مجموعه مقالات اولین کنگره بین المللی افق‌های جدید در معماری و شهرسازی

17 و 18 دی ماه 1393، تهران

ISSN 0000-0000

طراحی الگویی برای پوشش سازه های جمع شونده بر اساس مکانیزم تغییر در بافت پوششی متغیر

فاطمه سمامی کجیدی[1*] ، فاطمه قارونی [2]، علی عمرانی پور [3]

[1] دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه کاشان، *fatemehsamamy@gmail.com*

[2] استاد مدعو، دانشگاه کاشان، *fatemegharuni@yahoo.com*

[3] استادیار، دانشگاه کاشان، a_omrani@*kashanu.ac.ir*

چکیده

در ایران سالانه با وجود بلاهای طبیعی، زلزله زدگان و سیل زدگان نیاز به سر پناه موقت دارند. استفاده از سازه‌های جمع شونده می تواند در حفظ جان و مال افراد موثر باشد. سازه‌های جمع شونده از اعضای پیش ساخته‌ای تشکیل شده اند و قابلیت تحمل بار را نیز تا حدی دارا می‌باشند.این سازه ها به سرعت و سهولت قابل نصب بوده و جهت استفاده مجدد به دفعات در زمان و مکانهای دیگر، قابل جمع آوری می باشند. در بسیاری مواقع نیاز به یک پوشش سطح برای محافظت از باران، آفتاب یا باد می‌باشد که توانایی اتصال به خود سازه وجود دارد. این پوشش‌ها معمولا از پارچه می‌باشند. دشواری جمع کردن غشای پارچه ای وگیر کردن و پاره شدن پارچه بعد از چند مرتبه باز و بسته شدن و نیاز به تعویض کل پارچه، از مشکلات معمول در این سیستم ها می باشد.

بافت پوششی متغیر در رویه ی داخلی ارگان های توخالی در بدن دیده می شود. ویژگی شاخص آن تجربه تغییرات مکانیکی وسیع به دلیل انقباض و انبساط پیوسته است (باز شدن و جمع شدن). این بافت، نوعی بافت پوششی مطبق(چند لایه ای) است که تعداد لایه های سلولی و شکل سلول ها در حالت استراحت و کشش تغییر می کند. در حالت کشش، تعداد لایه های سلولی بافت کاهش پیدا کرده و سلول ها به شکل سنگفرشی (پهن) در می آید. مجموع این دو باعث کاهش ضخامت بافت و فرم صاف و کشیده شده ی رویه منطبق بر میزان کشش می شود.

مکانیزمی که این بافت در ارگان تجربه می کند، مشابه مکانیزم سازه های جمع شونده است. در این پژوهش با مطالعه اجزاء، ویژگی ها و مکانیزم بافت پوششی متغیر و شبیه سازی آن، الگوی جدیدی برای پوشش سازه های جمع شونده ارائه می شود که برخی مشکلات سیستم های پیشین در آن مرتفع می شود.

مجموعه مقالات اولین کنگره بین المللی افق‌های جدید در معماری و شهرسازی

17 و 18 دی ماه 1393، تهران

ISSN 0000-0000

واژه های کلیدی: سازه های جمع شونده ، سرپناه موقت ، الگوی پوشش سازه ، بافت پوششی متغیر ، مکانیزم ، بیونیک

Designing A Covering Pattern For Deployable Structures Based On Transition Mechanism in Transitional Epithelium

Fatemeh Samami Kojidi1 ,Ali Omranipour2, Fateme Gharuni3

Master Student, Kashan University, fatemehsamamy@gmail.com

Invited Professor, Kashan University, fatemegharuni@yahoo.com

Professor, Kashan University, a_omrani@*kashanu.ac.ir*

Abstract

In Iran, where natural disasters such as floods and earthquakes happen frequently, there is a need for temporary shelters to settle survivors. Using deployable structures could be effective to preserve people's life and their possessions. Deployable structures consist of prefabricated members and have the ability to endure the loads in some extent. These structures are easy and fast to install, and can be reused in other times and places for several times. There is often a need to adaptable covering that can provide shade and adjust to changing environmental conditions (such as rain, wind, sunlight, etc). The structure is capable of cover connection. The cover may be made of fabric membrane. Prevalent problems in these systems are: Difficulty of retracting fabric membrane; fabric getting stuck and tearing after several times being extended and retracted; thereupon need to replace the whole fabric.

