پژوهش‌های محیط‌زیست، سال ۷، شماره ۱۳، بهار و تابستان ۱۳۹۵، از صفحه ۲۱ تا ۳۰

مدل‌سازی پویایی جمعیت اردک سر سفید (*Oxyura leucocephala*) در نرم‌افزار Stella (مطالعه موردی: تالاب‌های استان گلستان)

سیما سفیدیان[1*]، عبدالرسول سلمان ماهینی[2]

۱ کارشناس‌ارشد محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع‌طبیعی گرگان
۲ دانشیار گروه محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع‌طبیعی گرگان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۳/۰۴؛ تاریخ تصویب: ۱۳۹۵/۰۶/۱۵)

چکیده

اردک سرسفید پرنده‌ای آبزی و مهاجر به ایران است و در رده پرندگان در معرض خطر IUCN قرار دارد. نوسانات جمعیت پرندگان مهاجر در تالاب‌ها دلایل گوناگونی مانند شرایط اقلیم محیطی، شرایط کیفی و کمی زیستگاهی، بیماری‌ها، شکار و امنیت دارد. هدف از این پژوهش، بررسی پویایی جمعیت این گونه طی یک دوره آماری ۱۸ ساله و مدل‌سازی جمعیت آن در نرم‌افزار Stella به عنوان نمونه ای از پژوهش های ممکن است و تاثیر شکار بر اندازه جمعیت و میزان جمعیت محتمل سال های بعد این گونه را در استان نشان می‌دهد. بدین منظور، ابتدا نرخ رشد نمایی این گونه به کمک پارامترهای اقلیمی به صورت یک معادله رگرسیونی به‌دست آمد. سپس، با اجرای دو مدل و تغییر در نرخ برداشت، جمعیت آن برای ۵۰ سال آینده مدل‌سازی شد. براساس نتایج حاصل، در مدل اول، هنگامی که برداشت با نسبت ثابتی از جمعیت هر سال باشد، با نرخ بیش از ۰/۷، کمترین جمعیت سالانه حاصل خواهد شد و با نرخ ۰/۹ تا ۳۸ سال بعد جمعیت این پرنده به صفر خواهد رسید. با این حال، می‌توان جهت داشتن حداقل جمعیت به‌صورت پایدار، نرخ برداشت ۰/۷۲ را پیشنهاد کرد. در حالی که، در مدل دوم که از انحراف معیار در ۶ پارامتر اقلیمی و یک عدد تصادفی بهره می برد و به واقعیت نزدیک‌تر است؛ از سال ششم به بعد با نرخ برداشت بیشتر از ۰/۷، جمعیت به زیر ۱۰ درصد اولیه یعنی ۱۰ عدد کاهش خواهد یافت. نتایج حاصل از مدل نشان می‌دهد این راهبرد می‌تواند جمعیت را تا سال‌های آینده به انقراض سوق دهد و نیز سبب عدم مهاجرت این گونه به تالاب‌های استان شود. نتیجه دیگر این پژوهش، تاکیدی بر در معرض خطر انقراض قرار داشتن این گونه و نیازمندی آن به حفاظت است.

کلید واژه‌ها: مدل‌سازی، پویایی جمعیت، نرخ برداشت، حفاظت

*نویسنده مسئول
Email: sima.sefidian@yahoo.com

سرآغاز

اردک سر سفید (*Oxyura leucocephala*) پرنده‌ای آبزی از راسته مرغابی‌سانان (Anseriformes) و مهاجر به ایران است که در تالاب‌های شور بین نی‌زارها زندگی و زادآوری می‌کند (منصوری، ۱۳۸۷). گرچه اردک سر سفید پراکنش وسیعی دارد، اما جمعیت آن در سالیان اخیر رو به کاهش بوده است. به‌طوری‌که، براساس رده‌بندی IUCN در سال ۲۰۱۴، در رده پرندگان حمایت‌شده و در معرض خطر قرار گرفته است (IUCN, 2014). ایران شرقی‌ترین منطقه پراکنش این پرنده است. پراکنش این گونه از شمال غرب نظیر تالاب بین‌المللی قوری‌گل تا تالاب‌های استان گلستان مانند تالاب بین‌المللی گمیشان و آلاگل می‌رسد (اداره کل حفاظت محیط زیست استان گلستان، ۱۳۹۲).

مهم‌ترین تهدید طولانی مدت در بقای اردک‌های سرسفید، تولیدمثل با اردک‌های سرخ (*Oxyura leucocephala*) است. زیرا، پرندگان دورگه حاصل از این جفت‌گیری قدرت تولید مثل دارند و بیم آن می‌رود پس از مدت کوتاهی اردک سرسفید خالصی وجود نداشته باشد (IUCN Red List of Threatened Species, 2014). تاکنون، در استان گلستان اردک سرخ به طور مشخص گزارش نشده است (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۱). عوامل دیگری که موجب تهدید این گونه در ایران می‌شود شامل نابودی تالاب‌ها، آلودگی و شکار غیرمجاز می‌شوند (Li & Mundkur, 1993).

استلا، نرم‌افزاری نموداری، برای مدل‌سازی و آموزش و تحقیق به کمک مطالب نظری و کتابخانه‌ای و اطلاعات صحرایی است. استلا، یک روش عملی را عرضه می‌کند تا مطالب به‌صورت پویا مجسم شوند و با کمک به درک چگونگی کارکرد سیستم‌های پیچیده و نظریه‌ها، فرصتی را برای مدل‌سازان مبتدی و با تجربه، مدرسان، محصلان و محققان فراهم می‌کند تا به پرسش‌های خود پاسخ دهند (Richmond, 1994). این نرم‌افزار بین داده‌های ورودی و خروجی ارتباط برقرار کرده، نتیجه را نمایش می‌دهد (Allen, 1994).

