

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



تولید، بهره‌برداری و کنترل  
«در سیستم‌های قدرت»  
(چاپ پنجم)

نگارنده  
ولنبرگ - وود

مترجم  
دکتر حسین سیفی



سرشناسه: وود، آلن Wood, Allen J.

عنوان و نام پدیدآور: تولید، بهره‌برداری و کنترل در سیستم‌های قدرت/نگارنده ولنبرگ - وود؛ مترجم حسین سیفی.

مشخصات نشر: تهران: دانشگاه تربیت مدرس، مرکز نشر آثار علمی، 1395

مشخصات ظاهری: چهارده، 503 ص.؛ مصور، جدول، نمودار.

فروست: دانشگاه تربیت مدرس؛ شماره انتشار 12.

شابک: 978-600-5394-62-7

وضعیت فهرست نویسی: فیبا

یادداشت: عنوان اصلی: Power generation, operation, and control, c1984.

یادداشت: چاپ قبلی: دانشگاه تربیت مدرس، 1371. یادداشت: چاپ دوم. یادداشت: کتابنامه.

موضوع: برق -- سیستم‌ها

شناسه افزوده: ولنبرگ، بروس شناسه افزوده: Wollenberg, Bruce F.

شناسه افزوده: سیفی، حسین، 1336 - مترجم شناسه افزوده: دانشگاه تربیت مدرس. مرکز نشر آثار علمی

رده‌بندی کنگره: 1392 ت9 و 9 TK1001 رده‌بندی دیویی: 621/31 شماره کتابشناسی ملی: 3208116

تولید، بهره‌برداری و کنترل «در سیستم‌های قدرت»

نگارنده: ولنبرگ - وود

مترجم: دکتر حسین سیفی

طراح جلد: سید نجم الدین امیر شاه کرمی

حروفچینی: ودید

شماره انتشار: 12

شماره پیاپی: 240

تاریخ انتشار: 1395

نوبت چاپ: پنجم

شمارگان: 1000

ISBN: 978-600-5394-62-7

شابک: 978-600-5394-62-7

ناشر: مرکز نشر آثار علمی دانشگاه تربیت مدرس

ناظر چاپ: مصطفی جانجانی

لیتوگرافی: ایران گرافیک

چاپ و صحافی: چاپ آفتاب

مرکز پخش: تقاطع بزرگراه‌های آل‌احمد و دکتر چمران، دانشگاه تربیت مدرس، مرکز نشر آثار علمی، صندوق پستی: 14115-318

تلفن: 82883096 دورنگار: 82883032

بها: 280000 ریال

صحت مطالب کتاب بر عهده نگارنده و صحت ترجمه بر عهده مترجم است.

## فهرست مطالب

عنوان..... صفحه

پیشگفتار مترجم

پیشگفتار مؤلفین

فصل ۱ مقدمه..... ۱

۱-۱ مفاد کتاب..... ۱

۲-۱ حوزه مطالعات..... ۲

۳-۱ اهمیت اقتصادی..... ۳

۴-۱ مسائل جل شده و حل نشده..... ۴

مراجع..... ۶

فصل ۲ مشخصات واحدهای تولید انرژی..... ۷

۱-۲ مشخصات واحدهای بخاری..... ۷

۲-۲ تنوع مشخصات واحدهای بخاری..... ۱۱

۳-۲ نیروگاه‌های هسته‌ای آب سبک..... ۱۶

۴-۲ نیروگاه‌های آبی..... ۱۷

ضمیمه (اطلاعات نمونه واحدهای تولید)..... ۲۱

فصل ۳ توزیع اقتصادی بار بین نیروگاه‌های حرارتی و روش‌های حل..... ۲۷

۱-۳ مسئله توزیع اقتصادی بار..... ۲۷

۲-۳ توزیع اقتصادی بار واحدهای حرارتی با در نظر گرفتن تلفات شبکه انتقال..... ۳۲

ب تولید، بهره‌برداری و کنترل

۳۷	۳-۳ روش تکرار $\lambda$ .....
۴۱	۴-۳ روش گرادیان درجه اول.....
۴۶	۵-۳ روش گرادیان درجه دوم.....
۴۹	۶-۳ نقطه کار پایه و ضرایب مشارکت.....
۵۱	۷-۳ توزیع اقتصادی بار و در مدار قرارگرفتن نیروگاه‌ها.....
۵۲	ضمیمه (بهبودسازی با وجود فیوید).....
۶۳	مسائل.....
۶۹	مراجع.....

فصل ۴ تلفات ناشی از انتقال انرژی.....

