

## روند توسعه ارزیابی ریسک اکولوژیک منطقه‌ای

ساجده مدنی<sup>\*1</sup>

[sajedemadani@gmail.com](mailto:sajedemadani@gmail.com)

مکرم روانبخش<sup>2</sup>

مریم پناهنده<sup>3</sup>

### Development process on regional risk assessment

Sajede Madani<sup>1\*</sup>, Mokarram Ravanbakhsh<sup>2</sup>,  
Maryam Panahandeh<sup>3</sup>

1-Young Researchers and Elite Club, Lahijan Branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran

2-Member of Educational Board of Academic Center for Education, Culture & Research, Environmental Research Institute of Jihad Daneshgahi, Rasht, Iran

3- Research Expert of Academic Center for Education, Culture & Research, Environmental Research Institute of Jihad Daneshgahi, Rasht, Iran

#### Abstract

EcoRA, which is aimed at appraising a wide range of undesirable impacts on ecosystems exposed to a possible eco-environmental hazard, has been highly recommended for environmental decision-making. In this paper reviews the development history of ecological risk assessment (EcoRA) and presents a perspective for EcoRA and management. In addition, regional EcoRA needs to make further efforts, especially in theoretical study, uncertainty analysis, integrated use of GIS software and comprehensive risk assessment at regional scale in the future work.

**Keywords:** Regional risk assessment, ecological risk, risk management

#### چکیده

ارزیابی ریسک اکولوژیک، که به منظور ارزیابی طیف گسترده‌ای از اثرات نامطلوب اکوسیستم‌های در معرض خطر زیست محیطی به کار می‌رود، به شدت برای تصمیم‌گیری در حوزه محیط زیست توصیه می‌شود. در این مقاله تاریخچه توسعه ارزیابی ریسک اکولوژیک (EcoRA) بررسی می‌گردد و چشم‌اندازی برای مدیریت ریسک و ارزیابی ریسک اکولوژیک ارائه می‌شود. براساس این بررسی، مرحله فرموله کردن مشکل در یک چارچوب یکپارچه مشخص، ویژگی‌های خطر و ارزیابی ریسک، آینده روشنی برای ارزیابی ریسک اکولوژیک به تصویر کشیده شده است. ارزیابی ریسک اکولوژیک منطقه‌ای نوعی از ارزیابیست که به مطالعه نظری، تحلیل‌های عدم قطعیت، استفاده یکپارچه از نرم‌افزار GIS و ارزیابی ریسک جامع در مقیاس منطقه‌ای را در آینده نیاز دارد. **واژگان کلیدی:** ارزیابی ریسک اکولوژیک منطقه‌ای، خطر زیست محیطی، مدیریت ریسک

1- عضو باشگاه پژوهشگران جوان، دانشگاه آزاد واحد لاهیجان، گیلان  
2- عضو هیات علمی، پژوهشکده محیط زیست جهاددانشگاهی، رشت، گیلان  
3- کارشناس پژوهشی، پژوهشکده محیط زیست جهاددانشگاهی، رشت، گیلان

## 1- مقدمه

دهه‌های 1970 و 1980، به منظور پاسخگویی به ملزومات قوانین و مقررات، تعدادی از روش‌های ارزیابی ریسک ابداع شد که توسط آژانس حفاظت محیط زیست (EPA) و سازمان غذا و داروی آمریکا (FDA) به تصویب رسیدند. ارزیابی ریسک محیط زیست ایالات متحده در دو سطح مختلف گسترش می‌یابد. یکی در سطح تحقیقات علمی و دیگری در سطح فن‌آوری که ارتباط نزدیکی با مدیریت زیست محیطی دارد. و همچنین یک پایه نظری جامع و چارچوب فنی برای کاربرد ارزیابی ریسک زیست محیطی فراهم می‌کند [۲]. جدول 1 روند توسعه ارزیابی ریسک زیست محیطی را نشان می‌دهد.

ارزیابی ریسک، ابزاری است که برای سازماندهی، ساختار و تدوین اطلاعات علمی به منظور کمک به شناسایی موقعیت‌های خطرناک موجود، پیش‌بینی مشکلات بالقوه، ایجاد اولویت‌ها و تهیه اصولی برای کنترل نظارتی و یا اقدامات اصلاحی به کار می‌رود [۱].

## 1-1- ارزیابی ریسک زیست محیطی

ارزیابی ریسک زیست محیطی در سال 1970 اوج گرفت و به صورت نسبتاً ابتدایی و عمومی در ایالات متحده انجام شد، در

جدول 1: روند توسعه ارزیابی ریسک زیست محیطی [۲].

فاز توسعه	مدت	وضعیت توسعه
فاز اولیه	30 تا 60 سال از قرن بیستم	روش‌های شناسایی سمیت برای تجزیه و تحلیل اثرات بهداشتی، مبتنی بر تحقیق کیفی
فاز اوج	70 تا 80 سال از قرن بیستم	ارزیابی کمی، «چهار مرحله»، مقالات فنی آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا
فاز بهبود	90 سال از قرن بیستم	آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا، مفهوم ارزیابی ریسک اکولوژیک را پیشنهاد کرد و چارچوب نظری ارزیابی ریسک اکولوژیک را تعیین کرد
مرحله توسعه ارزیابی ریسک اکولوژیک منطقه‌ای	از اواخر سال 1990 تا اوایل سال 2000	ارزیابی ریسک اکولوژیک در مقیاس بزرگ، همراه با ریسک بهداشتی

## 1-2- ارزیابی ریسک اکولوژیک

ارزیابی ریسک اکولوژیک، فرایندی است که احتمال وقوع اثرات منفی اکولوژیک در حال و آینده را در اثر رویارویی با یک یا چند منبع تنش را بررسی می‌کند. این ارزیابی به شناسایی ریسک‌ها و برآورد احتمال و اثرات زیان‌های ناشی از فعالیت‌های انسانی یا طبیعی وارد شده بر اکوسیستم و تنوع زیستی می‌پردازد. اوایل دهه 1990، دانشمندان ایالات متحده اظهار کردند که پذیرنده نهایی ریسک فقط انسان نیست، بلکه شامل تمام سطوح اکوسیستم می‌شود. در سال 1990 آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا چارچوبی را برای ارزیابی ریسک اکولوژیک توسعه داد که آن را با توجه به تاکید بر مراحل برنامه‌ریزی در مدیریت ریسک، از ارزیابی ریسک بهداشتی متمایز می‌کند. همزمان با ایالات متحده آمریکا کشورهای متعددی در این زمینه تحقیق کردند و چارچوب‌های مشابه‌ای را به منظور ارزیابی ریسک توسعه دادند که از آن جمله می‌توان به استرالیا، نیوزلند، کانادا و هلند اشاره کرد [2].

