

## معرفی الگوهای تقلیدی و مکانیسم‌های دفاعی در جانوران: درس‌هایی از طبیعت

سعید شفیعی ثابت<sup>۱\*</sup>، آناهیتا علیزاده<sup>۱</sup>

### چکیده

جهت حفظ بقا، جانوران باید از خود در برابر شکارگران دفاع کنند. به همین دلیل، یک سری توانایی‌ها و سازگاری‌هایی در آن‌ها برای دفاع از خود تکامل یافته است. نشانه‌های ضد شکارگری، مانند تقلید و استتار، به جانوران برای جلوگیری از شکار شدن کمک می‌کند و در این مقاله مورد بحث قرار خواهد گرفت. گونه‌ها برای ارسال علامت‌های هشدار به شکارگران خود از رنگ‌آمیزی آپوسماتیک، تقلید مولری و تقلید باتسی استفاده می‌کنند. در اثر الگوهای تقلیدی و استراتژی‌های مرتبط، جانوران و فرزندانشان شانس بیشتری برای افزایش بقا و انتقال ژن‌های خود دارند. استتار کارآمد یکی از روش‌هایی است که برای جلوگیری از شناسایی شدن توسط شکارگران استفاده می‌شود و در بسیاری از گونه‌ها رایج است. درک بیشتر مکانیسم‌های مربوط به الگوهای تقلیدی و استتار در جانوران، پتانسیل توسعه بیشتر در علم و بسیاری از زمینه‌های تحقیقاتی را فراهم می‌کند. به عنوان مثال روش‌های استتار را می‌توان در صنایع نظامی به کار برد و استفاده کرد. به این ترتیب، «درس‌هایی از طبیعت» می‌تواند به توسعه روش‌های صلح‌آمیز و پیشگیرانه برای پدافند غیرعامل کمک کند.

واژگان کلیدی: شکارگر، الهام زیستی، استتار، ضد شکارگری، بوم‌شناسی، صنایع نظامی

\* عهده‌دار مکاتبات، استادیار، تلفن: ۴۴۳۲۳۵۹۹ (۰۱۳)، نمابر: ۴۴۳۲۳۶۰۰ (۰۱۳)، آدرس الکترونیکی s.shafiei.sabet@guilan.ac.ir

<sup>۱</sup> گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا

## مقدمه

در این راستا، علم بیومیمتیک می‌تواند راهگشا و آغازگر تحولات بنیادین در توسعه پایدار و بهره‌برداری بهینه از منابع خدادادی در طبیعت باشد. علم بیومیمتیک یا زیست‌الگو به معنی الگوبرداری از طبیعت است [۵] تا به واسطه فناوری‌های خلاقانه بتواند با اتخاذ و استفاده از روش‌های دوستدار طبیعت، زندگی بشر را در عرصه‌های مختلف و به‌طور گسترده‌ای بهبود ببخشد [۸،۹]. تفکر و برنامه‌ریزی به‌عنوان گام‌هایی در جهت ادامه ایجاد یک نگرش روبه‌جلو درخصوص بهره‌برداری از علوم سایر گونه‌های جانوران که خداوند در نهاد آنها قرار داده است برای استفاده و ایده‌گیری در رشد امور مختلف جامعه بشری، افزایش رفاه و توسعه صلح جهانی پیشنهاد می‌گردد.

در مقاله حاضر به‌مرور اجمالی از علم بیومیمتیک یا دانش زیست‌الگو و الهام‌زیستی می‌پردازیم. همچنین در ادامه به‌روزرسانی محتوای علمی در جهت توسعه پیشرفت‌های پژوهشی در مرزهای دانش و معرفی اصطلاحات علمی-تخصصی در زمینه الگوهای تقلیدی و مکانیسم‌های دفاعی در جانوران مرور می‌شود. برخی از مهم‌ترین عملکردهایی که در رابطه با الگوهای تقلید جهت حفظ بقا و جلوگیری از شکار شدن بیان می‌گردد. البته قطعاً بهینه‌سازی عملکردهای زیستی در گونه‌های جانوری فراتر از بحث شکار و شکارگری و مراقبت و حفاظت خود در برابر گونه‌های مهاجم است و به‌علت وسعت و گستردگی این موضوع در این مقاله به آنها پرداخته نشده است.

## معرفی علم بیومیمتیک: دانش زیست‌الگو<sup>۱</sup> و الهام‌زیستی<sup>۲</sup> از طبیعت

الهام‌گرفتن از طبیعت برای حل مشکلات انسان ایده‌ای است که در محتوای علم بیومیمتیک قرار دارد [۱۰-۱۲]. در تعریفی دیگر از علم بیومیمتیک بیان شده است که شامل طراحی<sup>۳</sup>، سازگاری<sup>۴</sup> و برگرفته‌شده<sup>۵</sup> به‌عنوان الهام‌زیستی از طبیعت می‌باشد [۱۳]. باگذشت زمان، تکامل دانش بشری منجر به پیشرفت‌های علمی باورنکردنی شده است، از ماشین‌های فتوستزی در گیاهان گرفته تا چشم انسان، دانشمندان با برداشتن برگ‌ها از کتاب طبیعت، فناوری‌هایی را توسعه داده‌اند که به‌دنبال تقلید برخی از نوآوری‌های منحصربه‌فرد زندگی است.

