

# رمزدهی ویژه الگوریتم توارثی برای تعیین بهینه‌ی دسته‌ی شتاب‌نگاشت‌ها

محسن شهروزی\* (استادیار)

جعفر کیوانی (استادیار)

سعیده سیف (کارشناس ارشد)

دانشکده‌ی فنی، دانشگاه خوارزمی

مهندسی عمران شریف، (پاییز ۱۳۹۲)  
دوره‌ی ۲-۱۴۹، شماره‌ی ۳، ص. ۹۱-۹۶

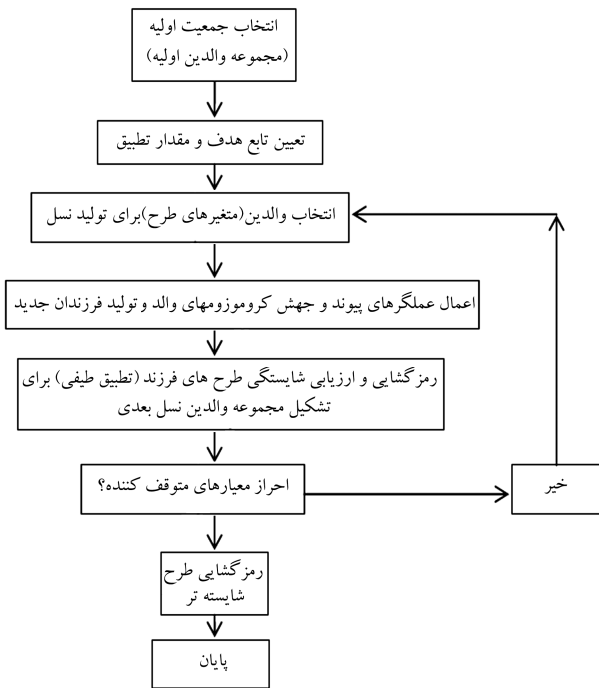
تهیه‌ی شتاب‌نگاشت و طیف ویژه ساختگاه برای تحلیل‌های غیرخطی و خطی دینامیکی خود مستلزم انجام پروژه‌های تحلیل خطر است که در مواردی توجیه کافی یا امکان اجرایی ندارد. از جمله در مورد بافت قدیمی ساختمان‌های شهری و میراث فرهنگی که با محدودیت‌های اجرایی یا اقتصادی برای گمانه‌زنی و شناسایی ساختگاه همراه است. در مواردی از این قبیل، یک راه حل کاربردی، انتخاب تعداد محدودی زلزله از کاتالوگ زمین‌لرزه‌های گذشته است؛ طوری که طیف حاصل از مجموعه‌ی آن‌ها دارای بیشترین مطابقت با طیف مینا در استاندارد طراحی باشد، تا با حجم محاسبات کمتر تصمیم‌گیری بهتری براساس پاسخ‌های حاصل با وجاهت آیین‌نامه‌ی طراحی تأمین شود. در این پژوهش، الگوریتم توارثی با شیوه‌ی نوین رمزدهی صحیح برای حل این مسئله‌ی بهینه‌یابی گسسته ضمن ویژه‌سازی عملگرهای آن ارائه شده است. کارایی روش گسترش‌یافته طی چند مثال از مجموعه‌ی شتاب‌نگاشت‌ها، برای بهبود تطبیق طیفی ارزیابی و طی بحث نظری نوآوری‌های روش تبیین شده است.

واژگان کلیدی: تعیین شتاب‌نگاشت، بهینه‌یابی، الگوریتم توارثی، رمزدهی.

## مقدمه

یکی از چالش‌های اصلی در کاربرد تحلیل‌های تاریخچه‌ی زمانی، انتخاب شتاب‌نگاشت مبنای تحلیل است. ماهیت احتمالاتی زلزله، این امر را حتی با وجود مطالعات ساختگاهی غیرقطعی ساخته است و نیاز به افزایش اعتبار این نوع بارگذاری را مطرح می‌سازد. از سوی دیگر طیف‌های طرح آیین‌نامه‌ی را که دارای وجاهت لازم برای طراحی هستند، نمی‌توان بر یک شتاب‌نگاشت خاص منطبق دانست.

