

ارزیابی اثر آشفته‌گی و ویژگی‌های مکانی بر تجدید حیات با استفاده از معادلات ساختاری (مطالعه موردی: جنگل خیرود)

ملیحه عرفانی^{۱*}، افشین دانه‌کار^۲، عبدالرسول سلمان‌ماهینی^۳ و وحید اعتماد^۴

^{۱*} - نویسنده مسئول، استادیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه زابل، زابل، ایران. پست الکترونیک: malihe1erfani@gmail.com

^۲ - استادیار، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

^۳ - دانشیار، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

^۴ - دانشیار، گروه جنگل‌داری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۵/۰۸

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۱/۲۵

چکیده

اثر آشفته‌گی‌های انسانی از قبیل چرای دام، بهره‌برداری از جنگل و استفاده افراد محلی و ویژگی‌های مکانی (شیب، جهت، ارتفاع و خاک) بر تجدید حیات گونه‌های درختی و در نتیجه سلامت جنگل اجتناب‌ناپذیر است. در این پژوهش، اثر آشفته‌گی‌ها و ویژگی‌های مکانی بر تجدید حیات گونه‌های درختی در جنگل خیرود نوشهر بررسی شد. برخی از نمایه‌های نهال، خال و درخت در ۱۰۰ قطعه نمونه ۱۰ متر مربعی اندازه‌گیری شد و به همراه نمایه‌هایی از مجموعه‌هایی معروف به "سازه" شامل سازه آشفته‌گی و سازه ویژگی‌های محیطی در قالب معادلات ساختاری - حداقل مربعات جزئی (SEM-PLS) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در نتیجه این بررسی مشخص شد که نقش سازه آشفته‌گی بر سازه نهال در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار بود. همچنین، سازه نهال بر سازه خال، سازه خال بر سازه درخت و سازه درخت بر سازه نهال در سطح اطمینان ۹۹ درصد اثرگذار بود. تأثیر تعدیل‌گری سازه ویژگی‌های مکانی بر مسیر آشفته‌گی به نهال (در سطح اطمینان ۹۹ درصد) و مسیر آشفته‌گی به خال (در سطح اطمینان ۹۵ درصد) معنی‌دار بود. بنابراین، آشفته‌گی‌ها و ویژگی‌های مکانی منطقه مورد مطالعه، بیشترین تأثیر را به ترتیب بر نهال و سپس خال گذاشته و از این مسیرها به‌طور غیرمستقیم بر سازه درخت اثرگذار بودند.

واژه‌های کلیدی: خال، سازه آشفته‌گی، سازه ویژگی‌های محیطی، سلامت جنگل، نهال.

مقدمه

حیات شامل انتقالات چندگانه بین مراحل مختلف تجدید حیات (گل، بذر، نهال و خال) است که با توجه به عامل‌های زیستی و غیرزیستی بر خروجی تجدید حیات یعنی تعداد درختان جوان مستقر شده تأثیر می‌گذارد (Pulido & Díaz, 2005). آشفته‌گی‌های طبیعی و انسانی موجب تغییر نرخ بازسازی جنگل در طول زمان می‌شوند (Sturtevant *et al.*, 2014). اندازه و تناوب آشفته‌گی‌ها به همراه ناهمگنی مکانی و

تجدید حیات جنگل فرایندی پویاست که در نتیجه استقرار و رشد آن، درختان جدیدی به جمعیت درختان بالغ اضافه می‌شود و از دست رفتن درختان بالغ را در اثر مرگ‌ومیر تدریجی (Busing & Maily, 2004)، بادافتادگی (Rebertus & Veblen, 1993) و بهره‌برداری (Izquierdo *et al.*, 2004) جبران می‌کند. فرایند کامل تجدید

انجام می‌شود. بررسی اثر توأم بهره‌برداری از چوب و چرای دام توسط Endara Agramont و همکاران (۲۰۱۲) در بخشی از جنگل‌های مکزیک مورد توجه قرار گرفت. آن‌ها نشان دادند که آشفته‌گی‌های بهره‌برداری و چرای دام موجب تغییر ترکیب گونه‌ای شده و آنرا به سمت مراحل ابتدای توالی سوق می‌دهد.

تمرکز برخی پژوهش‌ها تنها بر تأثیر عامل‌های محیطی بر تجدید حیات بوده است. برای نمونه، اثر عامل‌های محیطی شیب، جهت دامنه و ارتفاع در بررسی تجدید حیات جنگل‌های جنوب اتیوپی مورد توجه Gebrehiwot (۲۰۰۳) قرار گرفت. وی دریافت که جهت دامنه مؤثرترین عامل بوده و با افزایش درجه جهت تعداد نهال، خال و درخت افزایش می‌یابد. Fei و همکاران (۲۰۱۳) نیز در جنگل‌های مخلوط بلوط-کاج در Qinling چین نشان دادند که از میان فاکتورهای محیطی، جهت دامنه بیشترین اثر را در تجدید حیات درختان جنگلی داشت، به‌طوری‌که با افزایش شیب‌های واقع در سایه، تراکم خال‌ها کاهش و تراکم نهال‌ها افزایش می‌یافت. همچنین، در مطالعه آن‌ها تراکم نهال با افزایش ارتفاع، کاهش نشان داد. Mahdavi و همکاران (۲۰۱۰) نشان دادند که مهم‌ترین عامل‌های مؤثر بر زادآوری درختان جنگل‌های کبیرکوه ایلام، طبقات ارتفاعی، جهت دامنه و برخی از ویژگی‌های شیمیایی خاک بود. مطالعه Chauhan و همکاران (۲۰۰۸) در جنگل‌های طبیعی و دست‌کاشت غرب Uttar Pradesh در هند نشان داد که تغییر عامل‌های خاک و اقلیم موجب تغییر در تجدید حیات گونه‌های درختی جنگلی می‌شد.