روند رشد جمعیت، توسعه شهرنشینی و پیشرفت در صنعت و حمل‌ونقل در دهه‌های اخیر به‌صورت تصاعدی گسترش یافته است. این مؤلفه‌ها می‌توانند باعث معرفی انواع آلودگی‌های ناشی از فعالیت‌های انسانی در محیط‌زیست گردند. از طرفی جایگزینی نیروی اسب بخار به‌جای نیروی کار انسانی و بهره‌برداری از منابع طبیعی و سوخت‌های فسیلی، همگی در مقیاس‌های مختلف زمانی و مکانی موجبات تخریب و آلودگی محیط‌زیست، جدایی جغرافیایی زیستگاه‌های طبیعی، تغییرات بوم‌شناسی در محیط‌های خشکی و زیستگاه‌های آبی را فراهم نمودند [۴-۱]. تمامی این تغییرات ناشی از فعالیت‌های انسانی در کوتاه‌مدت و به‌ویژه در بلندمدت می‌تواند سطح سلامتی و بقاء جوامع بشری را تحت تأثیرات منفی خود قرار دهد [۵]. اثرات منفی فعالیت‌های انسانی می‌تواند همچنین بر سایر گونه‌های جانوری و اجتماعات آنها نیز گسترش پیدا کرده و نظم و تعادل موجود در طبیعت را دچار اختلال نماید که در مواردی همچون از بین رفتن کامل زیستگاه‌های گیاهی و جانوری ممکن است منجر به انقراض نسل گونه‌ها و اثرات جبران‌ناپذیر شود [۶]. بنابراین لزوم بهینه‌سازی روش‌های بهره‌برداری و حصول بهره‌برداری پایدار از منابع طبیعی و ذخیره‌های زیستی در کنار کاهش نسبی اثرات منفی ناشی از توسعه فعالیت‌های انسانی بر محیط‌زیست، نقش بااهمیتی دارد.

همچنین به‌نظر می‌رسد که جهت بهره‌برداری پایدار از منابع طبیعی و هم‌زمان مراقبت و حفاظت از ذخایر ارزشمند زیستی و حفظ تنوع زیستی گونه‌های جانوری به‌طور عملی و کاربردی با نتایج ملموس، نیاز به هم‌افزایی، هم‌گرایی‌های علمی بین‌رشته‌ای و ارتباط بین جوامع علمی به‌صورت ملی و بین‌المللی است. بهترین راهکارها تلاش برای رسیدن به یک دیدگاه واحد و اتخاذ تصمیم‌های بر مبنای خرد دسته‌جمعی بر پایه الگوگیری و یادگیری از مادر طبیعت است. با توجه به اینکه در مطالعات پژوهشی بین‌رشته‌ای و تخصص‌های متنوع علمی، بررسی و درک ارتباطات بین رشته‌های علمی دارای اهمیت ویژه‌ای است، این امر خود می‌تواند با تبیین نظریه‌های نوین و توسعه روش‌ها منجر به تولید دانش جدید گردد [۷].

<sup>1</sup> Biomimetic

<sup>2</sup> Bioinspiration

<sup>3</sup> Design

<sup>4</sup> Adaptation

<sup>5</sup> Derivation

## معرفی الگوهای تقلیدی و مکانیسم‌های دفاعی در جانوران: درس‌هایی از طبیعت

رفتارهای ضد شکارگری می‌توانند به افراد یک‌گونه جانوری کمک کنند که در برابر گونه‌های شکارگر تقابل داشته باشند، با آنها مواجه شوند و بتوانند مکانیسم‌های مرتبط در جهت حفظ بقا خود را به‌درستی اتخاذ نمایند. بدون تردید گونه‌های شکارگر در شناسایی گونه‌های شکار<sup>۱</sup>، حمله بردن به گونه‌های شکار<sup>۲</sup>، صید کردن و گرفتن شکار<sup>۳</sup> و سرانجام مصرف و تغذیه<sup>۴</sup> شکار، بسیار باتجربه هستند. با توجه به اهمیت و اولویت بقا برای گونه‌های شکار به‌نظر می‌رسد که گونه‌های شکار همواره در تقابل و کشمکش با تلاش‌های شکارگرانشان در هر یک از مراحل شناسایی، حمله، صید و مصرف و تغذیه‌شان می‌باشند. برای مثال، شاپرک‌های جغدی شکل<sup>۵</sup> حساسیت‌پذیری بسیار بالایی به امواج فراصوت<sup>۶</sup> دارند و در مواردی می‌توانند از شناسایی شدن توسط گونه‌های شکارگر مثل خفاش‌ها جلوگیری کنند که این به‌واسطه عکس‌العمل سریع چرخشی‌شان قبل از اینکه خفاش شکارگر موفق به شکار آنها شوند، است. علاوه بر این، زمانی که یک شاپرک در معرض شکار قرار می‌گیرد همچنان ممکن است بتواند به‌واسطه قدرت ضد شکارگری و قابلیت ضد ره‌گیری از گونه شکارگر دوری کند و این شانس را داشته باشد تا برای روزهای بیشتری زنده بماند و تولیدمثل کند.

### تنوع سازگاری‌ها و انطباق‌های ضد شکارگری

سازگاری‌های ضد شکارگری در گونه‌های جانوری مختلف به‌صورت‌های متفاوتی ظاهر می‌شود. برای مثال وقتی که جوجه‌های مرغ‌های ماهی‌خوار جوان، صداهای مرتبط با هشدار والدین خود را می‌شنوند و رفتارهای تدافعی‌شان را می‌بینند که نشان‌دهنده نزدیک شدن گونه‌های شکارگر به محل لانه است، جوجه‌ها در لانه‌های خود به‌صورت نیم‌خیز، تدافعی و بدون حرکت قرار گرفته و استتار می‌کنند. البته سطح بدن جوجه‌ها با کرک‌های خاکستری و قهوه‌ای‌رنگ پوشیده شده که تقریباً به‌طور کامل امکان استتار آنها را در محل لانه‌شان مقدور می‌سازد و به این روش، فرایند شناسایی جوجه‌ها توسط گونه‌های شکارگر مهاجم بسیار سخت‌تر و وقت‌گیرتر خواهد شد. بسیاری دیگر از گونه‌های جانوری که از رنگ‌های استتاری پنهانی استفاده می‌کنند، فرایند استتار و پنهان شدن را با انتخاب صحیح رنگ محیط زمینه

