



A Bio-Engineering Analysis of Birds Mentioned in the Holy Quran: A Biomimetic Approach to Technological Innovation with Case Studies of the Crow and the Hoopoe

Seyed Sharafoddin Hosseini 

¹ Department of Mechanical Engineering, Technical and Vocational University (TVU), Tehran, Iran.

ARTICLE INFO

Article Type:
Original Research

Received: 02.01.2026
Revised: 28.07.2026
Accepted: 05.09.2026

Keyword:
Biomimicry
Birds in the Holy Quran
Technological Innovation
Crow and Hoopoe
Biomimetics

***Corresponding Author:**
Seyed Sharafoddin Hosseini
Email: shhosseini@tvu.ac.ir

ABSTRACT

In addition to its spiritual and ethical guidance, the Holy Quran contains references to natural phenomena and living organisms that can be explored through interdisciplinary scientific research. Among these references, the hoopoe (*Upupa epops*) and the crow (*Corvus* spp.) exhibit distinctive biological, behavioral, and cognitive characteristics that provide valuable inspiration for biomimetic research. The aim of this study is to analyze the biological and behavioral characteristics of these two birds and extract their functional principles to propose potential engineering and technological applications. This descriptive-analytical study was conducted through an extensive review of Quranic references, biological and ethological studies, and biomimetic engineering literature. The findings indicate that characteristics such as the probing beak, respiratory mechanisms, and locomotion patterns of the hoopoe, together with the cognitive abilities, social behaviors, and structural features of the crow, provide functional principles applicable to the design of bio-inspired sensors, robotic systems, intelligent technologies, and advanced materials. Accordingly, this study proposes a systematic framework for translating the biological characteristics of these birds into engineering concepts based on functional principles. The results demonstrate that integrating biological knowledge with Quranic references can provide a valuable foundation for interdisciplinary research and future developments in biomimetic technologies.



EXTENDED ABSTRACT

Introduction

The Holy Quran contains meaningful references to natural phenomena and living organisms, offering unique opportunities for interdisciplinary and scientific analysis. Among these references, certain birds, particularly the crow and the hoopoe, display distinctive biological, behavioural, and cognitive traits that are highly relevant for biomimetic research and technological innovation.

The crow is recognized for its advanced intelligence, problem-solving skills, tool use, and social learning, making it a model for studies in cognitive science, artificial intelligence, and adaptive systems. Its structural features, including lightweight lattice bones and nanostructured feathers, provide additional inspiration for materials science, aerodynamics, and energy-efficient design.

The hoopoe, mentioned in the Quran as a perceptive messenger, exhibits precise orientation, efficient flight patterns, a sensitive probing beak, and unique defensive mechanisms. These traits serve as models for mechanical sensors, exploratory robotics, compact architecture, and optimized energy transfer systems. Recent advances in biomimicry highlight the potential of learning from natural systems to improve design efficiency, multifunctionality, and sustainability. This study aims to systematically analyse the biological, physiological, and behavioural characteristics of these two birds, linking Quranic references with modern scientific knowledge to develop principles for innovation across engineering, technology, and design.

Methodology

This study employed an analytical-descriptive approach based on extensive literature review and comparative analysis. Zoological, anatomical, physiological, cognitive, and behavioural data for the crow and hoopoe were compiled from peer-reviewed sources. Quranic references were integrated to contextualize these biological features within a historical and philosophical framework.

The methodology included:

1. Comparative Morphology and Biomechanics: Examining skeletal, muscular, and feather structures relevant to locomotion, load-bearing, and aerodynamic efficiency.
2. Behavioural Analysis: Assessing cognitive abilities, problem-solving strategies, social interactions, and communication patterns.
3. Physiological Evaluation: Investigating the respiratory system, sensory organs, and energy management in flight and foraging.

4. Cross-Disciplinary Mapping: Translating biological and behavioural traits into design principles for mechanical, electrical, architectural, and computational systems.

The study focused on identifying traits with potential for practical engineering and technological applications, including robotics, sensors, energy-efficient systems, AI algorithms, and materials science.

c) Results and Discussion

Hoopoe Capabilities and Engineering Inspirations

Beak: Sensitive to micro-vibrations, enabling detection of subterranean prey; inspires high-precision sensors, exploratory robotic probes, and subsurface monitoring systems.

Crest: Dual-layer feathers provide rapid visual signalling and defence; offers models for deployable structures and adaptive display systems.

Respiratory System: Unidirectional airflow through lungs and air sacs maximizes oxygen efficiency and reduces thermal load; inspires ventilation systems, aerial robotics, and life-support technologies.

Flight Pattern: Alternating flapping and gliding reduces energy expenditure; informs drone mobility, robotic locomotion, and turbine design.

Nesting and Defence: Cavity nesting and chemical deterrence suggest designs for compact, resilient architecture and non-invasive defence strategies.

Crow Capabilities and Engineering Inspirations

Cognition and Behaviour: Advanced problem-solving, tool use, and social learning inform AI algorithms, adaptive robotics, and intelligent systems.

Vocal Communication: Over 250 distinct calls with dialects; inspires dynamic communication networks, multi-agent coordination, and social algorithms.

Structural Features: Lightweight lattice bones, strong yet flexible beaks, and nanostructured black feathers provide models for lightweight structures, photonic materials, thermal insulation, and energy-efficient coverings.

Aesthetics and Function: Black plumage with thermal regulation potential; applicable in stealth materials, photonics, and environmental control systems.

Cross-Disciplinary Applications

Mechanical Engineering & Robotics: Adaptive manipulators, multifunctional appendages, deployable and flexible structures.

Energy & Environmental Systems: Optimized aerodynamic surfaces, energy-efficient drones, dynamic turbines, and ventilation inspired by unidirectional airflow.

Electrical Engineering & Sensors: Bio-inspired vibration and chemical detection, low-light imaging, and neuromorphic processing.

Computer Science & AI: Reinforcement learning, hierarchical planning, swarm intelligence, and adaptive decision-making models.

Architecture & Design: Deployable and compact structures, insulation systems, resilient and multifunctional materials.

Arts & Education: Color palettes, kinetic sculptures, interactive installations, and biomimetic textiles.

Sports & Rehabilitation: Energy-efficient motion, balance training, coordination, and respiratory optimization.

The study highlights that both birds exhibit multifunctional adaptations. The hoopoe provides models for sensing, locomotion, and energy efficiency, whereas the crow offers examples of cognitive processing, structural optimization, and advanced communication. Together, these species demonstrate natural solutions that are efficient, adaptive, and sustainable, suitable for translation into modern technological systems.

d) Conclusions

Analysis of the crow and hoopoe demonstrates that Quranic references align with observable biological and behavioral traits, offering evolutionarily optimized, multifunctional, and adaptive models for modern engineering, technology, and design.

The hoopoe, with its sensitive beak, crest, unidirectional respiratory system, undulating flight, and defensive strategies, serves as a model for sensors, exploratory robots, energy-efficient drones, ventilated architectures, and compact multifunctional structures.

The crow, with advanced cognition, social learning, problem-solving abilities, vocal complexity, and optimized structural features, provides templates for AI algorithms, adaptive robotics, advanced materials, communication networks, and energy-efficient systems.

