دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
بوم‌شناسی جنگل‌های ایران

"مقاله پژوهشی"

# تعیین تراکم بهینه در توده‌های صنوبر (*Populus deltoides*) بر پایه روش Reineke در استان گیلان

طوبی عابدی[۱]، رؤیا عابدی[۲] و بهزاد بخشنده[۳]

۱- استادیار پژوهشکده محیط زیست جهاد دانشگاهی
۲- استادیار دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی اهر، دانشگاه تبریز، (نویسنده مسوول: royaabedi@tabrizu.ac.ir)
۳- رئیس اداره جنگلداری اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان گیلان
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱/۳۱
صفحه: ۱۷۱ تا ۱۸۲

**چکیده مبسوط**

**مقدمه و هدف:** تراکم توده عاملی تعیین کننده در توسعه یک توده جنگلی است. توده‌های متراکم تحت رقابت شدید بوده و به دلیل محدودیت در دسترسی به منابع برای رویش به خوبی توسعه نمی‌یابند و در برابر وقایعی مانند حمله حشرات، آتش‌سوزی و خشک‌سالی بسیار آسیب‌پذیر هستند. در مقابل، توده‌های کم تراکم نیز از منابع موجود در رویشگاه بهره درست و کافی را نمی‌برند و بازده سرمایه کاهش می‌یابد. بنابراین تراکم بهینه بر استفاده بهینه از منابع موجود در رویشگاه و حفظ سلامت و رویش در توده مؤثر است. پژوهش حاضر با هدف تعیین تراکم بهینه در صنوبرکاری (*Populus deltoides*) در استان گیلان با پراکنش جغرافیایی از شرق تا غرب و سواحل استان انجام شد.

**مواد و روش‌ها:** در هر توده، قطعه نمونه‌ای به مساحت یک هکتار (۱۰۰ × ۱۰۰ متر) برداشت شد که در آنها قطر و ارتفاع همه درختان اندازه‌گیری و تعداد در هکتار مشخص شد. به‌منظور تعیین تراکم بهینه از شاخص تراکم Reineke (SDI: Stand Density Index) استفاده شد.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد که تراکم موجود در مناطق لنگرود (توده ۲۲ ساله با فاصله کاشت ۵×۵ متر)، سیاهکل (توده ۲۹ ساله با فاصله کاشت ۳×۵ متر)، شفت (توده ۳۸ ساله با فاصله کاشت ۳×۳ متر) و تالش (توده ۳۷ ساله با فاصله کاشت ۳/۵×۵ متر) به‌ترتیب برابر با ۱۲۹، ۲۱۶، ۳۲۵ و ۱۹۰ پایه در هکتار بود و مقدار تراکم بهینه در این مناطق نیز به‌ترتیب ۱۸۸، ۲۵۹، ۳۷۹ و ۳۳۷ پایه در هکتار به دست آمد که بدون اختلاف معنی‌داری (به جز تالش) بیشتر از تراکم موجود بود. منحنی‌های تراکم موجود نسبت به تراکم بهینه به تفکیک طبقات قطری نیز نشان داد که توده‌ها در طبقات قطری پایین از تراکم مناسبی برخوردارند، به‌طوری که نمودار تراکم موجود و تراکم بهینه بسیار نزدیک به هم و در برخی طبقات قطری منطبق بودند. طبقه قطری ۲۵ سانتی‌متر در همه مناطق به‌عنوان تلاقی بین دو منحنی مشاهده شد. اما بین تراکم بهینه و تراکم موجود در طبقات قطری بالاتر اختلاف بیشتری وجود داشت.

**نتیجه‌گیری:** نتایج این مطالعه راهنمایی مناسب به منظور مقایسه بین شرایط موجود و ایده‌آل مطابق با شرایط رویشی گونه در رویشگاه، ارزیابی و تصمیم‌گیری در مدیریت درست تراکم درختان در توده‌ها خواهد بود.

**واژه‌های کلیدی:** توده خالص، شاخص تراکم توده، شاخص حداکثر تراکم بهینه، صنوبر، مدیریت جنگل

## مقدمه

امروزه جنگل‌کاری با گونه‌های سریع‌الرشد پهن برگ نقش مهمی در کاهش فشار به عرصه‌های جنگلی طبیعی و تولید چوب در کشور دارد. به‌علاوه در حفاظت از ارزش‌های بوم‌شناختی از جمله جلوگیری از تخریب و فرسایش خاک، افزایش مواد آلی خاک، بهبود ساختمان خاک، ترسیب کربن، حفظ چرخه عناصر، فراهم کردن بوم‌سامانه‌ای مناسب برای حیات وحش، پرندگان، بهبود سیمای سرزمین و تعدیل آب و هوا نقش بسزایی دارند. از سوی دیگر مقدار جنگل‌کاری سالانه کشورها معیاری برای ارزیابی توسعه یافتگی آن کشور تلقی می‌شود (۱۷).

برآوردهای کمی دقیق از ویژگی‌های توده‌های جنگلی همسال، ناهمسال، آمیخته یا خالص لازمه مدیریت صحیح در آن توده‌های جنگلی است (۱). تراکم یا تعداد در هکتار یک مشخصه کمی است که نشان‌دهنده میزان انبوهی جمعیت توده درختی در واحد سطح است. آگاهی از وضعیت تعداد در هکتار درختان در توده‌های جنگلی یکی از مشخصه‌های مهم به‌منظور برنامه‌ریزی و ارزیابی منابع جنگلی محسوب می‌شود و برآورد تراکم توده در فعالیت‌های مدیریتی مانند تنک کردن توده بسیار مهم است (۲). تراکم توده عاملی تعیین کننده و کلیدی در ایجاد و توسعه یک جنگل حاصل‌خیز است. توده‌های متراکم به دلیل رقابت شدید در دسترسی به منابع برای رویش دارای محدودیت هستند و توسعه آنها با تاخیر همراه است و در برابر حمله حشرات و خشک‌سالی بسیار مستعد هستند. در مقابل، توده‌های کم تراکم نیز از منابع موجود در رویشگاه استفاده کارآمد نخواهند داشت و بازده سرمایه آنها کم است. بنابراین تراکم بهینه در توده‌های جنگلی امکان استفاده بهینه از منابع موجود در رویشگاه و حفظ سلامت و رویش در توده را فراهم می‌کند (۱۲). با افزایش رشد، نیاز به منابع و فضای رویش نیز افزایش می‌یابد و اگر این منابع در توده کافی نباشند درختان شروع به کاهش رویش کرده و به این ترتیب تعداد آنها در واحد سطح کاهش می‌یابد. مقدار این تنک شدن طبیعی و کاهش تراکم بسیار مهم است و برای محاسبه آن روابط آلومتریک توسعه یافته‌اند که یکی از آنها رابطه بین تراکم (تعداد پایه در واحد سطح) و میانگین درجه دوم قطر برابرسینه درختان (Quadratic Mean Diameter/ QMD) در توده‌ها است که توسط رئینکه در سال ۱۹۳۳ (۱۸) ارائه شد و برای بسیاری از گونه‌ها قابل استفاده است. اصل اولیه در این رابطه آلومتریک آن است که از شرایط طبیعی تنک شدن توده در برنامه‌ریزی تراکم توده استفاده می‌شود (۱۶).

جنگلشناسان همواره از گذشته تا به امروز به دنبال شاخص‌هایی با ساختار ساده اما مؤثر در زمینه رقابت گونه‌ای در توده‌های جنگلی بوده‌اند. شاخص تراکم رئینکه غالباً در کشورهای امریکای شمالی کاربرد داشته و مدتی است که در سایر کشورها نیز مورد توجه قرار گرفته است. رئینکه (۱۸) داده‌های تراکم توده را برای ۱۴ گونه در جنگل خالص و آمیخته

[ Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-04-30 ]
[ DOR: 20.1001.1.24237140.1401.10.20.18.5 ]
[ DOI: 10.52547/ifej.10.20.171 ]

شامل توده‌های طبیعی و دست‌کاشت استفاده کرد و به این نتیجه رسید که وقتی نمودار لگاریتم توان دوم میانگین قطر برابر سینه درختان نسبت به لگاریتم تراکم درختان (تعداد در هکتار) ترسیم شود، حداکثر مقدار شیب این منحنی نشان‌دهنده حداکثر سازگاری رقابتی بین پایه‌ها است. اگر چه شیب منفی و ثابت به‌نظر می‌رسد اما فاصله بین پایه‌ها متفاوت بوده که این نشان‌دهنده حداکثر تراکم توده است و به این ترتیب این شاخص به یک شاخص کاربردی تبدیل شد. نمودار قطر- تراکم به نمودارهای مدیریت تراکم (Management Density Diagram/ DMD) شناخته شدند که به‌طور گرافیکی نشان‌دهنده تراکم و پویایی توده‌های جنگلی هستند. پس از آن، در سال‌های ۱۹۷۷ تا ۱۹۷۹ این شاخص توسط درئو و فله ولینگ (۸،۹) در انگلستان توسعه یافتند. شکل‌های مختلف این نمودارها ابزار مناسبی برای ارزیابی تراکم توده و برنامه‌ریزی دخالت‌های جنگل‌شناسی را فراهم می‌کنند (۱۹). این شاخص، معیاری برای سنجش تراکم بر اساس تعداد درختان در هکتار در واحد سطح و قطر متوسط درجه دوم در ارتفاع برابر سینه یا به اصطلاح قطر سطح مقطع متوسط (Dq) است. در واقع رئینکه یک راه حل ریاضی برای مفهوم ظرفیت حامل (Carring Capacity) مطرح کرد. به این مفهوم که برای هر اندازه معینی از درخت و ویژگی‌های فیزیولوژیکی یک گونه، با تعداد پایه‌ها که همان مقدار مناسبی از تراکم توده است، بدون آسیب به محیط و درختان آن توده، حداکثر تولید محصول فراهم شود (۱۲).

