

سازه‌های پوسته‌ای نازک^(۱) در مقایسه با دیگر سازه‌ها از مقاومت بیشتری برخوردارند. سازه‌های گنبدی^(۲) نیز به دلیل شکل سازه، بالقوه دارای چنین مزیتی می‌باشند. استفاده از روش‌های جدید اجرائی موجب کاهش فوق‌العاده در هزینه و سرعت عمل قابل ملاحظه‌ای در زمان اجرا شده است. مقاومت مناسب، هزینه کم، سرعت عمل بالا و زیبایی، عوامل تعیین‌کننده‌ای در روند رشد جدید و تنوع وسیع استفاده از این گونه سازه‌ها بوده است. سازه‌های گنبدی دارای تاریخی دیرینه در فرهنگ اسلامی ایرانی ما بوده و با تلفیقی از تکنولوژی جدید، معماری سنتی، روش‌ها و ابزار محاسباتی موجود، می‌توان شاهد آغاز فصل جدیدی از رشد اینگونه سازه‌ها در کشورمان بود. مقاله حاضر تلاش اندکی در جهت معرفی روش‌های جدید اجرائی و موارد استفاده وسیع سازه‌های گنبدی است.

بخش عمده این مقاله توسط رابرت هیبر^(۳) در ویژه‌نامه Concrete International در مورد قالب‌های متکی بر هوا به چاپ رسیده و تلخیصی از مقالات ارائه شده در آن شماره می‌باشد.

سازه‌های پوسته‌ای نازک

در دنیای توسعه یافته امروز، نیاز روبه رشد به سازه‌های مقاوم، ایمن، اقتصادی، جذاب و با سرعت اجرائی زیاد وجود دارد.^(۴)

سازه‌های پوسته‌ای نازک بتنی به عنوان روشی برای تأمین حداکثر پایداری و حجم زیربنا و حداقل مصرف مصالح، شناخته شده است. لیکن در گذشته این شیوه

قالب متکی بر هوا

پیشرفت‌های نوین در اجرای پوسته‌های گنبدی

دکتر احمد رضا عاملی
مدرس مدعو گروه آموزشی معماری
دانشکده هنرهای زیبا - دانشگاه تهران

چکیده

سازه‌های پوسته‌ای بتنی گنبدی از مقاومت و پایداری قابل توجه‌ای برخوردارند. در گذشته اینگونه سازه‌ها به دلیل پیچیدگی نسبی طراحی، هزینه اجرایی زیاد، قالب‌بندی گران و پرزحمت، فقط در موارد خاص مورد استفاده قرار می‌گرفت. از آنجاکه پوسته‌های گنبدی یکی از عناصر اصلی معماری سنتی ایرانی است، ایجاب می‌کند که با استفاده از روشهای نوین اجرایی و ابزارهای جدید طراحی، اجرای اینگونه سازه‌ها با تنوع و وسعت بیشتر ادامه یابد.

در این مقاله به پیشرفت‌های جدید در اجرای پوسته‌های بتنی گنبدی اشاره شده، روشهای مختلف استفاده از قالب‌های متکی بر هوا به طور مختصر تشریح شده است.

قالب‌های متکی بر هوا به دلیل روش اجرایی اقتصادی، امکانات مناسبی را برای ساخت سازه‌های پوسته‌ای نازک با تنوع و کاربری‌های فراوان و برخوردار از سرعت زیاد و سهولت لازم، فراهم کرده است.

با استفاده از روشهای مذکور دنیای توسعه یافته امروز شاهد روند رو به رشد سازه‌های پوسته‌ای نازک گنبدی خواهد بود.

تلفیق معماری سنتی و تکنولوژی جدید می‌تواند بستر مناسبی را در آغاز فصلی جدید برای اجرای اینگونه سازه‌ها در کشورمان فراهم آورد.

کلید واژه:

گنبد، پوسته‌ای، بتن، سازه، قالب متکی بر هوا.

