

ارتقاء سطح حفاظت از تنوع زیستی با بهبود وضعیت شبکه تحت حفاظت کشور، برنامه ریزی سیستماتیک حفاظت با استفاده از الگوریتم Zonation

بهمن شمس اسفندآباد^۱ و محمد کابلی^{۲*}

۱- استادیار گروه محیط زیست، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اراک

۲- استاد گروه مهندسی محیط زیست دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۹۶/۰۸/۱۴- تاریخ پذیرش ۹۷/۰۲/۰۳)

چکیده:

انتخاب مناطق حفاظت شده، یکی از مهمترین اقدامات برای حفاظت از تنوع زیستی محسوب می شود. رویکردهای تک منظوره و یا مبتنی بر انتخاب گونه‌های کاربزماتیک منجر به تشکیل شبکه حفاظتی غیر معرف از تنوع زیستی یک کشور می‌گردد. برای رفع این مشکل، رویکرد برنامه‌ریزی سیستماتیک حفاظت معرفی شده است. با توجه به اینکه طبق پیشنهاد مطرح شده توسط UNEP تا سال ۲۰۲۰ سطح مناطق تحت حفاظت کشور باید از ۱۰ درصد تا ۱۷ درصد افزایش یابد، در این پژوهش، الگوریتم Zonation برای اولویت بندی مناطق جدید برای افزوده شدن به شبکه حفاظتی کنونی به کار گرفته شد. به این منظور ۳۶ گونه‌های جایگزین تنوع زیستی متشکل از گونه‌های آندمیک و یا در رده تهدید فهرست سرخ IUCN متعلق به پستانداران، پرندگان، خزندگان و دوزیستان انتخاب شدند. مدل مطلوبیت زیستگاه با روش بیشینه بی نظمی تهیه شد. سپس، الگوریتم Zonation با سه قانون حذف پیکسل زون بندی منطقه هسته‌ای، تابع افزایش یافته و برنامه ریزی مبتنی بر هدف و با ثابت نگاه داشتن شبکه حفاظتی فعلی بر روی نقشه‌های مطلوبیت زیستگاه گونه‌های پیاده شد. انتخاب ۲۰ درصد از مناطق با بالاترین اولویت حفاظتی پیشنهاد شده توسط هر سه روش، حفاظت از زیستگاه گونه‌های جایگزین را حداقل ۱۶ درصد افزایش می‌دهد. مناطق پیشنهادی توسط روش تابع افزایش یافته به طور متوسط ۳۴/۹۸ درصد از زیستگاه‌های گونه‌های جایگزین را در بر می‌گیرند که بیش از دو روش زون بندی منطقه هسته‌ای (۲۸/۷۴ درصد) و برنامه ریزی مبتنی بر هدف (۳۱/۱ درصد) است.

کلید واژگان: برنامه ریزی سیستماتیک حفاظت، الگوریتم Zonation، گونه جایگزین، شبکه حفاظتی ایران.

۱. مقدمه

اختصاص مناطق حفاظت شده یکی از مهمترین اقدامات برای حفاظت از تنوع زیستی در مقابله با افزایش تهدیدهای وارده از سوی انسان است (Dudley and Parish, 2006; Possingham *et al.*, 2006). اما کارآیی این مناطق به شدت به روش به کار رفته و انتخاب مناطق مناسب برای این منظور وابسته است. انتخاب مناطق به صورت تک منظوره و یا تنها مبتنی بر حفاظت برخی گونه‌ها منجر به تشکیل شبکه‌هایی غیر معرف از تنوع زیستی می‌گردد (Pressey and Tully, 1994; Rouget *et al.*, 2003). حتی سیستم‌های امتیاز دهی (Pressey and Nicholls, 1989) نتوانستند شبکه‌ای معرف و کارآمد از مناطق را تعیین کنند (Pressey, 1998). با توجه به این مشکلات و محدود بودن منابع در دسترس برای حفاظت، تلاش‌هایی برای بهبود برنامه‌ریزی حفاظت صورت گرفت که در نتیجه برنامه‌ریزی سیستماتیک حفاظت^۱ به عنوان یک رشته در حال تکامل و متشکل از مفاهیم بین رشته‌ای زیست‌شناسی، ریاضی و علوم اجتماعی شکل گرفت (Margules and Pressey, 2000; Possingham *et al.*, 2000). این رویکرد برتری قابل توجهی بر رویکردهای تک منظوره و امتیاز دهی دارد، زیرا مبتنی بر هدف، واضح، قابل دفاع و انعطاف‌پذیر بوده و هدف آن دستیابی کارآمد به اهداف مشخص شده به صورت کمی در داخل یک شبکه معرف و کامل کننده از مناطق تحت حفاظت است (Cowling and Pressey, 2003).

شبکه مناطق حفاظت شده در ایران بیشتر به صورت تک

منظوره و مبتنی بر حفاظت از گونه‌های سمداران بزرگ جثه کاریزماتیک انتخاب شده‌اند (Madjnoonian, 2014). این مناطق در حال حاضر بیش از ۱۰/۳ از وسعت کل کشور را تحت پوشش قرار داده‌اند (Farashi and Shariati, 2017). اخیراً تلاش‌هایی برای افزایش سطح مناطق حفاظتی در ایران به انجام رسیده است، زیرا بر طبق پیشنهاد مطرح شده توسط UNEP در سال ۲۰۱۰ تا سال ۲۰۲۰ حداقل ۱۷٪ از وسعت هر کشور باید حفاظت گردد. بنابراین، ضروری است تا در ابتدا توانایی شبکه مناطق حفاظت شده فعلی در حفاظت از تنوع زیستی کشور ارزیابی شود و سپس با به کارگیری رویکردی سیستماتیک، مناطق حفاظتی جدید با بالاترین کارآمدی حفاظتی (کمترین وسعت و بیشترین حفاظت از تنوع زیستی) معرفی شوند. تا کنون، در سطح کشور به صورت موردی از برخی از روش‌های برنامه‌ریزی سیستماتیک حفاظت برای بهبود شبکه مناطق در استان‌های مختلف استفاده شده است که می‌توان به کارگیری نرم افزار Marxan (Ball and Possingham, 2000) در استان البرز (Esfandeh *et al.*, 2016)، استفاده از نرم‌افزار C-Plan (NSW NPWS, 1999) با تاکید بر حفاظت از تیپ‌های گیاهی در استان کهگیلویه و بویر احمد (Jafari *et al.*, 2010)، به کارگیری نرم افزار مارکسان و الگوریتم شبیه سازی تبرید تدریجی^۲ در استان گلستان (Salman-Mahini *et al.*, 2013) و استفاده از الگوریتم‌های مختلف نرم افزار Marxan در انتخاب مناطق مناسب برای حفاظت در استان مازندران (Mehri, *et al.*, 2013) اشاره نمود. از جمله روش‌هایی که بسیار اندک در داخل کشور

