نور عبوری از تاج صنوبر در جدول ۲ ارائه شده است. در

جدول ۱- مقایسه کمی شاخص‌های عملکردی سامانه‌های آگروفارستری مبتنی بر صنوبر در الگوهای جهانی و انطباق آن با پایلوت‌های پژوهشی ایران

شاخص ارزیابی	الگوی تجاری (هند)	الگوی اکولوژیک (چین)	الگوی حمایتی (اروپا)	یافته‌های پایلوت‌های پژوهشی در ایران (نمونه‌ها)
بهره‌وری زمین (LER)	بین ۱/۳ تا ۱/۹ (بسته به تراکم و نوع محصول زراعی مانند گندم یا نیشکر)	بین ۱/۴ تا ۱/۸ (کاهش در سال‌های پایانی دوره به دلیل بسته شدن تاج پوشش)	بین ۱/۲ تا ۱/۵ (تمرکز بر فواصل ردیف عریض)	در گیلان (صنوبر- برنج): LER ≈ ۱/۲۵ تا ۱/۴ در البرز (صنوبر- یونجه): LER ≈ ۱/۳۵
ارزش فعلی خالص (NPV)	سود ناخالص سالانه حدود ۳۴۶ دلار در هکتار (بیش از ۲ برابر تک‌کشتی)	نوسان شدید براساس مصرف آب، توجیه اقتصادی متوسط در مناطق خشک	سودآوری وابسته به پارانه‌های اکولوژیک اتحادیه اروپا (کربن و تنوع زیستی)	در صنوبرکاری‌های شمال با دوره چرخشی ۸ ساله، افزایش درآمد خالص بهره‌بردار تا ۳۵ درصد نسبت به تک‌کشتی گزارش شده است.
نسبت منفعت به هزینه (BCR)	۱/۸ تا ۲/۴ (بسیار جذاب برای بخش خصوصی)	۱/۲ تا ۱/۶ (هزینه‌های بالای مدیریت منابع آب)	۱/۴ تا ۱/۱ (بدون احتساب سوپسید اکولوژیک)	در اراضی حاشیه‌ای و شالیزارها: BCR ≈ ۱/۴۵ تا ۱/۷ (کاهش هزینه‌های اولیه به دلیل درآمد زراعت میانی)
متغیرهای اکولوژیک (خرداقلیم و خاک)	کاهش عملکرد گندم در تراکم تاج بیش از ۶۰ درصد تا مرز ۷۰ درصد	فاصله ردیف بهینه ۲۱ تا ۲۲ متری جهت تأمین نور مطلوب (PAR)، افزایش کربن آلی خاک تا ۱/۲ درصد	ترسیب کربن بالا، بهبود چشمگیر کیفیت رویشگاه و تنوع زیستی	تعدیل دمای تابستان تا ۲ درجه سانتی‌گراد، افزایش رطوبت نسبی در میان‌کرت‌ها تا ۸ درصد در مناطق نیمه‌خشک البرز
شاخص‌های اجتماعی (اشتغال و مشارکت)	ایجاد اشتغال فصلی مستقیم و غیرمستقیم در صنایع چوب	مشارکت دولتی- مردمی در قالب برنامه‌های احیای اراضی ملی	نقش بالای زنان در مدیریت مزارع خانوادگی آگروفارستری	افزایش توزیع فصلی کارآفرینی خانوادگی و کاهش نیاز به نقدینگی اولیه در سال‌های اولیه استقرار صنوبر

احتمال افت دمای خاک و کاهش کارایی فتوسنتزی محصول زیرکشت نیز وجود دارد. بنابراین، کارایی سامانه به توانایی آن در ایجاد تعامل مکمل میان مؤلفه چوبی و زراعی وابسته است، به گونه‌ای که محدودیت نوری از آستانه بحرانی عبور نکند و محصول بین‌رדیفی همچنان از نظر فیزیولوژیک فعال باقی بماند. با پیشرفت سن توده صنوبر و افزایش بستگی تاج پوشش (Canopy Closure)، رقابت نوری بین‌گونه‌ای، تشدید و محصول زراعی دچار محدودیت در کارایی مصرف تابش (Efficiency-RUE) می‌شود. درواقع، زمانی که بستگی تاج پوشش از آستانه بحرانی فراتر رود، نرخ قطع نور توسط صنوبر به قدری افزایش می‌یابد که انرژی نوری در دسترس در زیر تاج، پایین‌تر از نقطه جبران نوری (Light Compensation Point) محصول زراعی قرار می‌گیرد. این پدیده منجر به کاهش نرخ فتوسنتز خالص (Anet) و تخصیص نامطلوب کربن در محصول بین‌رَدیفی می‌شود. علاوه بر تغییر در کمیت نور، حضور صنوبر موجب تغییر در کیفیت

سامانه‌های آگروفارستری مبتنی بر صنوبر، مدیریت خرداقلیم و تابش فعال فتوسنتزی (PAR) مستلزم ملاحظه دقیق فاصله کاشت بین ردیف‌ها، جهت‌گیری ردیف‌ها نسبت به مسیر حرکت خورشید، تراکم درختان، سن توده، ارتفاع و سطح تاج پوشش است. به طور خاص، آرایش ردیفی شمالی- جنوبی معمولاً می‌تواند توزیع یکنواخت‌تری از نور در طول روز فراهم کند، درحالی‌که تراکم بالای درختان و بسته شدن سریع تاج، موجب افزایش ضریب تلاقی تاج و کاهش نفوذ نور به لایه زیرین می‌شود. از این رو، تعیین الگوی بهینه کاشت و اعمال مدیریت تاج، از جمله هرس، تنک‌سازی و تنظیم فاصله ردیف‌ها، برای حفظ تعادل میان تولید چوب و تولید زراعی ضروری است.

از منظر خرداقلیمی، درختان صنوبر علاوه بر کاهش PAR، بر دمای هوا، رطوبت نسبی، سرعت باد و تبخیر- تعرق نیز اثرگذارند. این تغییرات می‌توانند در برخی شرایط موجب کاهش تنش گرمایی و کاهش تبخیر سطحی شوند، اما در صورت شدت بالای سایه‌اندازی،



نور (نسبت نور قرمز به قرمز دور - R:FR) نیز می‌شود که می‌تواند پاسخ‌های مرفوژتیک در گیاه زیرکشت (مانند) طول‌شدن ساقه یا پاسخ اجتناب از سایه را تحریک کند. بنابراین، برای بهینه‌سازی تولید در این سامانه‌ها، مدیریت فاصله کاشت و زمان‌بندی هرس با هدف کنترل شاخص سطح برگ (LAI) توده درختی و جلوگیری از انسداد کامل نور ضروری است. این اقدامات مدیریتی باعث می‌شوند تا بخشی از تابش به‌صورت کسر روزه‌ای (Gap Fraction) از میان تاج عبور کند و با بهبود توزیع نوری، RUE محصول زراعی را در سطحی اقتصادی حفظ نماید. درنهایت، موفقیت اکولوژیک این سامانه به حداکثرسازی کارایی کل

جذب نور توسط کل سیستم (درخت + محصول زیرکشت) بستگی دارد، به‌طوری‌که تداخل نوری به حداقل و مکمل‌بودن زمانی و مکانی در استفاده از منابع (Resource Partitioning) به اوج خود می‌رسد. بااین‌حال، اهمیت واقعی این مزیت‌های اکولوژیک زمانی آشکار می‌شود که بتوانند در بسترهای گوناگون اقتصادی، اجتماعی و بازار نیز با شرایط محلی تطبیق یابند. از این منظر، بررسی تجربه‌های جهانی نشان می‌دهد، عملکرد این سامانه‌ها نه‌تنها به کارایی زیستی، بلکه به نحوه انطباق آن‌ها با نیازهای بازار، سیاست‌های محلی و الگوهای تولید در کشورهای مختلف وابسته است، موضوعی که در تجربه هند، با رویکردی بازارمحور، به‌خوبی قابل‌مشاهده است.

جدول ۲- روابط مورد استفاده برای تحلیل شاخص‌های بیوفیزیکی، اقتصادی و اکوفیزیولوژیک (تعاملات نوری و خرداقلیم) در سامانه‌های آگروفارستری مبتنی بر صنوبر

رابطه	فرمول ریاضی	تعریف اجزا	منبع
رابطه ۱	$LER = \frac{PX}{PY} + \frac{AX}{AY}$	PX: عملکرد گونه صنوبر در کشت تلفیقی، PY: عملکرد گونه صنوبر در کشت خالص (عملکرد نسبی جزء صنوبر)، AX: عملکرد گونه زراعی در کشت تلفیقی و AY: عملکرد گونه زراعی در کشت خالص (عملکرد نسبی جزء محصول زراعی)	(Chavan et al., 2022)
رابطه ۲	$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t}$	B _t و C _t : به ترتیب منافع و هزینه‌های سال t؛ r: نرخ تنزیل و n: طول دوره مطالعه	(Scordia et al., 2023)
رابطه ۳	$BCR = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{B_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}}$	B _t و C _t : به ترتیب منافع و هزینه‌های سال t؛ r: نرخ تنزیل و n: طول دوره مطالعه	(Joshi et al., 2024)
رابطه ۴	$\%PAR_{rel} = \frac{PAR_{under}}{PAR_{open}} \times 100$	PAR _{rel} ٪: درصد تابش فعال فتوسنتزی نسبی عبوری یا در دسترس محصول زیر تاج، PAR _{under} : تابش فعال فتوسنتزی اندازه‌گیری‌شده در زیر تاج و PAR _{open} : تابش فعال فتوسنتزی در فضای باز	Salvadores & Bastías, (2023)
رابطه ۵	$\%PAR_{reduction} = 1 - \frac{PAR_{under}}{PAR_{open}} \times 100$	PAR _{reduction} ٪: درصد تداخل یا کاهش نور	Salvadores & Bastías, (2023)
رابطه ۶	$A = A_{max}(1 - e^{-k \cdot PAR})$	A: نرخ فتوسنتز، A _{max} : حداکثر نرخ فتوسنتز، k: ضریب پاسخ فتوسنتزی به نور و PAR: تابش فعال فتوسنتزی	Salvadores & Bastías, (2023)
رابطه ۷	$DM = \sum (PAR_i \times RUE)$	DM (Dry Matter Production): میزان تولید کل ماده خشک تجمع‌یافته در طول دوره رشد (برحسب gm ⁻² یا kg ha ⁻¹)، PAR _i (Intercepted Photosynthetically Active Radiation): کل تابش فعال فتوسنتزی رهگیری (جذب) شده توسط سایه‌انداز در طول زمان برحسب MJ m ⁻² و RUE (Radiation Use Efficiency): کارایی مصرف تابش یا کارایی تبدیل انرژی نورانی جذب‌شده به بیومس (برحسب g MJ ⁻¹ یا g dry matter per MJ of absorbed PAR)	(Chavan et al., 2022)
رابطه ۸	$I = I_0 \cdot e^{-k \cdot LAI}$	I: شدت نور در زیر تاج، I ₀ : شدت نور در فضای باز، k: ضریب خاموشی (Extinction Coefficient) و LAI: شاخص سطح برگ	(Niinemets, 2010)

تجربه‌های جهانی مرتبط با آگروفرستری مبتنی بر صنوبر

الف) تجربه هند: الگوی بازارمحور

هند یکی از شاخص‌ترین نمونه‌های توسعه صنوبر آگروفرستری بازارمحور در آسیاست، زیرا موفقیت این الگو فقط به سازگاری اکولوژیک صنوبر محدود نیست، بلکه به شکل‌گیری یک زنجیره ارزش به نسبت کامل از نهالستان تا صنایع مصرف‌کننده چوب وابسته بوده است. در ایالت‌هایی مانند پنجاب، هاریانا، اوتار پرداش غربی و نواحی پایکوهی اوتاراکند و هیمچال پرداش، صنوبر اغلب به صورت کاشت ردیفی، مرزی و گاه بلوکی در مزارع تلفیق می‌شود و هم‌زمان محصولات زراعی سالانه نیز در فضای بین ردیف‌ها کشت می‌شوند. این ساختار به کشاورز اجازه می‌دهد، در کوتاه‌مدت از جریان نقدی حاصل از محصولات زراعی و در میان‌مدت تا بلندمدت از فروش چوب، روکش، تخته چندلایه، خمیر کاغذ و سایر مصارف صنعتی منتفع شود. به بیان دیگر، مزیت اصلی الگوی هند در آن است که درخت در مزرعه، نه یک عنصر فقط حفاظتی، بلکه یک دارایی مولد و بازاری تلقی می‌شود (Joshi et al., 2024).

شواهد اقتصادی موجود نشان می‌دهند، این سامانه‌ها، در صورت مدیریت مناسب تراکم، فاصله کاشت و دسترسی به بازار، می‌توانند از کشت تک‌کشتی سودآورتر باشند. در مرور نظام‌مند Joshi و همکاران (۲۰۲۴)، متوسط بازده خالص سالانه سامانه‌های صنوبر-زراعت در ناحیه ساهارانپور (Saharanpur) حدود ۳۴۶/۳۶ دلار در هکتار در سال گزارش شد، درحالی‌که این رقم برای کشت تک‌کشتی حدود ۱۴۰/۷۳ دلار در هکتار در سال بود، یعنی بازده سالانه سامانه تلفیقی، حدود ۲/۴۶ برابر بیشتر بوده است. همچنین، نسبت منفعت به هزینه در برخی شهرستان‌ها مانند یامونانگر (Yamunanagar) و هریدوار (Haridwar) بین ۲/۳۵ تا ۳/۷ گزارش شد که نشان می‌دهد، این سامانه‌ها از منظر اقتصادی کاملاً توجیه‌پذیرند. با این حال همان مطالعه تأکید می‌کند، شدت رقابت نوری با افزایش تراکم تاج‌پوشش، بالا می‌رود، به‌طوری‌که کاهش عملکرد محصول زراعی در تراکم تاج ۳۰ درصد، ۶۰ درصد و ۹۰ درصد به ترتیب حدود

۳۷ درصد، ۷۰ درصد و ۹۹ درصد بوده است. بنابراین، بازارمحور بودن این الگو تنها به وجود تقاضا برای چوب وابسته نیست، بلکه به طراحی فنی سامانه نیز بستگی دارد، یعنی هرچه آرایش کاشت و مدیریت تاج بهتر باشد، تعادل بین درآمد زراعی و درآمد چوبی پایدارتر خواهد بود. در کنار این جنبه مزرعه‌ای، پژوهش Dhiman (۲۰۲۴) نشان می‌دهد، موفقیت آگروفرستری مبتنی بر صنوبر در هند، به وجود یک اقتصاد چرخشی چوب‌محور نیز مربوط است. این مطالعه بیان می‌کند، صنوبر در شمال غرب هند یک زنجیره اقتصادی بالغ ایجاد کرده و ارزش تجارت چوب صنوبر حدود ۱۵۲۲۵ میلیون روپیه برآورد شده است. همچنین، بهبود نظام تولید نهال و استفاده از قلمه‌های مناسب، صرفه‌جویی سالانه‌ای در حدود ۲۰ کرور روپیه ایجاد می‌کند. افزون‌براین، ظرفیت بالقوه تجارت کربن در سامانه‌های صنوبر آگروفرستری حدود ۱۵۳۰ میلیون روپیه برآورد شده است. این ارقام نشان می‌دهند، مزیت صنوبر فقط به فروش چوب خام ختم نمی‌شود، بلکه خدمات جانبی مانند نهال، حمل‌ونقل، فراوری، صنایع پایین‌دستی و حتی اعتبار کربن نیز می‌توانند به سودآوری کل سامانه اضافه شوند (Dhiman et al., 2024).

