

## مطالعه ماکروسکوپی و میکروسکوپی نای در فوک خزری (*Pusa caspica*)

مهديه مغانی قهرمانلو<sup>۱</sup>، محمد تقی شبیانی<sup>۲\*</sup>، علی طاهری میرفانده<sup>۳</sup>

### چکیده

در این مطالعه که برای اولین بار انجام می‌گیرد، نای ۵ قلاده فوک خزری مورد بررسی قرار گرفتند. جهت مطالعه ماکروسکوپی، موقعیت نای ها و وضعیت حلقه های غضروفی آنها به دقت بررسی گردیدند. جهت بررسی میکروسکوپی، پس از طی مراحل معمول بافت شناسی، برش های ۶ میکرونی تهیه و به روش های هماتوکسیلین-انوزین، پریودیک اسید شیف، تری کروم ماسون، ورهوف و آلسین بلو رنگ آمیزی گردیدند و با میکروسکوپ نوری مورد مطالعه قرار گرفتند. نتایج ماکروسکوپی نشان دادند که مجرای نای به شکل بیضی کشیده شده بوده اما در سطح قدامی نای سطح مقطع بطور کامل گرد می باشد. حلقه های غضروفی بصورت C شکل بوده اما غضروف هایی که بعد از غضروف کریکوئید قرار دارند به صورت حلقه های کامل دیده می شوند. تعداد حلقه های غضروفی در ۵ نمونه بین ۸۵ تا ۹۵ غضروف بوده که حلقه های کامل آنها حدود ۲۸ عدد می باشند. نتایج بافت شناسی نشان دادند که اپیتلیوم از نوع استوانه ای شبه مطبق با سلول های جامی فراوان می باشد. پارین از بافت همبند سست حاوی بافت های لنفاوی متراکم و زیرمخاط از بافت همبند سخت تشکیل شده است. وجود و تراکم رشته های کلاژن و الاستیک در زیر مخاط نسبت به پارین بیشتر بوده و شبکه عروقی گسترده ای با فضاهای لاکونایی و ساختارهای دریاچه مانند در بافت های همبندی نای دیده می شوند. عضلات نایی عمدتاً در جهت طولی قرار گرفته و حلقه های غضروفی در ناحیه پشتی نای در چند لایه باهم همپوشانی دارند.

واژگان کلیدی: فوک خزری، نای، میکروسکوپی، ماکروسکوپی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۲/۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۴/۱۰

### مقدمه

فوک خزری (*Pusa caspica*) یکی از کوچکترین اعضای خانواده Phocidae می باشد. این گونه در دنیا منحصر به فرد بوده که تنها در دریای خزر یافت می شود و از شاخه پستانداران گوشتخوار است (۱). این حیوانات زندگی

اجتماعی داشته و اغلب در دسته های بزرگ دیده می شوند. فوک ها دارای مهاجرت منظم از قسمت شمالی به آبهای عمیق دریای خزر جنوبی می باشند. فوک های خزری از اوایل بهمن تا اواخر فروردین در مناطق یخ زده شمال دریای خزر و از اردیبهشت تا شهریور در سواحل جنوبی دریای خزر ساکن هستند. این حیوانات تنها گونه پستاندار دریایی هستند که در دریای خزر زندگی می کنند و در فهرست گونه های در معرض انقراض قرار دارند (۲).

با توجه به این که در سال های اخیر هیچ گونه مطالعه ای در مورد وضعیت سلامتی این گونه مهم و خطرات محیطی که آنرا تهدید می کند صورت نگرفته است و اطلاعات کمی در مورد بافت شناسی سیستم تنفسی فوک دریاچه خزر، تنها پستاندار این دریاچه در دسترس است، در نتیجه هدف از این تحقیق بررسی خصوصیات ماکروسکوپی و میکروسکوپی نای در این پستاندار است.

آناتومی خاص بدن فوک های دریایی با شرایط ویژه زندگی در آب و همچنین درجه حرارت های بسیار پایین تطابق یافته است. فوک ها توانایی نفوذ به اعماق ۲۰۰ متری دریا را دارند. به هنگام نفوذ به عمق، این حیوان می تواند به هنگام نیاز، متابولیسم و دمای بدن خود را به حداقل رسانده و ضربان قلب را به یک دهم میزان طبیعی کاهش دهد. در این صورت میزان مصرف اکسیژن در بدن بسیار پایین آمده و امکان حبس تنفس طولانی مدت را فراهم می سازد همچنین فوک ها ریه های خود را در اولین دور غواصی

۱- دانشجوی دکتری تخصصی بافت شناسی، گروه علوم پایه، دانشکده دامپزشکی دانشگاه تهران، تهران، ایران

۲- دانشیار، گروه علوم پایه، دانشکده دامپزشکی دانشگاه تهران، تهران، ایران. Sheybani@ut.ac.ir

۳- استاد، گروه بهداشت و بیماری های آبزیان، دانشکده دامپزشکی دانشگاه تهران، تهران، ایران

### مواد و روش کار

نمونه های نای مورد مطالعه از ۵ قلاده فوک خزری با همکاری مرکز حفاظت فوک خزری ایران در شمال کشور تهیه گردید که پس از بررسی های ماکروسکوپی نای و اطمینان از عدم وجود عوارض و ضایعات، نمونه های مورد نظر از نای با ایجاد برش های سرتاسری بر روی آنها و جداسازی قطعات کوچکتر در ظروف حاوی محلول فرمالین ۱۰٪ قرار گرفتند.