"Transitional epithelium" characteristically found in internal lining of hollow organs that are subject to great mechanical change due to contraction and distension (retracting and extending). This tissue is a stratified (multi-layer) epithelium, in which the number of cell layers and cells' shape vary depending on distension scales. Distension reduces the number of cell layers and cells become flat and squamous, in shape. Coupling these transitions leads to reduction in tissue thickness, and flattened-stretched lining shape.

The transition mechanisms in this tissue are similar to those in deployable structure. In this research, a new covering pattern for deployable structures will be presented by studying and simulating components, characteristics, and mechanisms in Transitional Epithelium, which overcomes certain limitations of previous methods.

Keywords: deployable structures , temporary shelters , covering pattern , Transitional Epithelium , mechanism , bionics

ISSN 0000-0000

مقدمه

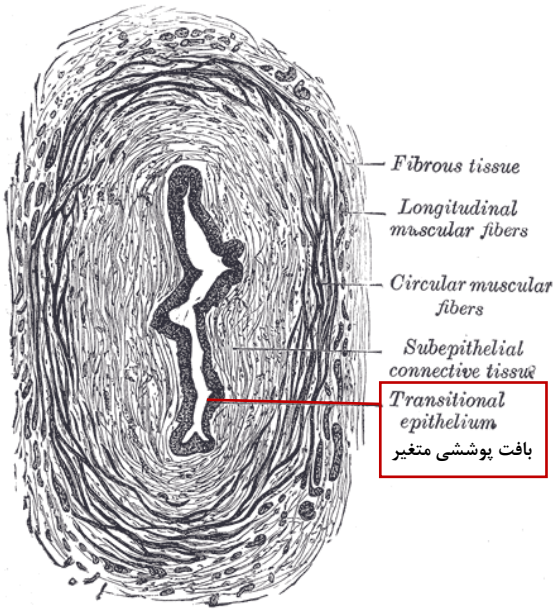
اصطلاح «بیونیک» برای اولین بار در اواسط قرن بیستم، با هدف استفاده از مطالعات بیولوژیکی در جنبه های فنی، طراحی صنعتی و علوم مواد ابداع شد. شکل گیری بیونیک، تلاشی در جهت ایجاد یک موازنه معقول و واقع بینانه بین انسان و طبیعت است؛ موازنه ای که با توجه به الهام گیری از طبیعت، نیازهای بشر را برآورده و سلامت طبیعت را در کنار سیستم های اکولوژیک تامین کند. طبیعت به عنوان یک دفتر مهندسی است که میلیون ها سال به سعی و خطا پرداخته و بهترین پاسخ های متناسب با نیازهایش را کشف می کند. این روش حل مسئله می تواند منبعی موثق برای الهام گیری در حل مسائل مهندسی باشد. در نظر گرفتن روند جهانی حفاظت از محیط زیست و همچنین تمایل به کار بر روی موضوع توسعه پایدار، موجب گسترش علم بیونیک شده است. با این حال، استفاده از علم بیونیک در معماری و طراحی به عنوان یک ایده جدید و معاصر مطرح است.[1]

این پژوهش که با هدف ارائه مدلی کاربردی از بیونیک در معماری انجام شده، به بحث در مورد زمینه های استفاده از ویژگی ها و مکانیزم بافت پوششی متغیر و ارائه الگویی برای پوشش سازه های جمع شونده می پردازد که برخی مشکلات سیستم های پیشین در آن مرتفع می شود.

معرفی بافت پوششی متغیر (Transitional Epithelium)

لایه پوشاننده سطوح خارجی و داخلی ارگان های بدن جانوران بافت پوششی(Epithelium) نام دارد. بافتهای پوششی عهده‌دار وظایف و اعمال مختلفی نظیر حفاظت ، جذب و ترشح می‌باشند. به همین دلیل شکل سلولها و تعداد لایه‌های تشکیل دهنده بافت پوششی در ارگانهای مختلف بر حسب وظیفه‌ای که انجام می‌دهند متفاوت می‌باشند. بافتهای پوششی بر اساس تعداد لایه‌های سلولی تشکیل دهنده آنها به دو دسته ساده و مطبق (Stratified) تقسیم می‌شوند که هر کدام از آنها نیز بنا به شکل سلولهای تشکیل دهنده آنها به چند نوع تقسیم می‌گردند.[2]

بافت پوششی متغیر (Transitional Epithelium)که منحصر به مجاری ادراری می‌باشد(همان)، به دلیل تغییرات مداوم و عدم ثبات فرم در طولانی مدت مورد توجه است