تجربه هند نشان می‌دهد، موفقیت این سامانه، فقط حاصل سازگاری زیستی صنوبر یا امکان تلفیق آن با محصولات زراعی نیست، بلکه بیش از همه به شکل‌گیری پیوند مؤثر میان تولید مزرعه‌ای، مدیریت فنی سامانه، تقاضای صنعتی و سازوکارهای بازار وابسته است. در چنین الگویی، درخت صنوبر از یک عنصر حفاظتی یا حاشیه‌ای فراتر می‌رود و به بخشی از اقتصاد مزرعه و زنجیره ارزش چوب تبدیل می‌شود. از این منظر، بررسی ویژگی‌های ساختاری این الگو می‌تواند برای سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی در ایران اهمیت زیادی داشته باشد، به‌ویژه در شرایطی که توسعه زراعت چوب و سامانه‌های آگروفرستری نیازمند رویکردی فراتر از کاشت صرف درخت و مبتنی بر ملاحظات فنی، اقتصادی و نهادی است. بر همین اساس، مهم‌ترین ویژگی‌های الگوی بازارمحور صنوبر آگروفرستری در هند و پیامدهای اجرایی آن برای ایران، در ادامه، ارائه شده است (جدول ۳).

جدول ۳- مقایسه ویژگی‌های الگوی بازارمحور آگروفرستری مبتنی بر صنوبر در هند و پیامدهای اجرایی آن برای ایران (Dhiman et al., 2024)

مؤلفه کلیدی	ویژگی در الگوی هند	پیامد اجرایی برای ایران
ساختار بازار	وجود بازار فعال، نسبتاً پایدار و تقاضا محور برای چوب صنوبر	توسعه این سامانه در ایران باید هم‌زمان با ایجاد بازار تضمین‌شده، قراردادهای خرید و شبکه توزیع چوب انجام شود.
پیوند با صنعت	اتصال مستقیم تولیدکنندگان به صنایع تخته چندلایه، روکش، خمیر کاغذ، بسته‌بندی و سایر صنایع چوب‌پایه	استقرار آگروفرستری مبتنی بر صنوبر در ایران باید در مجاورت یا شعاع اقتصادی صنایع مصرف‌کننده چوب برنامه‌ریزی شود.
الگوی درآمدی	ترکیب درآمد کوتاه‌مدت حاصل از محصولات زراعی با درآمد میان‌مدت و بلندمدت حاصل از فروش چوب	این سامانه می‌تواند به‌عنوان ابزار تنوع‌بخشی به درآمد و کاهش آسیب‌پذیری اقتصادی خانوارهای روستایی در ایران به کار گرفته شود.
آرایش کاشت	غلبه الگوهای ردیفی و مرزی و استفاده محدودتر از الگوهای بلوکی	در مزارع کوچک و متوسط ایران، کاشت ردیفی و مرزی برای حفظ سطح زیرکشت زراعی و کاهش تعارض کاربری مناسب‌تر است.
کشت بین‌ردیفی	تداوم کشت زراعی در سال‌های نخست استقرار درختان	انتخاب محصولات زراعی سازگار با سایه نسبی و طراحی نظام کشت در سال‌های ابتدایی برای ایران ضروری است.



مؤلفه کلیدی	ویژگی در الگوی هند	پیامد اجرایی برای ایران
مدیریت رقابت	سودآوری سامانه به مدیریت فاصله کاشت، تراکم درخت، هرس و کنترل رقابت نوری وابسته است.	آموزش تخصصی بهره‌برداران در زمینه مدیریت تاج، فاصله‌گذاری و کاهش رقابت بین درخت و محصول باید در اولویت قرار گیرد.
کیفیت نهال	استفاده از نهال‌ها و کلن‌های اصلاح‌شده و استاندارد	ایجاد نهالستان‌های تخصصی و معرفی مواد گیاهی سازگار با شرایط اقلیمی ایران شرط لازم برای توسعه موفق سامانه است.
نقش بخش خصوصی	مشارکت فعال نهالستان‌ها، خریداران محلی، واسطه‌های بازار و صنایع فراوری	جذب سرمایه‌گذاری بخش خصوصی و تقویت صنایع کوچک و متوسط چوب برای توسعه زنجیره ارزش در ایران اهمیت اساسی دارد.
منطق مکان‌یابی	توسعه سامانه در مناطق دارای مزیت هم‌زمان اکولوژیک و صنعتی	در ایران، پهنه‌بندی اکولوژیک-اقتصادی باید مبنای انتخاب مناطق هدف برای زراعت چوب صنوبر باشد.
رویکرد سیاستی	حمایت از کل زنجیره ارزش، نه تنها کاشت درخت	سیاست‌گذاری در ایران باید از رویکرد ترویجی صرف به سمت رویکرد یکپارچه تولید، بازار، فراوری و پشتیبانی مالی حرکت کند.
ارزیابی اقتصادی	استفاده از شاخص‌هایی مانند سود خالص، BCR و بازده سامانه در مقایسه با تک‌کشتی	لازم است در ایران نیز ارزیابی اقتصادی استانی و مزرعه‌ای برای اثبات مزیت نسبی این سامانه انجام شود.
ملاحظات محیطی	موفقیت سامانه در بستر سازگاری اقلیمی و مدیریت مناسب منابع رخ داده است.	توسعه این الگو در ایران باید با محدودیت‌های آبی، شرایط خاک و پایداری بوم‌شناختی هر منطقه هماهنگ باشد.

هرگونه برنامه‌ریزی برای گسترش آگروفراستری مبتنی بر صنوبر در ایران باید مبتنی بر رویکردی یکپارچه و فرابخشی باشد. در این چهارچوب، شناسایی چالش‌های اصلی و تبدیل آن‌ها به راهکارهای اجرایی و سیاستی، گامی ضروری برای عبور از سطح توصیه‌های کلی و حرکت به سمت برنامه‌ریزی عملیاتی است. براین اساس، مهم‌ترین چالش‌های توسعه آگروفراستری مبتنی بر صنوبر در ایران، همراه با راهکارهای پیشنهادی، نهادهای مسئول، افق زمانی و سطح اولویت، در ادامه ارائه شده است (جدول ۴).

باوجود ظرفیت‌های اکولوژیک و اقتصادی آگروفراستری مبتنی بر صنوبر، تحقق موفقیت این سامانه در ایران فقط به شناسایی مناطق مستعد یا معرفی گونه‌های مناسب محدود نمی‌شود، بلکه مستلزم طراحی مجموعه‌ای از مداخلات هماهنگ در سطوح فنی، اقتصادی، نهادی و سیاستی است. تجربه کشورهایی مانند هند نشان داده است، پایداری و سودآوری این الگو زمانی تقویت می‌شود که توسعه مزرعه‌ای هم‌زمان با تأمین نهال استاندارد، دسترسی به بازار، پشتیبانی اعتباری، آموزش بهره‌برداران و پیوند با صنایع مصرف‌کننده چوب دنبال شود. بنابراین،

جدول ۴- چهارچوب پیشنهادی سیاستی و اجرایی برای توسعه آگروفراستری مبتنی بر صنوبر در ایران (احمدلو و همکاران، ۱۴۰۳)

چالش	راهکار پیشنهادی	نهاد مسئول	افق زمانی	اولویت
نبود بازار مطمئن برای چوب صنوبر	طراحی قراردادهای خرید تضمینی و پیوند مستقیم با صنایع چوب‌پایه	وزارت جهاد کشاورزی، بخش خصوصی، صنایع چوب	کوتاه‌مدت (۱-۲ سال) تا میان‌مدت (۳-۵ سال)	خیلی بالا
پراکندگی جغرافیایی تولید و فاصله از صنایع	توسعه خوشه‌های منطقه‌ای تولید-فراوری در نواحی مستعد	استانداری‌ها، جهاد کشاورزی، سازمان منابع طبیعی، بخش خصوصی	میان‌مدت (۲-۵ سال)	بالا
ضعف در تأمین نهال استاندارد	ایجاد نهالستان‌های تخصصی و معرفی کلن‌های سازگار و تندرشد	مؤسسات تحقیقاتی، نهالستان‌ها، سازمان منابع طبیعی	کوتاه‌مدت (۱-۲ سال) تا میان‌مدت (۳-۵ سال)	خیلی بالا
افت عملکرد محصول زراعی بر اثر رقابت نوری	تدوین دستورالعمل فنی برای فاصله کاشت، هرس و مدیریت تاج	مراکز تحقیقاتی، ادارات ترویج جهاد کشاورزی، دانشگاه‌ها	کوتاه‌مدت (۱-۲ سال)	خیلی بالا
کمبود دانش فنی در سطح بهره‌برداران	اجرای برنامه‌های آموزشی و ترویجی تخصصی برای کشاورزان و کارشناسان	سازمان تات، مراکز ترویج جهاد کشاورزی و دانشگاه‌ها	کوتاه‌مدت (۱-۲ سال) و مستمر	بالا
ریسک بالای سرمایه‌گذاری بلندمدت برای کشاورزان	اعطای تسهیلات کم‌بهره، بیمه زراعت چوب و حمایت از سرمایه‌گذاری اولیه	بانک کشاورزی، صندوق‌های حمایتی، دولت	کوتاه‌مدت (۱-۲ سال) تا میان‌مدت (۳-۵ سال)	خیلی بالا
نبود داده‌های اقتصادی بومی	انجام مطالعات منطقه‌ای بر پایه شاخص‌هایی مانند BCR، NPV و مقایسه با تک‌کشتی	دانشگاه‌ها، مؤسسات پژوهشی، معاونت‌های برنامه‌ریزی	کوتاه‌مدت (۱-۲ سال)	بالا

چالش	راهکار پیشنهادی	نهاد مسئول	افق زمانی	اولویت
انتخاب نامناسب مناطق کاشت	انجام پهنه‌بندی اکولوژیک- اقتصادی و تعیین مناطق اولویت‌دار	سازمان منابع طبیعی، جهاد کشاورزی، مراکز پژوهشی	کوتاه‌مدت (۲-۱ سال) تا میان‌مدت (۵-۳ سال)	خیلی بالا
ضعف در هماهنگی بین‌بخشی	ایجاد کارگروه ملی یا استانی توسعه زراعت چوب و آگروفارستری	دولت، استانداری‌ها، وزارت جهاد کشاورزی	کوتاه‌مدت (۲-۱ سال)	بالا
نادیده گرفتن محدودیت‌های آبی	محدود کردن توسعه به مناطق دارای ظرفیت آبی مناسب و استفاده از الگوهای کم‌فشارتر	وزارت نیرو، جهاد کشاورزی، منابع طبیعی	میان‌مدت (۵-۳ سال)	خیلی بالا
ضعف در ارزش‌افزایی محلی	حمایت از صنایع کوچک و متوسط چوب، بسته‌بندی و فراوری در مبدأ	وزارت صمت، بخش خصوصی، صندوق‌های توسعه	میان‌مدت (۵-۳ سال) تا بلندمدت (۱۰-۶ سال)	بالا
استفاده محدود از منافع زیست‌محیطی سامانه	طراحی پروژه‌های پایلوت برای کربن، کنترل فرسایش و بهبود ریزاقلیم	سازمان محیط‌زیست، منابع طبیعی، مراکز پژوهشی	میان‌مدت (۵-۳ سال) تا بلندمدت (۱۰-۶ سال)	متوسط

برداشت تخصصی برای ایران

مهم‌ترین درس‌ها این است که موفقیت صنوبر آگروفارستری تابع سه شرط هم‌زمان است: تناسب اکولوژیک + طراحی مزرعه + بازار نهایی.

✓ در ایران، اگرچه صنوبر از نظر اکولوژیک در برخی مناطق شمال، شمال غرب و بخش‌هایی از غرب کشور قابلیت استقرار دارد، اما بدون شبکه خرید چوب، قراردادهای فروش، قیمت‌گذاری شفاف و دسترسی به صنایع مصرف‌کننده، انگیزه کشاورز برای ورود به چرخه چندساله تولید پایین می‌ماند.

✓ از نظر فنی، نتایج افت عملکرد محصول زیر تاج نشان می‌دهد، توسعه سامانه باید بر پایه فاصله‌گذاری مناسب، هرس، انتخاب کلن و انتخاب گیاه زراعی سازگار با سایه نسبی انجام شود.

✓ از نظر اقتصادی، ایران می‌تواند به‌جای ترویج عمومی و یکسان، الگوی خوشه‌ای- بازارمحور را اجرا کند، یعنی توسعه صنوبر فقط در شعاع‌هایی انجام شود که دسترسی واقعی به صنایع تخته، روکش، کاغذ، جعبه‌سازی یا بازار چوب وجود دارد.

✓ از نظر سیاستی، حمایت صرف از کاشت نهال کافی نیست، آنچه کشاورز را جذب می‌کند، خرید تضمینی، قرارداد با صنایع، تسهیل حمل‌ونقل و کاهش ریسک فروش در زمان برداشت است.

