

نشریه علمی-تخصصی

پژوهش‌های نوین مهندسی

فصلنامه علمی-تخصصی پژوهش‌های نوین علوم مهندسی
سال سوم، مهر ۱۳۹۷، شماره ۲۱

آنالیز یک مبدل پوست با کلیدزنی ZVS و بهره بالا
محمد زمانی

پیش بینی تقاضای خودرو از طریق رگرسیون چند
متغیره و ARIMA
خدیجه دیری، امیر عزیزی، معصومه زینال نژاد

رفتار دینامیکی سازه‌های جداسازی شده تحت اثر
زلزله نزدیک گسل
محمود میناوند، فرهاد نوروزیان

بررسی و معرفی دیوار JK و نقش آن در صنعتی سازی
ساختمان
سید مهدی زهرایی، بهنام قلی‌پور خلیلی

شبیه سازی عددی ویژگی های انتقال حرارت جریان
الکترواسموتیک درون یک میکروکانال دوبعدی تحت
تاثیر میدان های الکتریکی و مغناطیسی عرضی
بهنام مقیمی مفرد آبدیه گاه، محسن ثقفیان

پژوهش‌های نوین علوم مهندسی

فصلنامه علمی-تخصصی پژوهش‌های نوین علوم مهندسی،
سال سوم، شماره ۷ (پیاپی: ۲۱)، مهر ۱۳۹۷

صاحب امتیاز و مدیر مسئول:
امیرحسین یوسفی
سرمدبیر: میلاد فتاحی
مدیر داخلی: منیژه ملائی

اعضای شورای علمی نشریه:

جناب آقای دکتر محمدعلی ارجمند، دانشگاه تربیت دبیر شهیدرجایی
جناب آقای دکتر شهروز اسدی، دانشگاه شهید بهشتی
جناب آقای دکتر رضا افضل، دانشگاه خواجه نصرالدین طوسی
جناب آقای دکتر علی جباری، دانشگاه اراک
سرکارخانم دکتر ساغر جارچی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی
جناب آقای دکتر چنگیز دهقانیان، دانشگاه تهران
جناب آقای دکتر نعمت حسینی، دانشگاه شهید بهشتی
سرکارخانم دکتر راحله خادمیان، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی
جناب آقای دکتر علی رحمانی، دانشگاه تربیت دبیر شهیدرجایی
سرکارخانم دکتر فائزه رحمانی، دانشگاه خواجه نصرالدین طوسی
جناب آقای دکتر قدرت الله رودینی، دانشگاه سیستان و بلوچستان
جناب آقای دکتر محبعلی رهدار، دانشگاه سیستان و بلوچستان
جناب آقای دکتر مرتضی زیودار، دانشگاه سیستان و بلوچستان
جناب آقای دکتر محمدحسین کاظمی، دانشگاه شاهد
جناب آقای دکتر علی فروغی، دانشگاه تبریز
جناب آقای دکتر علی لکی روحانی، دانشگاه زنجان
جناب آقای دکتر سیدحمید هاشمی، دانشگاه اراک

۰۲۱ ۳۳ ۲۰ ۲۴ ۸۷



۰۲۶ ۳۲ ۷۲ ۴۷۸۷



۰۲۱ ۴۳ ۸۵ ۷۱ ۲۴

۰۲۶ ۳۲ ۷۴ ۷۱ ۵۸

تهران: افسریه ۱۵ متری چهارم، کوچه ۳۸، پلاک ۲۸، واحد ۲
کرج: چهارراه هفت‌تیر، خیابان لاله ۱، پلاک ۱۴، طبقه همکف

فراخوان پذیرش مقاله

توسعه پرشتاب و گسترده علوم به ویژه در حوزه فنی و مهندسی، انجام اقدامات علمی برای معرفی دستاوردهای علمی را بیش از پیش ضروری کرده است. توسعه پایدار ایران اسلامی، مستلزم ایجاد زیرساخت‌های علمی به ویژه در حوزه علوم مهندسی است. موسسه مدیریت دانش شباک با همکاری اساتید برجسته دانشگاهی با هدف معرفی پژوهش‌های علوم مهندسی و ایجاد فرصتی برای تبادل مطالعات و تجارب در این حوزه، نشریه پژوهش‌های نوین علوم مهندسی را منتشر می‌کند.

تحریریه به منظور انتشار گسترده پژوهش‌های روزآمد از اساتید، صاحب‌نظران، مهندسان، دانشجویان، کارشناسان، پژوهشگران و علاقه‌مندان علوم مهندسی، دعوت می‌کند تا با ارائه مقالات علمی ارزشمند خود، از طریق وبسایت نشریه به نشانی www.nres.ir ضمن مشارکت فعال به غنای این نشریه کمک نمایند. برای ارسال مقاله به نشریه کافی است تا در وبسایت نشریه ثبت‌نام نموده و با ورود به پنل کاربری، مقاله خود را ثبت کنید. پس از بررسی اولیه و داوری علمی از طرف تحریریه جهت انتشار مقاله با نویسنده مسئول تماس گرفته می‌شود.

موضوعات نشریه پژوهش نوین علوم مهندسی:

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

فهرست مقالات

صفحه	عنوان مقاله
۱	آنالیز یک مبدل بوست با کلیدزنی ZVS و بهره بالا محمد زمانی
۱۳	پیش بینی تقاضای خودرو از طریق رگرسیون چند متغیره و ARIMA خدیجه دیری، امیر عزیزی، معصومه زینال نژاد
۳۵	رفتار دینامیکی سازه‌های جداسازی شده تحت اثر زلزله نزدیک گسل محمود میناوند، فرهاد نوروزیان
۴۳	بررسی و معرفی دیوار JK و نقش آن در صنعتی سازی ساختمان سید مهدی زهرایی، بهنام قلیپور خلیلی
۵۱	شبیه سازی عددی ویژگی های انتقال حرارت جریان الکترواسموتیک درون یک میکروکانال دوبعدی تحت تاثیر میدان های الکتریکی و مغناطیسی عرضی بهنام مقیمی مفرد آبدۀ گاه، محسن ثقفیان

آنالیز یک مبدل بوست با کلیدزنی ZVS و بهره بالا

محمد زمانی^۱

کارشناس ارشد کنترل، zamani.mohammad851@gmail.com

چکیده

در این مقاله یک مبدل بوست با کلیدزنی ZVS و بهره ولتاژ بالا ارائه و آنالیز می شود. مدار اکتیو کلمپ اعمال شده به مبدل علاوه بر ایجاد شرایط ZVS برای هر دو سوئیچ اصلی و کمکی موجب کاهش فشار ولتاژ بر روی سوئیچ اصلی مبدل می شود. رزونانس خازن و سلف سوئیچ نیز موجب می شود سوئیچ تحت شرایط ZVS روشن شود. نتایج شبیه سازی نیز آورده شده است.

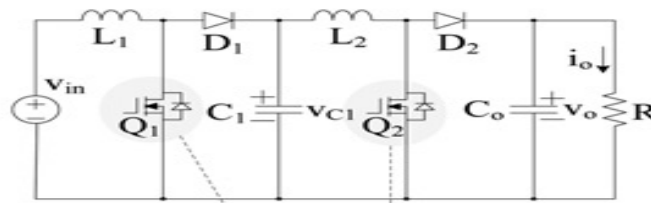
واژگان کلیدی: مبدل بوست، سوئیچ ZVS، اکتیو کلمپ

۱-مقدمه

مبدل های افزایش دهنده دارای تلفاتی نظیر اندوکتانس ورودی و کلیدزنی ادوات قدرت هستند. تکنیک هایی مثل کلیدزنی نرم می تواند برای کاهش این تلفات مفید واقع شود. از طرفی فرکانس در این مبدل ها باید بالا باشد. در این مقاله یک مبدل بوست ZVS آنالیز می شود. یک مدار اکتیو کلمپ برای ایجاد شرایط ZVS در هر دو سوئیچ اصلی و کمکی استفاده می شود. برای تحلیل مبدل عناصر ایده آل در نظر گرفته شده اند. نتایج شبیه سازی نیز آورده شده تا درستی روابط بدست آمده مشخص شود.

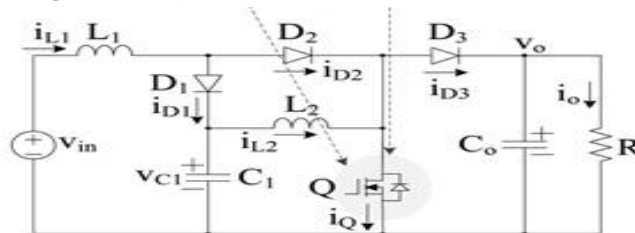
۲- مبدل ZVS شده

در شکل ۱ مبدل پیشنهادی آورده شده است. همانطور که مشاهده می شود ساختار مبدل بصورت cascade می باشد. بهره ولتاژ مبدل برابر $\frac{V_o}{V_I} = \frac{1}{(1-D)}$ می باشد. همانطور که مشخص است محدودیت این مبدل ترکیبات مداری زیاد و پیچیدگی کنترل و تنظیم ولتاژ خروجی است.



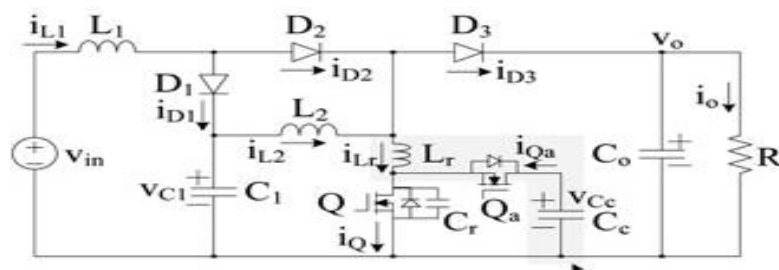
شکل ۱- مبدل بوست کاسکد

سوئیچ های Q1 و Q2 در شکل ۱ می توانند در یک سوئیچ ترکیب شوند. همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است. بنابراین می توان بعنوان مثال یک UC3842 همانند ICPWM برای تنظیم ولتاژ خروجی مبدل استفاده نمود.



شکل ۲- مبدل بوست کاسکد با یک سوئیچ

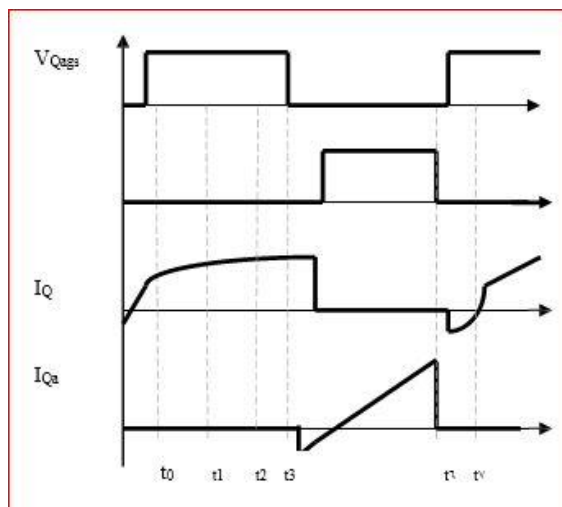
اما سوئیچ Q در شکل ۲ در شرایط کلیدزنی سخت کار می‌کند. شکل ۳ مبدل ZVS شده با بهره ولتاژ بالا را نشان می‌دهد. اجزا مدار L_1 ، D_1 ، D_2 ، C_1 می‌باشند. بهره Q در این حالت برابر $\frac{V_o}{V_{C_1}} = \frac{1}{(1-D)}$ می‌باشد. بنابراین نسبت تبدیل نهایی ولتاژ بین خروجی و ورودی $\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{1}{(1-D)^2}$ است. برای کاهش تلفات سوئیچینگ سوئیچ Q یک مدار اکتیو کلمپ شامل Q_a و C_c و سلف رزونانس L_r برای ایجاد شرایط رزونانس به مدار اضافه شده، بنابراین سوئیچ‌های خازن Q و Q_a تحت شرایط ZVS روشن می‌شوند. موقعی که سوئیچ Q خاموش است جریان مثبت سلف I_{Lr} از میان دیود سوئیچ Q_a و خازن کلمپ جاری می‌شود. بنابراین ولتاژ درین-سورس سوئیچ کمکی V_{Qa-ds} برابر صفر می‌شود. در این لحظه سوئیچ کمکی می‌تواند تحت شرایط ZVS روشن شود. موقعی که سوئیچ Q_a روشن است جریان سلف I_{Lr} از مقدار مثبت به مقدار منفی تغییر پیدا می‌کند. موقعی که سوئیچ کمکی Q_a خاموش است. جریان منفی I_{Lr} از میان خازن رزونانس عبور می‌کند. موقعی که $V_{Cr}=0$ شد دیود سوئیچ اصلی Q روشن می‌شود بنابراین سوئیچ اصلی Q تحت شرایط زی-وی-اس روشن می‌شود.



شکل 3- مبدل کاسکد ZVS

۳- عملکرد مبدل

برای آنالیز مبدل پیشنهادی عناصر مدار ایده آل در نظر گرفته می‌شوند. همچنین خازن‌های C_1 و C_c و C_o به اندازه کافی بزرگ در نظر گرفته می‌شوند. به همین ترتیب ولتاژهای V_{C_1} و V_{C_c} و V_o ثابت فرض می‌شوند. اندوکتانس‌های L_1 و L_2 نیز بزرگتر از اندوکتانس رزونانس L_r انتخاب می‌شوند. انرژی ذخیره شده در خازن C_r برای ایجاد شرایط ZVS برای هر دو سوئیچ اصلی و کمکی خواهد بود. شکل موج‌های اصلی مبدل در شکل ۴ آورده شده است.