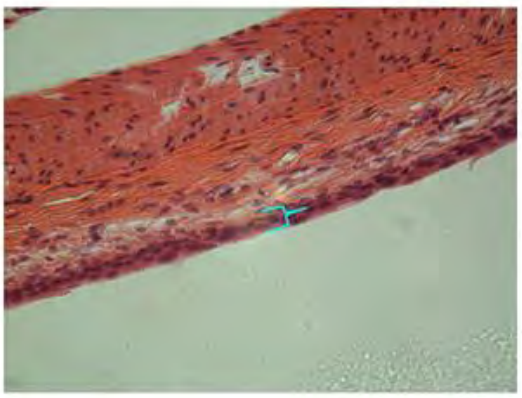
(شکل1). این بافت در حالت انقباض و انبساط دارای تغییر فرم در سطوح خود می شود تا با بیشترین تغییر سطح ممکن، کمترین کشش سطحی را تجربه کند.[3]

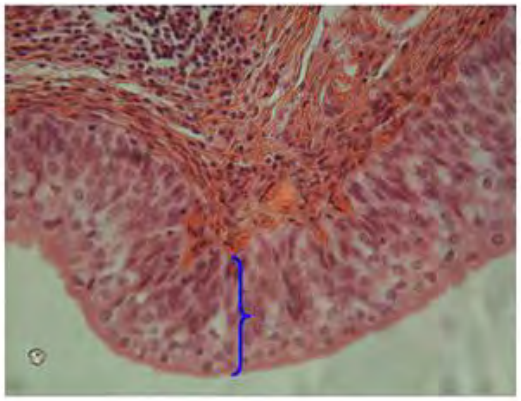
شکل1: نمایش جایگاه بافت پوششی متغیر در دیواره مثانه (*Gray,1918*)

این بافت پوشش مطبقی است که به نحوی کارا با تورم ارگان سازگاری پیدا می کند و اساسا نسبت به آب و نمک ناتراواست.(همان) ضخامت این بافت بستگی به وضعیت کشش(مجرای پُر) یا جمع شدگی (مجرای خالی) دارد.(شکل2) برای نمونه در مجرای خالی تعداد لایه‌های سلولی 4 تا 5 ردیف و سلولهای سطحی از نوع برجسته و مدورند (اصطلاحا گنبدی شکل). ولی در مجرای پر که تحت کشش قرار دارد تعداد لایه‌ها به 2 تا 3 ردیف کاهش یافته و سلولهای سطحی نیز پهن (اصطلاحا سنگفرشی) مشاهده می‌شوند. ویژگی دیگر این بافت، لایه های متفاوت سلولی و ترتیب این لایه ها در چینش آنهاست.(شکل 3 و 6) در بیشتر موارد، حداقل سه لایه سلولی

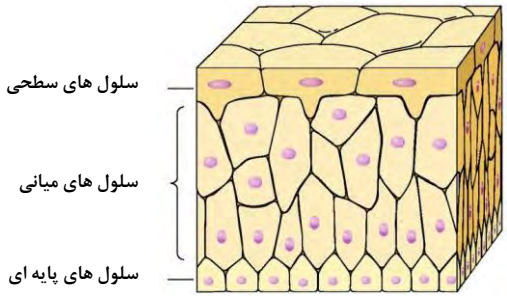
ISSN 0000-0000

وجود دارد. سلول های پایه ای ، میانی، و سطحی. سلول های پایه ای اولین لایه سلولی قابل مشاهده روی غشاء تحتانی است. سلول های میانی که در بالای این سلول های پایه ای دیده می شوند، معمولا شکل نامنظمی دارند و با فاصله میان سلولی از هم جدا شده اند. بالاترین لایه سلولی یعنی سلول های سطحی، مانند چتر، روی سلول های میانی پل می زنند. این سلول ها گنبدی شکل و بزرگ هستند.[۴] ابعاد سلول ها مستقل از گونه است و تعداد آنها در بافت بستگی به اندازه جانور دارد.[۵] در جدول شماره 1، ابعاد و تناسبات سلول های هر لایه آمده است. طبق این جدول، سلول های سطحی بیشترین، و سلول های پایه ای کمترین ابعاد را دارا می باشند.





