بررسی آنالیزی ساختار و عملکرد فشاری و کششی سازه تنسگریتی با اسکلت و بافت بدن انسان

سید سجاد نادری[۱]، رویا علی اکبرزاده[۲]*، حامد کریمیان جوکندان[۲]

۱- مدرس موسسه آموزش عالی شهریار آستارا، دپارتمان معماری، آستارا، ایران

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، موسسه اموزش عالی شهریار آستارا، دپارتمان معماری، آستارا، ایران

چکیده

سیستم‌های کش‌بستی یا ساختار کششی و فشردگی یا سازه تنسگریتی واژه‌ای ابداعی است و به این معنی است که یکپارچگی و استقامت این گروه از ساختارها، بسته به تعادل کشش‌های داخلی است. به تعبیر فولر که یکی از نخستین تعاریف را عرضه داشته، ساختار تنسگریتی جزایری از فشار در داخل دریایی از کشش هستند. تنسگریتی یک سیستم سازه‌ای است که بخاطر عناصر فشاری متمایز که داخل یک شبکه کششی شناور می‌باشد، شناخته شده‌است. این جذاب‌ترین گزاره در سیستم‌های پویاست، زیرا چنین ساختارهایی به‌طور خودکار، موقعیتی از تعادل پایدار راایجاد می‌کنند، با یک پیکربندی که انرژی الاستیکی ذخیره شده را به حداقل می‌رساند. سازه‌های تنسگریتی، امکان حرکت با حداقل هزینه انرژی، بدون از دست دادن پایداری و مقاومت را فراهم می‌نماید. در مقایسه با ساختارهای زیست شناختی نشان می‌دهد که هر دو خواص ارتجاعی و غیر خطی، با حرکت سیال مانند دارند، که نتیجه یکپارچگی تمام اجزاست. در این پژوهش رابطه ی میان رفتار اجزای بدن انسان با یکدیگر در برابر نیروهای جانبی وارده و چگونگی ایستایی و پویای آن مورد تطبیق با سیستم سازه ای تنسگریتی قرار خواهد گرفت. هدف از این پژوهش ارتقا و رشد بستر استفاده از سازه های نوین در مناطق گسیلی است.

واژه‌های کلیدی: ساختار و عملکرد. نیروی فشاری و کششی، سازه تنسگریتی، اسکلت و بافت بدن انسان.

۱- مقدمه

معماران و مهندسان همواره در پی یافتن راه حل‌های جدید برای حل مسئله فضاهای محصور بوده‌اند. با صنعتی، شدن وتوسعه دنیای مدرن تقاضا برای استفاده از سازه‌های با دهانه‌های بزرگ افزایش یافت. تا اواسط قرن ۱۸ مصالح اصلی در دسترس برای معماران و مهندسان، سنگ، چوب وآجر بود. سنگ و آجر، در برابر فشارمقاوم، ولی در برابر کشش ضعیف بودند، به همین دلیل برای سازه‌های سه بعدی مثل گنبدها وطاق‌ها مناسب بودند. با وقوع انقلاب صنعتی، گسترش تولید آهن و سپس فولاد، امکان تولید مصالح با مقاومت زیاد، ساخت ساختمان‌های با ارتفاع بیشتر و دهانه‌های وسیع تر فراهم شد. همزمان، تقاضا جهت سازه‌ها با دهانه وسیع برای پل ها، ایستگاه‌ها، ساختمان انبارها و کارخانه‌ها افزایش یافت. در ابتدا مجموعه‌ای از خرپاهای متنوع شکل گرفت و در مراحل بعد سازه‌های مشبک فضایی سه بعدی به وجود آمدند. بسیاری از فرم‌های سازه‌ای به ویژه اغلب شبکه‌های فضایی ازمدول‌هایی تشکیل شده‌اند. نظریه ساخت ساختمان‌های مدولار تقریباً ۱۵۰ سال قبل، با طراحی، ساخت و نصب قاب‌های فلزی کریستال پالاس در هاید پارک لندن شکل عملی یافت. سازه‌هایی مانند برج ایفل که از آهن شکل داده شده ساخته شد، دلیلی بر پایداری و دوام سازه‌های فلزی سه بعدی مدولار به‌شمار می‌روند. دردهه ۵۰ و ۶۰ سیستم‌های مشبک فضایی در تمام دنیا مورد استفاده قرار گرفت. در آمریکا ریچارد باکمینستر فولر(۱۸۹۵- ۱۹۸۱) درپی مطالعاتی که در مورد نحوه اتصال تعدادی از کره‌ها به یکدیگر انجام داد، به سیستم خرپای هشت وجهی دست یافت. پس از آن استفاده از ساختارهای کش بستی یا تنسگریتی کاربرد بیشتری یافت، و اصول آن در ساخت ورزشگاهها و سالن‌های عظیم تا تولیدات صنعتی و مبلمان مورد استفاده قرار گرفته‌است.