نمونه های برش داده شده به روش های هماتوکسیلین - ائوزین، پرئودیک اسید شیف، تری کروم ماسون، و رهوف و آلسین بلو رنگ آمیزی گردیده و با میکروسکوپ نوری مورد مطالعه قرار گرفتند (۸،۹). تحقیق حاضر دارای کد اخلاق با شماره IR.UT.VETMED.REC.1401.017 می باشد.

### نتایج

#### الف) نتایج ماکروسکوپی

نای بلافاصله از غضروف کریکوئید حنجره شروع شده و طول آن تا ابتدای انشعابات ورودی قفسه سینه بصورت برونش های اولیه امتداد می یابد. نای حاوی حلقه های غضروف شفاف است که در نواحی مختلف در طول نای ساختار های ماکروسکوپی مختلفی را بر خلاف دیگر پستانداران نشان می دهد. مشاهده گردید که دو سوم نای گردنی مقطع بیضی شکل داشته که در واقع دهانه مجرای نای در سطح مقطع عرضی به شکل بیضی کشیده شده است اما در سطح قدامی نای سطح مقطع این مجرا بطور کامل گرد می باشد (نگاره ۱؛ a).

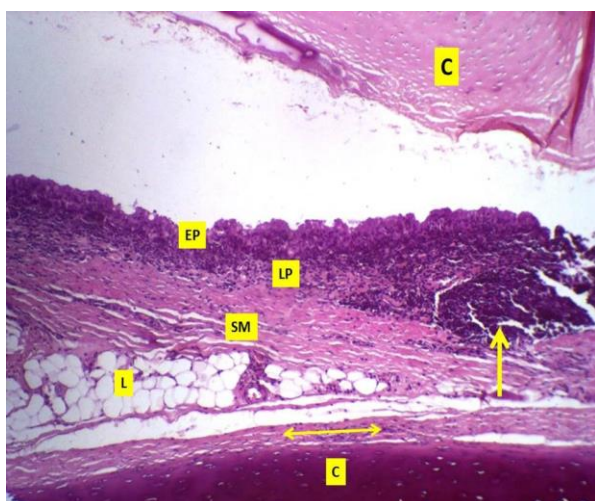
تعداد حلقه های غضروف شفاف در ۵ نمونه مختلف نای بین ۸۵ تا ۹۵ غضروف بوده که در سطوح پشتی و شکمی فشرده شده و بنابراین بیضی شکل دیده می شوند. حلقه های غضروفی بصورت C شکل بوده که قسمت باز حلقه ها در سمت پشتی و در مجاورت مری قرار دارند. اغلب انتهای

تخلیه می نمایند تا از تجمع نیتروژن بافتی جلوگیری کنند (۳،۴).

مطالعات بسیار اندکی در مورد قابلیت فشرده شدن مجاری هوایی شامل نای و برونش ها در پستانداران دریایی صورت گرفته است. با وجود غضروف های شفاف مستحکم در دیواره این مجاری، توصیف و روشن کردن عملکرد این مجاری هدایت کننده هوا در اعماق زیاد آب بسیار اهمیت دارد. زیرا پستانداران دریایی که در اعماق نیز غواصی می کنند، با چالش هایی از قبیل تغییرات فشار و فشار بالا در اعماق مواجه می باشند که علیرغم استحکام ساختارهای غضروفی مجاری هوایی مذکور، ساختار قفسه سینه در این حیوانات با افزایش فشار در اعماق فشرده شده که در نتیجه انعطاف پذیری خوبی را در این شرایط نشان می دهد (۵،۶). به دلیل قرار گرفتن فوک خزری در لیست قرمز گونه های در معرض انقراض و تنها پستاندار دریای خزر از هر دو جنبه اکولوژیکی و بیولوژیکی، مهم است که ویژگی های اصلی تنفسی این گونه را به عنوان پایه ای برای هر گونه تحقیقات آتی مربوط به فوک خزری مطالعه گردد که نتایج آن می تواند کمک بزرگی به آسیب شناسی و روند های بهبود و نگهداری این گونه در معرض خطر بنماید. یکی از مشکلات موجود، عدم وجود اطلاعات کافی راجع به فوک های خزری بوده و همچنین بی توجهی به شرایط نامساعد این موجودات و عدم آگاهی از وضعیت آن ها، خطر انقراض را بیش از پیش مطرح نموده است. جمع آوری اطلاعات و انجام تحقیقات علمی، ما را در کنترل و سلامت اکوسیستم خزر و تدوین برنامه های حفاظتی و پیشگیرانه یاری می دهد. و از آنجایی که جمعیت فوک خزری با سرعت چشمگیری رو به افول می باشد شناسایی عوامل مؤثر بر مرگ و میر و کاهش جمعیت، امری ضروری در راستای اقدامات عملیاتی و کاربردی به منظور حفاظت از این گونه در معرض خطر می باشد.