(Moilanen *et al.*, 2009):

- ۱- تعیین پدیده‌های حفاظتی (جایگزین‌های تنوع زیستی^۲)
- ۲- تعیین اهداف حفاظتی برای هر یک از پدیده‌ها
- ۳- تقسیم منطقه مورد مطالعه به واحدهای برنامه‌ریزی
- ۴- اندازه‌گیری مقدار هر پدیده حفاظتی در هر واحد برنامه‌ریزی
- ۵- تعریف و محاسبه مقدار هزینه برای هر واحد برنامه‌ریزی
- ۶- به کارگیری الگوریتم انتخاب مناطق حفاظت شده به منظور تعیین مناطق دارای اولویت برای حفاظت

۲-۳. انتخاب گونه های جایگزین

برنامه‌ریزی سیستماتیک حفاظت متکی به اطلاعاتی در زمینه توزیع تنوع زیستی در داخل واحدهای برنامه‌ریزی است. با توجه به کمبود این اطلاعات و همچنین کمبود امکانات حفاظتی، به ناچار از جایگزین‌های تنوع زیستی استفاده می‌شود. هدف از انتخاب این جایگزین‌ها تعیین اجزایی از تنوع زیستی است که شایسته بیشترین توجه برای اقدامات حفاظتی می‌باشند (Sarkar and Illoldi- Rangel, 2010). در این مطالعه تمرکز بر گونه‌های مهره‌دار (به استثنای ماهی‌ها) بود و گونه‌هایی که در رده های تهدید شده فهرست سرخ IUCN (در آستانه انقراض^۴، در خطر انقراض^۵ و آسیب پذیر^۶) قرار گرفته و گونه‌های آندمیک ایران به عنوان جایگزین تنوع زیستی در سطح کشور انتخاب شدند. برای شناسایی این گونه‌ها از اطلس‌های پرندگان (Kaboli *et al.*, 2012) پستانداران (Karami *et al.*, 2012)، خزندگان (Mozaffari *et al.*, 2015) و دوزیستان (Yousefi

بکارگرفته شده است می‌توان به روش Zonation اشاره نمود. در سایر نقاط دنیا، روش Zonation بر روی محیط‌های خشکی، رودخانه‌ای، دریایی و حتی شهری به کار گرفته شده است (Leathwick *et al.*, 2008; Moilanen *et al.*, 2011). در این پژوهش برای اولین بار در سطح کل کشور از الگوریتم Zonation برای معرفی مناطق جدید به مجموعه فعلی شبکه مناطق حفاظت شده استفاده می‌شود. برای این منظور با در نظر گرفتن شبکه مناطق فعلی و با استفاده از رویکرد Zonation، ۲۰٪ از وسعت کشور که بالاترین اولویت در حفاظت از تنوع زیستی را دارند، معرفی می‌شوند.

۲. مواد و روش ها

۲-۱. منطقه مورد مطالعه

این مطالعه در سطح زیستگاه‌های کشور انجام شد. ایران کشور مهمی برای حفاظت از تنوع زیستی در خاورمیانه است. وسعت بالای آن (۱۶۴۸۱۹۵ کیلومتر مربع)، موقعیت آن در میان مناطق جغرافیای جانوری پالئارکتیک، آفروتروپیکال و اورینتال به همراه تغییرات ارتفاعی در سرتاسر کشور موجب تنوع زیستی بالای آن شده است (Ziaei, 2008). به نحوی که تا کنون بیش از ۸۰۰۰ گونه گیاهی، ۲۰۰ گونه پستاندار، ۵۳۵ گونه پرنده، ۲۲۷ گونه خزنده، ۲۱ گونه دوزیست، ۱۶۰ گونه ماهی آب شیرین و ۷۱۰ ماهی دریایی شناسایی شده‌اند (سازمان حفاظت محیط زیست، ۱۳۹۸).

۲-۲. برنامه ریزی سیستماتیک حفاظت

مراحل برنامه ریزی سیستماتیک حفاظت عبارتند از

5 -Endangered (EN)

6 -Vulnerable (VU)

3-Biodiversity surrogates

4 - Critically endangered (CR)

سرزمین را تحت پوشش قرار می‌دهند (Rondinini *et al.*, 2006). در این پژوهش، نقشه‌های توزیع بالقوه گونه‌های جایگزین، با استفاده از مدل توزیع گونه‌ها تهیه شد (Franklin, 2009). در میان روش‌های موجود برای مدلسازی توزیع گونه‌ها یکی از بهترین روش‌ها برای اندازه نمونه بین ۱۰ تا ۳۰ مشاهده رویکرد بیشینه بی‌نظمی^۷ است (Wiz *et al.*, 2008). بنابراین، با توجه به اندک بودن مشاهدات ثبت شده برای بیشتر گونه‌های مهره‌دار کشور از نرم افزار مکسنت^۸ استفاده شد، که بر مبنای بیشینه بی‌نظمی بنا شده است و تنها به نقاط حضور گونه‌ها نیاز دارد (Phillips *et al.*, 2006). داده‌های مورد نیاز، از اطلس‌های پستانداران (Karami *et al.*, 2012)، پرندگان (Kaboli *et al.*, 2012)، خزندگان (Mozaffari *et al.*, 2015) و دوزیستان (Yousefi *et al.*, 2015) استخراج شدند. در پایان فقط برای گونه‌هایی که حداقل ۱۰ مشاهده از حضور آنها ثبت شده بود، مدل مکسنت تهیه گردید. برای انتخاب متغیرهای پیش‌بینی کننده حضور گونه‌ها از متغیرهای اقلیمی استفاده شد (Hijmans *et al.*, 2005; <http://www.worldclim.org>). این متغیرها ۱۹ لایه اطلاعاتی بوده که از داده‌های مربوط به بارش و دما در مقیاس پیکسل‌های با اندازه ۱×۱ کیلومتر تهیه شده‌اند. پیش از وارد سازی متغیرهای زیست اقلیمی در فرایند مدل سازی، همبستگی متغیرها با یکدیگر بررسی شدند و از متغیرهای با همبستگی بالا ($r > 0.8$) فقط یک متغیر وارد مدل شد. مدل سازی با نرم افزار مکسنت نسخه ۳,۳,۳ انجام شد.

