Archive of SID

بهینه سازی برنامه ریزی تولید برق در نیروگاههای برق آبی خوزستان

مهری علی محمدی[1]، منصور سراج[2]
کارشناس ارشد مدیریت اجرایی، سازمان آب و برق خوزستان
دکترای ریاضی کاربردی، دانشیار دانشکده علوم ریاضی دانشگاه شهیدچمران اهواز

چکیده

از لحاظ جغرافیایی، ایران کشوری خشک و نیمه خشک به شمار می آید که پراکندگی نـزولات جـوی در آن یکسان نبوده و اغلب بارش ها در سواحل دریای خزر و نیمه غربی کشور به وقوع میپیوندد.استان خوزستان با پنج رودخانه بزرگ و مهم کارون،دز،کرخه،جراحی وهندیجان که درآن جاری می باشند، دارای نزدیک به 3/3 میلیون هکتار اراضی مستعد کشاورزی است که در حال حاضر درحدود بیش از یک میلیون هکتار از آن مـورد بهره برداری قرارگرفته است.همچنین این استان سهم بسزایی در تولید انرژی برق آبی کشور بر عهده دارد وبـا تولید بیش از 90 درصد انرژی برق آبی کشور به عنوان یکی از استراتژیک تـرین منـاطق کشـور در خصـوص تأمین و انتقال برق از نیروگاههای برق آبی شناخته شده است، با توجه به اینکه انـرژی بـرق آبـی بـه عنـوان سومین منبع تولید برق و همچنین مهمترین انرژی تجدیدپذیر مولد برق در جهان به شـمار میآیـد، ضـرورت استفاده بهینه از منبع عظیم و گرانقیمت آب که هر روزه شاهد کاهش چشـمگیر آن میباشـیم بـیش از پـیش احساس میگردد. در این پژوهش تلاش گردیده تا با بررسی دقیق عوامل موثر بر تولید برق ازنیروگاههای بـرق آبی، برنامه ریزی تولید برق نیروگاههای تحت سرپرستی سازمان آب و برق خوزستان به وسیله نرم افزار lingo به گونه ای بهینه شود که علاوه بر تأمین هدف نیروگاههای برق آبی که همان بیشینه نمودن سـود حاصـل از فروش برق میباشد، تمامی محدودیتهای موجود از جمله نیاز آبی شبکه های پایین دست رودخانه های کارون و دز، نیازآبی صنعت وشرب مناسب، حفظ اکوسیستم رودخانه های کارون بزرگ و دز وتنظیم وکنترل ارتفاع و روند منطقی تخلیه مخزن سدها با توجه به ضوابط پایداری رعایت گردند.در پایان نیز با ارائه نتایج کسب شده از برنامه نگارش شده، با مقایسه سود حاصل از فروش برق درصورت رعایت برنامه تولید پیشنهادی به وسـیله نرم افزار lingo با سود کسب شده در شرایط کنونی در بازه زمانی 5 ماه خشک سال 92 به این نتیجه رسیده ایم که در صورت اجراشدن این برنامه درآمـد آمـادگی حاصـل از فـروش بـرق در بـازه زمـانی مـورد مطالعـه حدود26/2 درصد افزایش می یابد و با توجه به اینکه تعدادی از نیروگاههای متوسط و کوچک در حال ساخت در این استان طی سالهای آتی به شبکه برق کشور افزوده خواهند شد، با افزایش تعـداد نیروگاههـای در حـال بهره برداری در آینده نزدیک لزوم استفاده از سیستم های کامپیوتری جهت تسریع و تدقیق برنامه ریزی تولید نیروگاهها احساس میگردد.

واژه های کلیدی: نیروگاههای برق آبی، برنامه ریزی تولید برق، بهینه سازی، ذخیره سازی آب

[1] alimohammadi181@yahoo.com
[2] msaraj@scu.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

کوههای زاگرس در ایران با حوزه های باران گیربسیارو انبارهای بزرگ برف رودخانه های کارون، دز،کرخه، مـارون، الله، جـره و رودهای کوچک دیگر را به دشت خوزستان سرازیر می کنند.این رودخانه هـا بزرگتـرین رودهـای ایـران هسـتند و سـیلابهای بسیاری را به این دشت منتقل می نمایند،اما در ماههای گرم سال به دلیل عدم نزولات جوی مؤثر حتی در سالهای نرمال دبی ورودی تا 150 متر مکعب بر ثانیه در کارون،70 متر مکعب بر ثانیه در دز و10 متر مکعب بر ثانیه در مارون تنزل می نماید که طبیعتا این مقدار جوابگوی نیاز کشاورزی،شرب،صنعت و محیط زیست شهرها و اراضی پایین دست نمی باشد. به همین دلیل طرح احداث سدهای مخزنی بزرگی همچون شهید عباسپور و کارون 3 برروی رودخانه کارون، سددز برروی رودخانه دز، ونیـز سد مارون بر روی رودخانه مارون در گذشته اجرایی شده است و بسیاری سدهای دیگر در دست مطالعه و یا اجـرا میباشـند، بدیهی است که در چنین شرایطی بدون در اختیار داشتن ابزار مدیریتی لازم نمی توان از کلیه این منابع بطوربهینـه اسـتفاده نمود.

در عین حال خروج آب از مخازن سدها باید به گونه ای باشد که ضمن حفظ پتانسیل مخزن به نحو مؤثر، تولیـد بـرق را در جهت کسب حداکثر درآمد تأمین نموده، همچنین نیاز کشاورزی، شرب، صنعت و نیاز محیط زیست را نیـز بـه نحـو مطلـوبی جوابگو باشد. جهت نیل به اهداف فوق می بایست از روشها و متدهای علمی همچون بهینه یابی با اسـتفاده از نـرم افزارهـای کامپیوتری همانند lingo کمک گرفت. در مطلب پیش رو تلاش شده است تا با شناخت قیود حاکم بر برنامه ریـزی مخـازن و همچنین برنامه ریزی تولید برق در نیروگاهها و در نهایت بازار برق به نحوی برنامه ریزی منابع آب صوت پذیرد تا با رعایت قیود یاد شده بیشترین درآمد انرژی از محل تولید برق حاصل گردد.

مبانی نظری

بدست آوردن برنامه زمانی بهینه تولید در نیروگاههای برقابی همواره به عنوان یکی از مهمتـرین موضـوعات تحقیقـاتی بـرای مدیران بهره برداری از سدها مطرح بوده است .هدف این برنامه زمانی تعیین تراز آب مخزن در شروع هر بازه و مقدار آب خارج شده در هر بازه برای تولید توان میباشد به گونه ای که با توجه به قیدهای موجود توابع هدف مـورد نظـر بهـره بـردار بهینـه شوند.وجود پارامترهای نامعین در ورودیهای مدلهای بهینه سازی(از قبیل میـزان بـارش و تبخیـر آب) و روابـط غیرخطـی موجود سبب می شوند که مسئله بهینه سازی بهره برداری در نیروگاه های برقابی به یک مسئله پیچیده با متغییرهای زیاد و قیدهای مختلف تبدیل شود .لذا حل این گونه مسائل نیازمند مدل سازی دقیق و استفاده از روشهای مناسب ریاضی می باشد. در سالهای اخیر استفاده از مدل های ریاضی و تکنیک های مختلف بهینه سازی برای حل این گونه مسائل توسط بسیاری از محققان مورد مطالعه قرار گرفته است.