این منحنی‌ها بیان کننده ویژگی تنک شدن خود به خود یا طبیعی است که در حداکثر تراکم توده اتفاق می‌افتد یعنی رسیدن به تراکم بهینه‌ای که از تراکم اولیه توده در سنین جوانی متفاوت باشد و شیب منحنی، تعیین کننده این اصل است. شاخص تراکم (Stand Density Index /SDI) یک مقدار عددی که نشان‌دهنده شدت رقابت در توده‌های جنگلی است معرفی می‌کند و این شاخص را باید ابزاری مناسب برای مدیریت توده، کنترل تاج پوشش و حفظ درجه سلامت جنگل از طریق تصمیم‌گیری در مورد تراکم کاشت اولیه و برنامه‌ریزی برای تنک کردن آینده دانست. هدف منحنی‌های مدیریت تراکم، تولید یک مدل دقیق از پویایی توده است و برخی تحقیقات مقدار این شیب را کمتر از و یا بیشتر از ۱/۶ معرفی کرده‌اند که نشان‌دهنده سه عامل توسعه مقدار SDI به سمت توده‌های ناهمسال، توسعه SDI به سمت توده‌های آمیخته و افزایش صحت نمایش پویایی توده در کلاسه‌های سنی بالاتر است. منحنی لگاریتم طبیعی بین تراکم و میانگین قطر در توده‌های خالص و به‌ویژه جوان، شیب یکسانی دارد، بنابراین ترکیب گونه‌ها در جنگل‌کاری و تبدیل توده‌های همسال به ناهمسال سبب تغییر در ساختار جنگل خواهد شد و نیازمند استفاده اصولی از شاخص‌ها و بررسی آنها است. به‌نظر می‌رسد که این شاخص برای توده‌های آمیخته و توده‌های جنگلی مختلط مناسب نباشد (۱۹،۲۳).

SDI کاربردهای زیادی در توسعه روش‌های مدیریت تراکم توده و مدل‌های محصول در توده‌های جنگلی همسال در امریکای شمالی داشت. پارامترهای حداکثر سطح مقطع توده و حداکثر SDI اغلب برای تعیین ظرفیت حامل توده استفاده می‌شوند، با این حال هنوز تعاریفی از این شاخص در مطالعات داخلی در ایران وجود ندارد. از آنجا که مدیریت تراکم جنگل‌کاری ابزاری کلیدی در توسعه روش‌های مدیریتی و در جهت افزایش سلامت و بهره‌برداری است. کیمسی و همکاران (۱۲) به‌منظور تعیین و اصلاح حداکثر تراکم توده‌های جنگلی و اختلاط گونه‌ای، توده‌های *Pinus ponderosa*، *Pseudotsuga menziesi* و *Abies grandis* را بررسی کردند و برای هر گونه یک مدل اقتصادی پیشنهاد شد که منعکس کننده سازگاری آن با عوامل غیرزیستی در توده‌ها نیز بود. عواملی مانند شرایط اقلیمی مرطوب و خاک‌های حاوی خاکسترهای آتش‌فشانی بر روی سنگ بستر درشت دانه و تنوع گونه‌های درختی بالا از عوامل افزایش تراکم در توده‌ها شناخته شد و با اندازه‌گیری شاخص حداکثر تراکم توده، آن‌را ابزاری مناسب برای ارزیابی تأثیر عوامل اقلیمی بر ظرفیت توده‌های خالص و آمیخته معرفی کردند (۱۲). وودال و همکاران (۲۲) از شاخص SDI به‌منظور تعیین مقدار بهینه تراکم در توده‌های ناهمسال هشت گونه درختی در ایالات متحده استفاده کردند و نتایج آنها نشان داد که این شاخص بنابر نوع و ترکیب گونه‌ای قابلیت محاسبه دارد. همچنین نشان دادند که یک رابطه قوی بین میانگین وزن مخصوص درختان با حداکثر تراکم توده صرف نظر از توزیع قطری یا ترکیب گونه ای وجود دارد (۲۲). پوآژه و همکاران (۱۴) شاخص SDI را برای ۴۰ توده همسال و تنک نشده و همچنین آمیخته با گونه‌های *betеriphylla* *Tsuga* و *Picea sitchensis* در جنوب شرقی آلاسکا استفاده کردند و با استفاده از شیب منحنی اختصاصی، میانگین این شاخص را ۶۱۹ پایه محاسبه کردند و نشان دادند که مقدار این شاخص به تغییرات نسبت گونه‌ها در طول زمان بستگی نداشته زیرا در توده‌های مورد مطالعه در طول زمان نسبت سطح مقطع گونه اول افزایش و گونه دوم کاسته شد (۱۴). یانگ و همکاران (۲۳) نیز مدل SDI را برای جنگل‌های *Chamaecyparis forosensis* و *Cryptomeria japonica* در تایوان به‌منظور استفاده در مدیریت این توده‌ها معرفی کردند. در نهایت سه مدل SDI نسبی را برای جنگل‌های با گونه‌های آمیخته ارائه کردند و برازش این مدل‌ها نیز نشان داد که مدل‌های پیشنهادی قابلیت استفاده در توده‌های آمیخته را به خوبی دارد و این شاخص‌ها به مدیران کمک خواهد کرد تا از طراحی استراتژی‌های جنگلی برای دستیابی به اهداف مدیریت جنگل استفاده کنند (۲۳). ژائو و همکاران (۲۴) ضمن بیان این نکته مهم که حداکثر سطح مقطع توده و شاخص حداکثر تراکم توده (SDI) اغلب برای بیان ظرفیت حامل توده در جنگلداری استفاده می‌شود، این شاخص را در توده‌های *Pinus taeda* محاسبه کردند و به مساحت ۴۲/۲ متر مربع در هکتار و ۱۰۰۲ پایه در هکتار (۶۰۰ تا ۱۴۱۰ پایه در هکتار) رسیدند. آنها همچنین تأکید کردند که با استفاده از برآورد کیفیت رویشگاه، تراکم اولیه و تیمارهای جنگل‌شناسی می‌توان مقدار سطح مقطع و تراکم توده را در حداکثر مقدار ممکن نگه داشت و شاخص SDI اطلاعات بسیار مفیدی در زمینه توسعه عملیات مدیریتی و جنگل‌شناسی مؤثر در اختیار قرار خواهد داد (۲۴).

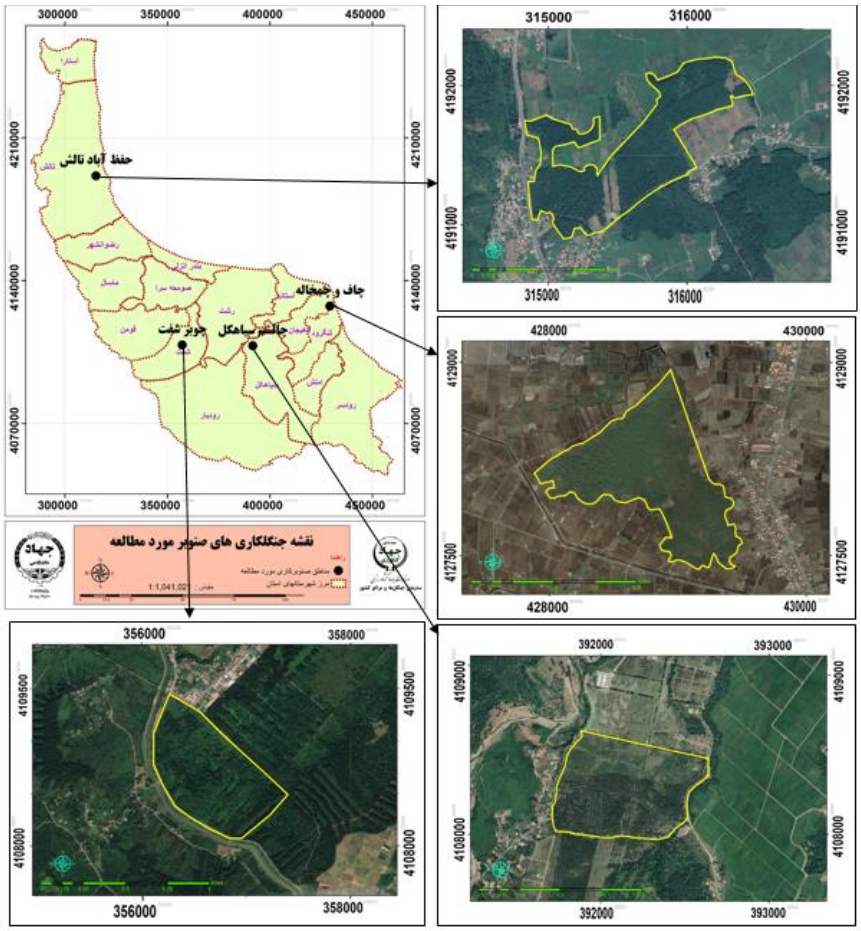
[ Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-04-30 ]
[ DOR: 20.1001.1.24237140.1401.10.20.18.5 ]
[ DOI: 10.52547/ifej.10.20.171 ]