یکی از کاربردهای نرم‌افزار Stella، مطالعه بر روی پویایی جمعیت حیات وحش است. در سال ۱۹۹۸، Pereverzoff جمعیت پلنگ‌های فلوریدا را با استفاده از این نرم افزار مورد مطالعه قرار داد و علل کاهش یا افزایش جمعیت و نوسانات جمعیتی در صورت فراتر رفتن جمعیت از طرفیت برد را بررسی نمود. همچنین، (Carter & Wang, 1993) توسط نرم‌افزار Stella پویایی جمعیت پاندای بزرگ و رابطه آن با درخت بامبو را مورد بررسی قرار دادند. در سال ۱۹۹۶، McCarthy مدلی برای پویایی جمعیت کانگروها ارایه کرد. وی از سرشماری این حیوان که توسط هواپیما انجام شده بود جهت تهیه این مدل استفاده کرد. در مدل وی، آثار وابسته به تراکم، بارندگی و دیگر فرایندهای محیط‌زیستی تصادفی گنجاده شده بود. در نتیجه، به کمک این نرم‌افزار می‌توان تغییرات جمعیت گونه‌ها (به‌ویژه گونه‌های تهدید شده و یا کلیدی) را برای سال‌های آینده با مدل‌سازی مناسب پیش‌بینی کرد.

با توجه به این که در ایران مطالعات اندکی درباره پویایی جمعیت گونه‌ها با رویکرد مدیریتی و حفاظتی صورت گرفته، چنین مطالعاتی می‌تواند الگویی کاربردی برای روش‌های نوین مدیریتی باشد. مدل‌سازی پویایی جمعیت‌ها به مدیران حیات وحش کمک می‌کند تا در زمان کوتاهی، تغییرات جمعیت در سال‌های آینده را پیش‌بینی و عوامل تهدیدکننده جمعیت‌ها را شناسایی و تصمیم‌های مدیریتی مانند مقدار صید مجاز، عدم صید و یا بهسازی زیستگاه را اتخاذ کنند. با جستجو در بانک اطلاعات نشریات کشور (Magiran) هیچ پژوهشی که در آن به منظور بررسی پویایی جمعیت گونه‌ها از مدل‌سازی استفاده شده باشد، صورت نگرفته است.

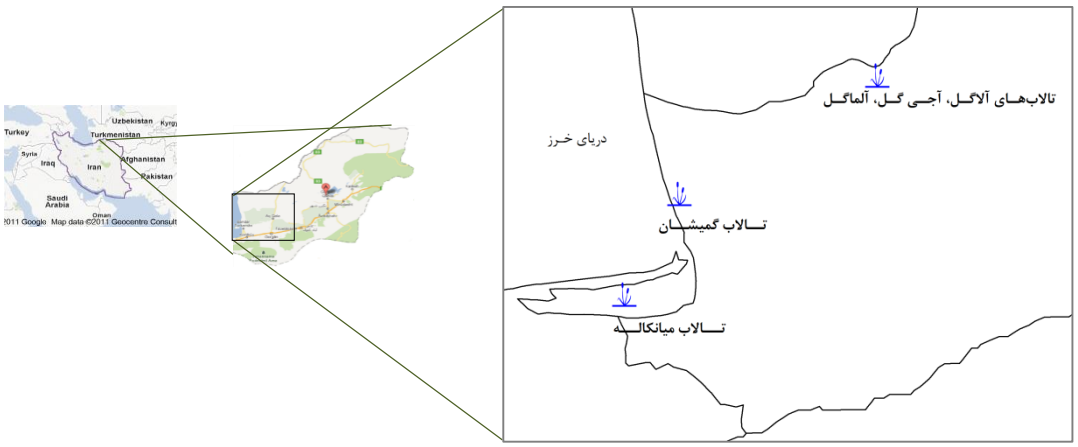
هدف از این پژوهش، مدل‌سازی پویایی جمعیت اردک سر سفید تا پنجاه سال آینده است. مدلی که در این پژوهش ارایه می‌شود، شبیه به مدل McCarthy است و از لحاظ مواد و روش‌ها از مدل وی پیروی می‌کند. در ابتدا، تغییرات اندازه جمعیت این گونه بر اساس شرایط اقلیمی به صورت یک معادله تهیه می‌شود. سپس با اجرای مدل در نرم‌افزار استلا و تغییر در نرخ شکار احتمالی گونه، جمعیت آن برای پنجاه سال آینده پیش‌بینی می‌شود و تاثیر شکار بر اندازه جمعیت و میزان مهاجرت سال بعد این گونه به استان نشان داده می شود. بر اساس نتایج، این گونه باید از لحاظ حفاظتی مورد توجه بیشتری قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

