

تحلیل فضایی آسیب‌پذیری محیطی در منطقه کرانه شرقی دریاچه ارومیه

ابوالفضل قنبری^۱، دانشیار جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشگاه تبریز، ایران

احسان پاشانژاد سیلاب، کارشناسی ارشد برنامه ریزی آمایش سرزمین، دانشگاه تربیت مدرس، ایران

پذیرش نهایی: ۳۱/۰۳/۹۷

دریافت مقاله: ۹۶/۰۸/۱۵

چکیده

محیط زیست، توسعه و پایداری سه مفهوم و نگرانی اصلی جهانی در مدیریت فضای زیست انسان در سطوح مختلف فضایی است. آسیب پذیری محیطی و رویکرد ارزیابی آن، چارچوب ارزیابی جامعی از سیستم‌ها با منابعی است که تحت تاثیر شرایط طبیعی و همچنین در معرض آسیب‌پذیری ناشی از فعالیت‌های انسان قرار گرفته است. بر همین اساس، هدف اصلی پژوهش حاضر ارائه چارچوبی جامع و بدیع از آسیب‌پذیری محیطی در سطح پژوهش‌های کشور با تلفیق تکنیک‌ها و داده‌های فضایی است. جهت سنجش وضعیت آسیب‌پذیری محیطی منطقه کرانه شرقی دریاچه ارومیه (شامل ۸ شهرستان) با توجه به نقش آن در استان به عنوان محدوده مطالعاتی انتخاب گردید. روش تحقیق پژوهش حاضر تحلیلی-توصیفی و ماهیت هدف آن در نظام برنامه‌ریزی بویژه در زمینه تقلیل اثرات آسیب‌پذیری محیطی و ارتقاء تاب‌آوری جوامع محلی از نوع کاربردی - توسعه‌ای است. در این مطالعه، در مجموع ۱۸ معیار در چهار شاخص یا ۴ گروه آسیب‌پذیری ناشی از مخاطرات محیطی، آسیب‌های ناشی از شرایط محیطی، آسیب‌پذیری انسان-منشاء و در نهایت آسیب‌های ناشی از عوامل آب و هوایی تعیین گردید. در ادامه با تلفیق و ادغام شاخص‌های قبلی، شاخص کلی آسیب‌پذیری محیطی (EVI) در منطقه مورد مطالعه ارائه گردید. نتایج بدست آمده از شاخص‌ها در ۶ طبقه آسیب‌پذیری طبقه بندی گردید که طبقه بندی وضعیت نهایی آسیب‌پذیری حاکی از پوشش بیش از ۵۰ درصد مساحت منطقه در طبقات آسیب‌پذیری زیاد و خیلی زیاد می‌باشد. در نهایت به منظور برنامه‌ریزی و حفاظت محیطی، نتایج بدست آمده در قالب ۴ منطقه آسیب‌پذیری بحرانی (۳۳٪)، مناطق حاشیه بحرانی (۳۱٪)، مناطق گذر (۲۰٪) و مناطق با رویکرد حفاظت (۲۶٪) شناسایی و منطقه بندی گردید.

واژگان کلیدی: شاخص آسیب‌پذیری محیطی، برنامه‌ریزی محیطی، سنجش فضایی، منطقه کرانه شرقی دریاچه ارومیه.

مقدمه

ارزیابی آسیب پذیری محیطی یکی از مراحل مهم و حیاتی برای مدیریت منابع و محیط زیست می‌باشد. تحول و تکوین رویکردهای نوین در ارزیابی و حفاظت محیط زیست منجر به ارایه مفهومی جدید از آسیب پذیری محیطی را با تمرکز بر تحلیل‌های آسیب پذیری گردیده است (Wang et al, ۲۰۰۸; Weston ۲۰۰۴). به طوری که مفهوم آسیب پذیری در چارچوب سیستم‌های بهم پیوسته محیطی-انسانی به کانون تمرکز گفتمان پژوهش‌های حوزه پایداری تبدیل گشته است (Billie L Turner et al, ۲۰۰۳). علاوه بر این، ارزیابی آسیب پذیری محیطی-اکولوژیکی ناشی از اختلال مستمر انسان در فرآیندهای طبیعی و محیطی توجه زیادی را در ادبیات جهان بویژه در زمینه تغییرات آب و هوایی به خود اختصاص داده است (Fraser, et al, ۲۰۱۱; Füssel and Klein ۲۰۰۶; De Lange, et al, ۲۰۱۰). واژه آسیب پذیری در رویکردهای مختلف و رشته‌های گوناگون از علم پزشکی تا فقر و ادبیات توسعه و پایداری طنین انداز شده است. اما در مطالعات اکولوژیکی-محیطی، مفهوم آسیب پذیری اغلب ناشی از رویکرد علوم اجتماعی آن می‌باشد. در این میان هنوز در بین مستندات علمی اتفاق نظر کلی بر چگونگی تعریف رویکرد آسیب پذیری در فرآیند ارزیابی اثرات محیط زیست ارایه نگردیده است (Kværner, Swensen and Erikstad ۲۰۰۶; Si-Yuan, Jing-Shi and Cun-Jian, ۲۰۰۸). با این حال، مفهوم آسیب پذیری اغلب با واژه تاب‌آوری همراه بوده است، اگرچه تاب‌آوری بار معنایی مثبت را به همراه داشته اما مفهوم آسیب پذیری بیشتر نمایان حساسیت در برابر تهدید و یا خطری است که یک سیستم در معرض آن قرار گرفته است (W Neil Adger, ۲۰۰۶). بنابراین، آسیب پذیری محیطی بیشتر نشان دهنده خطرات آسیب در محیط زیست طبیعی است. در واقع، آسیب‌هایی که شامل اکوسیستم، جمعیت و فرآیندهای فیزیکی و بیوفیزیکی را ناشی از فعالیت‌های انسانی تحت تاثیر قرار داده‌اند (Kaly, Pratt and Howorth, ۲۰۰۲).

محیط زیست، توسعه و پایداری سه مفهوم و نگرانی اصلی جهانی در مدیریت فضای زیست انسان در سطوح مختلف فضایی است. با توجه به افزایش تقاضا و نیازمندی بیشتر برای استفاده از منابع، محیط زیست زمین بیشتر در معرض خطر قرار گرفته است (Nandy et al, ۲۰۱۵). مفهوم آسیب پذیری را می‌توان با استفاده از واژه‌هایی همانند در معرض خطر قرار گرفتن، حساسیت و ظرفیت سازگاری از سیستم‌ها عنوان کرد. اما آسیب پذیری محیطی و رویکرد ارزیابی آن، چارچوب ارزیابی جامعی از سیستم‌ها با منابعی است که تحت تاثیر شرایط طبیعی و همچنین در معرض آسیب پذیری ناشی از فعالیت‌های انسان قرار گرفته است (Zhewen et al, ۲۰۰۹).

مرور ادبیات حوزه آسیب پذیری نشان‌دهنده کاربردی طیف وسیعی از پژوهش‌های علمی در قالب ساختار بندی تبیین روابط بین آسیب پذیری افراد و مکان‌ها ناشی از فرآیندهای محیطی و اجتماعی است (W Neil Adger, Kelly, and Billie Lee Turner, et al, ۲۰۰۳; Cutter, Mitchell, and Scott ۲۰۰۰; Ninh ۲۰۱۲). بر همین مینا، موضوع آسیب‌پذیری مخصوصاً در رویکرد محیطی آن ناشی از فشار نیروهای داخلی و خارجی از یک سیستم و یا آسیب پذیری اکوسیستمی، در حال حاضر به یک رویکرد و موضوع فعال پژوهشی تبدیل گشته است (Nandy, et al, ۲۰۱۵). نتایج اخیر در کاربردی رویکرد آسیب پذیری، آن را همانند پدیده‌ای همراه با حلقه‌ای از مخاطرات عنوان می‌کند، بنابراین زمانی که مخاطره‌ای نباشد از این رو آسیب‌پذیری نیز وجود نخواهد داشت (Gallopín, ۲۰۰۶). از آنجایی که توانایی یک سیستم خاص برای مقابله با تنش‌های بالقوه یا فشارهای مورد نیاز برای یک آستانه اکولوژیکی؛ در عبور از یک زمان و فضای مشخص شده

به طور دقیق امکان پذیر نیست، لذا ارزیابی آسیب پذیری محیطی را از یک اکوسیستم، منطقه یا یک کشور پیچیده می‌نماید (Skondras et al. ۲۰۱۱).