مطالعات تجربی

نخستین بار لاکس و همکاران (loucks, D. P., Dorfman, P,1970) اقدام به کاربرد مدل خطی بـا محـدودیت احتمـالی و معادل قطعی آن برای حل مسائل سیستم مخازن نمودند. بکر و همکاران (Becker, L. Yeh, W-G ,1974) یک مدل بهینه سازی برای سیستم تولید برق برزیل بر اسـاس روش LP-DP ارائـه نمـوده انـد .هولنـد و همکـاران(Holland, J.H,1975) دردانشگاه میشیگان از روش های تصمیم گیری خطی تک و چندتایی و سیاست بهره بـرداری اسـتاندارد(SOP) حـداقل فراوانـی شکست (MFF) در طراحی و مدیریت و بهره برداری از مخـزن اسـتفاده نمودنـد. سـپس توسـط براگـا(Braga et al,1988) الگوریتم های تکاملی به عنوان یک روش بهینه سازی قدرتمند جهت بهینه سازی سیستم های چند مخزنه گسترش یافتند . در همین راستا ایسات و هال(Esat, V. and Hall, M.j.1994) الگوریتم ژنتیک را برای حل یک مساله چهار مخزنه به کـار بردند وبه وسیله برنامه ریزی خطی و به کمک یک روش تصمیم گیری خطی(LDR) اقدام به طراحی و مدیریت مخزن نمود.

www.SID.ir

Archive of SID

از آن زمان به بعد استفاده از این الگوریتم در حل مسائل مهندسی عمران که حل آن ها اغلب با روش های معمول مشکل بود با استقبال خوبی مواجه شد. در سال 1999 واردلا و شریف (Wardlaw, R. and Sharif, M) الگوریتم ژنتیک را در حل مسائل نمادین چهار مخزنه و ده مخزنه مورد ارزیابی قرار دادند و نتیجه گرفتند که این روش به آسانی می تواند برای سیستم های غیرخطی و پیچیده به کار رود. در سال2000 واردلا و شریف مجددا تواناییهای الگوریتم ژنتیک را جهت بهینه سازی عملکرد یک سیستم مخزنی واقعی در کشور اندونزی مورد بررسی قرار دادند مقایسه نتایج با مدل برنامه ریزی دینامیکی دیفرانسیلی گسسته نشان دهنده سهولت استفاده و توانایی الگوریتم ژنتیک جهت بهینه سازی منحنی های کنترل در سیستمهای مخزنی می باشد.

ناساکالا و همکاران(Nasakkalla,E. and keppo,J) درمقاله ای تحت عنوان "برنامه ریزی تولید نیروگاههای برق آبی و فروش در شرایط عدم اطمینان" با مدلسازی نمودار چندبعدی عدم قطعیت قیمت برق به تعیین استراتژی بهینه بیشینه کردن سود پرداخته اند. میلی ووجو و همکاران(Milivojević, N. and Divac, D. and Vukosavić, D,2009)در مقاله ای تحت عنوان"بهینه سازی کامپیوتری برنامه ریزی تولید در نیروگاههای برق آبی- الگوریتم و مثالها" با مدلسازی و شبیه سازی جریانهای آب و تولید برق بر اساس تکنیک های بهینه سازی و بکارگیری الگوریتم ژنتیک به وسیله منطق فازی یک سری قوانین برنامه ریزی بهره برداری برای نیروگاههای برق آبی پیشنهاد داده اند.(هووارد (Howard, C.D.D,2010)در مقاله ای تحت عنوان"بهینه سازی بهره برداری سیستمهای برق آبی" به بیشینه کردن سود ناشی از فروش برق در نیروگاههای برق ابی پرداخته با در نظرگرفتن جنبه های مدیریت منابع اب و اثرات آن در بالادست و پایین دست رودخانه ها. (باچر (Bucher,M.,2011)در پایان نامه کارشناسی ارشد خود با عنوان" بهینه سازی برنامه ریزی تولید نیروگاههای برقآبی" با در نظرگرفتن میزان آب ورودی به نیروگاه و نیز قیمت برق به عنوان متغیرهای تخمینی از برنامه ریزی خطی تصادفی استفاده نموده است. فلتن و همکاران(Fleten,S.E. and Kristoffersen,T.K,2011) در مقاله خود با عنوان "برنامه ریزی کوتاه مدت تولید در نیروگاههای برق آبی بوسیله برنامه ریزی تصادفی" نیز با همین روال به منظور بیشینه کردن سود ناشی از فروش برق از متغیرهای تصادفی استفاده نموده است. ویستیکا (Vistica ,M.2012)در پایان نامه کارشناسی ارشد خود با عنوان" مقدار تصادفی بهینه سازی برنامه ریزی تولید در نیروگاههای برق آبی" با استفاده از الگوریتم ژنتیک وروش جستجوی تصادفی برنامه نویسی پویا سعی دارد حل بهینه برنامه ریزی تولید را بصورت تصادفی انتخاب کند و دو مدل بدست آمده را از نظر قیمت و کیفیت اقتصادی مقایسه نموده است.

تعاریف و مفاهیم بهینه سازی

دستیابی به بهترین نتیجه درشرایط داده شده را بهینه سازی می گویند. در عملیات مهندسی ، مهندسان باید بهترین تصمیمات ممکن را درچند مرحله بگیرند. هدف از چنین امری، کمینه کردن تلاش لازم و یا بیشینه کردن سود ممکنه است.تلاش لازم یا سود مورد نظر درهر وضعیت کلی را می شود به صورت تابعی از متغیرهای مشخص مطرح کرد.بنابراین میتوان بهینه سازی را به عنوان فرایند یافتن شرایطی که مقدار بیشینه یا کمینه یک تابع را به دست می دهدتعریف کرد.

می توان بهینه سازی را به معنای کمینه سازی درنظرگرفت ، زیرا بیشینه یک تابع را می توان باجستجوی کمینه منفی آن تابع پیدا کرد. برای حل کردن همه مسائل بهینه سازی روش یکسانی وجود ندارد . به همین دلیل برای حل گونه های مختلف مسائل بهینه سازی ، روشهای مختلفی استفاده می شود، روشهای برنامه ریزی ریاضی ، دریافتن کمینه تابعی ازچندمتغیر ، باتوجه به مجموعه ای ازقیدها مورداستفاده قرار می‌گیرند.

مسائل بهینه سازی را می توان به دو دسته مسائل بهینه سازی مقید و مسائل بهینه سازی نا مقید تقسیم کرد.

