

فرمول‌بندی المان‌های محدود مسائل تماسی ویسکوالاستیک به وسیله یک فرآیند حل نموی - انطباقی در معادلات وارهدگی

حسین اشرفی^{۱*}، مهدی کسرای^۲، مهرداد فرید^۳

۱-۲- بخش مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

۳- بخش مهندسی مکانیک، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

* آدرس پست الکترونیکی: ashrafi@shirazu.ac.ir

خلاصه

هدف طرح حاضر، توسعه یک فرآیند محاسباتی نموی-انطباقی بر مبنای الگوریتمی توانمند به منظور محاسبه فشارهای شبه‌استاتیک تماسی در سازه‌های ویسکوالاستیک می‌باشد. از مدل تعمیم یافته ماکسول برای مدل‌سازی توابع وارهدگی معادلات متشکله ویسکوالاستیک بهره گرفته شده است. در این فرمول‌بندی، توابع وارهدگی به وسیله حاصل جمع سری‌های توابع نمایی کاهشی با زمان بیان می‌شوند. بر اساس اعمال اصل کار مجازی، یک فرمول‌بندی مؤثر المان‌های محدود با یک فرآیند حل نموی در معادلات وارهدگی به دست می‌آید. به منظور تحلیل مسائل تماسی ویسکوالاستیک بر اساس شرایط سینماتیکی و هندسی اجزای در حال تماس از رهیافت لاگرانژ الحاقی انطباقی استفاده شده است. **کلمات کلیدی:** معادلات وارهدگی ویسکوالاستیک، مسائل تماسی، حل نموی-انطباقی، رهیافت لاگرانژ الحاقی.

۱. مقدمه

مسائل مقدار مرزی غیرخطی در برگزیده تماس یکی از با اهمیت‌ترین مسائل در صنایع وابسته به مهندسی مکانیک، سازه و در کاربردهای علوم پزشکی و محیط زیست می‌باشند. در واقع، تمام حرکات در این کره خاکی از قبیل قدم زدن ساده یک عابر یا حرکت سایر مصنوعات متحرک بشر همگی شامل تماس و اصطکاک می‌باشند. در گذشته اغلب به دلیل طبیعت پیچیده تماس، مسائل مرتبط با آن در فرآیندهای طراحی با فرضیات خاصی به صورت تقریبی حل می‌شدند. این در حالی است که حتی در شرایط کنونی نیز نرم افزارهای استاندارد المان‌های محدود به صورت کامل قادر به حل مسائل تماسی و اصطکاکی با الگوریتم‌هایی توانمند نمی‌باشند و هنوز رقابت در انجمن المان‌های محدود به منظور بکارگیری روش‌هایی بهینه و توانمند وجود دارد. محدوده کاربرد علم مکانیک تماس با مسائل به نسبت ساده شالوده‌ها و تزویج شالوده‌ها با شمع‌ها به عنوان اعضای ثابت دهنده در سازه‌های مهندسی آغاز می‌شود که بلندشدگی شالوده‌ها از خاک در اثر بارهای خارج از مرکزی که به ساختمان‌ها وارد می‌شوند، مورد توجه مهندسان قرار گرفت [۱]. مسائل کلاسیک یا تاقان در سازه‌های فولادی، اتصال اعضای ساختاری سازه‌ها به وسیله پیچ و مهره، یا ضربه به یک سازه از دیگر سطوحی بودند که در آن‌ها تحلیل‌های تماسی وارد فرآیند طراحی شدند. از این رو حتی اگر مسئله تماس را به صورت یک مسئله الاستیک خطی نیز فرمول‌بندی کرد، به دلیل طبیعت این مسائل در نامشخص بودن سطح تماس آن‌ها، تمام کاربردهای آن‌ها غیرخطی و به الگوریتم‌های حل خاصی نیاز دارند. ادن و کیکوچی [۲] مسائل تماسی بدون اصطکاک را با استفاده از نامساوی‌های تغییراتی فرمول‌بندی کردند و در خصوص وجود و یکنایی حل خود نیز با ارائه مثال‌های عددی بحث نمودند. سیمو و لارسن [۳] نیز برای نخستین مرتبه از رهیافت لاگرانژ الحاقی برای تحلیل مسائل تماسی با قابلیت بهنگام‌سازی خودکار ضریب پنالتی و ارضای قیود از طریق مقادیر محدود پنالتی استفاده نمودند. زوچر و همکارانش [۴] در یک مدل المان‌های محدود سه بعدی شبه استاتیکی از یک فرمول‌بندی نموی مستقیم برای معادلات متشکله در یک محیط ویسکوالاستیک ارتوتروپیک استفاده کردند. چن و همکارانش [۵] بر اساس اصل کار مجازی یک مدل المان‌های محدود دو بعدی را با استفاده از یک فرآیند نموی در معادلات متشکله ویسکوالاستیک برای تحلیل مسائل تماسی ارائه کردند. بر اساس فرمول‌بندی تغییراتی و طرح پرسونده اوپلر، فرناندز و سوفونی [۶] مسئله تماس شبه استاتیکی بین یک جسم ویسکوالاستیک و یک بستر تغییرشکل پذیر را بدون اصطکاک مورد توجه قرار دادند. محمود و همکارانش [۷] یک فرمول‌بندی المان‌های محدود نموی را برای تحلیل مسائل تماس اصطکاکی ویسکوالاستیک در شرایط شبه استاتیکی ارائه نمودند که برای در نظر گرفتن اثرات هر دو نوع رفتار وارهدگی تنش و خزش از مدل ویجرت به منظور مدل‌سازی معادلات متشکله ویسکوالاستیک استفاده کردند و برای اجرای قیود تماسی نیز از روش ضریب لاگرانژ بهره گرفتند. اشرفی و همکارانش [۸] نیز فرآیند نموسازی متفاوتی را در انتگرال گیری انتگرال‌های استیلجس معادلات وارهدگی اتساعی و برشی به کمک توابع واحد و دلتا ارائه کردند و برای اجرای قیود تماسی هم از رهیافت لاگرانژ الحاقی بهره بردند.