شکل ۴- شکل موج‌های اصلی مبدل

مد ۱: $[t_0 < t < t_1]$

در این مد سوئیچ اصلی Q روشن است و سوئیچ کمکی Qa خاموش است. و دیودهای D1 و D3 خاموش و دیود D2 روشن است. و $V_{in} = V_{L1} + V_{Lr}$ و $V_{c1} = V_{L2} + V_{Lr}$ تا زمانی که $Lr \ll L_1, L_2$. جریان سلف I_{L1} و I_{L2} در این لحظه از روابط ۱ بدست می آیند.

$$i_{L1(t)} = i_{L1(t_0)} + \frac{V_{in}}{L_1}(t - t_0) \quad (۱)$$

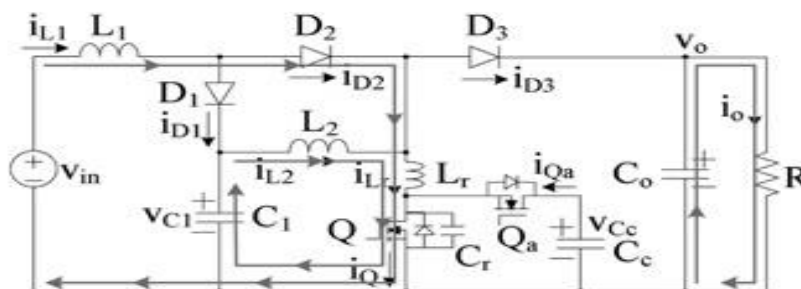
$$i_{L2(t)} = i_{L2(t_0)} + \frac{V_{in}}{L_2}(t - t_0)$$

و جریان سوئیچ اصلی $i_Q = i_{L1} + i_{L2}$ و سوئیچ کمکی $i_{Qa} = 0$ است. خازن Co نیز در خروجی دشارژ می شود. در زمان t_1 هنگامی که سوئیچ اصلی Q خاموش شود این مد پایان می یابد. و بنابراین جریان های I_{L1} و I_{L2} در لحظه از روابط ۲ بدست می آیند.

$$i_{L1(t)} = i_{L1(t_0)} + \frac{V_{in}}{L_1}DT$$

$$i_{L2(t)} = i_{L2(t_0)} + \frac{V_{c1}}{L_2}DT \quad (۲)$$

که در آن D ضریب وظیفه سوئیچ اصلی Q و T پریود سوئیچینگ است.



شکل ۵- مد ۱

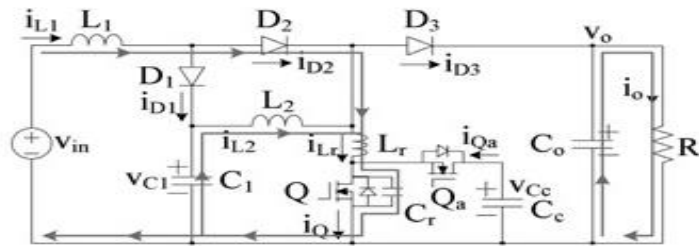
مد ۲: $[t_1 < t < t_2]$

در این مد در زمان t_1 سوئیچ Q خاموش می شود و جریان I_{Lr} خازن Cr را از مقدار صفر تا $V_{C1} - V_{Lr} = V_{Cr}$ شارژ می کند. از آنجایی که L_1 و L_2 خیلی بزرگتر از Lr هستند. فرکانس رزونانس بوسیله L_1 و L_2 و Lr و Cr کوچکتر از فرکانس سوئیچینگ است. بنابراین جریان های I_{L1} و I_{L2} در این مد ثابت فرض می شوند. در نتیجه ولتاژ خازن V_{Cr} از رابطه ۳ بدست می آید.

$$V_{Cr}(t) = \frac{[i_{L1(t_0)} + i_{L2(t)}(t - t_1)]}{Cr} \cong \frac{i_{Lr(t)}(t - t_1)}{Cr} \quad (۳)$$

در این مد $V_{Cr} < V_{C1}, V_{CC}$ بنابراین دیودهای D1 و D3 بصورت بایاس معکوس هستند. و دیود سوئیچ کمکی Qa خاموش است. در زمان t_2 هنگامی که ولتاژ $V_{Cr} = V_{C1}$ شود. این مد پایان می یابد. از آنجایی که در زمان t_2 ، $V_{Cr} = V_{C1}$ و دیود D2 در این حالت روشن است. ولتاژ روی دیود D1 و خازن C_1 برابر V_{C1} است. بنابراین دیود D1 در زمان t_2 روشن خواهد شد. بنابراین:

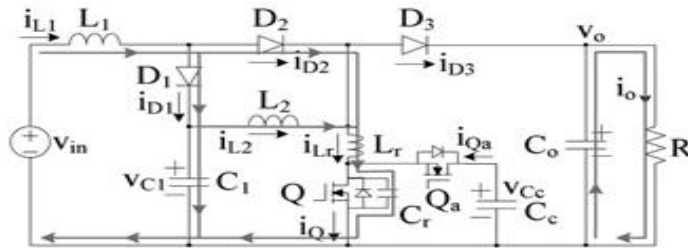
$$\Delta_{t1,2} = t_2 - t_1 \cong \frac{CrVc_1}{iLr(t)} \quad (4)$$



شکل ۶- مد ۲

مد ۳ $[t_2 < t < t_3]$:

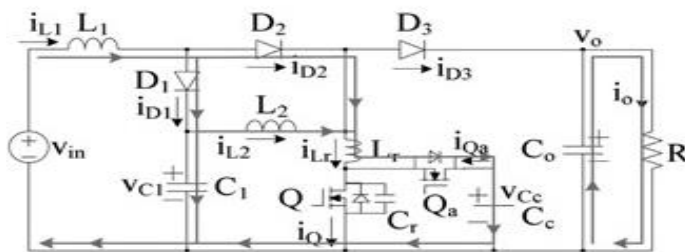
این مد در زمان t_2 موقعی که دیودهای D_1 و D_2 هر دو روشن هستند شروع می شود. جریان دیود D_1 از مقدار صفر آمپر شروع به افزایش نموده و جریان دیود D_2 شروع به پایین آمدن می کند. در زمان t_3 موقعی که ولتاژ V_{cr} مساوی V_{cc} شده و دیود سوئیچ Q_a روشن شود پایان می یابد.



شکل ۷- مد ۳

مد ۴ $[t_3 < t < t_4]$:

این مد در زمان t_3 شروع می شود. موقعی که $V_{cc} = V_{cr}$ شود. در این حالت دیود سوئیچ کمکی Q_a بایاس شده و جریان سلف i_{Lr} از میان دیود Q_a به سمت زمین جاری می شود. و جریان سوئیچ اصلی I_Q برابر صفر می شود. بنابراین ولتاژ درین-سورس Q_a به مقدار ولتاژ صفر می رسد. در این حالت سوئیچ Q_a تحت شرایط ZVS روشن می شود. تا موقعی که D_1 و D_2 هنوز روشن می باشند. ولتاژ سلف V_{L2} برابر صفر بوده و ولتاژ سلف $V_{Lr} = V_{C1} - V_{cc} < 0$ است. بنابراین جریان سلف i_{Lr} کاهش می یابد. این مد در زمان t_4 موقعی که $i_{D2} = 0$ و دیود D_3 روشن شود. پایان می یابد.



شکل ۸- مد ۴

مد ۵ $[t_4 < t < t_5]$:

این مد در زمان t_4 موقعی که جریان $i_{D2} = 0$ و D_3 روشن است. شروع می شود. جریان سلف I_{L1} و I_{L2} طبق رابطه ۵ شروع به پایین آمدن می کنند.

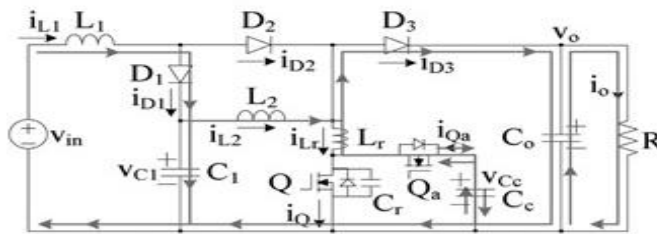
$$I_{L1}(t) = I_{L1}(t_4) + \frac{V_{in} - V_{C1}}{L1}(t - t_4) \quad (5)$$

$$I_{L2}(t) = I_{L2}(t_4) + \frac{V_{C1} - V_o}{L2}(t - t_4)$$

از آنجایی که خازن کلمپ به اندازه کافی همانند یک منبع ولتاژ بزرگ در نظر گرفته شده است. جریان i_{Lr} می تواند بصورت رابطه 6 بدست آید.

$$I_{Lr}(t) = I_{Lr}(t_4) - \frac{V_{CC} - V_o}{Lr}(t - t_4) \quad (6)$$

در این مد جریان سلف رزنانس i_{Lr} از یک مقدار مثبت به یک مقدار منفی کاهش پیدا می کند. بنابراین جریان سلف i_{Lr} برابر یک مقدار منفی است. و سوئیچ کمکی Q_a در شرایط ZVS روشن می شود. این مد در زمان t_5 موقعی که سوئیچ کمکی Q_a خاموش است. پایان می یابد.



شکل ۹- ۵

مد 6 $[t_5 < t < t_6]$:

در این مد در زمان t_5 موقعی که سوئیچ کمکی Q_a خاموش می شود شروع شده و در زمان t_6 موقعی که ولتاژ خازن رزنانس $V_{Cr}=0$ شود پایان می یابد. در این مد دیود D_3 در حال هدایت است. وقتی جریان سلف i_{Lr} منفی است خازن C_r بوسیله i_{Lr} دشارژ می شود. ولتاژ خازن رزنانس (V_{Cr}) نیز از مقدار V_{CC} به صفر کاهش می یابد. در این مد تانک رزنانس از سلف L_r و خازن C_r تشکیل می شود. ولتاژ V_{Cr} و جریان i_{Lr} از روابط ۷ بدست می آیند.

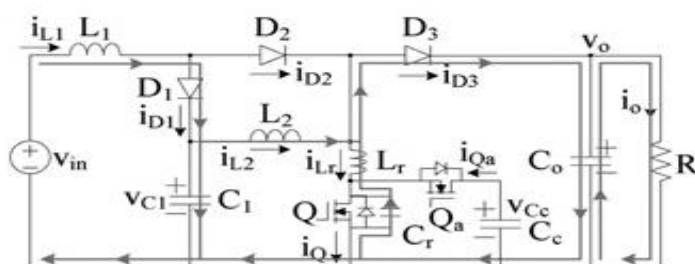
$$V_{Cr}(t) = (V_{CC} - V_o) \cos \frac{t - t_5}{\sqrt{L_r C_r}} + i_{Lr}(t_5) \sqrt{\frac{L_r}{C_r}} \sin \frac{t - t_5}{\sqrt{L_r C_r}} + V_o \quad (7)$$

$$I_{Lr}(t) = I_{Lr}(t_5) \cos \frac{t - t_5}{\sqrt{L_r C_r}} + \frac{V_o - V_{CC}}{\sqrt{L_r C_r}} \sin \frac{t - t_5}{\sqrt{L_r C_r}}$$

در این مد جریان های I_{L2} و I_{L1} کاهش پیدا می کنند. برای رسیدن به شرایط ZVS در سوئیچ اصلی ولتاژ خازن V_{Cr} در پایان این مد باید به صفر برسد. برای رسیدن به هدایت، انرژی ذخیره شده در سلف رزنانس L_r باید از انرژی ذخیره شده در خازن رزنانس بزرگتر باشد. بنابراین:

$$L_r \geq \frac{C_r V_{CC}^2}{[i_{Lr}(t_5)]^2} \quad (8)$$

این مد در زمان t_6 موقعی که ولتاژ خازن رزنانس $V_{Cr}=0$ شود دیود سوئیچ اصلی Q روشن شود پایان می یابد.



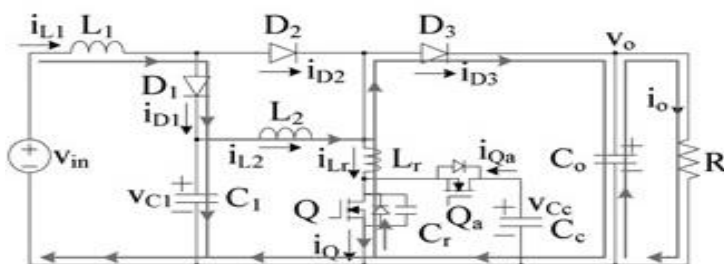
شکل ۱۰- مد ۶

مد ۷ $[t_6 < t < t_7]$:

این مد در زمان t_6 موقعی که ولتاژ خازن رزنانس $V_{Cr}=0$ و دیود سوئیچ اصلی Q روشن شود شروع می شود. در این مد دیودهای D_1 و D_3 هنوز روشن می باشند. جریان های I_{L1} و I_{L2} کاهش می یابند. جریان سلف رزنانس i_{Lr} از یک مقدار منفی به یک مقدار مثبت افزایش می یابد. بنابراین:

$$I_{Lr}(t) = I_{Lr(t_6)} + \frac{V_o}{Lr}(t - t_6) \quad (9)$$

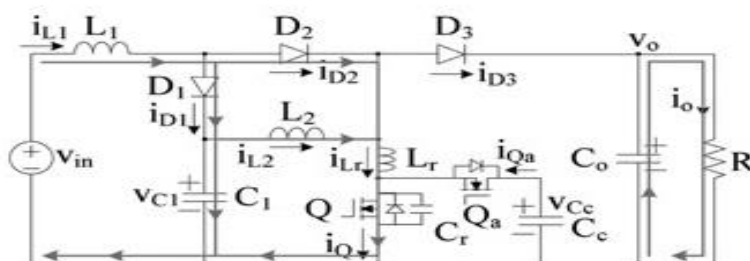
بنابراین جریان سوئیچ اصلی (i_Q) مثبت بوده و سوئیچ اصلی (Q) می تواند تحت شرایط ZVS روشن شود. جریان دیود خروجی (i_{D3}) پایین آمده و در زمان t_r موقعی که دیود D_3 خاموش و دیود D_2 روشن شود این مد پایان می پذیرد.