۷۱	۱-۴ مسئله پخش بار و حل آن.....
۷۲	۱-۱-۴ پخش بار در یک شبکه جریان مستقیم.....
۷۶	۲-۱-۴ پخش بار در یک شبکه جریان متناوب.....
۷۷	۱-۲-۱-۴ روش گوس- سیدال.....
۷۸	۲-۲-۱-۴ روش نیوتن- رافسن.....
۸۲	۳-۱-۴ پخش بار مستقیم.....
۸۶	۲-۴ تلفات ناشی از انتقال انرژی.....
۸۶	۱-۲-۴ یک سیستم دو واحدی.....
۸۸	۲-۲-۴ معادلات هماهنگی، تلفات افزایشی و ضرایب جبرانی.....
۹۰	۳-۲-۴ رابطه تلفات براساس ماتریس B.....
۹۳	۱-۳-۲-۴ محاسبه رابطه تلفات براساس ماتریس B.....
۹۸	۲-۳-۲-۴ محاسبه ماتریس تلفات.....
۹۹	۴-۲-۴ روش‌های دیگر محاسبه ضرایب جبرانی.....
۹۹	۱-۴-۲-۴ بحثی در مورد ضرایب جبران شین مبنا در مقابل ضرایب جبران مرکز بار.....
۱۰۲	۲-۴-۲-۴ بدست آوردن ضرایب جبران شین مبنا به‌طور مستقیم از پخش بار متناوب.....
۱۰۳	۳-۴-۲-۴ بدست آوردن ضرایب جبران شین مبنا به‌طور مستقیم از پخش بار مستقیم.....
۱۰۴	۴-۴-۲-۴ رابطه ریاضی بین ضرایب جبران ماتریس تلفات و ضرایب جبران شین مبنا.....

## فهرست مطالب ج

ضمیمه A (اطلاعات ورودی پخش بار).....	۱۰۷
ضمیمه B (بدست آوردن رابطه تلفات براساس ماتریس B).....	۱۰۷
ضمیمه C (ماتریس ژاکوبین در پخش بار به روش نیوتن).....	۱۱۳
مسائل.....	۱۱۴
مراجع.....	۱۱۹
<b>فصل ۵ در مدار قرارگرفتن نیروگاه‌ها.....</b>	<b>۱۲۱</b>
۱-۵ مقدمه.....	۱۲۱
۱-۱-۵ قیود موجود در مسئله در مدار قرارگرفتن نیروگاه‌ها.....	۱۲۵
۲-۱-۵ ذخیره چرخان.....	۱۲۵
۳-۱-۵ قیود واحدهای حرارتی.....	۱۲۷
۴-۱-۵ قیود دیگر.....	۱۲۹
۱-۴-۱-۵ قیود نیروگاه‌های آبی.....	۱۲۹
۲-۴-۱-۵ حالت کار اجباری.....	۱۲۹
۳-۴-۱-۵ قیود مربوط به سوخت.....	۱۲۹
۲-۵ روش‌های حل در مدار قرارگرفتن نیروگاه‌ها.....	۱۳۰
۱-۲-۵ روش‌های حل براساس لیست حق تقدم.....	۱۳۱
۲-۲-۵ حل براساس روش برنامه‌ریزی دینامیکی.....	۱۳۳
۱-۲-۲-۵ مقدمه.....	۱۳۳
۲-۲-۲-۵ روش برنامه‌ریزی دینامیکی پس‌رو.....	۱۳۴
۳-۲-۲-۵ روش برنامه‌ریزی دینامیکی پیش‌رو.....	۱۳۶
۴-۲-۲-۵ مسائل با حوزه محدود جستجو، مسیرهای محدود و نیز مسائل وابسته به زمان.....	۱۴۶
ضمیمه (کاربردهای برنامه‌ریزی دینامیکی).....	۱۵۳
مسائل.....	۱۶۲
مراجع.....	۱۶۸
<b>فصل ۶ تولید با وجود محدودیت در تامین منبع انرژی.....</b>	<b>۱۶۹</b>
۱-۶ مقدمه.....	۱۶۹

## د تولید، بهره‌برداری و کنترل

۱۷۰	۲-۶ قرارداد تامین سوخت به روش برداشت در غیر این صورت پرداخت.....
۱۷۴	۳-۶ تابع ترکیبی هزینه تولید.....
۱۸۰	۴-۶ حل توسط روشهای جستجوی گرادیان.....
۱۸۳	۵-۶ محدودیتهای سوخت و متغیرهای اضافی.....
۲۰۲	۶-۶ برنامه ریزی سوخت با استفاده از روش برنامه ریزی خطی ضمیمه (برنامه ریزی خطی).....
۲۰۲	مسائل.....
۲۰۵	مراجع.....

