



ISSN: 2538-3809

فصلنامه علمی تازه‌تشریه‌های نوین مهندسی

سال پنجم، شماره ۱ (پیاپی ۲۹)، بهار ۱۳۹۹

ارزیابی لرزه‌ای تأثیر بی‌نظمی افقی و عمودی سازه بر رفتار پیچشی
سازه‌های مقاوم‌سازی شده با دیوار برشی و مهاربندی
علی بیگلری فدافن، فرهاد نیک فراز

بررسی نیروی لرزه‌ای وارد بر میانقاب‌ها با چیدمان متفاوت در پلان
سید علیرضا کازرونیان، علی احمدی‌زاده

بررسی و تعیین مهمترین شاخص‌ها در مکانیابی ایستگاه‌های شارژ
خودروهای الکتریکی در شبکه‌های توزیع برق
سید محمد رضوانی، علی اصغر شجاعی، سیدمحمد رضا موسوی تقی‌آبادی

پیش‌بینی تأثیر توان توربین‌های بادی در بازار برق
اکتای شفیع‌ی فسقندیس

تکنولوژی MOSFET و طراحی منابع ولتاژ و جریان
محمد زمانی

پیش‌بینی وقوع مرگ تا ۳۰ روز بر اساس سن بیمار و حجم خون‌ریزی در
عکس سی‌تی‌اسکن با استفاده از هوش مصنوعی
نسترن کرانی، محمدامیر ستاری، غلامحسین روشنی، سعید ستایشی

طراحی و شبیه‌سازی اینورتر ۱۳ سطحی تک‌فاز سلول U
محسن یحیی‌آبادی، علی اصغر شجاعی، سامان طوسی، احسان دشتبانی



صاحب امتیاز و مدیرمسئول: امیرحسین یوسفی زیرنظر شورای سردبیری مدیر اجرایی: منیژه ملائی

نشریه

تهران، افسریه، ۱۵ متری چهارم، کوچه ۳۸، پلاک ۲۸، واحد ۲
نشانی: کرج، بلوار امام خمینی (یاغستان)، بین خیابان پنجم و ششم، روبروی مجموعه ورزشی انقلاب، پلاک ۷۳۵، ساختمان پزند، واحد یک
www.NRES.ir • ۰۲۶۳۴۳۳۶۶۸ / ۰۲۱۳۳۲۰۳۴۸۷

چاپ

انتشارات هنر و علوم دانشگاهی، تلفن: ۰۲۱۳۳۸۴۰۷۹۲
نشانی: تهران، افسریه، ۱۵ متری اول، کوچه ۲۸، پلاک ۲۹۳

اعضای شورای علمی و داوری تحریریه: (به ترتیب حروف الفبا)

- دکتر محمدعلی ارجمند، عضو هیئت علمی دانشگاه تربیت دبیر شهیدرجایی
- دکتر شهروز اسدی، عضو هیئت علمی دانشگاه شهید بهشتی
- دکتر رضا افضلی، عضو هیئت علمی دانشگاه خواجه نصرالدین طوسی
- دکتر علی جباری، عضو هیئت علمی دانشگاه اراک
- دکتر نعمت حسینی، عضو هیئت علمی دانشگاه شهید بهشتی
- دکتر راحله خادمیان، عضو هیئت علمی دانشگاه بین‌المللی امام خمینی
- دکتر چنگیز دهقانپایان، عضو هیئت علمی دانشگاه تهران
- دکتر علی رحمانی هنزکی، عضو هیئت علمی دانشگاه تربیت دبیر شهیدرجایی
- دکتر قدرت الله رودینی، عضو هیئت علمی دانشگاه سیستان و بلوچستان
- دکتر محبعلی رهدار، عضو هیئت علمی دانشگاه سیستان و بلوچستان
- دکتر مرتضی زبودار، عضو هیئت علمی دانشگاه سیستان و بلوچستان
- دکتر علی فروغی، عضو هیئت علمی دانشگاه تبریز
- دکتر محمدحسین کاظمی، عضو هیئت علمی دانشگاه شاهد
- دکتر علی لکی روحانی، عضو هیئت علمی دانشگاه زنجان
- دکتر سیدحمید هاشمی، عضو هیئت علمی دانشگاه اراک
- دکتر هجیر کریمی، عضو هیئت علمی دانشگاه یاسوج

فراخوان پذیرش مقاله:

نشریه «پژوهش‌های نوین علوم مهندسی» توسط موسسه مطبوعاتی مطالعات کاربردی شباک و با همکاری علمی اساتید برجسته دانشگاه‌های کشور به انتشار مقالات علمی در حوزه‌های مختلف علوم مهندسی می‌پردازد. از این‌رو از تمام اساتید، صاحب‌نظران، کارشناسان، دانشجویان و پژوهشگران دعوت می‌شود با ارسال مقالات علمی خود از طریق وبسایت نشریه به نشانی www.Nres.ir در پربارتر کردن این نشریه، ما را یاری نمایند. برای ارسال مقاله کافی است تا در وبسایت ثبت‌نام نموده و با ورود به پنل کاربری، مقاله خود را ثبت کنید.

محورها و موضوعات پذیرش مقاله:

- | | |
|--------------------------|------------------------------------|
| - مهندسی صنایع | - مهندسی برق و الکترونیک |
| - مهندسی عمران | - مهندسی انرژی و فیزیک |
| - مهندسی مکانیک | - مهندسی شیمی، نفت و پلیمر |
| - مهندسی معدن | - مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات |
| - مهندسی هوا فضا | - مبانی علوم مهندسی |
| - مهندسی مواد و متالورژی | - مدیریت دانش در علوم مهندسی |

فهرست مقالات

صفحه	عنوان مقاله
۱	ارزیابی لرزه‌ای تأثیر بی‌نظمی افقی و عمودی سازه بر رفتار پیچشی سازه‌های مقاوم‌سازی شده با دیوار برشی و مهاربندی علی بیگلری فدافن، فرهاد نیک فراز
۹	بررسی نیروی لرزه‌ای وارد بر میانقاب‌ها با چیدمان متفاوت در پلان سید علیرضا کازرونیان، علی احمدی‌زاده
۱۷	بررسی و تعیین مهم‌ترین شاخص‌ها در مکان‌یابی ایستگاه‌های شارژ خودروهای الکتریکی در شبکه‌های توزیع برق سید محمد رضوانی، علی اصغر شجاعی، سید محمد رضا موسوی تقی‌آبادی
۲۹	پیش‌بینی تأثیر توان توربین‌های بادی در بازار برق اکتای شفیع فسقندیس
۴۳	تکنولوژی MOSFET و طراحی منابع ولتاژ و جریان محمد زمانی
۵۵	پیش‌بینی وقوع مرگ تا ۳۰ روز بر اساس سن بیمار و حجم خون‌ریزی در عکس سی تی اسکن با استفاده از هوش مصنوعی نسترن کرانی، محمدامیر ستاری، غلامحسین روشنی، سعید ستایشی
۶۳	طراحی و شبیه‌سازی اینورتر ۱۳ سطحی تک‌فاز سلول U محسن یحیی آبادی، علی اصغر شجاعی، سامان طوسی، احسان دشتبانی

ارزیابی لرزه‌ای تأثیر بی‌نظمی افقی و عمودی سازه بر رفتار پیچشی سازه‌های مقاوم‌سازی شده با دیوار برشی و مهاربندی

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۱/۲۴

تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۲/۲۴

کد مقاله: ۶۳۴۵۰

علی بیگلری فدافن*^۱، فرهاد نیک فراز^۲

چکیده

در وضعیت کنونی، بیشتر ساختمان‌ها به دلیل بی‌نظمی پیچشی در ساختار خود آسیب می‌بینند. در سازه‌های مرتفع پیچش ممکن است به دلایل مختلفی مانند بی‌نظمی هندسی و بی‌نظمی سازه‌ای رخ دهد. این نوع نامنظمی شامل بی‌نظمی در تراز افقی سازه و همچنین بی‌نظمی عمودی در رفتار سازه است. در ساختارهای نامتقارن، آسیب‌های ناشی از اثر افزایش پیچش به آن‌ها وارد می‌شود و باعث افزایش خسارت‌های احتمالی در زمان وقوع زمین‌لرزه می‌گردد. در این پژوهش به منظور درک رفتار پیچش در سازه تحت تأثیر بارهای لرزه‌ای، رفتار سازه‌هایی با ساختار سازه‌ای متفاوت به گونه‌ای که بتوان رفتار سازه منظم و نامنظم را در مورد بررسی قرارداد، در نظر گرفته شده است. به منظور مقاوم‌سازی هریک از این ساختارهای سازه‌ای از تحلیل تاریخیچه زمانی اتصالات گیردار، دیوار برشی و مهاربندی هم‌مرکز استفاده شده است. بر اساس نتایج تحلیل تاریخیچه زمانی و مقایسه و تحلیل پارامترهای مختلف ساختاری مانند جابه‌جایی، تغییر مکان نسبی طبقه و برش طبقات در هر طبقه مورد توجه قرار گرفته است. نتایج این پژوهش بر نقش مؤثر دیوار برشی و قاب‌های مهاربندی شده در مقاوم‌سازی لرزه‌ای سازه‌های نامنظم تأکید دارد.

واژگان کلیدی: بی‌نظمی افقی، بی‌نظمی عمودی، بی‌نظمی پیچشی، دیوار برشی، مهاربندی

۱- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی مهندسی گرگان، دانشگاه گلستان، Biglari.a@gmail.com

۲- دانشجوی کارشناسی عمران، دانشکده فنی مهندسی گرگان، دانشگاه گلستان

۱- مقدمه

امواج لرزه‌ای می‌توانند باعث ایجاد خسارت در ساختمان و فروپاشی ناگهانی سازه شوند. ساختمان‌هایی که دارای ناپیوستگی در جرم، هندسه و سختی هستند با عنوان بی‌نظمی در سازه شناخته می‌شوند [۱]. وجود بی‌نظمی در سازه باعث کاهش عملکرد مناسب لرزه‌ای خواهد شد. به دلیل وجود این بی‌نظمی در سازه، در زمان وقوع زمین‌لرزه نیروهای جانبی زیادی که می‌تواند باعث آسیب شود بر سازه اعمال می‌گردد. به همین دلیل تلاش می‌شود در سازه‌ها از بی‌نظمی در توزیع پارامترهای کلیدی پرهیز شود. در زمان وقوع زمین‌لرزه یک ساختمان تحت اثر بارهای دینامیکی قرار دارد، از این‌رو نیروهای اینرسی ناشی از عملکرد دینامیکی توسعه‌یافته را می‌توان به صورت ساده‌شده در مرکز جرم سازه متمرکز شده در نظر گرفت. اعضای مانند ستون‌ها و دیوارهای برشی، مهاربندی‌ها و اتصالات، سختی لازم به منظور تحمل نیروهای اینرسی را به وجود می‌آورد و این اثر در مرکز سختی سازه به صورت متمرکز در نظر گرفته می‌شود [۱ و ۲]. از منظر محاسباتی عدم تطابق مرکز جرم و مرکز سختی در یک نقطه که شاخص نامنظمی در رفتار سازه هست، عامل به وجود آورنده لنگر پیچشی خواهد شد که رفتار سازه را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد.

۲- بی‌نظمی ساختاری

در سازه باتوجه به غیر یکنواختی هندسه، توزیع جرم، توزیع سختی که باعث تفاوت مرکز سختی و مرکز جرم می‌شود، رفتار پیچشی در سازه شکل می‌گیرد [۱ و ۲]. بارهای لرزه‌ای در مرکز جرم و نیروهای مقاوم در مرکز سختی سازه اعمال می‌گردند. پیچش در سازه زمانی به وجود می‌آید که مرکز جرم و مرکز سختی در یک موقعیت نباشند. عوامل مؤثر در این رفتار سازه در جدول (۱) مشخص گردیده است.

جدول ۱. عوامل مؤثر بر رفتار پیچشی سازه

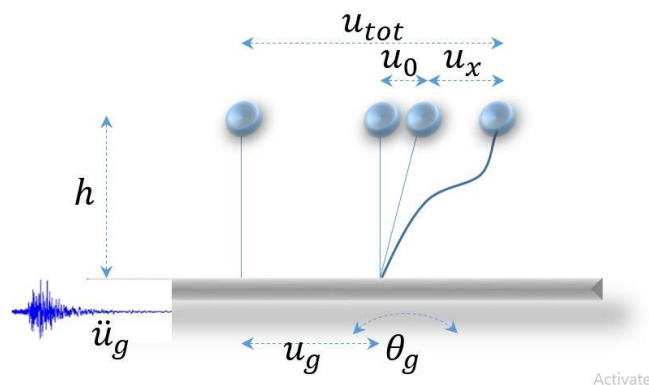
نوع نامنظمی	
نامنظمی در هندسه	در ارتفاع
	در تراز افقی
	عدم تقارن در هندسه
نامنظمی در سختی	ارتفاع
	در تراز افقی
	عدم تقارن در ساختار عناصر مقاوم

نوع نامنظمی	
ارتفاع	نامنظمی در جرم
در تراز افقی	
ناپیوستگی در در جرم	

وجود هر یک از پارامترهای مؤثر در رفتار دینامیکی سازه (جدول ۱) نظیر ناپیوستگی در جرم، هندسه، سختی سازه باعث تشدید اثرات لرزه‌ای خواهد شد. در فرآیند تحلیل دستی سازه‌ها مرکز جرم و مرکز سختی محاسبه می‌شوند، سپس مقدار خروج از مرکزیت محاسبه شده و مقدار لنگر پیچشی حاصل از این خروج از مرکزیت در طراحی سازه به کار گرفته می‌شود. نیاز به در نظر گرفتن این اثرات در طراحی سازه‌های خاص به دلیل تنوع فرکانسی از مواردی است که باید مورد توجه قرار گیرد. بر اساس معیارها و محدودیت‌های مشخص شده برای بی‌نظمی‌های مختلف، بر عملکرد دقیق روش‌های تحلیل دینامیکی غیر الاستیک در مقایسه با سایر روش‌ها ساده سازی تأکید شده است [۳ و ۴] به کارگیری تحلیل تاریخچه زمانی، پاسخ دقیق سازه به تحریک زلزله را فراهم می‌سازد. با مدلسازی سازه در فضای سه بعدی رفتار سازه را می‌توان به دو بخش اصلی تقسیم کرد که شامل تغییر شکل‌های انتقالی و پیچشی می‌باشد.

۳- مبانی نظری وقوع پیچش

رفتار پیچشی سازه ناشی از زمین‌لرزه حول محور عمودی و دو محور افقی می‌تواند مورد بررسی قرار گیرد. امواج افقی ثانویه و امواج سطحی و امواج حاوی فرکانس بر این رفتار بسیار تأثیرگذار است. از منظر دینامیکی در حوزه رفتار سازه، در رفتار کلاسیک به صورت متداول از اثر مستقیم بخش پیچشی صرف نظر می‌گردد و تنها با محدود کردن بی‌نظمی‌ها بر مبنای روش‌های متداول تحلیل تاریخچه زمانی بسنده می‌شود. در یک سیستم یک درجه آزادی SDoF^۱ با جرم، سختی K, M ، (شکل ۱) نشان داده شده است.



شکل ۱. سیستم یک درجه آزادی SDoF

به صورت متداول در یک سیستم یک درجه آزادی (شکل ۱) معادله ارتعاش انتقالی با صرف نظر کردن از اثر میرایی به صورت زیر نوشته می‌شود [۶ و ۷].

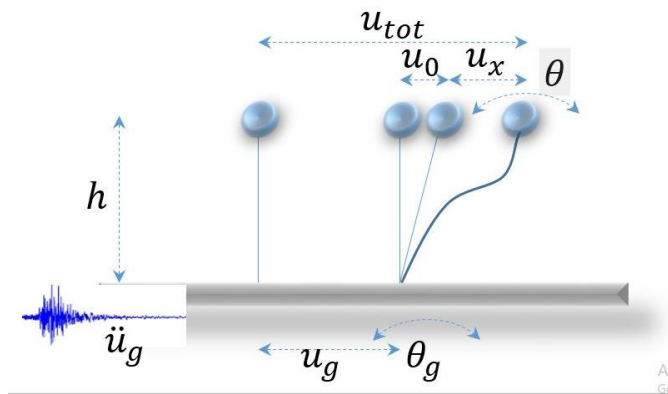
$$M\ddot{u}_x + Ku_x = -M\ddot{u}_g$$

در صورتی که اثر دوران شالوده نیز در نگارش معادله رفتار دینامیکی سازه در نظر گرفته شود (با صرف نظر کردن از حرکت قائم زمین‌لرزه)، معادله به صورت زیر تعریف خواهد شد.

$$M\ddot{u}_x + Ku_x = -M\ddot{u}_g - Mh\ddot{\theta}_g$$

1 Single Degree of Freedom

اما در صورتیکه برای سیستم یک درجه آزادی معرفی شده در شکل ۱ درجه آزادی دورانی افزوده شده ای برای جرم متمرکز مطابق شکل ۲ در نظر گرفته شود، که خواهیم داشت:



شکل ۲. سیستم دو درجه آزادی^۱ DDof

در این صورت معادله حرکت انتقالی و دورانی جرم متمرکز را می توان به صورت زیر نوشت.

$$\begin{cases} M\ddot{u}_x + K_{uu}u_x + K_{u\theta}\theta = -M\ddot{u}_g - Mh\ddot{\theta}_g \\ I_{cm}\ddot{\theta} + K_{\theta u}u_x + K_{\theta\theta}\theta = -(I_{cm} + Mh^2)\ddot{\theta}_g \end{cases}$$

در صورتیکه معادله فوق به صورت ماتریسی مرتب شود، خواهیم داشت.

$$\begin{bmatrix} M & 0 \\ 0 & I_{cm} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{u}_x \\ \ddot{\theta} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} K_{uu} & K_{u\theta} \\ K_{\theta u} & K_{\theta\theta} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_x \\ \theta \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} -M & -Mh \\ 0 & -I_{cm} - Mh^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{u}_g \\ \ddot{\theta}_g \end{Bmatrix}$$

با ساده سازی معادله فوق می توان نوشت:

$$M\ddot{u}_x + K_{uu}u_x = P(u_x)$$

که در رابطه فوق مقدار بردار بار P به صورت زیر قابل تعریف می باشد.

$$P(u_x) = -M\ddot{u}_g - \left(Mh - (Mh^2 + I_{cm}) \frac{K_{u\theta}}{K_{\theta\theta}} \right) \ddot{\theta}_g + I_{cm} \ddot{\theta} \frac{K_{u\theta}}{K_{\theta\theta}} + \frac{K_{u\theta}K_{\theta u}}{K_{\theta\theta}} u_x$$

در حالیکه اگر از دوران شالوده صرف نظر شود، مقدار بردار P را به صورت ساده شده زیر می توان نوشت.

$$P(u_x) = -M\ddot{u}_g + I_{cm} \ddot{\theta} \frac{K_{u\theta}}{K_{\theta\theta}} + \frac{K_{u\theta}K_{\theta u}}{K_{\theta\theta}} u_x$$

که نشان می دهد با افزایش مقدار تغییر شکل سازه سهم پیچش در رفتار لرزه ای سازه افزایش می یابد.

معادله فوق را می توان در حالت سه بعد توسعه داد. در این مورد، درجات آزادی حرکتی شامل سه شتاب انتقالی و سه شتاب

پیچشی خواهد بود. به این منظور الگوریتم تحلیل تاریخچه زمانی به صورت غیر خطی و تکراری می تواند مورد استفاده قرار گیرد.

۴-مدلسازی عددی

با توجه به لزوم بررسی اثر این رفتار پیچشی ناشی از عدم تقارن به منظور درک کردن رفتار سازه با توجه به بی نظمی افقی و بی نظمی عمودی در مدل، انجام مطالعه به روش مقایسه در سازه منظم و نا منظم کمک خواهد کرد تا اثر پارامترهای مختلف سازه ای مانند تغییر شکل سازه، جا به جایی طبقه، برش طبقه، تغییر مکان نسبی طبقه و بی نظمی پیچشی محاسبه شود. در این پروژه آنالیز یک ساختمان بیست طبقه تحت بارهای لرزه ای با استفاده از روش تاریخچه زمانی انجام شده است. این سازه شامل ۵ دهانه به طول ۶ متر در هر دو راستا به گونه ای که در راستای X نامتقارن و در راستای Y متقارن در نظر گرفته شده است تا امکان ارزیابی رفتار قاب های منظم و نامنظم در یک ساختمان امکان پذیر شود.

در این بررسی به منظور اعمال نامنظمی از تغییر در سختی سازه و جرم در سه وضعیت سازه با اتصالات گیردار MRF^۱، سازه با دیوار برشی و سازه با مهاربندی هم مرکز CBF^۲، استفاده شده است. رفتار سازه با فرض خاک نوع دو در نظر گرفته شده و بارگذاری و طراحی بر اساس آیین نامه انجام شده است.

1 Double Degree of Freedoms

2 Moment Resistant Frame

در این پروژه رفتار لرزه‌ای ساختمان‌های طبقه بندی شده منظم و نامنظم و تحت بارهای لرزه‌ای به روش عددی محاسبه شده و مورد بررسی قرار می‌گیرد. پاسخ لرزه‌ای سازه به صورت عددی و با استفاده از تحلیل تاریخیچه زمانی محاسبه شده و حداکثر مقدار جابجایی، برشی پایه و گشتاور بیشینه مورد بررسی قرار می‌گیرد.

از پنج شتاب نگاشت واقعی به عنوان ورودی لرزه‌ای در تجزیه و تحلیل عددی استفاده می‌شود: مشخصات اصلی شتاب نگاشتها مورد استفاده در جدول (۲) ارائه شده است. این زمین‌لرزه ها فرکانس های مختلف تحریک لرزه‌ای با نهادهای مختلف شتاب حداکثر زمین، مدت زمان مختلف و شکل مختلف پاسخ طیف را در محاسبات منظور می نمایند.

جدول ۲. شتابنگاشت های بکار رفته در تحلیل تاریخیچه زمانی

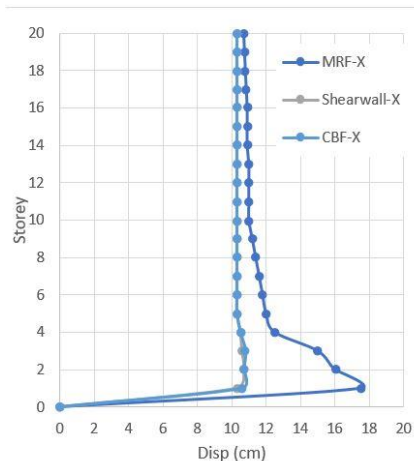
		تاریخ	محل وقوع	زمان (s)	PGA (g)
۱	Imperial Valle	18.05.1940	El Centro	53.40	0.348
۲	Kern County	21.07.1952	Taft	54.40	0.179
۳	Montenegro	15.04.197	Petrovac	19.60	0.438
۴	Valparaiso	03.03.1985	El Almendral	72.02	0.284
۵	Northridge	17.01.1994	Newhall	59.98	0.590

۵- بررسی نتایج محاسبات

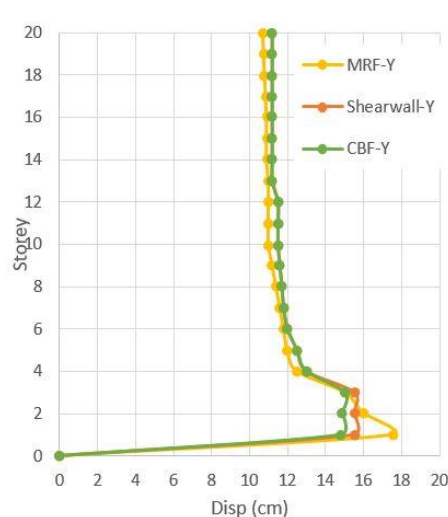
بر اساس نتایج تحلیل تاریخیچه زمانی، پاسخ مقادیر جابجایی و تغییر شکل نسبی طبقه، برشی طبقه بیشینه محاسبه شده و به منظور بررسی رفتار سازه مورد استفاده قرار می گیرد.

۵-۱- بررسی جابه جایی جانبی سازه در طبقات

نمودار جابجایی سازه در طبقات برای هر سه ساختار سازه‌های معرفی شده شامل سازه با اتصالات گیردار MRF، سازه با دیوار برشی و سازه با مهاربندی هم مرکز CBF، در شکل (۳) رسم شده است. این رفتار برای قاب‌های هم راستا با محور X (محور نامنظم سازه) و برای قاب‌های هم راستا با محور Y (محور منظم سازه) در فرآیند کنترل جابجایی اثر بهبود دهنده ای را با استفاده از قاب‌های مهاربندی شده و قاب‌های با دیوار برشی در سازه به وجود می آورد.



جابه‌جایی طبقه در راستای X



جابه‌جایی طبقه در راستای Y

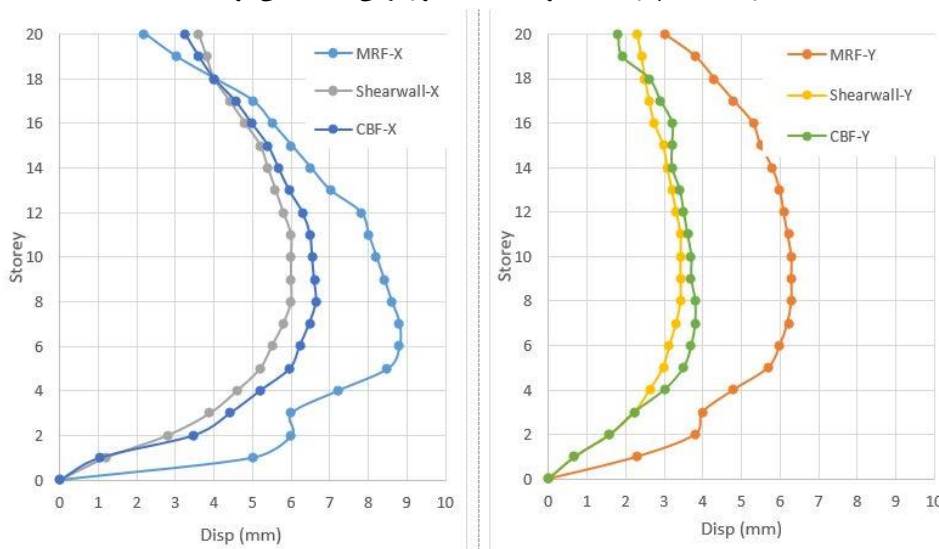
شکل ۳. نمودار تغییرات جابجایی طبقات در سازه مقاوم سازی شده با اتصالات گیردار MRF، با دیوار برشی و مهاربندی هم مرکز CBF در دو راستای منظم (Y) و نامنظم (X)

در شکل (۳) برای جابه‌جایی طبقه در قاب با اتصالات گیردار به ترتیب 1.0618mm و 1.5644mm در راستای X و Y دیده می‌شود. در شکل (۳) جابه‌جایی طبقه در قاب با دیوار برشی در راستای X و در راستای Y به ترتیب دارای مقدار 1.0373mm و 1.7516mm است. در مقایسه با قاب با اتصالات گیردار 2.31% در راستای X و 12% در راستای Y کاهش وجود دارد. از شکل

(۳) جابه‌جایی طبقه در قاب مهاربندی‌شده در راستای X و Y به ترتیب دارای مقدار 1.1517mm و 1.5146mm است. در مقایسه با قاب با اتصالات گیردار به ترتیب 8.46% در راستای X و 3.18% در راستای Y کاهش وجود دارد.

۵-۲- بررسی تغییر مکان نسبی طبقات

نمودار تغییر مکان نسبی طبقات برای هر سه ساختار سازه‌های معرفی شده شامل سازه با اتصالات گیردار MRF، سازه با دیوار برشی و سازه با مهاربندی هم‌مرکز CBF، در شکل (۴) رسم شده است. این رفتار برای قاب‌های هم‌راستا با محور X (محور نا منظم سازه) و برای قاب‌های هم‌راستا با محور Y (محور منظم سازه) در فرآیند کنترل تغییر مکان نسبی طبقات در سازه اثر بهبود دهنده ای با استفاده از قاب‌های مهاربندی‌شده و قاب‌های با دیوار برشی مشاهده می‌شود.



تغییر مکان نسبی طبقه در راستای X

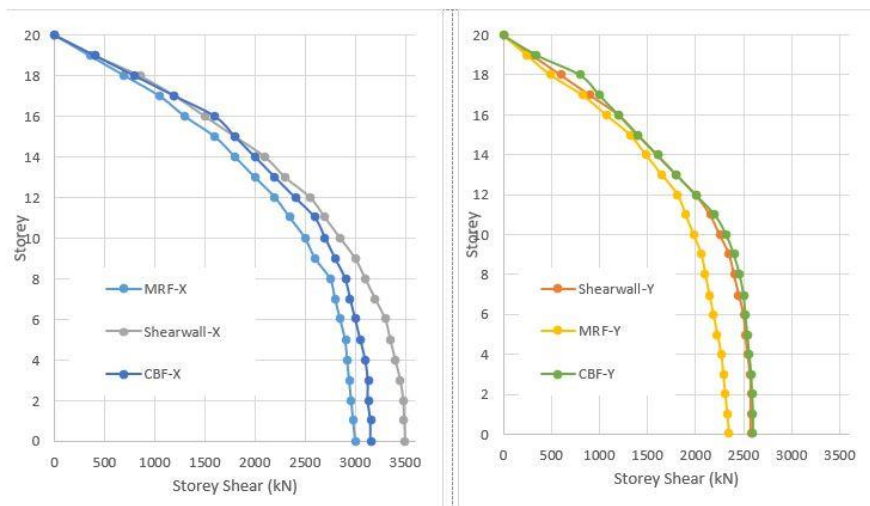
تغییر مکان نسبی طبقه در راستای Y

شکل ۴. نمودار تغییر مکان نسبی طبقات در سازه مقاوم‌سازی شده با اتصالات گیردار MRF، با دیوار برشی و مهاربندی هم‌مرکز CBF در دو راستای منظم (Y) و نامنظم (X).

در شکل (۴) تغییر مکان نسبی طبقه در قاب با اتصالات گیردار در راستای X دارای مقدار 0.0087mm است و در راستای Y تغییر مکان نسبی طبقه 0.0037mm است. در شکل (۴) تغییر مکان نسبی طبقه در قاب با دیوار برشی در راستای X دارای مقدار 0.0058mm و تغییر مکان نسبی طبقه در راستای Y دارای مقدار 0.0034mm است. در مقایسه با قاب با اتصالات گیردار به ترتیب 33.33% در راستای X و 8.11% در راستای Y کاهش وجود دارد. در شکل (۴) تغییر مکان نسبی طبقه در قاب با مهاربندی به ترتیب 0.0084mm و 0.0037mm در راستای X و Y است. در مقایسه با قاب با اتصالات گیردار 3.44% کاهش در راستای X وجود دارد. در مقایسه با مدل (۱) 3.44% کاهش تغییر مکان نسبی در راستای X وجود دارد و هیچ کاهشی در تغییر مکان نسبی در راستای Y در مقایسه با مدل ۱ وجود ندارد.

۵-۳- بررسی نیروی برشی طبقات

نمودار تغییرات نیروی برشی در هر طبقه برای هر سه ساختار سازه‌های معرفی شده شامل سازه با اتصالات گیردار MRF، سازه با دیوار برشی و سازه با مهاربندی هم‌مرکز CBF، در شکل (۵) رسم شده است. این رفتار برای قاب‌های هم‌راستا با محور X (محور نا منظم سازه) و برای قاب‌های هم‌راستا با محور Y (محور منظم سازه) در فرآیند کنترل نیروی برشی طبقات اثر بهبود دهنده ای را با استفاده از قاب‌های مهاربندی‌شده و قاب‌های با دیوار برشی در سازه به وجود می‌آورد.



نیروی برش طبقه در راستای X

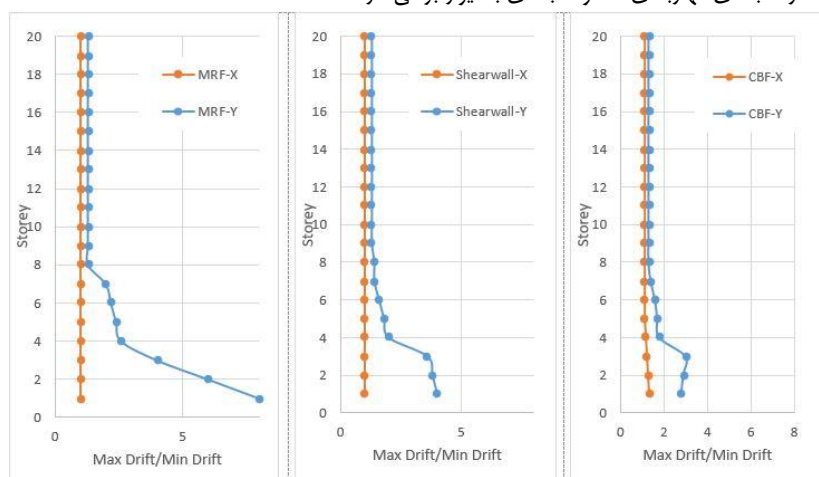
نیروی برش طبقه در راستای Y

شکل ۵. نمودار تغییرات برش طبقه در سازه مقاوم‌سازی شده با اتصالات گیردار MRF، با دیوار برشی و مهاربندی هم‌مرکز CBF در دو راستای منظم (Y) و نامنظم (X)

در شکل (۵) برای برش طبقه در قاب با اتصالات گیردار به ترتیب 3201.33 KN و 2579.62 KN در راستای X و Y است. در شکل (۵) برای برش طبقه در قاب با اتصالات دیوار برشی به ترتیب 3468.18KN و 2794.65KN در راستای X و Y است. در مقایسه با قاب با اتصالات گیردار برش طبقه 8% در راستای X و 8.33% در راستای Y کاهش یافته است. از شکل (۵) برای برش طبقه در قاب مهاربندی‌شده به ترتیب 3205.60KN و 2583.08KN در راستای X و Y است. تغییر مکان نسبی طبقه در مقایسه با قاب با اتصالات گیردار در راستای X و Y به مقدار 0.13% کاهش یافته است.

۴-۵- بررسی اثر نامنظمی بر افزایش تغییر مکان ها

نمودار تغییر مکان نسبی طبقات در امتداد نامنظم نسبت به امتداد منظم به عنوان عامل معرفی نقش منظمی در کاهش تغییر شکل سازه در هر طبقه برای هر سه ساختار سازه‌های معرفی شده شامل سازه با اتصالات گیردار MRF، سازه با دیوار برشی و سازه با مهاربندی هم‌مرکز CBF، در شکل (۶) رسم شده است. این رفتار برای قاب‌های هم راستا با محور X (محور نامنظم سازه) و برای قاب‌های هم راستا با محور Y (محور منظم سازه) در فرآیند کنترل نیروی برشی طبقات در سازه اثر بهبود بخشی در صورت استفاده از قاب‌های مهاربندی‌شده و قاب‌های با دیوار برشی دارد.

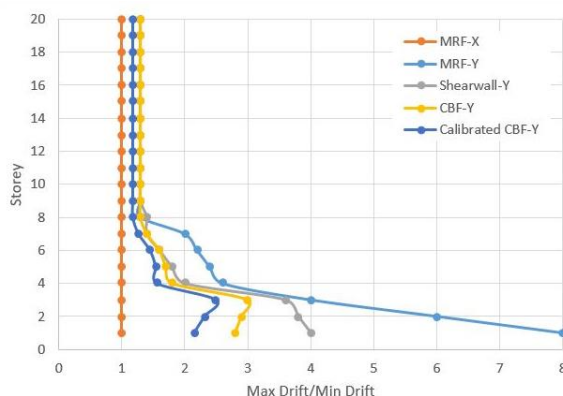


شکل ۶. نمودار نسبت تغییر مکان نسبی طبقات در امتداد نامنظم نسبت به امتداد منظم در سازه مقاوم‌سازی شده با اتصالات گیردار MRF، با دیوار برشی و مهاربندی هم‌مرکز CBF در دو راستای منظم (Y) و نامنظم (X)

در شکل (۶) بی‌نظمی پیش‌بینی در قاب با اتصالات گیردار با نسبت های 1.1320 در راستای X و با نسبت های ۳.۶۶۰ در راستای Y نشان داده شده است. شکل (۶) نمایش می‌دهد که بی‌نظمی پیش‌بینی در قاب با دیوار برشی دارای نسبت های 1.0777

در راستای X و دارای نسبت های ۷،۶۰۰ در راستای Y است. مقایسه نتیجه بی‌نظمی پیچشی در قاب با اتصالات گیردار به ترتیب 5% و 1.5% در راستای X و Y است. شکل (۶) نشان می‌دهد بی‌نظمی پیچشی در قاب مهاربندی شده دارای نسبت تغییر مکان نسبی ۱،۳۳۰۰ در راستای X و نسبت تغییر مکان نسبی ۳،۱۱۴۰ در راستای Y است. مقایسه نتیجه بی‌نظمی پیچشی در قاب با اتصالات گیردار به ترتیب 18% و 5% در راستای X و Y است.

نمودار تغییر مکان نسبی طبقات در امتداد نا منظم نسبت به امتداد منظم به عنوان عامل معرفی نقش منظمی در کاهش تغییر شکل سازه به صورت همسان شده و به منظور بررسی نقش هر یک از ساختارهای سه گانه سازه‌ای در کنترل اثر نامنظمی در سازه با اتصالات گیردار MRF، سازه با دیوار برشی و سازه با مهاربندی هم‌مرکز CBF، در شکل (۷) رسم شده است. این رفتار برای قاب‌های هم راستا با محور X (محور نا منظم سازه) و برای قاب‌های هم راستا با محور Y (محور منظم سازه) در کنترل اثر نامنظمی، بر تأثیر بهبود بخشی قاب‌های مهاربندی شده و قاب‌های با دیوار برشی تأکید دارد.



شکل ۷. نمودار نسبت تغییر مکان نسبی طبقات در امتداد نا منظم نسبت به امتداد منظم در سازه مقاوم سازی شده با اتصالات گیردار MRF، با دیوار برشی و مهاربندی هم‌مرکز CBF در دو راستای منظم (Y) و نامنظم (X)

نتایج

اثرات پیچشی تحریکی زمین‌لرزه و پاسخ سازه به این تحریک در این بررسی مورد توجه قرار گرفته است. نتایج عددی، نشان می‌دهد که پاسخ سازه‌ها از نظر جابجایی، شتاب و برشی پایه، زمانی که سازه در معرض پیچش است می‌تواند باعث افزایش ۸ برابری شود. بر مبنای بررسی رفتار سازه مقاوم سازی شده با هر یک از سه ساختار سازه‌ای متفاوت و مباحث طرح شده نتایج زیر قابل استخراج است. جابه‌جایی طبقه زمانی که از دیوار برشی به عنوان عضوی جانبی در سازه استفاده می‌شود کاهش می‌یابد. این نتیجه خوبی را در مقایسه با سیستم مهاربندی ارائه می‌دهد. به طور مشابه کاهش کوچک 8.47% در برش طبقه وقتی که عضوی جانبی مانند دیوار برشی و مهاربندی در سیستم سازه استفاده می‌شود، مشاهده می‌شود. بی‌نظمی پیچشی با ایجاد دیوار برشی و مهاربندی برای در برابر نیروی جانبی زلزله کاهش می‌یابد.

منابع

- Shi Qun Guo, "Analysis on Seismic Behaviour of Irregular High-Rise RC Structure using Eccentrically Braces" Advanced Materials Research, Volume 243-249, 2011.
- Ravikumar C M, Babu Narayan K S, Sujith B V, Venkat Reddy D, "Effect of Irregular configurations on Seismic Vulnerability of RC Buildings" Architecture Research, 2(3):20-26, 2012.
- P.P Chandurkar, Dr.P.S. Paigade, "Seismic Analysis of RCC Building with and without Shear Wall" International Journal of Modern Engg. Research (IJMER), Volume 3, Issue 3, PP-1805-1810, ISSN-2249-6645, May-June 2013.
- Manoj Kumar, Dr.Venkata G Babu, "Comparative Study of Seismic Performance of Building having Mass Vertical Irregularity at Different Floor Levels" International Journal of Science and Research (IJSR), ISSN-2319-7064, 2013.
- H. Gokdemir, "Effects of Torsional Irregularity to a Structure during Earthquakes" ELSEVIER, 2013.
- Gunay Ozmen, Konuralp Girgin, Yavuz Durgun, "Torsional irregularity in Multi-Storey Structures" Adv Structural Eng 6:121:131, 2014.

بررسی نیروی لرزه‌ای وارد بر میانقاب‌ها با چیدمان متفاوت در پلان

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۱/۰۸

تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۲/۱۸

کد مقاله: ۹۵۵۸۶

سید علیرضا کازرونیان^{۱*}، علی احمدی زاده^۲

چکیده

به منظور تقسیم بندی فضاهاى داخلی و پیرامونى در ساختمان‌ها، درون قاب‌هاى سازه‌اى توسط دیوارهاى پوشیده شده که میانقاب نامیده می‌شوند. این اعضا غالباً از نظر معماری در پلان به صورت نامتقارن قرار گرفته و برون مرکزى آنها نسبت به مرکز جرم طبقه بر نیروى اینرسی خارج از صفحه آنها تاثیر گذاشته و خطای فاحشى را در محاسبات به وجود می‌آورد. هدف از این تحقیق بررسی اثر موقعیت میانقاب‌ها بر نیاز لرزه‌اى آنها در سازه‌هاى بتنى می‌باشد. بدین منظور سازه ۶ طبقه با سیستم قاب خمشی بتن آرمه و به صورت سه بعدى به همراه میانقاب مستقر در مکان‌هاى متفاوت انتخاب و با استفاده از نرم افزار ETABS مورد تحلیل دینامیکى طیفى قرار می‌گیرد. نتایج حاصل از آنالیز استخراج و نیروى عمود بر صفحه میانقاب برحسب پارامترهاى نسبت برون مرکزى و نسبت ارتفاعى میانقاب به صورت نمودارهاى ارائه و اثر هر کدام مورد بررسی و ارزیابى قرار می‌گیرد. نتایج نشان می‌دهد که حداکثر نیروى عمود بر صفحه میانقاب مربوط به بیشترین نسبت برون مرکزى می‌باشد. در اغلب مدل‌ها افزایش نسبت ارتفاعى میانقاب باعث افزایش نیروى عمود بر صفحه آن می‌شود.

واژگان کلیدی: میانقاب، نیروى عمود بر صفحه، تحلیل طیفى، نسبت برون مرکزى، نسبت ارتفاعى

۱- استادیار، گروه مهندسى عمران، واحد بوشهر، دانشگاه آزاد اسلامى، بوشهر، ایران؛ alirezakazerounian@yahoo.com

۲- کارشناسى ارشد، مهندسى عمران، بوشهر، ایران

در ساختمان‌های با قاب مرکب، میانقاب نه تنها برای محافظت از عوامل جوی و ایجاد فضای معماری کاربرد داشته بلکه در سختی و مقاومت سازه تأثیرگذار بوده و موجب افزایش آن می‌شود. در تحقیقات انجام شده بر روی میانقابها تنها به تأثیر این اجزا بر سختی و مقاومت سازه پرداخته شده است. تحقیقات آزمایشگاهی و تحلیلی بر روی رفتار قاب‌های میان پر از دهه ۱۹۵۰ تا به امروز برای شناخت جنبه‌های مختلف تأثیر وجود میانقاب بر رفتار قاب تحت اثر بارهای جانبی صورت پذیرفته است. با توجه به پیچیدگی و حساسیت موضوع میانقابها پژوهشگران بسیاری بر روی این موضوع تحقیق نموده‌اند که می‌توان خلاصه‌ای از این تحقیقات را در گزارش‌های پژوهش انجام شده توسط دمیر و سیوری (۲۰۰۲)، تجزیه و تحلیل نشان داد که میانقاب تأثیر مهمی بر مقاومت و سختی ساختمان دارد. در تجزیه و تحلیل سیستم قاب-میانقاب ساختمان سه مدل در نظر گرفته شد: الف) قاب بدون میانقاب (قاب توخالی)، ب) میانقاب در قاب ساختمان، ج) قاب بدون میانقاب در طبقه همکف و میانقاب در طبقات دیگر. در پژوهش انجام شده توسط مصطفایی و توشیمی اثر میانقاب در پاسخ لرزه‌ای ساختمان‌های بتنی مرکز تلفن بم تحت زلزله بم در سال ۲۰۰۳ مورد بررسی قرار گرفت (مصطفایی و توشیمی، ۲۰۰۴: ۱۳۳-۱۵۶). برای یافتن پاسخ تحلیلی، آنالیز سه بعدی با استفاده از برنامه Opensees در سال ۲۰۰۴ مورد استفاده قرار گرفت. پاسخ مورد انتظار ضریب برش پایه طراحی از درجه طیف پاسخ آزادی بر اساس زلزله ایران بدست آمد. در پژوهش انجام شده توسط الوالی اثر پانل‌های میانقاب ساختمانی در قاب ساختمان مورد بررسی قرار گرفت (الوالی، ۲۰۰۸). در این تحقیق زلزله تفت مورد استفاده قرار گرفت. در این مطالعه اثرات پانل‌های میانقاب در پاسخ لرزه-ای ساختمان به صورت تجربی یک مدل تحلیلی برای تعیین رابطه فشار و رفتار کششی به صورت طیفی و گام به گام مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در این تحلیل اثر پانل‌های میانقاب در بروز برش پایه زلزله، سطح جابجایی زلزله و حداکثر جابجایی طبقه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که پانل‌های میانقاب سختی جانبی و مقاومت قاب توخالی را افزایش می‌دهد. در پژوهش انجام شده توسط کورکماز و دمیر اثرات دیوارهای میانقاب ساختمانی بر رفتار غیرخطی سازه‌های بتنی پیش ساخته در ترکیه مورد بررسی قرار گرفت (کورکماز و دمیر، ۲۰۰۸). از مهار مورب برای مدل‌سازی دیوار میانقاب ساختمانی استفاده شد. رابطه سازه‌های بتنی پیش ساخته با و بدون دیوار میانقاب ارزیابی و مقایسه شده است. اثر دیوار میانقاب ساختمانی به صورت مدل مورب و زنجیره ای مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیقات مشخص شد دیوار میانقاب یک اثر مهم در مقاومت و سختی ساختمان دارد و ثبات یکپارچگی بتنی پیش ساخته قاب‌ها با میانقاب ساختمانی افزایش یافته است. در این تحقیق قاب‌های بدون و با میانقاب دیوار تجزیه و تحلیل شدند. در پژوهش انجام شده توسط متین و کارسلوگلو اثر میانقاب دیوار در پاسخ پایه و جابجایی سقف در ساختمان بتن مسلح تحت بارگذاری تاریخچه زمانی به روش سه بعدی المان محدود در ۲۱۶ مدل ساختمان مورد مطالعه قرار گرفت (متین و کارسلوگلو، ۲۰۱۱). تعداد طبقات با نسبت دیوار برشی و نسبت میانقاب به عنوان پارامترها انتخاب شد و عکس العمل پایه، جابجایی سقف و برش پایه مورد بررسی قرار گرفتند. عناصر غیرسازه‌ای با مشخصات سازه‌ای مانند سختی، قدرت و میرایی نیز مورد بررسی قرار گرفتند. در این روش اثرات دیوار میانقاب بر پاسخ پایه و جابجایی سقف مورد بررسی قرار گرفت. تحلیل تاریخچه زمانی در مدل‌ها با استفاده از نرم افزار SAP2000 انجام شد. در پژوهش انجام شده توسط کوئیگیانگ و همکاران اثر دیوارهای میانقاب بر روی رفتار لرزه ای قاب بتن مسلح مورد بررسی قرار گرفت (کوئیگیانگ و همکاران، ۲۰۱۱: ۵۰۷-۵۱۷). در پژوهش انجام شده توسط ستار و لیل عملکرد لرزه‌ای قاب‌های بتنی مسلح سازه با و بدون دیوار میانقاب ساختمانی مورد بررسی قرار گرفت (ستار و لیل، ۲۰۱۱). ارزیابی عملکرد لرزه‌ای سازه قاب بتن مسلح با دیوار میانقاب ساختمانی با استفاده از تحلیل دینامیکی انجام شد. نتایج تحقیق نشان داد که افزایش سختی اولیه، قدرت و اتلاف انرژی از قاب میانقاب، در مقایسه با قاب توخالی با وجود شکست شکننده دیوار، به طور کلی در قاب با میانقاب کمتر است. در پژوهش انجام شده توسط کاشیف و همکاران، قاب بتنی مسلح با میانقاب آجری با توجه به بارهای لرزه‌ای جانبی مورد بررسی قرار گرفت (کاشیف و همکاران، ۲۰۱۰: ۳۵-۴۰). تحلیل مدل به صورت المان محدود خطی دوبعدی و با استفاده از نرم افزار ANSYS انجام شد. المان محدود از قاب شامل مدل‌سازی تیرها و ستون، مدل سازی میانقاب و محاسبات با دو بار زلزله بود. هدف اصلی تحقیق مطالعه اثر بارگذاری افقی در قاب بتنی مسلح با دیوار آجری میانقاب برای شرایط مختلف با و بدون اثر طبقه نرم بوده است. در پژوهش انجام شده توسط لیانگلی و لیونگ تجزیه و تحلیل شکنندگی کمی-افزایشی دیوار میانقاب در ساختمان بتن مسلح با استفاده از روش شتاب طیفی بر اساس ضریب مورد مطالعه قرار گرفت (لیانگلی و لیونگ، ۲۰۱۱: ۶۹۷-۷۱۸). نتایج نشان داد که تعداد بیشتری از طبقات به احتمال زیاد از بیش از یک آسیب خاص از نظر نسبت جابجایی بین طبقات برخوردار می‌باشند. منحنی‌های شکنندگی بدست آمده می‌تواند یک ارزیابی رضایت بخش از آسیب پذیری و یا احتمال وقوع برای دیوار میانقاب از نظر کمی-افزایشی در یک ساختمان بتن مسلح تقویت شده نسبت به جابجایی بین طبقه داشته باشد. در پژوهش انجام شده توسط ساچین و سومانت اثر پانل آجری میانقاب در

طراحی ساختمان‌های بلند مورد بررسی قرار گرفت (ساچین و سومانت، ۲۰۱۱). در این پژوهش نتیجه گیری شد که مهار مورب موثرترین روش مدل‌سازی برای پانل دیوارهای میانقاب است. در تجزیه و تحلیل طراحی ساختمان‌های بلند به طور کلی اثر پانل-های آجری میانقاب در نظر گرفته نشده و طراحی آن با در نظر گرفتن قاب توخالی است. در پژوهش انجام شده توسط مولگوند و کولکارنی ارزیابی لرزه‌ای ساختمان قاب RC با دیوار آجری میانقاب مورد بررسی قرار گرفت (مولگوند و کولکارنی، ۲۰۱۱: ۱۴۰-۱۴۷). هدف اصلی از این مطالعه بررسی رفتار سازه چند طبقه دارای یک طبقه نرم با قاب دارای میانقاب بوده است. در این مطالعه پنج مدل مورد بررسی قرار گرفت: الف) قاب سخت ب) دیوار میانقاب در حاشیه پیرامونی ج) مدل دیوار میانقاب در حاشیه بیرونی با طبقه نرم د) دیوار میانقاب به عنوان هسته داخلی ه) دیوار میانقاب به عنوان هسته آسانسور. برای تجزیه و تحلیل از روش غیرخطی برای تعیین پاسخ لرزه‌ای سیستم سازه‌ای و با استفاده از مدل کامپیوتری ETABS استفاده شد. در تحقیق انجام شده توسط جادهائو و پاچگاده تاثیر دیوار میانقاب ساختمانی بر عملکرد لرزه‌ای قاب RC در مقایسه با آجر AAC و آجر متعارف میانقاب مورد بررسی قرار گرفت (جادهائو و پاچگاده، ۲۰۱۳: ۱۴۸-۱۵۳). در پژوهش انجام شده توسط مومین و پاتل ارزیابی لرزه‌ای قاب RC با دیوار میانقاب با بلوک ALC مورد ارزیابی قرار گرفت (مومین و پاتل، ۲۰۱۲: ۱۴۸-۱۴۹). در این مطالعه رفتار قاب RC و میانقاب با هر دو بلوک ALC و آجر رس معمولی مقایسه شد. تجزیه و تحلیل به صورت دینامیکی و به روش تاریخچه زمانی یا روش طیف پاسخ صورت گرفت. در این روش رفتار دینامیکی لرزه‌ای دو نوع میانقاب از جنس بلوک ALC و آجر معمولی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که میانقاب با بلوک ALC نسبت به میانقاب با آجر معمولی عملکرد بهتری دارد. در این مطالعه عملکرد لرزه‌ای بلوک ALC و آجر معمولی میانقاب در قاب RC با استفاده از نرم افزار SAP2000 مقایسه شد. در پژوهش انجام شده توسط عرفان الله و پاتیل تاثیر پانل میانقاب ساختمانی بر رفتار لرزه‌ای ساختمان با قاب RC مورد بررسی قرار گرفت (عرفان الله و پاتیل، ۲۰۱۳: ۱۱۷-۱۱۸). نرم افزار مورد استفاده نرم افزار ETABS و جابجایی طبقه مورد بررسی قرار گرفت و نتیجه گیری شد که استفاده از دیوار میانقاب افزایش عملکرد در برابر جابجایی طبقه، کنترل جابجایی و افزایش سختی جانبی را در پی دارد. با بررسی نتایج نتیجه گرفته شد که به جای نگه داشتن طبقه همکف به عنوان یک طبقه نرم بهتر است از میانقاب در جهت خاص طوری که مانع تسهیلات پارکینگ نشود استفاده گردد. همچنین جابجایی جانبی بسیار بزرگ برای مدل قاب خمشی نسبت به مدل‌های دیگر وجود دارد.

پرتاب خارج از صفحه دیوارها در حین زلزله‌ها موجب تلفات جانی گسترده می‌شود. در طراحی و آنالیز لرزه‌ای سازه‌ها عدم لحاظ اثر موقعیت میانقاب در پلان سازه می‌تواند موجب تغییر در مقدار نیروهای عمود بر صفحه میانقاب شده و احتمال تخریب آن را افزایش دهد. معمولاً مهندسین طراح تاثیر موقعیت میانقاب در پلان سازه را نادیده گرفته و نیاز لرزه‌ای این اجزا را با توجه به روابط آئین نامه‌ها برای تمامی موقعیتهای استقرار پلانی یکسان در نظر می‌گیرند. با توجه به کاربرد میانقابها در سازه‌ها، پژوهش‌های صورت گرفته ناچیز قبلی بر روی تاثیر موقعیت میانقابها بر روی نیاز لرزه‌ای خارج از صفحه این اجزا و با توجه به عدم وجود تاثیر محل استقرار پلانی این اجزا در استانداردها و آئین‌نامه‌ها لازم است با انجام تحقیقات گسترده، مطالعات عددی و ایجاد مدل‌های نرم‌افزاری مناسب، زمینه را برای شناخت بهتر و دستیابی به پیشنهادهایی برای بهبود عملکرد آنها فراهم گردد. در این تحقیق تاثیر پارامترهایی چون نسبت برون مرکزی و نسبت ارتفاعی میانقاب مورد مطالعه قرار گرفته که نتایج حاصل می‌تواند در تکمیل و بازنگری روابط آئین نامه‌ها مورد استفاده قرار گیرد.

۲- روش تحقیق

روش این تحقیق بر مبنای تحلیل سازه بوده و مدل تحلیلی این تحقیق یک ساختمان بتنی با کاربری اداری و قاب خمشی بتن آرمه ۶ طبقه بوده که محل مدل مورد تحقیق پهنه با خطر نسبی زلزله خیلی زیاد و با اهمیت خیلی زیاد است. ابتدا تحلیل استاتیکی معادل انجام و پس از طراحی سازه، تحلیل دینامیکی طیفی توسط نرم افزار ETABS انجام شده و پاسخ‌های دینامیکی براساس متغیرهای مختلف استخراج و به صورت نمودارهایی بر حسب هر متغیر ترسیم و اثر هر متغیر بر نیاز لرزه‌ای خارج از صفحه میانقاب مورد بررسی و مقایسه قرار می‌گیرد.

۲-۱- مشخصات مصالح

مشخصات مصالح بتنی و بادبند فولادی معادل میانقاب در نظر گرفته شده در این تحقیق به ترتیب در جداول ۱ و ۲ ارائه شده‌اند.

جدول ۱: مشخصات مکانیکی بتن

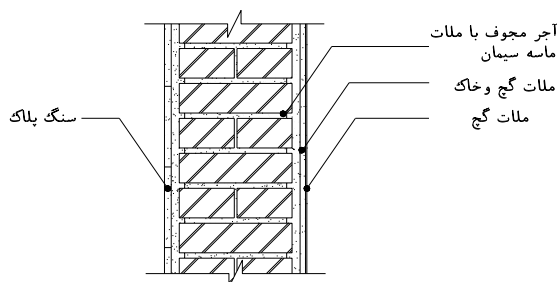
جرم مخصوص (کیلوگرم بر مترمکعب)	نسبت پواسن	مدول الاستیسیته (گیگاپاسکال)	مقاومت مشخصه فشاری (مگاپاسکال)
۲۴۰۰	۰/۲	۳۱	۲۱

جدول ۲: مشخصات مصالح فولادی

نسبت پواسن	مدول الاستیسیته (گیگاپاسکال)
۰/۳	۲۰۰

۲-۲- مشخصات دیوار

دیوار مورد مطالعه در این پژوهش دارای طول ۳ متر، از جنس آجر مجوف سفالی و به ضخامت ۲۰ سانتیمتر بوده و جزئیات با نازک کاری روی آن در شکل ۱ ارائه که براساس آن جرم واحد سطح دیوار ۳۳۰ کیلوگرم بر مترمربع محاسبه می گردد.



شکل ۱- جزئیات دیوار

۳-۲- بارگذاری

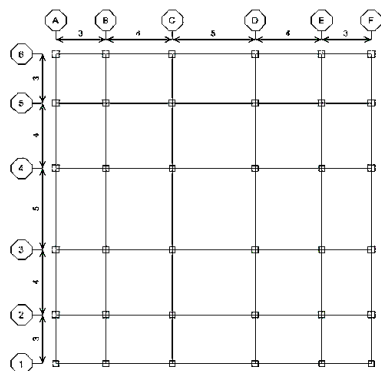
در این مطالعه بارگذاری ثقلی براساس آئین نامه بارگذاری (مبحث ششم مقررات ملی ساختمان، ۱۳۹۲) انجام گرفته است. تحلیل سازه‌ها در برابر نیروی جانبی زلزله نیز بر اساس استاندارد زلزله (استاندارد ۲۸۰۰، ۱۳۹۳) انجام و پارامترهای مورد نیاز جهت تعیین ضریب برش پایه زلزله طبق جدول ۳ می باشند.

جدول ۳: پارامترهای روش تحلیل استاتیکی معادل [۱۶]

نوع زمین	نسبت شتاب مبنای طرح	ضریب اهمیت	ضریب رفتار
II	۰/۳۵	۱/۴	R
			۷/۵

۴-۲- سازه مورد مطالعه

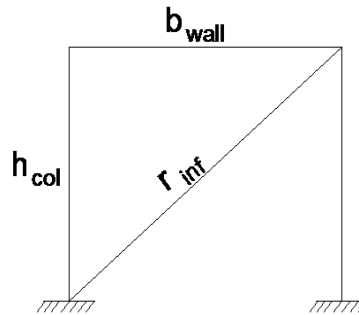
جهت انجام تحقیق از ساختمان ۶ طبقه در شهر تهران استفاده می گردد. پلان هر طبقه دارای ابعاد ۱۹*۱۹ متر و ارتفاع هر طبقه ۳ متر می باشد. سیستم سازه‌ای در هر دو راستا از نوع قاب خمشی بتن مسلح ویژه و سقف طبقات از نوع تیرچه بلوک در نظر گرفته شده است. پلان سازه در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲- پلان مدل‌های مورد مطالعه (اندازه بر حسب متر)

۲-۵- مدل سازی میانقاب

در این تحقیق میانقاب در دهانه‌های ۳ متری قرار داده شده و جهت معرفی سختی آن در نرم افزار، به صورت بادبند فشاری معادل با اتصال مفصلی طبق شکل ۳ مدل سازی می‌شود.



شکل ۳- بادبند معادل

عرض موثر بادبند معادل میانقاب از رابطه شماره ۱ تعیین می‌شود.

$$W_{wall} = 0.16(\gamma' \cdot h_{col})^{-0.30} \cdot r_{inf} \cdot \sin 2\theta \quad (1)$$

که در آن h_{col} ارتفاع دیوار؛ r_{inf} طول بادبند معادل؛ θ زاویه بادبند معادل با افق و γ' از رابطه شماره ۲ تعیین می‌شود.

$$\gamma' = \left(\frac{E_{wall} \cdot t_{wall} \cdot \sin 2\theta}{4E_c \cdot I_c \cdot h_{col}} \right) \quad (2)$$

که در آن E_{wall} مدول ارتجاعی دیوار و برابر با ۲۵۰۰ مگاپاسکال؛ t_{wall} ضخامت دیوار؛ E_c مدول ارتجاعی بتن و I_c ممان اینرسی ستون است. سطح مقطع مورد نیاز هر کدام از بادبندهای ضربدری از رابطه شماره ۳ تعیین می‌شود.

$$A_b = (W_{wall} \cdot t_{wall} \cdot E_{wall}) / (2E_b) \quad (3)$$

که در آن E_b مدول ارتجاعی مقطع بادبند معادل فولادی است. سطح مقطع بادبند معادل با دیوار ۳ متری ۶۵۷/۳۲ میلی متر مربع محاسبه می‌گردد.

جهت معرفی جرم میانقاب، یک جرم متمرکز در مرکز بادبند و در راستای عمود بر صفحه میانقاب اختصاص داده شده که مقدار آن برای دیوار ۳ متری ۲۹۷۰ کیلوگرم در نظر گرفته می‌شود.

۲-۶- پارامترهای مورد مطالعه

پارامترهای در نظر گرفته در این تحقیق نسبت ارتفاعی α ، فاصله مرکز جرم میانقاب از تراز پایه به ارتفاع کل ساختمان و نسبت برون مرکزی e ، فاصله افقی مرکز جرم میانقاب از مرکز جرم طبقه به بعد ساختمان در راستای عمود بر صفحه میانقاب می‌باشند. مقادیر e شامل ۰/۱۳۱، ۰/۳۴۲ و ۰/۵ بوده و نسبت ارتفاعی در سازه مورد مطالعه در جدول ۴ آورده شده است.

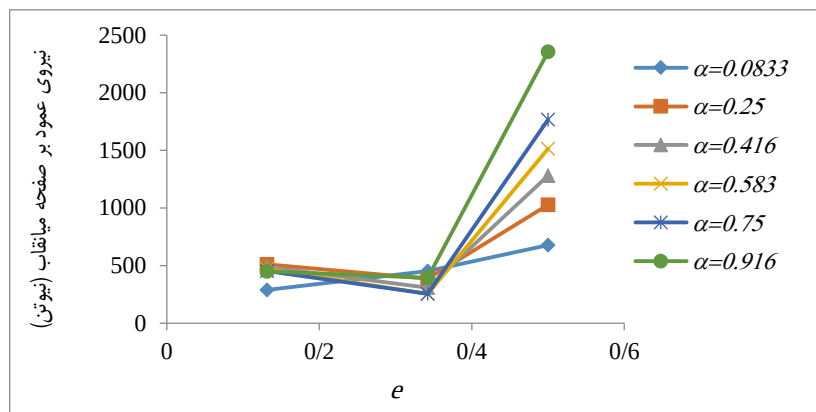
جدول ۴: نسبت ارتفاعی

α	موقعیت میانقاب
۰/۰۸۳	طبقه اول
۰/۲۵۰	طبقه دوم
۰/۴۱۶	طبقه سوم
۰/۵۸۳	طبقه چهارم
۰/۷۵۰	طبقه پنجم
۰/۹۱۶	طبقه ششم

در این مطالعه با توجه به پارامترهای مفروض، ۱۸ مدل در نظر گرفته می‌شود.

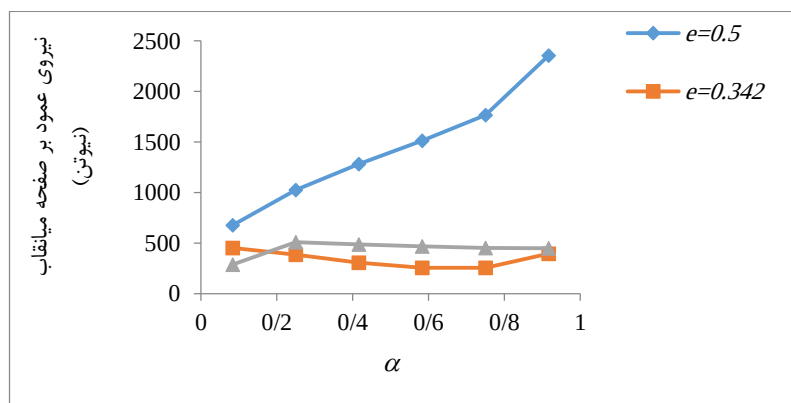
۳- نتایج تحلیل المان محدود

در این بخش نتایج حاصل از تحلیل مدلها یعنی نیروی عمود بر صفحه میانقاب که همان نیروی وارد بر جرم متمرکز بوده استخراج و بر حسب پارامترهای مذکور به صورت نمودارهایی ترسیم و مورد مقایسه و ارزیابی قرار می‌گیرند. در نمودار شکل ۴ اثر نسبت برون مرکزی میانقاب بر روی نیروی عمود بر صفحه برای نسبت های ارتفاعی متفاوت ارائه شده است.



شکل ۴- تغییرات نیروی عمود بر صفحه میانقاب نسبت به نسبت برون مرکزی

در تمامی نسبت های ارتفاعی، بیشترین مقدار نیروی خارج از صفحه میانقاب مربوط به میانقاب با بیشترین نسبت برون مرکزی بوده و عمدتاً کمترین مقدار مربوط به میانقاب با نسبت برون مرکزی ۰/۳۴۲ می باشد. در میانقاب مستقر در اولین طبقه، بیشترین مقدار نیروی خارج از صفحه مربوط به بیشترین نسبت برون مرکزی بوده و کمترین مقدار مربوط به میانقاب با نسبت برون مرکزی کوچکتر می باشد. در نمودار شکل ۵ اثر نسبت ارتفاعی میانقاب بر روی نیروی عمود بر صفحه برای نسبت های برون مرکزی متفاوت ارائه شده است.



شکل ۵- تغییرات نیروی عمود بر صفحه میانقاب نسبت به نسبت ارتفاعی

در حداکثر نسبت برون مرکزی، بیشترین مقدار نیروی خارج از صفحه مربوط به میانقاب با بیشترین نسبت ارتفاعی و کمترین مقدار مربوط به میانقاب با کمترین نسبت ارتفاعی می‌باشد.

نتیجه گیری

حرکت و پرتاب خارج از صفحه میانقابها در هنگام وقوع زلزله از جمله موارد مهمی بوده که تلفات جانی را موجب می‌شود. میانقابهای موجود در قابهای ساختمانی تحت تاثیر نیروی اینرسی خارج از صفحه خود قرار می‌گیرند. در ضوابط آئین نامه ها در خصوص تعیین نیروی ناشی از زلزله وارد بر اجزای غیرسازه ای، به موقعیت پلانی این اجزاء اشاره نشده است. در این پژوهش با تغییر موقعیت میانقاب در پلان و ارتفاع یک سازه سه بعدی بتنی ۶ طبقه به بررسی تغییرات نیروی اینرسی خارج از صفحه میانقاب پرداخته شد. مدلسازی سازه و میانقاب در نرم افزار ETABS انجام و سپس به روش طیفی مورد تحلیل قرار گرفتند. هدف از

جابجایی میانقاب در پلان و ارتفاع سازه، انجام یک مطالعه پارامتریک برای بررسی و ارزیابی تاثیر موقعیت بر عملکرد خارج از صفحه میانقاب می‌باشد. نتایج حاصل از این تحقیق به صورت خلاصه و به شرح ذیل بیان می‌گردند. الف) نیروی عمود بر صفحه میانقاب هنگامی بیشترین فاصله را نسبت به مرکز جرم ساختمان دارد حداکثر بوده و بنابراین جهت اتصال آن به سازه اصلی بایستی نیروی طراحی بیشتری در نظر گرفته شود. ب) در اغلب مدل‌ها با افزایش نسبت ارتفاعی میانقاب، نیروی عمود بر صفحه افزایش یافته و این افزایش در نسبت برون مرکزی زیاد قابل توجه می‌باشد. ج) در حین زلزله، میانقابهای خارجی مستقر در طبقات فوقانی سازه ۶ طبقه در معرض نیروهای خارج از صفحه بیشتری قرار گرفته که در آئین‌نامه‌ها به این نوع موقعیت پلانی اشاره‌ای نشده است. د) با افزایش برون مرکزی میانقاب، به طور کلی در اغلب مدل‌ها و سازه‌ها مقدار نسبت تغییر مکان نسبی طبقات نیز عمدتاً افزایش می‌یابد. علی‌رغم نتایج بدست آمده از این مطالعه، نیاز به تحقیقات بیشتری بوده و با توجه به اینکه در این تحقیق مدل‌ها تنها برای مشخصات ثابتی چون یک نوع اسکلت، یک نوع شکل پذیری، محل اجرا، جنس زمین، تعداد طبقات و ابعاد میانقاب به صورت محدود تحلیل شده‌اند و قابل تعمیم برای سایر مشخصات نبوده، لذا پیشنهاد می‌گردد که این تحقیق برای تمام ویژگی‌ها انجام گردد تا شناخت کلی‌تری نسبت به نیروی عمود بر صفحه میانقابها ایجاد گردد و بتوان روابط موجود در آئین‌نامه‌ها را اصلاح نمود. پیشنهاد مهم دیگری که به نظر می‌رسد و آن این است که به علت حجم بالای میانقاب‌ها در اغلب ساختمان‌های امروزی بهتر است آنها را به صورت واقعی‌تر و با استفاده از نرم افزارهای اجزای محدود دیگری مدل نمود تا اینکه اثرات دقیق‌تری در این تحقیق منظور گردد.

منابع

- استاندارد ۲۸۰۰ (۱۳۹۳)، «آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله»، ویرایش چهارم، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، وزارت راه و شهرسازی
- مبحث ششم مقررات ملی ساختمان (۱۳۹۲)، «بارهای وارد بر ساختمان»، ویرایش سوم، دفتر مقررات ملی ساختمان، وزارت راه و شهرسازی، نشر توسعه ایران
- Cuigiang, Z., Ying, Z., Devan, Z., and Xilin, L.U. (2011). Study on the effect of the infill walls on the seismic performance of a reinforced concrete frame, *Earthquake Engineering and Engineering vibration* 10(4). pp. 507-517.
- Demir, F., and Sivri, M. (2002). Earthquake response of masonry infilled frames, ECAS2002 Internation Symposium, Ankara, Turkey.
- Elouali, T. (2008). Effect of infill masonry panels on the seismic response of frame buildings, 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing.
- Irfanullah, M.D., and Patil, B. (2013). Seismic evauation of RC framed buildings with influence of masonry infill panel, *International Journal of Recent Technology and Engineering, IJRTE* 2(4). pp. 117-118.
- Jadhao, P., and Paigade, S. (2013). Influence of masonry infill walls on seismic performance of RC framed structures: A comparision of AAC and conventional brick infill, *International Journal of Engineering and Advanced Technology, IJEAT* 2(4). pp. 148-153.
- Kashif, M., Rashadul, S., and Al-amin, M. (2010). Study the reinforced concrete frame with brick masonry infill due to lateral loads, *International Journal of Civil Environmental Engineering, IJCEE-IJENS* 10(4). pp. 35-40.
- Korkmaz, F., and Demir, H. (2008). Effects of infilled masonry walls on nonlinear structural behavior of precast concrete structures in turkey. 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China.
- Liang Lee, C., and Leung S.A. (2011). Fragility analysis of low-rise masonry infilled concrete building by a coefficient based spectral acceleration method, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* 41(4). pp. 697-718.
- Metin, M., and Karslioglu, O. (2011). Effect of infill walls on base responses and roof drift of reinforced concrete building under time-history loading, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Kahramanmaras Sutcu Imam University, Kahramanmaras, Turkey.
- Momin, M., and Patel, P.G. (2012). Seismic assesement of RC frame masonry infill with ALC block, *Inernational Journal of Advanced Engineering Research and Studies* 1(3). pp. 148-149.
- Mostafaei, H., and Toshimi, K. (2004). Effect of infill masonry walls the seismic RC sponse of reinforced concrete buildings subjected to the 2003 bam earthquake strong

motion: A case study of bam telephone center, Bull. Earthq. Res. Inst, Tokyo 79. pp. 133-156 .

- Mulgund, G., and Kulkarni, A. (2011). Seismic assesement of RC frame buildings with brick masonry infills, International Journal of Advanced Engineering Sciences and Technologies 2(2). pp. 140-147.
- Sachin, R., and Sumant, B. (2011). Effect of brick infill panel in design of high rise building, Notional Conference on Recent Trends in Engineering Technology.
- Sattar, S., and Liel, B. (2011). Seismic performance of reinforced concrete frame structures with and without masonry infill walls, Department of Civil, Environmental and Architectural Engineering, University of Coloado .

بررسی و تعیین مهم‌ترین شاخص‌ها در مکان‌یابی ایستگاه‌های شارژ خودروهای الکتریکی در شبکه‌های توزیع برق

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۱/۱۱

تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۲/۱۲

کد مقاله: ۳۳۸۹۰

سید محمد رضوانی^۱، علی اصغر شجاعی^{۲*}، سید محمدرضا
موسوی تقی‌آبادی^۳

چکیده

گسترش استفاده از خودروهای الکتریکی به دلیل افزایش آلودگی هوا و کاهش ذخایر سوخت‌های فسیلی امری اجتناب‌ناپذیر است. خودروهای الکتریکی قابل اتصال به شبکه قابلیت شارژ مجدد را دارند نوعی از این نوع خودروها می‌باشند که مطالعات زیادی در این زمینه توسط محققان در خصوص آن‌ها انجام شده است. با توجه به نیاز به ایستگاه‌های شارژ خودروهای الکتریکی، این موضوع به‌طور خاص مورد توجه اکثر محققان قرار گرفته است. مدل‌سازی خودروهای الکتریکی برای تعیین ظرفیت انرژی ایستگاه‌های شارژ، تعیین مکان و اندازه بهینه این ایستگاه‌ها، روش‌های مدیریت شارژ و برنامه‌ریزی ایستگاه‌های شارژ با اهداف مختلف موضوعات مهمی هستند که مورد توجه قرار گرفته‌اند. جهت تعیین مکان بهینه ایستگاه‌های شارژ باید شاخص‌های گوناگونی نظیر تلفات شبکه توزیع، قابلیت اطمینان و موارد مهم دیگر را در نظر گرفت. در این مقاله سعی شده است مهم‌ترین شاخص‌ها در مکان‌یابی ایستگاه‌های شارژ معرفی شوند.

واژگان کلیدی: ایستگاه شارژ، خودروی الکتریکی، شبکه توزیع، مکان‌یابی

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی برق، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نیشابور، نیشابور، ایران

۲- گروه مهندسی برق، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نیشابور، نیشابور، ایران

۳- دپارتمان مهندسی برق و کامپیوتر، دانشکده منتظری، دانشگاه فنی و حرفه ای خراسان رضوی، مشهد، ایران

Shojaei2012@gmail.com

یکی از محورهای اصلی توسعه در هر کشور، چگونگی تعامل بخش انرژی، محیط زیست و اقتصاد است. صنعت برق از مرحله تولید تا مصرف نهایی، مخاطرات و تبعات زیست محیطی بسیاری به وجود می آورد. از آنجائی که این بخش، زیربنای اساسی کلیه فعالیت های اقتصادی و اجتماعی جوامع به شمار می رود لذا برای افزایش تولید باید راهکاری اتخاذ نمود. یکی از راهکارها توسعه نیروگاه های تولید برق می باشند. فعالیت این نیروگاه ها سبب انتشار گازهای آلاینده و گلخانه ای می شوند. افزایش آلودگی هوا و کاهش ذخایر سوخت های فسیلی سبب گسترش استفاده از خودروهای الکتریکی در جهان شده است. در حال حاضر روند رشد خودروهای الکتریکی در سراسر جهان، بسیار بالاست، به طوری که پیش بینی می شود تا سال ۲۰۴۰ میلادی، پنجاه و چهار درصد از کل خودروهای جهان از نوع خودروهای الکتریکی باشند (پارسیان و همکاران، ۱۳۹۸). با توجه به این افزایش در استفاده از انواع این نوع خودروها، صنعت خودروهای الکتریکی نیز توسعه یافته است. خودروهای الکتریکی قابل اتصال به شبکه یکی از انواع این نوع خودروها می باشند که استفاده از آن ها روز به روز در حال افزایش می یابد. توسعه استفاده از این خودروها می تواند بر ضریب بار شبکه (رضوانی و همکاران، ۱۳۸۹) و گسترش استفاده از انرژی های نو (رضوانی و همکاران، ۱۳۸۹) مؤثر باشد. با توجه به سیاست شرکت در اجرای هدفمندی یارانه ها، اجرای کامل این سیاست در کنار توسعه استفاده از خودروی الکتریکی در کشور، می تواند درآمد شرکت های توزیع برق را نیز در صورت اتخاذ تصمیم های درست افزایش دهد (رضوانی و همکاران، ۱۳۹۱). استفاده از خودروهای الکتریکی، با آرایه های فتوولتائیک قرار داده شده روس سقف خودروها علاوه بر کاهش آلودگی هوا و کاهش مصرف سوخت های فسیلی، مزایای مالی نیز به دنبال دارد (اتحادیه و همکاران، ۱۳۹۷). طراحی و ساخت موتورهای الکتریکی ویژه ای که باعث شود تا خودروهای الکتریکی، مزایای سایر خودروها از جمله طی مسافت های طولانی با یکبار شارژ و یا داشتن سرعت های بالا را داشته باشند می تواند استقبال از این نوع خودروها را افزایش دهد (رضوانی و همکاران، ۱۳۹۰ و Rezvani, Besmi 2011) برای همین لازم است برای شارژ این نوع خودروها ایستگاه های شارژ در سطح جهان طراحی و ساخته شود.

تخمین تقاضای شارژ خودروهای الکتریکی برای طراحی و ساخت بهتر ایستگاه های شارژ در شبکه های توزیع آینده ضروری است. در مدلی که برای تقاضای شارژ خودروهای الکتریکی در (پولادی و همکاران، ۱۳۹۶) ارائه شده است عوامل مختلفی مؤثر در این تقاضا، از جمله عدم قطعیت تقاضای بار، عدم قطعیت مرتبط با خودروهای الکتریکی قابل اتصال به شبکه، میزان مسافت طی شده، میزان مصرف سوخت، زمان ورود و خروج خودرو، وضعیت اولیه شارژ، انرژی مورد نیاز برای شارژ باتری، تعداد خودروهای الکتریکی سیستم، تعیین پروفیل شارژ زمانی در نظر گرفته شده است. هدفی که در (یوسفی و همکاران، ۱۳۹۸) دنبال می شود ارائه مدلی احتمالی برای به دست آوردن تقاضای بار ایستگاه شارژ سریع برای خودروهای الکتریکی با قابلیت اتصال به شبکه (خودروی الکتریکی) با استفاده از روش تئوری صف و همچنین شبیه سازی مونت کارلو با نرم افزار (ED) بر اساس داده های جمع آوری شده از تحقیقات میدانی می باشد. در (امینی و همکاران، ۱۳۹۲) با توجه به رفتار صاحبان خودرو در هر روز، ساعت خروج و مدت زمان عدم حضور در پارکینگ تا رسیدن به مقصد بعدی را با توجه به روابط آماری در نظر گرفته و سپس با توجه به آن ها سطح شارژ باتری در هنگام رسیدن به پارکینگ بعدی را به دست می آورد. در (آقای و همکاران، ۱۳۹۶) با توجه به مشخصات خودروهای الکتریکی و با تحلیل گزارش ملی سفر خانوار تابع چگالی احتمال زمان رسیدن خودروها به خانه و مسافت روزانه طی شده توسط خودروهای الکتریکی به دست خواهد آمد که توابی لگاریتمی خواهند بود. با توجه به اطلاعات فوق، سطح شارژ باتری های خودروهای الکتریکی و در نهایت انرژی مورد نیاز خودروهای الکتریکی محاسبه می شود. در (گروهی ساردو، ۱۳۹۹) مسئله ای برنامه ریزی احتمالی سیستم قدرت در حضور خودروهای الکتریکی و منابع انرژی تجدیدپذیر با استفاده از یک مدل خطی ترکیبی عدد صحیح حل شده است.

از موضوعات مهم در طراحی ایستگاه شارژ تعیین تعداد واحد شارژ و بر اساس آن تعیین ظرفیت برق ورودی ایستگاه می باشد. در (امیری و همکاران، ۱۳۹۸) ابتدا با تعریف یک مسأله بهینه سازی در جهت کاهش زمان شارژ، سطوح بهینه شارژ در روش جریان چند پله ای با استفاده از الگوریتم ژنتیک بدست آمده است. در ادامه مقاله الگوریتمی جهت انتخاب تعداد مناسب واحد شارژ در یک ایستگاه شارژ سریع متناسب با ظرفیت برق ورودی پیشنهاد شده است. (پارسیان و همکاران، ۱۳۹۸) به مسئله طراحی ایستگاه های شارژ خودروهای الکتریکی و تعیین اندازه بهینه سیستم ذخیره کننده انرژی و سیستم تولید انرژی خورشیدی با هدف به حداقل رساندن هزینه های ایستگاه شارژ می پردازد. ظرفیت توان ایستگاه های شارژ خودروهای الکتریکی با نصب آرایه های خورشیدی بر روی سقف آن ها قابل افزایش است. در چنین ایستگاه شارژی انتقال توان در صورت نیاز می تواند دو طرفه باشد. در (ورشوساز، ۱۳۹۸) با اشاره به مطالب فوق یک روش جدید با استفاده از تئوری صف و جنگل تصادفی برای محاسبه توان خالص ایستگاه شارژ با توجه به تصادفی بودن سطح شارژ خودروهایی که وارد آن می شوند ارائه شده است.

با نفوذ زیاد خودروهای الکتریکی به دلیل نوع رفتار مالکان خودروهای الکتریکی، حضور آن ها در شبکه های توزیع می تواند اثرات نامطلوبی بگذارد. تخمین انرژی مورد نیاز برای شارژ خودروهای الکتریکی و ساخت ایستگاه های شارژ می تواند در مدیریت

این اثرات نامطلوب کمک نماید. لذا مکان‌یابی ایستگاه شارژ یا شناسایی مکانی برای ساخت ایستگاه شارژ یکی از مهمترین موضوعاتی است که باید به آن توجه ویژه‌ای شود. مکان ایستگاه می‌تواند بر اندازه و ظرفیت ایستگاه شارژ و روش‌های مدیریت شارژ و دشارژ تأثیر گذار بوده و تأثیرات مطلوبی بر شبکه بگذارد. بنابراین در این مقاله سعی می‌گردد تا به بررسی روش‌های مکان‌یابی ایستگاه‌های شارژ پرداخته شود.

۲- مکان‌یابی ایستگاه‌های شارژ

با نفوذ زیاد خودروهای الکتریکی به دلیل نوع رفتار مالکان خودروهای الکتریکی، حضور آن‌ها در شبکه‌های توزیع می‌تواند اثرات نامطلوبی بگذارد. لذا بدین منظور بهینه‌سازی حضور خودروهای الکتریکی از دو دیدگاه انجام می‌شود. اولین دیدگاه به بهینه‌سازی برنامه ریزی زمان شارژ و دشارژ و یا همان مدیریت شارژ می‌باشد. دیدگاه دوم به مکان‌یابی پارکینگ خودروهای الکتریکی یا ایستگاه‌های شارژ می‌پردازد (آقا ابراهیمی و همکاران ۱۳۹۲) در ادامه این بخش ابتدا مروری بر مطالعه‌های گذشته در زمینه تابع هدف در نظر گرفته شده برای مکان‌یابی ایستگاه شارژ خواهد شد و سپس نتایج بحث در قسمت دوم این بخش خواهد آمد.

۲-۱- بررسی تابع هدف مطالعه‌های گذشته

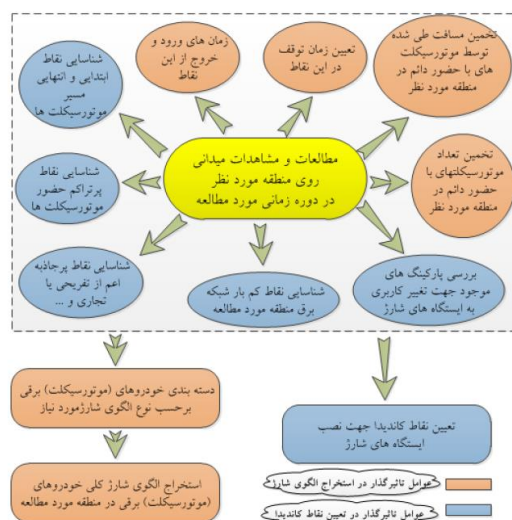
مکان‌یابی ایستگاه شارژ یا شناسایی مکانی برای ساخت ایستگاه شارژ یکی از مهمترین موضوعاتی است که باید به آن توجه ویژه‌ای شود. در واقع مکان ایستگاه شارژ می‌تواند در برگزیده تمامی مباحث گفته شده در بالا باشد. زیرا مکان ایستگاه می‌تواند بر اندازه ایستگاه شارژ و روش‌های مدیریت شارژ و دشارژ تأثیر گذار باشد. مکان ایستگاه‌های شارژ می‌تواند باعث تراکم خطوط توزیع برق شده (رضوانی و همکاران، ۱۳۹۴) در نتیجه قابلیت اطمینان کاهش و تلفات انرژی شبکه توزیع افزایش یابد. بنابراین جایابی یا مکان‌یابی ایستگاه‌های شارژ یکی از مهمترین بخش‌هایی است که مورد مطالعه بیشتر محققان می‌باشد. در (فدایی، ۱۳۹۶) برای شناسایی مکان بهینه برای ایستگاه‌های شارژ بر روی شبکه‌ای که تحت نفوذ منابع تولید پراکنده می‌باشد تابعی هدفی شامل دو بخش تلفات توان و میانگین انحراف ولتاژ را در نظر گرفته است.

نفوذ منابع انرژی تجدیدپذیر در کنار توسعه خودروهای الکتریکی نیز به دلیل ماهیت تصادفی بودنشان می‌تواند تأثیرات منفی بر عملکرد شبکه توزیع مثل کاهش کیفیت توان و افزایش تلفات داشته باشند. این چالش‌ها می‌بایست با برنامه ریزی دقیق بر مبنای تغییرات خروجی این منابع برای تأمین تقاضای اضافی ناشی از شارژ خودروهای الکتریکی به حداقل برسد. به این منظور در (مرادی و همکاران ۱۳۹۶) روشی جدید برای جایابی و تعیین ظرفیت هم‌زمان منابع تجدیدپذیر و ایستگاه شارژ خودروهای برقی و مدیریت فرآیند شارژ خودروها در شبکه ارائه شده است. تابعی چند هدفه در جهت کاهش تلفات توان، نوسانات ولتاژ، هزینه تأمین انرژی و هزینه تعمیر و نگهداری باتری خودرو معرفی شده که در آن یافتن مکان و ظرفیت منابع تجدیدپذیر و ایستگاه شارژ خودروی برقی به عنوان متغیرهای هدف انجام می‌گیرد. ضرایبی وابسته به سرعت باد، تابش خورشید و نسبت تقاضای پیک سیستم برای بهبود ضریب بار شبکه و مدیریت الگوی شارژ خودروها در ساعات پیک و غیر پیک معرفی شده است. با مطالعه کارهای انجام‌شده، جایابی و تعیین ظرفیت بهینه منابع انرژی تجدیدپذیر و ایستگاه شارژ خودروهای برقی و برنامه‌ریزی برای شارژ خودروها به صورت هم‌زمان انجام نشده است. همچنین تابع هدف به صورت تک یا دو هدفه تعریف شده و بیشتر محققین در زمینه کاهش تلفات و هزینه‌ها کار کرده‌اند. به علاوه، بسیاری از مقاله‌ها از یک مدل خودرو برای شبیه‌سازی بخش حمل و نقل و رفتار رانندگان استفاده کرده‌اند و مشخصات خودروها و هزینه‌های مربوط به باتری خودرو در نظر گرفته نشده‌اند. در برابر مطالعات انجام‌شده، در این مقاله جایابی و تعیین ظرفیت منابع تجدیدپذیر و ایستگاه‌های شارژ به صورت هم‌زمان و برنامه ریزی بهینه شارژ خودروهای برقی به منظور استفاده از خودروها برای پشتیبانی از شبکه انجام‌شده است. تابعی چهارهدفه برای مینیمم‌سازی تلفات توان اکتیو، نوسانات ولتاژ، هزینه تأمین انرژی و هزینه تعمیر و نگهداری باتری خودروهای برقی تعریف شده است (مرادی و همکاران ۱۳۹۶). تابع هدف (مرادی و همکاران ۱۳۹۶) که در معادله شماره یک نشان داده است شامل چهار قسمت می‌باشد. تلفات توان اکتیو، شاخص کل نوسانات ولتاژ، هزینه تأمین انرژی که شامل هزینه خریدار انرژی از شبکه، سود ناشی از شرکت خودروها در فروش انرژی به شبکه و هزینه انرژی دریافتی از ایستگاه شارژ می‌باشد. هزینه تعمیر و نگهداری باتری نیز در این هزینه‌ها دیده شده است که شامل هزینه تعویض باتری ظرفیت باتری و طول عمر باتری لحاظ شده است. نزدیکی به محل بار باعث کاهش تلفات و کاهش نوسانات ولتاژ و هزینه‌ها می‌شود. با اضافه شدن ایستگاه‌های شارژ و استفاده از تعرفه‌ی متغیر انرژی برای مدیریت شارژ و دشارژ خودروها می‌توان از وقوع اضافه بار ناشی از تقاضای شارژ در زمان پیک بار و افت ولتاژ در باس‌های پر بار و باس‌های انتهایی شبکه جلوگیری کرد. انتخاب مقادیر مناسب برای ضرایب تابع هدف و انتخاب روش قیمت‌گذاری لحظه-ای انرژی به اصلاح منحنی تقاضا کمک می‌کند و می‌توان از این طریق تقاضای شارژ خودروها را به ساعات کمباری و تولید زیاد منابع تجدیدپذیر انتقال داد. به‌طور کلی (مرادی و همکاران ۱۳۹۶) نشان می‌دهد که استفاده از خودروها به عنوان منابع ذخیره

انرژی در کنار منابع تجدیدپذیر می‌تواند باعث کاهش تلفات، کاهش تغییرات ولتاژ و کاهش هزینه‌های شبکه و مشترکین شود. در این مقاله عدم قطعیت پارامترهای ورودی در محاسبات پخش بار و شبیه سازی لحاظ شده و می‌تواند به برنامه‌ریزان برای تصمیم‌گیری کمک کند.

$$\min F_t = \tau \times f_1 + \beta \times f_2 + \gamma \times f_3 + \alpha \times f_4 \quad (1)$$

در (قهقرایی و همکاران ۱۳۹۴) مدلی جهت جابجایی بهینه ایستگاه‌های شارژ موتورسیکلت‌های برقی بر اساس الگوی رفتاری صاحبان موتورسیکلت‌ها در یک مورد مطالعاتی واقعی با هدف کمینه سازی تلفات سیستم توزیع و با در نظر گرفتن الگوی ترافیک حمل و نقل شهری منطقه مورد مطالعه پیشنهاد شده است. در این مدل سعی شده است تا قیود فنی سیستم توزیع در کنار توجه به آرایش ترافیک شهری و رفتار ترافیکی صاحبان موتور سیکلتهای برقی برآورد شود. در شکل شماره یک پارامترهای تأثیرگذار در تعیین نقاط کاندیدا و استخراج الگوهای شارژ موتور سیکلتهای برقی برای منطقه مورد مطالعه در دوره زمانی نشان داده شده است.



شکل (۱): عوامل تأثیرگذار در تعیین نقاط کاندیدای ایستگاه‌های شارژ موتورسیکلت‌های برقی (قهقرایی و همکاران ۱۳۹۴)

مدل ارائه شده در (قهقرایی و همکاران ۱۳۹۴) با استفاده از دو نرم افزار GAMS و DigSILENT حل شده است. استفاده از DigSILENT برای پیاده سازی الگوریتم بهینه سازی باعث شده است تا محاسبات دقیق شبکه و عملیات بهینه سازی در یک نرم افزار انجام شود و همین امر موجب افزایش سرعت حل مسئله جابجایی ایستگاه‌های شارژ می گردد. نویسنده مقاله از مهمترین دلایل استفاده از دو نرم افزار فوق در مقاله را موارد زیر عنوان می نماید.

- مقایسه نتایج خروجی نرم افزار دیگسایلنت با نتایج خروجی GAMS جهت راستی آزمایی الگوریتم بهینه سازی پساده سازی شده به زمان برنامه نویسی DPL
- استفاده از نرم افزار دیگسالنت به عنوان نرم افزار مورد استفاده در اکثر شرکت های توزیع می‌تواند جهت استفاده این شرکت ها مفید واقع شود.

تابع هدف در این مقاله ترکیبی از تلفات کل شبکه در دوره زمانی مشخص ($P_{loss,t}$) و قیود مربوط به محدودیت های توان اکتیو و راکتیو تزریقی به بالادست، حدود ولتاژ باس ها و توان ظاهری عبوری از خط (Y_i) می‌باشد.

$$f = \min \sum_{t=1}^{N_t} \left\{ \begin{array}{l} P_{loss,t} \\ Y_i \times (y_i^{MIN} - y_{i,t}) \dots \text{if } \dots y_i^{MIN} \\ Y_i \times (y_{i,t} - y_i^{MAX}) \dots \text{if } \dots y_i^{MAX} \\ 0 \dots \text{otherwise} \end{array} \right. \quad (2)$$

در (مرتضویان و همکاران ۱۳۹۵) مکان و اندازه ایستگاه شارژ سریع خودروی الکتریکی با در نظر گرفتن برنامه ریزی برای مدت ۵ سال و با هدف مینم کردن هزینه‌ی زمین، هزینه سرمایه گذاری هزینه تلفات شبکه و خودروها برای رسیدن به ایستگاه شارژ و نیز هزینه مربوط به انتظار رانندگان در ایستگاه‌های شارژ برای شارژ خودروهای الکتریکی با فرض وجود یک شهرک در

شمال غرب شهر فرضی که حاوی شبکه استاندارد IEEE123 می باشد، توسط الگوریتم ژنتیک انجام می گیرد. در واقع به دلیل مدت زمان زیاد شارژ خودرو نسبت به پر کردن مخزن بنزین ماشین های معمولی، عدم توجه به مسئله انتظار رانندگان ممکن است قسمتی از شهر که تراکم خودرو در آن ناحیه بیشتر است ایستگاه با ظرفیت نامناسب در برنامه ریزی بهینه مکان و اندازه ایستگاه شارژ در آن ناحیه قرار گیرد که منجر به نارضایتی رانندگان از طولانی بودن مدت زمان شارژ را در پی داشته باشد. در نهایت ضرورت توجه به ایجاد صف های طولانی در ایستگاه ها و در اصل ایجاد پیوندی بین تراکم خودروها در یک ناحیه با ظرفیت ایستگاه های شارژ موجود در آن ناحیه مورد بررسی قرار می گیرد. در تابع هدف (مرتضویان و همکاران ۱۳۹۵) که در معادله شماره سه آورده شده است، هزینه زمین، هزینه سرمایه گذاری، هزینه تلفات شبکه، هزینه تلفات خودروهای الکتریکی برای طی کردن مسیر بین مکانی که نیاز به شارژ دارد تا ایستگاه شارژ و هزینه انتظار رانندگان در صف ایستگاه های شارژ در نظر گرفته شده است. در این مقاله از روش الگوریتم ژنتیک برای حل مسئله اندازه و مکان یابی ایستگاه شارژ خودروی الکتریکی استفاده شده است. نکته ای که در این مقاله باید مورد توجه قرار گیرد مسأله زمان ساخت ایستگاه های شارژ و توجه به فاکتورهای اقتصادی می باشد.

$$OF = C^{land} + C^{investment} + C^{net-loss} + C^{HEV-loss} + C^{waiting} \quad (3)$$

در (امینی و همکاران، ۱۳۹۲) و (امینی، ۱۳۹۲) جایابی توأمان منابع تولید پراکنده و پارکینگ خودروی برقی در شبکه توزیع شعاعی مورد مطالعه قرار گرفته است. هدف در این مطالعات، مطالعه شبکه توزیعی می باشد که به طور همزمان منابع تولید پراکنده به نحوی توسط بهره بردار شبکه توزیع در این شبکه نصب می شوند تا در تعامل با پارکینگ ها و ایستگاه های شارژ خودروهای الکتریکی تلفات کمتری را در شبکه توزیع به همراه داشته باشند. در این مطالعه سعی شده است شبکه مدل احتمالاتی تک-خودروی برقی بر اساس داده های آماری استخراج و سپس مدل پارکینگ خودروهای الکتریکی از تعمیم مدل تک خودروی برقی استخراج گردد. در مرحله اول الگوریتم پیشنهادی، سرمایه گذار پارکینگ خودروی برقی، بر اساس شاخص تصمیم گیری خود به رتبه بندی باس های شبکه می پردازد. شاخص تصمیم گیری سرمایه گذار بر اساس قابلیت اطمینان، تعداد مشترکین و قیمت زمین در هر باس محاسبه می گردد. در این مراجع برای آنکه از دیدگاه سرمایه گذار نقاطی برای ایستگاه شارژ پیشنهاد شود شاخص هایی تعریف شده است.

- شاخص قابلیت اطمینان باس
- شاخص جذابیت هر باس: این شاخص با تعداد مشترکان حاضر در هر باس برای مراجعه به پارکینگ رابطه مستقیم داشته و از جمع وزندار تعداد مشترکان خانگی، تجاری و صنعتی در هر باس و تقسیم این جمع بر جمع وزن دار کل مشترکان شبکه به دست می آید.
- شاخص هزینه زمین: هزینه زمین برای احداث پارکینگ در مناطق مختلف شهری یکسان نبوده و متفاوت خواهد بود و سایر هزینه های مربوط به احداث پارکینگ نظیر هزینه تجهیزات شارژ خودروی برقی در تمام باس ها یکسان خواهد بود.

در مرحله دوم الگوریتم ارائه شده در مطالعه، بهره بردار شبکه توزیع، با بررسی نقاط پیشنهادی هر یک از سرمایه گذران، محل پارکینگ و همچنین ظرفیت مورد نیاز منبع تولید پراکنده را در راستای نیل به کمترین تلفات شبکه از طریق یک برنامه بهینه سازی که بر پایه الگوریتم ژنتیک می باشد مشخص و تعیین می نماید. تابع هدف این مطالعات بهینه سازی تلفات می باشد که در رابطه ۴ انجام خواهد گرفت.

$$\min \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^{Line} R_i I_{i,t}^2 \quad (4)$$

تابع هدف در نظر گرفته شده در (شیخ محمدی، ۱۳۹۶) برای کاهش دادن تلفات توان و بهبود پایداری ولتاژ انتخاب شده است که در رابطه ۵ نشان داده شده است. این تابع شامل چهار مولفه، هزینه تلفات توان، هزینه توان دریافتی از شبکه، هزینه توان تولیدی نیروگاه های تولید پراکنده و هزینه توان جابجا شده در ایستگاه های شارژ می باشد.

$$\min f = \sum [C_l P_{l,t} + C_g P_{g,t} + C_{DG} P_{DG,t} + C_{gr} P_{gr,t}] \quad (5)$$

در (حاجی سعید، ۱۳۹۵) در مرحله اول مدل احتمالاتی رفتار مالکان خودروها بر اساس داده های آماری استخراج می شود. سپس با توجه به این رفتار و درخواست های مالکان برای شارژ، پروفایل بار شبکه برآورد می گردد و مدل احتمالاتی پارکینگ خودروهای الکتریکی به دست می آید. و چهار نوع منحنی بار شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی برای فصول مختلف به دست خواهد آمد. با ترکیب این منحنی بارها با منحنی بار شبکه مکان بهینه به دست خواهد آمد. تابع هدف این مطالعه شامل کاهش تلفات و بهبود شاخص های قابلیت اطمینان و کیفیت توان از دید شرکت توزیع برق به عنوان سرمایه گذار و صاحب پارکینگ شارژ

خودرو می باشد که در رابطه شمار ۶ نشان داده شده است که به ترتیب شامل هزینه تلفات شبکه، هزینه کیفیت توان (انحراف ولتاژ) و هزینه قابلیت اطمینان شبکه می باشد. هزینه کیفیت توان (انحراف ولتاژ) با توجه به هزینه خازن مورد نیاز مطابق رابطه شماره‌های ۷ و ۸ مدل شده است.

$$\text{Min}\{\text{cost}_{\text{sys}}\} = w_1 \times C_L + w_2 \times C_{VD} + w_3 \times C_{\text{Reli}} \quad (۶)$$

$$C_{VD} = \sum_{j=1}^J s_{ij} \times C^{\text{Cap, fix}} + \Delta q_j \times C^{\text{Cap, Var}} \quad (۷)$$

$$\Delta q_j \approx -B_{jj} \left(\frac{\Delta v_j}{2} \right) \quad (۸)$$

از توابع خسارت CDF برای محاسبه هزینه قطعی برق برای هر مشترک استفاده می نماید. سپس با توجه به ظرفیت ایستگاه شارژ و بار شبکه مدت زمان قطعی‌ها و یا رفع عیب را از طریق رابطه‌های شماره ۹ الی ۱۱ محاسبه می کند.

$$r_e^P \text{ new} = s_w \times \left(1 - \frac{L_P - C_{\text{park}}}{L_P} \right) + r_e^P \times \frac{L_P - C_{\text{park}}}{L_P} \quad (۹)$$

$$C_{ep} = f(r_{ep}) \quad (۱۰)$$

$$\text{ECOST} = \sum_{P=1}^P \sum_{e=1}^E C_{ep} L_P \lambda_e \quad (۱۱)$$

در (جنتی، ۱۳۹۷) مسأله جابجایی و تعیین ظرفیت ایستگاههای شارژ خودروهای الکتریکی با اهداف کمینه سازی همزمان هزینه احداث ایستگاههای شارژ و تلفات توان اکتیو سیستم توزیع الکتریکی به عنوان یک مسأله دو هدفه مورد تجزیه و تحلیل قرار می-گیرد و مکان و تعداد بهینه شارژرها در هر ایستگاه شارژ با کمترین ارتقاء در سیستم توزیع الکتریکی موجود معرفی می‌شوند. رابطه شماره ۱۲ تابع هدف ارائه شده در (دریانورد، ۱۳۹۶) می باشد که با هدف بهبود تلفات الکتریکی شبکه و کاهش ظرفیت خطوط ارائه شده است. این رابطه بیانگر مجموع وزندار تلفات و ظرفیت اشغال شده خطوط شبکه توزیع می‌باشد. جمله اول بیانگر تلفات اکتیو و راکتیو شبکه و جمله دوم میزان ظرفیت اشغال شده فیدهای شبکه می باشد.

$$\text{Min} \sum \left(k_1 \times Z_{br} \times |I_{br}|^2 + k_2 \times \sqrt{P_{br}^2 + Q_{br}^2} \right) \quad (۱۲)$$

به کارگیری خودروهای الکتریکی در ترکیب با ریزشبکه‌ها، مزایای بسیاری را برای سیستم قدرت به وجود می‌آورد. استفاده از مزیت انتقال توان توسط خودروها در مسافرت‌های روزانه، سبب کاهش وابستگی به سیستم الکتریکی شده و در نتیجه می‌تواند با کاهش وابستگی الکتریکی ریزشبکه‌ها به شبکه اصلی، باعث بهبود قابلیت اطمینان سیستم گردد. در (امینی و همکاران، ۱۳۹۲) و (امینی، ۱۳۹۲) سعی بر آن است که با بهینه‌سازی برنامه ریزی شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی و تعیین محدوده پارکینگ‌ها در هر ساعت از زمان بهره برداری، به بهبود شاخص‌های قابلیت اطمینان پرداخته شود. این بهبود شامل کاهش انرژی تأمین نشده، افزایش استقلال ریزشبکه‌ها و بهبود وضعیت ذخیره بهره برداری می‌باشد. در کنار بهبود اهداف شبکه، جلب رضایت مالکین خودرو، از طریق کاهش مسافت پیموده شده تا محل پارک خودروها، در فرایند بهینه سازی موردتوجه قرار می‌گیرد. تعیین محدوده هر پارکینگ در ساعات مختلف شبانه روز در بازه بهره‌برداری، برنامه ریزی همزمان شارژ و دشارژ با در نظر گرفتن این تعیین محدوده، به کارگیری مسئله در بهبود استقلال ریزشبکه، کاهش انرژی تأمین نشده و بهبود وضعیت ذخیره بهره برداری، توجه به کاهش مسافت پیموده شده خودرو تا محل پارک در این مسئله و نیز استفاده از پتانسیل انتقال توان خودروهای الکتریکی در مسافرت‌های روزانه، نوآوری‌های مطرح در این پژوهش هستند. تابع هدف پژوهش‌های فوق که برای تعیین محدوده مناسب پارکینگ‌های انرژی پیشنهاد شده است شامل بخشهای مختلفی می باشد. قابلیت اطمینان سیستم را با در نظر گرفتن شاخص کاهش انرژی تأمین نشده و شاخص میزان توان تزریقی به ریز شبکه‌ها از شبکه اصلی و بهبود وضعیت ذخیره بهره برداری را با محاسبه میانگین قطع بار، جلب رضایت صاحبان خودروها را با شاخص مسافت طی شده خودروها برای رسیدن به ایستگاه شارژ مدل نموده است. همان طور که در رابطه ۱۳ نمایش داده شده است، مقدار مورد انتظار هزینه برنامه ریزی کل سیستم به همراه محاسبه ریسک مالی ناشی از عدم قطعیت سرعت باد و ضریب تابش خورشید، تابع هدف مسئله پیشنهادی در نظر گرفته شده است. به این معنا که تابع هدف شامل دو بخش کلی است. در بخش نخست، یعنی مقدار مورد انتظار هزینه برنامه ریزی شبکه، جمله اول مربوط به هزینه‌های واحدهای نیروگاهی، جمله دوم مربوط به هزینه‌های مزرعه بادی، جمله سوم مربوط به هزینه‌های مزرعه خورشیدی و جمله‌های چهارم و پنجم به ترتیب مربوط به هزینه‌های شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی در

ایستگاه‌های شارژ می‌باشد. نکته قابل ذکر در خصوص این مطالعه این است که هزینه های کاهش تلفات و قابلیت اطمینان شبکه لحاظ نشده است.

$$Minz = \sum_s \left(Pr_{tot}^s (CP^s + cP_w^s + cP_{pv}^s + cP_{dch}^s - cP_{ch}^s) \right) + \psi \left(\omega^t + \frac{1}{1-\varepsilon^t} \sum_s Pr_{tot}^s \cdot \phi^{t,s} \right) \quad (13)$$

در (آقا ابراهیمی و همکاران ۱۳۹۲) مکان یابی پارکینگ ها برای حضور کلیه انواع خودروها در نظر گرفته شده است تا در آن پارکینگ ها، خودروهای الکتریکی بتوانند شارژ و سایر خودروهای نیز از فضای پارکینگ استفاده نمایند. در واقع نیاز شهرداری‌های به ساخت پارکینگ در مناطق مختلف شهری هم مرتفع گردد. تابع هدف در نظر گرفته شده در این مطالعه شامل دو بخش تلفات و هزینه پارکینگ می باشد که در رابطه ۱۴ نشان داده شده است. در این مطالعه با استفاده از اطلاعات GIS شهر به مناطق مختلف تقسیم شده است و با توجه به اطلاعات جمعیتی هر منطقه تعدادی پارکینگ برای آن مناطق در نظر گرفته شده است.

$$cost = (PW \times C_E \times P_{loss} \times t \times L_{sf}) + cost_{parking} \quad (14)$$

در (غیبی، ۱۳۹۴) یک مسئله بهینه‌سازی دو مرحله‌ای به منظور جایابی بهینه ایستگاه‌های شارژ خودروهای الکتریکی، برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی موجود در این ایستگاه و نیز جایابی بهینه ادوات FACTS شامل SVC در حضور این ایستگاه‌های شارژ ارائه شده است. در راستای جایابی بهینه ایستگاه‌های شارژ خودروهای الکتریکی از الگوریتم PSO و برنامه ریزی شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی تابع هدفی شامل بهبود پروفیل بار شبکه و نیز کاهش تلفات شبکه پیشنهاد شده است. ذکر این نکته ضروری است که در این مطالعه فرض شده است که جایابی بهینه دو ایستگاه شارژ خودروهای الکتریکی با ظرفیت ۵۰۰ دستگاه خودرو در کنار شارژ یا دشارژ بهینه خودروهای موجود در این ایستگاه پرداخته اولویت اصلی در مسئله بهینه سازی می‌باشد. بدین منظور تابع هدف با رابطه ۱۵ در نظر گرفته می‌شود:

$$f(PHEV) = P_{loss} + \frac{1}{N} \sum (P_i - \bar{P})^2 + PenaltyFactor \quad (15)$$

تابع هدف پیشنهادی (غیبی، ۱۳۹۴) شامل مولفه های تلفات توان اکتیو شبکه، معیار بهبود پروفیل روزانه بار و نیز در نظر گرفتن تعرفه برق به عنوان ضریب جریمه می‌باشد. همچنین به منظور جایابی بهینه ادوات FACTS شامل دو عدد SVC، تابع هدفی شامل بهبود پروفیل ولتاژ شبکه و کاهش تلفات شبکه با در نظر گرفتن هزینه تخصیص آن‌ها مطابق رابطه ۱۶ در نظر گرفته شده است.

$$f(SVC) = \beta_1 P_{loss} + \beta_2 \sum (1 - v_j)^2 + \beta_3 SVC_{Cost} \quad (16)$$

در (جنتی و همکاران، ۱۳۹۲) روشی مؤثر برای برنامه ریزی منابع انرژی توسط بازیگر مجازی قدرت (VPP) در شبکه هوشمند ارائه شده است. هدف این مطالعه تأمین بار و احتیاجات خودروهای الکتریکی در کمترین هزینه ممکن و با در نظر گرفتن تمام محدودیت‌های شبکه خواهد بود. تابع هدف این مطالعه در رابطه ۱۷ آورده شده است. در این رابطه تابع هزینه به ترتیب شامل هزینه تولید منابع تولید پراکنده، هزینه دریافت انرژی از تأمین کننده S، هزینه دشارژ خودرو، هزینه شارژ خودرو، هزینه توان تأمین نشده تقاضای L، هزینه اضافه توان در دسترس، هزینه مدیریت سمت بار، هزینه کاهش حجم سفر خودرو V، هزینه برای تغییر زمان شروع سفر خودرو V می باشد.

$$f = \sum_{t=1}^T (C_{DG} + C_{Sup} + C_{Dis} - C_{ch} + C_{NSD} + C_{EAP} + C_{DR}) \times \Delta t + C_{Trip} + C_{Sho} \quad (17)$$

در (کرامتی، ۱۳۹۶) تابع هدفی که در نظر گرفته شده است شامل ۶ تابع هزینه به شرح ذیل می باشد. درآمد خالص هر ایستگاه شارژ درآمد حاصل از فروش انرژی به شبکه می باشد. هزینه سرمایه گذاری، هزینه کاهش تلفات توان، هزینه انرژی تأمین نشده، هزینه انرژی خریداری شده دشارژ خودرو، هزینه خریداری برای شارژ خودرو نیز در این تابع هزینه دیده شده اند. در ادامه در این مطالعه دو عدم قطعیت نیز به تابع هدف اضافه شده است. عدم قطعیت بار که به میزان مصرف بار و زمان شارژ خودروها وابسته است و عدم قطعیت قیمت برق که بر اساس مکانیزم های بازار تعیین شده و ماهیت تصادفی دارد.

مسئله جایابی و تعیین ظرفیت بهینه ایستگاه‌های شارژ خودروهای الکتریکی از دیدگاههای مختلفی قابل بررسی میباشد. مهمترین هدف در این مسئله راحتی و رضایت رانندگان خودروهای الکتریکی از نظر دسترسی به ایستگاه‌های شارژ می‌باشد. به عبارتی ایستگاه‌های شارژ در شهر باید طوری توزیع شوند که شهر از خدمات شارژ برای خودروها پوشش دهی شده باشد. دیدگاه دوم را می‌توان از منظر موضوع اقتصادی بیان کرد، در این راستا با توجه به هزینه های احداث ایستگاه‌های شارژ در هر نقطه از شهر، بهترین مکانهای ممکن از این منظر و همچنین هدف قبل انتخاب می‌شوند. دیدگاه سوم در نهایت امکان وجود ایستگاه‌ها را با توجه به اهداف ذکر شده و همچنین از منظر محدودیت‌های شبکه توزیع الکتریکی و الزامات فنی مربوط به آن بررسی می‌کند. در

این بخش مسأله مکانیابی و تعیین ظرفیت بهینه ایستگاه‌های شارژ با توجه به مباحث دسترسی‌پذیری رانندگان به خدمات شارژ، مسائل اقتصادی مربوط به احداث ایستگاه‌های شارژ و همچنین مسائل فنی شبکه توزیع، با اهداف حداقل کردن هزینه احداث ایستگاه‌های شارژ و تلفات الکتریکی در شبکه حمل و نقل و شبکه توزیع الکتریکی به صورت یک مسأله دو هدفه مدلسازی میشود. رابطه ۱۸ تابع هدف می‌نمونه سازی در نظر گرفته شده است که شامل دو قسمت هزینه کلی ایستگاه شارژ خودروهای الکتریکی (رابطه ۱۹) و تلفات توان اکتیو (رابطه ۲۰) می باشد. در تابع هدف هزینه ایستگاه شارژ، هزینه ثابت مربوط به کل شارژهای قابل نصب در شهر و هزینه متغیر مربوط به احداث ایستگاه‌های شارژ در هر نقطه است. (فرجام کلشتری، ۱۳۹۷).

$$\text{Objective_Function} = \min\{F_1 + F_2\} \quad (18)$$

$$F_1 = C_{Fix} + \sum_{X=1}^N NS_X \times C_{Var_X} \quad (19)$$

$$F_2 = \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^N R_{ij} \times I_{ij}^2 \quad (20)$$

در (حسین زاده و همکاران ۱۳۹۷) پس از ارائه مدلی برای برنامه ریزی شارژ و دشارژ خودرو که در آن جریمه فرصت از دست رفته نیز دیده شده است به ارائه روشی برای یافتن مکان ایستگاه شارژ می‌پردازد. به‌طوری که توابعی مانند تلفات انرژی و شاخص ولتاژ، حداقل و شاخص پایداری ولتاژ شبکه، بهینه شوند. شاخص پایداری ولتاژ به منظور تعیین باسی از شبکه توزیع که بیشترین حساسیت را به سقوط ولتاژ دارد تعیین می‌شود.

در (بنی صفار، ۱۳۹۷) تعیین مکان بهینه احداث ایستگاه‌های شارژ خودروهای الکتریکی با در نظر گرفتن شاخص های مختلف شبکه توزیع صورت می پذیرد و تابع هدف نهایی به صورت یک تابع چند منظوره تعریف شده است که تمامی شاخص های قابلیت اطمینان، تلفات و پروفیل ولتاژ را در نظر گرفته است. تابع هدف اولیه (بنی صفار، ۱۳۹۷) که در رابطه ۲۱ نشان داده شده است، هزینه های سرمایه گذاری و درآمد ایستگاه‌های شارژ را در نظر نگرفته است. در این رابطه d، شماره باس های شبکه توزیع که ایستگاه‌های شارژ در آن نصب خواهند شد و f تعداد ایستگاه‌های شارژ سریع نصب شده در کل باس ها و s تعداد ایستگاه‌های شارژ کند نصب شده در کل باس ها می باشد. تابع VRP نیز در رابطه ۲۲ نشان داده شده است.

$$\min(VRP), VRP = F(d, f, s) \quad (21)$$

$$VRP = w_1 \frac{VSI_{base}}{VSI_l} + w_2 \left(w_{21} \frac{SAIFI_l}{SAIFI_{base}} + w_{22} \frac{SAIDI_l}{SADFI_{base}} + w_{23} \frac{CAIDI_l}{CAIDI_{base}} \right) + w_3 \frac{P'_{loss}}{P_{loss,base}} \quad (22)$$

شاخص VRP ترکیبی است از شاخص های پایداری ولتاژ، قابلیت اطمینان و تلفات توان قابلیت اطمینان، پایداری ولتاژ و تلفات توان که با ضرایب وزنی مشخص با هم جمع شده اند. در (بنی صفار، ۱۳۹۷) در ادامه به تابع هدف اولیه، هزینه های سرمایه گذاری ایستگاه شارژ، هزینه انرژی خریداری شده برای شارژ خودروها و هزینه انرژی خریداری شده برای دشارژ خودروها (رابطه ۲۳) اضافه شده و تابع هدف نهایی در رابطه ۲۴ خواهد بود.

$$Cost = w_4 CF_{cap}(i) + w_5 CF_{pu,dr}(i) + w_6 CF_{pu,V2G}(i) \quad (23)$$

$$\min F = VRP + Cost \quad (24)$$

۲-۲- نتایج بررسی ها

با توجه به بررسی‌های انجام‌شده در مطالعه‌های گذشته، در مجموع ۲۵ موضوع مختلف در توابع اهداف پژوهش‌ها و مطالعات مختلف قابل مشاهده است. جدول شماره (۱) حاوی عناوین این موضوع‌ها به همراه تعداد پژوهشی که به آن موضوع در آن پرداخته شده است می باشد. در این جدول درصد تکرار هر موضوع در بین مطالعه های بررسی شده نیز مشاهده می‌شود.

کاهش تلفات شبکه به خصوص در شبکه توزیع امر مهم می‌باشد. نتایج جدول شماره (۱) نیز حاوی همین نکته می‌باشد. زیرا در بیش از ۸۰٪ مطالعه‌های بررسی شده این موضوع مهم در تابع هدف مسأله مکان یابی ایستگاه‌های شارژ لحاظ شده است. مسأله مهم دیگر در این زمینه نوسانات ولتاژ و شاخص پایداری ولتاژ شبکه توزیع می‌باشد که در ۳۱٪ مطالعات قبلی به منظور جایابی ایستگاه‌های شارژ خودروهای الکتریکی به آن‌ها توجه شده است. مشخصه یگر در شبکه های توزیع قابلیت اطمینان سیستم می باشد که حضور گسترده ایستگاه‌های شارژ می‌تواند بر این پارامتر تأثیرگذار باشد و این در حالی است که فقط ۱۹٪ مطالعات به آن توجه کرده اند.

جدول (۱): درصد تکرار موضوع در تابع هدف پژوهش‌های مختلف

ردیف	عنوان	تعداد مقاله	درصد تکرار در مقاله ها
۱	تلفات شبکه	۱۳	٪۸۱
۲	هزینه دشارژ خودرو	۶	٪۳۸
۳	نوسانات ولتاژ	۵	٪۳۱
۵	هزینه شارژ خودرو	۵	٪۳۱
۴	هزینه دریافت انرژی از تأمین کننده	۴	٪۲۵
۶	هزینه توان تأمین نشده تقاضای	۴	٪۲۵
۷	تولید منابع تولید پراکنده	۳	٪۱۹
۸	قابلیت اطمینان	۳	٪۱۹
۹	سرمایه گذاری	۳	٪۱۹
۱۰	شاخص پایداری ولتاژ	۲	٪۱۳
۱۱	هزینه اضافه توان در دسترس	۱	٪۶
۱۲	هزینه مدیریت سمت بار	۱	٪۶
۱۳	هزینه کاهش حجم سفر خودرو	۱	٪۶
۱۴	هزینه برای تغییر زمان شروع سفر خودرو	۱	٪۶
۱۵	تعمیر و نگهداری باتری	۱	٪۶
۱۶	محدودیت توان اکتیو	۱	٪۶
۱۷	محدودیت توان راکتیو	۱	٪۶
۱۸	محدودیت توان ظاهری	۱	٪۶
۱۹	زمین	۱	٪۶
۲۰	تلفات خودروی الکتریکی	۱	٪۶
۲۱	هزینه انتظار رانندگان در صف	۱	٪۶
۲۲	شاخص جذابیت باس	۱	٪۶
۲۳	شاخص قیمت زمین	۱	٪۶
۲۴	بهبود منحنی بار	۱	٪۶
۲۵	جریمه تعرفه	۱	٪۶

با توجه به اینکه ایستگاه‌های شارژ به نوعی می‌توانند نیروگاه تولید پراکنده نیز باشند لذا باید به موضوع هزینه های شارژ و دشارژ خودروها در این زمینه توجه شود. نتایج جدول فوق نیز نشان می‌دهد که ٪۳۸ مطالعات به این نکته توجه کرده‌اند. هزینه سرمایه گذاری ایستگاه‌های شارژ که به ظرفیت یک ایستگاه وابسته می‌باشد و هزینه زمین دو هزینه مهم در مسأله جابجایی ایستگاه‌های شارژ می‌باشد. هزینه های سرمایه گذاری که بیشتر در مطالعات برنامه ریزی بلند مدت موردتوجه قرار می‌گیرد در ٪۱۹ پژوهش‌های مطالعه شده، به این موضوع توجه شده است. از آنجائی که مکان یابی ایستگاه‌های شارژ، به خصوص در مناطق شهری خیلی وابسته به قیمت زمین می‌باشد لذا به نظر می‌رسد این موضوع نیز باید بیشتر موردتوجه قرار گیرد. این در حالی است که در بین مطالعات انجام‌شده فقط در ٪۶ پژوهش‌های مورد مطالعه به این موضوع پرداخته شده است. نکته قابل ذکر دیگر در نظر گرفتن هزینه انتظار رانندگان در صف و یا هزینه تلفات خودروی الکتریکی می‌باشد. هزینه تلفات خودروی الکتریکی که برابر با اضافه هزینه‌ای است که مالک خودرو از زمان نیاز به شارژ باید هزینه نماید تا به ایستگاه شارژ دیگر برسد این دو هزینه نیز در ٪۶ مقاله‌ها مشاهده گردید.

با بررسی مقاله‌های مختلف نزدیک به ۲۵ عنوان مختلف در توابع هدف این مقاله‌ها برای مکان‌یابی ایستگاه‌های شارژ مشاهده گردید. در جدول شماره (۲) تعداد موضوعی که در هر یک از مقاله‌ها مورد مطالعه از آن‌ها در تابع هدف استفاده شده است نشان داده شده است. مرجع (جنتی، ۱۳۹۲) با در نظر گرفتن ٪۳۶ از موضوع های اشاره شده در جدول شماره یک، بالاترین مباحث در نظر گرفته شده را دارد. نکته ای که حائز اهمیت است در این مرجع، موضوع مهمی چون هزینه تلفات شبکه در تابع هدف در نظر گرفته نشده است. مرجع (کرامتی، ۱۳۹۶) نیز ٪۲۴ از موارد ذکر شده را در تابع هدف خود در نظر گرفته است اما هزینه‌های

نوسانات ولتاژ، تلفات خودروی الکتریکی و هزینه در انتظار صف رانندگان و هزینه های قابلیت اطمینان را در تابع هدف خود در نظر نگرفته است.

جدول (۱): تعداد موضوع در تابع هدف هر پژوهش

شماره مرجع	تعداد موضوع	درصد مباحث در نظر گرفته شده
۲۶	۹	٪۳۶
۲۷	۶	٪۲۴
۳۱	۶	٪۲۴
۱۷	۵	٪۲۰
۱۸	۵	٪۲۰
۱۹	۵	٪۲۰
۱۱	۴	٪۱۶
۲۱	۴	٪۱۶
۲۰	۳	٪۱۲
۲۲	۳	٪۱۲
۲۵	۳	٪۱۲
۲۹	۳	٪۱۲
۸	۲	٪۸
۲۴	۲	٪۸
۲۸	۲	٪۸
۳۰	۲	٪۸
۲۳	۱	٪۴

بنابراین با توجه به بررسی‌های انجام‌شده می‌توان پیشنهاد داد که جهت مکان‌یابی ایستگاه‌های شارژ خودروهای الکتریکی به موارد مهمی چون هزینه قیمت زمین، تلفات خودروی الکتریکی، و هزینه انتظار رانندگان علاوه بر تلفات شبکه، پایداری ولتاژ و قابلیت اطمینان شبکه نیز توجه شود. هزینه شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی در کنار هزینه تولید سایر منابع تولید پراکنده نیز به عنوان هزینه های تأمین انرژی از تأمین کننده‌های مختلف برای توسعه ایستگاه‌های شارژ و برنامه ریزی آن‌ها باید موردتوجه قرار گیرد.

نتیجه‌گیری

در این مقاله، تابع هدف در نظر گرفته شده برای مکان‌یابی ایستگاه‌های شارژ خودروهای الکتریکی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بررسی نشان می‌دهد که نزدیک به ۲۵ موضوع مختلف در تابع هدف وجود دارد که می‌توان به آن‌ها توجه نمود. البته پژوهش‌های بررسی شده بخشی از این موارد را در تابع هدف مسأله خود در نظر گرفته بودند. تلفات شبکه مهمترین موضوعی است که در تابع هدف بیش از ۸۰٪ پژوهش‌های بررسی شده مشاهده گردید. در حالیکه موضوع مهمی چون هزینه قیمت زمین فقط در ۶٪ مطالعات بررسی شده مشاهده شد. بنابراین با توجه به بررسی‌های انجام‌شده می‌توان پیشنهاد داد که جهت مکان‌یابی ایستگاه‌های شارژ خودروهای الکتریکی به موارد مهمی چون هزینه قیمت زمین، تلفات خودروی الکتریکی، و هزینه انتظار رانندگان علاوه بر تلفات شبکه، پایداری ولتاژ و قابلیت اطمینان شبکه نیز توجه شود. هزینه شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی در کنار هزینه تولید سایر منابع تولید پراکنده نیز به عنوان هزینه های تأمین انرژی از تأمین کننده‌های مختلف برای توسعه ایستگاه‌های شارژ و برنامه ریزی آن‌ها باید موردتوجه قرار گیرد.

منابع

- اتحادیه، علی؛ شجاعی، علی-اصغر، باقران شعریاف، امیر، "بررسی اثرات خودروی الکتریکی با الگوریتم ردیابی نقطه حداکثر توان در شبکه قدرت" مجله تحقیقات نوین در برق، سال هفتم، شماره دوم، پاییز و زمستان ۱۳۹۷
- امیری، امیر بهادر؛ قاینی، محسن "بهبود روش شارژ سریع با استفاده از الگوریتم ژنتیک و ایجاد هماهنگی بین شارژرها در ایستگاه شارژ سریع خودروهای برقی به منظور استفاده بهینه از ظرفیت برق ایستگاه"، مجله انجمن مهندسی برق و الکترونیک ایران، سال ۱۶، شماره اول، بهار ۱۳۹۸.
- امینی، محمدهادی، پارسا-مقدم، محسن، "مکان-یابی بهینه تولید پراکنده و پارکینگ خودروی برقی بر اساس مدل احتمالاتی خودروهای برقی" سیستم های هوشمند در مهندسی برق، سال چهارم، شماره سوم، پاییز ۱۳۹۲
- امینی، محمدهادی، مکان یابی توأمان بهینه منابع تولید پراکنده و پارکینگ های خودروهای برقی، کارشناسی ارشد، تربیت مدرس، تهران، ۱۳۹۲
- آقابراهیمی، محمدرضا؛ تورانی، مهدی؛ قاسمی-پور، محمد مهدی، "مکان-یابی پارکینگ خودروهای الکتریکی بادر نظر گرفتن اطلاعات GIS و وسعت مناطق شهری" سومین کنفرانس انرژی های تجدیدپذیر و تولید پراکنده ایران، اصفهان ۱۳۹۲
- آقایی، جمشید؛ باقری، سید احسان؛ شفیع، سجاد؛ نیکنام، طاهر؛ باقری، سید محسن "بررسی پاسخ-گویی شبکه توزیع هوشمند به عملکرد خودروهای الکتریکی هیبریدی قابل اتصال به شبکه هوشمند" مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز، جلد ۴۷، شماره ۱، بهار ۱۳۹۶، صص ۱۱-۲۰
- بنی-صفار، علی، مکان-یابی بهینه ایستگاه-های شارژ خودروهای الکتریکی در شبکه توزیع از دیدگاه قابلیت اطمینان، افت و لغت و تلفات در شبکه، کارشناسی ارشد، آزاد اسلامی، شاهرود، ۱۳۹۷
- پاریسیان، فرزانه و رضائی خوششان بابک "تعیین اندازه منابع انرژی ایستگاه شارژ خودرو الکتریکی با توجه به فاکتورهای اقتصادی"، مدیریت صنعتی، دوره ۱۱، شماره ۲، صص ۲۳۳-۲۵۴، ۱۳۹۸
- پولادی، جابر؛ بناء شریفیان، محمداقرا؛ سلیمانی، سودابه "مدلسازی احتمالاتی تقاضای شارژ خودروهای برقی تجمیع شده در شبکه توزیع خانگی"، مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز، جلد ۴۷، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۶ صص ۱۳۵۷-۱۳۶۹
- جنتی اسکوتی، محمد رضا، تعیین مکان و ظرفیت بهینه ایستگاههای شارژ خودروهای الکتریکی در شبکه توزیع باهدف کاهش تلفات توان در شبکه و هزینه ساخت ایستگاههای شارژ، کارشناسی ارشد، صنعتی شیراز، شیراز، ۱-۱۲۹، ۱۳۹۷
- جنتی اسکوتی، محمد رضا، هماهنگی منابع انرژی تجدید پذیر و خودروهای الکتریکی در شبکه توزیع هوشمند، کارشناسی ارشد، شید مدنی، تبریز، ۱-۱۲۶، ۱۳۹۲
- حاجی-سعید، سیدمحمد، جایابی پارکینگ های شارژ خودروی های الکتریکی با در نظر گرفتن فاکتورهای تلفات، کیفیت توان و قابلیت اطمینان، کارشناسی ارشد، یزد، ۱-۹۴، ۱۳۹۵
- حسین-زاده، پویا؛ گرگانی-فیروزجاه، خلیل؛ شیخ-الاسلامی، عبدالرضا، "برنامه ریزی ایستگاه شارژ خودروی الکتریکی با هدف بیشینه سازی سود خودروها و اپراتور ایستگاه در شرایط عدم قطعیت"، نشریه مهندسی و مدیریت انرژی، سال ۹، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۷، صص ۲-۱۳
- دریانورد، احسان، برنامه ریزی مکان احداث پارکینگ شارژر خودروهای برقی در شبکه توزیع در حضور توربین بادی به منظور کاهش ظرفیت خطوط و کاهش تلفات شبکه توزیع به کمک الگوریتم یادگیری معلم، کارشناسی ارشد، آزاد اسلامی، بندرعباس، ۱-۸۰، ۱۳۹۶
- رضوانی، سید محمد؛ بسمی، محمدرضا "طراحی ساختار بهینه روتور موتور آهنربای دائم درونی با استفاده از روش مبتنی بر FEM برای کاربرد خودروی برقی"، بیست و ششمین بین المللی برق، تهران ۱۳۹۰
- رضوانی، سید محمد؛ بسمی، محمدرضا (۱۳۸۹)، «بررسی اثر استفاده از خودروهای برقی بر گسترش استفاده از انرژی-های نو»، پانزدهمین کنفرانس شبکه های توزیع نیروی برق، تهران
- رضوانی، سید محمد؛ بسمی، محمدرضا، (۱۳۸۹)، «بررسی اثر استفاده از خودروهای برقی بر افزایش ضریب بار»، پانزدهمین کنفرانس شبکه های توزیع نیروی برق، تهران
- رضوانی، سید محمد؛ رضوانی، سید مهدی چابک، سعید "تراکم شبکه توزیع برق در حضور خودروهای برقی (نمونه موردی: شبکه توزیع برق اسفراین)" چهارمین کنفرانس منطقه ای سیرد، تهران ۱۳۹۴
- رضوانی، سید محمد؛ رضوانی، سید موسی (۱۳۹۱)، «تأثیر هدفمند سازی یارانه-ها بر تقابل بین خودروهای برقی و خودروهای سوخت فسیلی و نقش آن بر درآمد شرکت های توزیع برق»، هفدهمین کنفرانس شبکه-های توزیع نیروی برق، تهران
- شیخ-محمدی، ساکار، تعیین بهینه مکان و ظرفیت پارکینگ خودروهای برقی هیبریدی قابل اتصال به شبکه در سیستم توزیع، کارشناسی ارشد، معراج، سلماس، ۱-۸۱، ۱۳۹۶

- غیبی، مهرداد، بهبود مطالعه-ی اثر هماهنگی برنامه-ریزی ایستگاه-های شارژ خودروهای برقی متعدد، به منظور بهبود پروفیل بار، کاهش تلفات و انحرافات ولتاژ، کارشناسی ارشد، ارومیه، ارومیه، ۸۱-۱، ۱۳۹۴
- فدایی، روح اله، جایابی بهینه پارکینگ خودروهای الکتریکی به منظور تأثیرات بهبود یافته بر شبکه با نفوذ بالای نیروگاههای خورشیدی و بادی، کارشناسی ارشد، علامه محدث نوری، نور، ۱-۱۰۸، ۱۳۹۶
- فرجام-کلشتری، سبحان، تعیین مکان و ظرفیت بهینه ایستگاههای شارژ خودروهای الکتریکی در شبکه توزیع باهدف کاهش تلفات توان در شبکه و هزینه ساخت ایستگاههای شارژ، کارشناسی ارشد، صنعتی شیراز، شیراز، ۱-۱۲۹، ۱۳۹۷
- قهقرائی زمانی، علی؛ اسکویی، محمد؛ ذکریازاده، علیرضا "جایابی بهینه ایستگاههای شارژ موتور سیکلتهای برقی با در نظر گرفتن الگوی ترافیکی منطقه ۱۲ شهرداری تهران"، سی-امین کنفرانس بین المللی برق، تهران ۱۳۹۴
- کرامتی، مریم، جایابی بهینه ایستگاههای شارژ خودروی الکتریکی با استفاده از الگوریتم PSO با در نظر گرفتن عدم قطعیت های بار، کارشناسی ارشد، آزاد اسلامی، شاهرود، ۱-۷۷، ۱۳۹۶
- گروهی ساردو، ایمان؛ شهریار، محمدجواد، "برنامه ریزی احتمالی سیستم قدرت در حضور خودروهای برقی با در نظر گرفتن عدم قطعیت منابع انرژی تجدیدپذیر" هوش محاسباتی در مهندسی برق، سال یازدهم، شماره اول، بهار ۱۳۹۹
- مرادی، محمدحسن؛ رضایی مظفر، مصطفی؛ محمد علیزاده، پرهام، "جایابی و تعیین ظرفیت بهینه منابع انرژی تجدیدپذیر و ایستگاه شارژ خودروی برقی به صورت هم زمان با استفاده از الگوریتم بهینه سازی GA-PSO"، نشریه مهندسی برق و مهندسی کامپیوتر ایران، الف- مهندسی برق، سال ۱۵، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۶
- مرتضویان، میر باقر و جدید، شهرام " مکان و اندازه بهینه ایستگاههای شارژ سریع خودروهای الکتریکی با در نظر گرفتن هزینه انتظار رانندگان در ایستگاههای شارژ"، سی و یکمین کنفرانس بین المللی برق، آبان ۱۳۹۵.
- وروشوساز، فرشید؛ معظمی، مجید؛ فانی، بهادر " برنامه ریزی و تخمین تصادفی ظرفیت یک ایستگاه شارژ خودروهای الکتریکی با سقف خورشیدی با استفاده از نظریه صف و جنگل تصادفی"، مجله انجمن مهندسی برق و الکترونیک ایران، سال ۱۶، شماره اول، بهار ۱۳۹۸.
- یوسفی، حسین؛ تورانداز کناری، مقداد؛ سپاسیان، محمدصادق " مدل سازی احتمالی تقاضای بار ایستگاه شارژ سریع برای خودروهای الکتریکی عمومی"، نشریه مهندسی برق و مهندسی کامپیوتر ایران، الف- مهندسی برق، سال ۱۷، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸
- Rezvani, Seyyed Mohammad; Besmi. Mohammad Reza. Optimized structure design of interior permanent magnet motors for electric vehicles using a method based on FEM, International Review of Modeling and Simulations (IREMOS)

پیش‌بینی تأثیر توان توربین‌های بادی در بازار برق

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۱/۲۶

تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۲/۲۷

کد مقاله: ۳۹۵۰۳

اکتای شفيعی فسقندیس^۱

چکیده

در یک مکانیزم تأمین اشتراکی برق با مقدار قابل‌توجهی از تقسیم توان باد، همه ژنراتورها شامل واحدهای سنتی و واحدهای توان باد عموماً در یک بازار روزانه یا اصطلاحاً day-ahead بر اساس پیش‌بینی توان باد و تلفات توربین‌های بادی برنامه‌ریزی می‌شوند. سپس، یک بازار زمان حقیقی با توجه به پیش‌بینی توان بروز شده و تصمیمات ثابت‌شده روزانه برای تنظیم عدم توازن توان روشن خواهد شد. این توالی فرایند بازار توافقی ممکن است با چالش‌های عملیاتی جدی مانند کمبود شدید توان در بازار زمان واقعی (RT) به دلیل اشتباه پیش‌بینی‌های توان باد در بازار روزانه (DA) مقابله کند. برای غلبه بر چنین شرایطی، چندین راه‌حل مانند اضافه کردن منابع انعطاف‌پذیر به سیستم می‌تواند در نظر گرفته شود. در این مقاله، ما به راه‌حل‌های بالقوه دیگری بر اساس به اشتراک گذاشتن اطلاعات می‌پردازیم که در آن بازیگران بازار پیش‌بینی‌های توان باد خودشان را با دیگران در بازار روزانه به اشتراک می‌گذارند. این راه‌حل ممکن است عملکرد توالی فرایند بازار توافقی را از طریق ایجاد برنامه روزانه آگاهانه‌تر بهبود بخشد، که نیاز برای منابع متعادل در بهره‌برداری زمان حقیقی را کاهش می‌دهد. این مقاله به‌صورت عددی ارزش بالقوه به اشتراک گذاشتن پیش‌بینی‌ها برای کل سیستم از منظر کاهش هزینه سیستم را بررسی می‌کند. علاوه بر این، تأثیر آن بر روی سود هر بازیگر بازار آنالیز شده است. چارچوب این پژوهش بر اساس یک تنظیم بازار دومرحله‌ای تصادفی و مدل مکمل است که به ما اجازه می‌دهد بینش بیشتری نسبت به اثرات به اشتراک گذاشتن اطلاعات به دست آوریم.

واژگان کلیدی: توربین‌های بادی، بازار برق، توان، بازیگر، پاسخ تقاضا

۱- دانشجوی دکتری مهندسی برق قدرت، مدرس دانشگاه آزاد اسلامی واحد بستان آباد؛ oktayghaan@gmail.com

در دهه اخیر، تقسیم توان باد به سرعت رشد کرده است. برای مثال، توان باد یک تکنولوژی تولید با بالاترین نرخ برای نصب و راهاندازی جدید در اروپا است که ظرفیت نصب شده تا پایان سال ۲۰۱۴ به 128.8GW رسیده است. کشور آلمان در حال حاضر از نظر ظرفیت نصب شده با بیش از 39GW کشور پیشرو است، درحالی که کشور دانمارک از نظر تقسیم بالای توان باد تولید شده یک کشور پیشگام است که در همان سال تقریباً 40% از برق مصرفی خود را از توان باد تأمین می کرد. با این حال، عدم قطعیت و تغییرپذیری در تولید توان باد چالش های عملیاتی را در بازار برق مطرح می کند. در مرجع [۳] تأثیر همبستگی تولید باد بر روی رفتار بازار مشخص شده است، درحالی که در مرجع [۴] ارزش بازار توان باد مزرعه بادی دریایی بر روی بازار برق نقطه ای یا منطقه ای در آلمان ارزیابی شده است. یک تجزیه و تحلیل آماری از یک بازار رقابتی روزانه (day-ahead) همراه با تولیدات توان بادی به هم مرتبط شده و بار الکتریکی در مرجع [۵] ارائه شده است. در نهایت، در مرجع [۶] اثر دقت پیش بینی کوتاه مدت توان باد بر روی استراتژی عرضه تولیدات توان باد بررسی شده است. تحت این حالت، پیش بینی توان باد و سطح دقت و صحت آن در سیستم های توان مدرن عوامل کلیدی هستند. اهمیت صحت و دقت پیش بینی توان باد برای بهبود دادن کارکرد سیستم های توان باد یکپارچه در تعداد زیادی از مقاله ها و گزارش های فنی در نوشته های موجود بررسی شده است. مرجع [۷] یک نمای کلی از پیشرفت های اخیر در روش های پیش بینی توان باد می دهد. اگرچه برخی روش ها به طور مداوم در حال بهبود یافتن هستند، با این حال پیش بینی های توان باد هنوز هم از یک خطای قابل توجه ویژه ای در زمان بندی بازار روزانه پیروی می کنند [۸-۱۰]. این خطا همانطور که در مراجع [۱۱-۱۴] آورده شده است منجر به چندین چالش عملیاتی در بازارهای برق می شود. یک راه حل بالقوه برای مقابله با این چالش ها اضافه کردن منابع انعطاف پذیر عملیاتی مختلف به بازار مانند واحدهای کار در پیک و ارائه دهندگان پاسخ تقاضا است [۱۵]. ارزش عملیاتی این منابع در مراجع [۱۶-۱۸] مشخص شده است.

در این مقاله، ما راه حل های بالقوه دیگری برای بهبود عملکرد سیستم نشان میدهیم. به عنوان مثال، به اشتراک گذاشتن پیش بینی توان باد در میان بازیگران مختلف، که ممکن است بازیگران بازار به ساخت یک توزیع توان باد دقیق تر کمک کنند نسبت به حالتی که هر کدام از آنها به صورت جداگانه پیش بینی می کنند. توجه کنید که این مکانیزم به اشتراک گذاری می تواند فقط در صورتی که پیش بینی های به اشتراک گذاشته شده کاملاً همبسته و مرتبط نیستند، پیش بینی هر بازیگر را بهبود بخشد. این وضعیت با دنیای واقعی بازار برق مطابق است، زیرا پیش بینی هر بازیگر بازار فقط به مدل های عددی عمومی وابسته نیست، بلکه به روش پیش بینی کردن آن بازیگر و خطای اطلاعات پیش بینی گذشته آن بستگی دارد. در این مورد ما فرض می کنیم که همه بازیگران در مورد همه ویژگی های سیستم به جز میزان توان باد در آینده دید یکسان دارند.

در این مقاله، ما اجرای کوتاه بازار برق با دو حالت متوالی داد و ستد را در نظر گرفتیم: بازارهای روزانه (DA) و بهنگام یا زمان واقعی (RT). بازار DA بر اساس تمامی مناقصه ها و پیشنهادات شفاف و واضح شده است، مانند پیشنهادهای تولید کنندگان توان باد. با توجه به تصمیمات معین شده بازار روزانه (DA) گرداننده یا اپراتور بازار بر اساس پیش بینی های بروز شده و بهنگام شده تولید توان باد بازار زمان واقعی (RT) را مشخص می کند که ممکن است از توان تولیدی باد مخابره شده در بازار DA متفاوت باشد. به طور کلی در نوشته ها برای مدیریت عدم قطعیت توان باد درون یک چارچوب توالی DA-RT دو روش و تنظیم متفاوت در دسترس است: روش قطعی و روش اتفاقی یا تصادفی. در اولی، گرداننده یا اپراتور بازار بر اساس تمامی پیشنهادات و مناقصه های ارائه شده، بازار DA را مشخص می کند و برنامه بازار DA را تعیین می کند، درحالی که هیچ امکان دیگری برای فهم آینده میزان توان باد در نظر گرفته نشده است. در مقابل، بازار DA در تنظیم دوم به طور تصادفی مشخص شده است که در آن اپراتور بازار با در نظر داشتن پیشنهادات و مناقصه های ارسال شده بازار DA و همچنین یک تعدادی از سناریوها برای فهم انرژی و توان باد آینده را مشخص می کند [۲۰-۲۶].

در این مقاله، ما به دو دلیل اصلی از یک تنظیم بازار تصادفی استفاده می کنیم. اولاً، نتیجه آن در بیشتر مطلع شدن برنامه های بازار DA نسبت به روش قطعی که بنابراین در کل انتظار داریم هزینه سیستم کاهش یابد [۲۲]. ثانیاً، ماهیت اطلاعات به اشتراک گذاری تصادفی است. بر اساس این تنظیم تصادفی، مساله ریاضی برای مشخص کردن بازار DA به عنوان یک مساله برنامه نویسی دو مرحله ای تصادفی تشکیل می شود [۲۷]، که نتیجه آن سناریوهای مستقل برنامه های DA (تصمیم گیری های در اینجا و در حال حاضر) و سناریوهای وابسته عملیات RT (تصمیم گیری های مبتنی بر انتظار و مشاهده) می شود.

با استفاده از مضامین فوق، ما بازاری را در نظر می گیریم که در آن تولیدکننده توان باد و گرداننده یا اپراتور بازار به طور مستقل تولید توان باد را در مقیاس زمان بندی بازار DA پیش بینی می کنند. در نتیجه به طور مستقیم انتظار می رود که به اشتراک گذاشتن پیش بینی توان باد میان تولید کننده و گرداننده یا اپراتور بازار ممکن است از طریق تولید توزیع پیش بینی توان باد اصلاح شده باعث بهبود رفاه اجتماعی شود (یا هزینه سیستم کاهش یابد)، اگرچه در سود هر بازیگر فردی بازار لزوم و الزامی ندارد. این

ارزش بالقوه در این مقاله از دیدگاه سیستم از لحاظ هزینه مورد انتظار سیستم به صورت عددی ارزیابی خواهد شد، به عنوان مثال هزینه کل در تمام بازیگران بازار.

بر اساس تنظیم بازار در نظر گرفته شده، یکی از نگرانی‌های محتمل این است که به اشتراک گذاری پیش‌بینی توان باد در میان تولید کننده و گرداننده یا اپراتور بازار ممکن است موجب شود که بازار توان برای تولید کننده نتایج مشخص کردن بازار را به سود آن تغییر دهد. به عبارت دیگر، هر تولید کننده توان باد ممکن است چنانچه اطلاعات بهتری بر روی تولید تصادفی آن داشته باشد با استراتژی بیشتری رفتار کند. برای پرداختن به چنین نگرانی، ما یک روش مکمل به نام نظریه بازیها (game-theoretic) [۲۸-۳۰] برای مدل کردن رفتار استراتژیک یک تولید کننده توان باد، با و بدون به اشتراک گذاشتن پیش‌بینی‌ها استفاده می‌کنیم. این امر مستلزم حل یک برنامه ریاضی تصادفی با موازنه قیود یا تعادل محدودیت‌ها (MPEC) برای تعیین کردن استراتژی بهینه ارائه تولید کننده توان باد است [۳۱]. در نظر گرفتن چندین تولید کننده توان باد باعث یک مساله تعادلی تصادفی با تعادل قیود (EPEC) می‌شود، که به طور کلی حل آن دشوار است. به دنبال سادگی و به منظور ایجاد کردن بصری تر یافته هایمان، ما یک تولید کننده توان باد تکی به شکل یک MPEC تصادفی در نظر می‌گیریم [۳۲].

یکی دیگر از نگرانی‌های محتمل این است که تجزیه و تحلیل‌های این مقاله منوط به تحقق یافتن توان باد درون بازار RT است. برای پاسخگویی به چنین نگرانی، ما یک شبیه سازی خارج از نمونه وسیع [۳۳] با در نظر گرفتن یک تعداد زیاد از تحقق تولید توان باد متفاوت انجام می‌دهیم. این آنالیز عددی به ما اجازه می‌دهد که هزینه مورد انتظار سیستم و سود هر کدام از واحدهای تولید کننده سنتی را با و بدون به اشتراک گذاشتن پیش‌بینی توان باد مقایسه کنیم.

تحت این زمینه، سهم این مقاله چهار بخش است:

پیشنهاد کردن و طرح کردن جایگزین بالقوه برای کاهش دادن هزینه‌های اجتماعی در بازارهای برق، که بر اساس به اشتراک گذاشتن اطلاعات میان عوامل مختلف است. که بنا به آگاهی ما در متون فنی پرداختن به کار مرتبط با ما وجود ندارد. طرح یک چارچوب ارزیابی سه مرحله ای که ارزش به اشتراک گذاشتن پیش‌بینی توان باد بین یک تولید کننده و گرداننده یا اپراتور بازار را ارزیابی عددی می‌کند، که به آنها اجازه می‌دهد که سناریوهایی اصلاح شده بیشتری تولید کنند. این ارزش بالقوه به لحاظ کاهش در هزینه مورد انتظار سیستم ارزیابی شده است.

تجزیه و تحلیل عددی تأثیر به اشتراک گذاشتن پیش‌بینی توان باد بر روی احتمال رفتار استراتژیک تولید کننده توان باد و بر روی سود مورد انتظار تولید کننده سنتی. (با در نظر گرفتن تلفات احتمالی توربین‌های بادی)

انجام دادن یک شبیه سازی نمونه خارجی وسیع که به ما اجازه می‌دهد تا هزینه مورد انتظار سیستم و سود مورد انتظار بازیگران مختلف را با و بدون به اشتراک گذاشتن پیش‌بینی توان باد مقایسه کنیم.

توجه داشته باشید که روش ریاضی استفاده شده در بخش‌های مختلف این مقاله در حال حاضر در متون دیگر در دسترس هست و از این رو، سهم این مطالعه ارائه روش نیست. به نوبه خود، این روش‌های موجود برای طرح به اشتراک گذاشتن اطلاعات میان بازیگران مختلف استفاده شده است، به عنوان مثال به اشتراک گذاشتن پیش‌بینی توان باد به عنوان یک راه حل بالقوه برای مقابله با عدم قطعیت توان باد. علاوه بر این، ارزش پیش‌بینی به اشتراک گذاشتن برای سیستم به صورت عددی به وسیله یک چارچوب ارزیابی سه مرحله ای و یک آنالیز حساسیت ارزیابی شده است. همچنین مطالعه مشابهی در متون حاضر که تأثیر به اشتراک گذاشتن اطلاعات در بازارهای برق را بررسی کند وجود ندارد. موضوع این مقاله نفع و سود بالا برای بازارهای برق جهان واقعی با نفوذ قابل توجه منابع انرژی تجدیدپذیر است. به عنوان مثال، بازارهای آلمان، دانمارک و ایرلند.

بخش‌های مختلف این مقاله به شرح زیر سازمان یافته است: بخش ۲ یک چارچوب ارزیابی سه مرحله ای پیشنهاد می‌کند و فرمول‌های ریاضی مربوطه را بیان می‌کند. قسمت ۳ نتایج عددی را برای یک مورد مطالعه با مقیاس بزرگ بر اساس سیستم IEEE بیان می‌کند. بخش ۴ نتیجه گیری و پایان‌بندی مقاله است.

۲- چارچوب ارزیابی

۲-۱- ویژگی‌ها و فرضیات

یک بازار برق رقابتی ناقص در نظر گرفته شده است، که در آن واحدهای تولید توان باد و واحدهای سنتی ممکن است به صورت استراتژیک عرضه شوند [۳۴ و ۳۵]. برای اجتناب از تشکیل یک EPEC، مساله عرضه استراتژیک تولید کننده توان باد با فرض عرضه منحنی واحدهای سنتی رقیب به عنوان پارامترهای ثابت شده حل شده است. این پارامترها به طور کلی نامعلوم هستند که موجب عدم قطعیت دیگر منابع می‌شود. در خط با [۳۶-۳۹] ما مانع چنین عدم قطعیتی می‌شویم. از این رو، ما فرض می‌کنیم که تولید کننده توان باد به طور کامل استراتژی عرضه کردن رقبای سنتیشان را می‌داند. به طور مشابه به [۳۵ و ۳۶ و ۳۸] و به منظور سادگی محدودیت‌های انتقال در نظر گرفته نشده‌اند. علاوه بر این، محدودیت‌های بین زمانی مانند محدودیت‌های رمپینگ واحدها

سستی در نظر گرفته نشده است و بدین ترتیب مزایده ساعتی در نظر گرفته شده است. بر خلاف نیروگاه‌های زغال سنگ یا گازی، هزینه بهره‌برداری تولید کننده توان باد به دلیل متحمل نشدن هزینه سوخت برای آنان ناچیز است. در برخی از بازارهای برق واقعی به علت تشویق منابع تجدیدپذیر حتی این هزینه ناچیز است [۴۰]. در نهایت، فرض شده است که تقاضا برای قیمت قطعی و غیر قابل انعطاف باشد. مانند مرجع [۴۶].

۲-۲- مطرح کردن چارچوب سه مرحله‌ای

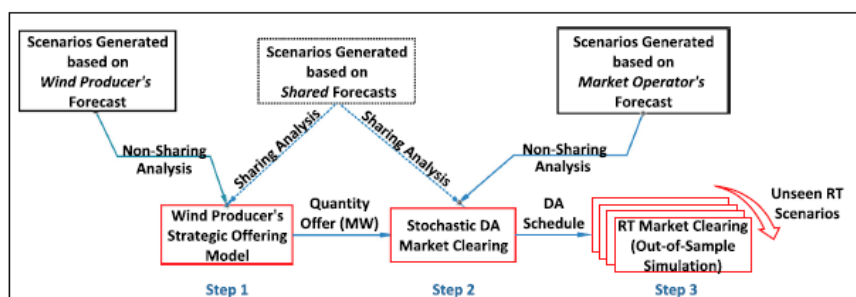
چارچوب ارزیابی سه مرحله‌ای مطرح شده به صورت شماتیک در شکل ۱ به تصویر کشیده شده است و جزئیات آن به شرح زیر توضیح داده شده است:

در این مرحله توان توربین‌های بادی به همراه تلفات آنها محاسبه و و در محاسبات لحاظ می‌شوند. این مرحله، استراتژی عرضه تولید کننده توان باد را از طریق یک مدل تکمیلی بازی نظریه‌ها استنتاج می‌کند، که هدف آن ماکزیمم کردن سود مورد انتظار تولید کننده توان باد است. سه گزینه عرضه برای تولید کننده توان باد به منظور به کار گرفتن آن در بازار توان که در دسترس هستند: (۱) استراتژی عرضه از نظر کمیت (۲) استراتژی عرضه از نظر قیمت و (۳) استراتژی عرضه از نظر هم کمیت و هم قیمت. توجه داشته باشید که اثرات بازار همه گزینه‌ها یکسان هستند. در این مقاله ما گزینه اول را در نظر می‌گیریم. به عنوان مثال، تولید کننده توان باد پیشنهادات استراتژی کمیت خود را نتیجه می‌گیرد. این اجازه می‌دهد تا تولید کننده توان باد بخشی از تولید خود را خودداری کند.

با در نظر گرفتن کمیت یا مقدار پیشنهاد تولید کننده توان باد در مرحله ۱، اپراتور بازار به طور تصادفی با مد نظر داشتن پیش-بینی سناریوهای توان باد بازار DA را مشخص می‌کند

با توجه به بازار DA برنامه‌ریزی شده در مرحله ۲، بازار RT برای یک تعداد زیادی از تحقق سناریوهای توان باد مشخص خواهد شد، که الزامی ندارد با تولید کننده توان باد یا پیش‌بینی‌های اپراتور بازار در بازار DA یکسان باشد (شبیه سازی نمونه خارجی).

توجه داشته باشید که سناریوهای وارد شده در مرحله ۱ و ۲ و ۳ بر اساس پیش‌بینی‌های توان باد در دسترس در بازار DA تولید شده است، در حالی که مرحله ۴ بر اساس تحقق واقعی در بازار RT حل خواهد شد. چارچوب سه مرحله مطرح شده در مطالب فوق برای دو تجزیه و تحلیل متفاوت بررسی شده است. آنالیز اول (به اصطلاح آنالیز غیر اشتراک گذاری نامیده می‌شود) در نظر می‌گیرد که تولید کننده توان باد و اپراتور بازار از پیش‌بینی‌های خودشان استفاده می‌کنند، که ممکن است توزیع‌های متفاوتی را دنبال کنند. از این رو، مجموعه‌های متفاوت سناریوها در مرحله ۱ و ۲ و ۳ در نظر گرفته می‌شوند. آنالیز دوم (به اصطلاح آنالیز به اشتراک گذاری نامیده می‌شود) در نظر می‌گیرد که اپراتور بازار و تولید کننده توان باد اطلاعات مربوط به پیش‌بینی هایشان را به اشتراک بگذارند، و بنابراین، تصمیمات مرحله‌های اول و دوم بر اساس یک مجموعه یکسان از سناریوها ساخته خواهند شد. چارچوب چهار مرحله‌ای مطرح شده به زبان ریاضی در قسمت‌های بعد بیان شده است.



شکل ۱. چارچوب ارزیابی سه مرحله‌ای مطرح شده: آنالیز غیر به اشتراک گذاری و به اشتراک گذاری

۲-۳- مرحله ۱ و ۲: استراتژی عرضه تولید کننده توان باد

استراتژی کمیت و مقدار عرضه تولید کننده توان باد در این مرحله با استفاده از یک مدل تکمیلی تصادفی نتیجه گرفته خواهد شد، که شبیه است به آنچه که در مراجع [۳۶ و ۳۷] مطرح شده است، اما مقدار پیشنهادات استراتژیک به جای پیشنهادات قیمت نتیجه گیری می‌شود. برای این منظور، ما از یک مدل bi-level استفاده می‌کنیم (۱)، که مساله ریاضی upper-level آن، یعنی (1a) و (1b) سود مورد انتظار تولید کننده توان باد را ماکزیمم یا بیشینه می‌کند و پیشنهادات استراتژیک را نتیجه می‌گیرد، و مساله ریاضی lower-level آن، یعنی (1c) تا (1m) بازار را از طریق مینیم یا کمینه کردن هزینه مورد انتظار سیستم مشخص می‌کند. تابع هدف upper-level (1a) بوسیله هر دو قید upper-level (1b) و lower-level (1c) تا (1m) محدود شده است.

متغیرهای دوگانه در هر قید lower-level پس از یک علامت نقل فول نشان داده شده است. توجه داشته باشید که در مدل bi-level (۱) سناریوهای خود تولید کننده توان باد ($\Omega \in \omega$) در نظر گرفته شده اند (با اشاره به آنالیز غیر به اشتراک گذاری) و از این رو، متغیرها و پارامترهای تصادفی به وسیله ω نمایه سازی شده است. در حالت آنالیز به اشتراک گذاری، اندیس ω نیاز دارد بوسیله یک اندیس جدید جایگزین شود، به عنوان مثال، اندیس h اشاره به سناریوهای مربوط به آنالیز به اشتراک گذاشته شده دارد.

$$\text{Maximize}_{p^{W,of,(S1)}, \Xi^{LL,P} \cup \Xi^{LL,D}} \lambda^{DA,(S1)} p^{W,(S1)} + \sum_{\omega \in \Omega} \lambda_{\omega}^{RT,(S1)} (p_{\omega}^W - p^{W,(S1)} - p_{\omega}^{spill,(S1)}) \quad (1a)$$

مشروط به

$$p^{W,of,(S1)} \geq 0 \quad (1b)$$

$$\lambda^{DA,(S1)}, p^{W,(S1)}, \lambda_{\omega}^{RT,(S1)}, p_{\omega}^{spill,(S1)}$$

$$\in \arg \min_{\Xi^{LL,P}} \left\{ \sum_{i \in I} \lambda_i^G P_i^{G,(S1)} + \sum_{\omega \in \Omega} \gamma_{\omega} \left[\sum_{i \in I} (\lambda_i^U r_{i,\omega}^{U,(S1)} - \lambda_i^D r_{i,\omega}^{D,(S1)}) + \sum_{d \in D} V_d^{shed} l_{d,\omega}^{shed,(S1)} \right] \right\} \quad (1c)$$

مشروط به

$$\sum_{d \in D} P_d^D - \sum_{i \in I} P_i^{G,(S1)} - p^{W,(S1)} = 0: \lambda^{DA,(S1)} \quad (1d)$$

$$0 \leq P_i^{G,(S1)} \leq P_i^G: \overline{\phi_i^{(S1)}}, \overline{\phi_i^{(S1)}} \forall i \quad (1e)$$

$$0 \leq p^{W,(S1)} \leq p^{W,of,(S1)}: \overline{\sigma^{(S1)}}, \overline{\sigma^{(S1)}} \quad (1f)$$

$$\sum_{i \in I} (r_{i,\omega}^{D,(S1)} - r_{i,\omega}^{U,(S1)}) - \sum_{d \in D} l_{d,\omega}^{shed,(S1)} - (p_{\omega}^W - p^{W,(S1)} - p_{\omega}^{spill,(S1)}) = 0: \lambda_{\omega}^{RT,(S1)} \forall \omega \quad (1g)$$

$$0 \leq p_{\omega}^{spill,(S1)} \leq p_{\omega}^W: \overline{\tau_{\omega}^{(S1)}}, \overline{\tau_{\omega}^{(S1)}} \forall \omega \quad (1h)$$

$$0 \leq p_{d,\omega}^{shed,(S1)} \leq P_d^D: \overline{\psi_{d,\omega}^{(S1)}}, \overline{\psi_{d,\omega}^{(S1)}} \forall d, \forall \omega \quad (1i)$$

$$0 \leq r_{i,\omega}^{D,(S1)} \leq R_i^D: \overline{\mu_{i,\omega}^{D,(S1)}}, \overline{\mu_{i,\omega}^{D,(S1)}} \forall i, \forall \omega \quad (1j)$$

$$0 \leq r_{i,\omega}^{U,(S1)} \leq R_i^U: \overline{\mu_{i,\omega}^{U,(S1)}}, \overline{\mu_{i,\omega}^{U,(S1)}} \forall i, \forall \omega \quad (1k)$$

$$r_{i,\omega}^{U,(S1)} \leq (P_i^G - P_i^{G,(S1)}): \overline{\mu_{i,\omega}^{(S1)}} \forall i, \forall \omega \quad (1l)$$

$$\left. r_{i,\omega}^{D,(S1)} \leq P_i^{G,(S1)}: \overline{\mu_{i,\omega}^{(S1)}} \forall i, \forall \omega \right\} \quad (1m)$$

که در آن $\Xi^{LL,P} = \{p_i^{G,(S1)}, p^{W,(S1)}, r_{i,\omega}^{U,(S1)}, r_{i,\omega}^{D,(S1)}, l_{d,\omega}^{shed,(S1)}, p_{\omega}^{spill,(S1)}\}$ مجموعه ای از مساله ریاضی lower-level (1c) تا (1m) است. علاوه بر این،

$$\Xi^{LL,D} = \left\{ \overline{\phi_i^{(S1)}}, \overline{\phi_i^{(S1)}}, \overline{\sigma^{(S1)}}, \overline{\sigma^{(S1)}}, \overline{\lambda^{DA,(S1)}} , \overline{\tau_{\omega}^{(S1)}} , \overline{\tau_{\omega}^{(S1)}} , \overline{\lambda_{\omega}^{RT,(S1)}} , \overline{\psi_{d,\omega}^{(S1)}} , \overline{\psi_{d,\omega}^{(S1)}} , \overline{\mu_{i,\omega}^{D,(S1)}} , \overline{\mu_{i,\omega}^{D,(S1)}} , \overline{\mu_{i,\omega}^{U,(S1)}} , \overline{\mu_{i,\omega}^{U,(S1)}} , \overline{\mu_{i,\omega}^{(S1)}} , \overline{\mu_{i,\omega}^{(S1)}} \right\}$$

مجموعه ای از متغیرهای دوگانه مساله ریاضی lower-level است. در نهایت، متغیرهای اولیه مساله ریاضی upper-level (1a) و (1b) $p^{W,of,(S1)}$ و همچنین تمامی عضوهای مجموعه متغیرهای $\Xi^{LL,D}$ و $\Xi^{LL,P}$ هستند.

تابع هدف upper-level (1a) سود مورد انتظار تولید کننده توان باد را ماکزیمم یا بیشینه می کند و موارد زیر را شامل می شود:

سود تولید کننده توان باد در بازار DA، محصول قیمت بازار توافقی DA، یعنی $\lambda^{DA,(S1)}$ و مقدار برنامه ریزی شده یعنی $p^{W,(S1)}$.

سود یا هزینه مورد انتظار تولید کننده توان باد در بازار RT، محصول وزن احتمال قیمت بازار توافقی RT به عبارت دیگر، $\lambda_{\omega}^{RT,(S1)}$ و مازاد یا کمبود توان باد در بازار RT، به عبارتی،

$$p_{\omega}^W - p_{\omega}^{W,(S1)} - p_{\omega}^{spill,(S1)}$$

قید upper-level (1b) مقدار یا کمیت تولید کننده توان باد را تحمیل می‌کند، یعنی $p_{\omega}^{W,of,(S1)}$ غیر منفی باشد. تابع هدف lower-level (1c) هزینه‌های مورد انتظار سیستم را شامل هزینه سمت تولید در بازار DA و بازار RT و همچنین هزینه‌های خارج کردن بار از مدار یا به اصطلاح قطع کردن بخش از بار در بازار RT را مینیمم می‌کند. قید lower-level (1d) تعادل توان در بازار DA را نشان می‌دهد، که متغیرهای دوگانه آن به عنوان مثال $\lambda_{DA,(S1)}^{DA}$ ، قیمت بازار توافقی DA را فراهم می‌کند. قیود (1E) و (1f) برنامه بازار DA واحدهای سنتی و تولیدکنندگان توان باد را به ترتیب بر اساس مقدار یا کمیت پیشنهادهایشان با هم متحد و همبسته می‌کند. قید (1g) اشاره دارد به تعادل توان در بازار RT که نامتعادلی انرژی را با استفاده از موضع گیری ذخیره (ذخیره انرژی) قابل بهره‌برداری تنظیم می‌کند مانند توان بادی که پیش از این سرریز بوده و استفاده نمیشده است یا با استفاده از ریختن و قطع کردن بخشی از بار. توجه داشته باشید که متغیر دوگانه مربوط به آن احتمال وزنی قیمت توافقی بازار RT را فراهم می‌کند، یعنی $\lambda_{\omega}^{RT,(S1)}$ ، قید (1h) به این موضوع دلالت دارد که توان باد نشت شده باید برابر با یا پایین تر از تحقق توان باد باشد. قید (1i) مقدار قطعی یا به اصطلاح ریزش بار را محدود می‌کند ذخیره های قابل بهره‌برداری در بازار RT کمیت یا مقدار پیشنهادات ذخیره و ارسال شدن بازار DA از طریق قیود (1j) تا (1m) محدود می‌شود. توجه داشته باشید که مساله ریاضی lower-level (1c) تا (1m) پیوسته، خطی و بنابراین برجسته است. این اجازه می‌دهد تا مدل bi-level از نو به عنوان یک MPEC single-level طرح شود. نتیجه MPEC پس از آن می‌تواند از طریق تکنیک های خطی شرح داده شده در مرجع [۴۷] به یک مساله برنامه ریزی خطی عدد صحیح در آمیخته (MILP) تبدیل شود.

۲-۴- مرحله ۳: بازار توافقی DA تصادفی

در این مرحله، گرداننده یا اپراتور بازار با در نظر داشتن همه سناریوهای توان باد از قبل پیش‌بینی شده به طور تصادفی بازار DA را شفاف می‌کند. هدف اپراتور بازار مینیمم یا کمینه کردن هزینه کلی مورد انتظار سیستم مورد در بازار DA و RT است. برای این منظور، آن را با مساله ریاضی برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله ای حل می‌کند (۲). توجه داشته باشید که سناریوهای در نظر گرفته شده در (۲) آنهایی هستند که بر اساس پیش‌بینی اپراتور بازار تولیدشده اند (یا اندیس S نشان داده شده‌اند)، که به توضیح آنالیز غیر به اشتراک گذاری مراجعه کنید. در آنالیز به اشتراک گذاری، این اندیس با h جایگزین می‌شود با اشاره به سناریوهای به اشتراک گذاشته شده. و نیز توجه داشته باشید که مقدار پیشنهاد تولید کننده توان باد که با $p_{\omega}^{W,of,(S1)}$ نشان داده شده است در مرحله ۳ یک پارامتر است، که مقدار آن از مرحله ۱ و ۲ به دست آمده است.

$$\begin{aligned} & \text{Minimize} \sum_{i \in I} \lambda_i^G P_i^{G,(S2)} \\ & p_i^{G,(S2)}, p_{i,s}^{W,(S2)}, r_{i,s}^{U,(S2)}, r_{i,s}^{D,(S2)}, l_{d,s}^{shed,(S2)}, p_s^{spill,(S2)} \\ & + \sum_{s \in S} \pi_s \left[\sum_{i \in I} (\lambda_i^U r_{i,s}^{U,(S2)} - \lambda_i^D r_{i,s}^{D,(S2)}) + \sum_{d \in D} V_d^{shed} l_{d,s}^{shed,(S1)} \right] \end{aligned} \quad (2a)$$

مشروط به

$$\sum_{d \in D} P_d^D - \sum_{i \in I} P_i^{G,(S2)} - p_{\omega}^{W,(S2)} = 0 \quad (2b)$$

$$0 \leq P_i^{G,(S2)} \leq P_i^G \forall i \quad (2c)$$

$$0 \leq p_{\omega}^{W,(S2)} \leq p_{\omega}^{W,of,(S1)} \quad (2d)$$

$$\sum_{i \in I} (r_{i,s}^{D,(S2)} - r_{i,s}^{U,(S2)}) - \sum_{d \in D} l_{d,s}^{shed,(S2)} - (p_s^{MO} - p_{\omega}^{W,(S2)} - p_s^{spill,(S2)}) = 0 \forall s \quad (2e)$$

$$0 \leq p_s^{spill,(S2)} \leq p_s^{MO} \forall s \quad (2f)$$

$$0 \leq l_{d,s}^{shed,(S2)} \leq P_d^D \forall d, \forall s \quad (2g)$$

$$0 \leq r_{i,s}^{D,(S2)} \leq R_i^D \forall i, \forall s \quad (2h)$$

$$0 \leq r_{i,s}^{U,(S2)} \leq R_i^U \forall i, \forall s \quad (2i)$$

$$r_{i,s}^{U,(S2)} \leq (P_i^G - P_i^{G,(S2)}) \forall i, \forall \omega \quad (2j)$$

$$r_{i,s}^{D,(S2)} \leq P_i^{G,(S2)} \forall i, \forall s. \quad (2k)$$

تابع هدف (2a) هزینه های کلی مورد انتظار سیستم را در بازارهای DA و RT مینیمم یا کمینه می کند. علاوه بر این، قیود (2b) تا (2k) مشابه به قیود (1d) تا (1m) در مرحله ۱ هستند.

۲-۵- مرحله ۴: بازار توافقی (RT شبیه سازی نمونه خارجی)

در این مرحله، ما برنامه بازار DA واحدهای سنتی و تولید کننده توان باد بدست آمده در مرحله ۱ و ۲ را ثابت و درست می کنیم. پس، واضح است که بازار RT در مقابل تحقق توان باد متفاوت است، که لزوماً با سناریوهای در نظر گرفته شده در مرحله های ۱ و ۲ یکسان نیست. بازار RT در مقابل یک تحقق توان باد خاص به صورت مساله ریاضی بهینه سازی قطعی داده شده است (۳). توجه داشته باشید که نمادها و سمبول های با بالانویس (S2) مطابق است با پارامترها (برنامه های بازار DA)، که مقادیر آن از مرحله ۱ و ۲ به دست آمده است.

$$\begin{aligned} \text{Minimize}_{r_i^{U,(S3)}, r_i^{D,(S3)}, r_d^{shed,(S3)}, p_{pill,(S3)}} & \left\{ \sum_{i \in I} (\lambda_i^U r_i^{U,(S3)} - \lambda_i^D r_i^{D,(S3)}) \right. \\ & \left. + \sum_{d \in D} V_d^{shed} l_d^{shed,(S3)} \right\} \end{aligned} \quad (3a)$$

مشروط به

$$\sum_{i \in I} (r_i^{D,(S3)} - r_i^{U,(S3)}) - \sum_{d \in D} l_d^{shed,(S3)} - (pact - pW,(S3) - p_{pill,(S3)}) = 0 \quad (3b)$$

$$0 \leq p_{pill,(S2)} \leq pact \quad (3c)$$

$$0 \leq l_d^{shed,(S3)} \leq P_d^D \forall d \quad (3d)$$

$$0 \leq r_i^{D,(S3)} \leq R_i^D \forall i \quad (3e)$$

$$0 \leq r_i^{U,(S3)} \leq R_i^U \forall i \quad (3f)$$

$$r_i^{U,(S3)} \leq (P_i^G - P_i^{G,(S2)}) \forall i \quad (3g)$$

$$r_i^{D,(S3)} \leq P_i^{G,(S2)} \forall i. \quad (3h)$$

تابع هدف (3a) هزینه عدم تعادلی ایجاد شده را بوسیله موضع گیری ذخیره قابل بهره برداری و یا به اصطلاح ریزش غیر ارادی بار مینیمم می کند. همچنین، قیود (3b) تا (3h) مشابه قیود (1g) تا (1m) در مرحله ۲ است.

۳- مطالعه موردی

۳-۱- داده ها

سیستم مورد مطالعه بر اساس سیستم تست قابلیت اطمینان یک منطقه IEEE که در مرجع [۴۸] آمده در نظر گرفته شده است، که در آن واحدهای سنتی با استفاده از نوع و قیمت گروه بندی شده اند. پیشنهادات هر واحد سنتی در یک مقدار همسان با ظرفیت نصب شده آن و با یک قیمت در جدول ۱ داده شده است. علاوه بر واحدهای سنتی، یک تولید کننده توان باد تنها با ظرفیت نصب شده 1500MW در نظر گرفته شده است. مقدار بار 2850MW است و مقدار تلفات بار آن \$200/MW h فرض می شود. روش های تولید سناریو متفاوتی وجود دارد که در مقالات مطرح شده است مانند مراجع [۴۹-۵۳]. در این پژوهش، یک توزیع بتا با شکل و صورت پارامترهای (a^R, b^R) در نظر گرفته شده است [۲۴]. سپس، ۵۰۰۰ نمونه تولید شده نشان دهنده پتانسیل تحقق توان باد است. این نمونه ها در مبنای پریونیت هستند یعنی، تولید توان باد بر ظرفیت توان باد نصب شده تقسیم شده است. توجه داشته باشید که تعداد نمونه ها به طور دلخواهانه انتخاب شده برای ایجاد یک مبادله مناسب میان دقت و بار محاسباتی. این نمونه ها در مرحله ۴ برای شبیه سازی یک نمونه خارجی گسترده استفاده شده است. پیش بینی های تولید کننده باد و اپراتور بازار در مرحله ۱ و ۲ و ۳ استفاده شده، و با استفاده از یک توزیع بتا ولی با صورت و ظاهر متفاوت پارامترها مدل شده، به عنوان مثال، به ترتیب (a^W, b^W) و (a^{MO}, b^{MO}) . تولید کننده توان باد و اپراتور بازار هر کدام ۲۰۰۰ سناریو تولید می کنند و سپس آن ها با استفاده از یک رویکرد و روش کاهش سناریو مثل روش مرجع [۵۴] این سناریوها را به سه سناریو کاهش می دهند. این فراهم می کند سناریوهای تولید کننده توان باد که مشخص می شود با ω_1 ، ω_2 و ω_3 با احتمالات مربوط به آن ها. به طور مشابه، سناریوهای تولید شده اپراتور بازار نشان داده شده با δ_1 ، δ_2 و δ_3 با احتمالات متفاوت. در آنالیز غیر به اشتراک گذاری، حل مرحله ۱ و ۲ تولید کننده توان باد با در نظر داشتن سناریوهای آن و سپس حل مرحله ۳ اپراتور بازار بر اساس مجموعه سناریوهای متفاوت مربوط به آن انجام می شود. اما، در آنالیز به اشتراک گذاری هر دوی آنها از مجموعه سناریوهای یکسان شامل همه ۶ سناریو

استفاده می‌کنند. به عبارت دیگر، استفاده از مجموعه سناریوهای $\{\omega_1, \omega_2, \omega_3, S_1, S_2, S_3\}$ در مرحله ۱ و ۲ و ۳. توجه داشته باشید که احتمال مربوط به هر سناریو در آنالیز به اشتراک گذاری نصف آنالیز غیر به اشتراک گذاری است.

جدول ۱: مشخصه های فنی واحدهای سنتی

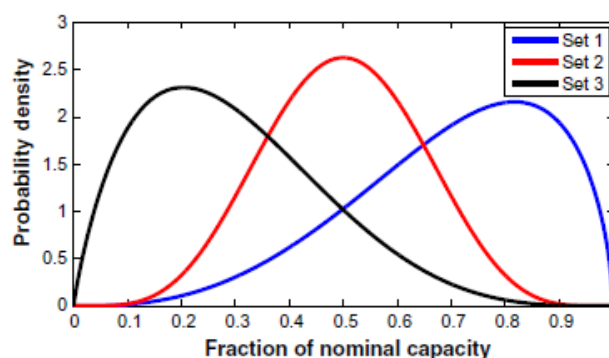
Unit (i)	P_i^G (MW)	λ_i^G (\$/MW)	P_i^U (MW)	λ_i^U (\$/MW h)	P_i^D (MW)	λ_i^D (\$/MW h)
G1	451	35.88	250	40	0	-
G2	500	30.12	200	35	0	-
G3	80	45.00	40	50	0	-
G4	300	5.00	300	7	300	2
G5	474	18.72	290	25	125	10
G6	800	20.56	300	27	200	12
G7	800	7.53	400	15	100	5

پیگیری کلی، چهار مجموعه متفاوت برای پارامترهای توزیع بتا مورد بررسی قرار گرفته شده در این پژوهش در جدول ۲ داده شده است که حاصل آن چهار صورت متفاوت توزیع است. به این ترتیب، ما تأثیر توزیع های پیش‌بینی را بر روی نتایج آنالیزهای غیر به اشتراک گذاری و به اشتراک گذاری بررسی می‌کنیم. این مجموعه ها انتخاب شده اند تا چهار مورد را با بیشترین تفاوت مشخصه در شکل های تابع توزیع را نشان دهند، به عبارت دیگر، کیس های با میانگین بالا، میانگین متوسط و میانگین پایین تابع توزیع. این سه مجموعه به ترتیب مرتبط است با شکل پارامترهای $a > b$ ، $a \approx b$ و $a < b$. ما به ترتیب این کیس ها را به عنوان مجموعه‌های ۱، ۲ و ۳ مورد اشاره قرار می‌دهیم. توجه داشته باشید که در این پژوهش، ما فرض می‌کنیم که پیش‌بینی‌های تولید کننده توان باد و اپراتور بازار دارای توزیع های متفاوتی هستند آنها باز هم شکل توزیع همسان پیش‌بینی می‌کنند، یعنی با اینکه توزیع های آنها با هم متفاوت است اما شکل این توزیع ها یکسان است مثل همان چیزی که به عنوان شکل توزیع در فوق ذکر شد یعنی توزیع میانگین بالا، میانگین متوسط و میانگین پایین. برای شفافیت بیشتر موضوع، شکل های توزیع واقعی تحقق توان باد، با در نظر گرفتن مقادیر a^R و b^R بین مجموعه های متفاوت در شکل ۲ نشان داده شده است. بر اساس شکل پارامترهای در نظر گرفته شده تحقق های توان باد (۵۰۰۰ نمونه) نشان می‌دهد، تولید توان باد مورد انتظار به ترتیب برای مجموعه های ۱ و ۲، ۳ برابر با ۳۷٪، ۲۷٪ و ۱۶٪ بار کل است.

در ادامه این بخش، قسمت های ۲-۳ و ۳-۳ به ترتیب با در نظر گرفتن مجموعه های متفاوت از سناریوهای توان باد، نتایج را برای آنالیزهای روش غیر به اشتراک گذاری و روش به اشتراک گذاری ارائه می‌دهند. علاوه بر این، بخش های ۳-۴ و ۳-۵ نتایج به دست آمده از آنالیز روش های غیر به اشتراک گذاری و به اشتراک گذاری را بواسطه یک شبیه سازی نمونه خارجی و یک روش بر مبنای حساسیت با یکدیگر مقایسه می‌کند.

جدول ۲: پارامترهای شکل توزیع های بتا

Shape Parameters	Set 1 $a > b$	Set 2 $a \approx b$	Set 3 $a < b$
(a^R, b^R)	(3.78, 1.62)	(5.37, 5.37)	(1.89, 4.48)
(a^{MD}, b^{MD})	(3.58, 2.02)	(5.17, 5.77)	(1.69, 4.88)
(a^W, b^W)	(3.98, 1.22)	(5.57, 4.97)	(2.09, 4.08)



شکل ۲. توزیع توان باد حقیقی با در نظر داشتن مجموعه ۱ $(a > b)$ ، مجموعه ۲ $(a \approx b)$ و مجموعه ۳ $(a < b)$.

۳-۲- نتایج: آنالیز غیر به اشتراک گذاری

در این قسمت، ما فرض میگیریم که تولید کننده توان باد و اپراتور بازار توزیع های به دست آمده از پیش بینی هایشان را به اشتراک نمگذارند. تولید کننده توان باد با در نظر گرفتن سه سناریو خودش، مدل bi-level (۱) در مرحله ۱ و ۲ را حل می کند و مفید ترین مقدار پیشنهاد آن را همانطور که در شکل ۳ توسط میله های آبی نشان داده شده است نتیجه می گیرد. با توجه به مقدار پیشنهاد تولید کننده، اپراتور بازار مساله (2a) تا (2k) در مرحله ۳ را برای روشن شدن بازار DA با در نظر گرفتن سه سناریو خودش حل می کند، که از آنهایی که برای تولید کننده توان باد بود متفاوت است. این مرحله توان باد ارسالی را ارائه می کند که در جدول ۳ با رنگ سبز نشان داده شده است. علاوه بر این، تولید توان باد مورد انتظار با در نظر گرفتن ۵۰۰۰ نمونه تحقق بالقوه در مرحله ۴ با رنگ قرمز نشان داده شده است.

مطابق با نتایج به دست آمده برای مجموعه ۱، پیش بینی تولید کننده توان باد با توجه به اپراتور بازار تولید توان باد نسبتا بالاتر است. به این ترتیب، اپراتور بازار تولید کننده توان باد را در یک مقدار پایین تر از مقدار پیشنهاد تولید کننده توان باد برنامه ریزی می کند. توان باد واقعی مورد انتظار بین این دو است. در خصوص مجموعه ۲ پیش بینی اپراتور بازار نسبتا از تولید کننده توان باد بالاتر است. اما، برنامه توان باد بازار DA نمی تواند از مقدار پیشنهاد تولید کننده تجاوز کند. بنابراین، توان باد بازار DA برابر است با مقدار پیشنهاد تولید کننده توان باد. تحقق توان باد مورد انتظار در این مورد بالاتر از توان باد برنامه ریزی شده در بازار DA است.

در نهایت، در مجموعه ۳، پیش بینی تولید کننده توان باد و اپراتور بازار نسبتا پایین تر از تولید توان باد است. اما، در بازار DA آن تماما ارسال می شود. تحقق توان باد مورد انتظار در این مورد کمی پایین تر از توان باد برنامه ریزی شده در بازار DA است.

۳-۳- نتایج: آنالیز به اشتراک گذاری

جدول ۳. آنالیز غیر به اشتراک گذاری: مقدار پیشنهاد تولید کننده توان باد بازار DA (مرحله ۱)، توان باد برنامه ریزی شده در بازار DA (مرحله ۲) و تحقق توان باد مورد انتظار در بازار RT (مرحله ۳).

Time	Wind Power(Pu)			Time	Wind Power(Pu)		
	$P_{W,of}$	P^W	P^{act}		$P_{W,of}$	P^W	P^{act}
1	1.245	1.245	0.5	13	0.432	0.432	0.5
2	1.142	1.142	0.5	14	0.447	0.447	0.5
3	1.076	1.076	0.5	15	0.501	0.501	0.5
4	1.035	1.035	0.5	16	0.540	0.540	0.5
5	1.039	1.039	0.5	17	0.536	0.536	0.5
6	1.094	1.094	0.5	18	0.480	0.479	0.5
7	1.227	1.227	0.5	19	0.471	0.471	0.5
8	1.401	1.401	0.5	20	0.384	0.384	0.5
9	1.556	1.556	0.5	21	1.779	0.390	0.5
10	1.676	1.676	0.5	22	1.779	0.278	0.5
11	1.792	1.792	0.5	23	1.672	0.010	0.5
12	1.871	1.871	0.5	24	1.466	0.516	0.5

در این قسمت، ما در نظر می گیریم که تولید کننده توان باد و اپراتور بازار توزیع پیش بینی توان باد خودشان را به اشتراک می گذارند. به این ترتیب، یک مجموعه سناریو مشابه شامل ۶ سناریو درون هر دوی مرحله ۱ و ۲ و ۳ و ۴ در نظر گرفته شده است. جدول ۴ مقدار پیشنهاد تولید کننده توان باد (مرحله ۱ و ۲)، توان باد برنامه ریزی شده در بازار DA (مرحله ۲) و تحقق توان باد مورد انتظار به دست آمده از آنالیز به اشتراک گذاری را به تصویر می کشد.

در این تجزیه و تحلیل، مقدار پیشنهاد تولید کننده و توان باد برنامه ریزی شده بازار DA در هر مجموعه برابر است چرا که تولید کننده توان باد و اپراتور بازار در تولید توان باد با یکدیگر عقیده یکسان دارند. همانطور که انتظار می رفت، مدل های بهینه سازی در مرحله ۱ و ۲ و ۳ و ۴ به دلیل اینکه آنها با در نظر گرفتن مجموعه سناریوهای یکسان حل شده اند در آنالیز به اشتراک گذاری نتایج یکسانی را حاصل می کند. این عملکرد خوب مدل ریاضی استفاده شده در مرحله های ۱ و ۲ و ۳ و ۴ را تایید می کند.

جدول ۴. آنالیز به اشتراک گذاری: مقدار پیشنهاد تولید کننده توان باد بازار DA (مرحله ۱)، توان باد برنامه ریزی شده در بازار DA (مرحله ۲) و تحقق توان باد مورد انتظار در بازار RT (مرحله ۳)

Time	Wind Power(Pu)			Time	Wind Power(Pu)		
	PW_{of}	PW	P_{act}		PW_{of}	PW	P_{act}
1	1.245	1.245	0.5	13	0.432	0.432	0.5
2	1.142	1.142	0.5	14	0.447	0.447	0.5
3	1.076	1.076	0.5	15	0.501	0.501	0.5
4	1.035	1.035	0.5	16	0.540	0.540	0.5
5	1.039	1.039	0.5	17	0.536	0.536	0.5
6	1.094	1.094	0.5	18	0.480	0.480	0.5
7	1.227	1.227	0.5	19	0.471	0.471	0.5
8	1.401	1.401	0.5	20	0.384	0.384	0.5
9	1.556	1.556	0.5	21	1.779	1.779	0.5
10	1.676	1.676	0.5	22	1.779	1.779	0.5
11	1.792	1.792	0.5	23	1.672	1.667	0.5
12	1.871	1.871	0.5	24	1.466	1.466	0.5

۳-۴- شبیه سازی نمونه خارجی با در نظر گرفتن ۵۰۰۰ نمونه

در این بخش، ما بازار RT در مرحله ۴ را برای ۵۰۰۰ نمونه نشان دهنده تحقق توان بادهای متفاوت روشن می‌کنیم، حال آنکه تصمیمات بازار DA در آنچه که از مرحله ۱ و ۲ به دست آمده ثابت شده است. آن وقت، ما هزینه واقعی سیستم را محاسبه می‌کنیم که متشکل از هزینه سیستم در بازار DA به دست آمده از مرحله ۳ به اضافه هزینه مورد انتظار سیستم در بازار RT به دست آمده از مرحله ۴ است. همانطور که در جدول ۵ آورده شده است، هزینه واقعی سیستم در آنالیز به اشتراک گذاری نسبتاً پایین تر از (در مورد مجموعه ۱) یا برابر با (در مورد مجموعه های ۱ و ۲ و ۳) هزینه های واقعی سیستم در آنالیز غیر به اشتراک گذاری است. دلیل آن این است که به اشتراک گذاشتن پیش‌بینی‌ها بین تولید کننده توان باد و اپراتور بازار می‌تواند منجر به تولید سناریوهای واجد شرایط تری در بازار DA شود. این بیان عددی نتیجه می‌دهد که به اشتراک گذاشتن پیش‌بینی‌ها می‌تواند به طور بالقوه هزینه سیستم را در سیستم‌های با نفوذ بالای توان باد کاهش دهد.

علاوه بر این، قیمت‌های بازار توافقی DA و RT مورد انتظار در هر دو آنالیز (به اشتراک گذاری و غیر به اشتراک گذاری) در جدول ۶ و ۷ گزارش شده است. توجه داشته باشید که قیمت بازار توافقی DA از مرحله ۳ نتیجه گرفته شده، در حالی که قیمت بازار توافقی RT مورد انتظار در مرحله ۴ با در نظر گرفتن ۵۰۰۰ نمونه تولید توان باد نتیجه گرفته شده است. نتایج جدول ۴ بیانگر آنست که قیمت بازار توافقی DA برای مجموعه ۳ در آنالیز به اشتراک گذاری افزایش یافته، که در نتیجه منجر به افزایش یافتن سود همه تولیدکنندگان شده است. تولید کننده توان باد در این مورد به منظور افزایش قیمت های بازار توان خود را به کار می‌گیرد و بقیه تولید کنندگان نیز از قیمت های افزایش یافته سود می‌برند. علاوه بر تأثیر به اشتراک گذاشتن پیش‌بینی‌ها بر روی هزینه واقعی سیستم و قیمت های بازار توافقی به عنوان اقدامات اجتماعی، تأثیر آن بر روی سود بازیگران مختلف لازم است بررسی شود. سود مورد انتظار هر بازیگر شامل سود آن در بازار DA (مرحله ۳) به اضافه سود یا هزینه مورد انتظار آن در بازار RT (مرحله ۴) می‌شود. جدول ۸ سود مورد انتظار تولید کننده توان باد را برای سه مجموعه مختلف نشان می‌دهد مطابق با نتایج گزارش شده در جدول ۷، منافع تولید کننده توان باد از به اشتراک گذاشتن پیش‌بینی‌ها همانطور که ملاحظه می‌شود سود آن در دو مجموعه اول افزایش یافته در حالی که مجموعه سوم بدون تغییر باقی مانده است. این نتایج از نظر عددی نشان می‌دهد که به اشتراک گذاشتن پیش‌بینی‌ها برای تولید کننده توان باد سودمند است، ارائه دانش بهتر برای تولید تصادفی آینده آن. به طور خاص، تولید کننده توان باد در مجموعه ۱ یک سطح بالا از تولید و مزایا از داشتن دانش بهتر تولید مورد انتظارش دارد. در مجموعه ۲، تولید مورد انتظار توان باد نسبتاً پایین تر از مجموعه ۱ است، اما، تولید کننده توان باد بخشی از تولید خود را برای افزایش قیمت های بازار توافقی و به دست آوردن سود بیشتر دریغ می‌کند. در نهایت، مجموعه ۳ به یک مورد با سطح پایین تولید توان اشاره دارد، که در آن به اشتراک گذاری پیش‌بینی تأثیری بر روی نتایج بازار توافقی ندارد. بحث و بررسی بیشتر بر روی سود تولید کننده توان باد در بخش بعدی ارائه شده است.

برخلاف تولید کننده توان باد، واحدهای سنتی چنانچه اپراتور بازار و تولید کننده توان باد پیش‌بینی‌هایشان را به اشتراک بگذارند ممکن است سود از دست بدهد یا ممکن است بدست آورد. در مجموعه ۱ تولید کنندگان G_1 ، G_2 و G_3 به دلیل افزایش قیمت مورد انتظار RT در آنالیز به اشتراک گذاری سود بالاتری به دست آورده اند (جدول ۵). در مقابل تولید کنندگان G_5 ، G_6 و G_7 به علت کاهش یافتن سطح تولیدشان سود از دست می‌دهند. در هر دو آنالیز تولید کننده G_4 در بازار DA تماماً ارسال شده است در حالی که قیمت توافقی آن بازار یکسان است. از این رو، سود آن تغییر نمی‌کند. در مجموعه ۲، سود اغلب تولید کنندگان

سنی افزایش یافته چرا که قیمت بازار DA در آنالیز به اشتراک گذاری به طور قابل توجهی بالاتر است (جدول ۴). نتایج مربوط به مجموعه ۳ در هر دو آنالیز یکسان هستند چون که برنامه توان واحدها و قیمت های بازار توافقی تغییر نکرده.

جدول ۵: هزینه بهره‌برداری واقعی کل سیستم (\$)

Analysis	Cost(\$ *100)
Non sharing	79007/303
sharing	66824/136

جدول ۶: قیمت بازار روزانه در مجموعه های مختلف (\$/MW h)

Analysis	Cost(\$/Mwh)
Non sharing	30
sharing	30

جدول ۷: قیمت بازار زمان واقعی مورد انتظار در مجموعه های مختلف (\$/MW h)

Analysis	Cost(\$/Mwh)
Non sharing	25
sharing	25

جدول ۸: سود مورد انتظار تولید کننده توان باد (\$)

Analysis	Cost(\$ *100)
Non sharing	63414/4
sharing	79907/4

۳-۵- آنالیز حساسیت

همانطور که در قسمت قبل گزارش شد، سود مورد انتظار تولید کننده توان باد ممکن است با به اشتراک گذاشتن پیش‌بینی‌ها افزایش یابد. یک قسمت از این افزایش سود با توجه به تولید یک مجموعه از سناریوهای واجد شرایط تر اتفاق می‌افتد. از طرفی، این افزایش سود چونکه تولید کننده توان باد با دسترسی به اطلاعات بیشتر قادر است رفتار استراتژیک‌تری داشته باشد اتفاق می‌افتد. این بخش به طور عددی بازار توان تولید کننده توان باد را در دو مورد به اشتراک گذاری و غیر به اشتراک گذاری از طریق یک آنالیز حساسیت اندازه گیری می‌کند. برای این منظور، ما از مقدار بدست آمده برای متغیر دوگانه مربوط به کران بالا قید (2d) در مرحله ۳ استفاده می‌کنیم. این مقدار حساسیت هزینه سیستم با توجه به مقدار پیشنهاد استراتژیک تولید کننده توان باد را نشان می‌دهد. همانطور که در جدول ۹ داده شده است، مقدار قدر مطلق آن در آنالیز غیر به اشتراک گذاری پایین تر از مقدار آن در آنالیز به اشتراک گذاری است. به طور مشخص‌تر، که مقدار برای مجموعه های ۱ و ۳ در آنالیز غیر به اشتراک گذاری صفر است درحالی‌که در آنالیز به اشتراک گذاری مقدار آن غیر صفر است. این نشان می‌دهد که به اشتراک گذاشتن پیش‌بینی‌ها با اپراتور بازار توانایی تولید کننده توان باد برای به کار رفتن در بازار توان را افزایش می‌دهد. توجه داشته باشید که مقدار منفی برای این متغیر دوگانه یعنی اینکه هزینه سیستم در بازار DA (مرحله ۳) با رفتار استراتژیک تولید کننده توان باد افزایش می‌یابد. اما، به یاد آورید که هزینه واقعی سیستم، به عبارت دیگر، هزینه سیستم در بازار DA (بدست آمده از مرحله ۳) به اضافه هزینه مورد انتظار سیستم در بازار RT (بدست آمده از مرحله ۳)، می‌تواند به طور بالقوه با به اشتراک گذاشتن اطلاعات همانطور که قبلاً در جدول ۳ گزارش شد کاهش یابد. این کاهش هزینه واقعی کل در مورد به اشتراک گذاری اتفاق می‌افتد زیرا منابع متعادل کمتری در بازار RT مورد نیاز است.

جدول ۹: مقدار ضریب حساسیت: متغیر دوگانه مربوط به کران بالای قید (2d) در مرحله ۲ (\$/MW h)

Analysis	Sensitivity
Non sharing	0
sharing	-1.1401

نتیجه گیری

در این مقاله، ارزش به اشتراک گذاری پیش‌بینی توان باد بین یک تولید کننده توان باد تکی و اپراتور بازار آنالیز شده است. این ارزش بالقوه به‌صورت عددی از منظر هزینه سیستم ارزیابی شده است. به این منظور، یک چارچوب ارزیابی سه مرحله ای مطرح شده است. در مرحله اول، مقادیر تولید توربین‌های بادی به همراه تلفات آنها محاسبه شده و توان تولید شده نهایی محاسبه می‌شود. در مرحله دوم یک مدل بهینه سازی bi-level تصادفی فرموله شده است، که اجازه می‌دهد تولید کننده توان باد مفیدترین مقدار پیشنهاد خود را نتیجه گیری کند. در مرحله سوم، اپراتور بازار با در نظر داشتن همه پیش‌بینی‌های تحقق توان باد در زمان حقیقی به طور تصادفی بازار DA را مشخص می‌کند. در آخرین مرحله، بازار RT به‌صورت قطعی برای یک تعداد زیادی از تحقق‌های

توان باد محدود شده بوسیله برنامه DA ثابت شده روشن شده است. این چارچوب برای دو کیس اعمال شده است: (۱) تولید کننده توان باد و اپراتور بازار از سناریوهای توان باد متفاوت استفاده می کنند (آنالیز غیر به اشتراک گذاری) و (۲) تولید کننده توان باد و اپراتور بازار سناریوهای توان بادشان را به اشتراک می گذارند (آنالیز به اشتراک گذاری). بعلاوه، تأثیر به اشتراک گذاشتن پیش بینی توان باد بر روی عرضه استراتژیک تولید کننده توان باد با استفاده از یک آنالیز حساسیت مربوط و مناسب بررسی شده است.

برای یک مطالعه موردی بزرگ، به صورت عددی نتیجه شده است که به اشتراک گذاشتن پیش بینی ها ممکن است هزینه مورد انتظار سیستم را کاهش دهد در همین حین این به اشتراک گذاری ممکن است سود مورد انتظار تولید کننده توان باد را افزایش دهد. اما سود مورد انتظار تولید کننده سستی منوط به رفتار استراتژیک تولید کننده توان باد و کیفیت سناریوهای به اشتراک گذاشته شده است. از یک سو، تولید کننده توان باد ممکن است با دسترسی بیشتر به اطلاعات در بازار توان اعمال نفوذ کند. این منجر خواهد شد به قیمت بازار توافقی بالاتر و بنابراین، سود بالاتر برای همه تولید کنندگان. از سوی دیگر، سودها ممکن است کاهش یابد چون که به اشتراک گذاشتن اطلاعات می تواند نیاز برای منابع متعادل در بازار RT را کاهش دهد. آنالیز حساسیت نیز نشان می دهد که به اشتراک گذاشتن پیش بینی ها ممکن است به تولید کننده توان باد برای تغییر نتایج بازار توافقی به نفع خود کمک کند (رفتار استراتژیک).

پیوست:

معرفی نمادها	
عنوان	اندیس
اندیس برای سناریوهای تولید شده بر اساس پیش بینی تولید کننده توان باد	ω
اندیس برای سناریوهای تولید شده بر اساس پیش بینی اپراتور بازار	S
اندیس برای واحدهای سستی	i
اندیس برای تقاضاها	d
مجموعه ها	
مجموعه سناریوهای تولید کننده توان باد	Ω
مجموعه واحدهای سستی	I
مجموعه تقاضاها	D
مجموعه سناریوهای توان باد اپراتور بازار	S
پارامترها	
مقدار پیشنهاد تقاضا d (MW)	P_d^D
مقدار پیشنهاد واحد i (MW)	P_i^G
تحقق توان حقیقی باد (MW)	P^{act}
پیش بینی توان باد اپراتور بازار تحت سناریو S (MW)	P_S^{MO}
پیش بینی توان تولید کننده توان باد تحت سناریو ω	P_ω^W
پیشنهاد قیمت واحد i (\$/MW h)	λ_i^G
پیشنهاد قیمت ذخیره بالا واحد i (\$/MW h)	λ_i^U
پیشنهاد قیمت ذخیره پایین واحد i (\$/MW h)	λ_i^D
احتمال سناریو ω	γ_ω
احتمال سناریو S	π_S
ظرفیت ذخیره بالای واحد i (MW)	R_i^U
ظرفیت ذخیره پایین واحد i (MW)	R_i^D
مقدار تلفات بار برای تقاضا d (\$/MW h)	V_d^{shed}
متغیرهای بازار DA	
قیمت بازار توافقی DA (\$/MW h)	$\lambda^{DA,(.)}$
ارسال یا مخابره DA واحد i (MW)	$P_i^{G,(.)}$
ارسال یا مخابره DA تولید کننده توان باد (MW)	$P^{W,(.)}$
مقدار پیشنهاد تولید کننده توان باد (MW)	$P^{W,of,(.)}$
متغیرهای بازار RT	
وزن احتمال قیمت بازار توافقی RT تحت سناریو ω (\$/MW h)	$\lambda_\omega^{RT,(.)}$
ریزش توان باد تحت سناری ω (MW)	$P_\omega^{spill,(.)}$
ذخیر بالای مستقر شده بوسیله واحد i تحت سناری ω (MW)	$r_{i,\omega}^U$
ذخیر پایین مستقر شده بوسیله واحد i تحت سناری ω (MW)	$r_{i,\omega}^D$

معرفی نمادها	
اندیس	عنوان
$I_{d,\omega}^{shed(.)}$	ریزش بار غیر ارادی تقاضا d تحت سناری ω (MW)

منابع

- Pineda I, Wilkes J. Wind in power. Tech. rep., European Wind Energy Association; 2015
- Annual report 2014. Tech. rep., Energinet.dk; 2014.
- Rahimivan M. A statistical cognitive model to assess impact of spatially correlated wind production on market behaviors. Appl Energy 2014;122:62–72
- Ederer N. The market value and impact of offshore wind on the electricity spot market: evidence from Germany. Appl Energy 2015;154:805–14
- Arjmand R, Rahimivan M. Statistical analysis of a competitive day-ahead market coupled with correlated wind production and electric load. Appl Energy 2016;161:153–67
- Li G, Shi J. Agent-based modeling for trading wind power with uncertainty in the day-ahead wholesale electricity markets of single-sided auctions. Appl Energy 2012;99:13–22
- Giebel G, Brownsword R, Kariniotakis G, Denhard M, Draxl C. The state-of-the-art in short-term prediction of wind power: a literature overview. Tech. rep.; 2011
- Hodge BM, Milligan M. Wind power forecasting error distributions over multiple timescales. In: IEEE power and energy society general meeting; 2011. p. 1–8.
- Ela E, O'Malley M. Studying the variability and uncertainty impacts of variable generation at multiple timescales. IEEE Trans Power Syst 2012;27(3):1324–33
- Bludszweit H, Dominguez-Navarro JA, Lombart A. Statistical analysis of wind power forecast error. IEEE Trans Power Syst 2008;23(3):983–91
- Tewari S, Geyer CJ, Mohan N. A statistical model for wind power forecast error and its application to the estimation of penalties in liberalized markets. IEEE Trans Power Syst 2011;26(4):2031–9
- Pinson P. Wind energy: forecasting challenges for its operational management. Stat Sci 2013;28(4):564–85
- Jonsson T, Pinson P, Madsen H. On the market impact of wind energy forecasts. Energy Econ 2010;32(2):313–20
- Fabbri A, Roman TGS, Abbad JR, Quezada VHM. Assessment of the cost associated with wind generation prediction errors in a liberalized electricity market. IEEE Trans Power Syst 2005;20(3):1440–6
- De Jonghe C, Hobbs BF, Belmans R. Value of price responsive load for wind integration in unit commitment. IEEE Trans Power Syst 2014;29(2):675–85
- Zhao J, Zheng T, Litvinov E. A unified framework for defining and measuring flexibility in power system. IEEE Trans Power Syst 2016;31(1):339–47
- Lannoye E, Flynn D, O'Malley M. Evaluation of power system flexibility. IEEE Trans Power Syst 2012;27(2):922–31
- Ma J, Silva V, Belhomme R, Kirschen DS, Ochoa LF. Evaluating and planning flexibility in sustainable power systems. IEEE Trans Sustain Energy 2013;4.
- Wang B, Hobbs BF. Real-time markets for flexiramp: a stochastic unit commitment-based analysis. IEEE Trans Power Syst 2016;31(2):846–60
- Wong S, Fuller JD. Pricing energy and reserves using stochastic optimization in an alternative electricity market. IEEE Trans Power Syst 2007;22(2):631–8
- Pritchard G, Zakeri G, Philpott A. A single-settlement, energy-only electric power market for unpredictable and intermittent participants. Oper Res 2010;58(4-part-2):1210–9.
- Morales JM, Conejo AJ, Liu K, Zhong J. Pricing electricity in pools with wind producers. IEEE Trans Power Syst 2012;27(3):1366–76
- Martin S, Smeers Y, Aguado JA. A stochastic two settlement equilibrium model for electricity markets with wind generation. IEEE Trans Power Syst 2015;30 (1):233–45
- Morales JM, Zugno M, Pineda S, Pinson P. Electricity market clearing with improved scheduling of stochastic production. Eur J Oper Res 2014;235 (3):765–74
- Zhang Y, Giannakis GB. Distributed stochastic market clearing with high penetration wind power. IEEE Trans Power Syst 2016;31(2):895–906
- Zavala V, Anitescu M, Birge J. A stochastic electricity market clearing formulation with consistent pricing properties. Oper. Res., working paper. <http://www.mcs.anl.gov/anitescu/PUBLICATIONS/2014/zavala-stochpricing2014.pdf>.<
- Conejo AJ, Carrión M, Morales JM. Decision making under uncertainty in electricity markets, international series in operations research & management science. New York, NY, USA: Springer; 2010

- Gabriel SA, Conejo AJ, Fuller JD, Hobbs BF, Ruiz C. Complementarity modeling in energy markets, international series in operations research & management science. New York, NY, USA: Springer; 2012
- Baringo L, Conejo AJ. Wind power investment within a market environment. *Appl Energy* 2011;88(9):3239–47
- Mahmoudi N, Saha TK, Eghbal M. Modelling demand response aggregator behavior in wind power offering strategies. *Appl Energy* 2014;133:347–55
- Luo ZQ, Pang JS, Ralph D. Mathematical programs with equilibrium constraints. Cambridge University Press; 1996
- Gabriel SA, Leuthold FU. Solving discretely-constrained MPEC problems with applications in electric power markets. *Energy Econ* 2010;32(1):3–14
- Rahimiyan M, Morales JM, Conejo AJ. Evaluating alternative offering strategies for wind producers in a pool. *Appl Energy* 2011;88(12):4918–26
- Hesamzadeh MR, Yazdani M. Transmission capacity expansion in imperfectly competitive power markets. *IEEE Trans Power Syst* 2014;29(1):62–71
- Kazempour SJ, Zareipour H. Equilibria in an oligopolistic market with wind power production. *IEEE Trans Power Syst* 2014;29(2):686–97
- Zugno M, Morales J, Pinson P, Madsen H. Pool strategy of a price-maker wind power producer. *IEEE Trans Power Syst* 2013;28(3):3440–50
- Baringo L, Conejo AJ. Strategic offering for a wind power producer. *IEEE Trans Power Syst* 2013;28(4):4645–54
- de la Nieta AAS, Contreras J, Munoz JI, O'Malley M. Modeling the impact of a wind power producer as a price-maker. *IEEE Trans Power Syst* 2014;29(6):2723–32
- Dai T, Qiao W. Optimal bidding strategy of a strategic wind power producer in the short-term market. *IEEE Trans Sustain Energy* 2015;6(3):707–19
- Deng L, Hobbs BF, Renson P. What is the cost of negative bidding by wind? A unit commitment analysis of cost and emissions. *IEEE Trans Power Syst* 2015;30(4):1805–14
- Foucault F, Girard R, Kariniotakis G. Wind farm strategic investment considering forecast errors penalties in a nodal prices market. *EWEA2014*;2014:1–9
- Zhao Z, Wu L. Impacts of high penetration wind generation and demand response on LMPs in day-ahead market. *IEEE Trans Smart Grid* 2014;5(1):220–9
- Hildmann M, Ulbig A, Andersson G. Empirical analysis of the merit-order effect and the missing money problem in power markets with high RES shares. *IEEE Trans Power Syst* 2015;30(3):1560–70
- Morales JM, Zugno M, Pineda S, Pinson P. Redefining the merit order of stochastic generation in forward markets. *IEEE Trans Power Syst* 2014;29(2):992–3
- Xiao Y, Wang X, Wang X, Dang C, Lu M. Behavior analysis of wind power producer in electricity market. *Appl Energy* 2016;171:325–35
- Vilim M, Botterud A. Wind power bidding in electricity markets with high wind penetration. *Appl Energy* 2014;118:141–55
- Ruiz C, Conejo AJ. Pool strategy of a producer with endogenous formation of locational marginal prices. *IEEE Trans Power Syst* 2009;24(4):1855–66
- Reliability Test System Task Force. The IEEE reliability test system-1996. *IEEE Trans Power Syst* 1999;14(3):1010–20
- Baringo L, Conejo AJ. Correlated wind-power production and electric load scenarios for investment decisions. *Appl Energy* 2013;101:475–82
- Morales JM, Minguez R, Conejo AJ. A methodology to generate statistically dependent wind speed scenarios. *Appl Energy* 2010;87(3):843–55
- Vagropoulos SI, Kardakos EG, Simoglou CK, Bakirtzis AG, Catalao JPS. ANNbased scenario generation methodology for stochastic variables of electric power systems. *Electr Power Syst Res* 2016;134:9–18
- Pinson P, Madsen H, Nielsen HA, Papaefthymiou G, Klockl B. From probabilistic forecasts to statistical scenarios of short-term wind power production. *Wind Energy* 2009;12(1):51–62
- Diaz G, Gomez-Alexandre J, Coto J. Wind power scenario generation through state-space specifications for uncertainty analysis of wind power plants. *Appl Energy* 2016;162:21–30
- Likas A, Vlassis N, Verbeek JJ. The global K-means clustering algorithm. *Pattern Recogn* 2003;36(2):451–61
- Ruiz C, Kazempour SJ, Conejo AJ. Equilibria in futures and spot electricity markets. *Electr Power Syst Res* 2012;84(1):1–9

تکنولوژی MOSFET و طراحی منابع ولتاژ و جریان

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۸/۱۹

تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۰/۰۲

کد مقاله: ۱۶۲۲۳

محمد زمانی^۱

چکیده

در این مقاله طراحی، ساختار و تئوری mosfet ارائه می‌شود. مدل‌های مختلف mosfet شامل nmos و pmos تشریح شده و روابط تئوری مربوطه ارائه می‌شود. در ادامه منابع ولتاژ و جریان و کاربرد mosfet به عنوان یک منبع تغذیه به طور کامل بررسی شده و نمونه‌های مختلفی از منابع ولتاژ و جریان با استفاده از تکنولوژی ماسفت ارائه گردیده و مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد.

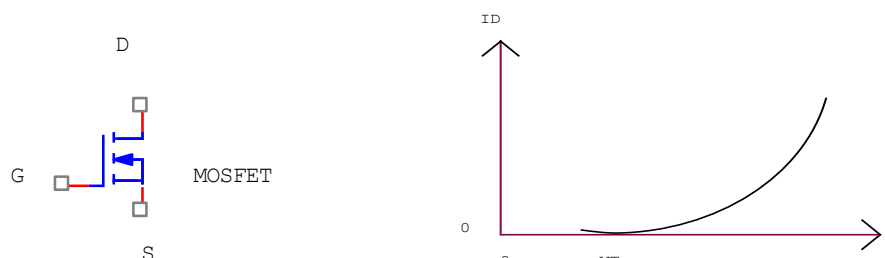
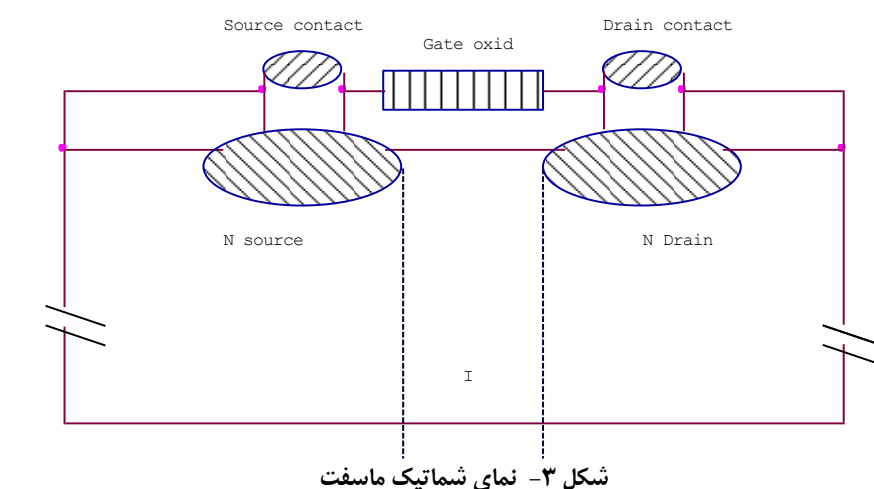
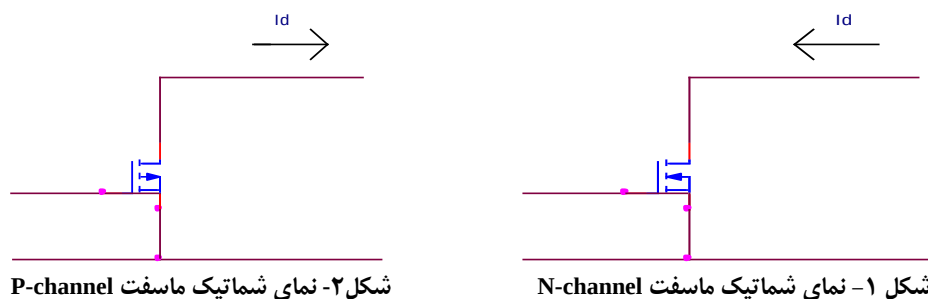
واژگان کلیدی: ماسفت، منبع ولتاژ، nmos, pmos

۱- مقدمه

امروزه منابع تغذیه بادوام طولانی و قدرت بالا مورد توجه طراحان می باشد. استفاده از تکنولوژی MOSFET در طراحی منابع تغذیه موجب گردیده که تولید کنندگان بدنبال طراحی بهینه آن باشند. پایین آوردن مقاومت حالت پایدار، پایین آوردن ولتاژ شارژ گیت و توان جریان دهی بالا از جمله خصوصیات مورد توجه می باشد. به عنوان یک نتیجه با طراحی MOSFET های پیشرفته و معرفی تکنولوژی SD می توان برای مثال کلیدزنی در فرکانس MHz را بدون افزایش درجه حرارت امکانپذیر نمود. در این مقاله ابتدا طراحی و ساختار و تئوری MOSFET ارائه شده سپس منابع ولتاژ و جریان و کاربرد MOSFET به عنوان یک منبع تغذیه به طور کامل بررسی می شود.

۲- مدل حالت پایدار ماسفت

در شکل شماره ۱ و ۲ شماتیک مداری MOSFET که شامل دو نوع N-channel و P-channel می باشد نشان داده شده است. شکل ۱ بیشتر برای دستیابی به مشخصه های ولت - آمپر حالت ماندگار در ترمهای ولتاژ گیت - سورس V_{gs} و ولتاژ درین - سورس V_{ds} است. در نتیجه جریان مثبت درین از داخل کانال N جاری خواهد شد در حالیکه جریان بالعکس از داخل کانال P در شکل ۲ خارج می شود. همچنین در شکل ۳-۱، POWER MOSFET بصورت باز نشان داده شده است. شکل ۳-۲ منحنی انتقال ماسفت و شکل ۳-۳ نمای سمبلیک ماسفت را نشان می دهد.



شکل ۵- نمای سمبلیک ماسفت

شکل ۴- منحنی انتقال ماسفت

در شکل ۱ فرض کنید که V_h را برابر ولتاژ آستانه ترانزیستور N-channel قرار دهیم. در این حالت فرض می‌شود که برای عملکرد در حالت اشباع بایاس گردد. در حالتی که $V_{ds} \geq V_{gs} - V_h$ در نتیجه خواهیم داشت:

$$I_d \cong \left(\frac{\mu_{no} C_{ox}}{2} \right) \left(\frac{W}{L} \right) (V_{gs} - V_h)^2 \quad (۱)$$

که در این معادله μ_{no} برابر حرکت الکترونها است در کانال در روی سطح نیمه هادی. بعبارتی μ_{no} برابر است با حرکت حامل موقعی که میدان الکتریکی در حالت افقی با شدت در کانال به وسیله مقدار کوچکی از ولتاژ درین - سورس ایجاد می‌شود. $\left(\frac{W}{L} \right)$ برابر است با عرض گیت برای ارتفاع کانال گیت از منظر نسبت تبدیل فوق و C_{ox} برابر است با چگالی ظرفیت خازن که تابعی است از لایه گیت در نتیجه خواهیم داشت:

$$C_{ox} \cong \frac{\sum ox}{T_{ox}} \quad (۲)$$

در رابطه ۲ $\sum ox$ ثابت دی الکتریک دی اکسید سیلیسیم $[345 \text{ fF/cm}]$ در حالیکه T_{ox} برابر است با متوسط کاهش غلظت عایق اکسید گیت همراه با رابطه ولت - آمپر در حالت اشباع برای ترانزیستور P-channel که در شکل ۲ نشان داده شده است. در نتیجه خواهیم داشت:

$$I_d \cong \left[\frac{\mu_{po} C_{ox}}{2} \right] \left(\frac{W}{L} \right) (V_{sg} - V_h)^2 \quad (۳)$$

و شرط $V_{ds} \geq V_{sg} - V_h$ نیز برقرار است. در رابطه ۳ مقدار کاهش شدت میدان حرکت حفره ها در بایاس معکوس و ولتاژ گیت - سورس V_{gs} در رابطه ۱ توسط V_{sg} جایگذاری می‌شود. جایگذاری V_{gs} توسط V_{sg} موجب می‌گردد که ولتاژ آستانه V_h در هر دو رابطه ۱ و ۳ به عنوان یک ولتاژ مثبت متریک در نظر گرفته شود. با بازنویسی روابط ۱ و ۳ بفرم ۴ خواهیم داشت:

$$I_d \cong \beta_n (V_{gs} - V_h)^2 \cong I_{ds} \quad \text{for NMOS} \quad (۴)$$

$$I_d \cong \beta_p (V_{sg} - V_h)^2 \cong I_{sd} \quad \text{for PMOS}$$

جایی که I_{ds} به عنوان مهمترین بخش جریان درین از طرف درین بسمت سورس جاری می‌شود در نوع N-channel یا ترانزیستور NMOS. I_{sd} از سورس بسمت درین جاری می‌شود در نوع P-channel یا ترانزیستور PMOS و بنابراین خواهیم داشت:

$$\beta_n \cong \frac{\mu_{no} C_{ox}}{2} \left(\frac{W}{L} \right) \quad \text{for NMOS} \quad (۵)$$

$$\beta_p \cong \frac{\mu_{po} C_{ox}}{2} \left(\frac{W}{L} \right) \quad \text{for PMOS}$$

مدل حالت پایدار ساده سازی شده یک ترانزیستور NMOS در شکل شماره ۱ برای عملکرد در حالت اشباع نشان داده شده است. جریان های I_{ds} و I_{sd} از رابطه ۴ قابل محاسبه هستند.

۱-۲- ولتاژ آستانه

ولتاژ آستانه V_h به عنوان کوچکترین مقدار برای بایاس الکتروود گیت است که مورد نیاز می باشد. بر اساس سختی زیر سطح قطب از یک کانل هدایت ما بین ناحیه های سورس و درین. ولتاژ آستانه V_h معمولاً در جریان درین - سورس $250 \mu A$ اندازه گیری می‌شود. مقادیر مشترک در حدود ۲-۴ ولت برای ادوات با ولتاژ بالا بر اساس ضخامت ونازکی اکسیدگیت است.

۲-۲- ولتاژ مستقیم دیود

ولتاژ مستقیم دیود VF ماکزیمم مقدار نشتی بدنه درین دیود در یک مقدار مشخص شده از جریان سوری است. شکل ۶ خصوصیات I-V را برای این دیود در دو درجه حرارت مشخص می‌کند.

۳-۲- تلفات توان

ماکزیمم مجاز تلفات توان با زیاد شدن درجه حرارت برای مقدار ماکزیمم مجاز موقعی که درجه حرارت بدنه در حدود ۲۵ درجه سانتی گراد نگه داشته می‌شود مهم است؛ که از رابطه ۶ بدست می‌آید:

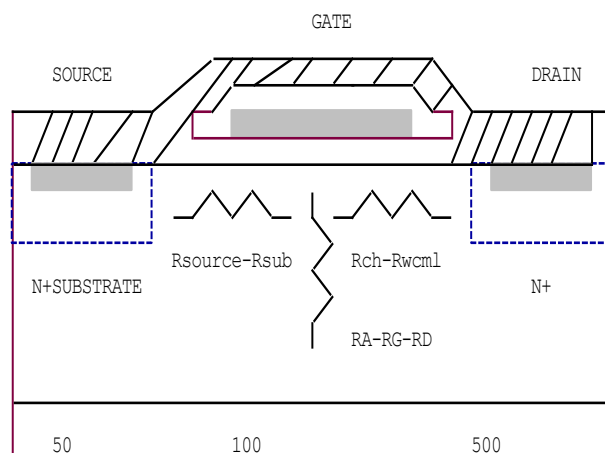
$$Pd \cong \frac{Tj \max - 25}{RthJc} \quad (6)$$

که در این رابطه TJmax ماکزیمم درجه حرارت مجاز پیوند P-N در وسیله قدرت می‌باشد؛ که به‌طور معمول برابر ۱۵۰ درجه سانتی گراد یا ۱۷۵ درجه سانتی گراد است.

۳- مقاومت حالت پایدار

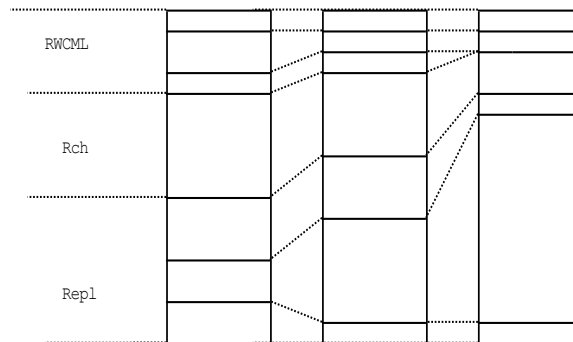
مقاومت حالت پایدار (روشن) MOSFET از چندین جزء تشکیل شده است که در شکل ۷ نشان داده شده است؛ بنابراین خواهیم داشت:

$$RDS(on) = Rsource + Rch + RA + RJ + RD + Rsub + Rwcml \quad (7)$$



شکل ۷- مقاومت های حالت پایدار ماسفت

که در آن Rsource مقاومت سوری و Rch مقاومت کانال و RA مقاومت جمع کننده و RJ مقاومت مابین دو ناحیه از بدنه (مقاومت پیوند) و RD مقاومت ناحیه رانش و Rsub مقاومت لایه و Rwcml مجموع مقاومت باند لایه مابین هدایت مقاومت سوری و درین است؛ و Repl مقاومت بیس ما بین دو ناحیه از پیوند است. در شکل 6 تقسیمات مربوطه برای مقادیر متفاوت ولتاژ نشان داده شده است.

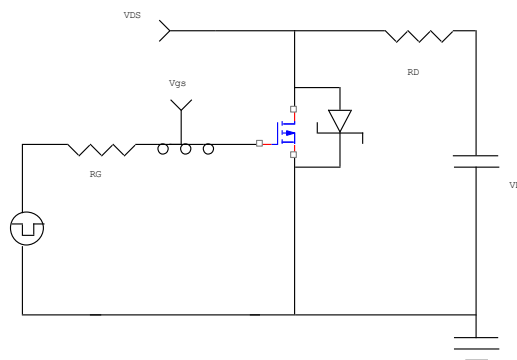


شکل ۸- تقسیمات مربوط برای $R_{DS(ON)}$ برای مقادیر متفاوت ولتاژ

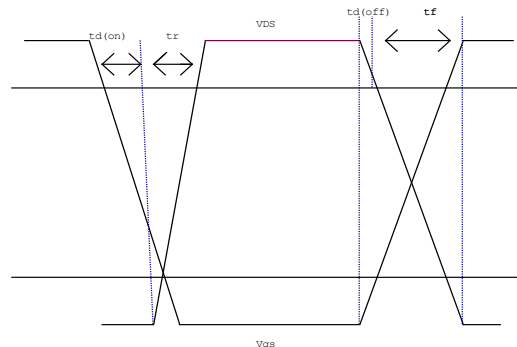
۴- عملکرد MOSFET

۴-۱- تست سوئیچینگ

در شکل شماره ۷ یک نمونه مدار تست زمان سوئیچینگ را نشان می دهد. همچنین شکل موج های زمان های t_{rise} و t_{fall} برای مقادیر مرجع V_{GS} و V_{DS} در شکل ۸ نشان داده شده است. زمان تاخیر $t_d(on)$ مدت زمانی است که طول می کشد برای شارژ خازن سوئیچ بنابراین جریان درین می تواند شروع به هدایت نماید. به طور مشابه زمان تاخیر $t_d(off)$ مدت زمانی است که طول می کشد برای دشارژ خازن بعد از خاموش شدن سوئیچ.



شکل ۹- مدار تست سوئیچینگ MOSFET

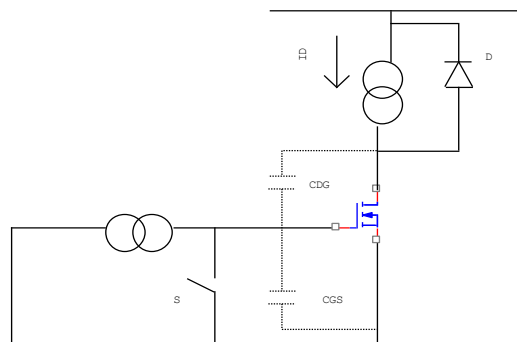


شکل ۱۰- شکل موج های V_{GS} و V_{DS}

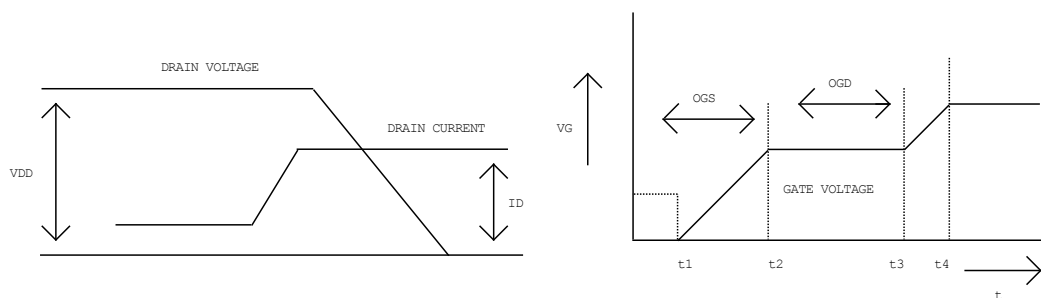
۴-۲- تست شارژ گیت

در شکل ۱۱ یک مدار تست شارژ گیت و همچنین شکل موجهای مربوطه را نشان می دهد. موقعی که گیت به منبع ولتاژ متصل می شود V_{GS} شروع به بالا آمدن می نماید تا به مقدار ولتاژ آستانه V_h برسد. در این نقطه جریان درین شروع به پایین آمدن کرده و C_{GS} (خازن گیت-سورس) شروع به شارژ می نماید. در طول این پریود شارژ C_{GS} ادامه می یابد؛ و افزایش ولتاژ گیت ادامه می یابد و جریان درین نیز افزایش می یابد. در زمان t_2 ، C_{GS} به طور کامل شارژ شده است و جریان درین به مقدار پیش فرض جریان I_D می رسد و ثابت باقی می ماند. در حالی که ولتاژ درین در این لحظه شروع به کاهش می نماید. در شکل ۹ می توان مشاهده نمود که با خازن C_{GS} که به طور کامل در زمان t_2 شارژ شده است V_{GS} در مقدار ثابت باقی مانده و جریان

شروع به شارژ خازن میلر (CDG) می نماید. این فرآیند تا رسیدن زمان t_3 ادامه می یابد. زمان شارژ برای خازن میلر نسبت به (CDG) بزرگ است مطابق با سرعت شارژ شدن ولتاژ درین مابین t_2 و t_3 ($\text{Current} = \text{cdv}/\text{dt}$). وقتی هر دو خازن CGS و CGD به طور کامل شارژ شدند ولتاژ V_{GS} دوباره شروع به بالا آمدن می کند تا اینکه به مقدار ولتاژ منبع در زمان t_4 برسد.



شکل ۱۱- مدار تست شارژ گیت



شکل ۱۲- ادامه- شکل موجهای گیت و درین در تست شارژ گیت

۳-۴- توانایی dv/dt

مکانیزم اول dv/dt ایجاد شرایط عملکرد فعال از طریق فیدبکی است که شامل خازن CGD است. موقعی که یک ولتاژ رمپ ایجاد می شود از طریق ترمینال درین و سورس از میان مقاومت گیت یک جریان I_1 جاری می شود. R_G برابر است با مقاومت نهایی گیت در مدار و ولتاژ نشست از طریق رابطه 8 بدست می آید.

$$V_{GS} \cong I_1 R_G \cong R_G C_{GD} \frac{dv}{dt} \quad (8)$$

(۸)

یا بعبارت دیگر می توان گفت:

$$\frac{dv}{dt} \cong \frac{V_h}{R_G C_{GD}} \quad (9)$$

که در حالتی است که ولتاژ V_{GS} از مقدار ولتاژ آستانه V_h بیشتر شود که وسیله قدرت بسمت هدایت کشیده می شود.

۵- منابع ولتاژ و جریان

۱-۵- منبع ولتاژ دیودی

در شکل (۱۳- A) مدار یک منبع ولتاژ ساده که از یک ترانزیستور تشکیل شده و نحوه اتصال آن بگونه ای است که همانند یک دیود عمل میکند نشان داده شده است؛ و در شکل (۱۳- B) مدار همانند یک منبع ولتاژ متغیر عمل می نماید. فرض می شود $V_{ref} \geq V_h$ است. پس بر اساس شکل ۱۰ می توان رابطه ۱۰ را تعریف نمود:

$$I_{ref} \cong \frac{V_x - V_{ref}}{R} \cong \beta_n (V_{ref} - V_h)^2 \quad (10)$$

که در آن ولتاژ مرجع از رابطه ۱۱ بدست می آید:

$$V_{ref} \cong V_h + \frac{\sqrt{1 + 4\beta n R (V_x - V_h)} - 1}{2\beta n R} \quad (11)$$

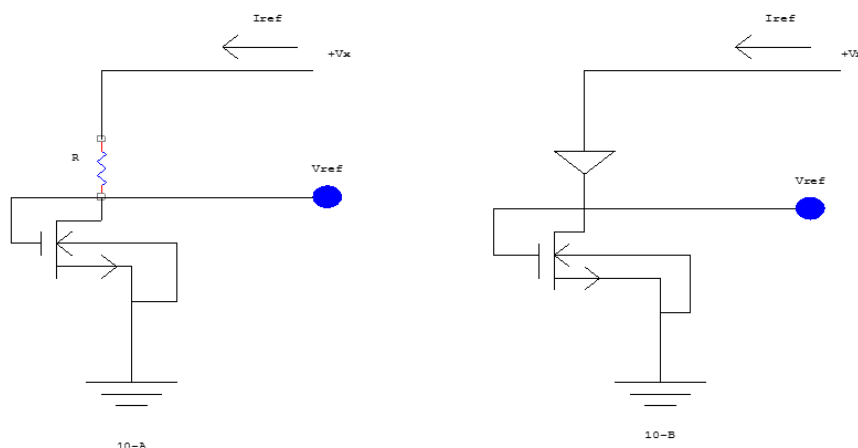
برای $V_x = V_h$ یا برای مقادیر خیلی کوچک از مقاومت مدار $V_{ref} = V_x$ برابر با $V_{ref} = V_x$ در نظر گرفته می شود. بعبارت دیگر اگر R خیلی بزرگ باشد با توجه به رابطه ۱۲ خواهیم داشت:

$$V_{ref} \cong V_h + \frac{\sqrt{V_x - V_h}}{\beta n R} \quad (12)$$

در شکل ۱۴ پاسخ حالت پایدار V_{ref} برای اعمال به ولتاژ ورودی V_x و برای بایاس شبکه نشان داده شده است؛ که در آن $\beta n R \cong 1V^{-1}, 10V^{-1}, 100V^{-1}$ و ولتاژ آستانه V_h از مقدار ۵۰۰ میلی ولت. از طرفی مقاومت مدار در شکل

(۱۳- A) ممکن است همانند شکل (۱۳- B) در نظر گرفته شود. توسط یک جریان مرجع ثابت (I_{ref})؛ بنابراین خواهیم داشت:

$$V_{ref} \cong V_h + \frac{\sqrt{I_{ref}}}{\beta n} \quad (13)$$



شکل ۱۳- منبع ولتاژ دیودی

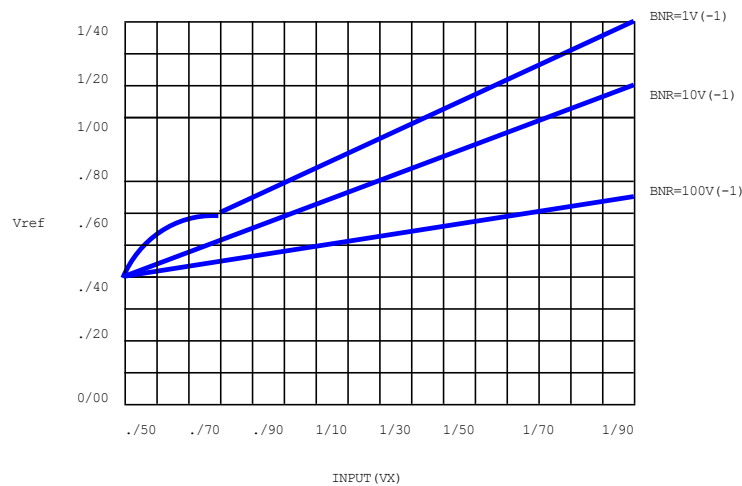
حساسیت جریان I_{ref} نسبت به درجه حرارت نیز از رابطه ۱۴ محاسبه می گردد:

$$S_T^{I_{ref}} \cong \frac{\partial I_{ref} / I_{ref}}{\partial T / T} \cong - \left(3/2 + \frac{2VF}{V_{ref} - V_h} \right) \quad (14)$$

در رابطه ۱۴، VF از رابطه ۱۵ بدست می آید:

$$VF = V_T \ln \left(\frac{N_{sub}}{N_i} \right) \quad (15)$$

که در آن V_T ثابت بولتزمن (معمولاً ۲۵ میلی ولت در نظر گرفته می شود) و N_{sub} دلالت بر ناخالصی غلظت در نوع P یا N دارد؛ و N_i ضریب دوپل افزایشی برای هر ۱۰ درجه افزایش درجه حرارت محیط است.



شکل ۱۴- پاسخ استاتیکی Vref برای ولتاژ ورودی Vx

۲-۵- مقسم ولتاژ فعال

با توجه به شکل (A-۹) بوسیله اتصال سری یک ترانزیستور دیودی دیگر همانند شکل ۱۲ و برای دو ترانزیستور ۱ و M و M₂ خواهیم داشت:

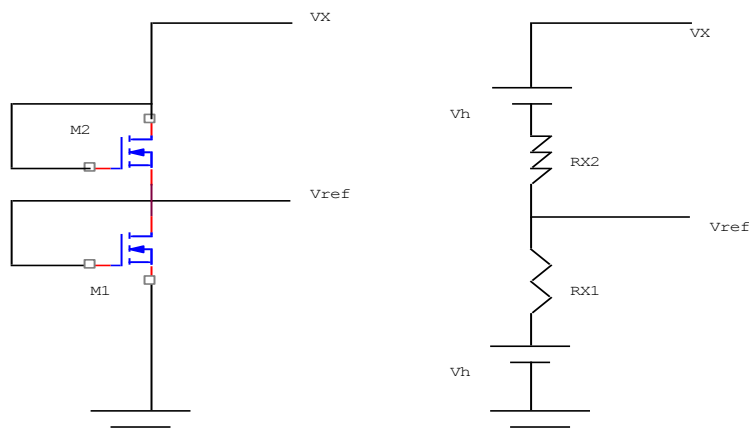
$$\frac{\beta n_1}{\beta n_2} = \frac{W_1 / L_1}{W_2 / L_2} \cong K_{12}^2 \quad (16)$$

از آنجایی که دو ترانزیستور به طور سری به یکدیگر متصل شده اند جریان I_{ref} از میان هر دوی آنها جاری خواهد شد در نتیجه:

$$I_{ref} = \beta n_2 (V_x - V_{ref} - V_h)^2 \cong \beta n_1 (V_{ref} - V_h)^2 \quad (17)$$

با توجه به رابطه ۱۷ می توان نوشت:

$$V_{ref} = \frac{V_x - V_h}{K_{12} + 1} + \frac{K_{12} V_h}{K_{12} + 1} \quad (18)$$



شکل ۱۵- مقسم ولتاژ فعال

با توجه به شکل ۱۵ می توان ثابت کرد:

$$I_{ref} = \frac{V_x - 2V_h}{(K_{12} + 1)R_x} \quad (19)$$

$$V_{ref} I_{ref} = \frac{V_{ref} (V_x - 2V_h)}{(K_{12} + 1)R_x} \cong V_{ref} \beta n_1 (V_{ref} - V_h)^2 \quad (20)$$

که در آن:

$$R_x = \frac{V_x - 2V_h}{\beta_{n1}(K_{12} + 1)(V_{ref} - V_h)^2} \quad (21)$$

۶- بایاسینگ LOW VOLTAGE

شکل ۱۶ شماتیک یک سلول بایاسینگ LOW VOLTAGE را نشان می دهد. برای این مدار می توان نوشت:

$$\frac{\beta_{n2}}{\beta_{n1}} = \frac{W_2 / L_2}{W_1 / L_1} \cong K^2 \quad (22)$$

از آنجایی که جریان حالت ماندگار Iref از میان هر دو ترانزیستور عبور می کند بنابراین خواهیم داشت:

$$I_{ref} = \beta_{n1}(V_{gs1} - V_h)^2 \cong \beta_{n2}(V_{gs2} - V_h)^2 \cong \beta_2(V_{ref} - V_h)^2 \quad (23)$$

در نتیجه:

$$V_{gs1} - V_h = K(V_{gs1} - V_h) \cong K(V_{ref} - V_h) \quad (24)$$

بنابراین:

$$V_{ds2} = V_{bias} - V_{gs1} \cong V_{ref} - V_h \quad (25)$$

در این حالت با اعمال ولتاژ بایاس Vbias خواهیم داشت:

$$V_{bias} = V_{gs1} + V_{ds2} \cong V_{gs1} + V_{ref} - V_h \quad (26)$$

با توجه به رابطه ۲۴ و ۲۵ خواهیم داشت:

$$V_{bias} - V_h = V_{gs1} - V_h + V_{ref} - V_h \cong \left(\frac{K+1}{K}\right)(V_{gs1} - V_h) \quad (27)$$

در اینجا ولتاژ درین - سورس Vds برای ترانزیستور M2 ایجاد شده است. در این حالت با توجه به ولتاژ آستانه Vh و با رابطه ۲۸ خواهیم داشت:

$$V_{ds1} = V_{ref} - V_{ds2} \cong V_{ref} - (V_{ref} - V_h) \cong V_h \quad (28)$$

در نتیجه باید:

$$V_h \geq V_{gs1} - V_h \cong \left(\frac{K}{K+1}\right)(V_{bias} - V_h) \cong V_h \quad (29)$$

تا M1 در محدوده اشباع نگه داشته شود؛ بنابراین:

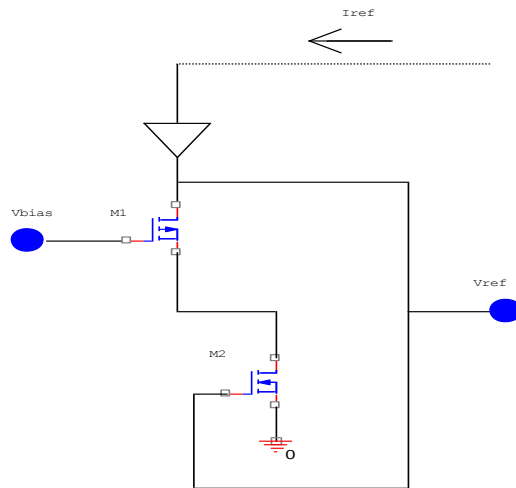
$$V_{bias} \leq \left(\frac{2K+1}{K}\right)V_h$$

در نظر گرفته می شود؛ و در نهایت ولتاژ مرجع برابر است با:

$$V_{ref} = V_{gs2} \cong \frac{V_{gs1} - V_h}{K} \cong \frac{V_{bias} + KV_h}{K+1} \quad (30)$$

برای مقدار ثابت Vbias ولتاژ Vref نیز مستقل از جریان Iref ثابت است؛ بنابراین:

$$V_{ref} = \frac{V_{bias} + KV_h}{K+1} \leq \left(\frac{K+1}{K}\right)V_h \quad (31)$$



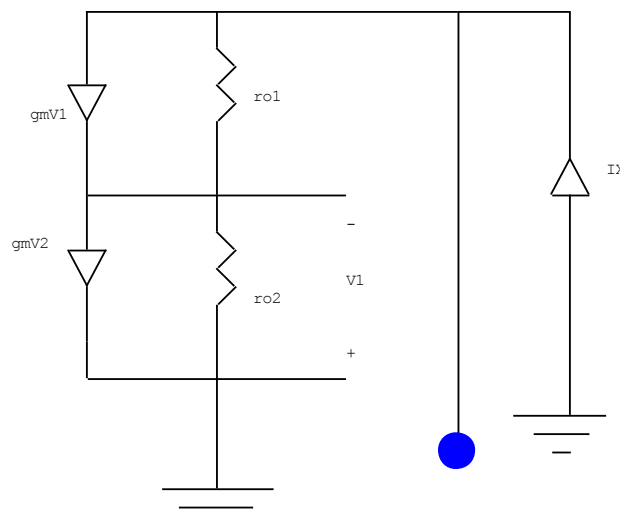
شکل ۱۶- شماتیک سلول بایاسینگ Low Voltage

۱-۶- مقاومت خروجی

در شکل ۱۶ با استفاده از مدار معادل شکل و محاسبه نسبت V_X/I_X مقاومت خروجی مدار محاسبه می گردد؛ بنابراین خواهیم داشت:

$$R_{out} = \frac{V_X}{I_X} \cong \frac{r_{o1} + (1 + g_{m1}r_{o1})r_{o2}}{1 + g_{m2}(1 + g_{m1}r_{o1})r_{o2}} \quad (32)$$

که در این رابطه g_{m1} و r_{o1} بترتیب هدایت انتقالی و مقاومت درین- سورس ترانزیستور M1 و g_{m2} و r_{o2} بترتیب هدایت انتقالی و مقاومت M2 هستند؛ و جریان I_{ref} و ولتاژ ایده آل V_{bias} در نظر گرفته می شوند.



شکل ۱۷- مدل سیگنال کوچک سلول بایاسینگ Low Voltage

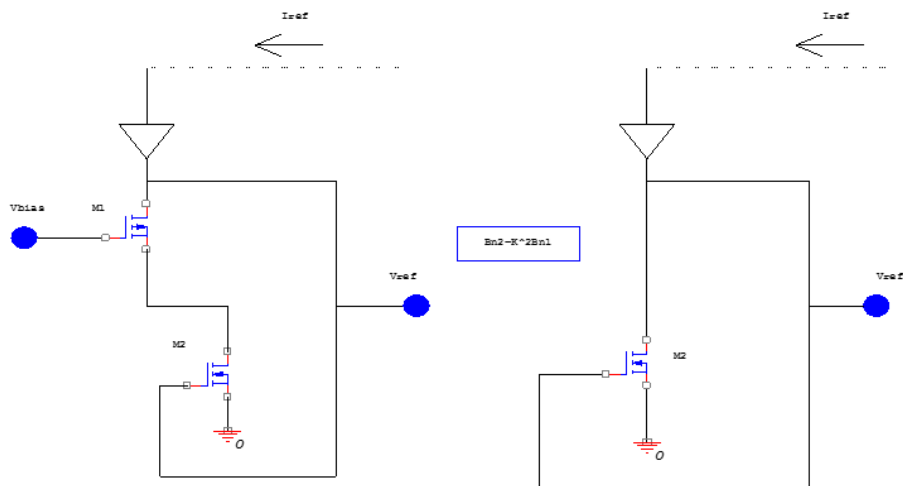
برای مقادیر بزرگ از مقاومت کانال r_{o1} و r_{o2} مقاومت خروجی R_{out} در رابطه ۳۲ بمقدار $1/g_{m2}$ کاهش می یابد. که برابر مقاومت نرمال MOSFET می باشد. در شکل ۱۵ فرض شده که مدار نشان داده شده در شکل ۱۴ همانند یک دیود اتصالی بوسیله جریان مرجع I_{ref} است؛ بنابراین:

$$I_{ref} = \left(\frac{K}{K+1} \right)^2 \beta_{n1} (V_{bias} - V_h)^2 \cong \beta_{n2} \left(\frac{1}{k+1} \right)^2 \times (V_{bias} - V_h)^2 \quad (33)$$

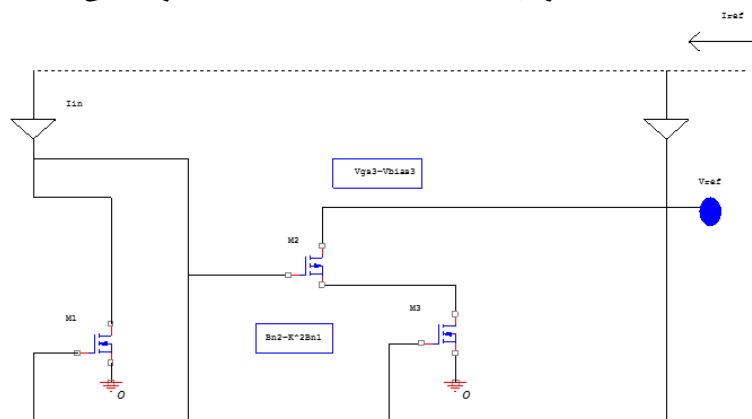
شکل ۱۶ را در نظرمی گیریم که برای ترانزیستور M3 خواهیم داشت:

$$\beta_{n3} = \left(\frac{K}{K+1} \right)^2 \beta_{n1} \quad (34)$$

اگر جریان درین برابر I_{ref} باشد بر اساس رابطه ۳۳ ولتاژ گیت- سورس M 3 ایجاد می‌شود؛ که از M1 بسمت زمین برای ایجاد ولتاژ V_{bias} جاری می‌شود.



شکل ۱۸- سلول بایاسینگ Low Voltage همانند یک دیود اتصالی



شکل ۱۹- سلول بایاسینگ Low Voltage تقویت شده با یک طبقه گیت مشترک

۷- مدارات آیینه جریان

۷-۱- بایاسینگ آیینه جریان کاسکد

سلول بایاسینگ Low Voltage در مقادیری از ولتاژ و جریان بایاس می‌شود که قادر به ایجاد مقاومتهای بزرگ کانال درین -سورس نیست. در طراحی منابع جریان و آمپلی فایرهای هدایت انتقالی سورس مشترک به مقاومتهای خروجی بزرگی نیازمندیم . یک راه حل سری نمودن یک طبقه گیت مشترک با ترمینال خروجی درین سلول سورس مشترک است. در شکل ۱۷ مدار آیینه جریان کاسکد برای رفع مشکل فوق مشاهده می گردد. برای مثال نسبت تبدیل برای M2، K2 برابر M1 لحاظ می‌شود. بصورت ایده آل جریان I_{bias} برابر جریان I_{ref} خواهد شد. از زمانی که ترانزیستور M2 بایاس می گردد افزایش ولتاژ درین ترانزیستور M2 کوچکتر از $V_{ref} - V_h$ خواهد بود و بنابراین $V_{ref} - V_h \leq V_h / K$ خواهد بود. برای ترانزیستور M4 نیز شرط

$$V_{ref} - V_h \leq V_h / K$$

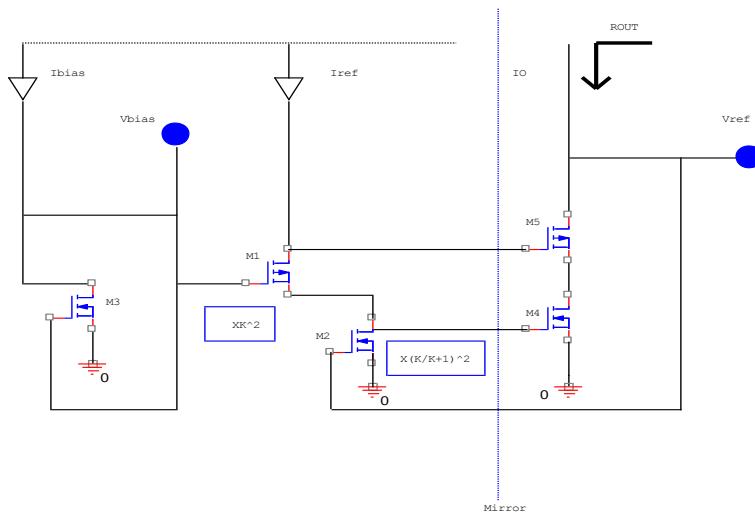
برقرار است. درحالت روشن شدن ولتاژهای گیت-سورس

$$V_{bias} - (V_{ref} - V_h) \cong V_{bias} - V_h / K$$

از M1 و M5 بصورت یکسان ساخته می شوند. یا بعبارتی:

$$V_o \cong V_h + V_h / K \cong \left(1 + \frac{1}{K} \right) V_h \quad (35)$$

خواهد شد؛ بنابراین برای مثال اگر آینه ای برابر $K=2$ طراحی شود مینیمم ولتاژ قابل پذیرش (V_o) در گره خروجی آینه کاسکد می تواند ۱٫۵ برابر از ولتاژ آستانه کوچکتر باشد.



شکل ۲۰- مدار آینه جریان کاسکد

با آنالیز مدل سیگنال کوچک خواهیم داشت:

$$R_{out} \cong \frac{V_x}{I_x} \cong r_{o5} + (1 + g_{m5} r_{o5}) r_{o4} \quad (36)$$

۸- نتیجه گیری

ابتدا تئوری و ساختار mosfet بررسی شد. در ادامه منابع ولتاژ و جریان و نحوه استفاده از mosfet به عنوان منبع تغذیه بررسی گردید. مثال های مختلفی از کاربرد تکنولوژی mosfet در طراحی منابع تغذیه همانند منبع ولتاژ دیودی و مدار آینه جریان کاسکد ارائه گردید.

منابع

- [1] P. Mantovannelli and I. Barbi, "A new current-fed isolated PWM dc/dc converter," in Proc. IEEE APEC'95, 1995, pp. 290—296.
- [2] V. J. Thottuvelil, T. G. Wilson, and H. A. Owen Jr., "Analysis and design of a push-pull current-fed converter," in Proc. IEEE PESC'81, 1981, pp. 192—203.
- [3] "Small signal modeling of a push-pull current-fed converter," in Proc. IEEE PESC'82, 1982, pp. 224—239.
- [4] M. Domb, R. Redl, and N. O. Sokal, "Nondissipative turn-off snubber alleviates switching power dissipation, second-breakdown stress and V overshoot: Analysis, design procedure, and experimental verification," in Proc. IEEE PESC'82, 1982, pp. 445—454.
- [5] R. L. Lin, Y. Zhao, and F. C. Lee, "Improved soft switching ZVT converters with active snubber," in Proc. IEEE AP EC'98, 1998, pp. 1063—1069.
- [6] W. McMurray, "Selection of Snubbers and Clamps to Optimize the Design of Transistor Switching Converter," IEEE Trans on Industrial Application, Vol.16, 1980, pp.513-523.
- [7] P. J. W., "A current-sourced DC-DC converter derived via the duality principle from the halfbridge converter," IEEE Trans. Power Electron., vol. 40, no. 1, pp. 139—144, Feb. 1993.

پیش‌بینی وقوع مرگ تا ۳۰ روز بر اساس سن بیمار و حجم خونریزی در عکس سی تی اسکن با استفاده از هوش مصنوعی

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۱/۱۷

تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۲/۲۱

کد مقاله: ۲۱۶۴۹

نسترن کرانی^{۱*}، محمدمیر ستاری^۲، غلامحسین روشنی^۳

سعید ستایشی^۴

چکیده

امروزه با توجه به میزان آسیب‌های مغزی که منجر به انواع خونریزی مغزی می‌شود نقش پررنگ دستگاه سی تی اسکن در تصویربرداری از مغز نمایان می‌شود. توسط دستگاه سی تی اسکن می‌توان حجم خونریزی مغزی را بدست آورد. خونریزی مغزی می‌تواند منجر به نابودی سلول‌های مغزی شود. در بدترین حالت خونریزی مغزی، نتیجه می‌تواند منجر به مرگ شود لذا تلاش‌هایی باید در جهت حفظ جان بیماران مبتلا به خونریزی مغزی انجام داد. هدف از این مقاله پیش‌بینی مرگ در طی ۳۰ روز بر اساس عکس سی تی اسکن با استفاده از هوش مصنوعی می‌باشد. در صورت پیش‌بینی فوت بیمار مبتلا به خونریزی مغزی در طی ۳۰ روز، لازم است که پزشک معالج مراقبت‌های ویژه و طرح درمان قوی‌تری را برای بیمار به‌عمل آورد. مشخصه‌های حجم خونریزی مغزی بیماران و سن آن‌ها به عنوان ورودی شبکه عصبی در نظر گرفته شده است و خروجی شبکه، زنده بودن یا فوت کردن بیماران مبتلا به خونریزی مغزی در طی ۳۰ روز می‌باشد. داده‌های مورد استفاده شامل حجم خونریزی و سن ۷۶ بیمار مبتلا به خونریزی عمیق^۵، ۶۶ بیمار مبتلا به خونریزی لوبار^۶، ۱۱ بیمار مبتلا به خونریزی مخچه‌ای^۷ و ۹ بیمار مبتلا به خونریزی پونتین^۸ می‌باشد. در این مقاله از شبکه عصبی پرسپترون چندلایه^۹ استفاده شده است. دقت شبکه عصبی برای بیماران مبتلا به خونریزی عمیق حاصل از داده‌های آموزش ۹۴/۳٪ و داده‌های تست ۸۶/۴٪، دقت شبکه عصبی برای بیماران مبتلا به خونریزی لوبار حاصل از داده‌های آموزش ۹۷/۸٪ و داده‌های تست ۸۰/۸٪، دقت شبکه عصبی برای بیماران مبتلا به خونریزی مخچه‌ای حاصل از داده‌های آموزش ۱۰۰٪ و داده‌های تست ۱۰۰٪، و دقت شبکه عصبی برای بیماران مبتلا به خونریزی پونتین حاصل از داده‌های آموزش ۱۰۰٪ و داده‌های تست ۱۰۰٪ می‌باشد.

واژگان کلیدی: سی تی اسکن، هوش مصنوعی، آسیب‌های مغزی، شبکه عصبی پرسپترون چندلایه

۱- گروه مهندسی برق، دانشکده انرژی، دانشگاه صنعتی کرمانشاه، کرمانشاه، ایران (مسئول مکاتبات)
nastarankorani7597@gmail.com

۲- گروه مهندسی برق، دانشکده انرژی، دانشگاه صنعتی کرمانشاه، کرمانشاه، ایران

۳- گروه مهندسی برق، دانشکده انرژی، دانشگاه صنعتی کرمانشاه، کرمانشاه، ایران

۴- گروه مهندسی پرتویزشکی، دانشکده مهندسی انرژی و فیزیک، دانشگاه صنعتی امیرکبیر تهران، تهران، ایران

1- Deep Hemorrhage

2- Lobar Hemorrhage

3- Cerebellar Hemorrhage

4- pontine Hemorrhage

5- Multi Layer Perceptron

۱- مقدمه

با توجه به شیوع بالای خونریزی داخل مغزی و مرگ ناشی از آن، بررسی میزان مرگ بر حسب سن و حجم خونریزی امری ضروری و لازم بنظر می‌رسد. شایع‌ترین علت خونریزی اولیه مغزی پرفشاری خون است که به نام خونریزی خودبخود مغزی شناخته می‌شود. این نوع خونریزی عمدتاً ناشی از پرفشاری خون مزمن و تغییرات دژنراتیو عروق مغزی می‌باشد. اما ممکن است یک سوم موارد این نوع خونریزی در افراد با فشار خون نرمال اتفاق بیفتد [۱]. خونریزی در درون بافت مغز باعث فشرده شدن و تخریب بافت‌های مجاور می‌شود و در صورت گسترده بودن، به جابجایی بافت‌های مغزی و فشار بر روی نواحی حیاتی ساقه مغز منجر خواهد شد [۲]. خونریزی داخل مغزی یکی از شایع‌ترین علل بستری در بیمارستان و مرگ در جهان است. در دو هفته‌ی اول پس از خونریزی داخل مغزی میزان مرگ بالاتر است. میزان مرگ برای خونریزی داخل مغزی ۴۰ تا ۵۰ درصد است. در تحقیقی که بین سال‌های ۲۰۰۲-۱۹۹۹ در بیمارستان سینا واقع در تهران صورت گرفت ویژگی‌های جمعیت شناختی همراه با ویژگی‌های بالینی و اطلاعات مربوط به عصب شناختی در ۱۲۲ بیمار مبتلا به خونریزی مغزی اولیه بستری شده با استفاده از تجزیه و تحلیل چند متغیری مورد ارزیابی قرار گرفت که از این تعداد ۷۰ نفر مرد و ۵۲ نفر زن بودند. نتیجه‌ی بدست آمده از این تحقیق بدین صورت بود که حدود یک سوم مرگ و میر در دو روز اول پس از آسیب مغزی اتفاق افتاد [۳]. در مطالعه‌ای که در سال ۱۹۸۸ در سینسیناتی صورت گرفت مرگ ۳۰ روزه برای ۱۸۸ مورد خونریزی داخل مغزی بررسی شد، میزان مرگ ۴۴ درصد گزارش شد و نیمی از مرگ در طی دو روز اول شروع خونریزی رخ داد. پیش‌بینی‌های مستقل مرگ ۳۰ روزه با استفاده از تحلیل‌های آماری تک متغیره و چند متغیره انجام شد. حجم خونریزی داخل مغزی قوی‌ترین پیش‌بینی کننده از مرگ ۳۰ روزه برای همه‌ی موارد خونریزی داخل مغزی بود. با استفاده از سه دسته حجم خونریزی پارانشیمال (۰ تا ۲۹ cm³، ۳۰ تا ۶۰ cm³ و بیشتر از ۶۱ cm³) توسط روش سریع و آسان بیضی محاسبه شد و دو دسته مقیاس کما گلاسگو (۹ یا بیشتر و ۸ یا کمتر) مرگ و میر ۳۰ روزه به درستی با حساسیت ۹۶ درصد پیش‌بینی شد [۴]. موریس و همکارانش در سال ۱۹۹۱ میزان بروز خونریزی مغزی از یک رکورد سکنه مغزی مبتنی بر جمعیتی در فرانسه را مورد مطالعه قرار دادند. خونریزی‌ها عمیق بودند و عمدتاً به دلیل فشار خون بالا بودند. مرگ در ماه اول ۵۱ درصد و در طی دو سال ۶۱ درصد بود [۵]. مهم‌ترین ابزار برای تشخیص شدت آسیب و وضعیت بیمار استفاده از سیستم G.C.S (Glasgow coma Scale) برای تعیین سطح هوشیاری بیماران است که تقریباً تمامی متخصصان بر روی این موضوع توافق نظر دارند. سیستم شماره گذاری G.C.S برای تعیین سطح هوشیاری بیماران مبتلا به خونریزی حاد مغزی ابداع شده است. کمترین میزان آن ۳ و بیشترین میزان آن ۱۵ می‌باشد [۶]. در سال ۱۹۸۸ تحقیقی در منطقه بزرگ سینسیناتی با جمعیتی نزدیک به ۱/۳ میلیون نفر صورت گرفت که پرونده‌های پزشکی، گزارش‌های کالبدشکافی و سی تی اسکن همه بیماران مشکوک به خونریزی داخل مغزی یا سوپراآتوویید را مورد بررسی قرار دادند. سکنه مغزی یکی از دلایل مهم مرگ در میان سیاه پوستان است و خونریزی داخل مغزی و سوپراآتوویید تقریباً نیمی از مرگ‌های اولیه سکنه مغزی را تشکیل می‌دهد. این نوع سکنه مغزی، علل مهم مرگ در میان سیاه پوستان جوان و میان سال است [۷]. استفاده از عکس‌های سی تی اسکن همراه با محاسبات نرم در تمام پژوهش‌های قبلی قابل مشاهده است. هدف از پژوهش حاضر پیش‌بینی وقوع مرگ بر اساس سن بیماران و حجم خونریزی داخل مغزی بر حسب سانتی‌متر مکعب می‌باشد. بدین منظور از شبکه عصبی پرسپترون چندلایه استفاده شده است. در صورت پیش‌بینی فوت بیمار مبتلا به خونریزی مغزی در طی ۳۰ روز لازم است که پزشک معالج مراقبت‌های ویژه و طرح درمان قوی‌تری را برای بیمار به عمل آورد.

۲- مدل‌سازی

خونریزی مغزی یک نوع سکنه مغزی است که باعث ایجاد انسداد شریان در مغز می‌شود و باعث خونریزی موضعی در بافت‌های اطراف بدن می‌شود که در نهایت این خونریزی سلول‌های مغز را می‌کشد. در بدترین حالت خونریزی مغزی نتیجه می‌تواند مرگ باشد که بستگی به شدت خونریزی دارد. داده‌های استفاده شده در این پژوهش بر اساس آزمایشات و مطالعات صورت گرفته در مرجع [۲] می‌باشد. در این مطالعه از شبکه عصبی پرسپترون چند لایه استفاده شده است بدین صورت که سن و حجم خونریزی به عنوان ورودی شبکه در نظر گرفته شده است و خروجی شبکه شامل اعداد ۰ (مرگ افراد طی ۳۰ روز) و ۱ (زنده ماندن افراد طی ۳۰ روز) می‌باشد. اگر خروجی شبکه عصبی مرگ را در طی ۳۰ روز پیش‌بینی کند پزشک معالج طرح درمان قوی‌تر و مراقبت‌های بیشتری را برای بیمار مبتلا به خونریزی مغزی انجام می‌دهد. در این پژوهش ۴ گروه از انواع خونریزی‌های مغزی مورد بررسی قرار گرفته است که بر اساس آن ۴ شبکه عصبی پرسپترون چندلایه طراحی شده است.

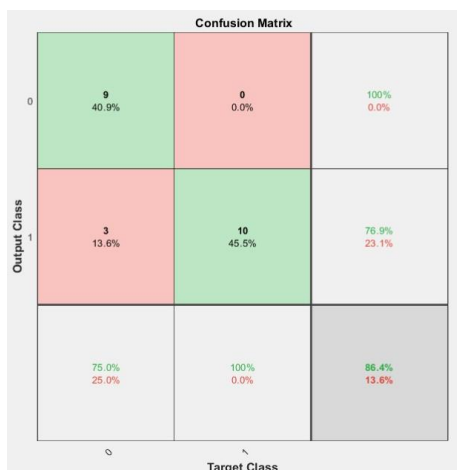
الف) خونریزی عمیق: ۷۶ بیمار مبتلا به خونریزی مغزی عمیق بررسی شده است. از بین این تعداد ۴۱ نفر در مدت ۳۰ روز زنده ماندند و ۳۵ نفر فوت کردند. شبکه عصبی طراحی شده برای این دسته از بیماران با ورودی‌های سن افراد مبتلا به خونریزی و حجم خونریزی و خروجی مرگ یا زنده بودن می‌باشد. دقت شبکه حاصل برای داده‌های آموزش ۹۴/۳٪ و داده‌های تست ۸۶/۴٪ می‌باشد. داده‌های ورودی و نتایج حاصله مربوط به داده‌های آموزش و تست به ترتیب در جداول ۱ و ۲ نشان داده شده است. ماتریس خطای داده‌های آموزش و تست در شکل‌های ۱ و ۲ آورده شده است.

جدول ۱- داده‌های آموزش خونریزی عمیق

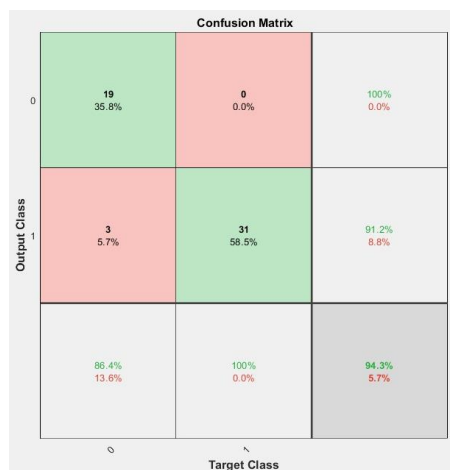
سن	حجم خونریزی	خروجی واقعی	خروجی پیش-بینی شده	سن	حجم خونریزی	خروجی واقعی	خروجی پیش-بینی شده
۳۲	۸/۹۲	۱	۱	۹۰/۲	۴/۳۶	۱	۱
۳۲/۹	۴/۴۲	۱	۱	۹۲/۸	۱۰/۶	۱	۱
۴۹/۶	۱۰/۴	۱	۱	۹۳/۶	۲/۰۶	۱	۱
۵۱/۵	۲۶/۱	۱	۱	۱۰۴	۸۰/۷	۱	۱
۵۱/۹	۳/۲۱	۱	۱	۴۵/۸	۱/۹۷	۰	۰
۵۵/۴	۲۹/۶	۱	۱	۵۲/۲	۶۲/۳	۰	۰
۵۷/۹	۷/۱۴	۱	۱	۵۶/۶	۴۸/۸	۰	۰
۶۲/۳	۳/۴۸	۱	۱	۶۱/۶	۱۱/۱	۰	۱
۶۲/۷	۶/۶۱	۱	۱	۶۷/۷	۰/۲۵۸	۰	۱
۶۶/۷	۰/۲۷۴	۱	۱	۶۷/۳	۱۱/۵	۰	۱
۶۶/۲	۱۱/۹	۱	۱	۷۱/۱	۳۸/۳	۰	۰
۸۶/۶	۲۶/۲	۱	۱	۷۱/۹	۹۱/۱	۰	۰
۶۸/۸	۵۵/۳	۱	۱	۷۳	۸/۲۳	۰	۰
۷۱/۲	۶/۹۲	۱	۱	۷۷/۷	۱۳/۱	۰	۰
۶۷/۳	۴/۵۹	۱	۱	۸۰/۸	۴۱/۲	۰	۰
۶۷/۲	۶/۳۸	۱	۱	۸۸/۷	۷/۰۷	۰	۰
۷۷/۳	۶/۳۷	۱	۱	۹۳/۳	۱۶/۸	۰	۰
۷۵/۵	۱۷/۱	۱	۱	۸۹/۴	۲۰/۵	۰	۰
۷۹/۵	۱/۸۵	۱	۱	۸۶/۷	۵۵	۰	۰
۸۰/۸	۰/۴۸۷	۱	۱	۸۳/۲	۵۶/۴	۰	۰
۸۱/۷	۱/۸۱	۱	۱	۷۶	۸۱/۶	۰	۰
۸۲/۶	۳/۱۴	۱	۱	۷۰/۷	۱۳۸	۰	۰
۸۴/۴	۳/۵۶	۱	۱	۷۳/۶	۱۳۰	۰	۰
۸۵	۳۱/۸	۱	۱	۸۷	۱۴۱	۰	۰
۸۷/۱	۱/۲۷	۱	۱	۸۴/۵	۸۹/۱	۰	۰
۸۷/۷	۳/۵	۱	۱	۹۱/۵	۱۰۵	۰	۰
۸۸/۹	۳/۹۳	۱	۱				

جدول ۲- داده‌های تست خونریزی عمیق

سن	حجم خونریزی	خروجی واقعی	خروجی پیش-بینی شده	سن	حجم خونریزی	خروجی واقعی	خروجی پیش-بینی شده
۴۷/۳	۶/۴۲	۱	۱	۶۱/۲	۵۵	۰	۰
۵۰/۷	۱۹/۳	۱	۱	۶۲/۲	۹۱/۷	۰	۰
۵۳/۱	۱۸	۱	۱	۷۳/۳	۹۴/۶	۰	۰
۵۹/۳	۱/۷۴	۱	۱	۷۸/۳	۱۱/۳	۰	۱
۶۳/۷	۲/۵۶	۱	۱	۷۷/۵	۲۹/۶	۰	۰
۶۲/۱	۴۸/۳	۱	۱	۷۶/۴	۳۲/۴	۰	۰
۷۴/۲	۱/۰۴	۱	۱	۸۷/۶	۱۲	۰	۰
۷۸/۸	۶/۳۴	۱	۱	۸۲/۸	۷۴/۸	۰	۱
۷۹/۵	۱۶/۲	۱	۱	۷۶/۲	۹۵/۵	۰	۰
۸۲/۴	۱۰/۳	۱	۱	۸۰/۳	۱۳۱	۰	۰
۶۰/۸	۲۹/۵	۰	۱	۹۳/۲	۸۰/۹	۰	۰



شکل ۲- ماتریس دقت داده‌های تست خونریزی عمیق



شکل ۱- ماتریس دقت داده‌های آموزش خونریزی عمیق

(ب) **خونریزی لوبار:** ۶۶ بیمار با خونریزی لوبار بررسی شده است. از بین این تعداد ۴۰ نفر در مدت ۳۰ روز زنده ماندند و ۲۶ نفر فوت کردند. شبکه عصبی طراحی شده برای این دسته از بیماران با ورودی‌های سن افراد مبتلا به خونریزی و حجم خونریزی و خروجی مرگ یا زنده بودن می‌باشد. دقت شبکه برای داده‌های آموزش ۹۷/۸ درصد و برای داده‌های تست ۸۰٪ می‌باشد. داده‌های ورودی و نتایج حاصله مربوط به داده‌های آموزش و تست به ترتیب در جدول‌های ۳ و ۴ نشان داده شده است. ماتریس خطای داده‌های آموزش و تست نیز در شکل‌های ۳ و ۴ آورده شده است.

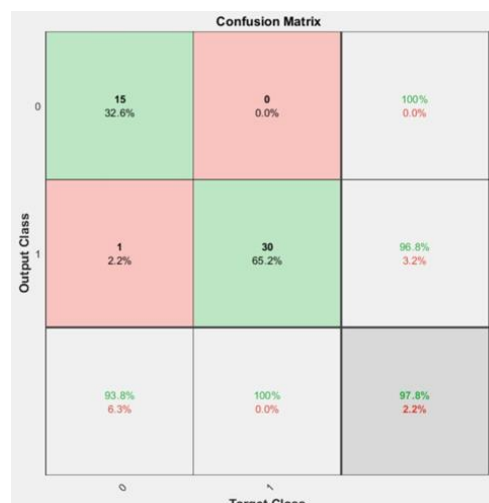
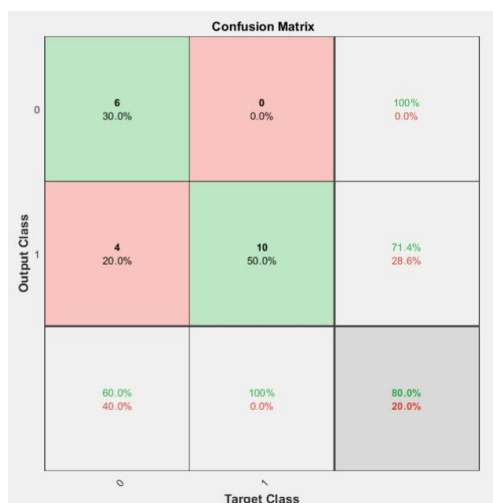
جدول ۳- داده‌های آموزش خونریزی لوبار

سن	حجم خونریزی	خروجی پیش-بینی شده	خروجی واقعی
۳۱/۴	۱۶/۹	۱	۱
۳۳/۲	۱۶/۱	۱	۱
۴۰/۴	۸/۷۹	۱	۱
۴۹/۷	۱۳/۲	۱	۱
۴۴	۹۱/۲	۱	۱
۶۰/۲	۱۲۰	۱	۱
۶۱/۱	۲۵/۶	۱	۱
۶۲	۱۵/۹	۱	۱
۶۳/۲	۳/۸۵	۱	۱
۶۵/۹	۸/۲۶	۱	۱
۶۵	۱۳/۹	۱	۱
۶۶/۸	۱۶/۳	۱	۱
۶۵/۸	۴۲/۴	۱	۱
۶۴/۷	۴۵/۳	۱	۱
۷۰/۵	۹/۴۵	۱	۱
۷۱/۲	۲۵/۵	۱	۱
۷۴/۱	۵/۸۱	۱	۱
۷۴/۸	۱۱/۴	۱	۱
۷۷	۲۸/۷	۱	۱
۷۶/۴	۳۸/۴	۱	۱
۷۵/۵	۴۷/۶	۱	۱
۷۸/۱	۱۱۲	۱	۱
۹۷/۷	۵۵/۶	۱	۱

سن	حجم خونریزی	خروجی پیش-بینی شده	خروجی واقعی
۸۱/۷	۸/۵۹	۱	۱
۸۳/۵	۱۲/۶	۱	۱
۸۵/۱	۱۲/۶	۱	۱
۸۴/۲	۲۵/۱	۱	۱
۸۵/۹	۲۹/۹	۱	۱
۸۳/۹	۶۴/۵	۱	۱
۸۵/۵	۱۲۸	۱	۱
۳۹/۹	۱/۵۶	۰	۰
۴۶/۹	۱۰۳	۰	۰
۵۲/۸	۷۱/۱	۰	۰
۵۴/۷	۶۷/۳	۰	۰
۶۰/۹	۵۲/۱	۰	۰
۶۰/۳	۹۵/۶	۰	۰
۶۹/۷	۴۲/۸	۰	۱
۷۰/۳	۱۳۵	۰	۰
۷۴/۸	۶۱/۷	۰	۰
۷۵/۶	۸۵	۰	۰
۸۱/۵	۸۹	۰	۰
۸۴/۳	۵۳/۶	۰	۰
۸۵/۳	۴۷/۲	۰	۰
۸۹/۷	۸۸/۲	۰	۰
۹۵/۲	۳۳/۵	۰	۰
۹۶/۴	۶۸/۴	۰	۰

جدول ۴- داده‌های تست خونریزی لوبار

سن	حجم خونریزی	خروجی واقعی	خروجی پیش-بینی شده	سن	حجم خونریزی	خروجی واقعی	خروجی پیش-بینی شده
۳۲/۸	۴/۰۱	۱	۱	۳۵/۸	۷۶/۴	۰	۱
۵۰/۶	۶/۷۳	۱	۱	۴۵	۴۸/۶	۰	۱
۵۶/۶	۵۵	۱	۱	۴۸/۸	۱۹/۲	۰	۱
۶۷/۲	۳/۰۳	۱	۱	۶۱/۸	۸۰/۷	۰	۰
۶۷/۷	۶۳/۳	۱	۱	۶۸/۱	۸۹/۵	۰	۰
۷۲/۱	۲۴/۳	۱	۱	۷۴/۴	۹۳/۵	۰	۰
۷۴/۸	۲۰/۳	۱	۱	۷۸/۷	۴۳/۶	۰	۱
۷۵/۱	۲۶/۳	۱	۱	۸۱/۲	۸۲/۲	۰	۰
۷۸/۴	۲۱/۵	۱	۱	۸۷/۳	۸۷	۰	۰
۸۱/۱	۲۷/۹	۱	۱	۹۱	۵۴/۸	۰	۰



شکل ۳- ماتریس دقت داده‌های آموزش خونریزی لوبار

شکل ۴- ماتریس دقت داده‌های تست خونریزی لوبار

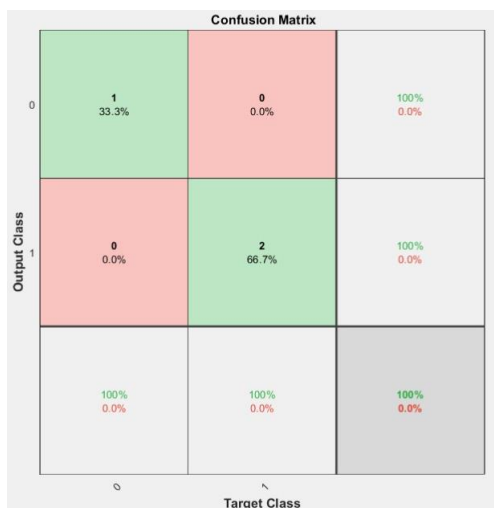
ج) خونریزی پونتین: ۹ بیمار با خونریزی پونتین بررسی شده است. از بین این تعداد ۵ نفر در مدت ۳۰ روز زنده ماندند و ۴ نفر فوت کردند. شبکه عصبی طراحی شده برای این دسته از بیماران با ورودی‌های سن افراد مبتلا به خونریزی و حجم خونریزی و خروجی مرگ یا زنده بودن می‌باشد. دقت شبکه برای داده‌های آموزش ۱۰۰٪ و برای داده‌های تست ۱۰۰٪ می‌باشد. داده‌های ورودی و نتایج حاصله مربوط به داده‌های آموزش و تست به ترتیب در جدول‌های ۵ و ۶ نشان داده شده است. ماتریس خطای داده‌های آموزش و تست نیز در شکل‌های ۵ و ۶ آورده شده است.

جدول ۵- داده‌های آموزش خونریزی پونتین

سن	حجم خونریزی	خروجی واقعی	خروجی پیش-بینی شده	سن	حجم خونریزی	خروجی واقعی	خروجی پیش-بینی شده
۶۰/۲	۱/۳۵	۱	۱	۶۰/۳	۶/۵۵	۰	۰
۸۴/۲	۱/۰۷	۱	۱	۶۲	۳۴/۲	۰	۰
۸۹/۶	۲/۳	۱	۱	۷۳/۸	۶/۶۲	۰	۰

جدول ۶- داده‌های تست خونریزی پونتین

سن	حجم خونریزی	خروجی واقعی	خروجی پیش-بینی شده
۸۳/۳	۱/۰۷	۱	۱
۹۲/۸	۰/۷۱۶	۱	۱
۵۵/۳	۸/۱۳	۰	۰



شکل ۵ - ماتریس دقت داده‌های آموزش خونریزی پونتین

شکل ۶ - ماتریس دقت داده‌های تست خونریزی پونتین

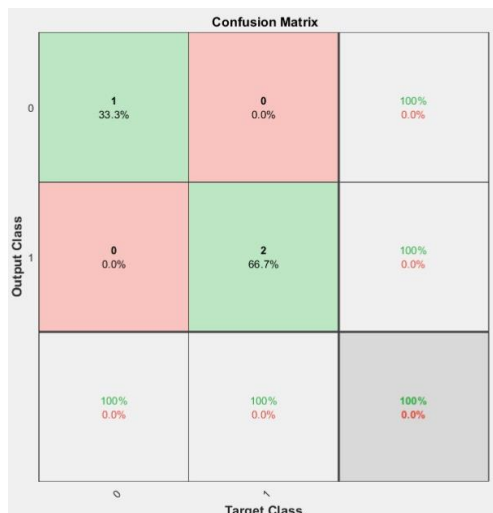
(د) خونریزی مخچه‌ای: ۱۱ بیمار مبتلا به خونریزی مخچه‌ای بررسی شده است. از بین این تعداد ۴ نفر در مدت ۳۰ روز زنده ماندند و ۷ نفر فوت کردند. شبکه عصبی طراحی شده برای این دسته از بیماران با ورودی‌های سن افراد مبتلا به خونریزی و حجم خونریزی و خروجی مرگ یا زنده بودن می‌باشد. دقت شبکه برای داده‌های آموزش ۱۰۰٪ و برای داده‌های تست ۱۰۰٪ می‌باشد. داده‌های ورودی و نتایج حاصله مربوط به داده‌های آموزش و تست به ترتیب در جدول ۷ و ۸ نشان داده شده است. ماتریس خطای داده‌های آموزش و تست در شکل‌های ۷ و ۸ آورده شده است.

جدول ۷- داده‌های آموزش خونریزی مخچه‌ای

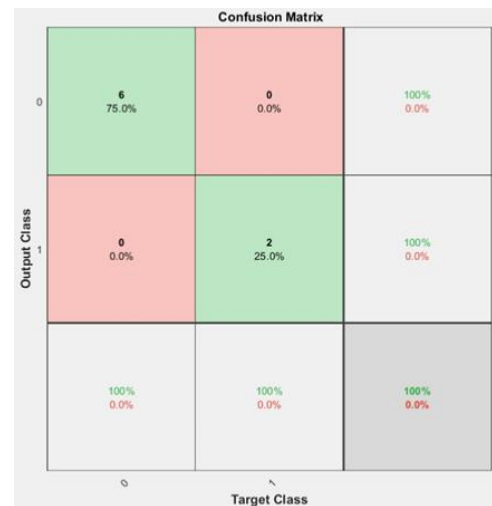
سن	حجم خونریزی	خروجی واقعی	خروجی پیش-بینی شده	سن	حجم خونریزی	خروجی واقعی	خروجی پیش-بینی شده
۵۹/۴	۵۵/۲	۱	۱	۴۱/۶	۶۱/۱	۰	۰
۴۴/۹	۶۸/۲	۱	۱	۴۸	۷۷/۴	۰	۰
۵۴/۶	۳۵/۸	۰	۰	۵۰/۶	۷۸/۱	۰	۰
۶۲/۹	۵۳/۱	۰	۰	۶۲/۵	۸۶/۳	۰	۰

جدول ۸- داده‌های تست خونریزی مخچه‌ای

سن	حجم خونریزی	خروجی واقعی	خروجی پیش-بینی شده
۳۵	۶۵	۱	۱
۳۸	۷۲/۸	۱	۱
۷۰/۱	۸۲/۲	۰	۰



شکل ۸- ماتریس دقت داده‌های خونریزی مخچه‌ای



شکل ۷- ماتریس دقت داده‌های آموزش خونریزی مخچه‌ای

نتیجه گیری

خونریزی داخل مغزی اولیه یکی از شایع‌ترین علل بستری در بیمارستان و مرگ در جهان است. در این مقاله پیش بینی مرگ در طی ۳۰ روز با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی انجام شده است. در صورت پیش بینی فوت بیمار مبتلا به خونریزی مغزی در طی ۳۰ روز، لازم است که پزشک معالج مراقبت‌های ویژه و طرح درمان قوی‌تری را برای بیمار به‌عمل آورد. مشخصه‌های حجم خونریزی مغزی بیماران و سن آن‌ها به عنوان ورودی شبکه عصبی در نظر گرفته شده است و خروجی شبکه زنده بودن یا فوت کردن بیماران مبتلا به خونریزی مغزی در طی ۳۰ روز می‌باشد. داده‌های مورد استفاده شامل حجم خونریزی و سن ۷۶ بیمار مبتلا به خونریزی عمیق، ۶۶ بیمار مبتلا به خونریزی لوبار، ۱۱ بیمار مبتلا به خونریزی مخچه‌ای و ۹ بیمار مبتلا به خونریزی پونتین می‌باشد. در این مقاله از شبکه عصبی پرسپترون چندلایه استفاده شده است. دقت شبکه عصبی برای بیماران مبتلا به خونریزی عمیق حاصل از داده‌های آموزش ۹۴/۳٪، داده‌های تست ۸۶/۴٪، برای بیماران مبتلا به خونریزی لوبار حاصل از داده‌های آموزش ۹۷/۸٪، داده‌های تست ۸۰٪، برای بیماران مبتلا به خونریزی مخچه‌ای حاصل از داده‌های آموزش ۱۰۰٪، داده‌های تست ۱۰۰٪ و همچنین برای بیماران مبتلا به خونریزی پونتین حاصل از داده‌های آموزش ۱۰۰٪ و داده‌های تست ۱۰۰٪ می‌باشد.

منابع

- 1- Maurice V, Allan It. Ropper, principles of Neurology, 7th edition, New York, McGraw-Hill. 2001, 821-825, 881-888.
- 2- Brown RD: Stroke incidence, prevalence and survival. Stroke 1996;27:373-80.
- 3- togha.m, bakhtavar kh, factors associated in hospital mortality following intracerebral hemorrhage: a three years study in Tehran, iran, 2004, 4:9.
- 4- Joseph P, Broderick, Thomas G, Brott, John E, Duldner, Thomas T, Gertrude H, Volume of Intracerebral Hemorrhage A Powerful and Easy to Use Predictor of 30 Day Mortality, 1993;24:987-993.
- 5- Maurice G, Pierre G, Nadar CH, Pierre B, Chantal M, Patrick A, Raymond D, Cerebral haemorrhage in a French prospective population study, 1990.
- ۶- شبیری، الهام و سعیدی بروجنی، حمیدرضا و رضایی، منصور و جهانبخشی، ایوب، رابطه‌ی یافته‌های سی تی اسکن مغزی با سطح هوشیاری، یافته‌های جراحی و سرنوشت بیماران مبتلا به خونریزی‌های تروماتیک داخل جمجمه، ماهنامه علمی پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی کرمانشاه، سال هجدهم-شماره سوم خرداد ۱۳۹۳.
- 7- Joseph P, Broderick, Thomas B, Thomas T, Gertrude H, Rosemary M, The Risk of Subarachnoid and Intracerebral Hemorrhages in Blacks as Compared with Whites, Vol.326, 1992.

طراحی و شبیه‌سازی اینورتر ۱۳ سطحی تکفاز سلول U

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۲/۱۵

تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۱/۲۴

کد مقاله: ۵۰۷۹۴

محسن یحیی آبادی^۱، علی اصغر شجاعی^{۲*}، سامان طوسی^۳،
احسان دشتبانی^۴

چکیده

در این مقاله با استفاده از مدولاسیون چند حاملی و سلول U یک اینورتر ۱۳ سطحی تکفاز ارائه شده است. شبیه‌سازی در سیمولینک نرم‌افزار متلب انجام شده است. خروجی ولتاژ و جریان اینورتر در بار ثابت و متغیر در اسکوپ نشان داده می‌شود. همچنین اعوجاج هارمونیک کل یا THD اینورتر محاسبه و نمایش داده می‌شود. روش مدولاسیون چند سطحی یکی از روش‌های رایج در تولید پالس برای کلیدها می‌باشد. معمولاً برای تولید پالس سوئیچ‌ها موج مثلثی حامل با موج مرجع که یک موج سینوسی با فرکانس مطلوب و مورد نظر خروجی می‌باشد مقایسه می‌شود و این پالس‌ها تولید می‌شوند و به سوئیچ‌ها اعمال می‌گردد. در این کار اینورتر ۸ سوئیچ و ۱۲ موج حامل و ۳ منبع تغذیه DC دارد. این کار با اینورتر ۱۳ سطحی CH-B تکفاز مقایسه می‌شود و نشان داده می‌شود که عملکرد اینورتر در این مقاله بهبود داده شده است.

واژگان کلیدی: اینورتر، چند حاملی، سوئیچینگ، مبدل.

۱- گروه برق، دانشکده فنی مهندسی، واحد نیشابور، دانشگاه آزاد اسلامی، نیشابور، ایران.

۲- گروه برق، دانشکده فنی مهندسی، واحد نیشابور، دانشگاه آزاد اسلامی، نیشابور، ایران. (مسئول مکاتبات)

a.shojaei@iau-neyshabur.ac.ir

۳- گروه برق، دانشکده فنی مهندسی، واحد نیشابور، دانشگاه آزاد اسلامی، نیشابور، ایران.

۴- گروه برق، دانشکده فنی مهندسی، واحد نیشابور، دانشگاه آزاد اسلامی، نیشابور، ایران.

۱- مقدمه

اینورترها در مکان‌هایی که ولتاژ DC به عنوان منبع تغذیه می‌باشد، مانند باتری‌ها و پنل‌های خورشیدی، و مصرف کننده توسط ولتاژ متناوب یا اصطلاحاً بار AC هست مورد استفاده قرار می‌گیرند، عبارت دیگر اینورتر عمل معکوس سازی را انجام می‌دهد و ولتاژ DC منبع را به ولتاژ AC با مقدار موثر قابل تنظیم تبدیل می‌کند. البته اینورترهای CH-B با ۴ سوئیچ خیلی مرسوم هستند ولی امروزه با توجه به کاهش قیمت ادوات نیمه هادی اینورترهای چند سطحی جایگزین مناسبی برای تولیدات قدیمی هستند [۱ و ۲].

در مقالات تمرکز در روش‌های مدولاسیون است. مولفه‌ی مهم و قابل توجه شامل کاهش قطعات، کاهش پیچیدگی طراحی و ساخت اینورتر می‌باشد. هر چقدر که تعداد کلیدها کاهش پیدا کند تلفات سوئیچینگ و هزینه ساخت کاهش می‌یابد. اینورترهای چند سطحی در کارهای صنعتی مختلف از تک فاز و سه فاز، توان کم، توان متوسط و توان بالا کاربرد دارند [۳-۱۳]. در بیشتر اینورترهای صنعتی از یک یا دو منبع DC استفاده می‌شود. استفاده از منابع DC بیشتر برای افزایش تعداد سطح اینورتر هزینه بر می‌باشد. هر منبع DC در اینورتر یک ترانسفورماتور و یک پل دیودی مجزا نیاز دارد [۱۴-۱۷]. تعدادی از توپولوژی‌های CH-B که منابع مجزای DC دارند در کاربردهای توان بالا مورد استفاده قرار می‌گیرند. تکنولوژی CH-B کمک می‌کند که ولتاژ بین سلول‌ها تقسیم شود از این رو مولفه‌های سوئیچ‌ها می‌تواند ولتاژ متوسط و یا پایین‌تری داشته باشند [۲۰-۲۲].

در این مقاله یک اینورتر ۱۳ سطحی تکفاز با ۸ کلید و ۱۲ کریر و سه منبع ولتاژ طراحی شده است. در نمونه‌ی مشابه که از فناوری CH-B استفاده می‌کند دارای تعداد کلیدهای کمتر و همچنین THD بهتری در ولتاژ و جریان خروجی می‌باشد. در قسمت دوم مدار پیشنهادی برای اینورتر ۱۳ سطحی با ۸ کلید نمایش داده شده است. قسمت سوم به توضیح مدولاسیون چند سطحی و نحوه‌ی تولید پالس برای سوئیچ‌ها می‌پردازد. قسمت چهارم نتایج شبیه‌سازی در بارهای مختلف، محاسبه‌ی THD و مقایسه با اینورتر ۱۳ سطحی CH-B آورده شده است.

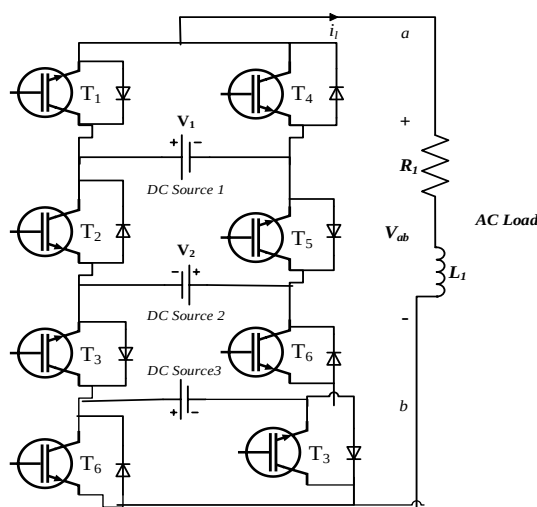
۲- طراحی اینورتر ۱۳ سطحی با کلیدهای کاهش یافته

در این مقاله با استفاده از ۸ سوئیچ و سه منبع ولتاژ یک اینورتر ۱۳ سطحی تکفاز طراحی شده است، در شکل ۱ می‌بینید. منابع ولتاژ برای اینورتر طراحی شده در این کار با توجه به رابطه (۱) انتخاب می‌شوند.

$$v_1 = 2v_2 = 4v_3 \quad (1)$$

با تغییر ولتاژ منابع با توجه به رابطه (۱) و تغییر ضریب مدولاسیون می‌توان ولتاژ موثر دلخواه را در خروجی اینورتر ایجاد کرد. در این کار $v_1=100\text{V}$, $v_2=50\text{V}$, $v_3=25\text{V}$ می‌باشد.

در این مقاله از مدولاسیون چند سطحی PWM برای تولید موج کلید زنی جهت سوئیچینگ استفاده شده است که در بخش ۳ به توضیح آن پرداخته می‌شود.



شکل ۱- اینورتر ۱۳ سطحی با ۸ سوئیچ و سه منبع ولتاژ

۳- تولید موج کریر با مدولاسیون عرض پالس چند سطحی

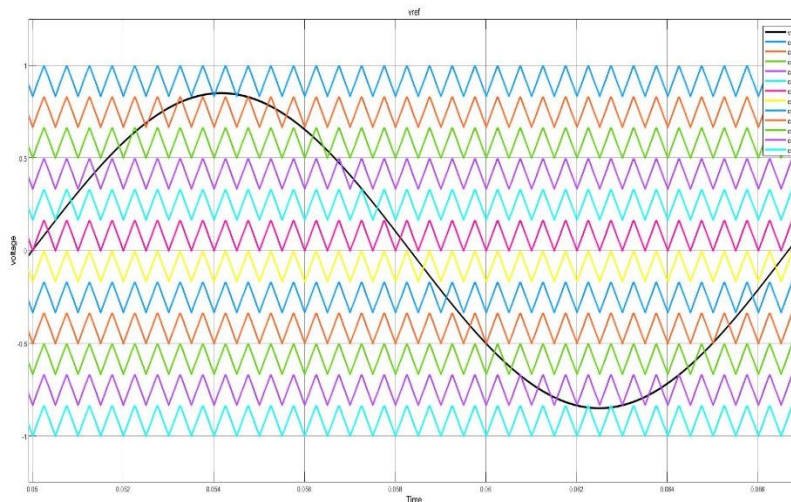
در این مقاله برای تولید پالس سویچینگ کلیدها از مدولاسیون چند سطحی استفاده شده است. با رجوع به رابطه ی (۲) تعداد کریر ها با توجه به تعداد سطح های اینورتر بدست می آید.

$$N=L-1 \quad (2)$$

در این رابطه n تعداد کریرهای لازم و L تعداد سطح ولتاژ خروجی اینورتر می باشد. در این کار $L=13$ و $n=12$ می باشد. موج کریر یک موج مثلثی انتخاب می شود که با توجه به رابطه (۳) دامنه آن مشخص می شود.

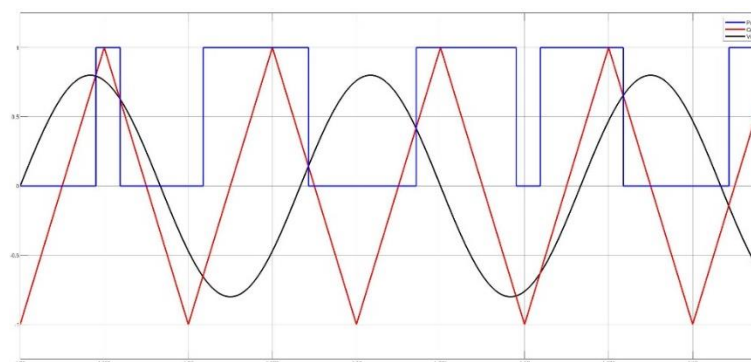
$$a_{cr}=2/n \quad (3)$$

در رابطه (۳) a_{cr} دامنه موج و n تعداد سطح می باشد. در این کار $a_{cr}=1/6$ می شود که این دوازده موج بین ۱ تا -۱ تقسیم می شوند. سیگنال مرجع یک موج سینوسی با فرکانس f_r و دامنه m_r بین ۱- تا ۱ در نظر گرفته می شود که با تغییر دامنه ولتاژ مرجع دامنه ی ولتاژ خروجی اینورتر تغییر می کند. با مقایسه موج مرجع و موج های کریر پالس های سویچینگ تولید می شود. در این کار فرکانس موج مرجع $f_r=60\text{Hz}$ و دامنه ی آن (ضریب مدولاسیون) $m_r=0.8v$ و فرکانس کریرها $f_{cr}=2000\text{Hz}$ می باشد. شکل ۲ را ببینید.



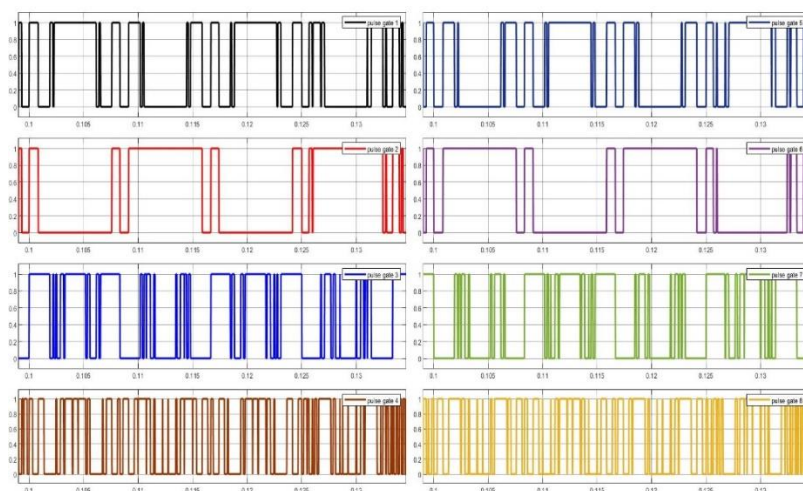
شکل ۲- نمایش موج کریر چند سطحی و موج مرجع

با مقایسه موج مرجع با موج های کریر پالس های سویچینگ برای ۸ کلید ایجاد می شود. اگر موج مرجع از موج کریر کمتر باشد منطق ۱ و اگر بیشتر باشد منطق صفر می شود. موج مرجع یک موج سینوسی با فرکانس مطلوب خروجی می باشد، موج کریر یک موج مثلثی در نظر گرفته می شود. در شکل ۳ نحوه تولید پالس برای سویچ ها و مقایسه ی موج مرجع با موج کریر نشان داده شده است.



شکل ۳ - مقایسه موج مرجع با موج کریر و تولید پالس سویچینگ.

در شکل ۴ پالس های اعمالی به سویچ ها نمایش داده شده است. همانطور که ملاحظه می کنید فرکانس سویچینگ سویچ ها متفاوت هست.



شکل ۴- پالس‌های اعمالی به ۸ کلید.

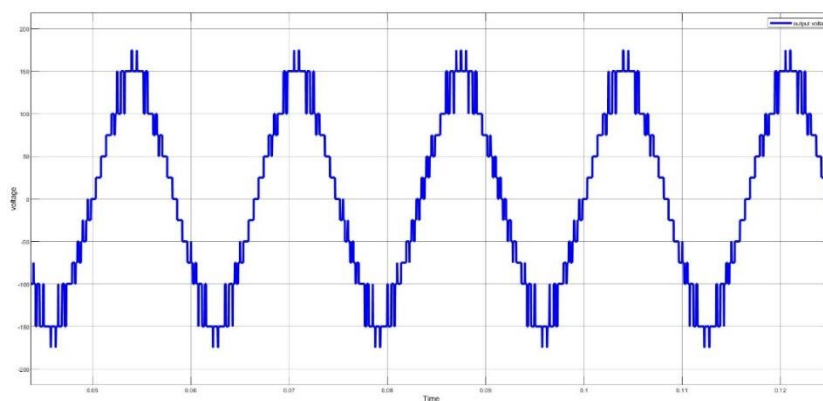
نحوه ترتیب سوییچینگ و نحوه ایجاد سطوح ولتاژ در خروجی به جدول ۱ رجوع کنید. به طور مثال زمانی که سوییچ‌های ۳ و ۸ و ۶ زده شود در خروجی مجموع ولتاژهای v_1, v_2, v_3 ایجاد می‌شود و به همین صورت برای حالت دیگر به این ترتیب ۱۳ سطح ولتاژ در خروجی ایجاد می‌گردد.

جدول ۱- ترتیب سوییچینگ جهت ایجاد ولتاژ خروجی اینورتر.

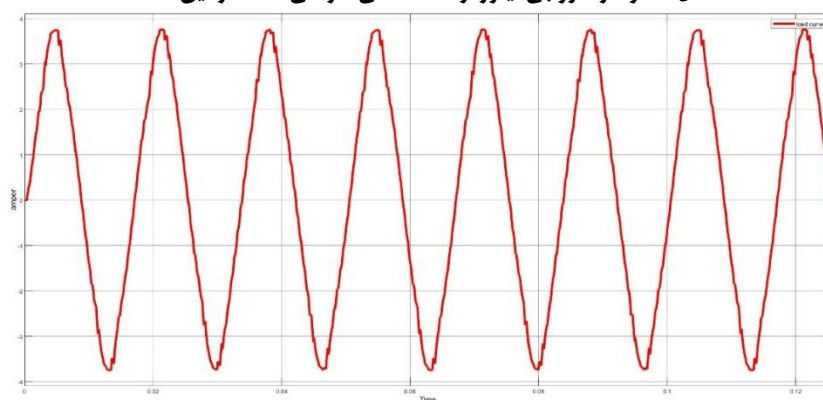
	Sw1	Sw2	Sw3	Sw4	Sw5	Sw6	Sw7	Sw8	vout
1	1	0	1	0	0	1	0	1	$v_1+v_2+v_3$
2	1	0	1	1	0	1	0	0	v_1+v_2
3	1	0	0	0	0	1	1	1	v_1
4	0	0	1	0	1	1	0	1	v_2+v_3
5	0	0	1	1	1	1	0	0	v_2
6	1	1	1	0	0	0	0	1	v_3
7	1	1	1	1	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	1	1	1	1	
8	0	0	0	1	1	1	1	0	$-v_3$
9	1	1	0	0	0	0	1	1	$-v_2$
10	1	1	0	1	0	0	1	0	$-v_2-v_3$
11	0	1	1	1	1	0	0	0	$-v_1$
12	0	1	0	0	1	0	1	1	$-v_1-v_2$
13	0	1	0	1	1	0	1	0	$-v_1-v_2-v_3$

۴- نتایج شبیه‌سازی و مقایسه با اینورتر CH_B

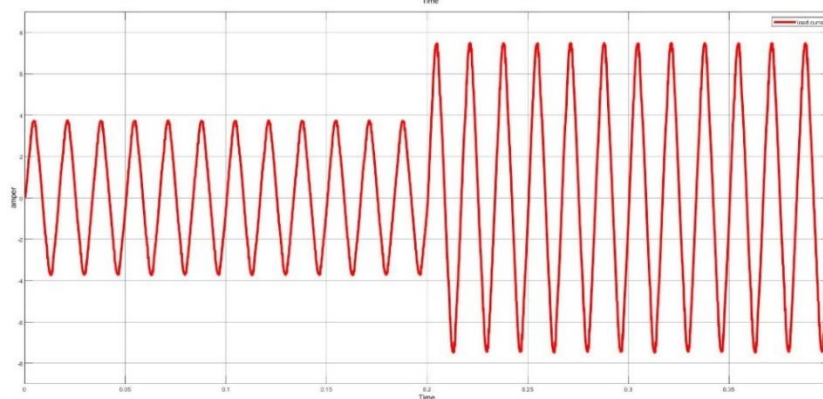
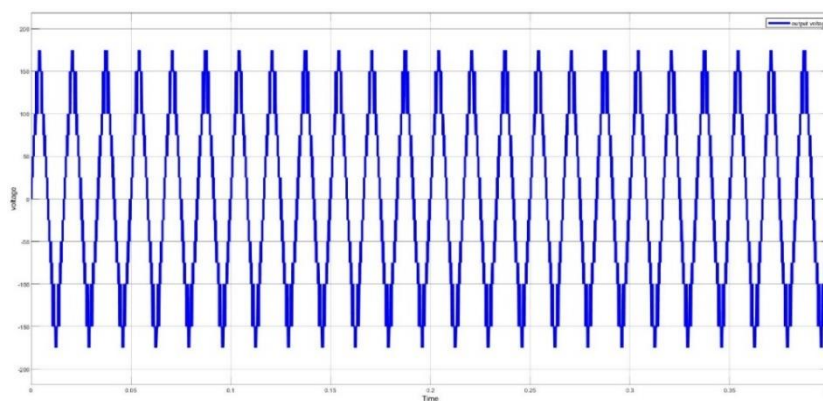
شبیه‌سازی در نرم‌افزار متلب انجام و بار اهمی ۵۰ اهم و بار سلفی ۲۰ میلی‌هانری در نظر گرفته شده است. در شکل ۴ ولتاژ و در شکل ۵ جریان خروجی اینورتر طراحی شده در این مقاله نمایش داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌کنید ولتاژ خروجی دارای ۱۳ سطح می‌باشد که به شکل موج سینوسی بسیار نزدیک هست و همچنین یک بار سلفی کوچک ۲۰ میلی‌هانری جریان خروجی مشابه موج سینوسی می‌باشد و دارای هارمونیک بسیار پایین و نیازی به اضافه کردن فیلتر در خروجی نیست. در شکل ۶ به ازای ۵۰ درصد کاهش بار شکل موج ولتاژ و جریان بار خروجی اینورتر طراحی شده نمایش داده شده است. شکل موج آبی رنگ مربوط به ولتاژ خروجی و شکل موج قرمز رنگ مربوط به جریان بار خروجی می‌باشد. همانطور که نشان داده شده است ولتاژ خروجی به ازای ۵۰ درصد کاهش بار پایدار و ولتاژ خروجی در اثر کاهش ۵۰ درصدی بار ثابت می‌باشد.



شکل ۴- ولتاژ خروجی اینورتر ۱۳ سطحی طراحی شده در این مقاله.

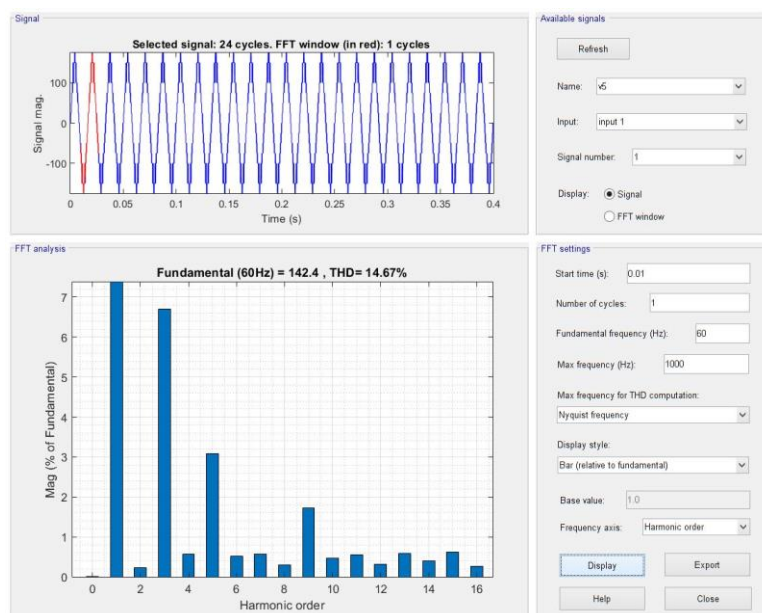


شکل ۵- جریان بار اینورتر ۱۳ سطحی طراحی شده در این مقاله.

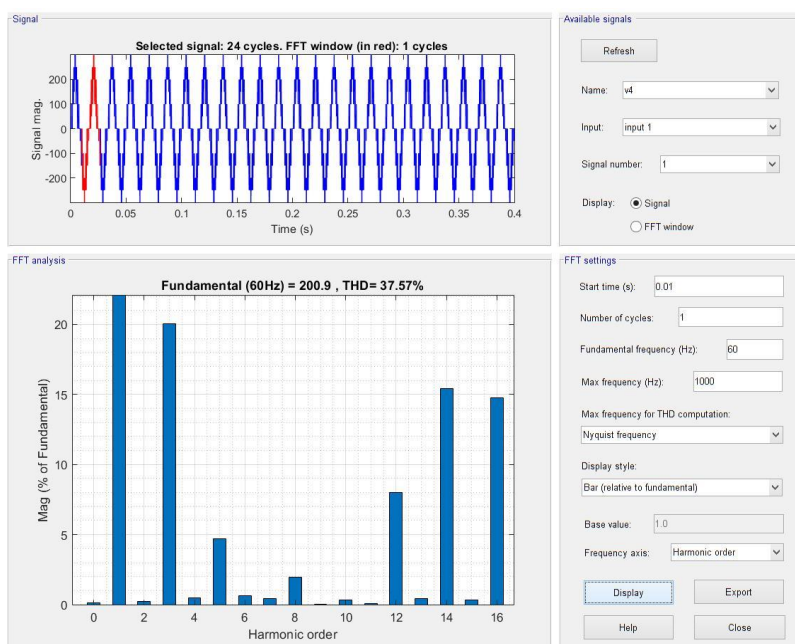


شکل ۶- شکل موج ولتاژ و جریان بار خروجی اینورتر طراحی شده در این مقاله به ازای ۵۰ درصد کاهش بار.

یکی از پارامترهای مهم در طراحی اینورتر اعوجاج هارمونیک کلی THD می‌باشد. در شکل ۷، THD ولتاژ اینورتر ۱۳ سطحی طراحی شده و در شکل ۸، THD ولتاژ اینورتر ۱۳ سطحی CH-B نمایش داده شده است. همانطور که مشاهده می‌کنید اینورتر طراحی شده دارای THD ولتاژ کمتر از ۱۵ درصد می‌باشد که تقریباً ۵۰ درصد نسبت به اینورتر CH-B بهبود داشته است.

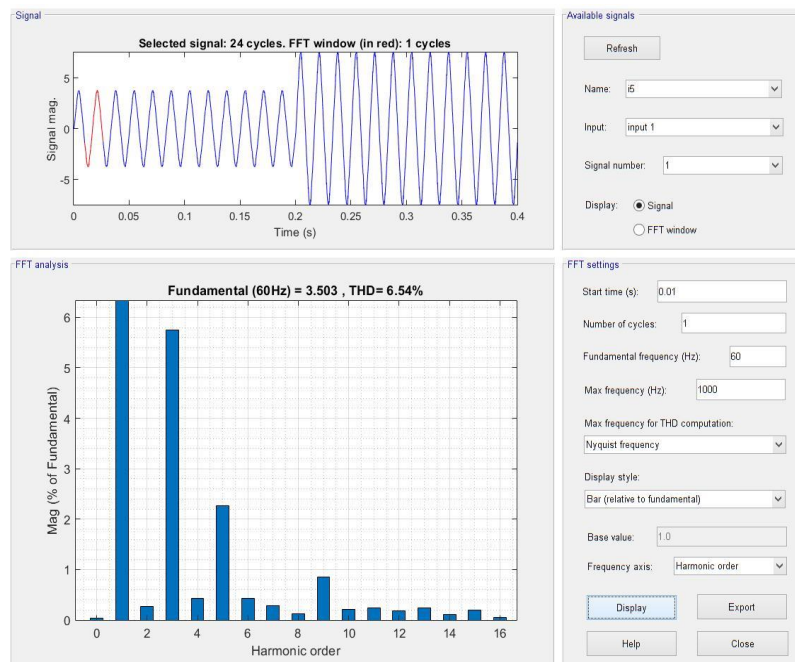


شکل ۷- آنالیز fft اینورتر ۱۳ سطحی طراحی شده برای ولتاژ خروجی.



شکل ۸- آنالیز fft اینورتر ۱۳ سطحی CH-B برای ولتاژ خروجی.

در شکل ۹ آنالیز fft برای بدست آوردن THD جریان اینورتر ۱۳ سطحی طراحی شده در این مقاله آمده است که کمتر از ۷ درصد می‌باشد.



شکل ۹- آنالیز fft اینورتر ۱۳ سطحی طراحی شده برای جریان بار خروجی.

در جدول ۲ مقایسه ای بین اینورتر ۱۳ سطحی ارائه شده در این مقاله و اینورتر CH-B نشان داده شده است.

جدول ۲- مقایسه پارامترهای بین اینورتر ارائه شده و CH-B.

اینورتر CH-B	اینورتر ارائه شده	
۲۴	۸	تعداد کلید ها
۱۲	۱۲	تعداد کریر ها
۳۷,۵۷	۱۴,۶۷	THD برای ولتاژ
۱۶,۷۴	۶,۵۴	THD برای جریان

۵- نتیجه گیری

در این کار نشان داده شد که اینورتر طراحی شده با ۸ کلید نسبت به اینورتر CH-B دارای THD بهتر و کلیدهای کمتری می باشد که کاهش هزینه در ساخت اینورتر را به همراه دارد. همچنین یک طرح جدید برای اینورتر ۱۳ سطحی نمایش داده شده است.

منابع

1. P. W. Hammond.(1997) *A New Approach to Enhance Power Quality for Medium Voltage AC Drives*, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 33, No. 1, pp. 202–208.
2. W. A. Hill and C. D. Harbourt.(1999). *Performance of Medium Voltage Multilevel Inverters*, IEEE Industry Applications Society (IAS) Conference, Vol. 2, pp. 1186–1192.
3. R. H. Osman.(1999). *A Medium Voltage Drive Utilizing Series-Cell Multilevel Topology for Outstanding Power Quality*, IEEE Industry Applications Society (IAS) Conference, pp. 2662–2669.
4. N. Mohan, T. M. Undeland, et al.(2003). *Power Electronics—Converters*, Applications and Design, 3rd edition, John Wiley & Sons, New York.
5. P. W. Wheeler, L. Empringham, et al.(2000), *Improved Output Waveform Quality for Multilevel H-Bridge Chain Converters Using Unequal Cell Voltages*, IEEE Power Electronics and Variable Speed Drives Conference, pp. 536–540.

6. M. D. Manjrekar, P.K. Steimer, et al.(2000), **Hybrid Multilevel Power Conversion System: A Competitive Solution for High Power Applications**, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 36, No. 3, pp. 834–841.
7. G. Carrara, S. Gardella, et al. (1992), **A New Multilevel PWM Method: A Theoretical Analysis**, IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 7, No. 3, pp. 497–505.
8. L. M. Tolbert, F. Z. Peng, et al.(1999). **Multilevel Converters for Large Electric Drives**, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 35, No. 1, pp. 36–44.
9. R. Kieferndorf, G. Venkataramanan, et al.(2000). **A Power Electronic Transformer (PET) Fed Nine-Level H-Bridge Inverter for Large Induction Motor Drives**, IEEE Industry Applications Society (IAS) Conference, Vol. 4, pp. 2489–2495.
10. J. Chiasson, L Tolbert, et al.(2002) **Eliminating Harmonics in a Multilevel Converter Using Resultant Theory**, IEEE Power Electronics Specialists Conference (PESC), pp. 503–508.

ارزیابی لرزه‌ای تاثیر بی‌نظمی افقی و عمودی سازه بر رفتار پیچشی سازه‌های مقاوم‌سازی شده با دیوار برشی و مهاربندی
علی بیگلری فدافن، فرهاد نیک فراز

بررسی نیروی لرزه‌ای وارد بر میانقاب‌ها با چیدمان متفاوت در پلان
سید علیرضا کازرونیان، علی احمدی‌زاده

بررسی و تعیین مهمترین شاخص‌ها در مکانیابی ایستگاه‌های شارژ خودروهای الکتریکی در شبکه‌های توزیع برق
سید محمد رضوانی، علی اصغر شجاعی، سیدمحمد رضا موسوی تقی‌آبادی

پیش‌بینی تأثیر توان توربین‌های بادی در بازار برق اکتای شفيعی فسقندیس

تکنولوژی MOSFET و طراحی منابع ولتاژ و جریان
محمد زمانی

پیش‌بینی وقوع مرگ تا ۳۰ روز بر اساس سن بیمار و حجم خون‌ریزی در عکس سی تی اسکن با استفاده از هوش مصنوعی
نسـتـرن کرانی، محمدمیر ستاری، غلامحسین روشنی، سعید ستایشی

طراحی و شبیه‌سازی اینورتر ۱۳ سطحی تکفاز سلول U
محسن یحیی آبادی، علی اصغر شجاعی، سامان طوسی، احسان دشتبانی

پژوهش‌های نهمین فصلنامه علمی

تهران، افسریه، ۱۵ متری چهارم، کوچه ۳۸، پلاک ۲۸، واحد ۲
کرج، بلوار باغستان، بین خیابان ۵ و ۶، روبروی مجموعه ورزشی انقلاب، پلاک ۷۳۵، ساختمان پرند، واحد ۱
۰۲۱ ۳۳۲۰ ۲۴ ۸۷
۰۲۶ ۳۴۳۴۷۶ ۷۸
۰۹۹۰ ۵۹۸۰ ۲۰۶
www.NRES.ir