ساتر در وهله اول تلاش کرد، چارچوب ارزیابی بهداشتی انسان در چارچوب ارزیابی ریسک اکولوژیک مورد تجدید نظر قرار بگیرد که نشان داد ریسک اکولوژیک بر شناسایی ریسک منابع، توصیف اکولوژیک و انتخاب نقطه پایانی تاکید می‌کند. در سال 1998، آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا به طور رسمی "دستورالعمل ارزیابی ریسک اکولوژیک" را منتشر کرد که در آن "روش سه مرحله" ارزیابی ریسک اکولوژیک ارائه شده است

که این سه مرحله شامل فرموله کردن مشکل، تجزیه و تحلیل ریسک و شناسایی ریسک، توسط اکثر محققان، پذیرفته شده است. در کانادا، بریتانیا، استرالیا و کشورهای دیگر نیز کار تحقیقاتی در زمینه ارزیابی ریسک اکولوژیک در اواسط دهه 1990 انجام شده است. عوامل تنش‌زای ریسک از تنها یک ماده شیمیایی به انواع مواد شیمیایی و وقایع خطرناک زیست محیطی گسترش یافته است و مخاطبان ریسک بیشتر شده و به جمعیت، جوامع، اکوسیستم و چشم‌انداز حوزه آبخیز مصنوعی رسیده است. در عین حال، چارچوب نسبتاً کاملی از ارزیابی ریسک اکولوژیک بصورت مقدماتی شکل گرفت. در سال 1992، آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا، پیشنهاد کرد که عوامل غیرشیمیایی می‌تواند به عوامل تنش‌زا اضافه شود، بنابراین عوامل تنش‌زا از مواد شیمیایی به عوامل طبیعی (مانند تخریب زیستگاه و فرسایش خاک) تبدیل شدند [2].

## 1-1- ارزیابی ریسک اکولوژیک منطقه‌ای

امروزه مردم توجه بیشتری به ایجاد مکانیسم‌ها و روش‌های پیشگیری از آلودگی‌های انواع عوامل تنش‌زا در کنترل زیست محیطی منطقه‌ای دارند چرا که ارزیابی ریسک منطقه‌ای باید تحت انواع عوامل استرس‌زا، که امروزه یکی از مهمترین موضوعات در تکنیک‌های ارزیابی ریسک منطقه‌ای شده است، باشد. هدف ارزیابی ریسک منطقه‌ای براساس مقیاس بزرگ است، بنابراین بخش‌های مختلفی با توجه به اهداف پژوهش‌های

در مقایسه با ارزیابی ریسک اکولوژیک یک مکان، منبع و پذیرنده از یک ناهمگونی فضایی در منطقه برخوردارند، یعنی پدیده تفکیک منطقه‌ای وجود دارد، که آن را پیچیده‌تر می‌سازد. ریسک‌های تعریف شده ارزیابی ریسک اکولوژیک منطقه‌ای همان‌طور که ریسک منابع زیست محیطی یا ریسک آلودگی در مقیاس منطقه‌ای را توصیف و ارزیابی می‌کند، باعث اختلال طبیعی، در مقیاس منطقه‌ای می‌شود. تن و ساتر ارزیابی ریسک اکولوژیک را در مقیاس سیمای منظر انجام دادند [2]. Liu و Xu در سال 2013 [6] ریسک اکولوژیک را از منظر مفهوم ریسک اکولوژیک، توسعه و روش تحقیق بررسی کردند. Chen و همکاران مدل‌های ارزیابی ریسک اکولوژیک را در مقیاس سیستم بررسی کردند [7]. تحقیقات متعددی در نقاط مختلف جهان در زمینه ارزیابی ریسک اکولوژیک انجام گرفته است. Weiguang و همکاران در سال 2009 به ارزیابی ریسک اکولوژیک برخی از گیاهان بیگانه مهاجم در چین با استفاده از رویکرد MCDM<sup>1</sup> پرداختند، روش ارزیابی در این مطالعه شامل تجزیه و تحلیل منابع ریسک، تجزیه و تحلیل گیرنده، مواجهه و خطر ارزیابی، ارزیابی کامل و مدیریت ریسک متقابل است. که در این روش، سیستم شاخص ارزیابی منبع ریسک و نیز شاخص و فرمول به کار رفته در سنجش خسارات و ریسک اکولوژیک ثابت شد و از این روش برای ارزیابی جامع ریسک اکولوژیک هجوم گیاهان بیگانه استفاده شد. در نهایت تجزیه و تحلیل ریسک اکولوژیک 9 گونه معرف گیاهان بیگانه و مهاجم در 4 درجه استراتژی‌های ریسک شامل مهاجم، سازگاری، کیفیت پراکنش و خطرناک بودن مطرح شدند [8]. آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا در سال 1999 در سندهای مختلف تحت عنوان راهنمای ارزیابی ریسک اکولوژیک سه فاز فورموله کردن مشکل، آنالیز و شناسایی ریسک و روش‌های آنالیز مونت کارلو را که هرکدام شامل قدم‌های متعددی است را ارائه داد که این راهنما در سال‌های 2003 و 2008 تکمیل گردید. همچنین آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا در سال 2009 دستورالعملی را برای ارزیابی ریسک در آبخیزها تدوین کرد که الهام گرفته از اصول ارزیابی در دستورالعمل‌های محققینی چون Suter, 1993; EPA, 1998; ANZECC and ARMCANZ2000; Burgman, 2005 بوده است، که مبنای ارزیابی خطر در آبخیزهای ویکتوریا است. در این دستورالعمل ابتدا اهمیت منطقه، شواهد موجود از اثرات عوامل استرس زا در سطح ارزیابی تشخیص داده می‌شود و سپس مهمترین عوامل تنش‌زا، خطرات آن‌ها و مهمترین عوامل تشدید کننده آن‌ها شناسایی می‌شود همچنین مهمترین پذیرنده‌ها مشخص شده و نمودارهای مفهومی برای نمایش روابط بین

مختلف از جمله بخش اجرایی و یا بخش حوضه آبخیز طبیعی درگیر آن هستند. در اواخر دهه 1990 اغلب ارزیابی‌های ریسک اکولوژیک منطقه‌ای براساس دستورالعمل آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا، در مقیاس بزرگ انجام می‌شد [3].