نگاره ۲: برش عرضی از نای فوک خزری در سطح پشتی: (E): اپیتلیوم، (L): پارین، (S): زیرمخاط، (D): ادوانتیس. لایه های غضروف شفاف (ستاره) در این سطح بصورت دو یا چند لایه و بموازات یکدیگر دیده می شوند. (هماتوکسیلین و ائوزین × ۲۵)



نگاره ۳: بخشی از نای فوک خزری: اپیتلیوم استوانه ای شبه مطابق نای (EP) و بافت همبند سست پارین (LP) که حاوی بافت لنفاوی منتشر و فولیکول لنفاوی (پیکان) می باشد. زیر مخاط (SM) از بافت همبند سخت تشکیل شده و مقادیری از بافت چربی (L) نیز در آن دیده می شود. در نگاره، غضروف های شفاف (C)، و پریکندریوم (پیکان دو سر) قابل مشاهده می باشند. (هماتوکسیلین و ائوزین × ۱۰۰)

باز این غضروف ها روی هم همپوشانی دارند، اما غضروف هایی که بعد از غضروف کریکوئید قرار دارند به صورت حلقه های کامل دیده می شوند (نگاره ۱؛ a,b).

محل انشعاب یا دو شاخه شدن نای در سطح سوم فضای بین دنده ای قرار دارد. بخش ورودی نای به قفسه سینه و غضروف های اصلی داخل حفره سینه به تعداد ۱۵ عدد و به صورت حلقه های کامل مشاهده می گردد که در مجموع حلقه های غضروفی کامل در نای حدود ۲۸ با دامنه ۲۰-۳۳ عدد می باشد (نگاره ۱؛ b,c).

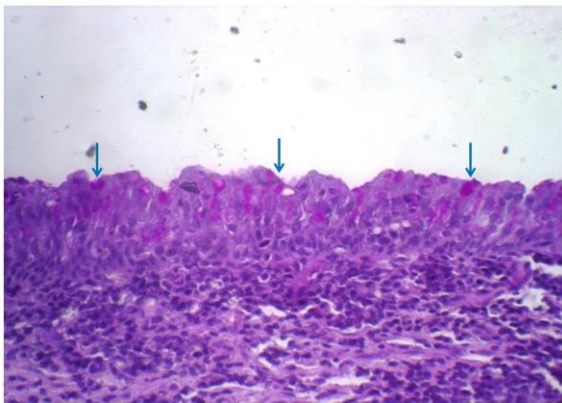


نگاره ۱: نمای ماکروسکوپی نای فوک خزری: a) بخش های قدامی (TP)، b) بخش های قدامی (TP)، میانی (TM) و خلفی (TD)، c) بخش های میانی (TM)، خلفی (TD) و اولین انشعاب برونشی (PB).

### ب) نتایج میکروسکوپی

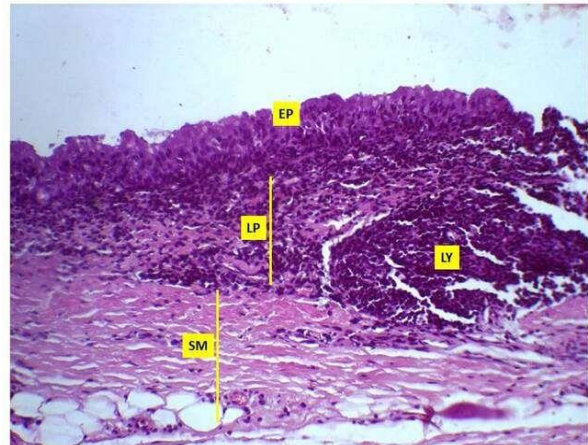
بررسی بافت شناسی نای در فوک خزری نشان داد که این عضو از چهار لایه بافتی شامل مخاط، زیرمخاط، غضروف شفاف و ادوانتیس تشکیل شده است (نگاره ۲). لایه مخاطی نای متشکل از بافت پوششی و پارین مخاط بوده که بافت پوششی آن از نوع استوانه ای شبه مطابق مژه دار و حاوی سلول های جامی متعدد می باشد (نگاره های ۳-۵).

تشکیل شده است که علاوه بر سلول های فیبروبلاست و فیبروسیت، حاوی مقادیر فراوانی از لنفوسیت ها و بافت لنفاوی منتشر و حتی فولیکول لنفاوی می باشد. (نگاره های ۴ و ۵). لایه ماهیچه مخاطی که در صورت وجود، پارین را از زیرمخاط جدا می کند در نای مشاهده نگردد. لایه زیر مخاط از بافت همبند سخت کلاژنه و متراکمی همراه با رشته های الاستیک نازک تشکیل شده که در بخش زیرین آن لایه ای از بافت چربی در مجاورت اولین لایه غضروفی نای وجود دارد (نگاره های ۳ و ۴).