ساختار سازه های تنسگریتی به مانند جزایری از فشار در داخل دریایی از کشش است. این سازه دارای یک سیستم پویا می باشد که بطور خودکار موقعیت تعادل پایدار را ایجاد میکند. سازه تنسگریتی امکان ایجاد حرکت با حداقل هزینه و انرژی بدون از دست دادن پایداری و مقاومت را فراهم می کند. این سازه به نحوی طراحی و ساخته شده که هر بخش می تواند کشش و فشار را بصورت جداگانه تحمل کند. بدن انسان همانند سازه تنسگریتی درهر مقیاسی دارای نیروی وارده ی فشاری و کششی است. نگاه تنسگریتی به ساختار بدن راههای جدیدی از استراتژی کل نگر برای درک این حقایق رامی‌گشاید که اعضای بدن برای حفظ تعادل چگونه عمل می‌کند؟ همه ساختارها در عالم هستی برپایه تعادلی میان کشش و فشار، یا امتداد و تراکم ثبات یافته‌اند. اما استفاده از این اطلاعات و معلومات در جهت ایجاد سازه هایی مقاوم در مناطق زلزله خیز و بادخیز میتواند باعث ایجاد ساختمان های پویا و مقاوم باشد.

۲- بیان مسئله

اخیرا سازه های مختلفی جهت مقاومت در برابر نیروی فشار و کشش طراحی شده است. اما طراحی سازه ای منحصر به فرد که قابلیت مقاومت کششی، فشاری و پویایی(حرکت) و همچنین رشد و توسعه را داشته باشد میتواند یک بحث چالش بر انگیز باشد. نمونه بارز سازه ای که در مقابل نیروهای فشار و کشش مقاومت میکند و همچنین می تواند پویا و متحرک باشد و رشد کند سیستم اسکلت و بافت بدن انسان است. اخیرا سیستم سازه ای که بیشترین شباهت را به سیستم بدن انسان دارد، با اسم سیستم سازه ی تنسگریتی طراحی شده است که علاوه بر دفع نیروهای کششی و فشاری قابلیت پویایی با صرف انرژی بسیار کم را داراست. و می تواند مانند بدن انسان در هر شرایطی استقامت خود را حفظ کند. با وجود شباهت های فراوان با بدن انسان بررسی اینکه چگونه میتوان از سازه تنسگریتی در مناطق زلزله خیز یا باد خیز در جهت حفظ ایستایی و مقاومت ساختمان استفاده کرد از بخش های چالش برانگیز این پژوهش است.

۳- اهمیت و ضرورت پژوهش

عدم وجود کتاب ها و مقالات جامع و کامل که دربرگیرنده اطلاعات سیستمی جدید در رابطه با سازه های نوین و متقابلا نداشتن دانش کافی عامل اصلی عدم پیشرفت و توسعه سازه ها می باشد. از این رو برداشتن گامی هرچند کوچک میتواند باعث افزایش اطلاعات در این زمینه گردد که متقابلا عامل ایجاد ساختمان هایی با سازه های نوین و پویا می شود.