This research underscores the value of developing a systematic biomimetic framework grounded in religious texts, bridging traditional knowledge with modern science. Future studies should focus on quantitative modeling, engineering simulations, and experimental validation to translate these biological principles into implementable technologies. This approach opens avenues for innovation in robotics, architecture, materials science, AI, aerospace, energy systems, and design, illustrating how interdisciplinary insights from religious, biological, and engineering perspectives can converge to generate practical solutions.



تحلیل زیستی و مهندسی پرندگان مذکور در قرآن کریم با رویکرد الهام گیری برای نوآوری های فناورانه : مطالعه موردی کلاغ و هدهد

سید شرف الدین حسینی ^{id}

۱- گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه ملی مهارت، تهران، ایران.

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	قرآن کریم افزون بر کارکرد هدایتی، حاوی اشاراتی به پدیده های طبیعی و موجودات زنده است که می توان آن ها را در چارچوب پژوهش های میان رشته ای مورد بررسی قرار داد. در این میان، کلاغ و هدهد به دلیل ویژگی های زیستی، رفتاری و شناختی خود، ظرفیت مناسبی برای مطالعات زیست الهام دارند. هدف این پژوهش، تحلیل ویژگی های زیستی و رفتاری این دو پرنده و استخراج اصول عملکردی آن ها برای ارائه کاربردهای پیشنهادی در حوزه مهندسی و فناوری است. این پژوهش با روش توصیفی - تحلیلی و بر پایه مطالعات کتابخانه ای، بررسی منابع زیست شناسی، رفتارشناسی، مهندسی زیست الهام و اشارات قرآنی مرتبط انجام شده است. نتایج نشان داد که ویژگی هایی مانند منقار کاوشگر، سازوکارهای تنفسی و الگوهای حرکتی هدهد، و نیز توانایی های شناختی، رفتارهای اجتماعی و برخی ویژگی های ساختاری کلاغ، قابلیت استخراج اصول عملکردی قابل استفاده در طراحی حسگرها، ربات های زیست الهام، سامانه های هوشمند و مواد پیشرفته را دارند. براین اساس، پژوهش حاضر چارچوبی برای تبدیل ویژگی های زیستی این دو پرنده به ایده های مهندسی مبتنی بر اصول عملکردی ارائه می کند و نشان می دهد که تلفیق دانش زیست شناسی با اشارات قرآنی می تواند زمینه ساز پژوهش های میان رشته ای و توسعه فناوری های زیست الهام در آینده باشد.
کلید واژگان: زیست الهام پرندگان در قرآن کریم نوآوری فناورانه کلاغ و هدهد زیست الگوبرداری	
*نویسنده مسئول: سید شرف الدین حسینی پست الکترونیکی: shhosseini@tvu.ac.ir	



مقدمه

قرآن کریم به عنوان متنی الهی، علاوه بر کارکرد هدایت گرانه، دربردارنده اشارات متعددی به پدیده‌های طبیعی و موجودات زنده است که می‌توان آن‌ها را از منظر علمی و بین‌رشته‌ای مورد تأمل و بررسی قرار داد. در میان این اشارات، نام بردن از برخی حیوانات، به‌ویژه پرندگان، همواره توجه پژوهشگران علوم قرآنی، زیست‌شناسی و علوم مهندسی را به خود جلب کرده است. ذکر این موجودات در بسترهای معنادار و هدفمند قرآنی نشان می‌دهد که این انتخاب‌ها تصادفی نبوده و می‌توانند حامل پیام‌ها و الگوهای الهام بخش برای شناخت بهتر نظام خلقت باشند. در این میان، کلاغ و همد به عنوان دو پرنده‌ای که به‌صراحت در قرآن کریم نام برده شده‌اند، از ویژگی‌های رفتاری، شناختی، ساختاری و فیزیولوژیکی منحصر به فردی برخوردارند. کلاغ بعنوان یک معلم و پرنده‌ای با سطح بالای هوش، توانایی حل مسئله، یادگیری اجتماعی و سازگاری با محیط‌های پیچیده شناخته می‌شود [۱]. ویژگی‌هایی که در علوم شناختی، رباتیک، هوش مصنوعی و طراحی سامانه‌های تطبیقی الهام‌بخش بوده‌اند [۲]. از سوی دیگر، همد بعنوان یک پرنده پیام رسان با بصیرت مطرح شده است [۳]، با قابلیت‌های برجسته‌ای نظیر جهت‌یابی دقیق، تشخیص منابع پنهان آب، ساختار خاص منقار و الگوی پروازی منظم، نمونه‌ای قابل توجه برای مطالعات زیست‌الگوبرداری در حوزه‌هایی همچون حسگرها، اکتشاف زیرسطحی، طراحی ابزارهای دقیق و سامانه‌های پایش محیطی به‌شمار می‌آید [۴].

در سال‌های اخیر، رویکرد مهندسی الهام‌گرفته از طبیعت (زیست‌الگوبرداری) به عنوان یکی از راهبردهای نوین در توسعه فناوری‌های پایدار و خلاقانه مورد توجه قرار گرفته است. این رویکرد با مطالعه عمیق ساختارها، فرایندها و کارکردهای موجودات زنده، زمینه استخراج اصول طراحی کارآمد برای کاربردهای فنی و صنعتی را فراهم می‌سازد. باین حال، بهره‌گیری نظام‌مند از حیوانات یادشده در قرآن کریم به عنوان منابع الهام علمی، هنوز به‌صورت هدفمند و چارچوب‌مند مورد پژوهش قرار نگرفته است.

براین اساس، هدف پژوهش حاضر تحلیل ساختاری، فیزیولوژیکی و رفتاری کلاغ و همد و استخراج ظرفیت‌های آن‌ها برای ارائه الگوهای نوآورانه در زمینه‌های مختلف علمی و مهندسی است. این مطالعه می‌کوشد با ایجاد پیوندی علمی میان اشارات قرآنی و دانش زیست‌شناسی مدرن، بستری مفهومی برای ایده‌پردازی در حوزه اختراعات، ابتکارات فناوری و توسعه سامانه‌های زیست‌الهام فراهم آورد؛ به گونه‌ای که پژوهشگران و علاقه‌مندان بتوانند از این الگوها در مسیر نوآوری‌های علمی و صنعتی بهره‌مند شوند.

در سال‌های اخیر، چندین مقاله مروری منتشر شده‌اند که زیست‌الهام‌گیری را به عنوان یک رویکرد گسترده در مهندسی و طراحی معرفی و تحلیل کرده‌اند. این مطالعات نشان می‌دهند که الهام گرفتن از طبیعت می‌تواند به حل مشکلات پیچیده طراحی، بهینه‌سازی ساختارها، و افزایش پایداری در فناوری کمک کند. یکی از این مقالات، تحلیل جامعی از کاربردهای زیست‌الهام‌گیری در رشته‌های مختلف مهندسی ارائه کرده است، که شامل بررسی نقش زیست‌الهام‌گیری در بهینه‌سازی مواد، سامانه‌ها و فرایندها می‌باشد [۵]. تحلیل‌های کتاب‌سنجی نیز نشان داده‌اند که تعداد مقالات علمی درباره مفاهیم مرتبط با زیست‌الهام‌گیری از طبیعت^۱ و طراحی زیست‌الهام در دهه‌های اخیر به‌طور چشمگیری افزایش یافته‌اند. این روند رشد، بیانگر علاقه روزافزون در حوزه‌های مهندسی عمران، مواد، و طراحی سیستم‌های زیست‌الهام است و پژوهشگران مختلف در کشورهای پیشرو علمی به‌طور فعال این حوزه را توسعه داده‌اند