شکل ۱۱- مد ۷

مد ۸ $[t_7 < t < t_8]$:

این مد در زمان t_7 موقعی که دیود D_3 خاموش و دیودهای D_1 و D_2 در فاصله کموتاسیون هستند شروع می شود. ولتاژ سلف V_{L2} برابر صفر است. ولتاژ سلف رزنانس $V_{Lr}=V_{C1}$ بوده و بنابراین جریان i_{Lr} افزایش می یابد. جریان دیود i_{D1} پایین آمده و جریان دیود i_{D2} افزایش می یابد. این مد در زمان t_8 موقعی که جریان دیود i_{D1} برابر صفر شود پایان می یابد.



شکل ۱۲- مد ۸

با توجه به شکل موج های اصلی مدار نشان داده شده در شکل 4 برای آنالیز مدار از زمان تاخیر در مدهای 2 و 3 و 6 و 7 در طول فاصله انتقال مابین دو سوئیچ Q و Qa چشم پوشی می شود. در مدهای 4 و 8 دیودهای D1 و D2 در فاصله کموتاسیون بوده و ولتاژ سلف در مد 1 برابر $V_{L1}=V_{in}$ می باشد. در مدهای 4 و 5 و 8 برابر $V_{L1}=V_{in}-V_{C1}$ است. بر پایه رابطه بالانس ولت ثانیه برای اندوکتانس L_1 می توان به معادله 10 رسید:

$$V_{in}(D - D_{L8}) + (V_{in} - V_{C1})(1 - D + D_{L8}) = 0 \quad (10)$$

که در آن D برابر ضریب وظیفه سوئیچ اصلی و $D_{L8} = \frac{(t_0 - t_7)}{T}$ تلفات ضریب وظیفه مبدل در مد 8 می باشد. بر پایه معادله 10 ولتاژ خازن V_{C1} بصورت 11 بدست می آید.

$$V_{C1} = \frac{V_{in}}{(1 - D + D_{L8})} \quad (11)$$

در مد 1 $V_{L2}=V_{C1}$ و در مد 5 $V_{L2}=V_{C1}-V_o$ است. با نوشتن رابطه بالانس ولت ثانیه برای اندوکتانس L_2 و در خروجی به رابطه 12 می رسمیم.

$$V_{C1}(D - D_{L8}) + (V_{C1} - V_o)(1 - D - D_{L4}) = 0 \quad (12)$$

که در آن $D_{L4} = \frac{(t_4 - t_3)}{T}$ تلفات ضریب وظیفه مبدل در مد 4 است. برپایه رابطه 12 می توان رابطه 13 را برای ولتاژ خروجی بدست آورد.

$$V_o = \frac{V_{C1}(1 - D_{L4} - D_{L8})}{(1 - D - D_{L4})} \cong \frac{V_{in}(1 - D_{L4} - D_{L8})}{[(1 - D - D_{L8}) \times (1 - D - D_{L4})]} \quad (13)$$

اگر $D_{L4}=D_{L8} \ll D$ ، می توان ثابت کرد $V_o = V_{in}/(1-D)^2$ و $V_{C1}=V_{in}/(1-D)$. بنابراین نسبت بهره ولتاژ در خروجی مبدل بصورت 14 بدست می آید.

$$M = \frac{V_o}{V_{in}} \cong \frac{1}{(1 - D)^2} \quad (14)$$

ولتاژ روی سلف های L_1 و L_2 برابر است با $V_{L1} + V_{Lr} = V_{C1}$ در مد 1 و 8 و $V_{L1} + V_{Lr} = V_{C1} - V_{CC}$ در مد 4 و 5 بر پایه ولتاژ ثانویه بالانس روی سلف های L_1 و L_2 که می تواند بصورت معادله 15 در آید.

$$V_{C1}D + (V_{C1} - V_{CC})(1 - D) = 0 \quad (15)$$

ولتاژ خازن کلمپ می تواند از رابطه 16 محاسبه شود.

$$V_{CC} = \frac{V_{C1}}{(1 - D)} \cong \frac{V_{in}}{[(1 - D)(1 - D + D_{L8})]} \cong \frac{V_{in}}{(1 - D)^2} \quad (16)$$

۴-ملاحظات در طراحی

ماکزیمم جریان اندوکتانس L_1 بصورت رابطه 17 در نظر گرفته می شود.

$$i_{Lav} = \frac{Po \max}{\mu_{Vin \min}} \quad (17)$$

که در آن μ راندمان و از آنجایی که $DL4=DL8 < D$ برای سادگی در طراحی ما از تلفات ضریب وظیفه (duty cycle) در مد 4 و 8 چشم پوشی می کنیم. ماکزیمم ضریب وظیفه سوئیچ اصلی در ولتاژ مینیمم از رابطه 18 بدست می آید.

$$D_{\max} = 1 - \sqrt{\frac{Vin_{\min}}{V_o}} \quad (18)$$

ماکزیمم جریان اندوکتانس ورودی از رابطه 19 بدست می آید.

$$I_{L \max} = I_{L1(t_2)} \cong \frac{Po \max}{\mu_{Vin \min}} + \frac{Vin \min}{2L1} D_{\max} T \quad (19)$$

با توجه به ریپل جریان Δi_{L1} و Δi_{L2} اندوکتانس های L_1 و L_2 از رابطه 20 محاسبه می شوند.

$$L_1 \geq \frac{DTV_{in}}{\Delta i_{L1}} \quad L_2 \geq \frac{DTV_{in}}{\Delta i_{L2}(1-D)} \quad (20)$$

استرس ولتاژ روی سوئیچ های Q و Qa از رابطه 21 محاسبه می شود.

$$V_{Qstress} \cong V_{Qastress} \cong \frac{Vin}{(1-D)(1-D+D_{L8})} \cong \frac{Vin}{(1-D)^2} \quad (21)$$

اگر فرض شود $\mu \cong 1$ ماکزیمم استرس جریان سوئیچ های Q و Qa برابر است با:

$$i_{Q \max} \cong i_{L1 \max} + i_{L2 \max} \cong \left[\frac{i_{o \max}}{(1-D)^2} + \frac{Vin}{2L1} DT \right] + \left[\frac{i_{o \max}}{(1-D)} + \frac{Vin}{2(1-D)L_2} DT \right]$$

$$i_{Qa \max} \cong i_{L2 \max} \cong \frac{i_{o \max}}{(1-D)} + \frac{Vin}{2(1-D)L_2} DT \quad (22)$$

متوسط جریان هر دیود نیز بصورت روابط 23 محاسبه می شوند.

$$i_{D1av} \cong \frac{i_{o \max}}{(1-D)} \quad i_{D2av} \cong \frac{Di_{o \max}}{(1-D)^2} \quad i_{D3av} \cong i_{o \max} \quad (23)$$

در نتیجه:

$$(24)$$

$$V_{D1stress} \cong V_{c1} \cong \frac{Vin}{1-D} \quad V_{D2stress} \cong V_o - V_{c1} \cong \frac{D Vin}{(1-D)^2} \quad V_{D3stress} \cong V_o \cong \frac{Vin}{(1-D)^2}$$

در مد ۶ انرژی ذخیره شده در اندوکتانس L_r باید بزرگتر از انرژی ذخیره شده در خازن رزنانس C_r باشد تا شرایط ZVS برای سوئیچ اصلی مبدل Q برقرار شود یا عبارتی داشته باشیم:

$$L_r \geq \frac{C_r V_{cc}^2}{[i_{L_r}(t_5)]^2} \quad (25)$$

زمان تاخیر t_d بترتیب در t_2-t_3 و t_5-t_7 برابر $\pi \sqrt{\frac{L_r C_r}{2}}$ است. اگر ظرفیت C_r در دسترس باشد اندوکتانس L_r در حدود $t_d \leq 2/(3.14^2 C_r)$ است. در طراحی خازن کلمپ نصف پریود رزنانس در مد ۵ بزرگتر است از زمان خاموش شدن سوئیچ اصلی. Q بنابراین خازن کلمپ C_c می تواند از رابطه 26 محاسبه شود.

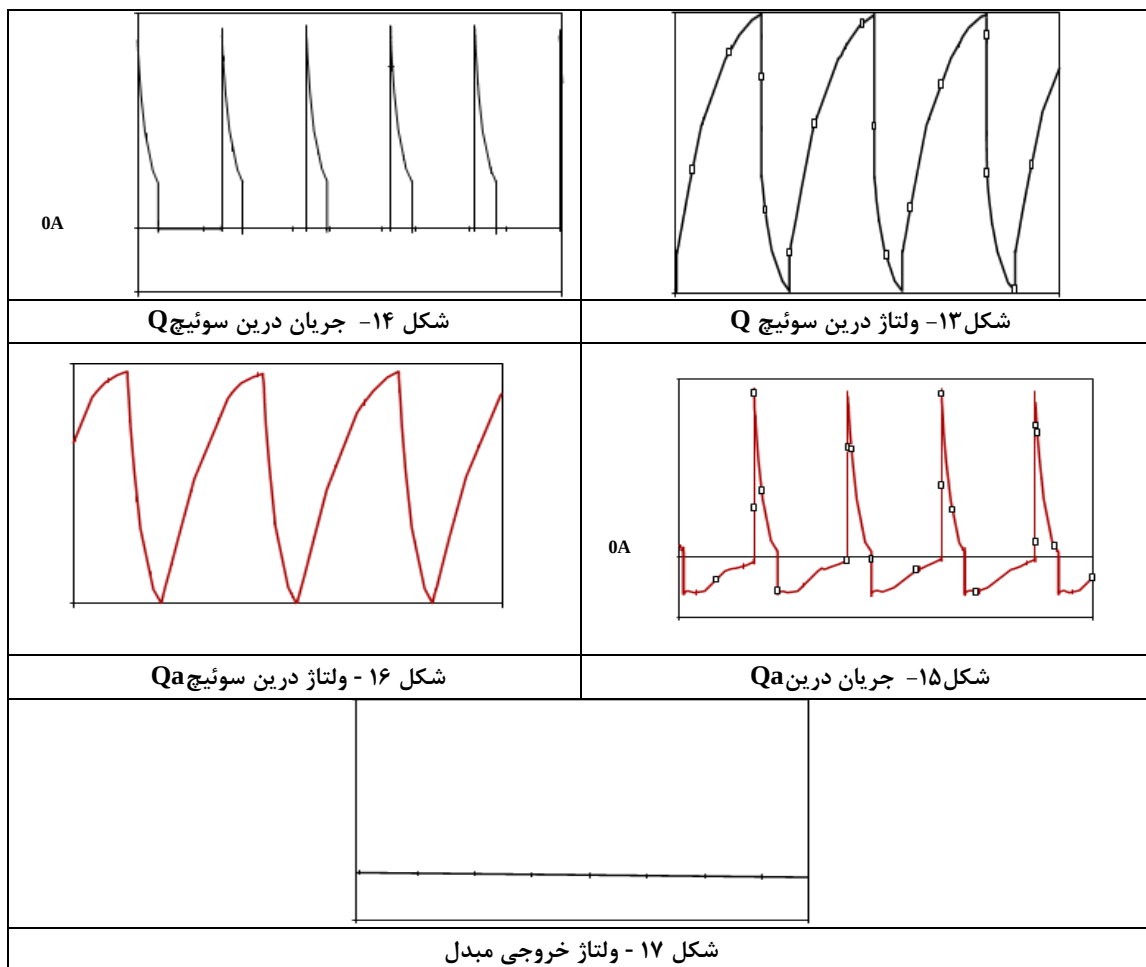
$$C_c \geq \frac{(1-D)^2 T^2}{L_r \pi^2} \quad (26)$$

۵- نتایج شبیه سازی

در این قسمت نتایج شبیه سازی نشان داده شده است. پارامترهای اصلی مبدل پیشنهادی در جدول یک آورده شده است. در شکل ۱۳-۱۴ ولتاژ درین و جریان درین سوئیچ اصلی مبدل آورده شده است. موقعی که سوئیچ روشن است جریان سوئیچ در این حالت منفی است. و ولتاژ درین به مقدار صفر کاهش می یابد. بنابراین سوئیچ Q تحت شرایط ZVS روشن می شود. در شکل 15-16 جریان درین و ولتاژ درین سوئیچ کمکی Q_a آورده شده است. سوئیچ کمکی نیز تحت شرایط ZVS روشن می شود. در شکل ۱۷ شکل موج ولتاژ خروجی مبدل نشان داده شده است.

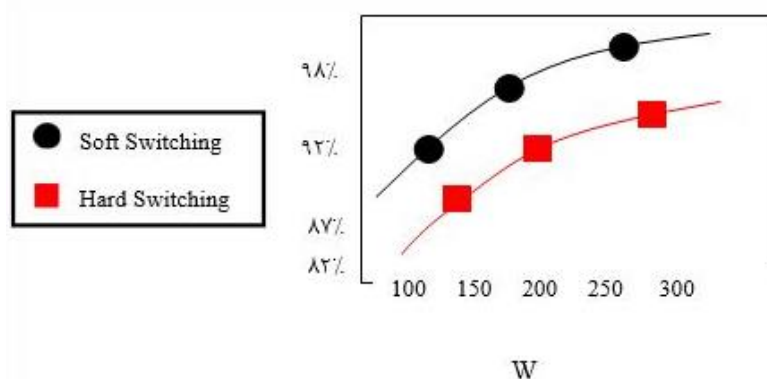
جدول ۱- مشخصات مبدل طراحی شده

Component	Part/Name/Value
Input Voltage	36
Out put Voltage	200V
F	110 KHZ



۶-منحنی راندمان مبدل

منحنی راندمان مبدل در شکل ۱۸ برای مقادیر متفاوت بار در دو حالت بدون کلیدزنی نرم و با کلیدزنی نرم نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می گردد مبدل با کلیدزنی نرم نسبت به حالت قبلی دارای راندمان بالاتری می باشد.