به دلیل هزینه کلی زیاد، پیچیدگی طراحی، قالب‌بندی گران و پرزحمت، بتن ریزی و پرداخت مشکل، فقط در موارد خاصی مورد استفاده قرار می‌گرفت. در سالهای اخیر، افرادی که در ارتباط با طراحی و اجرای ساختمانها هستند، از اهمیت روبه افزایش و توانائی اینگونه سازه‌ها آگاهی بیشتری یافته‌اند. (۵)

سازه‌های پوسته‌ای نازک بتنی دارای کیفیت یک سازه ایده‌آل می‌باشند. از نقطه نظر مهندسی این سازه‌ها بسیار مقاوم و دارای ظرفیت باربری زیادی هستند. مهندسین نیز آزادی عمل زیادی در طراحی شکل، عملکرد و زیبایی دارند. اینگونه سازه‌ها به عنوان بنای یادبود، صنعتی، تجاری، مسکونی، استادیوم، آشیانه هواپیما و موارد استفاده دیگر ساخته شده‌اند.

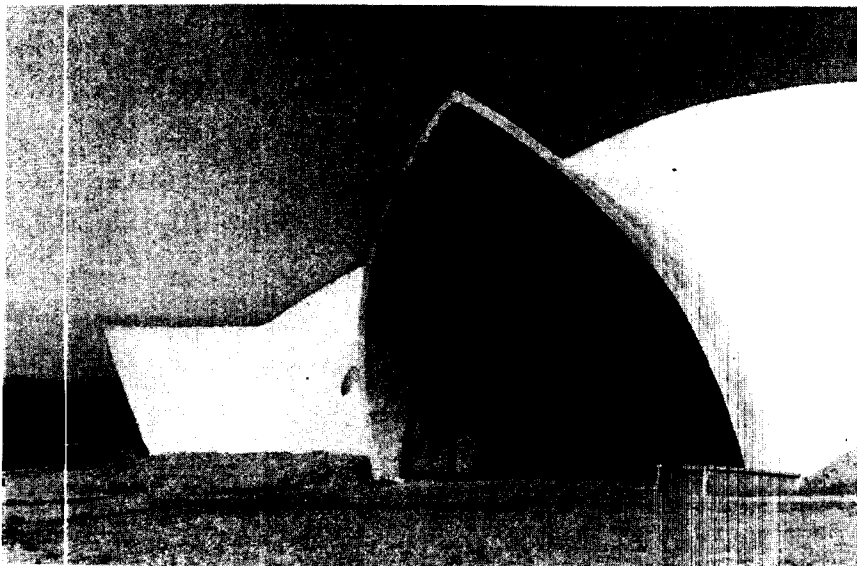
ساختمانهای پوسته‌ای یکی از عناصر اصلی معماری سنتی ایرانی است و بجاست که این سنت هماهنگ با مقتضیات اقلیمی و فرهنگی ادامه یابد و با نوآوریهای در زمینه مصالحی چون بتن مسلح و روش‌های محاسباتی بیش از پیش غنی گردد. (۶)

قالب های متکی بر هوا (۷)

علاوه بر مقاومت معمولی و سرویس‌دهی طرح پوسته‌ای نازک، مشخصات و فرآیند (۸) اجرای آن هدف کلیدی طراحان سازه‌های پوسته‌ای متکی بر هوا می‌باشد. لازم است کنترل هزینه و کنترل کیفیت، با یکدیگر سازگار گردند. راه‌حل‌های متفاوتی برای این مسئله فنی پیشنهاد شده و با موفقیت انجام پذیرفته است. (۹)



۱. خانه پوسته‌ای بتنی که با استفاده از قالب متکی بر هوا در ایالت کُلرادو آمریکا ساخته شده است.