## 2- شناسایی ویژگی‌های ارزیابی ریسک اکولوژیک

هدف ارزیابی ریسک اکولوژیک، تهیه اطلاعات در مورد اثرات پروفیل تنش‌زاهای معین بر سیستم‌های اکولوژیک است به طوری که آلودگی و دیگر خسارات سازگار با محیط زیست می‌تواند به حداقل کاهش یابد.

همزمان با ایالات متحده آمریکا کشورهای متعددی در این زمینه پژوهش‌هایی را انجام دادند و چارچوب مشابهی را برای ارزیابی ریسک اکولوژیک توسعه دادند که از آن جمله می‌توان به استرالیا، نیوزلند، کانادا و هلند اشاره کرد. تیپ‌های ارزیابی ریسک اکولوژیک احتمالی و قطعی می‌باشند، از نوع قطعی آن به منظور بررسی خارج قسمت خطر HQ و بررسی اثر هر عامل آلاینده بر پذیرنده استفاده می‌شود. این نوع ارزیابی چون با محیط اکولوژیک در ارتباط است فرضیه‌های حفاظتی و فاکتورهای ایمنی به جهت حفاظت از پذیرنده‌های حساس بیان می‌کند. خارج قسمت خطر به عنوان یک ابزار غربالگری برای تعیین در خطر بودن یا نبودن پذیرنده‌ها است اگرچه این معیار معمولاً خطر واقعی را بیان نمی‌کند (Tannenbaum, 2009). و این در حالیکه که خروجی ارزیابی ریسک احتمالی، توزیع خطرات منعکس کننده عدم قطعیت مرتبط با متغیرهای ورودی است. ارزیابی ریسک اکولوژیک غالباً برای بررسی خطرات در مقیاس محلی ناشی از صنایع شیمیایی، اثرات آفت‌کش‌ها، انتشار آلاینده‌ها و خطرات سایت‌های دفع زباله استفاده می‌شود [4].

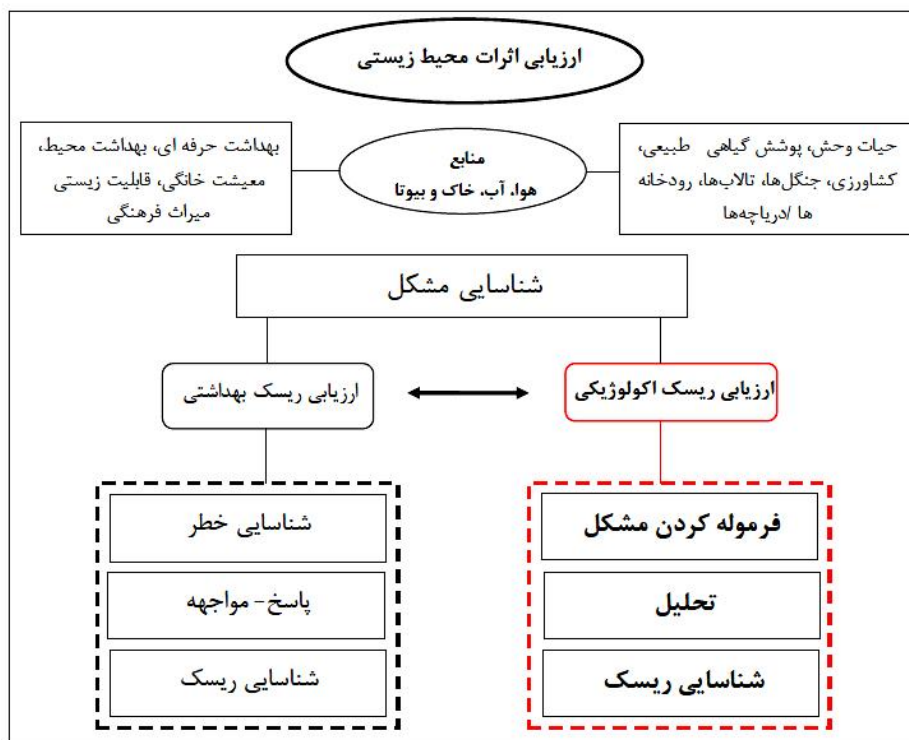
مقادیر ارزیابی ریسک اکولوژیک منطقه‌ای در مقیاس مکانی که شامل زیستگاه‌های متعدد با منابع گوناگون فشارهای متعدد بر نقاط پایانی و ویژگی‌های چشم انداز هستند، ریسک را برآورد می‌کنند. اگرچه ممکن است تنها یکی از فشارهای نگران کننده، در مقیاس منطقه‌ای از میان دیگر فعالیت‌های تنش‌زا برای ارزیابی نقاط پایانی در نظر گرفته شود [5]. روش سنتی شناسایی ریسک ممکن است هنگام انجام ارزیابی ریسک در مقیاس منطقه‌ای کارآمد نباشد. در مقیاس منطقه‌ای، چندین منبع، فشار، زیستگاه و نقطه پایانی وجود دارد که باید در نظر گرفته شود و اغلب منابع متعددی برای یک عامل تنش‌زا وجود دارد. یکی از مسائل مهم پژوهشی در سال‌های اخیر، چگونگی تعیین کمیت ریسک اکولوژیک است. ارزیابی ریسک اکولوژیک منطقه‌ای، شاخه‌ای از ارزیابی ریسک اکولوژیک است. این نوع ارزیابی، درجه و احتمال وقوع آلودگی محیط زیست، فعالیت‌های انسانی و یا بلایای طبیعی است که اثرات سوء بر ساختار و عملکرد اکوسیستم در مقیاس منطقه‌ای وارد می‌کند.