در چند دهه اخیر، با الهام از سطوح عملکردی معمول جانوران، تعداد زیادی از سطوح چندمنظوره ساخته شد که خصوصیات مختلفی دارند؛ به‌عنوان مثال:

- پوسته سوسک‌های (Carabidae) که در سطوح مختلف بستر خاک زندگی می‌کنند، سطح بدن کرم خاکی (Lumbricidae) [۱۴] و صدف‌های دریایی مانند *S. Subcrenata* [۱۵] با خاصیت ضدسایش
- پای آب‌پیمایان (Gerroidae) با خاصیت فوق آب‌گریزی [۱۶] و سطوح بالای بال حشراتی مانند *Tabanus chrysurus* با خاصیت آب‌گریزی و تمیز شونده خودبه‌خودی [۱۷]
- پوسته پای *Gekko gekko* با خاصیت چسبندگی هوشمند [۱۸، ۱۹] و پوست حیوانات حفار (نقب‌زن خاک) با خاصیت ضدچسبندگی [۲۰]
- فلس کوسه‌ماهیان مانند *Carcharhinus galapagensis* [۲۱، ۲۲] و کپور ماهیان [۲۳، ۲۴] و بال پرندگان [۲۵] با خاصیت کاهش کشیدگی و اصطکاک
- بال پروانه *Trogonoptera Brookiana* با خاصیت جذب سطوح نوری [۲۶] و چشم شب‌پره با خاصیت ضد انعکاس نسبت به نور مرئی [۲۷]
- چشم پشه *C. pipiens* با خاصیت جلوگیری از کاهش دید در مه [۲۸]
- بال انواع گونه‌های جغد مانند *Bubo bubo* با خاصیت کاهش صدا [۲۹]
- ناحیه پشتی بال سوسک *Stenocara sp.* با خاصیت جذب آب [۳۰، ۳۱]
- گونه‌های مختلف جانوری با استفاده از شناخت و درک محیط اطراف خود و انتخاب بهترین پاسخ‌ها به تغییرات عوامل زیستی و غیرزیستی، تلاش در بهینه‌سازی تولیدمثل، انتقال ژن‌های خود به نسل‌های بعدی و بقا دارند. به‌طوری‌که طی میلیون‌ها سال گونه‌های جانوری به سطح هوش بالاتری برای درک محیط اطراف خود رسیده‌اند [۱۳]. یکی از عرصه‌های مهم در زمینه بقا در محیط، شناسایی به‌هنگام عوامل خطر و گونه‌های شکارگر و پاسخ‌دهی متناسب به آن است [۳۲].

<sup>1</sup> Detecting

<sup>2</sup> Attacking

<sup>3</sup> Capturing

<sup>4</sup> Consuming

<sup>5</sup> Noctuid moth

<sup>6</sup> Ultrasound

روش‌های دفاعی فعال هم مانند فرار کردن<sup>۴</sup> یا دفاع کردن<sup>۵</sup> از خود در برابر شکارگر را می‌توان نام برد. در بسیاری از گونه‌های جانوری، فرار کردن متداول‌ترین پاسخ ضد شکارگری است. این پاسخ فرار می‌تواند به صورت حرکت‌های گیج‌کننده و با الگوهای پیچیده باشد و یا یک حرکت مستقیم و برگشتی به داخل پناهگاه باشد. اگرچه برخی از گونه‌های پستانداران بزرگ‌تر در چمنزارها و محیط‌های خشکی از فرزندان و زاده‌های خود در برابر گونه‌های شکارگر همچون شیرها دفاع می‌کنند. البته شکل‌های دیگر دفاعی بر پایه تغییرات رنگی است که در بسیاری از گونه‌های جانوری به صورت مکرر در زمینه‌های مختلفی توسعه و تکامل پیدا کرده است.

### استتار<sup>۶</sup>

استتار که به نوعی رنگ‌آمیزی پنهان<sup>۷</sup> در علوم مرتبط با بوم‌شناسی<sup>۸</sup> نامیده می‌شود، یک روش دفاعی غیرفعال اساسی است که احتمال شناسایی یک گونه شکار را نسبت به محیط زمینه‌ی رنگی توسط گونه شکارگر دشوار می‌کند. یک گونه جانوری که استتار کرده، فقط لازم است در پس‌زمینه همانند و شبیه، ساکن و بدون تحرک در جای خود باقی بماند تا از خطر شناسایی و شناخته شدن توسط گونه شکارگر در امان باشد. شکل و ظاهر گونه جانوری نیز می‌تواند به ایجاد یک استتار موفق کمک کند و دارای اهمیت ویژه‌ای باشد. برای مثال در این شیوه، شباهت محافظ<sup>۹</sup> برای جلوگیری از شکارشان استفاده می‌شود. در نوع شباهت محافظتی خاص تقلید یا شباهت<sup>۱۰</sup> کل ساختار ظاهری و شکل بدن جانور شبیه به یک شیء دیگر می‌گردد. به‌عنوان مثال کرم کاتریپلار با این شیوه شباهت محافظ شبیه شاخه‌چوب خشک و یا به شکل مواد دفعی پرندگان است. در شباهت حفاظتی کلی دیدگریزی<sup>۱۱</sup> بافت حیوان با پس‌زمینه تنظیم می‌شود. به‌عنوان مثال، رنگ و طرح پروانه با پوست درخت تنظیم می‌شود. پروانه‌ها به دلیل الگوهای رنگین‌کمانی درخشان‌شان جذابیت جهانی دارند که این رنگ‌ها اهداف بسیاری را در گروه‌های جانوری حشرات انجام می‌دهند، از جمله استتار، که برای فرار از شکارگران استفاده می‌شود.