منطقه و گونه مورد مطالعه

تالاب‌های بین‌المللی استان گلستان شامل مجموعه تالاب‌های

آلاگل، آجی‌گل، آلماگل، تالاب گمیشان و میانکاله است. مجموعه تالاب‌های بین المللی آلاگل، آجی‌گل، آلماگل در قالب یک سایت در قسمت جنوبی رودخانه اترک قرار دارند. فاصله تالاب‌ها به یکدیگر بسیار نزدیک است و آب و هوای محدوده آن‌ها مدیترانه‌ای گرم با تابستان‌های خشک و گرم و زمستان‌های ملایم است. آب این تالاب‌ها از رودخانه اترک تأمین می‌شود و سطح آب تالاب‌ها در فصول خشک و مرطوب بسیار متغیر است. مساحت تالاب‌ها به‌طور معمول، به اقلیم و شکار آب ورودی و خروجی و دیگر عوام محیطی بستگی دارد (بهروزی‌راد ۱۳۸۶). تالاب بین‌المللی گمیشان به صورت نوار به نسبت باریکی با جهت شمالی- جنوبی در امتداد سواحل جنوب شرقی دریای خزر قرار دارد. بخشی از تالاب به عنوان منطقه‌ی شکار ممنوع مدیریت می‌شود. تالاب گمیشان منطقه وسیعی از اراضی شور و کم‌عمق است که در دسته‌ی تالاب‌های دریایی ساحلی قرار دارد (حسن‌زاده کیابی و همکاران، ۱۳۷۸). همچنین، تالاب بین‌المللی و پناهگاه حیات وحش میانکاله، یکی از ذخایر محیط زیستی کره زمین از سوی یونسکو به ثبت رسیده است. پناه‌گاه میانکاله، تنها بازمانده از مناطق نیمه مشجر سواحل دریای خزر است و بهشت آبزیان و پرندگان مهاجری است که همه ساله در فصل زمستان از کشورهای سردسیر شمالی به سوی آن پرواز می‌کنند و به زمستان گذرانی می‌پردازند که یکی از مجموع این پرندگان اردک سرسفید است. موقعیت جغرافیایی این تالاب‌ها در شکل (۱)، قابل مشاهده است.



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی اکوسیستم‌های آبی مورد مطالعه در ایران، استان گلستان

این تالاب‌ها، اهمیت بسیار زیادی برای طیف وسیعی از پرندگان مهاجر آبزی زمستان‌گذران و جوجه‌آور دارند. این منطقه، به دلیل استعداد و توان بالای خود در جذب پرندگان مهاجر، گذرگاهی برای مهاجرت پرندگان و جذب گونه‌های نادر و درخطر انقراض است که از جمله‌ی آن‌ها می‌توان به فلامینگوها، قوها، غازها، حواصیل و اردک سر سفید که یک گونه در معرض انقراض است، اشاره کرد (حسن‌زاده کیابی و همکاران، ۱۳۷۸).

شکار غیرمجاز، یک عامل مهم تهدید جمعیت پرندگان مهاجر این استان است. دو مدل به منظور پیش‌بینی اندازه جمعیت اردک سر سفید در شرایطی که شکار غیر مجاز با نرخ‌های مختلف وجود دارد، مورد بررسی قرار گرفته است و تاثیر شکار بر اندازه جمعیت و میزان مهاجرت سال بعد این گونه به استان را نشان می‌دهد.

بررسی رشد جمعیت

در این مدل، از آثار وابسته به تراکم و بارندگی برای بررسی پویایی جمعیت این پرنده بر پایه نرخ رشد نمایی معادله (۱) استفاده می‌شود (McCarthy, 1996).

$$\text{رشد نمایی} = \ln\left(\frac{N_t}{N_{t+1}}\right) \qquad (۱)$$

برای به‌دست آوردن رشد نمایی جمعیت این پرنده (تولید جمعیت)، از اطلاعات سرشماری سال‌های قبل استفاده شده است. ذکر این نکته ضروریست که در جمعیت یک گونه مهاجر، تراکم سالانه جمعیت نوسانات شدیدی دارد و نمی‌توان عامل مهاجرت را نادیده گرفتضروری می‌باشد. در این شرایط، معادله‌ای با خطای استاندارد بالا و عدم وجود رابطه‌ی خطی با پارامترها (به دلیل کمتر بودن R2 از ۰/۵۰) حاصل می‌شود که برای مدل‌سازی از اعتبار پایینی برخوردار است. بنابراین، به دلیل

ناقص بودن اطلاعات سرشماری شده از اردک سرسفید، اعداد سالانه سرشماری جمعیت نرمال شده‌اند. آمار پارامترهای اقلیمی از اداره کل هواشناسی استان گلستان برای سال‌های ۱۳۷۴ تا ۱۳۹۱ تهیه شد. از آن جا که آمار سرشماری اردک سر سفید مربوط به کل استان و مجموع تالاب‌های مذکور است و این تالاب‌ها در محدوده دو سایت ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک شهرستان گنبد و بندرترکمن قرار دارند، میانگین این دو سایت هواشناسی در نظر گرفته شد.

در جدول (۱)، اطلاعات ۱۸ ساله (۱۳۹۱-۱۳۷۴) در نظر گرفته شده است که طبیعتا آمار سال ۱۹ هم گنجانده می‌شود.

پارامترهای مورد نیاز در مدل پیشنهادی، NYP (اندازه جمعیت در سال آینده)، TYP (اندازه جمعیت در سال کنونی)، REF (مرگ و میر جمعیت)، H (برداشت از جمعیت)، HR (نرخ برداشت) و PP (تولید جمعیت) هستند. به منظور محاسبه رشد جمعیت، با نرم‌افزار Excel، تاثیر پارامترهای اقلیمی بر روی رشد نمایی این جانور در قالب یک معادله رگرسیونی بررسی شده است. پارامترهای موثر در این معادله، N_t (اندازه جمعیت در هر سال)، N_{t+1} (اندازه جمعیت در سال بعد)، AvT (میانگین دمای روزانه)، Rain (مجموع بارندگی ماهانه)، HIT (بیشترین دمای ثبت شده) و NR (مجموع روزهای بارندگی) هستند.

