

معرفی مصالح پلیمری ETFE و مزایای آن جهت کاربرد

در اقلیم ایران

- 1- حمدکیا خسروی, نوید گنجیان, ایدا زینالی, الهه گرجی
- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک خاک و پی دانشگاه آزاد واحد تهران مرکز
- ۲- دانشجوی دکتری ژئوتکنیک دانشگاه تهران
- ۳- کارشناس معماری از دانشگاه تبریز
- ۴- کارشناس معماری از دانشگاه آزاد اسلامی واحد ورامین

Mkia_kh@yahoo.com

خلاصه

امروزه رشد سریع صنعت و دستیابی به تکنولوژی های پیشرفته ساخت مصالح نوین صنعتی ، توجه طراحان سازه را به این مصالح که دارای خواص ویژه ای در مقایسه با مصالح رایج در صنعت ساختمان سازی می باشند ، جذب کرده است. متأسفانه با توجه به عدم شناخت کامل و معرفی نشدن برخی از این مصالح، کاربرد آنها در کشور ما هنوز بصورت فراگیر و هدفمند در نیامده است. از جمله این مصالح، تولیدات پلیمری با نام اختصاری ETFE است که مقاله حاضر به معرفی آن می پردازد. بدین منظور ابتدا کاربردهای این مصالح در صنعت ساختمان سازی با اشاره به نمونه های عملی مورد بررسی قرار می گیرد، سپس خواص مختلف آنها ارائه شده و در ادامه با معرفی نرم افزار مورد استفاده جهت طراحی سازه هایی از این نوع، نحوه طراحی آنها تشریح می گردد.

کلمات کلیدی: etfe , پایداری انرژی, محیط زیست, نرم افزار Tensys

مقدمه

از مهمترین دغدغه های مهندسين طراح و دست اندرکاران مهندسی ساختمان در ایران ساخت سازه های سبک و مقاوم در برابر زلزله ،توجه به پایداری انرژی و استفاده از مواد همساز با محیط زیست می باشد.

مصالح پلیمری ETFE (Ethylene Tetra Fluoro Ethylene) دارای وزن کم با مقاومتی درحدود چهارصد برابر وزن خود می باشند که به علت شفافیت بالا می توان آنها را به عنوان جایگزینی برای شیشه به کار برد. به علت اینکه این مصالح معمولاً به صورت چند لایه در ساخت پوشش ها به کار می روند، به عنوان یک عایق مناسب حرارتی عمل نموده که به دلیل انعطاف پذیری بالا می توانند در ساخت سازه هایی به فرم های گوناگون از قبیل هذلولی، گنبدی و ... به کار روند حتی می توان با استفاده از نحوه ی فرم دادن در بام این مصالح سازه ای، از آب باران در اقلیم های گرم و خشک به صورت ذخایر آبی استفاده نمود.

مقاله حاضر به معرفی کاربرد این لایه های پلیمری در ساخت سازه های بالشتکی تحت فشار که به کمک تفاوت فشار هوای درون سازه و اتمسفر پایدار گردیده و دارای تمامی ویژگی های پیش گفته می باشند، می پردازد. همچنین ضمن تشریح خصوصیات مهندسی این ماده و ذکر موارد عملی از پروژه های بزرگ اجرا شده بوسیله آن، به معرفی نرم افزار Tensys مورد استفاده در طراحی این ماده پرداخته و مزایای این ماده جهت کاربرد در اقلیم ایران تشریح می شود

کاربردهای مصالح پلیمری ETFE:

مصالح پلیمری ETFE ، با توجه به مزایای فراوان آنها، کاربرد وسیعی در بخشهای مختلف سازه های خاص دارنده در ادامه به نمونه هایی از کاربردهای این مصالح اشاره می گردد.

✓ سازه های کششی (TENTOIN STRUCTURES)

سازه کششی یک واژه کلی برای سازه های تحت تنش سطحی است که اصولاً از کابل ها و فویل های سازه ساخته شده درکارخانه تشکیل می گردند و تنها نقش آنها انتقال نیروهای کششی به فوندانسیون است. عملکرد مهندسی این سازه ها تحت تاثیر طرح و شکل سطحی این گونه سازه هاست ، اما باید این سطوح دو قوسه و چند قوسه زیبا علاوه بر حفظ خواص زیبایی شناسانه خواسته شده طراح، دارای عملکرد قابل قبولی در انتقال بارها و حفظ پایداری داشته باشند.