## فصل ۷ هماهنگی نیروگاه..... ۲۰۷

۲۰۷	۱-۷ مقدمه.....
۲۰۸	۱-۱-۷ برنامه ریزی درازمدت سیستمهای هیدرولیکی.....
۲۰۹	۲-۱-۷ برنامه ریزی کوتاه مدت سیستمهای هیدرولیکی.....
۲۱۰	۲-۷ مدل نیروگاههای آبی.....
	۳-۷ برنامه ریزی ۲۱۳
۲۱۳	۱-۳-۷ انواع مسائل برنامه ریزی.....
۲۱۴	۲-۳-۷ برنامه ریزی انرژی.....
۲۱۸	۴-۷ برنامه ریزی کوتاه مدت سیستمهای متشکل از نیروگاههای آبی و حرارتی.....
۲۲۳	۵-۷ برنامه ریزی کوتاه مدت - روش گرادیان.....
۲۲۹	۶-۷ واحدهای آبی سری (هم بند هیدرولیکی).....
۲۳۱	۷-۷ نیروگاههای آبی تلمبه ذخیره ای.....
۲۳۲	۱-۷-۷ برنامه ریزی سیستم با وجود واحد تلمبه ذخیره ای به توسط روش تکراری $\gamma$ - $\lambda$ .....
۲۳۵	۲-۷-۷ برنامه ریزی سیستم با وجود واحد تلمبه ذخیره ای به توسط روش گرادیان.....
۲۴۱	۸-۷ روش برنامه ریزی دینامیکی در حل مسائل برنامه ریزی.....
۲۴۹	۱-۸-۷ تعمیم به حالت‌های دیگر.....
۲۵۰	۲-۸-۷ کاربرد برنامه ریزی دینامیکی در حل مسائل واحدهای چندگانه آبی.....
۲۵۷	ضمیمه (برنامه ریزی سیستمهای آبی با وجود محدودیت در ذخیره آب).....
۲۶۰	مسائل.....



فهرست مطالب ه

مراجع	۲۶۵
<b>فصل ۸ مدل‌های هزینه تولید انرژی جهت برنامه ریزی و تخصیص بودجه سوخت.....</b>	<b>۲۶۷</b>
۱-۸ مقدمه	۲۶۷
۲-۸ انواع برنامه های هزینه تولید	۲۷۱
۳-۸ برنامه های هزینه تولید به روش احتمالات	۲۸۵
۱-۳-۸ روشهای احتمالات و استفاده در برنامه ریزی تولید	۲۸۶
۲-۳-۸ محاسبات هزینه تولید به روش احتمالات	۲۹۴
۳-۳-۸ شبیه سازی برنامه ریزی اقتصادی	۲۹۶
۴-۳-۸ روشهای برنامه ریزی	۲۹۸
۵-۳-۸ الگوریتم برنامه ریزی جهت محاسبات هزینه تولید به روش احتمالات	۳۰۰
۶-۳-۸ بحثی در مورد مسائل عملی	۳۰۹
۴-۸ تمرین و محاسبات نمونه	۳۱۸
۱-۴-۸ بدون وقفه اجباری	۳۱۹
۲-۴-۸ نتایج با در نظر گرفتن وقفه های اجباری	۳۲۱
۳-۴-۸ نتایج	۳۲۳
مسائل	۳۲۴
مراجع	۳۲۶
<b>فصل ۹ کنترل تولید.....</b>	<b>۳۲۹</b>
۱-۹ مقدمه	۳۲۹
۲-۹ مدل واحد	۳۳۰
۳-۹ مدل بار	۳۳۴
۴-۹ مدل موتور محرک	۳۳۷
۵-۹ مدل گاورنر	۳۴۳
۶-۹ مدل خطوط ارتباطی	۳۴۸
۷-۹ کنترل تولید	۳۴۸
۱-۷-۹ عملکرد کنترل کننده تکمیلی	۳۴۹

## و تولید، بهره‌برداری و کنترل

۳۵۴	۲-۷-۹ کنترل خط ارتباطی .....
۳۵۴	۳-۷-۹ تخصیص تولید .....
۳۵۵	۴-۷-۹ پیاده سازی کنترل اتوماتیک تولید (AGC) .....
۳۶۰	۵-۷-۹ ویژگیهای کنترل اتوماتیک تولید .....
۳۶۱	مسائل .....
۳۶۵	مراجع .....

## فصل ۱۰ ارزیابی تبادل و تسهیلات اشتراکی تبادل انرژی و توان

۳۶۷	۱-۱۰ مقدمه .....
۳۶۹	۲-۱۰ تبادل اقتصادی .....
۳۷۲	۳-۱۰ ارزیابی اقتصادی تبادل انرژی .....
۳۷۴	۴-۱۰ ارزیابی تبادل انرژی با در نظر گرفتن مسئله در مدار قرار گرفتن نیروگاهها .....
۳۷۵	۵-۱۰ قراردادهای چندگانه تبادل انرژی .....
۳۷۶	۶-۱۰ هزینه تولید بعد از انجام تبادل .....
۳۷۹	۷-۱۰ تلفات خطوط انتقال در مسئله ارزیابی تبادل انرژی .....
۳۸۲	۸-۱۰ انواع دیگر تبادل .....
۳۸۳	۱-۸-۱۰ تبادل ظرفیت .....
۳۸۳	۲-۸-۱۰ تبادل گوناگونی .....
۳۸۴	۳-۸-۱۰ ذخیره انرژی .....
۳۸۴	۴-۸-۱۰ تبادل اضطراری توان .....
۳۸۴	۵-۸-۱۰ تبادل ناخواسته توان .....
۳۸۴	۹-۱۰ تسهیلات اشتراکی تبادل انرژی و توان .....
۳۸۷	۱-۹-۱۰ سیستم دلالی انرژی .....
۳۹۰	۲-۹-۱۰ توزیع متمرکز اقتصادی بار در یک مجموعه تسهیلات اشتراکی .....
۳۹۵	۳-۹-۱۰ تخصیص صرفه جوئی حاصل از مجموعه تسهیلات اشتراکی .....
۴۰۱	مسائل .....
۴۰۴	مراجع .....

