**به کارگیری کامپوزیت در ساختمان سازی نوین**

خواسته مهندسین و معماران مشغول در ساختمان سازی شهری و تجاری، بی شك انجام موفق پروژه است. پروژه ای که افزون بر داشتن کارایی لازم و صرفه اقتصادی، به خوبی و به شکل مناسب با ضوابط و معیارهای قانونی مطابقت داشته باشد و مواد استفاده شده در آن، ویژگیهای مشخص و عمر کافی داشته باشند. اما پرسش این است که آیا آنها خواهان استفاده از پلاستیك های تقویت شده با الیاف (FRP) هستند؟ بتن های تقویت شدهٔ متداول، فولاد و آلیاژهای آلومینیوم بی هیچ تاملی برای این پروژه برگزیده می شوند. اما از دیدگاه تاریخی این مواد از یك قرن پیش به عنوان مواد اساسی و اصلی مورد توجه بوده اند.

در صنعت کامپوزیت، بسیاری بر این باورند که مسئلهٔ کاربرد مواد کامپوزیت برای سازه های مهندسی عمران نباید امری انقلابی قلمداد شود. بلکه صرفاً یك تحول و تکامل منطقی حاصل از توسعه و آزمایش ترکیب گوناگون مواد است. جان باسل مدیر اجرایی اتحادیهٔ گسترش بازار کامپوزیت پایه پلیمری (MDA) نیز بر این باور است: "کامپوزیت های پایه پلیمری باید به خانوادهٔ دیگر مواد ساختمان سازی بپیوندند تا با راه حل های نوآورانه بتوانند تضمین کنندهٔ کاربرد بیشتر در سازه ها باشند."

**مادهٔ قابل طراحی**

رفتار کامپوزیت ها بر اساس ماهیتشان به وسیله جهت و ترتیب قرارگیری الیاف آنها معین می شود. این الیاف به نسبت سفت، به وسیلهٔ زمینه ای از جنس رزین در کنار هم نگه داشته می شود. در واقع به کارگیری این ویژگی جهت دار کردن الیاف است که امکان طراحی کامپوزیت را برای تحمل شرایط ویژه بارگذاری فراهم می کند. اما با وجود این انعطاف پذیری قابل توجه در طراحی، مهندسین و معمارانی که با فولاد و بتن آشنا هستند، نمی توانند با تردی و شکنندگی کامپوزیت ها (نداشتن ویژگی فرم پذیری و رفتار پلاستیك) به راحتی کنار بیایند. فرم پذیری به تسلیم یا تغییرشکل ماده در پاسخ به تنشی بالاتر از تنش تسلیم بازمی گردد. با گرفتن دو انتهای یك قاشق فلزی ارزان و خم کردن آن میتوان این رفتار را نشان داد. برخلاف این رفتار، مواد کامپوزیتی که رفتار "خطی تا شکست" دارند متناسب با تنش اعمالی از خود تغییرشکل نشان می دهند تا به نقطهٔ شکست برسند. دکتر چارلز دولان- رئیس دانشکدهٔ مهندسی عمران و معماری دانشگاه ویومینگ و عضو

گروه ۳۱۸ قوانین ساختمان مؤسسه بتن آمریکا (ACI)- در این باره می گوید: "کربن دارای ظرفیت کرنشی در حدود ۱/۵ درصد است. این مقدار برای فولاد حدود ۲۰ درصد است.هنگامی که بتن دچار ترك می شود، تقویت کننده های داخل آن تحت کرنش قرار می گیرند. اگر تقویت کننده ظرفیت کرنشی کافی داشته باشد، میتوان تا هنگامی که دیگر بخش ها بیش از حد تحت بار قرار گیرند، تغییر شکل دهد. هرچند کامپوزیت ها ظرفیت کرنشی کمی دارند، تنش نهایی در نقطهٔ شکست، بالاتر از فولاد است. بنابراین کامپوزیت ها در قبال عملکرد خود وزن بسیار کمتری خواهند داشت."

دکتر ویستاسپ کاربای از دانشگاه کالیفرنیا خاطرنشان می سازد که این رفتار "خطی تا شکست" کامپوزیت ها بدین معنی است که تخریب در ماده به صورت دائمی رخ می دهد. به عنوان مثال هنگام اعمال بار ممکن است زمینه دچار ترك های کوچك شود و یا پارگی الیاف پیش آید. وی رد ادامه توضیح می دهد:"با این وجود با تقریب درست میتوان ماده را به گونه ایطراحی کرد که تحت بار مقاومت قابل توجهی در برابر تغییرشکل نشان دهد و درعین حال عملکردی دلخواه، همانند یك مادهٔ تغییرشکل پذیر واقعی از خود نشان دهد.