اهمیت و ضرورت این پژوهش بررسی آنالیزی و تطبیقی ارتباط بین ساختار و عملکرد فشاری و کششی سازه تنسگریتی با اسکلت و بافت بدن انسان در برابر نیروهای وارده است که موجب طراحی سازه هایی با ویژگی هایی همچون پویایی، استقامت بالا، قابلیت رشد و سبک بودن می شود که از نظر علمی، اقتصادی، فنی و مهندسی مورد اهمیت می باشد.

۴- اهداف پژوهش

اهداف این پژوهش به دو بخش علمی و کاربردی تقسیم می شود.

اهداف علمی: آشنایی با نحوه ی حفظ تعادل در برابر نیروهای فشاری و کششی در سیستم سازه ای تنسگریتی و بافت اسکلت بدن انسان.

اهداف کاربردی: استفاده از سیستم سازه ای تنسگریتی در جهت حفظ تعادل، استقامت و پویایی ساختمان در مناطق زلزله خیز و یا بادخیز که ساختمان قابلیت ایستادگی در برابر نیروی گرانشی و لرزشی زمین و یا نیروی جانبی ایجاد شده از طریق باد و طوفان داشته باشد.

۵- سوال پژوهش

۱. سیستم سازه ای تنسگریتی چه رفتاری در برابر نیروها ی فشاری و کششی وارده در جهت حفظ تعادل انجام میدهد؟
۲. بافت و اسکلت بدن انسان به چه روشی در برابر نیروهای فشاری و کششی و گرانشی، استقامت خود را حفظ می کند؟

۳. رابطه و نقطه مشترک بین رفتار سازه های تنسگریتی و بدن انسان در مقابل نیروهای کششی، فشاری و گرانشی وارده در جهت حفظ تعادل بافت و اسکلت سازه ای چگونه است؟

۶- فرضیه پژوهش

ساختار سازه های تنسگریتی به مانند جزایری از فشار در داخل دریایی از کشش است. این سازه دارای یک سیستم پویا می باشد که بطور خودکار موقعیت تعادل پایدار را ایجاد میکند. سازه تنسگریتی امکان ایجاد حرکت با حداقل هزینه و انرژی بدون از دست دادن پایداری و مقاومت را فراهم می کند. این سازه به نحوی طراحی و ساخته شده که هر بخش می تواند کشش و فشار را بصورت جداگانه تحمل کند. بدن انسان همانند سازه ی تنسگریتی در هر مقیاسی دارای نیروی وارده ی فشاری و کششی است. بدن انسان برای حفظ تعادل و پایداری در حین حرکت و یا در حالت سکون نیاز به ایجاد تراکم میان بافت های فشاری(استخوان بندی) و کششی(غضروف ها و ماهیچه ها) دارد. بدن انسان مانند سیستم تنسگریتی پویاست و حرکت آن با استفاده از کمترین میزان انرژی موجود در بدن تامین می‌شود.

۷- روش تحقیق

روش پژوهش به صورت آنالیزی و-تحلیلی بوده است و مبتنی بر مطالعات کتابخانه ای انجام پذیرفته است.