اطراف، انجام می‌دهند. این رویداد انطباقی در بین بسیاری از گونه‌ها متداول است.

برای بیان اهمیت استتار یک‌گونه در یک محل مناسب زیستی، می‌توان به شاپرک فلفلی<sup>۱</sup> (*Biston betularia*) اشاره داشت. در برخی از مناطق جغرافیایی شامل انگلستان و ایالات متحده آمریکا، جمعیت شاپرک‌های دارای رنگ‌دانه‌های تیره ملانین بسیار محدود و کم بوده است که باگذشت زمان جمعیت این شاپرک‌ها در محدوده سال‌های ۱۸۵۰ تا ۱۹۵۰ زیاد شد [۳۳]. بسیاری از دانشجویان زیست‌شناسی می‌دانند که علت اصلی گسترش جمعیت شاپرک‌های دارای رنگ‌دانه‌های تیره ملانین چه بوده. موضوع از این قرار بوده که آلودگی‌های صنعتی باعث تیره و کدر شدن تنه درختان جنگلی در مناطق شهری شدند. این تغییرات اساسی باعث شد که شاپرک‌های بارنگ‌های روشن که در آن مناطق زندگی می‌کردند، بسیار بیشتر برای پرندگان حشره‌خواری که از آن‌ها تغذیه می‌کردند، قابل‌رؤیت باشند و این پرندگان از شاپرک‌های سفید موجود در منطقه به‌طور عمده شکار و تغذیه می‌کردند و بنابراین باعث شد ذخیره و ساختار ژنتیکی برای تولید این الگوهای رنگی کاملاً از دست‌رفته و حذف شوند که این موضوع علمی به صورت گسترده‌ای توسط آزمایش‌های معروف Kettlewell مورد تأیید قرار گرفت [۳۴]. اگرچه در تحقیقات اخیر ادعاهای متفاوت و متقابل نیز ارائه شده است [۳۵] ولی همچنان نظریه و طرح قبلی مورد تأیید و قابل‌استناد است [۳۶]. محقق نام‌برده دو شکل از شاپرک‌های فلفلی را بر روی تنه درختان قرارداد تا به این نتیجه برسد که کدام‌یک از این دو گروه با الگوها و تنوع رنگی متفاوت، بیشتر توسط انسان‌ها قابل تشخیص و تمایز می‌باشند و همچنین سریع‌تر توسط پرنده‌ها شناخته شده و مورد شکار و تغذیه قرار می‌گیرند.

گونه‌های جانوری با استفاده از مکانیسم‌های غیرفعال دفاعی<sup>۲</sup> توانایی جلوگیری از مورد تغذیه قرار گرفتن و شکار شدن را دارا می‌باشند. از جمله این روش‌های غیرفعال دفاعی در برابر گونه‌های شکارگر می‌توان به پنهان شدن<sup>۳</sup> اشاره کرد. البته

<sup>1</sup> Peppered moth

<sup>2</sup> Passive defence

<sup>3</sup> Hiding

<sup>4</sup> Escaping

<sup>5</sup> Defending

<sup>6</sup> Camouflage

<sup>7</sup> Cryptic colouration

<sup>8</sup> Ecology

<sup>9</sup> Protective resemblance

<sup>10</sup> Mimesis

<sup>11</sup> Crypsis

به‌طور لحظه‌ای شکارگران را فریب دهند و به طعمه اجازه فرار دهند و یا در حالتی دیگر می‌توانند باعث ترغیب شکارگران به حمله به بخش‌های غیرحیاطی و بی‌اهمیت بدنشان شده و به‌این‌ترتیب از خطر شکار شدن و مرگ رهایی یابند. وجود چنین ساختارهای چشم‌مانندی برای مثال در برخی از گونه‌های پروانه‌ها (پروانه‌سانان *Lepidoptera*) به‌عنوان یک ساختار ضد شکارگری و عامل اصلی حفظ بقا به‌حساب می‌آید [۳۹]. همچنین در اختاپوس‌ها نیز مکانیسم‌های تقلیدی جهت استتار، تغییر شکل فیزیکی و دیدگریزی برای دوری از گونه‌های شکارگر و موفقیت در شکارگری به‌صورت کارآمدی مورد استفاده قرار می‌گیرد [۴۰]. استفاده از این استراتژی ضد شکارگری همچنین در ماهی‌ها نیز دیده شده است [۴۱]. بنابراین این مکانیسم‌های مورد استفاده نام‌برده شده به‌طور موفق منجر به افزایش کارایی در بقاء گونه‌ها در دسته‌بندی‌های تاکسونومیک مختلف گردیده است. البته نشانه‌ها و علائم فریبنده همچنین می‌توانند در گونه‌های شکارگر نیز منجر به افزایش کارایی و راندمان شکارگری گردد [۴۲].

### علائم هشداردهنده<sup>۵</sup>

در کنار استفاده از نشانه‌ها و علائم فریب‌دهنده در برخی از گونه‌های شکار، سایر گونه‌های شکار به‌روشی دیگر احتمال خطر شکار شدنشان توسط گونه‌های شکارگر را کاهش داده‌اند. از آنجایی که بیشتر جانوران در شبکه‌های غذایی طعمه و شکار سایر گونه‌ها هستند، راهکارها و رفتارهای هشداردهنده گسترده است. گونه‌های جانوری که به‌راحتی قابل مشاهده و دستیابی توسط شکارگران هستند، روش‌های مقابله و دفاعی مکانیکی و یا شیمیایی در برابر گونه‌های شکارگر انتخاب نمودند. به‌همین دلیل بسیاری از گونه‌های شکارگر قویاً از حمله به جوجه‌تیغی و راسوها صرف‌نظر می‌کنند. برخی از حشرات به‌صورت غیرفعال توانایی دفاع شیمیایی را به‌دست می‌آورند که به‌واسطه تجمع سموم گیاهان سمی مورد تغذیه در بدنشان است. برای مثال پروانه‌های شهریار<sup>۶</sup> با اسم علمی (*Danaus plexippus*) از راسته *Lepidoptera*، سموم کاردیاک و مرتبط با قلبی-عروقی را