برای آزمون اعتبار مدل نیز شاخص سطح زیر منحنی

(*et al.*, 2015) کشور ایران استفاده شد. در نتیجه بر طبق این دو معیار (گونه‌های موجود در رده‌های تهدید و گونه‌های اندمیک) تعداد ۲۰ گونه پستاندار، ۲۱ گونه پرنده، ۵۸ گونه خزنده و ۱۰ گونه دوزیست به عنوان جایگزین تنوع زیستی انتخاب شدند. با توجه به اینکه این مطالعه محدود به زیستگاه‌های داخلی کشور است، بنابراین شش گونه پستاندار دریازی از ادامه بررسی‌ها حذف شدند.

۲-۴. تعیین هدف حفاظتی

هدف حفاظتی بطور واضح و کمی مشخص می‌کند که حداقل چه میزانی از یک پدیده تنوع زیستی (در این مطالعه سطح زیستگاه هر گونه) باید حفاظت شود (Possingham *et al.*, 2006). در تحلیل انجام شده با استفاده از این روش، هدف حفاظتی برای هر یک از گونه‌ها ۳۰ درصد از محدوده پراکنش در نظر گرفته شد. در پایان تجزیه و تحلیل با هر یک از روش‌ها، ۲۰٪ از وسعت کشور که بالاترین اولویت حفاظتی را داشتند انتخاب شدند. این وسعت با توجه به هدف افزایش تا سطح ۱۷٪ تا سال ۲۰۲۰ انتخاب گردید. لازم به توضیح است که شبکه کنونی مناطق حفاظت شده از ابتدا در تمامی تحلیل‌ها بصورت ثابت و با بالاترین اولویت در نظر گرفته شدند.

۲-۵. تهیه نقشه مطلوبیت زیستگاه گونه‌ها

در مطالعاتی که در زمینه اولویت‌بندی مکانی حفاظت انجام می‌شود اغلب از توزیع پیش‌بینی شده برای گونه‌ها استفاده می‌شود، زیرا داده‌های به دست آمده از بازدیدهای صحرایی اغلب فقط قسمت اندکی از سیمای

بالاترین اولویت حفاظتی هستند، انتخاب نمود. پس از انتخاب این وسعت دلخواه از مناطق می‌توان سطحی از زیستگاه هر گونه که تحت حفاظت قرار می‌گیرد را مشخص کرد. این الگوریتم از قوانین متفاوتی برای حذف پیکسل‌ها استفاده می‌نماید که در نتیجه آن طبق نیازهای برنامه‌ریزی می‌توان شبکه دلخواهی از مناطق تحت حفاظت را انتخاب نمود. روش حذف پیکسل‌ها در الگوریتم Zonation به نحوی است که مناطق باقیمانده، بالاترین ارزش ممکن و بیشترین ارتباط را با یکدیگر داشته باشند (Moilanen, 2007). روش‌های به کار رفته برای حذف پیکسل‌ها و در نتیجه رتبه‌بندی سلسله مراتبی آنها عبارتند از: زون بندی منطقه هسته‌ای^۹، تابع افزایشنده فایده^{۱۰} و برنامه ریزی مبتنی بر هدف^{۱۱}. در روش زون بندی منطقه هسته‌ای، حذف پیکسل به نحوی انجام می‌گردد تا میزان کاهش در حفاظت از پدیده‌های تنوع زیستی به حداقل برسد. در روش تابع افزایشنده فایده، ارزش یک شبکه مناطق حفاظت شده برابر با مجموع ارزش‌های متعلق به تمامی گونه‌ها است. در روش برنامه ریزی مبتنی بر هدف، ابتدا حذف پیکسل‌ها به نحوی انجام می‌گیرد که سطح زیستگاه هیچ یک از گونه‌ها به کمتر از میزان هدف تعیین شده نرسد (Moilanen, 2007).

۲-۷. افزایش یکپارچگی زیستگاه‌ها

برای افزایش یکپارچگی مناطق اولویت‌بندی شده از دو روش جریمه طول مرز^{۱۲} (Moilanen and Wintle 2007) و صاف کردن توزیع^{۱۳} (Moilanen et al.,

(AUC) برای منحنی ROC محاسبه شد. میزان این شاخص از ۰/۵ به معنای مدل تصادفی تا ۱ به معنای تفکیک کامل بین نقاط مطلوب و نامطلوب متغیر است (Liu et al., 2009). سپس برای طبقه بندی نقشه مطلوبیت زیستگاه از آستانه مطلوبیت تولید شده توسط نرم افزار که مجموع توانایی مدل در پیش‌بینی مناطق مطلوب و نامطلوب را حداکثر می‌کند، استفاده شد (Jimenez-Valverde and Lobo, 2007). سپس، نقشه‌های طبقه‌بندی شده با نقشه شبکه مناطق حفاظت شده کشور رویهم‌گذاری شد تا میزان وسعتی از زیستگاه مطلوب پیش‌بینی شده برای هر گونه، که در داخل شبکه مناطق فعلی قرار می‌گیرند، مشخص شود. تمامی محاسبات مکانی با استفاده از نرم افزار Arcmap (Ver. 10.2) انجام گرفت.

۲-۶. الگوریتم انتخاب منطقه حفاظت شده

در این پژوهش از الگوریتم اولویت‌بندی مکانی Zonation و نرم افزار مربوطه استفاده گردید (Moilanen et al., 2005; Moilanen and Kujala, 2008). الگوریتم Zonation (Moilanen et al., 2005) سلسله مراتبی از اولویت حفاظتی در سرتاسر سیمای سرزمین ایجاد می‌کند. به این منظور به ترتیب پیکسل‌هایی از منطقه که حذف آنها کمترین کاهش را در ارزش حفاظتی شبکه مناطق باقیمانده دارند، انتخاب می‌شوند. این پیکسل‌ها پایین‌ترین رتبه را به خود اختصاص می‌دهند. پس از پایان رتبه بندی می‌توان هر وسعتی از منطقه را که در برگزیده پیکسل‌های با

12 - Boundary length penalty (BLP)

13 - Distribution smoothing

9-Core Area Zonation (CAZ)

10-Additive benefit function (ABF)

11-Target based planning

پستاندار، ۱۱ گونه پرنده، ۹ گونه خزنده و ۵ گونه دوزیست) نقاط حضور کافی برای تهیه مدل مطلوبیت زیستگاه در دسترس بود. از میان ۳۶ گونه مدل سازی شده، برای ۲۲ گونه بیش از ۱۰٪ از زیستگاه‌های بالقوه داخل شبکه فعلی مناطق حفاظت شده سازمان حفاظت محیط زیست قرار گرفته است. بیشترین درصد حفاظت متعلق به گور ایرانی و سپس یوزپلنگ بوده است که هر دو گونه در آستانه انقراض (CR) قرار گرفته‌اند. اما خرس سیاه که در این رده تهدید قرار دارد، فقط ۶٪ از زیستگاه‌هایش داخل مناطق تحت حفاظت قرار گرفته است (جدول ۱). همچنین، در حال حاضر به طور متوسط فقط ۱۲/۶۲ درصد از زیستگاه گونه‌های جایگزین تحت حفاظت قرار گرفته است.