جدول ۱-۱: پیشینه تحقیق

نویسنده	عنوان	سال	انتشارات	نتیجه
عبیری و رحیمی	مروری بر سازه های تنسگریتی (کش بستی) با تاکید بر کاربرد آن در معماری	۱۳۹۵	سومین کنفرانس بین‌المللی عمران، معماری و شهرسازی	هدف از این مقاله تحقیق و بررسی اصول سازه ای، فرمی و معماری سازه های قیچی سان بوده، که همگام با این اصول، نقش عملکردی این سیستم در سازه های تغییر فرم پذیر مورد بررسی گرفته شده است. نقش این سیستم سازه ای به عنوان یک المان در محیط های مختلف مورد تحقیق قرار گرفته شده است. دسته بندی این سازه ها به سه بخش متفاوت سازه های قیچی سان انتقالی، منحنی و زاویه دار و دسته بندی های ریزتر، بررسی اصول و نحوه باز وبسته شدن در این نوشته بیان شده است. تاریخچه سازه های قیچی سان از کارهای اولیه پینرو به عنوان سقف تئاترهای متحرک، پروژه اسکریگ به عنوان سقف یک استخر، کارهای پلگرینو برای شاتل های فضایی و سازه های قیچی سان زاویه دار هابرمن به عنوان فضاهای نمایشگاهی مورد ارزیابی قرار گرفته شده است. در نهایت پروژه ریپمن به عنوان یک دیوار باز و بسته شونده به بیان انعطاف ذیری بیشتر این سیستم می پردازد.
رضایی‌فر و رئیسی	معماری نوین در هماهنگی با اصول مهندسی طبیعت، مطالعه موردی: ساختار تنسگریتی.	۱۳۹۲	دومین کنگره بین‌المللی پژوهشهای نوین در مهندسی	در این مقاله سعی نموده مشابهت ویژه ساختار تنسگریتی را با ساختارهای طبیعی در مقیاسهای متنوع مورد بررسی و مقایسه قرار داده و نشان دهد به دلیل برتری هایی که ساختارهای طبیعی نسبت به ساختمان های فعلی بشر دارند تنسگریتی می تواند به عنوان یک سیستم بهینه معمارانه مورد بررسی و توجه بیشتری قرار گیرد.
هاشم نژاد، و سلیمانی	مروری بر سازه های تنسگریتی	۱۳۸۸	نشریه هنرهای زیبا.	سازه های تنسگریتی با داشتن قابلیت هایی چون باز و بسته شدن، سبکی، استفاده حداقل از مصالح زیبایی در معماری و طراحی صنعتی میتوانند بکار گرفته شده و کارگشا باشند.
سالوادوری، ماریو جورج.	سازه در معماری	۱۳۸۶	دانشگاه تهران.	یک سیستم سازه‌ای است که بخاطر عناصر فشاری متمایز که داخل یک شبکه کششی شناور می‌باشد، شناخته شده‌است. این جذاب‌ترین گزاره در سیستم‌های پویاست، زیرا چنین ساختارهایی به‌طور خودکار، موقعیتی از تعادل پایدار راایجاد می‌کنند، با یک پیکربندی که انرژی الاستیکی ذخیره شده را به حداقل می‌رساند. سازه‌های تنسگریتی، امکان حرکت با حداقل هزینه انرژی، بدون از دست دادن پایداری و مقاومت را فراهم می‌نماید. در مقایسه با ساختارهای زیست شناختی نشان می‌دهد که هر دو خواص ارتجاعی و غیر خطی، با حرکت سیال مانند دارند، که نتیجه یکپارچگی تمام اجزاست.

۸- متن

۸-۱- معرفی سیستم سازه ای تنسگریتی

ساختار تنسگریتی جزو سازه های نوین و فضاکار شناخته می شود. در واقع خرپاهای سه بعدی پایداری هستند که در آن اعضای فشاری به صورت منقطع و مغلق در بین عناصر کششی ممتد مهار شده اتد. (رضائی فر، رئیسی، ۱۳۹۲) اسکلت و بافت بدن انسان: بدن انسان نمونه خوبی از ساختار تنسگریتی است، از ۲۰۶ استخوان تشکیل شده است، که نیروی گرانش به آنها وارد می شود و به سمت زمین کشیده می شوند. با کشش عضلات، تاندون ها، بافت های عصبی موجب می شود کل این ساختار به تعادل و پایداری برسد. در ساختار تنسگریتی بدن استخوانها اعضای فشاری می باشد. (رضائی فر، رئیسی، ۱۳۹۲)