سنجش و ارزیابی آسیب پذیری محیطی-اکولوژیکی با هدف شناسایی آسیب پذیری وضع موجود مناطق با رویکرد کمی و کیفی که در ارزیابی اکولوژیکی و مدیریت جامعه یکی از گام‌های ضروری است موجب درک بهتر از وضع موجود و همچنین ارزیابی موثر از سنجش‌های برنامه ریزی شده را فراهم می‌آورد (W N Adger ۲۰۰۰; Tran and Shaw ۲۰۰۷; Wang (et al. ۲۰۰۸). تبیین آسیب پذیری محیطی-اکولوژیکی از منظر و رویکرد تحلیل فضایی در سطحی وسیع و منطقه‌ای یکی از اقدامات اساسی سیاست‌گذاری و تصمیم‌گیری در تدوین استراتژی‌های مقدم به منظور اجرای حفاظت اکولوژیکی و محیطی است (Kelly and Adger, ۲۰۰۰). مطالعه پیشینه پژوهش در حوزه آسیب پذیری به طور کلی و رویکرد ارزیابی آسیب پذیری محیطی به طور خاص، بنیان‌های نظری را در مطالعات پیشین و در ارتباط با سیستم‌های طبیعی-انسانی در این زمینه را مشخص ساخته (W Neil Adger ۲۰۰۶; Eakin and Luers ۲۰۰۶; Luers ۲۰۰۵; Billie ۲۰۰۳; Lee Turner, et al, ۲۰۰۳) و منجر به ارائه نمونه‌های تجربی مختلف با اهداف گوناگون و به تبع آن کاربردهای روش‌های کمی مختلفی را شده است. به طوری که با طبقه بندی پژوهش‌های صورت گرفته نسبت به روش مورد استفاده در آنها می‌توان به مواردی از این قبیل اشاره نمود: ارزیابی آسیب پذیری با مدلسازی ریاضیاتی (Wilson, Newton, et al. ۲۰۰۵)، ارزیابی آسیب پذیری محیطی در سطح منطقه‌ای توسط (Wang et al. ۲۰۰۸)، آسیب پذیری محیطی با رویکرد برنامه ریزی و حفاظت از محیط زیست در پژوهش‌هایی از جمله (Nguyen et al, ۲۰۱۶; Villa and McLEOD ۲۰۰۲)، ارزیابی آسیب پذیری با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی در پژوهش‌هایی همانند (Wilson, Pressey, et al. ۲۰۰۵)، مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است. با مرور رهیافت‌های نظری و تجربی انجام شده در میان تحقیقات حوزه آسیب پذیری، و پهنه‌بندی توزیع آسیب پذیری از نقطه نظر مفاهیم اصلی آن همانند حساسیت، در معرض قرار گیری و ظرفیت سازگاری با تغییرات و یا به لحاظ پیامدها و اثرات آن، فرآیند ارزیابی، نمایش، پایش و نظارت بر تغییرات ایجاد شده در سیستم‌های طبیعی-انسانی از منظر آسیب پذیری کانون توجه بسیاری از پژوهشگران جامعه علمی و حتی سیاست‌گذاران حوزه برنامه ریزی حفاظت محیط زیست قرار گرفته است (Eakin and Luers (۲۰۰۶).

رویکرد آسیب پذیری و سنجش آسیب‌های ناشی از عوامل محیطی در ادبیات داخل کشور نیز مورد توجه قرار گرفته است. به طور مثال شریف‌زادگان و فتحی(۱۳۸۴)، در پژوهشی با استفاده از روش سلسله مراتبی آسیب پذیری زیست محیطی را با رویکرد برنامه ریزی منطقه‌ای در حوزه‌های سه گانه البرز مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج بدست آمده از این پژوهش امکان ارزیابی و سیاست‌گذاری، برنامه‌ریزی منطقه‌ای و استراتژیک را برای به حداقل رساندن آسیب‌پذیری محیطی در اثر انجام طرح‌های توسعه فراهم ساخت و تعادل بین طرح‌های توسعه و محیط زیست در محدوده مطالعاتی تعیین و امکان‌پذیر گردید. شمسی پور و شیخی (۱۳۸۹)، آسیب پذیری را با تلفیق روش طبقه بندی فازی و فرایند تحلیل سلسله مراتبی با تاکید بر پهنه بندی مناطق حساس در ناحیه غرب فارس مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج بدست آمده در این مطالعه در مرحله نخست نشان‌دهنده بالاترین میزان خطر و آسیب به ترتیب ناشی از زمین لرزه، سیلاب و حرکات دامنه‌ای است. علاوه بر این، نواحی کوهستانی مورد بررسی در این پژوهش نسبت به دشت‌های مسطح و کم‌عرضه از آسیب‌پذیری بالایی برخوردارند. دهشور و همکاران(۱۳۹۳)، در مقاله‌ای روش‌های نوین تعیین آسیب پذیری و تنش‌هایی که منجر به آسیب پذیری در محیط‌های طبیعی را می‌گردد، مورد بررسی قرار دادند. نتایج این پژوهش بیان

می‌دارد که در بین منابع حساسیت در قسمت اکولوژیک، معیار بکر بودن (طبیعی بودن) و در قسمت غیر اکولوژیک معیار اقتصادی بیشترین درصد فراوانی را داشته است. صادقی و همکاران (۱۳۹۴)، در پژوهشی آسیب پذیری سکونتگاه‌های روستایی در برابر مخاطرات محیطی به صورت مطالعه موردی در استان خوزستان بررسی کرده‌اند و با استفاده از تلفیق منطق فازی و سیستم اطلاعات جغرافیایی، سناریوهای آسیب پذیری در این منطقه را مشخص نمودند. یافته‌های این پژوهش بیانگر این است که استان خوزستان به انجام پژوهش‌های بیشتری در حوزه اولویت بندی آسیب پذیری نیازمند است. نعمت‌الهی و همکاران (۱۳۹۵)، در مطالعه‌ای دیگر به ارزیابی آسیب پذیری زیست محیطی در مواجهه با آشفته‌گی‌های انسانی و طبیعی (مطالعه موردی: منطقه حفاظت شده عباس آباد استان اصفهان) پرداخته‌اند. روش پژوهش تلفیق و ترکیبی از سیستم اطلاعات جغرافیایی و روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی است. معیارهای مورد استفاده در این تحقیق شامل دو گروه اصلی بیوفیزیک و آشفته‌گی‌ها بوده است. با توجه به نتایج بدست آمده از این پژوهش ۱۷ درصد از منطقه به شدت آسیب پذیر می‌باشد که در نواحی شمالی و شرقی و ۱۵ درصد از منطقه از آسیب پذیری بسیار پایین برخوردار می‌باشد که در نواحی مرکزی جای گرفته است.

در این مطالعه به منظور بررسی وضعیت آسیب پذیری محیطی، منطقه کرانه شرقی دریاچه ارومیه به دلیل تغییرات محیطی ایجاد شده و سایر تهدیدهای تغییرات محیطی که در ادامه مقاله بدان پرداخته می‌شود، به عنوان محدوده مطالعاتی انتخاب گردید. منطقه مورد مطالعه در استان آذربایجان شرقی یکی از محورهای مهم و حیاتی توسعه یافته در سطح استان می‌باشد. اما طی سال‌های اخیر فشارهای حاصل از توسعه فعالیت‌های صنعتی در امتداد محل استقرار شهرهای این ناحیه بویژه در محدوده کلان‌شهر تبریز به سوی شهرستان بناب تا مراغه اثرات مخربی را بر محیط زیست این منطقه داشته است. افزون بر این، وقوع بحران خشک شدن دریاچه ارومیه به طور مستقیم و غیر مستقیم محیط زیست و زندگی گونه‌های مختلف انسانی و حیات وحش این محدوده را تحت الشعاع قرار داده است. لذا، در این پژوهش در گام نخست اقدام به سنجش آسیب پذیری محیطی با کاربری تکنیک‌های تحلیل فضایی گردید و سپس با توجه به نتایج بدست آمده از فرایند ارزیابی آسیب پذیری محیطی و اولویت‌های حفاظت محیط زیست در نظام برنامه ریزی محلی، راهکارهای مناسب جهت برنامه ریزی در سطح منطقه‌ای ارائه شده است. بر همین اساس، هدف اصلی پژوهش حاضر؛ شناسایی پهنه‌های آسیب پذیری محیطی به منظور برنامه ریزی حفاظت محیط زیست و مدیریت تغییرات ایجاد شده در سطح منطقه کرانه شرقی دریاچه ارومیه می‌باشد. لذا، پرسش بنیادین پژوهش بر این اساس است که مهم‌ترین نیروهای ایجاد تغییرات محیطی و به تبع آن آسیب پذیری محیطی در منطقه مورد مطالعه کدامند؟ و میزان آسیب پذیری محیطی به چه شکلی می‌باشد؟

داده‌ها و روش کار

محدوده مورد مطالعه در این پژوهش شامل ۸ شهرستان آذرشهر، اسکو، بناب، تبریز، شبستر، عجب شیر، ملکان و مراغه در بخش شرقی دریاچه ارومیه می‌باشد (شکل شماره ۱). طبق منطقه‌بندی مطالعات پایه آمایش سرزمین استان آذربایجان شرقی، منطقه کرانه شرقی دریاچه ارومیه به عنوان یکی از مناطق همگن از نظر اقتصادی-اجتماعی و ویژگی‌های طبیعی مشخص گردیده است. همچنین این منطقه به عنوان محرک اصلی توسعه در بخش‌های مختلف اقتصادی، صنعتی و کشاورزی در سطح استان می‌باشد و به عنوان پل ارتباطی منطقه شمال غرب کشور با سایر استان‌های همجوار و حتی در سطح بین‌المللی دارای نقش مهمی می‌باشد.