توسعه جنگل‌کاری یکی از بهترین راه‌حل‌های پایدار برای تأمین نیازهای چوبی و کاهش فشار بر منابع جنگلی محسوب می‌شود. در بین گونه‌های مناسب برای جنگل‌کاری، صنوبر به دلیل داشتن بیش از یک دهه پیشینه پژوهشی و اجرایی، سرعت بالای رشد، آشنایی زارعان چوب و وجود رویشگاه‌های مناسب، از گونه‌های مهم و کم رقیب در زمینه جنگل‌کاری محسوب می‌شود. با توجه به اهداف و آرمان‌های تعیین شده در سند چشم انداز ۲۰ ساله کشور و سیاست‌های اجرایی جهت حفاظت، احیا، توسعه و بهره‌برداری پایدار از منابع طبیعی، توسعه جنگل‌کاری به‌عنوان یکی از سیاست‌های اجرایی راهبرد اصلاح نظام‌های بهره‌برداری از منابع طبیعی و مهار عوامل ناپایداری این منابع معرفی شده است. چوب صنوبر یک کالای راهبردی محسوب می‌شود و ماده اولیه بسیاری از صنایع است. صنوبر به دلیل سرعت رشد، دوره بهره‌برداری کوتاه، پراکنش گسترده، تنوع ژنتیکی و قابلیت هیبرید بالا و تولید بیوماس چوبی بالا به‌عنوان اولویت در جنگل‌کاری دنیا مورد استفاده قرار می‌گیرد. از این‌رو بهینه‌سازی فاصله کاشت و داشتن تراکم بهینه در توده باید برای فعالیت‌های مدیریتی مانند تنک کردن، کوددهی و غیره مشخص باشد (۱۱). از این‌رو در پژوهش حاضر به بررسی صنوبرکاری از نظر تراکم موجود و تعیین تراکم بهینه با استفاده از شاخص SDI در استان گیلان پرداخته شده است.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

چهار منطقه توده خالص صنوبر با فواصل کاشت مختلف در استان گیلان برای بررسی انتخاب شدند. مناطق انتخاب شده شامل توده ۳۲ ساله به مساحت ۳۸/۹ هکتار در منطقه چاف و چمخاله واقع در شهرستان لنگرود با فاصله کاشت ۵×۵ متر، توده ۲۹ ساله به مساحت ۴۸ هکتار در منطقه چالشم سیاهکل با فاصله کاشت ۳× ۵ متر، توده ۳۸ ساله به مساحت ۶۶ هکتار در منطقه چوبر در شهرستان شفت با فاصله کاشت ۳×۳ متر و توده ۳۷ ساله به مساحت ۸۹ هکتار در منطقه حفظ آباد تالش با فاصله کاشت ۵×۳/۵ متر بودند (شکل ۱).




شکل ۱- موقعیت جغرافیایی مناطق مورد مطالعه
Figure 1. Geographical location of the studied areas

### روش پژوهش

نمونه‌برداری در هر یک از توده‌ها به‌منظور دستیابی به تراکم موجود، با آماربرداری صد درصد در قطعات نمونه یک هکتاری به ابعاد ۱۰۰ × ۱۰۰ متر به دلیل شرایط کاملاً یکسان از نظر نوع گونه‌ها و شرایط همگن محیطی در توده‌های صنوبرکاری مورد مطالعه، انجام شد (۴). در هر قطعه نمونه همه

[ Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-04-30 ]
[ DOR: 20.1001.1.24237140.1401.10.20.18.5 ]
[ DOI: 10.52547/ifej.10.20.171 ]

درختان شمارش شدند و قطر برابر سینه آنها با کالیپر تا دقت سانتی‌متر و ارتفاع کل درختان با استفاده از دستگاه سونتو تا دقت متر اندازه‌گیری شد. سپس به‌منظور محاسبه تراکم بهینه در هر منطقه از شاخص تراکم توده یا SDI استفاده شد که شاخصی نسبی است و تراکم توده را به یک مقدار مرجع تبدیل می‌کند و برای همه گونه‌های درختی قابل محاسبه است. همانطور که قبلاً گفته شد این شاخص توسط رئینکه در سال ۱۹۳۳ ارائه شد و به شاخص تراکم رئینکه نیز معروف است. بر طبق این شاخص (۱۸):

رابطه (۱) $$SDI = tpha\ (\frac{D_q}{25})^r$$

SDI: شاخص تراکم بهینه (تعداد پایه در هکتار)
tpha: تراکم موجود (تعداد پایه در هکتار)
Dq: مربع میانگین قطر برابر سینه (سانتی‌متر)
r: شیب منحنی که مقدار آن همواره کمتر یا بیشتر از ۱/۶۰۵ است (۱۲،۱۳).

همچنین این شاخص برای حداکثر تراکم توده به‌صورت زیر خواهد بود (۵):

رابطه (۲) $$SDI_{max} = a\ D_q{}^b$$

$SDI_{max}$: شاخص حداکثر تراکم بهینه (تعداد پایه در هکتار)
a و b: پارامترهای عددی رابطه که a: تعداد درختان در هکتار با قطر متوسط ۲۵ سانتی‌متر و بیشتر است و b: شیب منحنی لگاریتم طبیعی تراکم برحسب قطر برابر با ۱/۶۰۵ است.
Dq مربع میانگین قطر برابر سینه (سانتی‌متر)

در نهایت به‌منظور مقایسه مقدار اختلاف بین تراکم واقعی توده‌ها و مقدار تراکم بهینه محاسبه شده، از آزمون t زوجی بین میانگین‌های تراکم واقعی و تراکم بهینه در هر یک از طبقات قطری موجود در مناطق مورد مطالعه در سطح احتمال ۰/۰۵ در محیط نرم‌افزار SPSS استفاده شد.

## نتایج و بحث

محاسبه ویژگی‌های کمّی توده‌های مورد مطالعه نشان داد که میانگین قطر برابر سینه درختان در چهار توده مورد مطالعه دارای دامنه‌ای از ۶/۸۵±۲۶/۵۹ تا ۷/۰۶±۳۵/۰۴ سانتی‌متر بود که به‌ترتیب در فاصله کاشت ۳×۳ متر کمترین میانگین قطر برابرسینه، سپس فاصله کاشت ۳×۵ متر (۴/۶۷±۲۷/۵۹ سانتی‌متر) و ۵×۵ متر (۷/۵۴±۳۰/۶۸ سانتی‌متر) و در نهایت بیشترین مقدار قطر برابر سینه در فاصله کاشت ۳/۵×۵ متر ثبت شد. میانگین ارتفاع در این توده‌ها ۴/۱۱±۱۹/۰۱ تا ۵/۸۵±۲۶/۷۴ متر بود. سطح مقطع از ۰/۰۴±۱۰/۱۰ تا ۰/±۱۹/۲۹ مترمربع بود (جدول ۱).

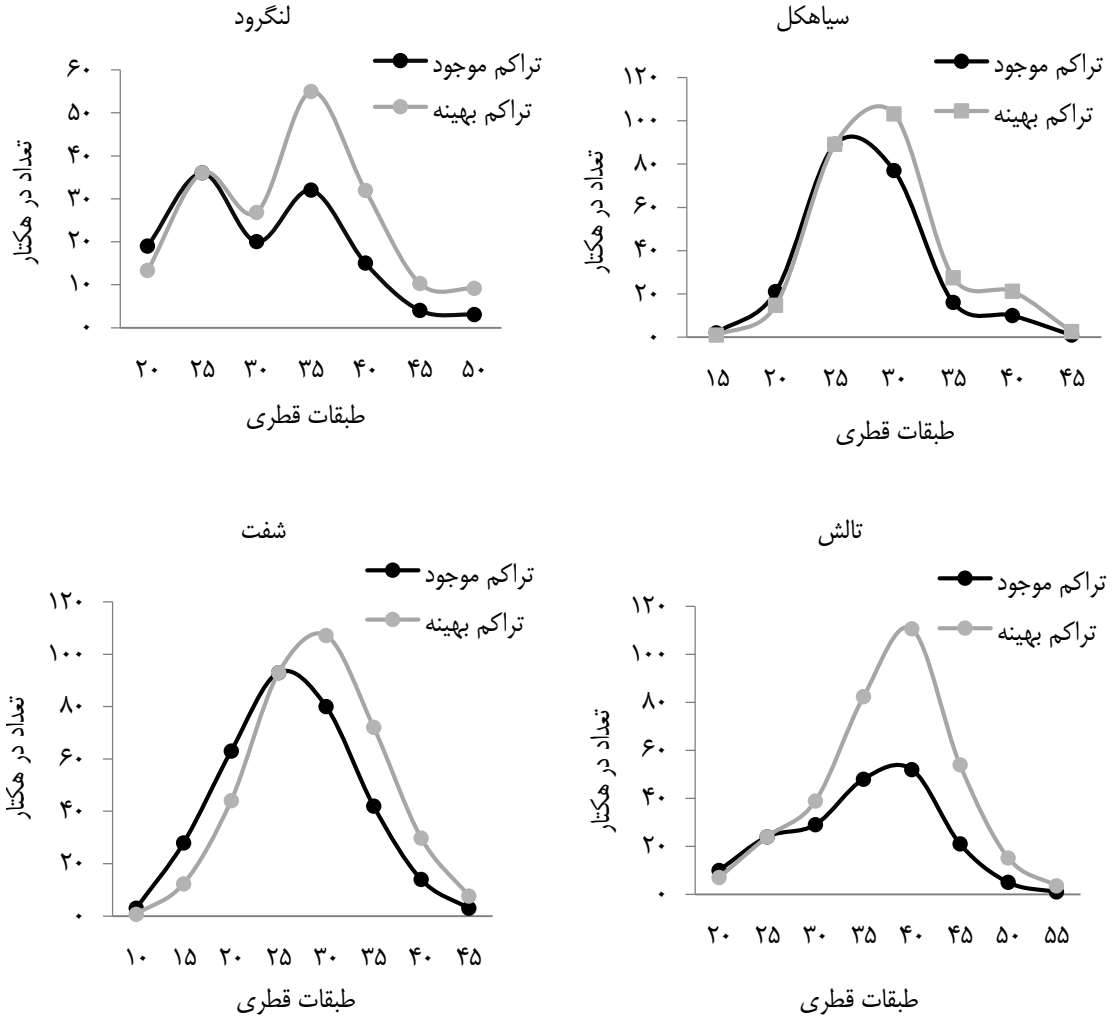
جدول ۱- ویژگی‌های کمی توده‌های مورد مطالعه