معمولا یک مسئله بهینه سازی مقید به صورت کلی زیر تعریف می شود:

$X = [x_1, x_2, ..., x_n]$ را به گونه ای بیابید که $f(x)$ را به شرط قیدهای زیر کمینه کند :

www.SID.ir

Archive of SID

$$g_i(x) \le 0 \quad , \qquad i = 1,2,\ldots,m \qquad (1)$$

$$L_i(x) = 0 \quad , \qquad i = 1,2,\ldots,p \qquad 2)$$

که x یک بردار n بعدی است وبردار طراحی نامیده می شود.f(x) تابع هدف و $g_i(x)$ و $L_i(x)$ به ترتیب قیدهای نامساوی وقیدهای مساوی هستند .در این حالت الزامی نیست که تعداد متغیرهای n وتعداد قیدهای m ویا p ارتباطی باهم داشته باشد.مسأله ای که دربالا ارائه شد ، یک مسأله بهینه سازی مقید می باشد.

اینک می توان در نظر گرفت که برخی ازمسائل بهینه سازی دارای قید نیستندو می توان آنهارابه صورت زیر بیان کرد، چنین مسائلی رامسائل بهینه سازی نامقید می نامند.

$$X = [x_1, x_2, \ldots, x_n \ ] \qquad (3)$$

X را به گونه ای بیابید که f (x) کمینه شود.

معرفی مدل تجربی تحقیق

نیروی برق‌آبی یا هیدروالکتریسیته اصطلاحی است که به انرژی الکتریکی تولیدی از نیروی آب اطلاق می‌شود. در حال حاضر هیدروالکتریسیته چیزی در حدود ۷۱۵۰۰۰ مگاوات یا ۱۹٪ (۱۶٪ در سال ۲۰۰۳) از کل انرژی الکتریکی تولیدی جهان را پوشش می‌دهد. نیروی برق‌آبی همچنین ۶۳٪ از انرژی الکتریکی تولیدی از منابع تجدیدپذیر را نیز شامل می‌شود.

بیشتر نیروگاه‌های برق-آبی انرژی مورد نیاز خود را از انرژی پتانسیل آب پشت یک سد تامین می‌کنند. در این حالت انرژی تولیدی از آب به حجم آب پشت سد و اختلاف ارتفاع بین منبع و محل خروج آب سد وابسته‌است. به این اختلاف ارتفاع، ارتفاع فشاری می‌گویند و آن را با H (مخفف *Head*) نمایش می‌دهند. در واقع میزان انرژی پتانسیل آب با ارتفاع فشاری آن متناسب است. برای افزایش فاصله یا ارتفاع فشاری، آب معمولاً برای رسیدن به توربین آبی فاصله زیادی را در یک لوله بزرگ (*penstock*) طی می‌کند.

یک معادله ساده برای محاسبه تقریبی انرژی الکتریکی در یک نیروگاه برق آبی وجود دارد که به صورت زیر است: $p=h*r*k$

که در این معادله P توان خروجی در واحد وات، h ارتفاع فشاری در واحد متر، r میزان آب خارج شده در واحد مترمربع در ثانیه و K ضریب تبدیل در ۷۵۰۰ وات است (با پیش شرط راندمان ۷۶٪، شتاب ثقل ۹/۸۱ متر بر مجذور ثانیه و آب تازه با چگالی ۱۰۰۰ کیلوگرم به ازای هر متر مکعب. البته در توربین‌های بزرگ و پیشرفته راندمان معمولاً بالاتر این مقدار است و در توربین ها فرسوده این راندمان کمتر است).میزان تولید انرژی الکتریکی در یک نیروگاه آبی به شدت به میزان آب موجود وابسته‌است و در فصول مختلف میزان تولید می‌تواند به نسبت ۱۰ به ۱ متفاوت باشد.

برنامه ریزی تولید میتواند برای بازه های زمانی کوتاه مدت، میان مدت و بلند مدت صورت پذیرد، با توجه به ماهیت برنامه ریزی تولید برق و ماهیت غیرقابل ذخیره بودن برق و اینکه در زمان تولید میبایستی به مصرف کننده انتقال یابد، لزوم و اهمیت محاسبه نیاز ساعتی و بلکه لحظه ای مصرف کننده(شبکه برق کشور) نیاز به برنامه ریزی تولید کوتاه مدت و آنهم به شکل ساعتی را برای نیروگاههای کشور پر اهمیت تر میکند، لذا ابتدا به چگونگی محاسبه روابط بین آب و تولید برق پرداخته و سپس به بهینه کردن این برنامه خواهیم پرداخت.

یکی از شاخصه های مهم شناختن و تنظیم برنامه ای برای محاسبه بهترین حالت برنامه ریزی یافتن روابط مناسب بین تولید برق نیروگاه و خروجی آب از مخزن می باشد.در این زمینه نقش تراز مخزن انکار ناپذیر است.تحقیقات صورت پذیرفته در گذشته وجود روابط بین عوامل یاد شده را به دو صورت نشان میدهد.

1- رابطه راندمان
2- رابطه همبستگی یا رگرسیونی

www.SID.ir

Archive of SID

در این تحقیق ما از روابط همبستگی و رگرسیونی استفاده می نماییم ولی به منظور بسط بحث درخصوص روابط راندمانی به معرفی مختصر آنها می پردازیم:

اصطلاحات و روابط راندمان:

هد اسمی: حداقل هدی است که در آن در حالت باز بودن کامل دریچه توربین، ظرفیت اسمی نیروگاه قابل تولید می باشد. بالاتر از هد اسمی ,ظرفیت اسمی نیروگاه به طور کامل قابل تولید است و پایین تر از هد اسمی ماکزیمم انرژی قابل تولید،کمتر از ظرفیت اسمی نیروگاه می باشد.

راندمان: راندمان یا بازده عبارت است از توانایی هرواحد نیروگاه جهت اخذ تولید از آب خارج شده از توربین که بر اساس فرمول زیر محاسبه می شود.

$$P= (\eta e*\eta L*\gamma*Q*h) \quad (4)$$

p: مقدار تولید هر واحد نیروگاه در یک ساعت بر حسب وات.

h :ارتفاع موثر که برابر است با تراز سد منهای مجموع تراز پایاب و افت هد.

Q: دبی خروجی هر واحد بر حسب متر مکعب بر ثانیه.

ηL : راندمان هیدرولیکی که بر اساس پارامترهای بالا محاسبه می شودو از 72 درصد تا 95 درصد در ترازهای مختلف متغیر است.

ηe :راندمان الکتریکی که برای واحدهای بزرگتر از 5 مگاوات 98 درصد می باشد.

γ: وزن حجمی آب

تغییرات راندمان الکتریکی بسیار محدود بوده و از حوصله این بحث خارج میباشد. لیکن راندمان هیدرولیکی یا مکانیکی دارای دامنه تغییرات نسبتا زیادتری است که جهت محاسبه آن می توان مقدار تولید هر واحد را در روز بر ساعات کارکرد روزانه آن واحد تقسیم نمود، .به این ترتیب متوسط تولید هر واحد بر حسب مگاوات ساعت به دست می آید، سپس با در دست داشتن دبی خروجی هر واحد (آمارروزانه) و محاسبه میزان هد موثر (تفاضل تراز مخزن سد و تراز پایاب نیروگاه)، با استفاده از رابطه (4)،راندمان روزانه هر واحد به دست خواهد آمد.درجدول(1)راندمان نیروگاههای برقآبی محاسبه و ارائه شده است.