جدول (۱): آمار سرشماری اردک سر سفید و پارامترهای اقلیمی در ۱۸ سال گذشته در استان گلستان (اداره کل هواشناسی استان گلستان، ۱۳۹۳ و اداره کل حفاظت محیط‌زیست استان گلستان، ۱۳۹۳)

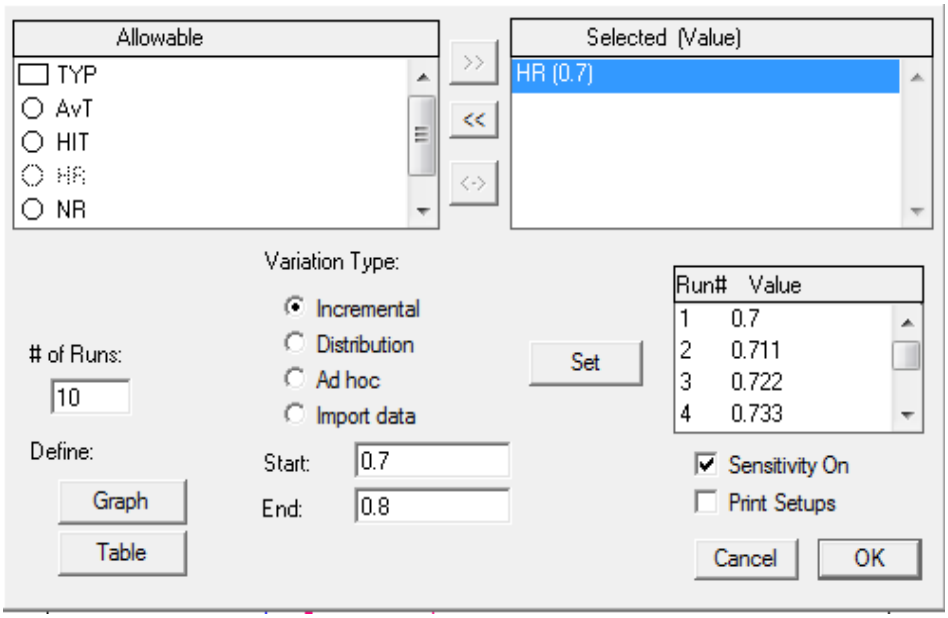
سال	Ln (Nt+1/Nt) (نرخ رشد)	TYP (اندازه جمعیت)	RAIN (مجموع بارندگی ماهانه)	HIT (بیشترین دمای ثبت شده)	NR (مجموع روزهای بارندگی)	AVGT (بیشینه دمای روزانه)
۱۳۷۴	۰/۶۶	۱۸	۲۱۲/۸۳	۲۹/۱۲	۹۴	۱۷/۵۰
۱۳۷۵	-۰/۶۱	۳۵	۲۳۷/۹۹	۳۲/۶۰	۹۴	۱۷/۶۲
۱۳۷۶	-۰/۴۶	۱۹	۲۲۷/۴۱	۲۸/۶۴	۹۵	۱۷/۹۱
۱۳۷۷	۰	۱۲	۱۲۳/۵۶	۳۱/۰۵	۹۵	۱۷/۹۹
۱۳۷۸	۰/۶۱	۱۲	۱۹۶/۴۰	۲۸/۱۴	۷۱	۱۹/۱۴
۱۳۷۹	۰/۸۲	۲۲	۱۰۳/۶۴	۲۸/۵۳	۸۰	۱۷/۸۸
۱۳۸۰	-۰/۶۵	۵۰	۱۷۰/۴۵	۲۹/۳۱	۸۶	۱۹/۵۰
۱۳۸۱	۱/۸۶	۲۶	۱۰۹/۷۳	۲۸/۹۹	۶۱	۱۸/۷۳
۱۳۸۲	-۰/۴	۱۶۷	۳۵۵/۰۲	۳۰/۰۹	۷۵	۱۷/۹۰
۱۳۸۳	۰/۱۹	۱۱۲	۲۶۰/۹۸	۲۷/۶۳	۷۰	۱۸/۲۹
۱۳۸۴	۰/۲۷	۱۳۶	۱۸۴/۲۵	۲۹/۹۴	۶۷	۱۷/۹۱
۱۳۸۵	۰/۰۸	۱۷۸	۲۷۵/۶۴	۲۹/۰۵	۶۰	۱۹/۲۵
۱۳۸۶	-۰/۴۱	۱۹۲	۴۹۳/۷۴	۲۸/۱۷	۵۹	۱۶/۶۰
۱۳۸۷	-۰/۳	۱۲۸	۲۰۹/۵۲	۲۷/۲۱	۷۹	۱۸/۴۰
۱۳۸۸	-۰/۳۹	۹۵	۱۷۶/۲۰	۲۷/۷۷	۹۹	۱۷/۷۸
۱۳۸۹	/۶۹	۶۴	۲۴۷/۹۳	۲۷/۷۹	۶۸	۱۸/۶۷
۱۳۹۰	-۰/۱	۱۲۷	۲۸۲/۲۸	۲۹/۳۳	۹۱	۱۷/۰۳
۱۳۹۱	-۰/۱۶	۱۱۵	۱۸۲/۸۲	۲۸/۹۸	۶۸	۱۹/۲۰

مدل اول

با استفاده از اطلاعات ذکر شده و معادله حاصل، با نرم‌افزار استلا مدل پویایی جمعیت ساخته شد که در آن پویایی جمعیت این پرنده، در حالتی که از آن به میزان مشخصی برداشت می‌شود، شبیه‌سازی شد. همچنین، اثر میزان متفاوت شکار بر روی جمعیت آن نیز مورد آزمون قرار گرفت.

کاهش جمعیت اردک سر سفید به میزان ثابت و یا نسبت ثابت در سال به مقدار ۰/۴۱ در نظر گرفته شد. اگر میزان برداشت

نسبت ثابتی از جمعیت هر سال باشد، با در نظر گرفتن پارامترهای اقلیمی به صورت ثابت، نرخ‌های متفاوتی از صفر تا یک در نظر گرفته می‌شود. به این صورت می‌توان نشان داد کدام یک از این نرخ‌ها، بیشترین میزان برداشت را از جمعیت سالانه اردک سر سفید موجب می‌شود. بر این اساس، پارامترهای اقلیمی نیز به صورت ثابت تعریف می‌شود. در نتیجه، در نمودار به‌دست آمده نرخ‌های برداشت از ۰/۱ تا ۰/۹ است و مقدار جمعیت در آخرین سال (برای این مدل ۵۰ ساله) بر اساس کمترین جمعیت‌ها به‌دست می‌آید. با توجه به شکل (۲)، به منظور تجزیه و تحلیل حساسیت مدل در بخش Sensi-specs نرم‌افزار استلا (Pereverzoff, 1998) با استفاده از ۱۰ طبقه انجام شد.