¹ Bionics

[۶]. مقالات مروری دیگری نیز در نشریه علمی تخصصی تخصصی زیست الهام (علم طراحی با الهام از طبیعت) ارتباط میان طراحی و زیست‌الهام‌گیری را تحلیل کرده و توانمندی‌های خلاقیت و فرصت‌های تحقیقاتی در این حوزه را بررسی کرده است. چنین کارهایی کمک می‌کند تا چارچوب نظری و عملی زیست‌الهام در طراحی نوآورانه بهتر شناخته شود [۷-۹]. همچنین در ادبیات علمی، کتب مرجعی وجود دارد که مفاهیم زیست‌الهام‌گیری را از زبان معتبرترین صاحب‌نظران این حوزه معرفی نموده اند. کتاب‌هایی که بصورت بنیادین در زمینه زیست‌الهام شناخته می‌شوند و چارچوب‌ها، فلسفه‌ها و کاربردهای گسترده زیست‌الهام‌گیری را توضیح می‌دهند [۱۰-۱۱]. یافته‌های حاضر نشان می‌دهد که قابلیت‌های زیستی و رفتاری کلاغ و هدهد، از جمله هوش و توانایی حل مسئله در کلاغ و جهت‌یابی، تشخیص منابع آب و الگوی پروازی منظم در هدهد، می‌توانند به‌صورت هدمند در زیست‌الهام‌گیری مهندسی مورد بهره‌برداری قرار گیرند. بررسی‌های ساختاری، فیزیولوژیکی و رفتاری این پرندگان، چارچوبی علمی برای استخراج الگوریتم‌ها و راهبردهای طراحی فراهم می‌آورد که می‌توانند در حوزه‌هایی مانند رباتیک، طراحی حسگرها، سامانه‌های پایش محیطی و ابزارهای دقیق کاربرد داشته باشند. این پیوند میان اشارات قرآنی و داده‌های زیست‌شناسی مدرن، نه تنها مفاهیم نظری زیست‌الهام را تقویت می‌کند، بلکه امکان توسعه سامانه‌های نوآورانه و پایدار در مهندسی را نیز فراهم می‌سازد و نشان می‌دهد که انتخاب حیوانات مذکور در قرآن، از منظر علمی و کاربردی نیز الهام‌بخش بوده است.

روش پژوهش

در این پژوهش، زیست‌الهام به معنای تقلید صرف از شکل یا ظاهر موجودات زنده نیست، بلکه فرایندی نظام‌مند برای استخراج اصول عملکردی از سامانه‌های زیستی و به‌کارگیری آن‌ها در حل مسائل مهندسی و فناوری است. در این رویکرد، ویژگی‌های زیستی ابتدا از نظر سازوکار عملکرد، کارکرد و منطق حاکم بر آن‌ها تحلیل شده و سپس بر اساس شباهت عملکردی، به راهکارهای مهندسی تبدیل می‌شوند؛ بنابراین، وجه تمایز زیست‌الهام با تشبیه یا همانندسازی صرف در آن است که هدف، بازآفرینی عملکرد سامانه‌های طبیعی، و نه تقلید ظاهری از شکل، رنگ یا ساختار موجودات زنده می‌باشد.

باتوجه به هدف‌هایی که در بالا ذکر شد، مطالعات کتابخانه‌ای و بررسی تحقیقات و مطالعه تفاسیر، روش گردآوری مطالب و ملاک استنتاج و ایده‌پردازی در این تحقیق بوده است. کاربردهای ارائه‌شده در این بخش، بر پایه استخراج اصول عملکردی از ویژگی‌های زیستی و رفتاری هدهد و کلاغ و تطبیق آن‌ها با نیازهای مهندسی و فناوری پیشنهاد شده‌اند و به منزله پیشنهاد‌های مفهومی برای پژوهش‌ها و توسعه‌های آتی هستند، نه نتایج تجربی مستقیم این پژوهش. پس از گردآوری داده‌ها، تحلیل در چهار مرحله انجام گرفت:

۱. شناسایی ویژگی‌های زیستی و رفتاری: استخراج ویژگی‌های شاخص هر پرنده بر اساس منابع علمی معتبر. از جمله ساختارهای کالبدی، رفتارهای حرکتی، ویژگی‌های شناختی و سازوکارهای فیزیولوژیکی.
۲. استخراج اصل عملکرد: تحلیل هر ویژگی به‌منظور شناسایی اصل عملکردی حاکم بر آن، مانند کاهش بازتاب نور، جریان یک‌طرفه هوا، حفظ تعادل پویا، استفاده از ابزار یا انتقال اطلاعات.
۳. تطبیق با مسائل مهندسی: بررسی قابلیت به‌کارگیری اصول عملکردی استخراج‌شده در حوزه‌های مختلف مهندسی، از جمله مواد پیشرفته، رباتیک، هوش مصنوعی، سامانه‌های هوشمند، معماری، هوافضا، پزشکی و توان‌بخشی.

¹ Biomimetics

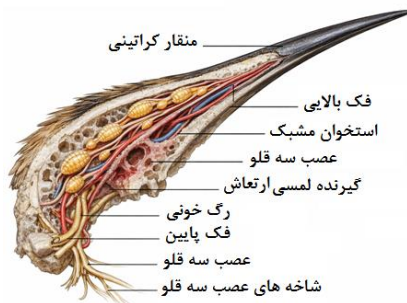
۴. ارائه ایده‌های زیست‌الهام: تدوین کاربردهای پیشنهادی بر اساس شباهت عملکردی میان سامانه‌های زیستی و نیازهای مهندسی. این کاربردها به‌عنوان پیشنهادهای مفهومی برای پژوهش‌های آینده ارائه شده‌اند و به منزله نتایج تجربی یا فناوری‌های توسعه‌یافته تلقی نمی‌شوند.

انتخاب دهد و کلاغ در این پژوهش بر اساس نمونه‌گیری هدفمند و باتوجه‌به سه معیار اصلی انجام شده است: نخست، حضور صریح و نقش‌آفرین این دو پرنده در آیات قرآن کریم. دوم، برخورداری از ویژگی‌های زیستی، رفتاری و شناختی شاخص که در مطالعات معتبر زیست‌شناسی و رفتارشناسی مستند شده‌اند و سوم، ظرفیت بالای این ویژگی‌ها برای استخراج اصول عملکردی و تطبیق آن‌ها با مسائل مهندسی و فناوری در چارچوب رویکرد زیست‌الگوبرداری. از این‌رو، انتخاب این دو گونه صرفاً بر مبنای جایگاه قرآنی آن‌ها نبوده، بلکه بر پایه قابلیت‌های علمی و امکان تحلیل میان‌رشته‌ای نیز صورت گرفته است. پرندگانی که صرفاً در قرآن نام برده شده‌اند؛ اما اطلاعات زیست‌شناختی یا قابلیت‌های عملکردی مستند و قابل تحلیل برای زیست‌الگوبرداری نداشتند، در دامنه این پژوهش قرار نگرفتند.