استفاده شد. برای انتخاب مقدار مناسب برای جریمه طول مرز همان گونه که توسط Moilanen و Wintle (۲۰۰۷) پیشنهاد شده است، مقادیر اعشاری مختلف از ۰/۰۱ به بالا انتخاب و تاثیر آن بر یکپارچگی مناطق با اولویت بالاتر بررسی گردید. بهترین نتیجه در هر سه روش حذف پیکسل‌ها با مقدار جریمه طول مرز برابر با ۰/۰۱ به دست آمد.

۳. نتایج

۳-۱. میزان حفاظت از گونه های نماینده تنوع

زیستی در داخل شبکه مناطق چهارگانه:

با توجه به نقاط حضور موجود، از میان ۱۰۳ گونه جایگزین انتخاب شده فقط برای ۳۶ گونه (۱۱ گونه

جدول ۱- گونه های جایگزین انتخاب شده برای اولویت بندی مکانی مناطق تحت حفاظت به همراه پراکنش آنها در شبکه مناطق چهار گانه کشور

گونه های جایگزین	تعداد مشاهدات	وضعیت حفاظتی	AUC مدل مکسنت	مجموع زیستگاه های مطلوب (km ²)	درصد حفاظت شده داخل مناطق چهارگانه
<i>Acinonyx jubatus</i>	۳۵۶	CR	۰/۹۶	۱۱۵۵۲۱/۳۱	۳۰/۶۳
<i>Capra aegagrus</i>	۳۰۶	VU	۰/۷۸	۴۸۳۴۱۲/۰۰	۱۱/۰۹
<i>Equus hemionus</i>	۶۰	CR	۰/۹۹	۳۷۲۷۱/۵۹	۴۴/۲۰
<i>Gazella subgutturosa</i>	۴۱	VU	۰/۸۴	۳۳۲۷۵۲/۱۰	۱۳/۸۹
<i>Myotis capaccinii</i>	۲۰	VU	۰/۹۴	۱۴۶۴۱۱/۸۰	۵/۳۵
<i>Ovis orientalis</i>	۶۴	VU	۰/۸۳	۶۳۷۴۸۱/۶۶	۱۰/۱۹
<i>Ovis vignei</i>	۶۱	VU	۰/۸۰	۴۵۳۷۶۸/۶۵	۱۲/۰۴
<i>Panthera pardus</i>	۸۶	EN	۰/۷۵	۳۳۳۲۲۷/۹۹	۱۲/۲۳
<i>Rhinolophus mehelyi</i>	۱۰	VU	۰/۸۵	۶۰۱۸۷۷/۹۸	۸/۹۲
<i>Ursus thibetanus</i>	۶۲	CR	۰/۹۶	۲۳۳۷۷۶/۱۵	۶/۱۸
<i>Vulpes cana</i>	۱۱	VU	۰/۸۹	۳۳۲۹۹۴/۹۶	۱۵/۳۱

پستانداران

ارتقاء سطح حفاظت از تنوع زیستی با بهبود وضعیت شبکه ...

ادامه جدول ۱- گونه های جایگزین انتخاب شده برای اولویت بندی مکانی مناطق تحت حفاظت به همراه پراکنش آنها در شبکه مناطق چهار گانه کشور