نیروی فشاری: فشار وضعیتی دیگر از تنش می باشد که ذرات را به هم فشرده می سازد. ستونی که نیرویی را تحمل می کند. تحت فشار میباشد و ارتفاعش تحت تاثیر نیرو کاهش میابد. کاهش طول یکی از اثرات اعمال فشار است. نیروی کششی:سازه ها هر گاه تحت تاثیر دو نیرو قرار میگرند تغییر شکل می دهند، اگرچه این تغییر شکل ها بندرت توسط چشم غیر مسلح دیده می شود اما تنشهای متناظر آنها قابل اندازه گیری هستند. کیفیت تنش ها می تواند کاملا پیچیده باشد با وجود این اغلب شامل بر دو وضعیت اساسی می باشد: کشش و فشار. (سالوادوری،۱۳۸۵) کشش وضعیتی از تنش است که در آن ذرات تمایل به کشیدگی و جدایی دارند. (سالوادوری،۱۳۸۵)

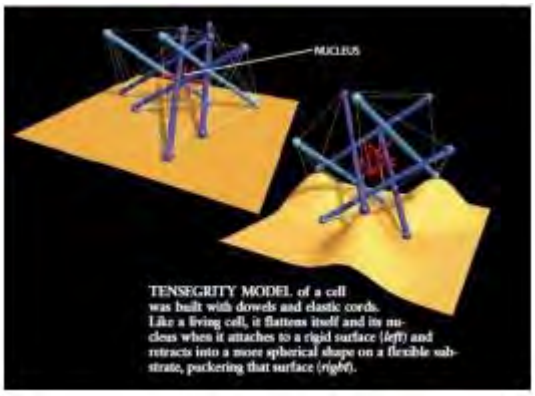
۸-۲- بررسی ارتباط میان سازه ی تسگریتی و اسکلت بدن انسان

بدن انسان نمونه خوبی از ساختار سازه تنسگریتی است، از ۲۰۶ استخوان تشکیل شده است که نیروی گرانش به آنها وارد می شود و به سمت زمین کشیده می شوند. با کشش عضلات، تاندونها، بافت های عصبی موجب می شود کل این ساختار به تعادل برسد. در ساختار تنسگریتی بدن استخوانها اعضای فشاری می باشند(شکل ۱)

شکل ۱: مشابهت بدن انسان و ساختار سازه ی تنسگریتی (رحمت آبادی، ۱۳۹۰)

دونالد اینگبر که تحقیقات زیادی در زمینه زیست شناسی اتم، سلول، بافت های طبیعی و ... انجام داده است می گوید: "با وجود سالهل مطالعه محققان هنوز مطلب کمی راجع به اینکه چگونه اتم ها به ملکول و ملکواها به سلولها و بافتها تبدیل می شوند می دانند. با اینحال به طرز مبهوت کننده ای بسیاری از سیستم های طبیعی مانند اتم های کربن، ملکول آب، پروتئین ها، ویروس ها، سلول ها، بافتها، و حتی بدن انسان و بقیه پدیده های زنده از ساختار معمارانه تنسگریتی استفاده می کنند. این اکتشاف پایه در همه حوزه ها کاربرد علمی دارد. (هاشم نژاد، سلیمانی، ۱۳۸۸)

اینگبر تحقیقات زیادی در مورد رفتار سلول هل انجام داده است و به این نتیجه رسیده که بهترین الگو برای توضیح رفتار سلولها ساختار تنسگریتی است. او ماکت تنسگریتی شامل ۶ میخ چوبی و مقداری کش که آنها را به هم متصل می کند ساخت و رفتار این ماکت را نسبت به رفتار سلول وقتی که روی سطح صاف و شیشه ای و سطح ناصاف پارچه ای بررسی و مقایسه کرد. مشاهدات او نشان می دهد رفتار سلول و ساختار تنسگریتی دقیقا مشابه یکدیگر می باشد. (شکل ۲) (رضائی فر، رئیسی، ۱۳۹۲)



