



## معرفی روشی هندسی جهت برآورد خطای موجود در تحلیل مسائل به روش ایزوژئومتری

بهروز حسنی<sup>۱</sup>، احمد گنجعلی<sup>۲</sup>، عبدالغفور خادم الرسول<sup>۳</sup>

۱- دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود

۲- دانشجوی دکتری عمران گرایش سازه، دانشگاه صنعتی شاهرود

۳- دانشجوی دکتری عمران گرایش خاک و پی، دانشگاه صنعتی شاهرود

ahmad.ganjali@yahoo.com

### خلاصه

تحلیل ایزوژئومتری یکی از جدیدترین روشهای آنالیز مسائل مهندسی به شمار می رود که امروزه با توجه به مزایایی از جمله حذف مرحله شبکه بندی و مدلسازی دقیقتر شرایط مرزی مورد توجه محققین قرار گرفته است. تشریح روشی هندسی بر پایه نریز، جهت تخمین خطای میدان تنش بدست آمده از تحلیل مسائل به روش ایزوژئومتری مورد بحث این پژوهش قرار دارد. در این روش، با استفاده از نقاط فوق همگرای گوسی، برای تابع مقادیر هریک از مؤلفه های میدان تنش یک سطح فرضی بهبود یافته با استفاده از تکنیک نریز ساخته می شود. از مقایسه نرم خطای انرژی دقیق و نرم خطای انرژی تقریبی و شاخص تاثیر برای مسائل نمونه، مشاهده می شود که تخمین کننده خطای پیشنهادی از کارایی مناسبی برخوردار است و می توان از آن به عنوان یک روش مهندسی و کارا در برآورد خطای موجود در تحلیل ایزوژئومتری نام برد.

کلمات کلیدی: تحلیل ایزوژئومتری، برآورد خطا، بهبود میدان تنش، تکنیک نریز

### ۱. مقدمه

روش ایزوژئومتری از جمله جدیدترین روشهای عددی تحلیل مسائل مهندسی بشمار می رود. این روش دارای ویژگی های منحصر به فرد و مناسبی است که شاید در آینده ای نه چندان دور بتواند جایگزین روشهای عددی متداول نظیر اجزای محدود و نقاط محدود گردد. وجود برخی معایب در روش اجزای محدود، از جمله وجود خطا در تعریف مرزهای مسائل با هندسه پیچیده و یا مسائل با تغییرات شدید در بارگذاری و خواص مصالح و نیز نیاز به تولید مکرر شبکه المانها در برخی مسائل، نظیر مسائلی که در چارچوب لاگرانژی حل می شوند و یا مسائل بهینه سازی شکل سازه، از جمله علل ابداع این روش می باشد. این روش برای اولین بار طی مقاله ای در سال ۲۰۰۵ توسط هیوز و همکارانش معرفی شد [۱]. روش ایزوژئومتری دارای بعضی مفاهیم شبیه روش اجزای محدود و روش های بدون مش می باشد که می تواند برای حل مسائل معادلات دیفرانسیل جزئی حاکم در حوزه های مختلف علوم و مهندسی، از جمله الاستیسیته، به کار رود. در این روش از تکنیکهای طراحی به کمک کامپیوتر<sup>۱</sup> استفاده شده است. دلیل اینکه روشهای طراحی به کمک کامپیوتر تاکنون در روش اجزای محدود به صورت گسترده وارد نشده است مربوط به اختلاف زمانی، در پیدایش این دو نسبت به یکدیگر می باشد. آغاز پیدایش روشهای اجزای محدود در سالهای ۱۹۵۰ تا ۱۹۶۰ میلادی بوده است در حالی که روشهای طراحی به کمک کامپیوتر بعدها در حدود سالهای ۱۹۷۰ تا ۱۹۸۰ شکل گرفته اند [۱]. ایده ای که در این روش معرفی شده است بر اساس بی-اسپلاین های نسبی غیر یکنواخت<sup>۲</sup> به وجود آمده است. در این روش ضمن استفاده از خواص توابع پایه اسپلاین و نریز در تعریف دقیق منحنی ها و سطوح، از آنها جهت درونیابی و تقریب سازی هم استفاده می شود.

خطا بخش جدانشدنی تحلیل های عددی به شمار می رود و همواره باعث نگرانی محققین در قابلیت اعتماد نتایج بوده است. در حالت کلی روشهای برآورد خطا در دو دسته، روشهای بازیافت تنش (گرادیان) و روشهای باقیمانده ای قرار می گیرند [۲]. در تحقیق حاضر یک روش هندسی مبتنی بر بازیافت تنش، و همسو با روش ایزوژئومتری، جهت برآورد خطای نتایج بدست آمده پیشنهاد شده است که جزئیات آن در بخش های بعدی تشریح خواهد شد.

<sup>۱</sup> CAD (Computer Aided Design)

<sup>۲</sup> Non-Uniform Rational B-splines (NURBS)