وزارت علوم تحقیقات و فناوری
دانشگاه علم و فرهنگ

دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران – گرایش زلزله

مطالعه عمومی پوسته های گنبدی و فونیکولار

نگارش

آرش فتح اله پور

استاد راهنما

دکتر مسعود مفید

استاد مشاور

دکتر حسین پرستش

بهمن ۹۲

فهرست مطالب

فصل اول: انواع سازه های فضاکار..... ۱

۱-۱مقدمه..... ۲

۱-۲ تاریخچه ی سازه های پوسته ای..... ۳

۱-۳ انواع سازه های پوسته ای..... ۶

۱-۴ مزایای سازه های پوسته ای..... ۱۳

فصل دوم: گنبد ها و پوسته های فونیکولار..... ۱۴

۲- ۱ مقدمه..... ۱۵

۲-۲ رفتار پوسته های بتنی مسلح تحت بارگذاری..... ۱۶

۲-۳ -گنبد ها..... ۲۰

۲-۴- میدان نیرو های داخلی در پوسته ها..... ۲۲

۲-۵ انالیز غشائی گنبد های کروی..... ۲۶

۲-۶- پوسته های فونیکولار..... ۲۸

۲-۶-۱ پوسته های زنجیره ای..... ۲۸

۲-۶-۲- پوسته های فو نیکولار با انحنای مضاعف..... ۲۹

۲-۷-پیشینه مطا لعاتی بر روی گنبد ها و پوسته های فونیکولار..... ۳۲

فصل سوم: ضریب رفتار سازه و محاسبه ی پارامتر های مربوط به ان.....۳۴

۳-۱-مقدمه.....۳۵

۳-۲ - روشهای محاسبه ضریب رفتار.....۳۶

۳-۲-۱- روش های امریکایی.....۳۷

۳-۲-۱-۱ روش ضریب شکل پذیری یوانگ.....۳۷

۳- ۳-پارا متر های مورد نیاز در محاسبه ضریب رفتار.....۳۹

۳-۳-۲- ضریب شکل پذیری کلی سازه (μ_s).....۴۰

۳-۳-۳ -ضریب اضافه مقاومت.....۴۱

۳ -۳-۴- ضریب تنش مجاز(y).....۴۲

۳- ۴- فرمول بندی ضریب رفتار.....۴۲

۳-۴-۱ضریب کاهش در اثرشکل پذیری R_μ.....۴۳

۳-۴-۲-ضریب اضافه مقاومت(Ω).....۴۵

۳-۴-۲-۱عوامل موثر برضریب اضافه مقاومت.....۴۶

۳-۴-۲-۲-تعیین ضریب اضافه مقاوت (Ω).....۴۷

فصل چهارم : مد ل سازی و تحلیل گنبد ها.....۴۸

۴-۱- مقدمه.....۴۹

۴-۲-هندسه گنبد ها.....۴۹

۴- ۳ : سطح مقطع اعضا.....۵۲

۴-۴- شرایط تکیه گاهی ۵۳

۴-۵: مشخصات مصالح مصرفی.....۵۶

۴-۶: بارگذاری مدل ها.....۵۷

۴-۶-۱: بار مرده.....۵۸

۴-۶-۲: بار زنده.....۵۸

۴-۶-۳-:بار برف.....۶۰

۴-۷:تحلیل استاتیکی غیر خطی.....۶۲

۴-۷-۱-تعیین نقطه کنترل تغییر مکان.....۶۵

۴-۷-۲- سایر پارامتر های موثر در تحلیل استاتیکی غیر خطی.....۶۵

۴-۸-مدل های ساخته شده.....۶۶

فصل پنجم: نتایج انالیز استاتیکی غیر خطی.....۶۹

۵-۱- مقدمه.....۷۰

۵-۲- منحنی های نیرو- تغییر مکان مدل ها با تکیه گاه گیر دار.....۷۰

۵-۲-۱-منحنی نیرو – تغییر مکان مدل ها با تکیه گاه گیر دار با ارتفاع(خیز) ثابت.....۷۰

۵-۳- منحنی نیرو- تغییر مکان مدلها با شرایط تکیه گاهی مفصلی.....۷۶

۵-۳-۱- منحنی نیرو- تغییر مکان پوسته های فونیکولار با تکیه گاه مفصلی با ارتفاع ثابت.....۷۶