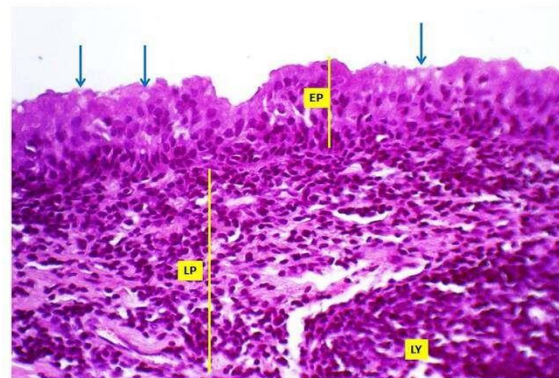


نگاره ۶: رنگ آمیزی اختصاصی پاس از مخاط نای با بزرگنمایی بالا که در اپیتلیوم آن سلول های جامی فراوان (پیکان ها) با ترشحات موکوسی حاوی موسین و موکوپلی ساکارید به رنگ ارغوانی مشاهده می گردند. (پریودیک اسید شیف  $\times 400$ )

در پارین و زیرمخاط، علاوه بر عروق مویرگی فراوانی که در بین سلول های همبندی و لنفاوی پارین و همچنین در بین رشته های کلاژن و الاستیک زیرمخاط حضور دارند، شبکه ای از عروق و ورید های متسع بویژه در زیر مخاط و همچنین لایه ادوانتیس نای دیده می شوند که اندوتلیوم یا پوشش داخلی این ورید ها بر روی لایه ضخیمی از رشته های الاستیک قرار گرفته اند. شبکه عروقی موجود در بافت های همبندی نای شامل پارین، زیرمخاط، ادوانتیس و همچنین در بین لایه های غضروفی مجاور هم گسترده بوده که ویژگی برخی از آنها وجود فضاهای لاکونا مانند و همچنین حضور ساختارهای دریچه مانند بویژه در عروق



نگاره ۴: بزرگنمایی بیشتر از اپیتلیوم استوانه ای شبه مطبق (EP) همراه با پارین مخاط (LP) دارای بافت همبند سست با لنفوسیت های فراوان و حاوی فولیکول لنفاوی (LY) و بافت همبند سخت زیر مخاط (SM). (هماتوکسیلین و اتوزین  $\times 200$ )

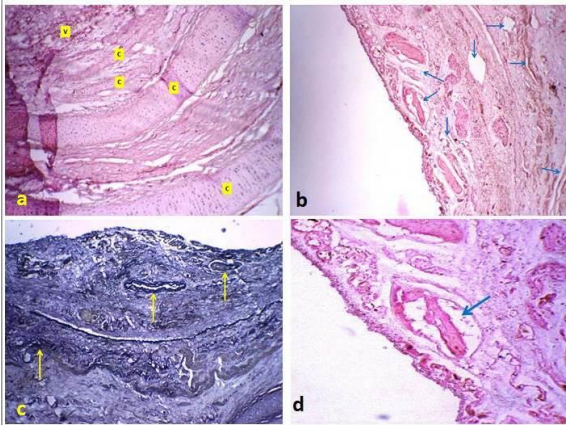


نگاره ۵: بزرگنمایی بالا از مخاط نای شامل اپیتلیوم استوانه ای شبه مطبق (EP) حاوی سلول های جامی متعدد (پیکان ها) و پارین مخاط (LP) با بافت همبند سست متشکل از سلول های خونی و لنفاوی فراوان و بخشی از یک فولیکول لنفاوی (LY) مشاهده می گردد. (هماتوکسیلین و اتوزین  $\times 400$ )

سیتوپلاسم سلول های جامی که با رنگ آمیزی هماتوکسیلین و اتوزین روشن دیده می شوند حاوی ترشحات موکوسی بوده و این ترشحات با رنگ آمیزی پریودیک اسید شیف بخوبی قابل مشاهده و ردیابی می باشند که حضور موسین ها و موکوپلی ساکاریدها را در ترشحات این سلول ها نشان می دهد (نگاره ۶). پارین در زیر بافت پوششی قرار داشته و از بافت همبند سستی



غدد نایی آسینوسی (پیکان‌ها) در پارین مخاط مشهود می‌باشد، (b) رنگ آمیزی تری کروم ماسون (بزرگنمایی  $\times 25$ )؛ چند لایه بودن غضروف‌های شفاف و وجود رشته‌های کلاژن و رشته‌های عضلانی فراوان در بین آنها دیده می‌شود، (c) رنگ آمیزی تری کروم ماسون (بزرگنمایی  $\times 25$ )؛ که وجود رشته‌های کلاژن و رشته‌های عضلانی در لایه ادوانتیس نای را نشان می‌دهد، (d) رنگ آمیزی تری کروم ماسون (بزرگنمایی  $\times 100$ )؛ حضور میزان و تمایز رشته‌های کلاژن و عضلات صاف در مخاط و زیر مخاط نای.