شکل ۱۸- منحنی راندمان مبدل

۷- نتیجه گیری

در این مقاله یک مبدل بوست ZVS با بهره ولتاژ بالا ارائه شده است. استفاده از مدار اکتیو کلمپ در توپولوژی ارائه شده موجب ایجاد شرایط ZVS برای هر دو سوئیچ اصلی و کمکی مبدل می شود. همچنین فشار ولتاژ روی سوئیچ اصلی مبدل کاهش یافته و موجب کاهش تلفات می شود. پس مبدل پیشنهادی نسبت به مبدل مرسوم دارای راندمان بالاتری است.

مراجع

1. Barbosa P. M. and Barbi I. "A single-switch fly back- current-fed DC-DC converter" *IEEE Transactions on Power Electronics*, Vol. 13, No. 3, pp.466-475, May 1998.
2. Mantovanelli, P.; Barbi, I.; "A new current-fed, isolated PWM DC-DC converter", *IEEE Transactions on Power Electronics*, Vol 11, No. 3, pp.431 – 438, May 1996.
3. Filho D. A., Barbi, I.; "A comparison between two current- fed push-pull DC-DC converters-analysis, design and experimentation" *18th International Telecommunications Energy Conference, INTELEC '96*. pp.313 – 320, 1996.
4. Huai Wang; Qian Sun; Chung, H.S.H.; Tapuchi, S.; Ioinovici, A.; "A ZCS full-Bridge PWM converter with self-adaptable soft-switching snubber energy" *IEEE Transactions on Power Electronics*, Vol 24, No.5, pp.1977– 1991, Aug. 2009.,
5. Leung A. S. W., Chung H. S. H. and Chan T. , "A ZCS isolated full-bridge boost converter with multiple inputs" in *Proc IEEE PESC2007*, pp.2542-2548, 2007.

پیش بینی تقاضای خودرو از طریق رگرسیون چند متغیره و ARIMA

خدیجه دیری^۱، امیر عزیزی^۲، معصومه زینال نژاد^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی صنایع گرایش سیستم و بهره وری

۲- عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات

۳- عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران غرب

چکیده

مقدار تقاضا، در بسیاری از روش های مهندسی صنایع و مدیریت صنعتی، نقطه شروع برنامه ریزی می باشد. لذا تمامی برنامه ریزی های بعدی برای بنگاه اقتصادی، وابسته به مقدار تقاضای پیش بینی شده است. بنابراین، استفاده از روش های دقیقی که بتواند روند تغییرات پیچیده و غیرخطی محصولات مختلف را پیش بینی کند؛ اهمیت زیادی دارد. در این تحقیق، به شبکه عصبی به پیش بینی پرداخته شده است. در این راستا با استفاده از نقشه های خود سازمان ده شبکه عصبی، انواع خودرو از دو شاخص قیمت و کیفیت، به دو خوشه معمولی و غالب تقسیم شده اند. سپس، برای هریک از خوشه ها، یک مدل مجزا با استفاده از شبکه های عصبی، آموزش دیده و کارایی آن مورد بررسی قرار گرفته است. ورودی های این شبکه، شامل اندیکاتورهای کلان اقتصادی برای در نظر گرفتن شرایط کلی مالی و اقتصادی مردم و مقادیر قبلی تقاضا، برای در نظر گرفتن الگوی تغییرات غیرخطی تقاضا می باشد. نتایج به دست آمده از شبکه عصبی، با دو روش رگرسیون چندمتغیره و سری زمانی در دو معیار MSE سری زمانی (۹۶۷۴) بوده است. همچنین، مقدار MAD مربوط به رگرسیون چندمتغیره ۳۷۵۴ که از مقدار سری زمانی ۳۸۷۵ کمتر بوده است. بنابراین، کارایی رگرسیون چندمتغیره از، سری زمانی ARIMA بالاتر بوده و قابلیت رگرسیون چندمتغیره در پیش بینی مقدار تقاضا، اثبات شده است.

واژگان کلیدی: رگرسیون چندمتغیره، سری زمانی، نقشه های خود سازمان ده شبکه عصبی، تقاضا

۱-مقدمه

با رقابتی شدن فضای تجارت در زمینه های مختلف صنعتی و خدماتی، دو هدف افزایش درآمد و کاهش هزینه، همواره دغدغه مدیریت سازمان های مختلف بوده است. به این ترتیب، مطالعه بازار و پیش بینی واکنش های آن در آینده، تعیین کننده اصلی سیاست های بلندمدت و میان مدت شرکت های مختلف، می باشد. بازار خودرو در ایران، علی رغم وجود نوعی از انحصار، در حال بازتر و رقابتی تر شدن است و با این شرایط، انجام مطالعات شناخت بازار و تقاضا، اهمیت بالایی پیدا می کند. پیش بینی تقاضا در آینده، علاوه بر اینکه باعث می شود تا شرکت سیاست های تولیدی و توزیعی خود را در جهت کاهش هزینه مدیریت کند؛ باعث می شود که شرکت های تولید خودرو، بازار خودرو را بهتر شناخته و با تحلیل مؤلفه های مختلف تأثیرگذار بر آن، می توانند به افزایش سهم بازار و افزایش درآمد خود کمک کنند. در همین راستا، پژوهش حاضر با هدف مطالعه رفتارهای تقاضا و پیش بینی آن در صنعت خودروسازی و به صورت خاص شرکت سایپا پرداخته است. فصل حاضر، به بیان کلیات تحقیق اختصاص داده شده است که در آن، مسئله تحقیق بیان شده و مفاهیم اصلی به کار رفته در آن شرح داده می شود. در ادامه، ضرورت های انجام تحقیق با روش پیشنهادی در قالب سه ضرورت، تدوین گردیده است. سپس، ساختار کلیات تحقیق شرح داده می شود که شامل مراحل انجام پژوهش، مدل مفهومی، اهداف، سؤالات و فرضیات تحقیق می گردد. از زمان انقلاب صنعتی و به خصوص پس از جنگ جهانی دوم، رویکردهای مدیریتی و بهینه سازی تولید قوت گرفت و علوم جدیدی همچون برنامه ریزی تولید، کنترل موجودی، طرح ریزی واحدهای صنعتی، زنجیره تأمین و ... شکل گرفت. هریک از این علوم،

در سطح مشخصی از فرآیند تولید نقش داشته و باعث بالا رفتن بهره‌وری آن می‌شوند. به طور کلی، مسئله زنجیره تأمین، تعیین‌کننده متغیرهای کلان تولیدی می‌باشد و توسط مدل‌های زیرمجموعه این علم، مقدار تولید بهینه برای هر بنگاه اقتصادی در یک دوره تعیین می‌شود. با تعیین مقدار تولید، مدل‌های برنامه‌ریزی تولید به بهینه‌سازی هزینه‌های تولیدی و کیفیت تولید با توجه به هدف‌گذاری انجام شده با زنجیره تأمین می‌پردازند و در این راستا، از روش‌های کنترل موجودی به منظور تعیین میزان تولید در هر واحد زمانی و کنترل سطح موجودی مواد اولیه، کالای نیم‌ساخته و ساخته شده استفاده می‌شود. یکی از مهمترین مسائل در بهینه‌سازی سیاست‌های موجودی یک بنگاه تولیدی، پیش‌بینی تقاضا می‌باشد

۲- پیشینه پژوهش

پیش‌بینی بازار خودرو به صورت خاص، در تحقیقات داخلی انجام شده جایگاه خاصی نداشته است. پور علی‌خانی و همکاران (۱۳۹۱)، به تحلیل تقاضای خودروهای سواری با توجه به شاخص‌های تأثیرگذار مصرف‌کننده از طریق مطالعه تقاضای بازار ایران، پرداخته‌اند. محققان در این پژوهش از روش‌های اقتصادسنجی برای انتخاب شاخص‌های مؤثر استفاده کرده و تشخیص داده‌اند که قیمت، میانگین سنی، حجم لیزینگ، سرانه درآمد، شاخص بهای مصرف‌کننده، قیمت ارز، تورم، شاخص بهای تولیدکننده و سرانه مصرف‌کننده در تغییرات تقاضا نقش مؤثری دارند. [۲]

تاجیک و دیگران (۱۳۹۱) در تحقیقی به پیش‌بینی تقاضای محصولات گروه خودروسازی سایپا براساس رویکرد اختیار واقعی و مقایسه با روش‌های سری زمانی پرداختند. آنها عنوان می‌کنند که صنعت خودرو ارائه‌دهنده یکی از بزرگترین کالاهای بادوام برای هر فرد در زندگی‌اش است به گونه‌ای که اگرچه به عصر ارتباطات وارد شده ایم انسان‌ها همواره و همه‌روژه با مسئله مهم جابجایی روبرو می‌باشند و نه تنها از اهمیت آن کاسته نشده است بلکه روز به روز بر اهمیت و نقش آن در جامعه امروزی افزوده می‌شود. در نتیجه پیش‌بینی تقاضای خودرو مسئله‌ای بسیار مهم و حائز اهمیت می‌باشد. پیش‌بینی دقیق لازم است تا زیان‌های ناشی از هزینه‌های سرمایه‌گذاری در اثر پیش‌بینی نادرست تقاضا حداقل شود. بنابراین این سوال مطرح می‌شود که بهترین مدل برای پیش‌بینی تقاضا کدام است؟ درجایی که تقاضا با نوسان همراه است، روش‌های سنتی برای پیش‌بینی تقاضا انحراف زیادی دارند. بنابراین در این تحقیق از روش اختیار واقعی برای پیش‌بینی تقاضا و برای حل مدل پیش‌بینی تقاضا از شبیه‌سازی مونت کارلو استفاده می‌شود. روش اختیار واقعی، اختیارات را براساس نوسانات آن‌ها و توزیع احتمال جز اختلال مدل، مدلسازی می‌کند. این روش با ملاحظه ریسک‌ها و ناطمینانی‌هایی که در روند آتی تقاضا وجود دارد نسبت به باقی روش‌ها برتری دارد. [۴]

حسکوئی و تاجیک (۱۳۹۱) در پژوهشی با نام پیش‌بینی تقاضای خودرو با استفاده از رویکرد اختیار واقعی، ضمن تأکید بر ضرورت‌های پیش‌بینی تقاضا و عدم کارایی روش‌های اقتصادسنجی، از اختیار واقعی برای پیش‌بینی تقاضا در این صنعت استفاده کرده‌اند. محققان، با استفاده از روش اختیار واقعی و شبیه‌سازی مونت کارلو، اختیارات را بر اساس نوسانات آنها و توزیع احتمال جزء اخلاص مدل، مدلسازی کرده و نتیجه گرفته‌اند که کارایی روش پیشنهادی نسبت به روش‌های اقتصادسنجی با توجه به معیارهای RMSE، MSE و MAE بالاتر ارزیابی شده است.

در این قسمت، به مرور پژوهش‌های صورت گرفته خارجی در ارتباط با موضوع تحقیق پرداخته می‌شود. در ابتدا، پژوهش‌های مرتبط با کاربرد شبکه عصبی در پیش‌بینی، سپس کاربرد داده کاوی در پیش‌بینی و در نهایت پیش‌بینی تقاضا مورد بررسی قرار می‌گیرند. [۴]

تیاکارتن و همکاران^۱ (۲۰۰۹) modified NN را مطالعه و پیش‌بینی کرده است که استراتژی خرید، نگهداری و فروش به صورت بهینه چگونه باشد تا شاخص بازار سهام بیشترین سود را عاید سرمایه‌گذار کند. نتایج به دست آمده نشان‌دهنده کارایی مثبت شبکه نسبت به تحلیل تکنیکال دارد اما این کارایی معنادار نبوده است. [۲۰]

عزیزی و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی یک مدل ترکیبی ARIMA و MPR برای مدلسازی عدم قطعیت در خط تولید پرداخته و برای این مهم از رگرسیون چندگانه کوادراتیک (MQR) و در نظر گرفتن عدم قطعیت تقاضا در آن با استفاده از

^۱ Tilakaratne

ARIMA استفاده کرده اند. محققان، ضمن بیان این مطلب که کارایی مدل ترکیبی MQR و ARIMA از روش های کوادراتیک و کوبیک برای در نظر گرفتن عدم تقاضا، بالاتر است، بپردازند. [۱۳]

خسروی نژاد (۱۳۹۰) در تحقیقی با استفاده از روش لاجیت به برآورد و پیش بینی تابع احتمال خرید اتومبیل نو پرداخت ایشان در تحقیق خود عنوان می کنند که مدل های مالکیت اتومبیل، از دیرباز مورد توجه اقتصاددانان و برنامه ریزان در حوزه حمل و نقل بوده است. هدف مقاله حاضر تحلیل رفتار خریداران اتومبیل نو بر اساس رویکرد داده های خانوار است، لذا تابع احتمال خرید اتومبیل تصریح شده و با استفاده از روش لاجیت برای سال ۱۳۸۷ در مورد داده های خام بودجه خانوار برآورد شده است. سپس مدل شبیه سازی برون نمونه ای شده و میزان تقاضای کل بازار اتومبیل نو برای دوره ۱۳۹۰-۱۳۸۸ پیش بینی شده است. نتایج نشان می دهد که درآمد حقیقی خانوار، نسبت شاغلان، نسبت دانش آموزان، سن سرپرست خانوار، تعداد افراد بالای ۲۰ سال در خانوار و متغیر مجازی شهر-روستا دارای اثرات معنی داری بر الگوی انتخاب خرید خودروی نو توسط خانوار است. در میان متغیرهای توضیحی بیشترین اثر متعلق به متغیر تعداد افراد بالای ۲۰ سال در خانوار و کمترین اثر مربوط به متغیر درآمد حقیقی می باشد [۶]