همچنین این الگوهای رنگی به‌عنوان علامت هشداردهنده و نوعی تقلید از پروانه‌های بدمزه و سمی استفاده می‌شود [۳۷] که در ادامه به آنها می‌پردازیم. از طرفی پدیده استتار برای گونه‌های شکارگر نیز دارای اهمیت است. به‌طوری‌که برای شکار کردن، برخی از جانوران باید ساختارهای عملکردی عالی را ایجاد کنند که تکامل یافته‌تر و برتر از طعمه‌ها یا گونه‌های شکار آنها باشند. از یک‌طرف، برخی از جانوران در طول پرواز خود ساکت می‌شوند، مثلاً پرواز بی‌صدای جغد. بسیاری از گونه‌های جغدها توانایی پرواز بی‌صدا را دارند. جغد آرام در هر دو حالت پرواز فرود آمدن و بال‌زدن، در بسامدهای پایین زیر ۲ کیلوهرتز صدا تولید می‌کند که پایین‌تر از محدوده شنوایی طعمه و شکارش است [۲۹]. البته برخی از جانوران نیز از استراتژی دیگری برای شکار موفق استفاده می‌کنند. برای مثال گونه‌ای از حشرات متعلق به خانواده آب‌بازان (*Gerridae*) در طول حرکت خود به سمت طعمه‌های خود بسیار سریع‌تر و حساس‌تر می‌شوند. در مطالعه‌ای نشان داده شد که یک پای این‌گونه آب‌باز می‌تواند وزنی معادل ۱۵ برابر وزن بدن خود را تحمل کند و این درحالی است که غرق نمی‌شود [۱۶،۳۸]. سرعت سرخوردن آن در ثانیه می‌تواند ۱۰۰ برابر فاصله بدنش باشد که معادل شنا کردن یک نفر با قد ۱.۸ متر با سرعت ۴۰۰ مایل در ساعت است که تقریباً معادل سرعت ۶۴۳.۷۴ کیلومتر بر ساعت است. همه این‌ها تضمین می‌کند که این‌گونه آب‌باز می‌تواند به‌سرعت روی سطح آب سر بخورد و با سرعت بسیار بالا برای شکار طعمه انعطاف‌پذیر باشد. اگرچه برای گونه‌هایی که این توانایی در ایجاد شرایط استتار را ندارند، روش‌ها و مکانیسم‌های دیگری جهت کاهش حداکثری احتمال شکار شدن بعد از رؤیت شدن توسط گونه شکارگر در جهت حفظ بقا مورد استفاده قرار می‌گیرد که در ادامه به برخی از این موارد اشاره می‌گردد.

### نشانه‌ها و علائم فریب‌دهنده<sup>۱</sup>

نشانه‌ها و علائم فریب‌دهنده شکل دیگری از رنگ‌آمیزی تطبیقی<sup>۲</sup> است که می‌تواند به‌طور ویژه برای گونه‌هایی که در معرض خطر شکار شدن قرار دارند مورد استفاده قرار گیرد. برای مثال چشم‌های تقلبی<sup>۳</sup> بزرگ و یا سرهای دروغین<sup>۴</sup> ظاهراً می‌توانند

<sup>1</sup> Deceptive markings

<sup>2</sup> Adaptive colouration

<sup>3</sup> Fake eyes

<sup>4</sup> False heads

<sup>5</sup> Alarming signals

<sup>6</sup> Monarch butterflies

قدرت بازدارندگی و دوری از گونه شکارگر کسب کند. پدیده‌ای که در آن تقلید شباهت سطحی و ظاهری به گونه‌ای دیگر به‌عنوان مدل و الگو انجام می‌شود. در گونه طعمه اغلب تقلید تدافعی و وانمودسازی با استفاده از مکانیسم‌های رنگ‌آمیزی هشداری یک ویژگی متداول است که در بسیاری از بی‌مهرگان، ماهی‌ها، دوزیستان، خزندگان و پرندگان وجود دارد [۴۸]. قورباغه‌های سمی (Dendrobatidae) یکی از شناخته‌شده‌ترین نمونه‌های وقوع هم‌زمان رنگ‌آمیزی و سمیت هشداردهنده هستند [۴۹]. جانور گونه ضعیف‌تر و شکار با تغییر رنگ پوست خود این پیام را القا می‌کند که بدنی سمی یا خطرناک دارد [۴۹]. پیام‌های<sup>۶</sup> رنگ هشدار در درجه اول، دیداری‌اند<sup>۷</sup> و از رنگ‌های روشن با تباین بالا به همراه الگوهای راه‌راه استفاده می‌کنند. این پیام‌های هشدار، نشانه‌های صادقانه‌ای از مضر بودن طعمه هستند [۵۰]. بنابراین این استراتژی کاملاً با استراتژی قبلی که استتار بوده است و در آن جانور گونه شکار تا جایی که امکان داشت رنگ و ساختار بدن خود را بسیار مشابه با محیط زمینه همسان می‌ساخت، متفاوت و قابل تمایز است. در تقلید/وانمودسازی از نوع مولری<sup>۸</sup> برخی جانوران سمی هستند و با استفاده از رنگ هشدار این پیام را به‌درستی به شکارگر منتقل می‌کنند و با این کار جان شکارگر نیز حفظ می‌شود. درحالی‌که در تقلید/وانمودسازی از نوع باتسی<sup>۹</sup> برخی جانوران دیگر بدون اینکه سمی باشند این رنگ‌ها را به خود گرفته و پیام را بدون این که درست باشد به‌منظور بازدارندگی القا می‌کنند. البته در تعریفی دیگر عملکرد رنگ‌آمیزی هشداری برای جلوگیری از حمله شکارگران حاوی پیامی مهم است مبنی بر اینکه «من یک‌گونه شکار سمی هستم». هشداری که صریح و به‌راحتی قابل تشخیص است، یک مکانیسم دفاعی اولیه قابل مشاهده است و سایر انواع دفاع‌های غیرقابل مشاهده از نوع ثانویه هستند [۵۱].