دلالت‌های سیاستی و اجرایی الگوی هند برای ایران

تجربه هند نشان می‌دهد، موفقیت آگروفارستری فقط به امکان زیست‌محیطی استقرار گونه وابسته نیست، بلکه به هم‌زمانی سه مؤلفه اصلی یعنی تناسب بوم‌شناختی، سودآوری در مزرعه و اتصال واقعی به بازار چوب و صنایع پایین‌دستی بستگی دارد. از این منظر، برای ایران نیز توسعه آگروفارستری مبتنی بر صنوبر زمانی می‌تواند به یک راهبرد پایدار در توسعه روستایی تبدیل شود که از سطح توصیه‌های ترویجی فراتر رود و به‌صورت یک نظام یکپارچه تولید، بازار و سیاست‌گذاری طراحی شود.

نخست، از منظر مکان‌یابی، توسعه این سامانه نباید به‌صورت یکنواخت و سراسری دنبال شود، بلکه لازم است بر پایه پهنه‌بندی اکولوژیک- اقتصادی انجام شود. به بیان دقیق‌تر، مناطقی باید در اولویت قرار گیرند که هم از نظر منابع آب، خاک و اقلیم برای رشد صنوبر مناسب باشند و هم در فاصله اقتصادی قابل‌قبول از صنایع مصرف‌کننده چوب قرار داشته باشند. در ایران، این مناطق به‌ویژه برای بخش‌هایی از شمال، شمال غرب، دامنه‌های البرز، برخی نواحی غربی و کانون‌های دارای پیشینه زراعت چوب اهمیت دارد. اگر استقرار صنوبر در مناطقی فاقد بازار مؤثر یا دارای تنش شدید آبی انجام شود، سامانه از همان ابتدا با ریسک اقتصادی و اکولوژیک مواجه خواهد شد.

دوم، از منظر اقتصادی، مهم‌ترین درس‌ها برای ایران آن است که کشاورز زمانی وارد سامانه‌های چندساله درخت- زراعت می‌شود که افق درآمدی او روشن، قابل پیش‌بینی و کم‌ریسک باشد. بنابراین، سیاست توسعه آگروفارستری مبتنی بر صنوبر در ایران باید از حمایت صرف از کاشت نهال عبور و به سمت تضمین بازار حرکت کند. این امر می‌تواند از طریق قراردادهای خرید با صنایع تخته، MDF، روکش، بسته‌بندی، کاغذ و سایر صنایع چوب‌محور دنبال شود. درواقع، بدون وجود سازوکارهای خرید تضمینی، قیمت‌گذاری شفاف، استانداردسازی چوب و کاهش هزینه‌های مبادله، کاشت صنوبر برای بسیاری از بهره‌برداران خرد به یک سرمایه‌گذاری بلندمدت پرریسک تبدیل خواهد شد.

سوم، از منظر طراحی مزرعه، تجربه‌های مقایسه‌ای نشان می‌دهند، منافع اقتصادی این سامانه‌ها به‌شدت به مدیریت رقابت بین درخت و محصول زراعی وابسته است. در نتیجه، در ایران نباید توسعه آگروفارستری مبتنی بر صنوبر فقط کاشت درخت در مزرعه باشد، بلکه باید با دستورالعمل‌های فنی مشخص در زمینه فاصله کاشت، آرایش ردیفی یا مرزی، هرس، مدیریت تاج، انتخاب کلن و انتخاب محصولات سازگار با سایه نسبی همراه باشد. اهمیت این موضوع از آنجا ناشی می‌شود که با افزایش تراکم تاج‌پوشش، عملکرد محصول



زراعی ممکن است به شدت افت کند و در صورت نبود مدیریت مناسب، درآمد چوبی آینده نیز قادر به جبران کاهش درآمد سالانه کشاورز نباشد. از این رو، در شرایط ایران، الگوهای مرزی و ردیفی برای مزارع کوچک و متوسط، در بسیاری از موارد، از الگوهای متراکم توده‌ای مناسب‌تر خواهند بود.

چهارم، توسعه موفق این سامانه مستلزم تقویت زنجیره تأمین از مرحله نهالستان تا برداشت و حمل است. در ایران، یکی از چالش‌های رایج، ناهمگنی کیفیت نهال، تفاوت در رشد کلن‌ها و ضعف در پیوند میان تولیدکننده نهال و بهره‌بردار نهایی است. بنابراین، ایجاد نهالستان‌های استاندارد، معرفی کلن‌های پررشد و سازگار با شرایط منطقه و تدوین پروتکل‌های فنی برای تکثیر، استقرار و مراقبت اولیه باید جزو اولویت‌ها باشد. این موضوع نه تنها نرخ موفقیت استقرار را افزایش می‌دهد، بلکه دوره بازگشت سرمایه را نیز بهبود می‌بخشد و از اتلاف هزینه‌های اولیه می‌کاهد.

پنجم، از منظر سیاست عمومی، آگروفرستری مبتنی بر صنوبر باید به عنوان یک مداخله بین‌بخشی تعریف شود، نه فقط یک پروژه کشاورزی. موفقیت این سامانه در ایران نیازمند هماهنگی میان نهادهای متولی منابع طبیعی، جهاد کشاورزی، صنایع چوب، نظام بانکی، بخش حمل و نقل و حتی سازوکارهای محیط‌زیستی و کربنی است. به همین دلیل پیشنهاد می‌شود، برنامه‌های توسعه صنوبر در قالب «خوشه‌های منطقه‌ای آگروفرستری» طراحی شوند، به این معنا که در هر خوشه، یک شبکه منسجم شامل نهالستان، مزرعه‌داران، مرکز ترویج، خریداران صنعتی و خدمات لجستیکی شکل بگیرد. این رویکرد، احتمال موفقیت را نسبت به ترویج پراکنده و منفرد به مراتب افزایش می‌دهد.

ششم، در ایران لازم است برای این سامانه، مدل‌های مالی متناسب با ماهیت چندساله سرمایه‌گذاری طراحی شود. از آنجایی که درآمد چوبی در میان مدت یا بلندمدت تحقق می‌یابد، بسیاری از کشاورزان کوچک توان تحمل دوره انتظار را ندارند. بنابراین، ابزارهایی مانند تسهیلات کم‌بهره، وام‌های دوره‌ای مبتنی بر چرخه رشد درخت، بیمه زراعت چوب و مشوق‌های استقرار اولیه می‌توانند نقش تعیین‌کننده‌ای در پذیرش سامانه داشته باشند. در کنار آن، اگر درآمدهای سالانه حاصل از محصولات بین‌ردیفی یا مرزی به دقت طراحی و پایش شوند، فشار اقتصادی دوره انتظار نیز کاهش خواهد یافت.

هفتم، از منظر پایداری محیط‌زیستی، توسعه آگروفرستری مبتنی بر صنوبر در ایران باید با ملاحظات جدی مربوط به آب، تنوع زیستی و کاربری اراضی همراه باشد. صنوبر اگرچه در بسیاری از مناطق رشد سریعی دارد، اما در شرایط کم‌آبی یا مدیریت نامناسب می‌تواند فشار مضاعف بر منابع آب وارد کند. از این رو، هرگونه برنامه توسعه باید همراه با ارزیابی دقیق نیاز آبی، انتخاب محل مناسب و اجتناب از تعمیم الگوهای پرآب‌بر به مناطق دارای تنش شدید آبی باشد. همچنین لازم است سامانه‌ها به گونه‌ای طراحی شوند که ضمن تولید چوب، خدماتی مانند بهبود ریزاقلیم، کاهش فرسایش، افزایش تاب‌آوری معیشتی و تنوع‌بخشی به درآمد روستایی را نیز تقویت کنند.

هشتم، برای استفاده‌پذیری بیشتر در ایران لازم است، پژوهش‌های

آینده از سطح توصیف کلی عبور کنند و ارزیابی‌های منطقه‌ای مبتنی بر شاخص‌های اقتصادی و اکوفیزیولوژیک انجام دهند. به‌ویژه محاسبه شاخص‌هایی مانند BCR ، NPV ، LER ، شدت رقابت نوری، درصد عبور PAR و اثر مدیریت تاج بر عملکرد محصولات زراعی، می‌تواند مبنای علمی دقیق‌تری برای تصمیم‌سازی استانی و ملی فراهم کند. درواقع، انتقال تجربه هند به ایران تنها زمانی معتبر و مؤثر خواهد بود که با داده‌های بومی، قیمت‌های محلی، هزینه‌های واقعی حمل و نقل و شرایط بازار داخلی تطبیق داده شود.

در مجموع، مهم‌ترین دلالت سیاستی برای ایران آن است که آگروفرستری مبتنی بر صنوبر نباید فقط به عنوان یک فعالیت درخت‌کاری دیده شود، بلکه باید به مثابه یک نظام تولیدی-بازاری چندمنظوره طراحی شود که درآمد کوتاه‌مدت کشاورز، ارزش افزوده میان‌مدت چوب و منافع بلندمدت توسعه روستایی را به طور هم‌زمان تأمین کند. براین اساس، هر راهبرد موفق در ایران باید بر چهار پایه استوار باشد: پهنه‌بندی هدفمند، طراحی فنی سامانه، تضمین بازار و پیوند صنعتی و حمایت مالی- نهادی از بهره‌بردار.

ب) تجربه چین: الگوی اکولوژیک محور

در چین، آگروفرستری مبتنی بر صنوبر بیش از آنکه یک الگوی صرفاً تولیدی باشد، به عنوان سامانه‌ای چندکارکردی برای بهینه‌سازی تعامل میان درخت، محصول، خاک، آب و خرداقلیم مطالعه می‌شود. در این چهارچوب، پرسش اصلی پژوهش‌ها این نیست که «چگونه چوب بیشتر تولید شود»، بلکه این است که «چگونه می‌توان با آرایش مناسب صنوبر و مدیریت فنی سامانه، بهره‌وری کل زمین را افزایش داد، در عین حال رقابت منفی بر سر نور و آب را نیز کنترل کرد.» تحقیقات جدید نیز نشان می‌دهند، در سامانه‌های آگروفرستری صنوبر، دانش پژوهشی، اغلب بر شکاف‌های مربوط به تعاملات درخت-محصول، رهگیری نور، آب مصرفی، سلامت خاک و پایداری بلندمدت متمرکز است (Enescu et al., 2026). مطالعه Yuan و همکاران (۲۰۰۱) در استان Hebei نشان داد، فاصله ردیف‌های صنوبر نقش تعیین‌کننده‌ای در عملکرد گندم و وضعیت رطوبتی خاک دارد. در این پژوهش، با افزایش فاصله ردیف‌ها از ۳ تا ۱۵ متر، فتوسنتز، تعرق و عملکرد گندم بهبود یافت، در حالی که فاصله‌های بسیار کم به سایه‌اندازی شدید، کاهش جذب نور و افت عملکرد منجر شدند. نتایج پژوهشگران نشان داد، برای توده چهارساله صنوبر، فاصله بهینه برای بهینه‌سازی عملکرد گندم حدود ۲۱ تا ۲۲ متر است. همچنین پیشنهاد شد، در سال‌های اولیه، آرایش حدود ۲۰ متر و پس از رشد بیشتر درختان، تنک‌سازی یا افزایش فاصله تا حدود ۴۰ متر در نظر گرفته شود تا تعادل میان تولید چوب و محصول زراعی حفظ شود (Yuan et al., 2001). این یافته‌ها نشان می‌دهند، در الگوی چینی، کارایی سامانه نه فقط به حضور درخت در مزرعه، بلکه به تنظیم دقیق هندسه کاشت و مدیریت تدریجی تاج و سیستم ریشه‌ای وابسته است. در مطالعه‌ای دیگر در شرق Henan، مقایسه سامانه‌های صنوبر-گندم

با سنین مختلف نشان داد، با افزایش سن درختان، رقابت برای منابع تشدید می‌شود و سازگاری سامانه برای رشد گندم کاهش می‌یابد. در سامانه دوساله، گندم از نظر ارتفاع، زیست توده، مصرف آب و کارایی استفاده از آب عملکرد بهتری نسبت به سامانه‌های مسن‌تر داشت، اما در توده‌های ۷ و ۱۲ ساله، فشار سایه و رقابت ریشه‌ای به‌وضوح بیشتر شد و پژوهشگران توصیه کردند، در توده‌های قدیمی‌تر، به‌جای گندم از محصولات متحمل‌تر به سایه استفاده شود (He et al., 2015). این نتیجه برای تحلیل چین بسیار مهم است، زیرا نشان می‌دهد، موفقیت آگروفراستری مبتنی بر صنوبر در این کشور وابسته به «سن سامانه» و «مرحله تکامل تاج پوشش» است، یعنی همان سامانه‌ای که در سال‌های آغازین می‌تواند هم‌زمان به حفظ رطوبت خاک، کاهش تبخیر، تعدیل باد و افزایش بهره‌وری زمین کمک کند، در مراحل بعدی ممکن است به علت افزایش LAI و انسداد بیشتر نور، به رقیبی جدی برای محصول زیرکشت تبدیل شود.

در سطح اکولوژیک، مطالعات انجام‌شده در مناطق خشک و نیمه‌خشک چین نیز نشان می‌دهند، صنوبر به‌ویژه گونه‌ها و کلن‌های سازگار با شرایط خشک، در تنظیم خرداقلیم و حفاظت منابع نقش قابل توجهی دارد. در این سامانه‌ها، کاهش سرعت باد، کاهش تبخیر سطحی، تعدیل دمای هوای نزدیک سطح زمین و کمک به حفظ رطوبت خاک از مهم‌ترین خدمات اکوسیستمی هستند که درختان صنوبر فراهم می‌کنند. با این حال، مزیت اکولوژیک فقط زمانی پایدار می‌ماند که فاصله کاشت، تراکم، جهت ردیف‌ها، عمق

و گستره ریشه و نیاز آبی محصول همراه به‌صورت فنی طراحی شوند، درغیراین‌صورت، رقابت آبی می‌تواند مزیت‌های سامانه را تضعیف کند. به همین دلیل، پژوهش‌های چینی معمولاً بر تعادل میان «رهگیری نور برای درخت» و «دسترسی نور و آب برای محصول» تأکید دارند و بهره‌وری را در قالب شاخص‌هایی مانند نسبت برابری زمین، کارایی مصرف آب و ارزیابی خرداقلیم بررسی می‌کنند (Yuan et al., 2001; He et al., 2015; Enescu et al., 2026).