یاماشیتا^۱ (۲۰۰۵) با پیشنهاد یک شبکه عصبی چند شعبه ۲ به پیش بینی تقاضای سهام در بازار سهام توکیو پرداختند. آنها اعلام کردند که الگوریتم پیشنهادی دارای قابلیت بالاتری نسبت به شبکه عصبی معمولی در تخمین جواب های با دقت بالا می باشد. [۲۱]

عزیزی و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی مدلسازی عدم قطعیت های سیستم تولیدی با استفاده از روش فازی - عصبی با استفاده از مدلسازی تولید با استفاده از مدل های ANFIS و در نظر گرفتن عدم قطعیت تقاضا استفاده کرده اند. محققان، ضمن بیان این مطلب که کارایی روش ANFIS از رگرسیون چندگانه بالاتر می باشد. [۱۲]

پور قنبرزاده و دیگران (۱۳۸۶) با استفاده از روش های اقتصادسنجی به برآورد تقاضای خودروهای سواری در ایران پرداختند. هدف پژوهشگر بررسی چگونگی تاثیر متغیرهای موثر تقاضای خودروی سواری در ایران بادر نظر گرفتن متغیرهای معرف جهانی شدن است. پس از بررسی مبانی نظری با استفاده از روشهای اقتصادسنجی الگوهای مربوط به تابع تقاضای خودروی سواری در ایران تخمین زده شده است. نتایج پژوهش نشان می دهد که تقاضای خودروی سواری در ایران ارتباط منفی و معکوس با متغیرهای قیمت خودرو، قیمت بنزین، تعرفه واردات خودرو شاخص شکاف قیمتی دارد تقاضای خودروی سواری در ایران ارتباط مثبت و مستقیم با متغیرهای درآمد و نسبت باز بودن اقتصاد دارد [۱]

ناظمی و همکاران (۱۳۸۵) به بررسی پیش بینی بازار خودرو ایران بر اساس رفتار بازار خودروی جهانی پرداختند محقق در این پژوهش با به کارگیری یک رویکرد پویا، ابتدا رفتار تقاضا یا نرخ مالکیت خودرو در بازار جهانی را بررسی کرده و بر اساس نتایج آن و برازش مدلی بر روی داده های کشورهای منتخب جهان، نرخ مطلوب مالکیت خودرو را محاسبه نموده اند. در این تحقیق، از ۱۵ متغیر برای پیش بینی بازار خودرو استفاده شده است و پیش بینی برای یک بازه ۲۰ ساله انجام شده است. بر اساس نتایج به دست آمده، از میان ۱۵ متغیر بررسی شده، درآمد سرانه و میانگین سنی جمعیت، عوامل کلیدی اثرگذار شناخته شده اند و بر این اساس، محققان نتیجه گرفته اند که تقاضای بازار ایران در حال نزدیک شدن به بازار جهانی بوده و پس از انطباق با آن، به رشد اقتصادی کشور وابسته خواهد شد. [۹] برکوف (۱۹۸۵) در پژوهشی با عنوان پیش بینی تقاضای اتومبیل با استفاده از مدل انتخاب تفکیک ناپذیر، به شبیه سازی بازار خودرو در آمریکا پرداخته اند. محققان، در این پژوهش ۱۲ گروه مشتری و ۱۳۱ نوع خودرو تعریف کرده و به سناریوسازی با استفاده از داده های سال های ۱۹۷۸ تا ۱۹۸۴ پرداخته و بر اساس نتایج به دست آمده، نقش تغییرات قیمت بنزین بر تقاضای خودرو را برای سال های ۱۹۸۴ تا ۱۹۹۰ نشان داده اند. [۱۴] جانسون (۱۹۸۹) به ارائه یک رویکرد جدید برای پیش بینی و مدلسازی تقاضای خودرو پرداخته است. محقق، در این پژوهش، گرایش به ورود یا خروج از بازار را برای مشتریان، به عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته است و با ترکیب روش های تحلیل سری زمانی و رگرسیون مقطعی، به پیش بینی این متغیر پرداخته است. این تحقیق در بازار خودرو سوئد انجام شده و نتایج به دست آمده، تأیید کننده کارایی روش پیشنهادی بوده است. [۱۷]

^۱ Yamashita

^۲ Multi-Branched Nn

عزیزی و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی تأثیر عدم قطعیت تقاضا در پیش بینی بازده صنعتی پرداخته و برای این مهم از مدل های ARIMA ترکیبی با رگرسیون چندگانه MLR استفاده کرده اند. محققان، ضمن بیان این مطلب که عدم قطعیت در تقاضا موجب تغییرات شدید در پیش بینی به دست آمده می شود؛ توانسته اند که با دقت میانگین مطلق خطای ۲,۵۳٪ به پیش بینی بازده با استفاده از تقاضا بپردازند. [۱۱]

در میان تحقیقات جدید نیز می توان به رگو و مسکیتا (۲۰۱۴) اشاره کرد. پژوهشگران، با استفاده از داده های بازار خودرو کشور بزرگ برای ۶ سال، به شبیه سازی میزان تقاضای قطعات یدکی خودرو پرداخته اند. شبیه سازی، در سه دوره زمانی منفرد، هفتگی و ماهیانه انجام شده و از ۶ تابع تقاضای آماری مختلف شامل نرمال، گاما، باینامی منفی، پواسن و گاما-پواسن برای تغییرات تقاضا استفاده شده است که در نهایت، به تولید ۱۷ سناریو مختلف برای ۱۰۰۳۲ نوع قطعه یدکی منجر شده است. [۱۶] عزیزی و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهش دیگری، به استفاده از شبکه های عصبی فازی ANFIS پرداخته و در آن، عدم قطعیت موجود در پارامترهای مختلفی نظیر تقاضا را به صورت فازی در نظر گرفته اند. محققین نتایج تحقیق را با رگرسیون چندگانه MLR مقایسه کرده و نتیجه گیری کردند که عدم قطعیت تقاضا در کنار عدم قطعیت سایر عوامل تولیدی، نتایج دقیق تری در قالب مدل پیشنهادی برای پیش بینی ارائه کرده است. [۱۲]

هو و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی تقاضای خودرو در کوتاه مدت پرداخته و با استفاده از داده کاوی، به بررسی تأثیر وضعیت ترافیکی و تغییرات تاریخی، در تقاضای خودرو پرداختند. محققان، اعتقاد داشتند که ایام هفته، ساعات کاری روزانه و همچنین وضعیت آب و هوا تأثیر معناداری در تقاضای خودرو داشته و با استفاده از داده کاوی، می توان الگوهای ایجاد کننده چنین تغییراتی را شناسایی کرد.

اریاس و باو (۲۰۱۶) به بررسی تقاضای خودروهای شارژی پرداخته اند. پژوهشگران، اعتقاد دارند که در تحقیقات قبلی، تأثیر مسائل آب و هوایی و ترافیکی بر انتخاب مردم و در نتیجه سطح تقاضای این خودروها، بررسی نشده است. این پژوهش که در کره جنوبی انجام شده است؛ تأثیر این دو پارامتر را در نظر گرفته و از یک الگوریتم دسته بندی داده کاوی برای طبقه بندی وضعیت ترافیکی و آب و هوایی و از یک درخت تصمیم برای کلاس بندی تغییرات تقاضا استفاده شده است. علاوه بر مزایای ذکر شده برای تحقیق، نتایج به دست آمده حاکی از دقت بالای روش پیشنهادی بوده است. [۱۰]

متسوموتو و همکاران (۲۰۱۷) به بررسی تقاضای صنعت خودرو برای تولید مجدد در مورد خودروهای الکتریکی پرداخته اند. پژوهشگران، ضمن تأکید بر نقش مهم پیش بینی تقاضا در بهینه سازی فرآیند تولید، از سه روش آنالیز سری زمانی، آنالیز چرخه عمر محصول و روش ترکیبی این دو، استفاده کرده اند. نرخ اشتباهات تخمین زده شده برای این سه روش به ترتیب برابر ۳,۳۵٪، ۴,۲۲٪ و ۲۹,۳٪ بوده و همین امر تأیید کننده کارایی بهتر روش ترکیبی در مقابل دو روش اولیه به کار گرفته شده می باشد. [۱۸]

۳ - مبانی نظری پژوهش

۳-۱ - روش های مختلف پیش بینی تقاضا

پیش بینی به معنای تخمین امری در آینده است. پیش بینی فرایندی است که با استفاده از یک مدل عینی و یا ذهنی بتوان یک متغیر را برای گذشته یا آینده برآورد نمود. برای پیش بینی یک متغیر اول می بایست متغیر را در داخل نمونه پیش بینی کرد و بهترین روش را انتخاب نمود. سپس متغیر را بر اساس بهترین مدل برای آینده پیش بینی کرد. پیش بینی عمدتاً به دو دسته تقسیم می شود: پیش بینی در داخل نمونه و پیش بینی خارج از نمونه. در پیش بینی داخل نمونه می توان متغیر مورد نظر را بر اساس یک مدل ریاضی یا کیفی برآورد نمود و سپس آن را با متغیر واقعی مقایسه کرد این امر قدرت مدل های پیش بینی را می سنجد. اما پیش بینی خارج از نمونه متغیر مورد نظر را برای دوره های آتی یا دوره های گذشته (خارج از نمونه) برآورد می کند. پیش بینی یک متغیر را می توان به دو روش انجام داد [۸]

پیش بینی توسط مدل های ذهنی

پیش بینی توسط مدل های عینی مانند مدل های ریاضی، آماری و اقتصادسنجی [۸]

مدل VAR

متدولوژی VAR^۱ تا اندازه زیادی به مدل های معادلات همزمان شباهت دارد، جز اینکه در این روش با تعدادی متغیرهای دورن را سروکار داریم. اما هر متغیر دورن را با استفاده از مقادیر گذشته خود و مقادیر با وقفه از تمامی دیگر متغیرهای دورن زای مدل، توضیح داده می شود. معمولاً هیچ گونه متغیر برون زایی در مدل وجود ندارد. به علاوه VAR رفتار کوتاه مدت متغیرها را با دیگر متغیرها و مقادیر با وقفه خود متغیر را تعیین می کند. در یک فرایند خودرگرسیون مدلی که تخمین می زنیم عبارت است از:

$$Y_t = \alpha + \sum_{j=1}^p \beta_j Y_{t-j} + \sum_{i=1}^q \gamma_i X_{t-i} + U_t$$

که در آن U ها جملات تصادفی بوده که در متدولوژی VAR به عکس العمل یا تغییر ناگهانی شهرت دارد [۸]

مدل آریما

پیش بینی مقادیر متغیر بر اساس مدل های آریما^۲ به روش باکس جنکینز^۳ معروف است این روش صرفاً در خصوص سری های زمانی پایا به تحلیل می پردازد. پس ابتدا باید نسبت به پایا بودن سری اطمینان حاصل می نماییم. سپس با استفاده از مراحل باکس جنکینز نسبت به پیش بینی مقادیر زمانی اقدام کنیم (رمضانی، ۱۳۹۰). فرایند ARIMA(p,d,q) برای متغیر x را می توان به صورت زیر نشان داد:

$$y_t = f(x) + \sum_{i=1}^p \phi_i y_{t-i} + \sum_{j=1}^q \theta_j \varepsilon_{t-j} + \varepsilon_t$$

$$y_t = \Delta^d x_t = (1-L)^d x_t$$

در فرایند ARIMA(p,d,q)، p و d به ترتیب بیانگر تعداد وقفه های خودرگرسیونی، مرتبه تفاضل گیری و تعداد جملات متحرک است. در صورتی که d برابر با صفر گردد فرایند ARIMA تبدیل به فرایند ARMA می شود. معمولاً برای تخمین ARIMA و ARMA از روش باکس جنکینز استفاده می شود که دارای سه مرحله شناسایی، تخمین و تشخیص دقت پردازش است. تعداد جملات خودرگرسیو و تعداد جملات میانگین متحرک معمولاً با استفاده از توابع خود همبستگی (ACF) و خود همبستگی جزئی (PACF) بر اساس مراحل باکس جنکینز محاسبه می شود اما از آنجایی که ممکن است مدل های پهنه دیگری وجود داشته باشند که برای الگوی مذکور ترجیح داده شوند، این مدل ها توسط معیارهای آکائیک و یا شوارتز-بیزین بازبینی می شوند [۸]

۴-روش شناسی تحقیق

این پژوهش از حیث هدف به دلیل کاربرد آن در پیش بینی تقاضا در صنعت خودرو و عملکرد سازمانی جزء تحقیقات کاربردی و از نظر نحوه گردآوری داده ها توصیفی است و در مورد نوع تحقیق توصیفی، این تحقیق، یک تحقیق پیمایشی می باشد. جامعه آماری این پژوهش، مربوط به شرکت سایپا می باشند. و تهیه اطلاعات از بخش های امور مشتریان، فروش و نظرسنجی به روش نمونه گیری غریبالگری، برای بررسی و جمع آوری و تحلیل انتخاب شده است. و از آنجا که عملکرد کلی گروه مد نظر می باشد؛ روش نمونه برداری به صورت سرشماری بهره گرفته شد.

