بررسی اثر اندازه، شکل هندسی و جهت‌گیری ذرات در مواد کامپوزیتی با استفاده از تئوری پلاستیسیته‌ی گرادیان کرنشی CMSG

امیرحسین اصغری[۱]، سیامک سلیمانی شیشوان[۲]

دانشکده فنی ـ مهندسی عمران، دانشگاه تبریز، ص.پ. ۱۶۴۷۱-۵۱۶۶۶، تبریز، ایران

amir.asghari67@gmail.com

خلاصه

نتایج آزمایشگاهی سال‌های اخیر نشان می‌دهد که مواد کامپوزیتی تقویت شده توسط ذره‌های با رفتار الاستیک که اندازه‌ی ذره‌ها در مقیاس میکرون و پایین‌تر از آن می‌باشند، رفتار مکانیکی وابسته به اندازه‌ی ذره دارند. با توجه به عدم کارایی تئوری پلاستیسیته‌ی کلاسیک، اخیرا تئوری‌های پلاستیسیته‌ی گرادیان کرنشی از جمله تئوری CMSG پایه‌ریزی شده‌اند تا بتوانند اثرات اندازه را در نظر بگیرند. در اثر وجود ذرات، گرادیان‌های کرنش پلاستیک بالایی در ماده‌ی احاطه کننده وجود دارد و اثر تغییرشکل هندسی و جهت‌گیری ذرات می‌تواند در تشکیل گرادیان‌های کرنش نیز قابل ملاحظه باشد. در این تحقیق، معادلات ساختاری تئوری CMSG با استفاده از زیربرنامه UMAT در نرم‌افزار ABAQUS به کار گرفته می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که هر چه اندازه ذرات کوچکتر می‌شود حساسیت منحنی سخت‌شوندگی به شکل هندسی و جهت‌گیری ذرات بیشتر می‌شود. سخت شوندگی ماده‌ی کامپوزیتی با ذرات مایل کمتر می‌باشد و در ذرات تیز گوشه با جهت‌گیری غیرمایل تمرکز تنش بالایی وجود دارد.

کلمات کلیدی: اثرات اندازه در رفتار مکانیکی مواد، تئوری پلاستیسیته‌ی گرادیان کرنشی، مواد کامپوزیتی

۱. مقدمه

مشاهدات آزمایشگاهی سال‌های اخیر نشان داده است که مقاومت و رفتار سخت‌شوندگی ماده در مقیاس میکرو و پایین‌تر از آن، علاوه بر ساختار ریزمقیاس ماده، به ابعاد سازه نیز وابسته می‌باشد. به عبارت دیگر، رفتار وابسته به اندازه در دو حالت در مکانیک جامدات مشاهده می‌گردد: ماده‌ی استفاده شده در سازه دارای ساختار ریزمقیاس (مانند مواد چندکریستالی) باشد و یا اندازه فیزیکی سازه (مانند میکروسازه‌ها) در مقیاس ریز باشد [۱]. البته در مواردی نیز پدیده در مقیاس ریز رخ می‌دهد، مانند تشکیل باندهای برشی در مواد و گسترش ترک‌ها، که در این شرایط نیز وابستگی به اندازه وجود دارد. نتایج آزمایشگاهی بر روی مواد کامپوزیتی تقویت شده توسط ذره‌های با رفتار الاستیک (مدول یانگ بالا) که اندازه ذره‌ها در مقیاس میکرون و پایین‌تر از آن می‌باشد، نشان می‌دهد که رفتار مکانیکی این مواد وابسته به اندازه‌ی ذره می‌باشد. به عبارت دیگر، درصد ذره‌ها در ماده‌ی احاطه‌کننده[۳] تنها عامل کنترل کننده‌ی رفتار نیست و اندازه ذره‌ها نیز در مقاومت و سخت‌شوندگی ماده‌ی کامپوزیتی موثر است [۲، ۳ و ۴].

تحقیقات وسیع صورت گرفته در خصوص رفتار وابسته به اندازه به این نتیجه رسیده‌اند که یکی از عوامل موثر در رفتار وابسته به اندازه، دانسیته‌ی نابجایی‌های ضروری هندسی[۴] (GND) می‌باشد که توصیف مناسبی از تغییرشکل غیریکنواخت پلاستیک را بیان می‌کند. تئوری پلاستیسیته‌ی گرادیان کرنشی که با استفاده از ارتباط دانسیته GND در ماده و گرادیان کرنش پایه‌ریزی شده است، موفقیت قابل ملاحظه‌ای را در پیش‌بینی رفتار وابسته به اندازه داشته است [۵ و ۶]. فرمول‌بندی‌های متنوعی برای تئوری گرادیان کرنشی ارائه شده است [۷]. در بخش ۲، نحوه‌ی اعمال پارامتر مقیاس طولی و تعیین گرادیان کرنش پلاستیک موثر برای تئوری گرادیان کرنشی بر اساس مکانیسم[۵] (CMSG) که یک تئوری مرتبه پایین می‌باشد ارائه

---

[۱] دانش‌آموخته کارشناسی ارشد

[۲] استادیار گروه مهندسی سازه

[3] Matrix

[4] Geometrically necessary dislocation

[5] Conventional theory of mechanism-based strain gradient plasticity