تار تنی و خواص تارهای عنکبوت

Spiders: Silk Spinning and Properties

محمد حقیقت کیش ،جبرئیل گرجیان ،عباس میرجلیلی

دانشکده مهندسی نساجی ،دانشگاه صنعتی امیرکبیر

واژه‌های کلیدی:

تار عنکبوت ،تاروریسی ،تارکشی اجباری ،خواص ،آمینو اسید

چکیده

تارهای (الیاف) عنکبوت از آمینو اسیدهای متفاوتی ساخته شده‌اند.عنکبوت توسط غده‌های متفاوتی تارهای خود را می‌ریسد.تارهایی که در مواضع مختلف مورد استفاده عنکبوت قرار می‌گیرد ساختار شیمیایی و خواص فیزیکی متفاوتی دارند.عنکبوت می‌تواند محکمترین لیف طبیعی را تولید کند.در تارکشی اجباری خواص تار با خواص تاری که به طور طبیعی ریسیده شده است تفاوتهایی دارد.پدیده ابر انقباض که در برخی از تارهای عنکبوت ملاحظه می‌شود یک ویژگی استثنایی است که در الیاف مصنوعی وجود ندارد.

در مقاله حاضر نتایج گزارشهای موجود در مورد ساختار فیزیکی شیمیایی تار عنکبوت گردآوری شده است که با استناد به آن دلایل عدم استفاده وسیع از این تارها ارائه می‌گردد.

مقدمه

یکی از پلیمرهای طبیعی که از دیر زمان بشر با شکل تور مانند آن آشنا بوده تارهای عنکبوت است.علی رغم فـــــراوانی و تنوع ،کاربرد این پلیمر بسیار محدود گزارش شده است و امروزه فقط در تکنولوژی بسیار پیشرفته از آن استفاده می‌شود.

بنابر آنچه در کتاب زندگی حیوانات نوشته زنگویچ آمده است در گذشته دور از تار عنکبوت پارچه‌های محکم ،نخ دوزندگی و تور ماهیگیری تهیه می‌کرده‌اند [1].در اوایل قرن هیجدهم در فرانسه از تار عنکبوت دستکش و جوراب تهیه می‌شده است.در سال ۱۸۹۹ میلادی برای روکش بالن هوانوردی از تار عنکبوت پارچه‌ای به طول ۵ متر تهیه شد.در سالهای اخیر تار عنکبوت به عنوان ظریفترین لیف قابل دسترس برای ایجاد علامت در وسایل نوری ،مانند عدسی چشمی ،مورد استفاده قرار گرفته است.در فرهنگنامه بریتانیکا [2] آمده است که در قرن نوزدهم در ماداگاسکار تلاشهایی صورت گرفت تا عنکبوتهایی را نگهداری و تار تولید شده از آنها را گردآوری کنند ،ولی هزینه نگهداری قابل توجه بود.

بشر از الیاف طبیعی پروتئینی گوناگون برای تهیه پوشاک استفاده می‌کند که مهمترین آنها پشم و ابریشم است.شاید کوشش برای استفاده از تار عنکبوت که از زمانهای بسیار دور شروع شده وی را به پرورش کرم ابریشم راهنمایی کرده است.

موضوعی که مطالعه تار عنکبوت را جالب می‌سازد ارتباط بین ساختار شیمیایی و خواص فیزیکی آن است که شاید با توجه به آن بتوان اطلاعاتی مفید در ارتباط با چگونگی ساخت الیاف به دست آورد.

در این مقاله ابتدا اندامهای عنکبوت که در تنیدن تار مؤثرند و تور عنکبوت که از به هم پیوستن منقاطع تارها به وجود می‌آید بررسی می‌شود و سپس تارکشی اجباری مورد بحث قرار می‌گیرد.در تارکشی اجباری ریسیدن تار به دلخواه انسان شروع می‌شود.موضوعات بعدی مورد بحث به ترتیب خواص شیمیایی و فیزیکی تارهای عنکبوت و چگونگی ارتباط آنهاست.

نتایج و بحث

اندامهای تارریسی و تور عنکبوت

تمام انواع عنکبوتها اندامهای اختصاصی برای ریسیدن تار دارند و تار ریسیده شده را به شکلهای هندسی متفاوتی نظم می‌دهند.یکی از این شکلها کیسه‌ای از توری برای نگهداری تخمها یا طعمه است و دیگری مسطح با نظم خاص شامل تارهای شعاعی و مارپیچی است که در این مقاله تور عنکبوت (orb-web) نامیده می‌شود.

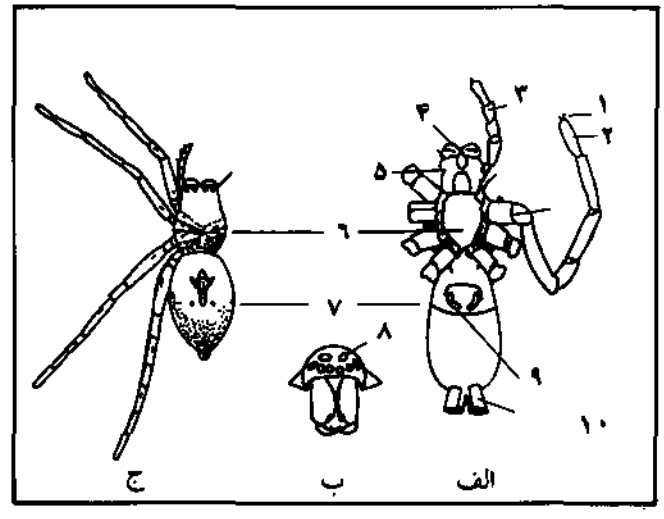
شکل ۱ قسمتهای اصلی بدن یک عنکبوت را نشان می‌دهد که شامل اندامهای تارریسی مورد توجه ماست.در شکل ۲ اندامهای تارریسی عنکبوت اراسوس لاتیفاسیاتوس (Erasus Latifasciatus) نشان داده شده است.