در پژوهش حاضر، تجزیه و تحلیل داده ها به روش های آماری ریاضی را می توان سری زمانی نام برد که یک روش تحلیل و پیش بینی مقدار در آینده با توجه به مقادیر گذشته هر متغیر است که از مهمترین آنها می توان به مدل های ARIMA اشاره کرد و همچنین مدل آرما که یک روش سری زمانی از دو پارامتر خودرگرسیونی (AR) و خودرگرسیونی جزئی (MA) می باشد نیز از نرم افزار فوق استفاده و برای انتخاب حد بهینه هر پارامتر، از معیارهای اطلاعاتی نظیر معیار بیزین بکارگرفته شده است

¹ Vector autoregression

² Autoregressive Integrated Moving Average

³ Box-Jenkins

⁴ Autocorrelations

⁵ partial autocorrelations

و در روش رگرسیون چندمتغیره که یک روش آماری کلاسیک که با استفاده از منطق حداقل سازی جملات خطا، به تخمین ضرایب یک مدل پیش بینی خطی می پردازد.

۵- تحلیل یافته ها

آمار توصیفی آزمودنی‌های تحقیق

جدول ۱: آماره های توصیفی شاخص های تحقیق

آماره	شاخص هزینه نرمال شده	شاخص تقاضا	شاخص کیفیت
کمینه	2.735	10.00	2.00
بیشینه	10.203	900000	5.00
میانگین	0.155	65721	2.4
میانه	0.091	58786	2.31
انحراف معیار	0.389	4523	0.158
چولگی	-2.815	7.635	0.749
کشیدگی	8.861	10.493	3.761

شاخص هزینه نرمال شده: قیمت تمام شده خودروهای مختلف شامل قیمت خرید، هزینه های مالی و هزینه های سفارش دهی و تحویل که به صورت نرمال شده، به پایگاه داده تحقیق وارد می شود.

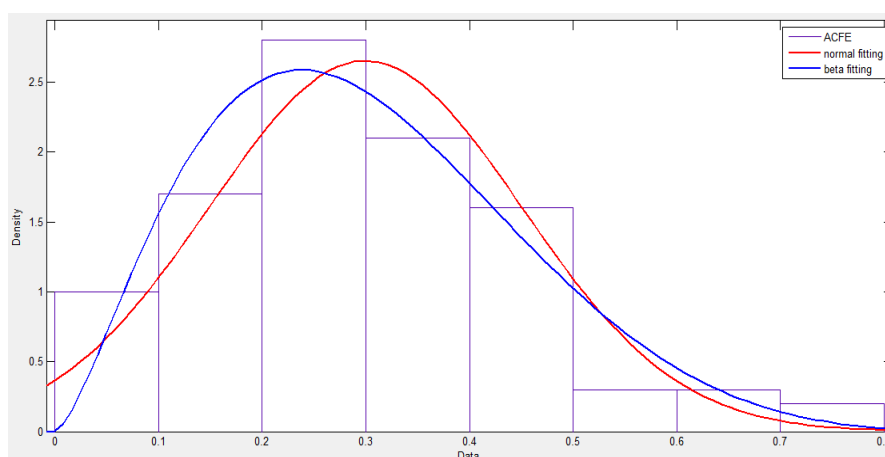
شاخص تقاضا: میانگین ارزش ریالی خودروهای فروش رفته و تقاضای ثبت شده در هر دوره.

شاخص کیفیت: کیفیت کلی برآورد شده با توجه به کیفیت برند و کشور تولید کننده، شاخص رضایت مشتری، تعداد خودروهای برگشت از خرید شده و سایر سنجه های رضایت مشتری و بنابراین توزیع شاخص، دارای چولگی به سمت راست می باشد. همچنین مقدار بالای کشیدگی، نمایانگر تمرکز بالای داده ها، لیکن حول میانه و نه میانگین می باشد.

شاخص تقاضا: در مورد این شاخص، میانه به شدت از میانگین کمتر بوده و این امر به دلیل بزرگتر بودن مقادیر داده های سمت راست توزیع است که با بیشتر بودن اندازه بیشینه از کمینه نیز تطابق دارد. این انحراف میانگین از میانه، باعث ایجاد چولگی به چپ در توزیع شاخص شده و همچنین بالا بودن مقدار کشیدگی نشان دهنده تمرکز بالای داده ها حول میانگین است. همچنین، انحراف معیار زیاد داده ها نشان دهنده بزرگ بودن مقادیر و زیاد بودن تعداد داده های پرت و به عبارت دیگر، پهن بودن دنباله توزیع می باشد.

شاخص کیفیت: این شاخص، دارای فرم نسبتاً نرمالی است و میزان کشیدگی آن در سطح توزیع نرمال و چولگی اندکی به سمت راست دارد. لذا می توان توزیع آن را به صورت نرمال در نظر گرفت. به علت چولگی اندک، میانگین توزیع از میانه آن بیشتر شده است.

نرمال بودن داده ها نیز با سه آزمون اندرسون، کولموگروف و مربع کای به آزمون گذاشته می شود. مطابق نتایج به دست آمده، از آزمون های سه گانه شاخص ها (هزینه نرمال شده، تقاضا و کیفیت) نشان میدهد که در هریک از سطوح اطمینان توسط تمامی تست های انجام شده، فرض صفر مبنی بر نرمال بودن داده ها برای دو شاخص هزینه نرمال شده و تقاضا رد شده است و لذا شاخص هزینه نرمال شده، و تقاضا توزیع نرمال ندارد بنابراین با حذف داده های پرت شناسایی شده در سمت چپ و راست هیستوگرام، مجدداً تست نرمال بودن داده ها انجام شده و نتایج مجدداً مطابق آزمون کولموگروف، اندرسون و مربع کای نشان می دهد که فرض صفر مبنی بر نرمال بودن داده ها رد نمی شود ولی در شاخص تقاضا مشاهده می گردد که در تمامی سطوح معناداری و در تمامی آزمون ها، فرض صفر مبنی بر نرمال بودن داده ها رد شده و پس از حذف داده های پرت نیز خاصیت نرمال بودن را نخواهد داشت. و بنابراین تنها فرض نرمال بودن شاخص کیفیت تأیید شده است.



شکل ۱: هیستوگرام داده های شاخص کیفیت

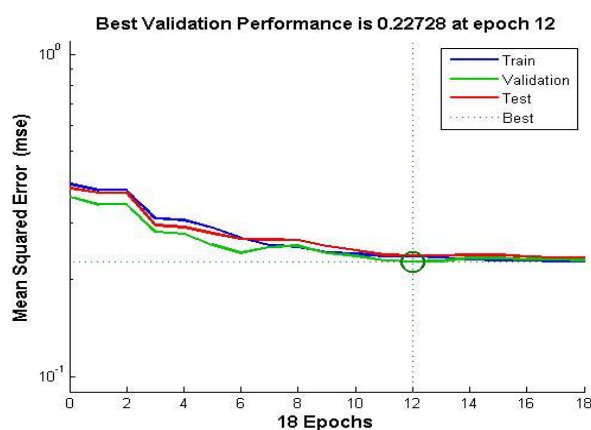
۵-۱- پیش بینی تقاضا

داده های مورد نیاز این پژوهش از پایگاه های داده شرکت سایپا، جمع آوری شده است. این اطلاعات شامل اطلاعات کیفیت، قیمت و میزان تقاضا (ترکیب میزان فروش و ثبت سفارش) می باشد. با توجه به کمتر بودن تعداد داده های در دسترس از داده های مورد نیاز، برای تکمیل این داده ها از روش شبیه سازی مونت کارلو استفاده می شود و داده های جدید ساخته می شود. با انجام مرحله پیش پردازش داده ها ک از مراحل مهم در داده کاوی به حساب می آید در نرم افزار متلب پایگاه داده، آماده بهره برداری می باشد. جدول (۲) نشان دهنده نحوه تخصیص داده های هر یک از پایگاه های داده به هر یک از شبکه های عصبی است.

جدول ۲- داده های تخصیص داده شده به شبکه عصبی در هر پایگاه

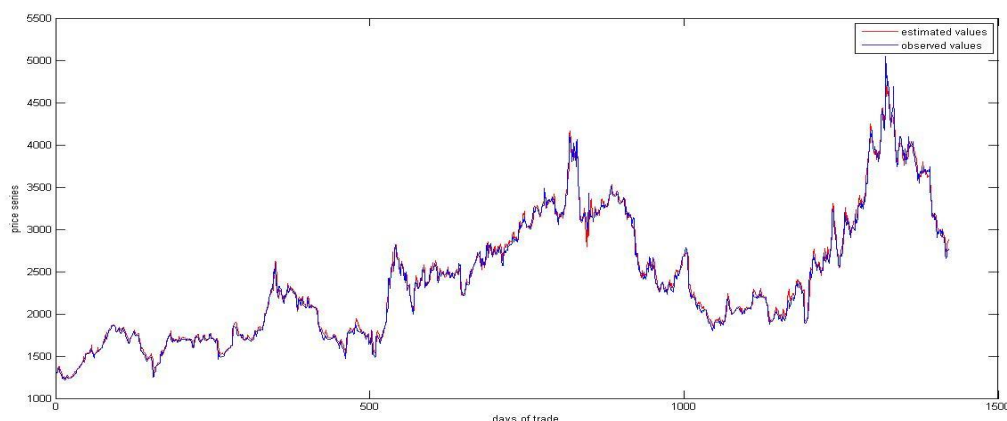
پایگاه داده	داده های آموزش	داده های تصدیق	داده های تست	مجموع
خوشه معمولی	۹۹۶	۲۱۳	۲۱۳	۱۴۲۲
خوشه غالب	۵۰۶	۹۹	۹۹	۷۲۴

مطابق نتایج به دست آمده در قسمت اعتبارسنجی شبکه عصبی برای تعیین Epoch بهینه، کارایی بیشینه شبکه در Epoch 12 به دست آمده است که این مسئله از شکل (۴-۱۰) قابل تشخیص می باشد.



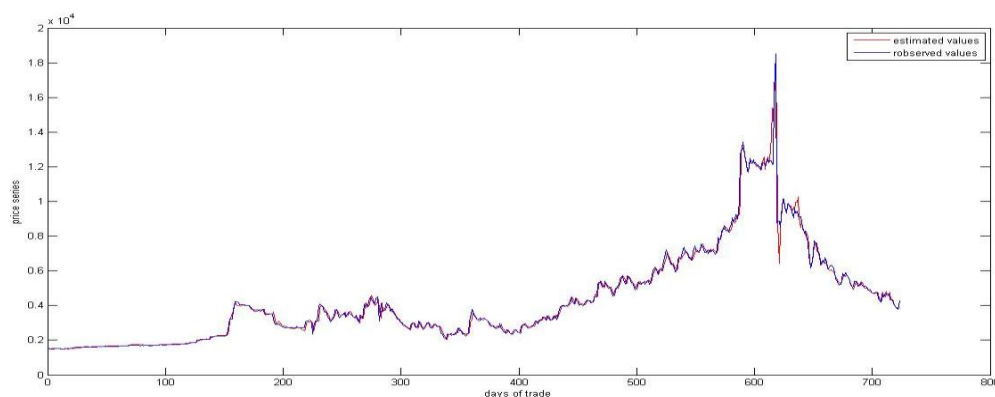
شکل ۳ - اعتبارسنجی شبکه عصبی ساخته شده در متلب

همانطور که از شکل (۳) مشخص است؛ حداقل مربعات خطا در دسته داده‌های اعتبارسنجی که شامل ۱۵٪ از داده‌ها می‌باشد در Epoch 12 به دست آمده است و لذا از این Epoch در آموزش داده‌ها و تست آنها استفاده خواهد شد. حال شبکه عصبی ساخته شده، آموزش داده می‌شود. پس از آموزش توسط داده‌های تصدیق، ارزیابی و تأیید شده و در داده‌های تست، کارایی آن مورد بررسی قرار می‌گیرد. نتایج به دست آمده از پیش‌بینی تقاضا توسط شبکه عصبی برای پیش‌بینی خوشه معمولی، در شکل (۴) - نشان داده شده‌اند.



شکل ۴ - مقدار تقاضای واقعی و پیش‌بینی شده برای خوشه معمولی

میزان غیرخطی بودن روند تغییرات تقاضای واقعی و قدرت برازش داده‌های تخمین زده شده توسط شبکه عصبی، کاملاً چشمگیر است. همچنین، در شکل (۵) نتایج به دست آمده برای پیش‌بینی تقاضای خوشه غالب، نشان داده شده است.



شکل ۵- قیمت‌های پایین پیش‌بینی شده و واقعی برای خوشه غالب

اکنون که به صورت شهودی کارایی رگرسیون چند متغیره و مدل‌های ARIMA سری‌های زمانی را در تخمین رفتار غیر خطی تقاضا دیده شده است، نوبت به مقایسه کارایی رگرسیون چند متغیره با الگوریتم‌های رقیب، مدل‌های ARIMA سری‌های زمانی می‌رسد.

در ابتدا، برای تخمین درجه‌های مناسب مدل ARIMA، از روش‌های معیار اطلاعاتی بیزین استفاده شده و از میان مدل‌های آریمای بررسی شده، مدلی که معیار بیزین آن مقدار کمتری داشته باشد؛ به عنوان مدل بهینه برای پیش‌بینی در نظر گرفته می‌شود. نمایش تمامی مدل‌های ایجاد شده در این قسمت نیز ممکن نبوده و در جدول (۳) به عنوان نمونه مقادیر معیار آکائیک و مدل‌های مختلف بررسی شده است.