برخی از پژوهشگران علاوه بر اثر آشفته‌گی‌های انسانی، اثر عامل‌های محیطی را نیز در پژوهش‌های خود بررسی کرده‌اند. Cierjacks و همکاران (۲۰۰۸) اثر ارتفاع از سطح دریا و آشفته‌گی‌های انسانی (چرای دام) را بر تجدید حیات دو گونه درختی در اکوادور بررسی کردند. آن‌ها نشان دادند که با افزایش ارتفاع و افزایش چرای دام، تعداد نهال در متر مربع به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. Torres و همکاران (۲۰۰۸) اثر برخی از عامل‌های محیطی مانند شیب و جهت

زمانی محیط بر استقرار، رشد و بقاء درختان مؤثر است (Mori & Takeda, 2004). گونه‌های مختلف درختی با توجه به خصوصیات اکولوژیک خود، به نوسان، اندازه و شدت آشفته‌گی، پاسخ‌های متفاوتی می‌دهند (Drobyshev *et al.*, 1999). با توجه به اهمیت تجدید حیات در بقای جنگل، برنامه پایش و ارزیابی جنگل آمریکا (FIA) نمایه‌هایی از نهال و خال را به‌عنوان نمایه‌های سلامت جنگل معرفی کرده و بررسی آن را در برنامه‌های پایش خود در قطعه‌نمونه‌های ثابت گنجانده است (Anonymous, 2011).

در خصوص تأثیر عامل‌های محیطی و آشفته‌گی‌های انسانی بر تجدید حیات جنگل منابع علمی گسترده‌ای وجود دارد. اثر چرا و لگدکوبی دام بر تجدید حیات جنگل در برخی مطالعات مورد توجه قرار گرفته است که از آن بین می‌توان به پژوهش‌های Wassie و همکاران (۲۰۰۹) در جنگل‌های اتیوپی و Buffum و همکاران (۲۰۰۹) در جنگل‌های بوتان اشاره کرد. این مطالعات اثر چرای دام را بر رشد نهال‌ها و مرگ‌ومیر قوی و منفی گزارش کردند. اثر بهره‌برداری چوب بر تجدید حیات توسط پژوهشگرانی چون Soriano و همکاران (۲۰۱۲) در جنگل‌های شمال Bolivia در برزیل و Martinez Pastur و همکاران (۲۰۱۳) در جنگل‌های جنوب Patagonian در آرژانتین مورد بررسی قرار گرفت. این مطالعات نشان داد که به‌علت باز شدن تاج‌بوشش، تجدید حیات در مناطق بهره‌برداری شده بیشتر از مناطق بهره‌برداری نشده بود، اما تجدید حیات برخی از گونه‌های ارزشمند از نظر چوب و بقای نهال و خال در مناطق مورد بهره‌برداری کاهش یافته بود. در پژوهش Sadat Mahale و Hassanzadeh Narverdi (۲۰۱۵) در جنگل شن‌رود سیاه‌کل، تغییر ترکیب گونه‌ای در اثر بهره‌برداری گزارش شد، به‌طوری‌که بهره‌برداری تیپ ناخالص راش را به سمت تیپ خالص راش سوق داده بود. Kakavand و همکاران (۲۰۱۵) نیز دریافتند که حرکت توالی توده‌های کمتر دست‌خورده راش در جنگل خیرود نوشهر به سمت مرحله اوج با جایگزین شدن درخت راش

اقلیم منطقه بر اساس روش آمبرژه مرطوب سرد و نوع سنگ مادر اغلب آهکی است. گونه‌های گیاهی غالب جنگل ممزر، راش، بلوط، توسکا، پلت و انجیلی است (Etemad, 2006). این جنگل دارای هفت سری است که سه سری آن تا کنون مورد بهره‌برداری قرار گرفته است. سری پاتم سه دوره مدیریتی (۱۳۶۲ تا ۱۳۵۱، ۱۳۶۳ تا ۱۳۷۸ و ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۳) و سری نم‌خانه دو دوره مدیریتی (۱۳۶۱ تا ۱۳۷۴ و ۱۳۷۵ تا ۱۳۹۱) بهره‌برداری شده است. سری گرازین در حال بهره‌برداری در اولین دوره مدیریتی (شروع بهره‌برداری از سال ۱۳۹۰) است.

روش پژوهش

در این پژوهش نمایه‌های مربوط به ویژگی‌های مکانی (شیب، جهت، ارتفاع و خاک) هم به‌عنوان سازه مستقل و هم به‌عنوان سازه تعدیل‌گر اثر آشفستگی بر تجدید حیات، نمایه‌های مربوط به آشفستگی‌ها (بهره‌برداری از جنگل، چرای دام و دسترسی به منطقه) به‌عنوان سازه مستقل و نمایه‌های مربوط به تجدید حیات (در سه بخش نهال، خال و درخت) به‌عنوان سازه وابسته در معادلات ساختاری وارد شدند.

نمایه‌های ویژگی‌های مکانی

عامل‌های شکل‌دهنده اکوسیستم‌ها در مقیاس خرد، خاک و خرداقلیم هستند و فاکتور اساسی تعیین‌کننده خرد اقلیم، پستی و بلندی است (Bailey, 2009). بنابراین، منطقه مورد مطالعه بر اساس مرور منابع و واقعیت منطقه (جدول ۱) به واحدهای همگن (میکرواکوسیستم) از نظر ارتفاع، شیب، جهت و خاک (ویژگی‌هایی مانند بافت، شرایط زهکشی) تقسیم شد. برای این منظور از نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ (سازمان نقشه‌برداری کشور) و نقشه خاک با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ (Sarmadiyan & Jafari, 2001) استفاده شد. مدل رقومی ارتفاع (DEM) منطقه با اندازه پیکسل ۳۰ در ۳۰ متر از نقشه توپوگرافی در محیط GIS تهیه و از آن برای استخراج لایه‌های مورد نیاز استفاده شد. همه نقشه‌های به‌دست آمده رویهم‌گذاری شد و نقشه واحدهای همگن مکانی به‌دست آمد.