۵-۳-۲- منحنی نیرو-تغییر مکان پوسته های فونیکولاربا تکیه گاه مفصلی با ضخامتهای ثابت.....۸۰

۵-۴-بررسی پارامتر های ضریب رفتار محاسبه شده.....۸۴

۵-۴-۱-بررسی زمان تناوب مد ارتعاشی با بیشترین جرم مشارکت در راستای افقی.....۷۴

۵-۴-۱-۱ مقایسه زمان تناوب مد ارتعاشی پوسته های فونیکولار در حالت تکیه گاه گیر دار و مفصلی.....۸۷

۵-۴-۲-بررسی ضریب کاهش در اثر شکل پذیری(R_μ).....۸۸

۵-۴-۲-۱ تغییرات ضریب کاهش در اثر شکل پذیری در برابر تغییرات ضخامت پوسته های فونیکولار در حالت تکیه گاه گیر دار و مفصلی.....۸۸

۵-۴-۲-۲ تغییرات ضریب کاهش در اثر شکل پذیری در برابر تغییرات ارتفاع پوسته های فونیکولار در حالت تکیه گاه گیر دار و مفصلی.....۹۰

۵-۴-۲-۳ مقایسه ضریب کاهش در اثر شکل پذیری در پوسته های فونیکولار در حالت تکیه گاه گیر دار و مفصلی.....۹۲

۵-۴-۳-تغییرات ضریب اضافه مقاومت(Ω).....۹۳

۵-۴-۳-۱ تغییرات ضریب اضافه مقاومت در برابر تغییرات ضخامت پوسته های فونیکولار در حالت تکیه گاه گیر دار و مفصلی.....۹۳

۵-۴-۳-۲- تغییرات ضریب اضافه مقاومت در برابر تغییرات ارتفاع پوسته های فونیکولار در حالت تکیه گاه گیر دار و مفصلی.....۹۵

۵-۴-۴-بررسی تغییرات ضرب رفتار(R).....۹۶

۵-۴-۴-۱-بررسی تغییرات ضریب رفتار پوسته های فونیکولار با شرایط تکیه گاهی گیردار و مفصلی در اثر تغییرات ضخامت پوسته ها.....۹۶

۵-۴-۴-۲-بررسی تغییرات ضریب رفتار پوسته های فونیکولار با شرایط تکیه گاهی گیردار و مفصلی در اثر تغییرات ارتفاع پوسته ها.....۹۶