مدل تحلیلی پژوهش و فرآیند انجام کار در پژوهش حاضر در قالب شکل شماره ۲ مشاهده می‌گردد. با توجه به کاربرد تصاویر ماهواره در این مطالعه و با عنایت بر ماهیت روش شناسی کاربرد داده‌های سنجش از دور جهت تحلیل تصاویر ماهواره در استخراج شاخص‌ها ابتدا تصحیحات اتمفسریک صورت گرفته است. سپس با استفاده از نرم افزار ENVI شاخص‌های مورد استفاده استخراج گردیده است (جدول شماره ۱ روابط شاخص‌های بخش سنجش از دور را بیان می‌دارد). علاوه بر این همانطور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود یکی از مهم‌ترین معیارهای مربوط به تعیین آسیب پذیری در بخش آب و هوایی، دمای سطح زمین (LST) می‌باشد. بر همین اساس فرایند استخراج این شاخص در زیر عنوان شده است:

دمای سطح زمین (LST): برای محاسبه دمای سطح زمین از باند حرارتی سنجنده TIRS از لندست ۸ (باندهای ۱۰ و ۱۱) استفاده شده است. فرایند انجام و استخراج این شاخص متناسب با راهنمای ذکر شده در سایت USGS بوده است. به این ترتیب ابتدا ارزش‌های خام تصاویر به رادیانس تبدیل شده سپس دمای روشنایی برآورد گردیده است. تبدیل ارزش‌های خام به رادیانس مطابق با استفاده از رابطه ۱ بدست آمده است.

$$L_{\lambda} = M_L Q_{cal} + A_L \quad \text{رابطه ۱}$$

در رابطه بالا (۱)، L_{λ} برابر است با رادیانس طیفی در بالای اتمسفر ($watts/m^2 \times sr \times \mu m$)، M_L ضریب تبدیل ضربی، Q_{cal} ارزش پیکسل در باند ۱۰ و ۱۱ و A_L ضریب تبدیل تجمیع کننده است. ضرایب M_L و A_L مطابق با جدول شماره ۱ می‌باشد.

جدول ۱: فاکتور تغییر مقیاس برای باندهای ۱۰ و ۱۱ در سنجنده TIRS

ضریب کالیبراسیون	M_L ۱۰ باند	A_L ۱۰ باند	M_L ۱۱ باند	A_L ۱۱ باند
	۰/۰۰۰۳۲۴	۰/۱	۰/۰۰۰۳۴۲	۰/۱

در ادامه جهت تبدیل مقادیر رادیانس به دمای روشنایی ماهواره از رابطه ۲ استفاده شده است.

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_{\lambda}} + 1\right)} \quad \text{رابطه ۲}$$

در رابطه ۲، T دمای موثر درخشندگی در سنجنده بر حسب کلون، K_2 ضریب کالیبراسیون ۲ بر حسب کلون، K_1 ضریب کالیبراسیون ۱ بر حسب $[W/(m^2 sr \mu m)]$ و L_{λ} رادیانس طیفی در سنجنده است. ضرایب K_1 و K_2 بر اساس جدول ۲ و با استفاده از فایل متادیتای تصاویر است.

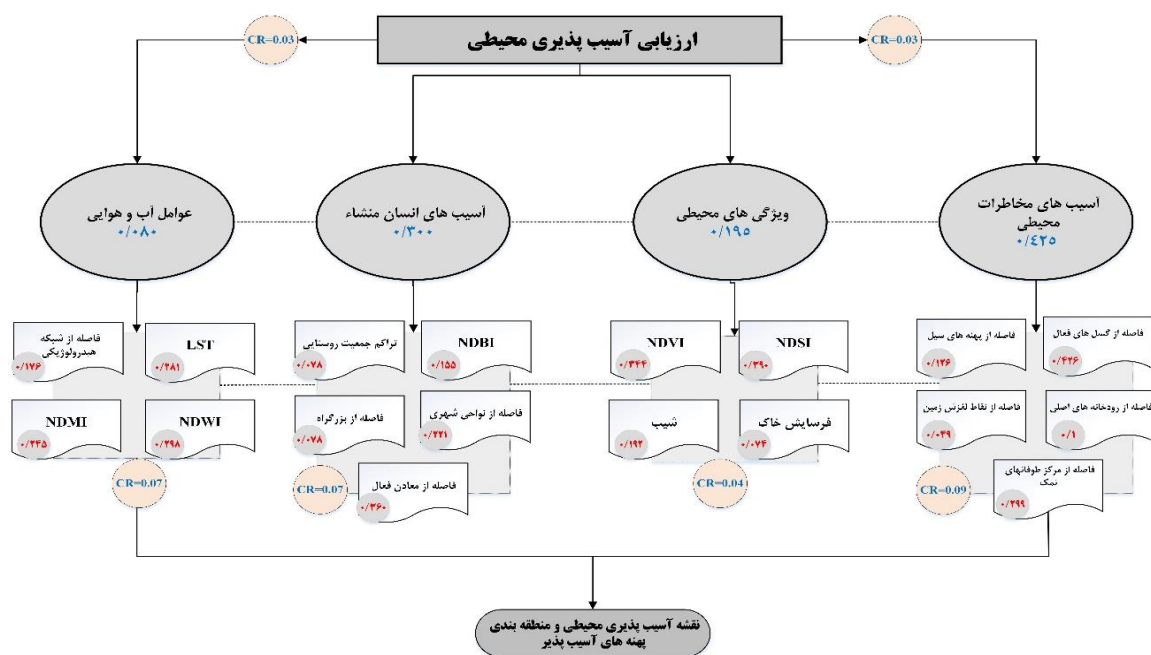
جدول ۲: ضرایب کارلیبراسیون باندهای حرارتی سنجنده TIRS

ضریب سنجنده	K_1 [W/(m ² sr μm)]	K کلون
باند ۱۰	۷۷۴/۸۸۵۳	۱۳۲۱/۰۷۸۹
باند ۱۱	۴۸۰/۸۸۸۳	۱۲۰/۱/۴۴۲

شیوه وزن دهی معیارها

همان طور که در بخش پیشین توضیح داده شد نحوه انتخاب شاخص‌های سنجش آسیب پذیری در گام نخست بر مبنای رهنمودهای ادبیات این حوزه و مطالعات تجربی صورت گرفته در طی سالیان اخیر مشخص گردیده است. علاوه بر این شایان ذکر است با عنایت بر هدف اصلی پژوهش که در صدد ارائه چارچوبی نوین و جامع به منظور ارزیابی وضعیت آسیب پذیری در محدوده مطالعاتی است و همچنین با توجه به نقش نیروهای اثرگذار در آسیب پذیری محیطی بویژه در منطقه کرانه شرقی دریاچه ارومیه سعی گردید تا از شاخص‌ها و معیارهایی استفاده شود که بیانگر تاثیرات نیروهای عمده در وضعیت آسیب پذیری منطقه باشند.

جهت وزن دهی به معیارها از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استفاده گردیده است. از این رو، نقش هر یک از عوامل و معیارهای تاثیرگذار در فرایند آسیب پذیری محیطی منطقه کرانه شرقی با توجه به روند وزن دهی معیارها و مقایسه دو به دو در نرم افزار Expert Choice انجام گردید. روش تحلیل سلسله مراتبی یکی از روش‌هایی است که در فرآیند ارزیابی‌های آسیب پذیری بیشترین کاربرد را داشته است (Song et al. ۲۰۱۰; Hou et al. ۲۰۱۶). شکل شماره ۲ شاخص‌های ارزیابی و به تبع آن معیارهای هر بخش را در قالب ساختار تحلیل سلسله مراتبی همراه با اهمیت نسبی بدست آمده از روش AHP را نشان می‌دهد.



شکل ۲: ساختار سلسله مراتبی پژوهش و اهمیت نسبی شاخص‌ها و معیارها

شاخص ارزیابی آسیب پذیری محیطی

مرور رهیافت‌های نظری، رویکردهای تجربی و تعاریف ارائه شده برای آسیب پذیری نشان دهنده نقش عوامل و ترکیبات ساختار داخلی یک سیستم، شرایط بیرونی و اثرات مداخله فعالیت انسان بر شرایط آسیب پذیری است (Zhewen, et al, ۲۰۰۹). جهت ارائه چارچوب و رویکردی جامع در ارزیابی آسیب پذیری محیطی نیاز به کاربست طیف وسیعی از داده و اطلاعات در قالب معیارهای سنجش می‌باشد. بر همین مبنای در این مطالعه ۱۸ معیار در چهار گروه که هر کدام نشان دهنده نقش و تأثیر نیروهای مختلف در وضعیت آسیب پذیری منطقه است، انتخاب گردید. پس از جمع آوری اطلاعات

از منابع مختلف و تشکیل بانک اطلاعاتی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی ابتدا وضعیت آسیب پذیری در سطح چهار گروه ذکر شده محاسبه گردید و در نهایت با روی هم گذاری لایه‌های آسیب پذیری از طریق رابطه ۳ شاخص کلی آسیب پذیری محیطی بدست آمد.

$$EVI = \sum_{i=1}^n W_i X_i \quad \text{رابطه ۳: شاخص آسیب پذیری محیطی}$$

که در آن EVI نشان دهنده وضعیت آسیب پذیری محیطی است که در بازه بین ۰ تا ۱ خواهد بود. بدین ترتیب که هر چه به عدد صفر نزدیک تر باشد میزان آسیب پذیری کم و هر چه به ۱ نزدیکتر باشد میزان آسیب پذیری محیطی افزایش می‌یابد. X_i ارزش نرمال شده معیار i در واحدهای ارزیابی شده می‌باشد و W_i وزن معیارهای بدست آمده از روش تحلیل سلسله مراتبی است و n تعداد معیارها در این شاخص را نشان می‌دهد.