جدول (1)راندمان متوسط محاسبه شده برای نیروگاه های برقآبی خوزستان در مدت 7 سال (سال 1385 الی 1392)

	راندمان هیدرولیکی٪	راندمان الکتریکی٪	راندمان٪
نیروگاه شهیدعباسپور	90	98	88
نیروگاه دز	80	98	78
نیروگاه مسجدسلیمان	90	98	88
نیروگاه کارون3	90	98	88
نیروگاه مارون	92	98	90
نیروگاه کرخه	92	98	90

مصرف مخصوص: میزان آب مصرفی جهت تولید یک مگاوات ساعت برق را مصرف مخصوص مینامند.بدیهی است هرچه میزان مصرف مخصوص کمتر باشد،ازنظر درآمدی و اقتصادی به صرفه تر خواهد بود. طبق بررسیهای به عمل آمده مشخص گردیدکه هر چه تراز سد در ارتفاع بالاتری قرار داشته باشد، میزان مصرف مخصوص کمتر و در مقابل توان تولید افزایش می یابد.

www.SID.ir

Archive of SID

رابطه همبستگی: معمولا روابط بین تولید برق،آب و تراز مخزن با استفاده از فرمول محاسبه می گردد. لیکن ما به یافتن یک تابع مستقل از راندمان نیاز داشتیم . بهترین راه در این میان استفاده از نمونه های آمار موجود و برقراری رابطه همبستگی میان آنها بود. برای این کار ما از نرم افزار excel کمک گرفتیم.این نرم افزار توانایی آن را دارد که بین یک مجموعه تولید برق و خروجی آب و تراز مخزن رابطه ای همبستگی بگیرد . در این تابع تولید برق به عنوان y و خروجی آب و حجم مخزن به عنوان x خواهند بود. از آنجایی که این تابع قرار است در نرم افزار بهینه یابی lingo مورد استفاده قرار گیرد،بهتر آن دیدیم که روابط موجود را خطی معرفی کنیم تا برنامه بهینه یابی در یافتن بهینه قطعی(global) دچار مشکل نگردد.زیرا تجربه ثابت کرده است ،در صورت ارائه تابع هدفی با داشتن ضرایب درجه دوم وبالاتر امکان توقف برنامه در بهینه موضعی(local) وجود دارد.

محاسبه درآمد ناشی از تولید برق

بازار برق بر اساس قوانین صادره، برق تولیدی از نیروگاه ها را قیمت گذاری می کند و برای کسب درآمد سازمان در بازاربرق به فروش میرساند .بطورکلی در آمد ناشی از تولید برق بر دو بخش بزرگ استوار است:

1-درآمدآمادگی: فلسفه آمادگی عبارت از پرداخت بهای آماده بودن واحدها در مدار جهت تولید است.به عبارت دیگر حتی اگر از نیروگاه تولید اخذ نگردد، بایستی درآمدی بابت آماده بودن واحد درنظرگرفت.این مقدار معمولا میان 65 تا75 درصد کل درآمد می گردد.

2-درآمد انرژی: معادل تولید واحد برقی درآمدی محاسبه می گردد و به آن واحد ارائه می گردد. جهت تعیین مقدار بهای یک مگاوات انرژی بایستی در مزایده مربوطه شرکت نمود. نرخ انرژی به تناسب ماههای سال ،درجه حرارت هوای شهرهای دریافت کننده برق و وجود واحدها جهت تولید متفاوت است. پول انرژی بین 25تا 35 درصد کل درآمد می شود. در نمودار (1) سهم درآمد انرژی و آمادگی حاصل از فروش برق نیروگاههای سازمان در سال 1392 نشان داده شده است.

نحوه محاسبه درآمد آمادگی

درآمد آمادگی مبلغی است که مدیر بازار بابت یک مگاوات قابلیت تولید ابراز شده یک واحد نیروگاهی، در هر ساعت به مالک‌نیروگاه پرداخت می‌نماید. $Availability\ Payment_i = Ava \times BA \times Coefficient$

Ava مقدار آمادگی و Ba نرخ پایه و Coefficient ضرایب الحاقیه

در نمودار (2) سهم هریک از نیروگاههای خوزستان از درآمد آمادگی از سال 1390 الی مهر 1392 نشان داده شده است. و در نمودار (3) سهم درآمد انژی نیروگاههای خوزستان از سال 1390 الی مهر1392 نشان داده شده است.

مبلغ پرداختی بابت آمادگی به نیروگاههای انرژی محدود:

مرحله 1: سرجمع میزان آمادگی قابل پرداخت برای یک شبانه روز محاسبه می شود:

$$CC = \max\left\{\left(\sum_{i=1}^{24} En_i, \frac{\max[(\sum_{i=1}^{24} Eg_i), \min(E_l, \sum_{i=1}^{24} Eb_i)]}{AAPF}\right)\right\} \quad (5)$$

مرحله 2: ساعاتی از شبانه روز که واحد قابلیت تولید نداشته است، از لیست 24ساعت شبانه روز حذف می شوند و سپس سایر ساعات شبانه روز براساس نرخ آمادگی هر ساعت(از بالاترین نرخ بترتیب نزولی) مرتب می شوند.

مرحله 3: ظرفیت آماده محاسباتی برای هر ساعات بترتیب زیر تعیین می گردد:

www.SID.ir

Archive of SID

در صورتیکه انرژی تولیدی براساس قدرت پذیرفته شده و یا دستور مرکز صرفه گرفته باشد.

$$Co_i = \min\left\{En_i, \left[\max\left(Eb_i, \frac{\max(Ea_i, Eg_i)}{AAPF}\right)\right]\right\} \quad (6)$$

در غیر اینصورت

$$Co_i = 0 \quad (7)$$

مرحله 4: از ساعت با حداکثر نرخ آمادگی شروع نموده و به اندازه ظرفیت آماده محاسباتی و به نرخ آمادگی ساعت مذکور به واحد آمادگی پرداخت می شود و به اندازه این ظرفیت از سرجمع میزان آمادگی قابل پرداخت کسر می شود.

مرحله 5: مرحله 4 تا جایی ادامه پیدا می کند که یا به پایان ساعات برسیم. یا سرجمع میزان آمادگی قابل پرداخت صفر شود و یا اینکه کلیه ساعات بعدی ظرفیت آماده محاسباتی صفر باشد.

