مجله علوم دانشگاه تهران
جلد سی‌ویکم (۱۳۸۴) شماره ۱ (۲۰-۱)

اثر فسیل حرکت و برخاستن (take off) پرندگان زمان میوسن در رسوبات سازند سرخ بالایی، برش غرب روستای مشمپا، شمال باختری زنجان

نصراله عباسی
گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان
(دریافت: ۸۲/۱۰/۱۰ ؛ پذیرش: ۸۳/۲/۳۰)

چکیده

سازند سرخ بالایی در غرب روستای مشمپا (غرب استان زنجان) به ضخامت ۲۷۶/۵شامل توال رسوبی ماسه سنگ، سیلتستون و مارن می‌باشد که در لایه‌های تخریبی این توالی آثار فسیل ردپای پرندگان به فراوانی یافت می‌شوند. دو نمونه از اثرجنس *Antarctichnus* Covacevich & Lamperein 1970 که مربوط به ردپای پرندگان چهار انگشتی‌اند، اثر حرکتی خاص و برخاستن (take off) از زمین را نشان می‌دهند. پرندگان اثر ساز به گونه‌ای حرکت کرده‌اند که انگشت میانی پای خود را بر روی رسوبات کشیده و اثر شیار طویل و ممتد در جلوی ردپا ایجاد کرده‌اند. در اثر فسیل برخاستن نیز پدیده کشیده شدن انگشت بر روی رسوب وجود دارد، ولی پرنده جهت تأمین نیروی بالابرنده مورد نیاز، مسافتی را بطور شتابدار دویده است. در یکی از مسیرها، سرعت و شتاب دویدن پرنده برای برخاستن به ترتیب ۱۶ cm/s و شتاب ۲۵ cm/s^2 محاسبه گردید. به نظر می‌رسد، این پرندگان برای تأمین نیروی بالا برنده (Lift) مورد نیاز برای برخاستن از زمین، از نیروی فشارشی و جهشی پا نیز کمک گرفته‌اند.

واژه‌های کلیدی: *ایکنولوژی، ردپای پرندگان، میوسن، سازند سرخ بالایی، زنجان، ایران.*

مقدمه

رفتارشناسی (Ethology) جانداران دیرینه یکی از موضوعات اصلی پالئوایکنولوژی است. ممکن است اثر رفتارهای مختلف جانداران در داخل لایه‌های رسوبی یا بر روی سطوح چینه‌بندی باقی بمانند، بطوریکه با مطالعه دقیق آثار فسیل (Trace Fossils) می‌توان به نوع فعالیت زیستی پی برد. سیلاخر (Seilacher, 1953) و مولر (Müller, 1962) تلاش نمودند که براساس ویژگیهای موجود، آثارفسیلی را در یکی از گروههای رفتاری حرکتی، تغذیه‌ای، مسکن گزیدن و استراحتی طبقه‌بندی نمایند.

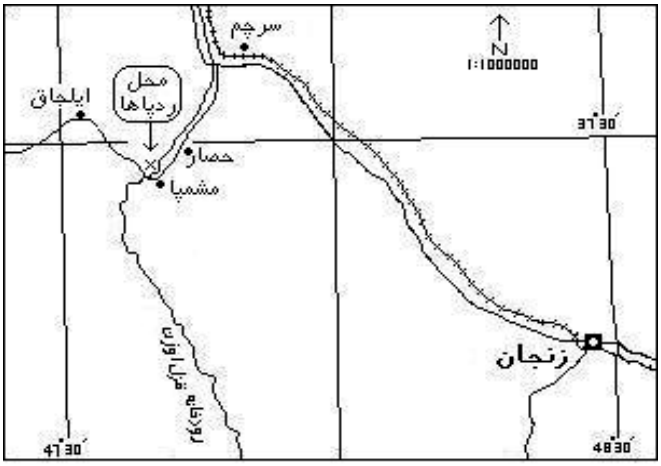
درطی اجرای طرح پژوهشی با عنوان «پالئوایکنولوژی فسیل ردپای پرنده در روی رسوبات سازند سرخ بالایی، برش چینه‌شناسی غرب روستای مشمپا، غرب استان زنجان» که با شماره ۱/۸۱۴۲۰ به تصویب معاونت پژوهشی دانشگاه زنجان رسیده است؛ نگارنده به نمونه‌های متعدد و فراوانی از آثار فسیلی ردپای پرندگان دست یافت. این آثارفسیلی شامل اثر ردپای پرندگان چهار انگشتی *Antarctichnus* isp. ، ردپای پرندگان پا اردکی *Culcitapeda tridens* و *Culcitapeda* isp. و ردپای پرندگان سه انگشتی پنجه رو *Avipeda* isp. هستند. نمونه‌های مربوط به اثرجنس(Ichnogenus) *Antarctichnus* بصورت اثرهای ردپای چهار انگشتی‌اند که درآن سه انگشت باریک (انگشتان II, III, IV) به سمت جلو و یک انگشت کوچک (انگشت I) به سمت عقب آرایش یافته‌اند. در بین نمونه‌های یافت شده از این اثر جنس، دو نمونه از نظر رفتار حرکتی و برخاستن (Take off) ویژگی‌های جالب توجهی را به نمایش می‌گذارند. هدف از نگارش این مقاله، بحث و بررسی نوع رفتار حرکتی و همچنین ارایه الگوی (Model) برخاستن پرندگان اثرساز از روی آثار فسیلی در این دو نمونه است.

موقعیت جغرافیایی و زمین شناسی

آثار ردپای مورد بحث در رخنمونی از سازند سرخ بالایی(Upper Red Formation) در سه کیلومتری غرب روستای مشمپا یافت شده‌اند. برای دسترسی به این رخنمون ابتدا بعد از طی حدود ۸۰ کیلومتر از زنجان به سمت تبریز در حومه روستای سرچم، به سه راهی روستای قیطول رسیده و از این محل به سمت جنوب به میزان ۲۰ کیلومتر تا روستای مشمپا ادامه مسیر می‌دهیم. برش چینه‌شناسی مورد نظر در سمت شمال پل مجاور روستای مشمپا و درحاشیه باختری رودخانه قزل اوزن واقع است (شکل ۱).

سازند سرخ بالایی درجنوب و باختر زنجان از دو زیر واحد تشکیل شده است (Stöcklin & Eftekhar-nezhad, 1969) زیر واحد زیرین (۷۰۰-۶۰۰ متر) عمدتاً شامل توالی

رسوبات رنگارنگ از جنس مارن‌هایی به رنگ روشن با میان لایه‌های سیلتستون و ماسه سنگ که نسبتاً نهشته‌های تبخیری زیادی دارد است. زیر واحد بالایی (۱۵۰۰ متر تا بیش از ۲۰۰۰ متر) شامل شیلهای رسی، مارنی و ماسه ای عمدتاً به رنگ قرمز است.



شکل۱- موقعیت جغرافیایی برش چینه شناسی مورد مطالعه.

برش چینه‌شناسی مورد مطالعه، ۲۷۶/۵ متر ضخامت دارد. مرزهای زیرین و بالایی این برش از واریزه پوشیده شده و احتمالاً بخشی از قاعده سازند سرخ بالایی است. عمده این توالی از مارن، سیلتستون و ماسه سنگ به رنگ قرمز تشکیل یافته است.

مطالعات سنگ‌شناسی نشان می‌دهدکه نمونه‌های ماسه‌سنگی، لیتارنایت (Litharenite) و لیتیک‌گریوک (Lithic Greywacke) طبق طبقه‌بندی پتی‌جان و همکاران (Pettijhon *et al.,* 1987) هستند و با سیمان کلسیتی از جورشدگی ضعیف برخوردارند. در این برش چینه‌شناسی، توالی رسوبی زیر برداشت گردید(شکل۲).