شکل (۲): تجزیه و تحلیل حساسیت مدل در بخش Sensi-specs نرم‌افزار استلا

مدل دوم (مدلی نزدیک‌تر به واقعیت)

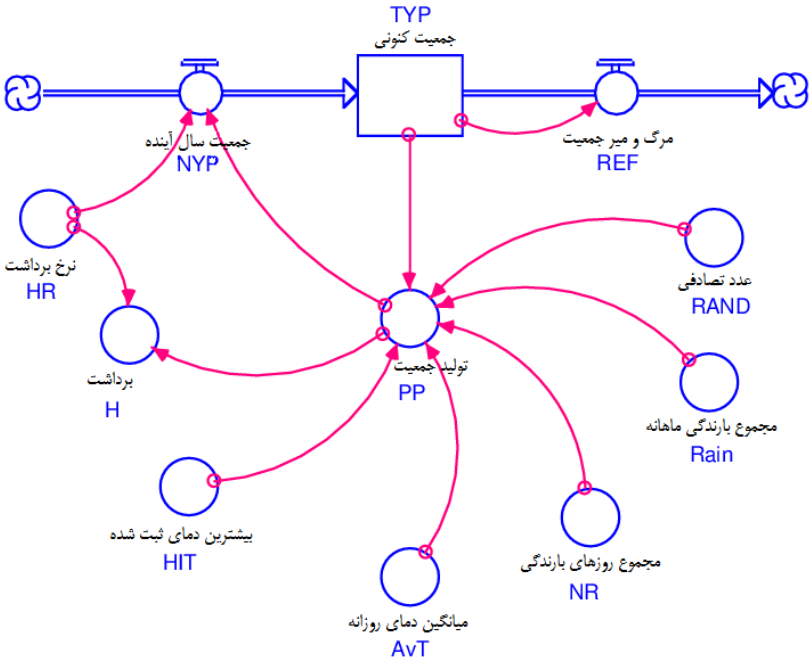
از آنجا که اردک سر سفید پرنده‌ای مهاجر است و در فصول گرم به مناطق شمالی مهاجرت می‌کند (Li Zuo Wei & Mundkur, 2003)، برای ساخت مدلی نزدیک‌تر به واقعیت، یک عدد تصادفی (RAND)، به عنوان فرایندهای تصادفی محیط‌زیستی مانند بیماری و مطلوبیت زیستگاه در آن سوی مناطق مهاجرتی که بر جمعیت تأثیر می‌گذارد، در نظر گرفته شد. با استفاده از عامل تصادفی در تمام پارامترهای اقلیمی (انحراف معیار) و یک عدد تصادفی به‌عنوان فرایندهای تصادفی محیط‌زیستی، فراوانی کاهش جمعیت به زیر ۱۰ درصد اندازه اولیه، هنگامی‌که سه نرخ تعیین‌شده جهت حداکثر ساختن برداشت به‌کاربرده می‌شود، تعیین شد. بنابراین، یک عدد تصادفی با میانگین صفر و انحراف معیار ۰/۳۶ به نرخ رشد نمایی پیش‌بینی شده اضافه شد. این عدد از خطای استاندارد معادله رگرسیونی به‌دست آمده است.

یافته‌ها

به منظور تعیین ارتباط نرخ رشد با عوامل اقلیمی، نرخ رشد به عنوان متغیر وابسته و پارامترهای اقلیمی و اندازه جمعیت به عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شدند و معادله (۲)، حاصل شد. سپس، مدل پویایی جمعیت بر اساس اطلاعات به‌دست آمده در محیط Stella تهیه شد که در شکل (۳)، نمایش داده‌شده است.

$$\ln\left(\frac{N_t}{N_{t+1}}\right) = ۱۴/۸۴۱ - ۰/۰۰۶\times TYP - ۰/۰۰۴\times Rain - ۰/۰۴۵\times NR - ۰/۴۱۹\times AvT - ۰/۰۷۴\times HIT \qquad (۲)$$

R^2=۰/۷۸ Adjusted R^2=۰/۶۹ Standard Error = ۰/۳۶



شکل (۳): مدل ساخته شده در نرم‌افزار استلا برای تغییرات جمعیت اردک سر سفید

مدلی که در شکل (۳) قابل مشاهده است (بدون پارامتر RAND)، با مقادیر اولیه برای ۵۰ سال اجرا شد. شکل (۴) تغییرات در اندازه جمعیت را با توجه به زمان نشان می‌دهد. مقادیر و معادلات به‌کاررفته در مدل اول به شرح زیر است:

TYP(t) = TYP(t - dt) + (NYP - REF) * dt
INIT TYP = ۹۸
INFLOWS:
NYP = PP*(1-HR)
OUTFLOWS:
REF = ۰/۴۱*TYP
AvT = ۱۸/۱۸
NR = ۷۸
Rain = ۲۲۵/۰۲
HIT = ۲۹/۰۲
PP = EXP (۱۴/۸۴۱-۰/۰۰۶×TYP-۰/۰۰۴×Rain-۰/۰۴۵×
NR-۰/۴۱۹×AvT-۰/۰۷۴×HIT)×TYP
H = PP*HR
HR =۰/۱ — ۰/۹

