

توسعه مدل شبکه دانه منفصل بتن برای سنگدانه‌های غیر کروی

میعاد کامزا^۱، محمدصفر نژاد زنده‌جان^۲، شریف شاه‌بیک^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه دانشگاه تربیت مدرس

۲- دانشجوی دکتری سازه دانشگاه تربیت مدرس

۳- استادیار گروه سازه دانشگاه تربیت مدرس

shahbeyk@modares.ac.ir

در این مقاله مدل موجود شبکه دانه منفصل بتن (LDPM)، برای در نظر گرفتن سنگدانه‌های غیر کروی توسعه یافته است. مدل شبکه دانه منفصل بتن از نوع مدل‌های مجزا است که در آن سنگدانه‌ها کروی فرض شده و با افزایش فضا در اطراف این سنگدانه‌ها، ریزساختار بتن به سلول‌هایی صلب تقسیم می‌شود. اندرکنش این سلول‌ها در مرز مشترک مطابق با یک مدل رفتاری پیچیده غیرخطی و بر حسب محاسبات عددی در نقاط مشخص تعیین می‌گردد. با توجه به اثرگذاری غیر قابل چشم‌پوشی شکل سنگدانه‌ها بر رفتار بتن، در این پژوهش و به کمک توابع ابربیضی امکان شبیه‌سازی طیف گسترده‌تری از اشکال سنگدانه‌ها به مدل LDPM اضافه شده است. در این مقاله نحوه تولید و چینش سنگدانه‌ها در نمونه، افزایش فضا در اطراف سنگدانه‌ها، ایجاد سلول‌های صلب و تعیین نقاط محاسباتی مرزهای تماسی ارائه می‌شود. در پایان با استفاده از مدل توسعه یافته، رفتار بتن تحت فشار تک‌محوره بررسی شد و نشان داده شده است که با کشیده‌تر شدن دانه‌ها مقاومت کاهش یافته و شیب نرم‌شدگی نمودار تنش-کرنش بعد از اوج ملایم‌تر می‌شود.

کلمات کلیدی: مدل شبکه دانه منفصل، بتن، ریزساختار، ابربیضی، سنگدانه غیر کروی.

۱. مقدمه

رفتار بتن به عنوان یک ماده سازه‌ای پرکاربرد، نه تنها در هر مقیاس سنجش بلکه حتی در هر دوره‌ای از عمر خود می‌تواند متفاوت باشد. تاکنون طیف وسیعی از مدل‌های عددی برای استخراج رفتار مکانیکی بزرگ مقیاس بتن بر اساس شبیه‌سازی ریزساختار، پیشنهاد شده است که مدل‌های میان‌مقیاس جز این طیف‌ها دسته‌بندی می‌گردند. در مدل‌های میان‌مقیاس تنها سنگدانه‌های بزرگ (درشت‌دانه‌ها) به صورت مجزا مدل شده و سنگدانه‌های کوچک (ریزدانه‌ها) به علاوه خمیر سیمان و حباب‌های هوای موجود در آن به صورت ماتریسی همگن که درشت‌دانه‌ها را احاطه می‌کند، در نظر گرفته می‌شوند. مدل شبکه دانه منفصل بتن [۲،۱] از جمله مدل‌های میان‌مقیاس مبتنی بر المان‌های مجزا است که به منظور شبیه‌سازی رفتار غیرخطی بتن در حالت‌های عمومی بارگذاری و با در نظر گرفتن ریزساختار (در مقیاس درشت‌دانه‌ها) توسعه یافته است. نسخه اولیه این مدل با نام مدل شبکه برش-محصور توسط کساتیس و همکاران [۴،۳] ارائه گردید. در سال ۲۰۰۶ اصلاحاتی بر روی مدل صورت گرفت که بخش مهم آن، جانمایی نقاط محاسباتی بر روی صفحات تماس بود [۵]. در سال ۲۰۱۱ با تلفیق مدل شبکه برش-محصور با مدل دانه‌های مجزا، نام مدل به مدل شبکه دانه منفصل تغییر یافت. این مدل در یک شبکه‌بندی گسسته فرمول‌بندی می‌شود و میدان جابجایی در آن پیوسته نبوده و فقط در مرکز سنگدانه‌ها تعریف و محاسبه می‌گردد. لذا در ابتدا هندسه ریزساختار بتن مطابق با دانه‌بندی بتن، تولید شده و سپس با ایجاد هرم‌بندی دلونی با مراکز سنگدانه‌ها، سطوح مستعد شکست در فضای ملات مابین دانه‌ها قرار می‌گیرند و هر سنگدانه با مجموعه‌ای از ملات پیرامونش به صورت یک سلول صلب در نظر گرفته می‌شود. در ادامه با استفاده از افزایش فضای انجام شده، معادلات سازگاری گسسته و معادلات تعادل جهت به دست آوردن فرمول‌بندی مدل استفاده می‌گردند. در انتها، حل عددی به کمک روابط ساختاری و روش حل صریح انجام می‌پذیرد.

به طور کلی در این مدل و بسیاری از مدل‌های میان‌مقیاس مبتنی بر المان‌های مجزا، سنگدانه‌ها با هندسه کره مدل‌سازی می‌گردند. این فرض راحتی قابل توجهی هم در روند تولید هندسه و هم در روند تحلیل ایجاد می‌نماید. اما نکته حائز اهمیت آن است که با این فرض؛ از اثرات هندسه سنگدانه‌ها بر رفتار ترک‌خوردگی و خسارت در ریزساختار و مقاومت در نتایج بزرگ مقیاس صرف نظر می‌گردد. حال آن که این اثرات گاهی می-