بحث

قابلیت‌های زیستی هدهد و الهام‌گیری مهندسی

هدهد نمونه‌ای برجسته از تکامل چند کارکردی در پرندگان است که ویژگی‌های آن می‌تواند الهام‌بخش طراحی‌های مهندسی باشد. منقار بلند، نازک و خمیده هدهد، با ساختاری سبک و مقاوم از کراتین، عملکردی دقیق در جستجوی زیرسطحی حشرات و لاروها فراهم می‌کند. حساسیت لمسی نوک منقار، مشابه گیرنده‌های مکانیکی شناخته‌شده در پرندگان حشره‌خوار، امکان تشخیص لرزش‌های ظریف در خاک یا چوب را می‌دهد. ویژگی‌ای که می‌تواند الگوی توسعه حسگرهای مکانیکی دقیق، ابزار استخراج زیرسطحی یا ربات‌های با توان کاوش محیطی بالا قرار گیرد. عملکرد چندمنظوره منقار در حفاری، نظافت و حتی توزیع مواد شیمیایی دفاعی، نمونه‌ای از ابزار زیستی کم‌حجم با حداکثر کارایی و تطبیق‌پذیری است که در طراحی سیستم‌های مکانیکی یا رباتیک قابل الگوبرداری است.



شکل ۱. ساختار حسی و عصبی منقار هدهد

تاج هدهد، با ساختار دو لایه‌ای پرهای بلند نمایشی و پرهای کوتاه پایه‌ای، نمونه‌ای از طراحی مهندسی زیستی برای چند کارکردی بودن و صرفه‌جویی انرژی ارائه می‌دهد. کنترل سریع و دقیق باز و بسته‌شدن پرها، ایجاد جلوه بصری پلکانی و افزایش اثر دفاعی و ارتباطی، همگی نشان‌دهنده سازگاری بهینه بین نمایش بصری، علامت‌دهی و کارکرد محافظتی است. این ویژگی می‌تواند الهام‌بخش طراحی سازه‌های قابل تغییر شکل، سیستم‌های نمایشگر بصری دینامیک، یا پوشش‌های چندلایه با عملکرد ترکیبی باشد.



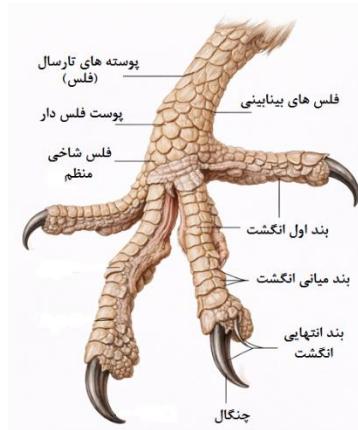
شکل ۲. ساختار حسی و عصبی تاج هدهد

سیستم تنفسی هدهد (و به طور کلی پرندگان) یک شاهکار مهندسی تکاملی است که امکان تبادل گاز مداوم و کارآمد را فراهم و گرمای اضافی را دفع نموده، و با سبکی ساختار، پرواز را تسهیل می کند. این سیستم شامل ریه های غیر قابل انبساط و مجموعه کیسه های هوایی، یک نمونه بارز از بهینه سازی جریان یک طرفه هوا و کارایی اکسیژن گیری بالا است. این سامانه، با هماهنگی با الگوی پرواز موجدار، امکان حفظ مصرف انرژی بهینه، افزایش دید محیطی و کاهش شناسایی توسط شکارچیان را فراهم می کند. از منظر مهندسی، این سازوکار می تواند الهام بخش طراحی سیستم های تهویه کارآمد، انتقال جریان یک طرفه و ربات های پروازی با مصرف انرژی بهینه باشد.



شکل ۳. الگوی سیستم تنفسی هدهد

الگوی پرواز موجدار هدهد، با تناوب بین بال زدن پرانرژی و سرخوردن کم مصرف، نمونه ای از بهینه سازی انرژی در حرکت متناوب و دینامیک ارائه می دهد که می تواند در رباتیک، وسایل پروازی سبک و سامانه های حمل و نقل انرژی - بهینه کاربرد داشته باشد. همچنین، ترکیب حرکتی پاها و توانایی حرکت روی زمین و سطوح عمودی با پوستی که با فلس پوشیده شده، الگوی طراحی ربات های چندسطحی یا ابزارهای چنگکی چندمنظوره را به تصویر می کشد.



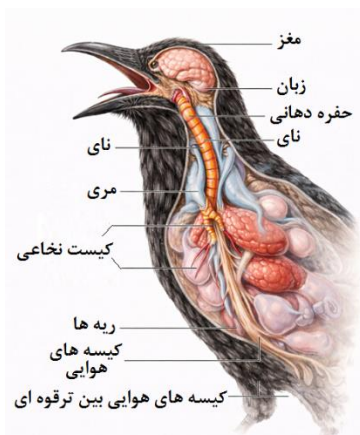
شکل ۴. جزئیات پا و پنجه هدهد

در مجموع، هدهد یک مدل زیستی جامع ارائه می‌دهد که در آن ساختارهای حسی، حرکتی، نمایش بصری و تنفسی به صورت یکپارچه برای بقا و کارایی بهینه تکامل یافته‌اند. این ویژگی‌ها، بدون نیاز به فرضیات غیرعلمی، ظرفیت بالایی برای الهام‌گیری در طراحی ابزارهای حسگر، ربات‌های کاوشگر، سازه‌های سبک و چند کارکردی، و سامانه‌های انتقال انرژی بهینه فراهم می‌آورند. بررسی علمی این ویژگی‌ها می‌تواند مسیر توسعه نوآوری‌های مهندسی مبتنی بر طبیعت و زیست‌الهام را به صورت نظام‌مند پیش ببرد و به تولید اختراعات و کاربردهای صنعتی خلاقانه منجر شود.

قابلیت‌های زیستی کلاغ و الهام‌گیری مهندسی

کلاغ‌ها از دیدگاه زیست‌شناسی و علوم شناختی، نمونه‌ای برجسته از تکامل رفتار و ساختارهای زیستی به شمار می‌آیند و به عنوان الگویی ارزشمند برای مطالعه سامانه‌های طبیعی هوشمند شناخته می‌شوند. این پرندگان علاوه بر توانایی چشمگیر در حل مسئله و به کارگیری ابزار، از حافظه مکانی قوی، یادگیری مشاهده‌ای و شناخت اجتماعی پیچیده برخوردارند. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که کلاغ‌ها قادر به حل معماهای چندمرحله‌ای، ساخت و به کارگیری ابزارهای اختصاصی و حتی برنامه‌ریزی برای رفع نیازهای آینده هستند؛ توانمندی‌هایی که از نظر سطح پیچیدگی شناختی، آن‌ها را در زمره باهوش‌ترین پرندگان قرار داده و در برخی جنبه‌ها با قابلیت‌های شناختی نخستی‌سانان قابل مقایسه است.

مطالعات رفتارشناسی نشان داده‌اند که کلاغ‌ها دارای مجموعه‌ای متنوع از آواهای ارتباطی هستند و نوع، توالی و ویژگی‌های آکوستیکی این آواها با پیام‌ها و موقعیت‌های اجتماعی متفاوت ارتباط دارد، هرچند تعداد دقیق این آواها هنوز به طور قطعی مشخص نشده است و حتی لهجه‌های منطقه‌ای ایجاد می‌کنند که نشان‌دهنده پیچیدگی شبکه‌های اجتماعی و قابلیت انتقال اطلاعات بین اعضای گروه است. رفتارهای اجتماعی آن‌ها شامل سوگواری برای مردگان، بازی صرفاً برای لذت، فریب دادن دیگران و حفاظت از منابع است که همگی بازتابی از هوش تطبیقی و توانایی‌های شناختی پیچیده‌اند.



