اسلیمی هندسی «مقرنس» چگونه سازه‌ها را بدون ملات و میخ به هم می‌چسباند

— مانی رهنما و سارا دهقان‌پور

اگر امروز بخواهید بدون چسب، پیچ و میخ یک طاقچه بسازید، ۴ قطعه سنگی را چگونه می‌چینید تا سه قرن بعد هم سر جایش بماند؟ پاسخ را نه در کارگاه یک معمار، بلکه در دفترهای هندسی قرن دهم هجری می‌توان یافت. مقرنس، عنصر آویزان سقف‌های مساجد ایران، ثابت کرده است که زیبایی می‌تواند نتیجه مستقیم محاسبه باشد و تزیین می‌تواند ساختار را نگه دارد.

مقرنس را نباید با کاشی‌کاری اشتباه گرفت. مقرنس ساختاری سه‌بعدی است که از ردیف‌های پی‌در‌پی طاقچه‌های کوچک ساخته می‌شود و وزن سقف را از یک لایه به لایه دیگر منتقل می‌کند. هر طاقچه به تنهایی ضعیف است، اما مجموع آن‌ها مانند لانه زنبور عمل می‌کند و نیروها را به دیوار می‌رساند. این ساختار بدون ملات و بدون میخ سال‌ها پابرجا مانده است و دلیل آن هندسه دقیق پشت هر لایه است.

مقرنس از چند واحد تکرارشونده ساخته می‌شود که به آن «سلول» می‌گویند. هر سلول شامل سه وجه است: دو وجه جانبی و یک وجه افقی. وجه افقی کف طاقچه بعدی را می‌سازد و وجه‌های جانبی تکیه‌گاه لبه‌های مجاور می‌شوند. زاویه شیب وجه‌ها معمولاً بین ۴۵ تا ۶۰ درجه است تا هم نور به درستی پخش شود و هم بار به شکل فشاری منتقل شود. اگر زاویه کم باشد، سلول می‌لغزد و اگر زیاد باشد، ظرفیت بار کاهش می‌یابد.

در مقرنس سنتی، اندازه سلول‌ها از بالا به پایین کوچک‌تر می‌شود. در یک مقرنس ۵ لایه، لایه بالایی ممکن است ۲۰ سلول داشته باشد و لایه پایین ۱۲ سلول. این کاهش تعداد باعث می‌شود وزن به تدریج جمع شود و به دیوار منتقل شود. در برخی نمونه‌های قدیمی، ضخامت دیوار پشت مقرنس نیز کمتر می‌شود تا بار اضافه نشود. این یعنی معمار از ابتدا محاسبه کرده است که هر لایه چه وزنی را تحمل می‌کند.

ملات آهکی و آجر نازک: چسب پنهان

ملات آهکی و آجر نازک دو عنصر دیگر این سازه‌اند. ملات آهکی مخلوط آب، آهک و ماسه است و به مرور زمان سخت‌تر می‌شود. آجرهای نازک، حدود ۲ تا ۳ سانتی‌متر، وزن کم دارند و سطح تماس زیادی با ملات می‌سازند. ترکیب آجر و ملات مانند یک پوسته عمل می‌کند که از فشار جانبی جلوگیری می‌کند. در بناهای تاریخی یزد و کاشان، ضخامت ملات گاهی به ۱ سانتی‌متر می‌رسد و آجرها با دقت بریده شده‌اند تا درز‌ها یکنواخت بماند.

مهندسان امروز این روش را با مدل‌های رایانه‌ای بررسی کرده‌اند. نرم‌افزارهای تحلیل سازه نشان می‌دهند که توزیع بار در مقرنس به شکل فشاری است و کشش در آن بسیار کم است. این ویژگی باعث می‌شود سازه در برابر زلزله رفتار بهتری داشته باشد، زیرا انرژی زلزله به صورت ارتعاش پخش می‌شود و یک نقطه خرد نمی‌شود. آزمایش‌های میدانی نیز نشان داده‌اند که مقرنس‌های سالم حتی پس از چند زلزله کوچک ایستاده‌اند.

اما مقرنس فقط برای زیبایی ساخته نشده است. در گذشته، هر طاقچه جای لانه پرندگان یا نور طبیعی را هم فراهم می‌کرد. امروز همان ساختار می‌تواند الهام‌بخش پنل‌های سبک، پارتیشن‌های بدون میخ و حتی پل‌های کوچک باشد. یک تیم دانشجویی در دانشگاه یزد نمونه‌ای ۱ متری ساخته است که با ۴۲ سلول و بدون هیچ چسب، ۱۲۰ کیلوگرم بار را تحمل می‌کند. این نمونه نشان می‌دهد که ایده قدیمی هنوز جواب می‌دهد.

(معماری اسلامی در اندیشه‌ها)

هندسه در خدمت معماری: ۱.۲ هکتار باغ که در ۱۸ ماه ساخته شد

نسرین طباطبایی

«مقرنس» نام یک سازه است که در معماری سنتی ایران برای پوشاندن گوشه‌های اتاق به کار می‌رفت. اما این واژه فقط یک شکل نیست. مقرنس یک روش است برای جابه‌جا کردن وزن سقف از یک دیوار به دیوار دیگر با استفاده از طاقچه‌های کوچک. در شهر یزد، برخی از این سازه‌ها بیش از ۴۰۰ سال است که بدون ملات و بدون میخ ایستاده‌اند. این یعنی مهندسان گذشته محاسبه کرده‌اند که هر سنگ چه فشاری را تحمل می‌کند.

مقرنس از تکرار یک واحد