1- Multiple criteria decision analysis

منابع - تنش زا- پذیرنده ترسیم و تفسیر می‌گردد. در این دستورالعمل همچنین چند مطالعه موردی به‌طور کامل شرح داده شده است [2]. Haiyi و همکاران در سال 2003، از توسعه و کاربرد ابزارهای شبیه‌سازی کامپیوتری برای ارزیابی ریسک اکولوژیک و تدوین مدل‌هایی که کاربردشان فقط محدود به گونه‌های خاصی هستند برای ارزیابی استفاده کردند. این مدل‌ها عبارت بودند از RESRAD و CRCIA و ERA که از لحاظ کاربرد، نوع پذیرنده، مسیرهای مواجهه، شبکه غذایی، داده‌های پایه، کیفیت و صحت مدل با هم متفاوت است و کامل‌ترین آن EcoRA عنوان گردید که محدودیت‌های دو مدل دیگر را کمتر داشت [9]. همچنین Edwin در سال 2005 به منظور ارزیابی ریسک اکولوژیک از مدل‌سازی مواجهه و زیستگاه برای مطالعه موردی روی راکون در رودخانه ساوانا استفاده کرد. این بررسی یک چارچوب مناسب برای ارزیابی میزان مواجهه آلاینده‌ها با پستانداران با جثه متوسط با استفاده از مدل

شبیه‌سازی مونت کارلو بر پایه GIS بیان کرد. در این مدل برای تخمین احتمال مواجهه و مصرف آلاینده توسط گونه‌ها از فاکتور ارزش‌دهی استفاده شد [10]. سپهوند در سال 1392 در مطالعه‌ای، به بررسی مدل‌های ارزیابی ریسک اکولوژیک پرداخت، که در این مطالعه مقایسه‌ای بین بعضی از مدل‌های ارزیابی ریسک اکولوژیک سیستمی در سطوح مختلف تشکیلات سلسله مراتبی صورت گرفت که این مدل‌ها شامل مدل‌های مبتنی بر شبکه غذایی، مدل‌های مبتنی بر اکوسیستم و مدل‌های اجتماعی- اکولوژیکی می‌باشند. نتایج این مطالعات نشان داد که ارزیابی ریسک اکولوژیک با استفاده از مدل‌های سیستمی گامی مهم برای به‌کار بردن ارزیابی ریسک در مدیریت محیط زیست می‌باشد.

در شکل 1 مراحل ارزیابی ریسک زیست محیطی که مجموعه‌ای از ارزیابی ریسک اکولوژیک و بهداشتی را در بر می‌گیرد، نمایش داده شده است.



شکل 1: مراحل ارزیابی ریسک محیط زیستی [12]

این بخش به‌طور خلاصه ویژگی‌های شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی مناطق مورد مطالعه، شناسایی عوامل تنش‌زا و نقاط پایانی به‌دست آمده از ارزش‌های ذینفعان و تعریف مناطق ریسک را بیان می‌کند، و شامل مدل مفهومی می‌شود. این تصمیمات، راهنمایی برای نوع داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز برای جمع‌آوری، خواهد بود و به شناسایی شکاف‌های دانش کمک می‌کند [12].

گام‌های اصلی و روش‌های ارزیابی ریسک اکولوژیک در دستورالعمل آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا به شرح زیر است:

#### الف) فرموله کردن مشکل

فرموله کردن مشکل شامل تطبیق اطلاعات موجود برای تعیین ماهیت موضوع می‌باشد. سه مرحله ارزیابی ریسک شامل، فرموله کردن مشکل، تجزیه و تحلیل ریسک و شناسایی ریسک است.

- 4) توصیف محیط زیست (ویژگی جغرافیایی منطقه، ویژگی‌های توپوگرافی منطقه (شیب، ارتفاع)، ویژگی‌های مهم اقلیمی و هیدرولوژیکی، معرفی انواع کاربری‌های اراضی جدید و قدیم، معرفی پذیرنده‌های زیست محیطی با خصوصیات کامل و جامع، معرفی مناطق با ارزش زیست محیطی، معرفی گونه‌های گیاهی و جانوری با ارزش تجاری و گونه‌های غالب و بومی)
- 5) تعریف سناریوهای مواجهه
- 6) بررسی نقاط هدف (جدول 2)

- معرفی مهمترین گام‌های فرموله کردن مشکل:
- 1) معرفی واحدهای پذیرنده (گونه ماهی)، گروه وابسته به گونه‌ها (ماهی‌خواران)، جامعه (بی‌مهرگان اعماق دریا)، یک اکوسیستم (تالاب)، زیستگاه با ارزش خاص (به عنوان مثال: مراتع مرطوب)، واحدهای دیگر در معرض نگرانی.
- 2) تعیین روابط زیست محیطی (طبیعت و شدت عوارض، مقیاس‌های مکانی و زمانی اثرات)
- 3) شناسایی منابع آلاینده (انتشار، فعالیت‌ها و برنامه، خصوصیات عوامل آلاینده، منابع مواجهه غیرمستقیم و اثرات آن‌ها)

جدول 2: معیارهای انتخاب نقاط هدف در ارزیابی ریسک اکولوژیک [13، 14]

معیار	توضیحات
اهداف سیاسی و ارزش‌های اجتماعی	چون ارزیابی خطرات برای نقاط هدف اساس تصمیم‌گیری است انتخاب نقاط هدف، باید منعکس کننده ارزش‌های سیاسی اجتماعی که مدیر ریسک انتظار دارد، باشد.
معادل‌های اکولوژیک	خصوصیاتی که با خصوصیات دیگر در جامعه متناسب است به عنوان مثال افزایش گونه‌های شکارچی چتر وابسته به ترکیبات جامعه و یا تولیدات اولیه plant assemblage است.
حساسیت پذیری	اشخاصی که بالقوه بسیار در معرض مواجهه با آلاینده و بروز پاسخ هستند باید نسبت به آن‌هایی که کمتر در معرض هستند ارجحیت داده شوند.
تعریف عملکرد	عملیاتی که به وضوح مشخص می‌کند چه چیزی باید سنجش و مدل‌سازی شود.
مقیاس زیست محیطی	نقاط هدف ارزیابی ریسک اکولوژیک باید یک مقیاس متناسب با منطقه و یا عملکرد ارزیابی داشته باشد و این مقیاس متناسب با حساسیت جمعیت به محدوده گسترده با یک مواجهه پایین است.
عملی (کاربردی)	بسیاری از نقاط هدف در ارزیابی ریسک اکولوژیک به دلیل این‌که تکنیک خوبی برای استفاده در دست ارزیاب قرار نمی‌دهد کاربردی نیستند به عنوان نمونه اطلاعات سمیت آلاینده‌ها برای ارزیابی ریسک در مارمولک بسیار ناچیز است البته اگر برخی از گونه‌ها از خصوصیات خاصی چون تهدیدپذیری و یا آسیب پذیری برخوردار باشند می‌توانند به عنوان نقاط هدف مورد توجه قرار گیرند.

7) ارائه مدل مفهومی [12، 13، 14].