فصل ششم : نتیجه گیری.....۱۰۲

۶-۱- مقدمه.....۱۰۳

۶-۲- نتایج.....۱۰۳

۶-۳-پیشنهادات.....۱۰۷

منابع وماخذ.....۱۰۸

فهرست شکل ها

فصل اول : انواع سازه های فضاکار

شکل(۱-۱): نمونه هایی از سازه های پوسته ای..... ۳

شکل(۱-۲): نمونه هایی از سازه های پوسته ای امروزی..... ۵

شکل (۱-۳):پوسته های گسترش پذیر و گسترش ناپذیر..... ۷

شکل(۱-۴) نمونه هایی از سطوح انتقالی..... ۸

شکل(۱-۵):نمونه هایی از سطوح دورانی..... ۹

شکل(۱-۶) نمونه هایی از سطوح خطی..... ۹

شکل(۱-۷) مثالهایی از سطوح مختلف..... ۱۰

شکل(۱-۸)طبقه بندی پوسته ها بر حسب شعاع انحنا..... ۱۰

فصل دوم: گنبد ها و پوسته های فونیکولار

شکل(۲-۱): اعضای سازه ای گنبد روی پلان مربعی..... ۱۶

شکل(۲-۲): رفتار پوسته ی پایدار تحت بارگذاری..... ۱۷

شکل(۲-۳) تشکیل تر کها در پوسته، قوس ها و قیود..... ۱۸

شکل(۲-۴): شکل گیری مفاصل خمیری..... ۱۸

شکل(۲-۵):مکانیسم گسیختگی.....۱۹

شکل (۲-۶) لنگر خمشی ایجاد شده در قوس و گنبد.....۲۲

شکل (۲-۷)مولفه های نیروهای داخلی در پوسته ها.....۲۱

شکل (۲-۸) موارد نقض تئوریغشایی.....۲۴

شکل(۲-۹) موارد نقض تئوری غشایی.....۲۵

شکل(۲-۱۰)رفتار گنبد ها.....۲۶

شکل(۲-۱۱) منتجه های تنش در پوسته ها.....۲۷

شکل(۲-۱۲)عملکرد قوس های سهمی شکل و پوسته های زنجیره ای.....۲۹

فصل سوم : ضریب رفتار سازه و پارامتر های مربوط به ان

شکل(۳-۱)رفتار کلی یک سازه متعارف.....۳۹

شکل (۳-۲)تغییرات ضریب اضافه مقاومت برای سیستم های با زمان تناوب مختلف.....۴۵

فصل چهارم : مدل سازی و تحلیل گنبد ها

شکل(۴-۱): پارامتر های پوسته های مورد مطالعه.....۵۱

شکل (۴-۲)شرایط تکیه گاهی گیر دار.....۵۵

شکل(۴-۳) شرایط تکیه گاهی مفصلی.....۵۵

شکل(۴-۴)منحنی تنش –کرنش بتن پیشنهادی کنت و پارک.....۵۷

شکل (۴-۵): بارگذاری متقارن و نا متقارن گنبد های فونیکولار..... ۶۲

شکل (۴-۶)روش تحلیل استاتیکی غیر خطی..... ۶۳

شکل(۴-۷)مدل HF۰,۲۵..... ۶۶

شکل(۴-۸)مدل۰,۵ HF..... ۶۷

شکل(۴-۹)مدل۱HF..... ۶۷

شکل(۴-۱۰) مدل۲HF..... ۶۸

شکل(۴-۱۱)مدل۴HF..... ۶۸

فهرست نمودار ها

فصل پنجم:نتایج انالیز استاتیکی غیر خطی

نمودار(۵-۱) منحنی نیرو- تغییر مکان مدل FH۴ با تکیه گاه گیر دار..... ۷۱

نمودار(۵-۲) منحنی نیرو- تغییر مکان مدل FH۲ با تکیه گاه گیر دار..... ۷۱

نمودار(۵-۳) منحنی نیرو- تغییر مکان مدل FH۱ با تکیه گاه گیر دار..... ۷۲

نمودار(۵-۴) منحنی نیرو- تغییر مکان مدل FH۰,۵ با تکیه گاه گیر دار..... ۷۳

نمودار(۵-۵) منحنی نیرو- تغییر مکان مدل FH۰,۲۵ با تکیه گاه گیر دار..... ۷۳

نمودار(۵-۶)منحنی نیرو-تغییر مکان مدل FT۰,۱۲با تکیه گاه گیردار..... ۷۴

نمودار(۵-۷)منحنی نیرو-تغییر مکان مدل FT۰,۱با تکیه گاه گیردار..... ۷۵

نمودارنمودار(۵-۸)منحنی نیرو-تغییر مکان مدل FT۰,۰۸با تکیه گاه گیردار..... ۷۵

نمودار(۵-۹)منحنی نیرو-تغییر مکان مدل FT۰,۰۶با تکیه گاه گیردار..... ۷۶

نمودار(۵-۱۰)منحنی نیرو-تغییر مکان مدل۴ HFبا تکیه گاه مفصلی..... ۷۷

نمودار(۵-۱۱)منحنی نیرو-تغییر مکان مدل HF۲با تکیه گاه مفصلی..... ۷۸

نمودار(۵-۱۲)منحنی نیرو-تغییر مکان مدل HF۱با تکیه گاه مفصلی..... ۷۸

نمودار(۵-۱۳)منحنی نیرو-تغییر مکان مدل HF۰,۵با تکیه گاه مفصلی..... ۷۹

نمودار(۵-۱۴)منحنی نیرو-تغییر مکان مدل HF۰,۲۵با تکیه گاه مفصلی..... ۷۹

نمودار(۵-۱۵)منحنی نیرو-تغییر مکان مدل TF۰,۱۲با تکیه گاه مفصلی..... ۸۰