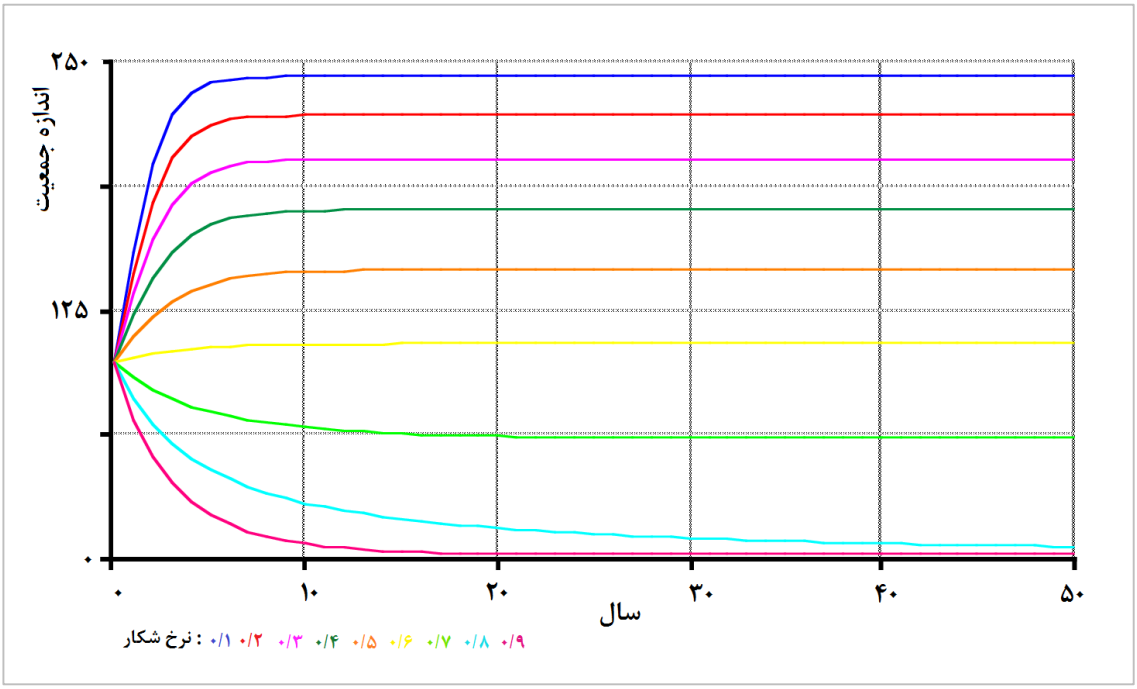
از آن جا که با نرخ ۰/۸ جمعیت به کمتر از نصف می‌رسد و در نرخ ۰/۷ جمعیتی پایدار خواهیم داشت. بنابراین، جهت داشتن جمعیت حداقلی از این جانور در منطقه به‌صورت پایدار (بیشتر از نصف جمعیت) نرخ برداشت باید بین ۰/۷ و ۰/۸ باشد تا ضمن داشتن حداکثر برداشت، جمعیت حداقلی پایدار داشته باشد. مدل با ۱۰ مقدار (۰/۷ تا ۰/۸) به کمک ماژولSensi-specs اجرا شد. نرخ برداشت ۰/۷۲ نرخی بهینه در این مدل پیشنهاد می‌شود.

مدل دوم در شکل (۳)، قابل مشاهده است که با انحراف معیار هر پارامتر و یک عدد تصادفی اجرا شد. شکل (۵)، تغییرات در اندازه جمعیت را با توجه به زمان نشان می‌دهد. مقادیر و معادلات به‌کاررفته در مدل دوم به شرح زیر است:

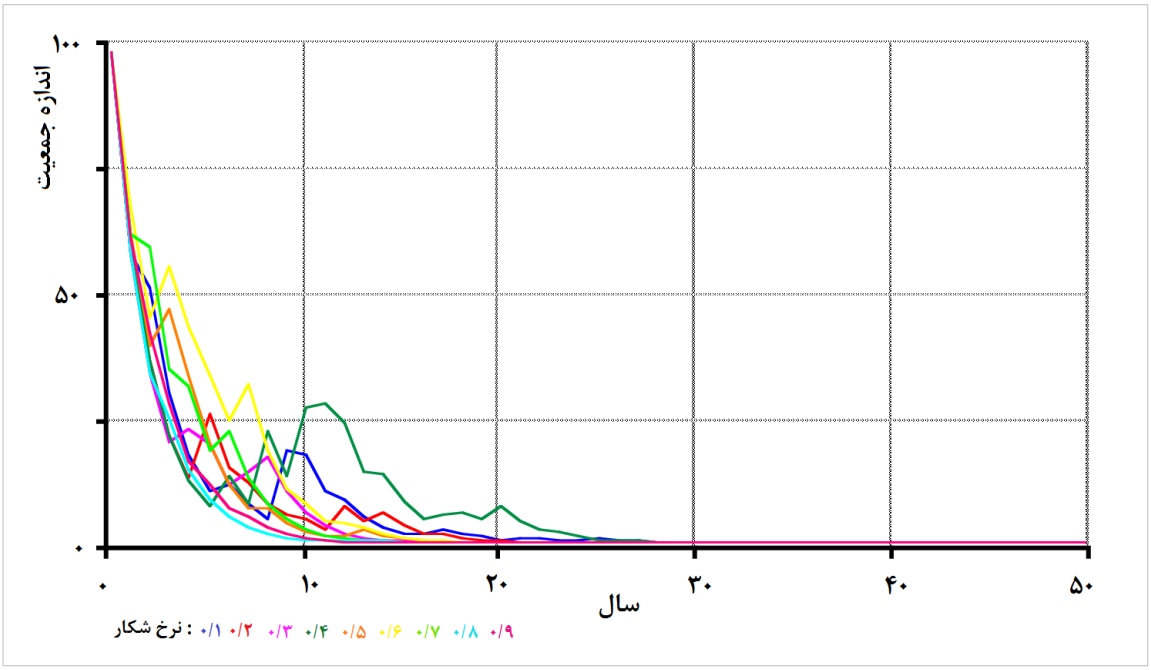
TYP(t) = TYP(t - dt) + (NYP - REF) * dt
INIT TYP = ۹۸
INFLOWS:
NYP = PP*(1-HR)
OUTFLOWS:
REF = ۰/۴۱*TYP
AvT = NORMAL (۱۸/۱۸ ،۰/۷۹)
HIT = NORMAL (۲۹/۰۲ ،۱/۳۱)
Rain = NORMAL (۲۲۵/۰۲ ،۹۲/۴۴)
NR = NORMAL (۷۸ ،۱۴)
RAND = NORMAL (۰ ،۰/۳۶)
PP = EXP (۱۴/۸۴۱-۰/۰۰۶×TYP-۰/۰۰۴×Rain-۰/۰۴۵×
NR-۰/۴۱۹×AvT-۰/۰۷۴×HIT)×TYP