برای بسیاری از کاربردها در ساخت و ساز- برای مثال کف یك پل- طراحی براساس خیز مجاز تحت بار انجام می گیرد. آرت یانوتی، رئیس دفتر خدمات طراحی سازه در اداره حمل و نقل ایالت نیویورك در این باره می گوید: اصولاً سازه کف اگر به اندازه کافی سفت طراحی شود که بتواند در برابر خیز مقاومت کند، بدین معنی است که مقدار تنش در بخش های کناری کامپوزیتی نسبتاً کم است. وی این مسئله را چنین توضیح می دهد: "طراحان هنگامی که بین بار نهایی و بار نقطه طراحی ضریب اطمینان خیلی بالایی درنظر می گیرند راحت تر با کامپوزیت ها کار می کنند. در نیویورك ما از ضریب اطمینان ۵ استفاده کردیم که به شکل قابل ملاحظه ای بالاتر از مقداری است که برای بتن درنظر گرفته می شود. مقاومت در برابر خستگی یا تحمل آسیب در کامپوزیت ها، مسئله دیگری است که میتواند در کار مهندسین وقفه ایجاد کند. جنارو ولز، مهندس سازه از شرکت ویدلینگر نیویورك در این باره می گوید: "از آنجا که مواد و روش های ساخت در کامپوزیت ها متفاوت است، استاندارد عمومی و کلی دربارهٔ ویژگی های خستگی آنها که قابل استفاده در ساخت و ساز شهری باشد، وجود ندارد. ما برای به دست آوردن اطلاعات آزمایشی برای مواد ساخته شده به تهیه کنندگان مواد وابسته هستیم." یانوتی به عملکرد مستند شدهٔ کامپوزیت ها در خستگی در صنایع هوافضا اشاره می کند و آن را دلیلی برای اطمینان خاطر می داند. او می افزاید: "پژوهش ها و آزمایش هایی بر روی مقاومت خستگی کف پل هایی از جنس کامپوزیت ها انجام شده و تا آن جا که من آگاهی دارم، نتایج بسیار رضایت بخش بوده است."

ازنقطه نظر معماران، مسئله اساسی، رفتار کامپوزیت ها در برابر آتش است. رابرت فورنو معمار شرکت معماری وندی اونزاجوزف نیویورك در این باره می گوید: "تخته های سیمان تقویت شده با الیاف شیشه و سیستم های موجود برای ظاهر و نمای بیرونی که نقش سازه ای ندارند، ده ها سال است که مورداستفاده قرار نگرفته اند؛ اما بسیاری از معماران نسبت به آزمایش کامپوزیت ها در کاربردهای سازه ای بی میلند. خود من هرگز کامپوزیت ها را در سازهٔ ساختمان به کار نخواهم گرفت. در نیویورك ناچاریم برای امنیت جانی به استاندارد حریق ۴ ساعته دست پیدا کنیم. این در حالی است که در مورد مواد کامپوزیت هنوز آزمایش کافی وجود ندارد." وی همچنین به نگرانی هایی درمورد تفاوت های موجود در انبساط حرارتی و پایداری رد برابر پرتوی فرابنفش در مواد کامپوزیت برای کاربردهای معماری اشاره می کند. آزمایش های فراوانی درمورد حریق انجام شده است تا ایمنی کامپوزیت ها در برابر حریق در کاربردهایی مانند وسایل نقلیه عمومی و قایق ها

مشخص شود. به ویژه برای دستیابی به شرایط دقیق و سخت گیرانهٔ امنیت جانی در سکوهای نفتی دور از ساحل، آزمایش های فراوانی انجام شده است، اما نتایج- مانند رزین های فنولیك جدید و موادی که در برابر شعله، زغالی شکل شده و باد می کنند- به شکل مناسبی به کاربردهای معماری و ساخت و ساز شهری منتقل نشده اند. دولان بر این باور است که در این زمینه به کار بیشتری نیاز است. او می گوید: "وقتی شما یك طرح را مهر می کنید، باید مطمئن باشید که کار طراحی کافی روی آن انجام شده است. ما باید یك سطح حداقل قانونی برای کیفیت کامپوزیت ها ایجاد کنیم تا بتوانیم به طور گسترده تر آن را به کار گیریم."

**ترکیب الیاف کربن و بتن**

مك گرید (Mec-Grid)، یك تقویت کنندهٔ کامپوزیت سبك مشبك است که در پانل های پیش ساخته و دیگر کاربردها جایگزین شبکه سیمی از جنس فولاد جوشکاری شده است. چنین چیزی نمونهٔ خوبی است از آنچه مهندسان و معماران از ترکیب مواد متداول و کامپوزیت ها می خواهند. با توجه به برخی آمار منتشر شده، نزدیك به ۸۵ درصد تمام ساختمان های صنعتی از پانل های بتنی پیش ساخته، ساخته می شوند. این پانل ها پس از تولید به وسیلهٔ کامیون به محل ساختمان آورده می شوند و بر روی یك قطعهٔ بتنی برپا می شوند. برخلاف ۲۵ سال گذشته، این پانل ها به دلیل برنامه های فشردهٔ ساخت و ساز، امروزه بسیار موردتوجه هستند. قطعات پیش ساخته را میتوان در زمانی معادل یك سوم زمان موردنیاز برای ساخت همان قطعه، تولید کرد. ضخامت پانل ها برحسب کاربرد تغییر می کند و میتواند به ۳۰ سانتی متر برسد و درعین حال در برابر بارهای بسیار بالای ناشی از باد- در مناطق طوفانی- مقاومت کند.