فهرست مطالب ز

فصل ۱۱ قابلیت اطمینان در سیستمهای قدرت ..... ۴۰۵

۱-۱۱	مقدمه	.....	۴۰۵
۲-۱۱	عوامل موثر در قابلیت اطمینان سیستم قدرت	.....	۴۰۸
۳-۱۱	بررسی پیش آمدها، تشخیص مسائل شبکه	.....	۴۱۱
۱-۳-۱۱	روشهای حساسیت شبکه	.....	۴۱۶
۲-۳-۱۱	محاسبه ضرایب حساسیت شبکه	.....	۴۲۰
۳-۳-۱۱	روشهای پخش بار متناوب	.....	۴۲۷
۴-۱۱	اصلاح توزیع بار	.....	۲۴۸
۱-۴-۱۱	اصلاح توزیع بار با استفاده از روشهای حساسیت	.....	۴۲۹
۲-۴-۱۱	ضرایب ترمیمی	.....	۴۳۱
۳-۴-۱۱	اصلاح توزیع بار با استفاده از برنامه ریزی خطی	.....	۴۳۲
.....	مسائل	.....	۴۴۰
.....	مراجع	.....	۴۴۴

فصل ۱۲ مقدمه ای بر تخمین حالت در سیسم های قدرت ..... ۴۴۷

۱-۱۲	مقدمه	.....	۴۴۷
۲-۱۲	تخمین حالت در سیستمهای قدرت	.....	۴۴۸
۳-۱۲	تخمین به روش حداقل مربعات وزندار با حداکثر شباهت	.....	۴۵۳
۱-۳-۱۲	مقدمه	.....	۴۵۳
۲-۳-۱۲	مفاهیم حداکثر شباهت	.....	۴۵۵
۳-۳-۱۲	رابطه ماتریسی	.....	۴۶۰
۴-۳-۱۲	مثالی از تخمین حالت براساس حداقل مربعات وزندار	.....	۴۶۳
۴-۱۲	تخمین حالت یک شبکه متناوب	.....	۴۶۷
۱-۴-۱۲	تدوین روش	.....	۴۶۷
۲-۴-۱۲	نتایج نمونه تخمین حالت در یک شبکه متناوب	.....	۴۷۲
۵-۱۲	مقدمه ای بر مباحث پیشرفته در تخمین حالت	.....	۴۷۵
۱-۵-۱۲	آشکارسازی و تشخیص اندازه گیریهای نامناسب	.....	۴۷۵

## ح تولید، بهره‌برداری و کنترل

۴۸۲.....	۲-۵-۱۲ تخمین کمیت‌هائی که اندازه‌گیری نشده‌اند.....
۴۸۴.....	۳-۵-۱۲ رویت شونددگی شبکه و اندازه‌گیری‌های کاذب.....
۴۸۸.....	۶-۱۲ کاربرد تخمین حالت در سیستم‌های قدرت.....
۴۹۳.....	ضمیمه (بدست آوردن معادلات مربوط به حداقل مربعات).....
۵۰۰.....	مسائل.....
۵۰۲.....	مراجع.....

## پیشگفتار مترجم

مسائل مربوط به تولید، بهره برداری و کنترل در یک شبکه قدرت، که امروزه به عنوان یکی از بزرگترین سیستمهای موجود دنیا مطرح است، بدون شک بسیار گسترده، پیچیده و در عین حال جالب است. کتاب حاضر که توسط دو تن از محققین مشهور امریکایی به رشته تحریر درآمده است در این زمینه منحصریفر است چرا که توانسته است غالب مطالب موردنظر را در یک مجموعه گردآورد. بیان نسبتاً روان مسائل پیچیده، بررسی مطالب در قالب مثالهای روشن و کاربردی، ذکر مسائل متنوع و مراجع کلیدی، کتاب را به صورت مجموعه بسیار مفیدی جهت دانشجویان برق مقاطع کارشناسی، کارشناسی ارشد، دکترا و محققین، کارشناسان و متخصصین صنعت برق کشور درآورده است.