این سازه ها ممکن است به تنهایی به عنوان پوشش به کار روند یا لازم باشد به همراه سایر المان های سازه ای برای تشکیل یک سازه کامل بکار روند.

سازه های کششی قابلیت منحصر بفردی در استفاده اقتصادی از مواد و انرژی دارند که قابلیت کنترل نور و خواص زیبایی شناسانه بالایی به همراه قابلیت نورپردازیهای مختلف دارند .

شکل پایه ای این سطوح معمولاً به شکل مخروطی ، گنبدی ، شبه هذلولی یا سهمی می باشد که می توانند به شیوه های مختلفی ترکیب گردند، به علاوه اینکه می توان به کمک نیروی ناشی از فشار هوای درون سازه و اتمسفر دهانه های بزرگی را بدون نیاز به ستون ایجاد نمود که این امر یک شاهکار نوین در مهندسی سازه می باشد.

✓ قابلیت ها و چگونگی کاربرد صفحات ETFE:

استفاده از صفحات ETFE بیش از یک سیستم پوششی ساده است. لایه های ETFE دارای وزن سبک (وزنی معادل یک درصد همان ابعاد شیشه)، قیمت ارزان ، قابلیت انعطاف پذیری و شکل پذیری بالا (عدم آسیب دیدگی در برابر بارهای دینامیکی) ، عملکرد حرارتی بالا (خاصیت عایقی بهتر از شیشه) و قابلیت عبور نور با شفافیت بالا (مانند شیشه) می باشند. طریقه نصب این صفحات به همراه پروفیل های آلومینیومی است که به وسیله قابهای فولادی، ستونها و شبکه کابل های چند طرفه مهاری نگهداری می شوند.

ضخامت این صفحات بین ۵۰ تا ۲۵۰ میکرون می باشد و معمولاً در سازه های بالشتکی ۲ یا ۳ لایه به کار میروند که درون آنها همواره فشار هوا به کمک توربین های دمنده بین ۲۰۰ و ۷۵۰ پاسکال ثابت نگاه داشته می شود که این فشار باید در زمان بارش برف به طور اتوماتیک افزایش پیدا کند. همچنین چندین توربین می توانند به تناوب فعال شوند تا در صورت نیاز یکی از توربین ها به تعمیر، مشکلی در تامین فشار هوای مورد نیاز بوجود نیاید.

به دلیل کرنش زیاد صفحات ETFE این امکان وجود دارد که با نصب صفحاتی به شبکه سطحی قاب بندی شده که وظیفه آن صفحات کاهش کرنش کلی سازه بالشتکی است ، با محدود نمودن کرنش صفحات ETFE به افزایش برخاستن بالشتک تحت فشار هوا تا میزان ۱۰٪ دهانه مزبور بواسطه کرنش الاستیک و بسیار اندک صفحات نصب شده جلوگیری از تورم جانبی کمک کرد.

زمانی که سطوح مرزی در حالت گنبدی و در اشکال منحنی هستند و یا در مواقعی که بالشتکی با ارتفاع بیشتر نیاز است نصب پوشش های اضافی مفید است.

مشخصات مکانیکی، حرارتی و الکتریکی

تاریخچه اختراع این مصالح به دهه ۷۰ میلادی بازمی گردد که نخستین بار در صنایع هوانوردی بکار برده شد. مقاومت کششی و ضریب انعطاف پذیری آن تقریباً دوبرابر سایر فلوروپلیمرهاست. این ماده دارای مقاومت الکتریکی بالایی می باشد و به عنوان یک عایق الکتریکی شناخته می شود که آن را به عنوان یک نارسنای ممتاز معرفی نموده است.

ETFE پیش از این به عنوان پوشش کابل های انتقال الکتریسته ، لوله سازی ، پوششهای عایق شیمیایی ، پروانه پمپ ها و به عنوان اجزاء سایر ابزار نیازمند حفاظت شیمیایی بالا به کار رفته است.