برای امکان مقایسه شاخص‌ها با یکدیگر، لازم است مقیاس‌ها از طریق روش‌های استاندارد سازی یا بهنجارسازی، قابلیت مقایسه با یکدیگر را پیدا کنند. پور طاهری (۱۳۹۲)، سه نوع روش بهنجارسازی برای معیارها در روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه معرفی می‌نماید که شامل بهنجارسازی با استفاده از نورم، بهنجارسازی خطی و بهنجارسازی فازی. در این مطالعه با توجه به ماهیت بحث آسیب پذیری و شاخص‌های مورد استفاده که هم می‌تواند تأثیر مثبت و هم تأثیر منفی در مسأله مورد بررسی داشته باشد، بنابراین مناسب‌ترین روش جهت استاندارد سازی معیارها روش بهنجارسازی فازی است که از طریق روابط زیر محاسبه می‌گردد.

$$n_{ij} = \frac{a_j^{max} - a_{ij}}{a_j^{max} - a_j^{min}} \quad n_{ij} = \frac{a_{ij} - a_i^{min}}{a_j^{max} - a_i^{min}}$$

رابطه ۵: استاندارد سازی شاخص‌ها با اثرگذاری منفی در آسیب پذیری

رابطه ۴: استاندارد سازی شاخص‌ها با اثرگذاری مثبت در آسیب پذیری

همان‌طور که عنوان گردید، جهت وزن دهی به معیارها از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استفاده گردیده است. از این رو، نقش هر یک از عوامل و معیارهای تأثیرگذار در فرآیند آسیب پذیری محیطی منطقه کرانه شرقی دریاچه با توجه به روند وزن دهی معیارها و مقایسه دو به دویی در نرم افزار Expert Choice انجام گردید. روش تحلیل سلسله مراتبی یکی از روش‌هایی است که در فرآیند ارزیابی‌های آسیب پذیری بیشترین کاربرد را داشته است (Hou, et al, ۲۰۱۰; Song, et al, ۲۰۱۶).

جدول ۳: شاخص‌های سنجش از دور و نحوه محاسبه آن‌ها

فرمول محاسبه	نام شاخص
$NDVI = (NIR - RED)/(NIR + RED)$	شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی
$NDBI = (SWIR - NIR)/(SWIR - NIR)$	شاخص نرمال شده محیط ساخته شده
$NDSI = (RED - NIR)/(RED + NIR)$	شاخص نرمال شده تفاوت شوری زمین
$NDMI = (NIR - SWIR)/(NIR + SWIR)$	شاخص نرمال شده تفاوت رطوبت زمین
$NDWI = (NIR - G)/(NIR + G)$	شاخص نرمال شده تفاوت آب

RED : باند قرمز، NIR : باند مادون قرمز نزدیک، $SWIR$: مادون قرمز کوتاه و G : باند سبز

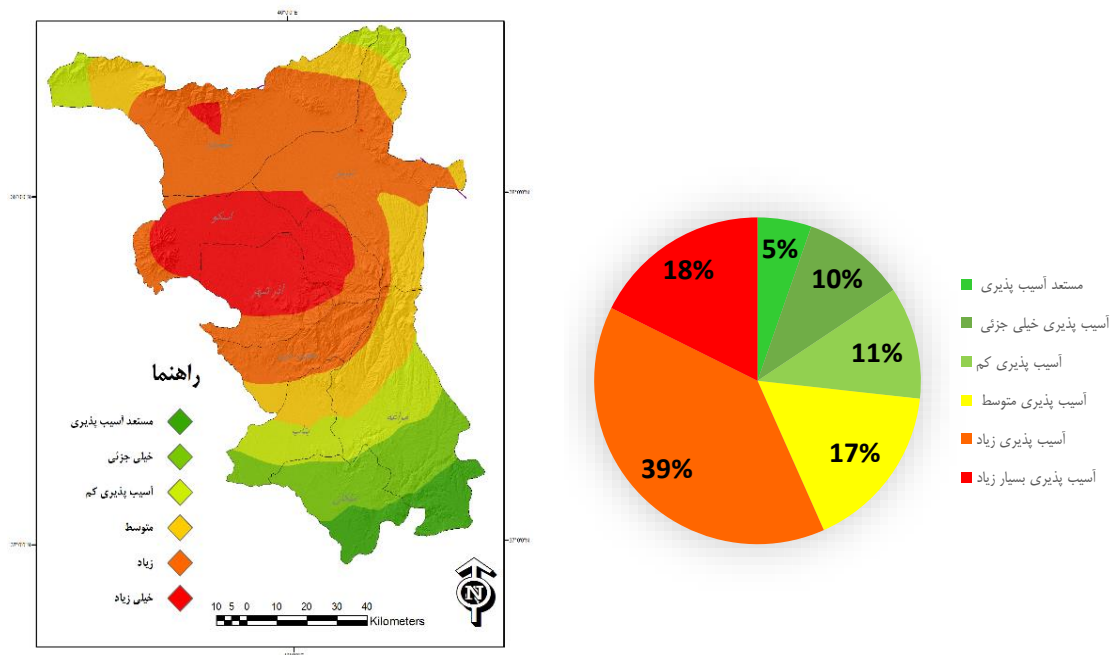
(Allbed and Kumar 2013; Jin and Sader 2005; Li et al. 2004; Purevdorj et al. 1998; Zha, Gao, and Ni 2003)

شرح و تفسیر نتایج

با توجه به فرآیند ترسیم شده در بخش روش‌شناسی و چارچوب ارائه شده جهت ارزیابی آسیب پذیری محیطی که شامل ۴ بخش یا لایه جداگانه در وضعیت آسیب پذیری و همچنین نشان‌دهنده اثر عوامل و فاکتورهای تأثیرگذار در آسیب پذیری محیطی است. این چهار شاخص شامل گروه آسیب پذیری ناشی از نیروهای آب و هوایی، آسیب های انسان منشاء، آسیب پذیری ناشی از ویژگی‌های محیطی منطقه و آسیب‌پذیری ناشی از مخاطرات محیطی است. بنابراین، در مرحله اول با عنایت بر روش محاسبه‌ی مشخص شده در بخش روش شناسی، وضعیت آسیب پذیری ناشی از هر گروه برآورد گردیده و در نهایت جهت تحلیل بهتر نتایج، خروجی هر بخش در ۶ کلاس (مستعد آسیب‌پذیری، آسیب پذیری خیلی جزئی، آسیب پذیری کم، آسیب پذیری متوسط، آسیب پذیری زیاد، آسیب‌پذیری خیلی زیاد) در محیط نرم افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی با استفاده از روش طبقه بندی شکست طبیعی طبقه گردید. نتایج هر گروه به طور جداگانه در ادامه مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است.

• آسیب پذیری ناشی از مخاطرات طبیعی

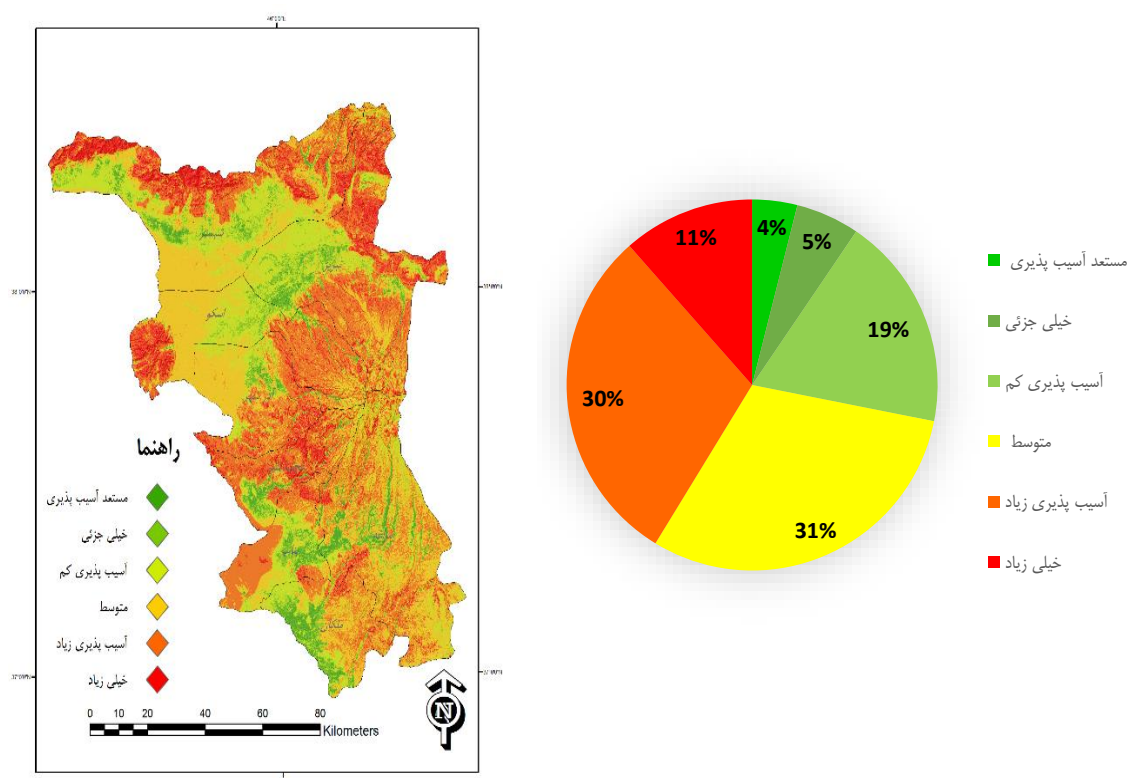
نتایج این بخش در قالب شکل شماره ۳ همراه با نمودار توزیع طبقات آسیب پذیری نمایان است. مطابق با نتایج بدست آمده در این بخش مشاهده می‌شود که آسیب پذیری در طبقات زیاد و خیلی زیاد در کل ۵۷ درصد از مساحت منطقه مورد مطالعه را به خود اختصاص داده است. در واقع توزیع این الگوی فضایی را می‌توان در نقش معیارهای تأثیرگذار این شاخص مانند فاصله از کانون طوفان‌های نمک در دریاچه ارومیه و همچنین فاصله از گسل‌های فعال در منطقه که دارای مقادیر بیشتری در اهمیت نسبی با سایر معیارها بودند، عنوان کرد.