برای ایران، پیام این تجربه روشن است: آگروفراستری مبتنی بر صنوبر نباید فقط به‌عنوان کاشت درخت در کنار زراعت تلقی شود، بلکه باید به‌عنوان یک سامانه مهندسی‌شده اکولوژیک طراحی شود. در اقلیم‌های با محدودیت شدید آب‌و‌خاک، اگر آرایش کاشت، فاصله ردیف‌ها، تراکم و انتخاب محصول همراه بر پایه ویژگی‌های نوری و آبی محل تنظیم نشوند، صنوبر می‌تواند به‌جای بهبود بهره‌وری، فشار رقابتی بر سامانه را افزایش دهد. بنابراین، تجربه چین نشان می‌دهد، موفقیت این الگو در ایران منوط به پهنه‌بندی اکولوژیک، طراحی دقیق هندسه کشت، مدیریت تاج و ریشه و انتخاب ترکیب‌های سازگار درخت صنوبر- محصول زیرکشت است، یعنی جایی که منطق اصلی، نه بازار، بلکه پایداری بوم‌شناختی و تنظیم علمی تعاملات درون سامانه است. براین‌اساس، مهم‌ترین شاخص‌های اکولوژیک به‌کاررفته در مطالعات چین و دلالت‌های آن‌ها برای بومی‌سازی و توسعه سامانه‌های آگروفراستری مبتنی بر صنوبر در ایران، در جدول ۵، ارائه شده است.

جدول ۵- شاخص‌های اکولوژیک کلیدی در الگوی آگروفراستری مبتنی بر صنوبر در چین و دلالت‌های کاربردی آن‌ها برای ایران (Enescu et al., 2026)

شاخص اکولوژیک	تعریف	واحد/ روش اندازه‌گیری	نقش در الگوی چین	کاربرد در ایران
LER	نسبت عملکرد سامانه مخلوط به کشت خالص	بدون واحد/ بر پایه نسبت عملکرد در کشت مخلوط به خالص	سنجش برتری فضایی و کارایی استفاده از زمین	ارزیابی مزیت سامانه در شرایط محدودیت زمین و آب
ATER	شاخص کارایی زمین تعدیل‌شده برحسب زمان	بدون واحد/ براساس LER و طول دوره اشغال زمین	ارزیابی واقع‌بینانه سامانه‌های چندساله	تحلیل بهره‌وری بلندمدت سامانه‌های مبتنی بر صنوبر
LAI	نسبت سطح برگ به سطح زمین، شاخص تراکم تاج	مترمربع برگ در مترمربع زمین / با LAI meter یا روش‌های نوری	سنجش سایه‌اندازی و رقابت نوری	تنظیم تراکم، فاصله کاشت و مدیریت تاج
PAR	تابش فعال فتوسنتزی قابل‌استفاده گیاه	$\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ / با PAR meter یا سنسور کوانتومی	ارزیابی نفوذ نور به زیرتاج	تعیین آرایش کاشت و کاهش افت عملکرد محصول زیرکشت
RUE	کارایی تبدیل تابش جذب‌شده به زیست‌توده	g MJ^{-1} (گرم بر مگاژول) / از نسبت زیست‌توده به مقدار تابش فعال فتوسنتزی جذب‌شده (APAR)	سنجش کارایی فیزیولوژیک سامانه	مقایسه کارایی ترکیب‌های درخت- محصول
WUE	نسبت عملکرد یا زیست‌توده به آب مصرفی	kg m^{-3} (کیلوگرم بر مترمکعب) / از نسبت عملکرد به مقدار کل تبخیر- تعرق (ET) یا آب مصرفی	شاخص کلیدی عملکرد در شرایط کم‌آبی	طراحی و ارزیابی سامانه در اقلیم خشک و نیمه‌خشک



شاخص اکولوژیک	تعریف	واحد/ روش اندازه گیری	نقش در الگوی چین	کاربرد در ایران
رطوبت خاک	آب قابل دسترس در ناحیه ریشه	درصد حجمی - وزنی / با TDR یا حسگر رطوبتی	بازتاب تعادل حفظ و مصرف آب توسط درخت و محصول	ارزیابی رقابت آبی و انتخاب ترکیب مناسب گونه درختی - محصول
دمای خرداقلیم	دمای هوای نزدیک سطح زمین درون زیر تاج	درجه سانتی گراد/ با دیتالاگرای محیطی یا ایستگاه میکروکلیماتیک	سنجش اثر تعدیل حرارتی درختان	کاهش تنش گرمایی در مناطق گرم
رطوبت نسبی خرداقلیم	مقدار بخار آب هوای نزدیک سطح زمین	درصد/ با رطوبت سنج یا دیتالاگر محیطی	سنجش تعدیل رطوبتی سامانه	کاهش تبخیر و تنش آبی
سرعت باد	شدت جریان هوا در داخل یا اطراف سامانه	متر بر ثانیه/ با بادسنج یا آنومتر	ارزیابی نقش بادشکنی صنوبر	کاهش تبخیر و حفاظت محصول در اراضی بادخیز
ترسیب کربن زیست توده	مقدار کربن ذخیره شده در اندام های درختی	$1 \text{ t C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ / از برآورد زیست توده خشک و ضریب کربن	سنجش نقش سامانه در جذب کربن	ارزیابی خدمات اکوسیستمی و کاهش تغییر اقلیم
کربن آلی خاک	مقدار کربن موجود در ماده آلی خاک	1 g kg^{-1} یا درصد/ با احتراق خشک یا روش اکسیداسیون شیمیایی (Walkley-Black)	شاخص سلامت و پایداری خاک	بهبود حاصلخیزی و ذخیره کربن خاک
دمای خاک	وضعیت حرارتی لایه های سطحی و ریشه دوانی	درجه سانتی گراد/ با دماسنج خاک یا حسگر حرارتی در عمق های مختلف	ارزیابی تعدیل حرارتی بستر ریشه	بهبود استقرار ریشه و فعالیت زیستی خاک
فرسایش خاک	میزان اتلاف خاک در اثر آب یا باد	$1 \text{ t ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ (تن در هکتار در سال) / با پلات فرسایش، رسوب سنجی یا RUSLE	سنجش نقش حفاظتی صنوبر در تثبیت خاک	حفاظت خاک در اراضی شیب دار و بادخیز

دلالت های سیاستی و اجرایی الگوی چین برای ایران

تحلیل تجربه چین در توسعه سامانه های آگروفرستری مبتنی بر صنوبر نشان می دهد، موفقیت این الگو بیش از آنکه فقط به گسترش سطح زیرکشت وابسته باشد، به طراحی فنی مبتنی بر اصول بوم شناختی، پایش مستمر شاخص های اکولوژیک و مدیریت تطبیقی سامانه در طول زمان بستگی دارد. درواقع، الگوی چین نشان می دهد، آگروفرستری مبتنی بر صنوبر تنها زمانی می تواند به عنوان یک راهبرد پایدار در مدیریت اراضی مطرح شود که تعاملات درخت - محصول - خاک - آب - خرداقلیم به صورت علمی شناخته و کنترل شوند. براین اساس، برای شرایط ایران می توان مجموعه ای از دلالت های سیاستی و اجرایی را مطرح کرد:

✓ ضرورت پهنه بندی اکولوژیک پیش از توسعه سامانه

نخستین دلالت مهم آن است که توسعه سامانه های آگروفرستری صنوبر در ایران نباید به صورت یکنواخت و بدون ارزیابی بوم شناختی انجام شود. تنوع شدید اقلیمی، محدودیت منابع آب، تفاوت در کیفیت خاک و حساسیت برخی مناطق به فرسایش ایجاب می کند که پیش از هرگونه توسعه، پهنه بندی اکولوژیک برای شناسایی مناطق مناسب انجام شود. در این پهنه بندی باید شاخص هایی نظیر کارایی مصرف آب (WUE)، رطوبت خاک، شدت و توزیع تابش فتوسنتزی (PAR)، دمای خرداقلیم، سرعت باد و خطر فرسایش خاک در نظر گرفته شوند.

به بیان دیگر، سیاست گذاری نباید بر این فرض استوار باشد که الگوی آگروفرستری صنوبر در همه مناطق کشور به یک شکل قابل اجراست، بلکه لازم است نسخه های منطقه ای متناسب با شرایط اکولوژیک هر پهنه طراحی شود.

✓ طراحی فنی سامانه بر پایه شاخص های اکولوژیک

تجربه چین به خوبی نشان می دهد، فاصله کاشت، جهت ردیف ها، تراکم درخت، نوع آرایش فضایی و انتخاب کلن های صنوبر، عوامل تعیین کننده ای در موفقیت سامانه هستند. در ایران، توسعه این سامانه ها نیازمند گذار از روش های سنتی و عرفی به سمت اتخاذ الگوهای بهینه هندسه کاشت و آرایش های فضایی علمی است. برای مثال، شاخص هایی مانند LAI و PAR می توانند مبنای تنظیم فاصله ردیف ها و مدیریت تاج قرار گیرند تا از سایه اندازی بیش از حد و افت عملکرد محصول زیرکشت جلوگیری شود. همچنین، شاخص هایی مانند WUE و رطوبت خاک باید در تعیین تراکم مناسب درختان استفاده شوند تا رقابت آبی میان درخت و محصول در شرایط کم آبی ایران به حداقل برسد. بنابراین، یکی از الزامات اجرایی در ایران، تدوین دستورالعمل های فنی منطقه محور برای طراحی سامانه های آگروفرستری صنوبر است.

✓ استقرار نظام مدیریت تطبیقی در طول چرخه رشد سامانه

یکی از مهم ترین یافته های مطالعات چین آن است که اثرهای صنوبر

بر محصول همراه در طول زمان ثابت نیست و با افزایش سن درختان، شدت رقابت برای نور، آب و فضا افزایش می‌یابد. این موضوع برای ایران نیز اهمیت اساسی دارد، زیرا بسیاری از سامانه‌هایی که در سال‌های ابتدایی موفق به نظر می‌رسند، در مراحل بعدی ممکن است به دلیل افزایش تراکم تاج و توسعه ریشه، موجب افت عملکرد محصول زراعی شوند (احمدلو و همکاران، ۱۴۰۱). براین اساس، مدیریت سامانه در ایران باید پویا و تطبیقی باشد، به این معنی که در مراحل مختلف رشد درخت، اقداماتی نظیر تنک‌سازی، هرس تاج، اصلاح فاصله مؤثر و تغییر نوع محصول همراه انجام شود. به‌ویژه در سال‌های بالاتر، احتمالاً لازم خواهد بود به جای محصولات حساس به سایه، از گونه‌ها یا گیاهان زراعی متحمل‌تر استفاده شود. بنابراین، نگاه به آگروفارستری صنوبر نباید ایستا باشد، بلکه باید آن را سامانه‌ای در حال تحول دانست که نیازمند بازتنظیم مستمر است.

✓ **اولویت‌بخشی به مدیریت آب در طراحی و ارزیابی سامانه**
در شرایط ایران که کمبود آب یکی از اصلی‌ترین محدودیت‌های توسعه کشاورزی است، کارایی مصرف آب باید در مرکز تصمیم‌گیری درباره سامانه‌های آگروفارستری صنوبر قرار گیرد. اگرچه الگوی چین‌شان می‌دهد، پوشش درختی می‌تواند از طریق تعدیل خرداقلیم، کاهش سرعت باد و کاهش تبخیر سطحی، به حفظ رطوبت خاک کمک کند، اما درعین حال گسترش ریشه و افزایش مصرف آب درختان نیز می‌تواند رقابت آبی شدیدی ایجاد کند. ازاین‌رو، در ایران هرگونه برنامه‌ریزی برای توسعه این سامانه باید بر مبنای تراز آبی سامانه انجام شود. این بدان معناست که علاوه بر اندازه‌گیری شاخص‌هایی مانند WUE و رطوبت خاک، باید سهم هر جزء سامانه در مصرف آب، تبخیر - تفرق و بهره‌وری نهایی آب نیز پایش شود. در مناطق خشک و نیمه‌خشک، این موضوع حتی می‌تواند مبنای محدودسازی تراکم درخت یا انتخاب کلن‌های کم‌مصرف‌تر قرار گیرد.

✓ **توجه به خدمات اکوسیستمی فراتر از تولید چوب**
یکی از تفاوت‌های مهم میان الگوی چین و برخی رویکردهای صرفاً اقتصادی آن است که در چین، سامانه‌های آگروفارستری صنوبر نه فقط به‌عنوان منبع تولید چوب، بلکه به‌عنوان ابزاری برای بهبود کارکردهای اکولوژیک زمین موردتوجه قرار گرفته‌اند. این دیدگاه برای ایران نیز بسیار راهگشاست. توسعه این سامانه‌ها می‌تواند در اراضی مستعد فرسایش، در مناطق بادخیز و در زمین‌هایی که با افت ماده آلی خاک مواجه‌اند، نقش حفاظتی و ترمیمی مهمی ایفا کند. شاخص‌هایی مانند فرسایش خاک، کربن آلی خاک، دمای خاک و ترسیب کربن زیست‌توده نشان می‌دهند، سامانه آگروفارستری صنوبر می‌تواند بخشی از سیاست‌های کلان کشور در زمینه حفاظت خاک، احیای زمین‌های تخریب‌شده و سازگاری با تغییر اقلیم باشد. بنابراین، ارزیابی این سامانه در ایران نباید تنها براساس عملکرد چوب یا محصول زراعی انجام شود، بلکه باید ارزش خدمات اکوسیستمی آن نیز در تحلیل‌ها لحاظ شود.

✓ **ضرورت ایجاد نظام پایش و ارزیابی مستمر**
یکی دیگر از دلالت‌های اساسی تجربه چین آن است که موفقیت سامانه

بدون پایش مستمر شاخص‌های اکولوژیک و تولیدی امکان‌پذیر نیست. در ایران نیز توسعه آگروفارستری صنوبر باید همراه با استقرار یک نظام پایش مزرعه‌ای باشد که در آن شاخص‌هایی مانند عملکرد محصول، LER، ATER، رطوبت خاک، PAR، LAI، سرعت باد، دمای خرداقلیم و تغییرات کیفیت خاک به‌طور منظم اندازه‌گیری شوند. چنین نظامی این امکان را فراهم می‌کند که در صورت بروز عدم تعادل در سامانه، اصلاحات مدیریتی پیش از بروز خسارت‌های جدی انجام شود. از منظر اجرایی، این امر مستلزم همکاری میان مراکز تحقیقاتی، سازمان‌های اجرایی و بهره‌برداران محلی است. به‌بیان‌دیگر، توسعه سامانه باید از حالت «اجرای یک‌باره» خارج و به فرایندی مبتنی بر یادگیری، بازخورد و اصلاح مستمر تبدیل شود.