اندامهای رشته سازی روی برآمدگیهایی در جلو سوراخ مخرج قرار دارند.غده‌های مولد تار با حجمی نسبتا زیاد در شکم عنکبوت قرار گرفته است و از راس آنها مجاری تارریسی ترشحات را به لوله‌های

Key Words:spider's silk, silk spinning, forcible silking, properties, amino acid

ریسندگی هدایت می‌کند.لوله‌های ریسندگی بسیار باریک و ظریف‌اند. لوله‌های ریسندگی سپس مواد را به مخروطهای رشته ساز می‌رسانند که از منافذ آنها ترشحات به صورت تار خارج می‌شود.

تارهای خارج شده از مخروط رشته ساز بسیار نازک بوده ولی تعدادشان زیاد است.تارها پس از خروج از رشته سازها چون در برابر هوا قرار می‌گیرند جامد می‌شوند.چنگالهای شانه‌ای شکل که در انتهای پاهای عنکبوت قرار دارند تارهای خارج شده را،موازی می‌کنند و می‌کشند.این کشش شاید باعث افزایش آرایش یافتگی و جهتگیری مولکولهای زنجیری شود.چند تار نازک کنار هم قرار می‌گیرند و یک تار نسبتا کلفت را تشکیل می‌دهند.

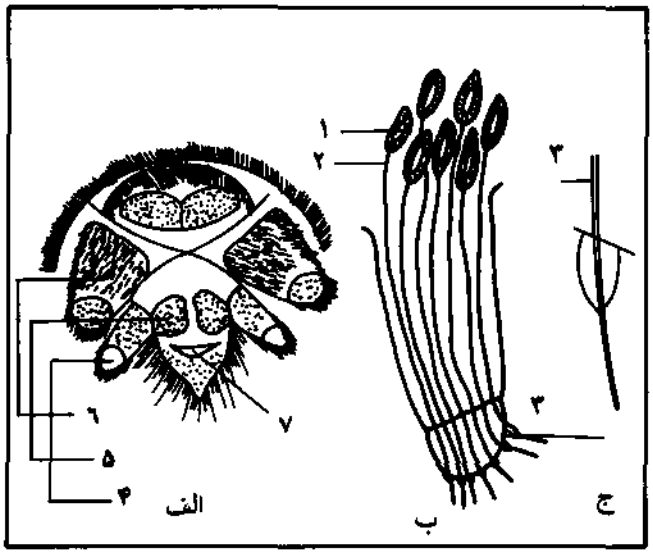


شکل ۱ - تشریح اعضای خارجی عنکبوت:(الف) تصویر از زیر ،(ب) تصویر از مقابل صورت و (ج) تصویر از بالا ،پشت (برای روشنی شکل قسمتهایی از آن حذف شده است) [3].
۱ - چنگالها ،۲ - ساق پا ،۳ - شاخک ،۴ - نیش ،۵ - آرواره ،۶ - سر و سینه ،۷ - شکم ،۸ - چشمها ،۹ - مخرج و ۱۰ - اندام تاریسی

تعداد غده‌های مولد تار در عنکبوتهای متفاوت از یک تا هشت جفت تغییر می‌کند و تعداد مجاری تاریسی از ۱۰۰ تا ۵۰۰ عدد در انواع عنکبوتها تخمین زده شده است.چند غده ممکن است با هم عمل کنند و مواد مختلفی برای تارهای متفاوت از خود خارج سازند.این تارهای نازک به وسیله مایع چسبنده‌ای که توسط غده دیگری ترشح می‌شود به هم می‌چسبند و رشته ضخیم تری را به وجود می‌آورند.

غده‌های مولد تار از نظر شکل متنوع‌اند.فراوانترین آنها عبارت‌اند از:غده‌های استوانه‌ای یا لوله‌ای ،آمپولی بزرگ و کوچک ، گلابی شکل و پرچمی و همچنین غده‌های مجتمع.بعضی از غده‌ها به روشنی مشخص شده‌اند و در مورد وجود برخی اختلاف نظر وجود دارد [4].

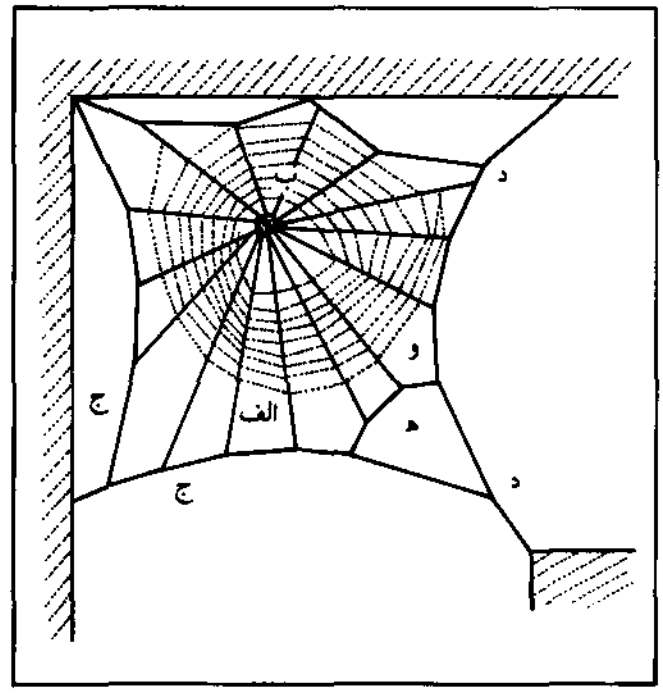
تارهای یک تور عنکبوت از نظر اندازه و خواص با یکدیگر متفاوت‌اند.شکل ۳ قسمتهای مختلف یک تور عنکبوت را نشان می‌دهد [4].