جدول (۱): مشخصات مکانیکی ، حرارتی و الکتریکی ETFE

مشخصات مکانیکی	روش ASTM	واحد	نوع ETFE	
			HT-2183	HT-2185
سرعت جریان مذاب (Melt flow rate)	D-3159	g/15min g/10min	6	11
وزن مخصوص	D- 792	-	107	107
جذب آب (۲۴ ساعته)	D-570	%	0.007	0.007
انبساط (در ۲۳ درجه)	D-638	%	300	300
مقاومت فشاری (در ۲۳ درجه و کرنش ۵٪)	D-695	psi	-	5500
مقاومت ضربه ای (در ۲۳ درجه)	D-250	J/m	no break	no break
ضریب انعطاف (در ۲۳ درجه)	D-790	Psi	145000	145000
سختی	D-2240	D	67	-
ضریب اصطکاک	D-1894	-	0.23	0.23
مقاومت کششی (در ۲۳ درجه)	D-638	Psi	6100	6000
مشخصات حرارتی				
نقطه ذوب	D-3418	°C	225-280	225-280
شاخص اکسیژن	D-2863	%	30-32	30-32
حداکثر دمای بهره برداری	-	°C	155	155
انتقال حرارتی	-	W/m-k	-	-
اشتعال پذیری	Uh94	-	V-0	V-0
مشخصات الکتریکی				
مقاومت ویژه سطحی	D-257	Ohm-sq	17 10	17 10
مقاومت ویژه حجمی	D-257	Ohm-Cm	17 10	17 10
مقاومت الکتریکی (با ضخامت ۱۰ میلی لیتر)	D-149	V/mil	1800	1800
پایداری الکتریکی (در ۲۱ درجه و 1MHz)	D-1531	-	2.5-2.6	2.5-2.6
ضریب اتلاف (در ۲۱ درجه و 1MHz)	D-1531	-	0.0072	0.0054
مقاومت در برابر قوس الکتریکی	D-495	Sec	-	-

صفحات ETFE تحت تاثیر آلودگی های اتمسفر قرار نمی گیرند و اشعه UV تاثیر سوئی بر آنها ندارد. این مواد دچار سخت شدگی، کریستالی شدن و در طول زمان زرد و فاسد نمی گردند. این ویژگیها موجب شده است که از این مصالح برای سازه های مهم و با عمر بهره برداری طولانی از قبیل بیمارستانها، ایستگاه های قطار، مراکز تفریحی و حتی پارکهای جنگلی مسقف استفاده گردد.

از دیگر مزایای این مصالح، پایداری و همسازی با شرایط زیست محیطی می باشد که به دلیل عدم استفاده از هیچ گونه حلالی در پروسه ساخت این ماده به طور کامل قابل بازیافت و تبدیل به سایر مواد می باشد، مضافا اینکه این ماده در هنگام بارش باران به خاطر سطوح کربنی لغزنده خود، به صورت خودکار گرد و غبار و چرک و لکه را از خود پاک می نماید.

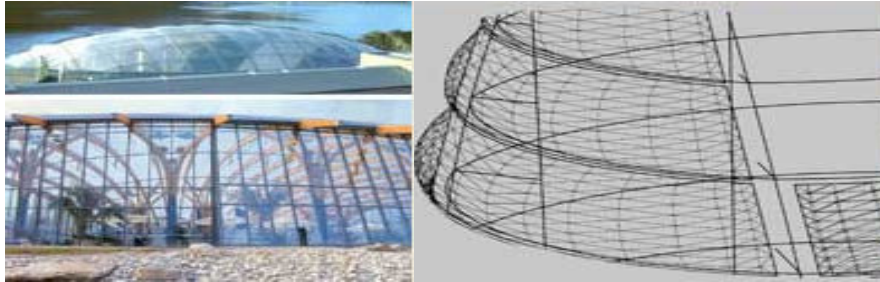
فضای میانی بین لایه های (حبابهای) ETFE فضایی گلخانه مانند را بوجود می آورد و از هدر رفتن انرژی جلوگیری می نماید همچنین در نواحی گرم و خشک که مساله کمبود آب در آن مطرح می باشد می توان در بام از شیار حبابها مانند یک شبکه زهکش بهره برد و آب باران را برای پارکهای جنگلی محصور یا استخرهای بزرگ ذخیره نمود که این کار در استادیوم شنای بازیهای المپیک ۲۰۰۸ پکن صورت پذیرفته که تا ۸۰٪ آب مورد نیاز از این راه تامین می گردد.

یکی از نواقص این نوع پوششهای ETFE احتراق پذیری آنهاست که در هنگام آتش سوزی خود را جمع می نمایند و دیگری حساسیت آنها در برابر سوراخهای سطحی می باشد که می توان به سادگی با استفاده از نوارهای ETFE آنها را تعمیر نمود.