نحوه محاسبه درآمد انرژی:

جهت محاسبه پول انرژی دفتر بازار برق به صورت روزانه در مزایده های انرژی شرکت می کند.در این شرایط با توجه به نیاز برق شبکه و قابلیت تولید سایر شرکت کنندگان در بازار یاد شده ، قیمت پیشنهادی که به صورت ساعتی ارائه می شوددر فرمهای0022،پذیرفته می شود. البته در بعضی موارد که قیمت پیشنهادی بالا باشد و شبکه نیازی به این انرژی نداشته باشد این تقاضا رد می شود و کد UL به این انرژی تعلق می گیرد که به معنی درنظر گرفته شدن 90 درصد پایین ترین قیمت انرژی است که در نوع خود زیان بزرگی می باشد. لذا توجه و اهمیت دادن به برآورد نیاز شبکه و ارائه قیمت متناسب با آن اهمیت فوق العاده ای دارد. درنمودار (4) نمایه سهم فروش هریک از نیروگاههای برق آبی خوزستان از سال 90 الی مهر 92 محاسبه شده است. تقسیم بندی های بالا در مورد چگونگی پرداخت پول آمادگی و انرژی نشان دهنده این مطلب است که برنامه ریزی منابع آب باید به فاکتورهای یاد شده توجه نشان دهد تا بتوان به حداکثر درآمد ممکن با توجه به قیود موجود دست یافت.

روابط بین خروج آب و میزان تولید برق

این روابط با شرایط همبستگی محاسبه و برای ایجاد رابطه ای در برنامه قرار داده می شوند که به رابطه بالانس حجمی موسوم میباشد.این رابطه برای محاسبه حجم آب در پایان هر دهه به کار می رود و با جمع زدن حجم آب در ابتدای دهه با حجم آب ورودی به مخزن سد، منهای حجم آب خارج شده برای هر سد که مجهول اصلی برنامه ما می باشد، حاصل می شود. برای نمونه اگر داشته باشیم:

Vk: حجم آب سد شهید عباسپور

invk : حجم اولیه سد شهید عباسپور

INk : حجم آب ورودی میان حوضه ای شهید عباسپور وکارون سه

OQ: حجم آب خارج شده از سدکارون سه

OK: حجم آب خارج شده از سد شهید عباسپور

I=(0,1,2,..,15) : معرف بازه زمانی 10 روزه مورد محاسبه است

حجم آب موجود در مخزن سد شهید عباسپور برای دو بازه زمانی 10 روزه 1 و 2 به شرح ذیل محاسبه میگردد:

$$Vk(1)=invk(1)+INk(1)+ OQ(1)-OK(1); \quad (8)$$

$$VK(2)=VK(1)+INK(2)+OQ(2)-OK(2); \quad (9)$$

وبرای محاسبه حجم آب موجود در مخزن سدهایی همچون دز و کرخه که در حال حاضر سد بالادستی ندارند این رابطه

$$Vd(i)=invd(i)+INd(i) -Od(i); \quad (10)$$

www.SID.ir

Archive of SID

تشریح پارامترهای مسئله

در مجموع پارامترهای این برنامه به شرح زیر می باشند:
K: مشخصه نیروگاه شهیدعباسپور، Q: مشخصه نیروگاه کارون3، M: مشخصه نیروگاه مسجدسلیمان، D: مشخصه نیروگاه دز، (rK, rQ, rM, rD) ظرفیت واحد، (uK , uQ , uM , uD) تعداد واحد، (inK, inQ, inM,inD) ورودی آب به مخزن، (Dd ,Dk) نیاز شبکه آبیاری، (HW) آب اهواز، (pa) ضریب پول آمادگی بازار برق، (peK,peQ,peM,peD) قیمت انرژی، (LK,LQ,LM,LD) حد پایین مخزن در هر دوره، (BK,BQ, BM, BD) حدبالا مخزن، (nd) تعدادروزهای هر دوره، (RET) آب برگشتی شبکه های آبیاری، (invQ, invk,invD) حجم اولیه مخازن، (TuQ, Tuk, TuM,TuD) تعداد ساعات حداکثر برنامه ریزی تولید، (TlQ,Tlk,TlM,TlD) تعداد ساعات حداقل برنامه ریزی تولید، (OQ,Ok,OM,OD) خروجی مخزن در هر دوره. ضرایب رگرسیون سدها : a,b,c,d,… که برای تک تک سدها محاسبه شده و به صورت عدد ثابت در برنامه لحاظ شده است.

بیان ریاضی محدودیت‌های مسئله

الف) نیازهای کشاورزی، شرب و... پایین دست سدهای مذکور نیز بصورت قیدهای زیر به برنامه اعمال می گردند:

$$LQ_i = OQ_i - DQ_i \quad \text{و} \quad i = 1,2,3,\ldots,15 \qquad (11)$$

$$LD_i = OD_i - DD_i \quad \text{و} \quad i = 1,2,3,\ldots,15 \qquad (12)$$

که در آن DQ_i : کل نیاز های پایین دست سد کارون 3 در هر بازه زمانی و DD_i : کل نیاز های پایین دست سد دزدر هر بازه زمانی ، متغیرهای LD_i, LQ_{ii} باید همواره بزرگتر از صفر باشند تا قیود برنامه که همان نیازهای پایین دست است، بطور کامل تامین گردند. بعبارت دیگر برنامه می بایست به گونه ای دستورالعمل خروج آب از سدها را تعیین نماید که DD, DQ به طور کامل تامین گردند.

ب) برای تأمین قید دیگر برنامه (نیاز محیط زیست) می بایست همواره دبی حداقل درورودخانه جاری باشد، لذا قیدی که تعریف می کنیم به صورت زیر خواهد بود:

$$LD_i \succ M \quad ، \quad i = 1,2,3,\ldots,15 \qquad (13)$$

$$LQ_i \succ M \quad ، \quad i = 1,2,3,\ldots,15 \qquad (14)$$

M برابر با دبی حداقل پایین دست بر حسب متر مکعب بر ثانیه می باشد، در سالهای اخیر حداقل دبی 30 متر مکعب بر ثانیه در نظرگرفته شده، که در برنامه لحاظ شده است.

ج) حجم قابل بهره برداری مخزن: علاوه بر موارد فوق الذکر محدودیت های مخزن (تراز حداقل و حداکثر بهره برداری) نیز می بایست توسط برنامه در نظر گرفته شود. این محدودیتها به اختصار به شکل زیر میباشند:

$$800 < TQ < 845 \quad \text{و} \quad 1250 < VQ < 2970 \qquad (15)$$

$$500 < TK < 532 \quad \text{و} \quad 1100 < VK < 2438 \qquad (16)$$

$$310 < TD < 325 \quad \text{و} \quad 942 < VD < 2856 \qquad (17)$$

که البته در برنامه فقط قید حجم مخزن ارائه شده و به شکل زیرعنوان میگردد:

$$LQ < VQ < BQ \qquad (18)$$

$$LK < VK < BK \qquad (19)$$

$$LD < VD < BD \qquad (20)$$

www.SID.ir

Archive of SID

د)آب اهواز: قید بسیار مهم این برنامه میزان آب مورد نیاز برای تامین نیاز خود پالایی رودخانه در مقطع شهر اهواز می باشد که نسبت آن از مجموع آب خروجی از سدهای دز و مسجدسلیمان منهای مجموع آب برداشتی شبکه های آبیاری تعیین می گردد.در این میان می توان بر حسب نیاز و تشخیص مهندسی و با در نظر گرفتن پارامتر هدایت الکتریکی EC دبی حداقل و حداکثر مدنظر برای آب اهواز را برای برنامه معین و ارائه کرد، کهHW در هر بازه زمانی به برنامه اعلام خواهد شد و اغلب موارد RET مقدار0/2 دارد که به صورت عدد ثابت در برنامه لحاظ میگردد.