و چرای دام را بر تجدید حیات (نهال) در جنگل‌های کوهستانی جنوب امریکا بررسی کردند. آن‌ها دریافتند که عامل‌های محیطی نامبرده اثر معنی‌داری بر تجدید حیات نداشتند، اما اثر آشفستگی‌های انسانی معنی‌دار گزارش شد، به‌طوری‌که در جنگل‌های با چرای کم تعداد نهال‌ها ۳/۵ برابر بیشتر از سایر رویشگاه‌ها به‌دست آمد.

با توجه به بررسی متون ذکر شده، به مطالعات همه‌جانبه‌نگر و سیستمی در بررسی اثر عامل‌های مختلف آشفستگی‌های انسانی و ناهمگنی مکانی بر فرایند تجدید حیات جنگل احساس می‌شود. با این وجود، بررسی پیچیدگی روابط بین عامل‌های مختلف در تجدید حیات جنگل توسط روش‌های آماری متعارف امکان‌پذیر نیست، زیرا این روش‌ها نمی‌توانند روابط علی بین متغیرهای پنهان یعنی سازه‌ها (Constructs) که به‌طور مستقیم قابل مشاهده و اندازه‌گیری نیستند را بررسی کنند. معادلات ساختاری (Structural Equation Modeling/SEM) روشی مناسب برای حل این مشکل است، به‌طوری‌که هر سازه با یک یا چندین نمایه (Indicator) قابل اندازه‌گیری، امکان بررسی روابط بین سازه‌ها را امکان‌پذیر می‌سازد (Hair et al., 2014). از این‌رو، در پژوهش پیش‌رو در قالب معادلات ساختاری سعی شد تا بخشی از ارتباطات بین نمایه‌های آشفستگی، مکانی و تجدید حیات در جنگل خیرود نوشهر بررسی شود تا بتوان به درک جامع‌تری از ارتباطات در داخل شبکه اکولوژیک مؤثر بر تجدید حیات درختان جنگلی دست یافت. این روش برای اولین بار در حوزه مطالعات جنگل و تجدید حیات آن به‌کار گرفته شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این مطالعه در جنگل آموزشی-پژوهشی خیرود واقع در هفت کیلومتری شرق نوشهر با مختصات جغرافیایی ۳۱° ۵۱' ۳۲" تا ۵۱° ۳۸' ۳۵" شمالی و ۳۶° ۳۷' ۲۵" تا ۳۶° ۳۴' ۳۰" شرقی انجام شد. مساحت منطقه ۸۰۰۰ هکتار و در ارتفاع ۱۰ تا ۲۲۰۰ از سطح دریا قرار دارد.

جدول ۱- طبقات ویژگی‌های مکانی منطقه مورد مطالعه

منبع	طبقات / توضیحات	نمایه
Hammond, 1954	طبقه اول: صفر تا ۱۵۰ متر، طبقه دوم: ۳۰۰-۱۵۱، طبقه سوم: ۹۰۰-۳۰۱ و طبقه چهارم: بیشتر از ۹۰۱	ارتفاع
Neily et al., 2003	طبقه اول: صفر تا ۸ درصد، طبقه دوم: ۱۵-۹، طبقه سوم: ۳۰-۱۶، طبقه چهارم: ۶۰-۳۱ و طبقه پنجم: بیشتر از ۶۰	شیب
	بر اساس گرادبان دما و رطوبت؛ طبقه اول: شمالی، طبقه دوم: شرقی، طبقه سوم: غربی و طبقه چهارم: جنوبی	جهت
Bailey, 2009	طبقه بندی مجدد نقشه خاک، طبقه اول: خیس، طبقه دوم: تر، طبقه سوم: مرطوب و طبقه چهارم: نم‌دار	خاک

نمایه‌های آشفته‌گی‌های انسانی

آشفته‌گی‌های غالب منطقه شامل بهره‌برداری از جنگل، چرای دام و دسترسی مردم محلی (استفاده از چوب و تفرج) به منطقه بود. نمایه‌های چرای دام شامل تعداد روزهای چرا در سال، تراکم دام در هکتار و فاصله تا نزدیک‌ترین دام‌سرا؛ نمایه‌های بهره‌برداری از چوب شامل تعداد دوره‌های مدیریتی بهره‌برداری، حجم چوب برداشت شده در آخرین دوره مدیریتی و عکس فاصله زمانی از آخرین سال بهره‌برداری چوب بود. همچنین، فاصله از جاده و روستا برای نشان دادن میزان در دسترس بودن منطقه در نظر گرفته شد. اطلاعات مربوط به دام از کتابچه طرح جنگلداری خیرود (Etemad, 2006) و بازدید میدانی، اطلاعات مربوط به برداشت چوب از طرح‌های جنگلداری (Asli & Eter, 1969; Anonymous, 1982, 1984, 1995a, b, 2013) و دسترسی به منطقه با استفاده از لایه جاده و روستا در نقشه توپوگرافی به دست آمد.

طرح نمونه‌برداری و نمایه‌های تجدید حیات

در نقشه واحدهای همگن مکانی، شش پهنه نشان‌دهنده شیب آشفته‌گی انتخاب شدند. حداقل مساحت پهنه‌ها ۴۰ و حداکثر ۱۲۲ هکتار بود. در هر پهنه حداقل ۳ نقطه و در مجموع ۲۵ نقطه برای نمونه‌برداری در شیب آشفته‌گی به‌طور تصادفی انتخاب شدند. برای بررسی تجدید حیات جنگل استفاده از قطعه‌نمونه‌های خوشه‌ای دایره‌ای توصیه شده است (Anonymous, 2011). طرح نمونه‌برداری مشابه منبع Anonymous (۲۰۱۱) با کمی تغییرات بود، به این صورت که در هر نقطه چهار قطعه‌نمونه ۱۰ متر مربعی