نرم افزار TENSYS :

این نرم افزار برای طراحی سازه های بالشتکی ساخته شده از ETFE تهیه شده است. نرم افزار TENSYS دارای آپشنی برای تعیین نمودن فشارهای این نوع سازه، حجم سازه یا جرم ثابت هوای درون یک سلول بسته در محیط آنالیز المان محدود سه بعدی می باشد هنگام آنالیز تنش، تغییرات فشار درون سازه بالشتکی باید لحاظ گردد. بخصوص برای زمانی که حالات فشار ترکیبی ناشی از ترکیب فشار داخلی و فشار باد بوجود می آید، لحاظ می گردد.

✓ مدل سازی shape-finding :



شکل ۱- مدل سازی توسط نرم افزار TENSYS

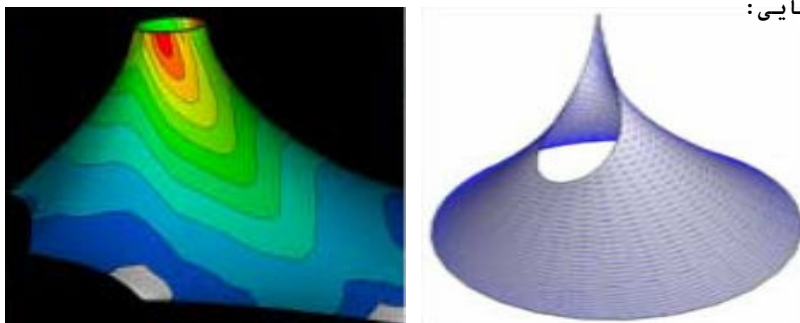
ساخت یک مدل معادل برای سازه از مراحل تعیین کننده پروسه طراحی و موثر در مباحث زیبایی شناسی طرح و تعیین عملکرد فنی مهندسی اجزا طرح می باشد. نرم افزار TENSYS به این منظور نوشته شده که تا حد ممکن یک مدل معادل را با ایجاد شرایط پخش تنش و شرایط مرزی تعریف شده توسط طراح ایجاد نماید.

سازه های کششی بالشتکی بر اثر انتقال بارهایی نظیر بار باد یا برف، متحمل تغییرشکلهای زیادی می شوند، بنابراین یک آنالیز غیرخطی هندسی توانمند که همزمان قابلیت مدل کردن تأثیرات شل شدگی یا کشیدگی کابلها و چین خوردگی پوسته ها را داشته باشد، مورد نیاز است که توسط این نرم افزار تامین می گردد. نتایج آنالیز شامل تنش ها و تغییرشکلهای هریک از گره های المان هاست.

نصب ساختار پوسته ای نیازمند آنالیز سازه ای جداگانه ای می باشد تا اطمینان حاصل گردد که برتک تک اجزا سازه و سیستم فوندانسیون آنها تنش بیش از حد مجاز وارد نگردد و ترتیب های مختلف نصب نیز می تواند مورد بررسی قرارگیرد تا نیاز به استفاده از جرثقیل ها به کمترین حد خود برسد.

پروسه نصب به کمک مدل سازی به صورت عددی شبیه سازی می گردد و گاهی ممکن است که تأثیر وزش باد از جهات مختلف بر سازه بالشتکی نصب شده یا تأثیر فرو ریزش یک قسمت جزئی از سازه بررسی گردد.

✓ مدل سازی نهایی :



شکل ۲- مش بندی و خروجی های گرافیکی نرم افزار

با استفاده از مدل سازی عددی سه بعدی برای سازه های سراسر سطوح کابلها و اتصالات، می توان اطلاعات دقیقی را برای طراحی این سازه ها کسب نمود و شیوه و الگوی برش سطح ETFE نیز از خروجی های این برنامه می باشد تا میزان درز ها به حداقل خود برسد. ضمناً بعد از انجام آزمایشات دو محوری محلی در کارخانه بر روی مواد واقعی الگوهای

ارائه شده براساس فرضیات اولیه اصلاح گشته و خروجی های اصلاح شده به صورت عددی و گرافیکی قابل ارائه هستند.