روش شناخته شده در غالب آیین‌نامه‌ها و از جمله استاندارد [۱]، [۲]، [۳]، [۴]، [۵]، [۶]، [۷]، [۸]، [۹]، [۱۰]، [۱۱]، [۱۲]، [۱۳]، [۱۴]، [۱۵]، [۱۶]، [۱۷]، [۱۸]، [۱۹]، [۲۰]، [۲۱]، [۲۲]، [۲۳]، [۲۴]، [۲۵]، [۲۶]، [۲۷]، [۲۸]، [۲۹]، [۳۰]، [۳۱]، [۳۲]، [۳۳]، [۳۴]، [۳۵]، [۳۶]، [۳۷]، [۳۸]، [۳۹]، [۴۰]، [۴۱]، [۴۲]، [۴۳]، [۴۴]، [۴۵]، [۴۶]، [۴۷]، [۴۸]، [۴۹]، [۵۰]، [۵۱]، [۵۲]، [۵۳]، [۵۴]، [۵۵]، [۵۶]، [۵۷]، [۵۸]، [۵۹]، [۶۰]، [۶۱]، [۶۲]، [۶۳]، [۶۴]، [۶۵]، [۶۶]، [۶۷]، [۶۸]، [۶۹]، [۷۰]، [۷۱]، [۷۲]، [۷۳]، [۷۴]، [۷۵]، [۷۶]، [۷۷]، [۷۸]، [۷۹]، [۸۰]، [۸۱]، [۸۲]، [۸۳]، [۸۴]، [۸۵]، [۸۶]، [۸۷]، [۸۸]، [۸۹]، [۹۰]، [۹۱]، [۹۲]، [۹۳]، [۹۴]، [۹۵]، [۹۶]، [۹۷]، [۹۸]، [۹۹]، [۱۰۰]، [۱۰۱]، [۱۰۲]، [۱۰۳]، [۱۰۴]، [۱۰۵]، [۱۰۶]، [۱۰۷]، [۱۰۸]، [۱۰۹]، [۱۱۰]، [۱۱۱]، [۱۱۲]، [۱۱۳]، [۱۱۴]، [۱۱۵]، [۱۱۶]، [۱۱۷]، [۱۱۸]، [۱۱۹]، [۱۲۰]، [۱۲۱]، [۱۲۲]، [۱۲۳]، [۱۲۴]، [۱۲۵]، [۱۲۶]، [۱۲۷]، [۱۲۸]، [۱۲۹]، [۱۳۰]، [۱۳۱]، [۱۳۲]، [۱۳۳]، [۱۳۴]، [۱۳۵]، [۱۳۶]، [۱۳۷]، [۱۳۸]، [۱۳۹]، [۱۴۰]، [۱۴۱]، [۱۴۲]، [۱۴۳]، [۱۴۴]، [۱۴۵]، [۱۴۶]، [۱۴۷]، [۱۴۸]، [۱۴۹]، [۱۵۰]، [۱۵۱]، [۱۵۲]، [۱۵۳]، [۱۵۴]، [۱۵۵]، [۱۵۶]، [۱۵۷]، [۱۵۸]، [۱۵۹]، [۱۶۰]، [۱۶۱]، [۱۶۲]، [۱۶۳]، [۱۶۴]، [۱۶۵]، [۱۶۶]، [۱۶۷]، [۱۶۸]، [۱۶۹]، [۱۷۰]، [۱۷۱]، [۱۷۲]، [۱۷۳]، [۱۷۴]، [۱۷۵]، [۱۷۶]، [۱۷۷]، [۱۷۸]، [۱۷۹]، [۱۸۰]، [۱۸۱]، [۱۸۲]، [۱۸۳]، [۱۸۴]، [۱۸۵]، [۱۸۶]، [۱۸۷]، [۱۸۸]، [۱۸۹]، [۱۹۰]، [۱۹۱]، [۱۹۲]، [۱۹۳]، [۱۹۴]، [۱۹۵]، [۱۹۶]، [۱۹۷]، [۱۹۸]، [۱۹۹]، [۲۰۰]، [۲۰۱]، [۲۰۲]، [۲۰۳]، [۲۰۴]، [۲۰۵]، [۲۰۶]، [۲۰۷]، [۲۰۸]، [۲۰۹]، [۲۱۰]، [۲۱۱]، [۲۱۲]، [۲۱۳]، [۲۱۴]، [۲۱۵]، [۲۱۶]، [۲۱۷]، [۲۱۸]، [۲۱۹]، [۲۲۰]، [۲۲۱]، [۲۲۲]، [۲۲۳]، [۲۲۴]، [۲۲۵]، [۲۲۶]، [۲۲۷]، [۲۲۸]، [۲۲۹]، [۲۳۰]، [۲۳۱]، [۲۳۲]، [۲۳۳]، [۲۳۴]، [۲۳۵]، [۲۳۶]، [۲۳۷]، [۲۳۸]، [۲۳۹]، [۲۴۰]، [۲۴۱]، [۲۴۲]، [۲۴۳]، [۲۴۴]، [۲۴۵]، [۲۴۶]، [۲۴۷]، [۲۴۸]، [۲۴۹]، [۲۵۰]، [۲۵۱]، [۲۵۲]، [۲۵۳]، [۲۵۴]، [۲۵۵]، [۲۵۶]، [۲۵۷]، [۲۵۸]، [۲۵۹]، [۲۶۰]، [۲۶۱]، [۲۶۲]، [۲۶۳]، [۲۶۴]، [۲۶۵]، [۲۶۶]، [۲۶۷]، [۲۶۸]، [۲۶۹]، [۲۷۰]، [۲۷۱]، [۲۷۲]، [۲۷۳]، [۲۷۴]، [۲۷۵]، [۲۷۶]، [۲۷۷]، [۲۷۸]، [۲۷۹]، [۲۸۰]، [۲۸۱]، [۲۸۲]، [۲۸۳]، [۲۸۴]، [۲۸۵]، [۲۸۶]، [۲۸۷]، [۲۸۸]، [۲۸۹]، [۲۹۰]، [۲۹۱]، [۲۹۲]، [۲۹۳]، [۲۹۴]، [۲۹۵]، [۲۹۶]، [۲۹۷]، [۲۹۸]، [۲۹۹]، [۳۰۰]، [۳۰۱]، [۳۰۲]، [۳۰۳]، [۳۰۴]، [۳۰۵]، [۳۰۶]، [۳۰۷]، [۳۰۸]، [۳۰۹]، [۳۱۰]، [۳۱۱]، [۳۱۲]، [۳۱۳]، [۳۱۴]، [۳۱۵]، [۳۱۶]، [۳۱۷]، [۳۱۸]، [۳۱۹]، [۳۲۰]، [۳۲۱]، [۳۲۲]، [۳۲۳]، [۳۲۴]، [۳۲۵]، [۳۲۶]، [۳۲۷]، [۳۲۸]، [۳۲۹]، [۳۳۰]، [۳۳۱]، [۳۳۲]، [۳۳۳]، [۳۳۴]، [۳۳۵]، [۳۳۶]، [۳۳۷]، [۳۳۸]، [۳۳۹]، [۳۴۰]، [۳۴۱]، [۳۴۲]، [۳۴۳]، [۳۴۴]، [۳۴۵]، [۳۴۶]، [۳۴۷]، [۳۴۸]، [۳۴۹]، [۳۵۰]، [۳۵۱]، [۳۵۲]، [۳۵۳]، [۳۵۴]، [۳۵۵]، [۳۵۶]، [۳۵۷]، [۳۵۸]، [۳۵۹]، [۳۶۰]، [۳۶۱]، [۳۶۲]، [۳۶۳]، [۳۶۴]، [۳۶۵]، [۳۶۶]، [۳۶۷]، [۳۶۸]، [۳۶۹]، [۳۷۰]، [۳۷۱]، [۳۷۲]، [۳۷۳]، [۳۷۴]، [۳۷۵]، [۳۷۶]، [۳۷۷]، [۳۷۸]، [۳۷۹]، [۳۸۰]، [۳۸۱]، [۳۸۲]، [۳۸۳]، [۳۸۴]، [۳۸۵]، [۳۸۶]، [۳۸۷]، [۳۸۸]، [۳۸۹]، [۳۹۰]، [۳۹۱]، [۳۹۲]، [۳۹۳]، [۳۹۴]، [۳۹۵]، [۳۹۶]، [۳۹۷]، [۳۹۸]، [۳۹۹]، [۴۰۰]، [۴۰۱]، [۴۰۲]، [۴۰۳]، [۴۰۴]، [۴۰۵]، [۴۰۶]، [۴۰۷]، [۴۰۸]، [۴۰۹]، [۴۱۰]، [۴۱۱]، [۴۱۲]، [۴۱۳]، [۴۱۴]، [۴۱۵]، [۴۱۶]، [۴۱۷]، [۴۱۸]، [۴۱۹]، [۴۲۰]، [۴۲۱]، [۴۲۲]، [۴۲۳]، [۴۲۴]، [۴۲۵]، [۴۲۶]، [۴۲۷]، [۴۲