۱. تناوب ماسه‌سنگ، سیلتستون با ضخامت لایه‌بندی۰/۳ متر که دارای لایه‌های نازک گل‌سنگ می‌باشند. رنگ اکثر لایه‌ها قرمز مایل به قهوه‌ای است. ساخت‌های رسوبی شامل فلوت کست، ریپل مارک و ریپل کست سینوسی، لود کست (Load Cast)، قالب ترک گلی و گرووکست (Groove Cast) می‌باشند. بر اساس برخی از ساخت‌های رسوبی مانند فلوت کست و ریپل مارک جهت جریان دیرینه به سمت خاور و جنوب خاوری است. همچنین این لایه‌ها دارای اثر ردپای پرندگان می‌باشند که تماماً بصورت قالب برجسته

درسطح زیرین لایه‌بندی حفظ شده‌اند و عمدتاً از نوع آثار ردپای پا اردکی هستند. سوی حرکت پرندگان اکثراً به سوی شمال بوده است. ضخامت این توالی ۲۶ متر اندازه‌گیری گردید.

۲. شیل‌ها و مارنهای رنگارنگ با میان لایه‌های نازک سیلتستون سبز و خاکستری و گچ که دارای ساخت‌های رسوبی ریپل مارک و لود کست می‌باشند. در بخشهای تحتانی آثار ردپای پرندگان پا اردکی به فراوانی یافت می‌شوند که به همراه ردپاهای پرندگان سه انگشتی پنجه رو (Digitigrad) هستند. این لایه‌ها ۵۶ متر ضخامت دارند.

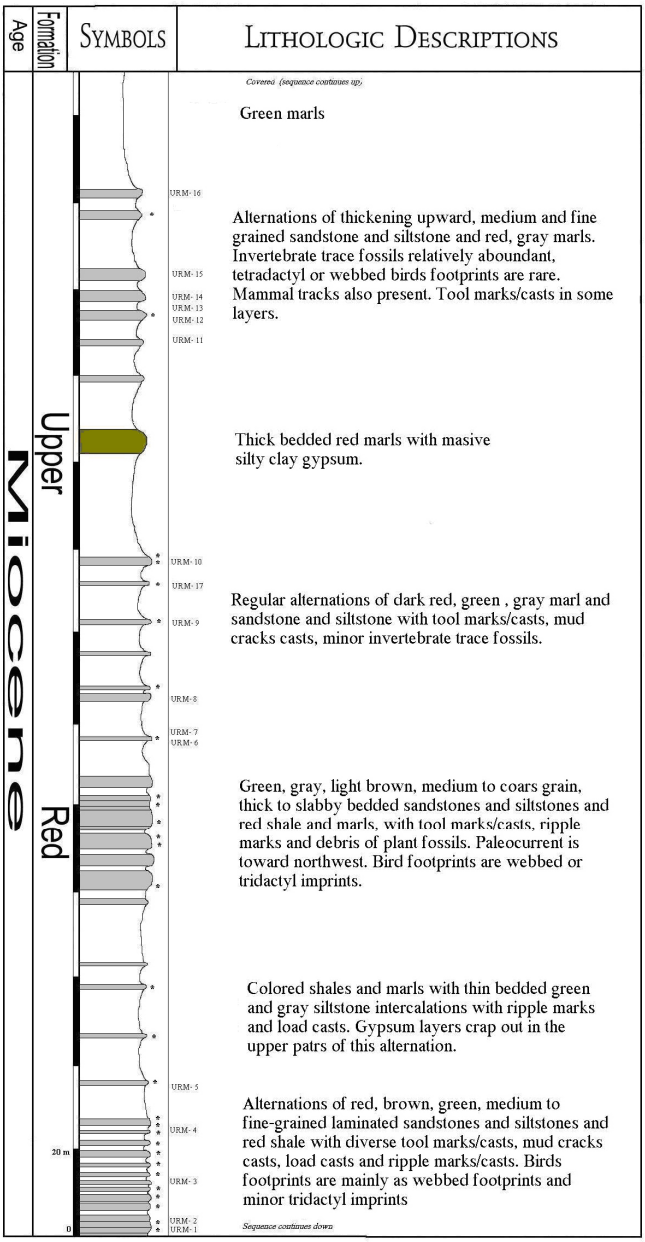
۳. توالی ماسه سنگ متوسط تا درشت دانه، ضخیم لایه، سیلتستون و مارن با ساخت‌های رسوبی ریپل مارکها و ریپل کستها، گروو کست، لود کست و ریل مارک، آثار مبهمی از ردپای پرندگان درلایه‌های تحتانی وجود دارد. در سطوح لایه‌بندی برخی از لایه‌ها خرده‌های فسیل گیاهی یافت می‌شود. ضخامت این توالی ۲۹ متر است.

۴. تناوب ماسه‌سنگ و سیلتستون نازک لایه و مارن ضخیم لایه، رنگ این لایه‌ها سبز- قهوه‌ای است. لایه‌های تخریبی این تناوب از نظر داشتن آثار ردپای پرندگان قابل توجه‌اند، بطوریکه در بخشهای میانی این توالی آثار ردپای پرندگان چهارانگشتی به فراوانی یافت می‌شوند. نمونه‌هایی که در زیر بحث خواهد شد به شماره‌های URM-10, URM-9 از بخش‌های رأسی این توالی برداشت گردیدند.۴۶ متر ضخامت این لایه‌هاست.

۵. مارن قرمز رنگ به ضخامت ۴۶ متر که در بخشهای میانی آن یک لایه ژیپس رسی- سیلتی قرمز رنگ و به ضخامت ۵ متر وجود دارد.

۶. تناوب لایه‌های ماسه سنگی و سیلتستون ضخیم لایه شونده بطرف بالا و مارنهای قرمز- خاکستری با ساخت‌های متنوع رسوبی هستند. آثار فسیلی (Trace Fossils) بی‌مهرگان نسبتاً فراوان‌تر می‌باشند. دراین لایه‌ها بطور معدود آثار ردپای پرندگان چهار انگشتی وجود دارد. یک نمونه اثر رد دست و پای پستاندار یافت گردید. ضخات این تناوب ۴۸ متر است.

۷. مارنهای سبز یکنواخت با لایه‌های ماسه سنگی متورق ضخیم لایه در بخشهای میانی، دارای ساخت‌های رسوبی مشابه رسوبات قبلی است. یک نمونه دیگر اثر ردپای پستانداران در این توالی یافت شد و بطور نایاب ردپای پرندگان پا اردکی یا چهار انگشتی که خوب حفظ نشده‌اند مشاهده گردید. این لایه ها ۲۸ متر ضخامت دارند.

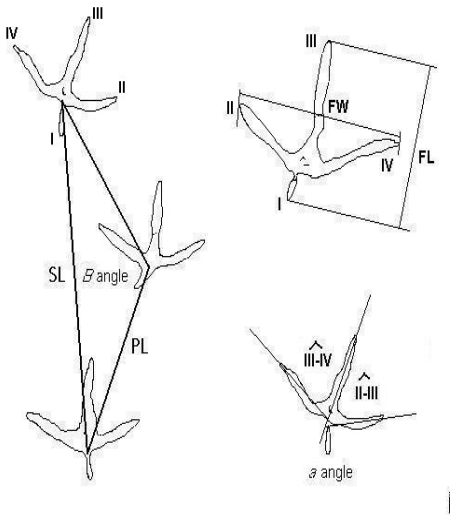


شکل۲- ستون چینه‌شناسی توالی مورد مطالعه، علامت ستاره محل نمونه‌های سنگ‌شناسی را نشـان می‌دهد. URM- xx شماره نمونه‌های ردپاهای جمع‌آوری شده می‌باشد.