شکل2: براکت نشان دهنده مقطع بافت پوششی متغیر در حالت کشیده شده (بالا) و جمع شده (پایین). (Photo taken by Theresa Carrera,Victoria College, Accessed 2014)



شکل 3: شکل شماتیک لایه های سلولی بافت پوششی متغیر (Birder, 2013)

جدول 1: مقادیر متوسط پارامترهای ریخت شناسی سلولی در مثانه انسان (Keshtkar, 2007)

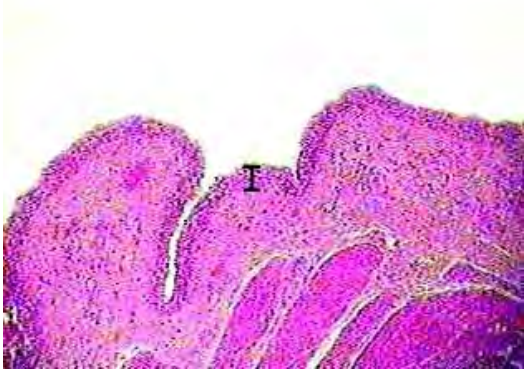
	Cell dimensions (μm)	
Layer	**Length (mean ± SD)**	**Width (mean ± SD)**
1. Superficial	14.84 ± 02.83	11.26 ± 01.27
2. Intermediate	10.91 ± 01.63	12.78 ± 02.36
3. Basal	08.87 ± 02.01	09.22 ± 01.72

(Epithelium thickness (µm): 60.80 ± 19.58)

دیگر ویژگی که در فرم کلی بافت در ارگان مشاهده می شود، شکل ستاره ای (دالبری) سطح آن در حالت جمع شده است. شکل 4،این بافت را با بزرگنمایی 40 برابر زیر

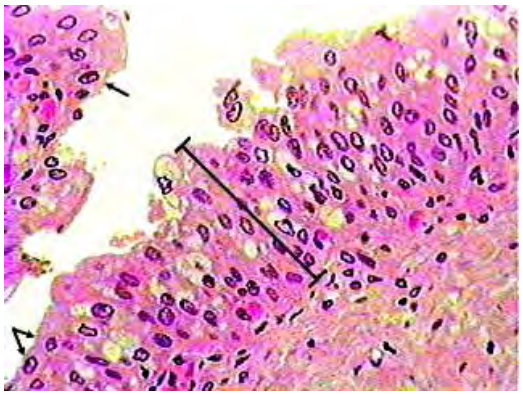
ISSN 0000-0000

میکروسکوپ نشان می دهد.[۶]



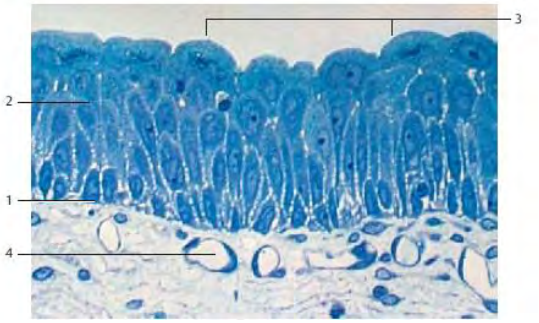
شکل4: فرم دالبری بافت پوششی متغیر (Austin Community College District, Accessed 2014)

اساسا ویژگی تکرار متناوب در همه ساختارهای زیستی، به ویژگی در بدن انسان دیده می شود. در این بافت پوششی هم، مانند دیگر اجزاء بدن انسان، این موضوع مشاهده می شود. ویژگی سطح دالبری شکل که پیش تر به آن اشاره شد، علاوه بر اینکه در سطح کلی این بافت وجود دارد،، در شکل مرز سلول های سطحی این بافت هم مشاهده می شود. شکل 5، بزرگنمایی 400 برابر این بافت را در زیر میکروسکوپ نشان می دهد.(همان)



شکل5: فرم دالبری مرز سلول های سطحی بافت پوششی متغیر (Austin Community College District, Accessed 2014)

شکل خوب، انسجام، تضاد، درجه بندی و ناهمگونی ویژگی هایی حیاتی است که پایداری در این بافت را نشان می دهد. بر این اساس، سلول های شالوده، کوتاه و مکعبی، و سلولهای میانی استوانه ای یا منشوری هستند(فرم کشیده)و پایه های آنها بین سلولهای شالوده قرار گرفته اند. این نوع قرار گیری باعث تراکم حجم زیادی از در یک سطح کم می شود. همچنین سلول های سطحی، بر روی سلول های میانی پل می زنند، که علاوه بر اشغال فضای کمتر، باعث یکپارچگی شکل سلول ها بعد از تغییر و رسیدن به جهت و نحوه مطلوب قرارگیری سلول ها و فرم بهینه سطح می شود. این درجه بندی سلولی در یک بافت، در تطبیق و هماهنگ شدن با محیط دو سوی بافت تاثیر به سزایی دارد؛ سطح داخلی(سلول های رویه) که باید با بیشترین کشش سطح صافی را بوجود بیاورد، و سطح بیرونی (سلول های شالوده)که باید اتصالات بافت را به غشای زیرین در حالت تحت فشار حفظ کنند.