دایره‌ای (یکی در مرکز و ۳ تا در اطراف با آزیموت ۱۲۰، ۲۴۰ و ۳۶۰ درجه و با فاصله ۲۸ متری از نقطه مرکزی قطعه‌نمونه) قرار گرفت. در هر قطعه‌نمونه اطلاعات مربوط به درخت (قطر برابر سینه بیشتر از ۱۲/۵ سانتی‌متر) و خال (قطر یقه یا قطر برابر سینه ۲/۵ تا ۱۲/۵ سانتی‌متر) که شامل تعداد کل درخت، نسبت تعداد درختان مراحل اوج به کل درخت، تعداد کل خال و نسبت تعداد خال مراحل اوج به کل خال بود، یادداشت شد. درختانی مانند راش، بلوط و ملج مربوط به مراحل اوج توالی هستند و درختانی چون ممرز، شیردار، توسکا و خرمنندی در مراحل پیش از اوج حضور دارند (Marvie Mohadjer, 2012). نمایه‌های مربوط به نهال (قطر یقه تا ۲/۵ سانتی‌متر) در ریزقطعه‌نمونه‌هایی با شعاع ۲ متر که در داخل قطعه‌نمونه اصلی و با فاصله ۳ متری از مرکز قطعه‌نمونه و در زاویه ۹۰ درجه قرار داشتند، اندازه‌گیری شد. این نمایه‌ها شامل نسبت نهال مراحل اوج به کل نهال و تعداد نهال مربوط به اوایل توالی بود. نمونه‌برداری در فصل تابستان سال ۱۳۹۴ انجام شد.

تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از معادلات ساختاری

برای بهره‌برداری از معادلات ساختاری از روش حداقل مربعات جزئی (Partial Least Squares/PLS) با استفاده از نرم‌افزار Smart PLS 2.0 استفاده شد. این روش ناپارامتریک است و داده‌ها را استاندارد می‌کند. مراحل تحلیل در دو مرحله ساخت و ارزیابی ساختاری و مرحله برازش انجام شد. در مرحله اول، ترکیب سازه‌ها و نمایه‌های هر سازه ترسیم شد. سپس روایی و پایایی آن با اجرای

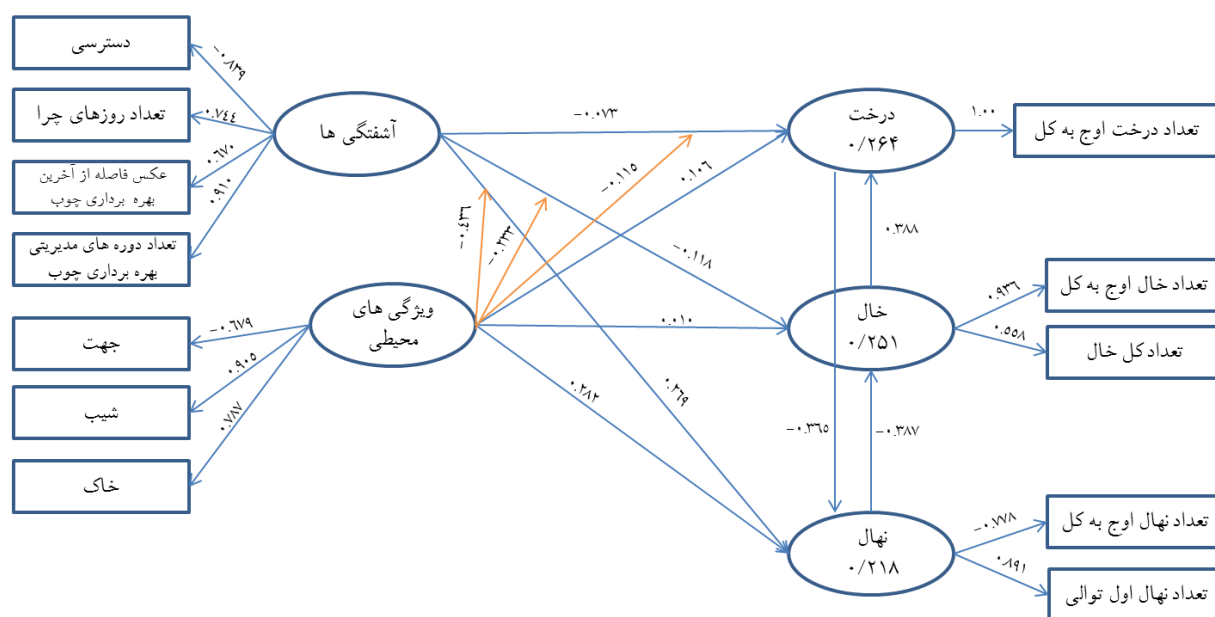
اجرای Blindfolding و به دست آوردن آماره Q^2 مورد سنجش قرار گرفت. مقادیر $0/02$ ، $0/15$ و $0/35$ به ترتیب نشان‌دهنده قدرت پیش‌بینی ضعیف، متوسط و قوی ترکیب آرایه شده است (Hair et al., 2014).

نتایج

پس از ترسیم سازه‌ها، نمایه‌ها و ارتباطات آن‌ها، مقادیر مربوط به سنجش پایایی و روایی بررسی شد و برخی از نمایه‌ها به منظور بهبود آن حذف شدند. نتیجه اجرای الگوریتم PLS با نمایه‌های باقی مانده در شکل ۱ نشان داده شده است. بر اساس این شکل، همه مقادیر بارهای عاملی از $0/4$ بیشتر بود، بنابراین پایایی ترکیب آرایه شده مورد پذیرش بود. روایی هم‌گرا بر اساس مقادیر AVE برای سازه آشفتگی، ویژگی‌های محیطی، نهال، خال و درخت به ترتیب $0/634$ ، $0/634$ ، $0/697$ ، $0/593$ و یک به دست آمد که بیشتر از آستانه $0/5$ بود، بنابراین روایی هم‌گرا قابل قبول بود. روایی واگرا به روش Fornell-Larcker (جدول ۲) نشان داد که سازه‌های تحقیق با نمایه‌های خود در مقایسه با سایر سازه‌ها تعامل بیشتری داشتند و بنابراین شرط داشتن روایی واگرا تأیید شد. بررسی بارهای عاملی متقابل (جدول ۳) که بیانگر مقدار همبستگی بین نمایه‌های یک سازه با آن سازه و سایر سازه‌ها است نیز نشان داد که تمامی نمایه‌های تحقیق با سازه خود در مقایسه با سایر سازه‌ها همبستگی بیشتری داشتند.