### ب) تجزیه و تحلیل ریسک - ارزیابی مواجهه و ارزیابی اثرات

به‌طور کلی، جدول مبتنی بر ساختار مدل مفهومی، جنبه‌های عمومی را شبیه‌سازی می‌کند و یک قالب تهیه می‌کند که در آن سناریوهای ریسک فرمول‌بندی می‌شوند. فاز تجزیه و تحلیل ریسک، شامل ارتباط مواجهه و اثرات متقابل و همپوشانی زمینه‌های مواجهه آثار است. تجزیه و تحلیل بر پایه تراکم منابع تنش‌زا، تراکم زیستگاه‌های آبی و آسیب‌پذیری نقطه پایانی در عوامل تنش‌زای مختلف استوار است. فاز تجزیه و تحلیل شامل هر دو نوع ارزیابی مواجهه و ارزیابی اثرات می‌باشد.

#### ب-1: ارزیابی مواجهه

اطلاعات در مورد اثرات عوامل تنش‌زا در یک نقطه پایانی مناسب، اطلاعات مفید کمی بدون دانش در سطح واقعی مواجهه نقطه پایانی در عوامل تنش‌زا فراهم می‌کند. بنابراین، از اهداف ارزیابی مواجهه، تعیین احتمال قرارگیری نقطه پایان

اکولوژیکی در معرض تهدید، خواهد بود و در نتیجه، یک اثر درک خواهد شد. برای یک تهدید بیولوژیکی، مانند علف هرز مهاجم، ارزیابی مواجهه ممکن است شامل ادغام اطلاعات در مورد منبع علف هرز، پتانسیل مسیر ورود به اکوسیستم مدنظر، نرخ انتشار، اولویت‌های زیستگاه و همبستگی توزیع باشد. اطلاعات موجود (به‌عنوان مثال تصاویر سنجش از دور) و یا مدل‌سازی مناسب زیستگاه می‌تواند برای چنین اهدافی استفاده شود.

#### ب-2: ارزیابی اثرات

ارزیابی اثرات با هدف تعیین اثرات و یا عواقب ناشی از تهدید (ها) در سنجش نقاط پایانی انتخاب شده در طی فرموله کردن مشکل است. به عنوان مثال، کاهش کیفیت آب (به هر دلیل) ممکن است اکوسیستم‌های آبی را تحت تاثیر قرار دهد که از طریق کاهش تنوع گونه‌ای و فراوانی جوامع بی‌مهرگان بزرگ یا ماهی اندازه‌گیری می‌شود. بزرگی اثر نیز باید تا حد امکان اندازه‌گیری شود [12].

## ج) شناسایی ریسک

این مرحله نتایج ارزیابی اثرات و ارزیابی مواجهه را به‌منظور تعیین سطح ریسک ادغام می‌کند. به‌طور کلی، سه سطح کیفی، نیمه کمی و کمی در انجام تجزیه و تحلیل ریسک وجود دارد. معمولاً، قبل از تجزیه و تحلیل کمی، ارزیابی‌های ریسک به حالت ردیفی، با تجزیه و تحلیل کیفی یا نیمه کمی سطح غربال‌گری اولیه، به‌طور مفصل‌تر انجام می‌شود. هدف از این مرحله شناسایی مهم‌ترین فشارها و خطرات مرتبط برای تجزیه و تحلیل کمی ریسک است. در حالی که خروجی شناسایی ریسک نیاز دارد تا برآورد ریسک کمی نباشد، اطلاعات کافی، حداقل، برای کارشناسان متخصص در قضاوت براساس رویکرد وزن شواهد در دسترس خواهد بود. در صورت در دسترس نبودن اطلاعات کافی، ممکن است یک یا چند مرحله از فرآیندهای ارزیابی ریسک به‌منظور به‌دست آوردن اطلاعات بیشتر، مجدداً تکرار شوند [12]. صرف‌نظر از این رویکرد، همیشه باید عدم قطعیت همراه با ارزیابی ریسک توصیف شود و در صورت امکان کمی گردد، در حین این‌که تفسیر اهمیت اکولوژیکی نتایج نیز باید انجام شود [15]. علاوه بر این، ریسک‌ها باید برای حمایت از تصمیم‌گیری مدیریت ریسک به‌خوبی تعریف شده باشند.

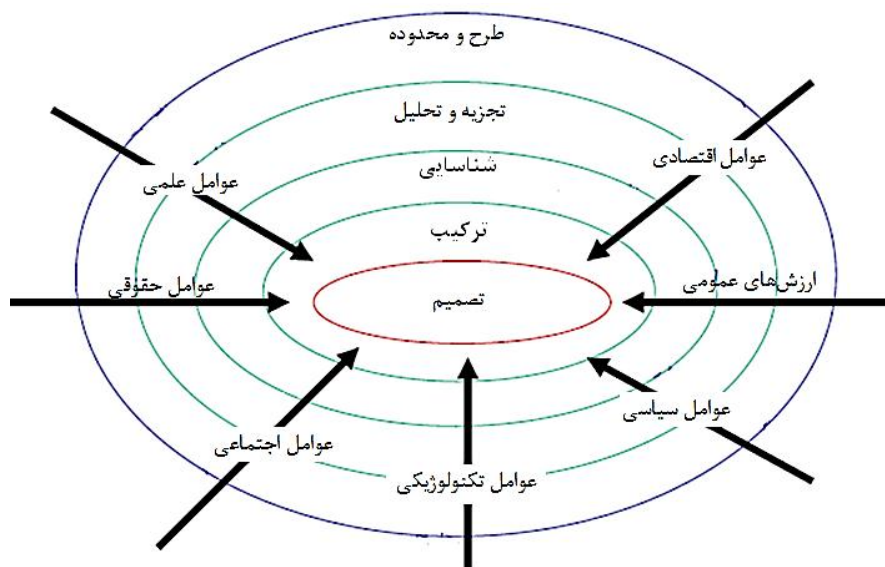
## 3- ابزارهایی برای تجزیه و تحلیل عدم قطعیت

عدم قطعیت در روش ارزیابی ریسک اکولوژیکی عینی وجود دارد. ابزارهای اصلی برای تجزیه و تحلیل عدم قطعیت: مدل‌های مفهومی، تجزیه و تحلیل حساسیت‌ها و شکاف‌ها، شبیه‌سازی مونت‌کارلو، شبکه‌های بیزی و درخت‌های تصمیم‌گیری می‌باشد، مدل‌های مفهومی مورد استفاده برای ارزیابی ریسک می‌توانند با طیف گسترده‌ای از مفروضات و عدم