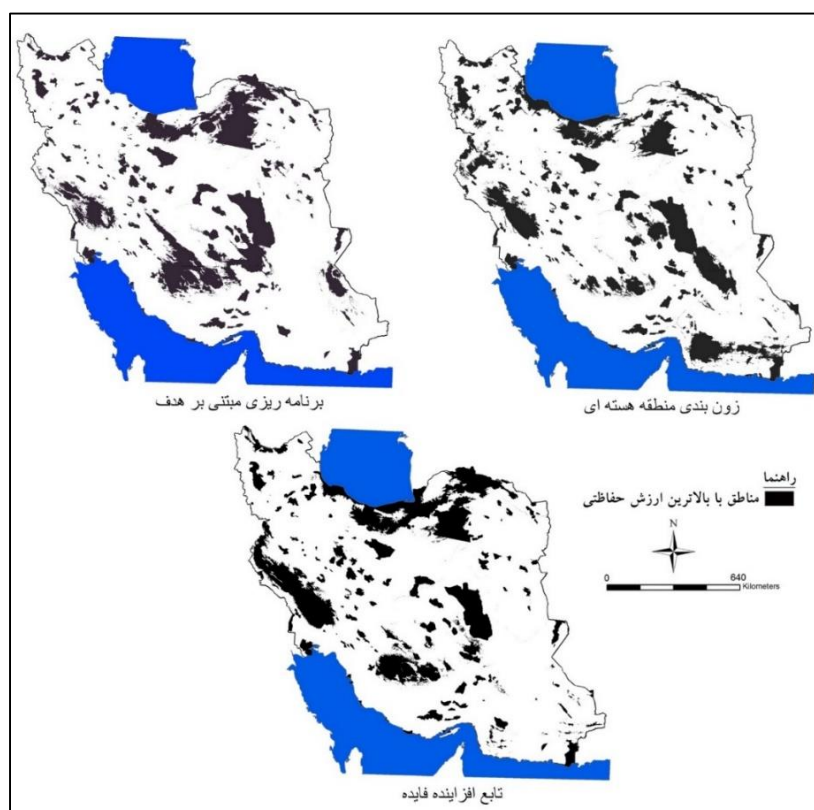
درصد حفاظت شده داخل مناطق چهار گانه	مجموع زیستگاه های مطلوب (km ²)	AUC مدل مکسنت	وضعیت حفاظتی	تعداد مشاهدات	گونه های جایگزین	
۹/۶۹	۱۸۷۸۴۹/۹۸	۰/۹۸	VU	۲۹	<i>Anser erythropus</i>	پرندهگان
۹/۵۵	۳۶۸۹۲۶/۳۱	۰/۸۸	VU	۷۸	<i>Aquila clanga</i>	
۹/۹۲	۲۷۱۹۱۳/۹۳	۰/۸۸	VU	۹۳	<i>Aquila heliaca</i>	
۱۷/۴۲	۲۳۰۰۴۷/۹۹	۰/۸۱	VU	۷۰	<i>Chlamydotis macqueenii</i>	
۱۱/۳۲	۲۰۸۸۰۳/۸۶	۰/۸۰	VU	۸۰	<i>Falco cherrug</i>	
۱۱/۳۴	۲۴۴۹۶۹/۳۳	۰/۹۱	VU	۴۵	<i>Marmaronetta angustirostris</i>	
۸/۳۲	۴۶۵۴۶۲/۷۹	۰/۸۰	EN	۱۹۴	<i>Neophron percnopterus</i>	
۷/۷۴	۲۰۹۸۱۹/۰۷	۰/۹۵	VU	۴۸	<i>Otis tarda</i>	
۷/۰۵	۲۱۰۱۸۹/۵۲	۰/۹۴	VU	۶۰	<i>Pelecanus crispus</i>	
۹/۹۳	۲۰۴۷۸۴/۳۳	۰/۸۳	CR	۱۵	<i>Vanellus gregarious</i>	
۱۰/۹۳	۳۹۵۱۷۰/۳۷	۰/۸۷	آندمیک	۲۵	<i>Podoces pleskei</i>	
۱۲/۵۲	۳۲۳۵۱۵/۰۸	۰/۸۷	آندمیک	۱۴	<i>Bunopus crassicauda</i>	خزندگان
۱۴/۳۶	۱۷۳۸۵۳/۴۳	۰/۹۸	آندمیک	۲۵	<i>Darevskia defilippii</i>	
۲۳/۶۱	۵۸۰۹/۰۰	۰/۹۹	.EN آندمیک	۴۶	<i>Montivipera latifi</i>	
۱۳/۳۶	۴۶۴۴۵۷/۹۸	۰/۷۹	.VU آندمیک	۱۲	<i>Phrynocephalus persicus</i>	
۱۵/۵۲	۲۱۳۴۶۴/۰۶	۰/۹۷	آندمیک	۱۰	<i>Rhinigecko misonnei</i>	
۶/۹۰	۱۷۹۲۴۶/۴۴	۰/۸۵	VU	۶۸	<i>Testudo graeca</i>	
۱۳/۱۰	۴۶۱۲۲۱/۷۳	۰/۸۴	VU	۱۵	<i>Testudo horsfieldii</i>	
۱۰/۵۱	۲۰۲۸۳۳/۱۹	۰/۹۴	آندمیک	۱۶	<i>Timon princeps</i>	دوزیستان
۱۴/۱۱	۸۷۷۶۶/۲۶	۰/۹۳	آندمیک	۱۰	<i>Tropicolates latifi</i>	
۱۳/۰۷	۱۶۳۳۹۲/۸۵	۰/۹۸	VU	۲۰	<i>Bufo eichwaldi</i>	
۶/۵۴	۲۴۳۷۸۴/۰۰	۰/۸۴	آندمیک	۱۳	<i>Bufo surda annulata</i>	
۵/۹۰	۵۷۵۸۵/۰۴	۰/۹۹	.CR آندمیک	۲۹	<i>Neurergus kaiseri</i>	
۸/۴۶	۸۱۲۵۲/۲۷	۰/۹۸	آندمیک	۱۰	<i>Pseudopidalea luristanica</i>	
۱۳/۰۰	۱۸۶۵۴۱/۶۹	۰/۹۶	آندمیک	۱۸	<i>Rana pseudodalmatina</i>	

۲-۳. مناطق پیشنهاد شده توسط الگوریتم

Zonation

در این پژوهش، نقشه دربرگیرنده ۲۰ درصد از سطح کشور که دارای بالاترین اولویت حفاظتی است با استفاده از هر سه روش حذف پیکسل ها به دست آمد (شکل ۱). در ادامه، با رویهم گذاری هر یک از سه نقشه فوق بر روی نقشه‌های مطلوبیت زیستگاه طبقه بندی شده برای گونه‌های جایگزین، درصدی از زیستگاه هر یک از این گونه‌های که در داخل ۲۰ درصد از سطح کشور با بالاترین اولویت حفاظتی قرار می‌گیرد، تعیین شد (جدول ۲). نتایج نشان داد در صورت انتخاب مناطق با الویت بالای حفاظتی پیشنهاد شده توسط هر یک از سه روش حذف پیکسل ها چه درصدی از زیستگاه های گونه های

جایگزین حفاظت می‌شود. مناطق پیشنهاد شده توسط روش برنامه ریزی مبتنی بر هدف تنها در ۱۴ مورد از ۳۶ مورد حداقل مساحتی برابر با ۳۰٪ از کل زیستگاه های یک گونه را تحت پوشش قرار داد. روش تابع افزایش فایده در ۲۱ مورد عملکرد بهتری نسبت به روش مبتنی بر هدف داشت. روش تابع افزایش فایده در ۲۸ مورد از ۳۶ مورد بهتر از روش زون بندی منطقه هسته‌ای عمل نمود. در روش زون بندی منطقه هسته‌ای کمترین مساحت پوشش داده شده برای یک گونه ۱۳ درصد از وسعت زیستگاه گونه بود در حالی که این مقدار در روش مبتنی بر هدف ۹/۷۷ و برای روش تابع افزایش فایده ۷/۸۴ است.



شکل ۱- مناطق در برگیرنده ۲۰٪ از سطح کشور با بالاترین ارزش حفاظتی بر طبق روش‌های مختلف حذف پیکسل در الگوریتم Zonation

جدول ۲- میزان حفاظت از زیستگاه های مطلوب گونه های جایگزین در شبکه مناطق حفاظت شده پیشنهاد شده توسط سه روش حذف پیکسل در نرم افزار Zonation.