شکل ۲ - اندامهای تاریسی در یک عنکبوت:(الف) رشته سازها ،(ب) یکی از رشته سازها ،غده‌های مولد مواد و مجاری و (ج) تصویر بسیار بزرگ شده و قسمتی از یک لوله و مخروط ریسندگی [2].
۱ - غده ،۲ - مجرا ،۳ - لوله و مخروط ریسندگی ،۴ - رشته سازهای پشتی ،۵ - رشته سازهای میانی ،۶ - رشته سازهای جلویی و ۷ - مخرج

برای ساخت تور ،عنکبوت باید مواد متنوعی را بریسد که عبارت‌اند از:۱) ماده‌ای چسبنده برای چسباندن ابتدای تار به یک محل طبیعی ،۲) تار اولیه که خود را به آن آویزان کند ،۳) تارهای قاب چند ضلعی و تارهای نگهدارنده ،۴) تارهای شعاعی ،۵) ماده چسبنده دیگری برای اتصال اجزای تور ،۶) تار برای دام چسبناک مارپیچی ،۷) تارهای غیر چسبنده برای محل استراحت و ۸) تارهایی برای نگهداری طعمه و در عنکبوت مؤنث جهت نگهداری تخمها.برخی از غده‌هایی که انواع تارهای یاد شده را تولید می‌کنند مشخص شده‌اند.تار اولیه ،که عنکبوت خود را به وسیله آن آویزان می‌کند ،تارهای قاب و تارهای شعاعی همگی به وسیله دو غده تارریس اصلی ریسیده می‌شوند.ریسیدن تارهای نازکتر به عهده رشته سازهای میانی است.اشاره می‌شود که پژوهشگران در مورد محل تولید تارهای متفاوت اختلاف نظر دارند [4].

خواص تور ،که برای ادامه حیات عنکبوت ضروری است ، بستگی به خواص فیزیکی تارهای مصرفی و نیز طرح (شکل) تور تنیده شده از آنها دارد.دنی [4] با مطالعه شکل تور عنکبوت و تجزیه و تحلیل مکانیکی آن دریافت که با توجه به خواص فیزیکی تار ،تور با چنین ساختاری به کمترین مقدار مواد نیاز دارد.تور قادر است حشراتی هم وزن عنکبوت را که دارای سرعت معمولی باشند متوقف سازد.



شکل ۳ - یک تور عنکبوت:تارهای شعاعی (الف) از یک قسمت مرکزی (ب) شروع شده و به یک قاب چند ضلعی (ج) منتهی می‌شوند. قاب به وسیله تارهای نگهدارنده (د) روی سازه‌های اطراف مهار شده است.قسمت (ه) به قاب متصل شده است تا تارهای شعاعی به تار مهار کننده اتصال پیدا نکنند.روی این اسکلت تارهای مارپیچی و چسبناک (و) قرار گرفته‌اند [4].

تارکشی اجباری از عنکبوت

عنکبوت پس از ریسیدن تار آن را به صورت تور منظم می‌کند.همان طور که قبلا اشاره شد ،تور از تارهایی تشکیل یافته است که از ترشحات غده‌های متفاوتی ساخته شده‌اند.ترشحات غده‌های متفاوت باید به طور جداگانه در اختیار پژوهشگر قرار گیرد تا با انجام آزمایش روی آنها به اختلاف خواص تارها پی برد.از سوی دیگر ،تور به صورت طبیعی نمی‌تواند به آسانی برای تولید نخ مورد استفاده قرار گیرد ،بنابراین تارکشی اجباری (به دلخواه انسان) مورد توجه قرار گرفت [5-9].

به طور دقیق معلوم نیست چه کسی برای نخستین بار اقدام به تارکشی از عنکبوت کرده است.شاید در نقاط مختلف دنیا این کار انجام شده باشد ،ولی در این مورد گزارش یا نوشته‌ای در دسترس نیست.ورک و امرسون [8] به گزارشی از فردی به نام ویلدر (Wilder) مربوط به سال ۱۸۶۸ میلادی اشاره می‌کنند و علاوه بر آن خود روشی را برای تارکشی اجباری از عنکبوت شرح می‌دهند.

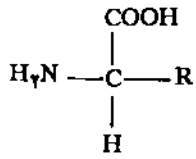
در روش تارکشی اجباری ،ابتدا یک عنکبوت درون ظرف دهانه گشاد شیشه‌ای قرار می‌گیرد.سپس ،کربن دیوکسید از سوراخهای سرپوش به شیشه وارد می‌شود و عنکبوت در اثر کمبود اکسیژن از هوش می‌رود. آن گاه ،عنکبوت به سرعت روی صفحه‌ای منتقل و به وسیله نوار چسب مهار می‌شود.

حال اگر ابتدای تار مشهود باشد ،سر تار با گیره‌ای گرفته شده و به آهستگی روی محوری پیچیده می‌شود.برای این کار از یک میکروسکوپ سه بعدی (sterio microscope) کمک می‌گیرند.در صورتی که سر تار پیدا نباشد با زدن یک سوزن جراحی به غده‌های مولد تار ،عنکبوت تحریک می‌شود تا اقدام به ترشح تار کند.

ورک و امرسون [8] با دستگاهی که برای این منظور ساختند توانستند برای مدت ۱۰ تا ۲۰ دقیقه و با سرعت سه متر بر دقیقه از عنکبوت تار تهیه کنند.این دستگاه شامل یک محرک با دورهای متغیر ، محوری که روی آن تار پیچیده می‌شد و وسیله هدایت تار روی محور بود.پژوهشگران یاد شده ،خواص تار تولیدی و اثر سرعت تارکشی اجباری بر آن را مورد مطالعه قرار دادند که در قسمتهای دیگر به آن اشاره خواهد شد.