شکل ۳: شاخص آسیب‌پذیری مخاطرات محیطی در منطقه کرانه شرقی دریاچه ارومیه و توزیع نسبت مساحت طبقات آسیب‌پذیری

• آسیب‌پذیری ناشی از ویژگی‌های محیطی

توزیع فضایی وضعیت آسیب پذیری ناشی از شرایط یا به عبارتی ویژگی‌های محیطی منطقه در شکل شماره ۴ مشاهده می‌گردد. نتایج بدست آمده از این بخش توزیع بیش از ۶۰ درصد طبقات در وضعیت آسیب پذیری متوسط و آسیب پذیری زیاد می‌باشد. در صورتی که وضعیت آسیب پذیری خیلی زیاد ۱۱ درصد از مساحت کل منطقه را تحت پوشش قرار داده است. با این حال مشاهده می‌شود که نزدیک به ۴۰ درصد از مساحت کل منطقه کرانه شرقی دریاچه ارومیه در آسیب پذیری محیطی ناشی از ویژگی‌های خاص منطقه می‌باشد. همانطور که در بخش روش شناسی نشان داده شد، ۴ معیار پوشش گیاهی، شاخص شوری زمین با توجه به خشک شدن دریاچه ارومیه، شیب و فرسایش از فاکتورهای تاثیرگذار در تعیین پهنه‌های آسیب پذیر بودند.

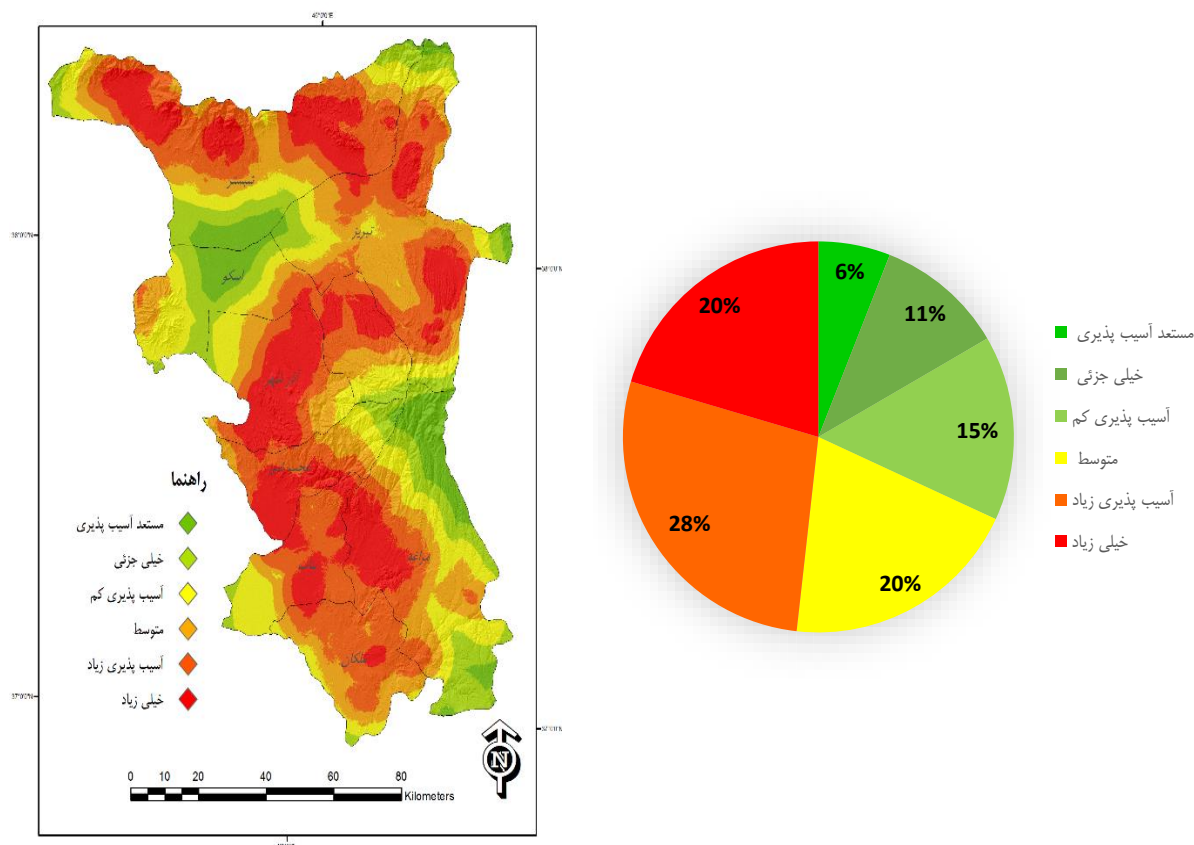


شکل ۴: شاخص آسیب‌پذیری ناشی از ویژگی‌های محیطی منطقه و توزیع فراوانی طبقات آسیب‌پذیری

• آسیب‌پذیری انسان منشاء

معیارهای انتخابی بخش آسیب‌پذیری ناشی از فعالیت انسان نشان‌دهنده میزان فشار حاصل از توسعه مراکز سکونتگاهی و همچنین بارگذاری فعالیت‌های مختلف صنعتی، اقتصادی و اجتماعی در محدود مورد مطالعه می‌باشد. لذا، برای تحلیل این امر با تلفیق داده‌های سنجش از دور به منظور تعیین تراکم محیط ساخته شده و تراکم جمعیت در نواحی شهری و روستایی و همچنین فشار حاصل از توسعه فعالیت‌های معدنی به عنوان یکی از مراکز تولید و استخراج انواع سنگ‌ها و به تبع آن اثرات محیط زیست آن فاصله از معدن‌های فعال عاملی تأثیرگذار در نظر گرفته شد. از این‌رو، تحلیل نتایج بدست آمده از آسیب‌پذیری انسان منشاء بر محیط زیست نشان‌دهنده توزیع فضایی آسیب‌پذیری در پیرامون سکونتگاه‌های انسانی و فعالیت‌های توسعه صنعتی است. بنابراین، آسیب‌پذیری در طبقه خیلی زیاد ۲۰ درصد مساحت منطقه و طبقه آسیب‌پذیری زیاد ۲۸ درصد از مساحت کل منطقه را به خود اختصاص داده است. لذا، مشاهده می‌شود که فعالیت

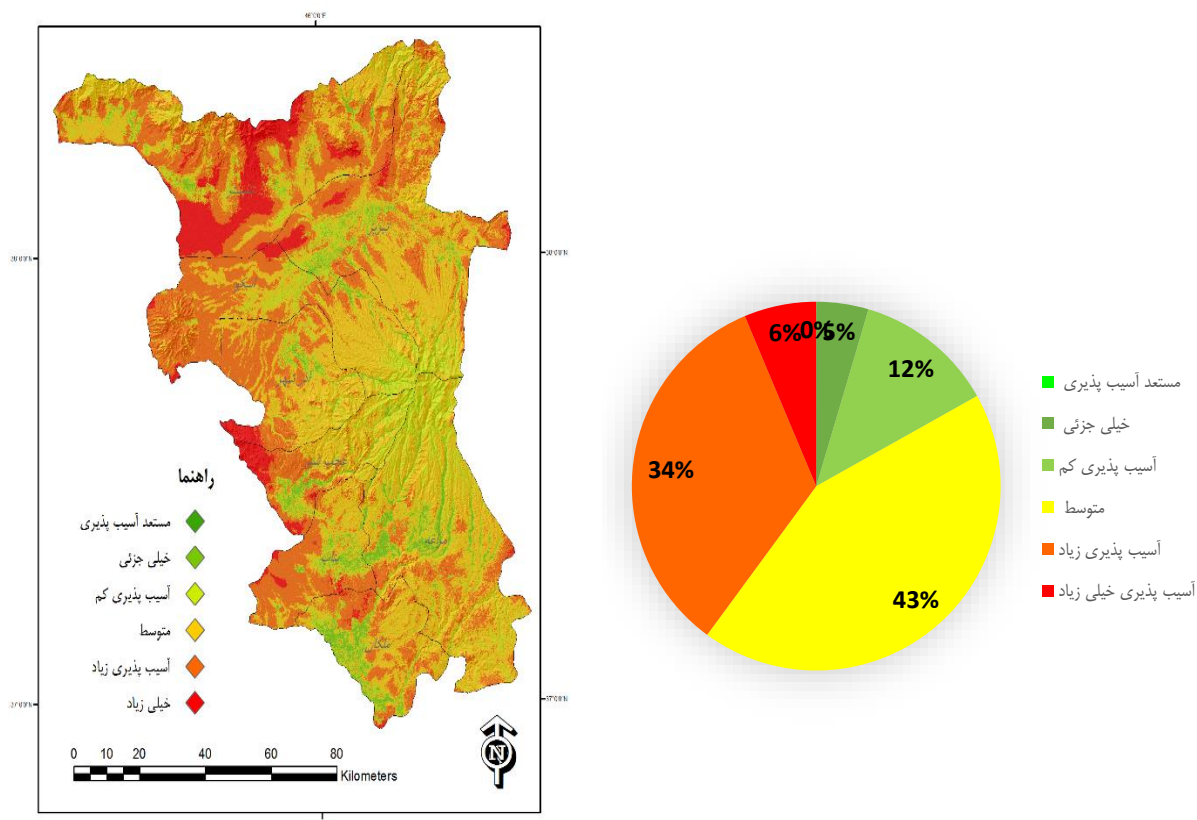
انسان در منطقه کرانه شرقی به عنوان یکی از مهم ترین نیروهای تأثیرگذار در آسیب پذیری محیطی این منطقه می باشد. از همین روی، با توجه به بروز مشکلات محیط زیستی سال های اخیر در وضعیت خشک شدن دریاچه ارومیه مدیریت توسعه فعالیت های انسانی با رویکرد پایداری محیط زیست و منابع طبیعی باید بیشتر مورد توجه قرار گیرد.