گونه های جایگزین	درصد پوشش داده شده در روش تابع افزاینده فایده	درصد پوشش داده شده در روش زون بندی منطقه هسته ای	درصد پوشش داده شده در روش مبتنی بر هدف
پستانداران	<i>Acinonyx jubatus</i>	۳۶/۷۰	۴۱/۰۳
	<i>Capra aegagrus</i>	۲۵/۸۹	۲۸/۳۰
	<i>Equus hemionus</i>	۷۸/۲۰	۷۲/۷۲
	<i>Gazella subgutturosa</i>	۲۶/۲۱	۲۰/۶۸
	<i>Myotis capaccinii</i>	۴۴/۱۱	۳۰/۰۵
	<i>Ovis orientalis</i>	۲۱/۳۷	۱۶/۵۲
	<i>Ovis vignei</i>	۲۵/۸۰	۲۰/۳۰
	<i>Panthera pardus</i>	۳۱/۷۹	۲۱/۸۵
	<i>Rhinolophus mehelyi</i>	۲۷/۷۳	۲۰/۹۳
	<i>Ursus thibetanus</i>	۹/۴۲	۱۹/۱۰
	<i>Vulpes cana</i>	۱۶/۶۵	۱۸/۹۴
	پرندگان	<i>Anser erythropus</i>	۴۰/۳۸
<i>Aquila clanga</i>		۳۳/۹۹	۳۰/۷۵
<i>Aquila heliaca</i>		۳۳/۸۳	۲۴/۲۰
<i>Chlamydotis macqueenii</i>		۱۹/۲۶	۲۰/۲۸
<i>Falco cherrug</i>		۴۰/۰۳	۲۷/۰۳
<i>Marmaronetta angustirostris</i>		۴۱/۸۴	۲۸/۳۱
<i>Neophron percnopterus</i>		۳۰/۱۰	۲۳/۱۸
<i>Otis tarda</i>		۱۹/۲۷	۱۵/۲۶
<i>Pelecanus crispus</i>		۳۱/۳۱	۳۱/۹۵
<i>Vanellus gregarius</i>		۲۹/۱۳	۲۳/۵۵
<i>Podoces pleskei</i>		۱۵/۶۵	۱۳/۳۱

ادامه جدول ۲- میزان حفاظت از زیستگاه های مطلوب گونه های جایگزین در شبکه مناطق حفاظت شده پیشنهاد شده توسط سه روش

حذف پیکسل در نرم افزار Zonation

گونه های جایگزین	درصد پوشش داده شده در روش تابع افزایش یافته	درصد پوشش داده شده در روش زون بندی منطقه هسته ای	درصد پوشش داده شده در روش مبتنی بر هدف
<i>Bunopus crassicauda</i>	۲۵/۵۲	۱۸/۷۴	۲۴/۴۰
<i>Darevskia defilippii</i>	۴۵/۶۰	۳۱/۹۰	۳۵/۴۹
<i>Montivipera latifii</i>	۹۹/۹۹	۹۹/۹۹	۹۸/۶۰
<i>Phrynocephalus persicus</i>	۲۴/۷۲	۲۰/۰۲	۲۴/۸۷
<i>Rhinigecjo misonnei</i>	۱۵/۶۶	۲۷/۴۲	۱۵/۵۹
<i>Testudo graeca</i>	۳۱/۴۶	۲۳/۳۷	۱۹/۶۷
<i>Testudo horsfieldii</i>	۲۵/۵۹	۱۹/۰۰	۲۶/۵۱
<i>Timon princeps</i>	۴۰/۷۷	۲۷/۵۸	۴۰/۰۰
<i>Tropicolates latifi</i>	۳۷/۶۰	۱۸/۶۷	۶۲/۵۹
<i>Bufo eichwaldi</i>	۴۷/۵۰	۳۵/۸۵	۳۶/۰۴
<i>Bufo surda annulata</i>	۷/۸۴	۱۸/۳۰	۹/۷۷
<i>Neurergus kaiseri</i>	۸۲/۳۰	۵۴/۵۹	۳۹/۷۹
<i>Pseudopidalea luristanica</i>	۵۸/۹۱	۴۳/۹۰	۳۵/۰۳
<i>Rana pseudodalmatina</i>	۳۷/۲۴	۲۵/۹۱	۲۶/۱۱

مازندگان

دوزیستان

۴. بحث و نتیجه گیری

در این پژوهش برای نخستین بار از یک رویکرد سیستماتیک اولویت بندی مکانی برای پیشنهاد مناطق جدید برای توسعه شبکه مناطق حفاظت شده در سطح کل کشور استفاده گردید. الگوریتم Zonation برای تحلیل مجموعه داده های سامانه اطلاعات جغرافیایی با حجم زیاد که نشان دهنده توزیع اجزایی از تنوع زیستی

(نظیر گونه ها، زیستگاه ها و یا خدمات اکوسیستم ها)

هستند، مناسب است (Kremen et al., 2008; Leathwick et al., 2008; Thomson et al., 2009). در این پژوهش نقشه های مطلوبیت زیستگاه بکار رفته اندازه پیکسلی برابر با ۱ کیلومتر مربع داشتند و کل منطقه مورد مطالعه به بیش از یک میلیون و ششصد هزار واحد برنامه ریزی تقسیم گردید. در حالیکه در مطالعه ای که در سطح استان مازندران با روش

کمی پیش‌بینی مطلوبیت زیستگاه استفاده کند. در حالی که در روش‌های نرم‌افزار Marxan هر یک از نقشه‌های توزیع گونه‌ها و یا سایر پدیده‌های حفاظتی بصورت لایه‌های بولین (صفر و یک) قابل استفاده می‌باشند (Ball and Possingham, 2000; Mehri et al., 2013). این امر نشان دهنده دقت بالاتر روش Zonation است. همچنین در روش Zonation برای مجموعه ثابتی از نقشه‌ها و قانون یکسان حذف پیکسل، مجموعه ثابتی از مناطق با اولویت حفاظتی پیشنهاد می‌گردند (Moilanen et al., 2005)، در حالی که روش‌های به کار رفته در نرم‌افزار Marxan مبتنی بر تکرار هستند و میانگین تکرار و یا تعداد دفعات انتخاب یک پیکسل در تکرارها نشان دهنده اهمیت حفاظتی آن پیکسل است (Ball and Possingham, 2000). برای مثال در مطالعه انجام شده در استان مازندران (Mehri et al., 2013) مدل ۱۰۰ بار تکرار و در هر تکرار الگوریتم انتخاب مناطق ۱۰ میلیون بار تکرار گردید. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که روش Zonation جواب‌های قطعی‌تری ارائه می‌کند.