نمودار(۵-۱۶)منحنی نیرو-تغییر مکان مدل TF۰,۱با تکیه گاه مفصلی..... ۸۱

نمودار(۵-۱۷)منحنی نیرو-تغییر مکان مدل TF۰,۰۸با تکیه گاه مفصلی..... ۸۱

نمودار(۵-۱۸)منحنی نیرو-تغییر مکان مدل TF۰,۰۶با تکیه گاه مفصلی.....۸۲
نمودار(۵-۱۹)منحنی پوش اور واقعی و دوخطی سازی ان با روش CTA-۴۰.....۸۳
نمودار(۵-۲۰)نمونه ای از دو خطی سازی منحنی نیرو – تغییر مکان.....۸۳
نمودار (۵-۲۱)تغییرات پریود در مقابل تغییرات ضخامت پوسته های فونیکولار با تکیه گاه گیردار...۸۵
نمودار (۵-۲۲)تغییرات پریود در مقابل تغییرات ارتفاع پوسته های فونیکولار با تکیه گاهگیردار.....۸۵
نمودار(۵-۲۳) تغییرات پریوددر مقابل ضخامت پوسته های فونیکولار با تکیه گاه مفصلی.....۸۶
نمودار(۵-۲۴) تغییرات پریود در مقابل ارتفاع پوسته های فونیکولار با تکیه گاه مفصلی.....۸۶
نمودار(۵-۲۵) مقایسه زمان تناوب نمونه ها در شرایط تکیه گاهی گیردار و مفصلی با ارتفاع ثابت....۸۷
نمودار (۵-۲۶) مقایسه زمان تناوب نمونه ها در شرایط تکیه گاهی گیردار و مفصلی با ضخامتثابت..۸۸
نمودار (۵-۲۷) تغییرات ضریب کاهش در اثر شکل پذیری در برابر تغییرات ضخامت پوسته های فونیکولار با تکیه گاه گیر دار.....۸۹
نمودار (۵-۲۸) تغییرات ضریب کاهش در اثر شکل پذیری در برابر تغییرات ضخامت پوسته های فونیکولار با تکیه گاه مفصلی.....۸۹
نمودار(۵-۲۹) تغییرات ضریب کاهش در اثر شکل پذیری در برابر تغییرات ضخامت پوسته های فونیکولار با تکیه گاه گیر دار.....۹۱
نمودار (۵-۳۰) تغییرات ضریب کاهش در اثر شکل پذیری در برابر تغییرات ضخامت پوسته های فونیکولار با تکیه مفصلی.....۹۱
نمودار(۵-۳۱) مقایسه ضریب کاهش در اثر شکل پذیری پوسته های فونیکولار در دو حالت تکیه گاه گیر دار و مفصلی.....۹۲
نمودار (۵-۳۲) تغییرات ضریب اضافه مقاومت در برابر تغییرات ضخامت پوسته های فونیکولار با تکیه گاه گیر دار.....۹۴

نمودار (۵-۳۳)تغییرات ضریب اضافه مقاومت در برابر تغییرات ضخامت پوسته های فونیکولار با تکیه گاه مفصلی.....۹۴

نمودار (۵-۳۴) تغییرات ضریب اضافه مقاومت در برابر تغییرات ارتفاع پوسته های فونیکولار با تکیه گاه گیر دار.....۹۵

نمودار (۵-۳۵) تغییرات ضریب اضافه مقاومت در برابر تغییرات ارتفاع پوسته های فونیکولار با تکیه گاه مفصلی.....۹۶

نمودار (۵-۳۶) تغییرات ضریب رفتار پوسته های فونیکولار با تکیه گاه گیر دار در برابر ضخامت پوسته ها.....۹۷

نمودار (۵-۳۷) تغییرات ضریب رفتار پوسته های فونیکولار با تکیه گاه مفصلی در برابر ضخامت پوسته ها.....۹۸

نمودار (۵-۳۸) تغییرات ضریب رفتار پوسته های فونیکولار با تکیه گاه گیر دار در برابر تغییرات ارتفاع.....۹۹

نمودار (۵-۳۹) تغییرات ضریب رفتار پوسته های فونیکولار با تکیه گاه مفصلی در برابر تغییرات ارتفاع.....۱۰۰

نمودار (۵-۴۰) تغییرات ضریب رفتار گنبد های فونیکولار با پلان مربعی در برابر تغییرات زمان تناوب انها.....۱۰۱

فهرست جداول

فصل اول : انواع سازه های فضاکار

جدول۱-۱- طبقه بندی سازه های پوسته ای.....۱۲

فصل دوم: گنبد ها و پوسته های فونیکولار

جدول۲-۱- جدول معادلات پوسته های فونیکولار با پلان های مختلف.....۳۱

فصل چهارم : مدل سازی و تحلیل گنبد ها

جدول۴-۱- حداقل بارهای زنده گسترده یکنواخت.....۵۹

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم

که در تمام مراحل زندگی راهنما و پشتیبان من بوده اند.