نمونه ای از کاربردهای ETFE در جهان:
✓ -مرکز بازیهای آبی پکن



شکل ۳-مرکز بازیهای آبی پکن (۲۰۰۷)

این ساختمان ملقب به مکعب بازی های آبی است و میزبان بازیهای آبی المپیک ۲۰۰۸ پکن خواهد بود. در طراحی و ساخت این بنا براساس ایده خاص آن، از ۴۰۰۰ پانل ETFE در جداره ها و سقف استفاده شده است تا جلوه ای حباب مانند در داخل و خارج آن ایجاد شود. مکعب آبی دارای ۵ استخر برای شنا، شیرجه و واترپلو و ۱۷۰۰۰ سکو برای تماشاگران است. همچنین این ساختمان جزء معدود بناهایی در جهان است که بیشترین بهره وری انرژی را داراست. لایه های حبابی آبی رنگ در نما، این قابلیت را بوجود آورده تا ساختمان همانند یک گلخانه تا ۹۰ درصد انرژی تابشی خورشید را درخود حبس کرده و از آن برای گرمایش داخلی و گرمایش استخرها استفاده شود.
✓ استادیوم ملی پکن (۲۰۰۷)



شکل ۴-استادیوم ملی پکن (۲۰۰۷)

به فاصله نیم کیلومتر از مکعب بازی های آبی، محل استقرار آشیانه پرنده "Bird's Nest" یعنی استادیوم ملی پکن است که کاری دیگر از معماران، هرزوغ و دمورن می باشد. این پروژه تضادی است از یک اسکلت فولادی به هم تنیده صلب و لایه های نرم ETFE که با یکدیگر ترکیب شده اند و درواقع از لایه های ETFE برای پوشش فضاهای میان سازه فولادی استفاده شده است.

✓ مرکز تفریحی Khan Shatry در قزاقستان (۲۰۰۸)



شکل ۷-مرکز تفریحی Khan Shatry در قزاقستان (۲۰۰۸)

این پروژه که توسط دفتر معماری نورمن فاستر طراحی شده یک مرکز بزرگ تفریحی و فرهنگی است که در آستانه، پایتخت کشور قزاقستان واقع شده است. این مرکز که در حال ساخت می باشد، شامل گستره ای از فروشگاهها، کافه ها، تئاترهای نمایش و ... می باشد. سازه این بنا به یک چادر گول پیکر بر فراز یک کوهستان شباهت دارد. در حقیقت ETFE نقش یک ستاره را در ساخت این بنا بازی میکند و غشا عظیم خارجی آن را تشکیل می دهد ، در نتیجه این امکان فراهم می شود که در عین عبور نور به فضاهای داخلی ، مردم در مقابل اثرات نامطلوب آب و هوای ناملایم ، محافظت شوند و کل مجموعه در سرتاسر سال قابل استفاده گردد.

✓ استادیوم Basetl در سوئیس (۲۰۰۱)



شکل ۸- استادیوم Basetl در سوئیس (۲۰۰۱)

این پروژه توسط معماران هرزوغ و دمورن طراحی شده است. استادیوم شکل پف کرده خود را در نمای بیرونی از پانلهای باد کرده ای بدست آورده است که از ورقهای ETFE ساخته شده اند. برای ایجاد چنین پانلهایی ، هوای خشک با فشار به داخل دو ورق ETFE که از تمام جهات به یکدیگر جوش داده شده اند ، دمیده می شود. در نمای این استادیوم نام شهر باسل توسط ورق های ETFE که دارای رنگ قرمز ثابتی هستند حک شده است و در سایر قسمتها ، نما به صورت نیمه شفاف همانند پرده سینما است که با جلوه هایی از طریق پروژکتورها روشن می شوند.



شکل ۹- استادیوم Allianz-Arena در آلمان (۲۰۰۵)

این استادیوم فوتبال در مونیخ ، ابتکار دیگری از هرزوغ و دمورن است. لقب (قایق بادی) این استادیوم ، ریشه در شکل منحصربفرد و نیز ۲۸۰۰ پانل پف کرده ETFE دارد که نمای خارجی آن را پوشانده اند. همانند استادیوم باسل ، پوسته استادیوم آلیانز هم ، شب هنگام روشن می شود و بسته به تیمی که در آن میزبان است به رنگهای قرمز ، آبی یا سفید درمی آید.

گزارشی از کاربرد ETFE در اجرای پروژه (Eden) در انگلستان:



شکل ۱۰- پروژه Eden

معرفی پروژه Eden :

در ماه مارچ ۲۰۰۱ پروژه Eden ، به شکل چند گنبد گول پیکر گل خانه ای در مرکز شهر Cornwall واقع در کشور انگلستان و با عملکرد نمایشگاهی از گیاهان مختلف سراسر کره زمین ساخته شد که روزانه هزاران بازدید کننده را به سمت خود جذب میکند.