۸]، [۴۲۹]، [۴۳۰]، [۴۳۱]، [۴۳۲]، [۴۳۳]، [۴۳۴]، [۴۳۵]، [۴۳۶]، [۴۳۷]، [۴۳۸]، [۴۳۹]، [۴۴۰]، [۴۴۱]، [۴۴۲]، [۴۴۳]، [۴۴۴]، [۴۴۵]، [۴۴۶]، [۴۴۷]، [۴۴۸]، [۴۴۹]، [۴۵۰]، [۴۵۱]، [۴۵۲]، [۴۵۳]، [۴۵۴]، [۴۵۵]، [۴۵۶]، [۴۵۷]، [۴۵۸]، [۴۵۹]، [۴۶۰]، [۴۶۱]، [۴۶۲]، [۴۶۳]، [۴۶۴]، [۴۶۵]، [۴۶۶]، [۴۶۷]، [۴۶۸]، [۴۶۹]، [۴۷۰]، [۴۷۱]، [۴۷۲]، [۴۷۳]، [۴۷۴]، [۴۷۵]، [۴۷۶]، [۴۷۷]، [۴۷۸]، [۴۷۹]، [۴۸۰]، [۴۸۱]، [۴۸۲]، [۴۸۳]، [۴۸۴]، [۴۸۵]، [۴۸۶]، [۴۸۷]، [۴۸۸]، [۴۸۹]، [۴۹۰]، [۴۹۱]، [۴۹۲]، [۴۹۳]، [۴۹۴]، [۴۹۵]، [۴۹۶]، [۴۹۷]، [۴۹۸]، [۴۹۹]، [۵۰۰]، [۵۰۱]، [۵۰۲]، [۵۰۳]، [۵۰۴]، [۵۰۵]، [۵۰۶]، [۵۰۷]، [۵۰۸]، [۵۰۹]، [۵۱۰]، [۵۱۱]، [۵۱۲]، [۵۱۳]، [۵۱۴]، [۵۱۵]، [۵۱۶]، [۵۱۷]، [۵۱۸]، [۵۱۹]، [۵۲۰]، [۵۲۱]، [۵۲۲]، [۵۲۳]، [۵۲۴]، [۵۲۵]، [۵۲۶]، [۵۲۷]، [۵۲۸]، [۵۲۹]، [۵۳۰]، [۵۳۱]، [۵۳۲]، [۵۳۳]، [۵۳۴]، [۵۳۵]، [۵۳۶]، [۵۳۷]، [۵۳۸]، [۵۳۹]، [۵۴۰]، [۵۴۱]، [۵۴۲]، [۵۴۳]، [۵۴۴]، [۵۴۵]، [۵۴۶]، [۵۴۷]، [۵۴۸]، [۵۴۹]، [۵۵۰]، [۵۵۱]، [۵۵۲]، [۵۵۳]، [۵۵۴]، [۵۵۵]، [۵۵۶]، [۵۵۷]، [۵۵۸]، [۵۵۹]، [۵۶۰]، [۵۶۱]، [۵۶۲]، [۵۶۳]، [۵۶۴]، [۵۶۵]، [۵۶۶]، [۵۶۷]، [۵۶۸]، [۵۶۹]، [۵۷۰]، [۵۷۱]، [۵۷۲]، [۵۷۳]، [۵۷۴]، [۵۷۵]، [۵۷۶]، [۵۷۷]، [۵۷۸]، [۵۷۹]، [۵۸۰]، [۵۸۱]، [۵۸۲]، [۵۸۳]، [۵۸۴]، [۵۸۵]، [۵۸۶]، [۵۸۷]، [۵۸۸]، [۵۸۹]، [۵۹۰]، [۵۹۱]، [۵۹۲]، [۵۹۳]، [۵۹۴]، [۵۹۵]، [۵۹۶]، [۵۹۷]، [۵۹۸]، [۵۹۹]، [۶۰۰]، [۶۰۱]، [۶۰۲]، [۶۰۳]، [۶۰۴]، [۶۰۵]، [۶۰۶]، [۶۰۷]، [۶۰۸]، [۶۰۹]، [۶۱۰]، [۶۱۱]، [۶۱۲]، [۶۱۳]، [۶۱۴]، [۶۱۵]، [۶۱۶]، [۶۱۷]، [۶۱۸]، [۶۱۹]، [۶۲۰]، [۶۲۱]، [۶۲۲]، [۶۲۳]، [۶۲۴]، [۶۲۵]، [۶۲۶]، [۶۲۷]، [۶۲۸]، [۶۲۹]، [۶۳۰]، [۶۳۱]، [۶۳۲]، [۶۳۳]، [۶۳۴]، [۶۳۵]، [۶۳۶]، [۶۳۷]، [۶۳۸]، [۶۳۹]، [۶۴۰]، [۶۴۱]، [۶۴۲]، [۶۴۳]، [۶۴۴]، [۶۴۵]، [۶۴۶]، [۶۴۷]، [۶۴۸]، [۶۴۹]، [۶۵۰]، [۶۵۱]، [۶۵۲]، [۶۵۳]، [۶۵۴]، [۶۵۵]، [۶۵۶]، [۶۵۷]، [۶۵۸]، [۶۵۹]، [۶۶۰]، [۶۶۱]، [۶۶۲]، [۶۶۳]، [۶۶۴]، [۶۶۵]، [۶۶۶]، [۶۶۷]، [۶۶۸]، [۶۶۹]، [۶۷۰]، [۶۷۱]، [۶۷۲]، [۶۷۳]، [۶۷۴]، [۶۷۵]، [۶۷۶]، [۶۷۷]، [۶۷۸]، [۶۷۹]، [۶۸۰]، [۶۸۱]، [۶۸۲]، [۶۸۳]، [۶۸۴]، [۶۸۵]، [۶۸۶]، [۶۸۷]، [۶۸۸]، [۶۸۹]، [۶۹۰]، [۶۹۱]، [۶۹۲]، [۶۹۳]، [۶۹۴]، [۶۹۵]، [۶۹۶]، [۶۹۷]، [۶۹۸]، [۶۹۹]، [۷۰۰]، [۷۰۱]، [۷۰۲]، [۷۰۳]، [۷۰۴]، [۷۰۵]، [۷۰۶]، [۷۰۷]، [۷۰۸]، [۷۰۹]، [۷۱۰]، [۷۱۱]، [۷۱۲]، [۷۱۳]، [۷۱۴]، [۷۱۵]، [۷۱۶]، [۷۱۷]، [۷۱۸]، [۷۱۹]، [۷۲۰]، [۷۲۱]، [۷۲۲]، [۷۲۳]، [۷۲۴]، [۷۲۵]، [۷۲۶]، [۷۲۷]، [۷۲۸]، [۷۲۹]، [۷۳۰]، [۷۳۱]، [۷۳۲]، [۷۳۳]، [۷۳۴]، [۷۳۵]، [۷۳۶]، [۷۳۷]، [۷۳۸]، [۷۳۹]، [۷۴۰]، [۷۴۱]، [۷۴۲]، [۷۴۳]، [۷۴۴]، [۷۴۵]، [۷۴۶]، [۷۴۷]، [۷۴۸]، [۷۴۹]، [۷۵۰]، [۷۵۱]، [۷۵۲]، [۷۵۳]، [۷۵۴]، [۷۵۵]، [۷۵۶]، [۷۵۷]، [۷۵۸]، [۷۵۹]، [۷۶۰]، [۷۶۱]، [۷۶۲]، [۷۶۳]، [۷۶۴]، [۷۶۵]، [۷۶۶]، [۷۶۷]، [۷۶۸]، [۷۶۹]، [۷۷۰]، [۷۷۱]، [۷۷۲]، [۷۷۳]، [۷۷۴]، [۷۷۵]، [۷۷۶]، [۷۷۷]، [۷۷۸]، [۷۷۹]، [۷۸۰]، [۷۸۱]، [۷۸۲]، [۷۸۳]، [۷۸۴]، [۷۸۵]، [۷۸۶]، [۷۸۷]، [۷۸۸]، [۷۸۹]، [۷۹۰]، [۷۹۱]، [۷۹۲]، [۷۹۳]، [۷۹۴]، [۷۹۵]، [۷۹۶]، [۷۹۷]، [۷۹۸]، [۷۹۹]، [۸۰۰]، [۸۰۱]، [۸۰۲]، [۸۰۳]، [۸۰۴]، [۸۰۵]، [۸۰۶]، [۸۰۷]، [۸۰۸]، [۸۰۹]، [۸۱۰]، [۸۱۱]، [۸۱۲]، [۸۱۳]، [۸۱۴]، [۸۱۵]، [۸۱۶]، [۸۱۷]، [۸۱۸]، [۸۱۹]، [۸۲۰]، [۸۲۱]، [۸۲۲]، [۸۲۳]، [۸۲۴]، [۸۲۵]، [۸۲۶]، [۸۲۷]، [۸۲۸]، [۸۲۹]، [۸۳۰]، [۸۳۱]، [۸۳۲]، [۸۳۳]، [۸۳۴]، [۸۳۵]، [۸۳۶]، [۸۳۷]، [۸۳۸]، [۸۳۹]، [۸۴۰]، [۸۴۱]، [۸۴۲]، [۸۴۳]، [۸۴۴]، [۸۴۵]، [۸۴۶]، [۸۴۷]، [۸۴۸