ترجمه کتاب با ویژگیهای فوق می‌تواند راهگشای اولیه ای جهت بسیاری از مشکلات روزمره صنعت برق کشور و در عین حال آشنایی دانشجویان و محققین با آخرین دستاوردهای علمی مربوطه باشد. چرا که این مطالب در قالب زبان مادری در دسترس عموم قرار می‌گیرد. اینجانب سعی داشته‌ام که مطالب در عین امانتداری به صورتی روان بیان گردد با وجود این ترجمه مطالب نسبتاً سنگین، معادل سازی بسیاری از واژه‌های فنی برای اولین بار، ذکر و بررسی صدها معادله، جدول و نمودار، حاصل کلی را بی نقص جلوه نخواهد داد. از این رو بسیار متشکر خواهم شد اگر همکاران، دانش پژوهان و متخصصین صنعت برق اینجانب را از نقطه نظرات خود آگاه فرمایند تا در چاپهای بعدی مدنظر قرار گیرد.

لازم است که از مرکز نشر دانشگاه تربیت مدرس که چاپ کتاب را به عهده گرفته است و تمامی کارکنان این مرکز که تلاشی پیوسته در پیگیری امور، حروفچینی کامپیوتری و صفحه آرایی را به عهده داشته‌اند به خصوص آقایان قنادپور، ناوی پور، بابائیان، خانی و فرهاد جم و نیز دانشجویان خود آقایان ثقفی، حقی فام، صنیعی و طاهر که کار بررسی کتاب را به عهده داشته‌اند تشکر و قدردانی نمایم. بالاخره این کتاب را به همسر و دو فرزندم محمد و مهدی تقدیم می‌کنم.

پائیز ۷۱

حسین سیفی

دانشگاه تربیت مدرس



## پیشگفتار مولفین

هدف عمده این کتاب معرفی و بیان موضوعات اقتصادی و مهندسی در رابطه با برنامه ریزی، بهره برداری و کنترل سیستمهای تولید و انتقال قدرت است. استفاده اصلی از کتاب جهت دانشجویان سال اول برق (قدرت) تحصیلات تکمیلی است، با وجود این معتقدیم که این کتاب می تواند به صورت یک خودآموز برای هر دانشجویی که کارشناسی رشته برق را گذرانده است و درکی از بررسی سیستمهای قدرت دارد مفید باشد.

کتاب مطالبی که از سال ۱۹۶۶ میلادی در یک درس عالی گرایش قدرت در پلی تکنیک Rensselaer تدریس می شده است را به صورت مدون درآورده است. این درس دانشجویان را با روشهای پیشرفته علمی، ریاضی و تحقیقاتی در مورد بهره برداری سیستمهای قدرت آشنا می سازد. بسیاری از مطالب بیان و ارائه روشهای است که امروزه در کنترل و بهره برداری سیستمهای قدرت اعمال می گردد، با وجود این انتخاب موضوعات بدون شک علاقمندی مولفین را بیان می نماید.

طبیعی است که در یک درس، غیرممکن است که بتوان تمام مسائل و روشهای رایج موردنظر را بررسی نمود. تنها کاری که کرده ایم این است که مسائل پیش آمده را معرفی کنیم، روشهای محاسباتی را از دیدگاه تئوری و عملی بیان نمائیم و دانشجو را در جهتی سوق دهیم که مطابق با خواسته خود بتواند در جستجوی اطلاعات بیشتر و ارائه روشهای پیشرفته تر باشد.

تا حدی آشنایی با روشهای پیشرفته ریاضی (نظیر ضرایب لاگرانژ) و تئوری کنترل دوره کارشناسی لازم است. بدون اثبات کامل، روشهای بهینه سازی مورد نیاز در حل مسائل عملی در جاهای لازم بیان گردیده اند. به این صورت، کتاب به صورت مستقل (به جز فصل ۱۲) تمام مطالب مورد نیاز را در خود جای داده است. ممکن است آشنایی با روشهای آماری و محاسباتی تا حدی جهت فصل ۱۲ که تخمین حالت را بررسی می نماید مورد نیاز باشد.

هفت فصل اول ترتیبی را پی می گیرد که هر فصل مسائل پیچیده تر و روشهای جدیدتری را در برنامه ریزی تولید بیان می نماید. فصل هشتم روشهای آماری را در محاسبات مربوط به مصرف سوخت و هزینه تولید انرژی بررسی می کند. این فصل مستقل است و می تواند بعد از هفت فصل اول در هر جا بیان گردد. فصل نهم کنترل تولید و روشهای رایج و معمول در شرکتهای برق امریکایی را مطالعه می نماید. در این فصل سعی کرده ایم که تصویری کلی از اینکه چگونه اجزاء گوناگون در سیستم کنترل یک شبکه قدرت با هم کار می کنند ارائه نماییم.