شکل۲: مدل پیشنهادی اینگبر که برای بررسی رفتار سلول از ساختار تنسگریتی بهره میگیرد(ingber:1998)

او در تحقیقات دیگر خود مشاهده می کند سلولها همانند رفتار پوست انسان که وقتی کشیده می شود نیروی مقاوم کششی در آن بیشتر می شود دقیقا سلولها نیز در برابر نیروی بیرونی وارده همین رفتار را نشان می دهند و این رفتار در ساختار تنسگریتی نیز وجود دارد که در برابر اعمال نیرو محکم تر می شوند. اینگبر همچنین کش آمدن سلول ها و بافتهای عصبی را با استفاده از تنسگریتی توضیح می دهد. اینگبر در تحقیقات خود به این نتیجه می رسد که سلولها برای شکل دادنت به اسکلت سلولی خود از تنسگریتی استفاده می کنند. او معتقد است در بسیاری از ساختارهای طبیعی و در مقیاس های مختلف فرمهای ژئودوزیک یافت می شود مانند باکی بال ها، ویروس ها، آنزیم ها، اتم کربن ۶۰ که با بیست شش ضلعی و ۱۲ پنج ضلعی ساخته می وشد و... همه فرم زئودوزیک دارند. همه این فرم های ژئودوزیک با ساختار تنسگریتی ایجاد شده اند. او همچنین ساختارهای غیر منظم طبیعت را مانند الگوی DNA ، ساختاری تنسگریتی می داند. (رضائی فر، رئیسی، ۱۳۹۲)

۳-۸-کاربردهای تنسگریتی

مزایای استفاده از گنبدهای تنسگریتی به اختصار عبارتنداز:

پیش ساختگی و سرعت در اجرای سازه: زمان لازم برای اجرای یک سقف حدود یک پنجم زمان لازم برای اجرا با سایر سیستم‌های سازه‌ای می‌باشد. بهره‌گیری از تیرهای با طول یکسان و اتصال ساده در ساخت سازه موجب صرفه جویی در صرف زمان خواهد شد. چونکه مدول‌های فشاری دارای اندازه‌های یکسان و از پیش تعیین شده می‌باشد، کافیست که این اجزای فشاری در محل به یکدیگر نصب شوند. اتصال آن‌ها نیز اکثراً از طریق گوی‌های کروی به راحتی انجام می‌شود.

افزایش سختی: به علت توزیع نیروها بین عناصر گسیختگی و شکست بین اجزا به سادگی اتفاق نمی‌افتد. حتی در این صورت مسیر نیرو دوباره تشکیل شده و نیرو بین سایر اعضا تقسیم می‌شود.

سبکی و کاهش بار مرده سازه: از آنجا که سیستم سازه‌ای شبیه سیستم پوسته‌های بتنی، خرپا و اسکلتی صلب و سنگین نمی‌باشد. بار مرده ناشی از وزن سازه و بار زنده استاتیکی تا حد امکان کاهش می‌یابد.

قابلیت ارتجاء بسیار بالا: همان‌طور که از نام سیستم کش بستی پیداست، عناصر کششی بر اثر نیرو و فشار وارده از خود انعطاف نشان داده و مرتجع می‌شود، تا از این طریق نیروها را تقسیم کند.

کاهش هزینه‌های ساخت و هزینه تمام شده: می‌توان ساختار تنسگریتی را به عنوان سقفهای غشایی در نظرگرفت.

که به جای اینکه فشار هوا آن‌ها را نگه دارد، توسط خرپا حمل می‌شوند. حذف سیستم دمنده هوا و درهای گردان مخارج این سقفها را در مقایسه با سقفهای هوایی کاهش می‌دهد.