$$Om(i)+Od(i)- [(1-RET)(Dd +Dk)] >= HW \qquad (20)$$

تشریح و بیان ریاضی تابع هدف

با توجه به اینکه روند تولید نیروگاههای مورد مطالعه با رگرسیون گیری حجم آب مخازن و حجم آب عبوری از نیروگاهها در طول دوره آماری محاسبه می شود، لذا تابع هدف برنامه را می توان ماکزیمم مجموع تولید این شش سد در کل دوره با رعایت بازه زمانی ده روزه در طی 15 دوره زمانی به شکل زیر در نظر گرفت:

$$F(i)= \sum_{i=1}^{15}(TK_i)+ \sum_{i=1}^{15}(TQ_i)+ \sum_{i=1}^{15}(TM_i)+ \sum_{i=1}^{15}(TD_i) \qquad (21)$$

که در آن TK_i تابع تولید برق در نیروگاه کارون3 ، TS_i تابع تولید برق در نیروگاه سد شهید عباسپور ، TM_i تابع تولید برق در نیروگاه سد مسجدسلیمان ، TD_i تابع تولید برق در نیروگاه سد دز در کل بازه زمانی (پانزده دهه) می باشد، و این توابع خود بر حسب متغیر های حجم آب ذخیره شده در پشت سد و حجم آب خروجی در هر دهه بصورت خطی زیر تعریف می شوند.

(22) کارون3 $$TK_i=a+(b*VQ_i)+(c*OQ_i)+(d*UQ_i) \quad ، \quad i=1,2,...,15$$

(23) شهیدعباسپور $$TS_i=e+(f*VK_i)+(g*OK)+(h*UK_i) \quad ، \quad i=1,2,...,15$$

(24) مسجدسلیمان $$TM_i=i+(j*VM_i)+(k*OM_i)+(l*UM_i) \quad ، \quad i=1,2,...,15$$

(25) دز $$TD_i=m+(n*VD_i)+(o*OD_i)+(p*UD_i) \quad ، \quad i=1,2,...,15$$

که در روابط فوق، VK_i : حجم آب مخزن سد کارون 3 در هر دوره زمانی و OK_i : آب خروجی از سد کارون 3 در هر دوره زمانی و پارامترهای ... a,b,c,d,e,f,g نیز اعداد ثابتی هستند که از طریق رگرسیون گیری حجم آب مخازن و حجم آب خروجی از نیروگاهها درطول دوره آماری محاسبه می گردند و در برنامه به عنوان عدد ثابت لحاظ میشوند.روش استفاده از تکنیک همبستگی یا رگرسیون گیری به شرح زیر است:

یافتن رابطه ای مناسب و خطی میان آمار تولید ثبت شده و آمار روزانه دبی خروجی آب از مخزن ، حجم آب مخازن و تعداد واحد در مدار در پنج سال گذشته برای سدهای دز ،شهید عباسپور و کارون سه و همچنین بین تولید برق و خروجی آب در سد مسجدسلیمان انجام گرفت.

تابع هدف نهایی این برنامه به شکل زیر خواهد بود:

$$\text{Max} \quad Z= \sum_{i=1}^{15}(PK(i)*FK(i))+ \sum_{i=1}^{15}(PQ(i)*FQ(i))+ \sum_{i=1}^{15}(PM(i)*FM(i))+ \sum_{i=1}^{15}(PD(i)*FD(i))$$

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه گیری و پیشنهادات

با توجه به اینکه پنج ماه خشک سال در منطقه خوزستان عبارت از ماههای تیر لغایت آبان می باشند،فرض می کنیم نیاز شبکه های آبیاری پایین دست سد شهید عباسپور و دز نیز به ترتیب در هر دهه 50 و 90 میلیون متر مکعب بوده، در حالیکه در هر دهه می بایست در مجموع از هر دو سد به گونه ای آب خارج گردد که پس از تأمین نیاز شبکه های آبیاری حداقل دبی 300 مترمکعب بر ثانیه که معادل 250 میلیون متر مکعب می باشد، در پایین دست رودخانه در مقطع اهواز به منظور تامین آب شرب و خود پالایی رودخانه باقی بماند.حال با توجه به اینکه نیروگاه سد شهید عباسپور 2000 مگاوات ساعت توان تولید انرژی دارد که از 8 واحد 250 مگاواتی تشکیل شده است و نیروگاه سد دز نیز که از 8 واحد 65 مگاواتی تشکیل یافته است در مجموع 520 مگاوات ساعت توان تولید داشته، همچنین نیروگاه جریانی مسجدسلیمان نیز دارای توان تولیدی معادل سدشهیدعباسپور می باشد، برنامه ریزی منابع آب را برای پنج ماه مذکور به گونه ای انجام داده ایم که ضمن تولید انرژی با حداکثر درآمد ممکنه، نیاز های شبکه و پایین دست نیز در تمام دوره به نحو احسن تأمین گردد.

تابع هدف این برنامه , بیشینه نمودن درآمد ریالی حاصل از فروش برق می باشد.جهت رسیدن به این عدد , بر اساس آیین نامه های بازار برق ,مبلغ آمادگی نیروگاهها به عنوان مبنا در نظر گرفته شده است وتابع هدف با توجه به ضرایب قیمت در ماههای گرم (تیر،مرداد وشهریور)که1/2 می باشدو ماههای غیرگرم(مهر و آبان) که0/9 است , محاسبه می گردد. همچنین به عنوان یکی از قیود حد پایین ، ساعات پیک وحد بالا مجموع ساعات پیک ومیانی نیروگاهها به برنامه داده می شود تا ارقام حاصله در این دامنه باشند بطوریکه مقدار تولید در هر دهه حتما از مقدار پیک بیشتر باشد و با توجه به آورد رودخانه از ورود به ساعات کم باری اجتناب شود تا به این ترتیب درآمد بهینه حاصل شود..