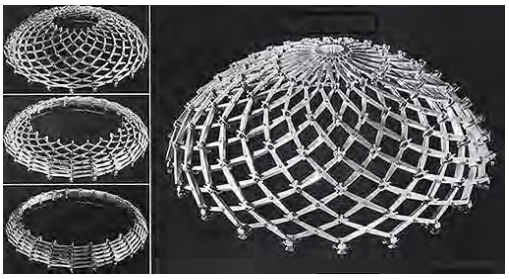
شکل6: ترتیب لایه های سلولی در بافت پوششی متغیر. 1.سلولهای پایه ای2.سلولهای میانی3.سلول های سطحی (Kuehnel,2003)

با مرور ویژگی های فرمی این بافت می توان مشاهده کرد که هر جزء و لایه سلولی در این بافت، وظیفه مخصوصی بر عهده دارد و اتصالات لایه های مختلف به گونه ای است که هماهنگ با هم عمل می کنند (مکانیزم). به این معنی که تغییر در یکی، تغییر در دیگری را موجب می شود و کل سیستم با هم مرتب و اجزاء، جدایی ناپذیر اند.

ISSN 0000-0000

سازه های جمع شونده

سازه‌های جمع شـونده (Deployable Structures) از اعضای پیش ساخته‌ای تشکیل شده اند و قابلیت تحمـل بـار را نیز تا حدی دارا می‌باشند. این سازه‌ها، توانایی باز و جمع شدن دارند. اجزاء این سازه ها طوری به یکدیگرمتصل شـده انـد کـه درحالات بازشده وجمع شده، اتصال بین اجزاء سازه حفظ شده و باصرف اندکی وقت و انرژی، سازه باز و بسته مـی شـود .ایـن سازه ها به سرعت و سهولت قابل نصب بـوده و جهـت اسـتفاده مجدد به دفعات در زمـان و مکانهـای دیگـر قابـل جمـع آوری میباشند.[۷]



شکل 7: گنبد هابرمان، نمونه ای از سازه های جمع شونده (وبسایت رسمی چاک هابرمان . مشاهده در 12/11/2014)

در ایران سالانه با وجود زلزله‌های مخرب و ویرانگر، زلزلـه زدگان و سیل زدگان نیاز شدید به سر پناه دارند. در این میـان استفاده از این سازه‌ها می‌تواند کمک مـوثری در حفـظ جـان و مال آنان داشته باشد. گونه اصلی سیسـتم هـای جمـع شـونده، سازه‌های قیچی سان (پانتوگرافها) هستند. سـازه‌های بازشـو بـا قـوس بیضـی، سـازه‌های تاشـوی گسـترده بـا قـوس بیضـی و سازه‌های تاشوی گنبدی از این دسته‌اند.(همان و[۸]) (شکل 7)

در بسیاری مواقع نیاز به یک پوشش سطح برای محافظت از باران، آفتاب یا باد می‌باشد که توانایی اتصال بـه خـود سـازه وجود دارد. این پوشش‌ها معمـولا از پارچـه می‌باشـند.(همـان) دشواری جمع کردن غشای پارچه ای وگیر کردن و پـاره شـدن پارچه بعد از چند مرتبه باز و بسته شدن و نیاز به تعـویض کـل پارچه،از مشکلات معمول در این سیستم ها می باشد.