۲. سازه‌های گنبدی ساخته شده در ایالت یوتا آمریکا بمنظور استفاده‌های اداری، تجاری، انبار و ایستگاه آتش‌نشانی

یک روش معمول مورد استفاده در مقاله آرنولد ویلسون^(۱۰) طرح شده است. یک لایه کف یورتین^(۱۱) به سطح داخلی یک غشاء بالن بادشده پاشیده می شود. این مسئله باعث سخت شدن قالب بادی شده و تکیه گاهی برای آرماتورگذاری فراهم می آورد. متعاقباً بتن در سطح داخلی لایه پاشیده می شود. گنبدهای تا قطر ۶۱ متر با این روش ساخته شده اند.^(۱۲)

شیوه دیگر پاشیدن بتن به لایه خارجی قالب بادی است که هر دو روش پیش تنیدگی و پس تنیدگی برای این گونه پوسته های مور استفاده قرار می گیرد.

مقاله بینی و راسلر^(۱۳) سیستمی را توضیح می دهد که بتن تر و آرماتورگذاری بر روی قالب هوا و در سطح زمین انجام می شود و سپس با بادکردن بالن، درجا بالا برده می شود. گنبدهای تا دهانه ۳۶ متر با استفاده از این روش ساخته شده است.^(۱۴) در روش پیشنهادی رابرت نیکلز^(۱۵)،

یک مخلوط ملات خشک بین لایه های پارچه ای منگنه شده قرار داده می شود که به عنوان قالب متکی بر هوا و تقویت کششی گنبد به کار می رود. عمل هیدراسیون بتن بعد از باد کردن قالب انجام می شود. این روش نیاز به ابزار اجرائی خاص را کاهش داده، لیکن احتمالاً روش مناسبی برای گنبدهای با دهانه کوچک و کم ارتفاع می باشد. به علاوه صرفه جوئی در هزینه اجرا، یک خصوصیت جالب قالب متکی بر هوا این است که شکل مشخص شده توسط غشاء باد شده که در معرض کشش خالص است، می تواند برای سازه پوسته ای فشاری نیز شکل مطلوبی باشد. طراحی شکل صحیح برای نیروهای موجود و شرایط تکیه گاهی، یک جنبه مهم در طراحی پوسته، علی الخصوص برای سازه های بزرگ می باشد.^(۱۶)

مشکل طراحی شکل قالب متکی بر هوا

در مقاله ای توسط اشلاخ و سوپک^(۱۷) مورد بحث قرار گرفته که حد فعالیت اجرای پوسته متکی بر هوا را در آلمان غربی مطرح می کند.^(۱۸)

ملزومات تکنیکی برای ساخت و نصب قالب های متکی بر هوا در مقاله ای توسط جک بویت^(۱۹) یک تولیدکننده پارچه قالب هوایی بررسی شده است.^(۲۰)

گنبد های بتنی متکی بر هوا با تنوع وسیع در زمینه های معماری و صنعتی مورد استفاده قرار گرفته است. بزرگترین گنبد از این نوع برای انبار انبوه مواد مورد استفاده قرار گرفته که در مقاله ای توسط جک برانک^(۲۱) توضیح داده شده است.^(۲۲) قالب سازه پوسته ای با انحنای مضاعف ملایم که نتیجه اجرای این روش است جرقه ای در تخیل معماران تلقی می شود. مفاهیم معماری و امکانات اجرائی قالب های متکی بر هوا توسط لوید ترنر^(۲۳) و جانانان زیمرن^(۲۴) و بوجین واکاش^(۲۵) مورد کاوش قرار گرفته است.^{(۲۶)(۲۷)(۲۸)}

دورنمای توسعه های آینده

به نظر می آید قالب متکی بر هوا که روش اجرائی اقتصادی و مستعد رشد است، می تواند یک برنامه جدید برای طراحی پوسته و اجرای آن باشد. گروهی از طراحان و سازندگان مشتاق بدلیل توفیقات قبلی که در بکارگیری این روش داشته اند و از پیش قراولان این زمینه تلقی می شوند، توسعه بیشتر قالب متکی بر هوا را بسیار عالی پیش بینی می کنند.