شکل ۵: شاخص آسیب پذیری انسان منشاء در منطقه کرانه شرقی دریاچه ارومیه

• آسیب پذیری محیطی ناشی از وضعیت آب و هوایی

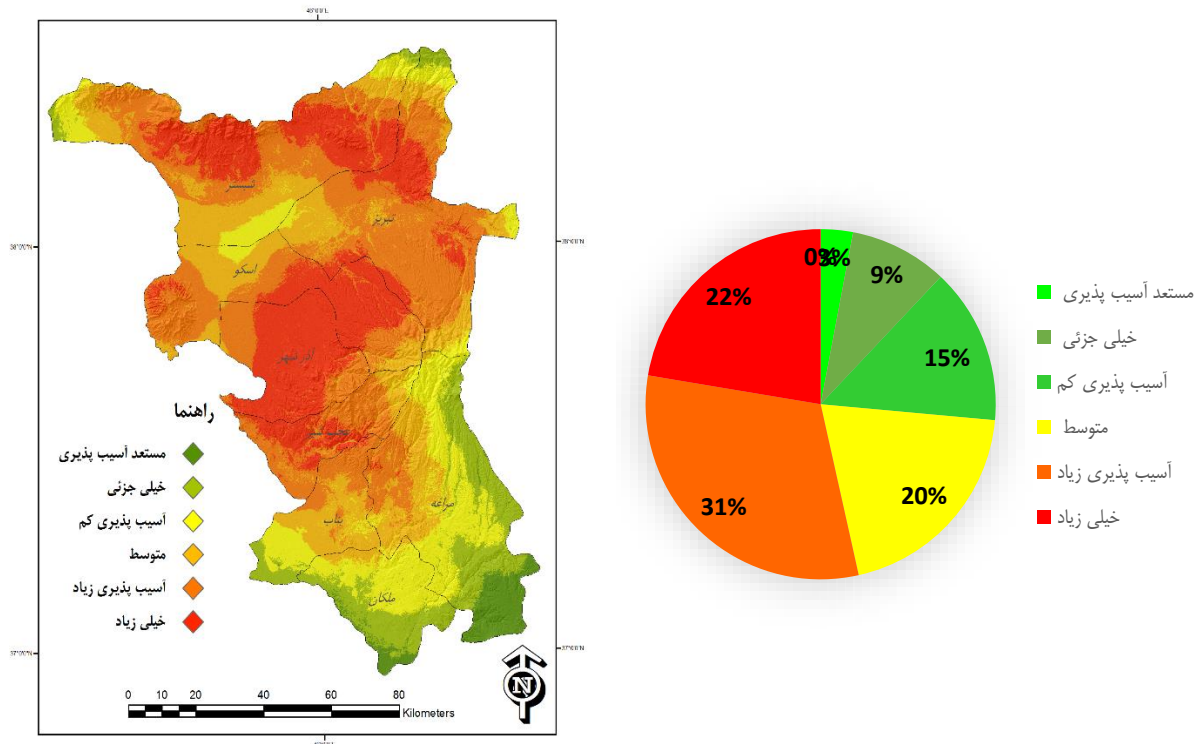
الگوی فضایی اثرات حاصل از وضعیت آب و هوایی منطقه در شکل شماره ۶ نمایان است. همان طور در شکل مشاهده می شود، بیشترین میزان توزیع در طبقه متوسط با ۴۳ درصد از مساحت منطقه مورد مطالعه می باشد. علاوه بر این الگوی فضایی توزیع طبقات با آسیب پذیری زیاد و خیلی زیاد در مناطق ساحلی دریاچه ارومیه و پهنه های پست محدوده نسبت به اراضی مرتفع می باشد. تحلیل شاخص مربوط به آسیب پذیری محیطی ناشی از فاکتورهای آب و هوایی با انتخاب ۴ معیار با توجه به در دسترس بودن داده های مربوط و امکان فضایی کردن آن با تلفیق تکنیک های سنجش از دور حرارتی و شاخص های تعیین میزان آب و رطوبت صورت گرفته است. توزیع فراوانی مساحت منطقه تحت پوشش در طبقه آسیب پذیری خیلی زیاد ۶ درصد از مجموع کل را در بر گرفته است اما طبقه آسیب پذیری زیاد ۳۴ درصد از مساحت کل محدوده مطالعه را به خود اختصاص داده است. از این رو، چنین الگویی به ویژه در پهنه های مجاور دریاچه ارومیه حاکی از نقش و اهمیت فاکتورهای مربوط به تغییرات اقلیمی در تعیین پهنه های آسیب پذیری محیطی است.



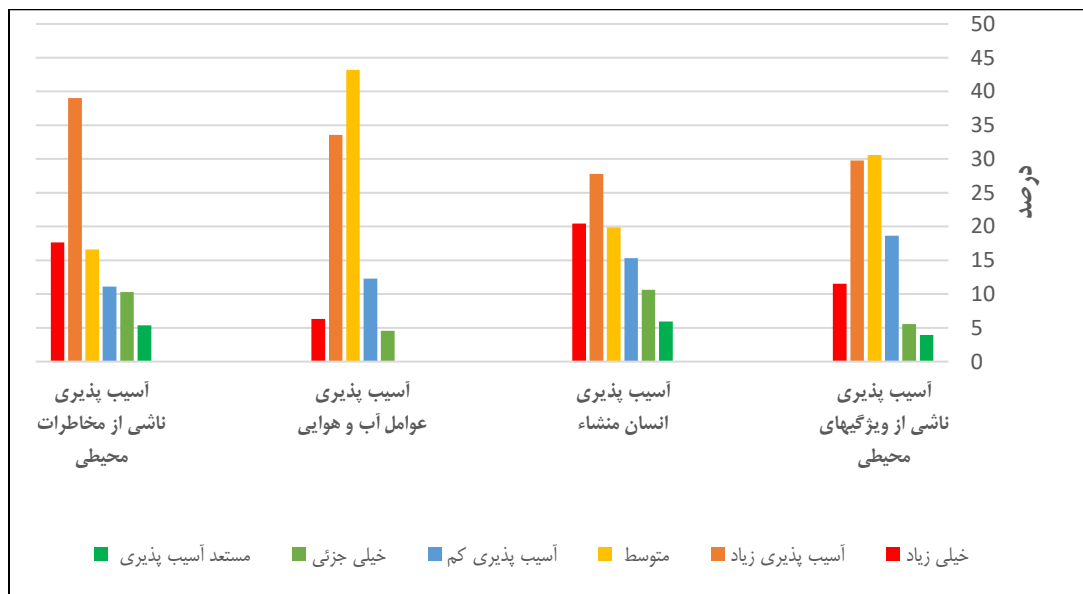
شکل ۶: شاخص آسیب پذیری ناشی از عوامل آب و هوایی و توزیع طبقات آسیب پذیری

• شاخص کلی آسیب پذیری محیطی در منطقه کرانه شرقی در باجه ارومیه

همانطور که پیشتر توضیح داده شد، جهت تحلیل و برآورد شاخص کلی آسیب پذیری محیطی، پس از تحلیل و ارزیابی معیارها در ۴ بخش پیشین طبق رابطه ۳ شاخص کلی آسیب پذیری محاسبه گردید. شکل شماره ۷ نتایج نهایی از فرآیند روش شناسی را نمایش می‌دهد. در این مرحله نیز جهت تبیین توزیع فضایی و الگوی حاکم در آسیب پذیری منطقه کرانه شرقی نتایج بدست آمده همانند شاخص‌های قبلی در ۶ کلاس، طبقه بندی شد. با توجه به شاخص کلی آسیب پذیری محیطی بیش از نیمی (۵۳٪) از مساحت محدوده مورد مطالعه در وضعیت آسیب پذیری زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته است. الگوی توزیع فضایی طبقه آسیب پذیری خیلی زیاد را می‌توان در پهنه‌های شمالی منطقه و مناطق مرکزی منطقه در محدوده مرزهای شهرستان آذرشهر و اسکو یافت. جایی که در این مناطق بویژه مناطق مرکز محدوده آسیب پذیری ناشی از مخاطرات محیطی و انسان منشاء نیز در بیشترین مقدار خود بوده‌اند. همانطور که از شکل ۷ نمایان است، پهنه‌های جنوبی استان در شهرستان‌های ملکان و مراغه در کمترین میزان آسیب‌پذیری محیطی قرار گرفته‌اند. لذا، این پهنه‌ها و مناطق با دارا بودن منابع و ارزش‌های طبیعی بویژه در حوزه کشاورزی، باید به عنوان مناطقی که نیازمند اولویت حفاظت از وضع موجود محیط زیست هستند مورد توجه بیشتری قرار گیرند. با تحلیل نتایج آسیب پذیری و همچنین شرایط جغرافیایی منطقه مشاهده می‌شود که در ارتفاعات پهنه‌های شمالی در شهرستان شبستر میزان آسیب پذیری محیطی نیز افزایش یافته است. شکل ۸ توزیع آسیب پذیری در طبقات مختلف در ۴ بخش اصلی را به صورت یکجا نشان می‌دهد.