✓ **تقویت پیوند میان طراحی اکولوژیک و زنجیره ارزش اقتصادی**
اگرچه تجربه چین از منظر پایداری اکولوژیک بسیار آموزنده است، اما توسعه موفق این سامانه‌ها در ایران صرف تمرکز بر بهینه‌سازی فنی سامانه کافی نخواهد بود. تحلیل مقایسه‌ای الگوهای چین و هند نشان می‌دهد، پایداری نهایی سامانه زمانی تضمین می‌شود که کارایی اکولوژیک با کشش بازار و بازگشت اقتصادی هم‌سو شود. به همین دلیل، در ایران توسعه آگروفارستری صنوبر نباید فقط بر مبنای امید به بازار آینده چوب انجام شود، بلکه لازم است از ابتدا پیوند میان تولیدکننده، صنایع چوب، کارگاه‌های مصرف‌کننده و بازار نهایی تعریف شود. درغیراین‌صورت، سامانه‌های بهینه از نظر اکولوژیک به دلیل نبود توجیه اقتصادی، جذابیت خود را برای بهره‌برداران از دست خواهند داد. درنتیجه، سیاست‌گذاری در ایران باید رویکردی تلفیقی را اتخاذ کند، به‌طوری‌که طراحی فنی سامانه‌ها بر پایه شاخص‌های اکولوژیک استوار شود و هم‌زمان، سازوکارهای بازار، پیمان‌های خرید تضمینی و مشوق‌های حمایتی برای بهره‌برداران فراهم آید.

✓ **لزم بازنگری در برنامه‌های ترویجی و آموزشی**
اجرای موفق سامانه‌های آگروفارستری صنوبر در ایران مستلزم آن است که کشاورزان، کارشناسان و مروجان، درک دقیقی از منطق اکولوژیک این سامانه داشته باشند. در بسیاری از موارد، شکست سامانه‌های درخت - محصول ناشی از آن است که بهره‌بردار بدون شناخت کافی از اصولی مانند رقابت نوری، رقابت آبی، مدیریت تاج یا انتخاب محصول همراه اقدام به کشت می‌کند. بنابراین، یکی از دلالت‌های اجرایی مهم، تدوین برنامه‌های آموزشی و ترویجی هدفمند برای انتقال دانش فنی است. این برنامه‌ها باید شامل آموزش درباره تنظیم فاصله کاشت، پایش رطوبت خاک، تشخیص آستانه سایه‌اندازی، زمان مناسب هرس و تنک‌سازی و انتخاب محصول مناسب در مراحل مختلف رشد درخت باشد (اسدی و کلاگری، ۱۳۹۸). چنین ظرفیتی می‌تواند شکاف میان دانش پژوهشی و اقدامات کاربردی را در سطح مزرعه کاهش دهد.

✓ **توسعه پژوهش‌های بومی‌سازی‌شده متناسب با شرایط اکوفیزیولوژیک ایران**

اگرچه یافته‌های پژوهشی کشور چین چهارچوب‌های نظری و تجربی ارزشمندی را فراهم می‌کنند، اما تعمیم مستقیم و بدون تعدیل این



نتایج به اکوسیستم‌های کشاورزی ایران می‌تواند منجر به بروز ناسازگاری‌های فنی و اتخاذ تصمیمات نادرست در فاز اجرایی شود. تفاوت‌های بنیادین در رژیم‌های اقلیمی (به‌ویژه تبخیر- تعرق با پتانسیل بالا و تنش‌های شدید حرارتی و خشکی در ایران در مقایسه با مناطق نیمه‌مرطوب محل اجرای طرح‌ها در چین)، بافت و شوری خاک، محدودیت‌های منابع آب زیرزمینی، همچنین ساختار مالکیت اراضی و نظام بهره‌برداری خرده‌مالکی در ایران ایجاب می‌کند، پژوهش‌های مستقل، چندمکانی و بلندمدت طراحی و اجرا شوند. این پژوهش‌ها باید بر تعیین آرایش‌های هندسی بهینه کاشت، گزینش کلن‌های سازگار و متحمل به خشکی صنوبر و ارزیابی پویای شاخص‌های اکوفیزیولوژیک متمرکز باشند. از این رو، از منظر سیاست‌گذاری پژوهش در بخش کشاورزی و منابع طبیعی، حمایت مالی و ساختاری از طرح‌های تحقیقاتی بلندمدت، چندسایتی و چندرشته‌ای در سامانه‌های آگروفرستری صنوبر یک ضرورت راهبردی است، چراکه بدون این پشتوانه علمی بومی، توسعه گسترده این الگوها به جای ایفای نقش به‌عنوان یک راهکار پایدار، به مداخله‌ای پرریسک با پیامدهای نامطلوب اقتصادی و اکولوژیک تبدیل خواهد شد.

✓ اتخاذ رویکرد تلفیقی برای توسعه سامانه در ایران

جمع‌بندی تجربه چین و هند نشان می‌دهد، مناسب‌ترین مسیر برای ایران، نه تقلید صرف از الگوی بازارمحور هند و نه پیروی کامل از الگوی اکولوژیک‌محور چین، بلکه ترکیب هوشمندانه این دو رویکرد است. ایران نیازمند الگویی است که در آن هندسه کشت علمی، مدیریت آب، تنظیم خرداقلیم و حفاظت خاک از تجربه چین الهام بگیرد و هم‌زمان زنجیره ارزش، تضمین بازار و منطق اقتصادی کشاورز از تجربه هند مورد توجه قرار گیرد. چنین رویکردی می‌تواند احتمال موفقیت و پذیرش اجتماعی سامانه را افزایش دهد و آن را از یک مداخله فقط آزمایشی به یک گزینه واقعی برای توسعه پایدار کشاورزی و منابع طبیعی کشور تبدیل کند. براساس تجربه چین، توسعه سامانه‌های آگروفرستری صنوبر در ایران باید بر پایه پهنه‌بندی اکولوژیک، طراحی فنی مبتنی بر شاخص‌های زیست‌محیطی، مدیریت تطبیقی در طول زمان، پایش مستمر و توجه هم‌زمان به خدمات اکوسیستمی و سودآوری اقتصادی استوار باشد. به بیان دیگر، آینده این سامانه در ایران در گرو آن است که از یک سو، محدودیت‌های اکولوژیک کشور- به‌ویژه کم‌آبی، حساسیت خاک و تنش‌های اقلیمی- به‌طور علمی در طراحی سامانه لحاظ شوند و از سوی دیگر، سازوکارهای اقتصادی و نهادی لازم برای تضمین منافع بهره‌برداران فراهم شود. از این منظر، الگوی مطلوب برای ایران را می‌توان الگویی «اکولوژیک- اقتصادی» دانست که در آن پایداری محیطی و جذابیت اقتصادی به‌طور هم‌زمان دنبال می‌شوند.

ج) تجربه اروپا: الگوی سیاست‌محور

در اروپا، آگروفرستری به‌صورت یک سیاست مستقل و منفرد حمایت نمی‌شود، بلکه در چهارچوب سیاست کشاورزی مشترک اتحادیه اروپا (CAP 2023-2027) و از طریق ترکیبی از ابزارهای حمایتی ادغام شده است. مبنای حقوقی این رویکرد در Regulation (EU) 2021/2115 قرار دارد، به‌ویژه ماده ۴- بند ۳- زیربند الف درباره «مساحت کشاورزی»

و ماده ۴- بند ۳- زیربند ب درباره «هکتار واجد شرایط» که به‌گونه‌ای تدوین شده‌اند تا نظام‌های آگروفرستری را نیز پوشش دهند، مشروط بر آنکه فعالیت کشاورزی در قطعه‌زمین ادامه داشته باشد (European Parliament and Council, 2021). به بیان دیگر، وجود درخت در اراضی کشاورزی به‌خودی‌خود مانع شمول زمین در حمایت‌های CAP نمی‌شود، بلکه معیار اصلی، حفظ کاربری کشاورزی و برآورده‌شدن شروط مقرر در برنامه راهبردی هر کشور عضو است.

از منظر اجرایی، حمایت از آگروفرستری در CAP از مسیر پرداخت‌های مستقیم، اکوشیم‌ها (eco-schemes)، تعهدات مدیریتی زیست‌محیطی و اقلیمی، سرمایه‌گذاری‌های روستایی و خدمات مشاوره‌ای انجام می‌شود. اکوشیم‌ها پرداخت‌های سالانه‌ای هستند که برای اقدامات فراتر از الزامات پایه در نظر گرفته می‌شوند و می‌توانند از اقداماتی مانند حفظ یا ایجاد درختان، ردیف‌های درختی، پرچین‌ها، عناصر منظر، یا مدیریت‌های دوستدار تنوع زیستی پشتیبانی کنند. در بسته CAP 2023-2027، بخش قابل توجهی از هزینه عمومی به اهداف زیست‌محیطی و اقلیمی اختصاص یافته است، با این حال، سازوکار CAP بیشتر بر پرداخت برای اقدامات و تعهدات مدیریتی مبتنی است تا پرداخت مستقیم براساس ارزش واقعی خدمات اکوسیستمی (European Commission, 2022). این بدان معناست که آگروفرستری در اروپا نه تنها یک نظام تولیدی، بلکه ابزاری برای تحقق کشاورزی چندکارکردی و ارائه خدماتی مانند ترسیب کربن، حفاظت خاک، بهبود مدیریت آب، افزایش تنوع زیستی و تعدیل ریزاقلیم تلقی می‌شود (Fagerholm et al., 2016; Jacobs et al., 2022). شواهد علمی نیز این منطق سیاستی را پشتیبانی می‌کنند. Fagerholm و همکاران (۲۰۱۶) در یک نقشه نظام‌مند نشان دادند، ارزیابی خدمات اکوسیستمی در آگروفرستری اروپا پراکنده و ناهمگون است و خلاهای مهمی در سنجش و کمی‌سازی این خدمات وجود دارد. Ja-cobs و همکاران (۲۰۲۲) نیز نشان دادند، ادغام درختان در سامانه‌های زراعی معتدل می‌تواند ریزاقلیم و توازن آب را تغییر دهد و از این طریق به سازگاری با گرما و خشکی کمک کند. از سوی دیگر، Rosso و همکاران (۲۰۲۱) در مطالعه موردی در دره پو ایتالیا نشان دادند، سامانه‌های آگروفرستری می‌توانند از نظر اقتصادی نیز رقابتی باشند، هرچند عملکرد محصول ممکن است در تراکم کاشت بالا کاهش یابد. این مطالعه همچنین بر این نکته تأکید کرد که سیاست‌ها و ابزارهای CAP/RDP در طول چند دهه، همواره به‌طور کامل با کشت تلفیقی درخت و محصول زراعی سازگار نبوده‌اند و حمایت سیاسی و مالی هدفمند برای تحقق منافع اکولوژیک و اقتصادی این سامانه‌ها ضروری است (Rosso et al., 2021).

دلالت‌های سیاستی و اجرایی الگوی اروپا برای توسعه آگروفرستری در ایران

تجربه اتحادیه اروپا نشان می‌دهد، توسعه پایدار آگروفرستری فقط با پرداخت یارانه یا افزایش سطح زیرکشت تحقق نمی‌یابد، بلکه مستلزم تلفیق شناسایی حقوقی اراضی آگروفرستری، حمایت‌های مالی هدفمند، انعطاف‌پذیری منطقه‌ای، خدمات مشاوره‌ای تخصصی و پایش مستمر پیامدهای اکولوژیک و اقتصادی است. در سیاست مشترک کشاورزی اتحادیه اروپا برای دوره ۲۰۲۳-۲۰۲۷، آگروفرستری در قالب یک برنامه

واحد و یکسان اجرا نمی‌شود، بلکه کشورهای عضو می‌توانند متناسب با شرایط خود از ابزارهایی مانند اکوشیم‌ها، تعهدات اقلیمی-محیط‌زیستی، سرمایه‌گذاری‌های سبز، حمایت از عناصر منظر و برنامه‌های انتقال دانش استفاده کنند. این چهارچوب، دلالت‌های سیاستی و اجرایی مهمی برای توسعه سامانه‌های صنوبر آگروفرستری در ایران دارد.

✓ به رسمیت شناختن حقوقی اراضی آگروفرستری

نخستین دلالت تجربه اروپا، ضرورت تعریف رسمی و شفاف اراضی آگروفرستری در نظام حقوقی و اجرایی ایران است. در چهارچوب سیاست مشترک کشاورزی اروپا، وجود درخت در اراضی کشاورزی لزوماً موجب خروج زمین از شمول حمایت‌های کشاورزی نمی‌شود، مشروط بر آنکه فعالیت کشاورزی در قطعه زمین استمرار داشته باشد. مقرر اتحادیه اروپا شماره ۲۰۲۱/۲۱۱۵، تعریف «مساحت کشاورزی» را به گونه‌ای تنظیم کرده است که امکان شناسایی سامانه‌هایی را فراهم آورد که در آن‌ها درختان در اراضی کشاورزی و هم‌زمان با تداوم فعالیت زراعی یا دامداری مدیریت می‌شوند (European Parliament and Council, 2021). در ایران نیز لازم است آگروفرستری به عنوان یک کاربری تلفیقی و مجاز در اراضی کشاورزی تعریف شود. حضور درخت نباید موجب حذف زمین از پوشش بیمه کشاورزی، تسهیلات بانکی، یارانه‌های تولیدی یا سایر حمایت‌های بخش کشاورزی شود. تدوین تعریف حقوقی روشن برای اراضی تحت سامانه‌های آگروفرستری می‌تواند ابهام‌ها و تعارض‌های نهادی میان دستگاه‌های متولی بخش کشاورزی و منابع طبیعی را کاهش دهد و امنیت حقوقی سرمایه‌گذاری‌های بلندمدت بهره‌برداران را تقویت کند.