ساختار شیمیایی تار عنکبوت

تارهای عنکبوت از پروتئین ساخته شده‌اند.پروتئین از پلیمر شدن آلفا آمینو اسید به فرمول عمومی

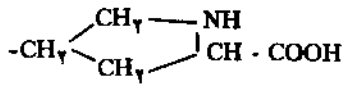
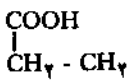
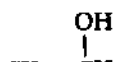
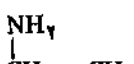
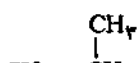
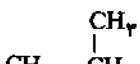
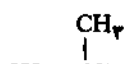
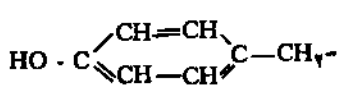
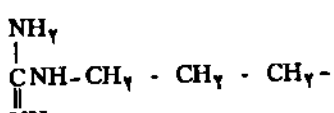
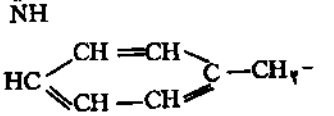
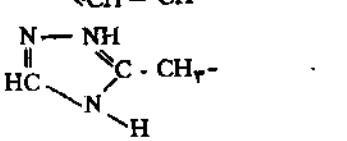


حاصل می‌شود.آمینو اسیدهای موجود در پروتئینها تنها از نظر ماهیت عامل جانبی R - متفاوت‌اند [11].نام ،علامت اختصاری ،فرمول شیمیایی و عامل جانبی آمینو اسیدهایی که در تارهای عنکبوت یافت می‌شوند ، همراه با یکی از مقادیر گزارش شده برای درصد آنها در جدول ۱ ارائه شده است.تعداد و نوع آمینو اسیدهایی که به دنبال هم در یک مولکول زنجیری قرار می‌گیرند ،شکل فضایی مولکول و در نتیجه خواص فیزیکی تار ساخته شده از آن را تعیین می‌کنند [10, 12].

به دنبال پژوهشهایی که برای تعیین خواص تارهایی که به طور طبیعی تنیده شده بودند صورت گرفت ،آندرسن [10] به تعیین غده‌هایی پرداخت که تار ویژه‌ای را تولید می‌کنند.برای این کار نمونه‌هایی از مواد درون غده‌ها به وزن ۰/۱ تا ۰/۲mg را از عنکبوتهای زنده یا منجمد شده در ۱۸°C - با جراحی استخراج کرد.آندرسن پس از آبکافت (هیدرولیز) مواد به وسیله کلریدریک اسید با استفاده از دستگاه تجزیه خودکار پروتئینهای موجود در غده‌ها را شناسایی کرد.آزمایشها روی غده‌های عنکبوت آرانیوس دیادماتوس (Araneus diadematus) جمع آوری شده در کمبریج انگلستان صورت گرفت.اندرسن ویژگیهای غده‌ها و پروتئینهای موجود در آنها را به شرح زیر مشخص نمود:

الف - غده‌های آمپولی بزرگ و کوچک که این دو نوع غده وظیفه

جدول ۱ - آمینو اسیدهای موجود در تار عنکبوت و درصد آنها [9].

نام	علامت اختصاری	عامل جانبی - R	درصد
آلانین (Alanine)	Ala	CH_3	۲۸/۲۶
گلیسین (Glycine)	Gly	H -	۲۸/۸۳
پرولین (Proline) ایمینو اسید	Pro		۱۴/۶۷
گلوتامیک اسید (Glutamic acid)	Glu		۱۰/۲۸
سرین (Serine)	Ser	$OH - CH_2 -$	۵/۵۷
آسپارتیک اسید (Aspartic acid)	Asp	$COOH - CH_2 -$	۱/۶۸
ترئونین (Threonine)	Thr		۱/۴۵
لیزین (Lysine)	Lys		۱/۲۲
ایزولوسین (Isoleucine)	Ile		۱/۶۶
والین (Valine)	Val		۱/۴۹
لوسین (Leucine)	Leu		۲/۰۸
تیروزین (Tyrosine)	Tyr		۲/۵۱
آرژنین (Arginine)	Arg		۱/۱۷
فنیل آلانین (Phenylalanine)	Phe		<۰/۱۱
هیستیدین (Histidine)	His		-
متیونین (Methionine)	Met	$CH_3 - S - CH_2 - CH_2 -$	-
سیستئین (Cysteine)	Cys	$SH - CH_2 -$	۰/۲۳

مشابهی دارند.ترشحات غده‌ها برای تولید تارهای نگهدارنده ،قاب و شعاعی به کار می‌رود و ترکیبات موجود در دو غده اختلاف روشنی با هم دارند.غده‌های آمپولی بزرگ پروتئینی تولید می‌کنند که سرشار از گلیسین ،آلانین ،پرولین و گلوتامیک اسید است ،در حالی که غده‌های آمپولی کوچک فقط گلیسین و آلانین دارند.ساختار مواد حاصل از غده‌های آمپولی کوچک مشابه فیبروئین (Fibroin) ،پروتئین ابریشم بامبی موری (Bombyx mori) است.ترتیب قرار گرفتن آمینو اسیدها در این پروتئین به صورت $(Gly\text{-}X\text{-}Gly\text{-}X\text{-}Gly\text{-}X)_n$ است که X می‌تواند آلانین (Ala) یا سرین (Ser) باشد [11].