H = PP*HR

HR =۰/۱ — ۰/۹



شکل (۴): نمودار تغییرات جمعیت با نرخ‌های برداشت (شکار) در مدل اولیه



شکل (۵): نمودار تغییرات جمعیت با نرخ‌های برداشت (شکار) در مدل با عدد تصادفی

جمعیت با نرخ‌های برداشت گوناگون با مدل اول (غیر تصادفی) در سال پنجاهم و با مدل دوم (تصادفی) در سال بیست و یکم در جدول (۲) ارایه شده است. با توجه به نتایج در شکل (۵)، از سال بیست و یکم به بعد با اکثر نرخ‌های برداشت مقدار جمعیت صفر است. از این‌رو، در سال بیست و یکم جمعیت نهایی مورد بررسی قرار گرفته است.

جدول (۲): جمعیت با نرخ‌های برداشت گوناگون در سال پنجاهم با مدل تصادفی و غیرتصادفی

نرخ برداشت (*HR*)		۰/۱	۰/۲	۰/۳	۰/۴	۰/۵	۰/۶	۰/۷	۰/۸	۰/۹
جمعیت در سال ۵۰	مدل اول	۲۴۲/۰۴	۲۲۲/۴۱	۲۰۰/۱۶	۱۷۴/۴۷	۱۴۴/۰۸	۱۰۶/۸۹	۵۸/۹۵	۴/۲	۰
جمعیت در سال ۲۱	مدل دوم	۱/۲	۰/۲۶	۰/۱۹	۴/۵۳	۰/۰۶	۰/۲	۰/۰۴	۰/۰۲	۰

بحث و نتیجه‌گیری

این مطالعه، به دنبال آن است تا با استفاده از نرم‌افزار استلا پویایی جمعیت اردک سر سفید و تأثیر شکار بر میزان مهاجرت سال بعد این گونه به استان را مورد بررسی قرار دهد. نتایج نشان می‌دهد این گونه باید از لحاظ حفاظتی بیشتر مورد توجه قرار گیرد. زیرا، در صورت ادامه یافتن عوامل کاهش جمعیت این پرنده، به‌ویژه شکار غیرمجاز، این گونه با خطر انقراض در ایران مواجه خواهد شد.

نتایج نشان داد در مدل اول در صورتی که برداشت با نسبت ثابتی از جمعیت در هر سال باشد، با در نظر گرفتن ۶ پارامتر اقلیمی مذکور به‌صورت ثابت و هیچ‌گونه عامل تصادفی دیگر، برداشت با نرخ‌های بیشتر از ۰/۷ کمترین جمعیت سالانه را حاصل خواهد نمود و با نرخ برداشت ۰/۹ تا سال سی و هشتم جمعیت این پرنده به صفر خواهد رسید. در این مدل، با یک قاعده ساده، می‌توان جهت داشتن جمعیت حداقلی از این جانور در منطقه به‌صورت پایدار (بیشتر از نصف جمعیت)، نرخ برداشت ۰/۷۲ را پیشنهاد کرد تا ضمن داشتن حداکثر برداشت این قاعده نیز برقرار باشد.

این در حالی است که با استفاده از عامل تصادفی در ۶ پارامتر اقلیمی و عدد تصادفی، از سال ششم به بعد با نرخ برداشت ۰/۹ طی ۵۰ سال آینده ۹۳ درصد، با نرخ برداشت ۰/۸ طی ۵۰ سال آینده ۹۱ درصد و با نرخ برداشت ۰/۷ طی ۵۰ سال آینده ۷۸ درصد جمعیت به زیر ۱۰ درصد اولیه یعنی ۱۰ عدد کاهش خواهد یافت. بر اساس مدل دوم که نزدیک‌تر به واقعیت است، بـرای داشتـن جمعیت کمینه پایـدار (MVP) از این گـونه نرخ برداشت قطعاً باید کمتر از ۰/۷ باشد.

اگر همانند مدل اول، عوامل تصادفی محیط‌زیستی نادیده گرفته شود، سطح پایدار برداشت بیشتر برآورد می‌شود. همچنین، استفاده از مدل‌های قطعی ممکن است در پیش‌بینی آثار استراتژی‌های مدیریت گمراه‌کننده باشد (McCarthy, 1996). با این حال، نتایج حاصل از شبیه‌سازی تصادفی نیز نشان می‌دهد که این راهبرد می‌تواند جمعیت مهاجر را تا سال‌های آینده به انقراض سوق دهد و نیز سبب عدم مهاجرت این گونه به تالاب‌های استان شود که نشان‌دهنده در معرض خطر انقراض قرار داشتن این گونه و نیازمندی آن به حفاظت و حمایت است.