]، [۸۴۹]، [۸۵۰]، [۸۵۱]، [۸۵۲]، [۸۵۳]، [۸۵۴]، [۸۵۵]، [۸۵۶]، [۸۵۷]، [۸۵۸]، [۸۵۹]، [۸۶۰]، [۸۶۱]، [۸۶۲]، [۸۶۳]، [۸۶۴]، [۸۶۵]، [۸۶۶]، [۸۶۷]، [۸۶۸]، [۸۶۹]، [۸۷۰]، [۸۷۱]، [۸۷۲]، [۸۷۳]، [۸۷۴]، [۸۷۵]، [۸۷۶]، [۸۷۷]، [۸۷۸]، [۸۷۹]، [۸۸۰]، [۸۸۱]، [۸۸۲]، [۸۸۳]، [۸۸۴]، [۸۸۵]، [۸۸۶]، [۸۸۷]، [۸۸۸]، [۸۸۹]، [۸۹۰]، [۸۹۱]، [۸۹۲]، [۸۹۳]، [۸۹۴]، [۸۹۵]، [۸۹۶]، [۸۹۷]، [۸۹۸]، [۸۹۹]، [۹۰۰]، [۹۰۱]، [۹۰۲]، [۹۰۳]، [۹۰۴]، [۹۰۵]، [۹۰۶]، [۹۰۷]، [۹۰۸]، [۹۰۹]، [۹۱۰]، [۹۱۱]، [۹۱۲]، [۹۱۳]، [۹۱۴]، [۹۱۵]، [۹۱۶]، [۹۱۷]، [۹۱۸]، [۹۱۹]، [۹۲۰]، [۹۲۱]، [۹۲۲]، [۹۲۳]، [۹۲۴]، [۹۲۵]، [۹۲۶]، [۹۲۷]، [۹۲۸]، [۹۲۹]، [۹۳۰]، [۹۳۱]، [۹۳۲]، [۹۳۳]، [۹۳۴]، [۹۳۵]، [۹۳۶]، [۹۳۷]، [۹۳۸]، [۹۳۹]، [۹۴۰]، [۹۴۱]، [۹۴۲]، [۹۴۳]، [۹۴۴]، [۹۴۵]، [۹۴۶]، [۹۴۷]، [۹۴۸]، [۹۴۹]، [۹۵۰]، [۹۵۱]، [۹۵۲]، [۹۵۳]، [۹۵۴]، [۹۵۵]، [۹۵۶]، [۹۵۷]، [۹۵۸]، [۹۵۹]، [۹۶۰]، [۹۶۱]، [۹۶۲]، [۹۶۳]، [۹۶۴]، [۹۶۵]، [۹۶۶]، [۹۶۷]، [۹۶۸]، [۹۶۹]، [۹۷۰]، [۹۷۱]، [۹۷۲]، [۹۷۳]، [۹۷۴]، [۹۷۵]، [۹۷۶]، [۹۷۷]، [۹۷۸]، [۹۷۹]، [۹۸۰]، [۹۸۱]، [۹۸۲]، [۹۸۳]، [۹۸۴]، [۹۸۵]، [۹۸۶]، [۹۸۷]، [۹۸۸]، [۹۸۹]، [۹۹۰]، [۹۹۱]، [۹۹۲]، [۹۹۳]، [۹۹۴]، [۹۹۵]، [۹۹۶]، [۹۹۷]، [۹۹۸]، [۹۹۹]، [۱۰۰۰]، [۱۰۰۱]، [۱۰۰۲]، [۱۰۰۳]، [۱۰۰۴]، [۱۰۰۵]، [۱۰۰۶]، [۱۰۰۷]، [۱۰۰۸]، [۱۰۰۹]، [۱۰۱۰]، [۱۰۱۱]، [۱۰۱۲]، [۱۰۱۳]، [۱۰۱۴]، [۱۰۱۵]، [۱۰۱۶]، [۱۰۱۷]، [۱۰۱۸]، [۱۰۱۹]، [۱۰۲۰]، [۱۰۲۱]، [۱۰۲۲]، [۱۰۲۳]، [۱۰۲۴]، [۱۰۲۵]، [۱۰۲۶]، [۱۰۲۷]، [۱۰۲۸]، [۱۰۲۹]، [۱۰۳۰]، [۱۰۳۱]، [۱۰۳۲]، [۱۰۳۳]، [۱۰۳۴]، [۱۰۳۵]، [۱۰۳۶]، [۱۰۳۷]، [۱۰۳۸]، [۱۰۳۹]، [۱۰۴۰]، [۱۰۴۱]، [۱۰۴۲]، [۱۰۴۳]، [۱۰۴۴]، [۱۰۴۵]، [۱۰۴۶]، [۱۰۴۷]، [۱۰۴۸]، [۱۰۴۹]، [۱۰۵۰]، [۱۰۵۱]، [۱۰۵۲]، [۱۰۵۳]، [۱۰۵۴]، [۱۰۵۵]، [۱۰۵۶]، [۱۰۵۷]، [۱۰۵۸]، [۱۰۵۹]، [۱۰۶۰]، [۱۰۶۱]، [۱۰۶۲]، [۱۰۶۳]، [۱۰۶۴]، [۱۰۶۵]، [۱۰۶۶]، [۱۰۶۷]، [۱۰۶۸]، [۱۰۶۹]، [۱۰۷۰]، [۱۰۷۱]، [۱۰۷۲]، [۱۰۷۳]، [۱۰۷۴]، [۱۰۷۵]، [۱۰۷۶]، [۱۰۷۷]، [۱۰۷۸]، [۱۰۷۹]، [۱۰۸۰]، [۱۰۸۱]، [۱۰۸۲]، [۱۰۸۳]، [۱۰۸۴]، [۱۰۸۵]، [۱۰۸۶]، [۱۰۸۷]، [۱۰۸۸]، [۱۰۸۹]، [۱۰۹۰]، [۱۰۹۱]، [۱۰۹۲]، [۱۰۹۳]، [۱۰۹۴]، [۱۰۹۵]، [۱۰۹۶]، [۱۰۹۷]، [۱۰۹۸]، [۱۰۹۹]، [۱۱۰۰]، [۱۱۰۱]، [۱۱۰۲]، [۱۱۰۳]، [۱۱۰۴]، [۱۱۰۵]، [۱۱۰۶]، [۱۱۰۷]، [۱۱۰۸]، [۱۱۰۹]، [۱۱۱۰]، [۱۱۱۱]، [۱۱۱۲]، [۱۱۱۳]، [۱۱۱۴]، [۱۱۱۵]، [۱۱۱۶]، [۱۱۱۷]، [۱۱۱۸]، [۱۱۱۹]، [۱۱۲۰]، [۱۱۲۱]، [۱۱۲۲]، [۱۱۲۳]، [۱۱۲۴]، [۱۱۲۵]، [۱۱۲۶]، [۱۱۲۷]، [۱۱۲۸]، [۱۱۲۹]، [۱۱۳۰]، [۱۱۳۱]، [۱۱۳۲]، [۱۱۳۳]، [۱۱۳۴]، [۱۱۳۵]، [۱۱۳۶]، [۱۱۳۷]، [۱۱۳۸]، [۱۱۳۹]، [۱۱۴۰]، [۱۱۴۱]، [۱۱۴۲]، [۱۱۴۳]، [۱۱۴۴]، [۱۱۴۵]، [۱۱۴۶]، [۱۱۴۷]، [۱۱۴۸]، [۱۱۴۹]، [۱۱۵۰]، [۱۱۵۱]، [۱۱۵۲]، [۱۱۵۳]، [۱۱۵۴]، [۱۱۵۵]، [۱۱۵۶]، [۱۱۵۷]، [۱۱۵۸]، [۱۱۵۹]، [۱۱۶۰]، [۱۱۶۱]، [۱۱۶۲]، [۱۱۶۳]، [۱۱۶۴]، [۱۱۶۵]، [۱۱۶۶]، [۱۱۶۷]، [۱۱۶۸]، [۱۱۶۹]، [۱۱۷۰]، [۱۱۷۱]، [۱۱۷۲]، [۱۱۷۳]، [۱۱۷۴]، [۱۱۷۵]، [۱۱۷۶]، [۱۱۷۷]، [۱۱۷۸]، [۱۱۷۹]، [۱۱۸۰]، [۱۱۸۱]، [۱۱۸۲]، [۱۱۸۳]، [۱۱۸۴]، [۱۱۸۵]، [۱۱۸۶]، [۱۱۸۷]، [۱۱۸۸]، [۱۱۸۹]، [۱۱۹۰]، [۱۱۹۱]، [۱۱۹۲]، [۱۱۹۳]، [۱۱۹۴]، [۱۱۹۵]، [۱۱۹۶]، [۱۱۹۷]، [۱۱۹۸]، [۱۱۹۹]، [۱۲۰۰]، [۱۲۰۱]، [۱۲۰۲]، [۱۲۰۳]، [۱۲۰۴]، [۱۲۰۵]، [۱۲۰۶]، [۱۲۰۷]، [۱۲۰۸]، [۱۲۰۹]، [۱۲۱۰]، [۱۲۱۱]، [۱۲۱۲]، [۱۲۱۳]، [۱۲۱۴]، [۱۲۱۵]، [۱۲۱۶]، [۱۲۱۷]، [۱۲۱۸]، [۱۲۱۹]، [۱۲۲۰]، [۱۲۲۱]، [۱۲۲۲]، [۱۲۲۳]، [۱۲۲۴]، [۱۲۲۵]، [۱۲۲۶]، [۱۲۲۷]، [۱۲۲۸]، [۱۲۲۹]، [۱۲۳۰]، [۱۲۳۱]، [۱۲۳۲]، [۱۲۳۳]، [۱۲۳