جدول (۳): معیار بیزین به منظور انتخاب مدل آرمای بهینه برای پنج نماد به عنوان نمونه

نماد	ARMA (2,2)	ARMA (2,1)	ARMA (1,2)	ARMA (1,1)
D=0	247.97	242.79	249.10	266.82
D=1	284.99	281.44	286.61	305.86
D=2	293.96	295.12	301.01	316.25

مشاهده می شود که مدل ARMA (2,1) برای تمامی درجه های مختلف d بهینه ترین مدل ها هستند و در میان درجات مختلف d، کمترین مقدار آماره اطلاعاتی نیز مربوط به d=0 است و لذا مدل بهینه تحقیق، به صورت ARIMA(2,0,1) و یا ARMA(2,1) می باشد.

بنابراین میزان تقاضا به عنوان متغیر وابسته و پارامترهای سری زمانی به عنوان متغیرهای مستقل مورد استفاده قرار می گیرند و مدل رگرسیونی تحقیق به شرح زیر بیان می گردد :

$$D_{it} = \beta_0 + \beta_1 D_{i(t-1)} + \beta_2 D_{i(t-2)} + \beta_3 \varepsilon_{t-1} + \varepsilon_t$$

نتایج به دست آمده از تخمین این مدل برای مسئله تحقیق، مطابق جدول (۴) می باشد :

جدول (۴): مدل تحقیق؛ متغیر وابسته : تقاضا (D)

متغیر مستقل	نماد	ضریب	t-statistic	p-value	معناداری
عرض از مبدا (β_0)	NAF	1.34	2.35	0.02	معنادار
خودهمبستگی درجه اول (β_1)	AR(1)	1.24	3.85	0.00	معنادار
خودهمبستگی درجه دوم (β_2)	AR(2)	1.05	2.05	0.04	معنادار
میانگین متحرک درجه اول (β_3)	MA(1)	0.98	2.36	0.02	معنادار

در ادامه و در جدول (۵) معناداری کلی مدل مورد بررسی قرار گرفته است.

جدول (۵): بررسی پارامترهای معناداری مدل

آماره	مدل تحقیق
F-statistic	7.86
P-value	0.00
R-squared	0.85
Akaike Info Criteria	21.74
Hannan-Quinn Criteria	21.39
Jerque-Bera	0.88
Probability	0.82

بر اساس نتایج نشان داده شده در جدول (۵) می توان گفت که در مورد تمامی پارامترهای معناداری، مدل های تحقیق، از نظر آماری مورد تأیید قرار گرفته است. آماره F-statistic و مقدار P-value متناظر آن، نشان دهنده معناداری آماری مدل به صورت کلی در توجیه متغیر وابسته می باشند

در نهایت، مدل تحقیق برای دو خوشه معمولی و غالب تخمین زده شده است و این نتایج به صورت مختصر در جدول (۶) برای خوشه غالب نشان داده می شوند.

جدول ۶- مقایسه نتایج به دست آمده از مدل های رگرسیون چند متغیره و ARMA برای خوشه غالب

نام مدل	MAD	MSE
رگرسیون چند متغیره	۳۷,۵۴	۸۹۳۹
ARMA	۳۸,۷۵	۹۶۷۴

عملکرد بهتر رگرسیون چند متغیره نسبت به مدل های ARMA در جدول مشخص است، جدول (۷)، نتایج به دست آمده برای خوشه معمولی را نشان می دهد.

جدول ۷- مقایسه نتایج به دست آمده از مدل های رگرسیون چند متغیره و ARMA برای خوشه معمولی

نام مدل	MAD	MSE
رگرسیون چند متغیره	۵۴,۸۲	۲۷۴۱۲
ARMA	۶۴,۳۷	۳۲۱۸۷

در هر دو معیار تعریف شده، عملکرد رگرسیون چند متغیره نسبت به مدل ARMA دیگر برتری دارد. میزان برتری به صورت درصدی، از قرار زیر است :

معیار MSE

در خوشه غالب، کارایی رگرسیون چند متغیره ۷٪ از کارایی مدل ARIMA بالاتر است. و در خوشه معمولی کارایی رگرسیون چند متغیره ۱۴٪ از کارایی مدل ARIMA بالاتر است.

معیار MAD

در خوشه غالب، کارایی رگرسیون چند متغیره ۳٪ از کارایی مدل ARIMA بالاتر است. و در خوشه معمولی کارایی رگرسیون چند متغیره ۱۴٪ از کارایی مدل ARIMA بالاتر است.

۶- نتیجه گیری

همانطور که در مرور نظری موضوع پژوهش بیان شد، کمبود و موجودی اضافه، از جمله مشکلاتی است که بنگاه های تولیدی همواره با آن دست به گریبان هستند. مفهوم اول، زمانی ایجاد می شود که تقاضای کالا، بیش از مقدار موجود باشد و مفهوم دوم، عکس این حالت را نشان می دهد. لذا، پیش بینی اشتباه تقاضا در بحث برنامه ریزی تولید، برای شرکت هزینه بر است و این اشتباه، چه از جهت مثبت و چه از جهت منفی می تواند اتفاق افتد. بنابراین، پیش بینی تقاضا با استفاده از روش های دقیقی می تواند نتایج جالب توجهی را در این خصوص ایجاد کند. نقش مهمی در بهبود فرآیندهای مدیریت دارد.

شاخص های کلان اقتصادی - اجتماعی بر تقاضای خودرو اثر گذار است. رگرسیون چندمتغیره با مقدار خطای کم و دقت مناسب در هر دو خوشه تحقیق، حضور داشته است و لذا می توان گفت که این فرضیه صحت دارد. به این ترتیب، می توان گفت که شاخص های کلان اقتصادی و اجتماعی، تأثیر معناداری در کارایی روش پیش بینی دارند.

مقادیر گذشته تقاضا در مقدار آینده آن تأثیرگذار است. روش سری زمانی نیز عملکرد خوبی در پیش بینی تقاضا نشان داده است. با وجود تأخیرهای زمانی، عملکرد آن بسیار خوب ارزیابی شده است. لذا می توان این فرضیه را نیز مورد تأیید قرار داد. و همچنین مشاهده می شود که کارایی رگرسیون چندمتغیره در تخمین تقاضا نسبت به سری های زمانی بالاتر است. بر اساس دو معیار MSE و MAD و در دو خوشه خودروهای معمولی و غالب، این مسئله تأیید شد که کارایی رگرسیون چندمتغیره در پیش بینی تقاضا، نسبت به سری زمانی بالاتر است.

۷- پیشنهادات تحقیقات آینده

این پژوهش تنها از ویژگی های خودرو و میزان خریدها و ثبت سفارش های انجام شده برای پیش بینی تقاضا استفاده شده است. این در حالی است که خودرو در بازار ایران، علاوه بر یک کالای نهایی و مصرفی، به یک کالای سرمایه ای نیز تبدیل شده

است و لذا تقاضا در این بازار، می تواند با تقاضا در سایر بازارهای سرمایه ای همچون مسکن، طلا و ارز دارای رابطه باشد که پیشنهاد می شود در تحقیقات آتی به این موضوع پرداخته شود.

اثرات روانی در بحث تقاضای خودرو، همچون سایر کالاهای دیگر در ایران، اهمیت بالایی دارد. تغییرات قیمت ارز، نرخ سود بانکی و سیاست های کلی نظام در خصوص واردات و صادرات، باعث ایجاد اختلالات در وضعیت فکری و فرهنگی مردم می شود و لذا می تواند باعث تغییر در روند پیش بینی تقاضا گردد. محاسبه و وارد کردن چنین متغیری به مدل به عنوان یک متغیر تعدیل کننده، می تواند نقش مهمی در بهبود کارایی مدل پیش بینی داشته باشد و لذا به عنوان پیشنهادی جهت تحقیقات آتی مطرح می گردد.

در این تحقیق، از دو شاخص کیفیت و هزینه برای خوشه بندی خودروها استفاده شده است. بر اساس نتایج، خودروها به خوبی با این دو شاخص تفکیک شده اند و لذا می توان گفت که روند تغییرات تقاضا در خصوص خودروها با کیفیت و هزینه متفاوت، یکسان نمی باشد. در نظر گرفتن تأثیر این دو شاخص در کارایی روش های پیش بینی و همچنین قیمت گذاری، می تواند موضوع مناسبی در تحقیقات آتی باشد.

منابع

۱. پورقنبرزاد لشت نشا امید، فلیحی نعمت، خطیب محمدعلی (۱۳۸۶) "بررسی تقاضای خودرو در ایران با تأکید بر فرآیند جهانی شدن" پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی تهران مرکزی
۲. پورعلیخانی، حامد؛ ناصر شمس قارنه؛ علیمحمد کیمیگری و محسن کیوانلو، ۱۳۹۱، تحلیل تقاضای خودروهای سواری با توجه بر شاخص های تأثیرگذار مصرف کننده از طریق مطالعه تقاضای بازار کشور ایران، اولین همایش بین المللی اقتصاد سنجی، روشها و کاربردها، سنندج، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سنندج
۳. تقوایی علی اکبر، پورجعفر محمدرضا، حسین آبادی مصطفی، ریاحی مدوار حسین (۱۳۹۰) "توسعه یک مدل خبره برای پیش بینی تقاضای آب شهری با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی: نمونه موردی شهر ایلام" فصلنامه آرمان شهر، شماره ۶، صص ۶۳-۷۴
۴. تاجیک الناز، شاهباز ناصر، بکی حسکویی مرتضی (۱۳۹۱) "پیش بینی تقاضای محصولات گروه خودروسازی سایپا براساس رویکرد اختیار واقعی و مقایسه با روش های سری زمانی" پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی صنایع، موسسه آموزش عالی غیرانتفاعی و غیردولتی رجاء قزوین
۵. جعفری صمیمی احمد، دهقان زهرا (۱۳۹۳) "پیش بینی و تحلیل نتایج اشتغال صنعتی در ایران با روش شبکه عصبی (ANN) و مدل ARIMA" فصلنامه مدل سازی اقتصادسنجی، سال اول، صص ۳۳-۴۹
۶. خسروی نژاد علی اکبر، زعفریان طاهره (۱۳۹۶) "تقاضای خودروهای تجاری در ایران" پژوهشنامه حمل و نقل، شماره ۵۳، صص ۱۳-۳۰
۷. رضائی رضا، رضائی مریم (۱۳۹۰) "پیش بینی تقاضای ماهیانه برق با استفاده از مدل های شبکه عصبی مصنوعی و آریمای در ایران" دانشگاه تربیت مدرس
۸. گلستانی شهرام، گرگینی مصطفی، حاج عباسی فاطمه (۱۳۹۱) مقایسه توانایی پیش بینی مدل های VAR، ARIMA و شبکه های عصبی (ANN): تقاضای جهانی نفت اوپک، فصلنامه اقتصاد محیط زیست و انرژی، سال اول، شماره ۴، صص ۱۴۵-۱۶۸
۹. ناظمی، جمشید؛ حسین علی مومنی و امیرحسین جنگی، ۱۳۸۵، پیش بینی بازار خودرو ایران بر اساس رفتار بازار خودروی جهانی، اولین کنفرانس بین المللی مدیریت بازاریابی، تهران، گروه پژوهشی آریانا
10. Arias, M. B., & Bae, S. (2016). Electric vehicle charging demand forecasting model based on big data technologies. *Applied Energy*, 183, 327-339.
11. Azizi, A., Ali, A. Y. B., Ping, L. W., & Mohammadzadeh, M. (2012). Estimating and Modeling Uncertainties Affecting Production Throughput Using ARIMA-Multiple
12. Linear Regression. In *Advanced Materials Research* (Vol. 488, pp. 1263-1267). Trans
13. Tech Publications.