پس از اجرای برنامه میزان تولید انرژی بهینه در پانزده دهه مذکور 443850 مگاوات ساعت توسط برنامه برآورد می گردد، که با 89 بار تکرار حاصل شده است. همچنین برنامه قادر است متوسط حجم آب مخزن در هر دهه را از طریق پیش بینی جریانهای ورودی به هر مخزن و نیز پیش بینی جریانات بین حوزه ای بالا دست هر سد محاسبه کند. قیود پروژه یا نیازهای پایین دست از قبیل آب مورد نیاز شبکه های آبیاری نیز پس از اجرای برنامه به خوبی تأمین میگردند به نحوی که دبی آب خروجی از سدها پس از عبور از شبکه های کشاورزی و تأمین نیاز آبیاری با دبی حداقل 300 متر مکعب بر ثانیه در رودخانه به سمت شهرهای پایین دست جریان یافته تا بدین وسیله نیاز شرب آنها و حقابه محیط زیست نیز تأمین شود، با توجه به گرم بودن بازه زمانی مورد محاسبه و افزایش مصرف آب در پایین دست و بخصوص در مقطع شهر اهواز ، به وسیله برنامه، دبی آب جریان یافته در رودخانه کارون در مقطع شهر اهواز در بهترین حالت 500 متر مکعب بر ثانیه در نظرگرفته شده است تا شرایط کیفی آب در مطلوبترین وضعیت حفظ شود.

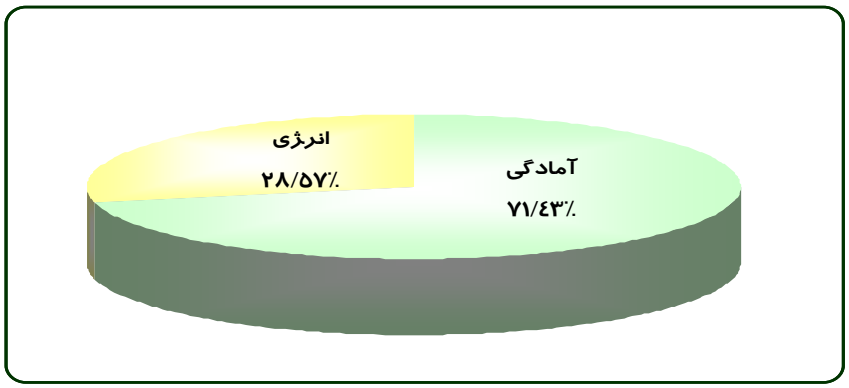
درخصوص تغییراتی که در درآمدهای سازمان از فروش برق تولیدی نیروگاهها حاصل خواهد شد که در نمودارهای (5) الی (7) پیوستها نشان داده شده است، در صورتی که به برنامه پیشنهادی برنامه بهینه سازی عمل شود مجموع برق تولیدی نیروگاهها در 15 دهه مورد مطالعه از مقدار 443850 مگاوات ساعت به 4876110 مگاوات ساعت خواهد رسید که این مقدار درآمدهای سازمان را از مبلغ 1597947 میلیون ریال به مبلغ 3094524 میلیون ریال افزایش خواهد داد، که با این افزایش درآمد حاصل از فروش انرژی 93/5 درصد افزایش میباشد که در واقع درآمد کل حاصل از فروش برق در سازمان حدود 26/2 درصد افزایش می یابد.

(در پایان لازم میدانیم از دفتر تحقیقات و استانداردهای سازمان آب و برق خوزستان که همواره مشوق کارشناسان در انجام امور پژوهشی در حوزه آب و برق بوده اند، سپاسگذاری نماییم.)

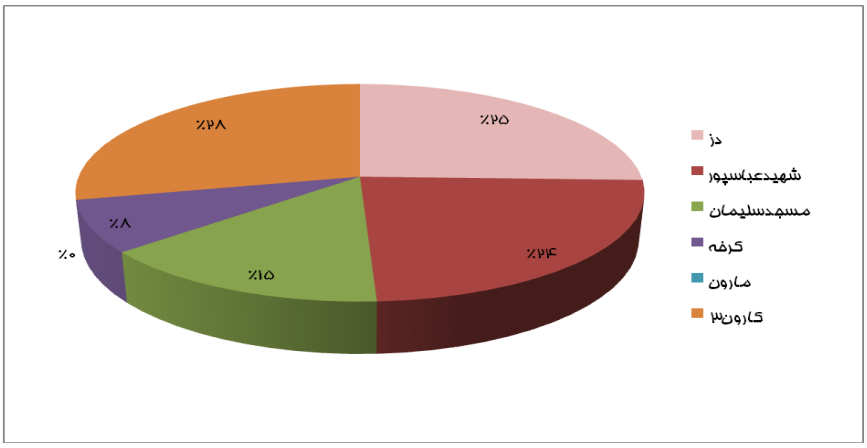
www.SID.ir

Archive of SID

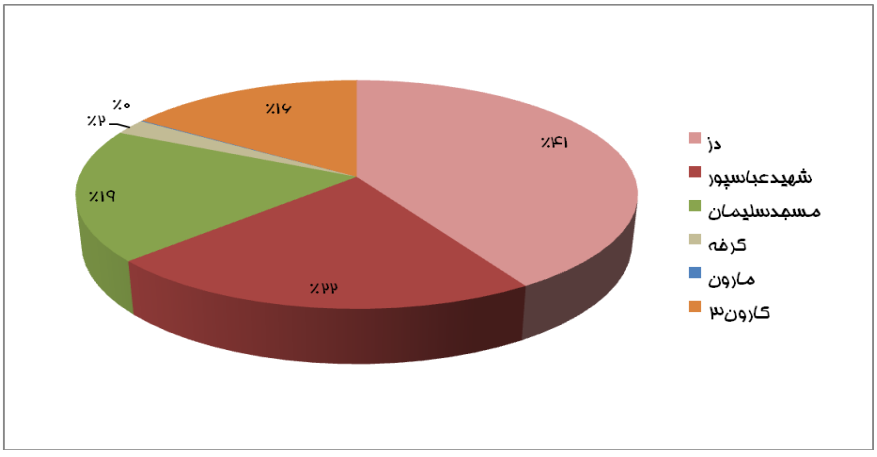
نمودارها:



نمودار (1) : سهم درآمد انرژی و آمادگی حاصل از فروش برق نیروگاههای سازمان در سال 1392



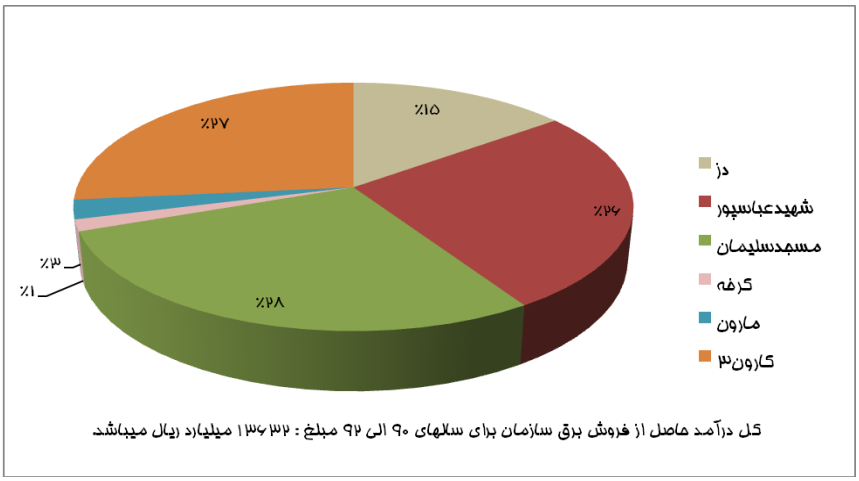
نمودار (2) : سهم هریک از نیروگاهها از درآمد آمادگی از سال 1390 الی مهر 1392



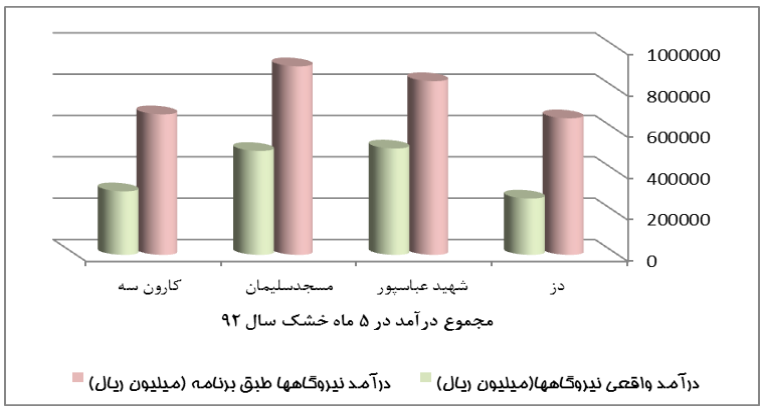
نمودار (3) : سهم درآمد انژی نیروگاههای سازمان از سال 1390 الی مهر 1392

www.SID.ir

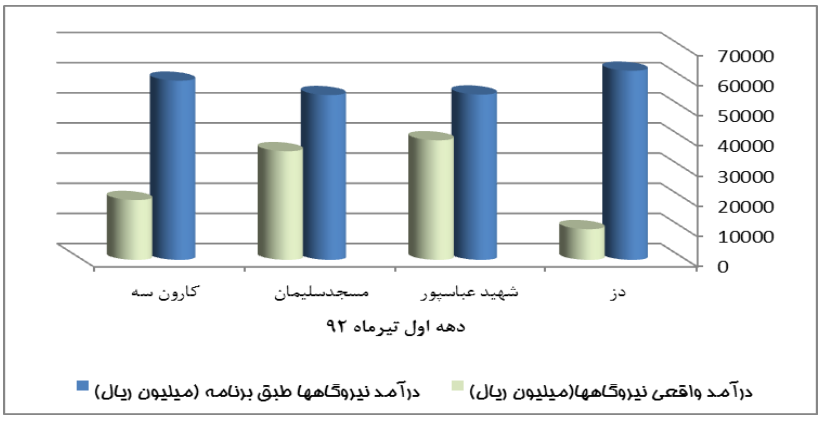
Archive of SID



نمودار (4) : نمایه سهم فروش هریک از نیروگاههای آبی از سال 90 الی مهر 92



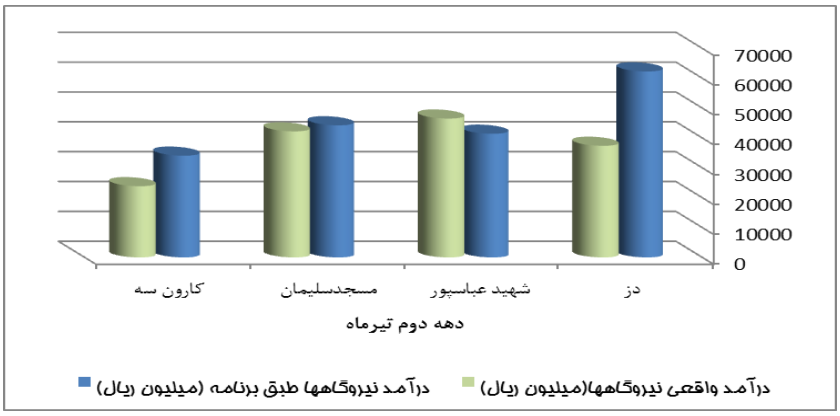
نمودار شماره (5): مقایسه درآمد نیروگاهها با عمل به پیشنهاد نرم افزار با درآمد واقعی در پنج ماه گرم سال 92



نمودار شماره (6): مقایسه درآمد نیروگاهها با عمل به پیشنهاد نرم افزار با درآمد واقعی در دهه اول تیرماه 92

www.SID.ir

Archive of SID



نمودار شماره (7): مقایسه درآمد نیروگاهها با عمل به پیشنهاد نرم افزار با درآمد واقعی در دهه دوم تیرماه 92

مراجع:

1. Barros, T. L. Frank, T-C Tsai, Shu-Li Yang, Joao E G Lopes, G Yeh, Hon M Asce . "Optimization of large-scale hydropower system operations" .Journal of Water Resources Planning and Management-asce - J WATER RESOUR PLAN MAN-ASCE 01/2003
2. Becker, L.; Yeh, W-G. "Optimization of real time operation of a multiple-reservoir system". Water Resources Research, 1974, Volume 10, Issue 6, pages 1107–1112.
3. Bucher, M." Hydro-power planning optimization". Master Thesis, Swiss Federal Institute of Technology (ETH) Zurich. 2011
4. Deladurantaye, D.; Gendreau, M. "Optimizing profits from hydroelectricity production". Journal of Computers and Operations Research. 2009
5. Eduardo, D.; Sontag." Mathematical control theory: deterministic finite dimensional systems". Second Edition, Springer, New York. 1998
6. Fleten,S.E.;Kristoffersen,T.K."Short-term hydropower production planning by stochastic programming". Journal of Research, Volume, August 2011, Pages 2656–2671.
7. Esat, V. ; Hall, M.J. "Water Resources System Optimization Using Genetic Algorithms". Hydro informatics, Proc. of 1st Int. Conf. on Hydro informatics, Balkema, Rotterdam, The Netherlands, 1994.
8. Fogarty, D.W. ; Blackstone, J.H. ; Hoffmann, T.R." Production and inventory management". South-Western College Pub. . 1991
9. Herter, K."Residential implementation of critical-peak pricing of electricity". Journal of Energy Policy. 2007

10. اسماعیلی، ک؛ بقال نژاد، م. "بهره برداری بهینه از مخازن سدهای استان خوزستان با مدلسازی بسیار قابل انعطاف و ساده در محیط lingo" اولین کنفرانس ملی مهندسی و مدیریت زیر ساختها.تهران، دانشگاه تهران. 1388
11. افشار، م ؛ رضایی سنگدهی،س." بهینه سازی بهره برداری از مخازن سدها با استفاده از فرآیند تظریف تطبیقی احتمالاتی در الگوریتم مورچه ها". دومین کنفرانس مدیریت منابع آب. 1385
12. ایرانمنش، س؛ مردانی، س. "روشی برای اندازه گیری بهره وری در طرحهای برق آبی". اولین کنفرانس ملی نیروگاههای آبی کشور. تهران. 1382
13. سلیمی، الف؛ آقامحمدی،ح. "مدیریت بهینه توزیع آب و تولید انرژی در شبکهٔ نیروگاه های برق آبی". سومین کنفرانس مدیریت منابع آب. تهران. 1387

www.SID.ir