موضوعات مربوط به تبادل انرژی و توان بین شرکتها و نیز مسائل مربوط به برنامه ریزی اقتصادی

که در بهره برداری از سیستمها و شرکتهای بهم پیوسته بروز می کند در فصل دهم بیان شده است. فصل یازدهم قابلیت اطمینان سیستمهای قدرت را بررسی می نماید و چارچوب کلی چگونگی کنترل سیستمهای قدرت به گونه ای که قابلیت اطمینان آنها تقویت شود را بیان می نماید. هر سیستمی، منجمله یک سیستم قدرت، در مقابل اغتشاشات گوناگون قرار دارد. قابلیت اطمینان در حقیقت بیان وضعیت سیستم در یک موقعیت قابل دفاع در مقابل اینگونه حوادث پیش بینی نشده است. فصل دوازدهم، تخمین حالت در سیستمهای قدرت را معرفی می نماید در این فصل حداکثر شباهت را برگزیده ایم چرا که توزیع وزن دار اندازه گیری در طی بدست آوردن روش به گونه ای طبیعی بدست می آید.

هر فصل با تعدادی مسائل و مراجع تکمیل شده است. حل بسیاری از مسائل نیازمند به استفاده از کامپیوتر است. در پلی تکنیک Rensselaer دانشجویان با نرم افزارهایی از قبیل «برنامه پخش بار» و «برنامه مربوط به مطالعه اقتصادی واحدهای حرارتی» مجهز می شوند. امروزه دانشجویان به طوری موثر از این وسیله استفاده می نمایند. یک شبکه واقعی قدرت ابعاد بسیار بزرگی دارد که استفاده از کامپیوتر را در حل مسائل مربوطه ایجاب می نماید.

مؤلفین از J.C Westcott, M.A. Sager, C.K. Pang, H.M. Merrill, K.A Clements که قسمتهای مختلف را مرور نموده و پیشنهاداتی داشته اند قدردانی می نمایند بعلاوه Dr Clements نمونه های اولیه این کتاب را جهت تدریس به دانشجویان در پلی تکنیک Worcester و نیز کارشناسان برق در Boston استفاده نمود.

بیشتر مطالب این کتاب از کار همکاران قبلی و فعلی ما در Power Technologies, Inc. Leeds & Northrup Co, General Electric Co. نشأت گرفته است. ممکن است مراجع و مقالات مورد علاقه گروهها و افرادی حذف شده باشد، بهرحال اینکار اجتناب ناپذیر بوده است و علاقمندان می توانند با استفاده از مراجع و منابع اولیه دسترسی پیدا کنند.

در خاتمه از تایپ بسیار خوب Liane Brown و Bonnalynne Maclean تشکر می نمایم. این کتاب را به تمامی معلمین خود، چه اساتید و چه همکاران، و به خصوص به Dr.E.T.B.Gross اهدا می نمایم.

A.J Wood  
B.F Woolenberg



۱-۱ مفاد کتاب:

موضوعاتی را که بک دوره عالی در بک ترم تحصیلی در زمینه تولید، بهره‌برداری و کنترل سیستم‌های قدرت پی می‌گیرد می‌تواند شامل موارد زیر باشد:

(۱) آشنا کردن دانشجویان با سیستمهای تولید انرژی، بهره‌برداری اقتصادی و نیز کنترل سیستمهای مزبور.

(۲) معرفی مشخصات کاری سیستمهای تولید انرژی حرارتی و آبی.

(۳) معرفی روشهای بهینه‌سازی و به‌کارگیری آنها در مسائل عملی بهره‌برداری.

(۴) معرفی روشهای حل مسائل پیچیده شامل بررسی‌های همزمان اقتصادی و مداری و نیز شرح روشهای مزبور به کمک مسائل ساده.

(۵) معرفی روشهای مدرن کنترل مورد استفاده در سیستمهای تولید انرژی الکتریکی.

## ۲-۱ حوزه مطالعات:

عناوینی که در کتاب مورد بررسی قرار می‌گیرند عبارتند از:

- ۱) مشخصات کاری واحدهای تولید انرژی الکتریکی
  - ۲) معرفی توزیع اقتصادی بار<sup>۱</sup> بین نیروگاه‌ها.
  - ۳) توزیع اقتصادی بار بین نیروگاه‌های حرارتی.
  - ۴) روش‌های حل توزیع اقتصادی بار بین نیروگاه‌های حرارتی.
  - ۵) تلفات خطوط انتقال.
  - ۶) معرفی روش‌های تبدیل مدار.
  - ۷) رابطه تلفات در معادلات هماهنگی<sup>۲</sup> توزیع اقتصادی بار.
  - ۸) روش‌های حل معادلات هماهنگی.
  - ۹) معرفی مسئله در مدار قرار گرفتن نیروگاه‌ها<sup>۳</sup> و نیز برنامه‌ریزی دینامیکی.
  - ۱۰) توزیع اقتصادی بار در سیستم‌های با دسترسی محدود به انرژی.
  - ۱۱) هماهنگی بین نیروگاه‌های حرارتی و آبی.
  - ۱۲) معرفی روش‌های حل توزیع اقتصادی بار در سیستم‌های مشکل از نیروگاه‌های حرارتی و آبی.
  - ۱۳) محاسبات مربوط به هزینه‌های تولید انرژی به روش احتمالات.
  - ۱۴) کنترل سیستم‌های قدرت.
  - ۱۵) بررسی ظرفیت و قیمت‌گذاری انرژی مبادله‌ای.
  - ۱۶) روش‌های بررسی قابلیت اطمینان در سیستم‌های قدرت.
  - ۱۷) معرفی روش‌های حداقل مربعات<sup>۴</sup> در تخمین حالت<sup>۵</sup> سیستم‌های قدرت.
- به علت محدودیت زمانی و حجم دوره تحصیلی، بسیاری از مسائل علمی و مهم فقط در حد معرفی مورد بررسی قرار می‌گیرند.