روش مطالعه

در مطالعات حاضر ابتدا با پیمایش زمین‌شناسی، داده‌های مورد نیاز جهت ترسیم ستون چینه‌شناسی جمع آوری گردید. در لایه‌هایی که دارای آثار رد پا بودند، موقعیت حفظ شدگی آثار نسبت به سطوح چینه‌بندی تعیین شد. ممکن است آثار بصورت اثر فرورفته درسطح بالایی چینه‌بندی(Concave Epirelief) یا بصورت قالب برجسته درسطح زیرین چینه‌بندی (Convex Hyporelief) حفظ شده باشند. همچنین ژئومتری هر اثر اندازه‌گیری گردید و مهمترین ویژگیها و داده‌های ژئومتری اندازه‌گیری شده (شکل ۳) عبارتند از:

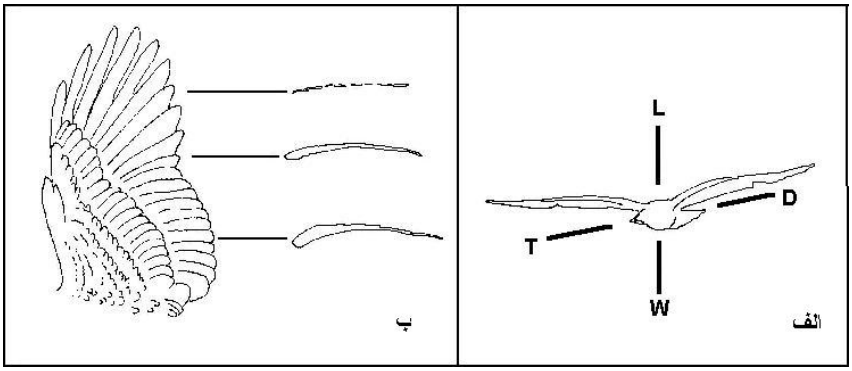
طول اثر ردپا (Foot Length, FL)، عرض اثر ردپا (Foot Wide, FW)، شماره‌گذاری انگشتان (Digital Code) که به ترتیب از سمت انگشت داخلی بطرف انگشت خارجی است، طول انگشتان (Digital Length, DL) و عرض آنها (Digital Wide, DW) ، زاویه بین انگشتان (α)، وضعیت نوک انگشتان (گرد، نوک تیز، دارای اثر چنگال و ...)، چرخش یا تمایل اثر رد پا نسبت به محور میانی مسیر حرکت (تمایل به سمت داخل، چرخش مثبت و تمایل به سمت خارج، چرخش منفی)، طول گام بلند (Stride Length, SL) که فاصله بین دو رد پای متوالی سمت راست یا چپ است، طول قدم (Pace Length, PL) که فاصله بین دو ردپای چپ و راست می‌باشد و بالاخره زاویه گام (β).



شکل۳- ژئومتری آثار ردپای پرندگان، FL طول اثر ردپا، FW عرض اثر ردپا، I-IVشماره‌گذاری انگشتان، DL طول انگشتان، α زاویه بین انگشتان، SL طول گام بلند، PL طول قدم و β زاویه گام.

فیزیک پرواز و برخاستن پرندگان

در پرواز چهار نیروی اصلی بر پرنده تاثیر می‌گذارند (شکل۴): نیروی وزن (weight) که بستگی به نیروی جاذبه و جرم پرنده دارد. نیروی بالابرنده (lift) نیرویی است که حاصل بال زدن پرنده می‌باشد و موجب بالا رفتن و ارتفاع گرفتن پرنده می‌شود. نیروی بازدارنده (drag) که جهت آن به سمت عقب است و موجب کاهش سرعت پرنده می‌شود و بالاخره نیروی رانش (thrust)، که نیروی حاصل از پس زدن هوا و نیروی حرکتی پا است، این نیرو باعث حرکت پرنده به سمت جلو می‌گردد و بر خلاف نیروی بازدارنده است. بال پرندگان دوکی شکل (airfoil) می‌باشد به نحوی که قسمت فوقانی بال انحنای بیشتری نسبت به قسمت تحتانی دارد (شکل۴- ب). طبق اصل برنولی (Bernoulli) با افزایش سرعت هوا در قسمت فوقانی بال از فشار هوا درسطح زیرین بال کاسته شده و بین سطوح بالایی و پائینی اختلاف فشار پیش می‌آید و در نهایت نیروی رو به بالا بوجود خواهد آمد. این اختلاف فشار، مهمترین عامل ایجاد کننده نیروی بالا برنده است. نیروی بالابرنده، نیروی کلیدی آیرودینامیک می‌باشد که خلاف جهت نیروی وزن عمل می‌کند. در پرواز مستقیم و افقی با سرعت یکنواخت، مقدار دو نیروی بالا برنده و وزن برابرند و پرنده در حال تعادل می‌باشد، به عبارتی نه ارتفاع می‌گیرد و نه دچار کاهش ارتفاع می‌شود. شکل ظاهری بال، میزان انحناء بین سطوح بالایی و پائینی بال، نسبت منظری (aspect ratio) که عبارت است از نسبت طول بال به عرض آن ومساحت بال از عوامل اصلی کنترل کننده مقدار نیروی بالابرنده هستند.



شکل۴- الف نیروهای مؤثر در پرواز پرنده، L نیروی بالابرنده، T نیروی رانش، W نیروی وزن و D نیروی بازدارنده. ب- شکل دوکی و خمیده بال (airfoil).
(هر دو شکل نقل از Welty & Batista 1988 با تغییرات).

برخاستن پرندگانی که در سطح زمین زندگی می‌کنند به دو صورت ممکن است. اول اینکه پرنده در یک نقطه مکانی ثابت ایستاده و با بال زدن و فشار جهشی پا، نیروی بالابرنده را تأمین می‌کند و با غلبه بر نیروی وزن از زمین کنده می‌شود. دوم اینکه پرنده جهت تأمین نیروی بالابرنده مورد نیاز، مسافتی را بطور شتابدار می‌دود. از آنجا که نمونه‌های مورد مطالعه حالت برخاستن به روش دوم را نشان می‌دهند، این حالت را بیشتر بررسی می‌کنیم (شکل۵). در این نوع برخاستن عوامل مختلف فیزیکی و زیستی مؤثر هستند و در ساده‌ترین حالت، می‌توان آن را با برخاستن هواپیما از زمین‌مقایسه کرد، در این صورت فاکتورهای مهم زیر در آن دخالت دارند(Dole & Lewis, 2000):

سرعت لازم برای برخاستن که خود به میزان نیروی رانش بستگی دارد.

شتاب مورد نیاز برای برخاستن از زمین.

مسافت مورد نیاز تا کامل شدن عمل برخاستن.