شکل ۱. نمودار گردش طرح بهینه‌سازی طیفی به کمک الگوریتم توارثی.

### استخراج مزدهی مناسب و بحث نظری

در این پژوهش پیوند تک نقطه‌یی، انتخاب مقایسه‌یی، و نیز نخبه‌گرایی به‌کار رفته است، تا شایسته‌ترین فرد هر نسل به نسل بعد انتقال یابد. همچنین مزدهی نشان‌یابی صحیح علاوه بر مزدهی سنتی دودویی ارثه و ویژه‌سازی شده و نتایج مقایسه شده‌اند. طی مزدهی دودویی برای فرمول‌بندی نخست، کروموزومی شامل  $N$  بیت دودویی جهت انتخاب از کاتالوگ مزبور به‌کار رفته و در فرمول‌بندی دوم،  $K$  رشته‌ی دودویی هر یک به طول  $b$  بیت برای تعیین ضرایب مقیاس کروموزوم استفاده شده است. لذا بعد فضای جستجو در  $2^N$  و  $2^{Kb}$  خواهد بود. در کروموزوم متناظر قسمت اول هر الل با مقدار  $1$  نشان‌دهنده‌ی شرکت طیف زلزله‌یی با شماره‌ی ردیف  $z$  مربوط در مجموعه‌ی شتاب‌نگاشت‌هاست. طبق فرمول‌بندی باید الگوریتم طوری تنظیم شود که تعداد مؤلفه‌های  $1$  بیش از تعداد  $K$  نباشند. پس از اعمال این قید به ایجاد جمعیت نخست در مرحله‌ی جهش و پیوند باید توجه شود که این محدودیت تعداد اعداد  $1$  در قسمت اول کروموزوم هم رعایت شود. بدین منظور در هنگام پیوند نقاطی که تعداد اعداد  $1$  از اول دو کروموزوم تا آن محل یکسان است، به‌منزله‌ی نقاط ممکن برای پیوند آن دو معرفی می‌شوند؛ تا تعداد شتاب‌نگاشت‌های منتخب ثابت بماند. همچنین تعداد بیت‌های جهش یافته‌ی هر کروموزوم در این بخش دودویی باید زوج باشد (شکل ۲ و ۳).

مزدهی دودویی با چالش‌هایی برای حل مسائل گسسته همراه است، که از آن جمله می‌توان به تعددهی بیش از حد لازم فضای جستجو اشاره کرد. مثلاً برای آدرس‌دهی ۱۳۶ شتاب‌نگاشت در یک کاتالوگ موجود زلزله، رشته‌ی دودویی با طول کمینه‌ی ۸ بیت لازم است؛ زیرا:  $2^8 < 136 < 2^7$ . بنابراین تعداد  $120 = 136 - 2^8$  حالت اضافی برای هر متغیر تولید می‌شود و به‌عبارت دیگر بعد فضای جستجوی دسته‌ی ۷ تایی شتاب‌نگاشت در مزدهی دودویی  $2^{56}$  و از مرتبه‌ی  $10^{16}$  خواهد بود.

Maximize

$$F(X) = -Error_1 = -\frac{\sum_{T=T_1}^{T_2} (Sa_{Mean}(T) - Sa_{Target}(T))}{\sum_{T=T_1}^{T_2} Sa_{Target}(T)}$$

$$Sa_{Mean}(T) = \beta \sum_{i=1}^k Sa_i(T)/K$$

Subject to  $1 \leq x_i \leq N, i = 1, 2, \dots, K$  (۱)

فرمول‌بندی دوم به‌صورت رابطه‌ی ۲ معرف تغییر ضرایب مقیاس شتاب‌نگاشت‌های منتخب مرحله‌ی ۱ است:

Maximize

$$F(X) = -Error_2 = -\frac{\sum_{T=T_1}^{T_2} (Sa_{Mean}(T) - Sa_{Target}(T))}{\sum_{T=T_1}^{T_2} Sa_{Target}(T)}$$

$$Sa_{Mean}(T) = \beta \sum_{i=1}^k [Sa_i(T) \times y_i / (\sum_{j=1}^k y_j)]$$

Subject to  $y^L \leq y_i \leq y^U, i = 1, 2, \dots, K$  (۲)

که در آن،  $X = \{x_i\}$  بردار شماره‌ی  $K$  نگاشت منتخب از میان  $N$  زوج شتاب‌نگاشت و  $Y = \{y_i\}$  ضرایب مقیاس آن‌هاست.  $[T_1, T_2]$  معرف بازه‌ی زمان تناوب موردنظر برای تطبیق طیفی است. پس از انتخاب رکوردها و مقیاس‌کردن آن‌ها با ضرایب واحد در فرمول‌بندی ۱ یا ضرایب حاصل از فرمول‌بندی ۲ بین حدود  $y^U$  و  $y^L$ ، مقادیر طیفی  $Sa(T)$  در یک ضریب نهایی  $\beta$  ضرب و اصلاح می‌شوند، چنان‌که کمتر از مقادیر طیف هدف  $Sa_{Target}(T)$  نباشند. سپس درصد اختلاف سطح زیر نمودار طیف حاصل و هدف یعنی  $Error_1$  در فرمول‌بندی ۱ و  $Error_2$  در فرمول‌بندی ۲ برای محاسبه‌ی تابع شایستگی  $F$  به‌کار می‌روند.

### مبانی نظری الگوریتم توارثی

یکی از عمومی‌ترین روش‌های بهینه‌یابی فراابتکاری، الگوریتم توارثی است. این شیوه‌ی عددی که بر فرایند بقا-گوناگونه‌های شایسته‌تر طی تکامل نسل‌ها استوار است، در سال ۱۹۷۵ میلادی به‌طور مدون ارائه شد.<sup>[۸]</sup> این شیوه در یک فرایند تکراری، هر بار طرح شایسته‌تری ایجاد می‌کند؛ تا اینکه بهینه‌ی موردنظر با افزایش شایستگی جمعیت طی تکامل نسل‌ها حاصل شود. تعاریف اصلی الگوریتم توارثی عبارت‌اند از:

- کروموزوم: عبارت است از رشته‌یی معرف یک نقطه در فضای متغیرهای قابل طراحی،
- ژن: هر واحد (بیت) از این رشته (کروموزوم)،
- الل: مقدار نسبت داده‌شده به یک ژن.

برای اجرای یک الگوریتم توارثی ابتدا متغیرهای طراحی و شیوه‌ی رمزگذاری /رمزگشایی<sup>۱</sup> آن‌ها در کروموزوم مشخص می‌شود. سپس تابع ارزیابی شایستگی به‌منزله‌ی پل ارتباطی یک متغیر بین فضای گسسته‌ی تصمیم با فضای مسئله انتخاب خواهد شد. نمودار گردش الگوریتم توارثی استاندارد در شکل ۱ آمده است.