### نتیجه‌گیری

گونه‌های جانوران در رده‌های مختلف با ساختار بدنی ابتدایی و تکامل اولیه تا گونه‌هایی با تکامل بالاتر، در طی میلیون‌ها سال

از گیاهان گل‌دار علف شیر<sup>۱</sup> از جنس *Asclepias* که در مراحل لاروی از آنها تغذیه می‌کنند را جذب و در بدن ذخیره می‌کنند [۴۳]. این سموم پس از دگرذیسی در بدن پروانه‌های بالغ شهریار باقی می‌مانند. بدن این‌گونه از پروانه در برابر سموم مقاوم است ولی این ترکیبات برای بسیاری از گونه‌های جانوری خطرناک و ناخوشایند است. پرندگان که پروانه‌های شهریار را مورد تغذیه قرار می‌دهند مجدد از مسیر دهانی آنها را دفع می‌کنند و به‌سرعت یاد می‌گیرند که از تغذیه آن‌گونه حشره خاص دوری کنند [۴۴، ۴۵]. معمولاً گونه‌های جانوری که دارای مکانیسم‌های دفاعی فیزیکی و یا شیمیایی هستند غالباً از نظر رنگی، بدنشان به رنگ روشن است. این نوع اعلام‌خطر به گونه‌های شکارگر به‌واسطه مشخص بودن رنگ بدن تحت عنوان آپوسماتیسیم<sup>۲</sup> یا رنگ‌آمیزی هشدار<sup>۳</sup> است. آپوسماتیسیم (ریشه یونانی، apo = دور، sematic = نشانه) استفاده از رنگ هشداردهنده برای اطلاع دادن به شکارگران احتمالی است که علامت‌دهنده سمی یا خطرناک بودن گونه جانور است [۴۶]. رنگ هشدار اصطلاحی است در زیست‌شناسی به‌طوری‌که برخی جانوران در رویارویی با خطر حمله جانوری دیگر رنگ بدن خود را بسیار پررنگ کرده یا به رنگ‌هایی خاص درمی‌آورند که شیوه‌ای از پیام‌دهی در زیست‌شناسی محسوب می‌گردد و برای جانور شکارگر، می‌تواند حامل پیام هشدار یا بازدارندگی باشد. به‌نظر می‌رسد این نوع رنگ‌آمیزی اعلام‌خطر به‌صورت تطبیقی<sup>۴</sup> باشد، به این خاطر که گونه‌های شکارگر خیلی سریع یاد می‌گیرند که باید از گونه شکار زیان‌آور که به‌شدت نمایان هستند، اجتناب و دوری کنند. برای مثال برخی از حشرات و عنکبوت‌های بدون خطر از نظر ظاهری بسیار شبیه به مورچه‌های گزنده و نیش‌دار هستند و نحوه رفتارهای حرکتی خودشان را نیز همانند مورچه‌های گزنده و نیش‌دار مشابه نموده‌اند [۴۷].

### تقلید یا وانمودسازی<sup>۵</sup> در گونه‌های جانوری

یک‌گونه شکارگر یا شکار با به‌کارگیری الگوهای تقلیدی می‌تواند مزایای قابل‌توجهی به‌ترتیب برای افزایش کارایی شکار و افزایش

<sup>1</sup> Milkweed

<sup>2</sup> Aposematism

<sup>3</sup> Aposematic colouration

<sup>4</sup> Adaptive

<sup>5</sup> Mimicry

<sup>6</sup> Signal

<sup>7</sup> Visual

<sup>8</sup> Mullerian mimicry

<sup>9</sup> Batesian mimicry



[8]. Sejnowski, T. J. (2018). Living machines: a دستینه of research in biomimetic and biohybrid systems. Oxford University Press.

[9]. Benyus, J. M. (1997). Biomimicry, William Morrow New York.

[10]. Kumar, C. S. (Ed.). (2010). Biomimetic and bioinspired nanomaterials. John Wiley & Sons.

[11]. Bar-Cohen, Y. (2005). Biomimetics: biologically inspired technologies. CRC press.

[12]. Mukherjee, A. (Ed.). (2010). Biomimetics: Learning from Nature. BoD—Books on Demand.

[13]. Han, Z., Mu, Z., Yin, W., Li, W., Niu, S., Zhang, J., & Ren, L. (2016). Biomimetic multifunctional surfaces inspired from animals. *Advances in Colloid and Interface Science*, Vol. 234. PP. 27-50.

[14]. Tong, J., Zhang, Z., Ma, Y., Chen, D., Jia, B., & Menon, C. (2012). Abrasive wear of embossed surfaces with convex domes. *Wear*, 274, 196-202.

[15]. Tian, X., Han, Z., Li, X., Pu, Z., & Ren, L. (2010). Biological coupling anti-wear properties of three typical molluscan shells—*Scapharca subcrenata*, *Rapana venosa* and *Acanthochiton rubrolineatus*. *Science China Technological Sciences*, 53, 2905-2913.

[16]. Gao, X., & Jiang, L. (2004). Water-repellent legs of water striders. *nature*, 432(7013), 36-36.

