





مباحث پیشرفته در زمان بندی و توالی عملیات

تألیف:

دکتر پرویز فتاحی

(عضو هیأت علمی دانشگاه الزهراء (س))

محمد مهدی احمدیان



مباحث پیشرفته در زمان بندی و توالی عملیات

دکتر پرویز فتاحی

عضوهیئت علمی دانشگاه الزهراء (س)

محمد مهدی احمدیان

ناشر: انتشارات دانشگاه الزهراء (س)

طراحی صفحات:

کارگاه گرافیک فرگاهی

نوبت چاپ: یکم، ۱۳۹۶

شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۹۷۰۳۹-۹-۹

قیمت: ۳۲۰۰۰ تومان

کلیه حقوق برای دانشگاه الزهراء (س) محفوظ است.

سرشناسه: فتاحی، پرویز، ۱۳۵۳ -
عنوان و نام پدیدآور: مباحث پیشرفته در زمان بندی و توالی عملیات/
تالیف پرویز فتاحی، محمد مهدی احمدیان.
مشخصات نشر: تهران: دانشگاه الزهراء (س)، ۱۳۹۶.
مشخصات ظاهری: ۴۲۶ ص. : مصور، جدول، نمودار.
شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۹۷۰۳۹-۹-۹ وضعیت فهرست نویسی: فیا
یادداشت: کتابنامه.
موضوع: Production scheduling
موضوع: زمان بندی تولید -- الگوهای ریاضی
موضوع: Production scheduling -- Mathematical models
موضوع: الگوریتم های فراابتکاری
موضوع: *Metaheuristic algorithms
شناسه افزوده: احمدیان، محمد مهدی، ۱۳۶۵ -
شناسه افزوده: دانشگاه الزهراء
شناسه افزوده: Alzahra University
رده بندی کنگره: ۱۳۹۶ م ۲ ف/ ۵ / ۱۵۷ / ۵ TS
رده بندی دیویی: ۶۵۸ / ۵۳
شماره کتابشناسی ملی: ۴۸۸۸۴۴۸

مراکز پخش:

ونک، دانشگاه الزهراء (س) تلفن: ۸۸۰۴۸۹۳۳-۸۵۶۹۲۷۶۹

بلوار کشاورز، نیش ۱۶ آذر، انتشارات دانشگاه الزهراء (س)

وبگاه فروش اینترنتی: <http://research.alzahra.ac.ir>

پیشگفتار

با وقوع انقلاب صنعتی تحولی شگرف در تولید محصولات در دنیا پدید آمد. توسعه ابزارهای جدید سبب شد تا کارگران ساده نیز قادر به تولید قطعات بسیار پیچیده باشند. این رخداد علاوه بر رشد خیره کننده کمی و کیفی کالاها به شکل گرفتن یک رقابت شدید در میان تولیدکنندگان دامن زد. صاحبان صنایع برای تصاحب بازار و حذف رقبا به افزایش کیفیت محصولات و کاهش قیمت تمام شده روی آوردند. برای تحقق این سیاست، استفاده حداکثری از منابع در دستور کار قرار گرفت. پژوهش در عملیات های موجود در کارخانه ها باعث به وجود آمدن حوزه های مختلفی از دانش گردید که از آن جمله می توان به برنامه ریزی تولید، زمان بندی تولید و کنترل موجودی اشاره نمود. به مدد زمان بندی تولید، کارخانه ها توانستند تا یک برنامه ریزی روشن برای انجام کارهای خود پیدا کنند. امروزه این حوزه از تحقیق در عملیات به عضوی لاینفک در بیشتر صنایع تبدیل شده است. البته مسائل زمان بندی تنها به محیط های تولیدی محدود نمی گردد و در اکثر سیستم ها که باید برای انجام مجموعه ای از فعالیت ها برنامه زمانی تعیین گردد، کاربرد دارد. بسیاری از فعالیت هایی که در فرودگاه ها، سیستم های حمل و نقل، بنادر، اسکله ها، شبکه های تلویزیونی، بیمارستان ها و... صورت می پذیرند، نیازمند زمان بندی دقیق می باشند.

در سال های اخیر، الگوریتم های بسیاری با الهام از طبیعت توسعه یافته اند. این الگوریتم ها به دلیل قابلیت فوق العاده در غلبه به شمار زیادی از مسائل دنیای واقع با نام فراابتکاری

شناخته می‌شوند. تئوری زمان بندی یکی از حوزه‌های فراوانی است که همواره از گسترش این الگوریتم‌ها بهره برده است. به مدد پیشرفت‌های سال‌های گذشته بسیاری از مسائلی که تا چندی پیش غیرقابل حل می‌نمودند به راحتی تا بهینگی حل می‌شوند. امروزه در شمار فراوانی از تحقیقات عملی استفاده از فراابتکاری‌ها امری ضروری قلمداد می‌شود. با این حال بیشتر کتاب‌های مرجع در حوزه زمان بندی به صورت گذرا به این الگوریتم‌ها می‌پردازند. از سوی دیگر بیشتر نمونه‌های بکارگیری این الگوریتم‌ها در حوزه زمان بندی دارای پیچیدگی‌های فراوانی می‌باشند. این موضوع کار نگارش یک کتاب در این خصوص را با چالش جدی روبرو می‌سازد.

کتاب حاضر به دنبال آن است تا بعضی از بهترین نمونه‌های بکارگیری الگوریتم‌های فراابتکاری برای مسائل زمان بندی را معرفی نماید و عملکرد آنها را در قالب مثال‌های عددی به صورت ملموس نشان دهد. به عبارت دیگر سعی شده است تا با طرح مثال‌های گویا، از سطح انتزاع الگوریتم‌ها کاسته شود و این روش‌ها به صورت عینی‌تری برای خوانندگان درآید. بدین منظور گستره وسیعی از مقالات برتر در ادبیات انتخاب شده و در هر فصل به فراخور موضوع چند الگوریتم ارائه گردیده است. در واقع با مطالعه این کتاب خوانندگان در خواهند یافت که چگونه محققان با افزودن اجزای مختلف به پیکره اصلی الگوریتم‌های فراابتکاری آنها را برای حل مسائل دنیای واقع ورزیده می‌کنند.

از آنجا که بیشتر الگوریتم‌های بیان شده در این کتاب دارای پیچیدگی فراوانی می‌باشند از این رو نشان دادن تمامی اجزا آنها در قالب یک مثال عددی، امری بسیار دشوار است. بنابراین سطحی از ساده‌سازی گریزناپذیر است. لذا بعضی از ویژگی‌های فرعی الگوریتم‌ها حذف شده و در اغلب موارد مثالی از نسخه ساده شده الگوریتم‌ها ارائه می‌شود. فرآیند ساده‌سازی به نحوی صورت پذیرفته که آسیبی به ایده اصلی الگوریتم وارد نشود.

این کتاب دارای هشت فصل است. در ادامه شرحی مختصر از مطالب ارائه شده در این فصول آمده است:

- فصل اول به مفاهیم پایه در زمان بندی می‌پردازد. مطالعه این فصل خواننده را با الگوها، محدودیت‌ها، توابع هدف و پیچیدگی‌های زمان بندی آشنا می‌کند.

- از آنجا که رهیافت این کتاب در مواجهه با مسائل زمان بندی عمدتاً برپایه الگوریتم های فراابتکاری است از این رو به جا است تا خوانندگان در قالب مقدمه ای کوتاه و در عین حال گویا با این روش ها آشنا شوند. اغلب الگوریتم های بیان شده در فصل دو در فصول بعد برای حل مدل های زمان بندی مورد استفاده قرار می گیرند.
- فصل سوم و چهارم به ترتیب به بحث پیرامون الگوهای زمان بندی تک ماشینی و ماشین های موازی می پردازند. در نگارش این فصول سعی شده تا به مدل های جدیدتر (و البته پیچیده تر) که غالباً کاربردهای عملی بیشتری دارند، پرداخته شود. از این رو محدودیت هایی چون زمان های آماده سازی و یا پردازش دسته ای به طور مفصل مورد بحث قرار می گیرند.
- دو نمونه از الگوهای زمان بندی کارگاهی (یعنی تولید جریانی و تولید کارگاهی) موضوع فصول پنجم و ششم را تشکیل می دهند. شماری از بهترین الگوریتم های ایجاد، تکاملی و جستجوی محلی که برای حل این مسائل توسعه یافته اند، در خلال این دو فصل معرفی می شوند.
- فصل هفتم با تعمیم زمان بندی به محیط های انعطاف پذیر، سیستم های تولیدی واقع گرایانه تری را مورد بررسی قرار می دهد. همچنین تکنیک های پیشرفته طراحی الگوریتم مانند موازی سازی در این فصل توضیح داده می شوند.
- در سال های اخیر با تکامل تئوری زمان بندی، تمایل برای بررسی مسائل چندهدفه افزایش یافته است. فصل هشتم به برخی از تلاش های صورت گرفته در این حوزه خواهد پرداخت و نمونه هایی از بکارگیری رهیافت های پارتو و غیرپارتو برای مسائل زمان بندی را معرفی می نماید.
- به منظور آشنایی خوانندگان با نحوه پیاده سازی مدل های زمان بندی، تمامی مدل های ریاضی موجود در کتاب توسط زبان مدل سازی AMPL کدنویسی شده و به کمک حل کننده CPLEX تست گردیده اند. این کدها در پیوست آمده است.

این کتاب به نحوی تنظیم شده که قابلیت تدریس در دوره های تحصیلات تکمیلی را داشته باشد. اساتید محترم می توانند از مطالب موجود در کتاب برای آشنایی هر چه بیشتر دانشجویان با نحوه طراحی الگوریتم های پیشرفته در تئوری توالی عملیات استفاده کنند.

هر چند در نگارش متن اهتمام فراوانی صورت پذیرفته تا پیش نیازهای آموزشی حدالامکان به صورت شیوا و گویا توضیح داده شوند، با این حال آشنایی مقدماتی خوانندگان با تئوری الگوریتم و مباحث بهینه سازی ترکیبیاتی باعث سهولت در فهم مطالب خواهد شد.

تألیف این کتاب به کندی و با وسواس فراوان صورت پذیرفته و بیش از سه سال به طول انجامیده است. بی شک پیمودن این راه پرمشقت بدون حمایت های بی دریغ خانواده های محترم نویسندگان ممکن نبود. شکیبایی و صبوری این عزیزان در خلال این سال ها به حدی بوده که زبان از بیان آن قاصر است و هیچ قلمی یارای بازگویی آن را ندارد. نگارندگان این سطور، در مقابل این بزرگواری بی انتها، از آنها صمیمانه سپاسگزاری می نمایند. همچنین جا دارد تا از تمامی پژوهشگرانی که نتایج تحقیقات آنها، زینت بخش این کتاب بوده است، نهایت تشکر به عمل آید. در پایان از اساتید محترم و دانشجویان گرامی متواضعانه تقاضا می شود تا پیشنهادهای و نظرات راه گشای خود را از طریق پست الکترونیکی P.fattahi@alzahra.ac.ir با نویسندگان در میان گذارند تا در ویراست های آتی از آنها بهره لازم برده شود.

دکتر پرویز فتاحی

محمد مهدی احمدیان

زمستان ۱۳۹۵

فهرست مطالب

| | |
|----|---|
| ۱ | فصل ۱ مفاهیم پایه در زمان بندی تولید |
| ۳ | ۱-۱ مقدمه |
| ۳ | ۲-۱ مفاهیم پایه |
| ۴ | ۱-۲-۱ مدل سازی |
| ۴ | ۲-۲-۱ کارها و ماشین ها |
| ۷ | ۳-۲-۱ الگوهای پردازش |
| ۷ | ۱-۳-۲-۱ الگوتک ماشینی |
| ۸ | ۲-۳-۲-۱ الگوی ماشین های موازی |
| ۱۰ | ۳-۳-۲-۱ الگوی تولید جریانی |
| ۱۴ | ۴-۳-۲-۱ الگوی زمان بندی تولید کارگاهی |
| ۱۵ | ۵-۳-۲-۱ الگوی کارگاه باز |
| ۱۷ | ۶-۳-۲-۱ الگوهای پیوندی |
| ۱۹ | ۷-۳-۲-۱ سایر الگوها |
| ۲۱ | ۳-۱ طبقه بندی مدل های زمان بندی |
| ۲۱ | ۱-۳-۱ روش های اولیه در طبقه بندی |
| ۲۲ | ۲-۳-۱ روش های فعلی در طبقه بندی |
| ۲۴ | ۴-۱ محدودیت ها |
| ۲۴ | ۱-۴-۱ محدودیت های پردازش |
| ۲۴ | ۱-۱-۴-۱ محدودیت های پیشینازی برای کار یا عملیات |
| ۲۵ | ۲-۱-۴-۱ زمان های آماده سازی یا تعویض |
| ۲۸ | ۳-۱-۴-۱ توالی های جایگشتی |
| ۲۸ | ۴-۱-۴-۱ دسترسی و خرابی ماشین |

| | |
|----|---|
| ۲۹ | ۵-۱-۴-۱ بازگشت، پردازش مجدد و پرش |
| ۳۰ | ۶-۱-۴-۱ ماشین‌های همواره مشغول |
| ۳۰ | ۷-۱-۴-۱ ماشین‌کاری دسته‌ای |
| ۳۱ | ۲-۴-۱ محدودیت‌های مربوط به عملیات |
| ۳۱ | ۱-۲-۴-۱ قطع کار یا عملیات |
| ۳۳ | ۲-۲-۴-۱ زمان‌های آمادگی، موعدهای تحویل، ضرب‌الاجل‌ها |
| ۳۳ | ۳-۲-۴-۱ محیط‌های بدون توقف، بیشینه و کمینه تأخیرهای زمانی |
| ۳۵ | ۴-۲-۴-۱ زمان‌های پردازش خاص |
| ۳۶ | ۳-۴-۱ محدودیت‌های حمل و نقل |
| ۳۶ | ۴-۴-۱ محدودیت‌های انبارش |
| ۳۷ | ۵-۱ معیارهای عملکرد |
| ۴۰ | ۶-۱ توابع هدف در زمان بندی تولید |
| ۴۱ | ۱-۶-۱ توابع هدف بدون موعد تحویل |
| ۴۱ | ۱-۱-۶-۱ توابع هدف به فرم ماکزیمم |
| ۴۲ | ۲-۱-۶-۱ توابع هدف به فرم مجموع |
| ۴۲ | ۲-۶-۱ توابع هدف دارای موعد تحویل |
| ۴۳ | ۱-۲-۶-۱ توابع هدف به فرم ماکزیمم |
| ۴۴ | ۲-۲-۶-۱ توابع هدف به فرم مجموع |
| ۴۶ | ۳-۶-۱ توابع هدف مربوط به زمان بندی مجدد |
| ۴۶ | ۴-۶-۱ توابع هدف دیگر |
| ۴۸ | ۵-۶-۱ اضافه کردن وزن، اولویت و اهمیت |
| ۵۰ | ۷-۱ یک مثال |
| ۵۱ | ۸-۱ پیچیدگی محاسباتی مسائل زمان بندی |
| ۵۲ | ۱-۸-۱ یک مثال |
| ۵۴ | ۲-۸-۱ پیچیدگی الگوریتم |
| ۵۶ | ۳-۸-۱ پیچیدگی مدل |

۵۹ فصل ۲ مروری اجمالی بر روش‌های فراابتکاری

| | |
|----|---|
| ۶۱ | ۱-۲ مقدمه |
| ۶۲ | ۲-۲ تعریف یک مساله بهینه سازی ترکیبیاتی |

| | |
|----|---|
| ۶۴ | ۳-۲ انواع مختلف روش های فراابتکاری |
| ۶۴ | ۱-۳-۲ روش های ایجاد |
| ۶۵ | ۱-۱-۳-۲ الگوریتم کلونی مورچگان |
| ۷۰ | ۲-۳-۲ روش جستجوی محلی |
| ۷۳ | ۱-۲-۳-۲ انجماد تدریجی |
| ۷۶ | ۲-۲-۳-۲ روش های پذیرش آستانه ای |
| ۷۸ | ۳-۲-۳-۲ جستجوی ممنوع |
| ۸۱ | ۴-۲-۳-۲ رویه جستجوی انطباقی حریمانه |
| ۸۳ | ۵-۲-۳-۲ الگوریتم جستجوی همسایگی متغیر |
| ۸۴ | ۳-۳-۲ روش های تکاملی |
| ۸۶ | ۱-۳-۳-۲ الگوریتم های ژنتیک |
| ۸۹ | ۲-۳-۳-۲ الگوریتم تفاضل تکاملی |
| ۹۴ | ۳-۳-۳-۲ بهینه سازی به کمک توده ذرات (PSO) |
| ۹۵ | ۴-۳-۲ الگوریتم های ترکیبی |

۹۷ فصل ۳ مساله زمان بندی تک ماشینی

| | |
|-----|---|
| ۹۹ | ۱-۳ مقدمه |
| ۱۰۰ | ۲-۳ کمینه کردن مجموع وزنی زمان پایان ($1 \parallel \sum w_j C_j$) |
| ۱۰۱ | ۳-۳ کمینه کردن حداکثر تأخیر ($1 \parallel L_{max}$) |
| ۱۰۲ | ۴-۳ کمینه کردن شمار کارهای دارای دیرکرد ($1 \parallel nt$) |
| ۱۰۵ | ۵-۳ کمینه کردن مجموع وزنی دیرکردها با زمان های آماده سازی وابسته به توالی ($1 \parallel \sum_{j,k} w_j T_j$) |
| ۱۰۷ | ۱-۵-۳ قاعده ATCS |
| ۱۱۳ | ۲-۵-۳ الگوریتم ACO برای حل $1 \parallel \sum_{j,k} w_j T_j$ |
| ۱۲۶ | ۶-۳ کمینه کردن دوره ساخت برای پردازش دسته ای با اندازه کارهای غیریکسان |
| ۱۲۹ | ۱-۶-۳ الگوریتم انجماد تدریجی برای حل $1 \parallel p - batch(b) \parallel C_{max}$ |

۱۳۵ فصل ۴ مساله زمان بندی ماشین های موازی

| | |
|-----|-----------|
| ۱۳۷ | ۱-۴ مقدمه |
|-----|-----------|

- ۱۳۷ ۲-۴ کمینه کردن مجموع وزنی زودکرد و دیرکرد با زمان های آماده سازی وابسته به توالی $(Q|S_i, j, k|wE\sum E_j + wT\sum T_j)$
- ۱۴۱ ۱-۲-۴ الگوریتم ژنتیک برای حل $Q|S_i, j, k|wE\sum E_j + wT\sum T_j$
- ۱۵۳ ۳-۴ کمینه کردن مجموع (وزنی) دیرکرد با زمان های آماده سازی وابسته به توالی
- ۱۵۳ ۱-۳-۴ زمان بندی ماشین های موازی نامرتب با زمان های آماده سازی وابسته به توالی با استفاده از الگوریتم انجماد تدریجی

۱۷۳ فصل ۵ مساله زمان بندی تولید جریانی

- ۱۷۵ ۱-۵ مقدمه
- ۱۷۵ ۲-۵ بیان ریاضی مدل
- ۱۷۹ ۳-۵ الگوریتم جانسون برای مساله $F2|pmu|Cmax$
- ۱۸۰ ۴-۵ روش ابتکاری Nawaz (الگوریتم NEH) برای مساله $F|pmu|Cmax$
- ۱۸۳ ۵-۵ الگوریتم کلونی مورچگان برای مساله $F|pmu|Cmax$
- ۱۹۴ ۶-۵ الگوریتم تکامل تفاضلی برای مساله $F|pmu|Cmax$
- ۲۰۷ ۷-۵ الگوریتم بهینه سازی توده ذرات (PSO) برای مساله $F|pmu|Cmax$

۲۱۹ فصل ۶ مساله زمان بندی تولید کارگاهی

- ۲۲۱ ۱-۶ مقدمه
- ۲۲۲ ۲-۶ بیان ریاضی JSP
- ۲۲۳ ۳-۶ روابط پیشنیازی و پسنیازی
- ۲۲۳ ۱-۳-۶ پیشنیاز و پسنیاز کاری
- ۲۲۴ ۲-۳-۶ پیشنیاز و پسنیاز ماشینی
- ۲۲۵ ۴-۶ گراف انفصالی
- ۲۲۷ ۵-۶ مسیر بحرانی
- ۲۲۸ ۱-۵-۶ محاسبه مسیر بحرانی
- ۲۳۰ ۲-۵-۶ بلوک
- ۲۳۱ ۶-۶ انواع زمان بندی در JSP

| | |
|-----|--|
| ۲۳۲ | ۱-۶-۶ زمان بندی نیمه فعال |
| ۲۳۲ | ۲-۶-۶ زمان بندی فعال |
| ۲۳۳ | ۳-۶-۶ زمان بندی بدون تأخیر |
| ۲۳۴ | ۴-۶-۶ زمان بندی بهینه |
| ۲۳۵ | ۷-۶ الگوریتم گیفلر-تامپسون (GT) |
| ۲۳۸ | ۸-۶ همسایگی در مساله زمان بندی تولید کارگاهی |
| ۲۳۹ | ۱-۸-۶ جابجایی عملیات های همجوار |
| ۲۳۹ | ۲-۸-۶ جابجایی عملیات های همجوار در بلوک ها |
| ۲۴۰ | ۳-۸-۶ جابجایی عملیات ها با توجه به موقعیت بلوک ها |
| ۲۴۱ | ۹-۶ جستجوی ممنوع برای مساله زمان بندی تولید کارگاهی |
| ۲۵۴ | ۱۰-۶ الگوریتم GRASP برای مساله زمان بندی تولید کارگاهی |
| ۲۷۵ | ۱۱-۶ الگوریتم ژنتیک برای مساله زمان بندی تولید کارگاهی |

۲۹۱ فصل ۷ زمان بندی در محیط های انعطاف پذیر

| | |
|-----|---|
| ۲۹۳ | ۱-۷ مقدمه |
| ۲۹۴ | ۲-۷ کمینه کردن دوره ساخت برای مساله تولید جریانی پیوندی با زمان های آماده سازی وابسته به توالی و ماشین های واجد شرایط |
| ۲۹۷ | ۱-۲-۷ الگوریتم ژنتیک برای حل (HFm, ((Rmi)i = 1m) Ssd, Mj Cmax) |
| ۳۱۲ | ۳-۷ مساله زمان بندی تولید کارگاهی انعطاف پذیر |
| ۳۱۶ | ۱-۳-۷ جستجوی همسایگی متغیرموازی برای مساله زمان بندی تولید کارگاهی انعطاف پذیر |

۳۴۱ فصل ۸ زمان بندی چندهدفه

| | |
|-----|-------------------------------------|
| ۳۴۳ | ۱-۸ مقدمه |
| ۳۴۳ | ۲-۸ بهینه سازی چندهدفه |
| ۳۴۴ | ۱-۲-۸ بهینگی پارتو |
| ۳۴۶ | ۳-۸ بهینه سازی چندهدفه تکاملی (EMO) |
| ۳۴۶ | ۱-۳-۸ روش ادغام (روش وزن دهی) |

- ۳۴۷ ۲-۳-۸ رهیافت های مبتنی بر جمعیت
- ۳۴۸ ۳-۳-۸ رهیافت های مبتنی بر پارتو
- ۳۴۹ ۴-۸ الگوریتم ترکیبی برای حل مساله زمان بندی تولید کارگاهی
انعطاف پذیر چندهدفه
- ۳۶۶ ۵-۸ تعیین توالی در خطوط مونتاژ ترکیبی
- ۳۷۵ ۱-۵-۸ الگوریتم ژنتیک با قلمرو بندی پارتو برای مساله توالی خطوط
مونتاژ ترکیبی چندهدفه

۳۸۹ منابع

۴۰۳ پیوست اُ کد AMPL برای مدل های برنامه ریزی ریاضی موجود

در کتاب

- ۴۰۵ ا-۱ کد AMPL برای مساله $|C_{max}|p - batch(b)$ (بخش ۳-۶)
- ۴۰۵ ا-۲ کد AMPL برای مساله $Q|S_{ijk}|wE\Sigma E_j + wT\Sigma T_j$ (بخش ۴-۲)
- ۴۰۶ ا-۳ کد AMPL برای مساله $F||C_{max}$ (بخش ۵-۲)
- ۴۰۷ ا-۴ کد AMPL برای مساله $F|prmu|C_{max}$ (بخش ۵-۲)
- ۴۰۸ ا-۵ کد AMPL برای مساله $J||C_{max}$ (بخش ۶-۲)
- ۴۰۸ ا-۶ کد AMPL برای مساله $HF_m, ((R_{mi})_i = 1m)|S_{sd}, M_j|C_{max}$
(بخش ۷-۲)
- ۴۰۹ ا-۷ کد AMPL برای مساله FJSP (بخش ۷-۳)
- ۴۱۰ ا-۸ کد AMPL برای مساله MMAL (بخش ۸-۵)