قطعیت که زیربنای مدل است، ارتباط برقرار کنند. این روش دارای اثرات بازخورد در پاسخ مدل به تغییر مداوم در یک پارامتر یا بیشتر است و ممکن است معنای کارآمدی برای کشف اثر ساختارهای مدل جایگزین ارائه کند. علاوه بر این، این روش تابع ذینفعان ورودی است و ممکن است تعصب شناختی در نظر متخصص را کاهش دهد [16]. به‌منظور انجام تجزیه و تحلیل کمی کامل و عدم قطعیت مفید، روش مونت‌کارلو باید انجام شود. آنالیز حساسیت با استفاده از تجزیه و تحلیل رگرسیون انجام می‌شود، که به موجب آن مقادیر متغیر ورودی نمونه در برابر مقادیر خروجی پیروی می‌کنند، این روش، معیاری از حساسیت از طریق متغیر ورودی را به‌دست می‌آورد، که بر روی یک گراف تورنادو رسم می‌شود. با استفاده شبکه‌های بیزی ارزیابی صورت می‌گیرد که یک مزیت کلیدی این‌ها این است که می‌توانند برای پر کردن شکاف اطلاعات تجربی براساس نظر کارشناسی و احتمالات مورد استفاده قرار گیرند.

## 4- مدیریت ریسک

یک گام ضروری مدیریت ریسک، فرآیند تصمیم‌گیری در نتیجه ارزیابی ریسک طی فرآیند ارزیابی ریسک و همچنین هدف ارزیابی ریسک است. مدیران ریسک می‌توانند اهداف و برنامه‌های خود را با توجه به نتایج حاصل از ارزیابی و کنترل مسائل ریسک در سیستم محیط زیست حوضه آبی، به‌منظور کاهش یا از بین بردن اثرات منفی خطرات مختلف، تعیین کنند. در همین حال، یک سری از اقدامات مثبت و موثر می‌تواند برای محافظت از گیرنده پذیرفته شود، و تا حد امکان مانع از آسیب به منبع شود. چارچوب تصمیم‌گیری مدیریت ریسک را می‌توان در شکل 2 بیان کرد:



شکل 2: چارچوب تصمیم‌گیری مدیریت ریسک [13]

## 5- روش‌های ارزیابی ریسک اکولوژیک منطقه‌ای

با گسترش مقیاس ارزیابی، ارزیابی ریسک اکولوژیک منطقه‌ای شامل چندین جنبه، چندین روش شبیه‌سازی و روش‌هایی مانند توزیع آلاینده، انتقال، تجمع، تعامل با تحمل‌کننده فشار

و تجزیه و تحلیل عدم قطعیت، در یک مقیاس بزرگ معرفی شدند. برخی از روش‌ها، مدل‌ها و فن‌آوری‌های بزرگ در جدول شماره 2 ذکر شده است.

جدول 2: مدل‌ها و تکنولوژی‌های ارزیابی ریسک اکولوژیک منطقه‌ای

روشن	معرفی	رفرنس
PETAR (procedure for ecological tiered assessment of risk)	(روشی برای ارزیابی اکولوژیک منظم ریسک) که شامل "سه مرحله" ارزیابی ریسک، ارزیابی اولیه، ارزیابی منطقه‌ای و ارزیابی محلی است	[17]
MR (multimedia, multi-pathway, and multi-receptor)	(چند رسانه‌ای، چند مسیر و چندگیرنده) از تجزیه و تحلیل ریسک و تجزیه و تحلیل عدم قطعیت با چند رسانه‌ای، چند مسیر و روش ارزیابی ریسک چند گیرنده‌ای تشکیل شده است. ماژول تجزیه و تحلیل ریسک در مدل ریاضی با مواجهه و تجمع ادغام می‌شود و ماژول تجزیه و تحلیل عدم قطعیت با استفاده از دو مرحله مونت کارلو تحلیل می‌شود	[18]
WOE (weight-of-evidence)	(وزن شواهد) مطالعه تاثیر بر اکوسیستم‌ها از طریق داده‌های مشاهده‌ای محدود می‌شود، که می‌تواند به بخش‌های تجزیه و تحلیل کیفی، طبقه‌بندی تخصصی، افکار عمومی، رتبه بندی نیمه کمی، روش شاخص سه گانه با ویژگی‌های رسوب، WOE جامع، روش احتمال کمی و روش تجزیه و تحلیل ماتریس تقسیم گردد	[19]
مدل اکولوژیکی	مدل اکولوژیکی که در سطح جمعیت، اکوسیستم و چشم انداز محقق شد را در ارزیابی ریسک اکولوژیک به‌کار می‌برند. که این مدل‌ها می‌توانند به مدل‌های جمعیتی، مدل‌های اکوسیستم و مدل‌های چشم‌انداز تقسیم گردند	[20]
GIS/RS	ترکیب با تکنولوژی GIS، دیگر مدل‌های اکولوژیکی و الگوریتم بهبود یافته، در انجام ارزیابی ریسک اکولوژیکی در مقیاس‌های مکانی و زمانی	[21,22]
نرم افزار کامپیوتری	نرم‌افزار توسعه یافته مانند Toxtools و دوز معیار، نرم افزار (نسخه 3,1، US EPA) به منظور بهبود بهره‌وری از ارزیابی ریسک ادغام می‌شود	[24,23]
مدل RRM	در این مدل منطقه به چند زیر منطقه براساس شرایط منطقه‌ای تقسیم می‌شود؛ تجزیه و تحلیل "فشار-گیرنده" در تجزیه و تحلیل ریسک اکولوژیکی سنتی در "منبع-زیستگاه" عبور می‌کند. یک مدل مفهومی در تجزیه و تحلیل تعامل در عوامل استرس زا و زیستگاه‌های مختلف ایجاد می‌کند؛ احتمال را مشخص می‌کند و درجه آسیب از منبع فشار و کمیت میزان تعامل بین منبع فشار و زیستگاه را تعیین می‌کند	[25,26]

## 6- بحث و نتیجه گیری

## 6-1- چشم‌انداز آینده

در سال‌های اخیر، فرایند ارزیابی ریسک برای تعیین ضرورت اصلاح و یا توسعه مجدد اقدامات در سایت‌های آلوده استفاده شد که به خوبی توسعه یافته و در حال مستندسازی است. اگر چه مقدار زیاد مواد سمی ممکن است از نگرانی‌های عمده باشد، تشخیص یک ماده شیمیایی خطرناک در محیط زیست لزوماً یکی از علت‌های هشدار مواد شیمیایی و ریسک مواجهه انسان نیست. بسیاری از مشکلات زیست محیطی بر مناطق جغرافیایی بزرگ تاثیر می‌گذارند [27] و بنابراین ارزیابی‌های ریسک در مقیاس منطقه‌ای برای ارزیابی خطرات مشکلات مطرح مورد