پروژه Eden یک سازه غیر منظم و پراکنده است که در امتداد یک گودال عمیق بنا شده است. فضاهای طراحی شده نشان دهنده سه ویژگی خاص آب و هوایی است که در سراسر جهان یافت میشود.

بیشترین قسمت گیرا در این بنا چند گلخانه گنبدی است که در محیطی طبیعی با آب و هوایی همانند جنگلهای پرباران استوایی ساخته شده است. در محوطه گرم و مرطوب گلخانه، صدها درخت و گیاهان متفاوت از جنگلهای پرباران استوایی در جنوب آمریکا، آفریقا، آسیا و استرالیا کاشته شده اند. گنبد ۷۸۷ فوت (۲۴۰ متر) طول و ۱۸۰ فوت (۵۵ متر) ارتفاع و ۳۶۰ درجه (۱۱۰ متر) در پهن ترین نقطه دارد.

در نواحی مرطوب و گرمسیری، بازدید کنندگان در مسیری گرم و مرطوب حرکت میکنند. بالاترین درجه باران سالیانه، در جنگلهای پرباران استوایی می بارد که محیطی ایده آل برای زندگی گیاهان گوناگون فراهم می سازد. در پروژه Eden گیاهان مختلفی از مناطق گرمسیری و جنگلهای پرباران استوایی در جنوب آفریقا و مدیترانه و کالیفرنیا زندگی میکنند.

قسمتی از پروژه Eden بدون سقف است. گیاهان گوناگون گرمسیری در فضای باز محیط Cornwall زندگی میکنند، این محیط کاملاً شبیه به آب و هوای منطقی در شیلی، هیمالیا، آسیا و استرالیا است.

اساس کار گلخانه گنبدی:

برای مشخص نمودن اساس کار گلخانه گنبدی بزرگ پروژه Eden ، نخست می بایستی طرح اولیه و بنیادینی از گنبد ها تشریح گردد. در این پروژه ، طراحان Eden تصمیم نداشتند از مواد و مصالح سنتی در گلخانه های گنبدی استفاده کنند و در عوض با ورقهای براق ETFE کار کردند. ورقه های ETFE یک پوشاننده کامل برای یک گلخانه گنبدی است، زیرا بسیار سخت و محکم، شفاف و کم وزن می باشد. وزن یک تکه ETFE کمتر از یک درصد از یک تکه شیشه با حجم یکسان است. ETFE نسبت به شیشه عایق بهتری است و در برابر فرسایش نور خورشید بسیار مقاوم تر است.

طراحان پروژه Eden ، این مواد ETFE را به صورت بالشتهای خیلی سخت و محکم فرم دادند. هر سه صفحه ساخته شده از ورقه های ETFE در امتداد خط کناری بهم دیگر جوش داده می شوند، یکی در بالای دیگری و بین لایه ها را با هوای فشرده پر کرده اند. لایه های هوا باعث میشود بدون کاهش نور خورشید ، عایق بهتری ایجاد شود. مهمترین مطلب درباره این بالشتهک ها این است که تنظیم پذیر می باشند. در یک روز خیلی سرد، آنها میتوانند هوای بیشتری را جابه جا کنند در حالیکه عایق خوبی هستند و در یک روز خیلی گرم، آنها میتوانند قسمتی از هوا را خالی کنند تا اینکه هوای بیشتری خنک شود.

طراحان Eden بالشتهک ها را به یکدیگر به شکل گنبدهای ژئودزیک می چسبانند. در این نوع از سازه، خیلی از قابهای صاف به فرمهای مثلث، پنج ضلعی، شش ضلعی و چند

ضلعی هستند و به شکل ظاهری منحنی بهمیدگر وصل می شوند. این طرح جالب توجه است زیرا هیچ یک از تکه ها به شکل منحنی نیستند، اما وقتی آنها در کنار یکدیگر قرار می گیرند به شکل یک سازه دایره وار تبدیل میشوند.