مناطق پیشنهاد شده بر اساس هر یک از روش‌های حذف پیکسل‌ها در نرم‌افزار Zonation حداقل ۱۶٪ به میانگین وسعت زیستگاه‌های حفاظت‌شده از گونه‌های جایگزین تنوع زیستی در سطح کشور می‌افزایند. بیشترین پوشش تنوع زیستی در اولویت‌بندی مبتنی بر روش تابع افزایشنده فایده مشاهده می‌گردد. همانگونه که در منابع نیز ذکر شده است (Moilanen, 2007) زمانی که از نمونه‌ای از گونه‌ها به عنوان معرف تنوع‌زیستی حفاظت می‌گردد، این روش مناسب‌تر از روش‌های دیگر حذف پیکسل است. برنامه‌ریزی مبتنی بر هدف نیز به

انجام گردید کل منطقه به ۱۹۸۶۵ واحد تقسیم شد (Mehri et al., 2013)، و یا اولویت‌بندی حفاظت در استان البرز با روش Marxan با بررسی ۱۰۲۷ واحد انجام گرفت (Esfandeh et al., 2016). انتخاب مناطق حفاظت‌شده جدید در استان کهگیلویه و بویر احمد با روش C-Plan نیز با تحلیل ۹۱۹ واحد برنامه‌ریزی انجام شد (Jafari et al., 2010). هر چند این مطالعات هر یک محدود به یک استان بودند اما تعداد واحدهای برنامه‌ریزی بکار رفته در پژوهش حال حاضر بیش از ۸۰ برابر حداکثر تعداد واحد برنامه‌ریزی مورد استفاده در سایر مطالعات بود. این امر نشان دهنده توان بالای روش Zonation برای تصمیم‌گیری در مقیاس‌های بزرگ می‌باشد.

در روش Zonation می‌توان به جای تعیین میزان اهداف حفاظتی (نظیر درصدی از وسعت محدوده انتشار هر گونه) که در روش‌هایی نظیر Marxan (Ball and Possingham, 2000) کاربرد دارد، از رتبه‌بندی اولویت سلسله‌مکانی برای تمامی پیکسل‌ها در سیمای سرزمین بر اساس میزان وقوع هر یک از گونه‌ها و ارتباط بین زیستگاه‌ها برای هر یک از گونه‌ها استفاده نمود. در حالیکه در روش‌هایی نظیر Marxan مجموعه مناطق پیشنهادی با تغییر میزان هدف حفاظتی تغییر زیادی می‌یابند (Mehri et al., 2013; Esfandeh et al., 2016)، و از این روی نتایج بدست آمده از تحلیل‌های انجام شده به وسیله Marxan وابستگی زیادی به معیارهای بکار رفته در تعیین میزان هدف حفاظتی دارند. روش اولویت‌بندی مکانی مناطق حفاظتی Zonation در مقایسه با روش‌های ارائه شده در نرم‌افزار Marxan مانند شبیه‌سازی تبرید تدریجی می‌تواند از نقشه‌های

زیستگاه و میزان مطلوبیت آن نتیجه روش برنامه ریزی مبتنی بر هدف کارآمد تر خواهد بود. در پایان، این پژوهش با بکارگیری رویکرد سیستماتیک حفاظت الگوریتم Zonation سه گزینه برای افزایش تقریباً ۱۰٪ به وسعت مناطق چهارگانه فعلی ارائه می نماید که هر یک از این سه گزینه میزان حفاظت از تنوع زیستی در کشور را حداقل دو برابر می نمایند.

در انتها ذکر این نکته الزامی است که افزایش کارایی شبکه مناطق حفاظت شده وابستگی مستقیم به میزان اطلاعات موجود از حضور گونه ها به ویژه گونه های آندمیک دارد. با توجه به آمار و پژوهش های اندک در این زمینه امکان پیش بینی زیستگاه های مطلوب برای بسیاری از گونه های آندمیک در سطح کشور وجود ندارد، که این امر کارایی این مناطق را در حفاظت از ارزشمندترین اجزای تنوع زیستی کشور می کاهش دهد.

خوبی تابع افزایش یافته عمل نمی کند که دلیل آن محدود شدن زیستگاه های انتخاب شده فقط به ۲۰٪ از سطح کشور است، که در این وسعت امکان دستیابی به تمامی اهداف تعیین شده وجود ندارد. به عبارت دیگر، چنانچه تصمیم بر حفاظت حداقل ۳۰٪ از زیستگاه های گونه های جایگزین باشد باید بیش از ۲۰٪ از وسعت کل کشور تحت حفاظت قرار گیرد. روش زون بندی منطقه هسته ای موفقیت کمتری در متوسط حفاظت از زیستگاه گونه ها دارد، اما در این روش حداقل مساحت حفاظت شده از زیستگاه یک گونه بیش از دو روش دیگر است که نشان دهنده تمرکز این روش بر حفظ زیستگاه های مرکزی هر گونه است. در نتیجه چنانچه هدف حفاظت بیشترین سطح ممکن از زیستگاه گونه ها باشد، نتیجه روش تابع افزایش یافته مناسب تر است. اما برای حفاظت از زیستگاه های با مطلوبیت بالاتر روش زون بندی منطقه هسته ای و برای تلفیقی از دو معیار سطح

References

Ball, I.R., Possingham, H.P., 2000. Marxan version 1.8.3. Available at: <http://www.ecology.uq.edu.au/marxan.htm>.

Cowling, R.M., Pressey, R.L., 2003. Introduction to systematic conservation planning in the Cape Floristic Region. *Biological Conservation* 112, 1-13.

Dudley, N., Parish, J., 2006. Closing the gap. Creating ecologically representative protected area systems: A guide to conducting the gap assessment of protected area system for the Convention on Biological Diversity. Secretariat of the Convention on Biological Diversity. Technical Serie no. 24, Montreal

Esfandeh, S., Kaboli, M., Islami, L., 2016. Application of simulated annealing algorithm to systematic prioritization of protected area in Alborz province,

Iran. Journal of Animal Environment 9, 105-122 (In Persian).

Farashi, A. and Shariati, M., 2017. Biodiversity hotspots and conservation gaps in Iran. *Journal for Nature conservation* 39, 37-57.

Franklin, J., 2009. Mapping species distributions; spatial inference and prediction. Cambridge University Press.

Hijmans, R.J.S.E., Cameron, J.L., Parra, P.G., Jones, Jarvis, A., 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 25, 1965-1978.