✓ طراحی بسته‌های حمایتی چندابزاری و هدفمند

تجربه اروپا نشان می‌دهد، حمایت از آگروفرستری نباید به یک ابزار مالی محدود شود. در چهارچوب CAP 2023-2027، کشورهای عضو می‌توانند از اکوشیم‌های موضوع ماده ۳۱، تعهدات اقلیمی-محیط‌زیستی موضوع ماده ۷۰، حمایت‌های سرمایه‌گذاری، خدمات مشاوره‌ای و برنامه‌های انتقال دانش استفاده کنند. اکوشیم‌ها اغلب پرداخت‌های سالانه برای اجرا یا حفظ اقدامات محیط‌زیستی‌اند، درحالی‌که تعهدات اقلیمی-محیط‌زیستی معمولاً ماهیتی چندساله دارند. با این حال، وجود این ابزارها در سطح اتحادیه اروپا به معنای برخورداری همه سامانه‌های آگروفرستری از یک پرداخت یکسان نیست و جزئیات حمایت در برنامه راهبردی هر کشور تعیین می‌شود (European Commission, 2022). براین اساس، حمایت از آگروفرستری صنوبر در ایران نیز باید در قالب بسته‌ای چندجزئی طراحی شود. این بسته می‌تواند شامل کمک بلاعوض برای هزینه‌های استقرار، تسهیلات کم‌بهره برای دوره رویش درختان، یارانه بیمه، پرداخت برای عملیات حفاظتی مانند هرس و تنک‌سازی و مشوق‌های مبتنی بر خدمات اکوسیستمی باشد. تفکیک حمایت‌های کوتاه‌مدت از تعهدات مدیریتی بلندمدت، احتمال استمرار سامانه را پس از پایان مرحله استقرار افزایش می‌دهد.

✓ اجتناب از نسخه‌های یکنواخت و توسعه سیاست‌های منطقه‌محور

برنامه‌های راهبردی CAP نشان می‌دهند، اتحادیه اروپا به جای ارائه یک نسخه یکسان، امکان انطباق مداخلات را با شرایط ملی و منطقه‌ای فراهم کرده است. این ویژگی برای ایران، باتوجه به تنوع شدید اقلیمی، خاکی و اجتماعی، اهمیت ویژه‌ای دارد. توسعه سامانه‌های آگروفرستری صنوبر نباید براساس یک الگوی ثابت از تراکم درخت، فاصله ردیف، جهت کاشت و نوع محصول همراه انجام شود. برای هر پهنه اکولوژیک باید دستورالعمل جداگانه‌ای براساس محدودیت آب، شوری خاک، تبخیر-تعرق، تابش، خطر فرسایش، ساختار مالکیت و دسترسی به بازار تدوین شود. همچنین، معیارهای دریافت حمایت باید به اندازه کافی انعطاف‌پذیر باشند تا امکان سازگاری با شرایط مزرعه فراهم شود. تجربه برخی کشورهای اروپایی نشان داده است، سیاست‌های بیش‌ازحد تجویزی و ناسازگار با واقعیت‌های محلی، حتی در صورت برخورداری از حمایت مالی، می‌توانند مانع پذیرش آگروفرستری شوند (Mitrová et al., 2025).

✓ گذار تدریجی از پرداخت مبتنی بر اقدام به پرداخت مبتنی بر عملکرد بخش مهمی از حمایت‌های محیط‌زیستی CAP بر اجرای اقدامات یا پذیرش تعهدات مدیریتی مشخص استوار است. این رویکرد به دلیل سهولت نسبی نظارت و کنترل، برای آغاز برنامه‌های حمایتی مناسب است، با این حال، اجرای یک اقدام الزاماً به تحقق میزان معینی از خدمات اکوسیستمی منجر نمی‌شود. از این رو، برای ایران می‌توان یک مسیر تدریجی در نظر گرفت که در مرحله نخست، پرداخت براساس اقداماتی مانند استقرار ردیف‌های درختی، هرس، تنک‌سازی، حفظ پوشش خاک و مدیریت بهینه آبیاری انجام شود و در مراحل بعد، بخشی از پرداخت به نتایج قابل اندازه‌گیری اختصاص یابد. شاخص‌های عملکردی می‌توانند شامل افزایش کربن آلی خاک، ترسیب کربن زیست توده، کاهش فرسایش، بهبود بهره‌وری آب، کاهش سرعت باد و افزایش کارایی استفاده از زمین باشند. به کارگیری شاخص‌های نسبت برابری زمین (LER) و نسبت برابری سطح-زمان (ATER) نیز امکان مقایسه عملکرد کل سامانه تلفیقی با کشت‌های خالص را فراهم می‌کند. با این حال، از آنجایی که میزان خدمات اکوسیستمی به شرایط اقلیمی، نوع خاک، گونه درخت و آرایش فضایی وابسته است، تعیین آستانه‌های پرداخت باید منطقه‌محور باشد و بر مبنای خط پایه، یعنی وضعیت مرجع شاخص‌ها پیش از استقرار سامانه یا سناریوی بدون اجرای طرح انجام شود.

✓ استقرار نظام پایش یکپارچه اکولوژیک و تولیدی

شواهد اروپایی نشان می‌دهند، ادغام درختان در سامانه‌های زراعی معمولاً موجب کاهش شدت تابش زیر تاج، سرعت باد و رواناب سطحی می‌شود، اما اثر آن بر رطوبت خاک، دمای هوا و تبخیر-تعرق در همه مناطق یکسان نیست. برای مثال، Jacobs و همکاران (۲۰۲۲) نشان دادند، پاسخ تراز آب و خرداقلیم به حضور درختان به طراحی سامانه، ویژگی‌های مکانی و تغییرات زمانی بستگی دارد. بنابراین، نمی‌توان صرف وجود درخت در مزرعه را معادل تحقق خودکار منافع اکولوژیک دانست. توسعه آگروفرستری صنوبر در ایران باید با استقرار نظام پایش



مزرعه‌ای همراه باشد. ترکیب شاخص‌های اکولوژیک، تولیدی و اقتصادی امکان شناسایی موارد مبادله میان خدمات اکوسیستمی و درآمد کشاورز را فراهم می‌سازد و مبنایی علمی برای اصلاح برنامه‌های حمایتی ایجاد می‌کند.

✓ تأمین خدمات مشاوره‌ای و ترویجی تخصصی

یکی از درس‌های مهم تجربه اروپا آن است که پرداخت مالی بدون دسترسی بهره‌برداران به دانش فنی و خدمات مشاوره‌ای تخصصی، لزوماً به پذیرش موفق آگروفاستری منجر نمی‌شود. آگروفاستری در مرز میان زراعت، جنگل‌داری، خاک‌شناسی، مدیریت آب و اقتصاد قرار دارد، بنابراین، مشاوره‌های تک‌رشته‌ای معمولاً پاسخ‌گوی پیچیدگی‌های آن نیستند. ابهام‌های حقوقی، کمبود مشاوران متخصص و پیچیدگی فرایندهای اداری از موانع مهم پذیرش این سامانه‌ها در برخی کشورهای اروپایی گزارش شده‌اند (Mitrová et al., 2025). در ایران لازم است گروه‌های ترویجی چندتخصصی برای طراحی و مدیریت سامانه‌های آگروفاستری صنوبر تشکیل شوند. آموزش‌ها باید موضوعاتی مانند انتخاب کلن، تعیین فاصله کاشت، جهت ردیف‌ها، مدیریت تاج و ریشه، پایش رطوبت خاک، انتخاب محصول همراه، زمان تنک‌سازی و ارزیابی مالی را پوشش دهند. همچنین، ایجاد مزارع نمایشی و شبکه بهره‌برداران پیشرو می‌تواند انتقال دانش و کاهش ریسک ادراک‌شده کشاورزان را تسریع کند.

✓ درونی‌سازی ارزش خدمات اکوسیستمی

از منظر سیاست‌گذاری عمومی، مزایای آگروفاستری به درآمد مستقیم حاصل از چوب و محصول زراعی محدود نمی‌شود. کاهش فرسایش، تنظیم رواناب، ذخیره کربن، تعدیل خرداقلیم، کاهش سرعت باد، ایجاد زیستگاه و بهبود کیفیت منظر از جمله خدماتی هستند که معمولاً ارزش آن‌ها در قیمت بازار محصولات منعکس نمی‌شود. اگر ارزیابی اقتصادی تنها بر جریان نقدی خصوصی مزرعه متمرکز باشد، ممکن است برخی سامانه‌های دارای ارزش اجتماعی و محیط‌زیستی بالا، فاقد توجیه اقتصادی تشخیص داده شوند. بنابراین، تحلیل اقتصادی سامانه‌های آگروفاستری صنوبر در ایران باید در دو سطح انجام شود: نخست، تحلیل مالی از دیدگاه بهره‌بردار و دوم، تحلیل اقتصادی-اجتماعی با احتساب خدمات اکوسیستمی. در سطح مالی می‌توان از شاخص‌هایی مانند NPV، IRR، BCR، ROI، PBP، DPBP و EAV استفاده کرد. در سطح اجتماعی نیز لازم است ارزش ترسیب کربن، کنترل فرسایش، حفاظت آب و سایر پیامدهای محیط‌زیستی به منافع سامانه افزوده شود. تفاوت میان بازده خصوصی و اجتماعی می‌تواند مبنایی برای تعیین مقدار منطقی حمایت دولتی باشد.

✓ پیوند حمایت‌های محیط‌زیستی با زنجیره ارزش اقتصادی

شواهد مطالعات موردی اروپا نشان می‌دهند، عملکرد اقتصادی

سامانه‌های صنوبر آگروفاستری به قیمت چوب، شرایط رویشگاه، طول دوره بهره‌برداری، عملکرد محصول همراه و میزان حمایت سیاستی حساس است. در دره پوایتالیا، کشت تلفیقی صنوبر با محصولات زراعی در برخی سناریوها از توجیه اقتصادی برخوردار بود، اما سودآوری آن به قیمت چوب و کاهش عملکرد محصول در مجاورت ردیف‌های درخت وابستگی داشت (Rosso et al., 2021). همچنین، ارزیابی سامانه‌های صنوبر در براندنبورگ آلمان نشان داد، چرخه‌های کوتاه، به دلیل بر خورداری از جریان نقدی مناسب‌تر، در برخی شرایط اقتصادی عملکرد بهتری دارند، در حالی که رقابت‌پذیری برخی سناریوها بدون حمایت سیاستی محدود بود (Thiesmeier, 2024). این یافته‌ها نشان می‌دهند، توسعه آگروفاستری در ایران نباید فقط بر امید به افزایش آینده قیمت چوب استوار باشد. پیش از گسترش سامانه، باید تقاضای صنایع چوب، هزینه حمل‌ونقل، استانداردهای کیفی، ظرفیت صنایع محلی و امکان انعقاد قراردادهای خرید بررسی شوند. قراردادهای تولید، خرید تضمینی مشروط، بیمه نوسان قیمت و ایجاد تشکلهای تولیدکنندگان می‌توانند ریسک بازار را کاهش دهند. به این ترتیب، حمایت‌های محیط‌زیستی باید در کنار تقویت زنجیره ارزش، توسعه بازار و تضمین بازده اقتصادی سامانه به کار گرفته شوند و نقش مکمل داشته باشند، نه آنکه جایگزین درآمد حاصل از تولید و فروش محصولات آگروفاستری شوند.

✓ اجرای مرحله‌ای از طریق طرح‌های پایلوت بلندمدت و چندمکانی

ناهمگنی نتایج پژوهش‌های اروپایی نشان می‌دهد، تعمیم مستقیم یک سامانه موفق از یک منطقه به منطقه دیگر با ریسک زیادی همراه است. حتی در اقلیم مدیترانه‌ای، اثر درختان بر محصول زراعی به نوع درخت، محصول، پوشش تاج و شیوه مدیریت بستگی دارد و رقابت نوری می‌تواند عملکرد محصول همراه را کاهش دهد (Scordia et al., 2023). از این رو، الگوی اروپایی نیز بیش از آنکه نسخه‌ای آماده برای انتقال باشد، چهارچوبی برای طراحی و یادگیری تدریجی فراهم می‌کند. برای ایران، مناسب‌ترین مسیر، اجرای طرح‌های پایلوت چندمکانی و بلندمدت در پهنه‌های منتخب است. این طرح‌های پایلوت باید کل دوره رشد و بهره‌برداری صنوبر، از زمان کاشت نهال تا برداشت نهایی چوب را پوشش دهند. افزون بر مقایسه کلن‌ها و آرایش‌های مختلف کاشت، لازم است صرفه اقتصادی سامانه، میزان آب مصرفی و کارایی مصرف آب، همچنین مقدار کربن ذخیره‌شده در زی‌توده درختان و خاک ارزیابی شود. توسعه سامانه در سطح وسیع‌تر باید به دستیابی به شاخص‌های فنی، اقتصادی و محیط‌زیستی از پیش تعیین‌شده در مرحله پایلوت وابسته باشد. این رویکرد از گسترش شتاب‌زده برنامه‌هایی که هنوز کارایی و پایداری آن‌ها با شواهد علمی و میدانی کافی تأیید نشده است، جلوگیری می‌کند.

✓ ایجاد سازوکار هماهنگی بین‌بخشی و حکمرانی مشارکتی

سیاست آگروفاستری ماهیتی بین‌بخشی دارد و اجرای آن به همکاری حوزه‌های زراعت، منابع طبیعی، آب، محیط‌زیست، بیمه، اعتبار و صنعت چوب نیازمند است. تجربه اروپا نشان می‌دهد، حتی وجود چهارچوب قانونی و منابع مالی، در صورت پیچیدگی اداری یا ضعف هماهنگی نهادی،

الگوی پیشنهادی برای ایران

باتوجه به شرایط اقلیمی، محدودیت منابع آب، ساختار خرد و پراکنده بهره‌برداری و نیاز به تنوع بخشی درآمدی در روستاهای ایران، مناسب ترین مسیر توسعه آگرو فارستری صنوبر، الگوی تلفیقی اکولوژیکی - اقتصادی - سیاستی است. در این الگو، سامانه باید هم‌زمان سه هدف را دنبال کند:

✓ افزایش بهره‌وری زمین و آب از طریق ترکیب درخت و محصول زراعی،

✓ تولید درآمد پایدار برای بهره‌بردار از مسیر چوب، محصول زیرکشت و خدمات جانبی

✓ و ارائه خدمات اکوسیستمی مانند کاهش فرسایش، ترسیب کربن، تعدیل خرد اقلیم و بهبود کیفیت خاک.