ب - غده‌های لوله‌ای یا استوانه‌ای که ترشحات آنها برای ساخت پیله‌های تخم عنکبوت مورد استفاده قرار می‌گیرد.مواد درون این غده‌ها سرشار از سرین و آلانین است.مقدار ناچیزی نیز پرولین در این غده‌ها یافت می‌شود.

ج - غده‌های پرچمی که در آنها گلیسین و پرولین بسیار یافت می‌شود.

د - غده‌های خوشه‌ای که تارهای تولیدی آنها برای ساخت دام جهت صید طعمه مورد استفاده قرار می‌گیرد.این غده‌های کوچک در دو گروه متمایز شده‌اند.یک گروه در رشته سازهای میانی و گروه دیگر در رشته سازهای پشتی قرار گرفته‌اند.آمینو اسیدهای موجود در این غده‌ها گلیسین، سرین و آلانین بوده و مقدار کل این مواد در تارهای یاد شده نسبت به تارهای دیگر کمتر است.

و - غده‌های گلابی شکل که مانند غده‌های پرچمی بسیار کوچک‌اند و ترشحات حاصل از آنها به صورت تار نیست.مواد حاصل برای چسباندن تار اولیه به سازه خارجی مورد استفاده قرار می‌گیرد.آمینو اسیدهای با عوامل جانبی کوتاه در این مواد بسیار کم است ،ولی پلیمرهای قطبی و باردار و پرولین به مقدار زیاد در آنها وجود دارد.

اندرسن سرانجام از مطالعات خود چنین نتیجه گرفت که تنها چهار نوع از غده‌ها (استوانه‌ای ،پرچمی و آمپولی بزرگ و کوچک) پروتئینی می‌سازند که به تار تبدیل می‌شود.

بیش از نیمی از پروتئینهای حاصل از این غده‌ها عوامل جانبی بسیار کوتاه دارند ،در حالی که غده‌های دیگر دارای ۳۰ تا ۴۰٪ از این موادند.مقدار پرولین در این غده‌ها در حدی ناچیز تا ۲۰٪ است.مقدار پرولین بر خواص مکانیکی تار به شدت مؤثر است.غده‌های پرچمی و مجتمع بیشتر آمینو اسیدهای بازی به ویژه لیزین و مقدار زیادی پرولین دارند.وجود چنین موادی شکل فضایی ملکولهای زنجیری را به صورت اتفاقی پیچ خورده در می‌آورد.محلول چنین پلیمرهایی فقط به عنوان چسب بسیار مؤثر می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.مقدار پلیمرهای آبدوست در موادی که به عنوان چسب به کار می‌روند متفاوت است ،در نتیجه فقط برخی از آنها برای مدت طولانی در محیط چسبناک باقی می‌مانند [10].

ورک و یانگ [9] ،پس از گردآوری نتایج کار یازده پژوهشگر در مورد ترکیب آمینو اسیدهای تار عنکبوت از چند نوع زیر خانواده عنکبوتهای آرانی (Araneae) اقدام به تارکشی اجباری کردند.آمینو اسیدهای حاصل از غده‌های آمپولی بزرگ و کوچک به صورت کیفی و کمی به وسیله دستگاههای تجزیه‌ای خودکار اندازه‌گیری شدند.مشاهده شد که ترکیب آمینو اسیدهای حاصل از غده‌های آمپولی بزرگ علاوه بر اینکه در عنکبوتها از زیر خانواده‌های متفاوت مختلف است ،در یک عنکبوت نیز متغیر می‌باشد.ولی آمینو اسیدهای حاصل از غده‌های کوچک تغییرات کمتری نشان می‌دهند.اختلاف خواص پروتئینهای حاصل از غده‌های آمپولی بزرگ و کوچک به علت انواع آمینو اسیدها و چگونگی قرار گرفتن پیاپی آنهاست.وقتی درصد تبلور هریک از مواد ترشح شده از غده‌های آمپولی کوچک و بزرگ مشخص شود ،اختلاف خواص را می‌توان توضیح داد.معلوم شده است که اختلاف انقباض تارهای حاصل از غده‌های آمپولی کوچک و بزرگ در آب (پایداری طولی) مربوط به مقدار آمینو اسید پرولین و گلوتامیک اسید است [9].

خواص فیزیکی تار عنکبوت

ظاهر و اندازه:سطح مقطع نمونه‌ای از تارهای عنکبوت یک تور طبیعی دایره‌ای است.تارهایی که به طور اجباری تولید شده‌اند بیشتر سطح مقطع بیضی شکل و تعدادی نیز سطح مقطع دایره‌ای دارند.در هرحال ،قطر تار در طول آن متغیر بوده است [6].تغییرات قطر تارها در یک گروه عنکبوت و در یک دسته از تارهای تولید شده به وسیله یک عنکبوت تعیین شده است.رابطه‌ای بین وزن عنکبوتها و قطر تارهایی که تولید می‌کنند مشاهده نشده است [6].جدول ۲ قطر تارهای عنکبوت را نشان می‌دهد که از ۱ تا $۳/۶\mu m$ متغیر است.قطر تارهای عنکبوت در اثر جذب آب تغییر می‌کند.برای مثال ،ورک مساحت سطح مقطع تاری از غده آمپولی بزرگ را در دمای اتاق اندازه گرفت و مقدار $۷/۳\mu m^2$ را برای آن به دست آورد.وقتی این تار به صورت آزاد با آب خیس شد مساحت آن برابر $۲۹/۰۷\mu m^2$ بود و در شرایطی که به طول اولیه مشخصی مهار شد و در آب قرار گرفت ،مساحت آن $۱۴\mu m^2$ شد [5].

شکل ۴ سطح مقطع و طول یک تار عنکبوت باغی ،نمونه‌ای از عنکبوتهای جنگلهای شمال ایران را نشان می‌دهد [14] که در این شکل تغییرات قطر در یک طول بسیار کوتاه مشخص است.