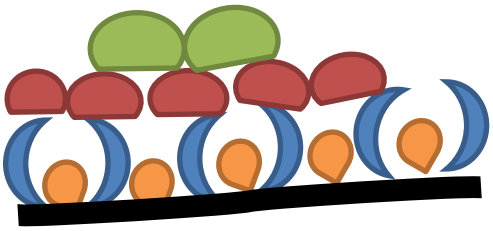
با توجه به شباهت میان مکانیزم تغییـر در ایـن بافـت بـا سازه های جمع شونده(جمع شدن و گسترده شدن)، می تـوان از ویژگی های این بافت در طراحی بهینه و یا اصلاح سازه هـای جمع شونده بهره برد. البته در سازه های جمع شونده فعلی این تغییر فرم، به صورت کنترل شده(و نـه خودکـار) صـورت مـی گیرد. همچنین تفاوت دیگر میان آنها، مدولار بودن خـود سـازه جمع شونده و اتصال غشای پوششی سطح، به طور مستقیم بـر مدول ها مـی باشـد. در صـورتی کـه در بافـت پوششـی مـورد مطالعه، پوشش سطح نیز به صورت مدولار بوده و اتصـال بافـت پوششی سطح بر یک بافت پوششی پایه و در بخـش زیرتـر بـه غشای شالوده است که بافت پوششـی را بـه بافـت ماهیچـه ای زیرین وصل می کند(اتصال *تک تک /جز/* به صورت یکپارچه بـر سطح).

مشکل جمع کردن غشای پارچـه ای وگیـر کـردن و پـاره شـدن پارچـه (بـه دلیـل اتصـال کامـل بـه مـدول سـازه ای و محدودیت غشا در تغییر فرم با تغییر سطح تنش هـا)، مـواردی هستند که می توان با الگوبرداری از بافت پوششی آنها را اصلاح و بهینه سازی کرد. با توجه به اینکه این بافت در طول عمر یک انسان، کمتر دچار مشکلات مشابه می شود.

طراحی الگویی برای سازه های جمع شونده

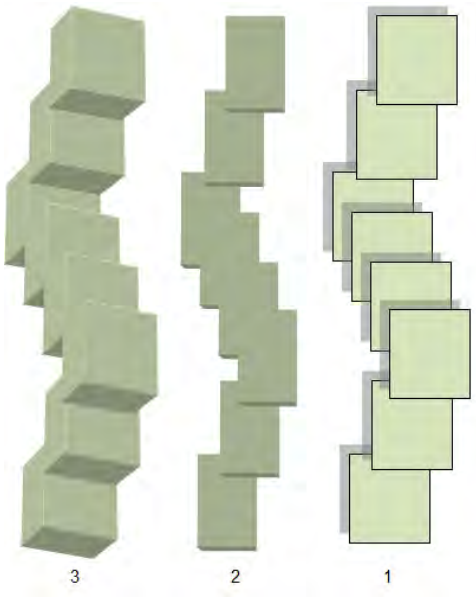
همانطور که پیش تر اشاره شد، مشکل جمع کردن غشای پارچه ای و گیر کردن آن، از مواردی هستند کـه مـی تـوان بـا الگوبرداری از بافت پوششی آنها را اصلاح و بهینه سازی کـرد. . با توجه به ویژگی های ذکر شده برای بافت پوششی متغیر، می توان راهکارهای متعددی را برای طراحی با الگـو گیـری از ایـن بافت، استخراج کرد. بدین منظور می توان با الگـوگیری از ایـن بافت، الگوی پوششی طراحی کرد که به طور هوشـمند، هنگـام جمع شدن سازه، جمع شده و هنگام باز کردن آن، متناسب بـا درجه باز شدن، باز شود. نمونه ای از طراحی پوشش مـی توانـد شامل قطعات مدولار (مدول های سلولی) باشد که در سه لایه و سه تیپ متفاوت، بر روی صفحه پایه ای قرار گرفته اند. شکل و نحوه قرارگیری مدول هـا برگرفتـه از لایـه هـای سـلولی بافـت پوششی متغیر است. با بـاز شـدن سـازه، مـدول هـای سـلولی کشیده شده و فرم قرارگیـری و ضـخامت پوشـش متناسـب بـا میزان کشش، تغییر می کند (پاسخدهی هوشمند) (شکل 8).