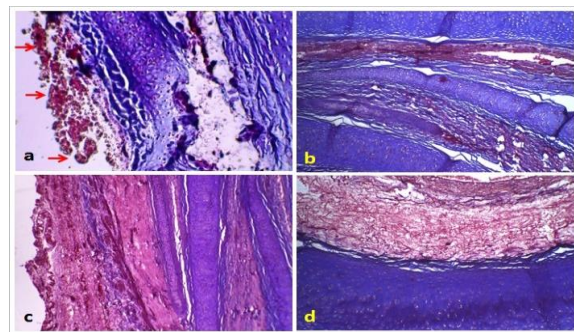
نگاره ۹: (a) مخاط، زیر مخاط و لایه‌های غضروفی نای با رنگ آمیزی آلسین بلو (بزرگنمایی  $\times 100$ )، با ردیابی قطعات غضروف شفاف نای (C) و وجود عروق خونی متسع در زیر مخاط (V)، (b) رنگ آمیزی آلسین بلو (بزرگنمایی  $\times 100$ )؛ وجود عروق شریانی و وریدی گسترده (پیکان‌ها) در لایه ادوانتیس نای قابل توجه است، (c) رنگ آمیزی ورهوف (بزرگنمایی  $\times 100$ )؛ گستردگی حضور رشته‌های الاستیک فراوان که به رنگ آبی تیره در بافت‌های همبند نای و بویژه در دیواره عروق (پیکان‌ها) مشهود می‌باشد، (d) رنگ آمیزی آلسین بلو (بزرگنمایی  $\times 200$ )؛ وجود ساختارهای لاکونایی (پیکان) در یکی از عروق وریدی قابل مشاهده است.

غدد ترشحی نای از نوع لوله‌ای-آسینی و دارای ترشحات مختلط سروزی و موکوسی بوده که بصورت پراکنده در بافت‌های همبندی مخاطی مشاهده می‌گردند. این غدد نسبتاً کوچک و پلی مورفیک بوده که حاوی گرانول‌های ترشحی اسیدوفیلیک می‌باشند. مجاری این غدد از اپی تلیوم مکعبی تشکیل شده است. این غدد با عناصر سلولی موکوسی در زیر مخاط ناحیه شکمی جانبی نیز حضور

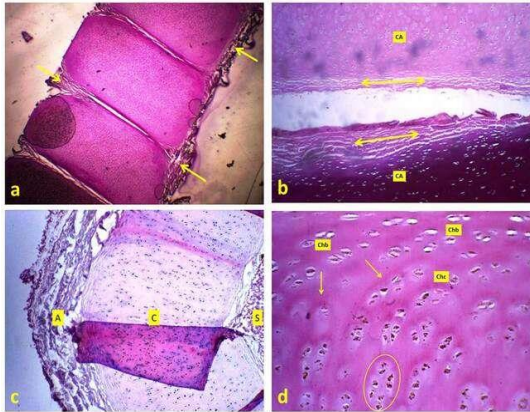
وریدی بزرگتر می‌باشد (نگاره‌های ۷ و ۹). همچنین میزان قابل توجهی از رشته‌های الاستیک با جهت طولی در میان رشته‌های کلاژن هم در پارین و زیر مخاط و هم در لایه ادوانتیس مشاهده می‌گردد. که این رشته‌ها در رنگ آمیزی‌های اختصاصی ورهوف و تری کروم ماسون، بخوبی قابل تشخیص و ردیابی می‌باشند. این رنگ آمیزی‌ها نشان دادند که تراکم کلی رشته‌های همبندی در زیر مخاط نای نسبت به گسترش این رشته‌ها در پارین مخاط بیشتر بوده و علاوه بر آن رشته‌های الاستیک موجود در پارین مخاط نسبت به این رشته‌ها در زیر مخاط نازک تر می‌باشد. همچنین در سمت مقابل، در بافت همبند ادوانتیس موجود در پشت حلقه‌های غضروفی، نیز تراکم این رشته‌ها قابل توجه می‌باشند. (نگاره‌های ۸ و ۹)



نگاره ۷: بزرگنمایی بالا از وجود ساختارهای دریچه مانند (پیکان‌های نازک) و همچنین حضور فضاهای لاکونایی (پیکان‌های ضخیم) در عروق وریدی نای. (آلسین بلو  $\times 400$ )



نگاره ۸: (a) مخاط، زیر مخاط و لایه‌های غضروفی نای با رنگ آمیزی تری کروم ماسون (بزرگنمایی  $\times 25$ )؛ که وجود رشته‌های کلاژن به رنگ آبی و رشته‌های عضلانی به رنگ قرمز در زیر مخاط همراه با تجمعی از



نگاره ۸: ۱۰: a) غضروف شفاف نای با رنگ آمیزی پاس (بزرگنمایی  $\times 200$ )؛ اتصال حلقه های غضروفی نای که به صورت منقطع با بافت همبندی بینابینی متصل شده و از اطراف توسط پریکندریوم پوشیده و محافظت می گردند (پیکان ها)، b) دو لایه غضروف شفاف مجاور (CA) و پریکندریوم های ضخیم آنها (پیکان های دو سر) با رنگ آمیزی همتوکسیلین و اتوزین (بزرگنمایی  $\times 100$ )، c) سطح شکمی خارجی نای با رنگ آمیزی آلسین بلو (بزرگنمایی  $\times 100$ )؛ که ادوانتیس آن (A) از نوع بافت همبند سخت در پشت غضروف شفاف (C) و زیر مخاط (S) دیده می شود، d) بزرگنمایی بالا از غضروف شفاف نای با رنگ آمیزی همتوکسیلین و اتوزین (بزرگنمایی  $\times 400$ )؛ حاوی کندرو بلاست ها (Chb) و کندروسیت ها (Chc) با پوشش کپسولی مشخص (پیکان ها). در بخش های میانی غضروف، گروه های ایروژنیک کندروسیتی (بیضی) به فراوانی مشاهده می گردند.

