



## حل مسئله معکوس دینامیک سازه‌ای با استفاده از رویکرد منظم‌سازی تیخونوف

امید خادم حسینی<sup>۱\*</sup>، علی کیهانی<sup>۲</sup>، محمدمهدی خطیبی<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی دکتری عمران، گرایش سازه، دانشگاه صنعتی شاهرود

۲- دکتری تخصصی، دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود

۳- دکتری تخصصی، استادیار دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه سمنان

\*E\_mail: Omid\_khademhosseini@shahroodut.ac.ir

### خلاصه

هدف از این مقاله، ارائه یک چارچوب کلی جهت شناسایی نیروهای وارد بر یک سیستم (سازه) و همچنین تعیین سایر متغیرهای آن است. این گونه مسائل که در آن‌ها ورودی‌های سیستم، شرایط اولیه و سایر متغیرهای حالت با استفاده از اندازه‌گیری‌هایی که تنها از برخی از حالات سیستم بدست آمده است را مسائل معکوس می‌نامند. یکی از روش‌های حل این مسائل، برنامه‌ریزی پویا است. با توجه به این که اصولاً متغیر حالت‌های اندازه‌گیری شده از تعداد متغیر حالت‌های سیستم به مراتب کمتر است بنابراین با یک مسئله بدو ضلعی روبرو هستیم که استفاده از الگوریتم‌های منظم‌سازی جهت حل آن‌ها اجتناب ناپذیر است. یک الگوریتم قوی برای منظم‌سازی، روش L-curve است که در کنار برنامه‌ریزی پویا، در ادبیات فنی با نام الگوریتم تیخونوف نیز شناخته می‌شود. در این مقاله، فرمول‌بندی و حل ماتریسی مسائل دینامیک سازه‌ای با استفاده از روش فضای حالت و نیز مبانی نظری الگوریتم منظم‌سازی تیخونوف بسط داده شده است. جهت بررسی عملکرد، دو مثال کاربردی ارائه شده است. در مثال اول، به شناسایی نیرو در یک سازه ۵ طبقه تحت اثر بارگذاری ریاضی (ضربه و سینوسی) و زلزله پرداخته‌ایم. در مثال دوم، سیستم اندرکنش خودرول-پل مورد بررسی قرار گرفته است و با فرمول‌بندی مناسب، نیروی اندرکنشی وارد بر پل و همچنین پروفیل ناهمواری مسیر شناسایی شده است. برای هر دو مثال، نتایج بدست آمده با مقادیر واقعی مقایسه شده‌اند که نشان از دقت بالای روش ارائه شده در شناسایی مجهولات مسئله دارد.

**کلمات کلیدی:** منظم‌سازی، شناسایی نیرو، مسئله معکوس، برنامه‌ریزی پویا، فضای حالت.

### ۱. مقدمه

در مسائل مهندسی، عمدتاً با ۴ گروه از مسائل سروکار داریم: مسائل مستقیم، مسائل شناسایی سیستم، مسائل معکوس، مسائل پژوهشی [۱]. در مسائل مستقیم، مشخصات سیستم، بردار ورودی، و شرایط اولیه معلوم هستند. بنابراین، با انتخاب یک روش حل مناسب می‌توان پاسخ یا به عبارتی خروجی سیستم را تعیین نمود. حوزه کاربرد این گونه مسائل عمدتاً به مسائل طراحی خلاصه می‌شود. مسائل شناسایی سیستم، با فرض معلوم بودن ورودی و خروجی سیستم، به یافتن پارامترهای مجهول سیستم می‌پردازند. از چالش‌های مهم روش‌های سنتی شناسایی سیستم می‌توان به مواردی همچون وجود نویز، عدم دسترسی به ورودی و... اشاره کرد. امروزه با پیشرفت‌های چشمگیر در حوزه پردازش سیگنال، روش‌های مختلفی جهت حذف نویز بوجود آمده است. در سالیان اخیر، توجه عمده پژوهشگران روی بسط روش‌های خروجی-محور همچون روش‌های شناسایی زیرفضای تصادفی و جستجوی کور منابع بوده است که با توفیقات ویژه‌ای همراه بوده است. با این حال، در بسیاری از موارد مهندسی از جمله مهندسی کنترل و یا تعیین شاخصی جهت برآورد ضرایب آیین نامه‌ای، تعیین ورودی سیستم از روی برخی خروجی‌ها امری مهم و ضروری است. بعلاوه، تعیین پاسخ در سایر نقاط سیستم که امکان اندازه‌گیری در آن‌ها وجود ندارد یکی از چالش‌های مهم و اساسی است. مسائل معکوس، بر یافتن ورودی، شرایط اولیه و سایر پاسخ‌های اندازه‌گیری نشده با فرض معلوم بودن مشخصات سیستم تمرکز دارند. مسائل پژوهشی ترکیبی از سه مورد فوق‌الذکر است.

در این مقاله از روش قدرتمند برنامه‌ریزی پویا استفاده شده است. اساس این روش بر حداقل سازی اختلاف اندازه‌گیری‌های بازسازی شده با اندازه‌گیری‌های واقعی می‌باشد. از آنجاییکه در حل مسائل معکوس، پاسخ‌های اندازه‌گیری شده از سیستم اغلب کمتر از درجات آزادی کل است