گنبدها در پروژه Eden به صورت بالشتک های ETFE با قابهای هندسی شکل هستند. هر بالشتک به یک بافت لوله استیلی چسبیده و قفل شده است. واقعا هر گنبد دارای دو لایه بافته شده است که یکی با قابهای شش ضلعی و پنج ضلعی و دیگری با قابهای سه ضلعی می باشد. کل سازه Eden از ۶۲۵ شش ضلعی، ۱۶ پنج ضلعی و ۱۹۰ سه ضلعی بکاربرده شده است.

در مقایسه با شبکه های استیلی در یک آسمان خراش، قاب استیلی از گنبد ژئودزیک با چنین سختی و استحکامی نسبت به این وزن باورنکردنی است. این وزن (۶۶۷ تنی) در سرتاسر کل سازه پراکنده است. لبه های گنبد بر روی ردیفی از فونداسیون ها و دیوارزیرزمینی بتنی پیرامون سازه قرار گرفته است.

طراحی این نوع از گنبدها در علم هندسه بسیار پیچیده است. باید مشخص گردد که دقیقا کدامیک از آن شکلها مورد استفاده هستند و چطور به یکدیگر جفت میشوند تا در کنار هم به شکل یک سازه کاملا منحنی در آیند.

طراحان Eden به منظور حل این مسئله از نرم افزارهای پیچیده کامپیوتری استفاده کردند (در بخش ۴ شرح داده شده است).

مصالح پلیمری (Etfе) و مزایای آن جهت کاربرد در ایران:

دنیای تکنولوژی های پیشرفته ، عصر فرمهای جدید و خلاقانه می باشد که مصالح و ابزارهای خاص خود را می طلبد، از طرفی خطرات زیست محیطی و مسائل مربوط به استفاده ی بهینه از منابع انرژی در دوره های اخیر که با عناوین مختلفی از قبیل پایداری انرژی ، معماری پایدار و معیارهای سبز مطرح می گردند ، در جستجوی مصالح و موادی هستند که آسیب پذیری به محیط زیست بشری را به حداقل برسانند و مصالح پلیمری (Etfе) یکی از تلاش های طراحان ، جهت بر آورده ساختن این نیاز می باشد.

کشور ایران دارای اقلیم های متنوعی می باشد که بیشترین مساحت آن به اقلیم گرم و خشک اختصاص دارد، از ویژگیهای منحصر به فرد مصالح پلیمری (Etfе) ، حفظ و حداکثر بهره مندی از منابع انرژی طبیعی ، چون انرژی خورشیدی می باشد. (مرکز بازیهای آبی پکن، ۹۰ درصد انرژی گرمایش داخلی استخرها را از گرمایش خورشید تامین می نماید) استفاده از آب های باران به صورت ذخایر آبی ، در اقلیم های مختلف ایران ، از دیگر ویژگیهای این مصالح است که به علت خاصیت فرم پذیری و انعطاف پذیری ورقه های (Etfе) در سقف و بدنه ها امکان پذیر است.

قابلیت های فراوان مصالح پلیمری (Etfе) ، چون ماندگاری، وزن سبک (حداقل آسیب و خسارت در مواقع زلزله)، قابلیت انعطاف پذیری و شکل پذیری بالا (عدم آسیب دیدگی در برابر بارهای دینامیکی)، عملکرد حرارتی بالا (خاصیت عایقی بهتر از شیشه) ، قابلیت عبور نور با شفافیت بالا (مانند شیشه) و مقاومت فشاری بالا، استفاده از این مواد را به یکی از راه حل های کلیدی جهت ساخت اماکن حساس مانند بیمارستان ها و سایر اماکن عمومی مقاوم در برابر وقوع زلزله تبدیل کرده است و علت خواص زیبایی شناسی بالا و کاهش مدت زمان اجراء و ساخت پروژه است، که لزوم استفاده مهندسیین طراح و دست اندرکاران مهندسی ساختمان در ایران را موجب می گردد.

7- منابع و مراجع

1. Etfе: Technology and Design, Annette lecuier
2. ASTM D3159 - 06 Standard Specification for Modified ETFE-Fluoropolymer Molding and Extrusion Materials.
3. ETFE foil: outline design guidance. www.architen.com
4. steps into the definition of a responsive etfe façade for high- rise buildilngs, Daniel Cardoso, dennis michaud
5. soft façade digital mock-up workshop. professor lowrence sass & Mitchell Joachim
6. tefzal ETFE material properties data sheet. information provided by dupont
7. material for an architectural revolution. elizabet woyke

8. etfe foil cushions in roof