برازش ترکیب ارائه شده با بررسی سنجش‌های R^2 برای نشان‌دادن شدت رابطه و مقادیر Z برای ارزیابی صحت رابطه و معنی‌داری مسیرها انجام شد. مقادیر R^2 برای سازه‌های نهال، خال و درخت در شکل ۱ (داخل بیضی‌های مربوط به سازه‌های وابسته) نشان داده شده است و مقادیر Z برای تمامی مسیرها در جدول ۴ آورده شده است.

الگوریتم PLS بررسی شد. برای آزمون پایایی از مقادیر بارهای عاملی (Loadings) استفاده شد. بارهای عاملی از طریق محاسبه مقدار همبستگی نمایه‌های یک سازه با آن سازه به دست می‌آیند. مقادیر بارهای عاملی بیشتر از $0/4$ قابل پذیرش است (Hair et al., 2014). روایی هم‌گرا با بررسی میانگین واریانس استخراج شده (Average Variance Extracted/AVE) و روایی واگرا توسط معیار Fornell-Larcker و روش بارهای عاملی متقابل (Cross Loadings) آزمون شد. AVE نشان‌دهنده میانگین واریانس به اشتراک گذاشته شده بین هر سازه با نمایه‌های خود است و حداقل مقدار قابل پذیرش آن $0/5$ است. معیار Fornell-Larcker رابطه یک سازه با نمایه‌هایش در مقایسه با رابطه آن سازه با سایر سازه‌ها را بررسی می‌کند. بررسی این روایی در ماتریسی انجام می‌شود که قطر آن جذر مقادیر AVE و سایر خانه‌های آن ضریب‌های همبستگی بین سازه‌ها است. روایی واگرا زمانی که اعداد قطر اصلی از مقادیر زیرین خود بیشتر باشند، قابل قبول است. روش بارهای عاملی متقابل، همبستگی بین نمایه‌های یک سازه با آن سازه و همبستگی بین نمایه‌های یک سازه با سازه‌های دیگر را مقایسه می‌کند. در این روش در صورتی روایی واگرا قابل پذیرش است که همبستگی یک نمایه با سازه مربوط به خود بیشتر از سایر سازه‌ها باشد (Hair et al., 2014). در نهایت، پس از تأیید روایی و پایایی، برازش ترکیب آرایه شده با سنجش‌های R^2 و مقادیر Z و با اجرای Bootstrapping ارزیابی شد. مقدار R^2 نشان‌دهنده اثر سازه مستقل بر سازه وابسته است و از توان دوم مقادیر ضریب مسیرهایی به دست می‌آید که به سازه وابسته وارد می‌شوند. مقادیر آستانه $0/19$ ، $0/23$ و $0/67$ به ترتیب نشان‌دهنده رابطه ضعیف، متوسط و قوی است. در صورتی که مقدار Z بیشتر از $1/96$ و $2/57$ باشد، به ترتیب نشان‌دهنده صحت رابطه بین سازه‌ها در سطح اطمینان 95 و 99 درصد است (Davari & Rezazadeh, 2014). قدرت پیش‌بینی نیز با



شکل ۱- سازه‌ها، نمایه‌ها و ارتباطات آن‌ها به همراه مقادیر بارهای عاملی، ضریب‌های مسیر و مقادیر R^2

(خطوط نارنجی نقش تعدیل‌گری ویژگی‌های مکانی را بر مسیر آشفته‌گی ← نهال، خال و درخت نشان می‌دهند).

جدول ۲- ماتریس سنجش روایی واگرا به روش Fornell-Larcker

درخت	ویژگی‌های مکانی	نهال	خال	آشفته‌گی	
				0.796	آشفته‌گی
			0.770	-0.269	خال
		0.835	-0.419	0.291	نهال
	0.796	-0.269	0.095	-0.371	ویژگی‌های مکانی
۱	0.299	-0.464	0.424	-0.237	درخت

جدول ۳- مقادیر بارهای عاملی متقابل

درخت	ویژگی‌های مکانی	نهال	خال	آشفته‌گی	
0.280	0.456	-0.290	0.210	-0.840	دسترسی
-0.142	-0.679	0.159	-0.044	0.644	جهت
-0.194	-0.178	0.194	-0.253	0.744	تعداد روزهای چرا
-0.076	-0.348	0.201	-0.024	0.670	عکس فاصله زمانی از آخرین دوره بهره‌برداری
-0.143	-0.220	0.230	-0.286	0.910	تعداد دفعات بهره‌برداری
0.438	0.140	-0.414	0.936	-0.223	تعداد خال اوج به کل
0.140	-0.066	-0.182	0.558	-0.219	تعداد کل خال
0.327	0.120	-0.777	0.346	-0.145	تعداد کل نهال اوج به کل
-0.438	-0.275	0.891	-0.359	0.318	تعداد نهال اوایل توالی
0.246	0.905	-0.142	0.110	-0.378	شیب
0.287	0.787	-0.264	0.068	-0.047	خاک
۱/۰۰۰	0.299	-0.464	0.424	-0.237	تعداد درخت اوج به کل

جدول ۴- مقادیر Z و نتیجه معنی‌داری آزمون

معنی‌داری	Z	مسیرها
**	۳/۲۴۰	آشفتگی ← نهال
ns	۱/۳۴۵	آشفتگی ← خال
ns	۰/۹۲۰	آشفتگی ← درخت
ns	۱/۸۲۰	ویژگی‌های مکانی ← نهال
ns	۰/۰۷۶	ویژگی‌های مکانی ← خال
ns	۰/۹۶۸	ویژگی‌های مکانی ← درخت
**	۳/۷۹۴	نهال ← خال
**	۴/۲۱۰	خال ← درخت
**	۴/۶۴۸	درخت ← نهال
**	۳/۲۰۵	اثر تعدیل‌گری ویژگی‌های مکانی بر مسیر آشفتگی ← نهال
*	۲/۰۱۶	اثر تعدیل‌گری ویژگی‌های مکانی بر مسیر آشفتگی ← خال
ns	۱/۰۸۵	اثر تعدیل‌گری ویژگی‌های مکانی بر مسیر آشفتگی ← درخت

** معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد؛ * معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد؛ ns غیر معنی‌دار

تا متوسط بود. آماره Q^2 برای سنجش قدرت پیش‌بینی ترکیب ارائه شده برای سازه نهال، خال و درخت به ترتیب ۰/۲۲۶، ۰/۱۴۸ و ۰/۲۶۳ به دست آمد که نشان‌دهنده قدرت پیش‌بینی متوسط برای سازه خال و قدرت پیش‌بینی متوسط تا قوی برای سازه نهال و درخت بود. بر اساس شکل ۱، رابطه‌های ۱ تا ۳ برای نهال، خال و درخت به دست آمد.