در مرحله نخست فرض می شود پرنده در نقطه d_0 بطور ساکن ایستاده و سرعت برابر صفر می‌باشد. در این نقطه تنها نیروی وزن بر پرنده مؤثر است. در مرحله بعدی، پرنده برای رسیدن به شتاب مورد نیاز با سرعت شتابدار می‌دود. در این مرحله شتاب برابر است با:

$$a = V^2 / 2d \qquad (۱)$$

که در آن a شتاب، V سرعت و d مسافت طی شده می‌باشند. نیروهای مؤثر در مکان d_1 عبارتند از نیروی بالابرنده (L)، نیروی وزن (W)، نیروی بازدارند (D)، نیروی رانش (T) و نیروی اصطکاک (f) که بین سطح پا و سطح زمین عمل می‌کند. نیروهای بازدارنده و اصطکاک در جهت مخالف نیروی رانش هستند. هرچند در مسیر d نیروی بازدارنده نیز افزایش می‌یابد ولی عملکرد نیروی بالابرنده است که بر آن غلبه می‌نماید. به بیان دیگر وقتی نیروی بازدارنده به حد معینی رسید و برابر نیروی بالا برنده شد، سرعت نیز ثابت و شتاب‌گیری متوقف می‌شود. در مرحله آخر یعنی نقطه برخاستن (d_2) نیروی بالابرنده مساوی نیروی وزن شده و عملکرد نیروی رانش به حداقل مقدار خود در مسافت d می‌رسد. نیروی شتاب دهنده F_N در نقطه d_2 برابر نیروی رانش (T) منهای نیروی بازدارنده (D) منهای نیروی اصطکاک (f) است (Dole & Lewis, 2000):

$$F_N = T - D - f \qquad (۲)$$

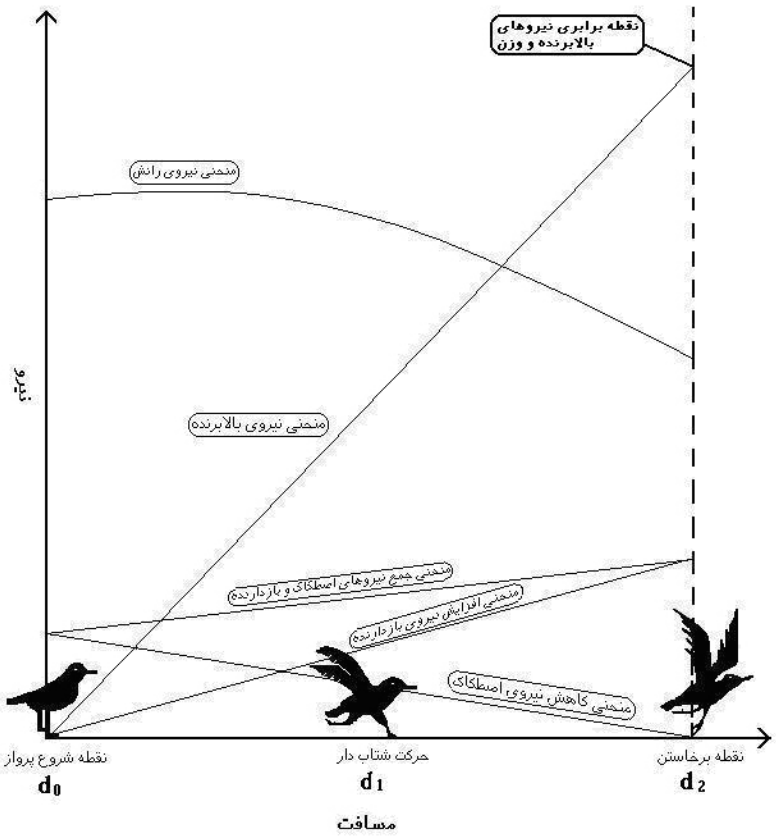
از طرفی طبق قانون دوم نیوتن داریم F= m.a، لذا:

$$a = F/m = F_N/m = g(T-D-f)/W \qquad (۳)$$

بنابراین شتاب مورد نیاز برای برخاستن از زمین نسبت مستقیم با نیروی شتاب دهنده و شتاب ثقل و نسبت عکس با وزن پرنده دارد.

از طرفی آلکساندر (Alexander, 1976) با مطالعه بر روی مهره داران عهد حاضر از جمله پرندگان، معادله بین طول گام (stride length, SL) ، بلندی لگن از سطح زمین (h)، سرعت (V) و شتاب ثقل g را بصورت زیر بیان داشته است:

$$SL/h = 2.3 \left(V^2/gh \right)^{0.3} \qquad (۴)$$



شکل۵- نمودار تغییرات نیروهای مؤثر در طی برخاستن (take off) پرنده در مسافت d.
(براساس Dole & Lewis, 2000 شکل ۱۲-۱، با تغییرات).

برای محاسبه بلندی لگن دایناسورها بر اساس ردپا روش های مختلفی ارایه شده است. استروم (Ostrom, 1973) بیست ویژگی اسکلتی را ارایه می‌دهد که پرندگان (آرکئوپتریکس) از دایناسورهای کوئلوروسروس منشاء گرفته‌اند. با توجه به قرابت و نزدیکی ساختمانی پرندگان با دایناسورها می‌توان از این روش‌ها برای محاسبه بلندی لگن پرندگان نیز استفاده کرد. جدول یک تعدادی از این روشها را نشان می‌دهد.

بنابراین با مطالعه آثار فسیلی ردپا و بدست آوردن مقادیر طول گام و طول ردپا می‌توانیم به بلندی لگن و در نهایت به سرعت و شتاب حرکت پی ببریم.

جدول۱- برخی از روش های محاسبه بلندی لگن از سطح زمین؛ DL_{III} طول انگشت میانی (انگشت III)، FL طول ردپا و h بلندی لگن. مثال ها براساس نمونه های مورد مطالعه است.

روشها	مثال	بلندی لگن	منبع
DL_{III} = %18 h	DL_{III} =1.49 cm	8.3 cm	Avnimelech 1966
h = 4 FL	FL = 2.65 cm	10.6 cm	Alexander 1976
h = 5 FL	FL = 2.65 cm	13.25 cm	Lockley et al. 1983
		10.7 cm	میانگین

توصیف نمونه‌ها

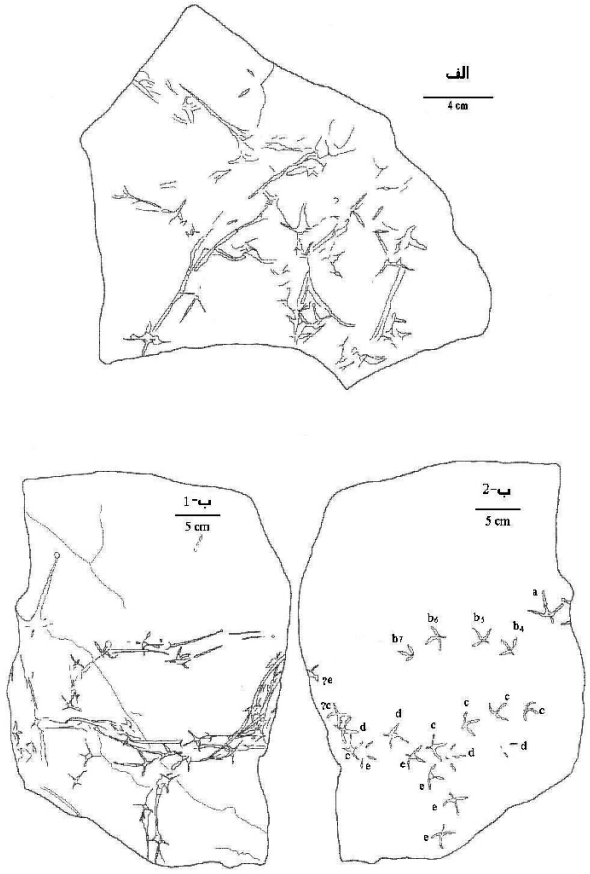
دو نمونه از مجموعه نمونه‌های جمع‌آوری شده اثر جنس *Antarctichnus* Covacevich & Lamperein 1970 در برش سازند سرخ بالایی در غرب روستای مشمپا، الگوی خاص حرکتی و برخاستن پرندگان اثرساز میوسن را نشان می‌دهند، که در زیر شرح داده می‌شوند (شکلهای۶ و ۷). نمونه اول شامل آثار ردپاهایی است که بصورت اثر فرورفته در سطح بالایی رسوب حفظ شده‌اند (شکل۶-الف). حفظ شدگی ردپاها ضعیف است و تنها پنج عدد ردپای چهار انگشتی قابل تشخیص می‌باشند. زیست آشفتگی حاصل از حرکت پرندگان درسطح نمونه قابل توجه است. این زیست آشفتگی به علت شلوغی پرندگان و حرکت خاص آنها بوده به نحوی که پرنده در هنگام حرکت، انگشت میانی (انگشت III) پای خود را بر روی سطح رسوب کشیده است. اثر این کشیده شدن به شکل شیار ممتد، مستقیم یا خمیده باقی مانده است. در برخی جاها در وسط این شیار، یک شیار خطی باریک دیگری نیز وجود دارد که در واقع همان اثر کشیده