Table 1. Quantitative characteristics of the stands

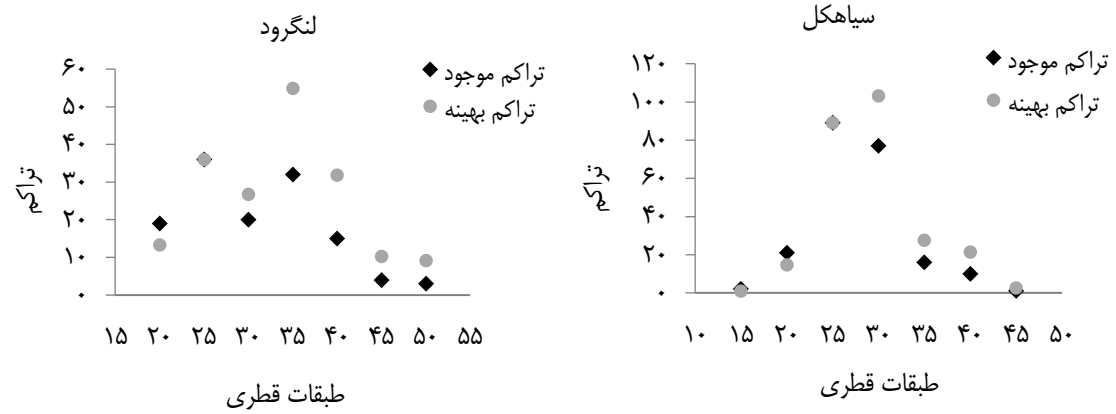
| مناطق مورد مطالعه | لنگرود | سیاهکل | شفت | تالش |
|---|---|---|---|---|
| مساحت (هکتار) | ۳۸/۹ | ۴۸ | ۶۶ | ۸۹ |
| میانگین قطر برابرسینه (سانتی‌متر) | ۷/۵۴±۳۰/۶۸ | ۴/۶۷±۲۷/۵۹ | ۶/۸۵±۲۶/۵۹ | ۷/۰۶±۳۵/۰۴ |
| میانگین ارتفاع (متر) | ۴/۶۱±۲۲/۹۳ | ۱/۹۸±۲۱/۶۸ | ۴/۱۱±۱۹/۰۱ | ۵/۸۵±۲۶/۷۴ |
| سطح مقطع (متر مربع در هکتار) | ۰/۰۴±۱۰/۱۰ | ۰/۰۲±۱۳/۲۷ | ۰/۰۳±۱۹/۲۹ | ۰/۰۴±۱۹/۰۴ |
| تراکم (پایه در هکتار) | ۱۲۹ | ۲۱۶ | ۳۲۵ | ۱۹۰ |

منحنی‌های تراکم موجود نسبت به تراکم بهینه محاسبه شده به تفکیک طبقات قطری نشان داد که به‌طور کلی توده‌ها در طبقات قطری پایین از تراکم مناسبی برخوردارند به‌طوری‌که نمودار تراکم موجود و تراکم بهینه بسیار نزدیک به هم و در برخی طبقات قطری منطبق بودند. طبقه قطری ۲۵ سانتی‌متر در همه توده‌ها به‌عنوان تلاقی بین دو منحنی مشاهده شد. در توده شفت تراکم موجود در این طبقات قطری بیشتر از تراکم بهینه بود. اما در طبقات قطری بالاتر تراکم بهینه بیشتر بوده و بین تراکم بهینه و تراکم موجود اختلاف بیشتری وجود داشت به‌طوری‌که در منطقه تالش بیشترین اختلاف بین تراکم بهینه و موجود مشاهده شد (شکل ۲ و ۳). همانطور که گفته شد، طبقات قطری پایین‌تر شامل طبقات ۱۰ تا ۲۵ سانتی‌متر دارای تراکم بیشتر از مقدار تراکم بهینه هستند، اما طبقات قطری بالاتر، از تراکم بهینه فاصله دارند که احتمالا به‌دلیل برداشت‌های غیر مجاز سنواتی از توده‌های مورد بررسی بوده است که باید به توده فرصت داده شود تا طبقات قطری بالاتر نیز به تراکم بهینه برسند. در عین حال تعادل بین طبقات قطری مختلف برای نرمال بودن منحنی تراکم همچنان حفظ شود و اگر فعالیت مدیریتی در قالب تنک کردن در برنامه‌ریزی پیش‌بینی شود، باید با مطالعه این منحنی‌ها و ارتباط بین طبقات قطری موجود و تراکم بهینه باشد.

[ Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-04-30 ]
[ DOR: 20.1001.1.24237140.1401.10.20.18.5 ]
[ DOI: 10.52547/ifej.10.20.171 ]

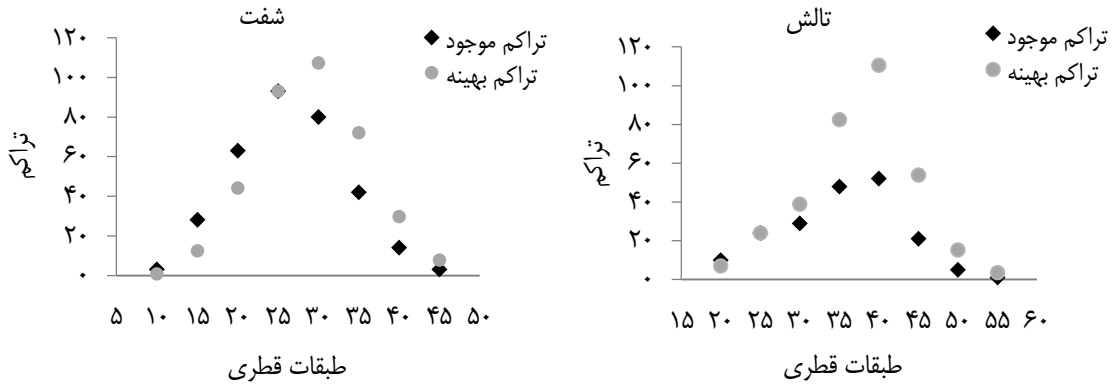



شکل ۲- تعداد در هکتار موجود و بهینه (SDI) در هر طبقه قطری در هر منطقه
Figure 2. Current number per hectare and optimal stand density (SDI) at DBH classes in each stand



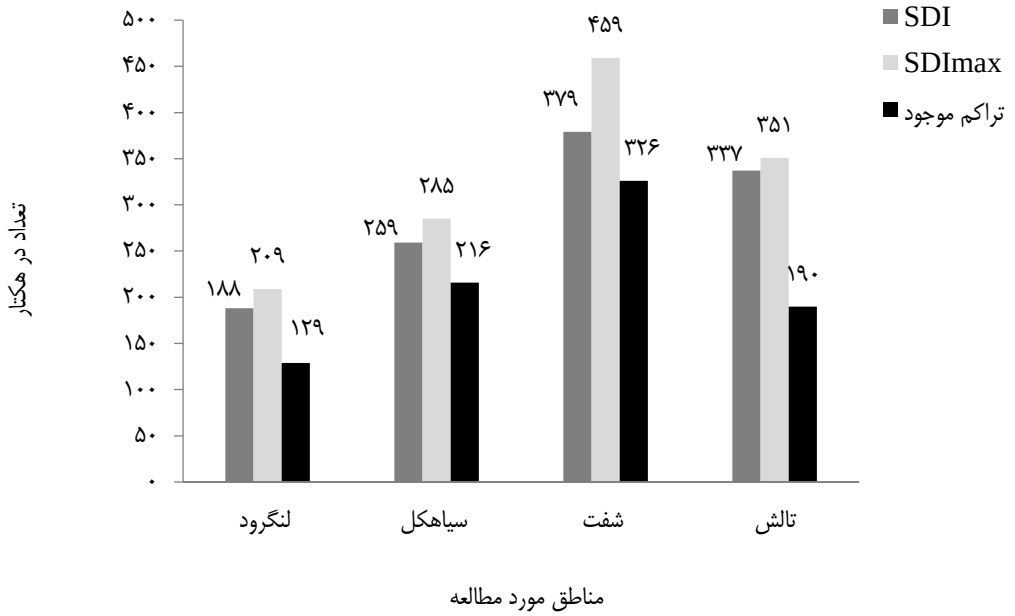

شکل ۳- منحنی‌های ابر نقاط مقادیر واقعی و بهینه تراکم در طبقات قطری در هر منطقه
Figure 3. Current and optimal density at DBH classes in each stand

[ Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-04-30 ]
[ DOR: 20.1001.1.24237140.1401.10.20.18.5 ]
[ DOI: 10.52547/ifej.10.20.171 ]




ادامه شکل ۳- منحنی‌های ابر نقاط مقادیر واقعی و بهینه تراکم در طبقات قطری در هر منطقه
Continud Figure 3. Current and optimal density at DBH classes in each stand

مقدار تراکم بهینه در توده‌های لنگرود، سیاهکل، شفت و تالش به ترتیب ۱۸۸، ۲۵۹، ۳۷۹ و ۳۳۷ پایه در هکتار به‌دست آمد. محاسبه مقدار حداکثر تراکم بهینه ($SDI_{max}$) نیز در هر منطقه نشان داد که به‌ترتیب ۲۰۹، ۲۸۵، ۴۵۹، ۳۵۱ بوده و در همه توده‌های مورد مطالعه، تراکم موجود با مقدار بهینه حداکثر، فاصله دارد (شکل ۴).




شکل ۴- نسبت تراکم موجود، تراکم بهینه و تراکم حداکثر در هر منطقه
Figure 4. Ratio of current density, optimal density and maximum density in each region

مقدار Dq به‌ترتیب در فواصل کاشت ۵×۳/۵ (۳۵/۷۴ سانتی‌متر)، ۵×۵ (۳۱/۶ سانتی‌متر)، ۵×۳ (۲۷/۵۹ سانتی‌متر) و ۳×۳ (۲۷/۴۶ سانتی‌متر) به‌دست آمد و مقدار این پارامتر در توده‌های با فاصله کاشت ۵×۳/۵ در منطقه تالش بیشترین و در فاصله کاشت ۳×۳ در منطقه شفت کمترین بود (جدول ۲).

جدول ۲- میانگین مربع قطر برابر سینه در فواصل کاشت
Table 2. Mean square dbh at planting intervals

| | لنگرود | سیاهکل | شفت | تالش |
|---|---|---|---|---|
| فاصله کاشت (متر) | ۵×۵ | ۵×۳ | ۳×۳ | ۵×۳/۵ |
| Dq (سانتی‌متر) | ۳۱/۶ | ۲۷/۵۹ | ۲۷/۴۶ | ۳۵/۷۴ |

[ Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-04-30 ]
[ DOR: 20.1001.1.24237140.1401.10.20.18.5 ]
[ DOI: 10.52547/ifej.10.20.171 ]

مقایسه بین میانگین تراکم بهینه و تراکم موجود در هر منطقه نشان داد که توده‌های لنگرود، سیاهکل و شفت اختلاف معنی‌داری نداشتند ($p\geq$ ۰/۰۵) اما در توده تالش بین تراکم موجود و تراکم بهینه اختلاف معنی‌داری وجود داشت ($p\leq$۰/۰۵) (جدول ۳). با توجه به مطالعات پوآژه و همکاران (۱۴) و ژائو و همکاران (۲۴) مقدار SDI برای جنگل‌کاری گونه‌های سوزنی‌برگ اعداد بالاتری از تراکم بهینه را نشان داد (به ترتیب ۶۱۹ و ۱۰۰۲) بنابراین مقدار این شاخص در مقایسه بین پهن‌برگان و سوزنی‌برگان به سرشت این گونه‌ها بستگی زیادی دارد و همچنین عواملی مانند کیفیت رویشگاه نیز می‌تواند بر مقدار این شاخص اثر بگذارد. پوساتو و همکاران (۱۵) از شاخص SDI برای توده‌های همسال گونه *Eucalyptus urophylla* در برزیل استفاده کردند و به شیب منفی ۱/۸۶۳- و تراکم ۷۴۰ به‌روش رگرسیون خطی رسیدند (۱۵). در حالی‌که این مقدار برای کاج تدا در جنوب ایالات متحده ۱۰۰۲ پایه در هکتار (۶۰۰ تا ۱۴۰۰) گزارش شد (۲۴). مطالعه در منطقه آکادیان در امریکای شمالی نیز نشان داد که مقدار شاخص SDI برای گونه‌های پهن‌برگ توس، افرا و راش مقدار کمتری (۵۵۵-۶۲۷) داشت درحالی‌که گونه‌های سوزنی برگ *Thuja*، *Tsuga* و *Pinus* مقادیر بیشتری از این شاخص را ارائه کردند (۹۶۷ تا ۱۰۲۶ پایه درهکتار) (۳). کمتر بودن مقدار SDI نسبت به مطالعات مربوط به سوزنی‌برگان به سن توده (در سنین کمتر، توده جوان‌تر، فاصله درختان بیشتر و تراکم کمتر خواهد بود)، سرعت رشد گونه و خالص بودن توده نیز مرتبط است (۱۵).

جدول ۳- مقایسه میانگین‌های اختلاف بین تراکم موجود و تراکم بهینه با استفاده از آزمون t زوجی
Table 3. Comparison the means of current density and optimal density using paired t-test

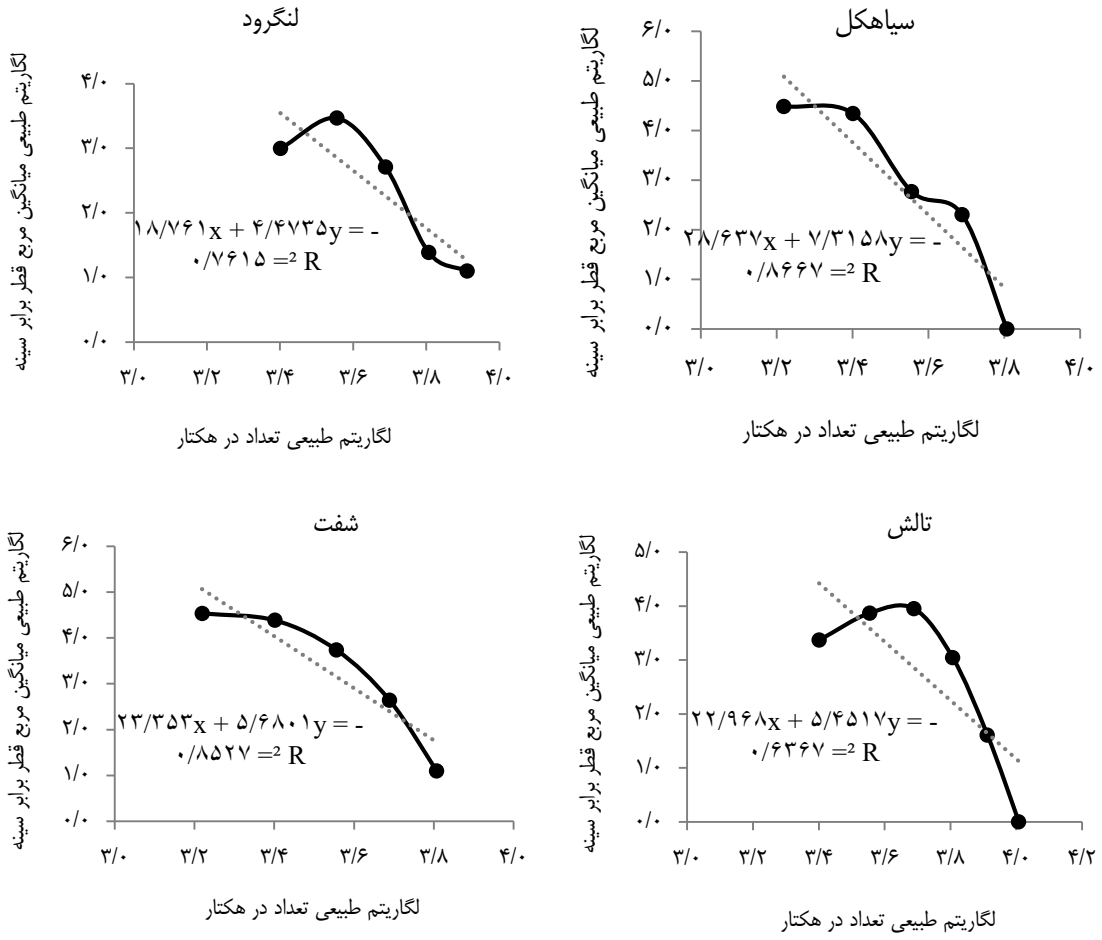
| مناطق مورد مطالعه | میانگین اختلاف‌ها | انحراف معیار | اشتباه معیار | مقدار t | درجه آزادی | Sig. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| لنگرود | -۷/۶۱ | ۹/۶۷ | ۳/۶۵ | -۲/۰۸۴ | ۶ | ۰/۰۸۲$^{ns}$ |
| سیاهکل | -۶/۱۵ | ۱۰/۹۷ | ۴/۱۵ | -۱/۴۸۲ | ۶ | ۰/۱۸۶$^{ns}$ |
| شفت | -۵/۱۰ | ۱۸/۱۹ | ۶/۴۳ | -۰/۷۹۳ | ۷ | ۰/۴۵۴$^{ns}$ |
| تالش | -۱۸/۱۹ | ۲۱/۶۱ | ۷/۶۴ | -۲/۳۸۱ | ۷ | ۰/۰۴۹$^{*}$ |

ns: بدون اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و *: اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵

منحنی لگاریتم طبیعی تراکم بر حسب لگاریتم طبیعی قطر برابر سینه به منظور محاسبه شاخص SDI در شکل ۵ نشان داده شده است. براساس این منحنی‌ها همبستگی بالایی بین این دو مشخصه در تمام مناطق و فواصل کاشت وجود داشت به‌طوری‌که سیاهکل با فاصله کاشت ۳ × ۵ متر (۲۱۶ پایه در هکتار) دارای بیشترین همبستگی رگرسیونی خطی ($r^2$ =۰/۸۷) بود و بعد از آن به‌ترتیب شفت ($r^2$ = ۰/۸۵) با فاصله کاشت ۳ × ۳ متر (۳۲۶ پایه در هکتار) و لنگرود ($r^2$ = ۰/۷۶) با فاصله کاشت ۵ × ۵ متر (۱۲۹ پایه در هکتار) قرار داشتند و منطقه تالش نیز علیرغم همبستگی متوسط ($r^2$ = ۰/۶۴) با فاصله کاشت ۳/۵ × ۵ متر (۱۹۰ پایه در هکتار) دارای کمترین مقدار همبستگی رگرسیون خطی بین این‌دو پارامتر در توده‌های مورد مطالعه بود.

به‌علاوه شیب منحنی لگاریتم طبیعی تراکم (LnN) بر حسب لگاریتم طبیعی میانگین مربع قطر (LnDq) اطلاعات مفیدی درباره شرایط جنگل‌کاری در اختیار قرار می‌دهد. براساس این رابطه، زمانی که تراکم توده به تراکم بهینه رسید شیب منحنی به شیب مرجع یعنی ۱/۶۰۵- نزدیک می‌شود. در مطالعه رئینکه (۱۸) دو گونه از بین ۱۴ گونه مورد مطالعه، از مقدار شیب ۱/۶۰۵- پیروی نمی‌کردند که علت آن را وقوع آتشسوزی در توده ذکر کردند. بنابراین رفتار گونه‌ها عامل مؤثری در این رابطه است. در تراکم بهینه و در نتیجه مدیریت‌هایی همچون تنک کردن، سن بهره‌برداری و تعیین فاصله کاشت اولیه نقش دارند. مقدار شیب منحنی در مطالعه واندرشاف و بوخارت (۲۱) در توده *Pinus taeda* نیز ۱/۷۳- تا ۱/۶۷- بود و در مطالعه هاروی و همکاران (۱۰) برای گونه‌های مختلف *Pinus* ۱/۳۰- تا ۱/۸۴- گزارش شد. رابطه تراکم و قطر نشان‌دهنده ظرفیت حامل بوم‌شناختی رویشگاه است. شیب منحنی‌های لگاریتم قطر برابر سینه نسبت به تراکم در مطالعه گونه *Pinus ponderosa* کمتر از شیب مرجع معرفی شده توسط رئینکه بود (۱۲). بر خلاف مطالعه حاضر که شیب منفی بیشتر از مقدار مرجع بود. کیمسی و همکاران (۱۲) بیان کردند که شیب کمتر به مقاومت سوزنی‌برگان در برابر سایه و به‌طور کلی سایه پسند بودن گونه‌ها در ارتباط است. اگر چه تحت تأثیر عواملی مانند فنولوژی شاخ و برگ و ساختار تاج نیز هست. بنابراین حضور پهن‌برگان نورپسندی همچون گونه صنوبر می‌تواند دلیلی بر افزایش مقدار شیب این منحنی در مناطق مورد مطالعه حاضر باشد. دوروسکا (۷) بر این نکته تأکید کرد که شاخص SDI تنها مناسب توده‌های خالص همسال است و این شاخص می‌تواند به یک شاخص متداول برای برآورد تراکم نسبی باشد و مبنایی برای مدیریت بر اساس تراکم در توده‌های *Pinus elliottii* معرفی شد و شیب منحنی لگاریتمی در مطالعه آنها نیز به‌طور معنی‌داری از مقدار ۱/۶۰۵- فاصله داشت و همچنین بین توده‌های تنک شده و تنک نشده متفاوت بود، وی دلیل آن را مدیریت تراکم در توده مورد مطالعه معرفی کرد (۷). بنابراین به‌طور کلی می‌توان گفت که سرشت نورپسندی گونه، دخالت‌های مدیریتی یا برداشت و عوامل محیطی مانند آتشسوزی می‌توانند بر روی شیب این منحنی مؤثر باشند و با ترسیم این منحنی می‌توان تا حدود زیادی به اثرات این تغییرات در توده‌ها پی برد. همچنین مقدار بیشتر میانگین مربع قطر برابر سینه (Dq) در مطالعه حاضر در فواصل کاشت بیشتر (تراکم کمتر) اتفاق افتاد که تأکیدی بر نور پسند بودن گونه صنوبر است که هرچه فاصله کاشت بیشتر باشد رویش قطر بیشتر خواهد شد.

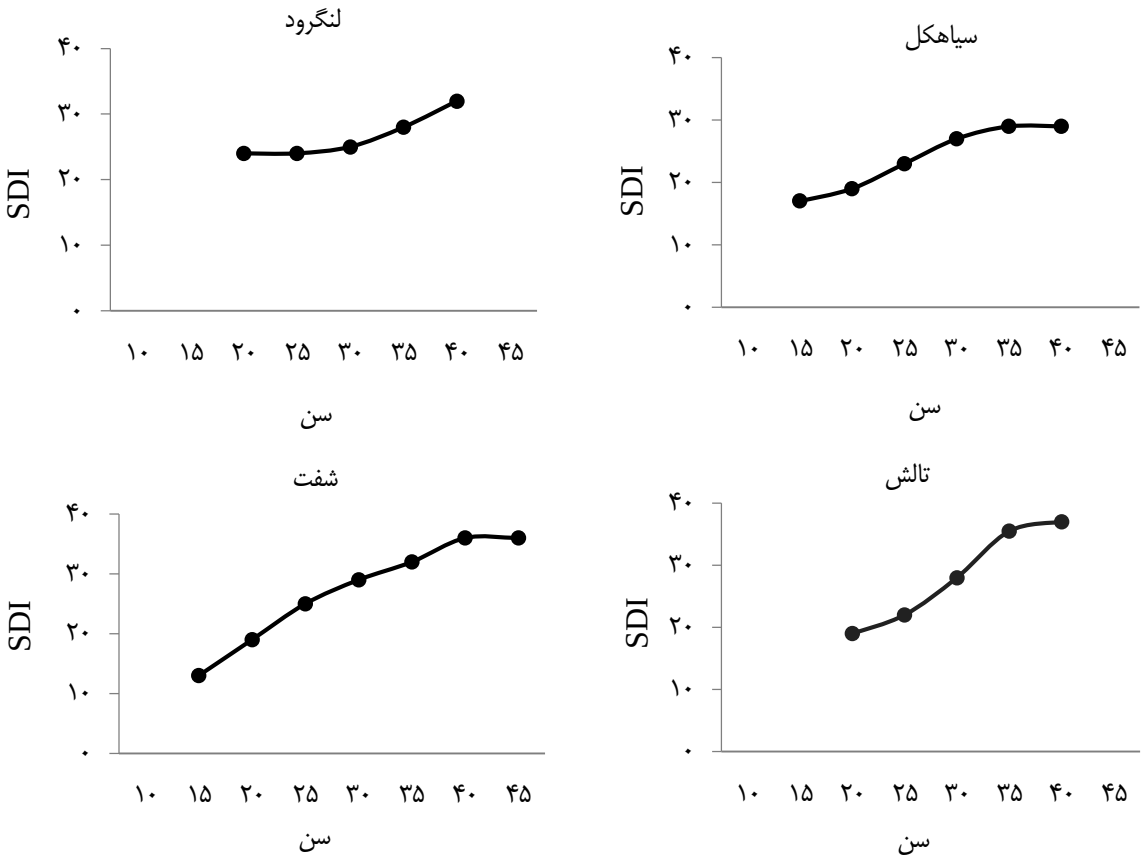
[ Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-04-30 ]
[ DOR: 20.1001.1.24237140.1401.10.20.18.5 ]
[ DOI: 10.52547/ifej.10.20.171 ]




شکل ۵- نمودار لگاریتم طبیعی طبقات قطری بر حسب تراکم در مناطق مورد مطالعه
Figure 5. Diagram of natural logarithm of dbh classes in terms of density in the studied areas

مقدار شاخص تراکم بهینه بر حسب سن نیز در توده‌ها نشان داد که مقدار این شاخص با افزایش سن افزایش یافته و در محدوده سنی ۳۵ تا ۴۰ سال بیشترین مقدار این شاخص بوده است (شکل ۶).

[ Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-04-30 ]
[ DOR: 20.1001.1.24237140.1401.10.20.18.5 ]
[ DOI: 10.52547/ifej.10.20.171 ]




شکل ۶- نمودار شاخص تراکم بهینه بر حسب سن در مناطق مورد مطالعه
Figure 6. Diagram of optimal density index by age in the studied areas

نمودارهای تراکم توده یکی از ابزارهای برنامه‌ریزی و مدیریت جنگل به‌عنوان پشتیبان تصمیم‌گیری مدیریتی در دوره‌های میان مدت در جنگل‌کاری است زیرا تراکم عاملی است که در قالب فاصله کاشت مطرح بوده و مدیران می‌توانند آن‌را به منظور تأثیرگذاری عملیات ایجاد و توسعه جنگل‌کاری به‌کار گیرند. بنابراین یکی از کاربردهای محاسبه این شاخص به منظور ارائه راه‌کارهای افزایش کیفیت چوب، سرعت رویش قطری و توزیع پتانسیل رویش در درختان باقیمانده در توده، استفاده از تفسیر نمودارهای تراکم است که می‌توان پویایی، توسعه، درجه رقابت و بهره‌وری یک توده را بررسی کرد. از سوی دیگر از نظر علمی می‌توان از شاخص‌ها به‌عنوان ابزاری برای مدیریت صحیح تراکم در توده‌ها استفاده کرد و با بررسی وضعیت موجود، مقدار، زمان و شدت مدیریت، تراکم را تعیین کرد.

نمودارهای شاخص SDI که به نمودارهای مدیریت تراکم یا DMD نیز معروف هستند رابطه بین تراکم (تعداد در هکتار) و اندازه متوسط قطر آنها را نشان می‌دهد و راهنمایی برای مقایسه آسان و سریع، ارزیابی و تصمیم‌گیری بین مدیریت صحیح تراکم پایه‌ها درهکتار در جنگل‌کاری به‌کار می‌رود (۲۰). به عبارت دیگر از روی منحنی‌های این شاخص مشخص می‌شود که چه طبقات قطری را باید متراکم‌تر و چه طبقات قطری را تنک کرد. نکته قابل توجه در این شاخص آن است که ساختار توده همسال در تعیین تراکم بهینه نقشی ندارد و سبب تغییر مقدار آن نخواهد شد بلکه شاخص تراکم بهینه نشان می‌دهد که کدام طبقات قطری باید تنک و از تراکم آنها کاسته شود و کدام طبقات نیاز به افزایش تراکم دارند. نکته قابل توجه در محاسبه این شاخص آن است که تراکم بهینه به مفهوم تراکم بیشتر نیست، بلکه این تراکم بهینه براساس میزان رویش قطری درختان و پتانسیل ظرفیت حامل توده تعیین می‌شود که دخالت‌های پرورشی جنگل‌شناسی از ابتدای استقرار توده، زمان رسیدن به تراکم بهینه برای تولید را کوتاه‌تر خواهد کرد (۲۴). هرچند که رسیدن به مقدار $SDI_{max}$ در توده به حداکثر شدن مقدار سطح مقطع توده نیز کمک خواهد کرد و این شاخص براساس ظرفیت حامل یک منطقه تعیین می‌شود یعنی توده پس از رسیدن به مقدار حداکثر تراکم به بیشترین سطح مقطع خود نیز براساس رویش قطری می‌رسد. این شاخص اطلاعات لازم را براساس شرایط موجود در توده برای ایجاد چشم‌اندازهای موفق جنگل‌شناسی فراهم می‌کند. تهیه جداول زمان و مکان تنک کردن با استفاده از منحنی‌های مدیریت تراکم حاصل از این شاخص مانند آنچه دین و دالدوین (۶) برای اولین بار در توده‌های گونه *Pinus taeda* ارائه کردند برای صنوبرکاری در سطح استان پیشنهاد می‌شود.

[ Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-04-30 ]
[ DOR: 20.1001.1.24237140.1401.10.20.18.5 ]
[ DOI: 10.52547/ifej.10.20.171 ]

نکته کاربردی دیگر این شاخص در صنوبرکاری‌های مورد مطالعه، توسط اندروز و همکاران (۳) مطرح شد و آنها $SDI_{max}$ را شاخصی بسیار مناسب و مؤثر در مدیریت جنگل و به‌طور ویژه در تعیین سن بهینه و شدت بهینه تنک کردن معرفی کردند. آنها عوامل محیطی مانند شرایط اقلیمی، مقاومت به سرما، طول فصل رویش و بارش را از عوامل مهم مؤثر بر پتانسیل رویشگاه‌ها معرفی کردند که بر رویش قطر و رسیدن به تراکم بهینه مؤثر هستند. محدودیت‌های مؤثر بر تحقیقات در این زمینه را نیز شامل آماربرداری در قطعات نمونه، محدودیت‌های اطلاعاتی از تاریخچه توده‌ها مانند اعمال مدیریت‌ها و اطلاعات خاک و همچنین عدم قطعیت در وقوع انواع شرایط آب و هوایی معرفی شدند که می‌توانند بر تحقیقات مرتبط با تراکم بهینه اثر منفی داشته باشند (۳). بنابراین ارائه یک چهارچوب مفهومی برای برآورد و پیش‌بینی مقادیر تراکم بهینه و حداکثر تراکم بهینه بر اساس انواع گونه‌ها سبب شناخت بهتر از پتانسیل عرصه‌های جنگل‌کاری خواهد شد و حتی به مدیریت آنها برای تبدیل به توده‌های آمیخته و ناهمسال نیز کمک بسزایی خواهد کرد. همچنین شاخص $SDI_{max}$ عامل مهمی در کنترل پویایی توده است که برحسب نوع گونه و منطقه می‌تواند متفاوت باشد (۲۲).

نکته قابل توجه این است که درسال‌های اخیر توجه زیادی به شاخص تراکم رئینکه شده است. اگر چه که در ابتدا به‌عنوان یک شاخص اندازه‌گیری تراکم نسبی در توده‌های خالص و همسال مطرح شده بود اما امروزه با استناد به تحقیقاتی که نشان می‌دهند با ایجاد تغییراتی در ساختار معادله آلومتریک آن، قابلیت استفاده در توده‌های ناهمسال و آمیخته را نیز دارد.

## نتیجه‌گیری کلی

پژوهش حاضر توده‌های صنوبر به‌عنوان مهم‌ترین جنگل‌کاری استان گیلان را از نظر تراکم بهینه مورد بررسی قرار داد. طبق نتایج حاصل از پژوهش حاضر پارامترهای SDI، $SDI_{max}$، N و Dq دریافتیم زمانی که توده به مقدار بهینه تراکم و به‌طور ویژه به حداکثر تراکم برسد بیشترین سطح مقطع و قطر برابر سینه توده نیز به دست خواهد آمد.

نتایج این مطالعه راهنمایی مناسب به منظور مقایسه بین شرایط موجود و ایده‌آل مطابق با شرایط رویشی گونه در رویشگاه، ارزیابی و تصمیم‌گیری در مدیریت درست تراکم درختان در توده‌ها خواهد بود.

همه توده‌های مورد مطالعه در نقاط مختلف استان وضعیت مناسبی از نظر تراکم داشتند و اختلاف معنی‌داری بین تراکم موجود و بهینه مشاهده نشد (به جز منطقه تالش) که با توجه به سابقه صنوبرکاری در سطح استان، رسیدن به تراکم بهینه دور از انتظار نبود. اما نکته مهم آن است که رسیدن به $SDI_{max}$ باید هدف نهایی در این توده‌ها باشد و همچنین زمان و شدت دخالت‌های جنگل‌شناسی مانند تنک کردن با استفاده از شاخص SDI مورد توجه قرار گیرد تا توده بتواند زودتر (در سنین کمتر) به حداکثر تولید برسد. از نتایج این پژوهش می‌توان به منظور تهیه جداول مرجع مانند آنچه که رئینکه برای سوزنی‌برگان و برحسب قطر (اینچ) و تراکم در واحد سطح (ایکر) ارائه کرد برای توده‌های کشور برحسب گونه‌های پهن‌برگ، و بر اساس مقیاس‌های قابل قبولی مانند سانتی‌متر و هکتار استفاده شود تا به‌عنوان جدولی مرجع و مبنا در اختیار محققان، مدیران و برنامه‌ریزان قرار گیرد و برای مدیریت انواع جنگل‌کاری بر حسب گونه استفاده شود. پیشنهاد می‌شود که با مطالعات اختصاصی دقیق‌تر به ارائه مدل SDI بومی بر اساس جنگل-کاری گونه‌های مختلف و ارائه مدلی سازگار با شرایط خالص یا آمیخته از گونه‌های کاشته شده در کشور اقدام شود. به عبارت دیگر این مدل بنابر آنچه بسیاری از محققین سایر کشورها انجام داده‌اند بومی‌سازی شود زیرا رسیدن به تراکم بهینه به-منظور استفاده بهینه از زمین و در عین حال بیشترین رویش در کوتاه‌ترین زمان، همواره دغدغه مدیریت جنگل‌کاری بوده است.