با وجود این که در این پژوهش محدودیت‌هایی مانند فقدان آمار و اطلاعات کافی برای ارتقای مدل وجود دارد، اما می‌توان به عنوان گامی مقدماتی و الگویی جهت نشان دادن نیاز به حفاظت از این گونه در خطر انقراض محسوب شود. شناسایی عوامل تهدید اردک سر سفید و شناسایی عوامل تخریب زیستگاه این پرنده نیز عوامل مهمی در اندازه جمعیت پرندگان است که باید مورد بررسی قرار گیرد. زیرا، علاوه بر شکار غیرمجاز و عوامل اقلیمی، کاهش سطح تالاب‌ها از جمله عوامل روند رو به کاهش اردک سر سفید است. اردک سر سفید در مراحل مختلف چرخه سالانه زندگی نیازمند زیستگاه‌های مختلف است. از این‌رو، نسبت به شرایط بستر آبی انتخابی عمل می‌کند. در شرایط تنش‌های آبی (خشکسالی)، اردک‌ها در پی آب‌های عمیق‌تر هستند (Atienzar et al., 2012). تغییرات آب و هوایی به سبب خشکسالی‌های مکرر و خشک شدن بسیاری از دریاچه‌ها در آسیای مرکزی می‌تواند تهدید بزرگی برای بقای گونه باشد. برای

مثال، خشکسالی در قزاقستان و ازبکستان ممکن است باعث موفقیت کم در فصل زادآوری شود (Li Zuo Wei & Mundkur, 2003; Hughes et al., 2006). همچنین، در صورت عدم وجود آب کافی در تالاب، پرندگان مهاجر کمتری در تالاب‌ها اقامت می‌کنند. تأثیر آلودگی تالاب‌ها نیز یکی از عوامل کاهش جمعیت این گونه است. در قرن بیستم، تقریباً ۵۰ درصد زیستگاه‌های زادآوری به سبب زهکشی از بین رفتند و مناطق باقیمانده نسبت به زهکشی، آلودگی و اختلال آسیب‌پذیر هستند. مطالعه سال ۱۹۸۹، در دریاچه‌ای در پاکستان نشان داد که مطلوبیت زیستگاه به دلیل آلودگی و نیز کاهش سطح آب کاهش یافته است (Li Zuo Wei & Mundkur, 2003).

در این پژوهش، به دلیل فقدان آمار و اطلاعات کافی، تنها عوامل اقلیمی و شکار مورد بررسی قرار گرفت. در حالی که، در نظر گرفتن عوامل مؤثر دیگر بر اندازه جمعیت و رشد آن می‌تواند مدلی کارآمدتر و در نتیجه پیش‌بینی صحیح‌تری از جمعیت این گونه در آینده ارایه دهد تا راهکارهای مناسب برای حفظ جمعیت این گونه در خطر انقراض صورت گیرد.

تقدیر و تشکر

بدین‌وسیله از جناب آقای مهندس داود فداکار و مهندس محمد پور قاسم برای کمک‌ها و همکاری در تکمیل داده‌های سرشماری قدردانی می‌شود.

فهرست منابع

اداره کل حفاظت محیط‌زیست استان گلستان. آمار سرشماری پرندگان (۱۳۹۲-۱۳۷۳) تالاب‌های استان گلستان.

اداره کل هواشناسی استان گلستان. آمار پارامترهای اقلیمی ایستگاه سینوپتیک بندر ترکمن و ایستگاه‌های کلیماتوری استان گلستان (۱۳۹۲-۱۳۷۳).

بهروزی راد، ب. ۱۳۸۶. تالاب‌های ایران. انتشارات سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح. ۷۹۸ ص.

حسن‌زاده کیابی، ب.؛ قائمی، ر. و عبدلی، ا. ۱۳۷۸. اکوسیستم‌های تالابی و رودخانه‌ای استان گلستان. گرگان. انتشارات اداره کل حفاظت محیط‌زیست استان گلستان.

مرکز آمار ایران. ۱۳۹۱. تعداد انواع پرندگان مهاجر آبزی در تالاب‌های سراسری استان گلستان.

منصوری، ج.۱۳۸۷. راهنمای صحرایی پرندگان ایران. تهران. انتشارات کتاب فرزانه. ۵۱۳ ص.

Allen, P. 1994. Modeling Dynamic Biological Systems. Futures 26: 597.

Atienzar, F.; Pardo, M. A.; Armengol, X. & Barba, E. 2012. Distribution of the White-headed Duck Oxyura leucocephala is Affected by Environmental Factors in a Mediterranean Wetland. Zoological Studies 51(6): 783-792.

Carter, J. & Wang, H. 1993. A model linking the population dynamics of the giant panda (Ailuropoda melanoleuca) with bamboo life history. in Transactions of the International Union of Game Biologist Congress vol. 21, August 15-20, 1993, Halifax, Nova Scotia, Canada. P: 299-309

Hughes, B.; Robinson, J. A.; Green, A. J.; Li, Z. W. D. & Mundkur. T. 2006. International single species action plan for the conservation of the White-headed Duck Oxyura leucocephala. CMS/AEWA, Bonn, Germany.

IUCN Red List of Threatened Species. Version .2014. <www.iucnredlist.org>

Li Zuo Wei, D. & Mundkur, T. 2003. Status overview and recommendations for conservation of the White-headed Duck Oxyura leucocephala in Central Asia. Wetlands International, Kuala Lumpur.

McCarthy, M. A. 1996. Red kangaroo (Macropus rufus) dynamics: effects of rainfall, density dependence, harvesting and environmenta1 stochasticity. Journal of Applied Ecology. 33: 45-53.

Pereverzoff, J. 1998. A Study of the Florida Panthers (Felis concolor coryi) Population Using a Dynamic Modelling System. University of Northern British Columbia.

Richmond, B. 1994. System Dynamics, Systems Thinking: Let's Just Get On With It. International Systems Dynamics Conference in Sterling, Scotland.