

تجزیه شدت برق و مدیریت بار:^۱

مطالعه موردی برای استان مازندران

سعید راسخی (نویسنده مسئول)، استاد اقتصاد، دانشگاه مازندران، گروه اقتصاد انرژی، sarasekhi@umz.ac.ir

امیررضا آدینه پور، کارشناس ارشد اقتصاد انرژی، دانشگاه مازندران، گروه اقتصاد انرژی، amirreza.adinehpour@gmail.com

مانی موتامنی، دانشیار اقتصاد، دانشگاه مازندران، گروه اقتصاد انرژی، m.motameni@umz.ac.ir

چکیده: شدت مصرف برق به عنوان شاخص کارایی برق و شاخص راهبردی در مدیریت بار و اصلاح الگوی مصرف برق است. هدف اصلی در این پژوهش، تجزیه و تحلیل شدت برق در مدیریت بار است. برای این منظور، داده های مصرف برق استان مازندران استان مازندران طی دوره زمانی ۱۴۰۰-۱۳۹۰ به تفکیک کم باری، میان باری و پرباری در بخش های مختلف اقتصادی جمع آوری شده و مصرف برق آنها به اثرات تولیدی، ساختاری و شدتی تجزیه شده است. بر اساس نتایج این تحقیق، اثر شدتی به عنوان عامل اصلی رشد مصرف کم باری و پرباری موجب افول کارایی مصرف انرژی الکتریکی طی دوره مورد بررسی شده است. اگرچه اثر تولیدی عامل مهم بعدی در روند کم باری و پرباری مصرف برق طی دوره مورد مطالعه محسوب می شود ولی مهمترین مولفه در مصرف کل برق بوده است. اثر ساختاری در مصرف میان باری مولفه مسلط بوده ولی در مقایسه با دو مولفه دیگر و در کل، تاثیر چشمگیری بر مصرف برق نداشته است. در مجموع، طی دوره مورد بررسی، مولفه های مصرف برق حالت نوسان و بی ثباتی داشته اند و بر این اساس، به نظر می رسد در مدیریت بار به پویایی و اجزای شدت برق توجه کافی نمی شود. بر اساس یافته های این مطالعه، در کنار اعمال صحیح مدیریت بار برای اصلاح الگوی مصرف، برنامه پویا و بلندمدت برای مدیریت بهینه بار ضروری است.

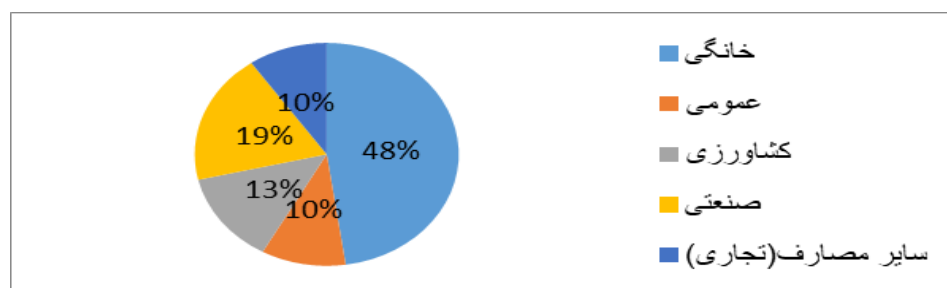
واژه های کلیدی: شدت برق، کم باری، میان باری، پرباری، مدیریت بار، استان مازندران

^۱ این مقاله برگرفته از پایان نامه در دانشگاه مازندران می باشد.

۱. مقدمه

با توجه به حساسیت بالای صنعت برق به عنوان یکی از صنایع مادر و زیر بنایی، هرگونه رشد و تعالی یا شکست و ناکامی آن، تاثیر مستقیمی بر بخش های اقتصادی دارد و بر این اساس، انرژی الکتریکی اهمیت ویژه ای در تصمیم گیری های اقتصادی و اجتماعی دارد. از سوی دیگر، برنامه ریزی بهینه برای توسعه ظرفیت های تولید به آگاهی کامل از وضعیت کنونی مصرف برق و تجزیه و تحلیل تقاضای برق نیاز دارد. تقاضای انرژی الکتریکی همچون سایر انرژی ها به عوامل مختلف بستگی دارد. در چارچوب، تجزیه شدت انرژی، سه عامل فعالیت یا تولید، شدت و همچنین ساختار بر مصرف برق موثر هستند. افزایش فعالیت های اقتصادی، مصرف برق را افزایش می دهد در حالی که اثر شدتی متاثر از تکنولوژی می تواند مصرف برق را کاهش یا افزایش دهد. تغییر ساختارهای اقتصادی طی فرایند توسعه یافتگی نیز می تواند به کاهش شدت مصرف انرژی کمک کند. در کنار این عوامل، سطوح بار به عوامل دیگری نیز بستگی دارد که در این رابطه می توان به دما، جمعیت، قیمت برق و عادات مصرفی اشاره کرد.

مصرف برق در ایران فراتر از استانداردهای جهانی است و برخلاف کشورهای توسعه یافته که بیشترین سهم از مصرف برق در آنها به بخش های تولیدی اختصاص دارد، در ایران بیش از ۴۰ درصد مصرف این انرژی مربوط به بخش های غیرتولیدی است (بیات و همکاران، ۱۳۹۷). وضعیت مشابهی در استان مازندران مشاهده می شود. نمودار ۱ سهم مصرف برق بخش های مختلف استان مازندران در سال ۱۴۰۰ را ارایه می کند.



نمودار ۱. سهم مصرف برق بخش های مختلف استان مازندران در سال ۱۴۰۰

منبع داده های پایه: شرکت توزیع برق استان مازندران

با توجه به همزمانی تولید و مصرف برق، مدیریت بار تلاش می کند از طریق مدیریت تقاضای برق، انرژی الکتریکی مورد نیاز را طی دوره پیک تقاضا فراهم کرده و به شکل بهینه، ظرفیت تولید برق را میان بارهای مختلف (کم باری، میان باری و پرباری یا پیک) توزیع کند.^۱ لازم به ذکر است که ساعت پیک مصرف ایران در تابستان ساعت ۱۹ تا ۲۳ و در زمستان

^۱ فرآیند برنامه ریزی، اولویت بندی، زمان بندی و اجرای جابه جایی، محدودیت و قطع بار و انرژی به منظور حفظ کفایت و امنیت در شبکه سراسری برق کشور مدیریت بار و انرژی است (شرکت مدیریت شبکه برق ایران، ۱۴۰۱).

ساعت ۱۸ تا ۲۲ است. جداول (۱)، (۲) و (۳) به ترتیب روند مصرف کم باری، اوج بار و میان باری بخش‌های مختلف استان مازندران را طی دوره زمانی ۱۳۹۰-۱۴۰۰ ارائه می‌کنند. با توجه به جدول ۱، مصرف کم باری بخش صنعت استان مازندران طی دوره مورد بررسی از ۴۴٪ در سال ۱۳۹۰ به ۲۴٪ در سال ۱۴۰۰ کاهش یافته است. در مقابل، مصرف کم باری در بخش خانگی استان مازندران طی این دوره، روند افزایشی را نشان می‌دهد. در مقابل، مصرف کم باری در بخش کشاورزی طی دوره زمانی مورد مطالعه با کاهش اندک از ۲۲٪ در سال ۱۳۹۰ به ۱۸٪ در سال ۱۴۰۰ مواجه شده و تقریباً روند یکنواختی را طی کرده است. مصرف کم باری بخش عمومی و تجاری نیز طی سال‌های مورد بررسی تغییر چندانی نداشته است. روند تقریباً مشابهی در رابطه با مصرف اوج بار در جدول ۲ مشاهده می‌شود به گونه‌ای که مصرف اوج بار بخش خانگی طی دوره زمانی ۱۳۹۰-۱۴۰۰ بیش از دو برابر شده است. در مقابل روند کاهش در مصرف اوج بار بخش صنعت استان مازندران مشاهده می‌شود. سرانجام، همانگونه که جدول ۳ نشان می‌دهد بخش خانگی، طی دوره زمانی مورد بررسی، در مصرف میان باری نقش مسلط را دارد. بخش صنعت و کشاورزی در جایگاه‌های بعدی قرار گرفته‌اند.