برای تحقق این اهداف، توسعه سامانه باید در چند مرحله انجام شود: در مرحله نخست، پایلوت‌های چندمکانی در اقلیم‌های مختلف کشور اجرا شوند تا عملکرد کلن‌ها، آرایش‌های کاشت، نیاز آبی، اثر بر محصول زیرکشت و پیامدهای اقتصادی مشخص شوند.

در مرحله دوم، براساس نتایج پایلوت‌ها، بسته‌های فنی و حمایتی منطقه‌محور تدوین شوند.

در مرحله سوم، توسعه در مقیاس وسیع تنها برای مناطقی مجاز باشد که شاخص‌های فنی و اقتصادی از پیش تعیین شده را محقق کرده‌اند.

براین اساس، توسعه آگرو فارستری مبتنی بر صنوبر در ایران باید به صورت مرحله‌ای و مبتنی بر شواهد انجام شود، به گونه‌ای که فرایند توسعه از شناسایی نیازها و غربالگری منطقه‌ای آغاز شود و پس از طراحی سامانه، اجرای پایلوت و ارزیابی جامع شاخص‌های فنی، اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی، به تصمیم‌گیری درباره اصلاح، توقف یا توسعه الگو و در نهایت، پایش و بهبود مستمر آن بر پایه بازخوردهای داده‌محور بیانجامد (شکل ۲). توسعه الگو فقط پس از تأیید هم‌زمان معیارهای فنی، اقتصادی، محیط‌زیستی و اجتماعی انجام می‌شود.

در این چهارچوب، حمایت‌های دولتی باید با کاهش هزینه‌ها و ریسک‌های اولیه، تسهیل سرمایه‌گذاری و تقویت زنجیره ارزش، پایداری اقتصادی سامانه را ارتقا دهند، بدون آنکه یارانه‌ها و مشوق‌های محیط‌زیستی جایگزین درآمد واقعی حاصل از تولید و عرضه چوب و محصولات زراعی شوند.

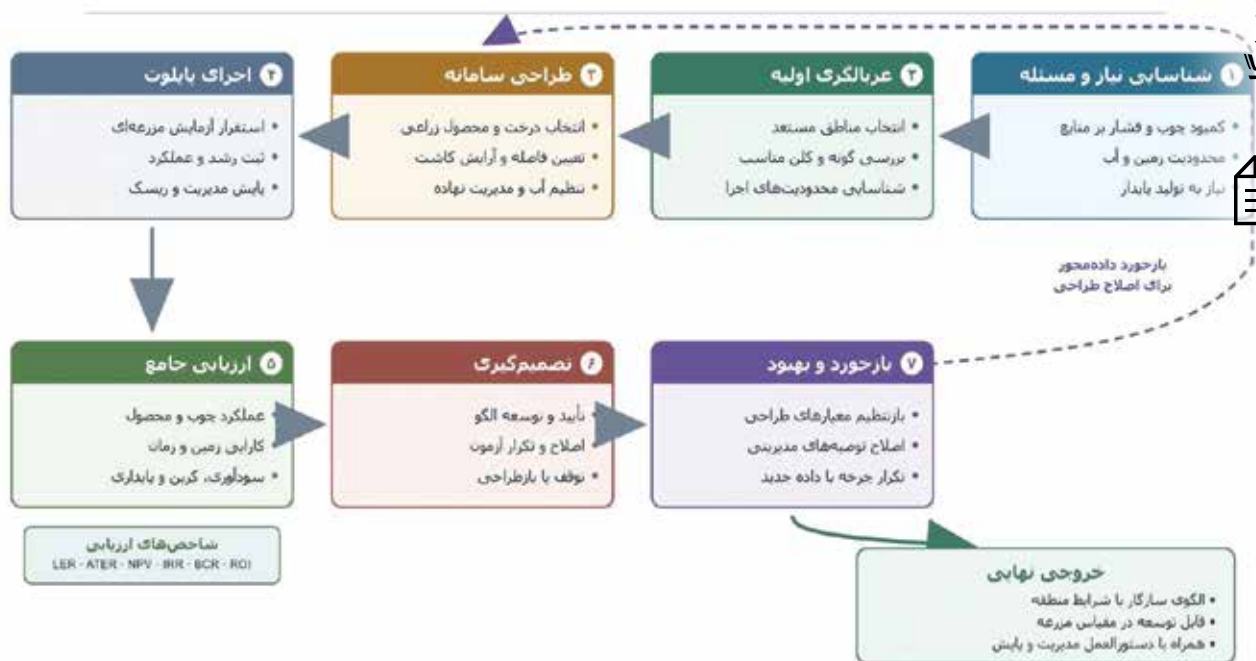
شکل ۳، چهارچوب مفهومی توسعه آگرو فارستری مبتنی بر صنوبر را در ایران بر پایه تلفیق تجارب هند، چین و اروپا با الزامات بومی کشور نشان می‌دهد. در این چهارچوب، انتخاب گونه و کلن سازگار، آرایش مناسب کاشت، کشت نواری و مدیریت تراکم با هدف کاهش رقابت نوری، آبی و غذایی و بهبود شاخص‌های بهره‌وری زمین (LER) و سطح- زمان (ATER) مورد تأکید است. اجرای موفق این سامانه‌ها به امنیت حقوقی اراضی، دسترسی پایدار به آب، تقویت شبکه یکپارچه تولید و فراوری، کشاورزی قراردادی، قیمت‌گذاری شفاف، تسهیلات متناسب با دوره رشد و حمایت‌های آموزشی و ترویجی وابسته است. پیامدهای مورد انتظار شامل افزایش تولید پایدار چوب و محصولات زراعی، بهبود کارایی منابع و ذخیره کربن و تقویت پایداری اقتصادی است، باین حال، تحقق آثار اجتماعی و معیشتی آن به شرایط اجرایی، مشارکت بهره‌برداران و نتایج

برای پذیرش گسترده کافی نیست. مشارکت کشاورزان و سایر ذی‌نفعان در طراحی معیارهای واجد شرایط بودن نیز می‌تواند از تدوین ضوابط نامتناسب با واقعیت مزرعه جلوگیری کند. در ایران می‌توان یک سازوکار هماهنگی ملی با مشارکت سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری، معاونت‌های اجرایی وزارت جهاد کشاورزی، صندوق بیمه کشاورزی، بانک کشاورزی، تشکلهای تولیدی و صنایع چوب ایجاد کرد. در سطح منطقه‌ای نیز کمیته‌های فنی باید مسئول انتخاب پهنه‌ها، تأیید طرح مزرعه، پایش نتایج و اصلاح دستورالعمل‌ها باشند. حضور نمایندگان بهره‌برداران در این فرایند برای افزایش مقبولیت و قابلیت اجرای سیاست ضروری است.

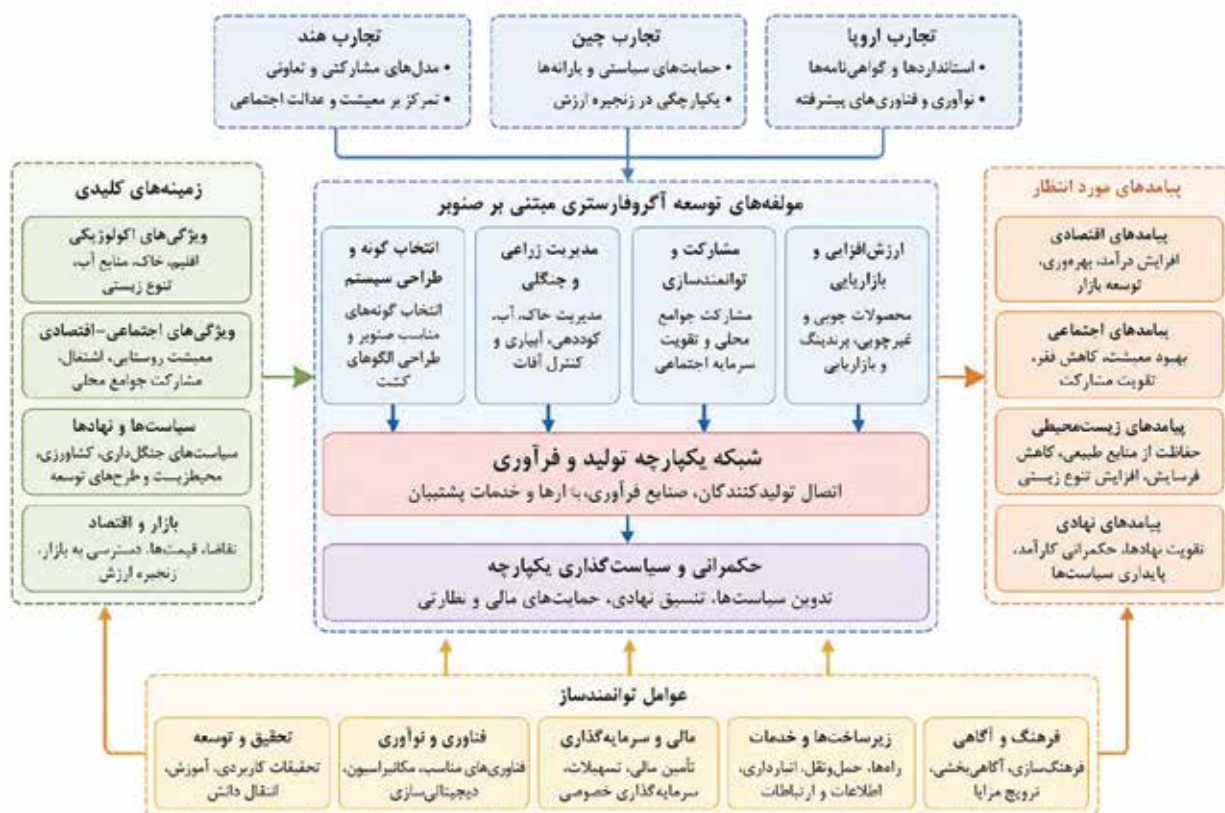
تجربه اروپا نشان می‌دهد، توسعه آگرو فارستری زمانی موفق خواهد بود که حمایت مالی درون یک چهارچوب جامع حقوقی، علمی و نهادی قرار گیرد. مهم‌ترین دلالت این تجربه برای ایران، گذار از برنامه‌های پراکنده کاشت درخت به سوی یک سیاست ملی آگرو فارستری چندمنظوره، منطقه‌محور و مبتنی بر شواهد است. در این سیاست، باید وضعیت حقوقی اراضی روشن شود، هزینه‌های اولیه و دوره انتظار اقتصادی تحت حمایت قرار گیرد، خدمات اکوسیستمی به تدریج وارد نظام پرداخت شوند و عملکرد سامانه با شاخص‌های اکولوژیک، تولیدی و اقتصادی پایش شود. باین حال، انتقال الگوی اروپا به ایران نباید به معنای اقتباس مستقیم از سازوکارهای CAP باشد. تفاوت در ساختار مالکیت، محدودیت شدید منابع آب، ظرفیت مالی دولت، نظام بیمه و اعتبار و وضعیت بازار چوب ایجاب می‌کند که ابزارهای اروپایی متناسب با شرایط ایران بازطراحی شوند. براین اساس، مناسب ترین رویکرد برای ایران، اجرای مرحله‌ای سیاست از طریق پایلوت‌های بلندمدت، پرداخت‌های هدفمند، خدمات ترویجی تخصصی، مشارکت بهره‌برداران و اتصال هم‌زمان سامانه به زنجیره ارزش چوب و خدمات اکوسیستمی است.

مقایسه تلفیقی تجربه هند، چین و اروپا

مرور تجربه‌های هند، چین و اروپا نشان می‌دهد، آگرو فارستری صنوبر در هر منطقه بر پایه منطق متفاوتی توسعه یافته است. در هند، این سامانه اغلب با تکیه بر بازار چوب، تقاضای صنعتی و پیوند با زنجیره ارزش رشد کرده است. در چین، محور اصلی توسعه، افزایش بهره‌وری زمین، کنترل فرسایش، بهبود خرد اقلیم و سازگاری اکولوژیک بوده است. در اروپا نیز آگرو فارستری بیش از آنکه تنها یک گزینه تولیدی تلقی شود، به عنوان ابزار سیاستی برای ارائه خدمات اکوسیستمی، کاهش فشار بر منابع و تحقق اهداف اقلیمی مورد حمایت قرار گرفته است. این سه الگو در عین تفاوت، یک پیام مشترک دارند: موفقیت آگرو فارستری زمانی تضمین می‌شود که طراحی فنی، منطق اقتصادی و حمایت نهادی به صورت هم‌زمان وجود داشته باشند. اگر فقط بر تولید چوب تأکید شود، پایداری سامانه در برابر نوسانات بازار شکننده خواهد بود. اگر فقط بر خدمات محیط‌زیستی تمرکز شود، انگیزه کشاورز برای پذیرش آن کاهش می‌یابد و اگر سیاست بدون پشتوانه علمی و منطقه‌محور اعمال شود، احتمال شکست در اجرا افزایش می‌یابد.



شکل ۲- روند اجرایی توسعه آگروفراستری مبتنی بر صنوبر در ایران- از شناسایی مسئله تا ارائه الگوی قابل توسعه در مزرعه (Nair and Garrity, 2012)



شکل ۳- چهارچوب مفهومی توسعه آگروفراستری مبتنی بر صنوبر در ایران با بهره‌گیری از تجارب تطبیقی هند، چین و اروپا (Dhiman et al., 2024; Enescu et al., 2026)

ارزیابی‌های میدانی نیز بستگی دارد.

درختان باغی در ردیف دوم و گیاه زراعی- دارویی گلبر محلی در ردیف سوم قرار گرفته‌اند. این آرایش، نمونه‌ای از تلفیق هم‌زمان گونه‌های چوبی، باغی و زراعی- دارویی در یک واحد بهره‌برداری است و می‌تواند از طریق تنوع‌بخشی به تولید، استفاده چندگانه از منابع زمین و ایجاد جریان‌های درآمدی متفاوت، به افزایش تاب‌آوری اقتصادی و اکولوژیک مزرعه کمک کند.