ISSN 0000-0000

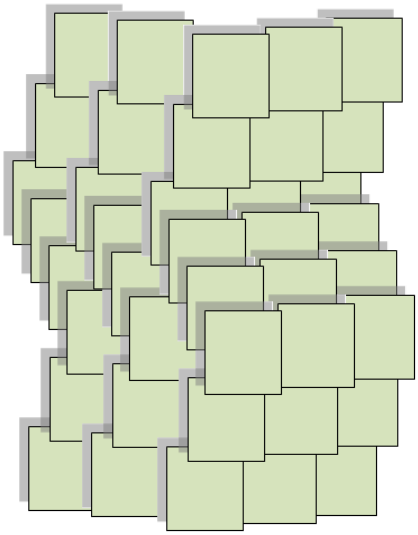


شکل 8: مدل شماتیک یک الگوی قرارگیری مـدول هـای پوشش سازه های جمع شونده، بر اساس بافت پوششـی متغیـر. (ترسیم توسط نویسنده)

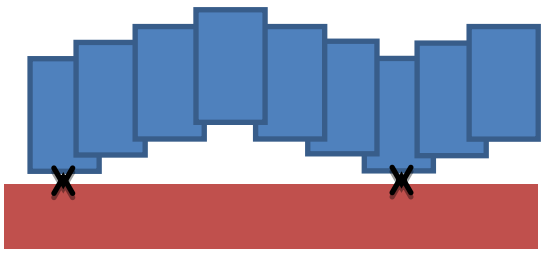
یک الگو می تواند به این صورت باشد که لایه پوششی در حالت کلی همانند خود سازه، جمع شونده و مدول های سلولی روی هم قرار گرفته و با اتصالات میان مدول ها که شبیه اتصالات میان سلولی باشند، قابلیت انعطاف و جمع شوندگی از خود نشان دهند. به این سبب مقطع قرارگیری مدول های سلولی روی هم در حالت جمع شده، همانند مقطع بافت پوششی در حالت جمع شده، ستاره ای شکل می باشد (شکل 9، 10، 11). این شیوه قابل گسترش در سه بعد نیز می باشد.



شکل9: مدلی شماتیک از نحوه قرارگیری مدول های سلولی در پوشش. تصویر1 پلان فرضی، تصویر2 مقطع فرضی و تصویر3 پرسپکتیو این مدل فرضی می باشد. (نویسنده)



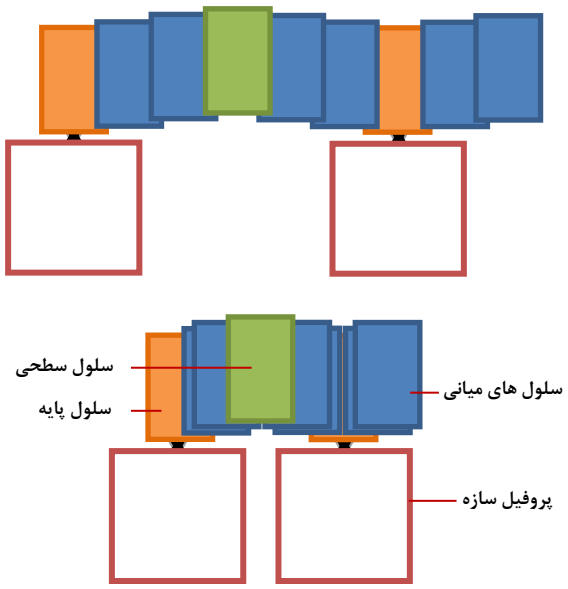
شکل10: مدلی شماتیک از نحوه قرارگیری مدول های سلولی در پوشش. (نویسنده)



شکل11: مدلی شماتیک از نحوه قرارگیری مدول های سلولی پوششی روی پروفیل سازه. (نویسنده)

ISSN 0000-0000

در طراحی این پوشش مدولار، با مشابه سازی بافت پوششی متغیر، سه لایه مدول سلولی پیشنهاد می شود: لایه اول سلول پایه ای که روی سازه پایه دارد و پایه سلول های لایه های بالایی است. لایه دوم سلول های میانی که می تواند بین یک تا شش لایه باشد. این سلول ها به سلول های میانی دیگر و همچنین به سلول های پایه ای اتصال دارند. لایه سوم سلول های سطحی که مانند چتر روی سلول های میانی پل می زنند. همچنین بر اساس ویژگی های ذکر شده در بخش معرفی بافت پوششی متغیر، سلول های سطحی دارای ابعاد بزرگتر، و سلول های میانی در لایه های بیشتر طراحی می شوند و تغییر مکان بیشتری نیز از خود نشان خواهند داد. (شکل 12)



شکل12: مدلی شماتیک از نحوه قرارگیری سه مدول سلولی پوششی روی پروفیل سازه در مقطع، در حالت باز شده(بالا) و جمع شده(پایین). (نویسنده)

نتیجه گیری

هدف از این پژوهش بررسی زمینه های الگوگیری از بافت پوششی متغیر است، که از نمونه های پایدار طبیعت می باشد. رویکرد در پیش گرفته شده در این مورد، رویکرد راه حل محور است. بدین ترتیب که در ابتدا به شناخت و بررسی ویژگی های این بافت از قبیل فرم دالبری ، لایه های سلولی درجه بندی شده، و مکانیزم تغییر فرم و حجم پرداخته شد و از میان آنها خصوصیت تغییر پذیری جهت دستیابی به ایده ای برای طراحی بایونیک مورد توجه واقع شد.