نیازند. در ارزیابی ریسک‌های پیش رو باید تمرکزمان را روی کیفیت آب حفظ کنیم [28,29,26,22]، و به‌طورکلی سازوکارهای بیان‌کننده علت که در تخریب محیط زیست حوضه آبخیز و در نتیجه خطرات بهداشتی زیست محیطی مشارکت می‌کنند، بدون در نظر گرفتن کل اکوسیستم، که می‌تواند به یک ارزیابی منجر شود، منعکس نمی‌شود. علاوه بر این، در این مطالعات عمدتاً هدف ارزیابی‌های ریسک انجام شده برای آلاینده‌های واحد و یا سایت آلوده شده [30]، در یک مقیاس کوچک قرار می‌گیرند [31,32]. با این حال، مطالعات ارزیابی در مقیاس بزرگ‌تر هنوز وجود ندارد، و نظریه‌ها و روش‌های ارزیابی در حال توسعه هستند.

پژوهش سیستماتیک کمتر در این بخش گنجانده شده است. همچنین تصمیم‌گیری ارزیابی ریسک نه تنها به نتایج حاصل از ارزیابی ریسک بستگی دارد، بلکه تحت تاثیر شرایط اجتماعی اقتصادی، اخلاق، آگاهی عمومی و حتی نژادها و انواع گروه‌های ذینفع نیز قرار می‌گیرد، بنابراین ارزیابی ریسک که باید در فرآیند تصمیم‌گیری ریسک تقویت شود، نقش ایفا می‌کند [2].

#### 7- مراجع

- [1] ANZECC and ARMCANZ (Australian and New Zealand Environment and Conservation Council and Agriculture and Resource Management Council of Australia and New Zealand). , 2000. Australian and New Zealand guidelines for fresh and marine water quality, Vols. 1 and 2. Available online at <http://www.deh.gov.au/water/quality/nwqms/index.html#monitor>
- [2] Qiuying C, Jingling L. Development process and perspective on ecological risk assessment. *Acta Ecologica Sinica*. 34 239–245, 2014.
- [3] X.G. Xu, H.P. Lin, Z.Y. Fu, Ecological risk assessment of yellow river delta wetland area, *Peking Univ. Nat. Sci.* 37 (1) (2001) 111–120
- [4] Lawrence V. Tannenbaum A critical assessment of the ecological risk assessment process: A review of misapplied concepts , 2009, DOI: 10.1897/IEAM\_2004a-008.1
- [5] Landis WG and Wieggers JK. 2005. Chapter 2: Introduction to the regional risk assessment using the relative risk model. In: Landis WG (ed), *Regional Scale Ecological Risk Assessment Using the Relative Risk Model*, pp 11–36. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
- [6] L.Y. Xu, G.Y. Liu, The study of a method of regional environmental risk assessment, *J. Environ. Manage.* 90 (2009) 3290–3296.
- [7] Q.Y. Chen, J.L. Liu, K.C. Ho, et al., Development of a relative risk model for evaluating ecological risk of water environment in the Haihe River Basin estuary area, *Sci. Total Environ.* 420 (2012) 79–89.
- [8] Xie, Guowen, Chen, Weiguang, Lin, Meizhen, Zheng, Yanling, Guo, Peiguo, Zheng, Yisheng , *Ecological Risk Assessment with MCDM of Some Invasive Alien Plants in China*, CCIS 35, pp. 580–587, 2009.
- [9] Haiyi L., Lisa. Trevor A. Tyson, 2003, Development and application of computer simulation tools for ecological risk assessment, *Environmental Modeling and Assessment* 8: 311–322.

در حال حاضر، اکثر مطالعات در زمینه ریسک‌های اکولوژیکی به‌طور عمده بر وقایع آلودگی ناگهانی متمرکز شده است. بسیاری از مطالعات روی دو جنبه از آلودگی آب و خاک متمرکز شده‌اند، آلودگی هوا و چند آلاینده جامع تقریباً مستقل می‌باشد. هدف مطالعه عمدتاً روی فلزات سنگین، آفت‌کش‌ها، و مواد شیمیایی معرف سمی و خطرناک متمرکز شده است. و روش‌های مطالعه شامل مدل ریاضی مانند ریاضیات، تکنولوژی کامپیوتر، سم‌شناسی و مکانیک سیالات برای پیش‌بینی اثری که وقوع آلودگی در بوم‌شناسی محیط زیست می‌گذارد، مورد استفاده قرار گرفت. به‌طور خلاصه، ارزیابی ریسک اکولوژیک منطقه‌ای به تلاش بیشتر نیاز دارد و برخی از جنبه‌ها در کارهای آینده در نظر گرفته خواهد شد. در مرحله اول، لازم است یک معیار ارزیابی یکسان، برای ارزیابی تهیه شود. کشورهای جهان دارای مدل‌ها و معیارهای ارزیابی مختلف برای ارزیابی ریسک اکولوژیک می‌باشند، اما هیچ استاندارد یکسانی از دستورالعمل‌ها وجود ندارد. مرحله دوم، روش تجزیه و تحلیل عدم قطعیت: مانند روش مونت کارلو، معادله بیزی و شبکه‌های عصبی مصنوعی به‌کار رفته در ارزیابی ریسک اکولوژیک منطقه‌ای است. در ایالات متحده، ارزیابی ریسک اکولوژیکی به‌طور سنتی برای ارزیابی اثرات نامطلوب مواد شیمیایی جدید و یا قدیمی آلاینده‌های خاص به‌کار می‌رود، اغلب مقیاس بسیار کوچک، محیط زیست است. اما تخریب حوزه‌های آبخیز و اکوسیستم‌ها نه تنها می‌تواند توسط عوامل استرس‌زا شیمیایی و همچنین موارد فیزیکی و بیولوژیکی (و تعامل میان هر سه)، ایجاد شود. یک تقاضا هم برای ارزیابی‌های اکولوژیکی بسیار پیچیده ایجاد می‌کند. که به‌طور فزاینده‌ای روشن می‌شود و پتانسیل آن را به‌عنوان یک ابزار مدیریت به‌دست می‌آورد، [33,34]. روش‌ها باید برای کاربرد ارزیابی ریسک در جمعیت‌ها، جوامع و چشم‌انداز اکولوژیکی در مقیاس بزرگ توسعه یابند.