هنوز دلایل احتیاط وجود دارد، بسیاری از تجارب قبلی با قالب های متکی بر هوا برای گنبد های بادخانه کوچک و متوسط و انحنای زیاد بوده است. تحت این شرایط فقط طراحی مقدماتی لازم است، زیرا ملزومات اجرائی و کارایی طبیعی

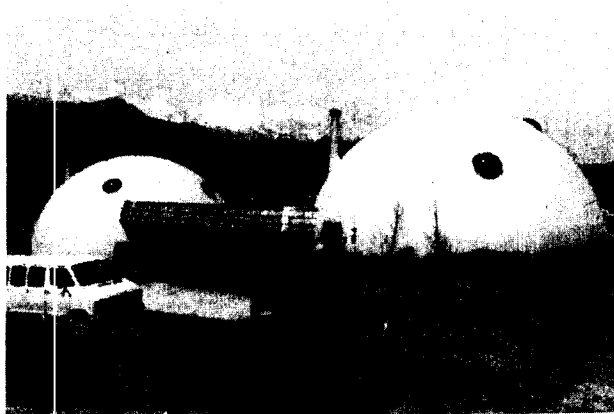
شکل های پوسته ای ضمانت مقاومت بیش از حد نیاز را فراهم می کند.

یک وضعیت کاملاً متفاوت برای پوسته های بادخانه های بزرگ و انحنای کم وجود دارد که لازمه دقت و روش طراحی مهندسی خاص است. در این مقیاس تأثیرات خزش، اُفت، حرارت و تغییر شکل های بزرگ تحت بارگذاری های مختلف باید مورد توجه قرار گیرد. پایداری نیز ممکن است بر مقاومت پوسته حاکم شود. یک پارچگی غشائی مسئله مهمی در اجتناب از شکست های سازه ای می باشد. کاهش انحنای غشاء، ظرفیت حمل بتن تر را توسط قالب متکی بر هوا کاهش می دهد. ازدیاد فشار هوا راه حل محدودی را برای رفع این مشکل فراهم می آورد. ناکاملی هندسی که ممکن است تأثیر کمی در دهانه های کوچک داشته باشد باعث سختی زیادی در پوسته های با ارتفاع کوتاه می شود.

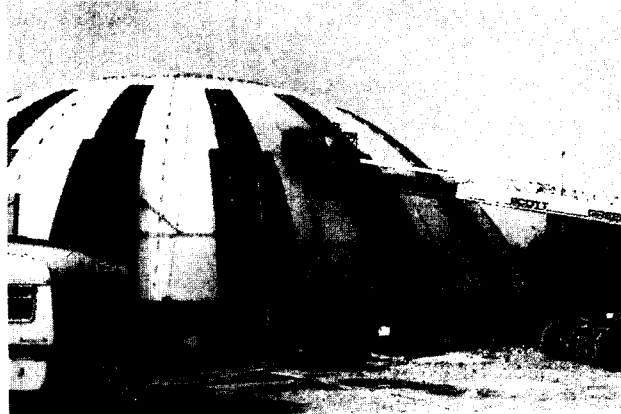
ادعایی که مفهوم قالب های متکی بر هوا امکان اجرای گنبد های با دهانه نامحدود را می دهد به وضوح بی پایه به نظر می رسد. فرایند ساخت تنها موضوع محدودکننده سازه گنبدی بتنی نیست. تاریخ گویای شکست های سازه ای است که در یک مقیاس بخوبی کار کرده اند، ولی در مقیاس دیگر کاملاً نامناسب بوده اند.

در صورتی که مفهوم قالب های متکی بر هوا برای سازه های با دهانه بزرگ در نظر گرفته شود. لازم است طراحی پیچیده توسط مهندسين مجرب انجام گیرد.