از آنجا که برای میانگین طیفی طبق فرمول بندی ۲ نسبت ضرایب  $y$  به یکدیگر اهمیت دارد، بازه‌ی تغییر اولیه‌ی آن‌ها بین ۱ تا عدد تفکیک انتخابی (مثلاً  $R = 10$ ) در نظر گرفته شده است و نتایج به بازه‌ی نهایی میان حدود بالا و پایین ضرایب نگاشته می‌شود. در این شیوه طول کروموزوم ثابت است و برای صحت عمل پیوند، ژن‌های با الل مشابه در ۲ کروموزوم والد پیش از پیوند چنان جابجا می‌شوند که زیر هم قرارگیرند.

همچنین با عنایت به تغییر الفبای ژنتیک، طی عملگر جهش به جای تعویض مقدار الل فعلی به‌طور تصادفی به عددی در بازه‌ی  $\{1, 2, \dots, N\}$  به استثنای مقادیر ژن‌های دیگر همان کروموزوم تغییر می‌یابد. در فرمول بندی ۲ مقادیر تکراری ژن‌ها مجاز است و این استثنا فقط مقدار خود آن الل جهش‌یافته را شامل می‌شود.

### کاربرد روش‌ها در تعیین بهینه شتاب‌نگاشت‌ها

در این تحقیق، مسئله با یک فهرست ۱۳۶ تایی از زوج شتاب‌نگاشت‌های موجود برای انتخاب در مجموعه‌هایی ۷ تایی با برنامه‌نویسی رایانه‌ی لازم، مورد بررسی قرار گرفته است.<sup>[۹]</sup> برای هر دسته پارامترهای کنترلی در جدول‌های ۱ و ۲ چندین اجرا صورت گرفته است و نتایج میانه در شکل‌های بعدی آمده‌اند. طیف هدف از استاندارد  $2800$  برای خاک نوع ۲ و منطقه با لرزه‌خیزی بسیار زیاد  $g 0.35$  اقتباس شده است. مشابه ادبیات فنی، بازه‌ی تناوبی نمونه براساس تناوب سازه  $1.26$  ثانیه محاسبه و حدود ضرایب  $0.5$  تا  $1.5$  در نظر گرفته شده‌اند.<sup>[۷]</sup> در هر شیوه‌ی رمزدهی، ابتدا دسته‌ی ۷ تایی شتاب‌نگاشت طبق فرمول بندی ۱ انتخاب شده و سپس ضرایب ترکیب آن‌ها طبق فرمول بندی ۲ بهینه‌یابی می‌شود. نتایج نمونه طی جدول‌های ۳ تا ۶ و شکل‌های ۴ تا ۷ مقایسه شده‌اند. برای اینکه تصویری از میزان برتری بهینه‌یابی بر سعی و خطا به‌دست آید، در یک اجرا (شکل ۸) تعداد ۷ زمین‌لرزه به تصادف (روش مجاز درآیین‌نامه) از کاتالوگ موجود انتخاب شده‌اند (جدول ۷). مطابق نتایج جدول ۸، در این مرحله خطای نسبی محاسباتی رمزدهی دودویی  $4.8\%$  بوده است، که طی رمزدهی صحیح ارائه‌شده به  $3.4\%$  کاهش یافته است، چنان‌که روند هم‌گرایی متناظر در شکل ۵ نیز مؤید برتری کارایی محاسباتی رمزدهی صحیح است. همچنین مقایسه‌ی رکوردهای حاصل در جدول‌های ۳ و ۴ بستگی

۱	۰	۰	۱	۰	...	۱	۰	۰	۰	۱
---	---	---	---	---	-----	---	---	---	---	---

الف) فرمول بندی ۱

ضریب آخر			...			ضریب ۱		
۱	۱	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۱

ب) فرمول بندی ۲

شکل ۲. ساختار یک کروموزوم نمونه.

۱	۰	۰	۱	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۱
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

والد ۱

۰	۰	۱	۰	۰	۰	۱	۱	۰	۱	۰
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

والد ۲

مقادیر جمع‌ی یک										
۱	۱	۱	۲	۲	۲	۳	۳	۳	۳	۴

والد ۱

۰	۰	۱	۱	۱	۱	۲	۳	۳	۴	۴
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

والد ۲

مواضع مجاز پیوند

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

شکل ۳. عملگر پیوند نمونه‌ی ویژه‌ی مسئله در فرمول بندی ۱.

لذا در ادامه‌ی این پژوهش، رمزدهی به نشانه‌ی عدد صحیح به این ترتیب معرفی و استفاده شده است. در این شیوه طول کروموزوم به  $K$  ژن تقلیل یافته است، به‌طوری‌که مقادیر قابل انتساب به هر ژن بین ۱ تا  $N$  باشد. عدد  $N$  برای فرمول بندی ۱ برابر تعداد زوج نگاشت‌های موجود در کاتالوگ و در فرمول بندی ۲ معرف میزان تفکیک گسسته‌ی ضرایب خواهد بود. این شیوه‌ی رمزدهی در مثال فوق به بیشینه‌ی  $136^7$  گزینه‌ی انتخاب دسته‌ی شتاب‌نگاشت یعنی فضای جستجوی حدود  $10^6$  برابر کوچک‌تر از شیوه‌ی رمزدهی دودویی منجر می‌شود، لذا کارایی بالاتری برای الگوریتم در جستجوی بهینه‌ی آن فضا انتظار می‌رود. مقایسه‌ی نتایج اجرای الگوریتم با هر دو شیوه‌ی رمزدهی در ادامه ارائه می‌شود.

جدول ۱. پارامترهای کنترلی روش اجرای نخست بهینه‌یابی با فرمول بندی ۱ و ( $K = 2$ ).

Mutation Probability	Crossover Probability	Crossover type	Population Size	Number of Records Factors	Coding	Work. ID
0.2	0.8	تک نقطه‌یابی	50	136	دودویی	۱
0.2	0.8	تک نقطه‌یابی	50	136	صحیح	۲

جدول ۲. پارامترهای کنترلی اجرای بهینه‌یابی برای فرمول بندی ۲.

Mutation Probability	Crossover Probability	Crossover type	Population Size	Number of Records Factors	Coding	Work. ID
0.2	0.8	تک نقطه‌یابی	30	7	دودویی	۱
0.2	0.8	تک نقطه‌یابی	30	7	صحیح	۲

جدول ۳. زمین‌لرزه‌های انتخابی در روش اجرای ۱.

BIG BEAR ۹۲/۰۶/۲۸ ۰۸:۰۵, SAN BERNARDINO
BORAH PEAK ۸۳/۱۰/۲۸ ۱۴:۰۶, PBF
CHALFANT ۸۶/۰۷/۲۱ ۱۴:۵۱, ZACK BROTHERS RANCH
CHI-CHI ۹۹/۰۹/۲۲, CHY ۰۲۲
LIVERMORE ۸۰/۰۱/۲۴ ۱۹:۰۰, ANTIOCH
LOMA PRIETA ۸۹/۱۰/۱۸ ۰۰:۰۵, MONTEREY CITY HALL
NORTHRIDGE, ۹۴/۰۱/۱۷ ۱۲:۳۱, VASQUEZ ROCKS PARK

جدول ۴. زمین‌لرزه‌های انتخابی در روش اجرای ۲.

BIG BEAR ۹۲/۰۶/۲۸ ۰۸:۰۵, SAN BERNARDINO
CHALFANT ۸۶/۰۷/۲۱ ۱۴:۵۱, ZACK BROTHERS RANCH
IRPINIA EQ, ۸۰/۱۱/۲۳ ۳۴/۱۹, ARIENZA
LIVERMORE ۸۰/۰۱/۲۴ ۱۹:۰۰, HAYWARD CSUH STADIUM
LOMA PRIETA ۸۹/۱۰/۱۸ ۰۰:۰۵, COYOTE LAKE DAM SW ABUT
LYTLE CREEK ۷۰/۰۹/۱۲ ۱۴:۳۰, CASTAIC OLD RIDGE RT
LYTLE CREEK ۷۰/۰۹/۱۲ ۱۴:۳۰, WRIGHTWOOD

جدول ۵. ضرایب بهینه برای زمین‌لرزه‌های منتخب در روش اجرای ۳.