سپاسگزاری

- از استاد گرامیم جناب اقای دکتر مسعود مفید ، به خاطره راهنماییها و زحمات ایشان در تدوین این پایان نامه ، که روشنگر راه من در تهیه این پایان نامه بوده اند کمال تشکر و قدردانی را دارم.

- از زحمات فراوان استاد گرامی اقای دکتر حسین پرستش که با راهنماییها و پیشنهادات خود مرا در تهیه این پایان نامه یاری نموده اند کمال تشکر و قدردانی را دارم.

چکیده

رفتار لرزه ای سازه های فضایی دارای پیچید گی های خاصی است .در طی زمین لرزه ها ی شدید این سازه ها از یک سو مقاومت بسیار بالایی از خود نشان می دهند و از طرف دیگر صلبیت بالا و جابجایی اندک ان ها ضرورت توجه به رفتار لر زه ای انها به خصوص در هنگام ترکیب با سایر سیستم های سازه ای ایجاب می کند . از طرفی نبودن ایین نامه های مدرن برای بارگذاری های لر زه ای این سازه ها و همچنین نبود منابع کافی در مورد ان باعث شده است تا رفتار لر زه ای این سازه ها تا حدود زیادی ناشناخته باشد. در این میان پوسته ها با انحنا دو جانبه بتن مسلح و بطور ویژه پوسته ها ی فونیکولار بدلیل صلبیت زیاد و مقاومت بیشتر نسبت به سایر ساز ه های فضایی از اهمیت ویژه ای بر خوردار دارند.

در این پایان نامه ضمن بررسی عوامل موثر بر رفتار لر زه ای گنبد های بتنی وبطور خاص پوسته های فونیکولار ،رفتار پوسته های فونیکولار با پلان مربعی در حوزه ی غیر ارتجاعی مورد بررسی قرار می گیرد.به این منظور نمونه هایی با ضخامتها ، خیز ها و شرایط تکیه گاهی متفاوت ساخته شده و این نمونه ها تحت انالیز استاتیکی غیر خطی (پوش اور) قرار گرفته اند. در تحلیل استاتیکی غیر خطی از روش کنترل نیرو استفاده شده است و همچنین بار جانبی اعمالی به صورت مثلثی معکوس به نمونه ها وارد گردید.

با استفاده از تحلیل پوش اور ، پریود و ضریب رفتار نمونه ها و همچنین عوامل موثر بر این پارامتر همچون اضا فه مقاومت و ضریب کاهش در اثر شکل پذیری مورد بررسی قرار گفته است.

نتایج حاصل به صورت نمو دار هایی ارائه شده و نتایج نمونه های مختلف با هم مقایسه گردید و در نهایت روابطی بین زمان تناوب و ضریب رفتار و همچنین بین زمان تناوب و خیز پوسته های فونیکولار با پلان مربعی ارائه گردید.

کلید واژه: پوسته های فونیکولار، گنبد، تحلیل پوش آور، ضریب رفتار

فصل اول

انواع سازه های فضاکار

۱-۱-مقدمه

پوسته ها یکی از فراوانترین و متنوع ترین انواع فرمهای ساختمانی هستند که در دنیای فیزیکی اطراف ما یافت میشوند. فرمهای پوسته ای از لحاظ هندسی سطوحی اند که حجمی از فضا را از بقیه فضا جدا میکنند . با این عمل علاوه بر انکه شرایط حجم داخل پوسته با شرایط خارج از ان نیز متفاوت خواهد گشت ، نیازهایی نیز غالبا بر اورده خواهد شد . شرایط حرارتی، صوتی و نیرویی، مثالهایی از این شرایط بشمار می ایند.

از نظر مکانیکی ساختمانهای پوسته ای سا زه هایی هستند که از عناصر بار برنده ی پوسته ای شکل تشکیل شده اند.سازه های پوسته ای از نظر مهندسی ،از عالی ترین انواع سازه ها بشمار میروند .در این سازه ها،بدون نیازبه مدولار بودن یا وجود ستون ،خود سازه می تواند پایداری خود را حفظ کرده وبار هایش را به تکیه گاه منتقل نماید. بسیاری از فرمهای ساختمانی طبیعی، مثل جمجمه سر جانوران و دیگر عناصر حافظ اندامهای جانوری و گیاهی دارای اشکال پوسته ای می باشند . سازه های پوسته ای در انواع مختلف از مصالحی مثل بتن ، فولاد ، چوب و مصالح بنایی طراحی و ساخته میشوند .