### بحث

پستانداران دریایی در طی تکامل خود مواردی از ویژگی های زندگی بر روی خشکی را با خود همراه دارند. از آنجایی که این جانوران مانند ماهیها تنفس نمی کنند، دستگاه تنفسی جهت سازش با تنفس در دو محیط آبی و خشکی دستخوش تغییراتی گردیده است که برخی از آنها عبارتند از پره ها و سوراخ های بینی دریچه دار و همچنین وجود حنجره اینترانریال (Intranarial) ه از ورود آب به دستگاه تنفس ممانعت می نماید. در زیر جمجمه، منافذ بینی متمایل به چپ در ارتباط با حنجره متمایل به چپ می باشند. یک حنجره نامتقارن واقع شده در سمت چپ، سبب کلاپس سینوس گلایی شکل چپ (به عنوان معبر غذایی

دارند. (نگاره ۸؛ a). عضلات نایی عمدتاً به صورت طولی جهت گیری شده و عروق وریدی موجود در این عضلات نای توسط رشته های الاستیک پشتیبانی می شوند پریکندریوم در حلقه های غضروفی نای نسبتاً ضخیم می باشد و حاوی رشته های الاستیک متعدد بوده که به موازات آن قرار دارند. در مواردی نیز بافت همبند کلاژنی زیر مخاط با پریکندریوم غضروف های نای ترکیب شده اند (نگاره های ۹ و ۱۰). ناحیه پشتی نای جایی که غضروف ها باهم همپوشانی دارند، رشته های عضلانی صاف عمدتاً در جهت طولی قرار داشته و با این حال دسته های عرضی رشته های عضلانی صاف نیز مشاهده می شود. دستجات عضلانی صاف طولی برجسته تر هستند، این دسته های عضلانی توسط بافت همبند کلاژنی به هم متصل شده اند. همچنین محیط های این دسته های عضلانی نیز توسط نوار های طولی رشته های الاستیک تقویت می شوند (نگاره های ۸ و ۹).

حلقه های غضروفی نای عموماً C شکل بوده و از جنس غضروف شفاف می باشد که در سطح پشتی باز بوده و انتهای آزاد آن ها ناقص و بر روی هم قرار دارند. در برخی نواحی نای حلقه های غضروفی بصورت قطعات لوبول مانند دیده می شوند که این قطعات با بافت همبندی بینابینی سختی به یکدیگر متصل شده و از اطراف نیز توسط پریکندریوم ضخیمی پوشیده و محافظت می گردند (نگاره ۱۰؛ a,b). غضروف شفاف نای حاوی کندرو بلاست ها در کناره های غضروف بصورت بیضی شکل و دارای لاکوناها (Lacunae) مشخص بوده و کندروسیت ها بصورت کروی شکل در بخش های میانی غضروف ها و حاوی لاکونا با یک لایه کپسولی پررنگتر از زمینه ماده زمینه ای مشاهده می گردند بعلاوه در وسط غضروف ها، گروه های ایروژنیک متشکل از کندروسیت های در حال تقسیم نیز مشاهده می گردند (نگاره ۱۰؛ c,d).

دارد زیرا پستانداران دریایی که در اعماق نیز غواصی می کنند، با چالش هایی از قبیل تغییرات فشار و فشار بالا در اعماق مواجه می باشند که علیرغم استحکام ساختارهای غضروفی مجاری هوایی مذکور، ساختار قفسه سینه در این حیوانات با افزایش فشار در اعماق فشرده شده که در نتیجه انعطاف پذیری خوبی را در این شرایط نشان می دهد (۶،۱۲).

در مطالعه ای که توسط دنک و همکاران (۲۰۲۰) در مورد آناتومی مقایسه ای انشعابات نای و برونش ها بر روی فوک سانان و والها صورت گرفته، بیان شده است که بررسی مجاری هوایی نشان می دهد که در بین این حیوانات درجات متنوعی از قابلیت فشرده شدن این ساختارها وجود داشته که همگام با سازگاری جهت توانایی غوص به اعماق در این حیوانات می باشد. ارزیابی قابلیت فشرده شدن مجاری هوایی در اعماق دریا در پستانداران دریایی جهت درک نقش فیزیولوژیک دستگاه تنفس در مبادلات گازی به هنگام غواصی در اعماق حیاتی و ضروری می باشد. و از طرفی استحکام زیاد این مجاری بواسطه حضور غضروف های شفاف در دیواره شان ممکن است به عنوان مخازن پر از هوا که در اعماق، گازهای آلوئول ها را از شش ها دریافت می کنند، عمل کنند (۶).

در نای فوک خزری مورد مطالعه بخش هایی از آن بصورت ساختاری نیز فشرده دیده می شوند. علاوه بر این علیرغم اینکه دو یا چند لایه بودن حلقه های غضروفی در سطح پشتی برخی نواحی سبب استحکام مجاری هوایی می گردد با اینحال وجود رشته های الاستیک و عضلانی فراوان در بین انتها های آزاد و رویهم افتاده حلقه های غضروفی، انعطاف پذیری فوق العاده ای را برای فشرده شدن ویا اتساع جهت تطابق مجاری هوایی با تغییرات فشار در اعماق مختلف ایجاد می نماید.