بر اساس جدول ۴، مسیرهای نهال به خال، خال به درخت، درخت به نهال، اثر تعدیل‌گری ویژگی‌های مکانی بر مسیر آشفتگی به نهال و مسیر آشفتگی به نهال در سطح اطمینان ۹۹ درصد و اثر تعدیل‌گری ویژگی‌های مکانی بر مسیر آشفتگی بر خال در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار بود. مقادیر R^2 شدت رابطه‌هایی که به هر سازه وارد می‌شود را نشان می‌دهد که با توجه به شکل ۱ بین ضعیف

رابطه (۱) (درخت \times آشفتگی \times ویژگی‌های محیطی \times $-0/436$) + (آشفتگی \times ویژگی‌های محیطی \times $0/282$) + (آشفتگی \times $0/269$) = نهال

رابطه (۲) (نهال \times آشفتگی \times ویژگی‌های محیطی \times $-0/387$) + (آشفتگی \times ویژگی‌های محیطی \times $-0/233$) + (ویژگی‌های محیطی \times $0/10$) + (آشفتگی \times $-0/118$) = خال

رابطه (۳) (خال \times آشفتگی \times ویژگی‌های محیطی \times $-0/115$) + (ویژگی‌های محیطی \times $0/106$) + (آشفتگی \times $-0/073$) = درخت

هر سازه نیز با توجه به مقادیر بارهای عاملی نمایه‌هایش قابل کمی‌سازی بود. به عنوان نمونه، برای سازه خال رابطه ۴ به دست آمد.

رابطه (۴) (خال اوج به کل \times $0/936$) + (تعداد کل خال \times $0/558$) = سازه خال

به ترتیب تعداد دوره‌های مدیریت بهره‌برداری از جنگل، دسترسی، تعداد روزهای چرا و عکس فاصله از آخرین

بحث

بر اساس نتایج به دست آمده، مهم‌ترین نمایه‌های آشفتگی

دوره مدیریتی بهره‌برداری چوب بود که موجب عقب‌نشینی توالی شده و نسبت گونه‌های مراحل اوج به کل را کاهش داده بود. این یافته‌ها با نتایج مطالعات Wassie و همکاران (۲۰۰۹)، Buffum و همکاران (۲۰۰۹)، Endara و همکاران (۲۰۱۲)، Soriano و همکاران (۲۰۱۲)، Martinez Pastur و همکاران (۲۰۱۳) و Bottero و همکاران (۲۰۱۳) در رابطه با تأثیر آشفته‌گی ناشی از بهره‌برداری از جنگل و چرای دام هم‌خوانی دارد. در مطالعه Hassannejhad Sadat Mahale و Hassanzadeh Narverdi (۲۰۱۵)، بهره‌برداری در توده ناخالص راش موجب افزایش استقرار تجدید حیات راش و سوق دادن توالی به سمت اوج شده بود، حال آنکه در پژوهش پیش‌رو دخالت‌های مدیریتی برای بهره‌برداری حتی اگر به نفع گونه‌های انتهایی توالی نیز انجام شده باشد، در نهایت با اثرات تجمعی همه انواع آشفته‌گی‌ها موجب کاهش نسبت گونه‌های اوج به کل شده و برعکس دخالت و آشفته‌گی کمتر مطابق با مطالعه Kakavand و همکاران (۲۰۱۵)، سبب حرکت توالی توده‌ها به سمت مرحله اوج شده بود. همچنین، در این مطالعه فاصله تا روستا و جاده نیز به‌عنوان نمایه دسترسی به منطقه اثر منفی بر تجدید حیات نهال به سمت جوامع اوج داشت که در سایر مطالعات بررسی نشده است.

توجه به ترکیب گونه‌ای نهال‌ها در مدیریت جنگل به‌منظور بررسی سلامت جنگل و تجدید حیات درختان اهمیت بسیاری دارد. اگر چه بسیاری از نهال‌ها در جریان رقابت و تحت تأثیر آشفته‌گی‌ها از بین می‌روند، اما ترکیب آن‌ها تأثیر معنی‌داری در ادامه حیات نهال به خال و درخت بالغ دارد. هر چند شدت اثر آشفته‌گی بر نهال در این پژوهش کم بود، اما این رابطه به‌طور معنی‌داری موجب کاهش نسبت گونه‌های اوج به کل و حضور گونه‌های مراحل اولیه توالی شده بود و با تداوم آشفته‌گی‌ها در آینده که همراه با تغییر در جوامع نهال است، شاهد تغییر در خال‌ها و درخت‌های بالغ خواهیم بود. بنابراین، هر گونه تغییری در آشفته‌گی بر نهال اثر گذاشته و نتیجه آن بر خال و درخت به‌طور غیرمستقیم دیده خواهد شد. از این‌رو، اقدامات مدیریتی مناسب برای کاهش آشفته‌گی‌های مذکور و هم‌زمان پایش وضعیت تجدید حیات درختان جنگلی توصیه می‌شود.