## تشکر و قدردانی

این مقاله از نتایج طرح پژوهشی با حمایت مالی اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان گیلان اقتباس شده است.

## منابع

1. Abedi, R. and A.E. Bonyad. 2017. Forest density classification using IRS satellite image and nonparametric KNN method, Journal of Forest and Wood Products, 69(4): 667-677 (In Persian).
2. Abedi, R. and R. Ostad Hashemi. 2021. Estimation of Density using Plot Less Density Estimator Criteria in Arasbaran Forest, Ecology of Iranian Forests, 8(16): 39-47 (In Persian).
3. Andrews, C., A. Weiskittela, A.W. D'Amatoc and E. Simons-Legaarda. 2018. Variation in the maximum stand density index and its linkage to climate in mixed species forests of the North American Acadian Region, Forest Ecology and Management, 417: 90-102.
4. Arora, G., S. Chaturvedi, R. Kaushal, A. Nain, S. Tewari and N.M. Alam. 2014. Growth, biomass, carbon stocks, and sequestration in age series of *Populus deltoides* plantations in Tarai region of central Himalaya, Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 38: 550-560.
5. Assmann, E. 1970. The Principles of Forest Yield Study. Pergamum Press, Oxford, 506 pp.
6. Dean, T.J. and V.C. Baldwin. 1993. Using a density management diagram to develop thinning schedules for loblolly pine plantations. Res. Pap. SO-275. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 7 p.
7. Doruska, P.F. 2002. Development of a stand density index equation for slash pine stands. In: McRoberts, Ronald E.; Reams, Gregory A.; Van Deusen, Paul C.; Moser, John W., eds. Proceedings of the Thrid

[ Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-04-30 ]
[ DOR: 20.1001.1.24237140.1401.10.20.18.5 ]
[ DOI: 10.52547/ifej.10.20.171 ]

Annual Forest Inventory and Analysis Symposium; Gen. Tech. Rep. NC-230. St. Paul, MN: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, North Central Research Station: 202-206.
8. Drew, T.J. and J.W. Flewelling. 1977. Some recent Japanese theories of yield-density relationship and their application to Monterey pine plantation, Forest Science, 23: 517-534.
9. Drew, T.J. and J.W. Flewelling. 1979. Stand density management on alternative approach and its applicatiob to Doglas fir plantations, Forest Science, 25: 518-532.
10. Harvey, B.J., B.A. Holzman and J.D. Davis. 2011. Spatial variability in stand structure and densitydependent mortality in newly established postfire stands of a California closed-cone pine forest. Fores t Ecology and Management, 262(11): 2042-2051.
11. Heshmatol Vaezin, S.M., B. Khezriyan, M. Namiranian, M. Hajjarian, M. Janat Babaii and F. Shaykhkanlooy Milan. 2020. Determining the economically optimal planting interval, planting pattern and rotation age for high-yielding black poplar (*Populus nigra* L.) clones in West Azerbaijan province, Iran, Iranian Journal of Forest, 12(2): 233-256 (In Persian).
12. Kimsey, M.J., T.M. Shaw and M.D. Coleman. 2019. Site sensitive maximum stand density index models for mixed conifer stands across the Inland Northwest, USA, Forest Ecology and Management, 433: 396-404.
13. Long, J.N. 1985. A practical approach to density management. Forest Chronicle, 61: 23-37.
14. Poage, N.J., D.D. Marshall and M.H. McClellan. 2007. Maximum Stand-Density Index of 40 Western Hemlock–Sitka Spruces Stands in Southeast Alaska, Western Journal of Applied Forestry, 22(2): 99-104.
15. Possato, E.L., N. Calegario, G.S. Nogueira, E.A. Melo and J.A. Alves. 2016. Estimate of stand density index for *Eucalyptus urophylla* using different fit methods, Revista Árvore, Viçosa-MG, 40(5): 921-929.
16. Pretzsch, H. and P. Biber. 2005. A Re-Evaluation of Reineke's Rule and Stand Density Index, Forest Science, 51(4): 304-320.
17. Rafiei Jahed, M., A. Fakhari, J. Eslamdoust, M. Fashat, Y. Kooch and S.M. Hosseni. 2017. Restoration of degraded forest using native and exotic species: Investigation on soil productivity and stand quality (Case study: Chamestan, Mazandaran province), Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 25(3): 483-494 (In Persian).
18. Reineke, L.H. 1933. Perfecting a stand density index for even aged forests, Journal of Agriculture Research, 46(7): 671-638.
19. Shaw, J.D. 2006. Reineke's Stand Density Index: Where are we and where do we go from here? Proceedings: Society of American Foresters 2005 National Convention. October 19-23, 2005, Ft. Worth, TX. [Published on CD-ROM]: Society of American Foresters, Bethesda, MD.
20. Tamarit-Urias, J.C., G. Quiñonez-Barraza, H.M. Santos-Posadas, A. Castañeda-Mendoza, W. Santiago-García. 2019. Diagram for density management in stands of Pinus patula Schiede ex Schltdl. & Cham. In Puebla, Mexico, Revista Mexicana de Ciencias Forestales, 10(51): 1-24.
21. Vanderschaaf, C.L. and H. Burkhart. 2007. Comparison of methods to estimate Reineke's maximum size-density relationship species boundary line slope. Forest Science, 53(3): 435-442.
22. Woodall, C.W., P.D. Miles, J.S. Vissage. 2005. Determining maximum stand density index in mixed species stands for strategic-scale stocking assessments, Forest Ecology and Management 216: 367-377.
23. Yang, T.R., T.Y. Lama and J.A. Kershaw. 2018. Developing relative stand density index for structurally complex mixed species cypress and pine forests, Forest Ecology and Management, 409: 425-433.
24. Zhao, D., B.P. Bullock, C.R. Montes and M. Wang. 2020. Rethinking maximum stand basal area and maximum SDI from the aspect of stand dynamics, Forest Ecology and Management, 475: 118462.

[ Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-04-30 ]
[ DOR: 20.1001.1.24237140.1401.10.20.18.5 ]
[ DOI: 10.52547/ifej.10.20.171 ]

# Determination of Optimal Density in Poplar (*Populus deltoides*) Plantations based on the Reineke Method (Case study: Guilan Province)

**Tooba Abedi[1], Roya Abedi[2] and Behzad Bakhshandeh[3]**

1- Assistant professor, Environmental Research Institute, Academic Center for Educatuion, Cultute and Research, Rasht, Iran
2- Assistant Professor, Ahar Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Tabriz, Iran, (Corresponding author: royaabedi@tabrizu.ac.ir)
3- Head of Forestry Office, General Department of Natural Resources and Watershed Management of Guilan Province

Received: 14 March, 2022 Accepted: 20 April, 2022

## Extended Abstract

**Introduction and Objective:** Density is a determinant and key factor in the development of a forest stand. In dense stands, competition is high, development occurred late due to limited access to resources, and are highly vulnerable to natural events such as insect infestation, fire, and drought. In contrast, low-density stands will not use the resources available in the habitat efficiently and the return of invested capital will decrease. Therefore, optimal density in forest stands is effective in the optimal use of resources in the habitat and maintaining health and growth in a stand. The present study was conducted to determine the optimal density in the afforestation stands of *Populus deltoides* in Guilan province and by selecting four pure stands of this species at different ages that had good distribution in the province.

**Material and Methods:** The characteristics of the density (number per hectare of all trees) were counted and the diameter at breast height and the total height of trees were measured within one hectare (100 × 100 meters) area sampling plots. Stand Density Index (SDI) was calculated in order to evaluate the optimal amount of density based on allometric equations.

**Results:** The results indicated that the existing density in Langrood (22 years of age with 5×5 m planting distance), Siahkal (29 years of age with 3×5 m planting distance), Shaft (38 years of age with 3×3 m planting distance), and Talesh (37 years of age and 5×3.5 m planting distance) regions were 129, 216, 325, and 190, respectively; and the optimal density was 188, 259, 379, and 337 respectively in these areas. The results indicated that the existing density in Langrood, Siahkal, Shaft, and Talesh regions were 129, 216, 325, and 190, respectively; and the optimal density was 188, 259, 379 and 337 respectively; and having no significant difference (except in Talesh area) with existing density in these areas ($p<0.05$). The existing density and the optimal density diagrams relative to the diameter classes showed that the diameter classes have a good density in lower classes, the two diagrams were very close to each other and there was overlap in the low classes. The 25 cm diameter class was observed as an intersection between the two diagrams. But, there was a greater difference between the optimal density and the existing density in the higher diameter classes.

**Conclusion:** The results of this study will be a suitable guide for easy and fast comparison between the existing and ideal density according to the species growing condition in the habitat, evaluation, and decision-making of appropriate management of trees density in afforestation.

**Keywords:** Even-aged forest, Forest management, Maximum Stand Density Index ($SDI_{max}$), Poplar, Pure plantation, Stand Density Index (SDI)

[ Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-04-30 ]

[ DOR: 20.1001.1.24237140.1401.10.20.18.5 ]
[ DOI: 10.52547/ifej.10.20.171 ]