شکل ۷: شاخص کلی آسیب‌پذیری محیطی در منطقه کرانه شرقی دریاچه ارومیه



شکل ۸: منطقه بندی وضعیت آسیب‌پذیری در منطقه کرانه شرقی دریاچه ارومیه برای مقابله با تغییرات

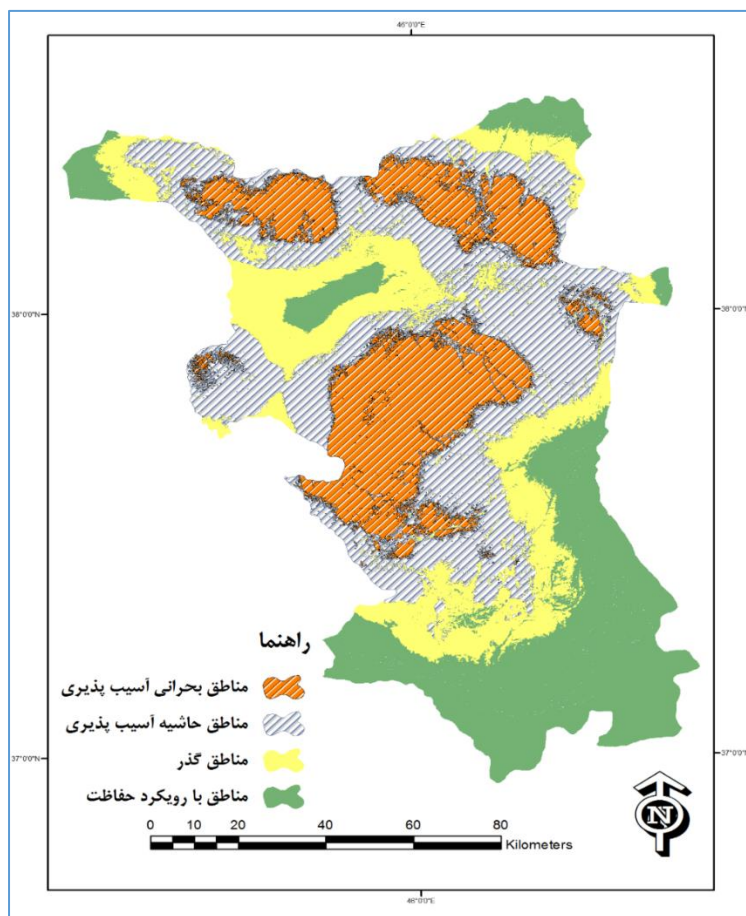
برای تحلیل بهتر نتایج و ارائه رویکردی کاربردی از نتایج بدست آمده خروجی نهایی مدل ارزیابی آسیب‌پذیری در قالب نقشه منطقه بندی وضعیت آسیب‌پذیری در چهار منطقه بحرانی آسیب‌پذیری محیطی، مناطق حاشیه آسیب‌پذیری بحرانی، مناطق در معرض گذر به وضعیت آسیب‌پذیر و در نهایت مناطق با رویکرد حفاظتی تقسیم بندی شد (شکل ۹).

مناطق با وضعیت آسیب پذیری بحرانی: این پهنه‌ها که در طبقه بندی آسیب پذیری در گروه آسیب پذیری خیلی زیاد قرار داشته‌اند، شامل پهنه‌های وسیعی از شهرستان آذرشهر، دامنه‌های سهند در شهرستان اسکو و پایه‌های جنوبی رشته کوه‌های میشو در شهرستان شبستر و قسمتی از شهرستان تبریز را احاطه کرده است. مهم ترین محرک‌های تأثیرگذار در تعیین این مناطق به عنوان منطقه بحرانی آسیب پذیری را می‌توان در ویژگی‌های محیطی، فشار حاصل از توسعه فعالیت انسان و تغییرات محیط زیست دریاچه ارومیه در سال‌های اخیر ذکر کرد.

مناطق حاشیه آسیب پذیری محیطی: مطابق با فرآیند ارزیابی آسیب پذیری محیطی مناطق حاشیه آسیب پذیری همانطور که از نام این مناطق مشخص است، پهنه‌هایی هستند که مناطق بحرانی آسیب پذیری را احاطه نموده‌اند. از این رو، با توجه به درجه آسیب پذیری این مناطق که در طبقه بندی وضعیت آسیب پذیری در طبقه آسیب پذیری زیاد جای گرفته‌اند. در جهت برنامه ریزی حفاظت محیط زیست و همچنین ایجاد اقدامات لازم به منظور مقابله با تغییرات محیطی و بهبود ظرفیت تاب آوری سیستم‌های انسانی در برابر مخاطرات طبیعی از اولویت‌های نظام برنامه ریزی محلی است. مساحت این مناطق ۳۱ درصد از مساحت کل منطقه کرانه شرقی (۳۷۶۴ کیلومتر مربع) در برمی‌گیرد.

مناطق گذر به وضعیت آسیب پذیر: این پهنه‌ها که به صورت نواری منطقه حایل میان آسیب پذیری زیاد و مناطق با آسیب پذیری پایین می‌باشد. از ارتفاعات کوه سهند در شهرستان اسکو به نواحی پست حاشیه دریاچه ارومیه کشیده شده است. هر چند در بخش‌های شمالی و جنوبی شهرستان شبستر پهنه‌های از این مناطق گذر به آسیب پذیری را می‌توان یافت. در کل مساحت این مناطق ۲۳۸۳ کیلومتر مربع یعنی ۲۰ درصد از مساحت کل محدوده را به خود اختصاص داده است.

مناطق با رویکرد حفاظتی: الگوی توزیع فضایی این مناطق به شکلی است که بیشتر در قسمت‌های جنوبی منطقه در شهرستان‌های ملکان و مراغه به عنوان دو قطب اصلی کشاورزی در منطقه می‌توان مشاهده نمود. علاوه بر این نواحی غربی شهرستان شبستر که مشرف به مرز آذربایجان غربی است شامل مناطقی از نوع حفاظتی در وضعیت آسیب پذیری محیطی است. در مجموع این مناطق ۲۶ درصد از مساحت کل منطقه یعنی ۳۱۴۷ کیلومتر مربع از مساحت کل محدوده به این مناطق اختصاص یافته است.



شکل شماره ۸: نقشه منطقه بندی وضعیت آسیب پذیری محیطی در منطقه کرانه شرقی دریاچه ارومیه با رویکرد برنامه‌ریزی حفاظت محیطی

نتیجه گیری

تحلیل آسیب پذیری محیطی همان طور که در بخش روش‌شناسی ارائه گردید در ۴ بخش که شامل مجموعه‌ای از معیارهای سنجش و به تبع آن تبیین نیروهای مختلف اثرگذار بر فرآیند سنجش آسیب پذیری محیطی بود، صورت گرفت. بنابراین، در گام نخست چهار شاخص، آسیب پذیری ناشی از مخاطرات محیطی (۵معیار)، آسیب‌های ناشی از شرایط و ویژگی‌های محیطی (۴معیار)، آسیب پذیری انسان منشاء (۵معیار) و آسیب‌های ناشی از عوامل آب و هوایی (۴ معیار) در مجموع با کاربست ۱۸ معیار مورد تحلیل قرار گرفت و متناسب با فرآیند روش‌شناسی پژوهش ۴ شاخص آسیب‌پذیری در سطح منطقه کرانه شرقی دریاچه ارومیه ارائه گردید. در تحلیل آسیب‌های ناشی از مخاطرات محیطی پهنه‌هایی از شهرستان‌های آذرشهر و اسکو در طبقه آسیب‌پذیری خیلی زیاد قرار گرفتند. ۴۰ درصد از مساحت کل منطقه در تحلیل آسیب پذیری ناشی از شرایط منطقه منعکس کننده وضعیت نامناسب می‌باشد که از مهمترین نیروهای تأثیرگذار این شاخص می‌توان به افزایش شوری ناشی از خشک دریاچه ارومیه و پراکنش وضعیت پوشش گیاهی در منطقه به عنوان فاکتوری تأثیرگذار مطرح کرد. علاوه بر این تحلیل گروه آسیب پذیری ناشی از عوامل آب و هوایی نشان‌دهنده نقش برجسته تغییرات اقلیمی و تغییرات اکوسیستمی دریاچه ارومیه و به تبع آن تأثیرات آن بر افزایش آسیب پذیری محیطی است. در نهایت آسیب‌های انسان-منشاء حاکی از رابطه معنادار بین توزیع آسیب پذیری با الگوی پراکنش فعالیت‌های انسانی در پهنه منطقه کرانه شرقی دریاچه ارومیه است.

در گام نهایی برآیند حاصل از تحلیل فرآیند آسیب پذیری محیطی در این پژوهش در قالب نقشه منطقه بندی وضعیت آسیب پذیری محیطی ارائه گردید. بنابراین جهت مقابله با تغییرات و همچنین تدوین سیاست‌ها و راهبردهای حفاظت از محیط زیست با رویکرد برنامه‌ریزی محیطی چهار منطقه از وضعیت آسیب پذیری شناسایی گردید که متناسب با ضرورت و اولویت برنامه‌ریزی برای مقابله مناطق به ترتیب بحرانی آسیب پذیری، مناطق حاشیه بحرانی، مناطق گذر و در نهایت مناطق با رویکرد حفاظت عنوان شدند. بر همین اساس با توجه به رویکرد منطقه بندی در این مطالعه پیشنهاد اصلی پژوهش در حوزه برنامه‌ریزی محلی و تدوین سیاست‌های مقابله بر کاهش وضعیت آسیب پذیری در مناطق بحرانی و حاشیه بحرانی است. افزون بر این، راهکارهای ارتقاء تاب آوری جوامع محلی در برابر تغییرات محیطی همانند بحران خشک شدن دریاچه ارومیه باید در اصلی ترین اولویت نظام برنامه‌ریزی قرار گیرد.