مقامت در برابر نیروها و پایداری بالا: سازه‌های فضاکار، سیستم‌هایی با بازدهی سازه‌ای بالا و ایمن می‌باشد، زیرا هر یک از اعضای آن متناسب با مقاومت خود، بار وارده را تحمل می‌نمایند. بارهای وارده از طریق کوتاه‌ترین مسیر به تکیه گاههای مختلف و متعدد منتقل می‌شوند. بیشترین بارها از طریق مقاوم‌ترین اعضا به تکیه گاهها منتقل می‌شوند. با حذف تعدادی از اعضا، ایستایی و پایداری سازه فضاکار از بین نمی‌رود، زیرا این امر باعث تعیین دوباره جریان نیروها می‌شود و اعضا، متناسب با مقاومت یا سختی

شان نیروهای اضافی را به‌طور مشترک تحمل می‌نمایند. این افزایش مقاومت ذاتی دلیل تعادل پایدار سازه فضاکار است، حتی هنگامیکه بار اضافی به آن‌ها وارد شود.

کاهش نیروی کار مصرف شده در متر مربع بنا: از آنجا که روال کار از پیش تعیین شده و مشخص می‌باشد، احتیاج به نیروی کار (به ویژه نیروی متخصص) کمتری است. نیروهای غیرمتخصص نیزبا آموزش‌های کوتاه مدت توان لازم را کسب می‌کنند. در واقع با حذف نیروی کار اضافه، موجب صرفه اقتصادی می‌شود.

قابلیت برنامه ریزی و کنترل بهتر: با توجه به تکراری بودن سیکل کار که هر قسمت توسط گروهی معین انجام می‌شود. رفع وقفه در کار به سرعت انجام شده و سهولت کنترل پروژه را سبب می‌شود.

مقاومت در برابر بار باد و برف: در گنبدهای تنسگریتی که به گنبدهای با خیز کم نیز نام برده می‌شود، امکان استفاده از فرم‌های منحنی با ارتفاع کم عملی گردید و در نتیجه برآیند نیروی ناشی از باد و انباشتگی برف کمتر شده و سطح بیرونی ساختمان نیز کمتر می‌گردد.

از دیگر کاربردهای تنسگریتی در معماری و شهرسازی و کشاورزی و مهندسی و به‌طور کلی علوم مختلف می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: پوشش بهینه فضاهای گسترده و با مقیاس بالا نظیر انبارها، گلخانه‌های زمین‌های کشاورزی، سایتهای تاریخی، ایستگاههای قطار، فضاهای باز شهری، حفاظی برای جلوگیری از ورود پرندگان به مکان‌های خاص و موارد متعدد دیگر. نکته جالب و امری که فراگیر بودن کاربرد تنسگریتی را نشان می‌دهد استفاده این سیستم ساخت در طراحی و اجرای میز و صندلی و لامپها و به‌طور کلی معماری داخلی می‌باشد که تصاویر آن‌ها در زیر آورده شده‌است.

۹- بحث و نتیجه‌گیری

۱: معرفی سیستم سازه ی تنسگریتی

۲: بررسی نحوه ی عملکرد سیستم سازه ای تنسگریتی در برابر فشار و کشش

۴: بررسی نحوه ی عملکرد سیستم اسکلت بدن در برابر کشش و فشار

۵: بررسی ارتباطات بین عملکرد سازه ای سازه ی تنسگریتی و بدن انسان

۶: بررسی پویایی سازه ی تنسگریتی و نحوه ی عملکرد آن

۷: بررسی احتمال پویا سازی ساختمان های تنسگریتی به مانند بدن انسان و بررسی امکان پذیری رشد سازه

بعد از بررسی تمامی این عوامل به یک نتیجه کلی میرسیم:

ساختارهای تنسگریتی به لحاظ مکانیکی پایدار هستند، این نه به دلیل قدرت تک تک اعضا، بلکه بخاطر شکل توزیع کل ساختار و تعادل است و از این طریق پایداری کل سازه را تضمین می‌نمایند. دسته دیگر سازه‌های تنسگریتی در بر گیرنده آنهایی می‌شوند که خود را به صورت پیش تنیده پایدار می‌سازند. این نوع سازه فضاکار سه بعدی پایدار، متشکل از کابلها و عناصر فشاری است، که در آن کابلها ممتد ولی عناصر فشاری غیر ممتد هستند و با یکدیگر اتصالی ندارند. سازه‌های تنسگریتی به عنوان یک ساختار و فرم پایدار در معماری طبیعت می‌تواند ادامه دهنده تفکر و حرکتی نو در زمینه تلفیق معماری و سازه به عنوان دو رکن تفکیک ناپذیر در ساختمان و معماری باشد. پدیده‌ای که در بطن طبیعت از سلولها و ژنها گرفته تا بدن جانداران بلند قامتی مثل زرافه نهفته است. این ساختار می‌تواند امکان طراحی و پاسخ به نیازهای اولیه و منطبق با معماری پایدار را فراهم کند. چرا که مهندس طراح با اضافه یا کم کردن عناصر و اجزاء مختلف آن به توسعه عملکرد و فرم مورد نظر خود بپردازد. همچنین معمار میتواند با استفاده از قابلیت پویایی این سیستم بتواند در مقابل نیروهای کششی وفشاری وارده مانند بدن انسان واکنش دهد. این سازه یک ساختار سلولی و قاعده مند هندسی است، طراح این امکان را دارد که فرم نهایی بدست آمده را با توجه به پیشرفت در پروسه طراحی ویرایش کرده یا سیستم را تغییر دهد. بنابراین این سازه میتواند راهکار جدیدی برای ساخت بناهای مستحکم در مناطق گسیلی باشد.

منابع

۱. عبیری، معصومه، رحیمی، مرتضی، ۱۳۹۵، مروری بر سازه های تنسگریتی (کش بستی) با تاکید بر کاربرد آن در معماری، سومین کنفرانس بین المللی عمران،معماری و شهرسازی.

۲. غفوری، اسعد، فاروقی، شیرکو، بامداد، مهدی، ۱۳۹۳، کاربرد روش هم-چرخشی در تحلیل غیرخطی هندسی سازه تنسگریتی و بررسی اثر پیش تنش، مجله مهندسی مکانیک مدرس.

۳. رضایی فر، امیر مسعود، رئیسی، محمد، ۱۳۹۲، معماری نوین در هماهنگی با اصول مهندسی طبیعت، مطالعه موردی: ساختار تنسگریتی. دومین کنگره بین المللی پژوهشهای نوین در مهندسی.

۴. هاشم نژاد، هاشم، سلیمانی، سارا، ۱۳۸۸، مروری بر سازه های تنسگریتی، نشریه ی هنرهای زیبا.

۵. مور، فولر. ۱۳۸۵. درک رفتار سازه‌ها. ترجمه محمود گلابچی. تهران: دانشگاه تهران

۶. سالوادوری، ماریو جورج. ۱۳۸۶. سازه در معماری. ترجمه محمود گلابچی. تهران: دانشگاه تهران

۷. مارگولیوس، ایوان. ۱۳۸۶. معمار + مهندس= ساختار. ترجمه محمود گلابچی. تهران: دانشگاه تهران

۸. رحمت آبادی، سید سجاد، ۱۳۹۰، جست وجوی ساختارهای بیونیک آموزه هایی در طراحی سازه های تنسگریتی، همایش ملی سازه، راه، معماری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس.

۹. هاشم نژاد، هاشم، سلیمانی، سارا، ۱۳۸۸، مروری بر سازه های تنسگریتی(کش بستی) با تاکید بر کاربرد آن در معماری، نشریه هنرهای زیبا شماره ۳۹.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی