

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده مهندسی برق و رباتیک

عنوان پایان نامه:

برنامه ریزی تعمیر و نگهداری واحدهای

تولیدی

توسط الگوریتم تکاملی هیبرید

نگارش:

احسان ریحانی

اساتید راهنما:

دکتر مجید علومی بایگی

دکتر مهدی بانژاد

ارائه شده جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد مهندسی برق-قدرت

تابستان ۸۷

تقدیر و تشکر

لازم می دانم از تمام کسانی که به طور مستقیم و یا غیر مستقیم مراد انجام این پایان نامه یاری دادند تشکر کنم. بویژه از زحمات اساتید راهنمای خود جناب آقای دکتر مجید علومی بایگی و دکتر مهدی بانژاد که پیوسته روشنگر راهم بودند قدر دانی نمایم. از همراهی دوستان خود جناب آقای مهندس مغز داوودی، جناب آقای مهندس مهدی داوودی، جناب آقای مهندس محسن صنعتی مقدم، جناب آقای مهندس علی ساربخانی و جناب آقای مهندس هاشم یوسفی جاوید نیز کمال تشکر را دارم. در پایان از آقای دکتر احمد دارابی به خاطر قبول زحمت داوری پایان نامه نیز سپاسگزارم.

چکیده

با افزایش مصرف برق در دنیا روشهای مدیریت تولید و مصرف اهمیت زیادی پیدا کرده اند. نیاز به سرمایه گذاری سنگین و افزایش محدودیتهای برای ایجاد واحدهای جدید استفاده بهینه از واحدهای موجود

را امری اجتناب ناپذیر نموده است. برنامه ریزی تعمیر و نگهداری واحدهای تولیدی به خاطر تاثیر مستقیمی که بر عملکرد واحدهای تولیدی دارد از اهمیت خاصی برخوردار است. در این پایان نامه مساله برنامه ریزی تعمیر و نگهداری واحدهای تولیدی با استفاده از الگوریتمهای تکاملی هیبرید حل می گردد. این مساله یک مساله بهینه سازی عدد صحیح آمیخته می باشد. تابع هدف انتخاب شده تراز نمودن رزرو در طول مدت برنامه ریزی است. قیود نیروی انسانی، تامین بار و بازه مجاز تعمیر و نگهداری جزء قیود این مساله می باشند. در این پایان نامه الگوریتم ژنتیک به همراه الگوریتمهای جستجوی محلی تکنیک صعود از تپه، بهینه سازی نهایی، ترکیب الگوریتم ژنتیک-بهینه سازی نهایی و ترکیب الگوریتم ژنتیک-بهینه سازی نهایی-تکنیک صعود از تپه در مکانهای مختلف الگوریتم ژنتیک شامل جمعیت اولیه، جمعیت جفت گیری، جمعیت فرزندان حاصل از اعمال عملگر برش و جمعیت فرزندان حاصل از اعمال عملگر جهش اعمال گشته اند. روشهای ذکر شده به یک مساله آزمون تعمیر و نگهداری واحدهای تولیدی ۲۱ ماشینه اعمال گشته و نتایج بدست آمده مورد بررسی قرار گرفته اند. نتایج بدست آمده نشان می دهند که ترکیب الگوریتم ژنتیک-بهینه سازی نهایی-تکنیک صعود از تپه از کارایی بالاتری نسبت به سایر روشها برخوردار بوده و نتایج بهتری نسبت به الگوریتم ژنتیک داشته است.

فصل اول:مقدمه.....	۱
۱-۱-تعریف مساله .....	۲
۱-۲-اهداف برنامه ریزی تعمیر و نگهداری واحدهای تولیدی .....	۲
۱-۳-اهمیت مساله برنامه ریزی تعمیر و نگهداری واحدهای تولیدی .....	۳
۱-۴-مروری بر پایان نامه .....	۴
فصل دوم: مقدمه ای بر مساله برنامه ریزی تعمیر و نگهداری.....	۶
۱-۲-مقدمه: .....	۷
۲-۲-مساله برنامه ریزی تعمیر و نگهداری و روشهای حل آن .....	۸
۲-۲-۱-تابع هدف .....	۹
۲-۲-۲-قیود مساله برنامه ریزی تعمیر و نگهداری .....	۱۰
۲-۳-مروری بر انواع روشهای حل مساله برنامه ریزی تعمیر و نگهداری واحدهای تولیدی .....	۱۱
فصل سوم:مدل سازی ریاضی مساله تعمیر و نگهداری واحدهای تولیدی.....	۱۴
۱-۳-مساله برنامه ریزی تعمیر و نگهداری واحدهای تولیدی .....	۱۵
۲-۳-مدل ریاضی تابع هدف اقتصادی .....	۱۵

۱۶	۳-۳-مدل ریاضی تابع هدف قابلیت اطمینان
۱۸	۳-۴-مدلسازی مساله برنامه ریزی تعمیر و نگهداری واحدهای تولیدی
۲۱	فصل چهارم: الگوریتم ژنتیک و روشهای مختلف جستجوی محلی
۲۲	۳-۱-مقدمه
۲۳	۳-۲-الگوریتم ژنتیک
۲۸	۳-۳-الگوریتمهای جستجوی محلی
۲۹	۳-۳-۱-الگوریتم HCT
۳۲	۳-۳-۲-الگوریتم EO
۳۴	فصل پنجم: الگوریتم پیشنهادی
۳۵	۴-۱-مقدمه
۳۵	۴-۲-الگوریتم پیشنهادی EO/GA
۴۴	فصل ششم: نتایج شبیه سازی
۴۵	۶-۱-مقدمه
۴۵	۶-۲-الگوریتم ژنتیک بدون جستجوی محلی
۴۷	۶-۳-اعمال الگوریتم HCT در جمعیت اولیه
۵۰	۶-۴-اعمال روش HCT در جمعیت مولد
۵۲	۶-۵-اعمال روش HCT در جمعیت فرزندان حاصل از عمل برش
۵۵	۶-۶-اعمال روش HCT در جمعیت فرزندان حاصل از عمل جهش
۵۷	۶-۷-بررسی مکان اعمال جستجوی محلی HCT
۵۸	۶-۸-اعمال روش EO به جمعیت اولیه
۶۰	۶-۹-اعمال روش EO به جمعیتی مولد
۶۲	۶-۱۰-اعمال الگوریتم EO به فرزندان حاصل از عمل برش
۶۵	۶-۱۱-اعمال روش EO به جمعیت فرزندان حاصل از جهش
۶۷	۶-۱۲-بررسی مکان الگوریتم جستجوی محلی EO
۶۸	۶-۱۳-اعمال الگوریتم پیشنهادی EO/GA در جمعیت اولیه
۷۰	۶-۱۴-اعمال الگوریتم پیشنهادی EO/GA در جمعیت مولد
۷۲	۶-۱۵-اعمال الگوریتم پیشنهادی EO/GA در جمعیت فرزندان حاصل از عمل برش
۷۵	۶-۱۶-اعمال الگوریتم پیشنهادی EO/GA در جمعیت فرزندان حاصل از عمل جهش
۷۷	۶-۱۷-مقایسه مکان اعمال الگوریتم جستجوی محلی EO/GA در الگوریتم ژنتیک
۷۸	۶-۱۸-اعمال HCT و EO/GA در جمعیت اولیه
۸۰	۶-۱۹-اعمال HCT و EO/GA در جمعیت مولد
۸۲	۶-۲۰-اعمال HCT و EO/GA پس از عملگر برش
۸۴	۶-۲۱-اعمال HCT و EO/GA پس از عملگر جهش

۸۶	۲۲-۶- بررسی مکان اعمال جستجوی محلی HCT+EO/GA
۸۶	۲۳-۶- بررسی عملکرد الگوریتمهای جستجوی محلی
۸۹	۲۴-۶- بررسی زمان اجرای الگوریتمهای جستجوی محلی
۹۱	فصل هفتم: نتیجه گیری و پیشنهادات
۲۴	شکل ۴-۱. مراحل الگوریتم ژنتیک
۲۵	شکل ۴-۲. یک کروموزوم با نمایش باینری
۲۵	شکل ۴-۳. یک کروموزوم با نمایش عدد صحیح
۲۶	شکل ۴-۴. نحوه عملکرد عملگر برش در کروموزوم با نمایش باینری
۲۷	شکل ۴-۵. نحوه عملکرد عملگر جهش در کروموزوم با نمایش باینری
۲۹	شکل ۴-۶. مکانهای مختلف اعمال جستجوی محلی در الگوریتم ژنتیک
۳۰	شکل ۴-۷. مراحل الگوریتم HCT
۳۱	شکل ۴-۸. نمونه از تعریف همسایگی برای عضو نشان داده شده در شکل (۳-۴)
۳۱	شکل ۴-۹. نمونه از تعریف همسایگی برای عضو نشان داده شده در شکل (۳-۴)
۳۳	شکل (۴-۱۰). مراحل الگوریتم EO
۳۶	شکل (۵-۱). قسمت‌های مختلف یک عضو
۳۶	شکل (۵-۲). نمونه ای از جمعیت اولیه برای بهبود قسمت‌های دارای کمترین شایستگی
۳۷	شکل (۵-۳). نحوه عملکرد عملگر برش بر روی قسمت‌های مختلف دو عضو
۳۷	شکل (۵-۴). نحوه عملکرد عملگر جهش بر روی یک عضو
۳۸	شکل (۵-۵). نمایش یک عضو و قسمت‌های آن در مساله آزمون
۴۰	شکل (۵-۶). نمونه ای از جمعیت اولیه برای واحدهای ۱ تا ۱۳ به همراه قسمت‌های تشکیل دهنده آنها
۴۱	شکل (۵-۷). نمونه ای از نحوه عملکرد عملگر برش دو عضو در الگوریتم پیشنهادی
۴۱	شکل (۵-۸). نمونه ای از نحوه عملکرد عملگر جهش دو عضو در الگوریتم پیشنهادی
۴۲	شکل (۵-۹). الگوریتم پیشنهادی برای یک عضو از فرزندان حاصل از عمل جهش
۴۶	شکل (۶-۱). تغییرات تابع هدف بهترین برنامه در تکرارهای مختلف برای الگوریتم ژنتیک بدون اعمال جستجوی محلی
۴۶	شکل (۶-۲). هفته های شروع تعمیر و نگهداری واحدها در بهترین برنامه بدست آمده از الگوریتم ژنتیک بدون اعمال جستجوی محلی

شکل (۳-۶). رزرو در طول هفته های سال برای بهترین برنامه تعمیر و نگهداری بدست آمده از الگوریتم ژنتیک بدون اعمال جستجوی محلی..... ۴۷

شکل (۴-۶). مقدار تابع هدف بهترین اجرا در تکرارهای مختلف الگوریتم ژنتیک همراه با جستجوی محلی HCT در جمعیت اولیه..... ۴۸

شکل (۵-۶). هفته های شروع تعمیر و نگهداری واحدها در بهترین برنامه تعمیر و نگهداری بدست آمده از الگوریتم ژنتیک بدون جستجوی محلی و الگوریتم ژنتیک همراه با جستجوی محلی HCT در جمعیت اولیه..... ۴۹

شکل (۶-۶). رزرو در طول هفته های سال برای بهترین برنامه بدست آمده از الگوریتم ژنتیک با و بدون بکار بردن HCT در جمعیت اولیه..... ۴۹

شکل (۷-۶). مقدار تابع هدف بهترین برنامه در تکرارهای مختلف الگوریتم ژنتیک با و بدون بکار بردن HCT در جمعیت مولد..... ۵۱

شکل (۸-۶). هفته های شروع تعمیر و نگهداری واحدها در بهترین برنامه تعمیر و نگهداری بدست آمده از الگوریتم ژنتیک بدون جستجوی محلی و الگوریتم ژنتیک همراه با جستجوی محلی HCT در جمعیت مولد..... ۵۱

شکل (۹-۶). رزرو در طول هفته های سال برای بهترین برنامه بدست آمده از الگوریتم ژنتیک با و بدون HCT در جمعیت مولد..... ۵۲

شکل (۱۰-۶). مقدار تابع هدف بهترین برنامه در تکرارهای مختلف الگوریتم ژنتیک با و بدون بکار بردن HCT در جمعیت فرزندان حاصل از عمل برش..... ۵۳

شکل (۱۱-۶). هفته های شروع تعمیر و نگهداری واحدها در بهترین برنامه تعمیر و نگهداری بدست آمده از الگوریتم ژنتیک بدون جستجوی محلی و الگوریتم ژنتیک همراه با جستجوی محلی HCT در جمعیت فرزندان حاصل از عمل برش..... ۵۴

شکل (۱۲-۶). رزرو در طول هفته های سال برای بهترین برنامه بدست آمده از الگوریتم ژنتیک با و بدون HCT در جمعیت فرزندان حاصل از عمل برش..... ۵۴

شکل (۱۳-۶). مقدار تابع هدف بهترین برنامه در تکرارهای مختلف الگوریتم ژنتیک با و بدون بکار بردن HCT در جمعیت فرزندان حاصل از عمل جهش..... ۵۵

شکل (۱۴-۶). هفته های شروع تعمیر و نگهداری واحدها در بهترین برنامه تعمیر و نگهداری بدست آمده از الگوریتم ژنتیک بدون جستجوی محلی و الگوریتم ژنتیک همراه با جستجوی محلی HCT در جمعیت فرزندان حاصل از عمل جهش..... ۵۶

شکل (۶-۱۵). رزرو در طول هفته های سال برای بهترین برنامه بدست آمده از الگوریتم ژنتیک با و بدون HCT در جمعیت فرزندان حاصل از عمل جهش.....۵۶

شکل (۶-۱۶). میانگین تابع هدف ۵۰ بار اجرا به ازای اعمال جستجوی محلی در مکانهای مختلف..... ۵۸

شکل (۶-۱۷). مقدار تابع هدف بهترین برنامه در تکرارهای مختلف الگوریتم ژنتیک با و بدون بکار بردن EO در جمعیت اولیه..... ۵۹

شکل (۶-۱۸). هفته های شروع تعمیر و نگهداری واحدها در بهترین برنامه تعمیر و نگهداری بدست آمده از الگوریتم ژنتیک بدون جستجوی محلی و الگوریتم ژنتیک همراه با جستجوی محلی EO در اعضای جمعیت اولیه..... ۶۰

شکل (۶-۱۹). رزرو در طول هفته های سال برای بهترین برنامه بدست آمده از الگوریتم ژنتیک با و بدون بکار بردن EO در اعضای جمعیت اولیه..... ۶۰

شکل (۶-۲۰). مقدار تابع هدف بهترین برنامه در تکرارهای مختلف الگوریتم ژنتیک با و بدون کار بردن EO در اعضای جمعیت مولد..... ۶۱

شکل (۶-۲۱). هفته های شروع تعمیر و نگهداری واحدها در بهترین برنامه تعمیر و نگهداری بدست آمده از الگوریتم ژنتیک بدون جستجوی محلی و الگوریتم ژنتیک همراه با جستجوی محلی EO در اعضای جمعیت مولد..... ۶۲

شکل (۶-۲۲). رزرو در طول هفته های سال برای بهترین برنامه بدست آمده از الگوریتم ژنتیک با و بدون بکار بردن EO در اعضای جمعیت مولد..... ۶۲

شکل (۶-۲۳). مقدار تابع هدف بهترین برنامه در تکرارهای مختلف الگوریتم ژنتیک با و بدون بکار بردن EO در اعضای جمعیت فرزندان حاصل از عمل برش..... ۶۳

شکل (۶-۲۴). هفته های شروع تعمیر و نگهداری واحدها در بهترین برنامه تعمیر و نگهداری بدست آمده از الگوریتم ژنتیک بدون جستجوی محلی و الگوریتم ژنتیک همراه با جستجوی محلی EO در اعضای جمعیت فرزندان حاصل از عمل برش..... ۶۴

شکل (۶-۲۵). رزرو در طول هفته های سال برای بهترین برنامه بدست آمده از الگوریتم ژنتیک با و بدون بکار بردن EO در اعضای جمعیت فرزندان حاصل از عمل برش..... ۶۴

شکل (۶-۲۶). مقدار تابع هدف بهترین برنامه در تکرارهای مختلف الگوریتم ژنتیک با و بدون بکار بردن EO در اعضای جمعیت فرزندان حاصل از عمل جهش..... ۶۵

شکل (۶-۲۷). هفته های شروع تعمیر و نگهداری واحدها در بهترین برنامه تعمیر و نگهداری بدست آمده از الگوریتم ژنتیک بدون جستجوی محلی و الگوریتم ژنتیک همراه با جستجوی محلی EO در اعضای جمعیت فرزندان حاصل از عمل جهش.....۶۸

شکل (۶-۲۸). رزرو در طول هفته های سال برای بهترین برنامه بدست آمده از الگوریتم ژنتیک با و بدون بکار بردن EO در اعضای جمعیت فرزندان حاصل از عمل جهش.....۶۶

شکل (۶-۲۹). بررسی مکان اعمال الگوریتم جستجوی محلی EO.....۶۸

شکل (۶-۳۰). مقدار تابع هدف بهترین برنامه در تکرارهای مختلف الگوریتم ژنتیک با و بدون بکار بردن EO/GA در اعضای جمعیت اولیه.....۶۹

شکل (۶-۳۱). هفته های شروع تعمیر و نگهداری واحدها در بهترین برنامه تعمیر و نگهداری بدست آمده از الگوریتم ژنتیک بدون جستجوی محلی و الگوریتم ژنتیک همراه با جستجوی محلی EO/GA در اعضای جمعیت اولیه.....۷۰

شکل (۶-۳۲). رزرو در طول هفته های سال برای بهترین برنامه بدست آمده از الگوریتم ژنتیک

با و بدون بکار بردن EO/GA در اعضای جمعیت اولیه.....۷۰

شکل (۶-۳۳). مقدار تابع هدف بهترین برنامه در تکرارهای مختلف الگوریتم ژنتیک با و بدون بکار بردن EO/GA در اعضای جمعیت مولد.....۷۲

شکل (۶-۳۴). هفته های شروع تعمیر و نگهداری واحدها در بهترین برنامه تعمیر و نگهداری بدست آمده از الگوریتم ژنتیک بدون جستجوی محلی و الگوریتم ژنتیک همراه با جستجوی محلی EO/GA در اعضای جمعیت مولد.....۷۲

شکل (۶-۳۵). رزرو در طول هفته های سال برای بهترین برنامه بدست آمده از الگوریتم ژنتیک با و بدون بکار بردن EO/GA در اعضای جمعیت مولد.....۷۳

شکل (۶-۳۶). مقدار تابع هدف بهترین برنامه در تکرارهای مختلف الگوریتم ژنتیک با و بدون بکار بردن EO/GA در اعضای جمعیت فرزندان حاصل از عمل برش.....۷۴

شکل (۶-۳۷). هفته های شروع تعمیر و نگهداری واحدها در بهترین برنامه تعمیر و نگهداری بدست آمده از الگوریتم ژنتیک بدون جستجوی محلی و الگوریتم ژنتیک همراه با جستجوی محلی EO/GA در اعضای جمعیت فرزندان حاصل از عمل برش.....۷۵

شکل (۶-۳۸). رزرو در طول هفته های سال برای بهترین برنامه بدست آمده از الگوریتم ژنتیک با و بدون بکار بردن EO/GA در اعضای جمعیت فرزندان حاصل از برش.....۷۵



شکل (۳۹-۶). مقدار تابع هدف بهترین برنامه در تکرارهای مختلف الگوریتم ژنتیک با و بدون بکار بردن EO/GA در اعضای جمعیت فرزندان حاصل از عمل جهش..... ۷۶

شکل (۴۰-۶). هفته های شروع تعمیر و نگهداری واحدها در بهترین برنامه تعمیر و نگهداری بدست آمده از الگوریتم ژنتیک بدون جستجوی محلی و الگوریتم ژنتیک همراه با جستجوی محلی EO/GA در اعضای جمعیت فرزندان حاصل از عمل جهش..... ۷۷

شکل (۴۱-۶). رزرو در طول هفته های سال برای بهترین برنامه بدست آمده از الگوریتم ژنتیک با و بدون بکار بردن EO/GA در اعضای جمعیت فرزندان حاصل از جهش..... ۷۷

شکل (۴۲-۶). عملکرد جستجوی محلی EO/GA در مکانهای مختلف الگوریتم ژنتیک..... ۷۸

شکل (۴۳-۶). مقدار تابع هدف بهترین برنامه در تکرارهای مختلف الگوریتم ژنتیک با و بدون بکار بردن EO/GA و HCT در اعضای جمعیت اولیه..... ۷۹

شکل (۴۴-۶). هفته های شروع تعمیر و نگهداری واحدها در بهترین برنامه تعمیر و نگهداری بدست آمده از الگوریتم ژنتیک بدون جستجوی محلی و الگوریتم ژنتیک همراه با جستجوی محلی EO/GA و HCT در اعضای جمعیت اولیه..... ۸۰

شکل (۴۵-۶). رزرو در طول هفته های سال برای بهترین برنامه بدست آمده از الگوریتم ژنتیک با و بدون بکار بردن EO/GA و HCT در اعضای جمعیت اولیه..... ۸۰

شکل (۴۶-۶). مقدار تابع هدف بهترین برنامه در تکرارهای مختلف الگوریتم ژنتیک با و بدون بکار بردن EO/GA و HCT در اعضای جمعیت مولد..... ۸۱

شکل (۴۷-۶). هفته های شروع تعمیر و نگهداری واحدها در بهترین برنامه تعمیر و نگهداری بدست آمده از الگوریتم ژنتیک بدون جستجوی محلی و الگوریتم ژنتیک همراه با جستجوی محلی EO/GA و HCT در اعضای جمعیت مولد..... ۸۲

شکل (۴۸-۶). رزرو در طول هفته های سال برای بهترین برنامه بدست آمده از الگوریتم ژنتیک

با و بدون بکار بردن EO/GA و HCT در اعضای جمعیت مولد..... ۸۲

شکل (۴۹-۶). مقدار تابع هدف بهترین برنامه در تکرارهای مختلف الگوریتم ژنتیک با و بدون بکار بردن EO/GA و HCT در اعضای جمعیت فرزندان حاصل از برش..... ۸۳

شکل (۵۰-۶). هفته های شروع تعمیر و نگهداری واحدها در بهترین برنامه تعمیر و نگهداری بدست آمده از الگوریتم ژنتیک بدون جستجوی محلی و الگوریتم ژنتیک همراه با جستجوی محلی EO/GA و HCT در اعضای جمعیت فرزندان حاصل از برش..... ۸۴

- شکل (۶-۵۱). رزرو در طول هفته های سال برای بهترین برنامه بدست آمده از الگوریتم ژنتیک با و بدون بکار بردن EO/GA و HCT در اعضای فرزندان حاصل از برش ..... ۸۴
- شکل (۶-۵۲). مقدار تابع هدف بهترین برنامه در تکرارهای مختلف الگوریتم ژنتیک با و بدون بکار بردن EO/GA و HCT در اعضای جمعیت فرزندان حاصل از اعمال عملگر جهش ۸۶
- شکل (۶-۵۳). هفته های شروع تعمیر و نگهداری واحدها در بهترین برنامه تعمیر و نگهداری بدست آمده از الگوریتم ژنتیک بدون جستجوی محلی و الگوریتم ژنتیک همراه با جستجوی محلی EO/GA و HCT در اعضای جمعیت فرزندان حاصل از جهش ..... ۸۶
- شکل (۶-۵۴). رزرو در طول هفته های سال برای بهترین برنامه بدست آمده از الگوریتم ژنتیک با و بدون بکار بردن EO/GA و HCT در اعضای جمعیت فرزندان حاصل از جهش ۸۷
- شکل (۶-۵۵). میانگین تابع هدف با بکار بردن الگوریتم جستجوی محلی HCT+EO/GA در نقاط مختلف ..... ۸۸
- شکل (۶-۵۶). میانگین و بهترین تابع هدف در جستجوهای محلی متفاوت ..... ۸۹
- [جدول \(۲-۱\)](#). مشخصات واحدهای تولیدی مساله آزمون تعمیر و نگهداری ..... ۱۸
- جدول (۶-۱). زمان اجرای الگوریتمهای جستجوی محلی مختلف ..... ۹۱

## فصل اول

# مقدمه

۱-۱- تعریف مساله

گسترش سیستم قدرت، توسعه روشهایی که بتواند مسائل آن را با سرعت و دقت زیادی حل کند را اجتناب ناپذیر می نماید. مساله برنامه ریزی تعمیر و نگهداری واحدهای تولیدی از جمله مسائل برنامه ریزی میان مدت است که سایر برنامه های دیگر مانند به مدار آوردن نیروگاهها، پخش بار اقتصادی، توسعه واحدهای تولیدی و غیره را در سیستم قدرت تحت الشعاع خود قرار می دهد. برنامه ریزی تعمیر و نگهداری واحدهای تولیدی را می توان به صورت زیر تعریف نمود:

پیدا کردن زمان خروج واحدهای تولیدی از مدار به منظور انجام تعمیر و نگهداری بر روی آنها در یک دوره زمانی مشخص به شرطی که تمام قیود ارضا شوند و اهداف مورد نظر نیز برآورده شوند.

## ۱-۲- اهداف برنامه ریزی تعمیر و نگهداری واحدهای تولیدی

اهداف برنامه ریزی تعمیر و نگهداری واحدهای تولیدی را به طور کلی می توان از سه دیدگاه فنی، سیستمی (سیستم قدرت) و بیرونی (اقتصادی و اجتماعی) بررسی کرد. از دیدگاه فنی اهداف زیر از برنامه ریزی تعمیر و نگهداری واحدهای تولیدی انتظار می رود:

- نگهداشتن بازه کاری قطعات در محدوده مورد نظر
- افزایش قابلیت اطمینان قطعات و یا به عبارت دیگر کاهش احتمال خرابی قطعات حین کار
- افزایش راندمان واحدها
- افزایش طول عمر واحدهای تولیدی
- کارهایی که برای رسیدن به اهداف فوق باید انجام داد به شرح زیرند:
- بازرسی پیشگیرانه از تمام تمامی تجهیزات تولید توان از جمله بویلر، توربین، ژنراتور و تجهیزات کمکی
- تعمیر و یا تعویض قطعاتی که از لحاظ مشخصات کاری زیر استانداردهای مشخص شده هستند.
- روغن کاری و گردگیری قطعات متحرک
- از دیدگاه سیستم قدرت اهداف زیر مد نظرند:
- کاهش هزینه های سوخت و تعمیر و نگهداری

- افزایش قابلیت اطمینان سیستم قدرت

یک مهندس قدرت سعی دارد تا برنامه تعمیر و نگهداری واحدهای تولیدی را طوری تنظیم کند که اهداف فوق برآورده شوند. این امکان دارد که از لحاظ فنی قطعه و یا قطعاتی زیر استانداردهای کاری باشند ولی برای تامین بار و حفظ قابلیت اطمینان سیستم به کار خود ادامه دهند. بنابراین در برنامه ریزی تعمیر و نگهداری واحدهای تولیدی مهم است که برنامه از چه دیدگاهی تنظیم می شود. از نقطه نظر اقتصادی و اجتماعی به اهداف زیر می توان اشاره نمود:

- تامین امنیت انرژی مصرف کنندگان

- کاهش هزینه تولید برق

- به تاخیر انداختن سرمایه گذاری برای ایجاد واحدهای جدید

تامین امنیت انرژی مصرف کنندگان به خصوص با افزایش خصوصی سازی در صنعت برق اهمیت زیادی پیدا کرده است. شرکتهای خصوصی تولید کننده برق سعی در کاهش تعداد و زمان خاموشی ها دارند و بنابراین در برنامه ریزی تعمیر و نگهداری واحدهای خود به این مساله اهمیت زیادی می دهند. برنامه خروج واحدها نه تنها باید منافع شرکتهای خصوصی و مشتریان را تامین کند بلکه قابلیت اطمینان کلی سیستم را نیز افزایش دهد و قیود مختلفی را نیز ارضا کند.

### ۱-۳- اهمیت مساله برنامه ریزی تعمیر و نگهداری واحدهای تولیدی

شرکتهای برق سالانه میلیاردها دلار برای تعمیر و نگهداری واحدهای تولیدی هزینه می کنند. قابلیت اطمینان سیستم و هزینه تولید برق، از خروج واحدهای تولیدی تاثیر می پذیرند به طوری که برنامه های نسبتا بهینه باعث افزایش هزینه تولید برق و کاهش قابلیت اطمینان سیستم می شود. برنامه ریزی خروج واحدهای تولیدی به منظور تعمیر و نگهداری آنها سایر برنامه های کوتاه مدت و بلند مدت سیستم قدرت را نیز تحت تاثیر قرار می دهد. به عنوان مثال به مدار آوردن نیروگاهها، پخش بار اقتصادی، محاسبات قابلیت اطمینان و سایر برنامه ها که به واحدهای تولیدی وابسته باشند از جمله مسائلی هستند که به برنامه خروج واحدها وابسته هستند. یک برنامه نسبتا بهینه هر کدام از برنامه های ذکر شده در بالا را به صورت متفاوتی تحت تاثیر قرار می دهد. بنابراین یک برنامه بهینه هزینه ها را کاهش و قابلیت

اطمینان سیستم و طول عمر واحدها را افزایش داده و حتی می تواند سرمایه گذاری برای ایجاد واحدهای جدید را به تاخیر بیندازد. در محیطهای تجدید ساختار شده مساله برنامه ریزی اهمیت بیشتری پیدا می کند. در این محیطها شرکتهای برق برای افزایش قدرت رقابت خود در بازار برق مجبور به افزایش راندمان عملکرد خود می باشند. شرکتهایی که برنامه ریزی بهینه ای برای تعمیر و نگهداری واحدهای خود نداشته باشند خسارات زیادی را متحمل می شوند و دیگر قادر به ادامه حیات خود نخواهند بود. بنابراین مساله برنامه ریزی تعمیر و نگهداری واحدهای تولیدی مساله بسیار مهمی در برنامه ریزی سیستمهای قدرت می باشد.

#### ۱-۴- مساله برنامه ریزی تعمیر و نگهداری واحدهای تولیدی

در این پایان نامه برنامه ریزی تعمیر و نگهداری واحدهای تولیدی از دیدگاه قابلیت اطمینان انجام شده است. تابع هدف انتخاب شده تراز کردن رزرو در طول دوره تعمیر و نگهداری می باشد بدین معنا که جدول زمانی خروج واحدها به منظور تعمیر و نگهداری طوری تنظیم شود که رزرو در طول سال به طور یکسان پخش شود. برای حل مساله از الگوریتمهای تکاملی هیبرید استفاده شده و یک روش جدید نیز برای بهبود تابع هدف ارائه شده است. الگوریتمهای تکاملی هیبرید همراه با روش پیشنهادی به یک مساله آزمون تعمیر و نگهداری اعمال شده و نتایج آنها مقایسه شده اند.

فصل بندی این پایان نامه به صورت زیر است.

در فصل اول تعریفی از مساله برنامه ریزی تعمیر و نگهداری واحدهای تولیدی به صورت خیلی مختصر ارائه می شود. در فصل دوم صورتهای مختلف مساله تعمیر و نگهداری و روشهای حل آنها بررسی می گردند. در فصل سوم مساله برنامه ریزی تعمیر و نگهداری واحدهای تولیدی به صورت ریاضی مدل می شود و سیستم تست مورد مطالعه نیز ارائه می شود. در فصل چهارم روشهای جستجوی محلی بکار رفته همراه با الگوریتم ژنتیک به طور کامل بحث می شوند. در فصل پنجم روش پیشنهادی ارائه می گردد و در فصل ششم روشهای بحث شده به یک مساله تست اعمال گشته و نتایج بدست آمده ارائه شده اند. در فصل هفتم از کارهای انجام شده نتیجه گیری شده و پیشنهاداتی برای کارهای آینده ارائه شده است.

# فصل دوم

بیان مساله برنامه ریزی

تعمیر و نگهداری

## ۲-۱- مقدمه

سیستم قدرت را معمولا تعداد زیادی از ژنراتورها با هزینه های بهره برداری متفاوت تغذیه می نماید. برای اینکه انرژی به صورت پیوسته و با قیمت پایین به دست مشتری برسد بهره بردار سیستم قدرت باید برنامه مناسبی برای تعمیر و نگهداری واحدهای تولیدی طراحی کند. یک برنامه خوب برای بهره برداری و تعمیر و نگهداری واحدهای تولیدی هزینه های کل را کاهش داده و توان رقابت را بالا می برد. اهمیت مساله تعمیر و نگهداری واحدهای تولیدی آنقدر بالاست که روشهای مختلفی برای حل آن ارائه شده اند [۱ و ۲ و ۳ و ۴].

مساله برنامه ریزی تعمیر و نگهداری واحدهای تولیدی یکی از مسائل مهم در سیستمهای قدرت است. با گسترش شهرها و افزایش بار و محدودیتهای مالی و زیست محیطی، افزایش تعداد نیروگاهها با محدودیت جدی روبرو شده است. این محدودیتها سبب گردیده است واحدهای تولیدی در نقاط نزدیک به ظرفیت خود بهره برداری شوند. بنابراین خروج بی موقع یک نیروگاه به خاطر خرابی و انجام تعمیر و نگهداری خسارات زیادی را ببار می آورد. برنامه ریزی صحیح برای تعمیر و نگهداری واحدهای تولیدی نه تنها هزینه های کلی را کاهش داده بلکه قابلیت اطمینان سیستم را بالا برده توان رقابت در بازار را افزایش می دهد.



در سیستم‌های قدرت تجدید ساختار شده صاحبان واحدهای تولیدی برای افزایش قدرت رقابت خود در بازار مجبورند تا واحدهای خود را با بالاترین راندمان و قابلیت اطمینان بکار گیرند. خروج اضطراری هر واحد به خاطر عدم برنامه ریزی تعمیر و نگهداری صحیح، شرکتهای تولیدی را دچار ضرر و زیان زیادی کرده و چه بسا آنها را از صحنه رقابت حذف نماید.

مساله برنامه ریزی تعمیر و نگهداری واحدهای تولیدی تعیین یک جدول زمانی مناسب برای خروج ژنراتور ها از مدار و انجام تعمیر و نگهداری بر روی آنها می باشد. اهمیت مساله برنامه ریزی از آنجا آشکار می شود که سایر برنامه ها در سیستم قدرت مثل به مدار آوردن نیروگاهها، توزیع اقتصادی بار و توسعه سیستمهای تولید و انتقال از آن تاثیر می پذیرند [۱ و ۲ و ۵ و ۶ و ۷].

روشهای سنتی تعمیر و نگهداری شامل نگهداری در فواصل زمانی منظم و تعمیر در صورت خرابی است. علاوه بر هزینه های مستقیم تعمیر و نگهداری، هزینه های دیگری مثل هزینه انرژی تامین نشده در زمان تعمیر و نگهداری و هزینه نصب تجهیزات برای افزایش رزرو نیز وجود دارند. بنابراین بهبود برنامه تعمیر و نگهداری منجر به صرفه جویی مالی زیادی خواهد شد [۸].

ابعاد بالا، غیرخطی بودن و تصادفی بودن از خواص سیستم قدرت است که ما را مجبور به استفاده از روشهای بهینه سازی جدید نموده است. محققان مساله برنامه ریزی تعمیر و نگهداری از دیدگاههای توسعه طراحی و بهره برداری سیستم قدرت را نیز مورد بررسی قرار داده اند [۹ و ۱۰]. اخیرا روشهای بهینه سازی در سیستمهای قدرت بکار گرفته شده اند که از تکامل فرایندهای طبیعی پیروی می کنند [۱۱ و ۱۲ و ۱۳].

## ۲-۲- مساله برنامه ریزی تعمیر و نگهداری و روشهای حل آن

برنامه تعمیر و نگهداری هر واحد تولیدی طوری باید تنظیم شود که ضمن رسیدن به اهداف مورد نظر قیود مربوط به آن واحد و سیستم قدرت نیز ارضا شوند. از آنجا که مساله برنامه ریزی تعمیر و نگهداری یک مساله بهینه سازی می باشد، انتخاب تابع هدف و قیود به تعریف مساله، داده های موجود، دقت مورد نظر و روش حل استفاده شده بستگی دارد [۱۰ و ۱۴].

## ۲-۲-۱- تابع هدف

در [۹]، [۱۰]، [۱۴]، [۱۵] مساله برنامه ریزی تعمیر و نگهداری واحدهای تولیدی توضیح داده شده و انواع توابع هدف و قیود آمده است. توابع هدف بکار رفته را می توان به دو گروه کلی دسته بندی نمود. گروه اول بر مبنای قابلیت اطمینان سیستم [۴ و ۱۴ و ۱۶ و ۱۷ و ۱۸ و ۱۹] و گروه دوم بر مبنای هزینه اقتصادی می باشد [۸ و ۱۴ و ۱۷ و ۱۸ و ۱۹ و ۲۰].

معمولترین تابع هدف بر مبنای هزینه اقتصادی، مینیمم کردن هزینه بهره برداری در طول مدت برنامه ریزی است [۱۴ و ۱۹]. هزینه بهره برداری شامل دو مولفه است؛ هزینه تولید و هزینه تعمیر و نگهداری، هزینه تولید عمدتاً هزینه سوختی است که برای تولید برق بکار می رود [۲۱]. هزینه تعمیر و نگهداری شامل هزینه قطعات، نیروی متخصص و انرژی که در طی تعمیر و نگهداری تامین نمی شود می باشد. هزینه تولید به تنهایی را نیز می توان به عنوان تابع هدف در نظر گرفت [۱۴ و ۲۰].

معیارهای قابلیت اطمینان مثل <sup>۱</sup> LOLP و <sup>۲</sup> EENS نیز می توانند به عنوان تابع هدف بکار روند [۱۴ و ۱]. تراز کردن رزرو یکی از معمولترین معیارهای قابلیت اطمینان است [۴ و ۲۱]. رزرو در هر دوره  $t$  برابر است با مجموع ظرفیت نصب شده منهای بار و تلفات پیش بینی شده در آن دوره منهای ظرفیتی که در حال تعمیر و نگهداری هستند. با ماکزیمم کردن مینیمم رزرو در هر دوره می توان رزرو یکسانی را در طول سال داشت [۲۱]. در صورتی تغییرات رزرو زیاد باشد مینیمم کردن مجموع مربعات رزرو راهکار مناسبی برای تراز کردن رزرو در طول مدت برنامه ریزی می باشد [۴]. چنانچه عدم قطعیت در بار داشته باشیم و نرخ خروج اضطراری ژنراتورها نیز تصادفی باشند مینیمم کردن مجموع LOLP در طول دوره برنامه ریزی معیار مناسبی می باشد [۱۴].

از آنجایی که اختلاف هزینه بین گرانترین و ارزانترین برنامه ممکن<sup>۳</sup> زیاد نیست بهتر است که از معیارهای قابلیت اطمینان بجای هزینه بهره برداری استفاده شود [۴ و ۱۰ و ۱۴ و ۱۸].

<sup>۱</sup> Loss of Load Probability

<sup>۲</sup> Expected Energy Not Supplied

<sup>۳</sup> Feasible schedule

## ۲-۲-۲- قیود مساله برنامه ریزی تعمیر و نگهداری

در هر جدول زمانی تعمیر و نگهداری باید یک مجموعه از قیود رعایت شود. قیود مساله برنامه ریزی تعمیر و نگهداری شامل قیود مربوط به واحدهای تولیدی، سیستم قدرت و منابع موجود می باشد [۹ و ۱۰ و ۲۰ و ۲۲].

قیود مربوط به واحدهای تولیدی عبارتند از:

- دوره زمانی تعمیر و نگهداری
- عدم همزمانی تعمیر یک مجموعه از واحدهای تولیدی خاص
- ترتیب تعمیر و نگهداری بعضی از واحدهای تولیدی

قیود مربوط به بهره برداری سیستم قدرت عبارتند از:

- قید بار: بار باید در هر دوره تامین شده و یک رزرو مینیمم نیز موجود باشد.
- قید معیارهای قابلیت اطمینان: در هر دوره زمانی باید یک سری از معیارهای قابلیت اطمینان مثل LOLP و EENS تامین گردند.
- قید حد پایداری و حرارتی خطوط انتقال: در هر دوره حد حرارتی و پایداری خطوط انتقال باید رعایت شود.
- قید منطقه جغرافیایی: نباید بیشتر از تعداد معینی واحد تولیدی در یک منطقه جغرافیایی در تعمیر و نگهداری باشد.

قیود مربوط به منابع موجود عبارتند از:

- قید نیروی متخصص تعمیر و نگهداری: در هر دوره تعداد محدودی نیروی متخصص وجود دارد.

- قید قطعات و وسایل موجود: در هر دوره تعداد محدودی قطعات و وسایل مربوط به تعمیر و نگهداری وجود دارد.

## ۲-۳- مروری بر انواع روشهای حل مساله برنامه ریزی تعمیر و نگهداری واحدهای

### تولیدی

در [۱۰] انواع روشهای ریاضی، ابتکاری و سیستمهای خبره<sup>۴</sup> که برای حل مساله تعمیر و نگهداری بکار رفته اند مرور شده اند. روشهای ریاضی عمدتاً بر مبنای روشهای عدد صحیح<sup>۵</sup>، شاخه و گره (Branch and Bound) و برنامه ریزی دینامیکی<sup>۶</sup> می باشند. روش برنامه ریزی عدد صحیح در مراجع [۸ و ۱۵] بررسی شده است. در [۲۱] مساله برنامه ریزی تعمیر و نگهداری واحدهای تولیدی توسط روش برنامه ریزی عدد صحیح حل می شود و روش شاخه و گره مکرراً اعمال می شود تا یک مساله با اندازه کوچک حل شود. روش برنامه ریزی دینامیکی نیز در [۷ و ۱۴] برای حل مساله برنامه ریزی تعمیر و نگهداری استفاده شده است. روش برنامه ریزی دینامیکی علاوه بر کارآمدی بالا در حل مسائل عددی، قابلیت حل مساله برنامه ریزی را در چند مرحله دارد. بالا رفتن حجم محاسبات با افزایش بعد مساله بزرگترین مشکل برای بکارگیری این روش در مسائل عملی می باشد [۷ و ۱۴]. بسیاری از شرکتهای برق از روشهای خبره و یا روشهای ابتکاری برای فائق آمدن بر کاستی های روشهای ریاضی بهره می برند [۱۰].

روشهایی که از چندین تابع هدف به طور همزمان برای حل مساله استفاده می کنند در برنامه ریزی تعمیر و نگهداری واحدهای تولیدی بکار گرفته شده اند [۲۳ و ۲۴]. در مرجع [۲۳] دو مرحله بهینه سازی پشت سر هم استفاده شده است. در بهینه سازی اول ابتدا هزینه بهره برداری کاهش داده می شود و در مرحله بعد با در نظر گرفتن یک حد بالا برای هزینه، رزرو در طول مدت برنامه ریزی تراز می شود. این روش به یک سیستم متشکل از واحدهای حرارتی [۲۳] و واحدهای حرارتی-آبی<sup>۷</sup> [۲۴] اعمال شده و جوابهای خوبی داده است. روشهای جدا سازی نیز در [۲۵ و ۲۶] برای کاهش پیچیدگی مساله پیشنهاد شده

<sup>4</sup> Expert Systems

<sup>5</sup> Integer Programming

<sup>6</sup> Dynamic Programming

<sup>7</sup> Hydro-Thermal Units

اند. این روشها مساله را به یک مساله اصلی و چندین زیر مساله تقسیم می کنند که حل زیر مساله ها ساده تر است.

در [۲۷] یک سیستم هوشمند طراحی شده است که برنامه تعمیر و نگهداری را به صورت مداوم تحت نظر دارد و در صورت نیاز آن را تغییر می دهد. اطلاعات قبلی در مورد حدود برنامه به صورت یک برنامه ابتکاری درآمده است تا برنامه جدید با کمترین انحراف از برنامه قبلی طراحی شود. البته این روش تقریبی بوده و در مورد مسایل خاص بکار می رود.

در [۲۸] یک سیستم هوشمند برای حل مساله برنامه ریزی تعمیر و نگهداری پیشنهاد شده است. چون تابع هدف برای حالت های کاری مختلف فرق می کند یک اندیس کاری تعریف می شود تا برنامه مناسب برای حالت های کاری متفاوت طراحی شود. قوانین از افراد متخصص در زمینه برنامه ریزی تعمیر و نگهداری بدست آمده و در یک پایگاه قواعد قرار داده می شود. این روش به یک مدل ساده شده از سیستم واقعی قدرت اعمال شده و جواب های بهتری نسبت به روش های قبلی بدست آمده است. روش های ابتکاری معمولاً مختص به یک یا چند مساله خاص هستند و نیاز به اطلاعات بهره بردار دارند که فرایندی وقت گیر و خسته کننده است [۱۸].

برای فائق آمدن بر قسمتی از مشکلات ذکر شده، تعدادی از روش های فوق ابتکاری و محاسبات نرم برای برنامه ریزی تعمیر و نگهداری مورد مطالعه قرار گرفته اند. این روشها عبارتند از الگوریتم ژنتیک<sup>۸</sup> (GA) [۱۶ و ۱۷]، سرد شدن تدریجی<sup>۹</sup> (SA) [۲۹]، بهینه سازی کلونی مورچه ها [۳۰]، برنامه ریزی تکاملی [۳۱]، منطق فازی [۳۲]، فناوری عامل<sup>۱۰</sup> [۳۳]، و الگوریتم تکاملی هیبرید [۱۹ و ۳۲ و ۳۴ و ۳۵]. مروری بر روش های مبتنی بر الگوریتم های تکاملی در [۱۲] آمده است. در [۳۶-۳۸] نیز مساله برنامه ریزی تعمیر و نگهداری واحدهای تولیدی توسط GA و SA بررسی شده است. در [۱۹] نویسندگان روش های جستجوی محلی متفاوتی را برای حل مساله برنامه ریزی تعمیر و نگهداری بکار برده اند. در میان الگوریتم های استفاده شده، الگوریتم Tabu Search از کارایی بالاتری برخوردار بوده است.

---

8 Genetic Algorithm

9 Simulated Annealing

10 Agent Technology

در [۳۹] روشهای مختلفی از جمله GA، SA، و روشهای ترکیبی با استفاده از GA برای حل مساله برنامه ریزی تعمیر و نگهداری بکار رفته اند. نتایج این مقاله نشان می دهد که روش ترکیبی GA/SA روش مقاومتر و پایدارتری از لحاظ پارامترهای GA و SA مثل نرخ برش، جهش پارامترهای سرد کردن نسبت به الگوریتم GA و یا SA به تنهایی می باشد. در این مقاله همچنین از جمعیت اولیه بهبود یافته نیز استفاده شده و اعمال این روش نتایج بهتری بدست داده است. با مقایسه روشهای بحث شده در این مقاله الگوریتم ترکیبی GA/SA با جمعیت اولیه بهبود یافته نتایج متوسط بهتری بدست داده است.

در فصل حاضر انواع صورت مساله های مساله برنامه ریزی تعمیر و نگهداری واحدهای تولیدی و روشهای حل آنها مرور شد. در فصل بعدی مساله برنامه ریزی تعمیر و نگهداری مورد مطالعه در این پایان نامه بیان شده و تابع هدف و قیود آن بررسی می گردند. همچنین مشخصات سیستم آزمون تعمیر و نگهداری که روشهای حل بر روی آن پیاده شده اند نیز ارائه شده است.

## فصل سوم

مدل سازی ریاضی مساله برنامه ریزی

تعمیر و نگهداری واحدهای تولیدی

۳-۱- مساله برنامه ریزی تعمیر و نگهداری واحدهای تولیدی

هدف مساله برنامه ریزی تعمیر و نگهداری واحدهای تولیدی بدست آوردن یک جدول زمانی برای خروج ژنراتورها به منظور تعمیر و نگهداری آنها می باشد. این برنامه ضمن رعایت قیود مربوط به واحدها و سیستم قدرت، باید با حداقل هزینه و حداکثر قابلیت اطمینان برای سیستم انجام شود. این برنامه همچنین باید تا حد امکان سرمایه گذاری برای نصب واحدهای جدید را به تاخیر بیندازد. برنامه ریزی تعمیر و نگهداری واحدهای تولیدی را باید طبق یک تابع هدف تحت مجموعه ای از قیود بهینه کرد. همانطور که در فصل پیش بحث شد دو نوع تابع هدف برای این مساله وجود دارد که یکی بر مبنای هزینه اقتصادی و دیگری بر مبنای قابلیت اطمینان سیستم می باشد. در این بخش مدل‌های ریاضی برای هر دو تابع هدف بدست می آیند و سیستم آزمون مورد مطالعه ارائه می شود.

### ۳-۲- مدل ریاضی تابع هدف اقتصادی

در تابع هدف اقتصادی ما به دنبال کاهش هزینه ها هستیم. هزینه های در نظر گرفته شده، هزینه تعمیر و نگهداری و هزینه تولید توان می باشند. تابع هدف اقتصادی و قیود در نظر گرفته شده به صورت زیر نوشته می شوند:

$$\text{Min} \sum_t \sum_i \{C_{it} x_{it} + c_{it} g_{it}\} \quad (۱-۳)$$

با توجه به قیود:

$$x_{it} = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$$

اگر واحد  $i$ ام در دوره  $t$ ام در حال تعمیر و نگهداری باشد

در غیر این صورت



$C_{it}$  هزینه تعمیر و نگهداری واحد  $i$ ام در دوره  $t$  ام برحسب \$

$c_{it}$  هزینه تولید توان واحد  $i$ ام در دوره  $t$  ام برحسب \$/MW

$g_{it}$  توان تولیدی واحد  $i$ ام در دوره  $t$  ام برحسب MW

می باشد.

در رابطه (۱-۳)  $x_{it}$  عدد صحیح و  $g_{it}$  عدد پیوسته می باشد، بنابراین این مساله یک مساله برنامه ریزی عدد صحیح آمیخته<sup>۱۱</sup> می باشد. تابع هدف رابطه (۱-۳) برابر با مجموع هزینه های تعمیر و نگهداری و تولید در طول مدت برنامه ریزی می باشد. اولین جمله رابطه (۱-۳) هزینه تعمیر و نگهداری واحدها و جمله دوم هزینه تولید توان می باشد. برای این مساله قیودی مانند قیود بازه زمانی مجاز تعمیر و نگهداری واحدها، نیروی تعمیر و نگهداری و منابع موجود در هر دوره، محدودیتهای فصلی و برنامه های مطلوب را نیز در نظر گرفت.

### ۳-۳- مدل ریاضی تابع هدف قابلیت اطمینان

تراز کردن رزرو یکی از معمولترین معیارهای قابلیت اطمینان است. رزرو در هر دوره  $t$  برابر است با مجموع ظرفیت نصب شده منهای بار پیش بینی شده در آن دوره منهای ظرفیتی که در حال تعمیر و نگهداری است. با ماکزیمم کردن مجموع مربعات رزرو در دوره های مختلف هر دوره می توان رزرو یکسانی را در طول سال داشت [۲۱]. تابع هدف مزبور را می توان به صورت زیر نوشت:

$$\text{Min}_{X_{it}} \left\{ \sum_{i \in T} \left( \sum_{i \in T} \text{reserve}(i, t) \right)^2 \right\} \quad (۲-۳)$$

که  $\text{reserve}(i, t)$  رزرو واحد  $i$ ام در دوره  $t$  ام می باشد. قیود در نظر گرفته شده، مانند قیود تابع هدف اقتصادی می باشد.

در این پایان نامه از تابع هدف قابلیت اطمینان یعنی مجموع مربعات رزرو در طول هفته های سال استفاده می شود. سیستم آزمون برنامه ریزی تعمیر و نگهداری یک شبکه آزمون شامل ۲۱ واحد تولیدی است. زمان برنامه ریزی تعمیر و نگهداری یک سال می باشد. این شبکه از مرجع [۱۸] گرفته شده و قبلا در مراجع [۳۹-۳۶ و ۳۰] مورد بررسی قرار گرفته است.

قیود در نظر گرفته شده، محدودیت پنجره زمانی مجاز تعمیر و نگهداری، محدودیت تامین بار و محدودیت تعداد افراد متخصص تعمیر و نگهداری می باشد. ظرفیت واحدها، پنجره زمانی مجاز تعمیر و نگهداری، طول دوره تعمیر و نگهداری و مقدار نیروی متخصص مورد نیاز برای تعمیر و نگهداری هر یک از واحدهای شبکه آزمون در جدول ۱ درج شده است. ۱۳ واحد باید در نیمه اول سال (هفته های ۱ تا ۲۶) و ۸ واحد بقیه باید در نیمه دوم سال (هفته های ۲۷ تا ۵۲) تعمیر و نگهداری شوند. در هر هفته ۲۰ نفر نیروی متخصص وجود دارد و بار در تمام سال یکسان و برابر با ۴۷۳۹MW در نظر گرفته شده است [۳۹].

جدول (۱-۲). مشخصات واحدهای تولیدی مساله آزمون برنامه ریزی تعمیر و نگهداری [۳۹].

واحد	ظرفیت برحسب MW	هفته های شروع مجاز تعمیر و نگهداری	تعداد هفته خارج شدن برای تعمیر و نگهداری	پرسنل مورد نیاز در طول دوره تعمیر و نگهداری
۱	۵۵۵	۱-۲۶	۷	۱۰+۱۰+۵+۵+۵+۳
۲	۱۸۰	۱-۲۶	۲	۱۵+۱۵
۳	۱۸۰	۱-۲۶	۱	۲۰
۴	۶۴۰	۱-۲۶	۳	۱۵+۱۵+۱۵
۵	۶۴۰	۱-۲۶	۳	۱۵+۱۵+۱۵
۶	۲۷۶	۱-۲۶	۱۰	۳+۲+۲+۲+۲+۲+۲+۲+۳
۷	۱۴۰	۱-۲۶	۴	۱۰+۱۰+۵+۵
۸	۹۰	۱-۲۶	۱	۲۰
۹	۷۶	۱-۲۶	۲	۱۵+۱۵
۱۰	۹۴	۱-۲۶	۴	۱۰+۱۰+۱۰+۱۰
۱۱	۳۹	۱-۲۶	۲	۱۵+۱۵
۱۲	۱۸۸	۱-۲۶	۲	۱۵+۱۵
۱۳	۵۲	۱-۲۶	۳	۱۰+۱۰+۱۰
۱۴	۵۵۵	۲۷-۵۲	۵	۱۰+۱۰+۱۰+۵+۵
۱۵	۶۴۰	۲۷-۵۲	۵	۱۰+۱۰+۱۰+۱۰+۱۰
۱۶	۵۵۵	۲۷-۵۲	۶	۱۰+۱۰+۱۰+۵+۵+۵
۱۷	۷۶	۲۷-۵۲	۳	۱۰+۱۵+۱۵
۱۸	۵۸	۲۷-۵۲	۱	۲۰
۱۹	۴۸	۲۷-۵۲	۲	۱۵+۱۵
۲۰	۱۳۷	۲۷-۵۲	۱	۱۵
۲۱	۴۶۹	۲۷-۵۲	۴	۱۰+۱۰+۱۰+۱۰

### ۳-۴- مدلسازی مساله برنامه ریزی تعمیر و نگهداری واحدهای تولیدی

همانطور که اشاره شد تابع هدف مجموع مربعات رزرو در طول یکسال می باشد. در این مدلسازی متغیرهای زیر تعریف شده اند:

$i$ : اندیس واحد تولیدی

$I$ : مجموعه کل واحدهای تولیدی

$N$ : تعداد کل واحدهای تولیدی

$t$ : اندیس دوره

$T$ : مجموعه کل دوره ها در افق برنامه ریزی

$e_i$ : زودترین زمان آغاز تعمیر و نگهداری واحد  $i$ ام

$l_i$ : دیرترین زمان آغاز تعمیر و نگهداری واحد  $i$ ام

$d_i$ : مدت زمان تعمیر و نگهداری واحد  $i$ ام

$P_{it}$ : ظرفیت تولید واحد  $i$ ام در دوره  $t$ ام

$L_t$ : بار پیش بینی شده در دوره  $t$ ام

$M_{it}$ : نیروی تعمیر و نگهداری مورد نیاز در دوره  $t$ ام

$AM_t$ : نیروی تعمیر و نگهداری موجود در دوره  $t$ ام

فرض کنید  $T_i \subset T$  مجموعه دوره هایی است که تعمیر و نگهداری واحد  $i$ ام می تواند در آن آغاز شود. بنابراین برای هر  $i \in I$ ،  $T_i = \{t \in T : e_i \leq t \leq l_i - d_i + 1\}$  نشانگر آغاز تعمیر و نگهداری به صورت زیر است:

$$X_{it} = \begin{cases} 1 & \text{اگر واحد } i \text{ام در هفته } t \text{ام واحد تعمیر و نگهداری شود} \\ 0 & \text{در غیر این صورت} \end{cases}$$

بهبتر است که دو مجموعه دیگر را تعریف کنیم. اولین مجموعه  $S_{it}$  است که مجموعه زمانهای آغاز تعمیر و نگهداری است طوری که اگر تعمیر و نگهداری واحد  $i$  در دوره  $k$  آغاز شود آن واحد در دوره  $t$  نیز در

$$S_{it} = \{k \in T_i: t - d_i + 1 \leq k \leq t\}$$

مجموعه دوم  $I_t$  می باشد که مجموعه واحدهایی است که می توانند در دوره  $t$  در تعمیر و نگهداری باشند به

$$I_t = \{i: t \in T_i\}$$

تابع هدف و قیود در نظر گرفته شده را می توان به صورت زیر فرموله کرد:

$$\text{Min}_{X_{it}} \left\{ \sum_{i \in I} \left( \sum_{i \in I} P_{it} - \sum_{i \in I_t} \left( \sum_{k \in S_{it}} X_{ik} P_{ik} \right) - L_t \right)^2 \right\} \quad (3-3)$$

تحت قیود زیر:

$$\sum_{t \in T_i} X_{it} = 1 \quad \text{for all } i \in I \quad (4-3)$$

$$\sum_{i \in I_t} \sum_{k \in S_{it}} X_{ik} M_{ik} \leq AM_t \quad \text{for all } t \in T \quad (5-3)$$

$$\sum_{i \in I} P_{it} - \sum_{i \in I_t} \sum_{k \in S_{it}} X_{ik} P_{ik} \geq L_t \quad \text{for all } t \in T \quad (6-3)$$

$$X_{it} = \begin{cases} 1 & \text{اگر واحد } i \text{ در هفته } t \text{ در حال تعمیر و نگهداری باشد} \\ 0 & \text{در غیر این صورت} \end{cases} \quad (7-3)$$

چنانچه هیچ قیدی را در نظر نگیریم رزرو آینده آل به صورت زیر در می آید:

$$\frac{\sum_{t \in T} \sum_{i \in I} P_{it} - \sum_{t \in T} L_t - \sum_{i \in I} P_i \times od_i}{52} = 474.1 \text{ MW} \quad (11-3)$$

در رابطه بالا  $\sum_{i \in I} \sum_{it} P_{it}$  نشان دهنده مجموع ظرفیت کلی واحدها،  $\sum_{t \in T} L_t$  مجموع بار در طول سال و  $\sum_{i \in I} P_i \times od_i$  مجموع ظرفیت خارج شده برای تعمیر و نگهداری در طول یک سال می باشد که  $od_i$  تعداد هفته های تعمیر و نگهداری واحد  $i$ ام است. به عبارت دیگر چنانچه هیچ قیدی را در نظر نگیریم رزرو در طول سال یکسان و برابر با  $474/1MW$  خواهد بود.

بنابراین تراز کردن رزرو در طول سال با مینیمم کردن تابع هدف با در نظر گرفتن قیود ذکر شده محقق می شود که در فصل بعدی به روش های حل این مساله بهینه سازی خواهیم پرداخت.

## فصل چهارم

### الگوریتم ژنتیک و روشهای مختلف

### جستجوی محلی

#### ۴-۱- مقدمه

الگوریتم تکاملی و یا به عبارت دیگر محاسبات تکاملی از نظریه چارلز داروین در ۱۸۵۹ نشأت گرفته است [۴۰]. این نظریه بیان می کند که جاندارانی که امروز زندگی می کنند نتیجه هزاران سال سازگاری با محیط اطراف خود هستند. در یک اکوسیستم موجودات زیادی بر سر منابع محدودی با یکدیگر رقابت می کنند و موجوداتی که به هر دلیلی بتوانند منابع بیشتری بدست آورند از شانس بیشتری برای زنده ماندن و تولید مثل برخوردارند. در نتیجه این موجودات شایستگی بیشتری برای ادامه نسل خود خواهند داشت و سایر موجودات فرزندان کمتری در نسل بعدی خواهند داشت. در طول زمان جمعیت کل موجودات تکامل پیدا می کند و بیشتر شامل آن موجوداتی خواهد بود که شایستگی بیشتری برای بقای نسل خود داشته اند.

محاسبات تکاملی از اصول تکامل داروینی برای حل مسایل مختلف استفاده می کند. در یک مساله جستجو و یا بهینه سازی تعداد زیادی جواب وجود دارند و هدف پیدا کردن بهترین جواب در کوتاهترین زمان ممکن است. یک راه حل ساده امتحان کردن جوابها به صورت جداگانه و یا اتفاقی است. این روش در مسایل با بعد کم جواب می دهد ولی اگر بعد مساله افزایش یابد این روش بسیار ناکارآمد است. در الگوریتم تکاملی که یک روش مبتنی بر جمعیت است جمعیتی از جوابها در طی زمان به صورت هوشمندانه به سمت جواب بهینه نزدیک می شوند. یکی از معروفترین روشهای محاسبات تکاملی الگوریتم ژنتیک می باشد که در زیر به توضیح آن می پردازیم.

#### ۴-۲- الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک با یک جمعیت از جوابهای احتمالی سروکار دارد [۴۱]. هر جواب توسط یک کروموزوم نمایش داده می شود که شکل کد شده و مختصری از آن است. سپس تعدادی عملگر ترکیب بر روی جوابها عمل کرده جوابهای جدیدی را ایجاد می کنند. عملکرد هر جواب توسط شایستگی آن تعیین می شود. شایستگی هر جواب توسط معیاری به نام تابع هدف سنجیده می شود. سپس عضو و یا اعضای از فرزندان با روشهای متفاوتی جایگزین تعدادی از اعضای جمعیت قبل می شوند. این فرایند چندین بار تکرار می شود تا جوابها تکامل یابند. در هر تکرار مراحل زیر وجود دارند:

۱-انتخاب<sup>۱۲</sup>:

---

<sup>12</sup> Selection



اولین گام انتخاب کروموزومها و یا اعضایی است که برای تولید نسل بعدی بکار می روند. این انتخاب به صورت تصادفی و با یک احتمال معین انجام می شود به طوری که اعضایی که شایستگی بیشتری دارند بیشتر انتخاب می شوند.

۲-تولید مثل<sup>۱۳</sup>:

در این مرحله اعضایی که در مرحله قبل انتخاب شده بودند با یکدیگر ترکیب و اعضای جدیدی را بوجود می آورند. ترکیب اعضا توسط عملگرهای برش<sup>۱۴</sup> و جهش<sup>۱۵</sup> انجام می شود.

۳-ارزیابی:

در این مرحله شایستگی اعضای جدید تعیین می شود.

۴-جایگزینی:

در این مرحله تعدادی از اعضای جمعیت جدید جایگزین تعدادی از اعضای جمعیت قبلی می شوند. این مراحل تا زمانی ادامه پیدا می کنند که جواب قابل قبول بدست آید. بیان دقیقتر مراحل بالا به صورت زیر است که مراحل یک الگوریتم ژنتیک ساده را بیان می کنند:

- $n$  کروموزوم را به صورت تصادفی ایجاد کنید.
- شایستگی هر کروموزوم را تعیین کنید.
- جمعیت جدید را با دنبال کردن مراحل زیر ایجاد کنید:
- دو کروموزوم را به صورت تصادفی با توجه به شایستگیشان انتخاب کنید. هر چه شایستگی کروموزومها بیشتر باشد شانس آنها برای انتخاب شدن بیشتر خواهد بود.
- روی دو کروموزوم انتخاب شده عملگر برش را اعمال کنید.
- روی کروموزومهای جدید عملگر جهش را اعمال کنید.

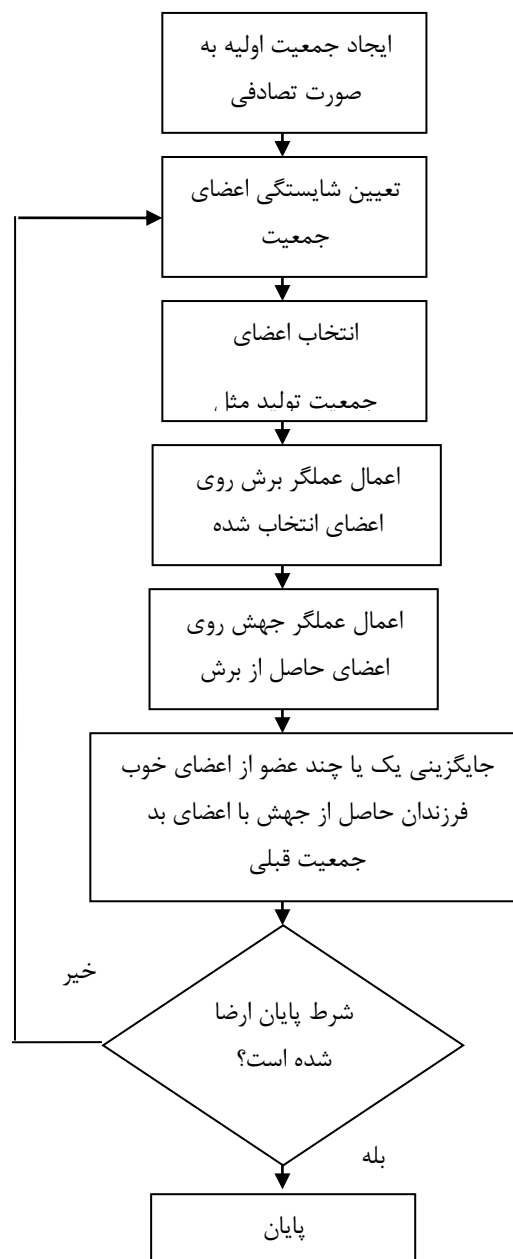
---

<sup>13</sup> Reproduction

<sup>14</sup> Crossover

<sup>15</sup> Mutation

- تعدادی از کروموزومهای جدید ایجاد شده را جایگزین تعدادی از کروموزومهای جمعیت قبلی کنید.
  - اگر شرط پایان الگوریتم ارضا شده است الگوریتم را تمام کنید.
  - اگر شرط پایان ارضا نشده است برای ارزیابی کروموزومهای جدید به مرحله ۲ بروید.
- مراحل بالا در شکل (۴-۱) نشان داده شده است.



شکل ۴-۱. مراحل الگوریتم ژنتیک

حال به بیان دقیقتر مراحل الگوریتم ژنتیک می پردازیم [۴۲]:

گام اول در الگوریتم ژنتیک نحوه نمایش جوابها به صورت کروموزوم است. معمولترین نحوه نمایش یک کروموزوم یک رشته اعداد ۰ و ۱ است. هر چند که سایر نمایشها مثل عدد صحیح و مقدار صحیح نیز بکار می روند. یک کروموزوم با نمایش باینری در شکل (۲-۴) نشان داده شده است.

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

شکل ۲-۴. یک کروموزوم با نمایش باینری

نمایش یک کروموزوم با اعداد صحیح در شکل (۳-۴) آمده است. این کروموزوم یک رشته از اعداد صحیح به طول ۲۱ است که ۱۳ عدد اول، اعدادی تصادفی بین ۱ تا ۲۶ و ۸ عدد بقیه بین ۲۷ تا ۵۲ می باشند. هر عدد در این کروموزوم نشانگر هفته آغاز تعمیر و نگهداری واحد مربوطه می باشد. مثلاً هفته شروع تعمیر و نگهداری واحد ۷ هفته ۲۱ و واحد ۱۶ هفته ۴۳ می باشد.

۲۳	۱۳	۲	۱۵	۵	۵	۲۱	۱۴	۱۱	۸	۱۹	۷	۱۶
----	----	---	----	---	---	----	----	----	---	----	---	----

۳۲	۲۷	۴۳	۵۱	۳۸	۲۹	۴۱	۴۳
----	----	----	----	----	----	----	----

شکل ۳-۴. یک کروموزوم با نمایش عدد صحیح

پس از تعیین نحوه نمایش کروموزومها نوبت به تعیین شایستگی آنها می رسد. در مسایل مینیمم سازی، کروموزومهایی بیشترین شایستگی دارند که کمترین مقدار تابع هدف را دارند. برای ارزیابی اعضا در الگوریتم ژنتیک از تابعی به نام تابع شایستگی استفاده می شود. از این تابع در مرحله انتخاب استفاده می شود. یکی از معمولترین توابع شایستگی تابع نسبت است که به صورت زیر تعریف می شود:

که  $x_i$  مبین کروموزوم  $i$ ام،  $N_{ind}$  تعداد کروموزومها در جمعیت اولیه،  $f(x_i)$  مقدار تابع هدف کروموزوم  $i$ ام و  $F(x_i)$  شایستگی کروموزوم  $i$ ام می باشد. در این تابع شایستگی هر کروموزوم به اندازه عملکرد خود در تابع

$$F(x_i) = \frac{f(x_i)}{\sum_{i=1}^{N_{ind}} f(x_i)} \quad (1-4)$$

هدف شایستگی پیدا می کند. اشکال این تابع شایستگی عدم توانایی کار با توابع هدف منفی است. Baker[43] پیشنهاد می کند که برای جلوگیری از همگرایی زودرس از تابع شایستگی زیر استفاده شود. این تابع با توجه به رتبه کروموزومها به آنها شایستگی اختصاص می دهد:

$$F(x_i) = 2 - MAX + 2(MAX - 1) \frac{rx_i - 1}{N_{ind} - 1} \quad (2-4)$$

که  $rx_i$  مرتبه کروموزوم  $i$ ام در جمعیت است و MAX عددی بین [۲ ۱/۱] است.

در مرحله انتخاب ما می خواهیم از میان جمعیت تعدادی را برای تولید مثل انتخاب کنیم. روشهای مختلفی مثل چرخ رولت ( $RWS^{16}$ ) و یا نمونه برداری تصادفی کلی ( $SUS^{17}$ ) وجود دارند که در اینجا از SUS استفاده می کنیم. در روش SUS ما یک دایره در نظر می گیریم و آن را به  $n$  قسمت (تعداد کروموزومها) تقسیم می کنیم که اندازه هر قسمت متناسب با شایستگی هر کروموزوم است. اگر بخواهیم  $m$  کروموزوم انتخاب کنیم محیط دایره را به  $m$  قسمت تقسیم می کنیم و در هر قسمت یک نشانگر می گذاریم. تعداد دفعاتی که کروموزوم  $i$  ام انتخاب می شود برابر است با تعداد نشانگرهایی است که در قسمت کروموزوم  $i$ ام قرار دارد.

پس از اینکه تعدادی کروموزوم برای تولید نسل بعدی انتخاب شدند نوبت به تولید مثل آنها می رسد. ابتدا سراغ عملگر برش می رویم. این عملگر فرزندان بوجود می آورد که ژنهای خود را از پدر و مادر خود به ارث برده اند. روشهای متفاوتی برای برش وجود دارد که در اینجا از برش چند نقطه ای استفاده می شود. در این برش کروموزومهای پدر و مادر از چندین نقطه برش داده می شوند و ژنهای کروموزوم فرزند از ترکیب این ژنها تشکیل می شود. فرض کنید که دو کروموزوم  $P_1$  و  $P_2$  داشته باشیم که هر کدام از ۸ ژن تشکیل شده اند. فرزندان  $O_1$  و  $O_2$  بوجود آمده از اعمال عملگر برش بر روی ژنهای پدر و مادر در شکل (۴-۴) نشان داده شده اند.

$P_1$

0	1	0	0	1	1	1	0	1	0
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

<sup>16</sup> Roulette Wheel Selection

<sup>17</sup> Stochastic Universal Sampling

P<sub>2</sub>

1	1	0	1	0	1	0	1	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---



O<sub>1</sub>

0	1	0	1	0	1	0	0	1	0
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

O<sub>2</sub>

1	1	0	0	1	1	1	1	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

شکل ۴-۴. نحوه عملکرد عملگر برش در کروموزوم با نمایش باینری

در عملگر جهش یک ژن کروموزوم به صورت تصادفی تغییر می کند. جهش معمولاً با نرخ ۰/۰۱ تا ۰/۰۰۱ انجام می شود. جهش برای دسترسی بیشتر به تمام نقاط فضای جستجو انجام می شود. در نمایش باینری یک ژن به طور تصادفی از ۱ به ۰ و یا برعکس تبدیل می شود. جهش در یک کروموزوم با نمایش باینری در شکل (۴-۵) نشان داده شده است.

1	1	0	0	1	1	1	1	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---



1	1	0	0	0	1	1	1	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

شکل ۴-۵. نحوه عملکرد عملگر جهش در کروموزوم با نمایش باینری

پس از آنکه جمعیت فرزندان تشکیل شد فرزندان باید به نوعی جایگزین اعضای نسل قبل شوند. این عمل که در الگوریتم ژنتیک به جایگزینی معروف است انواع مختلفی دارد که در اینجا از نوع جایگزینی نخبه گرایی<sup>۱۸</sup> استفاده می شود. در این روش بهترین فرزند یعنی آن فرزندی که بهترین شایستگی را دارد جایگزین بدترین

<sup>18</sup> Elitism strategy

عضو نسل قبل می شود. مراحل بالا تا آنجا تکرار می شود تا اینکه شرط خاتمه ارضا شود. شرط خاتمه می تواند تعداد تکرار، عدم تغییر بهترین جواب به مدت طولانی و یا ترکیبی از این دو باشد.

الگوریتم ژنتیک در موارد زیر با الگوریتمهای بهینه سازی سنتی متفاوت است [۴۰]:

۱. الگوریتم ژنتیک بر روی شکل کد شده جوابها کار می کند در صورتی که روشهای سنتی بر روی شکل حقیقی جوابها کار می کنند.

۲. تقریباً تمام الگوریتمهای سنتی جستجوی خود را از یک نقطه آغاز می کنند در صورتی که الگوریتم ژنتیک همزمان بر روی تعداد زیادی از نقاط کار می کند. بنابراین احتمال گیر کردن در نقطه بهینه محلی کم می شود و شانس پیدا کردن بهینه کلی بیشتر می شود.

۳. الگوریتم ژنتیک برای ارزیابی جوابها از تابع شایستگی استفاده می کند و نیازی به مشتق تابع ندارد. بنابراین الگوریتم ژنتیک را می توان به مسائل متفاوتی اعم از پیوسته، گسسته، خطی و یا غیر خطی اعمال کرد.

۴. الگوریتم ژنتیک از قوانین احتمالی برای پیدا کردن جواب استفاده می کند در صورتی که الگوریتمهای سنتی از قوانین معین استفاده می کنند.

موارد زیر را می توان از مزایای الگوریتم ژنتیک برشمرد:

- جستجو به صورت موازی
- قابلیت اطمینان بالا
- فضای جستجوی گسترده تر
- آسان پیدا کردن بهینه کلی
- قابلیت انعطاف برای مسایل مختلف
- عدم نیاز به مشتق گیری
- عملکرد خوب در مسایل بزرگ
- قابلیت حل مسایل با چندین هدف

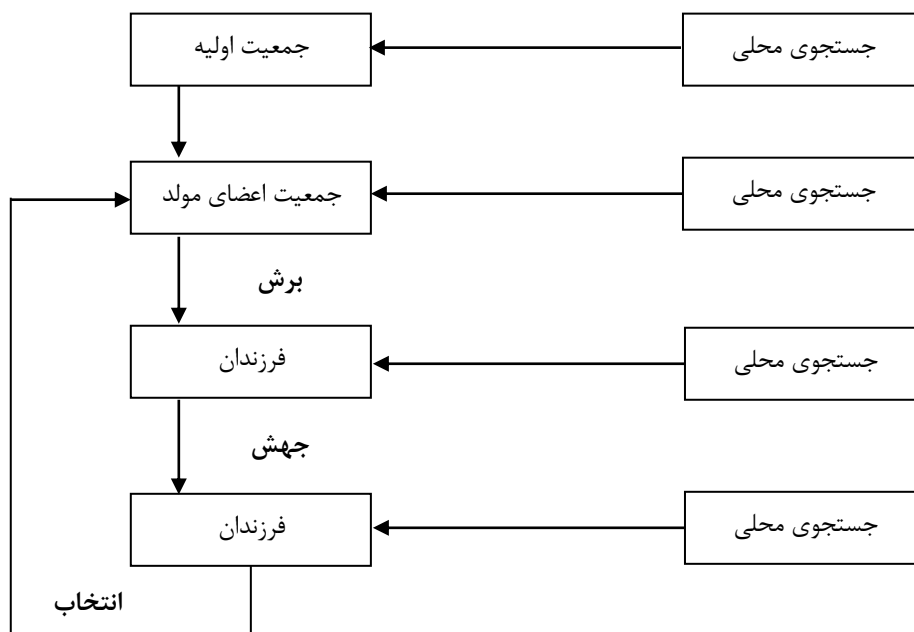
محدودیتهای الگوریتم ژنتیک به شرح زیر می باشند:

- پیدا کردن تابع شایستگی

- نمایش کروموزوم
- احتمال گیر افتادن در دام بهینه محلی
- مساله انتخاب پارامترهای متفاوت مثل اندازه جمعیت نرخ برش و جهش و مکانیسم انتخاب
- عدم امکان استفاده از مشتق تابع در صورت وجود
- ارزیابی تابع هدف به دفعات زیاد

### ۴-۳- الگوریتمهای جستجوی محلی

همانطور که در بالا اشاره شد یکی از نقایص الگوریتم ژنتیک نیاز به یک جستجوی محلی می باشد. این جستجوی محلی می تواند در جاهای مختلفی مثل جمعیت اولیه یا جمعیت فرزندان اعمال شود. فلسفه جستجوی محلی پیدا کردن جوابهای بهتر در همسایگی جوابهای موجود می باشد. شکل (۴-۶) مکانهایی که جستجوی محلی می تواند انجام شود را نشان می دهد [۴۴].

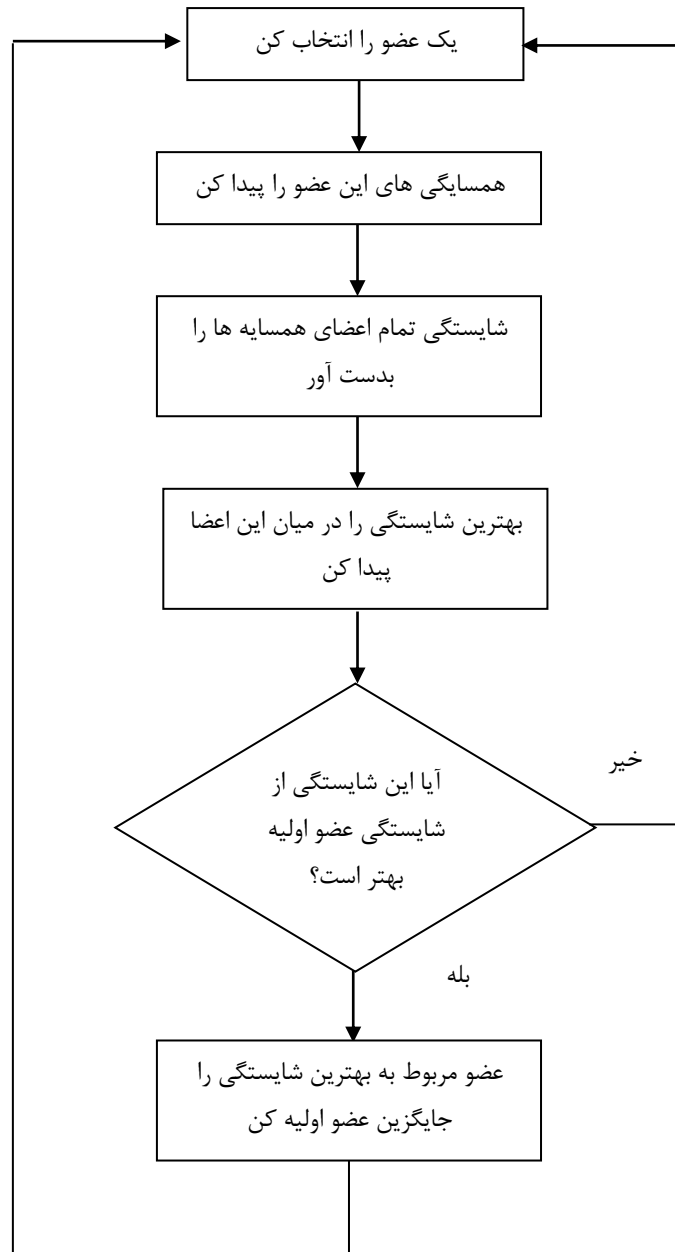


شکل ۴-۶. مکانهای مختلف اعمال جستجوی محلی در الگوریتم ژنتیک

#### ۴-۳-۱- الگوریتم HCT

در الگوریتم HCT ابتدا برای عضوی که می خواهیم توسط جستجوی محلی بهبود بخشیم یک تعداد همسایه پیدا می کنیم. سپس شایستگی تمامی اعضای همسایه ها را پیدا حساب می کنیم. اگر شایستگی عضوی در اعضای همسایه ها بهتر از شایستگی عضو اول بود آنگاه آن همسایه جایگزین آن عضو می شود. مراحل این الگوریتم در شکل (۴-۷) نشان داده شده است.





شکل ۴-۷. مراحل الگوریتم HCT

تعریف همسایگی برای جوابها متفاوت است. مثلا در کروموزوم نشان داده شده در شکل (۳-۴) همسایه های آن می توانند به صورت شکل (۴-۸) باشند که هر عضو جدید با اضافه کردن عدد یک به مقادیر ژنهای عضو قبلی بدست می آید.

۲۵	۱۵	۴	۱۷	۷	۷	۲۳	۱۶	۱۳	۱۰	۲۱	۹	۱۸
۲۴	۱۴	۳	۱۶	۶	۶	۲۲	۱۵	۱۲	۹	۲۰	۸	۱۷
۲۳	۱۳	۲	۱۵	۵	۵	۲۱	۱۴	۱۱	۸	۱۹	۷	۱۶
۲۲	۱۳	۱	۱۴	۴	۴	۲۰	۱۳	۱۰	۷	۱۸	۶	۱۵
۲۱	۱۳	۲۶	۱۳	۳	۳	۱۹	۱۲	۹	۶	۱۷	۵	۱۴

۳۴	۲۹	۴۵	۲۷	۴۰	۳۱	۴۳	۴۵
۳۳	۲۸	۴۴	۵۲	۳۹	۳۰	۴۲	۴۴
۳۲	۲۷	۴۳	۵۱	۳۸	۲۹	۴۱	۴۳
۳۱	۲۶	۴۲	۵۰	۳۷	۲۸	۴۰	۴۲
۳۰	۲۵	۴۱	۴۹	۳۶	۲۷	۳۹	۴۱

شکل ۴-۸. نمونه از تعریف همسایگی برای عضو نشان داده شده در شکل (۳-۴)

و یا می تواند به صورت زیر باشد:

۲۳	۱۳	۲	۱۵	۶	۵	۲۱	۱۴	۱۱	۸	۱۹	۷	۱۶
۲۳	۱۳	۲	۱۵	۷	۵	۲۱	۱۴	۱۱	۸	۱۹	۷	۱۶
۲۳	۱۳	۲	۱۵	۸	۵	۲۱	۱۴	۱۱	۸	۱۹	۷	۱۶
۲۳	۱۳	۲	۱۵	۹	۵	۲۱	۱۴	۱۱	۸	۱۹	۷	۱۶

۳۲	۲۷	۴۴	۵۱	۳۸	۲۹	۴۱	۴۳
----	----	----	----	----	----	----	----

۳۲	۲۷	۴۵	۵۱	۳۸	۲۹	۴۱	۴۳
۳۲	۲۷	۴۶	۵۱	۳۸	۲۹	۴۱	۴۳
۳۲	۲۷	۴۷	۵۱	۳۸	۲۹	۴۱	۴۳

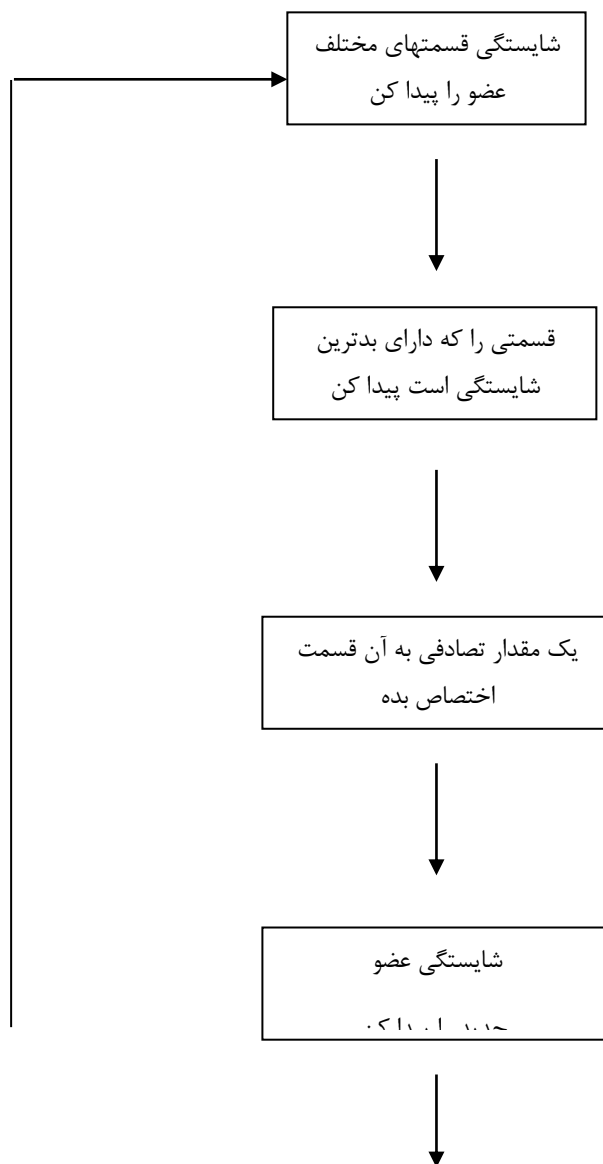
شکل ۴-۹. نمونه از تعریف همسایگی برای عضو نشان داده شده در شکل (۳-۴)

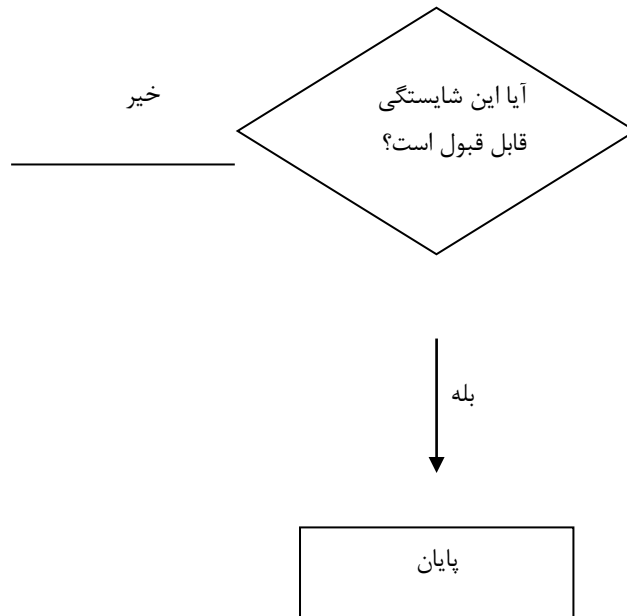
که در آن یک یا چند ژن می توانند در همسایگی خود تغییر کنند.

#### ۴-۳-۲- الگوریتم EO

این الگوریتم که اخیراً توسط Boettcher and Percus [45,46] پیشنهاد شده از مدل [۴۷] Bak-Sneppen الهام گرفته شده است. در این روش عضو مورد نظر به چندین قسمت تقسیم شده و به هر قسمت یک شایستگی اختصاص داده می شود. شایستگی هر قسمت با توجه به عملکرد آن قسمت در تابع هدف کلی تعیین می شود. سپس قسمتی که بدترین عملکرد را دارد و یا به عبارت دیگر دارای کمترین شایستگی است پیدا می شود، آنگاه یک مقدار تصادفی به آن قسمت اختصاص داده می شود. این مقدار تصادفی باید در دامنه قابل قبول برای آن قسمت باشد. این روند آنقدر تکرار می شود تا جواب قابل قبول بدست آید. مراحل این الگوریتم در شکل (۳-۱۰) نشان داده شده است.

همانطور که در این فصل اشاره شد الگوریتمهای جستجوی محلی را می توان به یک یا چندین عضو از اعضای الگوریتم ژنتیک اعمال کرد و آنها را بهبود بخشید. این الگوریتمها را می توان در مکانهای مختلفی از الگوریتم ژنتیک اعمال کرد. در فصل بعدی یک الگوریتم جستجوی محلی جدیدی ارائه می شود که در آن اثر برنامه تعمیر و نگهداری هر واحد در شایستگی عضو مورد نظر معلوم شده و از این طریق برنامه آن دسته از واحدهایی که شایستگی آن عضو را کاهش می دهند تصحیح می شود.





شکل (۴-۱۰). مراحل الگوریتم EO

## فصل پنجم

### الگوریتم پیشنهادی

٥-١- مقدمه

در این فصل یک الگوریتم برای حل مساله برنامه ریزی تعمیر و نگهداری پیشنهاد می شود. سپس الگوریتم ژنتیک همراه با الگوریتمهای جستجوی محلی که در فصل چهارم بحث شدند همراه با الگوریتم پیشنهادی به مساله آزمون اعمال می گردند.

## ۵-۲- الگوریتم پیشنهادی EO/GA

همانطور که در فصل ۳ بحث شد، در الگوریتم EO هر عضو به چندین قسمت تقسیم شده و به هر قسمت یک شایستگی تخصیص داده می شود. سپس قسمتی که دارای بدترین شایستگی است پیدا شده و به آن قسمت یک مقدار تصادفی داده می شود. این کار برای چندین بار تکرار می شود تا شایستگی کلی عضو که متشکل از شایستگی تمامی قسمتها می باشد در تکرارهای مختلف بهبود یابد.

ممکن است در مقدار دهی تصادفی مقدار مناسبی به قسمت مورد نظر اختصاص داده نشود و شایستگی عضو بهبود نیابد. بنابراین پیشنهاد می شود که این مقاداردهی آگاهانه و یا با جستجو صورت گیرد. چنانچه بخواهیم چندین قسمت را که دارای بدترین شایستگی هستند بهبود دهیم فضای جستجو بسیار بزرگ خواهد شد. این بعد بالای فضای جستجو، ما را به استفاده از روشهای مبتنی بر جمعیت رهنمون می سازد. بهترین این روشها الگوریتم ژنتیک است که در مورد آن بحث شد. بنابراین هدف ما بهبود قسمت یا قسمتهایی است که دارای بدترین شایستگی می باشند. بدیهی است که سایر قسمتها در عضو دست نخورده باقی می مانند و الگوریتم ژنتیک فقط روی چند عضو انتخاب شده عمل می کند. فرض کنید که عضو مورد نظر شامل  $n$  قسمت است و قسمتهای ۱ تا ۳ آن دارای بدترین شایستگی هستند. این عضو در شکل (۵-۱) نشان داده شده است. برای بهبود قسمتهای ۱ تا ۳ از الگوریتم ژنتیک استفاده می شود. توجه کنید که عضو شکل (۵-۱) خود یک عضو از جوابهای مساله است که از الگوریتم ژنتیک برای بدست آوردن آن استفاده می شود.

$C_1$	$C_2$	$C_3$	...	$C_n$	$C_{n-1}$	$C_n$
-------	-------	-------	-----	-------	-----------	-------

شکل (۵-۱). قسمت‌های مختلف یک عضو

برای بهبود قسمت‌های دارای کمترین شایستگی این عضو از الگوریتم ژنتیک دیگری استفاده می‌شود. دقت شود که این دو الگوریتم نباید با هم اشتباه شوند. در ادامه الگوریتم ژنتیک استفاده شده برای بهبود قسمتهایی از عضو که دارای کمترین شایستگی هستند تشریح می‌شود. طبق مراحل گفته شده در الگوریتم ژنتیک ابتدا باید یک جمعیت از اعضا تشکیل بدهیم. در اینجا چون می‌خواهیم فقط سه قسمت را بهبود دهیم بنابراین جمعیت اولیه فقط در سه قسمت اولیه فرق می‌کند. نمونه‌های از این جمعیت را در شکل (۵-۲) نشان داده شده است.

$C_{11}$	$C_{12}$	$C_{13}$	...	$C_{1(n-2)}$	$C_{1(n-1)}$	$C_{1n}$
$C_{21}$	$C_{22}$	$C_{23}$	...	$C_{1(n-2)}$	$C_{1(n-1)}$	$C_{1n}$
$C_{31}$	$C_{32}$	$C_{33}$	...	$C_{1(n-2)}$	$C_{1(n-1)}$	$C_{1n}$
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
$C_{m1}$	$C_{m2}$	$C_{m3}$	...	$C_{1(n-2)}$	$C_{1(n-1)}$	$C_{1n}$

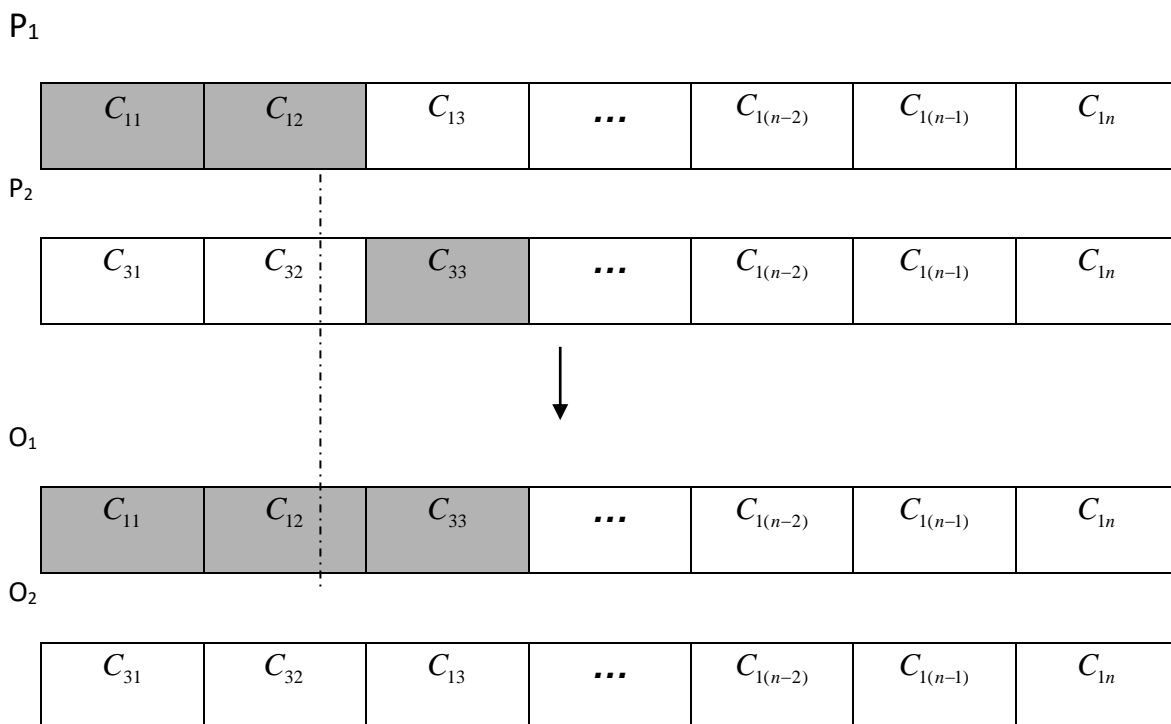
شکل (۵-۲). نمونه ای از جمعیت اولیه برای بهبود قسمت‌های دارای کمترین شایستگی

همانطور که در شکل (۵-۲) مشاهده می‌شود جمعیت اولیه شامل  $m$  کروموزوم است که فقط قسمت‌های ۱ تا ۳ کروموزومها تغییر یافته اند و به آنها اعدادی تصادفی نسبت داده شده است.

مرحله بعد انتخاب اعضایی است که برای ایجاد نسل بعد بکار می‌روند. در اینجا از روش SUS استفاده می‌شود که قبلاً توضیح داده شد. سپس نوبت به ترکیب اعضا می‌رسد تا فرزندان جدیدی را درست کنند. ابتدا



عملگر برش اعمال می شود. برای مثال دو عضو انتخاب شده و فرزندان ایجاد شده آنها در شکل (۳-۵) نشان داده شده است.



شکل (۳-۵). نحوه عملکرد عملگر برش بر روی قسمت‌های مختلف دو عضو

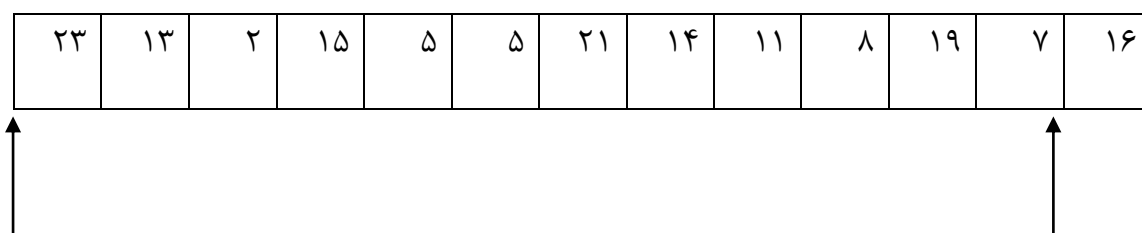
همانطور که مشاهده می شود عملگر برش فقط روی قسمت‌های ۱ تا ۳ تاثیر می گذارد چونکه سایر قسمت‌ها مشابه یکدیگرند. عملگر جهش را نیز طوری تنظیم می کنیم که فقط روی قسمت‌های ۱ تا ۳ تاثیر عمل کند. نمونه ای از جهش را در شکل (۴-۵) مشاهده می کنید.



شکل (۴-۵). نحوه عملکرد عملگر جهش بر روی یک عضو

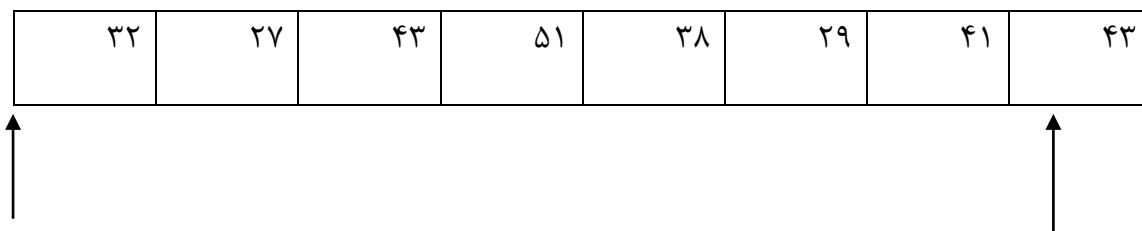
در این شکل عملگر جهش روی اولین قسمت عمل کرده و مقداری تصادفی به آن اختصاص می‌دهد. پس از آنکه جمعیت فرزندان تشکیل شد از روش جایگزینی نخبه‌گرایی استفاده می‌کنیم یعنی بهترین عضو فرزندان را جایگزین بدترین عضو جمعیت قبلی می‌کنیم. روند بالا تا تعداد تکرار خاصی ادامه می‌یابد. سپس بهترین عضو انتخاب شده و برای جایگزینی در الگوریتم ژنتیک اصلی بکار می‌رود.

دو مساله مهم در این روش پیشنهادی وجود دارد. یکی چگونگی انتخاب قسمتها و دیگری انتخاب تابع شایستگی مناسب برای قسمتهاست به قسمی که با افزایش شایستگی قسمتها شایستگی کلی عضو نیز افزایش یابد و یا به عبارت دیگر شایستگی قسمتها رابطه مستقیمی با شایستگی کلی عضو داشته باشد. در مساله آزمون مورد بحث، هر عضو یک رشته از اعداد صحیح به طول ۲۱ است که هر عدد نمایانگر هفته آغاز تعمیر و نگهداری واحد مربوطه است. زمان شروع تعمیر و نگهداری هر واحد را در عضو یک قسمت می‌نامیم. بنابراین در هر عضو ۲۱ قسمت وجود دارد که هر قسمت معرف هفته آغاز تعمیر و نگهداری واحد مربوطه است. یک عضو نوعی به همراه قسمت‌های آن در شکل (۵-۵) نشان داده شده است.



قسمت اول

قسمت سیزدهم



قسمت چهاردهم

قسمت بیست و یکم

شکل (۵-۵). نمایش یک عضو و قسمت‌های آن در مساله آزمون

مساله مهم ديگر انتخاب شايستگي براي قسمت‌ها است. به ياد داريم كه تابع هدف ما كمينه كردن مجموع مربعات رزرو در طول ۵۲ هفته سال است. كمترين مقدار تابع هدف با صرف نظر از قيود، هنگامي بدست مي آيد كه رزرو در طول سال يكسان و برابر با رزرو ايده ال باشد. بنابراين برنامه خروج آن واحدي تابع هدف را كمتر مي كند كه رزرو در طول مدت تعمير و نگهداري آن واحد نزديك به رزرو ايده ال باشد. بدين منظور از انحراف استاندارد رزرو در طول هفته هاي تعمير و نگهداري هر واحد به عنوان تابع هدف آن قسمت استفاده مي كنيم. بيان كمي اين رابطه به صورت زير مي باشد:

(۱-۵)

$$CObj(i) = \sqrt{\frac{\sum_{j=c(i)}^{c(i)+od(i)-1} (r_j - \bar{r})^2}{od(i)}} + \alpha \sum_{j=c(i)}^{c(i)+od(i)-1} anmp(j)$$

كه در آن،

CObj(i) رزرو در هفته z ام

مقدار تابع هدف قسمت i ام

r(j)

od(i)

تعداد هفته هاي تعمير و نگهداري واحد i ام

c(i)

هفته آغاز تعمير و نگهداري واحد i ام

$$anmp(j) = \left( \sum_{i \in \{i | x_i = 1\}} NMP(i, j) - AMP_j \right) \quad (۲-۵)$$

در رابطه (۱-۵) جمله اول انحراف استاندارد رزرو در هفته هاي تعمير و نگهداري واحد i ام از رزرو ايده ال را نشان مي دهد كه  $\bar{r}$  نشان دهنده رزرو ايده ال است. جمله دوم نيز يك تابع جریمه براي در نظر گرفتن نقض قيد نيروي تعمير و نگهداري مي باشد. هرچه مقدار تابع هدف يك قسمت بيشتر باشد نشانگر اين موضوع است كه برنامه آن واحد درست تنظيم نشده است زيرا رزرو در مدت تعمير و نگهداري آن واحد انحراف بيشترى نسبت رزرو ايده ال دارد.

حال كه نقش برنامه هر واحد در شايستگي كل عضو مشخص شد، بايد برنامه آن دسته از واحد يا واحدهاي را كه بدترين شايستگي را دارند تصحيح كنيم. مي توان برنامه واحدي را كه بدترين شايستگي را دارد به

صورت تصادفی تغییر داد که اینکار در الگوریتم EO انجام می شود. مراحل انجام جستجوی محلی با استفاده از الگوریتم پیشنهادی برای مساله آزمون به صورت زیر می باشد.

۱-انتخاب یک عضو به صورت دلخواه

۲-تعیین شایستگی برنامه کلیه واحدها

۳-پیدا نمودن برنامه واحدهایی که شایستگی آنها از متوسط شایستگی کلیه قسمتها کمتر است

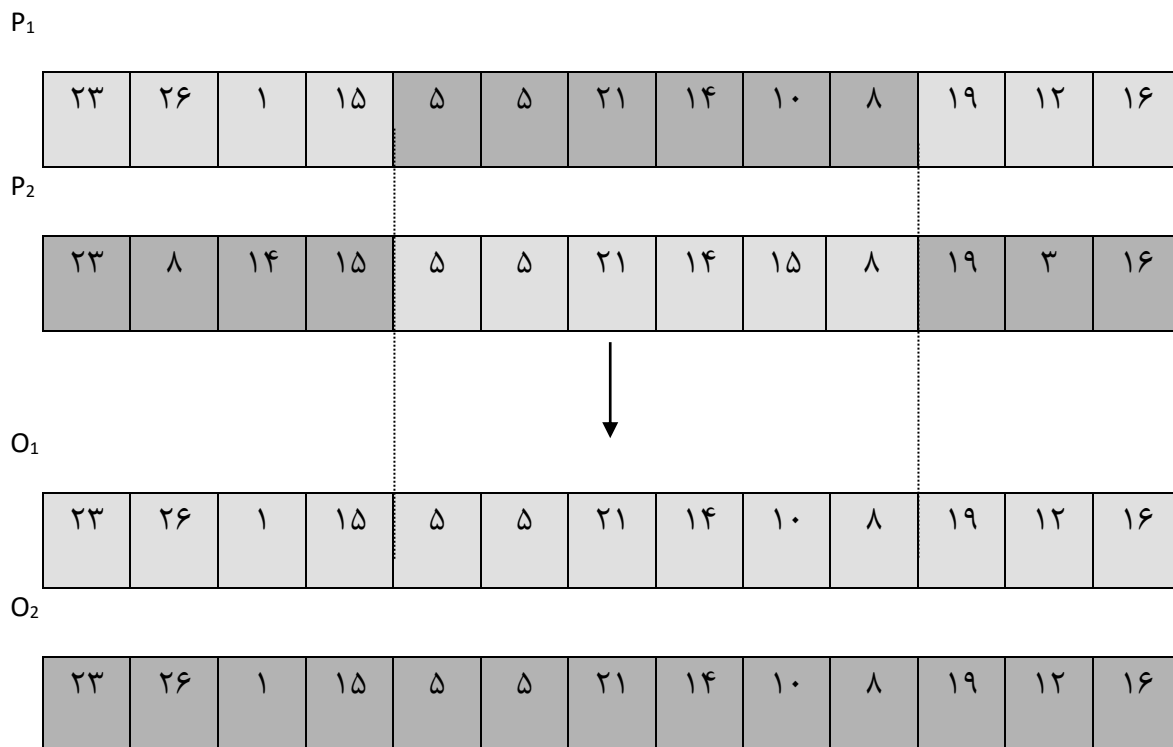
۴-اجرای الگوریتم ژنتیک فقط بر روی واحدهای انتخاب شده و بهبود آنها

فرض کنید که عضو مورد نظر، عضو نشان داده شده در شکل (۵-۵) باشد. برنامه واحدهای ۲ و ۳ و ۹ و ۱۲ دارای کمترین شایستگی می باشند. بنابراین یک الگوریتم ژنتیک فقط روی این قسمتها اجرا می کنیم. نمونه ای از جمعیت اولیه برای واحدهای ۱ تا ۱۳ در شکل (۵-۶) نشان داده شده است.

۲۳	۴	۲۳	۱۵	۵	۵	۲۱	۱۴	۲۳	۸	۱۹	۱۶	۱۶
۲۳	۱۹	۱۲	۱۵	۵	۵	۲۱	۱۴	۱۵	۸	۱۹	۱۱	۱۶
۲۳	۵	۶	۱۵	۵	۵	۲۱	۱۴	۶	۸	۱۹	۱۳	۱۶
۲۳	۹	۱۹	۱۵	۵	۵	۲۱	۱۴	۹	۸	۱۹	۵	۱۶
۲۳	۶	۱۶	۱۵	۵	۵	۲۱	۱۴	۲۵	۸	۱۹	۹	۱۶
۲۳	۸	۱۴	۱۵	۵	۵	۲۱	۱۴	۱۵	۸	۱۹	۳	۱۶

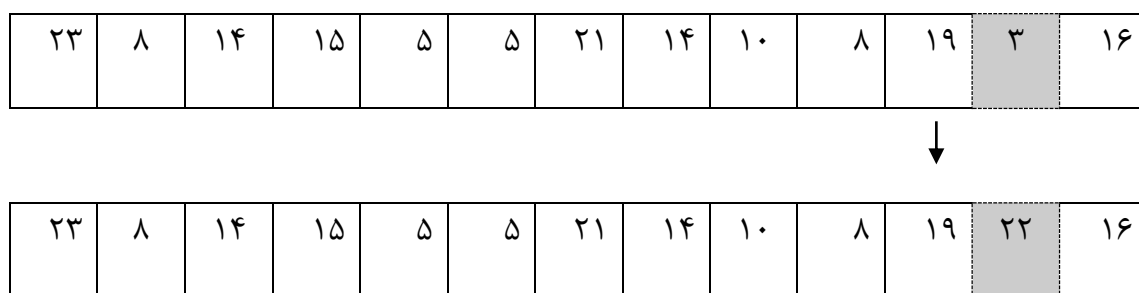
شکل (۵-۶). نمونه ای از جمعیت اولیه برای واحدهای ۱ تا ۱۳ به همراه قسمت‌های تشکیل دهنده آنها

همانطور که از این شکل مشاهده می شود در جمعیت اولیه فقط برنامه واحدهای مورد نظر تغییر یافته و برنامه سایر واحدها ثابت مانده اند. در عملگر برش نیز برنامه واحدهای مورد نظر تغییر می یابند. یک برش نمونه در شکل (۷-۵) نشان داده شده است.



شکل (۷-۵). نمونه ای از نحوه عملکرد عملگر برش دو عضو در الگوریتم پیشنهادی

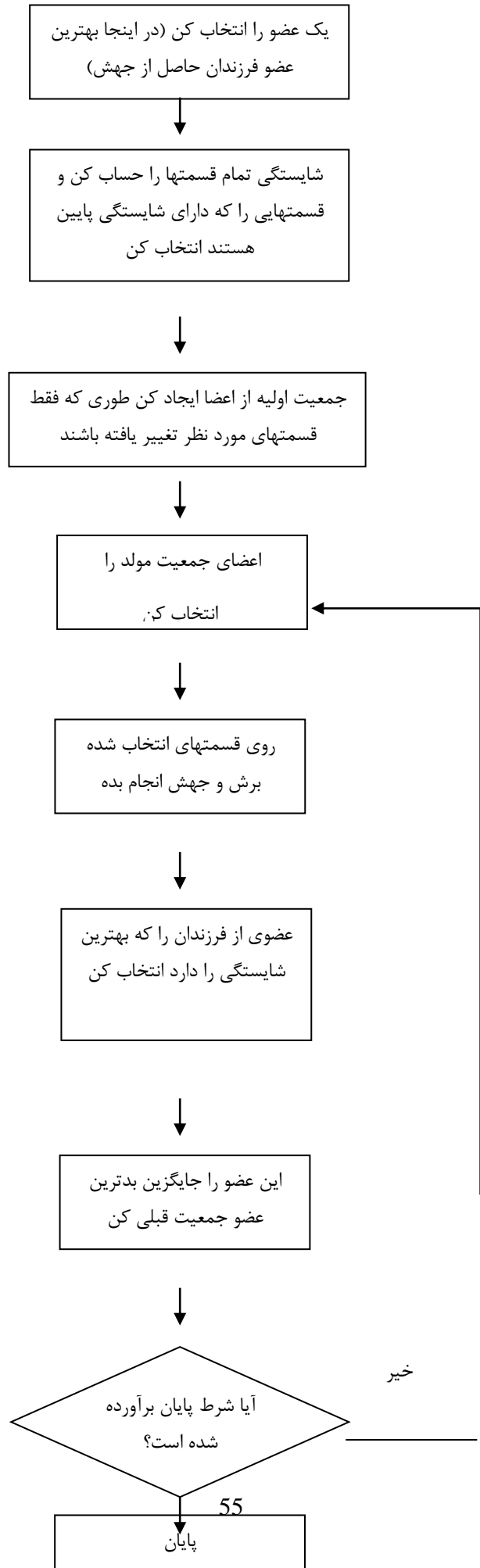
عملگر جهش را نیز فقط بر روی واحدهای انتخاب شده اعمال می کنیم. نمونه ای از اجرای این عملگر در شکل (۸-۵) نشان داده شده است.



شکل (۸-۵). نمونه ای از نحوه عملکرد عملگر جهش دو عضو در الگوریتم پیشنهادی

در این شکل برنامه واحد دوازدهم از هفته ۳ به هفته ۲۲ تغییر یافته است.

سایر مراحل مانند الگوریتم ژنتیک معمولی می باشند. نمودار الگوریتم پیشنهادی برای یک عضو از فرزندان حاصل از عمل جهش در شکل (۵-۹) نشان داده شده است.



شکل (۵-۹). الگوریتم پیشنهادی جستجوی محلی برای یک عضو از فرزندان حاصل از عمل جهش

در دو فصل پیش الگوریتم ژنتیک و الگوریتمهای جستجوی محلی ارائه و مورد بررسی قرار گرفت. همچنین یک الگوریتم جستجوی محلی که ترکیبی از الگوریتمهای ژنتیک و EO است توسعه یافته و به تفصیل درباره آن بحث شد. در فصل بعدی الگوریتمهای ارائه شده در فصلهای قبل را به مساله آزمون اعمال کرده و نتایج آنها مورد بررسی قرار می گیرد.

## فصل ششم

### نتایج شبیه سازی



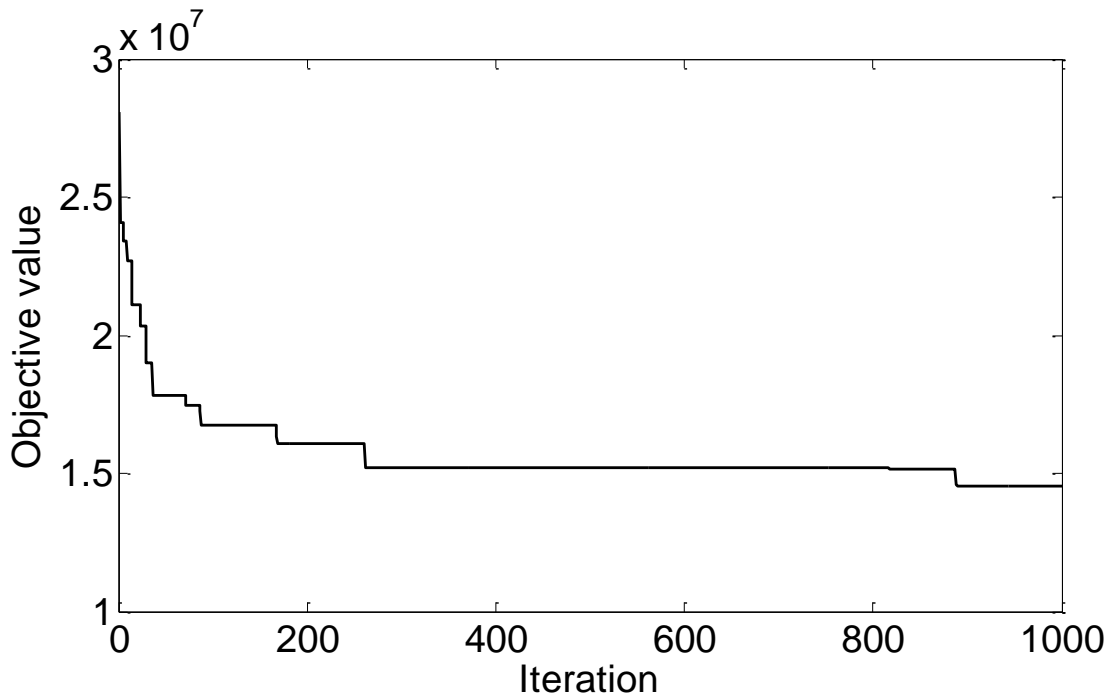
## ۶-۱- مقدمه

در این فصل الگوریتم ژنتیک به همراه الگوریتمهای جستجوی محلی بحث شده در فصل های قبلی به مساله آزمون اعمال می شوند. هر یک از الگوریتمهای جستجوی محلی مذکور در مکانهای مختلف الگوریتم ژنتیک اعم از جمعیت اولیه، جمعیت مولد (مخزن جفت گیری)، فرزندان حاصل از برش و فرزندان حاصل از جهش

بر روی یک یا چند عضو اعمال می گردد و نتایج حاصل مقایسه می شود و بهترین مکان اعمال جستجوی محلی بدست می آید. هفته آغاز خروج هر واحد در روشهای مختلف با الگوریتم ژنتیک بدون جستجوی محلی مقایسه می شود. برای نمایش عملکرد هر روش مقدار رزرو در طول سال نمایش داده می شود. از روی نمودار مقدار رزرو می توان انحراف از رزرو ایده ال در هفته های مختلف سال را مشاهده کرد. در ادامه ابتدا الگوریتم ژنتیک بدون جستجوی محلی را بر روی مساله آزمون اعمال می کنیم و سپس الگوریتمهای جستجوی محلی ذکر شده را در مکانهای مختلف الگوریتم ژنتیک بکار می بریم.

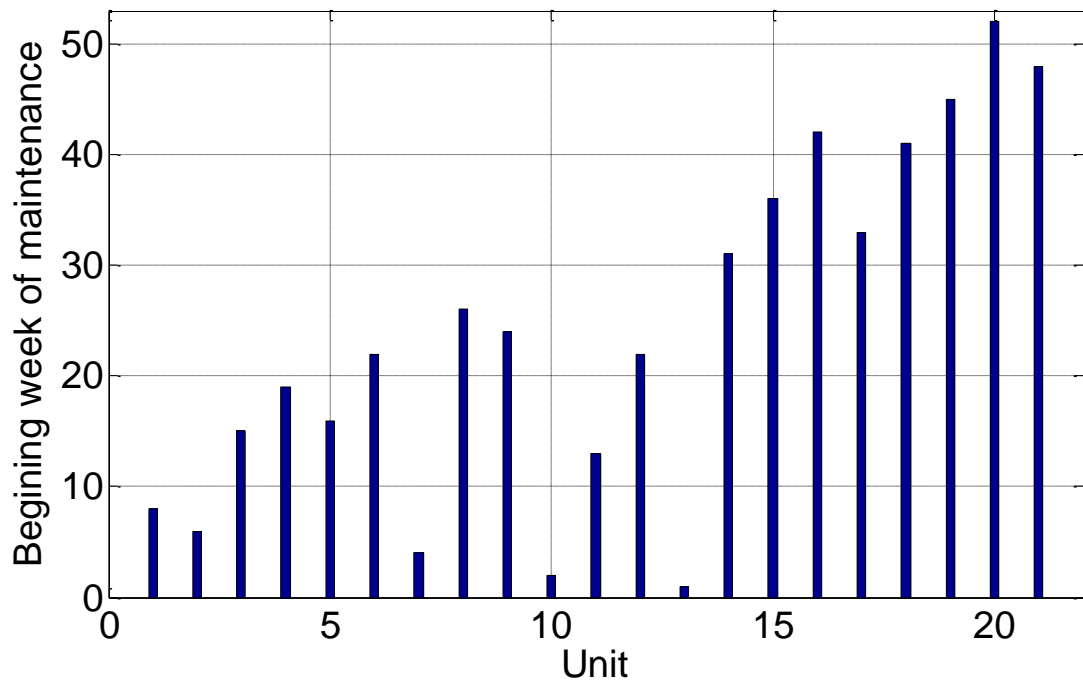
## ۶-۲- الگوریتم ژنتیک بدون جستجوی محلی

در این قسمت الگوریتم ژنتیک بدون استفاده از جستجوی محلی به مساله آزمون اعمال می شود. جمعیت اولیه شامل ۸۰ عضو می باشد که ۷۲ عضو آن برای تولید نسل بعدی انتخاب می شوند. نرخ برش ۰/۷ و نرخ جهش ۰/۱ در نظر گرفته شده است. شرط پایان الگوریتم تعداد تکرار ها بوده که در اینجا ۱۰۰۰ تکرار انتخاب شده است. الگوریتم ژنتیک ۵۰ بار اجرا شده و از بین این ۵۰ بار اجرا بهترین اجرا انتخاب می شود. بهترین اجرا اجرایی است که مقدار تابع هدف بهترین عضو جمعیت در آخرین تکرار الگوریتم ژنتیک کمترین مقدار را نسبت به اجراهای دیگر داشته باشد. مقدار تابع هدف بهترین اجرا در تکرارهای مختلف الگوریتم ژنتیک در شکل (۶-۱) نشان داده شده است. هفته آغاز بهترین برنامه تعمیر و نگهداری واحدها در شکل (۶-۲) نمایش داده شده است. مثلا زمان شروع تعمیر و نگهداری واحد ۶ هفته ۲۲ می باشد که با توجه به جدول (۲-۱) این واحد در هفته های ۶ تا ۱۵ در تعمیر و نگهداری است. مقدار تغییرات رزرو در طول هفته های سال در شکل (۶-۳) نشان داده شده است.



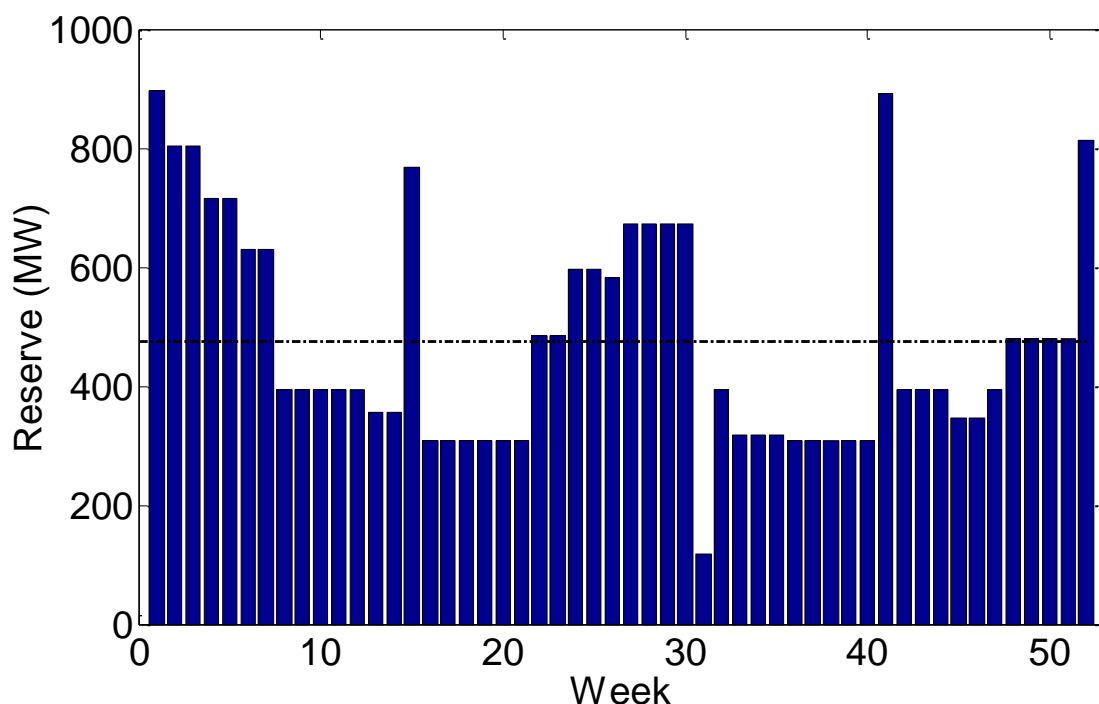
شکل (۶-۱). مقدار تابع هدف بهترین اجرا در تکرارهای مختلف

الگوریتم ژنتیک بدون اعمال جستجوی محلی



شکل (۶-۲). هفته های شروع تعمیر و نگهداری واحدها در

بهترین برنامه بدست آمده از الگوریتم ژنتیک بدون اعمال جستجوی محلی،



شکل (۳-۶). رزرو در طول هفته های سال برای بهترین برنامه تعمیر و نگهداری بدست آمده

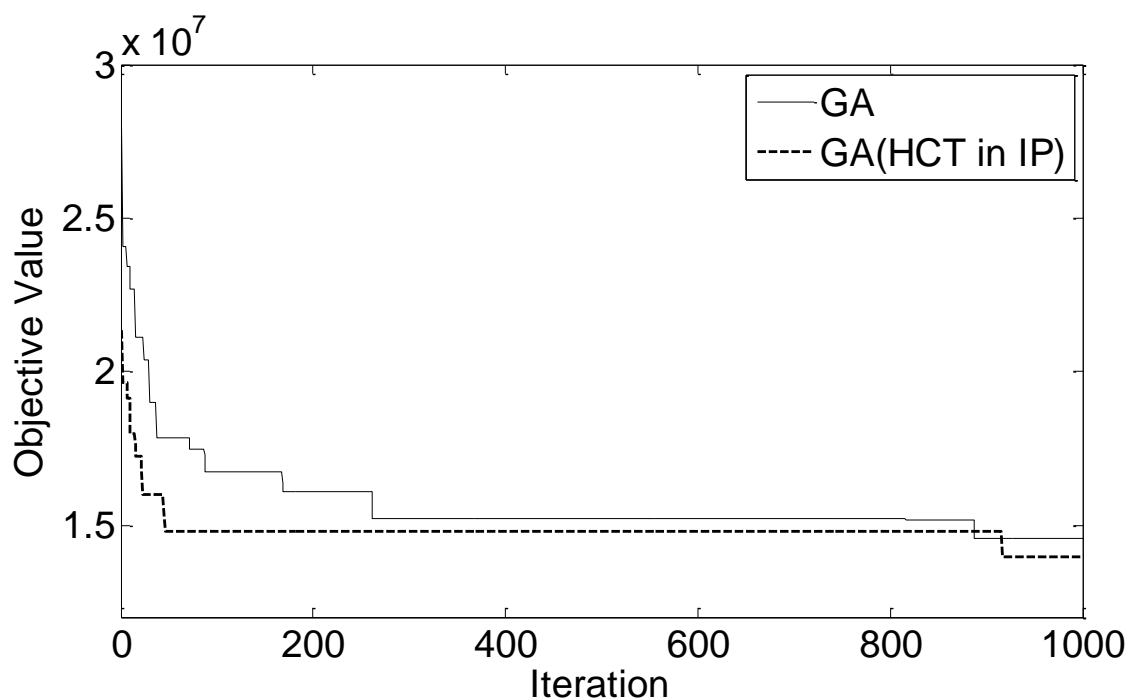
از الگوریتم ژنتیک بدون اعمال جستجوی محلی

مقدار تابع هدف در پایان تکرار ۱۰۰۰، ۱۳۷۷۰۴۴۷ مگاوات مربع می باشد بوده است. در قسمت بعد الگوریتم HCT را به مکانهای مختلف الگوریتم ژنتیک اعمال کرده و تفاوت آن را با الگوریتم ژنتیک بدون جستجوی محلی بررسی می کنیم.

### ۳-۶- اعمال الگوریتم HCT در جمعیت اولیه

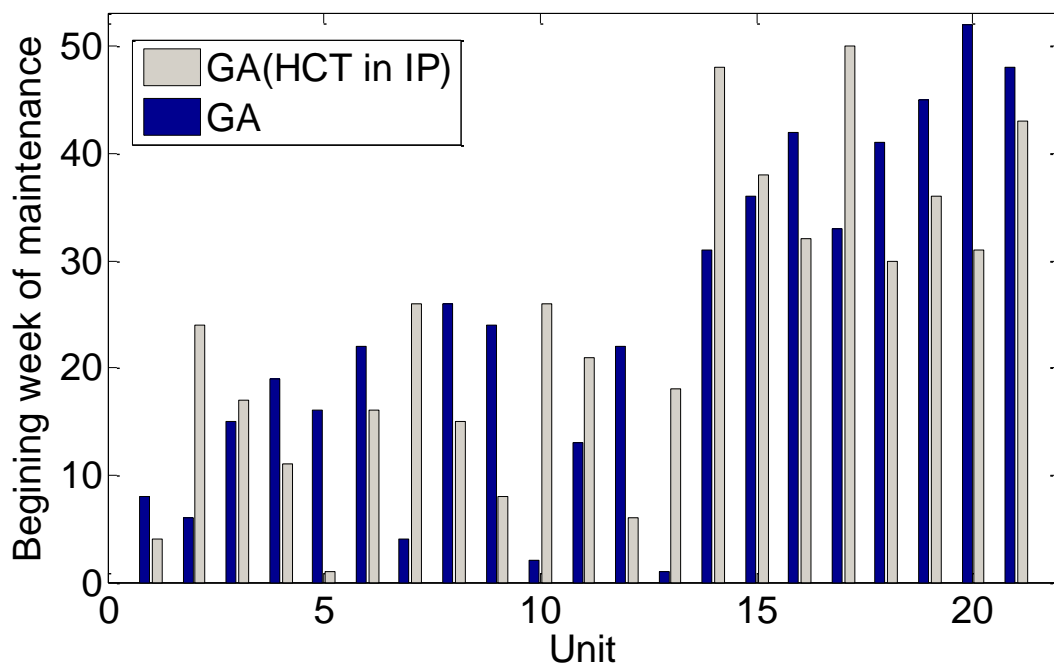
در این بخش الگوریتم HCT به جمعیت اولیه تصادفی اعمال می شود. پس از تشکیل این جمعیت یک تعداد همسایگی برای هر عضو آنها تعریف شده و طبق مراحل گفته شده در فصل چهارم پیش می رویم. یعنی در همسایگی هر عضو بهترین عضو را انتخاب می کنیم و با یک جمعیت اولیه بهبود یافته سراغ سایر مراحل الگوریتم ژنتیک می رویم. مساله ۵۰ مرتبه با این روش حل می شود. مقدار تابع هدف بهترین اجرا در شکل (۴-۶) نشان داده شده است. همانطور که از این شکل مشاهده چون الگوریتم HCT جمعیت اولیه بهبود یافته ای را در اختیار الگوریتم ژنتیک قرار می دهد مقدار تابع هدف در بیشتر تکرارها کمتر از حالت الگوریتم

ژنتیک بدون جستجوی محلی می باشد. نرخ برش و جهش همانند قبل  $0/7$  و  $0/1$  می باشد و تعداد تکرار الگوریتم  $1000$  بار انتخاب شده است. بهترین برنامه تعمیر و نگهداری بدست آمده از بهترین اجرای الگوریتم ژنتیک همراه با جستجوی محلی HCT در جمعیت اولیه و الگوریتم ژنتیک بدون جستجوی محلی در شکل (۵-۶) نشان داده شده است. در شکل (۶-۶) رزرو در طول کل سال را می توان مشاهده کرد و با الگوریتم ژنتیک بدون جستجوی محلی مقایسه نمود. در شکل‌های (۴-۶)، (۵-۶) و (۶-۶) نمادهای GA(HCT in IP) و GA به ترتیب نشان دهنده الگوریتم ژنتیک به همراه اعمال الگوریتم جستجوی محلی HCT در جمعیت اولیه و الگوریتم ژنتیک بدون بکار بردن جستجوی محلی می باشند. میانگین مقدار تابع هدف در تکرار هزارم در  $50$  بار اجرا برای الگوریتم ژنتیک  $15164954$  مگاوات مربع و برای الگوریتم ژنتیک همراه با HCT در جمعیت اولیه  $15071206$  مگاوات مربع می باشد.

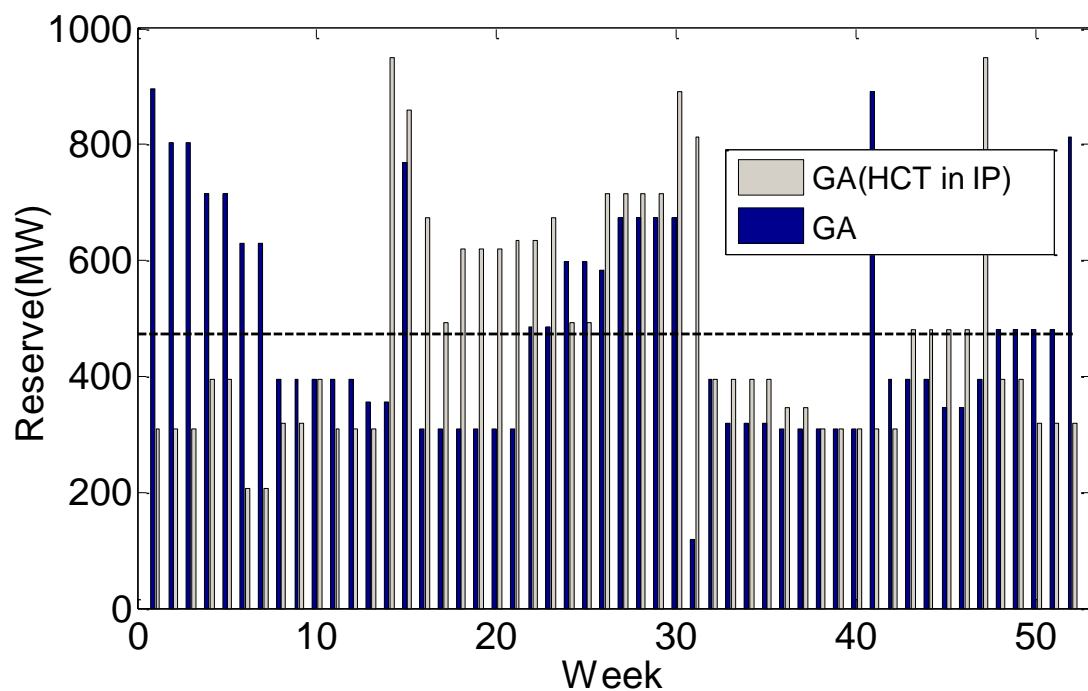


شکل (۴-۶). مقدار تابع هدف بهترین اجرا در تکرارهای مختلف الگوریتم ژنتیک همراه با

با جستجوی محلی HCT در جمعیت اولیه



شکل (۵-۶). هفته های شروع تعمیر و نگهداری واحدها در بهترین برنامه تعمیر و نگهداری بدست آمده از الگوریتم ژنتیک بدون جستجوی محلی و الگوریتم ژنتیک همراه با جستجوی محلی HCT در جمعیت اولیه

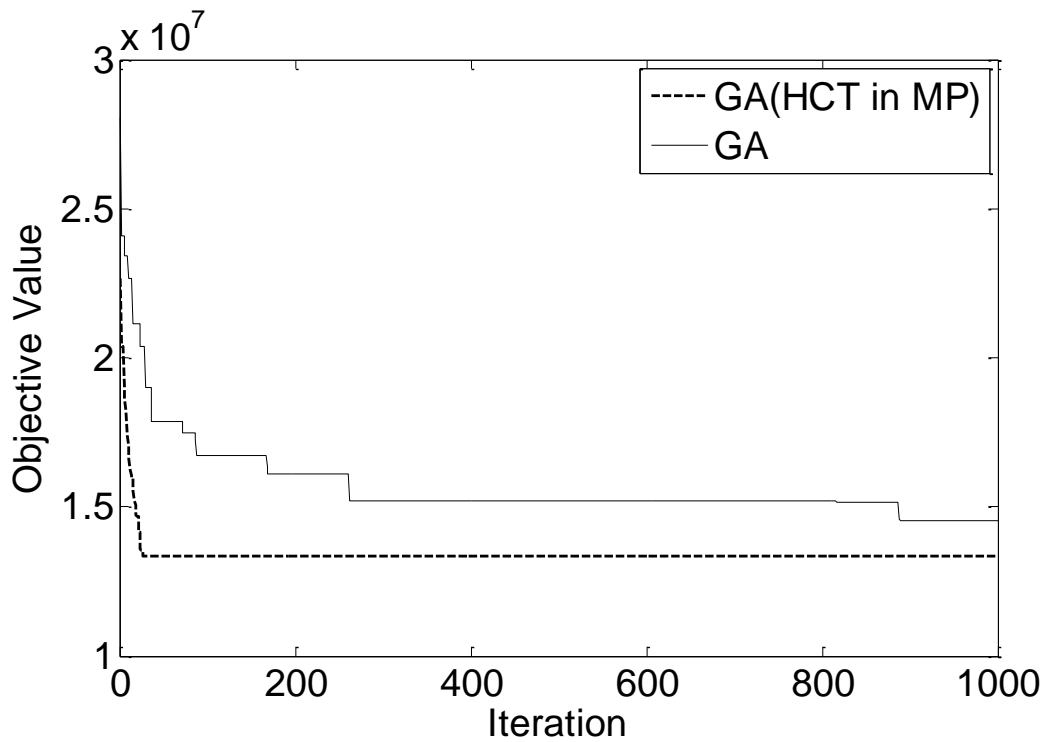


شکل (۶-۶). رزرو در طول هفته های سال برای بهترین برنامه بدست آمده از الگوریتم ژنتیک

با و بدون بکار بردن HCT در جمعیت اولیه

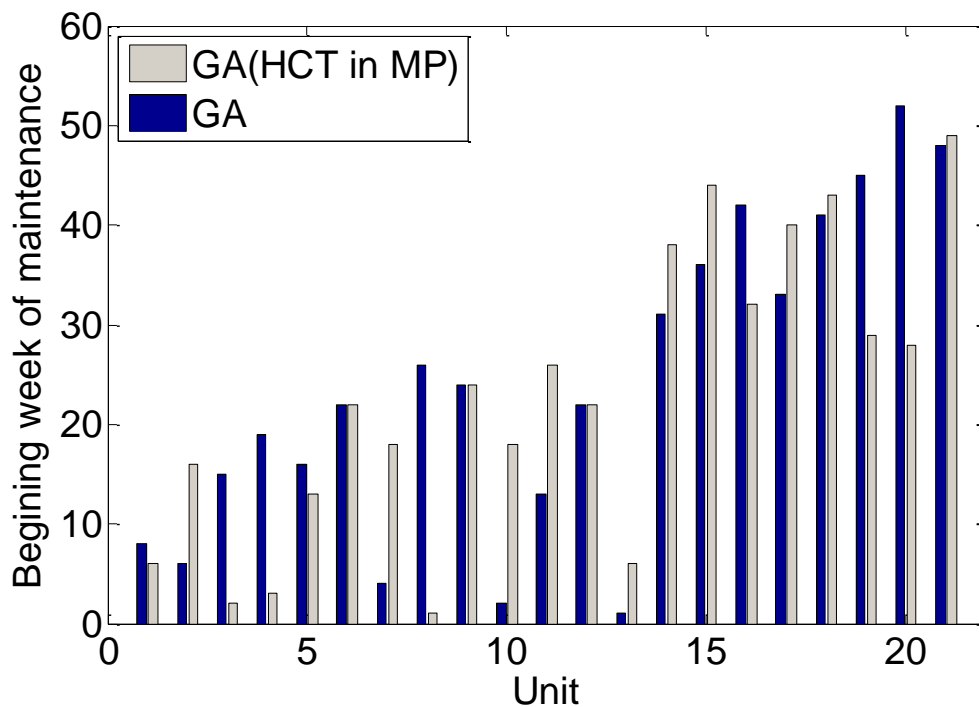
## ۶-۴- اعمال روش HCT در جمعیت مولد

در این قسمت الگوریتم HCT را به اعضای جمعیت مولد اعمال می‌کنیم. مراحل اجرای این الگوریتم طبق مراحل ذکر شده در فصل چهارم می‌باشند یعنی برای هر عضو از اعضای جمعیت جفت‌گیری یک تعداد همسایه تعریف می‌شود و بهترین عضو اعضای همسایه، جایگزین عضو اولیه می‌شود. چون جستجوی محلی در هر تکرار بر روی تمام اعضای جمعیت مولد انجام می‌شود باید انتظار داشت که تابع هدف نسبت به حالت قبل که جستجوی محلی فقط یک بار در جمعیت اولیه اعمال می‌شد بهبود بیشتری پیدا کند. الگوریتم HCT فقط در ۱۰۰ تکرار اول الگوریتم ژنتیک به جمعیت مولد اعمال می‌گردد. مقدار تابع هدف بهترین اجرای برنامه در ۵۰ بار اجرا در تکرارهای مختلف در شکل (۶-۷) نشان داده شده است. همانطور که از این شکل مشاهده می‌شود مقدار تابع هدف هنگام استفاده از جستجوی محلی HCT در جمعیت مولد مقدار تابع هدف در پایان تکرار صدم کمتر از مقدار تابع هدف در تکرار هزارم الگوریتم ژنتیک بدون جستجوی محلی می‌باشد. هفته شروع تعمیر و نگهداری واحدهای مختلف در و رزرو در طول هفته‌های سال به ترتیب در شکل‌های (۶-۸) و (۶-۹) نشان داده شده‌اند. در شکل‌های (۶-۷) تا (۶-۹) نمادهای GA(HCT in MP) و GA به ترتیب معرف الگوریتم ژنتیک همراه با اعمال HCT در جمعیت مولد و الگوریتم ژنتیک بدون جستجوی محلی می‌باشند و خط افقی منقطع نشان داده شده در شکل (۶-۹) نشان داده شده نمایانگر رزرو ایده‌آل در طول سال می‌باشد. میانگین مقدار تابع هدف در تکرار هزارم در ۵۰ بار اجرا برای الگوریتم ژنتیک ۱۵۱۶۴۹۵۴ مگاوات مربع و برای الگوریتم ژنتیک همراه با HCT در جمعیت مولد ۱۴۱۵۱۰۶۹ مگاوات مربع می‌باشد.



شکل (۶-۷). مقدار تابع هدف بهترین برنامه در تکرارهای مختلف الگوریتم ژنتیک با و بدون

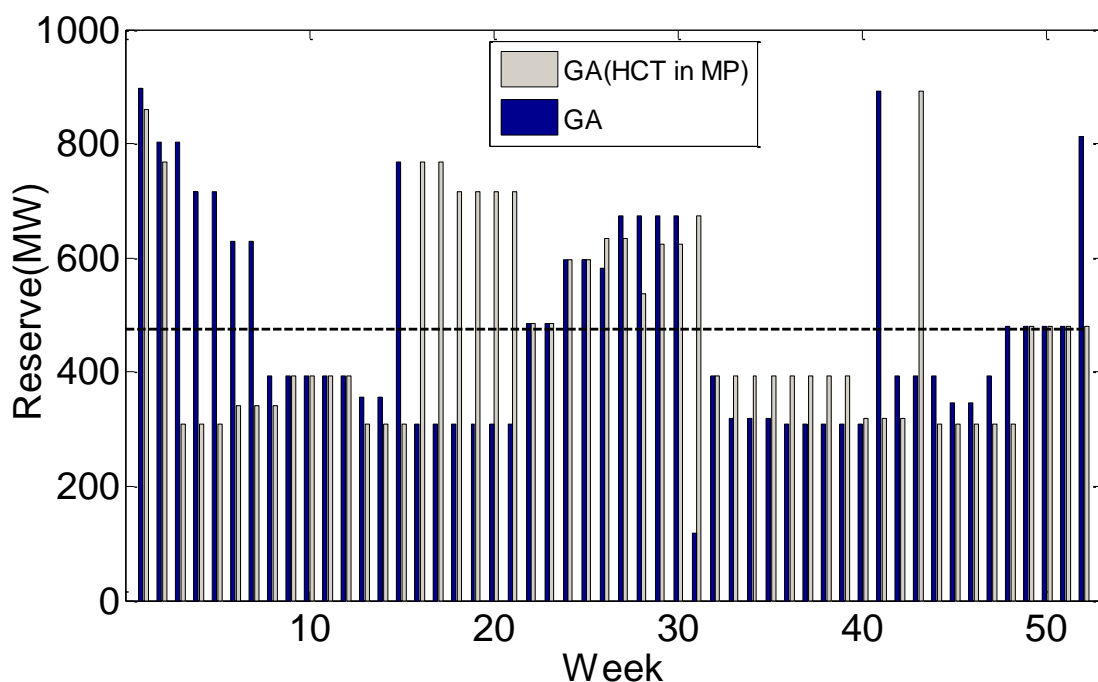
بکار بردن HCT در جمعیت مولد



شکل (۶-۸). هفته های شروع تعمیر و نگهداری واحدها در بهترین برنامه تعمیر و نگهداری بدست آمده از الگوریتم ژنتیک بدون

جستجوی محلی و الگوریتم ژنتیک همراه با جستجوی محلی HCT در جمعیت مولد





شکل

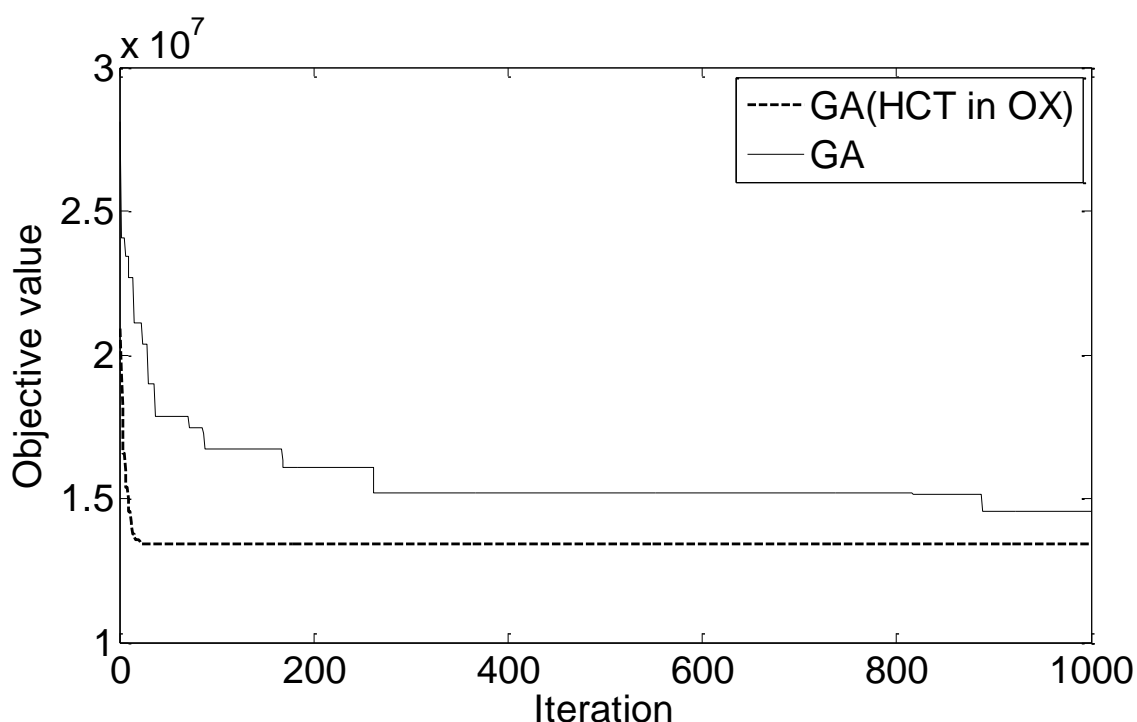
(۹-۶). رزرو در طول هفته های سال برای بهترین برنامه بدست آمده از الگوریتم ژنتیک

با و بدون HCT در جمعیت مولد

## ۶-۵- اعمال روش HCT در جمعیت فرزندان حاصل از عمل برش

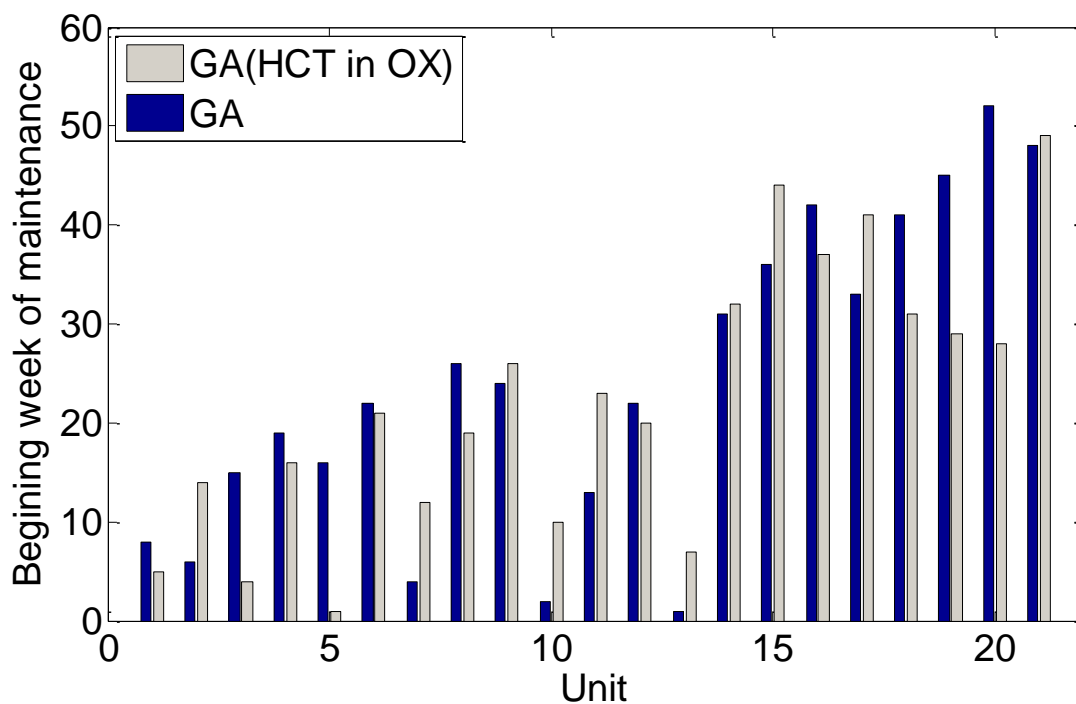
در این قسمت الگوریتم HCT را به اعضای جمعیت فرزندان حاصل از برش اعمال می کنیم. مراحل اجرای این الگوریتم طبق مراحل ذکر شده در فصل چهارم می باشند یعنی برای هر عضو از اعضای جمعیت فرزندان حاصل از برش یک تعداد همسایه تعریف می شود و بهترین عضو اعضای همسایه جایگزین عضو اولیه می شود. جستجوی محلی HCT فقط در ۱۰۰ تکرار اول الگوریتم ژنتیک به جمعیت فرزندان اعمال می گردد. مقدار تابع هدف بهترین اجرا در تکرارهای مختلف در شکل (۶-۱۰) نشان داده شده است. همانطور که از این شکل مشاهده می شود مقدار تابع هدف هنگام استفاده از جستجوی محلی HCT در فرزندان حاصل از برش در پایان تکرار صدم کمتر از مقدار تابع هدف در تکرار هزارم الگوریتم ژنتیک بدون جستجوی محلی می باشد. هفته شروع تعمیر و نگهداری واحدهای مختلف و رزرو در طول هفته های سال به ترتیب در شکلهای (۶-۱۱) و (۶-۱۲) نشان داده شده اند. همانند حالت پیش که جستجوی محلی در جمعیت مولد انجام شد در تکرارهای اولیه تابع هدف به سرعت کاهش می یابد و پس از یک تکرار خاص تغییر محسوسی

نمی کند. در شکل‌های (۶-۱۰) تا (۶-۱۲) نماد GA(HCT in OX) معرف الگوریتم ژنتیک همراه با اعمال HCT در جمعیت فرزندان حاصل از برش می باشد و خط افقی منقطع نشان داده شده در شکل (۶-۱۲) نمایانگر رزرو ایده ال در طول سال می باشد. با توجه به رزرو ایده ال به سادگی می توان دریافت که رزرو در کدام هفته ها از رزرو ایده ال انحراف زیادی دارد و در نتیجه برنامه کدام واحد و یا واحدها بدرستی تنظیم نشده اند. میانگین مقدار تابع هدف در تکرار هزارم در ۵۰ بار اجرا برای الگوریتم ژنتیک ۱۵۱۶۴۹۵۴ مگاوات مربع و برای الگوریتم ژنتیک همراه با HCT در جمعیت فرزندان حاصل از برش ۱۴۰۱۰۸۷۴ مگاوات مربع می باشد.



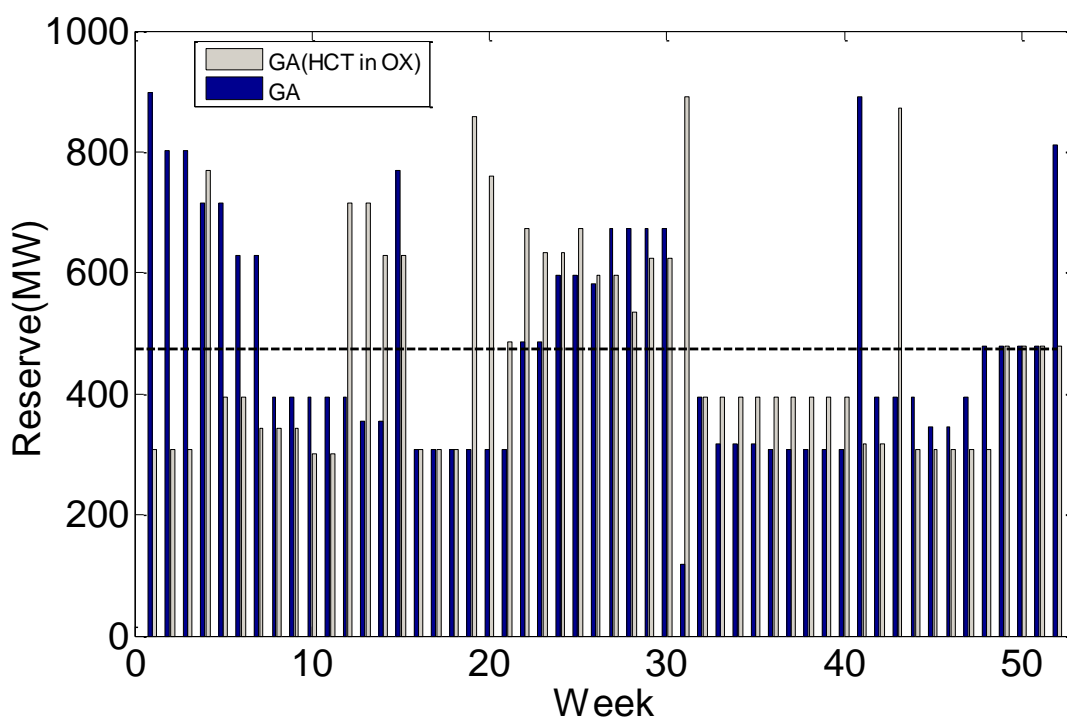
شکل (۶-۱۰). مقدار تابع هدف بهترین برنامه در تکرارهای مختلف الگوریتم ژنتیک با و بدون

بکار بردن HCT در جمعیت فرزندان حاصل از عمل برش



شکل (۶-۱۱). هفته های شروع تعمیر و نگهداری واحدها در بهترین برنامه تعمیر و نگهداری بدست آمده از الگوریتم ژنتیک بدون جستجوی محلی و الگوریتم ژنتیک همراه با جستجوی محلی HCT

در جمعیت فرزندان حاصل از عمل برش

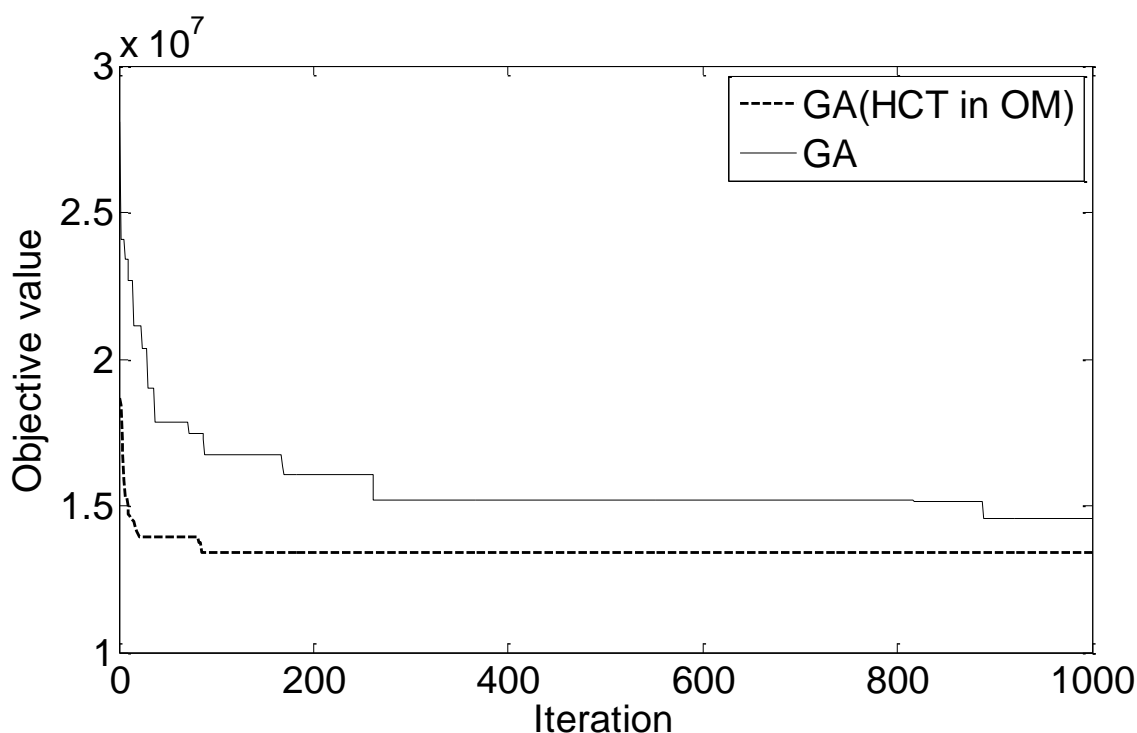


شکل (۶-۱۲). رزرو در طول هفته های سال برای بهترین برنامه بدست آمده از الگوریتم ژنتیک

با و بدون HCT در جمعیت فرزندان حاصل از عمل برش

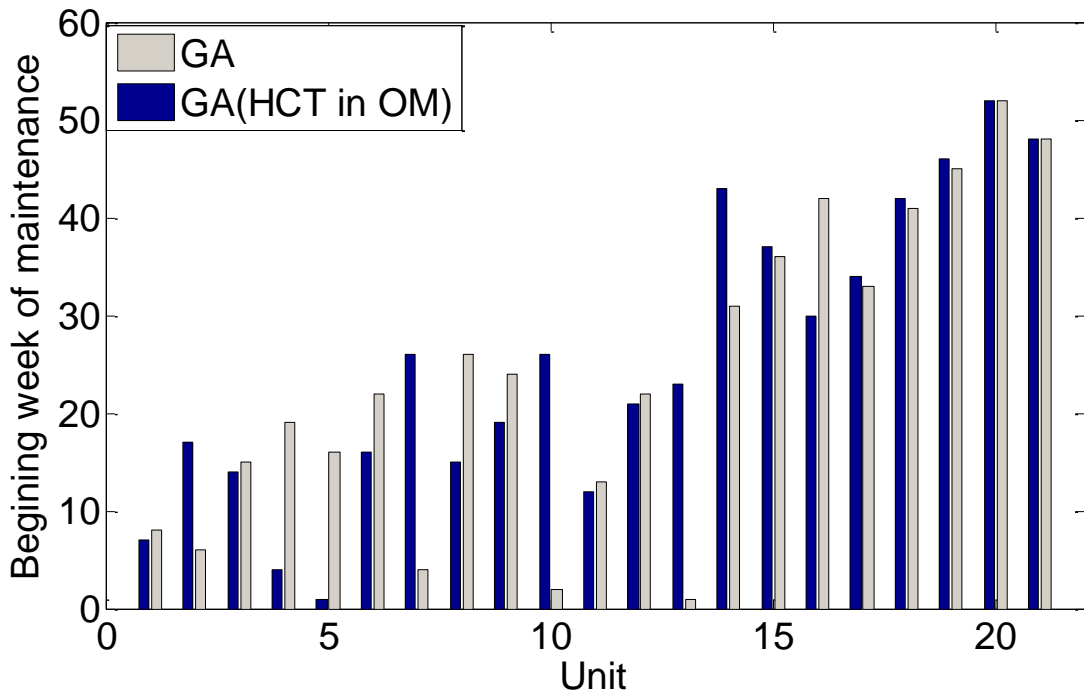
## ۶-۶- اعمال روش HCT در جمعیت فرزندان حاصل از عمل جهش

در این قسمت الگوریتم HCT را به اعضای جمعیت فرزندان حاصل از عمل جهش اعمال می‌کنیم. شکل‌های (۱۳-۶) تا (۱۵-۶) به ترتیب نمایش دهنده مقدار تابع هدف بهترین اجرا در تکرارهای مختلف، برنامه تعمیر و نگهداری واحدها و رزرو در طول سال را نشان می‌دهند. همانند بخش‌های ۴-۶ و ۵-۶ تابع هدف در تکرارهای اولیه به طوری چشمگیری بهبود یافته و در تکرارهای بعد تغییر چندانی نمی‌کند. در شکل‌های (۱۳-۶) تا (۱۵-۶) نماد GA(HCT in OM) معرف الگوریتم ژنتیک همراه با اعمال HCT در جمعیت فرزندان حاصل از جهش می‌باشد و خط افقی منقطع نشان داده شده در شکل (۱۵-۶) نمایانگر رزرو ایده‌آل در طول سال می‌باشد. میانگین مقدار تابع هدف در تکرار هزارم در ۵۰ بار اجرا برای الگوریتم ژنتیک ۱۵۱۶۴۹۵۴ مگاوات مربع و برای الگوریتم ژنتیک همراه با HCT در جمعیت فرزندان حاصل از جهش ۱۳۹۶۹۵۳۶ مگاوات مربع می‌باشد.



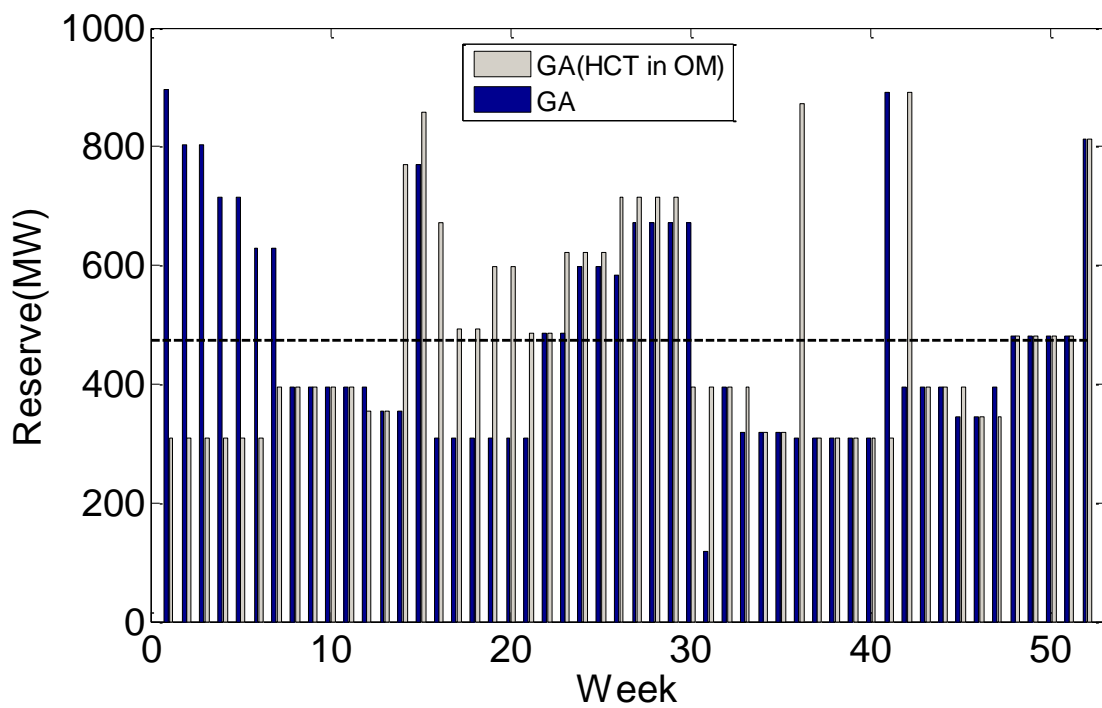
شکل (۱۳-۶). مقدار تابع هدف بهترین برنامه در تکرارهای مختلف الگوریتم ژنتیک با و بدون

بکار بردن HCT در جمعیت فرزندان حاصل از عمل جهش



شکل (۶-۱۴). هفته های شروع تعمیر و نگهداری واحدها در بهترین برنامه تعمیر و نگهداری بدست آمده از الگوریتم ژنتیک بدون جستجوی محلی و الگوریتم ژنتیک همراه با جستجوی محلی HCT

در جمعیت فرزندان حاصل از عمل جهش

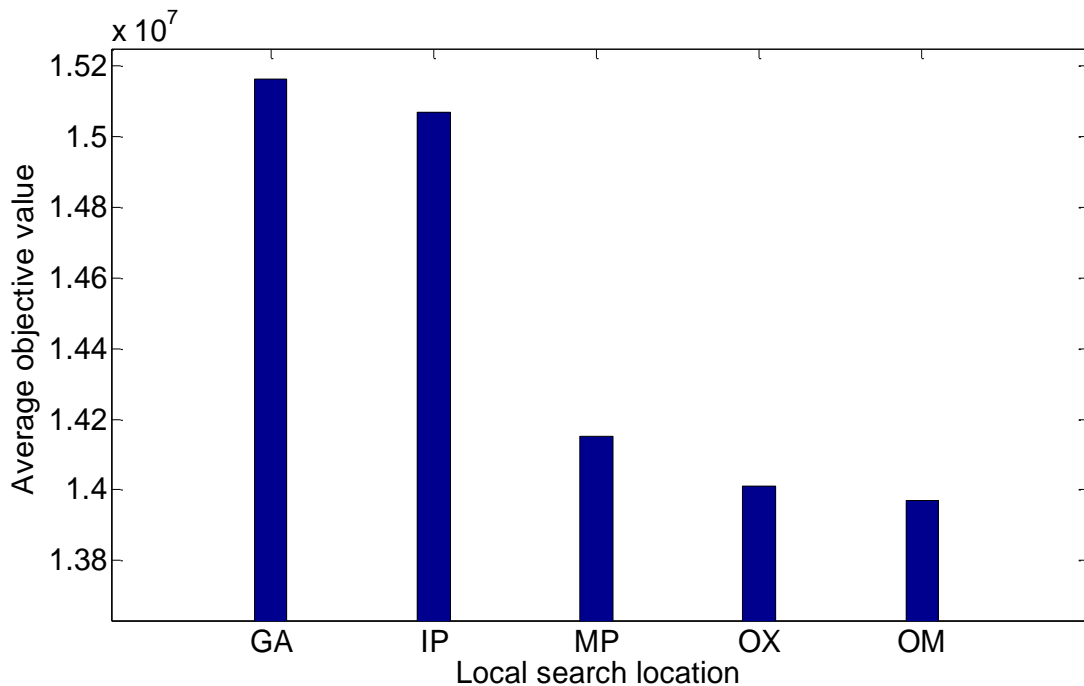


شکل (۶-۱۵). رزرو در طول هفته های سال برای بهترین برنامه بدست آمده از الگوریتم ژنتیک

با و بدون HCT در جمعیت فرزندان حاصل از عمل جهش

## ۶-۷- بررسی مکان اعمال جستجوی محلی HCT

در این قسمت اثر مکان جستجوی محلی بر روی تابع هدف بررسی می شود. در بخشهای ۶-۳ تا ۶-۶ الگوریتم HCT به ترتیب به جمعیت اولیه، جمعیت مولد، جمعیت فرزندان حاصل از برش و جمعیت فرزندان حاصل از جهش اعمال شد. شکل (۶-۱۶) مقدار میانگین تابع هدف روی ۵۰ بار اجرای روشهای فوق را نشان می دهد. نمادهای GA و IP و MP و OX و OM در این شکل به ترتیب معرف الگوریتم ژنتیک بدون جستجوی محلی و جمعیت اولیه، جمعیت مولد، جمعیت فرزندان حاصل از برش و جمعیت فرزندان حاصل از جهش می یاشند. این شکل نشان می دهد که اعمال جستجوی محلی در جمعیت اولیه نسبت به سایر مکانها تاثیر چندانی بر تابع هدف ندارد. این مساله به این خاطر است که جستجوی محلی در جمعیت اولیه فقط یکبار انجام می شود حال آنکه در سایر مکانها در هر تکرار یکبار جستجوی محلی روی اعضا انجام می شود. بهترین مکان اعمال جستجوی محلی در فرزندان حاصل از جهش می باشد زیرا بهترین این فرزندان برای جایگزینی بکار می رود و بنابراین دارای اهمیت ویژه ای است. متوسط مقدار تابع هدف با استفاده از جستجوی محلی در تمام نقاط کمتر از مقدار تابع هدف الگوریتم ژنتیک بدون جستجوی محلی می باشد. در قسمت بعدی از الگوریتم بهینه سازی EO به عنوان جستجوی محلی استفاده می کنیم و همانند الگوریتم HCT در مکانهای مختلف الگوریتم ژنتیک اعمال کرده و روی آن بحث می کنیم.

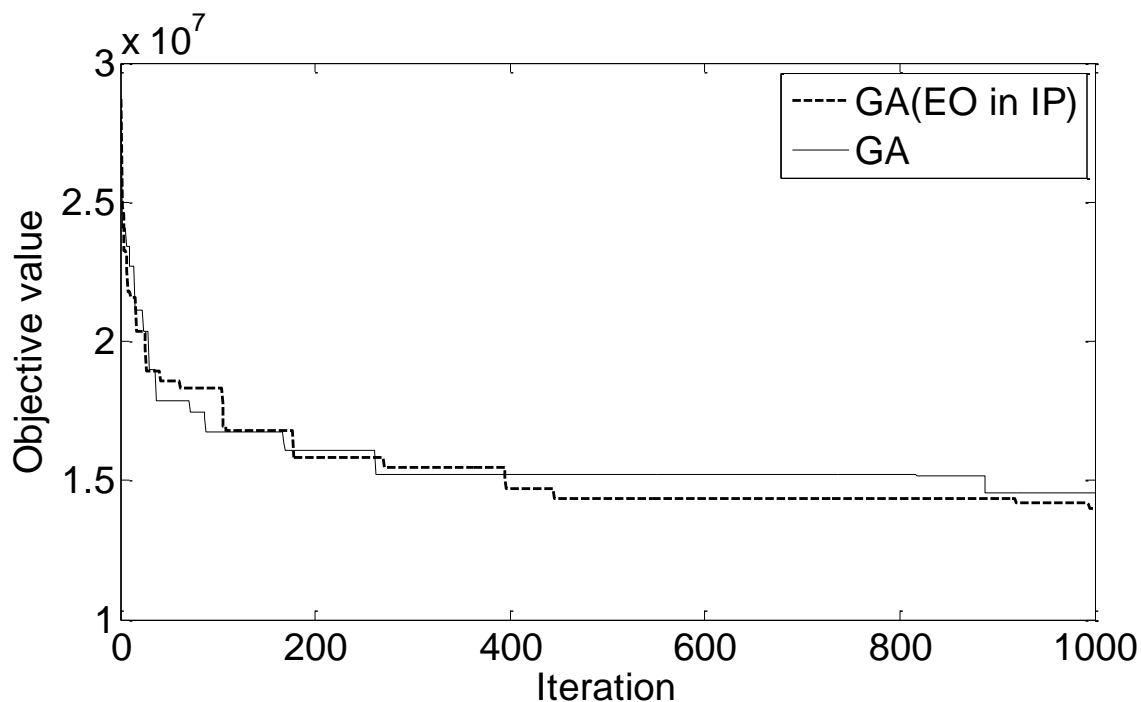


شکل (۶-۱۶). میانگین تابع هدف ۵۰ بار اجرا به ازای اعمال جستجوی محلی HCT در مکانهای مختلف

## ۶-۸- اعمال روش EO به جمعیت اولیه

در این بخش الگوریتم EO را به اعضای جمعیت اولیه که به صورت تصادفی بوجود آمده اند اعمال می کنیم. در این الگوریتم ابتدا شایستگی قسمتهای مختلف تمامی اعضای جمعیت اولیه پیدا می شود. این شایستگی توسط رابطه ۵-۱ محاسبه می شود. سپس در هر عضو قسمتی که دارای کمترین شایستگی است انتخاب شده و یک مقدار تصادفی با توجه به بازه مجاز آن قسمت اختصاص داده می شود. مثلاً اگر بدترین قسمت، قسمت پنجم باشد یک عدد تصادفی بین ۱ تا ۲۶ و اگر قسمت چهاردهم باشد یک عدد تصادفی بین ۲۷ تا ۵۲ به آن اختصاص داده می شود. سپس الگوریتم ژنتیک با این جمعیت بهبود یافته شروع بکار می کند. مساله ۵۰ مرتبه توسط این روش حل می شود و بهترین اجرا و بهترین برنامه تعمیر و نگهداری تعیین می شود. تعداد ۱۰۰۰ تکرار برای الگوریتم ژنتیک انتخاب شده و مانند قبل نرخ جهش و برش به ترتیب ۰/۷ و ۰/۰۱ است. نمودارهای مقدار تابع هدف، هفته شروع تعمیر و نگهداری واحدها و رزرو در طول سال برای بهترین برنامه تعمیر و نگهداری به ترتیب در شکل‌های (۶-۱۷)، (۶-۱۸) و (۶-۱۹) نشان داده شده اند. نماد GA(EO in IP) معرف الگوریتم ژنتیک همراه با اعمال EO در جمعیت اولیه

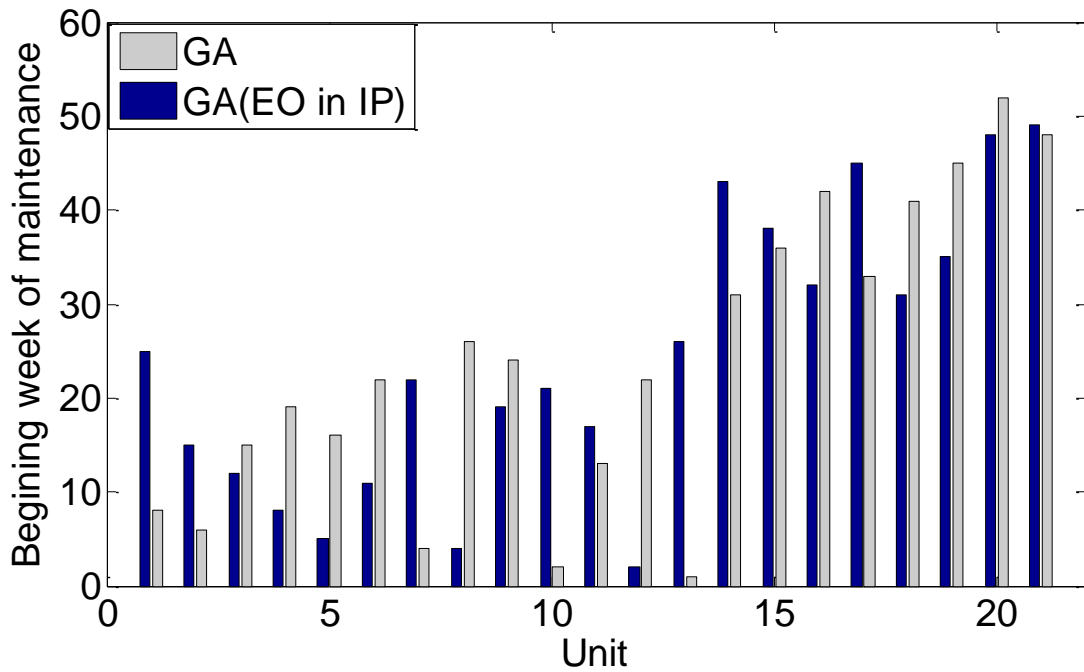
می باشد. همانطور که در شکل (۶-۱۷) مشاهده می شود اعمال EO در جمعیت اولیه باعث بهبود کمی در تابع هدف در تکرارهای اولیه می شود به طوری که روند کاهش GA در تکرارهای بعدی از آن پیشی می گیرد ولی در انتها این الگوریتم GA(EO in IP) است که در پایان تکرار هزارم از GA پیشی می گیرد. میانگین مقدار تابع هدف در تکرار هزارم در ۵۰ بار اجرا برای الگوریتم ژنتیک ۱۵۱۶۴۹۵۴ مگاوات مربع و برای الگوریتم ژنتیک همراه با EO در جمعیت اولیه ۱۵۰۲۴۶۹۴ مگاوات مربع می باشد.



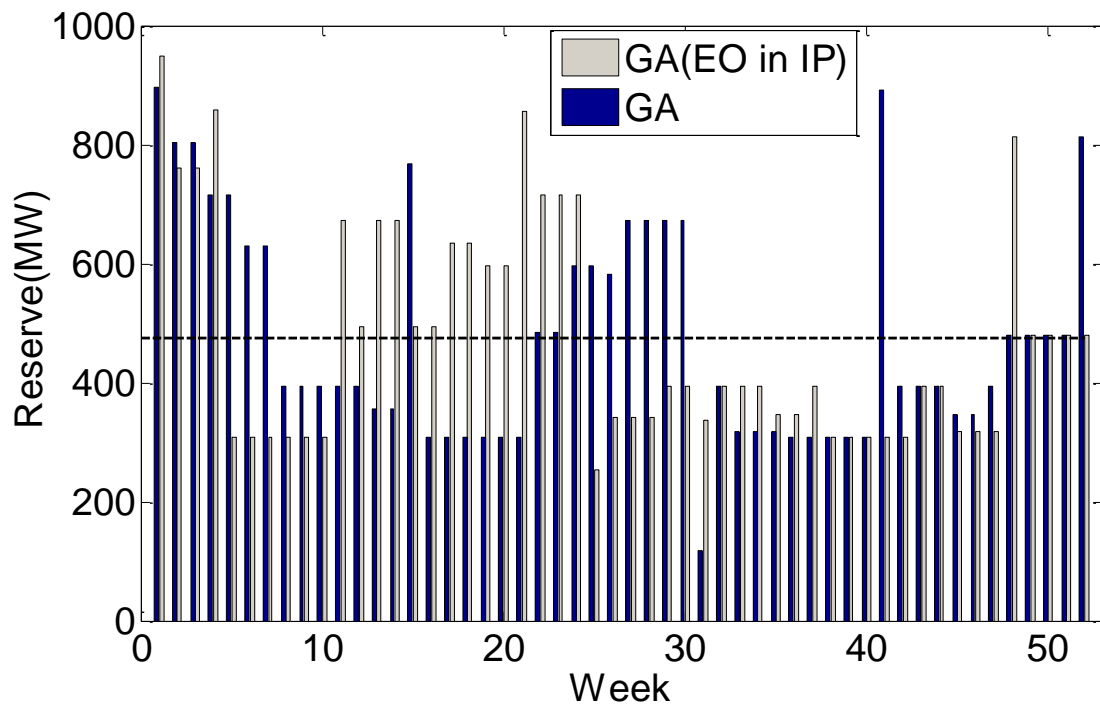
شکل(۶-۱۷). مقدار تابع هدف بهترین برنامه در تکرارهای مختلف الگوریتم ژنتیک با و بدون

بکار بردن EO در جمعیت اولیه





شکل (۶-۱۸). هفته های شروع تعمیر و نگهداری واحدها در بهترین برنامه تعمیر و نگهداری بدست آمده از الگوریتم ژنتیک بدون جستجوی محلی و الگوریتم ژنتیک همراه با جستجوی محلی EO در اعضای جمعیت اولیه

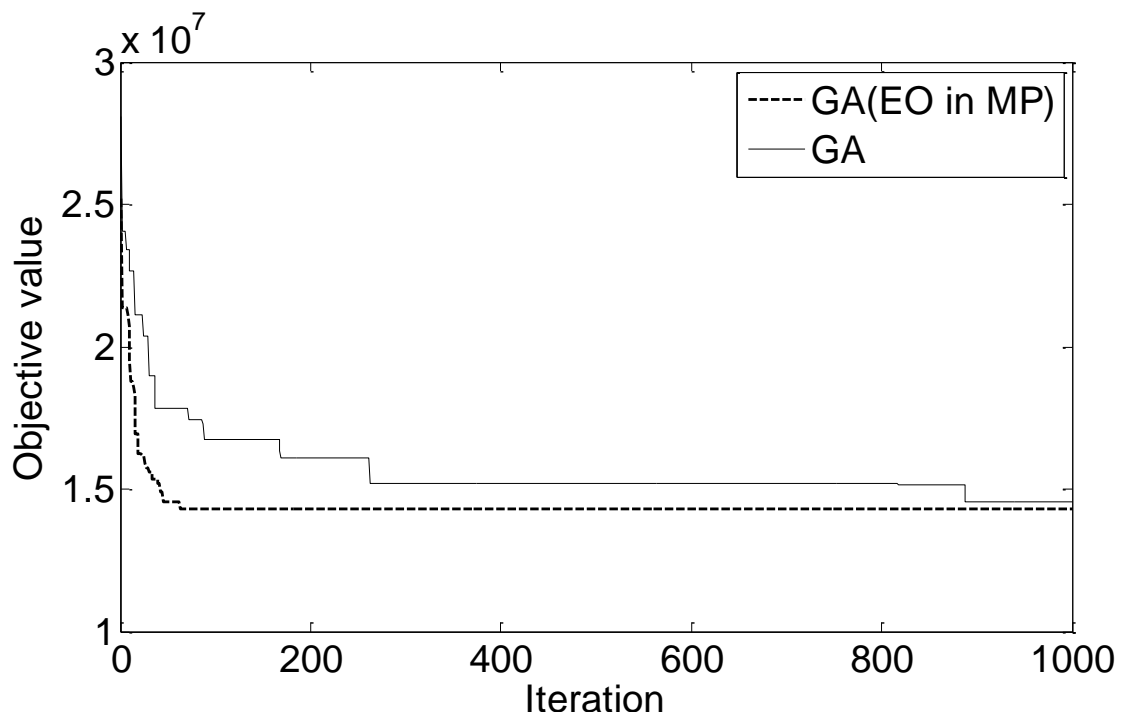


شکل (۶-۱۹). رزرو در طول هفته های سال برای بهترین برنامه بدست آمده از الگوریتم ژنتیک

با و بدون بکار بردن EO در اعضای جمعیت اولیه

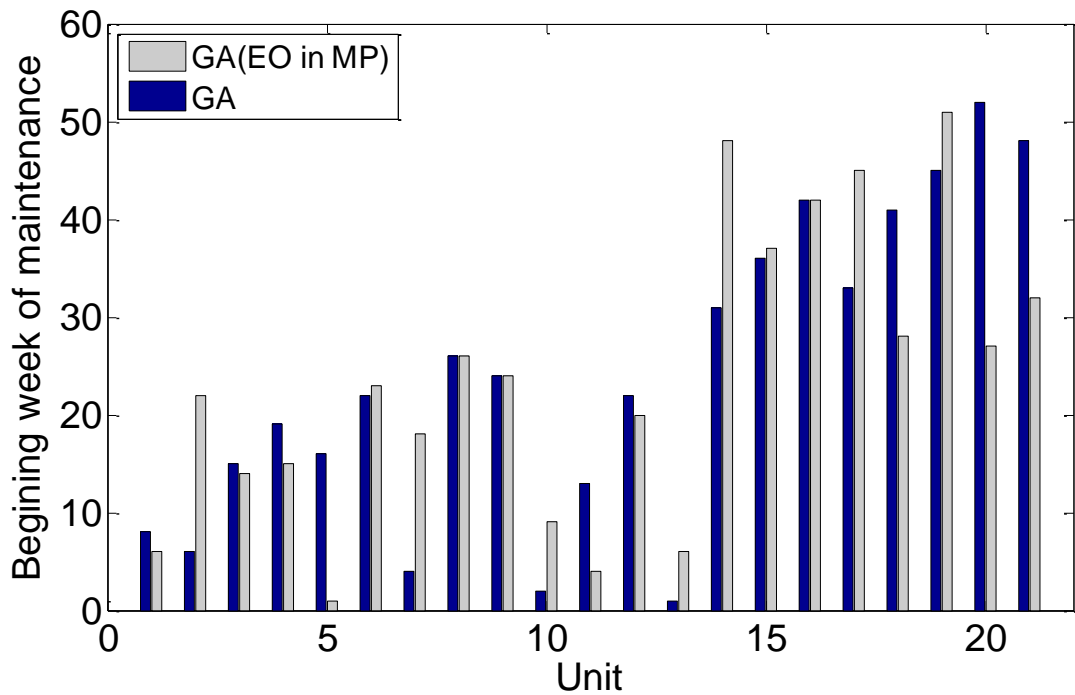
## ۹-۶- اعمال روش EO به جمعیت مولد

در این بخش الگوریتم EO را به اعضایی که برای تولید مثل انتخاب شده اند اعمال می کنیم. ابتدا شایستگی قسمتهای مختلف تمامی اعضای جمعیت مولد پیدا می شود. این شایستگی توسط رابطه ۵-۱ محاسبه می شود. سپس در هر عضو قسمتی که دارای کمترین شایستگی است انتخاب شده و یک مقدار تصادفی با توجه به بازه مجاز آن قسمت اختصاص داده می شود. نمودارهای مقدار تابع هدف، هفته شروع تعمیر و نگهداری واحدها و رزرو در طول سال برای بهترین برنامه تعمیر و نگهداری در ۵۰ بار اجرا به ترتیب در شکل‌های (۶-۲۰)، (۶-۲۱) و (۶-۲۲) نشان داده شده اند. در این شکلها نماد GA(EO in MP) معرف الگوریتم ژنتیک همراه با اعمال EO در جمعیت مولد می باشد. میانگین مقدار تابع هدف در تکرار هزارم در ۵۰ بار اجرا برای الگوریتم ژنتیک ۱۵۱۶۴۹۵۴ مگاوات مربع و برای الگوریتم ژنتیک همراه با EO در جمعیت مولد ۱۴۹۲۴۶۹۴ مگاوات مربع می باشد.

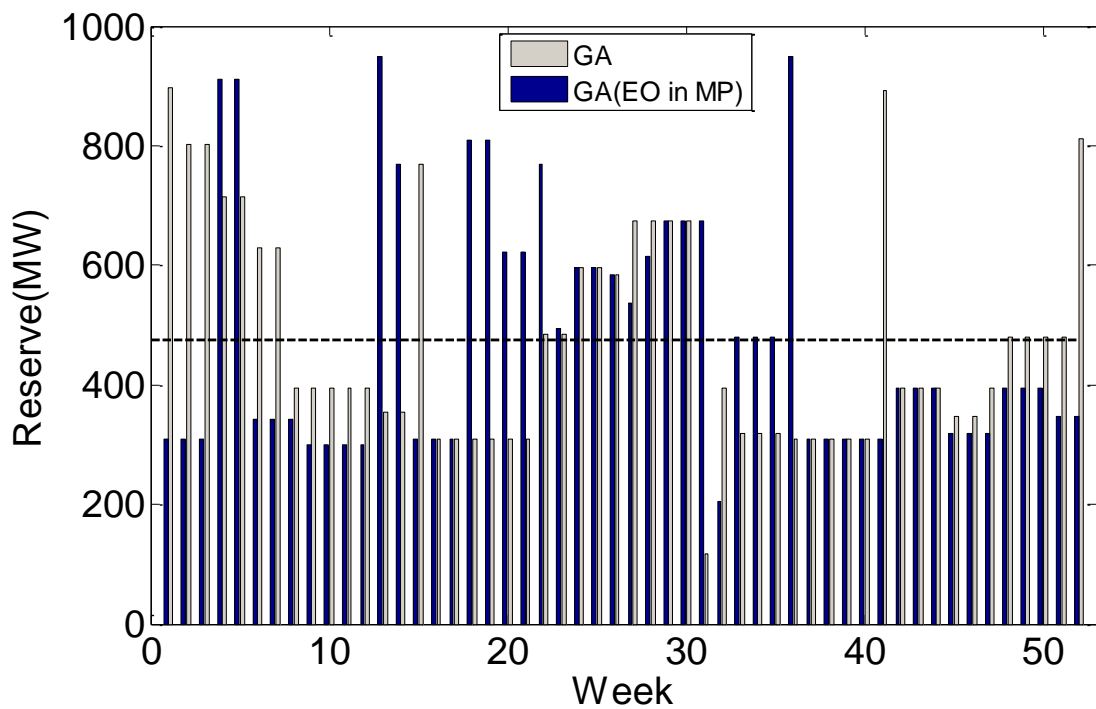


شکل (۶-۲۰). مقدار تابع هدف بهترین برنامه در تکرارهای مختلف الگوریتم ژنتیک با و بدون

بکار بردن EO در اعضای جمعیت مولد



شکل (۶-۲۱). هفته های شروع تعمیر و نگهداری واحدها در بهترین برنامه تعمیر و نگهداری بدست آمده از الگوریتم ژنتیک بدون جستجوی محلی و الگوریتم ژنتیک همراه با جستجوی محلی EO در اعضای جمعیت مولد

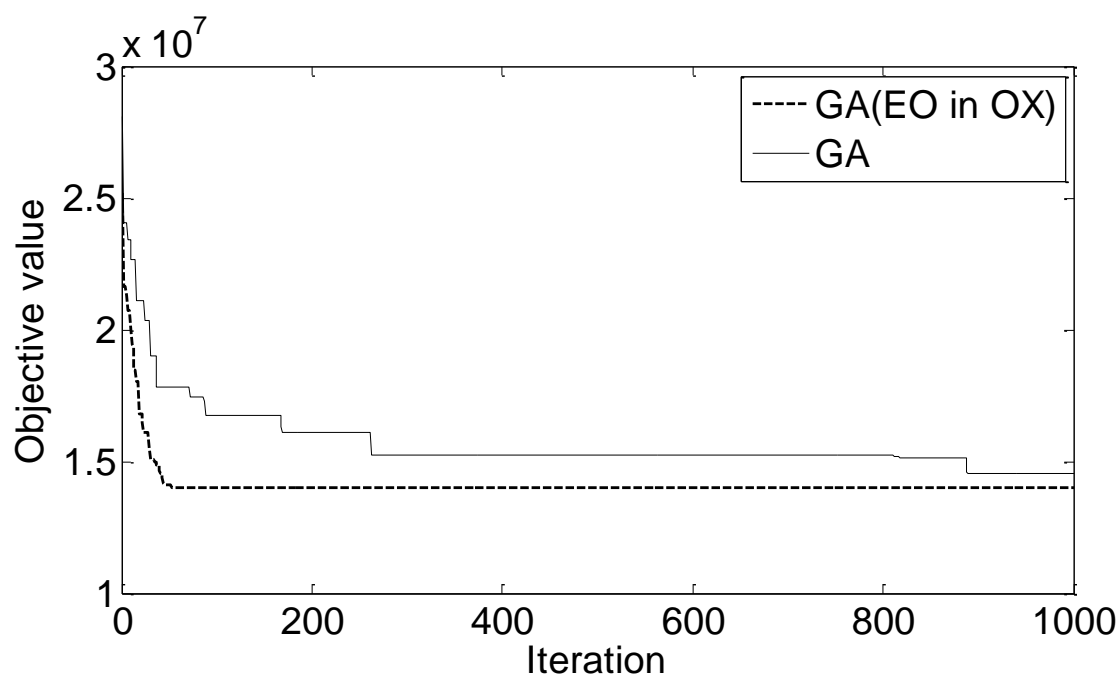


شکل (۶-۲۲). رزرو در طول هفته های سال برای بهترین برنامه بدست آمده از الگوریتم ژنتیک

با و بدون بکار بردن EO در اعضای جمعیت مولد

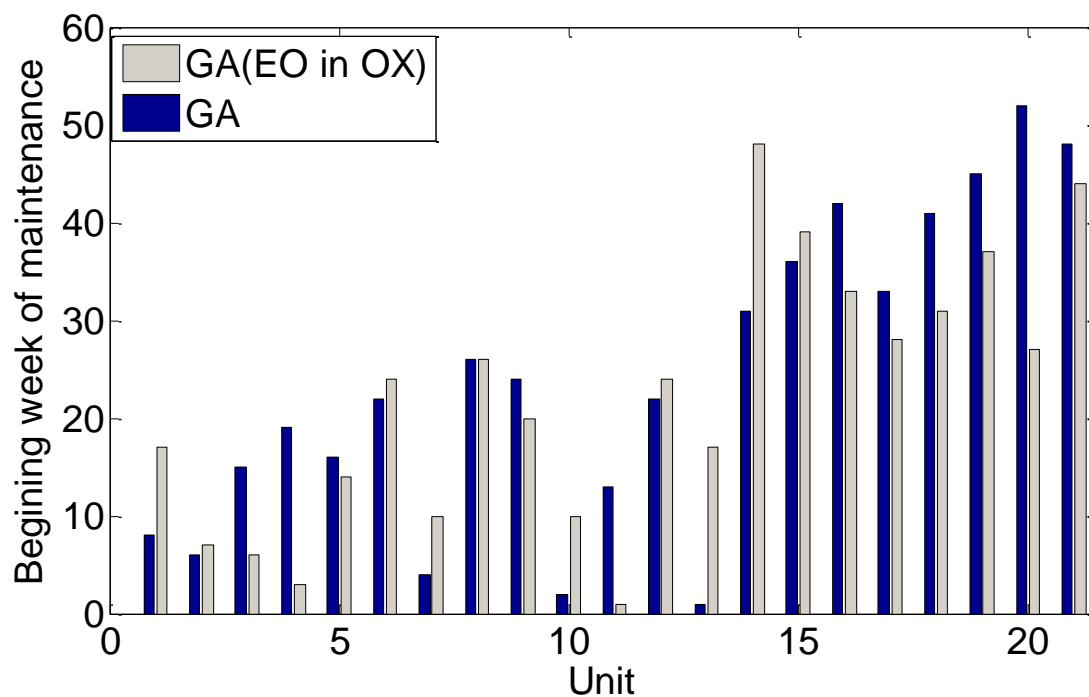
## ۶-۱۰- اعمال الگوریتم EO به فرزندان حاصل از عمل برش

در این بخش الگوریتم EO را به فرزندان حاصل از عمل برش اعمال می کنیم. ابتدا شایستگی قسمتهای مختلف تمامی اعضای جمعیت مولد پیدا می شود. این شایستگی توسط رابطه ۵-۱ محاسبه می شود. سپس در هر عضو قسمتی که دارای کمترین شایستگی است انتخاب شده و یک مقدار تصادفی با توجه به بازه مجاز آن قسمت اختصاص داده می شود. نمودارهای مقدار تابع هدف، هفته شروع تعمیر و نگهداری واحدها و رزرو در طول سال برای بهترین برنامه به ترتیب در شکل‌های (۶-۲۳)، (۶-۲۴) و (۶-۲۵) نشان داده شده اند. در این شکلها نماد GA(EO in OX) معرف الگوریتم ژنتیک همراه با اعمال EO در جمعیت فرزندان حاصل از برش می باشد. میانگین مقدار تابع هدف در تکرار هزارم در ۵۰ بار اجرا برای الگوریتم ژنتیک ۱۵۱۶۴۹۵۴ مگاوات مربع و برای الگوریتم ژنتیک همراه با EO در جمعیت فرزندان حاصل از عمل برش ۱۴۸۵۴۱۲۷ مگاوات مربع می باشد.

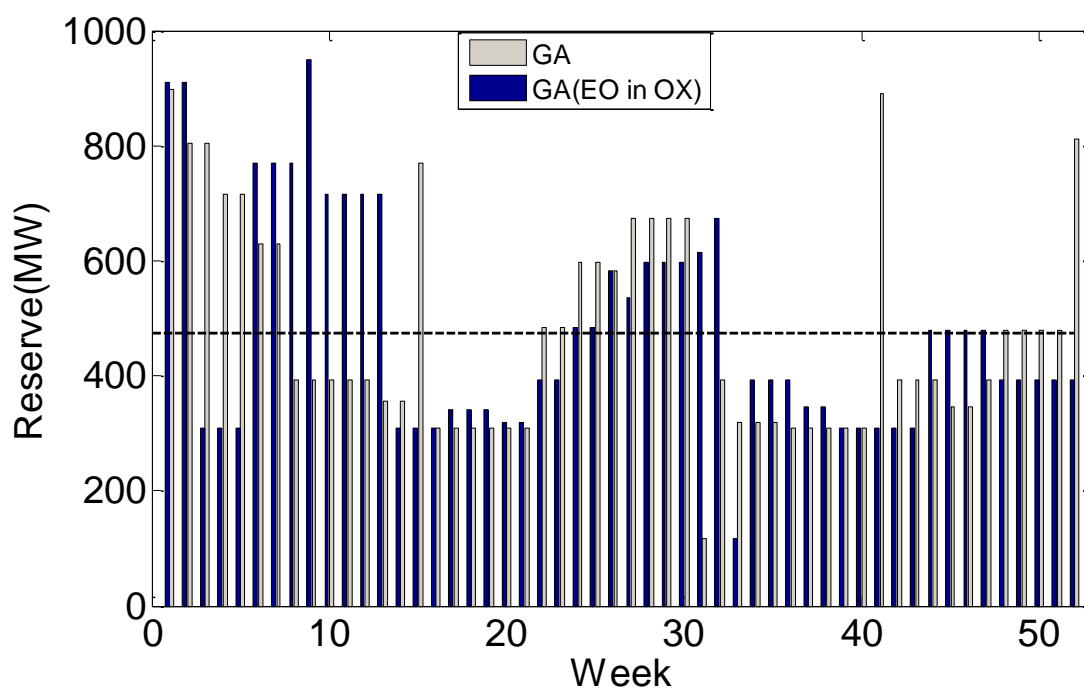


شکل (۶-۲۳). مقدار تابع هدف بهترین برنامه در تکرارهای مختلف الگوریتم ژنتیک با و بدون

بکار بردن EO در اعضای جمعیت فرزندان حاصل از عمل برش



شکل (۶-۲۴). هفته های شروع تعمیر و نگهداری واحدها در بهترین برنامه تعمیر و نگهداری بدست آمده از الگوریتم ژنتیک بدون جستجوی محلی و الگوریتم ژنتیک همراه با جستجوی محلی EO در اعضای جمعیت فرزندان حاصل از عمل برش

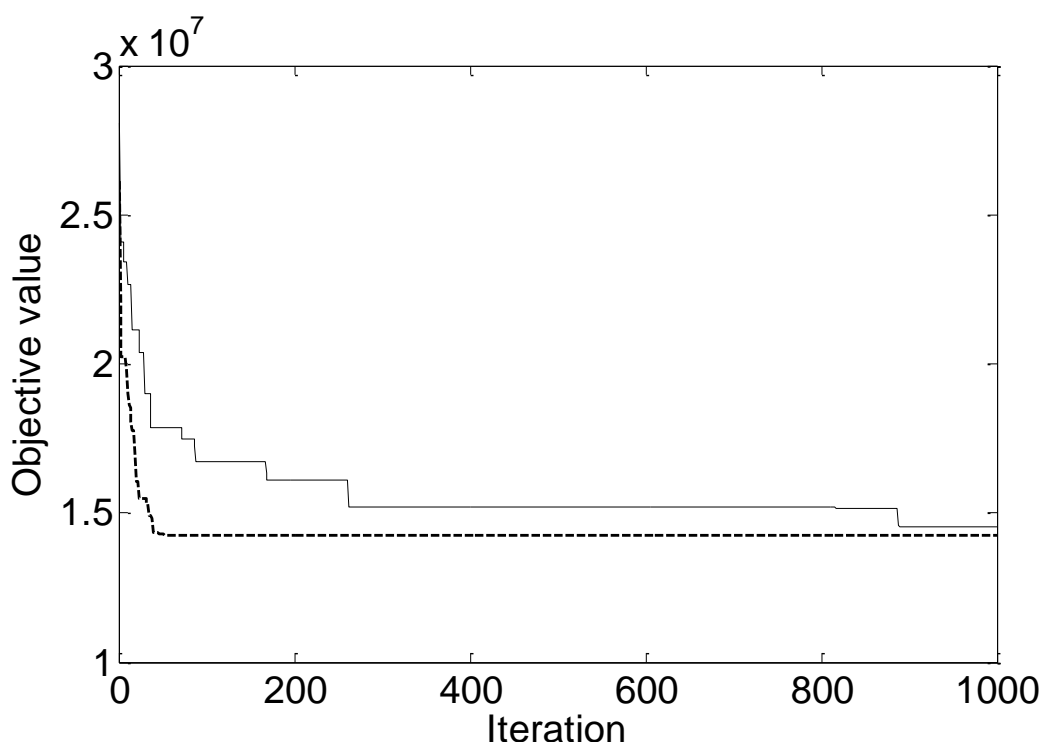


شکل (۶-۲۵). رزرو در طول هفته های سال برای بهترین برنامه بدست آمده از الگوریتم ژنتیک

با و بدون بکار بردن EO در اعضای جمعیت فرزندان حاصل از عمل برش

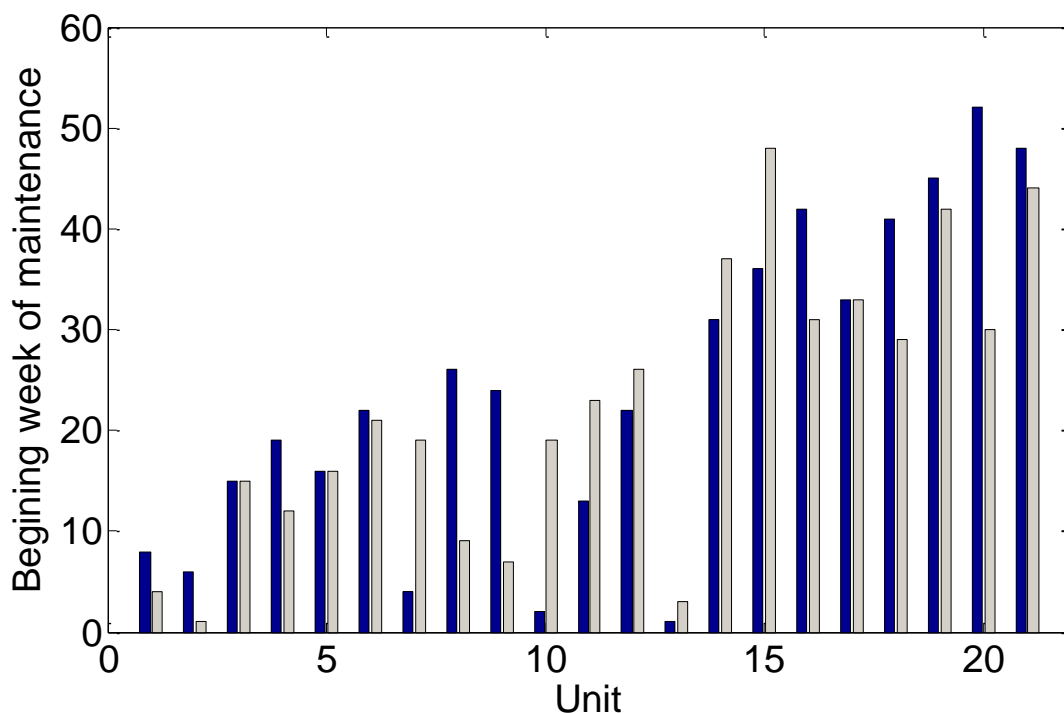
## ۶-۱۱- اعمال روش EO به جمعیت فرزندان حاصل از جهش

در این بخش الگوریتم EO را به فرزندان حاصل از عمل جهش اعمال می‌کنیم. ابتدا شایستگی قسمت‌های مختلف تمامی اعضای جمعیت مولد پیدا می‌شود. این شایستگی توسط رابطه ۵-۱ محاسبه می‌شود. سپس در هر عضو قسمتی که دارای کمترین شایستگی است انتخاب شده و یک مقدار تصادفی با توجه به بازه مجاز آن قسمت اختصاص داده می‌شود. نمودارهای مقدار تابع هدف، هفته شروع تعمیر و نگهداری واحدها و رزرو در طول سال برای بهترین به ترتیب در شکل‌های (۶-۲۶)، (۶-۲۷) و (۶-۲۸) نشان داده شده‌اند. در این شکلها نماد GA(EO in OM) معرف الگوریتم ژنتیک همراه با اعمال EO در جمعیت فرزندان حاصل از جهش می‌باشد. میانگین مقدار تابع هدف در تکرار هزارم در ۵۰ بار اجرا برای الگوریتم ژنتیک ۱۵۱۶۴۹۵۴ مگاوات مربع و برای الگوریتم ژنتیک همراه با EO در جمعیت فرزندان حاصل از عمل جهش ۱۴۶۸۴۳۴۱ مگاوات مربع می‌باشد.

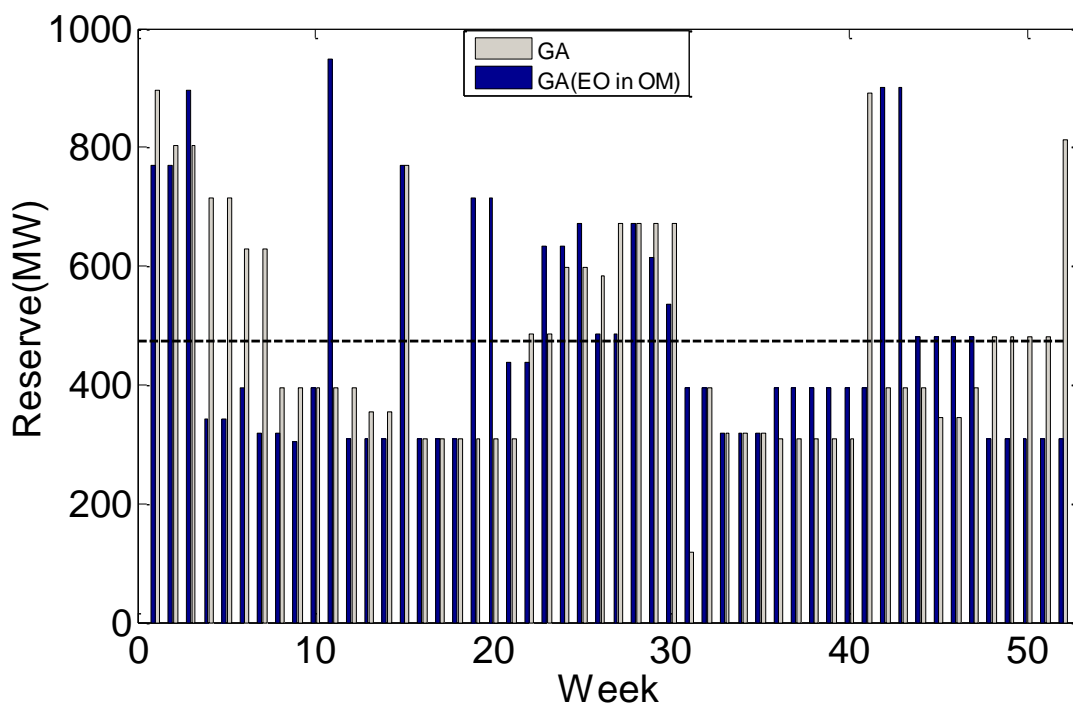


شکل (۶-۲۶). مقدار تابع هدف بهترین برنامه در تکرارهای مختلف الگوریتم ژنتیک با و بدون

بکار بردن EO در اعضای جمعیت فرزندان حاصل از عمل جهش



شکل (۶-۲۷). هفته های شروع تعمیر و نگهداری واحدها در بهترین برنامه تعمیر و نگهداری بدست آمده از الگوریتم ژنتیک بدون جستجوی محلی و الگوریتم ژنتیک همراه با جستجوی محلی EO در اعضای جمعیت فرزندان حاصل از عمل جهش

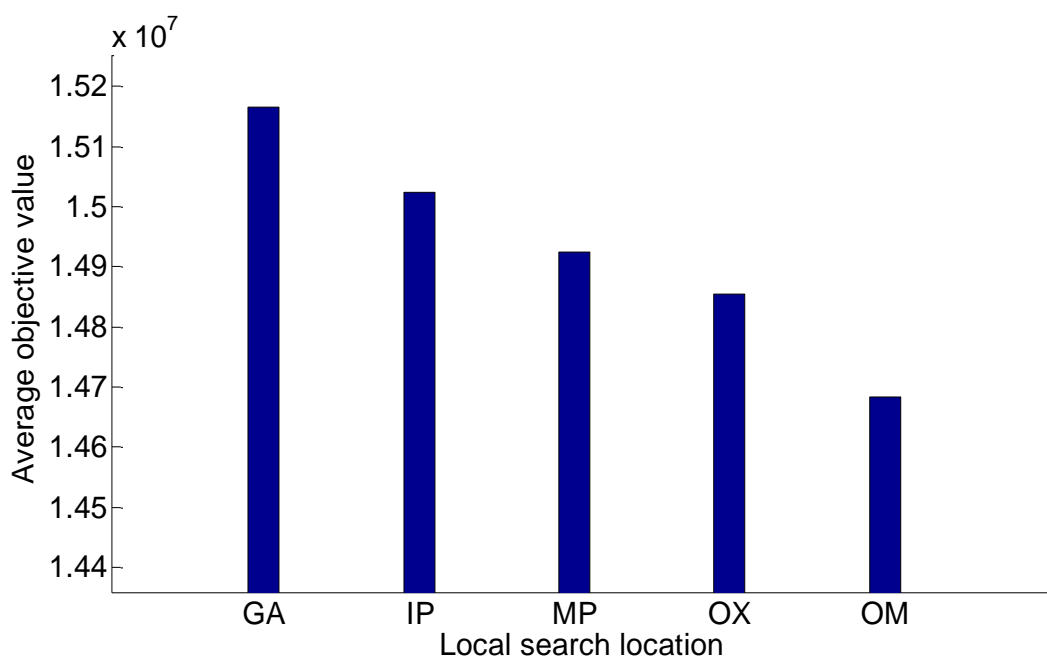


شکل (۶-۲۸). رزرو در طول هفته های سال برای بهترین برنامه بدست آمده از الگوریتم ژنتیک

با و بدون بکار بردن EO در اعضای جمعیت فرزندان حاصل از عمل جهش

## ۱۲-۶- بررسی مکان الگوریتم جستجوی محلی EO

در این قسمت اثر مکان جستجوی محلی بر روی تابع هدف بررسی می شود. در بخشهای ۶-۸ تا ۶-۱۱ الگوریتم EO به ترتیب در مکانهای جمعیت اولیه، جمعیت مولد، جمعیت فرزندان حاصل از برش و جمعیت فرزندان حاصل از جهش اعمال شد. شکل (۶-۲۹) مقدار میانگین تابع هدف در ۵۰ اجرا در هر مکان را نشان می دهد. همانطور که از این شکل مشاهده می شود اعمال جستجوی محلی در جمعیت اولیه کمترین اثر را نسبت به سایر مکانها بر تابع هدف دارد. این مساله به این خاطر است که جستجوی محلی در جمعیت اولیه فقط یکبار انجام می شود حال آنکه در سایر مکانها در هر تکرار یکبار جستجوی محلی روی اعضا انجام می شود. بهترین مکان اعمال جستجوی محلی در فرزندان حاصل از جهش می باشد زیرا بهترین این فرزندان برای جایگزینی بکار می رود و بنابراین دارای اهمیت ویژه ای است. اعمال الگوریتم جستجوی محلی EO باعث کاهش مقدار تابع هدف می شود زیرا که مقدار تابع هدف با بکار بردن جستجوی محلی در تمامی مکانها از مقدار تابع هدف الگوریتم ژنتیک بدون جستجوی محلی کمتر است. در قسمت بعدی از الگوریتم جستجوی محلی پیشنهادی EO/GA به عنوان جستجوی محلی استفاده می کنیم و همانند سایر الگوریتمهای جستجوی محلی در مکانهای مختلف الگوریتم ژنتیک اعمال کرده و روی آن بحث می کنیم.



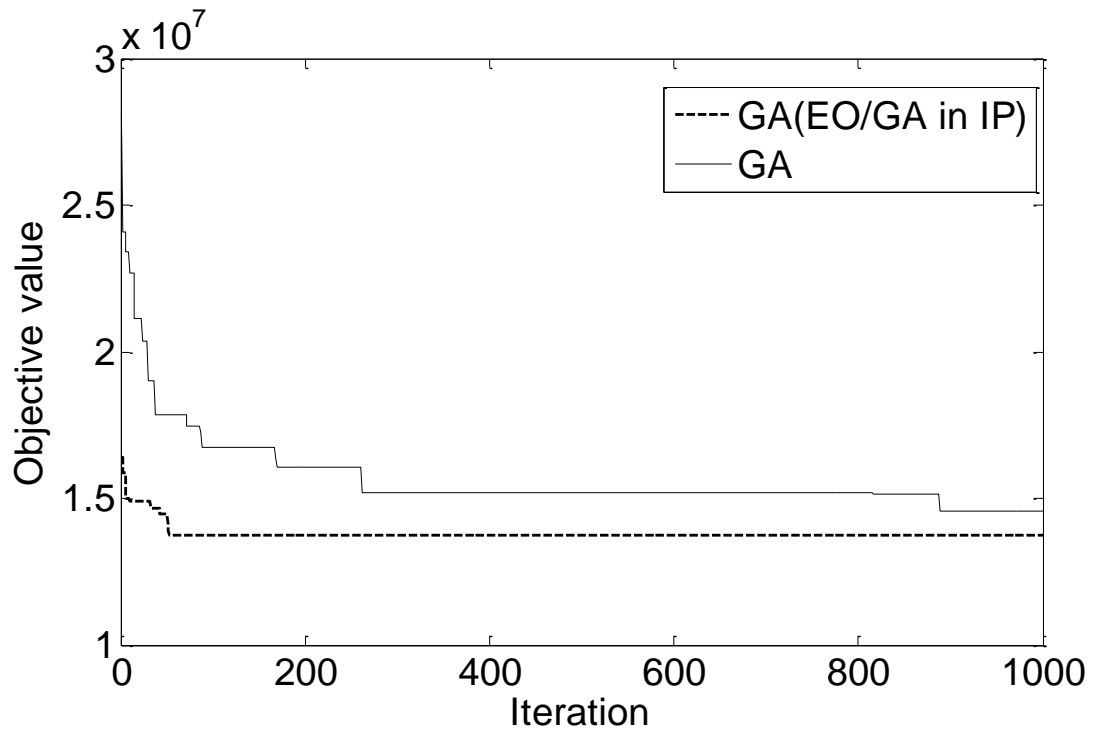
شکل

(۶-۲۹). بررسی مکان اعمال الگوریتم جستجوی محلی EO



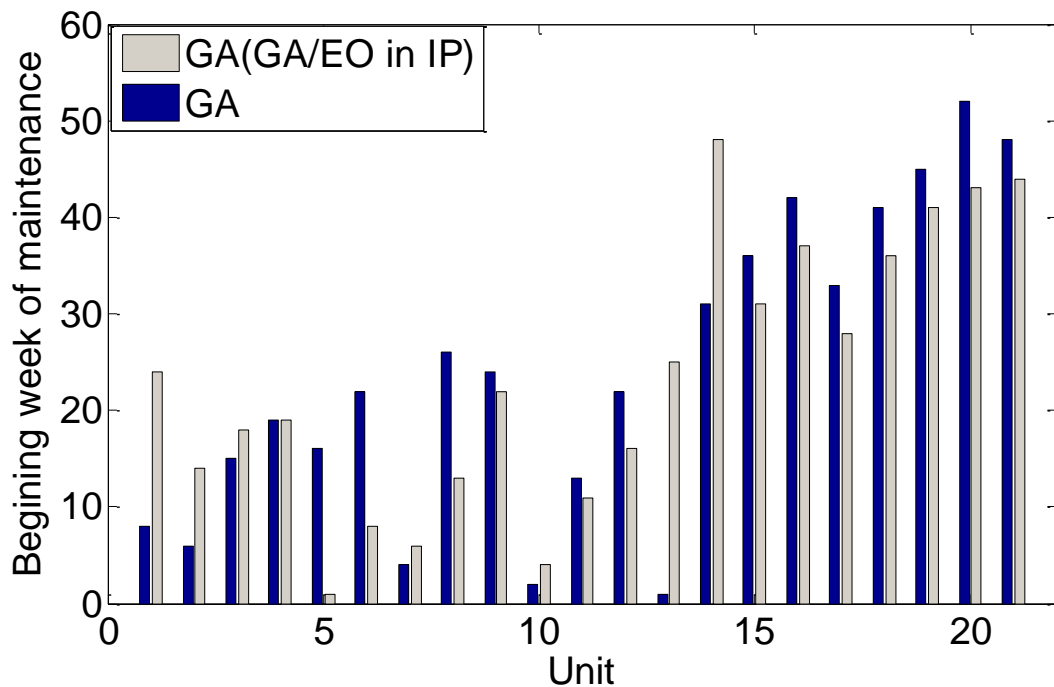
## ۶-۱۳- اعمال الگوریتم پیشنهادی EO/GA در جمعیت اولیه

در این بخش الگوریتم پیشنهادی را به تمامی اعضای جمعیت اولیه اعمال می کنیم. در هر عضو شایستگی تمام قسمتها با توجه به رابطه ۵-۱ بدست می آید، سپس یک الگوریتم ژنتیک به قسمتهایی که شایستگی آنها از میانگین شایستگی تمام قسمتها کمتر هستند اعمال می شود. عضو یا اعضای بهبود یافته جایگزین عضو یا اعضای با شایستگی پایین در جمعیت قبلی می شوند. تعداد ۱۰۰ تکرار برای الگوریتم ژنتیک انتخاب شده و مانند قبل نرخ جهش و برش به ترتیب ۰/۷ و ۰/۰۱ است. جستجوی محلی EO/GA فقط در ۵۰ تکرار اول الگوریتم ژنتیک به جمعیت اولیه اعمال می شود. مساله ۵۰ مرتبه توسط این الگوریتم حل می شود و بهترین اجرا و بهترین برنامه تعیین می شود. نمودارهای مقدار تابع هدف، هفته شروع تعمیر و نگهداری واحدها و رزرو در طول سال برای بهترین برنامه در ۵۰ بار اجرا به ترتیب در شکلهای (۶-۱۷)، (۶-۱۸) و (۶-۱۹) نشان داده شده اند. نماد GA(EO/GA in IP) معرف الگوریتم ژنتیک همراه با اعمال EO/GA در جمعیت اولیه می باشد. در شکل (۶-۳۰) به راحتی می توان دید که الگوریتم EO/GA تاثیر زیادی بر روی تابع هدف در تکرارهای اولیه داشته است به طوری که در تکرارهای ۱ تا ۱۰ مقدار تابع هدف به صورت چشمگیری کمتر از مقدار تابع هدف در الگوریتم ژنتیک می باشد. میانگین مقدار تابع هدف در تکرار هزارم در ۵۰ بار اجرا برای الگوریتم ژنتیک ۱۵۱۶۴۹۵۴ مگاوات مربع و برای الگوریتم ژنتیک همراه با EO/GA و HCT در جمعیت اولیه ۱۴۵۹۸۵۸۷ مگاوات مربع می باشد.



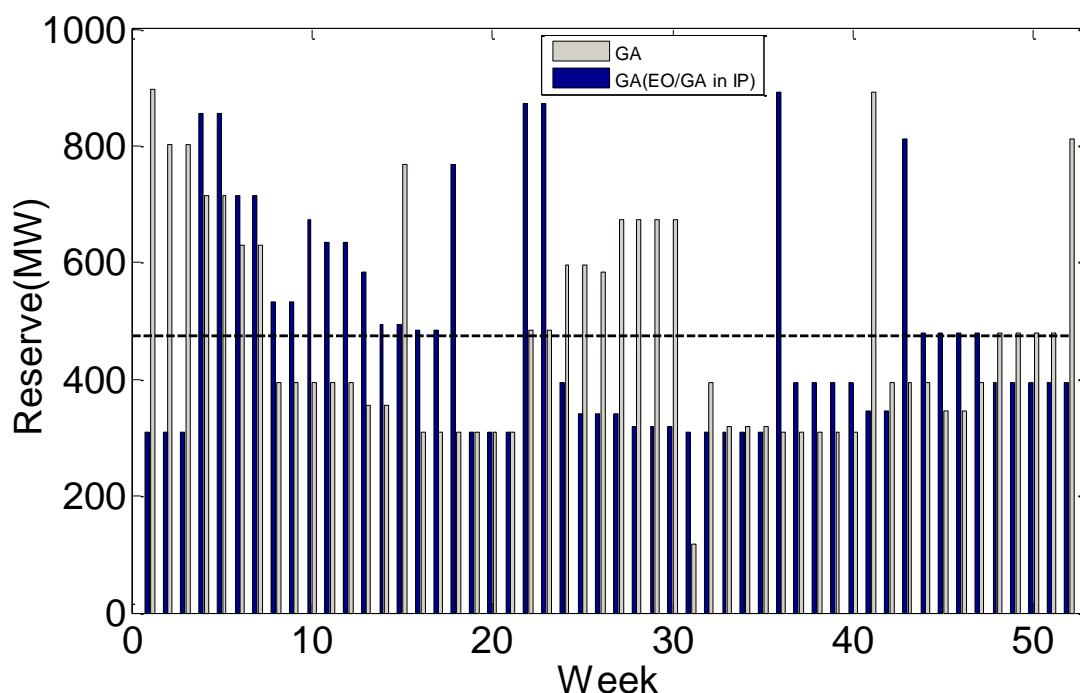
شکل (۶-۳۰). مقدار تابع هدف بهترین برنامه در تکرارهای مختلف الگوریتم ژنتیک با و بدون

بکار بردن EO/GA در اعضای جمعیت اولیه



شکل (۶-۳۱). هفته های شروع تعمیر و نگهداری واحدها در بهترین برنامه تعمیر و نگهداری بدست آمده از الگوریتم ژنتیک بدون

جستجوی محلی و الگوریتم ژنتیک همراه با جستجوی محلی EO/GA در اعضای جمعیت اولیه



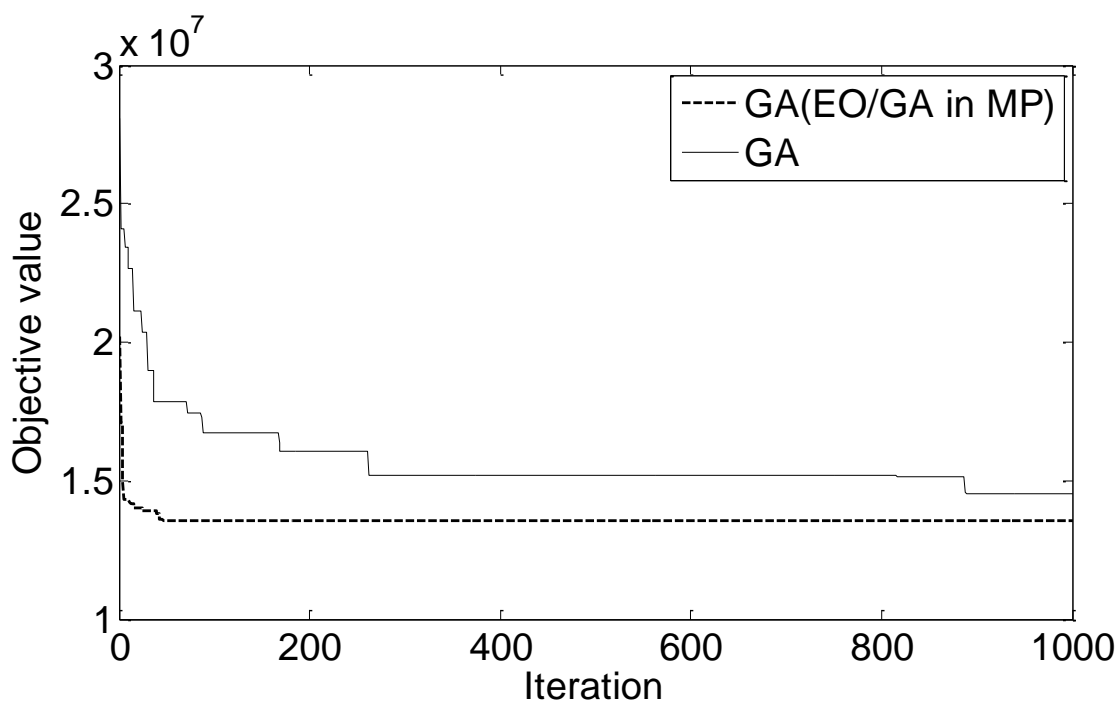
شکل (۶-۳۲). رزرو در طول هفته های سال برای بهترین برنامه بدست آمده از الگوریتم ژنتیک

با و بدون بکار بردن EO/GA در اعضای جمعیت اولیه

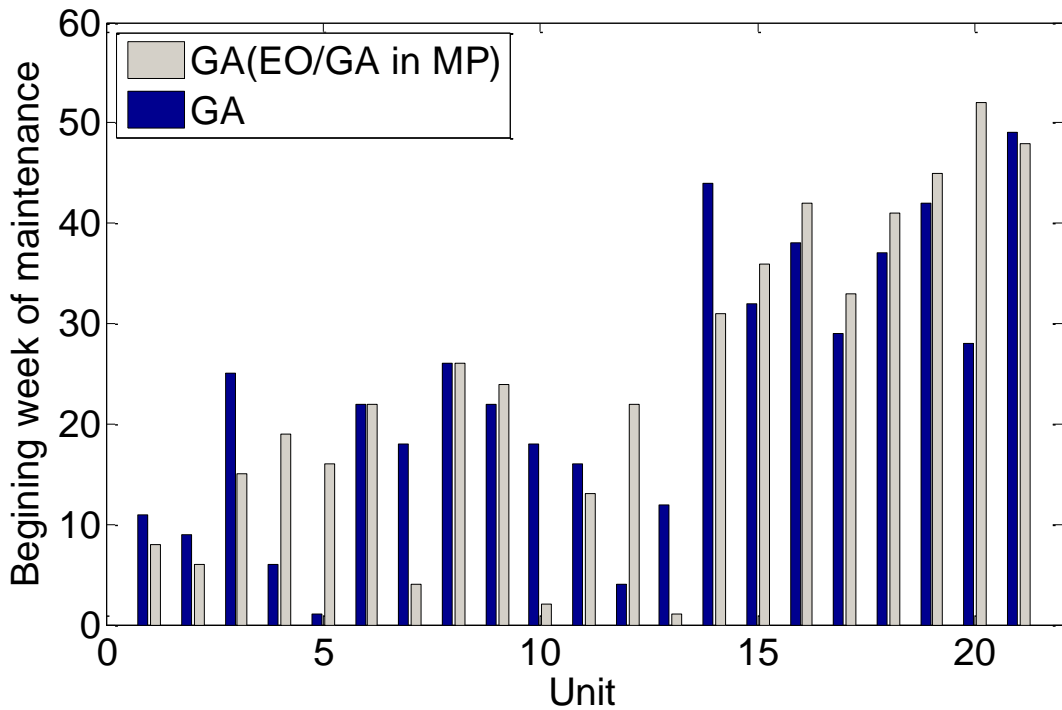
## ۶-۱۴- اعمال الگوریتم پیشنهادی EO/GA در جمعیت مولد

در این بخش الگوریتم پیشنهادی را به ۵ عضو از اعضای جمعیت مولد اعمال می کنیم. در هر عضو شایستگی تمام قسمت‌ها با توجه به رابطه ۵-۱ بدست می آید، سپس یک الگوریتم ژنتیک به قسمت‌هایی که شایستگی آنها از میانگین شایستگی تمام قسمت‌ها کمتر هستند اعمال می شود. عضو یا اعضای بهبود یافته جایگزین عضو یا اعضای با شایستگی پایین در جمعیت قبلی می شوند. جستجوی محلی EO/GA فقط در ۵۰ تکرار اول الگوریتم ژنتیک به جمعیت مولد اعمال می شود و مانند قبل نرخ جهش و برش به ترتیب ۰/۷ و ۰/۰۱ است. نمودارهای مقدار تابع هدف، هفته شروع تعمیر و نگهداری واحدها و رزرو در طول سال برای بهترین برنامه به ترتیب در شکل‌های (۶-۳۳)، (۶-۳۴) و (۶-۳۵) نشان داده شده اند. نماد GA(EO/GA in MP) معرف الگوریتم ژنتیک همراه با اعمال EO/GA در جمعیت مولد می باشد. در شکل (۶-۳۳) به راحتی می توان دید که الگوریتم EO/GA تاثیر زیادی بر روی تابع هدف در تکرارهای اولیه داشته است به طوری که در تکرارهای

۱ تا ۱۰ مقدار تابع هدف به صورت چشمگیری کمتر از مقدار تابع هدف در الگوریتم ژنتیک می باشد. میانگین مقدار تابع هدف در تکرار هزارم در ۵۰ بار اجرا برای الگوریتم ژنتیک ۱۵۱۶۴۹۵۴ مگاوات مربع و برای الگوریتم ژنتیک همراه با EO/GA و HCT در جمعیت مولد ۱۴۰۲۴۹۴۷ مگاوات مربع می باشد.

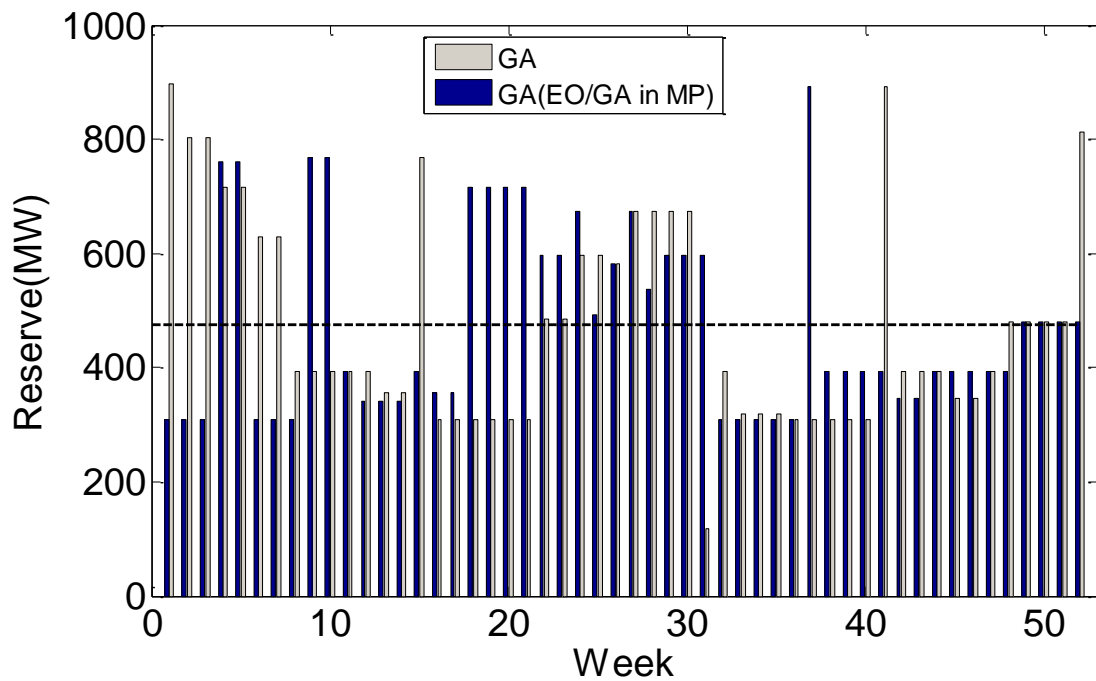


شکل (۳۳-۶). مقدار تابع هدف بهترین برنامه در تکرارهای مختلف الگوریتم ژنتیک با و بدون بکار بردن EO/GA در اعضای جمعیت مولد



شکل

(۳۴-۶). هفته های شروع تعمیر و نگهداری واحدها در بهترین برنامه تعمیر و نگهداری بدست آمده از الگوریتم ژنتیک بدون جستجوی محلی و الگوریتم ژنتیک همراه با جستجوی محلی EO/GA در اعضای جمعیت مولد



شکل

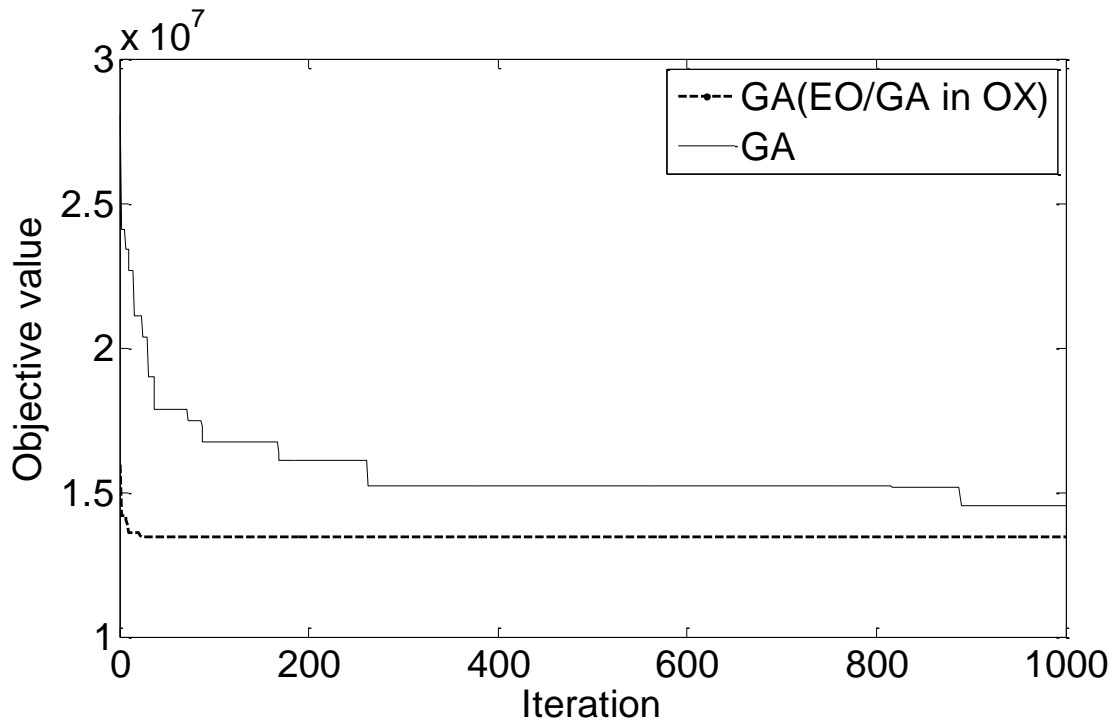
(۳۵-۶). رزرو در طول هفته های سال برای بهترین برنامه بدست آمده از الگوریتم ژنتیک

با و بدون بکار بردن EO/GA در اعضای جمعیت مولد

## ۶-۱۵- اعمال الگوریتم پیشنهادی EO/GA در جمعیت فرزندان حاصل از عمل برش

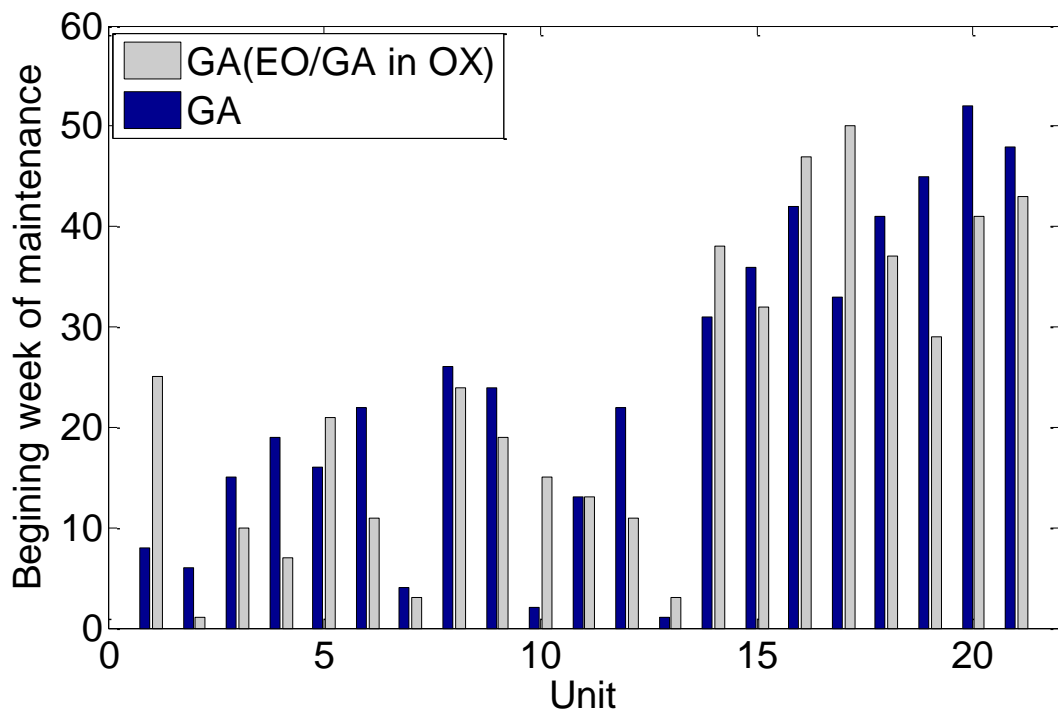
در این بخش الگوریتم پیشنهادی را به ۵ عضو از اعضای جمعیت فرزندان حاصل از برش اعمال می‌کنیم. در هر عضو شایستگی تمام قسمت‌ها با توجه به رابطه ۵-۱ بدست می‌آید، سپس یک الگوریتم ژنتیک به قسمت‌هایی که شایستگی آنها از میانگین شایستگی تمام قسمت‌ها کمتر هستند اعمال می‌شود. عضو یا اعضای بهبود یافته جایگزین عضو یا اعضای با شایستگی پایین در جمعیت قبلی می‌شوند. جستجوی محلی EO/GA فقط در ۵۰ تکرار اول الگوریتم ژنتیک به جمعیت فرزندان حاصل از برش اعمال می‌شود و مانند قبل نرخ جهش و برش به ترتیب ۰/۷ و ۰/۱ است. نمودارهای مقدار تابع هدف، هفته شروع تعمیر و نگهداری واحدها و رزرو در طول سال برای بهترین برنامه در ۵۰ بار اجرا به ترتیب در شکل‌های (۶-۳۶)، (۶-۳۷) و (۶-۳۸) نشان داده شده‌اند. نمودار

GA(EO/GA in OX) معرف الگوریتم ژنتیک همراه با اعمال EO/GA در جمعیت فرزندان حاصل از برش می‌باشد. در شکل (۶-۳۶) به راحتی می‌توان دید که الگوریتم EO/GA تاثیر زیادی بر روی تابع هدف در تکرارهای اولیه داشته است به طوری که در تکرارهای ۱ تا ۱۰ مقدار تابع هدف به صورت چشمگیری کمتر از مقدار تابع هدف در الگوریتم ژنتیک می‌باشد و پس از آن تابع هدف تغییر چندانی نمی‌کند. میانگین مقدار تابع هدف در تکرار هزارم در ۵۰ بار اجرا برای الگوریتم ژنتیک ۱۵۱۶۴۹۵۴ مگاوات مربع و برای الگوریتم ژنتیک همراه با EO/GA در جمعیت فرزندان حاصل از برش ۱۳۸۲۳۰۸۲ مگاوات مربع می‌باشد.



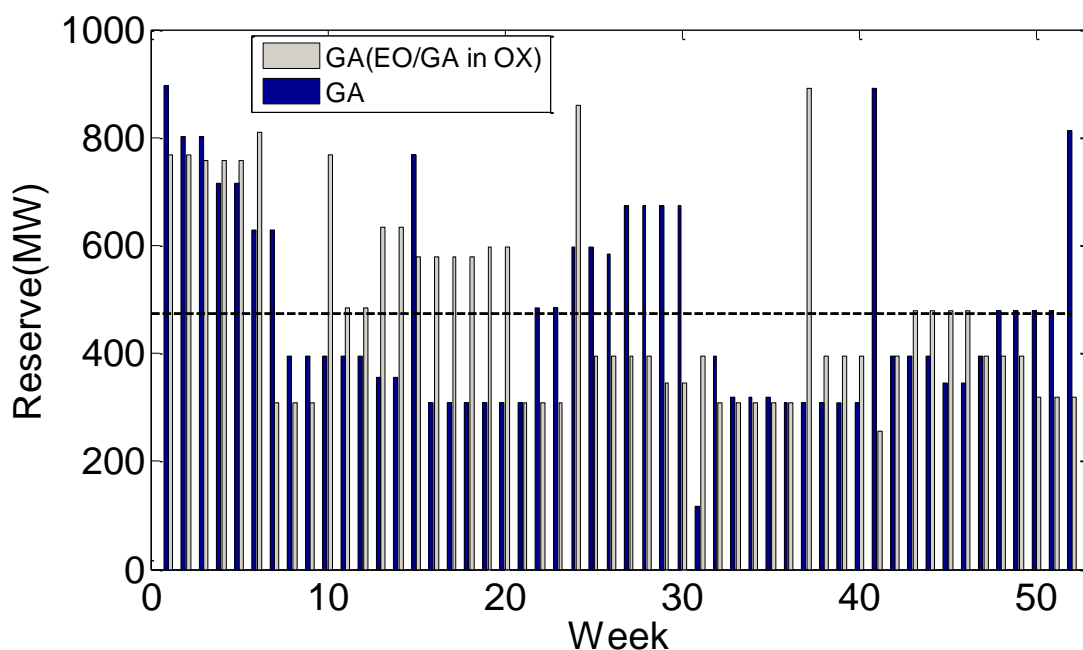
شکل (۶-۳۶). مقدار تابع هدف بهترین برنامه در تکرارهای مختلف الگوریتم ژنتیک با و بدون

بکار بردن EO/GA در اعضای جمعیت فرزندان حاصل از عمل پرش



شکل (۶-۳۷). هفته های شروع تعمیر و نگهداری واحدها در بهترین برنامه تعمیر و نگهداری بدست آمده از الگوریتم ژنتیک بدون

جستجوی محلی و الگوریتم ژنتیک همراه با جستجوی محلی EO/GA در اعضای جمعیت فرزندان حاصل از عمل پرش



شکل (۶-۳۸). رزرو در طول هفته های سال برای بهترین برنامه بدست آمده از الگوریتم ژنتیک

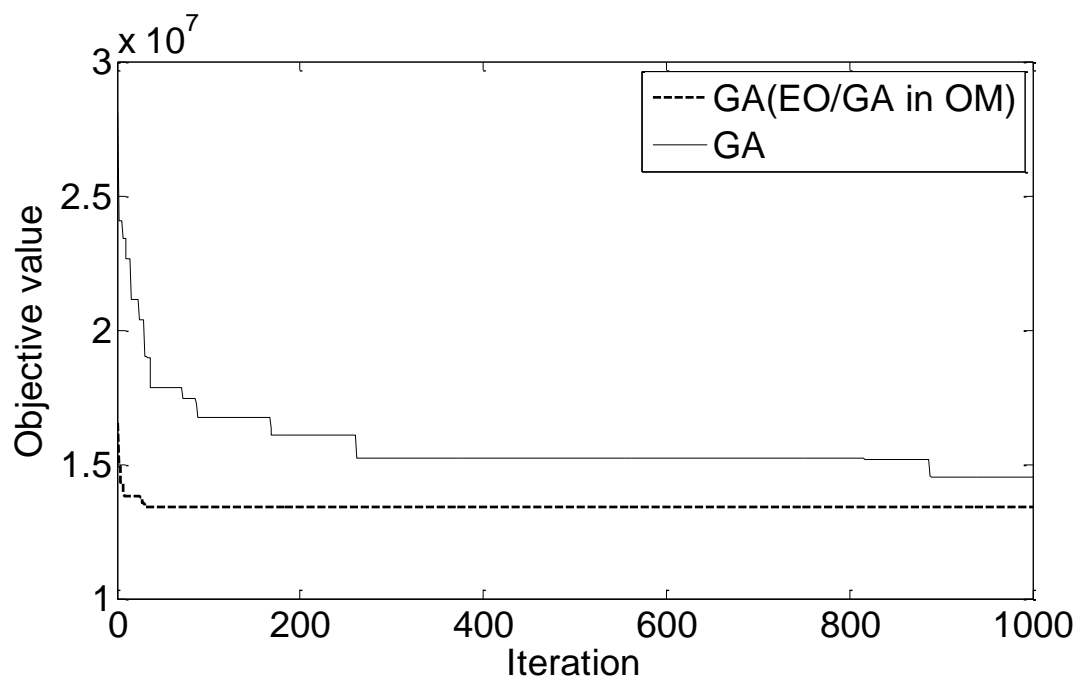
با و بدون بکار بردن EO/GA در اعضای جمعیت فرزندان حاصل از برش

## ۶-۱۶- اعمال الگوریتم پیشنهادی EO/GA در جمعیت فرزندان حاصل از عمل جهش

در این بخش الگوریتم پیشنهادی را به ۵ عضو از اعضای جمعیت فرزندان حاصل از جهش اعمال می کنیم و آنها را برای جایگزینی انتخاب می کنیم، یعنی اعضایی که بهبود یافته اند را جایگزین اعضای نسل قبل می کنیم. در هر عضو شایستگی تمام قسمتها با توجه به رابطه ۵-۱ بدست می آید. سپس یک الگوریتم ژنتیک به قسمتهایی که شایستگی آنها از میانگین شایستگی تمام قسمتها کمتر هستند اعمال می شود. جستجوی محلی EO/GA فقط در ۵۰ تکرار اول الگوریتم ژنتیک به جمعیت فرزندان حاصل از برش اعمال می شود و مانند قبل نرخ جهش و برش به ترتیب ۰/۷ و ۰/۱ است. نمودارهای مقدار تابع هدف، هفته شروع تعمیر و نگهداری واحدها و رزرو در طول سال برای بهترین برنامه در ۵۰ بار اجرا به ترتیب در شکل‌های (۶-۳۹)، (۶-۴۰) و (۶-۴۱) نشان داده شده اند. نماد GA(EO/GA in OM) معرف الگوریتم ژنتیک همراه با اعمال EO/GA در جمعیت فرزندان حاصل از جهش می باشد. میانگین مقدار تابع هدف در تکرار هزارم در ۵۰ بار اجرا برای الگوریتم ژنتیک ۱۵۱۶۴۹۵۴ مگاوات

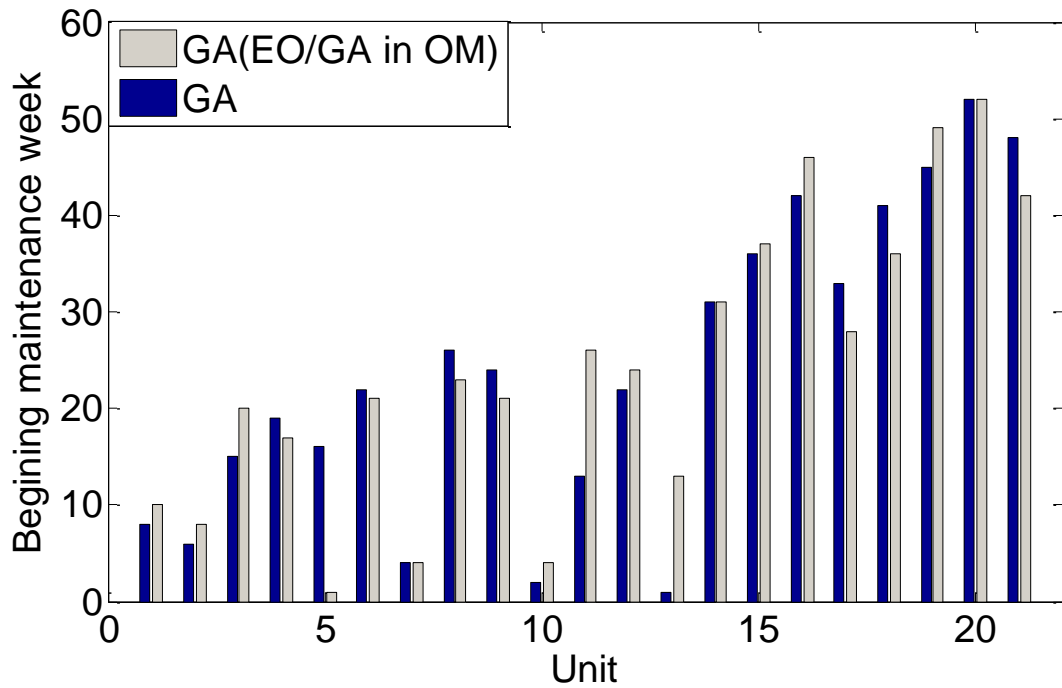


مربع و برای الگوریتم ژنتیک همراه با EO/GA در جمعیت فرزندان حاصل از جهش  $13823082$  مگاوات مربع می باشد.

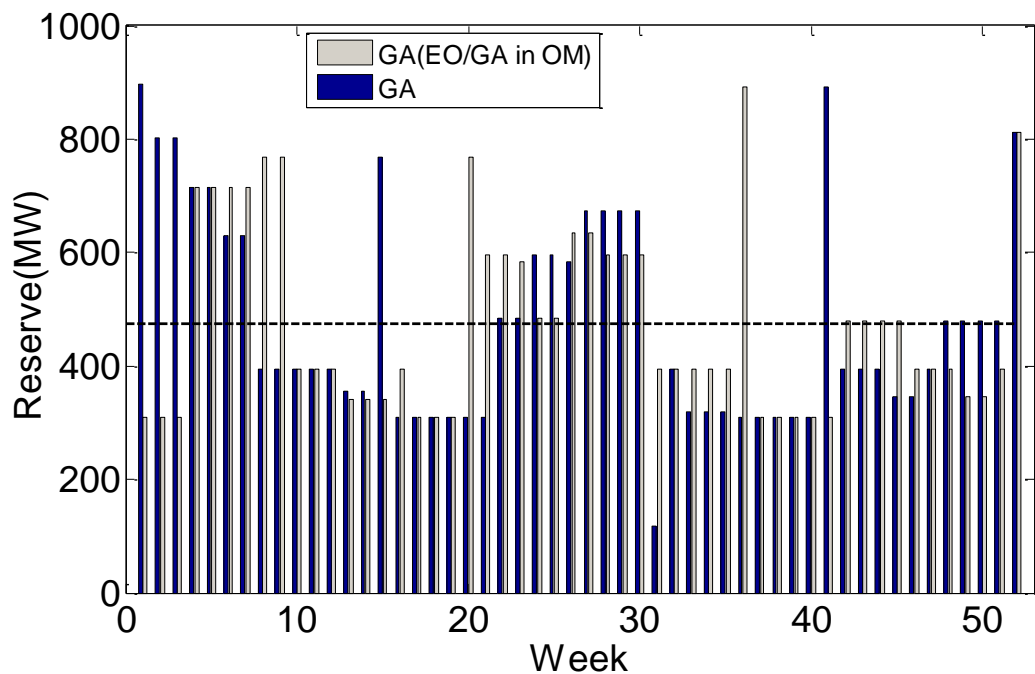


شکل (۶-۳۹). مقدار تابع هدف بهترین برنامه در تکرارهای مختلف الگوریتم ژنتیک با و بدون

بکار بردن EO/GA در اعضای جمعیت فرزندان حاصل از عمل جهش



شکل (۴۰-۶). هفته های شروع تعمیر و نگهداری واحدها در بهترین برنامه تعمیر و نگهداری بدست آمده از الگوریتم ژنتیک بدون جستجوی محلی و الگوریتم ژنتیک همراه با جستجوی محلی EO/GA در اعضای جمعیت فرزندان حاصل از عمل جهش

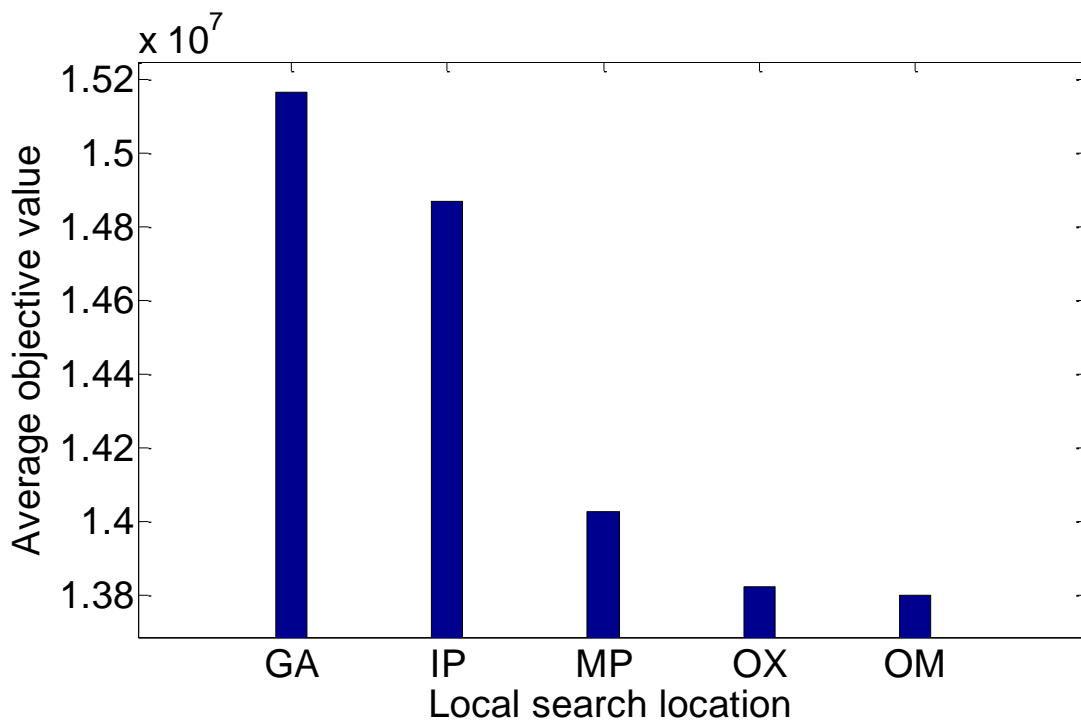


شکل (۴۱-۶). رزرو در طول هفته های سال برای بهترین برنامه بدست آمده از الگوریتم ژنتیک

با و بدون بکار بردن EO/GA در اعضای جمعیت فرزندان حاصل از جهش

## ۶-۱۷- مقایسه مکان اعمال الگوریتم جستجوی محلی EO/GA در الگوریتم ژنتیک

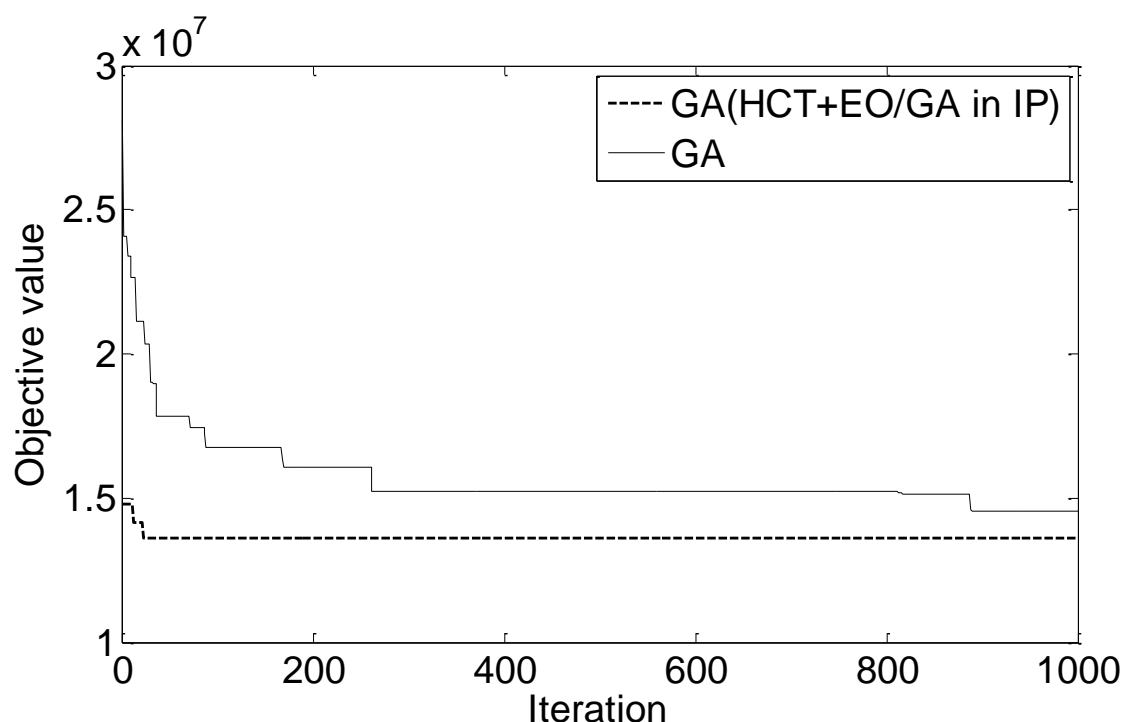
در این قسمت می‌خواهیم اثر اعمال الگوریتم جستجوی محلی EO/GA را در مکانهای مختلف الگوریتم ژنتیک بررسی کنیم. همانطور که در بخشهای ۶-۱۳ تا ۶-۱۶ آمد الگوریتم پیشنهادی در هر مکان ۵۰ بار اجرا شد. شکل (۶-۴۲) میانگین تابع هدف روی ۵۰ بار اجرا را در هر مکان نشان می‌دهد. متوسط تابع هدف در هر ۴ مکان از متوسط الگوریتم ژنتیک بدون جستجوی محلی کمتر است و اعمال جستجوی محلی EO/GA تابع هدف را به شدت کاهش می‌دهد. نتایج حاصل از اعمال الگوریتمهای جستجوی محلی مختلف نشان می‌دهد بهترین مکان برای اعمال جستجوی محلی در فرزندان حاصل از برش می‌باشد. در قسمت بعد ترکیب دو جستجوی محلی HCT و EO/GA در مکانهای مختلف الگوریتم ژنتیک بررسی می‌گردد.



شکل (۶-۴۲). عملکرد جستجوی محلی EO/GA در مکانهای مختلف الگوریتم ژنتیک

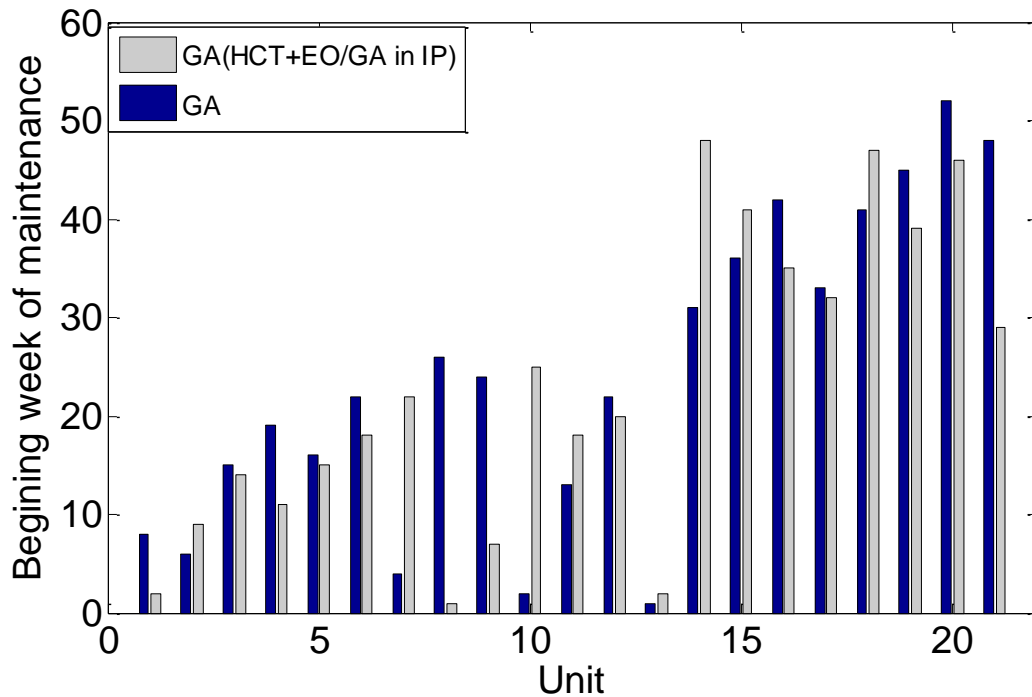
## ۶-۱۸- اعمال HCT و EO/GA در جمعیت اولیه

در این بخش الگوریتم HCT و EO/GA به اعضای جمعیت اولیه اعمال می شوند. ابتدا تمامی اعضای جمعیت اولیه توسط الگوریتم HCT بهبود می یابند و سپس الگوریتم EO/GA به ۵ عضو از بهترین اعضای بهبود یافته اعمال می شود. مساله ۵۰ مرتبه توسط این الگوریتم حل می شود و بهترین اجرا و بهترین برنامه تعیین می شود. نمودارهای مقدار تابع هدف، هفته شروع تعمیر و نگهداری واحدها و رزرو در طول سال برای بهترین برنامه در ۵۰ بار اجرا به ترتیب در شکل‌های (۶-۴۳)، (۶-۴۴) و (۶-۴۵) رسم شده اند. نماد GA(HCT+EO/GA in IP) معرف الگوریتم ژنتیک همراه با اعمال EO/GA و HCT در جمعیت اولیه می باشد. میانگین مقدار تابع هدف در تکرار هزارم در ۵۰ بار اجرا برای الگوریتم ژنتیک ۱۵۱۶۴۹۵۴ مگاوات مربع و برای الگوریتم ژنتیک همراه با HCT و EO/GA در جمعیت مولد ۱۴۵۹۸۵۸۷ مگاوات مربع می باشد.

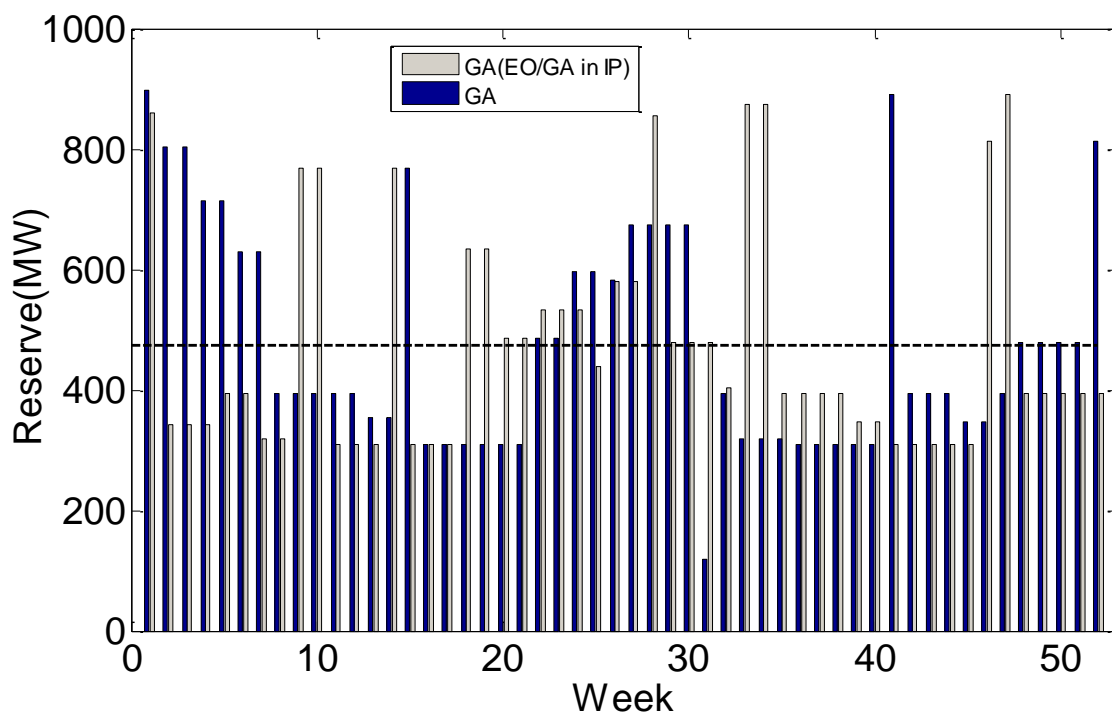


شکل (۶-۴۳). مقدار تابع هدف بهترین برنامه در تکرارهای مختلف الگوریتم ژنتیک با و بدون

بکار بردن EO/GA و HCT در اعضای جمعیت اولیه



شکل (۴۴-۶). هفته های شروع تعمیر و نگهداری واحدها در بهترین برنامه تعمیر و نگهداری بدست آمده از الگوریتم ژنتیک بدون جستجوی محلی و الگوریتم ژنتیک همراه با جستجوی محلی EO/GA و HCT در اعضای جمعیت اولیه

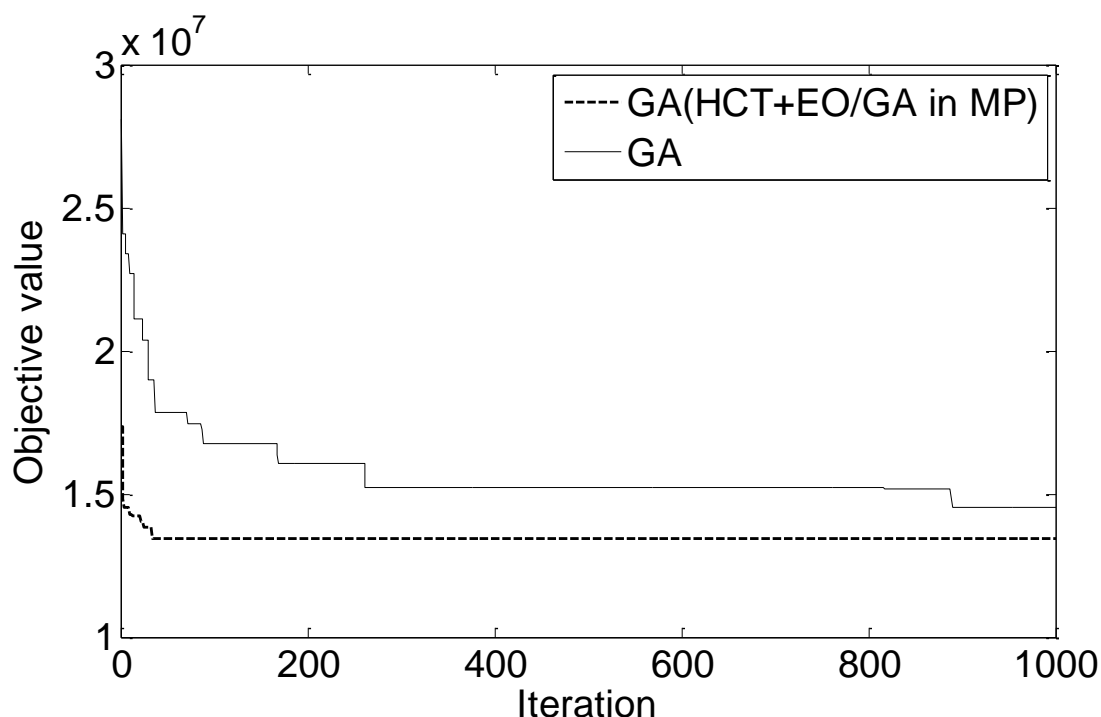


شکل (۴۵-۶). رزرو در طول هفته های سال برای بهترین برنامه بدست آمده از الگوریتم ژنتیک

با و بدون بکار بردن EO/GA و HCT در اعضای جمعیت اولیه

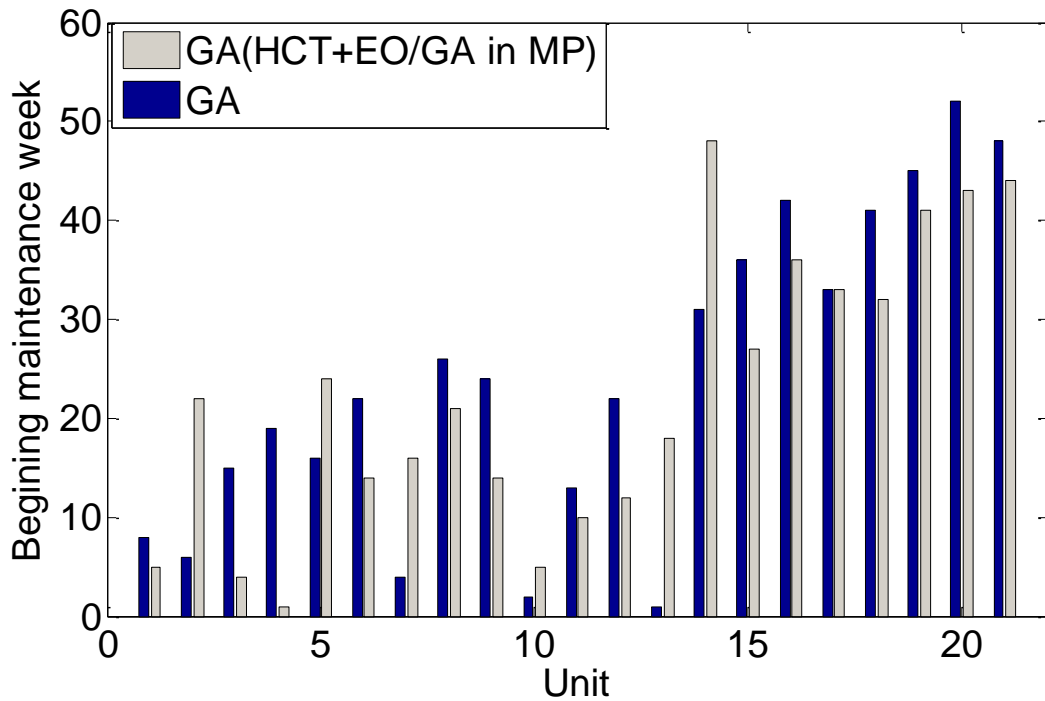
## ۶-۱۹- اعمال HCT و EO/GA در جمعیت مولد

در این بخش الگوریتم HCT و EO/GA به اعضای جمعیت مولد اعمال می شوند. ابتدا تمامی اعضای جمعیت اولیه توسط الگوریتم HCT بهبود می یابند و سپس الگوریتم EO/GA به ۵ عضو از بهترین اعضای بهبود یافته اعمال می شود. مساله ۵۰ مرتبه توسط این الگوریتم حل می شود و بهترین اجرا و بهترین برنامه تعیین می شود. نمودارهای مقدار تابع هدف، هفته شروع تعمیر و نگهداری واحدها و رزرو در طول سال برای بهترین برنامه در ۵۰ بار اجرا به ترتیب در شکل‌های (۶-۴۶)، (۶-۴۷) و (۶-۴۸) رسم شده اند. نماد  $GA(HCT+EO/GA \text{ in MP})$  معرف الگوریتم ژنتیک همراه با اعمال EO/GA و HCT در جمعیت مولد می باشد. میانگین مقدار تابع هدف در تکرار هزارم در ۵۰ بار اجرا برای الگوریتم ژنتیک ۱۵۱۶۴۹۵۴ مگاوات مربع و برای الگوریتم ژنتیک همراه با HCT و EO/GA در جمعیت مولد ۱۳۸۸۷۶۵۴ مگاوات مربع می باشد.



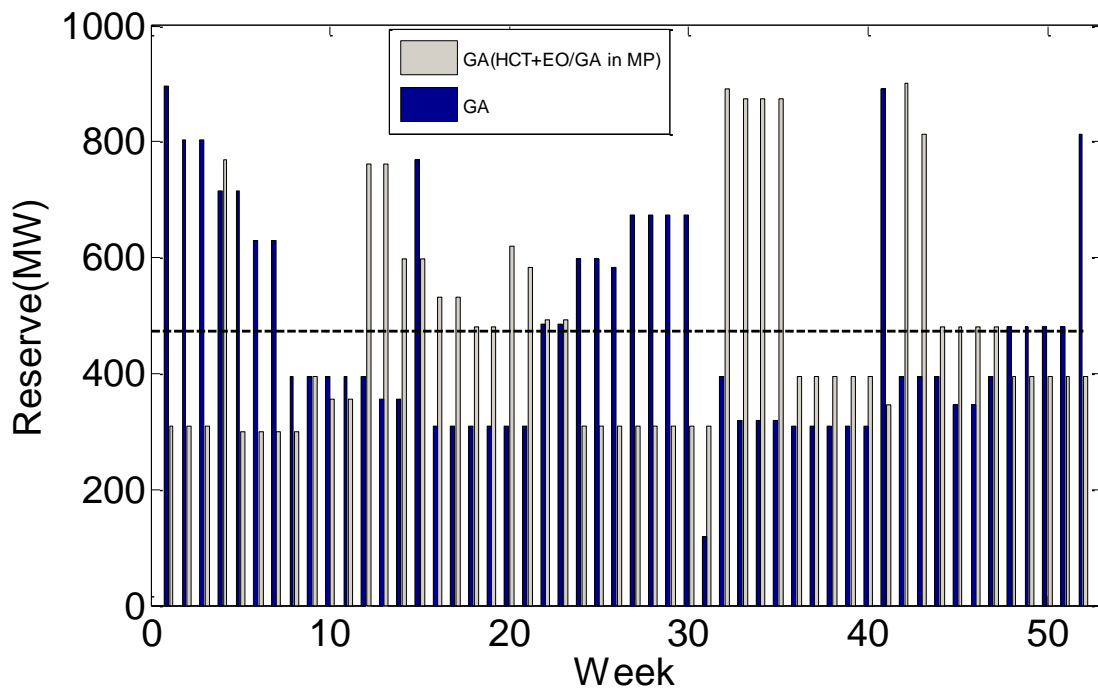
شکل (۶-۴۶). مقدار تابع هدف بهترین برنامه در تکرارهای مختلف الگوریتم ژنتیک با و بدون

بکار بردن EO/GA و HCT در اعضای جمعیت مولد



شکل

(۴۷-۶). هفته های شروع تعمیر و نگهداری واحدها در بهترین برنامه تعمیر و نگهداری بدست آمده از الگوریتم ژنتیک بدون جستجوی محلی و الگوریتم ژنتیک همراه با جستجوی محلی EO/GA و HCT در اعضای جمعیت مولد

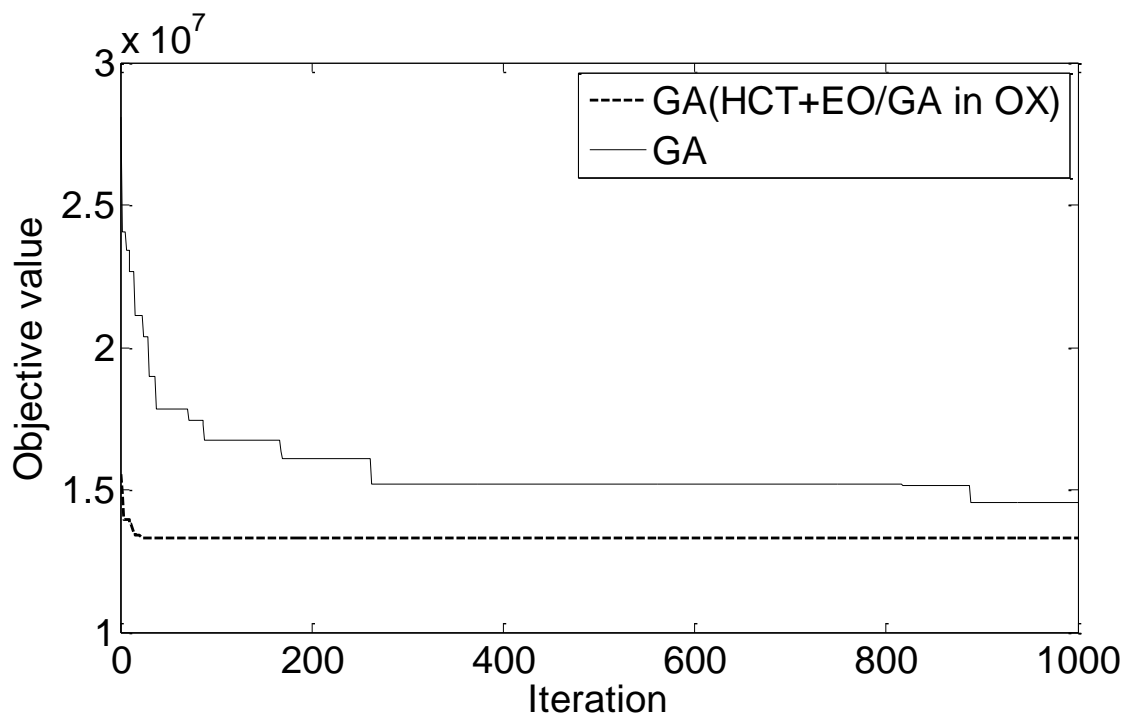


شکل (۴۸-۶). رزرو در طول هفته های سال برای بهترین برنامه بدست آمده از الگوریتم ژنتیک

با و بدون بکار بردن EO/GA و HCT در اعضای جمعیت مولد

## ۶-۲۰- اعمال HCT و EO/GA پس از عملگر برش

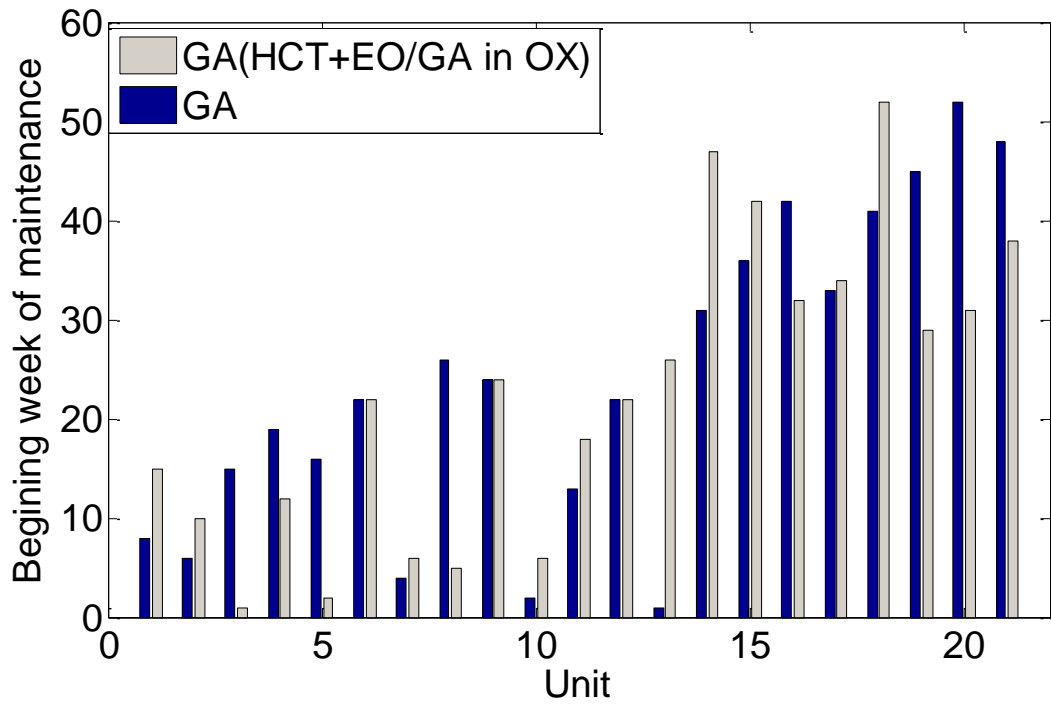
در این بخش الگوریتم HCT و EO/GA به اعضای جمعیت فرزندان حاصل از برش اعمال می شوند. ابتدا تمامی اعضای جمعیت فرزندان توسط الگوریتم HCT بهبود می یابند و سپس الگوریتم EO/GA به ۵ عضو از بهترین اعضای بهبود یافته اعمال می شود. مساله ۵۰ مرتبه توسط این الگوریتم حل می شود و بهترین اجرا و بهترین برنامه تعیین می شود. نمودارهای مقدار تابع هدف، هفته شروع تعمیر و نگهداری واحدها و رزرو در طول سال برای بهترین برنامه در ۵۰ بار اجرا به ترتیب در شکل‌های (۶-۴۹)، (۶-۵۰) و (۶-۵۱) رسم شده اند. نماد GA(HCT+EO/GA in OX) معرف الگوریتم ژنتیک همراه با اعمال EO/GA و HCT در جمعیت فرزندان حاصل از برش می باشد. میانگین مقدار تابع هدف در تکرار هزارم در ۵۰ بار اجرا برای الگوریتم ژنتیک ۱۵۱۶۴۹۵۴ مگاوات مربع و برای الگوریتم ژنتیک همراه با HCT و EO/GA در جمعیت مولد ۱۳۵۵۰۲۳۹ مگاوات مربع می باشد.



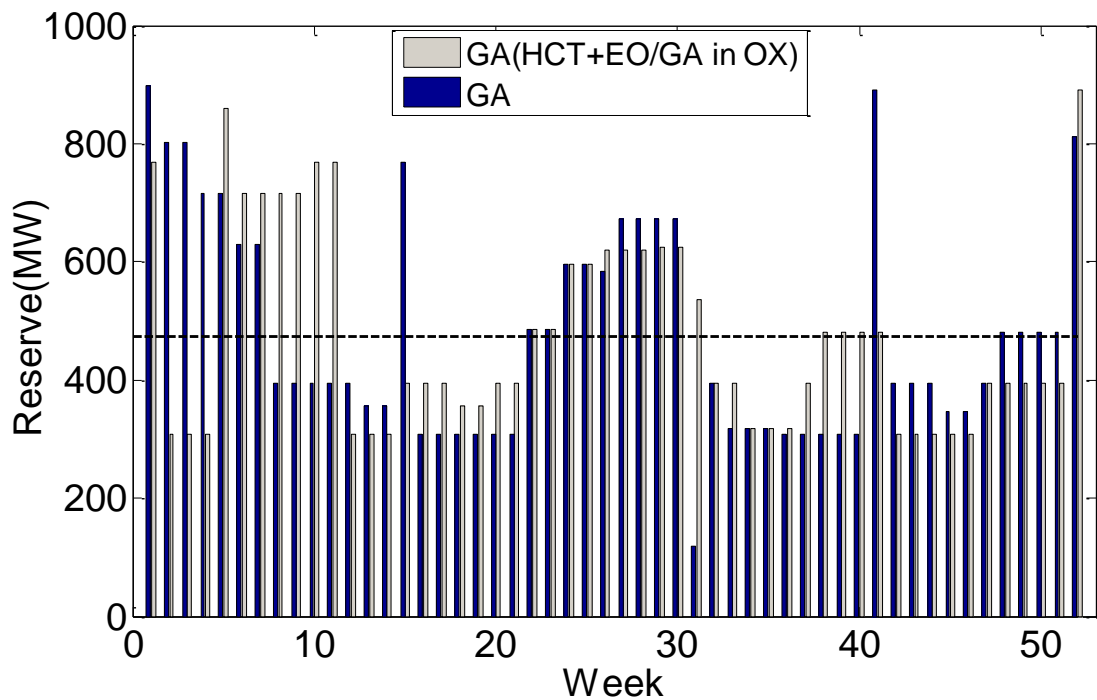
شکل (۶-۴۹). مقدار تابع هدف بهترین برنامه در تکرارهای مختلف الگوریتم ژنتیک با و بدون

بکار بردن EO/GA و HCT در اعضای جمعیت فرزندان حاصل از برش





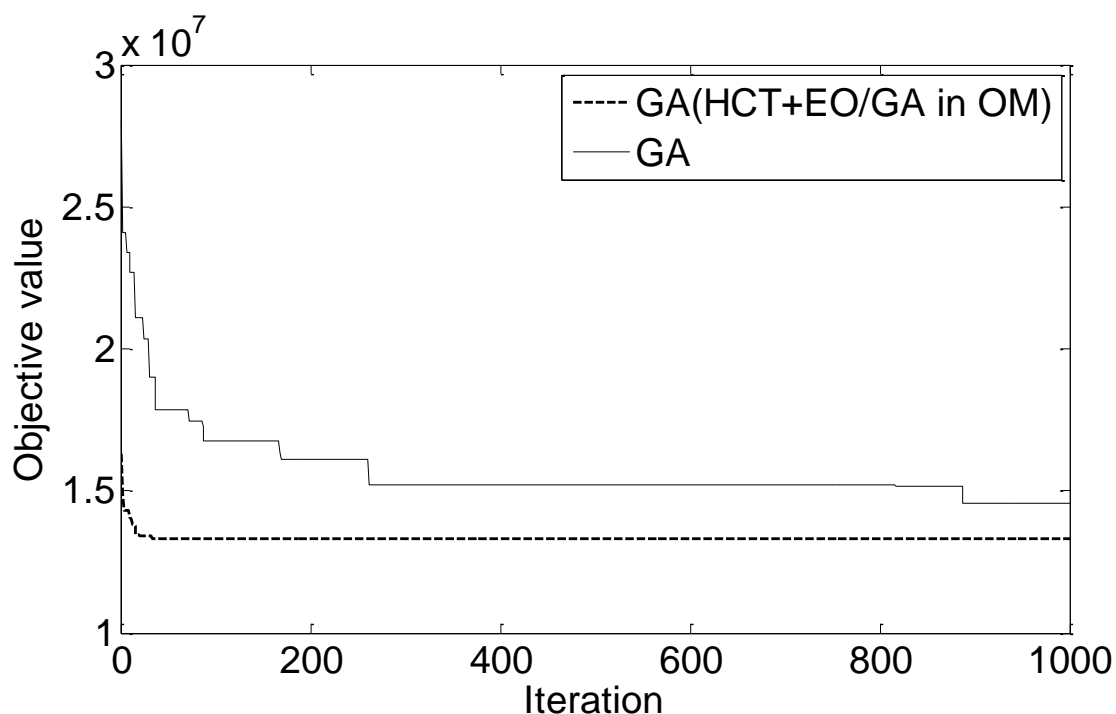
شکل (۵۰-۶). هفته های شروع تعمیر و نگهداری واحدها در بهترین برنامه تعمیر و نگهداری بدست آمده از الگوریتم ژنتیک بدون جستجوی محلی و الگوریتم ژنتیک همراه با جستجوی محلی EO/GA و HCT در اعضای جمعیت فرزندان حاصل از برش



شکل (۵۱-۶). رزرو در طول هفته های سال برای بهترین برنامه بدست آمده از الگوریتم ژنتیک با و بدون بکار بردن EO/GA و HCT در اعضای فرزندان حاصل از برش

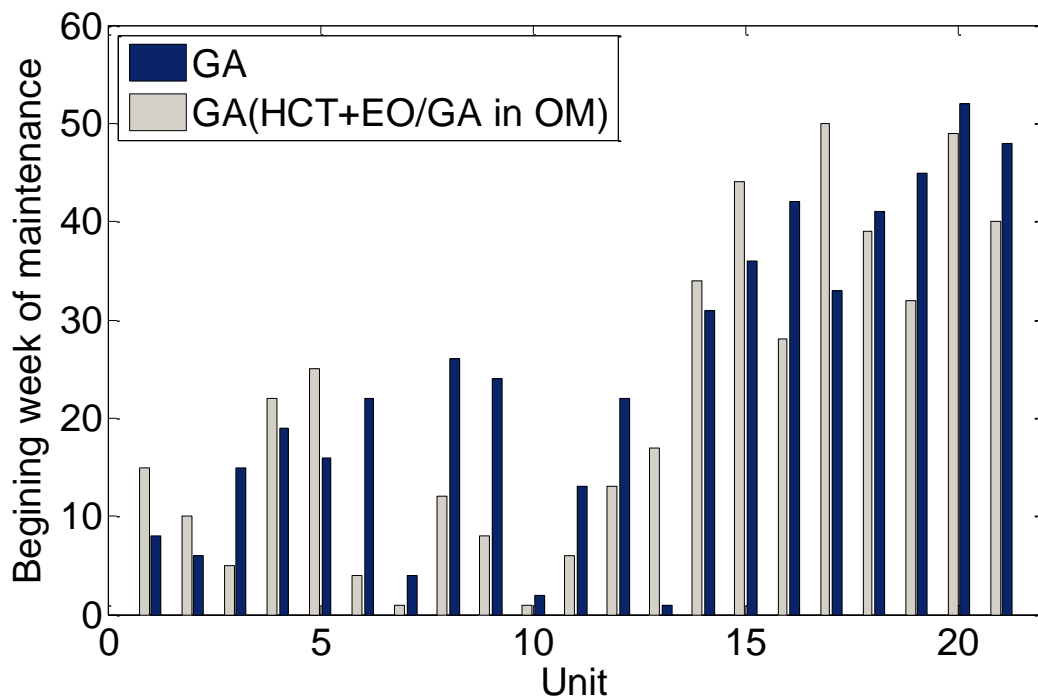
## ۶-۲۱- اعمال HCT و EO/GA پس از عملگر جهش

در این بخش الگوریتم HCT و EO/GA به اعضای جمعیت فرزندان حاصل از جهش اعمال می شوند. ابتدا تمامی اعضای جمعیت فرزندان توسط الگوریتم HCT بهبود می یابند و سپس الگوریتم EO/GA به ۵ عضو از بهترین اعضای بهبود یافته اعمال می شود. مساله ۵۰ مرتبه توسط این الگوریتم حل می شود و بهترین اجرا و بهترین برنامه تعیین می شود. نمودارهای مقدار تابع هدف، هفته شروع تعمیر و نگهداری واحدها و رزرو در طول سال برای بهترین برنامه در ۵۰ بار اجرا به ترتیب در شکل‌های (۶-۵۲)، (۶-۵۳) و (۶-۵۴) رسم شده اند. نماد GA(HCT+EO/GA in OM) معرف الگوریتم ژنتیک همراه با اعمال EO/GA و HCT در جمعیت فرزندان حاصل از جهش می باشد. میانگین مقدار تابع هدف در تکرار هزارم در ۵۰ بار اجرا برای الگوریتم ژنتیک ۱۵۱۶۴۹۵۴ مگاوات مربع و برای الگوریتم ژنتیک همراه با HCT و EO/GA در جمعیت مولد ۱۳۵۳۰۳۸۷ مگاوات مربع می باشد.

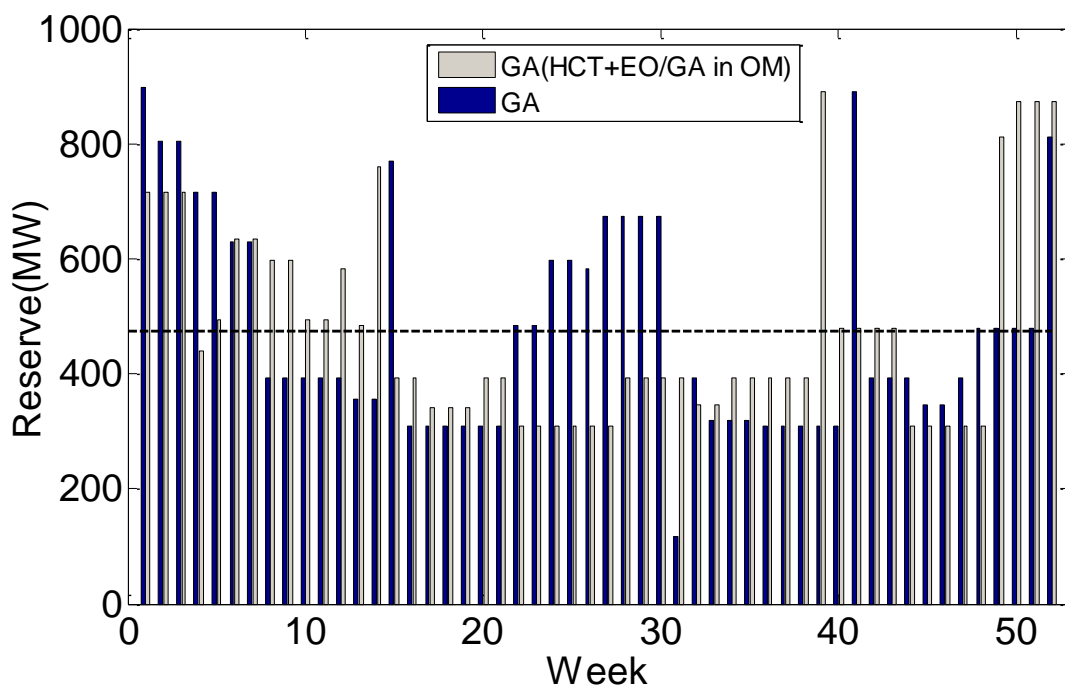


شکل (۶-۵۲). مقدار تابع هدف بهترین برنامه در تکرارهای مختلف الگوریتم ژنتیک با و بدون

بکار بردن EO/GA و HCT در اعضای جمعیت فرزندان حاصل از اعمال عملگر جهش



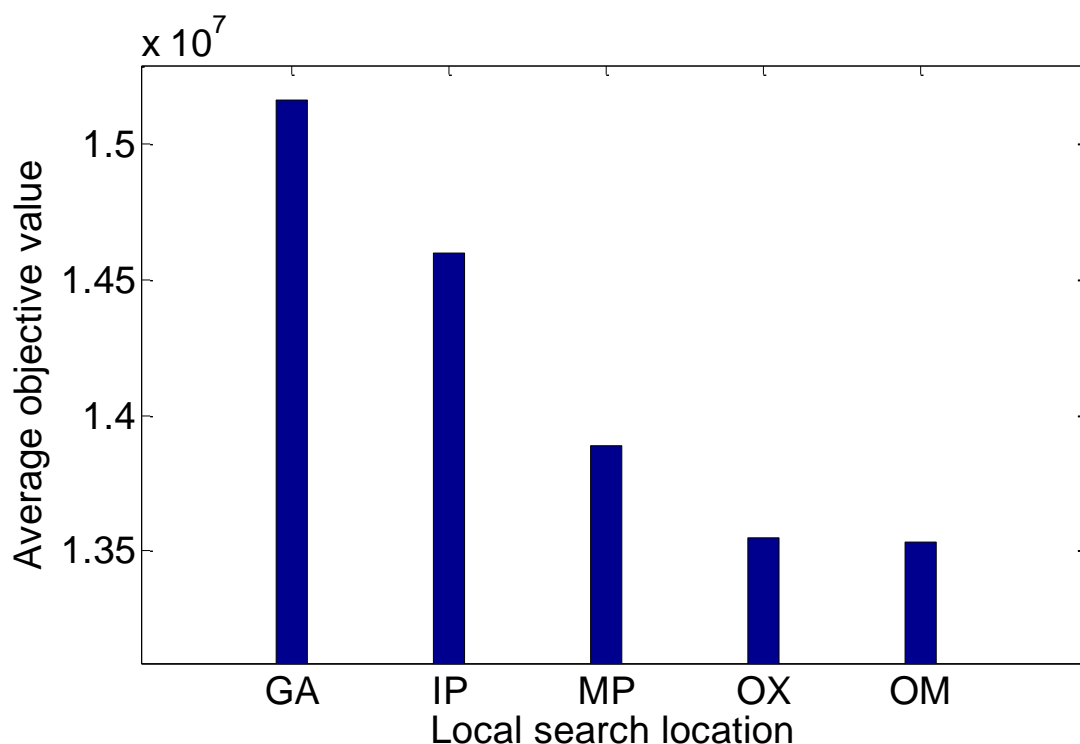
شکل (۶-۵۳). هفته های شروع تعمیر و نگهداری واحدها در بهترین برنامه تعمیر و نگهداری بدست آمده از الگوریتم ژنتیک بدون جستجوی محلی و الگوریتم ژنتیک همراه با جستجوی محلی EO/GA و HCT در اعضای جمعیت فرزندان حاصل از جهش



شکل (۶-۵۴). رزرو در طول هفته های سال برای بهترین برنامه بدست آمده از الگوریتم ژنتیک با و بدون بکار بردن EO/GA و HCT در اعضای جمعیت فرزندان حاصل از جهش

## ۶-۲۲- بررسی مکان اعمال جستجوی محلی HCT+EO/GA

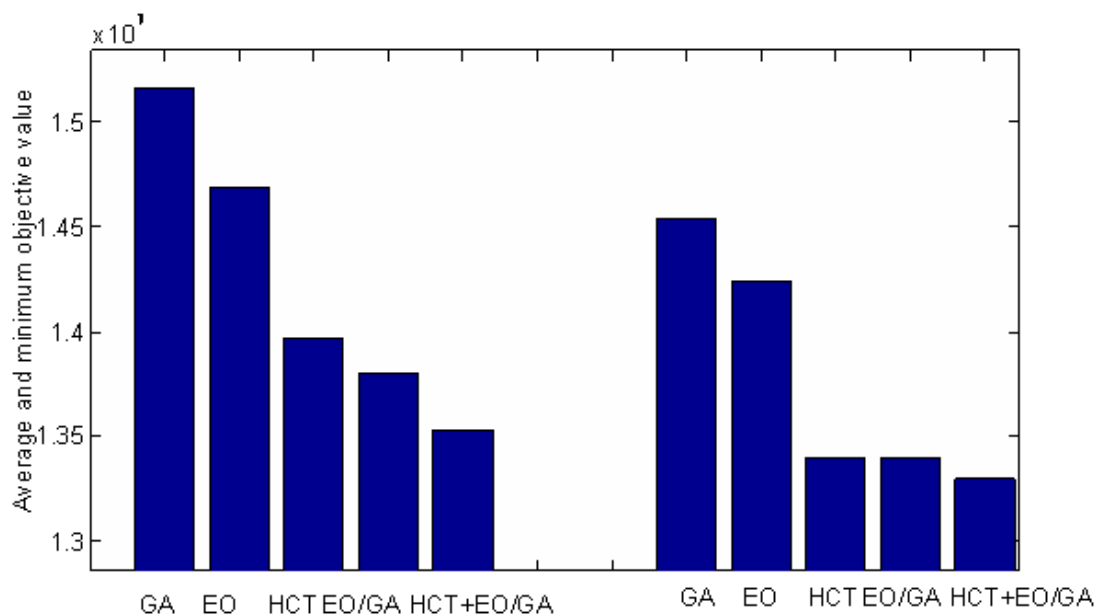
میانگین ۵۰ تابع هدف به ازای اعمال جستجوی محلی HCT+EO/GA در شکل (۶-۵۵) نشان داده شده است. همانطور که از این شکل مشاهده می شود اعمال جستجوی محلی در جمعیت اولیه کمترین اثر را نسبت به سایر مکانها بر تابع هدف دارد. این مساله به این خاطر است که جستجوی محلی در جمعیت اولیه فقط یکبار انجام می شود حال آنکه در سایر مکانها در هر تکرار یکبار جستجوی محلی روی اعضا انجام می شود. بهترین مکان اعمال جستجوی محلی در فرزندان حاصل از جهش می باشد زیرا بهترین این فرزندان برای جایگزینی بکار می رود و بنابراین دارای اهمیت ویژه ای است. در بخش بعدی به بررسی عملکرد الگوریتمهای جستجوی های محلی بحث شده می پردازیم.



شکل (۶-۵۵). میانگین تابع هدف با بکار بردن الگوریتم جستجوی محلی HCT+EO/GA در نقاط مختلف

## ۶-۲۳- بررسی عملکرد الگوریتمهای جستجوی محلی

در این بخش می‌خواهیم عملکرد الگوریتمهای جستجوی محلی بحث شده در بخشهای قبل را بررسی کنیم. عملکرد این الگوریتمها در مکان فرزندان حاصل از جهش بررسی می‌شود زیرا همانطور که در بخش ۶-۱۷ آمد تمامی الگوریتمهای جستجوی محلی بحث شده بهترین عملکرد را در مکان فرزندان حاصل از جهش دارند. شکل (۶-۴۳) میانگین و مینیمم مقدار تابع هدف در ۵۰ بار هنگام استفاده از الگوریتمهای جستجوی محلی مختلف را نشان میدهد. ستونهای سمت چپ در این شکل مقدار میانگین تابع هدف روی ۵۰ بار اجرا و ستون های سمت راست مقدار مینیمم تابع هدف روی ۵۰ بار اجرا را نشان می‌دهند. الگوریتمهای جستجوهای محلی به ترتیب از سمت چپ GA، EO، HCT، EO/GA، HCT+EO/GA در سمت چپ و راست شکل می‌باشند. همانطور که از این شکل مشاهده می‌شود الگوریتم جستجوی محلی HCT+EO/GA بهترین عملکرد را در میان الگوریتمها دارد. پس از آن الگوریتم EO/GA قرار دارد. الگوریتم HCT نیز عملکرد نسبتاً خوبی دارد و الگوریتم EO با اختلاف زیادی از این دو الگوریتم در مکان چهارم قرار می‌گیرد. علت عدم موفقیت EO را می‌توان در تصادفی بودن مقدار دهی آن دانست زیرا هنگامی که این الگوریتم می‌خواهد مقداری را به بدترین قسمت عضو دهد هیچگونه ملاحظه‌ای در این مقدار دهی وجود ندارد و کاملاً تصادفی می‌باشد. در حالی که در EO/GA این مقدار دهی با جستجو در انواع ترکیبهای مختلف توسط یک الگوریتم جستجوی قوی مبتنی بر جمعیت صورت می‌گیرد. موفقیت نسبی HCT را نیز می‌توان در تعریف ویژه‌ای از همسایه‌ها دانست زیرا موفقیت این الگوریتم تا حد زیادی به نحوه تعریف همسایگی برای هر عضو بستگی دارد. این تعریف همسایه‌ها نیز تا حدی به عملکرد عملگر جهش شباهت دارد زیرا که در تعدادی از اعضای این همسایه‌ها فقط برنامه یکی از واحدها تغییر می‌یابد و برنامه سایر واحدها بدون تغییر باقی می‌ماند. همانطور که نقش عملگر جهش در الگوریتم ژنتیک جستجوی مکانهای مختلف فضای جستجو و فرار از بهینه محلی است تعریف این نوع همسایگی نیز نوعی جستجوی نقاط پنهان فضای جستجو است که منجر به پیدا کردن نقاط بهتری می‌شود. موفقیت دو الگوریتم HCT و EO/GA ما را به استفاده همزمان این دو الگوریتم رهنمون می‌سازد و به روشنی می‌توانیم توانایی بالای ترکیب این دو الگوریتم را مشاهده کنیم.



شکل (۶-۵۶). میانگین و بهترین تابع هدف در جستجوهای محلی متفاوت

## ۶-۲۴- بررسی زمان اجرای الگوریتمهای جستجوی محلی

زمان اجرای الگوریتمهای جستجوی محلی مختلف در جدول ۶-۱ نشان داده شده است. این نتایج در یک کامپیوتر با پردازشگر اینتل با سرعت ۱/۷ GHZ و ۷۳۶ MB حافظه بدست آمده اند. همانطور که از این جدول مشاهده می شود زمان اجرای جستجوی محلی در جمعیت اولیه نسبت به سایر مکانها کمتر می باشد چونکه جستجوی محلی فقط یکبار در جمعیت اولیه انجام می شود ولی در سایر مکانها در هر تکرار یک جستجوی محلی صورت می گیرد. زمان اجرای جستجوی محلی EO نسبت به سایر روشها کمتر است و زمان اجرای الگوریتم EO/GA نسبت به روشهای HCT و EO بیشتر است زیرا در هر تکرار الگوریتم ژنتیک اصلی، یک الگوریتم ژنتیک در جستجوی محلی انجام می شود. در نهایت ترکیب دو الگوریتم HCT و EO/GA بیشترین زمان اجرا دارد که البته می توان با استفاده از کامپیوترهای سریعتر و یا استفاده از پردازش موازی این زمان را به مقدار قابل توجهی کاهش داد.

جدول (۶-۱). زمان اجرای الگوریتمهای جستجوی محلی

مختلف

الگوریتم جستجوی محلی	زمان اجرا (ثانیه)
HCT in IP	۲۴۴
HCT in MP	۷۶۱
HCT in OX	۷۸۱
HCT in OM	۷۷۹

EO in IP	۱۹
EO in MP	۴۸
EO in OX	۴۷
EO in OM	۴۷
EO/GA in IP	۲۳۳
EO/GA in MP	۶۶۳
EO/GA in OX	۶۶۵
EO/GA in OM	۶۶۵
HCT+EO/GA in IP	۳۸۸
HCT+EO/GA in MP	۱۰۴۰
HCT+EO/GA in OX	۱۰۳۷
HCT+EO/GA in OM	۱۰۳۸

## فصل هفتم



# نتیجه گیری و پیشنهادات

در این پایان نامه از الگوریتم تکاملی هیبرید برای حل مساله برنامه ریزی تعمیر و نگهداری واحدهای تولیدی استفاده شده است. تابع هدف انتخاب شده تراز نمودن رزرو در طول سال بوده که از نوع قابلیت اطمینان می باشد. قیود در نظر گرفته شده عبارتند از قیود نیروی انسانی، تامین بار و بازه مجاز تعمیر و نگهداری. در میان الگوریتمهای تکاملی از الگوریتم ژنتیک استفاده شده و الگوریتمهای جستجوی محلی HCT، EO، EO/GA و ترکیب HCT-EO/GA برای بهبود اعضای الگوریتم ژنتیک بکار رفته اند مکانهایی که الگوریتمهای جستجوی محلی بکار رفته اند عبارتند از جمعیت اولیه، جمعیت جفت گیری، جمعیت فرزندان حاصل از عمل برش و جمعیت فرزندان حاصل از جهش. نتایج بدست آمده نشان می دهند اعمال جستجوی محلی در جمعیت اولیه تاثیر چندانی بر تابع هدف ندارد و بهترین مکان اعمال جستجوی محلی برای تمام الگوریتمها در میان

فرزندان حاصل از برش می باشد. هر کدام از الگوریتمهای جستجوی محلی و الگوریتم ترکیبی در هر مکان از الگوریتم ژنتیک ۵۰ بار اجرا شده است. نتایج حاصل نشان می دهند که الگوریتم پیشنهادی از سایر الگوریتمهای جستجوی محلی عملکرد بهتری دارد و ترکیب الگوریتم پیشنهادی و الگوریتم HCT بهترین جواب را بدست می دهد.

در زمینه برنامه ریزی تعمیر و نگهداری واحدهای تولیدی زمینه های تحقیقاتی بسیاری وجود دارد که از میان آنها می توان به موارد زیر اشاره کرد. تابع هدف استفاده شده در این پایان نامه از نوع قابلیت اطمینان بوده ولی می توان تابع هدف هزینه را نیز به آن افزود و یک تابع هدف چند منظوره را بکار برد که هم هزینه را کاهش دهد و هم قابلیت اطمینان سیستم را بالا ببرد. روشهای مختلفی برای حل مسایل بهینه سازی چند هدفه وجود دارند که هنوز به طور کامل بررسی نگشته اند. یکی از این روشها بهینه سازی چند هدفه فازی است که به هر تابع هدف یک مقدار تابع عضویت اختصاص می دهد و تصمیم گیرنده با تنظیم توابع عضویت به جواب مطلوب می رسد. قیود مساله را نیز می توان با روشهای مختلفی از جمله برنامه ریزی قیود (Constraint Programming) مورد بررسی قرار داد. یکی از قیودی را که می توان به مساله اضافه کرد قید خطوط انتقال است که به دو صورت تراکم و یا پایداری قابل بحث است. چنانچه برنامه ریزی تعمیر و نگهداری واحدها در محیط تجدید ساختار شده صورت گیرد، مسایل مربوط به رقابت و مدیریت شبکه نیز باید مد نظر قرار گیرد. برنامه ریزی واحدهای تولیدی را می توان با توجه برنامه ریزی سایر واحدها انجام داد به طوری که واحدها زمانی در مدار باشند که قیمت برق در بازار بالا بوده و واحدهای سایر شرکتهای تولیدی در حال تعمیر و نگهداری باشند. این مساله از نقطه نظر تئوری بازی ها قابل بحث می باشد. قیمت برق را نیز می توان به صورت احتمالی در نظر گرفت و یک تابع هدف احتمالی را بهینه کرد. باید توجه داشت که در محیطهای تجدید ساختار شده برنامه ها باید توسط بهره بردار مستقل سیستم (ISO<sup>۱۹</sup>) تایید شوند که این مساله به قیود مساله بهینه سازی اضافه می شود. در تمام حالتها می توان در بار و نیروی انسانی برای تعمیر و نگهداری عدم قطعیت در نظر گرفت و تابع هدف و قیود احتمالی را بکار برد.

در حوزه الگوریتمهای تکاملی هیبرید نیز می توان یک الگوریتم ابداعی تعریف کرد که عملکرد الگوریتمهای جستجوی محلی در نقاط مختلف را هماهنگ کرده، آنها را مدیریت کند. این الگوریتم به الگوریتم Hyper-heuristic شهرت یافته و هنوز در مراحل اولیه است.

---

<sup>۱۹</sup> Independent system operator

- [1]. L. Bertling, R. Allan, R. Eriksson, "A Reliability-Centered Asset Maintenance Method for Assessing the Impact of Maintenance in Power Distribution Systems", IEEE Transactions on Power Systems, vol. 20, no. 1, February 2005.
- [2]. D. Chattopadhyay, "Life-Cycle Maintenance Management of Generating Units in a Competitive Environment", IEEE Trans. on Power Systems, vol. 19, no. 2, pp. 1181-1189, 2004.
- [3]. M.Y. El-Sharkh, R. Yasser, and A.A. El-Keib, "Optimal maintenance scheduling for power generation systems—A literature review," in Proc. Maintenance and Rel. Conf., vol. 1, May 01–20.10, 1998, pp. 20.01–20.10.
- [4]. J. Endrenyi et al, "The Present Status of Maintenance Strategies and the Impact of Maintenance on Reliability", IEEE Trans. on Power Systems, vol. 16,no. 4, pp. 638-646, 2001.
- [5]. M. Shahidehpour and M. Marwali, Maintenance Scheduling in a Restructured Power System. Norwell, MA: Kluwer, May 2000.
- [6]. Y.-H. Song (ed) "Modern Optimisation Techniques in Power Systems", Kluwer Academic Publishers, 1999.
- [7]. X. Wang, and J.R. McDonald, (Eds.) Modern Power System Planning, McGraw-Hill, London, 247-307, 1994.
- [8]. J.F. Dopazo, H.M. Merrill, "Optimal generator maintenance scheduling using integer programming", IEEE Trans. PAS-94(5):1537-1545, 1975.
- [9]. M.Y. El-Sharkh, A.A. El-Keib, "Maintenance Scheduling of Generation Transmission Systems Using Fuzzy Evolutionary Programming", IEEE Trans. on Power Systems, vol. 18, no. 2, pp. 862-866, 2003.
- [10]. B.L. Kralj, and R. Petrovic, (1988) Optimal preventive maintenance scheduling of thermal generating units in power systems - A survey of problem formulation and solution methods, European Journal of Operational Research 35, 1-15.

- [11]. Glover F. and Kochenberger G., (eds.) Handbook of Meta-Heuristics, Kluwer,2003.
- [12]. V. Miranda, D. Srinivasan and L.M. Proença, "Evolutionary computation in power systems", Electrical Power & Energy Systems. 20, 89-98, 1998.
- [13]. Y.-H. Song (ed) "Modern Optimization Techniques in Power Systems", Kluwer Academic Publishers, 1999.
- [14]. H.H. Zurn, V.H. Quintana, Several objective criteria for optimal generator preventive maintenance , IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-96, No. 3, May/June 1977, pp. 984-992.
- [15]. R. Mukerji, H.M. Merrill, B.W. Erickson, J.H. Parker, R.E. Friedman, Power plant maintenance scheduling: optimizing economics and reliability , IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 6, No. 2, May 1991, pp. 476-483.
- [16]. A. Abdulwhab, R. Billinton, A.A. Eldamaty, S.O. Faried, "Maintenance Scheduling Optimization Using a Genetic Algorithm (GA) with a Probabilistic Fitness Function", Electric Power Components and Systems, vol. 32, no. 12, pp. 1239-1254, 2004
- [17]. S. Baskar , P. Subbaraj , M.V.C. Rao and S. Tamilselvi, "Genetic algorithms solution to generator maintenance scheduling with modified genetic operators",IEE Proceedings - Generation, Transmission and Distribution, vol. 150,no. 01, pp. 56-66, 2003.
- [18]. Z. Yamayee and K. Sidenblad, "A computationally efficient optimal maintenance scheduling method", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems PAS-102, 330-338, 1983.
- [19]. E.K. Burke, A.J. Smith, "Hybrid Evolutionary Techniques for Maintenance Scheduling Problem", IEEE Trans. on Power Systems, vol. 15, no. 1, pp. 122-128, 2000.

- [20]. K.-Y. Huang and H.-T. Yang, "Effective algorithm for handling constraints in generator maintenance scheduling", IEE Proceedings - Generation, Transmission and Distribution, vol. 149, no. 03, pp. 274-282, 2002.
- [21]. Egan, G.T., Dillon, T.S. and Morsztyn, K. 1976. 'An experimental method of determination of optimal maintenance schedules in power systems using branch-and-bound technique'. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. SMC-6, 538-547.
- [22]. M. Marwali and M. Shahidehpour, "Integrated Generation and Transmission Maintenance Scheduling with Network Constraints," IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 13, No. 3, pp. 1063-1068, 1998.
- [23]. B. Kralj, and N. Rajakovic, "Multiobjective programming in power system optimization: new approach to generator maintenance scheduling", Electrical power and Energy Systems **16**, 211-220, 1994.
- [24]. Moro, L.M. and Ramos, A. (1999) Goal programming approach to maintenance scheduling of generating units in large scale power systems, IEEE Transactions on Power Systems 14, 1021-1028.
- [25]. M. Marwali and M. Shahidehpour, "A Probabilistic Approach to Generation Maintenance Scheduler with Network Constraints," Electric Power and Energy Systems, Vol. 21, pp. 533-545, 1999.
- [26]. M.K.C. Marwali and S.M. Shahidehpour, "Coordination Between Long-Term and Short-Term Generation Scheduling with Network Constraints", IEEE Trans. on Power Systems, vol. 15, no. 3, pp. 1161-1167, 2000.
- [27]. Fustar, S. and Hsieh, J. (1988) A knowledge based method for revision of yearly generator maintenance scheduling, IEEE Symposium on Expert Systems Application to Power Systems, Stockholm-Helsinki 9-23
- [28]. Lin, C.E., Huang, C.J., Huang, C.L., Liang, C.C. and Lee, S.Y. (1992) An expert system for generator maintenance scheduling using operation index, IEEE Transactions on Power Systems **7**, 1141-1148.

- [29]. T. Satoh and K. Nara, "Maintenance scheduling by using simulated annealing method", IEEE Transactions on Power Systems. 6, 850-857, 1991.
- [30]. W.K. Foong, H.R. Maier, A.R. Simpson, "Ant colony optimization for power maintenance scheduling optimization", Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation conference, pp. 249-256, 2005.
- [31]. M.Y. El-Sharkh., A.A. El-Keib, "An evolutionary programming-based solution methodology for power system generation and transmission maintenance scheduling", Electric Power Systems Research, vol. 65, no. 1, pp. 35-40,2003
- [32]. M.Y. El-Sharkh, A.A. El-Keib, "Maintenance Scheduling of Generation and Transmission Systems Using Fuzzy Evolutionary Programming", IEEE Trans. on Power Systems, vol. 18, no. 2, pp. 862-866, 2003.
- [33]. X. Xu M. Kezunovic, "Mobile Agent Software Applied in Maintenance scheduling", North American Power Symposium (NAPS 2001), Texas, 2001.
- [34]. H. Kim, Y. Hayashi and K. Nara, "An algorithm for thermal unit maintenance scheduling through combined use of GA, SA and TS", IEEE Transactions on Power Systems 12, 329-335, 1997.
- .
- [35]. H. Kim, K. Nara and M. Gen, "A method for maintenance scheduling using GA combined with SA", Computers and Industrial Engineering 27, 477-480, 1994.
- [35]. X. Wang, and J.R. McDonald, (Eds.) Modern Power System Planning, McGraw-Hill, London, 247-307, 1994.
- [36]. K.P. Dahal, C.J. Aldridge, J.R. McDonald, Generator maintenance scheduling using a genetic algorithm with a fuzzy evaluation function Fuzzy Sets and Systems, vol. 102, pp. 21-29, 1999.
- [37]. K.P. Dahal, J.R. McDonald and G.M. Burt, "Modern heuristic techniques for scheduling generator maintenance in power systems", Transactions of Institute of Measurement and Control, vol. 22, pp. 179-194, 2000.

- [38]. K.P. Dahal, G.M. Burt, J.R. McDonald, S.J. Galloway, GA/SA-based hybrid techniques for the scheduling of generator maintenance in power systems , Proceedings of IEEE Congress of Evolutionary Computation (CEC2000),567-574, San Diego, 2000.
- [39]. K.P. Dahal and S.J. Galloway: Evolutionary Generator Maintenance Scheduling in Power Systems, Studies in Computational Intelligence (SCI) 49, 349–382 (2007)
- [40]. S.N.Sivanandam and S.N.Deepa, Introduction to Genetic Algorithms, Springer,2008
- [41]. A.M.S.Zalazala and P.J.Fleming, (eds), Genetic algorithm in engineering systems, IEE, UK, 1997.
- [42]. Andrew Chipperfield, Peter Fleming, Hartmut Pohlheim and Carlos Fonseca, Genetic Algorithm Toolbox for Use with MATLAB®, version 1.2, Department of Automatic Control and System Engineering, University of Sheffield,(1997).
- [43]. J. E. Baker, “Adaptive Selection Methods for Genetic Algorithms”, *Proc. ICGA 1*, pp. 101-111, 1985.
- [44]. William.E.Hart, N.Krasnogor, J.E.Smith, (eds), Recent Advances in Memetic Algorithms, Springer, 2005. Vol. 166,
- [45]. S. Boettcher, A. G. Percus, Nature’s way of optimizing. *Artificial Intelligence*, 119, (2000), 275-286.
- [46]. S. Boettcher, A. G. Percus, Extremal optimization: An Evolutionary Local Search Algorithm, Proceedings of the 8th INFORMS Computing Society Conference, 2003.
- [47]. P. Bak, K. Sneppen, Punctuated equilibrium and criticality in a simple model of evolution, *Phys. Rev. Lett.* 71 (1993) 4083–4086.

## **Abstract**

With the growing need for reliable and cheap electric energy, management of production and consumption of energy has become very important. High investment for building new

generating units and also other restrictions for developing the generating units has forced us to operate the available units efficiently. A proper maintenance of the available units prolongs the generating units' life and also increases the reliability of the power system while reducing the electricity cost. Therefore an appropriate maintenance scheduling is very crucial for the reliable operation of the generating units. Levelising the reserve in the planning horizon is chosen as the objective of maintenance scheduling under the manpower, load and maintenance window constraints. Genetic algorithm (GA) in combination with local search algorithms such as hill climbing technique (HCT), extremal optimization (EO), combination of GA-EO and GA-EO-HCT are applied into different locations of GA including initial population, mating pool, offspring created by crossover operator and offspring created by mutation operator to tackle the maintenance scheduling problem. The discussed methods are applied to a maintenance scheduling test problem which has 21 generating units. The obtained results show that combination of GA-EO-HCT as a local search gives the best results over other local search methods.



**Shahrood University of Technology**

# **Maintenance Scheduling of Generating Units Using Hybrid Evolutionary Approach**



**By:**

**Ehsan Reihani**

**Under the Supervision of:**

**Dr. Majid Oloomi Buygi**

**Dr. Mahdi Banejad**

A Thesis Submitted to the

Faculty of Electrical and Robotic Engineering

Shahrood University of Technology

In partial fulfillment of the Requirements for the degree of Master of  
Science in Electrical Engineering

**June 2008**