[17]. Byun, D., Hong, J., Ko, J. H., Lee, Y. J., مانک, H. C., Byun, B. K., & Lukes, J. R. (2009). Wetting characteristics of insect wing surfaces. *Journal of Bionic Engineering*, 6(1), 63-70.

[18]. Bhushan, B., & Sayer, R. A. (2007). Surface characterization and friction of a bio-inspired reversible adhesive tape. *Microsystem Technologies*, 13, 71-78.

[19]. Bhushan, Bharat & Sayer, R.A. (2007). Gecko Feet: Natural attachment systems for smart adhesion. *Applied Scanning Probe Methods VII*. 7. 41-76.

[20]. Ren, L. Q., Tong, J., Li, J. Q., & Chen, B. C. (2001). Soil adhesion and biomimetics of soil-engaging components: a review. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 79(3), 239-264.

[21]. Bechert, D. W., Bruse, M., & Hage, W. (2000). Experiments with three-dimensional riblets as an idealized model of shark skin. *Experiments in fluids*, 28(5), 403-412.

[22]. Bai, X., Zhang, X., & Yuan, C. (2016). Numerical analysis of drag reduction performance of different shaped riblet surfaces. *Marine Technology Society Journal*, 50(1), 62-72.

[23]. Liu, M., Wang, S., Wei, Z., Song, Y., & Jiang, L. (2009). Bioinspired design of a superoleophobic and low adhesive water/solid interface. *Advanced Materials*, 21(6), 665-669.

[24]. Liu, K., & Jiang, L. (2011). Bio-inspired design of multiscale structures for function integration. *Nano Today*, 6(2), 155-175.

توانایی‌های بی‌بدیلی در جهت حفظ بقاء خود در شرایط محیط طبیعی زندگی خود اتخاذ کرده‌اند. از این توانایی‌ها می‌توان به قابلیت‌های انواع استتار، پیام‌های هشداردهنده به روش‌های متنوع قابل‌درک و همچنین تقلید و وانمودسازی اشاره کرد. انسان‌ها می‌توانند با مطالعه و ژرف‌نگری در این قابلیت‌ها و توانایی‌های گونه‌های مختلف جانوری که خداوند در وجود آنها قرار داده است به‌عنوان «درس‌هایی از طبیعت» الگوبرداری نموده و با استفاده از علوم نوین و مدل‌سازی‌ها در جهت افزایش سطح رفاه و زندگی جامعه بشری اقدام نمایند. بدون شک بررسی مکانیسم‌های استتار و الگوهای دفاعی در جانوران می‌تواند در زمینه‌های صنایع نظامی و علوم وابسته به آن و در توسعه پیشرفت‌های پدافند غیرعامل نیز مورد توجه قرار گیرد.

فایل ضمیمه مقاله در فرمت PDF قابل دریافت می‌باشد.

#### منابع و مؤآخذ

[1]. Haddad, N. M., Brudvig, L. A., Clobert, J., Davies, K. F., Gonzalez, A., Holt, R. D., ... & Townshend, J. R. (2015). Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems, *Science advances*, Vol 1, No. 2, e1500052.

[2]. Francis, C. D., Ortega, C. P., & Cruz, A. (2009). Noise pollution changes avian communities and species interactions, *Current biology*, Vol. 19, No. 16. PP. 1415-1419.

[3]. Shannon, G., McKenna, M. F., Angeloni, L. M., Crooks, K. R., Fristrup, K. M., Brown, E., ... & Wittemyer, G. (2016). A synthesis of two decades of research documenting the effects of noise on wildlife, *Biological Reviews*, Vol. 91, No. 4. PP. 982-1005.

[4]. Slabbekoorn, H., Bouton, N., van Opzeeland, I., Coers, A., ten Cate, C., & Popper, A. N. (2010). A noisy spring: the impact of globally rising underwater sound levels on fish, *Trends in ecology & evolution*, Vol. 25, No. 7. PP. 419-427.

[5]. زینب موسوی موحدی، "فناوری‌های جدید بر مبنای دانش زیست‌الگو و الهام‌زیستی" فصلنامه نشاء علم، مجلد ۷، شماره ۱، صفحات ۶۱-۵۳، سال ۱۳۹۵

[6]. Blickley 1, J. L., & Patricelli 2, G. L. (2010). Impacts of anthropogenic noise on wildlife: research priorities for the development of standards and mitigation, *Journal of International Wildlife Law & Policy*, Vol .13, No. 4. PP. 274-292.

[7]. علی‌اکبر موسوی موحدی " زیست‌الگو: همگرایی در علم و حکمت" فصلنامه نشاء علم، مجلد ۴، شماره ۱، صفحات ۹-۶، سال ۱۳۹۲.