ضریب شکست نور:تارهای عنکبوت ناهمسانگردند و ضریب شکست مضاعف دارند.ضریب شکست مضاعف نشان دهنده جهتگیری یا آرایش مولکولی در تارهاست.

در جدول ۲ ضریب شکست مضاعف تارهای عنکبوت نیز خلاصه شده است که از ۰/۰۲۸ تا ۰/۰۴۹ تغییر می‌کند.مقدار ضریب شکست مضاعف اندازه‌گیری شده برای تارهای عنکبوت باغی جنگلهای شمال ایران برابر ۰/۰۴۷ است.

اگر چه انتظار می‌رود بین ضریب شکست مضاعف و استحکام تار رابطه‌ای مستقیم ،مانند آنچه که در سایر الیاف دیده می‌شود ،وجود داشته باشد ،ولی اندازه‌گیریهای انجام شده توسط ورک [5] چنین رابطه‌ای را که از نظر آماری قابل قبول باشد نشان نمی‌دهد.

(الف)

(ب)

شکل ۴ - مقطع عرضی (الف) و مقطع طولی (ب) تار از عنکبوت جنگلهای شمال ایران [14]

خواص مکانیکی:مقادیر تنش و ازدیاد طول تا پارگی تارهای عنکبوت ، ابریشم و نایلون در جدول ۳ ارائه شده است.

تارهای عنکبوت رفتار روان کشسانی (viscoelastic) نشان می‌دهند.این رفتار از ساختار فیزیکی و شکل فضایی جهتدار مولکولهای پروتئینی نتیجه می‌شود.

در قسمتهای ابتدایی منحنیهای تنش - ازدیاد طول تارهایی که به طور طبیعی ریسیده یا به طور اجباری تهیه می‌شوند از قانون هوک مربوط به مواد کشسان پیروی می‌شود.در قسمتی از منحنی ،قبل از پارگی ،تنش متناسب با کرنش باقی می‌ماند.

دنسی [4] خواص تارهای تور عنکبوت مؤنث آرانیوس سریکاتوس (Araneus sericatus) را که در قفسهایی نگهداری می‌شد

جدول ۲ - قطر و ضریب شکست نور تارهای عنکبوت

تار	قطر ،μm	ضریب شکست مضاعف ،n ×۱۰۰۰
آرانیوس سریکاتوس [4]:		-
تارهای قاب و نگهدارنده	میانگین ۱/۹	-
تارهای چسبناک مارپیچ	حدود ۱/۴ تا ۲/۴	
	میانگین ۱/۵	
	حدود ۱ تا ۱/۹	
آرانیوس دیادماتوس [6]:		
غده‌های آمپولی بزرگ	میانگین ۳/۰۵	میانگین ۲۸/۶
تارکشی طبیعی	%CV ۲۵	%CV ۱۸
تارکشی اجباری	میانگین ۲۱/۱	میانگین ۳۱/۷
غده‌های آمپولی کوچک	%CV ۱۷	%CV ۲۸
تارکشی طبیعی	میانگین ۱/۲۶	میانگین ۴۹/۴
	%CV ۲۱	%CV ۲۳
آرانیوس سریکاتوس [6]:		
غده‌های آمپولی بزرگ	میانگین ۱/۷۷	میانگین ۴۰/۱
	%CV ۳۰	%CV ۳۱
عنکبوت باغی [14]:		
تارکشی طبیعی	میانگین ۴/۶۹	میانگین ۴۷
	%CV ۳۰	
پشم [13]	۱۰ تا ۸۰	میانگین ۱۰
ابریشم [13]	۱۰	میانگین ۵۳

توضیح:CV% برابر درصد ضریب تغییرات است.

مورد مطالعه قرار داد.منحنی تنش - ازدیاد طول و افت تنش در اثر گذشت زمان در تارهای قاب و تارهای چسبنده عنکبوت یاد شده به وسیله دستگاه آزمایشگاهی (نوع Instron) اندازه‌گیری شد.

شکل ۵ منحنی تنش - ازدیاد طول نسبی (λ) تارهای قاب را در سرعتهای ازدیاد طول (λ°) مختلف را نشان می‌دهد.در این شکل تنش برحسب ازدیاد طول نسبی ،$\lambda = L/L_\circ$،تار رسم شده است که $L_\circ$ طول اولیه نمونه و L طول نمونه بعد از اعمال نیرو است.

تنش (H) برحسب تنش واقعی به صورت $H = \frac{F}{A}$ تعریف می‌شود که A مساحت سطح مقطع تار تحت تأثیر نیروی F است.به طوری که ملاحظه می‌شود ،منحنیها در ابتدا دارای شیب زیادند و سپس شیب به شدت کاهش یافته و دوباره افزایش می‌یابد.مقدار تنش در موقع پارگی بستگی به سرعت آزمایش (سرعت ازدیاد طول) دارد.