جانبی) گشته اما همزمان یک سینوس گلابی شکل بزرگ تر را در سمت راست فراهم می آورد. این وضعیت امکان دستیابی و بلع طعمه های بزرگتری را نسبت به موجودات دارای سیستم مشابه ولی متقارن فراهم می آورد. (۱۰،۱۱).

مطالعه آناتومی مقایسه ای نای در پستانداران دریایی تنوع بیشتری را در تفاوت های ساختاری در فوک ها در مقایسه با وال ها و دولفین ها نشان می دهد. بطور کلی نای در پستانداران خشکی دارای بافت پوششی شبه مطبق همراه با حلقه های غضروفی ناکامل C شکل بوده و قسمت آزاد هر حلقه که در جهت پشتی قرار گرفته توسط رشته های عضله نایی بهم متصل گردیده اند. در حالی که نای در والهای دندان دار چنین خصوصیتی را نشان نمی دهد. اپیتلیوم نای در چندین گونه از این والها از نوع انتقالی بوده که نشان دهنده گسترش بافتی است. این بدان معناست که بافت های گسترش یافته همراه با بافت های همبندی الاستیک ظریف موجود در بین حلقه های غضروفی نای ممکن است در ارتباط با نیاز به بازیابی و تغییر سریع بافت پوششی به نوع قبلی و طبیعی خود پس از برطرف شدن فشار بر مجاری هوایی باشد (۷،۱۳).

در مطالعه حاضر، اپیتلیوم نای فوک خزری از نوع استوانه ای شبه مطبق حاوی سلول های جامی فراوان بوده و مشاهده می گردد که البته حضور رشته های الاستیک ظریف و فراوان در بافت های همبندی موجود در بین حلقه های غضروفی نای با چنین نظریه هایی مطابقت دارد. همچنین ضخامت این اپیتلیوم در تناسب با لایه های زیرین خود شامل پارین مخاط و زیرمخاط، قابل توجه می باشد.

مطالعات بسیار کمی در مورد قابلیت فشرده شدن مجاری هوایی شامل نای و برونش ها در پستانداران دریایی صورت گرفته است. با وجود غضروف های شفاف مستحکم در دیواره این مجاری، توصیف و روشن کردن عملکرد این مجاری هدایت کننده هوا در اعماق زیاد آب بسیار اهمیت

بهم داشته و در نتیجه یک گردن واقعی در آنها دیده نمی شود (۱۰،۱۳).

در دولفین نواری، یک شکاف طولی بین انتهای حلقه های غضروف ناقص در سطح پشتی نای درست قبل از دوشاخه شدن برای تشکیل برونش ها ایجاد می شود که اندازه آن با افزایش سن افزایش می یابد و نشان می دهد ممکن است نقشی در تولید صدا مرتبط با رفتار جفت گیری داشته باشد (۱۵). در مطالعه حاضر، نای فوک خزری نیز چنین ویژگی را در محل انشعاب آن به دو برونش اولیه نشان می دهد.

در مطالعه بالارین و همکاران (۲۰۱۸) بر روی نای دولفین افزایش سختی و استحکام زیاد و نیز حضور لاکونا های عروقی در زیر مخاط نای مشاهده شده و گزارش گردیده که گستردگی این فضاهای خونی در مقایسه با نای گاوسانان دوازده برابر بیشتر می باشد. علاوه بر آن وجود ساختارهای دریچه مانند در دیواره های لاکوناها نیز در این گونه های دریایی تنها یک ساختار فیزیولوژیک نبوده بلکه حاصل ایجاد تکامل یافتن برای سازگاری با محیط آبی بوده است. این دریچه ها در ارتباط با تنظیم جریان خون و کاهش فشار اضافی در اعماق می باشد (۱۳). در این مطالعه نیز در برخی از عروق وریدی موجود در بافت همبندی نای وجود چنین ساختارهای دریچه مانند مشابه، در دیواره های لاکونا های عروقی دیده شدند.

#### تشکر و سپاسگزاری

مطالعه حاضر برگرفته از پایان نامه دوره PhD بافت شناسی مقایسه ای بوده که دارای کد اخلاق به شماره IR.UT.VETMED.REC.1401.017 می باشد و نگارندگان مقاله مراتب تشکر و قدردانی خود را از مرکز حفاظت فوک خزری ایران و همچنین از معاونت پژوهشی به سبب حمایت از این مطالعه اعلام می دارند.

ویژگی مجاری هوایی در والها وجود یک نای متسع و بسیار کوتاه بوده که از حلقه های غضروفی مارپیچی و ممتد تشکیل شده و در زیر مخاط آن یک شبکه عروقی وریدی گسترده به نام لاکونا های عروقی (Vascular Lacunae) دیده می شود. علاوه بر آن شش های راست و چپ تک لوبی می باشند که برونش نایی راست بسیار مشخص به داخل شش راست منشعب شده و دو برونش اولیه بزرگ در طول خود تا ورود به بافت شش به شاخه های پشتی، جانبی و میانی منشعب می گردند (۶،۷).