پو شش های پو سته ای سقف ها، مخازن اب و گاز ،سیلو ها، سد های قو سی، بدنه هواپیماها و کشتی ها از جمله موارد استعمال متعدد ساختمانهای پوسته ای می باشند. در شکل های (۱-۱) نمونه هایی از سازه های پوسته ای نشان داده شده است.

شکل ۱-۱ -نمونه هایی از سازه های پوسته ای

۱-۲- تاریخچه ی سازه های پوسته ای

برای هزاران سال چوب ، سنگ ، خشت و اجر تنها مصالح ساختمانی بودند که بسته به در دسترس بودن و توانایی در بکارگیری انها در امر ساختمان سازی مورد استفاده قرار می گرفتند. چوب با الیاف امتداد یافته در یک جهت و سبکی نسبی ،همواره ماده ی بسیار مناسبی جهت ساخت تیر و ستون به شمار میرفته و میرود. استفاده از سنگ به عنوان مصالحی با مقاومت فشاری مناسب در عناصر فشاری مانند ستون ها بسیار معمول بوده ،ولی به علت مقاومت کششی ناچیز استفاده از ان در اعضای خمشی، همانند تیر ها و تیر ستون ها بسیار محدود بود. با الهام از طبیعت ،انسان پی برد که میتواند با بکارگیری از فر مهای قوسی بر ضعف کششی سنگ غالب امده ودر نتیجه به سیستم مناسبی به عنوان جانشین تیر ها دست یابد .قوس های اولیه تنها در یک جهت دارای انحنا بودند .شکل منحصر بفرد قوس باعث می گشت که تنش های موجود در انها، غالبا از نوع فشاری بوده و میزان خمش و در نتیجه تنش های کششی ناشی از خمش به حداقل برسد.افزایش دانش بشر و تجربه انسان در بکارگیری و

ساخت قوس ها، همچنین نیاز به پوشش دها نه ها ی وسیع، انسانها را به اختراع طاق های قوسی نائل نموده ،که بر خلاف عملکرد یک طرفه قوس ها در دو جهت عمل می نمودند به همین دلیل بسیار کار امد بودند.

تمدن روم شاهد دیگری بر ادعای استفاده وسیع از طاق های قوسی در ادوار گذشته می باشد. در این دوران در بنای حمام ها کاربرد چوب به علت وجود رطوبت و حرارت ممکن نبوده است لذا ساخت طاق قوسی با استفاده از سنگ و اجر رایج بوده است. همچنین در این دوران اسفاده از گنبد با قاعده مدور، برای ساخت معابد گسترش یافت.در عصر معماری ببیزانس می توان به گنبد سقف معبد صو فیای مقدس در کنستانتینوبل اشاره نمود که شاهکاری است از تلفیق زیبایی ،کاربرد فضای داخلی و ایجاد تعادل بین نیرو ها.در ابتدای قرون وسطی سقف اکثر کلیسا ها به دلیل احتمال وقوع حریق ناشی از شمع ها و مشعل ها که به دلیل رو شنایی در مراسم مذهبی قرار میگرفته اند به صورت قوسی ساخته میشد.

در معماری دوره ی رنسانس استفاده از سقف های قوسی دو جداره بسیار معمول بوده، در این سیستم ساختمانی با وزنی برابر یک لایه صلبیت بیشتری تامین نموده ودر نتیجه دهانه های بزرگتری را بدون استفاده از ستون های عظیم پوشش دهند.در اواخر دوره ی رنسانس روش های تجربی جای خود را به تجربه همراه دانش فنی دادند که در این دوران لئورناردو داوینچی را میتوان به حق پیشگام در ازمایش مقاومت مصالح دانست که با شکستن مفتو لهای فولادی به بررسی رفتار انها پردخت.

ابداع بتن ارمه ، افقی جدید در پیش روی سازندگان سازه ها گشود. یتن ارمه به دلیل خواص فشاری و کششی خود ماده بسیار مناسبی برای ساخت پوسته ها به شمار میرود، که در پوسته ها از خاصیت فشار ی بتن به نحو عالی استفاده میشود.امروزه سازه های پوسته ای زیادی در سرتاسر جهان همچون سالن اصلی مرکز خرید در فرانکفورت ۱۹۲۶و مرکز خرید در لابیزیک۱۹۲۷و اولین قوس سهموی