مهم‌ترین نمایه‌های مربوط به ویژگی‌های مکانی بر اساس بارهای عاملی به‌ترتیب شیب، خاک و جهت به‌دست آمد که نشان می‌دهد هر چه محیط سردتر و مرطوب‌تر (جهت)، شیب بیشتر و دسترسی رطوبت خاک کمتر شود، تعداد نهال اوج به کل کاهش و تعداد نهال‌های گونه‌های درختی مربوط به ماقبل اوج افزایش می‌یابد. اثر تعدیل‌گری سازه ویژگی‌های مکانی بر مسیر آشفته‌گی ← نهال و خال نیز معنی‌دار بود که نشان می‌دهد با کاهش طبقه جهت و افزایش طبقات شیب و خاک، اثر منفی آشفته‌گی بر نهال و خال افزایش می‌یافت. مطالعات بسیاری اثر عامل‌های محیطی شیب (Fei et al., 2013)، جهت (Mahdavi et al., 2010; Fei et al., 2013) و خاک (Chauhan et al., 2013)

شایان ذکر است که هیچ مکانی نیست که مصون از آثار انسانی باشد و در عمل پیدا کردن سایت‌های شاهد که دارای ویژگی‌های مکانی مشابه با سایت‌های تحت تأثیر آشفته‌گی باشند، کم است. از این‌رو، ضرورت دارد تغییرات در شیب آشفته‌گی و نه در مقایسه با سایت‌های شاهد ذهنی سنجیده شود. بنابراین، به‌جای روش‌های متداول آماری بهتر است به دنبال روش‌های آماری جدید مانند PLS برای پیدا کردن رابطه‌های آماری معنی‌دار و همچنین شدت آن‌ها با توجه به روابط موجود در شبکه‌های اکولوژیک رفت.

شایان ذکر است که هیچ مکانی نیست که مصون از آثار انسانی باشد و در عمل پیدا کردن سایت‌های شاهد که دارای ویژگی‌های مکانی مشابه با سایت‌های تحت تأثیر آشفته‌گی باشند، کم است. از این‌رو، ضرورت دارد تغییرات در شیب آشفته‌گی و نه در مقایسه با سایت‌های شاهد ذهنی سنجیده شود. بنابراین، به‌جای روش‌های متداول آماری بهتر است به دنبال روش‌های آماری جدید مانند PLS برای پیدا کردن رابطه‌های آماری معنی‌دار و همچنین شدت آن‌ها با توجه به روابط موجود در شبکه‌های اکولوژیک رفت.

- Katarniaghat Wildlife Sanctuary, India. *Tropical Ecology*, 49(1): 53-67.
- Cierjacks, A., Katrin, N., Wesche, K. and Hensen, I., 2008. Effects of altitude and livestock on the regeneration of two tree line forming *Polylepis* species in Ecuador. *Plant Ecology*, 194: 207-221.
 - Davari, A. and Rezazadeh, A., 2014. Structural Equation Modeling with PLS. Iranian Student Book Agency, Tehran, 240p (In Persian).
 - Drobyshev, I.V., 1999. Regeneration of Norway spruce in canopy gaps in Sphagnum Myrtillus old-growth forests. *Forest Ecology and Management*, 115: 71-83.
 - Endara Agramont, A.R., Maass, S.F., Bernal, G.N., Valdez Hernández, J.I. and Fredericksen, T.S., 2012. Effect of human disturbance on the structure and regeneration of forests in the Nevado de Toluca National Park, Mexico. *Journal of Forestry Research*, 23(1): 39-44.
 - Etemad, V., 2006. Social- economic studies on watershed 46 and part of watershed 45. Report, University of Tehran, Karaj, 220p (In Persian).
 - Fei, Y., De-xiang, W., Xiao-xiao, S., Xian-feng, Y., Qing-ping, H. and You-ning, H., 2013. Effects of environmental factors on tree seedling regeneration in a pine-oak mixed forest in the Qinling Mountains, China. *Journal of Mountain Science*, 10(5): 845-853.
 - Gea-Izquierdo, G., Pastur, G.M., Cellini, J.M. and Lencinas, M.V., 2004. Forty years of silvicultural management in southern *Nothofagus pumilio* primary forests. *Forest Ecology and Management*, 201: 335-347.
 - Gebrehiwot, M., 2003. Assessment of natural regeneration diversity and distribution of forest tree species. M.Sc. thesis, International Institute for Geo- Information Science and Earth Observation Enschede, Overijssel, The Netherlands, 92p.
 - Hair, J.F., Hult, G.T.M., Ringle, C.M. and Sarstedt, M., 2014. A Primer on Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM). Sage Publication Inc, Los Angeles, 307p.
 - Hammond, E.H., 1954. Small-scale continental landform maps. *Annals Association of American Geographers*, 44: 33-42.
 - Hassannejhad Sadat Mahale, S. and Hassanzadeh Narverdi, E., 2015. Comparison of quantitative and qualitative characteristics in managed and

References

- Anonymous, 1982. Forest Management Plan, Namkhane District of Kheyroud. Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, 156p (In Persian).
- Anonymous, 1984. First Revision of Forest Management Plan, Patom District of Kheyroud. Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, 165p (In Persian).
- Anonymous, 1995a. First Revision of Forest Management Plan, Namkhane District of Kheyroud. Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, 205p (In Persian).
- Anonymous, 1995b. Second Revision of Forest Management Plan, Patom District of Kheyroud. Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, 296p (In Persian).
- Anonymous, 2011. Forest Inventory and Analysis (FIA), Phase 3 Field Guide- Vegetation Diversity and Structure, Version 5.1. American Forest Service, Washington, 27p.
- Anonymous, 2013. Second Revision of Forest Management Plan, Namkhane District of Kheyroud. Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, 205p (In Persian).
- Asli, A. and H. Eter, 1969. Forest management plan of Patom district in educational and research forest of Tehran University (Kheyroud forest). Publishing and Printing Institute, Tehran 120p (In Persian).
- Bailey, R.G., 2009. *Ecosystem Geography*. Springer, Second Edition, New York, 256p.
- Bottero, A., Garbarino, M., Long, J.N. and Motta, R., 2013. The interacting ecological effects of large-scale disturbances and salvage logging on montane spruce forest regeneration in the western European Alps. *Forest Ecology and Management*, 292: 19-28.
- Buffum, B., Gratzer, G. and Tenzin, Y., 2009. Forest grazing and natural regeneration in a late successional broadleaved community forest in Bhutan. *Mountain Research and Development*, 29(1): 30-35.
- Busing, R. and Mailly, D., 2004. Advances in spatial, individual-based modeling of forest dynamics. *Journal of Vegetation Science*, 15: 831-842.
- Chauhan, D.S., Dhanai, C.S., Singh, B., Chauhan, S., Todaria, N.P. and Khalid, M.A., 2008. Regeneration and tree diversity in natural and planted forests in a Terai-Bhabhar forest in