جدول ۳ - تنش و ازدیاد طول تا پارگی تار عنکبوت ،ابریشم و نایلون

تار	تنش در موقع پارگی	ازدیاد طول تا پارگی %
آرانیوس سریکاتوس [4]:		
تارهای قاب	۱ GN/M^۲	۲۵
تارهای مارپیچی	۱ GN/M^۲	۲۰۰
آرانیوس دیادماتوس [6]:		
از غده آمپولی بزرگ		
تارکشی طبیعی	۷۹/۹ g/tex	۳۱/۵
تارکشی اجباری	۸۰/۹ g/tex	۲۵/۷
آرانیوس سریکاتوس [6]:		
از غده آمپولی بزرگ		
تارکشی طبیعی	۸۳/۹ g/tex	۲۶
تارکشی اجباری	۱۰۱/۶ g/tex	۳۲/۰
ابریشم [13]	۳۹/ g/tex	۲۳
نایلون [13]	۴۸/ g/tex	۲۶

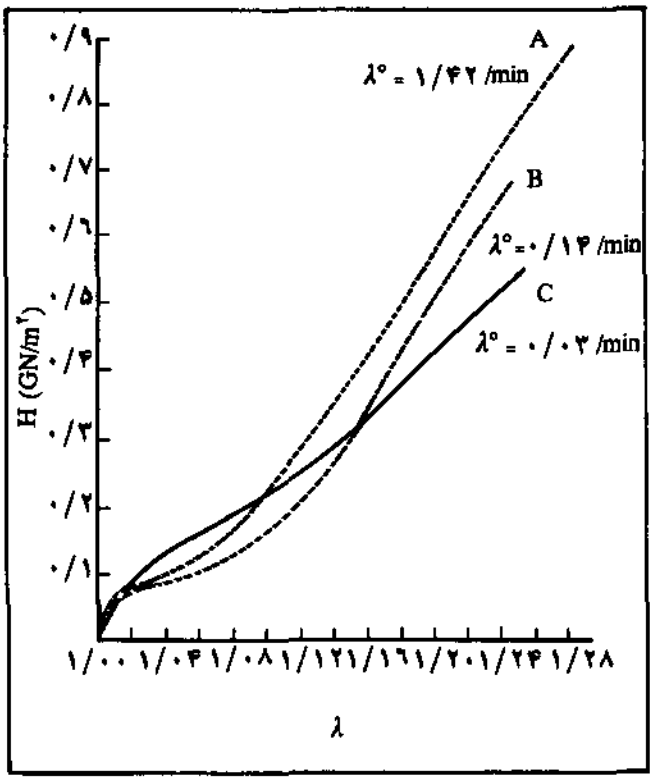
با افزایش سرعت آزمایش ،تنش در موقع پارگی وازدیاد طول تا پارگی افزایش می‌یابد.شکل ٦ نمونه‌ای از آزمایش افت تنش وقتی طول نسبی λ = ۱/۲۱است را نشان می‌دهد افت تنش از رابطه‌ای که مشخصه افت تنش در مدل (مکانیکی) فنر و پیستون سری است پیروی می‌کند ، ولی تارهای عنکبوت ثابت مشخصی برای زمان افت ندارند.

$$\mathrm{Ln}\ H_t = \mathrm{Ln}\ H_0 - t/T$$

که در این رابطه H_t تنش پس از زمان t، H_0 تنش اولیه و T ثابت زمان افت است.

اگر تارهای قاب کشیده و رها شوند در دمای معمولی به طول اولیه باز نمی‌گردند و برگشت پذیری حدود ۳۵% را خواهند داشت.دنی [4] مشاهده کرد که افزایش دما سبب بازگشت تار به طول اولیه می‌شود. شکل منحنی تنش - ازدیاد طول تارهای مارپیچی چسبنده با تارهای قاب متفاوت است.تارهای چسبنده مارپیچی ازدیاد طول تا پارگی (λ) بیشتر از ۳ و تنش در موقع پارگی مشابه تارهای قاب دارند [4].

ورک [6] خواص مکانیکی تارهای حاصل از چهار دسته عنکبوت از خانواده آرانیدا (Araneida)را اندازه گیری کرد.معلوم شد که عنکبوتها قادرند تارهای نگهدارنده با استحکام ۸۰ g/tex و ازدیاد طول

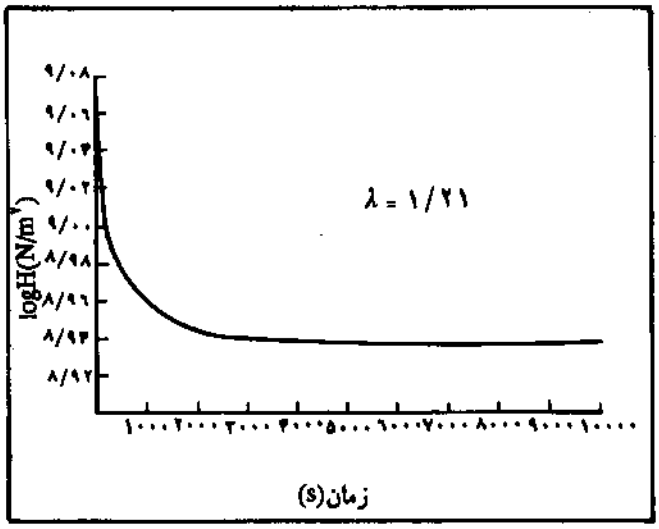


شکل ۵- منحنی تنش - ازدیاد طول نسبی ($\lambda = L/L_0$) تار قاب تور عنکبوت آرانیوس سریکاتوس در سرعتهای ازدیاد طول ($\lambda°$) مختلف [4].

تا پارگی ۳۵% تولید کنند.در این صورت کار تا حد پارگی (work of rupture) این تارها از تمام الیاف طبیعی و مصنوعی موجود بیشتر است. کاربرد کربن دیوکسید برای بیهوش کردن عنکبوت باعث می‌شود که استحکام تارهای تولید شده کاهش یابد و تارها یکنواخت نباشند.

ورک [6] در تارکشی اجباری ،تار را با سرعتهای مختلفی تولید کرد.معلوم شد که سرعت تارکشی (سرعت ریسندگی) بر خواص تار تولیدی تأثیری ندارد،در صورتی که انتظار می‌رفت افزایش سرعت باعث افزایش جهتگیری مولکولهای زنجیری و در نتیجه تغییر خواص تار شود.