1- Economic Dispatch.

2- Coordination Equations.

3- Unit Commitment.

4- Least squares.

5- State Estimation.

## ۱-۳ اهمیت اقتصادی:

در صنعت برق طراحی و بهره‌برداری بهینه و مؤثر اقتصادی همواره مورد نظر بوده است. تا سال ۱۹۷۳ میلادی و قبل از تحریم نفتی که منجر به افزایش سرسام آور قیمت نفت گردید، شرکت‌های تولید برق در ایالات متحده آمریکا حدود ۴۰ درصد از کل درآمد خود را صرف هزینه سوخت می‌کردند. تا سال ۱۹۸۰ میلادی این رقم به حدود ۴۰ درصد رسید. در دوره پنج ساله متعاقب ۱۹۷۳ میلادی هزینه سوخت، نرخ رشد سالیانه‌ای معادل ۲۵ درصد داشت است. ارقام فوق نمایانگر اهمیت استفاده مؤثر از مواد سوختی است که غالباً به صورت غیرقابل تجدید مورد استفاده قرار می‌گیرند.

جهت بررسی مسئله از نقطه نظر مالی کافی است که هزینه سالانه خرید مواد سوختی یک شرکت بزرگ تولید برق مورد مطالعه قرار گیرد. فرض کنید که در یک سیستم نسبتاً بزرگ داشته باشیم:

حداکثر بار سالانه : ۱۰۰۰۰ مگاوات.

ضریب بار سالانه : ۶۰ درصد.

نرخ متوسط سالانه حرارتی جهت تبدیل سوخت به انرژی الکتریکی:

۱۰۵۰۰ Btu به ازاء هر کیلووات ساعت .

هزینه متوسط سوخت: ۲ دلار به ازاء  $10^6$  Btu .

با توجه به ارقام فوق هزینه سالانه مصرف سوخت به صورت زیر است:

انرژی تولید شده سالانه  $10^6 \text{Kwh} = 5/256.10^9$

سوخت مصرفی  $10^6 \text{Btu} = 55/188.10^9$

سالانه

هزینه سالانه مصرف سوخت  $10^9 \text{S/Btu} = 1/104.10^9$

تنها برای تأمین هزینه فوق لازم است  $2/1$  سنت به ازاء هر کیلووات ساعت از مشتریان

اخذ گردد.

واضح است که اگر در بهره‌برداری از چنین سیستمی بتوان حتی درصد کوچکی

صرفه‌جویی کرد به تنهایی مقدار قابل توجهی از هزینه بهره‌برداری و نیز مصرف سوخت

خواهد گاست، به این دلیل است که در طی سالهای منتهای بهره‌برداری اقتصادی اینچنین مورد توجه مهندسين صنعت برق قرار گرفته است.

افزایش پیوسته قیمت‌های مواد سوختی و نیز تورم سالانه باعث شده است که همواره بهره‌برداری اقتصادی از سیستم‌های تولید انرژی الکتریکی مورد توجه و مطالعه قرار گرفته باشد. از آنجا که این قیمت‌ها مرتباً در حال تغییر است لذا در بررسی مالی مسائلی که در این کتاب با آن روبرو می‌شویم از واحد فرضی  $\text{KWh}$  به عنوان واحد پول استفاده می‌نماییم.

## ۲-۱ مسائل حل شده و حل نشده:

کتاب حاضر گزارش پیشرفت در زمینه‌های است که پیوسته دستخوش تغییرات و پیشرفت سریع بوده است. یکی از زمینه‌های مورد بحث که در سالهای اخیر مورد توجه فراوانی واقع شده است توزیع اقتصادی بار بین نیروگاه‌ها و کنترل شبکه‌های به هم پیوسته است. در حالیکه از سالها قبل توزیع اقتصادی بار بین نیروگاه‌های حرارتی، به روشهای گوناگونی مورد مطالعه قرار می‌گرفته است پیشرفت سریع در صنعت کامپیوتر و بالطبع امکانات محاسباتی باعث شده است که روشهای ریاضی بیشتر مورد توجه واقع شوند، به گونه‌ای که اکنون مسائل پیچیده‌تری در این زمینه به سهولت قابل حل است.

در حالیکه تاکنون هدف از توزیع اقتصادی بار بین نیروگاه‌های سوخت فسیلی حداقل کردن هزینه بهره‌برداری مطرح می‌شده است به علت حساسیت افکار عمومی نسبت به مسائل زیست محیطی و آلودگی، اکنون مسئله به این صورت تغییر شکل داده است که حداقل کردن آلودگی و حتی المقدور حفظ منابع سوختی و در عین حال حداقل کردن هزینه هدف است. به علاوه امروزه احتیاج به این امر است که در توزیع اقتصادی بار محدودیت‌هایی در بهره‌برداری از سیستم بطور هم زمان مورد توجه قرار گیرند به گونه‌ای که قابلیت اطمینان سیستم در مقابل حوادث پیش‌بینی نشده، در معرض خطر قرار نگیرد. یکی دیگر از مسائل مورد توجه در توزیع اقتصادی بار هماهنگی بین نیروگاه‌های حرارتی و آبی<sup>۲</sup> است. این موضوع علی‌رغم تلاش فراوان هنوز به صورت مؤثر و سریع از نقطه نظر محاسباتی حل نشده است.

سالهای متعاقب جنگ جهانی دوم آمریکا شاهد راه‌اندازی نیروگاه‌های آبی تلمبه ذخیره‌ای<sup>۳</sup> و توجه شایان به سیستم‌های ذخیره انرژی بود. این سیستم‌ها مسئله توزیع اقتصادی بار را به صورت پیچیده‌تری در می‌آورند. در عین حال اکنون روش‌هایی برای هماهنگی در

استفاده از نیروگاههای حرارتی، آبی و تلمبه ذخیره‌ای موجود است. یکی از مسائلی که با توزیع اقتصادی بار به صورت نزدیکی مرتبط است در مدار فرار گرفتن تعدادی از نیروگاهها از یک مجموعه نیروگاه است به گونه‌ای که تقاضای متظره بار به صورت بهینه‌ای برآورده شود. در حال حاضر مسئله در مدار فرار گرفتن نیروگاهها تنها برای سیستم‌های متوسط آن هم به صورت تقریبی قابل حل است.

در زمینه تولید، بهره‌برداری و کنترل سیستم‌های قدرت هنوز مسائل حل نشده‌ای وجود دارد. به عنوان مثال مایلم که برنامه تعمیر و نگهداری واحدها را به صورت بهینه درآوریم. معهداً تاکنون حتی واژه بهینه در این زمینه به صورت تعریف نشده‌ای باقی مانده است. در بهره‌برداری از سیستم‌های به هم پیوسته، مسائلی در زمینه کنترل، توزیع اقتصادی بار و امور مالی نیاز به کار و تحقیقات فراوان دارند. عده زیادی از محققان اکنون مشغول تحقیق در زمینه توزیع بهینه بار<sup>۱۰</sup> می‌باشد به گونه‌ای که توزیع اقتصادی بار بین نیروگاهها را به زمینه‌هایی از قبیل تنظیم بهینه ولتاژ ژنراتورها، پترانسفورماتورها و منابع تأمین توان موهومی تعیین دهند. بدون شک لیست این گونه مسائل طولانی است و در اثر پیدایش مسائل جدید از یک طرف و پیشرفت در حل مسائل موجود از طرف دیگر، این لیست مرتباً دستخوش تغییرات خواهد بود.

## مراجع:

کتاب زیر جهت مطالعه به عنوان منابع اطلاعاتی پیشنهاد می‌شوند. چهار کتاب اول کتاب کلاسبک این زمینه هستند در حالیکه بقیه یا به عنوان منابع اختصاصی در بعضی از زمینه‌ها و یا بصورت گردآوری مجموعه‌ای از مقالات یا مطالب در زمینه‌های مربوط به کنترل و بهره‌برداری مورد نظر می‌باشند.

1. Steinberg, M. J., Smith, T. H., *Economy Loading of Power Plants and Electric Systems*, Wiley, New York, 1943.
2. Kirchmayer, L. K., *Economic Operation of Power Systems*, Wiley, New York, 1958.
3. Kirchmayer, L. K., *Economic Control of Interconnected Systems*, Wiley, New York, 1959.
4. Cohn, N., *Control of Generation and Power Flow On Interconnected Systems*, Wiley, New York, 1961.
5. Hano, I., *Operating Characteristics of Electric Power Systems*, Denki Shinin, Tokyo, 1967.
6. Handchin, E. (ed.), *Real-Time Control of Electric Power Systems*, Elsevier, Amsterdam, 1972.
7. Savulescu, S. C. (ed.), *Computerized Operation of Power Systems*, Elsevier, Amsterdam, 1976.
8. Sterling, M. J. H., *Power System Control*, Pergamon, London, 1978.
9. El-Hawary, M. E., Christensen, G. S., *Optimal Economic Operation of Electric Power Systems*, Academic, New York, 1979.