در عین حال، نظریه‌ها و روش‌های اصلی هنوز هم از کشورهای دیگر آموخته خواهد شد. مطالعات به‌طور عمده روی مواد شیمیایی سمی و خطرناک، مواد رادیواکتیو، وقایع ناگهانی و مطالعات مسمومیت حاد انجام می‌شود، و کمتر روی عوامل دیگر مانند فیزیکی، زیست‌شناسی، حوادث غیرناگهانی و ریسک‌های جمعی بلند مدت متمرکز شده است. علاوه‌براین در مدت مطالعه ارزیابی ریسک اکولوژیکی حاضر، بسیاری از آن‌ها هنوز هم فاقد تجزیه و تحلیل کمی عدم قطعیت در نتایج و فرایندهای ارزیابی‌اند، که به‌طور غیرمستقیم به کم توجهی مدیران منجر شده است. همچنین همگرایی بین ارزیابی و تصمیم‌گیری تقویت خواهد شد. اگرچه هدف از ارزیابی ریسک اکولوژیک تهیه مبنا و دستورالعملی برای مدیریت ریسک است،



- [21] K.F. Gaines, D.E. Porter, S.A. Dyer, Using wildlife as receptor species: a landscape approach to ecological risk assessment, *Environ. Manage.* 34 (4) (2004) 528–545.
- [22] M.E. Wang, Y.Y. Bai, W.P. Chen, et al., A GIS technology based potential eco-risk assessment of metals in urban soils in Beijing, China. *Environ. Pollut.* 161 (2012) 235–242.
- [23] Q.Y. Zhao, Software review of tools for windows, *Hum. Ecol. Risk Assess.* 10(3) (2004) 609–614.
- [24] H.Y. Lu, L. Axe, T.A. Tyson, Development and application of computer simulation tools for ecological risk assessment, *Environ. Model. Assess.* 8 (2003) 311–322.
- [25] Q.Y. Chen, J.L. Liu, K.C. Ho, et al., Development of a relative risk model for evaluating ecological risk of water environment in the Haihe River Basin estuary area, *Sci. Total Environ.* 420 (2012) 79–89.
- [26] J.L. Liu, Q.Y. Chen, Y.L. Li, Ecological risk assessment of water environment for Luanhe River Basin based on relative risk model, *Ecotoxicology* 19 (2010) 4000–4015.
- [27] G.M. Yu, J. Feng, Y. Che, et al., The identification and assessment of ecological risks for land consolidation based on the anticipation of ecosystem stabilization: a case study in Hubei Province, China, *Land Use Policy* 27 (2010) 293–303.
- [28] M.D.F. Doria, N. Pidgeon, P.R. Hunter, Perceptions of drinking water quality and risk and its effect on behavior: a cross-national study, *Sci. Total Environ.* 407 (2009) 5455–5464.
- [29] J.L. Liu, Y.L. Li, B. Zhang, et al., Ecological risk of heavy metals in sediments of the Luan River source water, *Ecotoxicology* 18 (2009) 748–758.
- [30] G.H. Eduljee, Trends in risk assessment and risk management, *Sci. Total Environ.* 249 (2000) 13–23.
- [31] E. Wcislo, D. Ioven, R. Kucharski, et al., Human health risk assessment case study: an abandoned metal smelter site in Poland, *Chemosphere* 47 (2002) 507–515.
- [32] D. McGraph, C.S. Zhang, O. Carton, Geostatistical analyses and hazard assessment on soil lead in Silvermines, area Ireland, *Environ. Pollut.* 127 (2004) 239–248.
- [33] G. Landis, Chapter 1: introduction, in: *Regional scale ecological risk assessment:*
- [10] Edwin C., Karen F., Michael E., Mabelle D. , 2005, Habitat and exposure modeling for ecological risk assessment: A case study for the raccoon on the Savannah River Site, *Ecological Modeling* . J, 189 :151–167
- [11] سپهوند. لیلا، مروری بر مدل‌های ارزیابی ریسک اکولوژیک، دومین کنفرانس برنامه ریزی و مدیریت محیط زیست، دانشگاه تهران.
- [12] Environmental Protection Agency, Guidelines for ecological risk assessment, EPA/630/R-95/002F, in: Risk Assessment Forum, Environmental Protection Agency, Washington, DC, 1998.
- [13] Suter, G.W. II, in *Ecological Assessment of Harardous Waste Sites: A Field and Laboratory Reference Document*, EPA 600/3-89/013, W. Warren-Hicks, B.R. Parkhurst, and Jr. S.S. Baker Jr., eds., Corvallis Environmental Research Laboratory, Corvallis, Oregon, 1989.
- [14] US Environmental Protection Agency, Framework for ecological risk assessment, EPA/630/R-92/001, ashington, DC, Risk Assessment Forum, 1992.
- [15] G.A. Pascoe, Wetland risk assessment, *Environ. Toxicol. Chem.* 12 (1993) 2293–2307.
- [16] R. Bartolo, P. Bayliss, R. van Dam, Ecological risk assessment for Australia's northern tropical rivers. Sub-project of Australia's Tropical Rivers– an integrated data assessment and analysis (DET18). A report to Land & Water Australia. Environmental Research Institute of the Supervising Scientist, National Centre for TropicalWetland Research, Darwin NT, 2008.
- [17] R. Moraes, S. Molander, A procedure for ecological tiered assessment, *Hum. Ecol. Risk Assess.* 10 (2) (2004) 343–371.
- [18] C.M. Martin, V. Guvanasen, Z.A. Saleem, The 3RMA risk assessment framework: a flexible approach for performing multimedia, multipathway, and multireceptor risk assessments under uncertainty, *Hum. Ecol. Risk Assess.* 9 (7) (2003) 1655–1677.
- [19] G.A. Burton, P.M. Chapman, E.P. Smith, Weight-of-evidence approaches for assessing ecosystem impairment, *Hum. Ecol. Risk Assess.* 8 (7) (2002) 939–972.
- [20] R.A. Pastorok, H.R. Akcakaya, H. Regan, et al., Role of ecological modeling in risk assessment, *Hum. Ecol. Risk Assess.* 9 (4) (2003) 939–972.

[34] Landis WG. 2004. Ecological risk assessment conceptual model formulation for non-indigenous species. Risk Anal 24:847–58.

using the relative risk model, CRC Press, Boca Raton, FL, USA, 2005, pp. 1–9.