منابع

- شریف‌زادگان، محمدحسین و فتحی، حمید ۱۳۸۴. ارزیابی آسیب پذیری زیست محیطی برای برنامه ریزی منطقه‌ای در حوزه‌های زیست محیطی البرز به روش سلسله مراتبی، علوم محیطی، ۱۰: ۱-۲۰.
- شمسی‌پور، علی‌اکبر و شیخی محمد ۱۳۸۹، پهنه‌بندی مناطق حساس و آسیب پذیری محیطی در ناحیه غرب فارس، با روش طبقه بندی فازی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۷۳: ۶۸-۵۳.
- پورطاهری، مهدی. ۱۳۹۲. کاربرد روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه در جغرافیا، چاپ سوم. انتشارات سمت، تهران.
- صادقی، حجت‌اله، یعقوب، سیف، صیدایی، اسکندر، صالحی کاخکی، مریم. ۱۳۹۴. بررسی و اولویت بندی آسیب پذیری سکونتگاه‌های روستایی استان خوزستان در برابر مخاطرات طبیعی. جغرافیا و پایداری محیط، ۱۷: ۸۷-۱۰۷.
- نعمت‌الهی، شکوفه؛ فاخران، سیما؛ سفیانیان، علیرضا، پورمنافی، سعید. ۱۳۹۵. ارزیابی آسیب پذیری زیست محیطی در مواجهه با آشفستگی انسانی و طبیعی (مطالعه موردی: منطقه حفاظت شده عباس‌آباد-اصفهان)، فصلنامه علمی-پژوهشی محیط زیست جانوری، ۳ (۸): ۱-۸.
- دهشور، طهورا؛ دانه کار، افشین، منوری، مسعود؛ ریاضی، برهان و خیرخواه زرکش، مسعود. ۱۳۹۳. تحلیلی بر روش‌های سنجش آسیب‌پذیری در محیط زیست ساحلی، انسان و محیط زیست، ۳۹: ۴۱-۶۲.
- Adger, W N. 2000. "Indicators of Social and Economic Vulnerability to Climate Change in Vietnam (CSERGE Working Paper GEC, 98-02)." *Online verfügbar unter http://www.cserge.ac.uk/sites/default/files/gec_1998_02.pdf*.
- Adger, W Neil. 2006. "Vulnerability." *Global Environmental Change* 16(3): 268-81.
- Adger, W Neil, P Mick Kelly, and Nguyen Huu Ninh. 2012. *Living with Environmental Change: Social Vulnerability, Adaptation and Resilience in Vietnam*. Routledge.
- Allbed, Amal, and Lalit Kumar. 2013. "Soil Salinity Mapping and Monitoring in Arid and Semi-Arid Regions Using Remote Sensing Technology: A Review." *Advance in Remote Sensing* 2(December): 373-85.
- Cutter, Susan L, Jerry T Mitchell, and Michael S Scott. 2000. "Revealing the Vulnerability of People and Places: A Case Study of Georgetown County, South Carolina." *Annals of the Association of American Geographers* 90(4): 713-37. <http://dx.doi.org/10.1111/0004-5608.00219>.
- Eakin, H, and A L Luers. 2006. "Assessing the Vulnerability of Social-Environmental Systems." *Annual Review of Environmental Resources* 31: 365-94.

- Fraser, Evan D G et al. 2011. "Assessing Vulnerability to Climate Change in Dryland Livelihood Systems: Conceptual Challenges and Interdisciplinary Solutions." *Ecology and Society* 16(3).
- Füssel, Hans-Martin, and Richard J T Klein. 2006. "Climate Change Vulnerability Assessments: An Evolution of Conceptual Thinking." *Climatic Change* 75(3): 301–29. <http://dx.doi.org/10.1007/s10584-006-0329-3>.
- Gallopín, Gilberto C. 2006. "Linkages between Vulnerability, Resilience, and Adaptive Capacity." *Global environmental change* 16(3): 293–303.
- Hou, Kang, Xuxiang Li, Jingjing Wang, and Jing Zhang. 2016. "Evaluating Ecological Vulnerability Using the GIS and Analytic Hierarchy Process (AHP) Method in Yan'an, China." *Polish Journal of Environmental Studies* 25(2).
- Jin, Suming, and Steven A Sader. 2005. "Comparison of Time Series Tasseled Cap Wetness and the Normalized Difference Moisture Index in Detecting Forest Disturbances." *Remote Sensing of Environment* 94(3): 364–72. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425704003414>.
- Kaly, Ursula, Craig Pratt, and Russel Howorth. 2002. "Towards Managing Environmental Vulnerability in Small Island Developing States (SIDS)." *SOPAC miscellaneous report* 461(16): 11.
- Kelly, P Mick, and W Neil Adger. 2000. "Theory and Practice in Assessing Vulnerability to Climate Change and Facilitating Adaptation." *Climatic change* 47(4): 325–52.
- Kværner, Jens, Grete Swensen, and Lars Erikstad. 2006. "Assessing Environmental Vulnerability in EIA—the Content and Context of the Vulnerability Concept in an Alternative Approach to Standard EIA Procedure." *Environmental Impact Assessment Review* 26(5): 511–27.
- De Lange, H J, S Sala, M Vighi, and J H Faber. 2010. "Ecological Vulnerability in Risk Assessment — A Review and Perspectives." *Science of The Total Environment* 408(18): 3871–79. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969709010985>.
- Li, Fuqin et al. 2004. "Deriving Land Surface Temperature from Landsat 5 and 7 during SMEX02/SMACEX." *Remote Sensing of Environment* 92(4): 521–34.
- Luers, Amy L. 2005. "The Surface of Vulnerability: An Analytical Framework for Examining Environmental Change." *Global Environmental Change* 15(3): 214–23.
- Nandy, S et al. 2015. "Environmental Vulnerability Assessment of Eco-Development Zone of Great Himalayan National Park, Himachal Pradesh, India." *Ecological Indicators* 57: 182–95. <file://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X15002022>.
- Nguyen, Anh Kim, Yuei-An Liou, Ming-Hsu Li, and Tuan Anh Tran. 2016. "Zoning Eco-Environmental Vulnerability for Environmental Management and Protection." *Ecological Indicators* 69: 100–117. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X16301303>.
- Purevdorj, T S, R Tateishi, T Ishiyama, and Y Honda. 1998. "Relationships between Percent Vegetation Cover and Vegetation Indices." *International Journal of Remote Sensing* 19(18): 3519–35. <http://dx.doi.org/10.1080/014311698213795>.
- Si-Yuan, Wang, Liu Jing-Shi, and Yang Cun-Jian. 2008. "Eco-Environmental Vulnerability Evaluation in the Yellow River Basin, China 11 Project Supported by the National Key Basic Research Support Foundation of China (973 Program)(No. 2005CB422003) and the National Natural Science Foundation of China (No. 4057103)." *Pedosphere* 18(2): 171–82.
- Skondras, Nikolaos A et al. 2011. "Application and Assessment of the Environmental Vulnerability Index in Greece." *Ecological Indicators* 11(6): 1699–1706.
- Song, Guoba et al. 2010. "The Ecological Vulnerability Evaluation in Southwestern Mountain Region of China Based on GIS and AHP Method." *Procedia Environmental Sciences* 2: 465–75.

- Tran, Phong, and Rajib Shaw. 2007. "Towards an Integrated Approach of Disaster and Environment Management: A Case Study of Thua Thien Hue Province, Central Viet Nam." *Environmental Hazards* 7(4): 271–82. <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1016/j.envhaz.2007.03.001>.
- Turner, Billie L et al. 2003. "A Framework for Vulnerability Analysis in Sustainability Science." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 100(14): 8074–79.
- Turner, Billie Lee et al. 2003. "Illustrating the Coupled Human–environment System for Vulnerability Analysis: Three Case Studies." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 100(14): 8080–85.
- Villa, Ferdinando, and HELENA McLEOD. 2002. "Environmental Vulnerability Indicators for Environmental Planning and Decision-Making: Guidelines and Applications." *Environmental management* 29(3): 335–48.
- Wang, X D et al. 2008. "Regional Assessment of Environmental Vulnerability in the Tibetan Plateau: Development and Application of a New Method." *Journal of Arid environments* 72(10): 1929–39.
- Weston, Joe. 2004. "EIA in a Risk Society." *Journal of environmental planning and management* 47(2): 313–25.
- Wilson, Kerrie, Adrian Newton, et al. 2005. "A Vulnerability Analysis of the Temperate Forests of South Central Chile." *Biological Conservation* 122(1): 9–21.
- Wilson, Kerrie, Robert L. Pressey, et al. 2005. "Measuring and Incorporating Vulnerability into Conservation Planning." *Environmental Management* 35(5): 527–43.
- Zha, Y, J Gao, and S Ni. 2003. "Use of Normalized Difference Built-up Index in Automatically Mapping Urban Areas from TM Imagery." *International Journal of Remote Sensing* 24(3): 583–94. <http://dx.doi.org/10.1080/01431160304987>.
- Zhewen, F, L Musheng, S Wenqing, and L Liansheng. 2009. "GIS-Based Assessment on Eco-Vulnerability of Jiangxi Province." *2009 International Conference on Environmental Science and Information Application Technology* 3: 426–31.