شکل ۵. شماتیک ساختار سیستم صوتی کلاغ

ساختار مشبک و حفره دار با آرایش لانه زنبوری جهت دار در منقار و مجموعه کلاغ ترکیبی از سبکی، استحکام و انعطاف پذیری است که جهت شکاندن، کندن، گرفتن و تولید صدا مناسب است.



شکل ۶. ساختار منقار کلاغ

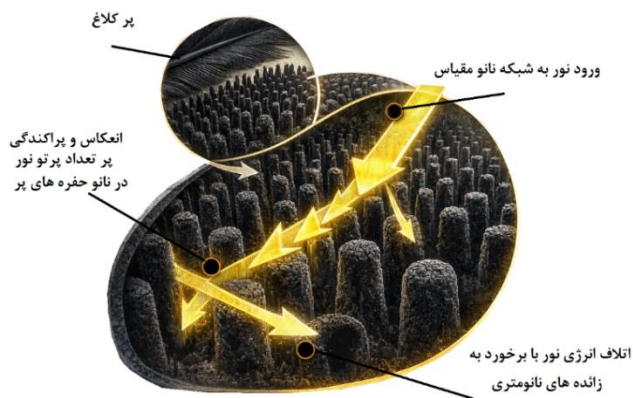
پرهای کلاغ علاوه بر دارا بودن رنگ دانه های فراوان ملانین، از ریزساختارها و نانو ساختارهای سطحی نیز بهره می برند که موجب کاهش بازتاب نور و افزایش جذب آن می شود. برهم کنش این ساختارهای میکرو و نانومقیاس با ملانین، سبب ایجاد ظاهر سیاه عمیق، بهبود استتار و افزایش کارایی حرارتی پرها می شود. سازوکار کاهش بازتاب نور در این ساختارها از نظر اصول فیزیکی با برخی مواد فوق سیاه مصنوعی، مانند پوشش فوق سیاه^۱ شباهت دارد. هرچند میزان جذب نور در پرهای کلاغ به اندازه مواد مهندسی شده ای مانند پوشش فوق سیاه نیست.

استخوان های کلاغ مشبک و سبک اما مقاوم هستند. این ترکیب بی نظیر از ویژگی های شناختی، رفتاری و فیزیکی، کلاغ را به الگویی کامل برای زیست الهام تبدیل کرده و نشان می دهد که طبیعت، سیستم های پیچیده ای را بهینه و هم زمان چندمنظوره طراحی کرده است.

¹ Vantablack



شکل ۷. ساختار پر کلاغ



شکل ۸. نحوه اتلاف موج نور در پر کلاغ

به‌طور کلی، کلاغ‌ها نمونه‌ای زنده از هم‌زیستی مهندسی، رفتار اجتماعی و زیبایی‌شناسی هستند. این موجودات علاوه بر اینکه الهام‌بخش پژوهش علمی و مهندسی هستند، الگویی برای روش‌های نوآورانه یادگیری، طراحی سیستم و تحلیل رفتاری انسان نیز می‌باشند.

توانایی کلاغ در حفظ تعادل روی شاخه‌های باریک و متحرک، اصلاح سریع وضعیت بدن هنگام فرود و برخاست، و هماهنگی دقیق میان ورودی‌های بینایی، دستگاه دهلیزی و سامانه عصبی-عضلانی، نمونه‌ای از یک سامانه کنترل حرکتی کارآمد در طبیعت است. در رویکرد زیست‌الهام، هدف تقلید مستقیم از رفتار جانور نیست، بلکه استخراج اصول عملکردی سامانه‌های زیستی و به‌کارگیری آن‌ها در طراحی فناوری‌های نوین است. براین اساس، ویژگی‌های حرکتی کلاغ می‌توانند مبنایی برای طراحی تمرین‌های تعادلی، توسعه پروتکل‌های توان‌بخشی عصبی - عضلانی و طراحی تجهیزات کمک‌تمرینی با تأکید بر کنترل پاسچر، هماهنگی دیداری-حرکتی و حفظ تعادل پویا باشند.

باتوجه به مطالب فوق به‌منظور تبیین فرایند استخراج الگوهای زیست‌الگوبرداری، ویژگی‌های زیستی و رفتاری هدهد و کلاغ ابتدا به اصول عملکردی تجزیه و سپس بر اساس شباهت عملکردی، به حوزه‌های مهندسی و کاربردهای پیشنهادی نگاشت شدند. چارچوب این فرایند در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱. چارچوب تبدیل ویژگی‌های زیستی به کاربردهای مهندسی در رویکرد زیست‌الگوبرداری

گونه	ویژگی زیستی	اصل عملکرد	حوزه مهندسی	کاربرد پیشنهادی
هدهد	منقار بلند و حساس	کاوش هدفمند و تشخیص دقیق در محیط	رباتیک، حسگرها	طراحی ربات‌های کاوشگر و حسگرهای نفوذی
هدهد	جریان یک‌طرفه هوا در دستگاه تنفسی	افزایش راندمان تبادل گاز	هوافضا، تهویه	طراحی سامانه‌های تهویه و گردش هوای با راندمان بالا
هدهد	پرواز موجی	کاهش مصرف انرژی و پایداری پرواز	هوافضا، پهپاد	توسعه الگوریتم‌های کنترل پرواز و پهپادهای کم‌مصرف
هدهد	تاج متحرک	تغییر هندسه سازه در پاسخ به محرک	رباتیک، سازه‌های هوشمند	طراحی سازه‌ها و اجزای تطبیق‌پذیر
هدهد	ترشحات ضد میکروبی	محافظت زیستی در برابر عوامل بیماری‌زا	پزشکی، مواد	توسعه پوشش‌ها و سطوح ضد میکروبی
کلاغ	استفاده از ابزار	حل مسئله و بهره‌گیری از ابزار مناسب	هوش مصنوعی، رباتیک	الگوریتم‌های تصمیم‌گیری و ربات‌های خودمختار
کلاغ	هماهنگی دیداری-حرکتی و حفظ تعادل	کنترل پاسچر و اصلاح وضعیت بدن	توان‌بخشی، رباتیک	تجهیزات توان‌بخشی تعادلی و سامانه‌های کنترل حرکت
کلاغ	رفتار اجتماعی و ارتباطات	انتقال اطلاعات و تصمیم‌گیری جمعی	سامانه‌های چندعاملی	الگوریتم‌های همکاری و هماهنگی ربات‌ها
کلاغ	ساختار سبک و مقاوم پرها	نسبت استحکام به وزن بالا	مواد پیشرفته	طراحی سازه‌ها و مواد سبک‌وزن
کلاغ	کاهش بازتاب نور در پرها	جذب نور و کنترل بازتاب	اپتیک، انرژی	پوشش‌های ضد بازتاب و جاذب نور

یافته‌های پژوهش و کاربردهای پیشنهادی مبتنی بر زیست‌الگوبرداری

تحلیل ویژگی‌های زیستی، رفتاری و فیزیولوژیکی هدهد و کلاغ نشان داد که هر یک از این ویژگی‌ها دارای اصول عملکردی مشخصی هستند. در این پژوهش، ابتدا این اصول عملکردی از منابع زیست‌شناسی و رفتارشناسی استخراج و سپس بر اساس رویکرد زیست‌الگوبرداری با مسائل مهندسی تطبیق داده شدند؛ بنابراین، موارد ارائه‌شده در ادامه، حاصل تحلیل یافته‌های پژوهش و بیانگر کاربردهای پیشنهادی این اصول عملکردی در حوزه‌های مختلف مهندسی و فناوری، و نه فناوری‌های توسعه‌یافته یا نتایج حاصل از آزمون‌های تجربی می‌باشند. با توجه به مطالب ذکر شده در این بخش بیان امکان ایده‌پردازی خلاقانه از خلقت و زیست هدهد و کلاغ برای علوم مختلف می‌پردازیم.