- predator mechanisms, principally demonstrated in the Lepidoptera. *Biological Reviews*, 80(4), 573-588.
- [40]. Hanlon, r. t., Forsythe, j. w., & Joneschild, d. e. (1999). Crypsis, conspicuousness, mimicry and polyphenism as antipredator defences of foraging octopuses on Indo-Pacific coral reefs, with a method of quantifying crypsis from video tapes. *Biological Journal of the Linnean Society*, 66(1), 1-22.
- [41]. Lönnstedt, O. M., McCormick, M. I., & Chivers, D. P. (2013). Predator-induced changes in the growth of eyes and false eyespots. *Scientific Reports*, 3(1), 2259.
- [42]. Stevens, M. (2016). *Cheats and deceits: how animals and plants exploit and mislead*. Oxford University Press.
- [43]. Brower, L. P. (1984). Chemical defence in butterflies. In *Symposia of the royal entomological society of London*.
- [44]. van Zandt Brower, J. (1958). Experimental studies of mimicry in some North American butterflies: Part I. The monarch, *Danaus plexippus*, and viceroy, *Limnitis archippus archippus*. *Evolution*, PP. 32-47.
- [45]. Brower, J. V. Z. (1958). Experimental studies of mimicry in some North American butterflies: Part II. *Battus philenor* and *Papilio troilus*, *P. polyxenes* and *P. glaucus*. *Evolution*, PP. 123-136.
- [46]. Breed, M. D., & Moore, J. (2016). *Animal Behavior*, 2nd ed.; Academic Press: Cambridge, MA, USA, PP. 326-355.
- [47]. Mclver, J. D., & Stonedahl, G. (1993). Myrmecomorphy: morphological and behavioral mimicry of ants. *Annual Review of Entomology*, Vol. 38, No. 1. PP. 351-377.
- [48]. Komarek, S. (1998). *Mimicry, aposematism and related phenomena in animals and plants. Bibliography 1800-1990*. Vesmir.
- [49]. Santos, J. C., Coloma, L. A., & Cannatella, D. C. (2003). Multiple, recurring origins of aposematism and diet specialization in poison frogs. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(22), 12792-12797.
- [50]. Maan, M. E., & Cummings, M. E. (2012). Poison frog colors are honest signals of toxicity, particularly for bird predators. *The American Naturalist*, 179(1), E1-E14.
- [51]. Ruxton, G. D., Allen, W. L., Sherratt, T. N., & Speed, M. P. (2019). *Avoiding attack: the evolutionary ecology of crypsis, aposematism, and mimicry*. Oxford university press.
- [25]. Fang, Y., Sun, G., Cong, Q., Chen, G. H., & Ren, L. Q. (2008). Effects of methanol on wettability of the non-smooth surface on butterfly wing. *Journal of Bionic Engineering*, 5(2), 127-133.
- [26]. Han, Z., Niu, S., Shang, C., Liu, Z., & Ren, L. (2012). Light trapping structures in wing scales of butterfly *Trogonoptera brookiana*. *Nanoscale*, 4(9), 2879-2883.
- [27]. Genzer, J., & Efimenko, K. (2006). Recent developments in superhydrophobic surfaces and their relevance to marine fouling: a review. *Biofouling*, 22(5), 339-360.
- [28]. Gao, X., Yan, X., Yao, X., Xu, L., Zhang, K., Zhang, J., ... & Jiang, L. (2007). The dry style antifogging properties of mosquito compound eyes and artificial analogues prepared by soft lithography. *Advanced Materials*, 19(17), 2213-2217.
- [29]. Chen, K., Liu, Q., Liao, G., Yang, Y., Ren, L., Yang, H., & Chen, X. (2012). The sound suppression characteristics of wing feather of owl (*Bubo bubo*). *Journal of Bionic Engineering*, 9(2), 192-199.
- [30]. Parker, A. R., & Lawrence, C. R. (2001). Water capture by a desert beetle. *Nature*, 414(6859), 33-34.
- [31]. Zhai, L., Berg, M. C., Cebeci, F. C., Kim, Y., Milwid, J. M., Rubner, M. F., & Cohen, R. E. (2006). Patterned superhydrophobic surfaces: toward a synthetic mimic of the Namib Desert beetle. *Nano Letters*, 6(6), 1213-1217.
- [32]. Aminifard, M., Shafiei sabet, S. (2022). The Importance of Behavioural Studies and Bioacoustics of Aquatic Animals, *Science Cultivation*, Vol. 12, No. 2. PP. 191-197.
- [33]. Grant, B. S., Owen, D. F., & Clarke, C. A. (1996). Parallel rise and fall of melanic peppered moths in America and Britain. *Journal of Heredity*, Vol. 87, No. 5. PP. 351-357.
- [34]. Kettlewell, H. B. D. (1955). Selection experiments on industrial melanism in the Lepidoptera. *Heredity*, Vol. 9. No.3. PP. 323-342.
- [35]. Coyne, J. A. (1998). Not black and white. <https://www.nature.com/articles/23856>
- [36]. Grant, B. S. (1999). Fine tuning the peppered moth paradigm. <https://www.jstor.org/stable/2640740>
- [37]. Han, Z., Wu, L., Qiu, Z., & Ren, L. (2009). Microstructure and structural color in wing scales of butterfly *Thaumantis diores*. *Chinese Science Bulletin*, Vol. 54, NO. 4. PP. 535-540.
- [38]. Gorb, S. N. (2011). Insect-inspired technologies: insects as a source for biomimetics. *Insect Biotechnology*, 241-264.
- [39]. Stevens, M. (2005). *The role of eyespots as anti-*



## An Introduction to Mimicry Patterns and Defense Mechanisms in Animals: Lessons From Nature

Saeed Shafiei Sabet<sup>\*1</sup>, Anahita Alizadeh<sup>1</sup>

To survive, animals must defend themselves against predators. For this reason, a series of abilities and adaptations have evolved to enable animals to defend themselves. Anti-predatory signals, such as mimicry and camouflage, facilitate animals to avoid predation and are discussed in this article. Species adopt aposematic colouration, Mullerian mimicry and Batesian mimicry to send warning signals to their predators. As a result of mimetic patterns and related strategies, animals and their offspring have a better chance of enhancing their survival and passing on their genes. Effective camouflage is one of the methods used to avoid detection from predation and is common in many species. A greater understanding of mechanisms related to mimetic patterns and camouflage in animals has the potential to further develop the science of biological inspiration. For example, camouflage methods can be applied and used in military industries. As such, "lessons from nature" can help develop peaceful and preventive methods for passive defense.

**Keywords:** Predator, Bioinspiration, Camouflage, Antipredator, Ecology, Military Industries

<sup>\*</sup> Corresponding Author, Assistant Professor, Tel: (+98)9111447909, Fax: 013-44323600, E-mail: s.shafiei.sabet@guilan.ac.ir

<sup>1</sup> Fisheries Department, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowmeh Sara, Iran