ابرانقباض:ورک [7] مشاهده کرد که تارهای حاصل از غده‌های آمپولی کوچک وقتی به طور آزاد در آب قرار می‌گیرند بدون کاهش طول از جهت قطر متورم می‌شوند.در همین شرایط تارهای حاصل از غده‌های آمپولی بزرگ کاهش طول (۴۵%) همراه با افزایش قطر زیادی (۶۰%) نشان می‌دهند.علت چنین رفتاری با توجه به ساختار فیزیکی و شیمیایی تار قابل توضیح نبوده است.به دنبال پژوهشهای یاد شده ،میزان کاهش طول تارهای غده‌های آمپولی بزرگ و کوچک در چندین نوع عنکبوت اندازه گیری شد [7].این آزمایشها دامنه کاهش طول بسیار بزرگی را نشان دادند که با پدیده ابر انقباض (supercontraction) که در الیاف مصنوعی معمولی در اثر حلالهای مختلف دیده می‌شود قابل مقایسه است.



شکل ٦ - منحنی افت تنش تار قاب عنکبوت آرانیوس سریکاتوس بعد از ازدیاد طول (λ) برابر ۱/۲۱ [4]

پیشنهاد شده است چون میزان ابر انقباض در انواع تارهای تولیدی متفاوت است و علت آن تغییر ساختار شیمیایی است ،پس می‌تواند برای طبقه بندی عنکبوتها مورد استفاده قرار گیرد [6].

نتیجه گیری

با توجه به مطالبی که درباره ویژگیهای بی نظیر تار عنکبوت ارائه شد ،این سؤال مطرح می‌شود که چرا استفاده از تار عنکبوت و پرورش عنکبوت مانند کرم ابریشم رواج پیدا نکرده است.برای پاسخ به این سؤال نکاتی قابل تأمل وجود دارد:

۱ - عنکبوتها برخلاف کرم ابریشم به طور دسته جمعی زندگی نمی‌کنند و در صورت تجمع به آسانی یکدیگر را می‌خورند.نگهداری جداگانه آنها نیز مشکل است.

۲ - کرم ابریشم در طول زندگی چند روزه خود مرتب از برگ درخت توت تغذیه می‌کند و در پایان زندگی با الیاف تولیدی خود پیله به دور خود می‌تند و درون آن حبس می‌شود.باز شدن رشته‌های طولانی ابریشم از پیله در آب داغ به راحتی صورت می‌گیرد.ولی ،عنکبوتها با وجود عمر طولانی (یکسال تا ده سال) و ریسیدن تارهای متنوع ،تورهای با اشکال پیچیده می‌تنند که باز کردن آنها با امکانات ابتدایی میسر نیست. تارکشی اجباری از بعضی انواع نیز کاری پر زحمت و پر هزینه است.

با توجه به مشکلات یاد شده ،پیشرفت در این زمینه پژوهشی به کندی صورت می‌گیرد و هنوز مسائل زیادی وجود دارد که باید روشن شود.برای مثال ،هنوز علت استحکام و کار تا حد پارگی زیاد تار عنکبوت مشخص نشده یا انتشار نیافته است.با روشن شدن آن دانش ما برای تولید الیافی با خواص استثنایی ،از جمله نمگیری زیاد ،فراهم می‌شود.

مراجع

[1] ل.ا.زنگویچ - زندگی حیوانات - ترجمه حسین فرپور - جلد سوم انتشارات وزارت فرهنگ و آموزش عالی.

[2]Encyclopedia Britannica, Vol.23, pp.215-220, 1962.

[3]Encyclopedia Americana, Vol.25, pp.405-409, 1962.

[4]M.Denny, The Physical Properties of Spider's Silk and Their Role in The Design of Orb - Webs, J.Exp.Biol.Vol.65, pp. 483-506, 1976.

[5]R.W.Work, The Force Elongation Behavior of Web Fibers and Silks Forcibly Obtained from Orb - Web - Spinning Spiders, Textile Res.J., Vol.46, pp.485-492, 1976.

[6]R.W.Work, Dimensions, Birefringences, and Force Elongation Behavior of Major and Minor Ampullate Silk Fibers from Orb - Web Spinning Spiders - The Effects of Wetting on These Properties, Textile Res.J., Vol.47, pp.650-662, 1977.

[7]R.W.Work, A Comparative Study of The Supercontraction of Major Ampullate Silk Fibers of Orb - Web Building Spiders (Araneae), J.Arachnol, Vol.9, pp.299-308, 1981.

[8]R.W.Work and P.D.Emerson, An Apparatus and Technique for The Forcible Silking of Spiders, J.Arachnol, Vol.10, pp.1-10, 1982.

[9]R.W.Work and C.T.Young, The Amino Acid Compositions of Major and Minor Ampullate Silks of Certain Orb - Web - Building Spiders (Araneae, Araneidae), J.Arachnol, Vol.15, pp.65-80, 1987.

[10]S.O.Andersen, Amino Acid Composition of Spider Silks, Comp.Biochem.Physiol. Vol.35 pp.705-711, 1970.

[11]E.A.McGregor and C.T.Greenwood, POLYMER IN NATURE, John Wiley & Sons, New York, 1980.

[12]F.Lucas, J.T.Shaw, and S.G.Smith, The Chemical Composition of Some Silk Fibroins and Its Bearing on Their Physical Properties, J. of The Textile Institute. Vol 46 . pp T440-T452, 1955.

[13]M.Morton and J.W.S.Hearles, PHYSICAL PROPERTIES OF TEXTILE FIBERS, Second Edition, Textile Institute, London, 1976.

[14] ج - گرجیان "برخی از ویژگی‌های تار عنکبوت باغی" پروژه کارشناسی دانشکده نساجی - دانشگاه صنعتی امیرکبیر ،۱۳٦۸.