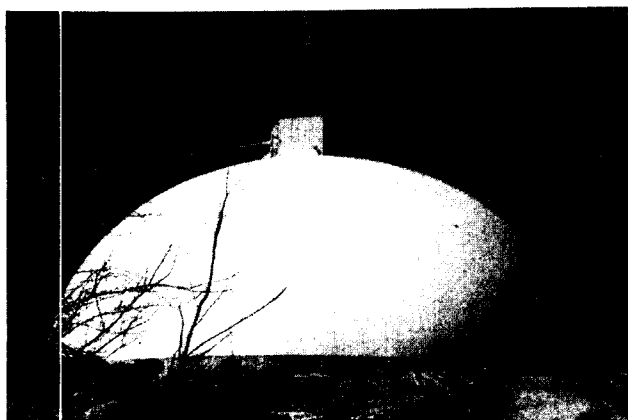
نتیجه برخی از مباحثی که بین طراحان مطرح است، اهمیت ابعاد گنبد را مطرح می سازد. برای مثال فرایند ساخت ارزانتر که تا حدی کنترل کیفیت را تحت الشعاع قرار می دهد، ممکن است مؤثرترین شیوه برای پوسته های کوچک باشد. در صورتیکه روش های گرانتر که باعث دقت بیشتر در



۴. خانه‌های دوبلکس واقع در ایالت کلرادو آمریکا



۳. سازه گنبدی پس تنیده ساخته شده در نور تمپتون انگلستان - انبار نمک



۵. سیلوی گنبدی واقع در آمریکا، ایالت نبراسکا

بتن ریزی و آرماتورگذاری مواد می‌شود، ممکن است برای پروژه‌های بزرگتر مناسب باشد. نیاز کنترل دقیق ضخامت بتن ممکن است در انتخاب فرایند ساخت، بخصوص برای گنبد‌های بزرگتر تعیین‌کننده باشد.

بحث بعدی پیرامون امکان جایگزینی آرماتورگذاری سنتی با الیاف‌های تقویت‌کننده می‌باشد که موضوع بحث مهمی برای ساختمانهای بتنی معمولی است. این مطلب از روشن شدن و توافق نهایی فاصله‌ای زیاد دارد، لیکن با اطمینان می‌توان بیان کرد که آرماتورگذاری دقیق و کنترل شده (آرماتور یا الیاف) در مقطع پوسته حائز اهمیت می‌باشد. توجه بیشتر برای ضمانت این کنترل توسط هرگونه روش اجرائی مورد نظر ضروری به نظر می‌رسد.

الیاف مسلح خالص ممکن است برای گنبد‌های کوچکتر مناسب باشد، ولی مقداری آرماتور معمولی، شبکه^(۲۹) یا کابل مسلح^(۳۰) احتمالاً برای پروژه‌های بزرگتر لازم است، تا پیوستگی را ضمانت نموده و مقاومت موضعی مناسب را در اطراف بازشوها و تکیه‌گاهها ایجاد نماید.

موضوع شکل سازه، موضوعی کلیدی در طراحی پوسته می‌باشد. توان بالقوه قالب

الگوی برش پارچه دو بُعدی، برای شکل غشائی عمومی نیز وجود دارد. این فرایند اتوماتیک مورد نیاز است تا به نحو مؤثر، امکانات شکل آزاد هندسه پوسته و شکل غشائی کابل مسلح را مورد کاوش قرار دهد. روش الگوسازی دستی، دشوار است و می‌تواند موجب انحراف از هندسه طراحی گردد.