شدن چنگال یا ناخن انگشت III می‌باشد. طول اثر کشیده شدن در ردها متفاوت است بطوریکه در برخی اثرها، در بخش جلویی انگشت III به فاصله حدود ۱ تا ۱/۵ برابر انـدازه ایـن انگشـت، رسوبات به سمت جلو رانده شده‌اند و ریختی شبیه مثلث باریک و کشیده بـه آن داده انـد و در برخی دیگر اثر کشیده شدن کاملاً طویل است. جدول۲ اطلاعات ژئومتری این ردپاهـا را نشـان می‌دهد.

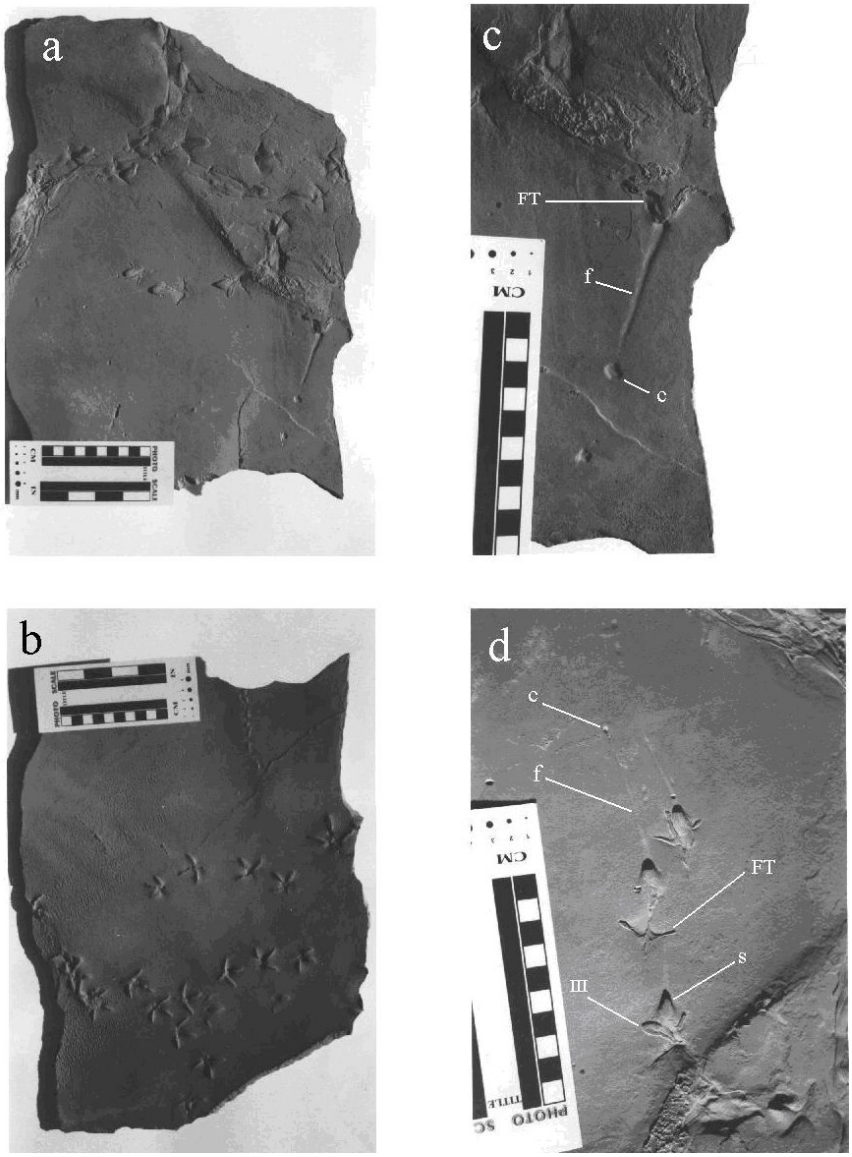
نمونه دوم شامل مجموعه زیبا با حفظ شدگی بسیار خوب ردپاهاست (شکل۶-ب و شکل۷). آثار ردپا بصورت فرورفته در سطح بالایی و عیناً بصورت قالب برجسته در سطح زیرین یک لایه نازک (cm ۱-۰/۵) سیلتستون حفظ گردیـده‌انـد. در سـطح بـالایی رسـوب (شـکل۶- ب-۱)، ۱۳ اثر ردپا وجود دارد که همانند نمونه اول نشان دهنده رفتار حرکتی خاص پرندگان اثرسـاز هستند بطوریکه پرندگان در حین حرکت، پای خود را نزدیک به سطح رسوب جابجـا نمـوده و انگشت میانی پا (انگشت III) بر روی رسوبات کشیده شده است. در پیرامون و بخصوص جلـوی انگشت III انباشتگی رسوبات قابل توجه می‌باشـد. در مـواردی اثـر انگشـت III جـدای از ایـن انباشتگی است، به نحوی که ابتدا اثر انگشتان با تمایل به سمت داخـل مسـیر حرکـت برجـای مانده است، سپس در شروع گام بعدی، انگشت III به سمت خارج چرخش داشته و رسوبات در مجاورت اثر انگشت III به جلو رانده شده اند(شکل۷). در نهایت شـیار مثلثـی شـکل باریـک و کشیده که گاهی با اثر خراش چنگال پا نیز همراه است باقی مانده‌انـد. در دو مـورد ایـن شـیار باریک به یک فرورفتگی گرد ختم می‌گردد، در حالیکه در سایر ردپاها شیار مـذکور بـه ردپـای بعدی ختم می‌شود. در سطح زیرین این نمونه، ۱۲ قالب برجسته از همان ردپاهای سطح بالایی مشاهده می‌شوند (شکل۶- ب-۲و شکل 7b) و اثر کشیده شدن انگشت III وجود ندارند. برخی از ردها بطور کامل قالب‌گیری نشده‌اند و از نظر ابعاد تفاوتهایی با اثر فرورفته سطح بالایی نشان می‌دهند. در این سطح، اثر ردپاها بصورت چهار انگشتی، سه انگشتی با یا بدون اثر کف پا حفظ گردیده‌اند. بخش کـف پـا و بخصـوص ابتـدای انگشـت III فرورفتـه تـر اسـت و ایـن موضـوع نشان‌دهنده آن است که به این قسمتها کمترین نیروی وزن وارد شده اسـت. انگشـتان II-III-IVنوک تیز، مستقیم و در مواردی کمانی شکل می‌باشند. انگشت I کوچـک بـوده و بـه سـمت داخل مسیر حرکت تمایل دارد. ردپاها چرخش به سمت داخل مسیر حرکت نشان می‌دهند.

بطورکلی در این نمونه پنج مسیر حرکت پرندگان وجود دارد که در شکل۶ با حـروف a تـا e مشخص گردیده‌اند. جهت حرکت در مسیرهای a و b متفاوت از سایر مسیرهاست. تنها ردپـای مسیر a از نظر اندازه درشت تر از سایرین است. در مسـیر b، پرنـده دارای حرکـت خمیـده تـا مستقیم بوده که بتدریج به سمت جلو اثر ردپاها محو می‌گـردد و فقـط در انتهـا بـه شـیارهای

حاصل از کشیده شدن انگشت III ختم می‌شود. سه مسیر c، d و e از یک ناحیه کاملاً زیست آشفته شروع می‌شوند و به تدریج در مسیرهای مستقیم یا خمیده، همراه با کشیده شدن انگشت III بر روی رسوبات ادامه پیدا می‌کنند. جدولهای ۲ و ۳ به ترتیب اطلاعات ژئومتری ردپاها و مسیر حرکت پرندگان را نشان می‌دهند.



شکل۶- نمونه‌های مورد مطالعه در این مقاله، الف- نمونه اول (URM-10) ، زیست آشفتگی حاصل از حرکت پرندگان در سطح بالایی رسوب قابل مشاهده است. ب- نمونه دوم (URM-9) که بصورت آثار فرورفته در سطح بالایی رسوب (ب- ۱) و برجسته در سطح زیرین (ب-۲) حفظ گردیده است. شیارهای حاصل از کشیده شدن انگشت میانی بر روی رسوبات در سطح بالایی مشهود است. حروف شکل ب-۲ پنج مسیر حرکتی را نشان می‌دهند. همچنین در حاشیه این نمونه، آثار ناقصی از انگشتان مشاهد می‌شود.



شکل۷- تصاویر ردپای پرندگان در نمونه دوم، a- سطح بالایی رسوب، ردپاها بصورت فرورفته در این سطح حفظ شده‌اند. b- سطح زیرین رسوب، ردپاها بصورت قالب برجسته حفظ شده‌اند. c - ردپای مسیر حرکتی a در سطح بالایی رسوب. d - مسیر حرکتی b در سطح بالایی رسوب. علائم بکار رفته: c فرورفتگی گرد در انتهای شیار، f شیار کشیده شدن انگشت III، FT اثر ردپا، s رسوبات به جلو رانده شده، III انگشت میانی.

جدول۲- ابعاد و اطلاعات ژئومتری ردپاهای پرندگان در دو نمونه مطالعه شده

ردپا	تعداد اندازه‌گیری‌شده	طول رد پا mm	پهنای رد پا mm	طول انگشتان mm		پهنای انگشتان mm		زاویه بین انگشتان	
				حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	II-III	III-IV
نمونه اول	۳۹	۲۸/۱	۳۱/۵	۱۰	۱۹	۲	۳	۶۳	۶۸
نمونه دوم	۵	۳۳/۲	۳۱/۴	۱۳	۲۹	۲	۳	۶۹	۵۸

جدول۳- ابعاد و اطلاعات ژئومتری مسیر حرکت ردپاهای پرندگان در مسیرهای b تا e

رد پا	طول گام stride mm	طول قدم pace mm	زاویه قدم
b-e	۹۶	۵۰/۲	۱۴۹/۲

الگوی حرکتی – برخاستن

الف- الگوی حرکتی

در یک قدم زدن معمولی، انتظار می‌رود که پرنده بعد از برجای گذاشتن کف پا بر روی زمین، پای خود را کاملاً از سطح زمین جدا کرده و در گام بعدی، مجدداً کف پا را بر روی زمین بگذارد. اما آثار باقی مانده در دو نمونه فوق نشان دهنده آن است که پرنده اثرساز درهنگام حرکت پای خود را کاملاً بالا نیاورده و از سطح رسوب جدا ننموده است و در حین حرکت انگشت میانی پای خود را بر روی رسوب کشیده است. از طرف دیگر، رسوبات نهشته شده از شکل‌پذیری بالایی برخوردار بوده‌اند بطوریکه در اثر وزن پرنده، قالب ردپاها نیز در سطح زیرین ثبت گردیده‌اند. در مورد چگونگی ایجاد این آثار می‌توان مراحل زیر را در نظر گرفت (شکل۸). ابتدا بعد از نهشته‌شدن یک لایه ریزدانه درحد رس، رسوبات نسبتاً دانه‌درشت درحد سیلت بر روی آن رسوبگذاری می‌گردد. پرنده پای خود را بر روی رسوب قرار داده و به علت وزن پرنده و شکل‌پذیر بودن رسوبات اثر ردپای ایجاد شده در سطح بالایی، عیناً به سطح زیرین نیز منتقل

گردیده و بصورت قالب برجسته ثبت شده است (شکل۸- الف). در ابتدای گام بعدی، پرنده با چرخانیدن جزئی پا به سمت خارج، پای خود را به تدریج از سطح رسوب بلند کرده و ضمن گام برداشتن، انگشت میانی پای خود را بر روی سطح رسوب کشیده است (شکل۸- ب- ج). هرچند که پرنده به سمت جلو پای خود را اندکی بالا آورده و اثر شیار باریکتر گردیده است ولی انگشت میانی بطور کامل از سطح رسوب جدا نشده و اثر شیار به ردپای بعدی ختم می‌شود (شکل۸- د). نیروی کشیده شدن انگشت میانی آنقدر زیاد نبوده است که اثر آن همانند ردپاها در سطح زیرین لایه‌بندی قالب‌گیری شود.

ب- الگوی برخاستن

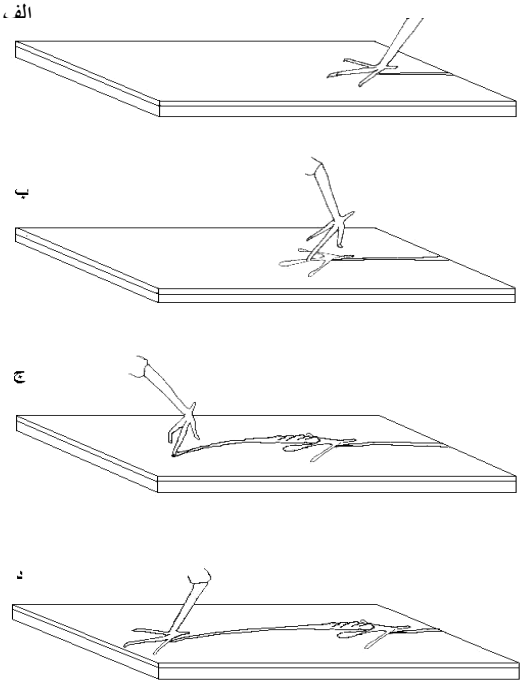
این الگو تنها در دو مسیر a و b نمونه دوم مشاهده می‌شود. همانطور که در فیزیک برخاستن پرندگان عنوان گردید، برخی از پرندگان برای رسیدن به شتاب لازم و نیروی بالابرنده مورد نیاز مسافتی را می‌دوند. آثار ردپای دو مسیر فوق چنین وضعیتی را نشان می‌دهند. مسیر a شامل یک اثر ردپا به اضافه اثر کشیده شدن انگشت میانی که به یک اثر فرورفته تقریباً گرد ختم می‌شود (شکل۷c). مسیر b دارای ۷ اثر ردپاست که ابتدا در یک مسیر خمیده و سپس در مسیر مستقیم آرایش یافته‌اند. در اینجا نیز حد فاصل بین ردپاها اثر کشیده شدن انگشت میانی مشاهده می‌گردد. آنچه که در این مسیر جالب توجه است، از اثر هفتم به بعد، ردپای دیگر وجود ندارد و اندکی جلوتر صرفاً شیارهای مستقیم یا اثر فرورفتگی گرد باقی مانده‌اند. در این مسیر نیز، شیار رد ششم به یک فرورفتگی گرد ختم می‌شود.

متوسط طول رد پای (FL) مسیر b برابر ۲/۶۵ cm و متوسط طول انگشت میانی (انگشت III) برابر ۱/۴۹ cm می‌باشند، لذا طبق روش های جدول۱ متوسط بلندی لگن (h) ۱۰/۷ cm محاسبه می‌شود و بر اساس معادله‌های ۴ و ۱ و با توجه به داده‌های جدول ۳ و طول مسیر حرکت ۲۴/۳ cm و با فرض اینکه در زمان میوسن شتاب جاذبه زمین برابر $980\ cm/s^2$ بوده است، سرعت حرکت و شتاب پرنده در مسیر b به ترتیب حدود ۱۶ cm/s و $5\ cm/s^2$ محاسبه می‌گردد.

برای دستیابی به میزان نیروی شتاب دهنده در لحظه برخاستن احتیاج به دانستن میزان وزن پرنده است. گارلند (Garland, 1983) با مطالعه پستانداران با وزنهای بسیار کم تا بسیار بالا، رابطه زیر را بین سرعت بیشینه (maximum) دویدن و وزن جانور ارایه کرده است:

$$V_{max} = 23.6\ W^{0.165} \qquad (۷)$$

در اینجا نمی‌توان رابطه فوق را برای پرندگان مورد نظر بکار برد. زیرا این پرندگان برای رسیدن به سرعت بیشینه، نه تنها دویده‌اند بلکه نیروی بالا برنده نیز به تدریج بر میزان وزن غلبه کرده است. بنابراین طبق معادلات ۲ و ۴ امکان دسترسی به میزان واقعی نیروی بالابرنده و نیروی شتاب دهنده در هنگام برخاستن وجود ندارد. اما آنچه که در نمونه‌های مورد مطالعه در مسیرهای a و b جلب توجه می‌کند وجود اثر فرورفتگی گرد در انتهای شیار جلوی ردپاهاست. این فرورفتگی حاصل فرورفتن انگشت III در داخل رسوبات می‌باشد. چنین فرورفتگی‌هایی در قسمت‌های جلوتر مسیر حرکت برخاستن a و b نیز وجود دارند. به نظر می‌رسد پرندگان اثرساز برای رسیدن به شتاب لازم و نیروی بالابرنده مورد نیاز نه تنها با سرعت شتابدار دویده اند، بلکه از نیروی فشارشی- جهشی پا نیز جهت تامین نیروی بالابرنده در نقطه برخاستن استفاده کرده‌اند.



شکل۶- مراحل حرکتی پرنده اثرساز بر روی رسوبات سازند سرخ بالایی. الف- مرحله نخست که به علت وزن پرنده، اثر ردپا بر روی رسوب و قالب آن در سطح زیرین لایه نقش می‌بندد. ب و ج- پرنده پای خود بلند کرده درحالی که اندکی به سمت خارج چرخش می‌دهد، انگشت میانی خود را بر روی رسوب می‌کشد. د- اثرگذاری رد پا درگام بعدی.

بحث

بعد از کشف آرکئوپتریکس (Archaeopteryx) در رسوبات سولن هوفن باواریا در آلمان به سن ژوراسیک پسین، فرضیات مختلفی برای منشاء پرواز ارایه شده است.

یکی از این فرضیات شروع پرواز را از هوا به زمین می داند (یا به عبارتی سقوط از بالای درختان tree-down). برخی از طرفداران این نظریه عبارتند از:

Heilmann 1927, Bock 1985, Feduccia 1996,Chatterjee & Templin 2003. دراین نظریه فرض می‌شود که پرندگان اولیه با خزیدن، به بالای درختان صعود کرده، سپس با رهاکردن خود بصورت گلایدری قادر به پرواز شده‌اند. در نظریه دیگر، دانشمندان آغاز پرواز پرندگان را از زمین به هوا و بصورت دویدن و بال زدن می‌دانند (Nopesa, 1907 Ostrom 1986, Padian & Chiappe, 1998). در این فرضیه پرندگان ضمن دویدن و رسیدن به شتاب لازم، از طریق جهش شروع به پرواز کرده‌اند. اخیراً نظریه بال زدن-گلایدری (flutter-gliding) ارایه شده است (Longs *et al.,* 2003). در این نظریه که تلفیقی از دو نظریه قبلی است، فرض می‌شود که احتمالاً پرندگان اولیه قبل از پرواز گلایدری و ثابت نگهداشتن بال خود، چند بار بال می‌زده‌اند. در هر صورت، واضح است که با ظهور آرکئوپتریکس، گروهی از مهره داران قادر به پرواز می‌گردند.

زمان میوسن، زمان ظهور و شکوفایی بسیاری از پرندگان امروزی است (Chiappe, 1995). در پرندگان امروزی، مطالعات بیشتر بر روی آئرودینامیک پرواز متمرکز است و کمتر به نحوه برخاستن (take off) آنها توجه گردیده است. از طرفی پی بردن به چگونگی برخاستن و نحوه تاثیر نیروها از روی آثار فسیلی ردپای پرندگان امری دشوار می‌باشد، زیرا فقط اثر اندامهای تحتانی یعنی پاها باقی می‌ماند و نحوه عملکرد سایر اندامها بخصوص بالها مشخص نیست. تا آنجا که نگارنده آگاه است، تنها اثر فسیلی مربوط به برخاستن و نشستن پرندگان، مربوط به گزارش موستو (Mustoe, 1993) از رسوبات ترشیری پیشین می‌باشد. وی در یک لایه رسوبی به طول حدود ۲ متر، ۹ اثر ردپای پرنده گزارش کرده است که در بخش میانی در حدفاصل ردپاهای ناقص چهارم و پنجم (به مسافت ۰/۵ متر) آثار ردپا موجود نیستند. وی این فاصله را، مسافت برخاستن- نشستن پرنده در نظر می‌گیرد. در نمونه فوق اثری از کشیده شدن ردپاها یا اثر خاص دیگری گزارش نشده است. ردپاهای مورد مطالعه در این مقاله (بخصوص ردپاهای مسیر b) اثر برخاستن پرنده را نشان می‌دهند، زیرا:

الف- به سمت جلو به تدریج ردپاها و شیارهای حاصل از کشیده شدن انگشت III محو می‌شوند.

ب- زاویه بین انگشتی از رد دوم تا هفتم مسیر b از حدود ۷۵ درجه به ۴۶ درجه کاهش می‌یابد که این حاکی از جمع شدن انگشتان و رفتار پرنده جهت کاهش میزان نیروی اصطکاک است.

ج- اندازه متوسط انگشتان در قالب ردپاها به سمت جلو از حدود ۱۵ میلیمتر به حدود ۱۲ میلیمتر کاهش پیدا می‌کند که این نیز همانند حالت قبل درجهت کاهش میزان اصطکاک بوده است.

د- وجود فرورفتگی گرد در انتهای شیار جلو ردپا که در واقع اثر فرورفتن انگشت III است، بعنوان اثر فشارشی و جهشی پا جهت رسیدن به نیروی بالابرنده مورد نیاز تفسیر می‌شود.

روش حرکتی کشیدن انگشتان بر روی رسوبات در دایناسورها شناخته شده است. آثار خراش و کشیده شدن انگشتان (بخصوص انگشت میانی) بر روی رسوبات به شکل طویل در جلوی ردپای دایناسور گزارش گردیده است (Thulborn & Wade 1984). گتسی و همکاران (Gatesy *et al.,* 1999) با مطالعه انواع حفظ شدگی ردپاهای تروپودهای (Theropods) تریاس سازند فلمینگ فیورد (Fleming Fjord) گرین لند، نوعی آثار ردپا را معرفی کرده اند که نشان دهنده به هم ریختگی حاصل از کشیده شدن پا بر روی رسوبات می‌باشند. در الگوی رایانه‌ای آنان، رسوبات گلی ضخیم لایه‌ای فرض شده‌اند که پای دایناسور بطور مورب در رسوبات فرورفته و مجدداً بطور مورب از رسوبات خارج گردیده‌است. در نهایت علاوه بر به هم ریختگی اثر ردپا، اثر کشیده شدن انگشتان بر روی رسوبات و در فاصله کوتاه باقی مانده است.

از بین نمونه‌های متعدد جمع‌آوری شده از اثر جنس *Antarctichnus* در برش چینه‌شناسی سازند سرخ بالایی در غرب روستای مشمپا، تنها دو نمونه وضعیت کشیده شدن انگشت میانی بر روی رسوبات را نشان می‌دهند. شاید این موضوع به دلیل اندک بودن پرندگان دارای رفتار حرکتی فوق در منطقه باشد. دلیل دیگری که می‌توان در نظر گرفت، متفاوت بودن نوع رسوباتی است که پرندگان اثر ساز بر روی آنها گام برداشته‌اند. یعنی اینکه پرندگان اثرساز *Antarctichnus* ، تماماً دارای حرکت کشیده شدن انگشت میانی بر روی رسوبات بوده‌اند ولی به علت سفت بودن رسوبات امکان باقی ماندن آثار در همه جا فراهم نبوده است و فقط در رسوبات آبدار و کاملاً شل و شکل پذیر(مانند دو نمونه بحث شده) اثرکشیده‌شدن باقی مانده‌اند. ردپای *Antarctichnus* توسط پرندگانی ایجاد شده است که دارای سه انگشت به اضافه انگشت I کوچک بوده‌اند. این ردپاها اندازه متوسط داشته و احتمالاً توسط پرندگان ساحلی راسته آبچلیکیان (charadriiformes) بخصوص پاشله‌ها (snipe) ایجاد شده‌اند.

نتیجه‌گیری

با مطالعه نمونه‌های بدست آمده در برش چینه‌شناسی غرب روستای مشمپا، می‌توان رفتار زیستی جدیدی را تحت عنوان رفتار حرکت- برخاستن، در بین رفتارهای استنباط شده از روی آثار فسیل، اضافه نمود. در الگوی حرکتی پرندگان اثرساز میوسن، احتمالاً پرندگانی وجود داشته‌اند که دارای حرکتی شل همراه با کشیده شدن انگشتان بر روی رسوبات بوده‌اند. در الگوی برخاستن از زمین، این پرندگان برای افزایش میزان نیروی بالابرنده از نیروی فشارشی و جهشی پا نیز استفاده کرده‌اند.

سپاسگزاری

بدینوسیله نگارنده از آقایان دکتر فدوکیا (A. Feduccia ، دانشگاه ییل Yale University) و دکتر عبدالحسین امینی (دانشگاه تهران) بخاطر ارایه راهنمایی‌های علمی ارزنده سپاسگزاری می‌نماید. از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه زنجان و همکاران محترم طرح پژوهشی، بخاطر مساعدت و همکارهایشان متشکرم. از داوران علمی این مقاله که نکات ارزنده‌ای را خاطر نشان نمودند قدردانی می‌کنم. از آقای مهدی شمس که در مطالعات صحرایی اینجانب را یاری دادند متشکرم.

References

Alexander, R. McN.(1976) *Estimates of speeds of dinosaurs*. Nature, **261**, 129-130.

Avinimelech, M.A. (1966) *Dinosaur tracks in the Judean Hills. Proceeding of the Israel Acd.* Sci. & Humanities, Section Sci. **1**, 1-19.

Bock, W.J. (1985) *The arboreal theory for the origin of birds.* In Hecht, M. K., Ostrom, J.H., Viohl, G., Wellnhonfer, P. (eds.) The Beginning of Birds. Freunde des Jura Museums. Eichstatt, Germany: 199-207.

Chatterjee, S., Templin, R.J. (2003) *The flight of Archaeoperyx.* Naturwissenschaften **90**, 27-32.

Chiappe, L.M. (1995) *The first 85 million years of avian evolution.* Nature, **378**, 349-355.

Covacevich, V., Lamperein, C. (1970) *Hallazgo de icnotas en Peninsula Fildes*, Isle Rey Jorge, Archipielago Shetland del Sur, Antarctica. Instituto Antarctico Chile o, ser. Científica, **1(1)**, 55-74.

Doyle C.E. and Lewis, J.E. (2000) *Flight Theory and Aerodynamics, A Practical Guide For Operational Safety*, John Wiley & sons publ. 314 p.

Feduccia, A. (1996) *The Origin and Evolution of Birds.* Yale University Press, New

Haven, Conn.

Garland, T. (1983) *The relation between maximal running speed and body mass in terrestrial mammals.* J. Zool., **199**, 157-170.

Gatesy, S.M., Middleton, K.M., Jenkins Jr, F.A. Shubin, N.H. (1999) *Three-dimensional preservation of foot movements in Triassic theropod dinosaurs*, Nature, **399**, 141-144.

Heilmann, G. (1927) *The Origin of Birds.* Appleton D and Co. New York.

Lockley, M.G., Young, B.H. and Carpenter, K. (1983) *Hadrosaur locomotion and herding behavior: evidence from footprints in the Mesaverde Formation, Grand Mesa coal field, Colorado.* The Mountain Geologist, **20**, 5-14.

Long, C. A., Zhang, G. P. and George, T.F. (2002) *Physical and evolutionary problems in take-off runs of bipedal winged vertbrates.* Archaeopteryx, **20**, 63-71.

Long, C.A., Zhang, G.P., George, T.F. and Long, C.F. (2003) *Physical theory, origin of flight, and a synthesis proposed for birds*, Journal of Theoretical Biology, **224**, 9-26.

Müller, A.H. (1962) *Zur Ichnologie, Taxiologie und Ökologie Fossiler Tiere.* Freiberger Forschungsh., C. **151**, 5-49.

Mustoe, G.E. (1993) *Eocene dird tracks from the Chuckanut Formation, northwest Washington*, Can. J. Earth Sci. **30**, 1205-1208.

Nopesa, F. (1907) *Ideas on the origin of flight*. Proc. Zool. Soc. London **1907**, 223-236.

Ostrom, J.H. (1973) *The ancestry of birds.* Nature **242**, 136 .

Ostrom, J.H. (1986) *The cursorial origin of avian flight*, Mem. California Acad. Sci. **8**, 73-81.

Padian, K. L. and Chiappe, L. M. (1998) *The origin of birds and their flight.* Sci. Am. **278,** 38-47.

Pettijhon, F.J., Potter, P.E. and Siever, R. (1987) *Sand and Sandstone.* Springer-Verlag Publications, 553 pp.

Seilacher, A. (1953) *Studien zur Palicnologie*. 1. Über die Methoden der Palichnologie: Neues Jahrb. Geologie, Paläontologie, Abhandl. **96**, 421-452.

Stöcklin, J., Eftekhar-nezhad, J. (1969) *Explanatory Text of the Zanjan Quadrangle Map. Geol. Survey of Iran*, report No D4, 61pp. [with 1:250000 geological map.[

Thulborn, R. A. and Wade, M. (1989) *A footprint as a history of movment*. In Gillette, D. D. and M. G. Lockley (eds.) Dinosaur Tracks and Traces, Cambrige University Press. 51-56.

Welty, J. C. and Baptista, L. (1988) *The Life of Birds*, Saunders college Pub. 581 pp.