شرکت اولد کسل پریکست (در واشنگتن) به عنوان بزرگترین تولیدکنندهٔ قطعات بتنی پیش ساخته در آمریکا همکاری خود را با شرکت کلارك شوبل تك فب (در کارولینای جنوبی)- که حاصل سرمایه گذاری مشترك شرکت های هکسل (کالیفرنیا) و شمارات (فرانسه) است- از سال ۱۹۹۸ آغاز کرد. هدف این همکاری ساخت شبکه های تقویت کننده ای مقاوم در برابر خوردگی از جنس اپوکسی و الیاف کربن بافته نشده بود. این تقویت کننده ها می توانند برای ساخت اتاقك ها، جعبه ها و پانل های پیش ساخته نازك تر، سبك تر و محکم تر به کار روند. پانل های پیش ساختهٔ معمول دارای محدودیت هایی همچون وزن و هزینه جابجایی هستند. افزون بر اینکه ساختار از پیش طراحی شده آنها که با فولاد تقویت شده است، ایجاد تغییرات موردی را در دهانه، گوشه ها و برآمدگی ها، برای ایجاد یا اصلاح درها و پنجره ها مشکل کرده است؛ افزون بر اینها شرایط پوششی بتن نیز باید موردتوجه قرار گیرد. باید دید که ضخامت بتن چقدر باید باشد تا از پوسیدگی شبکه فولادی جلوگیری کند و مانع نفوذ زنگ زدگی به سطح پانل شود.

علاقه معماران به پانل های تقویت شده با کربن- معروف به کربوکریت- به این دلیل است که ضخامت کمتر، وزنی سبك تر و درنتیجه مشکلات حمل و نقل کمتری دارند و عمر مفید کارکرد آنها بیشتر است و به کار بردن و بنا کردن آنها آسانتر است. از شبکهٔ کربن مانع از انتقال گرما از راه پانل می شود و نیازی به ایجاد سد حرارتی اضافی نیست، یك پانل تقویت شده با مك گرید را میتوان در هر زمان به وسیلهٔ یك ماشین برش، برش داد و این امر امکان ساخت انواع دهانه ها و کناره ها را در پانل ایجاد می کند. آزمایش های گوناگون ثابت کرده اند که پانل های نوین تقویت شده با الیاف، به طور قابل توجهی از پانل های متداول با تقویت کننده های فولادی قوی ت رهستند. انتظار می رود که تأئیدیه های انجمن آزمایش و مواد آمریکا (ASTM) و گروه ۴۴۰ مؤسسه بتن آمریکا (ACI) و نیز گزارش ارزیابی مجموعه قوانین و مقررات به زودی آماده شوند.

جان کارسون از تك فب در این باره می گوید: "این سیستم تقویت جدید از نظر اقتصادی نیز به صرفه است. هرچند که هزینه این شبکه نوین به ۳ تا ۴ برابر هزینه شبکه فلزی می رسد، اما کاهش ضخامت بتن موردنیاز، محدودیت های طراحی و ساخت قطعات پیش ساخته را کاهش می دهد." روش تولید شبکه، روش ویژه ای است که در آن الیاف تار و پود روی هم قرار گرفته و به وسیلهٔ رزین اپوکسی زودپخت آغشته می شوندتا ساختار شبکه ای بازی با شبکه هایی به عرض ۰/۶ تا ۷/۶ سانتی متر به دست آید. این عرض برحسب استحکام موردنیاز پانل، نوع بتن به کار رفته و اندازه های کلی پانل تعیین می شود. وی درهمین باره می گوید که اتصال این شبکه با بتن به خوبی شکل می گیرد و دلیل آن بافت سطحی زیر شبکه است. افزون بر الیاف کربن که برای ساخت کربوکریت مورداستفاده قرار می گیرد، شرکت تك فب، شبکه هایی از جنس الیاف شیشه، آرامید و پلیمر نیز برای کاربردهایی چون تقویت آسفالت تولید می کند. نظر نماینده شرکت اولدکسل در این باره این است که به دلیل کاهش سطح پوششی موردنیاز، شبکه های کربنی مك گرید، ضخامت پانل های پیش ساخته را تا نصف کاهش می دهند و در نتیجه هزینه کلی نیز کاهش خواهد یافت. استحکام کششی این شبکه نسبت به وزن آن، از میله های فولادی بیشتر است. افزون بر آن کاهش پوشش رویی تا ۰/۶ سانتی متر امکان بهینه سازی ویژگی های مکانیکی را با نزدیك کردن شبکه به سطح پانل فراهم کرده است. وی می گوید:"هنگام ایجاد دهانه در پانل ها- پیش یا پس از قالب ریزی- مك گرید با ایجاد تقویت موضعی بهتر، ترك های ایجاد شده در گوشهٔ دهانه ها را کاهش می دهد.

سایت انجمن کامپوزیت ایران
دوشنبه ۱۴ اردیبهشت ۱۳۸۸

شرکت ابرسازه های عماد