ایده‌گیری از هدهد

هدهد با ترکیب منحصربه‌فردی از ویژگی‌های زیستی، رفتاری و زیبایی‌شناختی می‌تواند برای رشته‌های متنوعی الهام‌بخش باشد. در اینجا به طور خلاصه به نقش هدهد در هر حوزه اشاره می‌شود:

۱. ویژگی‌های کلیدی هدهد برای مطالعه از دیدگاه جانورشناسی:

- منقار حساس با گیرنده‌های لرزشی برای تشخیص حرکت طعمه در خاک بدون دید.
- تاج جمع‌شونده با کنترل عضلانی سریع.
- سیستم دفاع شیمیایی: ترشح ماده بدبو از غده پایین دم برای دفع شکارچیان.
- پرواز موج‌دار: ترکیب پرواز بال‌بسته و بال‌باز برای صرفه‌جویی انرژی.
- لانه‌سازی در حفره‌های تنگ با ورودی بسیار باریک.

۲. الهام‌های ممکن از دیدگاه مهندس مکانیک (ریاتیک):

- مکانیزم تاج: طراحی سازه‌های جمع‌شونده فضایی (مانند آنتن‌های ماهواره یا چترهای نجات) که با حداقل نیرو باز و بسته شوند.
- منقار کاوشگر: ساخت پروب‌های حفاری با حسگر لرزش برای تشخیص ترک‌های زیرسطحی در صنعت نفت یا باستان‌شناسی.
- پرواز موج‌دار: توسعه روبات‌های پرنده‌ای با الگوی پرواز کم‌مصرف برای مأموریت‌های طولانی.
- ۳. ایده‌ها متناسب با مهندس برق و کنترل (حسگرها):
- منقار به‌عنوان سنسور بیومیمتیک: ساخت حسگرهای لرزشی نانومقیاس که بتوانند امواج آکوستیک/لرزشی را در مواد جامد (مانند خاک، بتن) تشخیص دهند.
- کنترل عضلانی تاج: الهام برای طراحی میکرو موتورها با پاسخدهی سریع در سیستم‌های مخابراتی (مانند آنتن‌های تطبیقی).
- سیستم هشدار شیمیایی: توسعه حسگرهای گاز با الگوی انتشار هدفمند برای شناسایی نشتی‌های شیمیایی.
- ۴. کاربردها در مهندس عمران (سازه و مصالح):
- لانه در حفرة‌های باریک: الهام برای طراحی سازه‌های مقاوم در فضاها محدود (مانند پناهگاه‌های زیرزمینی یا واحدهای ایستگاه فضایی).
- ساختار پره‌ای تاج: مطالعه سازه‌های ترکیبی (مواد مرکب) با اجزای سخت - نرم برای ساختن سقف‌های جمع‌شونده ورزشگاه‌ها.
- منقار مقاوم - سبک: الهام برای طراحی ابزارهای حفاری سبک برای خاک‌های سست.
- ۵. راهکارهای الهام‌گرفته برای مهندس بهره‌وری انرژی:
- پرواز موج‌دار: شبیه‌سازی در توربین‌های بادی با الگوی متغیر پرها برای بهینه‌سازی بازده در بادهای ملایم.
- تنظیم دمایی تاج: ایده برای سیستم‌های خنک‌کننده تابشی با سطوح جمع‌شونده در ساختمان‌ها.
- لانه‌سازی عایق: طراحی پوسته‌های عایق حرارتی با حداقل مصالح.
- ۶. مدل‌های محاسباتی در مهندس کامپیوتر، هوش مصنوعی و پردازش سیگنال:
- الگوریتم تشخیص لرزش منقار: توسعه شبکه‌های عصبی برای تفسیر سیگنال‌های لرزشی در بازرسی خطوط لوله.
- کنترل بهینه پرواز موج‌دار: استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی ازدحام پرندگان برای برنامه‌ریزی مسیر پهبادهای.
- سیستم ارتباطی تاج: مدل‌سازی پروتکل‌های ارتباطی پویا برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم (بر اساس حالت‌های تاج).
- ۷. الهام‌های بصری و نمادین برای هنرمندان مانند نقاشان، مجسمه‌سازان، و طراحان:

¹ Composite

- رنگ‌های طبیعی هماهنگ: ترکیب نارنجی، سیاه و سفید در پرهاى هدهد + تاج رنگارنگ، یک طیف رنگی طبیعی و متعادل برای طراحی لباس، نقاشی یا دکوراسیون ارائه می‌دهد.
- فرم پویای تاج: حرکت باز و بسته‌شدن تاج می‌تواند الهام‌بخش طراحی لباس‌های متحول‌شونده (مثل دامن‌های تاشو یا کلاه‌های تزئینی) باشد.
- نمادگرایی فرهنگی: در فرهنگ‌های مختلف، هدهد نماد پیام‌رسانی، کشف حقیقت و وقار است و می‌تواند الهام‌بخش طراحی پوست‌های اجتماعی، آثار هنری مفهومی و تولید محتوای فرهنگی باشد.
- ۸ ایده‌های کاربردی برای خیاطان و طراحان مد:
 - ساختار پرهاى تاج: دولايه پر (کوتاه و بلند) می‌تواند الهام‌بخش پارچه‌های لایه‌ای سبک با قابلیت تغییر حجم باشد (مثل لباس‌های دارای لایه زیرین نرم و لایه بیرونی نمایشی).
 - رنگ‌آمیزی استتاری: هدهد در طبیعت با وجود رنگ‌های روشن، به دلیل الگوی راه‌راه پرها به راحتی در محیط استتار می‌کند که در طراحی پارچه‌های دارای الگوی اختلال بصری برای لباس ورزشی یا نظامی مناسب است.
 - انعطاف‌پذیری پوسته: پوست پای هدهد هم‌زمان مقاوم و انعطاف‌پذیر است که جهت الهام برای تولید کفش‌های مقاوم اما سبک مناسب است.
- ۹. الگوهای حرکتی و فیزیولوژیکی برای دانشمندان و متخصصان تربیت بدنی، بیومکانیک، و ورزش:
 - پرواز موج‌دار: ترکیب دوره‌های بال‌زدن شدید و سرخوردن یک مدل برای بهینه‌سازی مصرف انرژی در ورزش‌های استقامتی (مثل دوچرخه‌سواری با تناوب شدت) است.
 - تعادل پویا: هدهد روی زمین با پاهاى کوتاه اما پایدار راه می‌رود و به سرعت می‌تواند به پرواز درآید که مناسب مطالعه برای طراحی تمرینات تعادل پویا برای ورزشکاران می‌باشد.
 - سیستم تنفسی کارآمد: پرندگان به‌طور کلی دارای سیستم تنفسی چهار مرحله‌ای با کیسه‌های هوایی هستند که الهام برای آموزش تنفس دیافراگمی بهینه به ورزشکاران است.
- ۱۰. سازه و فضا برای معماران و طراحان صنعتی:
 - لانه در حفره‌های باریک: هدهد حفره‌های درختان را بدون تغییر اساسی اشغال می‌کند که یک ایده معماری با کم‌ترین دخالت برای فضاهای کوچک (مثل آپارتمان‌های فشرده) می‌باشد.
 - عایق‌بندی لانه: استفاده از مواد گیاهی و الیاف طبیعی در پوشش داخلی لانه، علاوه بر ایجاد بستر مناسب برای تخم‌ها، می‌تواند تا حدی به بهبود شرایط حرارتی و رطوبتی داخل لانه کمک کند. موضوعی که الهام‌بخش توسعه مصالح عایق طبیعی و زیست‌پایه است.
- ۱۱. نمادهای رفتاری برای روان‌شناسان و مربیان زندگی:
 - پایداری در جستجو: هدهد با منقار حساس خود مدام زمین را برای یافتن حشرات جستجو می‌کند به‌نوعی استعاره‌ای برای پشتکار در یادگیری و کشف است.
 - دفاع غیر خشن: هدهد به جای جنگ مستقیم، از ترشح بو برای دفع دشمن استفاده می‌کند و مدلی برای حل تعارض بدون خشونت می‌باشد.
- ۱۲. الهام‌گیری از سیستم تنفس هدهد:

- در مهندسی: طراحی سیستم‌های تهویه با جریان یک‌طرفه برای صنایع (مانند پالایشگاه‌ها) که نیاز به تبادل گاز کارآمد دارند.
- در ورزش: مطالعه این سیستم برای بهینه‌سازی تنفس ورزشکاران در ورزش‌های استقامتی مانند شنا یا دوچرخه‌سواری، با الگوی تنفس دم - دم - بازدم
- در هوافضا: الگوی جریان یک‌طرفه هوا در دستگاه تنفسی همدرد می‌تواند در طراحی سامانه‌های تهویه و گردش هوا در کابین فضاپیماها، لباس‌های فضایی و زیستگاه‌های فضایی به منظور افزایش راندمان تبادل گاز و کاهش مصرف انرژی الهام‌بخش باشد.
- ۱۳. الهام‌گیری مهندسی از پرواز موجدان:
- هواپیماهای بدون سرنشین و پهپادها: طراحی پهپادهایی که با تناوب موتور و خاموشی انرژی ذخیره کنند مخصوصاً برای مأموریت‌های طولانی.
- ربات‌های پرنده: تقلید این الگو برای حرکت در محیط‌های پیچیده (مثل بین درختان یا ساختمان‌ها).
- توربین‌های بادی: مطالعه تغییرات زاویه پرها با الگوی موجدان برای بهینه‌سازی بازده در بادهای متغیر.
- حرکت موجدان پرواز همدرد یک استراتژی بهینه هوشمند است که موجب کمینه‌سازی مصرف انرژی شده، و کارایی حرکت در مسافت‌های متوسط را افزایش می‌دهد. همچنین انعطاف‌پذیری در محیط‌های ناهمگون را نیز ممکن می‌سازد.

ایده‌گیری از کلاغ

- کلاغ نیز با ترکیب منحصربه‌فردی از ویژگی‌های زیستی اسکلتی، رفتاری و طبیعی می‌تواند برای رشته‌های گوناگونی منشأ خلاقیت و نوآوری باشد. در اینجا به طور خلاصه به نقش کلاغ در هر زمینه‌های مرتبط اشاره می‌شود:
۱. مهندسی مکانیک و رباتیک، با الهام از ساختار منقار و جمجمه سبک و مقاوم، استخوان‌های مشبک پرنده
 - طراحی بازوها و چنگال‌های رباتیک سبک و مقاوم با انعطاف‌پذیری و دامنه حرکتی بالا برای کار در محیط‌های سخت و خطرناک
 - چنگک‌های تطبیقی که بدون تعویض ابزار، اشیاء با اندازه و سختی متفاوت را گرفته یا برش دهند.
 - سازه‌های مشبک سبک برای پهپادها و پروتورها
 ۲. مهندسی انرژی و محیط زیست، با الهام از بازدهی بالای پرواز و عایق‌بندی حرارتی پرها
 - پرهای توربین بادی با تغییر شکل دینامیک مطابق جهت و سرعت باد
 - پوشش‌ها و لباس‌های عایق با تقلید از شبکه باربولا‌های پرهای نانوساختاری کلاغ. شبکه باربولاها، شامل رشته‌های بسیار ظریف مجهز به قلاب‌های میکروسکوپی است که اجزای پر را به یکدیگر متصل کرده و ضمن حفظ وزن کم، استحکام و انعطاف‌پذیری بالایی ایجاد می‌کند. این سازوکار می‌تواند الگویی برای طراحی اتصالات سبک و سازه‌های کامپوزیتی پیشرفته باشد.
 - بهینه‌سازی مصرف انرژی در پهپادها و وسایل پروازی کوچک با تقلید از شکل و ساختار بال
 ۳. مهندسی برق و الکترونیک، با الهام از دید قوی در نور کم و پردازش سریع مغز
 - سنسورهای تصویربرداری در نور کم برای دوربین‌های امنیتی و خودروهای خودران