- Ecoscience, 12: 92-102.
- Rebertus, A. and Veblen, T.V., 1993. Structure and tree-fall gap dynamics of old-growth *Nothofagus* forests in Tierra del Fuego, Argentina. *Journal of Vegetation Science*, 4: 641-654.
 - Sarmadiyan, M. and Jafari, M., 2001. Investigation on forest soil at educational and research forest of Faculty of Natural Resources of the University of Tehran (Kheyroud Kenar-Nowshahr). *Iranian Journal of Natural Resources*, Special Issue, 112p (In Persian).
 - Soriano, M., Kainer, K.A., Staudhammer, C., Marlene Soriano, E.S., Kainer, K.A., Staudhammer, C. and Soriano, E., 2012. Implementing multiple forest management in Brazil nut-rich community forests: Effects of logging on natural regeneration and forest disturbance. *Forest Ecology and Management*, 268: 92-102.
 - Sturtevant, B.R., Miranda, B.R., Wolter, P.T., James, P.M.A., Fortin, M.J. and Townsend, P.A., 2014. Forest recovery patterns in response to divergent disturbance regimes in the Border Lakes region of Minnesota (USA) and Ontario (Canada). *Forest Ecology and Management*, 313: 199-21.
 - Torres, R.C., Renison, D., Hensen, I., Suarez, R. and Enrico, L., 2008. *Polylepis australis*' regeneration niche in relation to seed dispersal, site characteristics and livestock density. *Forest Ecology and Management*, 254: 255-260.
 - Wassie, A., Sterck, F.J., Teketay, D. and Bongers, F., 2009. Effects of livestock exclusion on tree regeneration in church forests of Ethiopia. *Forest Ecology and Management*, 257(3): 765-772.
 - unmanaged natural forest stands at district 7-Shenrood (Siahkal). *Journal of Plant Researches*, 1(1): 33-42 (In Persian).
 - Kakavand, M., Marvi Mohajer, M.R., Sagheb Talebi, Kh. and Sefidi, K., 2015. Structure and composition of oriental beech stands in the middle stage of ecological succession in the Hyrcanain region. *Journal of Forest and Wood Products (Iranian Journal of Natural Resources)*, 68(1): 31-45 (In Persian).
 - Pastur, G.M., Esteban, R.S., Pulido, F. and Lencinas, M.V., 2013. Variable retention harvesting influences biotic and abiotic drivers of regeneration in *Nothofagus pumilio* southern Patagonian forests. *Forest Ecology and Management*, 289: 106-114.
 - Mahdavi, A., Eshaghi Rad, J. and Banj Shafie, A., 2010. Natural regeneration of oak (*Quercus brantii*) and other woody species in related to environmental factors (physiography and soil). *Natural Ecosystems of Iran*, 1: 33-42 (In Persian).
 - Marvie Mohadjer, M.R., 2012. *Silviculture*. University of Tehran Press, Tehran, 380p (In Persian).
 - Mori, A. and Takeda, H., 2004. Effects of undisturbed canopy structure on population structure and species coexistence of an old-growth subalpine forest in central Japan. *Forest Ecology and Management*, 200: 89-100.
 - Neily, P.D., Quigley, E., Benjamin, L., Stewart, B. and Duke, T., 2003. *Ecological land classification for Nova Scotia, Volume 1 - Mapping Nova Scotia's Terrestrial Ecosystems*. Nova Scotia Department of Natural Resources, Renewable Resources Branch, Nova Scotia, 75p.
 - Pulido, F. and Díaz, M., 2005. Regeneration of Mediterranean oak: a whole-cycle approach.

Evaluation of disturbance and spatial attribute on regeneration using structural equation modeling (Case study: Khyrud forest- Nowshahr)

M. Erfani^{1*}, A. danehkar², A. Salmanmahiny³ and V. Etemad⁴

1* - Corresponding author, Assistant Prof., Department of Environmental Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Zabol, Zabol, Iran. E-mail: malihe1erfani@gmail.com

2- Prof., Department of Environmental Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

3- Associate Prof., Faculty of Fisheries and environmental Sciences, Gorgan Agricultural Sciences and Natural Resources University, Gorgan, Iran

4- Associate Prof., Department of Forestry and Forest Economic, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Iran

Received: 14.02.2016

Accepted: 29.07.2016

Abstract

Effects of anthropogenic disturbances through livestock grazing, wood harvesting, and direct utilization by local people plus spatial heterogeneity on the regeneration of forest tree species and forest health have been recognized worldwide. In this research, effects of disturbances and site features (Aspect, slope percent, altitude, and soil) were investigated on tree species regeneration in Khyrud forest-Nowshahr, north of Iran. Indicators pertaining to saplings, large sapling and trees were measured in 100 plots, 10 m² each, for disturbance and spatial constructs of Structural Equation Modeling- Partial Least Squares method. Results showed disturbance has a significant ($\alpha = 0.01$) effect on regeneration. Effects of sapling on large sapling and large sapling on tree constructs were significant ($\alpha = 0.01$), too. The moderating effect of spatial construct on disturbance to sapling path ($\alpha = 0.01$) and disturbance to large sapling path ($\alpha = 0.05$) was significant. We conclude that disturbance and spatial attributes have high influence on sapling and large sapling in the study area, respectively which affect trees indirectly.

Keywords: Disturbance construct, forest health, large sapling, sapling, spatial construct.