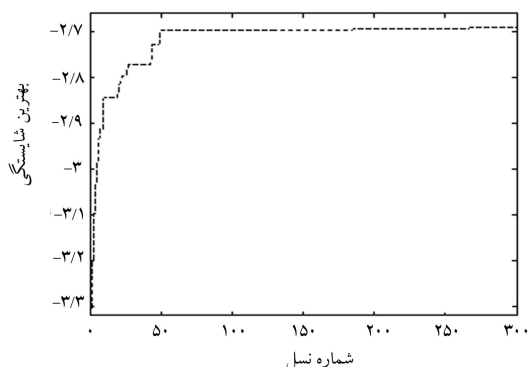
۱/۳۵۰	BIG BEAR ۹۲/۰۶/۲۸ ۰۸:۰۵, SAN BERNARDINO
۱/۵۰۰	BORAH PEAK ۸۳/۱۰/۲۸ ۱۴:۰۶, PBF
۱/۱۲۲	CHALFANT ۸۶/۰۷/۲۱ ۱۴:۵۱, ZACK BROTHERS RANCH
۰/۵۰۸	CHI-CHI ۹۹/۰۹/۲۰, CHY ۰۲۲
۰/۵۰۸	LIVERMORE ۸۰/۰۱/۲۴ ۱۹:۰۰, ANTIOCH
۰/۶۴۱	LOMA PRIETA ۸۹/۱۰/۱۸ ۰۰:۰۵, MONTEREY CITY HALL
۱/۵۰۰	NORTHRIDGE ۹۴/۰۱/۱۷ ۱۲:۳۱, VASQUEZ ROCKS PARK

جدول ۶. ضرایب بهینه برای زمین‌لرزه‌های منتخب در روش اجرای ۴.

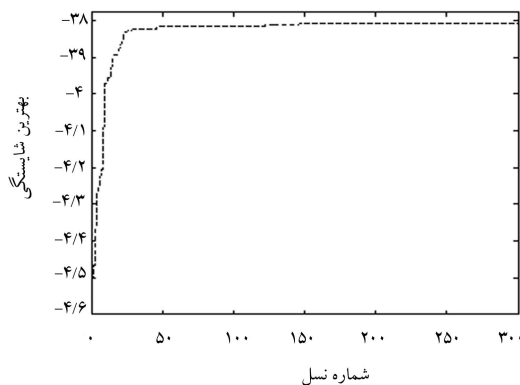
۰/۷۲۹	BIG BEAR ۹۲/۰۶/۲۸ ۰۸:۰۵, SAN BERNARDINO
۰/۹۹۹	CHALFANT ۸۶/۰۷/۲۱ ۱۴:۵۱, ZACK BROTHERS RANCH
۰/۹۲۸	IRPINIA EQ ۸۰/۲۳/۱۱ ۱۹:۳۴, ARIENZA
۱/۰۰۶	LIVERMORE ۸۰/۰۱/۲۴ ۱۹:۰۰, HAYWARD CSUH STADIUM
۱/۲۶۹	LOMA PRIETA ۸۹/۱۰/۱۸ ۰۰:۰۵, COYOTE LAKE DAM SW ABUT
۱/۱۸۷	LYTLE CREEK ۷۰/۰۹/۱۲ ۱۴:۳۰, CASTAIC OLD RIDGE RT
۱/۱۸۰	LYTLE CREEK ۷۰/۰۹/۱۲ ۱۴:۳۰, WRIGHTWOOD

جدول ۷. زمین‌لرزه‌هایی که به‌طور اتفاقی از کاتالوگ انتخاب شده‌اند (ردیف اجرای ۵).

BORAH PEAK ۸۳/۱۰/۲۸ ۱۴:۰۶, CPP-۶۰۱
BORAH PEAK ۸۳/۱۰/۲۸ ۱۴:۰۶, TAN
CHI-CHI ۹۹/۰۹/۲۰, CHY ۰۱۹
KOBE ۹۵/۰۱/۱۶ ۲۰:۴۶, MZH
LIVERMORE ۸۰/۰۱/۲۴ ۱۹:۰۰, SAN RAMON KODAD BLDG
LYTLE CREEK ۷۰/۰۹/۱۲ ۱۴:۳۰, WRIGHTWOOD
NORTHRIDGE ۹۴/۰۱/۱۷ ۱۲:۳۱, VASQUEZ ROCKS PARK

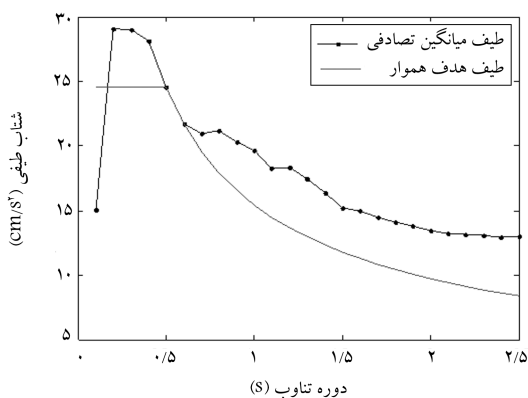


الف) رمزدهی صحیح روش اجرای ۴؛



ب) رمزدهی باینری روش اجرای ۳.

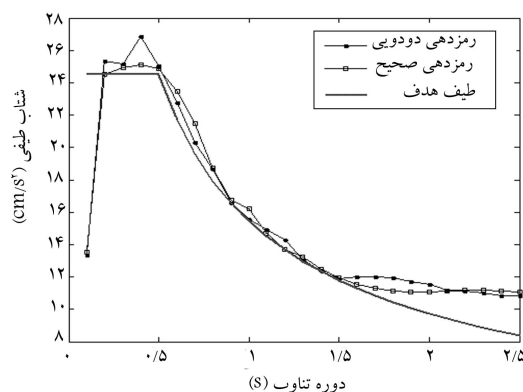
شکل ۷. روند همگرایی روش‌های مختلف در بهینه‌یابی ضرایب دسته‌ی منتخب شتاب‌نگاشت.



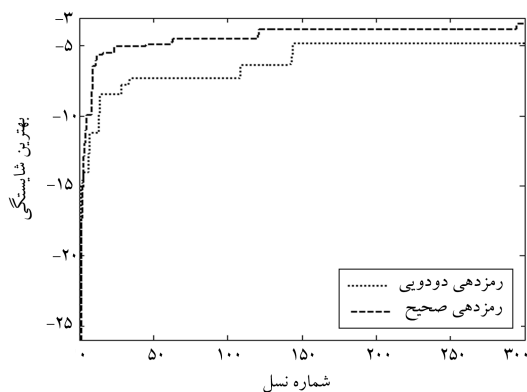
شکل ۸. طیف حاصل از انتخاب تصادفی شتاب‌نگاشت‌ها.

جدول ۸. مقایسه‌ی خطای حاصل از اجرا با روش‌های مختلف.

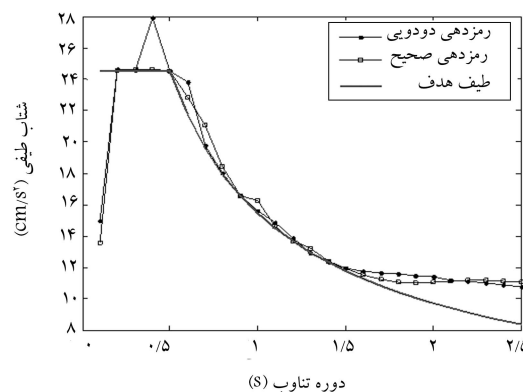
Computational error (%)	WorkID
۱۶,۰۴	۰
۴,۸۶	۱
۳,۴۶	۲
۳,۸۱	۳
۲,۶۹	۴



شکل ۹. مقایسه‌ی طیف حاصل از انتخاب بهینه‌ی دسته‌ی شتاب‌نگاشت ۷ تایی در رمزدهی دودویی با صحیح طبق فرمول بندی ۱.