با توجه به مشابهت مکانیزم جمع شدن و گسترده شدن در بافت پوششی متغیر و سازه های جمع شونده، امکان بهره گیری از این بافت پوششی برای طراحی الگوی پوشش هوشمند برای این سازه ها بررسی شد.

بدین ترتیب لایه های سلولی درجه بندی شده این بافت که خود را با تغییر فرم سازگار می کنند، برای طراحی یک پوشش مدولار با لایه های سلولی، که به نحوی هوشمند هماهنگ با تغییر فرم سازه، تغییر شکل می دهد الهام گرفته شد. این راهکار می تواند یک پاسخ برای مسئله پوشش سازه های جمع شونده باشد.

مقاله حاضر گامی در راستای دستیابی به استخراج راه حل های پایدار از اصول مهندسی معماری مبتنی بر طبیعت است. بدیهی است که این مطالعه نیاز به گسترش و تعمیق در جنبه های گوناگون دارد.

منابع:

[1]قیابکلو، زهرا، طراحی آکوستیکی سالن همایش چندمنظوره با الهام از پوسته صدف دریایی، نشریه هنرهای زیبا، دوره 18 شماره 3، صفحات 17 الی 24، پاییز 1392

[2]http://daneshnameh.roshd.ir/mavara/mavara-browse_categories.php?parentId=308 بازدید شده در 11/06/2014

[3]http://courseweb.edteched.uottawa.ca/medicine-histology/English/SS_BasicTissues/epithelia.htm University of Ottawa بازدید شده در 09/12/2014

[4] Kuehnel,Wolfgang, Color atlas of cytology, Histology, and microscopic anatomy,Thieme,Stuttgart,New York,2003, 4th Ed. : 84-85

ISSN 0000-0000

[5] Keshtkar, Ahmad, Keshtkar, Asghar, Lawford, Pat, Cellular morphological parameters of the human urinary bladder (malignant and normal), Int J Exp Pathol. Jun 2007; 88(3), 185–190.

[6]www.austincc.edu/histologyhelp/tissues/th_trans_e.html
Austin Community College District مشاهده در 02/12/2014
This web site was created for students at Austin Community College who are enrolled in Biology 2304/2101 Human Anatomy.

[7] Thesis (M.S.)--Massachusetts Institute of Technology, Dept. of Architecture, 1987.MICROFICHE COPY AVAILABLE IN ARCHIVES AND ROTCH.Bibliography: leaves 20-21.
URI: http://hdl.handle.net/1721.1/14970
مشاهده در 09/12/2014

[8] http://www.hoberman.com/news/hoberman-archaeology-cca-2013.html

وبسایت رسمی چاک هابرمان.مشاهده در 12/11/2014

مراجع تصاویر

1. Gray, Henry & Lewis, Warre H., Anatomy of the Human Body, Lea & Febiger, PHILADELPHIA, 1918, 20th Ed.
2. http://www2.victoriacollege.edu/dept/bio/Belltutorials/Histology%20Tutorial/Basic%20Tissues/Epithelial%20Tissues.html#Transitional Epithelium آرشیو کالج ویکتوریا. مشاهده در 28/10/2014
3. Birder, Lori, Andersson, Karl-Erik, Urothelial Signaling, Physiological ReviewsPublished 1 April 2013, Vol. 93, no. 2, 653-680
4. www.austincc.edu/histologyhelp/tissues/th_trans_e.html آرشیو کالج آستین Austin Community College District مشاهده در 02/12/2014
5. همان
6. Kuehnel,Wolfgang, Color atlas of cytology, Histology, and microscopic anatomy,Thieme,Stuttgart,New York,2003, 4th Ed. : 84-85
7. http://www.hoberman.com/news/hoberman-archaeology-cca-2013.html وبسایت رسمی چاک هابرمان. مشاهده در 12/11/2014

- سایر تصاویر (تصاویر 8-12) توسط نویسنده و به صورت شماتیک ترسیم شده اند.