¹ Barbule

- طراحی تراشه‌های عصب‌واره^۱ و شبکه‌های عصبی کم‌مصرف برای هوش مصنوعی و پردازش بلادرنگ
- سیستم‌های بینایی کامپیوتری با تقلید از بازتاب‌دهنده شبکه کلاغ
- ۴. هوش مصنوعی و علوم کامپیوتر، با الهام از حل مسئله ابزاری و هوش اجتماعی کلاغ‌ها.
- الگوریتم‌های بهینه‌سازی کلاغ‌محور برای مسیریابی، تخصیص منابع و مدیریت شبکه.
- شبکه‌های عصبی برنامه‌ریز سلسله‌مراتبی برای ربات‌ها و مدیریت پروژه‌های پیچیده.
- مدل‌های یادگیری تقویتی چندمرحله‌ای با الهام از حافظه مکانی و برنامه‌ریزی کلاغ.
- ۵. هنر و طراحی با الهام از زیبایی پرهای سیاه با جلای ارغوانی - آبی و حرکات پویا.
- طراحی لوگو و حروف‌نگاری ساده با الهام از فرم و رنگ پر، خطوط منقار و سایه نمایی کلاغ.
- ساخت مجسمه‌ها و نصب‌های تعاملی که بر رفتار مخاطب واکنش نشان دهند.
- طراحی پارچه‌ها و لباس‌های هوشمند که با نور یا دما تغییر رنگ یا بافت دهند.
- طراحی پوشاک و کفش بدون دوخت با اتصال قطعات از طریق سیستم‌های درهم قفل‌شونده.
- ۶. مهندسی مواد و چوب، با الهام از لانه‌سازی با بافت درهم و استفاده از مواد مختلف.
- کامپوزیت‌های چوب - پلیمری و اتصالات بدون دوخت با الگوی بافت تقویت‌کننده
- طراحی سازه‌های مقاوم در برابر زلزله با الهام از انعطاف لانه‌ها
- مبلمان یا سازه‌های قابل‌باز یافت با تقلید از بافت لانه کلاغ.
- ۷. معماری و عمران، با الهام از لانه مقاوم، عایق و دارای تهویه طبیعی
- طراحی تهویه طبیعی دودکشی و عایق‌بندی ساختمان‌ها با اختلاف دما و جریان هوا.
- استفاده از اتصالات نیمه صلب با قابلیت تغییر شکل کنترل‌شده و جذب انرژی، با الهام از نحوه درهم‌تنیدگی و انعطاف‌پذیری شاخه‌های لانه، به‌منظور افزایش مقاومت سازه در برابر بارهای لرزه‌ای.
- توسعه شهرهای هوشمند و سازگار با محیط‌انطباق‌پذیر با تغییر شکل زیرساخت بر اساس داده‌های بلادرنگ.
- ۸. علوم ورزشی و توانبخشی با الهام از تعادل، هماهنگی عصب-عضلانی و استقامت.
- طراحی تمرین‌های پرش، تعادل و چابکی با الهام از سازوکار کنترل تعادل و فرود کنترل‌شده کلاغ.
- توسعه پروتکل‌های توان‌بخشی عصبی - عضلانی با تمرکز بر هماهنگی دیداری، دهلیزی و حرکتی.
- طراحی تجهیزات توان‌بخشی تعادلی با الهام از سازوکار حفظ تعادل پویا و اصلاح سریع وضعیت بدن در کلاغ.
- طراحی تمرین‌های ارتقای هماهنگی دیداری-حرکتی و زمان واکنش برای ورزشکاران رشته‌های توپی و رزمی.
- ۹. مدیریت اجتماعی و آموزش با الهام از رفتار جمعی
- سیستم‌های داوری جمعی و مدیریت تعارض
- سیستم‌های انتقال دانش بین‌نسلی و حفظ اطلاعات اجتماعی

¹ Neuromorphic² Silhouette

- اقتصاد مشارکتی و نوآوری
- شبکه‌های اشتراک ابزار و منابع به صورت غیر پولی
- ایجاد فضاهای بازی و تجربه آزاد برای افزایش خلاقیت

جمع‌بندی

پژوهش حاضر با تمرکز بر تحلیل ویژگی‌های زیستی، رفتاری و فیزیولوژیکی کلاغ و هدهد نشان داد که اشارات قرآن کریم به این دو پرنده، افزون بر جنبه‌های هدایتی، می‌تواند مبنایی برای مطالعات میان‌رشته‌ای در حوزه زیست‌الگوبرداری باشد. در این پژوهش، ویژگی‌های شاخص این دو پرنده با رویکرد استخراج اصول عملکردی تحلیل و ظرفیت آن‌ها برای ارائه کاربردهای پیشنهادی در حوزه‌های مهندسی و فناوری بررسی شد. یافته‌ها بیانگر آن است که برخی ویژگی‌های هدهد، از جمله منقار کاوشگر، سازوکارهای تنفسی، الگوهای حرکتی و رفتارهای دفاعی، قابلیت استخراج اصول عملکردی قابل استفاده در طراحی حسگرها، ربات‌های کاوشگر، سامانه‌های تهویه و انتقال هوا، پهبادهای زیست‌الهام و سایر سامانه‌های مهندسی را دارند. همچنین، بررسی ویژگی‌های زیستی و رفتاری کلاغ، از جمله استفاده از ابزار، هماهنگی حرکتی، حفظ تعادل، رفتارهای اجتماعی و برخی قابلیت‌های شناختی، نشان داد که این ویژگی‌ها می‌توانند مبنایی برای توسعه ایده‌های زیست‌الهام در حوزه‌هایی مانند سامانه‌های هوشمند، رباتیک، مواد پیشرفته و فناوری‌های نوین باشند.

براین اساس، مهم‌ترین دستاورد پژوهش حاضر، ارائه چارچوبی نظام‌مند برای تبدیل ویژگی‌های زیستی این دو پرنده به اصول عملکردی و سپس نگاشت آن‌ها به کاربردهای پیشنهادی مهندسی است. این چارچوب می‌تواند زمینه‌ساز توسعه پژوهش‌های میان‌رشته‌ای میان زیست‌شناسی، مهندسی و مطالعات قرآنی باشد و از برداشت‌های صرفاً توصیفی یا غیرعلمی از متون دینی فاصله بگیرد. باین حال، کاربردهای ارائه‌شده در این پژوهش در سطح پیشنهادهای مفهومی مبتنی بر رویکرد زیست‌الگوبرداری مطرح شده‌اند و اعتبارسنجی آن‌ها مستلزم انجام مطالعات تکمیلی، شامل مدل‌سازی، شبیه‌سازی، طراحی مهندسی و آزمون‌های تجربی در پژوهش‌های آینده است.

References

1. Holy Quran, Surah Al-Ma'idah, verses 27-31.
2. Sheikhi, H., Eslamdoust, M., Nazarian, O. (2016). *Semiotics of the Bird, Crow*, Third International Conference on Research in Science and Technology, Berlin, Germany. SID. <https://sid.ir/paper/859954/fa>. [In Persian]
3. Holy Quran, Surah Al-Naml, verses 20-28.
4. Moinfar, M. (2004). Hoopoe and His Secret. *Journal of the Faculty of Literature and Humanities of Isfahan (Studies and Researches of the Faculty of Literature and Humanities)*, 38, 11-30. SID. <https://sid.ir/paper/47741/fa>. [In Persian]
5. Zhang, T. (2024). *Biologically-Inspired Design in Engineering: Current Perspective on Biomimicry Applications*, International Conference on Mechanics, Electronics Engineering and Automation, DOI:<https://10.2991/978-94-6463-518-8-61>.
6. Sedira, N., Pinto, J., Bentes, I., Pereira, S. (2024). *Bibliometric analysis of global research trends on biomimetics, biomimicry, bionics, and bio-inspired concepts in civil engineering using the Scopus database*, National Center for Biotechnology Information, 19(4), 1-57. DOI:10.1088/1748-3190/ad3ff6.

7. Marques, A., Viana, D. (2023). Design and Biomimicry: A Review of Interconnections and Creative Potentials, *Biomimetics*, 8(1), 61-75. <https://doi.org/10.3390/biomimetics8010061>.
8. Maki, K. Nagata, F. (2019). *Bioinspired Design: Creativity and Sustainability*, 20th International Conference on Research and Education in Mechatronics. Wels, Austria, DOI: 10.1109/REM.2019.8744140.
9. Mousavi, Z. (2015). New Technologies Based on Bio-Model Knowledge and Biological Inspiration, *Science cultivation Journal*, 7(1), 53-61. https://www.sciencecultivation.ir/article_242652.html. [In Persian].
10. Janine, M. (2021). *Biomimicry Innovation Inspired by Nature*, HarperCollins e-books, ISBN 978-0-06-195892-2.
11. Akbarian, M., Javadi, Z. (2023). Exploring the principles of biomimetics in architecture with a sustainable design approach, *Quarterly Journal of Rahpouye of Architecture and Urban Planning*, 3(10), 75-93. <https://10.22034/rau.2025.2035160.1094>.