Jafari, A., Yavari, A., Bahrami, S., Yarali, N., 2010. Designation of new protected area with application of C-Plan on vegetation types (Case study: Kohgiluyeh

and Boyer Ahmad). *Journal of Environmental science* 36, 1-12.

Jimenez-Valverde, A, Lobo, J.M., 2007. Threshold criteria for conversion of probability of species presence to either-or presence-absence. *Acta Oecologica* 31, 361 – 369.

Kaboli, M., Aliabadian, M., Tohidifar, M., Hashemi, A.R., Roslar, K., 2012. Atlas of Birds of Iran. Department of Environment of Iran-University of Tehran.

Karami, M., Ghadirian, T., Faizolah, k., 2012. Atlas of Mammals of Iran. Department of Environment of Iran-University of Tehran.

Kremen, C., Cameron, A., Moilanen, A., Phillips, S.J., Thomas, C.D., 2008. Aligning Conservation Priorities Across Taxa in Madagascar with High- Resolution Planning Tools. *Science* 320, 222–226.

Leathwick, J., Moilanen, A., Francis, M., Elith, J., Taylor, P., 2008. Novel methods for the design and evaluation of marine protected areas in offshore waters. *Conservation Letters* 1, 91–102.

Liu, C., White, M., Newell, G., 2009. Measuring the accuracy of species distribution models: a review. 18th World IMACS/MODSIM Congress, Carins, Australia.

Madjnoonian, H., 2014. Protected Areas: Criteria and Guideline for Selection, Conservation and Management of Protected Areas. Vol 1. Nashr-Day Publications, Tehran, Iran. (in Persian).

Margules, C.R., Pressey, R.L. 2000. Systematic conservation planning, *Nature* 405, 243–253.

Mehri, A., Salman – Mahini, A., Mirkarimi, S.H., Rezaei, H.R., 2013. Comparison of efficiency of three intelligent algorithms in selection of conservation areas (Case study: Mazandaran province). *Journal of Environmental Science*. 40, 1-16 (In Persian).

Moilanen, A., 2007. Landscape Zonation, benefit functions and target-based planning: Unifying reserve selection strategies. *Biological Conservation* 134,

571–579.

Moilanen, A., Franco, A.M.A., Early, R.I., Fox, R., Wintle, B., 2005. Prioritizing multiple-use landscapes for conservation: methods for large multi-species planning problems. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 272, 1885–1891.

Moilanen, A., Wintle, B.A., 2007. The boundary-quality penalty: a quantitative method for approximating species responses to fragmentation in reserve selection. *Conservation Biology* 21, 355-364.

Moilanen, A., Kujala, H., 2008. Zonation: software for spatial planning. v. 2.0. User manual: Online: <http://www.helsinki.fi/bioscience/consplan>. 136 pp.

Moilanen, A., Wilson, K.A., Possingham, H.P., 2009. Spatial Conservation Prioritization: Quantitative Methods and Computational Tools. Oxford University Press, Oxford. 320 pp.

Moilanen, A., Anderson, B.J., Eigenbrod, F., Heinemeyer, A., Roy, D.B., 2011. Balancing alternative land uses in conservation prioritization. *Ecological Applications* 21, 1419–1426.

Mozaffari, O., Kamali, K., Fahimi, H., 2015. Atlas of Reptiles of Iran. Department of Environment of Iran.

New South Wales National Parks and Wildlife Service (NSW NPWS).1999. The Conservation Planning System (C-Plan) version 3.11. <http://www.members.ozemail.com.au/~cplan/>

Phillips, S.J., Anderson, R.P., Schapire, R.E. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological modelling* 190, 231-259.

Possingham, H.P., Ball, I.R., Andelman, S., 2000. Mathematical methods for identifying representative reserve networks. In: Ferson S, Burgman M (Eds.), *Quantitative Methods for Conservation Biology*. Springer-Verlag, New York, pp. 291–305.

Possingham, H.P., Wilson, K.A., Andelman, S.J., Vynne, C.H., 2006. Protected areas. Goals, limitations, and design. Pp. 507–549 in M. J. Groom, G. K. Meffe, C. R. Carroll, eds. *Principles of*

conservation biology. 3rd ed. Sinauer Associates, Inc., Sunderland, MA.

Pressey, R.L., 1998. Algorithms, politics and timber: an example of the role of science in a public, political negotiation process over new conservation areas in production forests In: R.T. Wills and Hobbs RJ, Editors, Ecology for Everyone: Communicating Ecology to Scientists, the Public and the Politicians, Chipping Norton, Surrey Beatty and Sons, NSW pp. 73–87.

Pressey, R.L., Nicholls, A.O., 1989. Efficiency in conservation planning: scoring versus iterative approaches, Biological Conservation 50, 199–218.

Pressey, R.L., Tully, S.L., 1994. The cost of ad hoc reservation: a case study in western New South Wales, Australian Journal of Ecology, 19, 375–384.

Rondinini, C., Chiozza, F., Boitani, L., 2006. High human density in the irreplaceable sites for African vertebrate conservation. Biological Conservation 133, 358-363.

Rouget, M., Cowling, R.M., Pressey, R.L., Richardson, D.M., 2003. Identifying spatial components of ecological and evolutionary processes for regional conservation planning in the Cape Floristic Region, South Africa. Diversity and

Distribution 9, 191–210.

Salman – Mahini, A., Saeid, M., Kamyab, H., Nasir-Ahmadi, K., 2013. Comparison of simulated annealing and multi objective land use assessment and allocation in optimal selection of land use. Journal of Applied Ecology 3, 1-12.

Sarkar, s., Iloldi-Rangel, P., 2010. Systematic conservation planning: an updated protocol. Brazilian Journal of Nature Conservation 8, 19-26.

Thomson, J.R., Moilanen, A.J., Veski, P.A., Bennett, A.F., Nally, R.M., 2009. Where and when to revegetate a quantitative method for scheduling landscape reconstruction. Ecological Applications 19, 817–828.

Wiz, M.S., Hijmans, R.J., Li, J., Peterson, A.T., Graham, C.H., Guisan, A., NCEAS predicting species distribution working group, 2008. Effects of sample size on the performance of species distribution models. Diversity and Distribution 14,763-773.

Yousefi, S., Saeedi, H., Behfar, M., Fallahi, R., Izadian, M., 2015. Atlas of Amphibians of Iran. Department of Environment of Iran.

Ziaei, H., 2008. A field guide to mammals of Iran, 2nd edition. Wildlife Center Publication, Iran.