جدول ۱. روند مصرف کم باری در بخش‌های مختلف استان مازندران طی دوره زمانی ۱۳۹۰-۱۴۰۰

سال	خانگی	عمومی	کشاورزی	صنعتی	سایر مصارف
۱۳۹۰	۱۵٪	۱۳٪	۲۳٪	۴۴٪	۶٪
۱۳۹۵	۲۸٪	۱۷٪	۲۰٪	۲۸٪	۷٪
۱۴۰۰	۳۸٪	۱۳٪	۱۸٪	۲۴٪	۸٪

منبع: یافته‌های تحقیق حاضر (بر اساس داده‌های خام شرکت توزیع برق استان مازندران)

جدول ۲. روند مصرف اوج بار در بخش‌های مختلف استان مازندران طی دوره زمانی ۱۳۹۰-۱۴۰۰

سال	خانگی	عمومی	کشاورزی	صنعتی	سایر مصارف
۱۳۹۰	۱۸٪	۱۶٪	۲۱٪	۳۷٪	۸٪
۱۳۹۵	۳۱٪	۱۹٪	۱۷٪	۲۴٪	۱۰٪
۱۴۰۰	۳۹٪	۱۳٪	۱۶٪	۲۱٪	۱۰٪

منبع: یافته‌های تحقیق حاضر (بر اساس داده‌های خام شرکت توزیع برق استان مازندران)

جدول ۳. روند مصرف میان باری در بخش‌های مختلف استان مازندران طی دوره زمانی ۱۳۹۰-۱۴۰۰

سال	خانگی	عمومی	کشاورزی	صنعتی	سایر مصارف
۱۳۹۰	۵۰٪	۱۰٪	۱۱٪	۳۰٪	۸٪
۱۳۹۵	۵۱٪	۱۳٪	۱۱٪	۱۷٪	۹٪
۱۴۰۰	۵۳٪	۹٪	۱۱٪	۱۷٪	۱۰٪

منبع: یافته‌های تحقیق حاضر (بر اساس داده‌های خام شرکت توزیع برق استان مازندران)

حال سؤال این است که در روند مصرف برق استان مازندران، کدام مولفه های شدت برق نقش مهمتری ایفا کرده اند؟ پاسخ به این سؤال می تواند نقش و پویایی مدیریت بار را طی زمان مشخص کند. برای پاسخ به سوال تحقیق، ابتدا از داده های خام مصرف کم باری، میان باری و اوج بار استان مازندران طی دوره زمانی ۱۴۰۰-۱۳۹۰ استفاده شده و روند مصرف برق استان طی این دوره به تفکیک بخش های اقتصادی و نوع بار بررسی شده است. سپس، با بکارگیری روش تحلیل عاملی (تجزیه شدت برق) طی دوره زمانی ۱۴۰۰-۱۳۹۰، شدت برق تجزیه و تحلیل شده و به سؤال تحقیق پاسخ داده شده است.

لازم به ذکر است که مطالعه تجربی مشابهی درباره تجزیه و تحلیل شدت برق برای مصارف مختلف بار در بخش های مختلف اقتصادی انجام نشده هرچند درباره تجزیه شدت برق، مطالعات محدودی صورت گرفته ولی مطالعه تجربی مشاهده نشده است. در رابطه با تجزیه شدت برق در ایران می توان به مطالعه محمدی و همکاران (۱۳۸۸) اشاره کرد که با استفاده از مدل تجزیه کامل^۱ (CDM) به تجزیه تغییرات مصرف برق در بخش های صنعت، کشاورزی و بازرگانی به سه اثر تولیدی، ساختاری و شدت خالص طی دوره زمانی ۱۳۵۸-۱۳۸۶ پرداختند. براساس نتایج این مطالعه، در هر سه بخش، تغییرات مصرف برق مثبت و مصرف برق در حال افزایش بوده است. بیابانی خامنه و صادقی سفدل (۱۳۹۳) از شاخص LMDI^۲ برای تجزیه مصرف برق ایران طی دوره زمانی ۱۳۵۳-۱۳۹۱ استفاده کردند. بر اساس نتایج این پژوهش، عمده رشد مصرف برق ناشی از ناکارایی مصرف و سپس رشد اقتصادی بوده است. توانا نجار و فیضی (۱۳۹۴) با استفاده از شاخص LMDI کل تغییرات مصرف برق بخش خانگی بین دو سال ۱۳۷۵ و ۱۳۹۰ را به چهار اثر شامل اثرات ساختاری، شدت انرژی، فعالیت و جمعیتی تجزیه کردند. نتایج پژوهش آنها حاکی آن است که اثرات شدت انرژی، جمعیتی، فعالیتی و ساختاری به ترتیب مهمترین عوامل تغییر مصرف برق طی دوره مورد بررسی بوده اند. موسوی و محمدیان (۱۴۰۱) با استفاده از رویکرد شاخص میانگین لگاریتمی دیویژیا به تجزیه و تحلیل مصرف برق ایران و تحلیل رابطه مصرف برق و رشد اقتصادی طی دوره زمانی ۱۳۸۰-۱۳۹۸ پرداختند. براساس نتایج این تحقیق، در کل دوره مورد مطالعه، تنها اثر ساختار باعث کاهش مصرف برق شده در حالی که اثرات تولیدی، فعالیتی، جمعیتی و شدتی باعث افزایش مصرف برق شده اند. در رابطه با مطالعات خارجی، ژانگ و وانگ^۳ (۲۰۱۳) با استفاده از شاخص جداسازی و تجزیه و تحلیل LMDI به این نتیجه رسیدند که پیوند بازگشتی (۱۹۹۹-۲۰۰۷) و جدا سازی ضعیف (۱۹۹۹-۱۹۹۱ و ۲۰۰۹-۲۰۰۷) میان مصرف برق و تولید ناخالص داخلی چین وجود دارد. اندرسن و همکاران^۴ (۲۰۱۸) با مرتبط کردن داده های کنتور برق هوشمند ۶۶۷۰۰۰ خانوار دانمارکی به مشخصات خانوارها در سال ۲۰۱۷، دریافتند که میزان و زمان مصرف برق بطور قابل توجهی با

^۱ - Cognitive Diagnostic Models

^۲ - Logarithmic Mean Divisia Index

^۳ - Zhang and wang

^۴ - Andersen et al.

ویژگی‌های خانوار رابطه دارد و بر این اساس قیمت‌گذاری ساعتی را برای ایجاد انگیزه جهت بهبود کارایی اقتصادی توصیه کردند. ژانگ و همکاران^۱ (۲۰۱۹) با استفاده از روش جداسازی و تجزیه شاخص، عوامل موثر بر مصرف برق چین را طی بازه زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۶ بررسی کردند. نتایج تحقیق آنها نشان می‌دهد که اثر فعالیت‌های اقتصادی عامل اصلی افزایش مصرف برق چین بوده است. لین و رضا (۲۰۲۱) با استفاده از تجزیه شاخص و روش جداسازی، میزان مصرف برق در پاکستان طی سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۸ را ارزیابی کردند. نتایج تحقیق آنها نشان می‌دهد که اثر ساختار اقتصادی مهمترین عامل محرک رشد مصرف برق پاکستان می‌باشد. وانگ و همکاران^۲ (۲۰۲۲) به تجزیه نیروهای محرک مصرف برق منطقه ای در ژاپن طی دوره زمانی ۲۰۲۲-۲۰۰۱ پرداختند. نتایج رویکرد تجزیه شاخص در این مطالعه، نشان داده است که اثرات شدت مصرف برق و فعالیت اقتصادی غالب هستند.

سازماندهی مقاله به این شکل می‌باشد که بعد از مقدمه، مدیریت بار و مولفه‌های شدت برق ارایه می‌شود. بخش سوم به تجزیه و تحلیل شدت برق استان مازندران اختصاص دارد. در بخش چهارم، جمع‌بندی و توصیه‌های سیاستی ارایه شده است. منابع و مآخذ در انتهای مقاله آمده است.

۲. مدیریت بار و مولفه‌های شدت برق

مصرف در اوج بار نیازمند سرمایه‌گذاری‌های زیادی در بخش‌های مختلف صنعت برق می‌باشد در غیر این صورت و بدون مدیریت سمت تقاضا، خاموشی‌های برق اجتناب‌ناپذیر خواهد بود. برای کاهش هزینه‌های سرمایه‌گذاری و هزینه تولید، مدیریت بار به عنوان یکی از انواع روش‌های مدیریت تقاضا، تلاش می‌کند شکل بار را تغییر دهد تا تقاضا در دوره‌های پیک مصرف کاهش یابد.

مدیریت تقاضای نهایی شامل کنترل مستقیم و غیرمستقیم بار است. در روش کنترل مستقیم بار، تولیدکننده انرژی مستقیماً و از طریق قطع، وصل مجدد یا اصلاح عملیات تجهیزات مصرف‌کننده نهایی، تقاضا را کاهش می‌دهد. در این راستا، شرکت برق می‌تواند مصرف تجهیزات انرژی بر نظیر وسایل سرمایشی و گرمایشی از طریق ارسال سیگنال کنترل کند. همچنین، شرکت برق با ارایه ارایه مشوق‌های مختلف، مصرف‌کنندگان نهایی را تشویق می‌کند تا در مدیریت بار مشارکت کنند. کنترل مستقیم بار می‌تواند از طریق حذف بار^۳ صورت گیرد یعنی شرکت برق می‌تواند عرضه یک منطقه را برای یک دوره معین قطع کرده و تقاضا را مدیریت کند. در روش کنترل غیرمستقیم بار، از علائم قیمتی برای تغییر الگوی تقاضای انرژی مصرف‌کنندگان استفاده می‌شود (World Bank 2005).

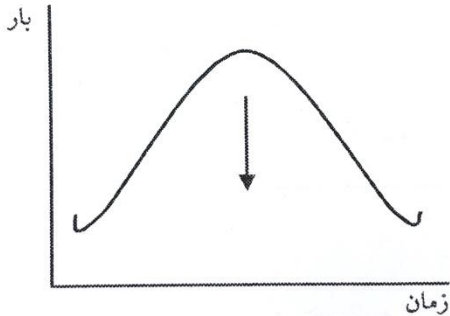
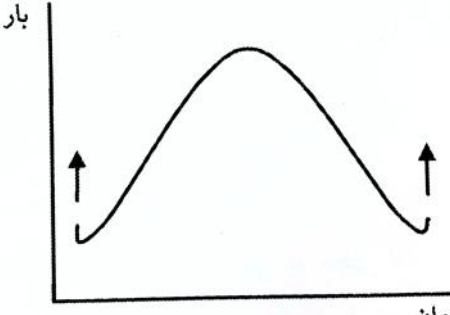
^۱ - Zang et al.

^۲ - Wang et al.

^۳ Load shedding

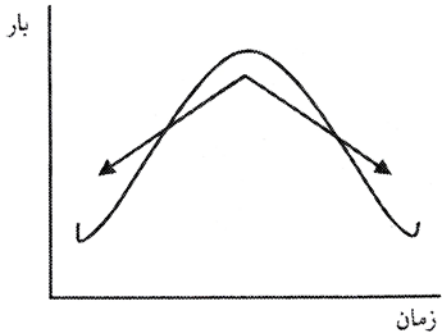
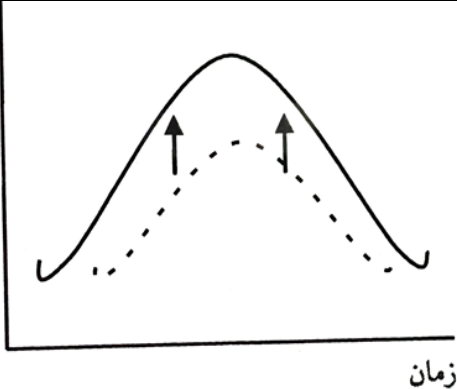
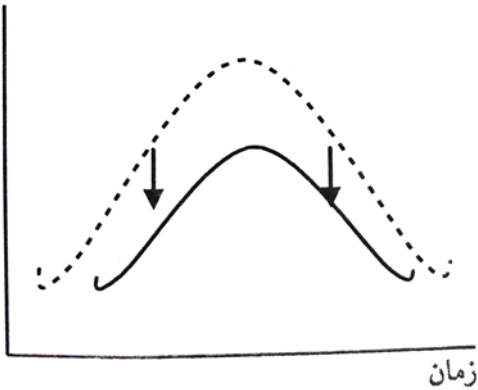
لازم به ذکر است که کم باری شباهت زیادی به بار پایه^۱ دارد که در آن حداقل میزان تقاضای برق در ۲۴ ساعت شبانه روز مدنظر قرار می گیرد و از این نظر به آن، بار پیوسته^۲ نیز می گویند. در مقابل، اوج بار مربوط به مصارف بالای برق است که اغلب برای دوره کوتاه مدت مثلاً ۷ عصر تا ۱۱ شب بروز می کند. نوع بار می تواند از سمت تولیدکننده نیز مورد توجه قرار گیرد. اگر شبکه برق را همچون یک خانواده بزرگ در نظر بگیریم باری که در همه زمان ها نیاز است و به صورت مستمر عرضه می شود همان بار پایه خواهد بود. ولی در مواقعی مثل مسابقات جهانی فوتبال یا پخش سریال پرتعداد، افراد زیادی تمایل دارند که پخش زنده مسابقات جهانی یا سریال پرتعداد را تماشا کنند در این شرایط، مصرف پیک رخ می دهد. ساعت اوج یا پیک مصرف عموماً در روز اتفاق می افتد. در جدول ۴، انواع مدیریت بار ارائه شده است.

جدول ۴. انواع مدیریت بار

نمایش تغییر بار	توصیف مدیریت بار
	(الف) پیک سایی: هدف از پیک سایی، کاهش تقاضا در زمان های پیک یا اوج مصرف است. اغلب این فعالیت یا از طریق محدود نمودن استفاده از وسایل انرژی بر طی زمان های اوج مصرف انجام می شود یا از طریق تشویق مصرف کنندگان به تغییر رفتار تقاضای خود در پی ایجاد علائم قیمتی مناسب صورت می پذیرد. در بخش حمل و نقل این موضوع از طریق عدم اعطای مجوز به وسایل نقلیه خاص برای ورود به شبکه جاده ای یا از طریق اخذ هزینه های ازدحام طی ساعات اوج مصرف صورت می گیرد.
	(ب) دره زدایی: هدف از این نوع روش، حمایت از مصرف انرژی طی دوره های غیر اوج مصرف است به گونه ای که، سطح متوسط بهره برداری از تجهیزات تولید انرژی بهبود یابد. برای نمونه، شارژ باتری های ماشین های برقی در مقیاس وسیع در شب می تواند شکل بار را بهبود ببخشد.

¹ Base load

² continuous load

	(ج) انتقال یا جابجایی بار: هدف از انتقال بار، انتقال از دوره اوج مصرف به غیر اوج مصرف بدون تغییر در الگوی مصرف انرژی است. برای مثال، مصرف کنندگان می توانند حرارت و گرمای مورد نیاز در دوره غیر اوج مصرف را ذخیره و طی دوره های اوج مصرف استفاده کنند. همچنین، خانوار می تواند فعالیت های عادی مانند شستشوی ظروف یا شستشوی لباس ها را به ساعات پایانی شب منتقل کند.
	(چ) برق رسانی (بهبود دسترسی به انرژی): هدف این سیاست، افزایش پر قدرت انرژی برای ایجاد دسترسی به حوزه های جدید یا مصرف کنندگان جدید است.
	(د) صرفه جویی انرژی: استفاده از تجهیزات کارا یا تغییر شیوه زندگی می تواند به صرفه جویی انرژی بینجامد و تقاضا را کاهش داده و شکل بار را تغییر دهد.
	(ه) بار منعطف: در این روش مدیریت بار، بار می تواند به شکل منعطفی جهت اطمینان یافتن از کارکرد سیستم اصلاح و تعدیل شود.

منبع: WB (2005) و swisher et al. (1997)

از اوایل دهه ۸۰ میلادی برای ارزیابی سیاست‌های انرژی در بخش‌های مختلف اقتصادی، تکنیک‌های تجزیه شدت انرژی بطور گسترده‌ای بکار گرفته می‌شود. در این روش‌ها، تغییر مصرف انرژی طی یک دوره زمانی مشخص به اثرات ساختاری^۱، فعالیتی یا تولیدی^۲، شدتی^۳ و اثر پسماند^۴ نسبت داده می‌شود. اثر ساختاری مربوط به تغییر ترکیب سهم بخش‌های اقتصادی در اقتصاد است که بر ترکیب مصرف انرژی آنها اثر می‌گذارد. اثر تولیدی یا فعالیتی، تغییر مصرف انرژی را در نتیجه تغییر در سطح فعالیت‌های اقتصادی نشان می‌دهد. اثر شدتی از طریق تغییر کارایی انرژی و توسعه تکنولوژی و همچنین جانشینی حامل‌های انرژی موجب تغییر مصرف انرژی می‌شود. کارایی فنی انرژی از تعیین‌کننده‌های اصلی شدت انرژی است و تغییرات در فرآیندها و ترکیب تولیدی بر شدت انرژی بخشی و کل اثر می‌گذارد (باتاچاریا ۲۰۱۱). به طریق مشابه، تجزیه شدت برق شامل تغییر فعالیت اقتصادی (اثر فعالیتی یا تولیدی)، تغییر کارایی برق و وضعیت تکنولوژی (اثر شدتی) و تغییر ساختار اقتصادی (اثر ساختاری) می‌باشد. برای تجزیه شدت برق به اثرات فعالیتی، ساختاری و شدتی به ترتیب زیر عمل می‌شود.

ابتدا، شدت برق از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$EI_{it} = \frac{E_{it}}{Q_{it}} \quad (1)$$

که در آن، EI_{it} شدت برق، E_{it} مصرف برق (برای هر نوع بار) به کیلووات ساعت و Q_{it} تولید یا ارزش افزوده^۵ به قیمت‌های ثابت برای بخش i در زمان t می‌باشد. گام بعدی، تجزیه شدت برق به مولفه‌های مختلف فعالیتی، شدتی و ساختاری است. در این مرحله، شدت برق به تفکیک نوع بار (کم باری، میان باری و اوج بار) تجزیه و تحلیل شده است. برای این منظور، از روابط (۱) تا (۶) استفاده شده و مولفه‌های فعالیتی یا تولیدی، شدتی و ساختاری بارهای مختلف محاسبه شده است. ابتدا، مصرف برق به صورت زیر بازنویسی می‌شود:

$$E_t^k = Q.EI_t^k = Q \sum_{i=1}^n \left(\frac{E_{it}^k}{Q_{it}} \frac{Q_{it}}{Q} \right) = Q \sum_{i=1}^n EI_{it}^k S_{it} \quad (2)$$

که در آن، Q کل ارزش افزوده بخش‌های مختلف اقتصادی، EI_t^k شدت مصرف برق برای مولفه k در زمان t و E_t^k مصرف برق بر حسب نوع بار در زمان t می‌باشد. در گام بعدی، با ثابت بودن سایر شرایط، اثر فعالیتی در تغییر مصرف برق طی دوره زمانی ۰ تا T بر اساس رابطه زیر اندازه‌گیری می‌شود. رابطه (۳) نشان می‌دهد که در صورت ثابت بودن سایر مولفه‌های تاثیرگذار، تغییر فعالیت چه میزان بر مصرف برق اثر می‌گذارد.

¹ - Structural Effect

² - Production Effect

³ - Pure Intensity Effect

⁴ - Residual effect

^۵ ارزش افزوده عبارت است از ارزش ستانده منهای ارزش مصرف واسطه (بانک مرکزی ایران).

$$Q_e = (Q^T - Q^0) \sum_{i=1}^n EI_{i0}^k S_{i0} \quad (3)$$

از آنجا که تغییرات فناوری و کارایی موجب تغییر مصرف برق می‌شود، در گام بعدی، اثر شدتی به صورت رابطه (۴) محاسبه می‌شود:

$$I_e = Q^0 \sum_{i=1}^n (EI_{iT}^k - EI_{i0}^k) S_{i0} \quad (4)$$

سرانجام، با ثابت نگه داشتن سایر شرایط، اثر ساختاری بر اساس رابطه (۵) اندازه‌گیری می‌شود:

$$S_e = Q^0 \sum_{i=1}^n EI_{i0}^k (S_i^T - S_i^0) \quad (5)$$

که در آن، S_i^0 و S_i^T سهم بخش مورد نظر در سال‌های ۰ و T می‌باشد.

بدین ترتیب، تغییر مصرف برق طی دوره زمانی مورد بررسی یا بازه‌های مختلف زمانی در دوره مورد مطالعه بر اساس رابطه زیر خواهد بود:

$$\Delta E = Q_e + I_e + S_e \quad (6)$$

که در آن، ΔE تغییر مصرف برق طی بازه زمانی مورد نظر، Q_e اثر فعالیتی، I_e اثر شدتی و S_e اثر ساختاری می‌باشد. با توجه به اینکه امکان اختلاف میان تغییرات مصرف انرژی و مجموع مولفه‌های ساختاری، شدتی و فعالیتی محتمل است، تجزیه شدت انرژی دارای جزء باقیمانده یا پسماند خواهد بود. لازم به ذکر است که برای نتیجه‌گیری بهتر و همچنین سنجش رفتار متوسط متغیرها، محاسبات برای بازه‌های زمانی مختلف (در مقاله حاضر، یک سال) و برای کل دوره تکرار می‌شود.

همان‌گونه که عنوان شد مدیریت بار یکی از مهمترین روش‌های شرکت‌های برق برای ایجاد تعادل میان تولید و مصرف و ایجاد و حفظ پایداری در شبکه برق می‌باشد (شرکت مدیریت شبکه برق ایران، ۱۴۰۱). مدیریت بار با هدف کاهش تقاضا و تغییر اندازه آن و یا زمان بندی تقاضا موجب می‌شود تقاضا در دوره‌ی پیک (اوج مصرف) کاهش و نیازمندی به سرمایه‌گذاری در پیک جدید کاهش یابد. این کاهش تقاضا در اوج بار موجب می‌شود تجهیزات برقی در زمان‌های غیرپیک به نحو مطلوب تری مورد بهره‌برداری قرار گیرند.

زمانی که مدیریت بار در اوج مصرف برق، پیک سایی می‌کند و پیک مصرف برق را کنترل می‌کند، باید به اثرگذاری این سیاست بر ساختار اقتصادی نیز توجه کند. به عنوان نمونه، اگر بخش تجاری بیشترین سهم را در زمان پیک داشته باشد، اعمال پیک سایی توسط مدیریت بار می‌تواند به محدود شدن فعالیت‌های بخش تجاری منجر شود. همچنین اگر مصرف اوج بار مربوط به بخش صنعت باشد، مدیریت بار ممکن است موجب کوچک شدن این بخش شده و سرمایه‌گذاری‌های محدود شده در صنعت برق به کاهش رشد بلندمدت بخش‌های مولد بینجامد. بدین ترتیب، مدیریت بار در این حالت ممکن است بر روند تحول ساختاری اقتصاد موثر باشد. در این شرایط، اگرچه ظاهراً هدف مدیریت بار تخصیص بهتر منابع

اقتصادی بوده ولی عملاً سرکوب بار صورت گرفته و نتیجه رفاهی این سیاست نامشخص خواهد بود. حذف بار به عنوان راه جایگزین ممکن است باعث کاهش کارایی در مصرف برق شده و حتی تنش های بیش از حد در شبکه، خسارت های غیرقابل جبران به تولید کنندگان، کاهش مطلوبیت و رفاه بخش خانگی و نارضایتی مشترکین را به دنبال داشته باشد. بدین ترتیب ممکن است بر خلاف سنت غالب، ارزیابی نهایی انجام سرمایه گذاری مورد نیاز برای تامین مصرف اوج بار باشد. در رابطه با مولفه های دیگر نیز مدیریت بار به توجه بیشتری نیاز دارد. در صورتی که مصرف اوج بار مربوط به مولفه شدتی باشد ممکن است پیک سایی در این شرایط به نفع تکنولوژی های برتر باشد که مصرف برق به نسبت کمتری دارند. در حالی که اگر سطح فعالیت های اقتصادی موجب مصرف پیک شده است، مدیریت بار به معنای پیک سایی ممکن است به معنای سرکوب رشد اقتصادی تلقی شود. همچنین زمانی که افزایش کارایی در مصرف برق با افزایش شدت برق همراه باشد و مدیریت مصرف برق با هدف کاهش شدت برق یا افزایش کارایی مصرف برق اعمال شود، دارندگان تجهیزات برقی به سمت بهبود کارایی انرژی الکتریکی متمایل می شوند. بنابراین، وضعیت و روند مولفه های شدت برق به مدیریت بار کمک می کند تا برنامه ریزی بهتری برای صنعت برق انجام دهند.

۳. تجزیه و تحلیل شدت برق استان مازندران

مقاله حاضر شدت مصرف برق استان مازندران را برای انواع بار (کم باری، میان باری و اوج بار) و کل مصرف برق به تفکیک بخش های مختلف اقتصادی تجزیه کرده و در این چارچوب، به بررسی مدیریت بار استان پرداخته است. شدت مصرف برق بر اساس رابطه (۱) بخش پیشین محاسبه شده و سپس بر اساس روابط (۲) تا (۶) به مولفه های مختلف شدت برق تجزیه شده است. داده های مصرف برق به تفکیک نوع بار (کم باری، میان باری و اوج بار) و به تفکیک بخش های خانگی، عمومی، کشاورزی، صنعتی، سایر مصارف (تجاری) طی دوره زمانی ۱۴۰۰-۱۳۹۰ از شرکت توزیع برق استان مازندران جمع آوری شده است. همچنین ارزش افزوده سال های مختلف بخش های اقتصادی استان مازندران به قیمت ثابت ۱۳۹۰ از مرکز آمار ایران جمع آوری شده و با بخش های فوق تطبیق داده شده است.^۱

جدول ۴ تجزیه کل شدت برق در بخش های اقتصادی استان مازندران را ارائه می کند. بر اساس این جدول، طی دوره زمانی ۱۳۹۱-۱۳۹۰ تغییر کل مصرف برق معادل ۴۰۸ میلیون کیلووات ساعت می باشد. از این میزان تغییر، ۳۳۵ میلیون کیلووات ساعت یا حدود ۸۲ درصد تغییر مصرف برق مربوط به مولفه شدتی بوده است که این موضوع نشانگر عدم کارایی در مصرف برق می باشد. در تغییر کل مصرف برق، اثر تولیدی با میزان ۸۰ میلیون کیلووات ساعت مصرف برق در رده بعدی اهمیت قرار گرفته است. اثر ساختاری منفی به میزان ۷ میلیون کیلووات ساعت اگرچه ناچیز ولی نشان دهنده تغییر ساختار در بخش های اقتصادی به نفع مصرف کمتر برق می باشد.

^۱ لازم به توضیح است که تلاش زیادی برای جمع آوری و تجمیع داده های مصرف برق به تفکیک نوع بار و در سطح بخشی طی سال های ۱۴۰۰-۱۳۹۰ انجام شده است. در ادامه، محاسبات تجزیه سالانه و متوسط بر اساس روش شناسی پیش گفته صورت گرفته است.

طی دوره زمانی ۱۳۹۵-۱۳۹۴ تغییرات کل مصرف برق استان مازندران معادل ۲۷۹ میلیون کیلووات ساعت بدست آمده که در این تغییر، اثر شدتی در جهت کاهش مصرف برق عمل کرده است که نشانگر بهبود کارایی و افزایش صرف جویی در مصرف برق در این دوره می باشد. در مقابل، رشد صنایع و بخش های اقتصادی موجب شده است ۵۰۰ میلیون کیلووات ساعت به مصرف برق اضافه شود. اثر ساختاری نیز موجب اضافه شدن ۲۰ میلیون کیلووات ساعت به مصرف برق طی دوره مورد بررسی شده است.

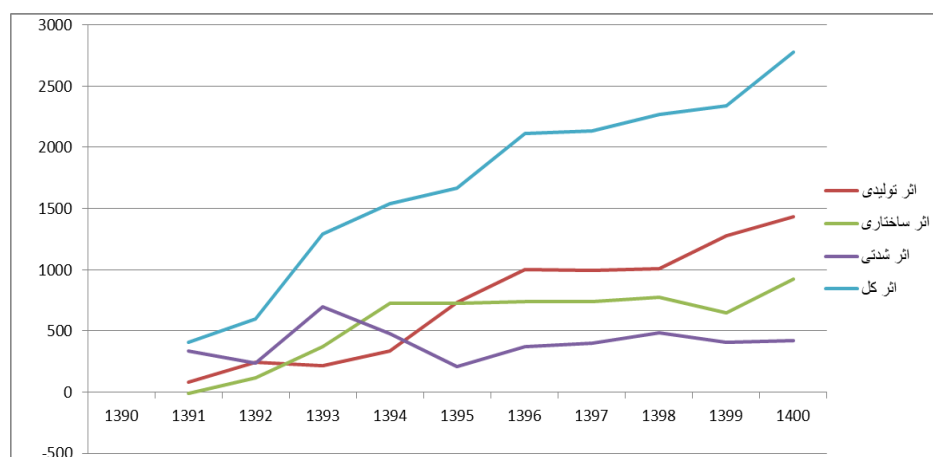
در دوره زمانی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ تغییرات کل مصرف برق معادل ۵۰۰ میلیون کیلووات ساعت محاسبه شده که هر سه اثر تولیدی، ساختاری و شدتی در جهت افزایش مصرف برق عمل کرده اند. میزان این مولفه ها به ترتیب ۱۸۵، ۲۸۱ و ۳۳ میلیون کیلووات ساعت بوده که نشانگر توسعه فعالیت های اقتصادی، کارایی نامطلوب مصرف برق و تغییر ساختارهای اقتصادی در جهت افزایش مصرف برق می باشد.

در مجموع و با توجه به جدول ۴، مصرف برق استان مازندران طی دوره ۱۴۰۰-۱۳۹۰ بطور متوسط ۲,۷۷۸ میلیون کیلووات ساعت تغییر کرده است که از این میزان تغییر، اثرات شدتی، ساختاری و تولیدی به ترتیب معادل ۴۲۴، ۹۲۳ و ۱,۴۳۱ میلیون کیلووات ساعت بوده است. بدین ترتیب، طی این دوره ۱۱ ساله، اثرات تولیدی و ساختاری در جهت افزایش مصرف برق عمل کرده اند. حتی مولفه شدتی نیز موجب افزایش مصرف برق شده است که نشانگر عدم کارایی و عدم صرفه جویی در مصرف برق می باشد. نکته دیگر، عدم ثبات مولفه های مصرف برق طی دوره زمانی مورد بررسی است. این موضوع در کنار محدودیت فعالیت های صنعتی و جهت گیری کلی اقتصاد به سمت فعالیت های غیرمولد و همچنین عدم کارایی فنی در مصرف برق می تواند ناشی از نبود یک برنامه بلندمدت مشخص در مدیریت بار باشد. نمودار ۲ تغییر کل مصرف برق استان مازندران طی دوره زمانی ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰ با سال پایه ۱۳۹۰ را نشان می دهد. بر اساس این نمودار، مصرف برق استان طی دوره مذکور به صورت فزاینده رو به افزایش بوده است. نکته قابل توجه در این نمودار، غلبه اثرات تولیدی و ساختاری بر اثر شدتی بعد از سال ۱۳۹۴ است.

جدول ۴. نتایج تجزیه کل شدت برق استان مازندران (میلیون کیووات ساعت)

تغییر کل	اثر شدتی	اثر ساختاری	اثر تولیدی	سال
۴۰۸	۳۳۵	(۷)	۸۰	۱۳۹۰-۱۳۹۱
۲۷۹	(۲۴۱)	۲۰	۵۰۰	۱۳۹۴-۱۳۹۵
۵۰۰	۳۳	۲۸۱	۱۸۵	۱۳۹۹-۱۴۰۰
۲,۷۷۸	۴۲۴	۹۲۳	۱,۴۳۱	۱۳۹۰-۱۴۰۰

منبع: محاسبات تحقیق (بر اساس داده های خام شرکت برق استان مازندران)



نمودار ۲. اثرات تولیدی، ساختاری و شدتی استان مازندران با سال پایه ۱۳۹۰ (میلیون کیلووات ساعت)

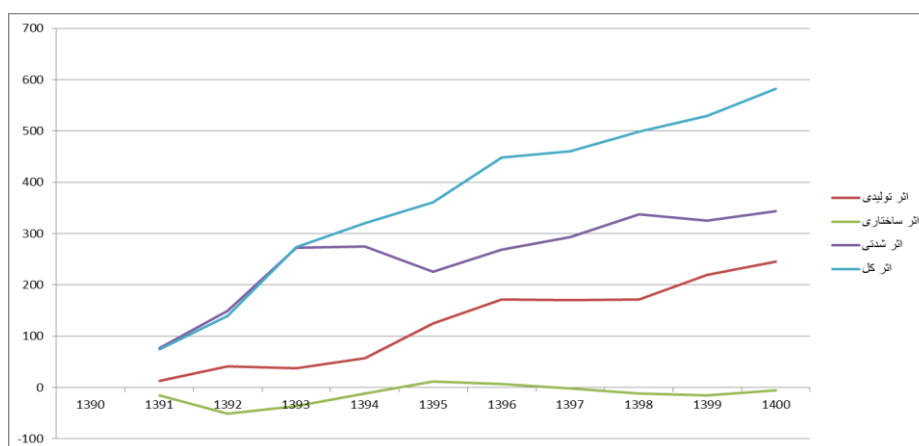
برای بررسی دقیق تر، جدول ۵ تغییر مصرف برق کم باری استان مازندران را طی دوره زمانی ۱۳۹۰-۱۴۰۰ ارائه می کند. همان گونه که در این جدول مشخص است طی دوره زمانی ۱۳۹۰-۱۳۹۱، تغییر مصرف کم باری استان مازندران معادل ۷۵ میلیون کیلووات ساعت بوده است که اثرات تولیدی، ساختاری و شدتی از این تغییر به ترتیب ۱۳، ۱۶- و ۷۷ میلیون کیلووات ساعت می باشد. بدین ترتیب، اثر شدتی در این دوره قابل توجه و مسلط بوده است که نشان دهنده عدم کارایی مصرف برق در بار پایه می باشد. این نتیجه به همراه اثر محدود فعالیت و اثر منفی ساختاری با تشدید تحریم ها طی دوره مورد بررسی مطابقت دارد. بر اساس جدول مذکور، طی دوره ی زمانی ۱۳۹۴-۱۳۹۵ تغییرات کل مصرف کم باری استان معادل ۹۲ میلیون کیلووات ساعت بوده است. اثر تولیدی بر مصرف کم باری معادل ۹۷ میلیون کیلووات ساعت اثر مسلط در افزایش مصرف کم باری بوده است. رتبه بعدی در افزایش مصرف کم باری برق مربوط به اثر ساختاری است که معادل ۲۴ میلیون کیلووات ساعت بدست آمده است. اثر شدتی در این دوره موجب کاهش مصرف کم باری شده است که می تواند نشان دهنده بهبود کارایی در مصرف برق پایه باشد. همچنین این یافته می تواند ناشی از تلفات کمتر صنایع در مقایسه با بخش خانگی باشد. در دوره زمانی ۱۳۹۹-۱۴۰۰ از ۱۱۵ میلیون کیلووات ساعت تغییر مصرف کم باری استان مازندران، ۳۷ میلیون کیلووات ساعت به دلیل ناکارایی مصرف برق، ۳۸ میلیون کیلووات ساعت ناشی از تغییرات ساختاری و ۴۰ میلیون کیلووات ساعت به دلیل فعالیت های اقتصادی و نیاز حقیقی به مصرف برق بوده است. تجزیه شدت برق کم بار استان مازندران طی دوره زمانی ۱۳۹۰-۱۴۰۰ نشان می دهد از کل تغییر مصرف کم باری ۵۸۲ میلیون کیلووات ساعت، اثرات شدتی، تولیدی و ساختاری به ترتیب معادل ۳۴۳، ۲۴۵ و ۶- میلیون کیلووات ساعت بدست آمده که نشان می دهد اثر شدتی در روند مصرف کم باری در مقایسه با اثرات دیگر نقش مهمتری را داشته است. به عبارت دیگر، ملاحظات کارایی و صرفه جویی مصرف برق در مصرف کم باری طی دوره زمانی مورد بررسی لحاظ نشده و البته اثر فعالیتی نیز موجب افزایش مصرف کم باری شده است.

جدول ۵. تجزیه مصرف کم باری استان مازندران (میلیون کیلووات ساعت)

تغییر کل	اثر شدتی	اثر ساختاری	اثر تولیدی	سال
۷۵	۷۷	(۱۶)	۱۳	۱۳۹۰-۱۳۹۱
۹۲	(۲۹)	۳۴	۹۷	۱۳۹۴-۱۳۹۵
۱۱۵	۳۷	۳۸	۴۰	۱۳۹۹-۱۴۰۰
۵۸۲	۳۴۳	(۶)	۲۴۵	۱۳۹۰-۱۴۰۰

منبع: محاسبات تحقیق (بر اساس داده های خام شرکت برق استان مازندران)

همانطور که در نمودار ۳ ملاحظه می‌شود؛ در روند مصرف کم باری طی دوره زمانی ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰ اثر شدتی بطور متوسط سهم غالب در رشد مصرف کم باری استان مازندران را به خود اختصاص داده است. تاثیر اثر شدتی بر رشد مصرف کم باری به حدی چشم گیر است که در سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰، ۷۰٪ سهم تغییرات کل مصرف کم باری مربوط به این مولفه است. اگرچه اثر تولیدی نیز موجب افزایش مصرف کم باری استان طی دوره مورد بررسی شده است ولی رد پای عدم کارایی مصرف برق در مصرف کم باری به وضوح مشاهده می‌شود.



نمودار ۳. اثرات تولیدی، ساختاری، شدتی در مصرف کم باری استان مازندران، سال پایه ۱۳۹۰ (میلیون کیلووات ساعت)

جدول ۶ تجزیه مصرف میان باری استان مازندران را برای دوره زمانی ۱۳۹۰-۱۴۰۰ ارایه می‌کند. بر اساس این جدول، طی دوره زمانی ۹۱-۱۳۹۰ تغییر مصرف میان باری استان معادل ۲۷۶ میلیون کیلووات ساعت بدست آمده است. اثر شدتی با میزان ۲۰۲ میلیون کیلووات ساعت بیشترین نقش را در مصرف میان باری این دوره ایفا کرده است. اثرات تولیدی و ساختاری در این دوره نیز بر مصرف میان باری افزوده اند. اثر مسلط شدتی نشان دهنده عدم کارایی و عدم صرفه جویی در مصرف میان باری می‌باشد. در دوره زمانی ۹۵-۹۴ تغییر مصرف میان باری استان مازندران معادل ۱۳۴ میلیون کیلووات ساعت بدست آمده و در این روند فزاینده مصرف میان باری برق، سهم اثر فعالیتی چشم گیر بوده است که نشانگر سهم فعالیت‌های صنعتی پر مصرف می‌باشد. در مقابل، اثر شدتی منفی در این دوره نشان دهنده بهبود نسبی کارایی مصرف برق

استان می باشد. اثر ساختاری در این دوره اگرچه منفی ولی قابل توجه نمی باشد. همچنین مصرف میان باری استان مازندران طی دوره زمانی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ معادل ۳۲۴ میلیون کیلووات ساعت بدست آمده است. اثرات ساختاری و تولیدی در این دوره به ترتیب ۲۱۵ و ۱۱۹ میلیون کیلووات ساعت محاسبه شده که نشانگر سهم قابل توجه این مولفه ها در رشد مصرف میان باری استان مازندران می باشد. بر اساس بررسی های انجام شده، اثر منفی شدتی در این دوره زمانی به دلیل انرژی های توزیع نشده ناشی از قطع برق بوده است. تجزیه مصرف میان باری طی دوره زمانی ۱۴۰۰-۱۳۹۰ نشانگر تغییر کل مصرف معادل با ۱,۸۰۹ میلیون کیلووات ساعت است که در این رابطه، اثرات تولیدی و ساختاری به ترتیب ۱,۰۴۴ و ۹۱۹ میلیون کیلووات ساعت نقش تعیین کننده در افزایش مصرف میان باری استان داشته اند. در حالی که اثر شدتی ۱۵۴- میلیون کیلووات ساعت بدست آمده است که نشانگر افزایش نسبی کارایی در مصرف برق میان باری استان مازندران طی دوره مورد بررسی می باشد.

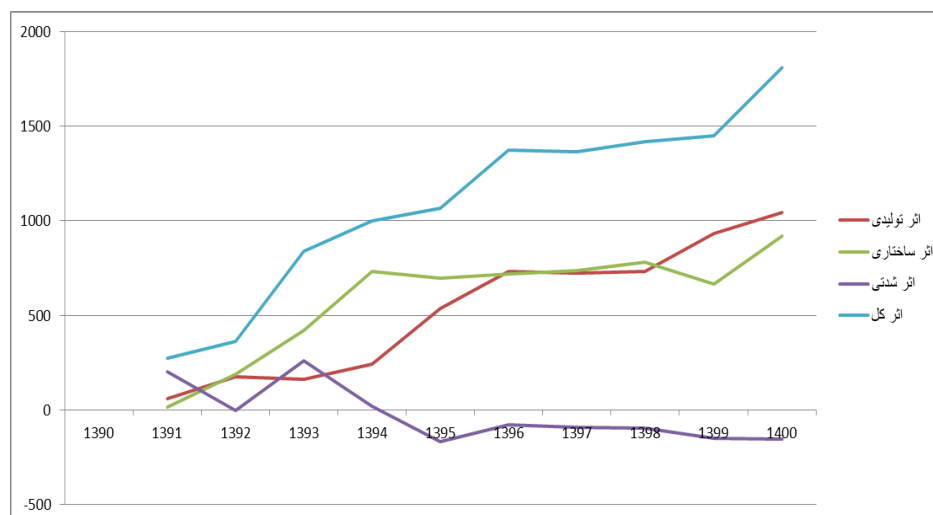
در مجموع، طی دوره زمانی مورد مطالعه، افزایش چشمگیر مصرف میان باری ناشی از اثرات تولیدی و ساختاری بوده است. به نظر می رسد هرگاه مصرف برق با رشد تولید، افزایش یافته، اثر شدتی ناشی از ناکارایی و تلفات مصرف برق نیز افزایش پیدا کرده است.

جدول ۶. تجزیه مصرف میان باری برق استان مازندران (میلیون کیو وات ساعت)

تغییر کل	اثر شدتی	اثر ساختاری	اثر تولیدی	سال
۳۷۶	۲۰۲	۱۵	۵۸	۱۳۹۰-۱۳۹۱
۱۳۴	(۱۹۸)	(۹)	۳۴۲	۱۳۹۴-۱۳۹۵
۳۲۴	(۱۰)	۲۱۵	۱۱۹	۱۳۹۹-۱۴۰۰
۱,۸۰۹	(۱۵۴)	۹۱۹	۱,۰۴۴	۱۳۹۰-۱۴۰۰

منبع: محاسبات تحقیق (بر اساس داده های خام شرکت برق استان مازندران)

همانطور که در نمودار ۴ ملاحظه می شود؛ در روند مصرف میان باری استان مازندران طی دوره زمانی ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰، اثرات ساختاری و تولیدی مسلط بوده است که نشان دهنده تغییر ساختار در جهت توسعه فعالیت های مولد صنعتی و کشاورزی و سهم فعالیت های پر مصرف می باشد. تسلط اثر تولیدی در این دوره می تواند نشان دهنده نیازهای حقیقی بخش های تولیدی به مصرف برق در بخش های مختلف اقتصادی در روند میان باری باشد.



نمودار ۴. اثرات تولیدی، ساختاری، شدتی در مصرف میان باری استان مازندران، سال پایه ۱۳۹۰ (میلیون کیلووات ساعت)

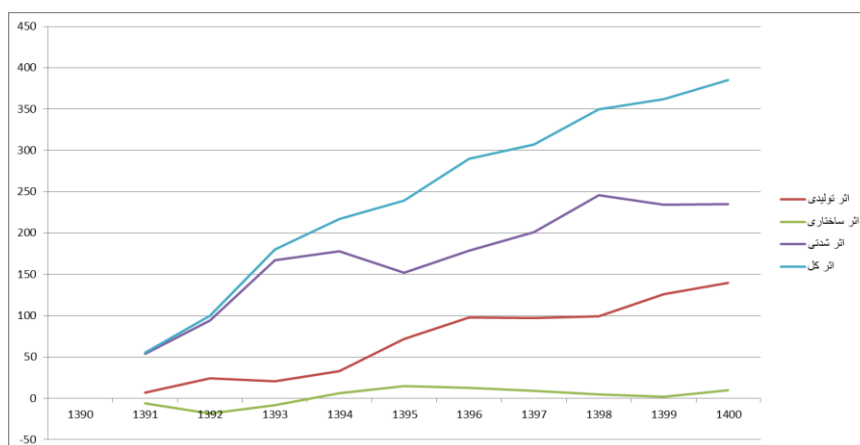
جدول ۷ مصرف پیک یا اوج بار برق استان مازندران را طی دوره زمانی ۱۳۹۰-۱۴۰۰ ارایه می‌کند. همان گونه که در این جدول مشاهده می‌شود طی دوره زمانی ۹۱-۱۳۹۰ تغییر کل مصرف پیک استان معادل ۵۶ میلیون کیلووات ساعت بدست آمده است. تسلط اثر شدتی در مقایسه با دو مولفه دیگر در این دوره می‌تواند ناشی از سهم بالای بخش خانگی و دمای فصل تابستان و استفاده از وسایل سرمایش پر مصرف باشد. در مقابل طی دوره زمانی ۹۵-۱۳۹۴ و با توجه به آمار هواشناسی استان مازندران و شرکت توزیع برق استان مازندران، متوسط حداکثر دما نسبت به سال‌های قبل زیاد نبوده و بخش خانگی، پیک مصرف کمتری را به خود اختصاص داده است. احتمالاً به همین دلیل، اثر شدتی در این دوره معادل ۱۴- میلیون کیلووات ساعت بدست آمده است که نشانگر بهبود کارایی پیک مصرف برق در این دوره می‌باشد. طی دوره زمانی ۱۳۹۹-۱۴۰۰ در تغییر مصرف اوج بار استان مازندران، اثر شدتی نسبت به اثرات تولیدی و ساختاری کمتر بوده است که دلیل آن می‌تواند انرژی‌های توزیع نشده ناشی از قطعی برق باشد. در این دوره، هر سه اثر موجب افزایش پیک مصرف برق شده‌اند. نتایج تجزیه مصرف پیک برق استان مازندران طی دوره زمانی ۱۴۰۰-۱۳۹۰ نشان می‌دهد بطور متوسط اثر شدتی در مقایسه با دو مولفه دیگر قوی‌تر عمل کرده ولی هر سه اثر به ویژه دو اثر شدتی و تولیدی به افزایش مصرف پیک برق منجر شده است.

جدول ۷. نتایج تجزیه مصرف اوج بار استان مازندران (میلیون کیلووات ساعت)

تغییر کل	اثر شدتی	اثر ساختاری	اثر تولیدی	سال
۵۶	۵۴	(۶)	۷	۱۳۹۰-۱۳۹۱
۵۲	(۱۴)	۶	۶۰	۱۳۹۴-۱۳۹۵
۵۹	۶	۲۷	۲۵	۱۳۹۹-۱۴۰۰
۳۸۵	۲۳۵	۱۰	۱۴۰	۱۳۹۰-۱۴۰۰

منبع: محاسبات تحقیق (بر اساس داده‌های خام شرکت برق استان مازندران)

همانطور که در نمودار ۵ ملاحظه می‌شود؛ در روند مصرف اوج بار طی دوره زمانی ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰، اثر شدتی بطور متوسط سهم غالب داشته به گونه ای که ۷۰٪ از تغییر مصرف پیک برق به این اثر اختصاص پیدا کرده است. سهم اثرات تولیدی و ساختاری طی این دوره زمانی به ترتیب معادل ۲۹٪ و ۱٪ از مصرف اوج بار استان بوده است. سهم اثر ساختاری در روند پرباری در این دوره مورد بررسی اثری منفی بر مصرف برق داشته است، بر اساس این نتایج می‌توان گفت ناکارایی در مصرف برق استان مازندران طی دوره مورد مطالعه مهمترین عامل افزایش پیک مصرف برق بوده است.



نمودار ۵. اثرات تولیدی، ساختاری، شدتی مصرف اوج بار استان مازندران، سال پایه ۱۳۹۰ (میلیون کیلووات ساعت)

مقایسه تطبیقی مولفه های تجزیه انواع مصرف برق (کل، کم باری، میان باری و اوج بار) در استان مازندران نشان می‌دهد بطور متوسط اثر شدتی در مقایسه با مولفه های دیگر نقش مهمتری در مصارف کم باری و اوج بار داشته است که می‌تواند ناشی از ناکارایی در مصرف برق به دلیل نبود تکنولوژی مناسب، عدم دسترسی به تجهیزات الکتریکی در بخش خانگی (برای توسعه بخش خانگی) و محدودیت های بخش صنعتی باشد. در روند میان باری اثر ساختاری نسبت به مولفه های دیگر قوی تر بوده است؛ علت بالا بودن نسبی اثر ساختاری در روند مصرف میان باری در دوره مورد بررسی می‌توان رشد نسبی بخش صنعت و کشاورزی دانست. روند های کم باری، میان باری و پرباری مصرف برق اثر تولیدی در دوره های ۱۳۹۲-۱۳۹۳ و ۱۳۹۵-۱۳۹۶ یکی بوده چون در این دوره ها اثر تولیدی در تمامی روندها منفی بوده است. در این دوره های مورد بررسی، روند مصرف پرباری، اثر شدتی قویتر از مولفه های دیگر بوده است؛ چرا که مصارف سرمایشی نقش مهم در افزایش اثر شدتی مصرف برق دارند با توجه به آمار شرکت توزیع برق استان مازندران از نظر انرژی میزان حداکثر توان مصارف سرمایشی حدود دو برابر حداکثر توان فصول غیر گرم سال می‌باشد. با توجه به فصل سوم تحقیق که مصرف برق استان مازندران را مورد بررسی قرار گرفت، مشاهده شد که بخش خانگی بیشترین مصرف برق را در سال های مورد مطالعه داشته است؛ و هر وقت در بخش خانگی مصرف برق زیاد شود اثر شدتی بالا می‌رود و باعث عدم

کارایی برق می‌شود؛ همچنین با توجه به تجزیه ای که صورت گرفته است؛ نشان می‌دهد که اثر شدتی در استان مازندران نسبت به اثرات ساختاری و تولیدی قوی‌تر عمل کرده است. با توجه به آمار شرکت توزیع برق استان مازندران سهم مشترکین صنعتی (از لحاظ مصرف انرژی) در این منطقه پایین است. زیرا صنایع بزرگ مانند: (فولا، پتروشیمی، خودرو، ذوب فلزات) در این منطقه حضور ندارند؛ و به همین دلیل اثر ساختاری در روندهای کم باری و پر باری نسبت به اثر شدتی و اثر تولیدی ضعیف‌تر بوده است.

در پایان ذکر چند نکته مهم است؛ اولاً استان مازندران به دلیل جاذبه‌های مختلف همواره مورد توجه گردشگران و مناطق دیگر کشور بوده و این موضوع باعث شده است که جمعیت استان به ویژه در ایام تعطیل به شدت افزایش یابد. به عنوان نمونه، جمعیت استان در ایام عید به ۱۸ میلیون نفر افزایش می‌یابد و این موضوع فشار زیادی به شبکه سراسری وارد می‌کند. به نظر می‌رسد افزایش مقطعی و دائمی جمعیت استان مازندران یکی از عوامل مهم در افزایش مصارف کم باری، میان باری و اوج بار این استان به ویژه در بخش خانگی باشد. ثانیاً فشار روی مصارف برق بخش خانگی موجب فشار روی بخش تولیدی استان شده و تحلیل روند اثر فعالیت‌های تولیدی شدت برق در استان مازندران نشانگر همین واقعیت می‌باشد. در این رابطه، افزایش کل مصرف بخش خانگی طی دوره زمانی ۱۱ ساله مورد بررسی ۱۰۶ درصد بوده که بیش از ۳ برابر مصرف برق بخش صنعت (۳۰ درصد) افزایش نشان می‌دهد. بر اساس داده‌های مرکز آمار ایران، ارزش افزوده بخش خانگی طی دوره ۱۱ ساله منتهی به ۱۴۰۰ حدود ۱۴۷ درصد افزایش داشته است که با ۷ درصد رشد ارزش افزوده صنعت قابل مقایسه است. ثالثاً بر اساس واقعیت اخیر و همچنین فشار تحریم‌های اقتصادی، اثر شدتی به نفع افزایش مصرف برق عمل کرده است و با توجه به تحلیل روند مصارف برق استان، عدم کارایی مصرف یکی از مهمترین عوامل در افزایش مصرف برق طی دوره زمانی مورد مطالعه بوده است. افزایش قیمت برق طی ۱۱ سال مورد مطالعه نیز نتوانسته است مصرف برق را به ویژه در بخش خانگی کاهش دهد و این می‌تواند ناشی از پایین بودن کشش قیمتی تقاضای برق و کم اثر بودن سیاست قیمتی به ویژه در کاهش مصرف بخش خانگی باشد. خاموشی‌های برق و همچنین محدودیت‌های بار بر بخش تولید نیز نشانگر همین واقعیت است.

۴. جمع‌بندی و پیشنهادات

هدف اصلی پژوهش حاضر، تجزیه و تحلیل شدت برق استان مازندران طی دوره زمانی ۱۳۹۰-۱۴۰۰ می‌باشد. برای این منظور، شدت مصرف برق استان طی دوره مورد مطالعه، در بخش‌های مختلف اقتصادی و همچنین بر اساس نوع بار به اثرات تولیدی، ساختاری و شدتی تجزیه شده است. نتایج این مطالعه در روند کم باری و میان باری حاکی از افزایش مصرف برق در بخش خانگی و کاهش مصرف برق در بخش صنعتی استان است. این موضوع می‌تواند ناشی از افزایش جمعیت، مهاجرت و گسترش شهرنشینی و دسترسی به تجهیزات برقی و متعاقب آن‌ها افزایش رفاه خانوارها و در مقابل،

محدود شدن بخش صنعتی استان طی دوره مورد بررسی باشد. البته سوگیری مدیریت بار در جهت تامین برق آنی بخش خانگی در این روند بی تاثیر نبوده است. علیرغم این موضوع، یافته های تحقیق حاضر نشان می دهد که اثر شدتی عموماً نشانگر افول کارایی مصرف انرژی الکتریکی می باشد. همچنین، اثر شدتی استان مازندران به شدت متأثر از فصل تابستان می باشد چون بخش خانگی در این فصل عموماً از وسایل سرمایشی پرمصرف استفاده می کند. این در حالی است که بخش های تولیدی با شدت برق بالا با محدودیت های مصرف در تابستان مواجه می شوند. در خصوص اثر تولیدی نکته دیگری قابل ذکر است و آن اثر تحریم های اقتصادی بر ظرفیت بلااستفاده بخش های تولیدی است که احتمالاً با محدودیت واردات ماشین آلات جدید باعث افزایش ناکارایی و مصرف برق در این بخش ها شده است. اثر شدتی عموماً مثبت بوده است که نشانگر موضوع اخیر است. البته اثر شدتی منفی در برخی سال ها می تواند ناشی از انرژی های توزیع نشده و قطعی برق باشد.

بر اساس یافته های مطالعه حاضر، مولفه های مصرف برق استان طی دوره مورد بررسی دارای نوسان بوده و بی ثبات هستند. به نظر می رسد برنامه بلندمدت مشخصی برای مدیریت مصرف بار وجود ندارد. زمانی که مصرف برق افزایش می یابد، اعمال مدیریت بار با اولویت تامین برق خانگی، محدودیت های صنعتی و قطع برق در زمان پیک مصرف بوده است. این نحوه مدیریت بار موجب نارضایتی مشترکین شده و اثرات منفی بر سمت عرضه اقتصاد شده است. این در حالی است که کشورهای توسعه یافته در کنار تنظیم گری در صنعت برق به دنبال هوشمندسازی شبکه برق و ایجاد ارتباط نزدیک دو سویه میان مشترکان مصرف برق و شرکت برق در جهت مدیریت بار و افزایش اتکاپذیری برق هستند. به نظر می رسد صنعت برق در کنار بهبود کیفیت عرضه برق باید مدیریت بار را با برنامه ریزی های بالادستی رشد و توسعه اقتصادی هماهنگ نماید. این در حالی است که اعمال مدیریت بار در کشور به صورت لحظه ای و ساعتی بوده است. مشخصاً مدیریت بار در زمان اوج مصرف برق اقدام به پیک سایی برای کاهش تقاضای برق کرده است و در این رابطه، محدودیت بیشتری به بخش های تولیدی اعمال شده است. این موضوع می تواند یک خطر جدی برای بهبود ساختار اقتصادی و توسعه فعالیت های تولیدی متأثر از پیک سایی به شمار رود. در این راستا توصیه می شود که تا حد ممکن، مصرف برق خانگی از ساعات پیک به ساعات دیگر منتقل شود. البته این موضوع در کنار برنامه ریزی های درون صنعت برق به برنامه ریزی های کلان نیز وابسته است. به عنوان مثال، نمایش سریال های تلویزیونی در ساعات غیرپیک، افزایش کیفیت تجهیزات برقی سفید داخلی می تواند به کاهش فشار به شبکه برق بینجامد. صنعت برق ضمن اعمال مدیریت بار کوتاه مدت باید اقدام به پیش بینی نتایج اعمال مدیریت بار برای میان مدت و بلندمدت نماید و برای افزایش اتکاپذیری، اقدام به سرمایه گذاری برای توسعه ظرفیت های نیروگاهی با بازده بالا نماید، حمایت بیشتری از تولیدات پراکنده به عمل آورد و در محیط کاملاً رقابتی اقدام به خرید برق از تولیدکنندگان مستقل و افزایش کیفیت خدمات نماید.

سخن پایانی مطالعه حاضر این است که اعمال مدیریت بار باید تکنیکی و البته در راستای برنامه‌های توسعه تولید ملی باشد. در این چارچوب، برنامه‌هایی برای بهبود اثر شدتی در بخش‌های مختلف اقتصادی تدوین شود و همچنین، اثرات ساختاری و تولید با برنامه‌های بالادستی توسعه هماهنگ باشند. همچنین شایسته است که به مولفه‌های بار در برنامه‌ریزی‌های اقتصادی صنعت برق توجه بیشتری صورت گیرد چه بسا مدیریت مصرف میان باری و کم باری می‌تواند به همان اندازه مدیریت پیک بار مهم باشد چون سرمایه‌گذاری در صنعت برق می‌تواند تابع ترکیب مولفه‌های بار نیز باشد.

منابع و مأخذ

- بیابانی خامنه، کاظم و صادقی سقدل، حسین (۱۳۹۳). تجزیه مصرف برق در ایران رویکرد شاخص میانگین لگاریتمی دیویژیا. بیست و نهمین کنفرانس بین‌المللی برق، تهران.
- بیات، ندا؛ ورهرامی، ویدا و سالم، علی اصغر (۱۳۹۷). تعیین عوامل اقتصادی-اجتماعی موثر بر مخارج برق خانوارهای روستایی ایران با استفاده از نقشه‌های خود سازمانده دسته‌ای. *اقتصاد و الگوسازی*، ۹(۴): ۱۵۷-۱۴۷.
- ترازنامه انرژی، دفتر برنامه‌ریزی و اقتصاد کلان برق و انرژی، وزارت نیرو، سال‌های مختلف.
- توانا نجار، امیر و فیضی، مهدی (۱۳۹۴). بررسی تغییرات مصرف برق بخش خانگی ایران با استفاده از روش تحلیل تجزیه شاخص. دهمین همایش بین‌المللی انرژی، تهران.
- شرکت توزیع نیروی برق مازندران، درگاه آماری، کارنامه سال‌های مختلف.
- شرکت توزیع نیروی برق مازندران، ریزداده‌های مصرف برق استان مازندران، سال‌های مختلف.
- شرکت مدیریت شبکه برق ایران (۱۴۰۱). دستورالعمل‌های ثابت بهره‌برداری مدیریت بار و انرژی. معاونت راهبری شبکه برق کشور.
- محمدی، سارا؛ مهرگان، نادر و حقانی، محمود (۱۳۸۸). تجزیه و تحلیل مصرف برق در بخش‌های اقتصادی ایران. بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق، تهران.
- موسوی، سیده حسنا و محمدیان، فرشته (۱۴۰۱). تجزیه و تحلیل مصرف برق ایران: کاربرد تحلیل تجزیه شاخص و تحلیل جداسازی. *پژوهش‌های اقتصاد صنعتی*، ۶(۱۹): ۷۵-۶۳.

Andersen, F. M., Gunkel, P. A., Jacobsen, H. K., and Kitzing, L. (2021). Residential electricity consumption and household characteristics: An econometric analysis of Danish smart-meter data. *Energy Economics*, Elsevier, vol. 100(C).

Bhattacharyya, C. (2011). *Energy Economics: Concepts, Issues, Markets and Governance*, Springer.

Lin, B. and Raza, M. Y. (2021). Analysis of electricity consumption in Pakistan using index decomposition and decoupling approach, *Energy*, Elsevier, vol. 214(C).

Swisher J.N., Martino Jannuzzi G. de, and Redlinger R.Y. (1997). *Tools and methods for integrated resource planning: improving energy efficiency and protecting the environment*, United Nations Environmental Programme, Roskilde (Denmark).

- Wang, Y.; Liu, Y.; Huang, L.; Zhang, Q.; Gao, W.; Sun, Q., and Li, X. (2022). Decomposition the driving force of regional electricity consumption in Japan from 2001 to 2015, *Applied Energy*, 308(22): 118-365.
- World Bank (2005). *Primer on Demand-Side Management: With an Emphasis on Price-Responsive Programs*. Washington, DC.
- Zhang C., Su, B., Zhou, K., and Yang, S. (2019). Analysis of electricity consumption in China(1990-2016) using index decomposition and decoupling approach. *Journal of cleaner production*, 209(19): 224-235.
- Zhang, M., and Wang, W. (2013). Decoupling analysis of electricity consumption from economic growth in china, *Journal of Energy in Southern Africa*, 24(2): 57-66.