در این مطالعه نای فوک خزری نیز نسبتا کوتاه بوده و در ناحیه ادوانتیس نای و در بافت همبندی آن نیز شبکه عروقی وریدی موجود ساختارهایی تا حدی مشابه لاکونا های عروقی گزارش شده را نشان می دهند.

در عوض، در گونه های مختلف فوک سانان انشعابات نای و برونش یا مجاری هوایی تشکیل شده از یک نای بلندتر و فاقد لاکونا های عروقی و همچنین ترکیب بندی ساختار نای شامل حلقه های غضروفی پیوسته و ناپیوسته می باشند (۱۲،۱۴،۱۶). در گونه مورد مطالعه فوک خزری، نیز ساختار نای دارای چنین ترکیب بندی غضروفی می باشد در حالی که در مقابل، در برخی از نواحی نای و عمدتا در بافت همبند ادوانتیس ساختارهایی شبیه لاکونا های عروقی مورد اشاره در گستره شبکه عروقی موجود مشابه آنچه که در برخی از والها و دولفین ها گزارش گردیده، نیز قابل مشاهده بودند.

ساختار نای در دولفین باتل نوز همانند سایر آبزیان این خانواده، نشانه های آشکاری از سازگاری با محیط آبی را نشان می دهد از قبیل کاهش طول نای همراه با کوتاه بودن گردن در این حیوانات، قطر زیاد نای، دیواره های ضخیم با حلقه های غضروفی ممتد که مرتبط هستند با تبادل گازی سریع در سطح در پستاندارانی که مهره های گردنی متصل



## فهرست منابع

10. Fanning JC. The structure of the trachea and lungs of the South Australian bottlenosed dolphin. *Functional anatomy of marine mammals*. 1974;2:231-52.
11. Cozzi B, Bagnoli P, Acocella F, Costantino ML. Structure and biomechanical properties of the trachea of the striped dolphin *Stenella coeruleoalba*: evidence for evolutionary adaptations to diving. *The Anatomical Record Part A: Discoveries in Molecular, Cellular, and Evolutionary Biology: An Official Publication of the American Association of Anatomists*. 2005 May;284(1):500-10.
12. Moore MJ, Hammar T, Arruda J, Cramer S, Dennison S, Montie E, Fahlman A. Hyperbaric computed tomographic measurement of lung compression in seals and dolphins. *Journal of Experimental Biology*. 2011 Jul 15;214(14):2390-7.
13. Ballarin C, Bagnoli P, Peruffo A, Cozzi B. Vascularization of the trachea in the bottlenose dolphin: comparison with bovine and evidence for evolutionary adaptations to diving. *Royal Society Open Science*. 2018 Apr 18;5(4):171645.
14. Kida MY. Morphology of the tracheobronchial tree of the Ganges river dolphin (*Platanista gangetica*). *Okajimas folia anatomica Japonica*. 1990 Oct 20;67(4):289-95.
15. Nakakuki S. The bronchial tree and lobular division of the lung in the striped dolphin (*Stenella coeruleo-albus*). *Journal of Veterinary Medical Science*. 1994 Dec 15;56(6):1209-11.
16. Tarasoff FJ, Kooyman GL. Observations on the anatomy of the respiratory system of the river otter, sea otter, and harp seal. II. The trachea and bronchial tree. *Canadian Journal of Zoology*. 1973 Feb 1;51(2):171-7.
1. Sharipov R. Caspian seal (*Phoca caspica* Gmelin, 1788) and its current status in the Caspian Sea. *Journal of Black Sea / Mediterranean Environment*. 2012; 18(3): 350-359.
2. Harkonen T, Jüssi M, Baimukanov M, Bignert A, Dmitrieva L, Kasimbekov Y, Verevkin M, Wilson S, Goodman SJ. Pup production and breeding distribution of the Caspian seal (*Phoca caspica*) in relation to human impacts. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*. 2008 Jul;37(5):356-61 .
3. Kooyman GL. Deep diving. In “The Biology of Marine Mammals”,(Ed. HT Andersen), 65-94.
4. Falke KJ, Hill RD, Qvist J, Schneider RC, Guppy M, Liggins GC, Hochachka PW, Elliott RE, Zapol WM. Seal lungs collapse during free diving: evidence from arterial nitrogen tensions. *Science*. 1985 Aug 9;229(4713):556-8 .
5. Reidenberg JS. Anatomical adaptations of aquatic mammals. *The Anatomical Record: Advances in Integrative Anatomy and Evolutionary Biology: Advances in Integrative Anatomy and Evolutionary Biology*. 2007;290(6):507-13.
6. Denk M, Fahlman A, Dennison-Gibby S, Song Z, Moore M. Hyperbaric tracheobronchial compression in cetaceans and pinnipeds. *Journal of Experimental Biology*. 2020 Mar 1;223(5):jeb217885.
7. Reidenberg JS, Laitman JT. Anatomy of the hyoid apparatus in odontoceli (toothed whales): specializations of their skeleton and musculature compared with those of terrestrial mammals. *The Anatomical Record*. 1994 Dec;240(4):598-624.
8. Bancroft JD, Gamble M. *Theory and practice of histological techniques*. 6th ed. London: Churchill Livingstone; 2008. p. 303-20.
9. Kiernan J. *Histological and histochemical methods*. Scion Publishing Ltd; 2015 Jun 8.