جایگاه ابعاد اجتماعی و معیشتی آگروفارستری مبتنی بر صنوبر در ایران

در ایران، پذیرش آگروفارستری مبتنی بر صنوبر، بیش از آنکه صرفاً تابع

در سامانه‌های آگروفارستری مبتنی بر صنوبر، انتخاب گیاه زراعی یا دارویی باید بر اساس میزان تحمل سایه، نیاز آبی، سازگاری اقلیمی و ارزش اقتصادی آن انجام شود. شکل ۴ نمونه‌ای از کشت تلفیقی درختان صنوبر را با گیاه زراعی سیر نشان می‌دهد. در این الگو، سیر به‌عنوان محصول میان‌ردیفی در فضای بین درختان صنوبر کشت شده است و می‌تواند در سال‌های ابتدایی استقرار درختان، ضمن استفاده از زمین، به ایجاد درآمد کوتاه‌مدت برای بهره‌بردار کمک کند. همچنین، شکل ۵ نمونه‌ای از یک الگوی چندلایه و نواری آگروفارستری در شهرستان عجب‌شیر در استان آذربایجان شرقی است. در این سامانه، درختان صنوبر در ردیف نخست،



شکل ۴- کشت تلفیقی درختان صنوبر با گیاه زراعی سیر (عکس از: فاطمه احمدلو)



شکل ۵- نمایی از سیستم آگروفارستری تلفیق کشت صنوبر به‌صورت نواری در ردیف اول، درختان باغی در ردیف دوم و گیاه زراعی- دارویی گلبر محلی در ردیف سوم در عجب‌شیر- آذربایجان شرقی (عکس از: فاطمه احمدلو)



سودآوری نهایی باشد، به توان نقدینگی بهره‌بردار، امنیت حقوق بهره‌برداری، اندازه و پراکندگی قطعات، دسترسی به آب و اطمینان از بازار چوب وابسته است. دوره به نسبت طولانی بازگشت سرمایه در زراعت چوب می‌تواند برای بهره‌برداران خرد محدودیت ایجاد کند. از این رو، کشت محصولات علوفه‌ای یا زراعی سازگار در بین ردیف‌های صنوبر، ضمن حفظ جریان درآمدی سالانه، هزینه فرصت زمین و ریسک معیشتی خانوار را کاهش می‌دهد. در عین حال، ضعف قراردادهای خرید، نوسان قیمت چوب، هزینه حمل و نقل و وابستگی به واسطه‌ها ممکن است سهم تولیدکننده از ارزش افزوده را محدود کند. بنابراین، توسعه این سامانه‌ها مستلزم تسهیلات متناسب با دوره رشد درخت، بیمه زراعت چوب، قراردادهای خرید تضمین شده یا توافقی با صنایع، تقویت تشکلهای تولیدکنندگان و توسعه صنایع چوب محلی است. شناسایی قانونی «راضی تحت سامانه‌های آگروفاستری» نیز برای حفظ حقوق کشاورزان و کاهش ابهام در برداشت، حمل و عرضه چوب اهمیت دارد. ارزیابی اجتماعی- معیشتی این سامانه‌ها در ایران، باید علاوه بر سودآوری، شاخص‌هایی مانند ثبات و توزیع زمانی درآمد، اشتغال خانوادگی و محلی، سهم بهره‌بردار از ارزش نهایی چوب، تاب‌آوری در برابر تنش‌های اقتصادی و اقلیمی و تمایل کشاورزان به تداوم کشت را دربرگیرد (عسکری بزیه و همکاران، ۱۴۰۳). در نتیجه، موفقیت آگروفاستری صنوبر زمانی تحقق می‌یابد که طراحی فنی سامانه با محدودیت‌های معیشتی بهره‌برداران و ظرفیت واقعی زنجیره ارزش منطقه هماهنگ باشد.

محدودیت‌های مطالعه و مسیرهای پژوهشی آینده

با وجود شواهد نظری و تجربی موجود، این مطالعه نیز با محدودیت‌هایی روبه‌روست. نخست آنکه، داده‌های مقایسه‌ای میان کشورها از نظر شرایط اقلیمی، گونه‌های درختی، نوع محصولات همراه و ساختار بازار کاملاً همسان نیستند. دوم آنکه، بسیاری از مطالعات موجود بر بازه‌های زمانی محدود تمرکز دارند و اثرهای بلندمدت سامانه‌ها را به‌طور کامل پوشش نمی‌دهند. سوم آنکه، در بخش اجتماعی، شواهد مربوط به نقش زنان، اشتغال روستایی و توزیع منافع هنوز محدود و ناهمگن است. بر این اساس، پژوهش‌های آینده باید بر سه محور متمرکز شوند:

- تحلیل بلندمدت چندمکانی در اقلیم‌های مختلف ایران،
- ارزیابی دقیق ترافیک اقتصادی با سناریوهای مختلف قیمت چوب، هزینه آب و نرخ تنزیل،
- بررسی عمیق‌تر پیامدهای اجتماعی، از جمله نقش زنان، اشتغال محلی و اثر سامانه بر تاب‌آوری خانوار روستایی.

نتیجه‌گیری کلی

بررسی‌ها نشان می‌دهند، آگروفاستری مبتنی بر صنوبر، می‌تواند برای ایران یک گزینه راهبردی در مسیر توسعه پایدار روستایی باشد، اما این امر تنها در صورتی تحقق می‌یابد که طراحی سامانه بر پایه شرایط اکولوژیک هر منطقه، منطق اقتصادی بهره‌بردار و چهارچوب حمایتی مناسب انجام شود. تجربه هند نشان می‌دهد، پیوند با بازار و زنجیره ارزش برای پایداری

اقتصادی ضروری است. تجربه چین نشان می‌دهد، مدیریت فنی دقیق و توجه به بهره‌وری زمین و آب، شرط موفقیت اکولوژیک سامانه است. تجربه اروپا نیز تأکید می‌کند، بدون سیاست‌گذاری نهادی، به رسمیت‌شناسی حقوقی و حمایت‌های هدفمند، گسترش آگروفاستری دشوار خواهد بود. بنابراین، مناسب‌ترین مسیر برای ایران، توسعه مرحله‌ای، منطقه‌محور و مبتنی بر شواهد است. مسیری که در آن، پایلوت‌های علمی، مشوق‌های هدفمند، مشاوره تخصصی و پیوند با بازار چوب و خدمات اکوسیستمی به صورت هم‌زمان پیش بروند. چنین الگویی می‌تواند آگروفاستری صنوبر را از یک ایده پژوهشی، به یک راهبرد عملی برای افزایش بهره‌وری زمین، بهبود معیشت روستایی و تقویت پایداری محیط‌زیستی تبدیل کند.

منابع

احمدلو، ف.، کلاگری، م.، تیموری، س.، صالحی، آ. و غدیری‌پور، ب.، ۱۴۰۳. وضعیت کمی و کیفی زراعت چوب صنوبر و جالش‌ها و راهکارهای توسعه آن در کشور. نشریه ترویجی، نشر آموزش کشاورزی، دفتر شبکه دانش و رسانه‌های ترویجی، ۷۰ صفحه.

احمدلو، ف.، کلاگری، م.، صالحی، آ. و اسکندری، س.، ۱۴۰۱. ارزیابی سودمندی عملکرد و بهره‌وری اقتصادی صنوبر در تلفیق با محصولات زراعی، علوفه‌ای و دارویی. طبیعت ایران، ۲۷(۲): ۳۵-۴۸.

اسدی، ف. و کلاگری، م.، ۱۳۹۸. مزایای کشت تلفیقی صنوبر با محصولات زراعی و علوفه‌ای. مدیریت پایدار جنگل‌های هیرکانی، ۱۱(۱): ۵-۱۶.

عسکری بزیه، ف.، نصرتی، س.، صلاحی مقدم، ن. و نوبخت حقیقی، ش.، ۱۴۰۴. بررسی موانع، محدودیت‌ها و راهکارهای زراعت صنوبر در مناطق روستایی استان گیلان. روستا و توسعه، ۲۷(۴): ۲۱۸-۱۹۱.

- Chavan, S.B., Dhillon, R.S., Sirohi, C., Keerthika, A., Kumari, S., Bharadwaj, K.K., Jinger, D., Kakade, V., Chichaghare, A.R., Zin El-Abedin, T.K., Mahmoud, E.A., Casini, R., Sharma, H., Elansary, H.O. and Yessoufou, K., 2022. Enhancing farm income through boundary plantation of poplar (*Populus deltoides*): An economic analysis. Sustainability, 14(14): 8663. <https://doi.org/10.3390/su14148663>.
- Coulibaly, J.Y., Chiputwa, B., Nakelse, T. and Kundhlande, G., 2017. Adoption of agroforestry and the impact on household food security among farmers in Malawi. Agricultural Systems, 155: 52-69. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.03.017>.
- Dai, Y.S., Yang, T., Shen, L., Wang, X.Y., Zhang, W.L., Liu, T.T., Lu, W.H., Li, L.H. and Zhang, W., 2021. Root growth, distribution, and physiological characteristics of alfalfa in a poplar/alfalfa silvopastoral system compared to sole-cropping in northwest Xinjiang, China. Agroforestry Systems, 95(2): 1137-1153. <https://doi.org/10.1007/s10457-021-00639-1>.
- Dhiman, R.C., Arunachalam, A., Dhyani, S.K., Singh, A., Kumar, R., Biradar, C.M. and Rizvi, J., 2024. Circular economy of poplar-based agroforestry in India. Indian Journal of Agroforestry, 26(1): 12-22.

- Niinemets, Ü., 2010. A review of light interception in plant stands from leaf to canopy in different plant functional types and in species with varying shade tolerance. *Ecology Research*, 25: 693-714. <https://doi.org/10.1007/s11284-010-0712-4>.
- Rosso, L., Cantamessa, S., Chiarabaglio, P.M. and Coaloa, D., 2021. Competition effects and economic scenarios in an agroforestry system with cereal crops and wood plantations: a case study in the Po Valley (Italy). *iForest*, 14(5): 421-425. <https://doi.org/10.3832/for3842-014>.
- Salvadores, Y. and Bastías, R.M., 2023. Environmental factors and physiological responses of sweet cherry production under protective cover systems: A review. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 83(4): 484. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392023000400484>.
- Scordia, D., Corinzia, S.A., Coello, J., Vilaplana Ventura, R., Jiménez-De-Santiago, D.E., Singla Just, B., Castaño-Sánchez, O., Casas Arcarons, C., Tchamitchian, M., Garreau, L., Emran, M., Mohamed, S.Z., Khe-dr, M., Rashad, M., Lorilla, R.S., Parizel, A., Mancini, G., Iurato, A., Ponsá, S., Dimauro, C., Gresta, F., Cosentino, S.L. and Testa, G., 2023. Are agroforestry systems more productive than monocultures in Mediterranean countries? A meta-analysis. *Agronomy for Sustainable Development*, 43(6): 73. <https://doi.org/10.1007/s13593-023-00927-3>.
- Thiesmeier, A., 2024. Comparing the economic performance of poplar-based alley cropping systems with arable farming in Brandenburg under varying site conditions and policy scenarios. *Agroforestry Systems*, 98(6): 1507–1522. <https://doi.org/10.1007/s10457-024-01021-7>.
- Venn, R., Montero-de-Oliveira, F.E., Buratti-Donham, J., Eden, J. and Reinecke, S., 2024. Policies for agroforestry, a narrative review of four 'continental' regions: EU, India, Brazil, and the United States. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 8: 1417740. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1417740>.
- Yuan, Y.X., Wang, Y., Li, J.Q., Feng, C.H. and Zhang S.L., 2001. The effect of poplar-crop intercropping space on wheat growth and yield. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 9(2): 88–91.
- Enescu, C.M., Mihalache, M., Ilie, L., Dinca, L., Chira, D., Vasić, A. and Murariu, G., 2026. Advancing the sustainability of poplar-based agroforestry: Key knowledge gaps and future pathways, *Sustainability*, 18(1): 341. <https://doi.org/10.3390/su18010341>.
- European Commission, Directorate-General for Agriculture and Rural Development. 2022. Common Agricultural Policy for 2023–2027: 28 CAP strategic plans at a glance. 13p.
- European Parliament and Council of the European Union. 2021. Regulation (EU) 2021/2115 of the European Parliament and of the Council of 2 December 2021 establishing rules on support for strategic plans to be drawn up by Member States under the common agricultural policy (CAP Strategic Plans) and financed by the European Agricultural Guarantee Fund (EAGF) and by the European Agricultural Fund for Rural Development (EAFRD) and repealing Regulations (EU) No 1305/2013 and (EU) No 1307/2013. *Official Journal of the European Union*, L 435, 1–186.
- Fagerholm, N., Torralba, M., Burgess, P. and Plieninger, T., 2016. A systematic map of ecosystem services assessments around European agroforestry. *Ecological Indicators*, 62: 47–65. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.11.016>.
- He, C.X., Zhang, J.S., Huang, H., Meng, P. and Fan, W., 2015. Water use efficiency of three poplar-wheat intercropping systems in Yudong Plain of Henan Province. *Forest Research*, 5: 660-668.
- Jacobs, S.R., Webber, H., Niether, W., Grahmann, K., Lüttschwager, D., Schwartz, C., Breuer, L. and Bellingrath-Kimura, S.D., 2022. Modification of the microclimate and water balance through the integration of trees into temperate cropping systems. *Agricultural and Forest Meteorology*, 323: 109065. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2022.109065>.
- Joshi, R., Sharma, B., Singh, H., Dhakal, N., Ayer, S. and Maraseni, T., 2024. Poplar plantation as an agroforestry approach: economic benefits and its role in carbon sequestration in North India. *Journal of Resources and Ecology*, 15(4): 880-888. <https://doi.org/10.5814/j.issn.1674-764x.2024.04.009>.
- Mitrová, A.M., Šťastná, M. and Bakay, L., 2025. Paradigm shift of agroforestry in Slovakia: from an unknown concept to a concrete policy support scheme in less than 5 years. *Agroforestry Systems*, 99: 165. <https://doi.org/10.1007/s10457-025-01270-0>.
- Nair, P.K.R. and Garrity, D. 2012. *Agroforestry - The future of global land use*. Springer, Dordrecht, 540 p.
- Nair, P.K.R., 1993. *An introduction to agroforestry*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. 489p.