شکل ۱۰. مقایسه‌ی روند همگرایی رمزدهی دودویی و صحیح در انتخاب بهینه‌ی دسته‌ی شتاب‌نگاشت ۷ تایی.



شکل ۱۱. مقایسه‌ی طیف حاصل از بهینه‌یابی ضرایب دسته‌ی منتخب شتاب‌نگاشت طبق فرمول بندی ۲.

نتایج در تعداد محدود تکرار نسل‌ها به روش و رمزدهی به‌کاررفته را آشکار می‌سازد. حل مسئله با فرمول بندی ۱ معادل کاربرد ضرایب یکسان میانگین‌گیری است. در ادامه، با بهینه‌یابی این ضرایب برای مجموعه‌ی منتخب مرحله‌ی پیش، خطاهای نسبی به‌طور چشمگیری کاهش یافته است و به ترتیب ۳,۸۱ و ۲,۶۹ درصد برای رمزدهی دودویی و صحیح است. همچنین بهبود تطبیق طیفی با مقایسه‌ی شکل‌های ۴ و ۶ به‌خوبی مشاهده می‌شود. در این حالت نیز مقایسه‌ی روند همگرایی در شکل ۷ با پارامترهای کنترلی و تکرارهای یکسان (طبق جدول ۲) برتری رمزدهی صحیح ویژه‌ی این پژوهش را نسبت به روش دودویی نشان می‌دهد.

## نتیجه‌گیری

در این پژوهش مسئله‌ی تطبیق طیفی حاصل از رکوردهای موجود در قالب دو فرمول‌بندی ۱ و ۲ بررسی شده است. با توجه به بحث و محاسبه‌ی صورت‌گرفته در ابعاد فضای جستجو و تعدد گزینه‌ها، می‌توان دریافت که سعی و خطا در انتخاب شتاب‌نگاشت‌ها مردود بوده است و باید الگوریتم‌های بهینه‌یابی را برای حل مسئله به‌کار برد. بدین منظور از الگوریتم توارثی به‌منزله‌ی شیوه‌ی معتبر با کاربرد نوین رمزدهی صحیح علاوه بر نوع دودویی استفاده و عملگرهای لازم برای فرمول‌بندی‌های این نوشتار ویژه‌سازی شد. طی بحث نظری آشکار شد که رمزدهی رایج دودویی فضای جستجویی بسیار

بزرگ‌تر از حد لازم (حدود ۱۰۰ برابر در مثال مورد بررسی) ایجاد می‌کند. در تأیید این مطلب به کمک نتایج اجرا با پارامترهای کنترلی مشابه در شکل ۴ مشاهده می‌شود که طیف حاصل از جستجوی ژنتیک با رمزدهی دودویی نسبت به نتیجه‌ی جدید رمزدهی صحیح دورتر از طیف هدف استاندارد طراحی (با تطبیق کمتر) است.

به‌عنوان جمع‌بندی باید گفت: اولاً، تطبیق طیفی مستلزم انتخاب دسته‌ی بهینه‌ی شتاب‌نگاشت از کاتالوگ موجود است؛ و ثانیاً، با بهینه‌یابی ضرایب میانگین‌گیری و مقیاس‌کردن افزایش و بهبود خواهد یافت. نتایج حاصل در این تحقیق حاکی از موفقیت در کاربرد و کارایی الگوریتم توارثی برای فرمول‌بندی‌های مذکور و مناسب بودن رمزدهی ویژه و صحیح معرفی‌شده برای حوزه‌ی گسسته در این مسئله و برتری آن نسبت به شیوه‌ی دودویی است، که علاوه بر بحث نظری در نتایج نیز مشاهده شد.

## پانویس

1. coding/decoding

## منابع (References)

1. IBC, *International Building Code, 2006* International Code Council, U.S.A. (2006).
2. Iranian Code of Practice for Seismic Resistant Design of Buildings, Standard No.2800, 3rd Ed., Building and Housing Research Center (In Persian)(2005).
3. Krawinkler, H. and Alavi, B., "Development of improved design procedures for near fault ground motions", *Proc. of SMIP98, Seminar on Utilization of Strong Motion Data*, Oakland, Calif. (1998).
4. Behnamfar, F., Khodaparast, A., Bahmanzadeh, A. and "An accelerogram scaling method for non-linear dynamic analysis compared with 2800-code procedure", 4th National conference on over view of Seismic- Resistant Design of Buildings Code, Standard 2800, (In Persian)(2009).
5. Kurama, Y.C. and Farrow, k.T. "Ground motion scaling methods for different site conditions and structure characteristics", *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, **32**(15), pp. 2425-2450 (2003),
6. Shahrouzi, M. "A new hybrid genetic and swarm optimization for earthquake accelerogram scaling", *International Journal of Optimization in Civil Engineering*, **1**(1), pp. 127-140 (2011).
7. Naeim, F., Alimoradi, A. and Pezeshk, Sh. "Selection and scaling of ground motion time histories for structural design using genetic algorithms", *Earthquake Spectra*, **20**(2), pp. 413-426 (2004).
8. Holland, H.J., *Adaptation in Natural and Artificial Systems, an Introductory Analysis with Application to Biology, Control and Artificial Intelligence*, Ann. Arbor, University of Michigan Press (1975).
9. PEER Strong Motion Database, <http://peer.berkeley.edu/smcat/>.

# IMPROVED GENETIC CODING FOR ACCELEROGRAM SET OPTIMIZATION

**M. Shahrouzi**(corresponding author)

shahrouzi@khu.ac.ir

**J. Keyvani**

jkeyvani@khu.ac.ir

**S. Seif**

seif8120@yahoo.com

**Faculty of Engineering  
Kharazmi University**

Sharif Civil Engineering Journal

Volume 29, Issue 3, Page 91-106, Original Article

© Sharif University of Technology

- Received 23 August 2011; received in revised form 15 January 2012; accepted 4 March 2012.

## Abstract

Time-history earthquake records are critical means for many earthquake engineering applications, including step-by-step numerical solution of dynamic, nonlinear or highly damped systems, seismic design of new buildings and infrastructures, seismic control, risk assessment and vulnerability evaluation of existing structures, and so on. They are provided using statistical simulated records, geological model-based artificial earthquakes or recorded accelerograms of real experienced earthquakes. The latter is preferred in many cases, due to expensive computational effort and lack of reliability in simulating events of strong ground motion using artificial methods. However, the resulted structural responses are highly sensitive to the selected earthquake record, so that their variation from one record to another is a major source of uncertainty in further design and decision making. In order to overcome such a challenge, well-known seismic design regulations have been accepted using a set of earthquake records instead of one, provided they are scaled to match a target design spectrum. It is especially beneficial in the absence of sufficient site-specific earthquake records or the impossibility of their extraction via seismic hazard analyses. As no further limitation than over-riding the design spectra is implied, the resulted mean spectrum may over-estimate the target, leading to an economically undesired design. In addition, the corresponding scale factors will not be unique for a set of records unless taken as similar or optimized by proper methods. Hence, it is reasonable to select a set of accelerograms from an available catalogue that is optimally compatible with the design spectrum; formulated as the first optimization problem in the present work. While the set of optimal records is identified, their scaling factors are also optimized as the second problem formulation. The present work employs genetic algorithm as a reliable meta-heuristic, and utilizes its operators to solve both optimization problems. In addition to conventional binary coding, an integer index coding

is also utilized for the special case of optimization problems in this research. The superiority of the integer coding over the binary type is not only discussed in reducing search space cardinality, but is also shown via the results of a numerical example, using a list of 136 earthquake records, to match the target spectra, according to the Iranian Standard of Practice; No.2800. The results also show the proposed method is highly beneficial in matching the target design spectrum, with respect to common practice, with a trial-selected, uniform-coefficient set of records.

**Key Words:** Accelerogram selection, optimization, genetic algorithm, coding.