شبیه‌سازی جزئیات مراحل نصب ممکن است برای طراحی ساختمانهای بزرگ لازم باشد. وزن بتن تر و آرماتورها در مقایسه با تئوری غشائی که وزن را لحاظ نمی‌کند، باعث تفاوت عمده در شکلهای غشائی خواهد بود. در صورتیکه بتن ریزی در لایه‌های مختلف انجام شود. بنابراین

متکی بر هوا در توجیه اقتصادی برای ایجاد منحنی‌های هندسی پیچیده بستگی به بررسی بیشتر شکل پوسته دارد. این کاوش باید شامل مطالعات معماری و زیبایی‌شناسی^(۳۱) همراه با تحقیق بیشتر در مورد شکل، فرایند ساختمان و عملکرد سازه باشد. امروزه فقط سطوح دورانی ساده، کروی و بیضوی در پوسته‌های متکی بر هوا با ابعاد بزرگتر مورد استفاده قرار می‌گیرد. شکل پوسته‌ای مناسبتر، شکلی است که تأکید بر پاسخ غشائی در مقایسه با تغییر شکل خمشی دارد. روشهای طراحی به کمک کامپیوتر، به طور وسیع در مورد سازه، برای تعیین شکل غشائی مناسب، موجود است. فرایند تعیین دقیق اتوماتیکی

16. Robert Nicholls, "Inflate It First". Concrete International, Vol. 8, No. 1, Jan 1986, P. 61
17. Schlaich and Sobek
18. S. Schlaich and W. Sobek, "Suitable ShellShapes", Concrete International, Vol. 8, No. 1, Jan 1986, P. 41
19. Jack Boyt
20. Jack Boyt, "Up, Up and Away", Concrete International, Vol. 8, No. 1, Jan 1986, p. 37
21. Jack Brunk
22. Jack L. Brunk, "From Chemicals To Cats", Concrete International Vol. 8, No. 1, Jan 1986, P. 46
23. Lioyed Turner
24. Jonathan Zimmerman
25. Eugene Wukasch
26. Lioyed Turner "The Shape Of Things To Come", Concrete International, Vol. 8, No.1, Jan 1986, P. 18
27. Jonathan Zimmerman. "A Dome In The Mountains". Concrete International, Vol. 8, No. 1, Jan 1986, P. 23
28. Eugene Wukasch, "Esthetic, Social and Environmental Aspects of Concrete Shells Constructed On Air Supported Forms", Concrete International, Vol. 8, No. 1, Jan 1986, P. 28
29. Mesh
30. Cable reinforcing
31. Esthetic

ممکن است شبیه‌سازی مراحل اجرا برای پیش‌بینی هندسه نهائی و تعیین وضعیت مرحله پیش‌تنیدگی در پوسته لازم باشد. به طور خلاصه به نظر می‌رسد که امکان پیشرفت عمده در طراحی سازه‌های پوسته‌ای بتنی ساخته شده بوسیله قالب‌های متکی بر هوا وجود دارد. تصحیح روش‌های اجرا، طراحی سازه و زیبایی می‌تواند به سمت راه حل طراحی صنعتی و معماری جدید رهنمون شود. مانند همیشه، ایمنی و اعتبار براساس تجارب مهندسی مبراء از خطا، باید راهنمای طراحی سازه‌های با دهانه بزرگ باشد.

پی‌نوشتها:

1. Thin shell structures
2. Dome structures
3. Robert Haber
4. Hoggan, S.J., "Spherical Concrete Water Tank Desing", M.S Thesis, Brigham Young University, Provo, Apr 1982.
5. Rossler, S.R and Bini, D. "Thin Shell Concrete Domes", Concrete International Design and Construction, Vol. 8, No. 1, Jan 1986, P 49.
6. دکتر مهدی فرشاد: «ساختمانهای پوسته‌ای»، جلد دوم، دانشگاه شیراز، ۱۳۶۵.
7. Air supported forming
8. process
9. Robeert Haver, "Air- Supported Forming: Will it Work», Concrete International, Vol. 8, No. 1, Jan 1986, p. 13
10. Arnold Wilson
11. Urethane foam
12. Aronold Wilson, "Controlling Mishaps", Concrete International, Vol. 8, No. 1, Jan 1986, P. 33
13. Bini and Ruessler
14. Rossler, S.R. and Bibi, D., «Thin Shell Concrete Domes». Concrete International, Vol. 8, No. 1, Jon 1986, p. 49.
15. Robert Nicholls