14. Azizi, A., bin Ali, A. Y., & Ping, L. W. (2015). Modelling production uncertainties using the adaptive neuro-fuzzy inference system. *South African Journal of*
15. Azizi, A., Ping, L. W., & Mohammadzadeh, M. (2012). A hybrid model of ARIMA and multiple polynomial regression for uncertainties modeling of a serial production line. *World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering*, 6(2), 382-387.
16. Berkovec, J. (1985). Forecasting automobile demand using disaggregate choice models. *Transportation Research Part B: Methodological*, 19(4), 315-329.
17. Carlson, R. L., & Umble, M. M. (1980). Statistical demand functions for automobiles and their use for forecasting in an energy crisis. *Journal of Business*, 193-204.
18. do Rego, J. R., & de Mesquita, M. A. (2015). Demand forecasting and inventory
19. control: A simulation study on automotive spare parts. *International Journal of Production Economics*, 161, 1-16. *Industrial Engineering*, 26(1), 224-234.
20. Jansson, J. O. (1989). Car demand modelling and forecasting: a new approach. *Journal of transport Economics and Policy*, 125-140.
21. Matsumoto, M., Umeda, Y., Tsuchiya, S., & Tang, L. (2016, September). Development of demand forecasting model for automotive electric component remanufacturing. In *Electronics Goes Green 2016+(EGG), 2016* (pp. 1-7). IEEE
22. Modeling Uncertainties Affecting Production Throughput Using ARIMA-Multiple
23. Linear Regression. In *Advanced Materials Research* (Vol. 488, pp. 1263-1267). Trans Tech Publications.
24. Tilakaratne, C. D., Musa A. M., and Sidney A. 2009. Modified neural network algorithms for predicting trading signals of stock market indices. *Advances in Decision Sciences*, 24(3), pp.142-153
25. Yamashita, K. 2005. Application of multi-branch neural networks to stock market prediction, *Neural Networks and data series*, 45(4), pp.57-65

رفتار دینامیکی سازه‌های جداسازی شده تحت اثر زلزله نزدیک گسل

محمود میناوند^{۱*}، فرهاد نوروزیان^۲

۱- عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد صفادشت

۲- عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج

Minavad_m@yahoo.com

چکیده

سازه‌های جداسازی شده واقع در نواحی نزدیک به گسل به دلیل پدیده تشدید ناشی از نزدیکی پریود آنها با پریود پالس‌های زلزله حوزه نزدیک عموماً رفتار دینامیکی نامطلوبی دارند و استفاده از آنها را به مخاطره می‌اندازد. برای این منظور در این مقاله ابتدا به بررسی اثر مولفه موازی و عمود بر گسل بر رفتار سازه‌های جداسازی شده در زلزله حوزه نزدیک پرداخته می‌شود. نتایج نشان می‌دهد بخش عمده‌ای از پاسخ جداگر مربوط به مولفه عمود بر گسل می‌باشد و مولفه موازی گسل از اهمیت کمی برخوردار می‌باشد. در بخش بعدی تاثیر خصوصیات زلزله حوزه نزدیک نظیر نسبت حداکثر سرعت به حداکثر شتاب، میزان انرژی ورودی و ... و همچنین تاثیر مشخصات سازه‌ای جداگرها نظیر میرایی، نسبت نیروی تسلیم جداگر به وزن سازه، سختی اولیه به سختی ثانویه جداگر و ... بر عملکرد سازه جداسازی شده مورد بررسی قرار گرفته است. نتیجه تحقیقات نشان می‌دهد برای پارامترهای ذکر شده مقادیر بهینه‌ای وجود دارد که پاسخ دینامیکی سیستم جداسازی شده به حداقل مقدار خود می‌رسند و این مقادیر بهینه تعیین شده‌اند. برای مقایسه رفتار دینامیکی سازه‌های جداسازی شده و سازه‌های جداسازی نشده، یک پل سه دهانه برای زلزله حوزه نزدیک و دور مورد مطالعه قرار گرفته است و مقادیر برش پایه و دیریفیت با یکدیگر مقایسه شده است. مطابق نتایج مقایسه پاسخ در زلزله حوزه نزدیک به مراتب بیشتر از زلزله حوزه دور می‌باشد. در بخش پایانی استفاده از سیستم‌های الحاقی به عنوان راهکاری مناسب برای کنترل رفتار نامطلوب سازه‌های جداسازی شده در زلزله حوزه نزدیک ارائه شده است. بر طبق نتایج با افزایش میرایی میراگر ویسکوز تغییر شکل‌های بزرگ جداساز و شتاب زیاد طبقات در زلزله حوزه نزدیک به مقدار قابل توجهی کاهش می‌یابد.

واژگان کلیدی: زلزله حوزه نزدیک، جداسازی لرزه‌ای، تشدید، پالس پریود بلند، میراگر الحاقی ویسکوز

۱- مقدمه

خصوصیات زلزله حوزه نزدیک به لحاظ وجود پالس‌های سرعت در حدود $0.5 M/SEC$ و پالس‌های تغییر مکان و سرعت در پریودهای بلند در حدود ۱ تا ۳ ثانیه، شتاب قائم زیاد، عدم استهلاک انرژی امواج زلزله و ... با خصوصیات زلزله حوزه دور تفاوت بسیار زیاد دارد. ساختمان‌های تحت زلزله حوزه نزدیک به لحاظ تکان‌های شدید بسیار آسیب پذیر هستند. در زلزله‌های گذشته خسارات شدیدی بر ساختمانهای واقع در نواحی نزدیک به گسل گزارش شده است. در آیین‌نامه‌های مختلف برای مقاصد طراحی اثر زلزله حوزه نزدیک توسط ضرایبی لحاظ می‌گردد.

یکی از راهکارهای کاهش خسارات ناشی از زلزله، کمین‌سازی انرژی شدید ورودی به سازه از طریق تعبیه سیستم انعطاف‌پذیر در تراز پایه توسط انواع جداگرهای لرزه‌ای می‌باشد. در این راهکار با استفاده از سختی کم افقی جداگرها اولاً شیفت پریود از ناحیه شتاب زیاد طیف با پریودهای کوتاه به ناحیه با پریود بلند و شتاب کم صورت می‌گیرد. بنابراین از این طریق نیروی زلزله به مراتب کوچکتری به رو سازه اعمال می‌گردد. در این حالت رو سازه تقریباً صلب رفتار می‌نماید و تغییر شکل نسبی طبقات بسیار کاهش می‌یابد. از آنجائیکه زلزله حوزه نزدیک دارای پالس‌هایی با پریود بلند در حدود پریود اصلی سازه های جداسازی شده می‌باشد. بنابراین باعث عملکرد نامطلوب این گونه سازه‌ها به دلیل پدیده تشدید می‌شود. علاوه بر آن اثر

شتاب قائم رو به بالا در جداگرهای لرزه‌ای نیز آثار نامطلوبی در رفتار این گونه سازه‌ها به خصوص برای جداگرهای لغزشی و غلتشی ایجاد می‌نماید. در این زمینه Bertero و Anderson وابستگی بین عرض پالس شتاب و پریود طبیعی سازه را مطالعه کردند. آنها دریافتند که چنانچه عرض پالس بزرگتر از پریود طبیعی سازه باشد خسارات زیادی ممکن است به سازه وارد شود. Hall یک زلزله با بزرگای ۷ ریشتری حوزه نزدیک را شبیه‌سازی کرد و دریافت که تقاضای ایجاد شده بوسیله جنبش زمین تحت حوزه نزدیک ممکن است بسیار بیشتر از ظرفیت ساختمان‌های بلند مرتبه یا جداسازی شده باشد.

Malhorta در زمینه خصوصیات پاسخ حرکت پالس گونه زمین در زلزله حوزه نزدیک مطالعه نمود و نشان داد زلزله با نسبت PGV/PGA زیاد، ناحیه حساس به شتاب عریضی در طیف پاسخ‌شان دارند و بنابراین برش پایه، دیرپفت بین طبقات و تقاضای شکل‌پذیری ساختمان‌های بلند مرتبه و جداسازی شده را افزایش می‌دهد.

Chopra و Chintano Pakdee با مطالعه پاسخ سیستم یکدرجه آزاد تحت زلزله حوزه نزدیک و زلزله حوزه دور دریافتند که برای فاکتور شکل‌پذیری مشابه، زلزله حوزه نزدیک تقاضای بیشتری نسبت به حوزه دور دارند. Loh و Chai سه نوع پالس سرعت برای تعیین فاکتور کاهش مقاومت سازه در نظر گرفتند. آنها دریافتند که تقاضای مقاومت به بازه زمانی پالس و همچنین به نسبت بازه زمانی پالس به پریود طبیعی سازه وابسته است.

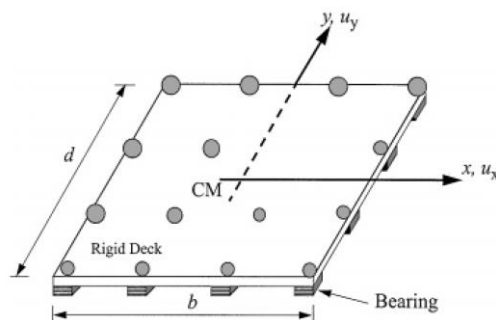
Liao رفتار دینامیکی پایه‌های پل بتنی با پنج دهانه که تحت زلزله حوزه نزدیک و دور قرار گرفته است را مطالعه نمود و دریافت زلزله حوزه نزدیک تقاضای شکل‌پذیری و برش پایه بیشتری در مقایسه با زلزله حوزه دور ایجاد می‌نماید. Nakashima پاسخ قاب‌های خمشی فولادی که تحت زلزله حوزه نزدیک در ژاپن، تایوان و آمریکا قرار گرفته را مورد بررسی قرار داد و دریافت که بیشترین دیرپفت طبقات برای همه زلزله‌های حوزه نزدیک ژاپن تایوان و آمریکا به یکدیگر شبیه هستند.

۲- اثر مولفه‌های عمود و موازی با گسل زلزله حوزه نزدیک بر سازه‌های جداسازی شده

پاسخ سازه جداسازی شده به مولفه عمود بر گسل بسیار بزرگتر از مولفه موازی با گسل می‌باشد. تغییرمکان حداکثر در راستای عمود بر گسل برای یک سیستم جداسازی شده غالب است و در زمان‌های متفاوت با تغییرمکان‌های حداکثر مولفه موازی با گسل رخ می‌دهد. بنابراین تغییرمکان طراحی برای سیستم جداسازی شده نیایستی با حداکثر تغییرمکان در راستای دیگر به صورت برداری جمع شوند. (Jangid, 2001) برای بررسی این موضوع از سیستم ایده‌آل صلب که بر روی جداگرهای با رفتار خطی که در شکل ۱ نشان داده شده است استفاده گردیده است. تغییرمکان مولفه عمود بر گسل سیستم صلب برابر u_x ،

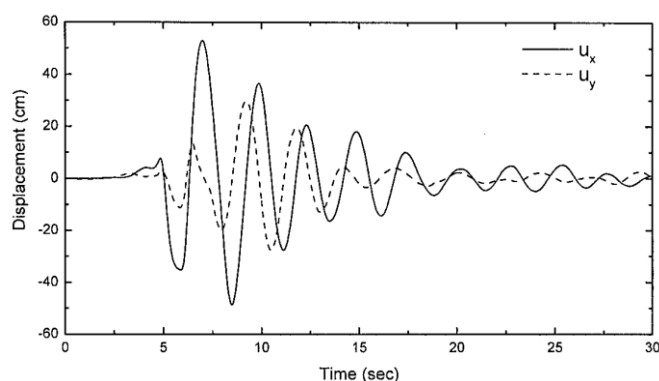
تغییرمکان مولفه موازی با گسل برابر u_y ، تغییرمکان برآیند دو مولفه عمود و موازی گسل برابر $u_R = \sqrt{u_x^2 + u_y^2}$ و برآیند

مقادیر حداکثر دو مولفه عمود و موازی گسل برابر $u_m = \sqrt{u_{\max x}^2 + u_{\max y}^2}$ در نظر گرفته شده است.



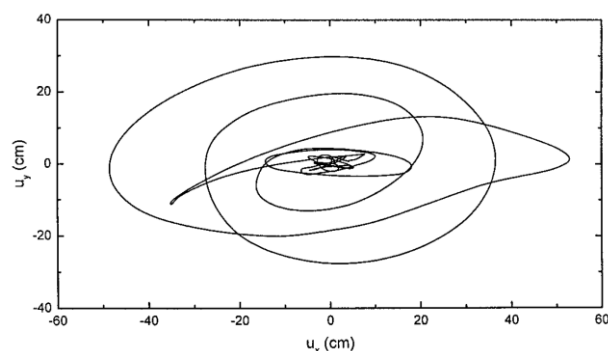
شکل ۱: روسازه صلب قرار گرفته بر روی جداگرهای لرزه‌ای

در شکل ۲ مقادیر تغییرمکان در راستای عمود و موازی گسل زلزله حوزه نزدیک Imperial Valley نشان داده شده است، همانطور که مشاهده می‌شود، تغییرمکان حداکثر جداساز در راستای عمود بر گسل بیشتر از تغییرمکان متناظر ناشی از زلزله در راستای موازی با گسل می‌باشد.



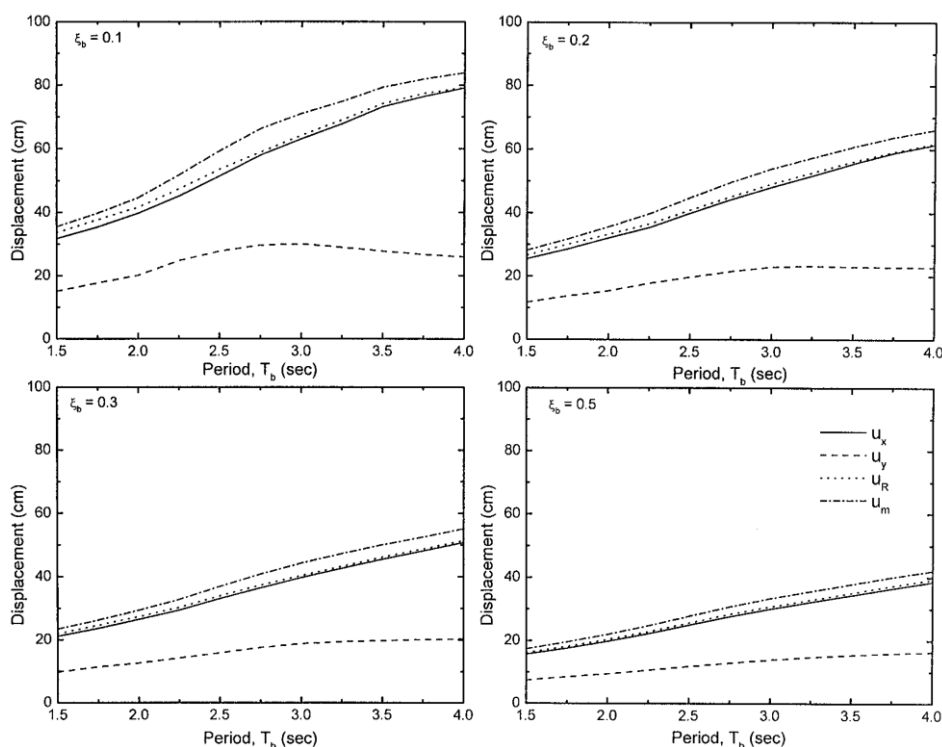
شکل ۲: تغییرات تغییرمکان جداساز مولفه عمود و موازی گسل در جنبش حوزه نزدیک Imperial Valley

علاوه بر آن همانطور که در شکل ۳ نشان داده شده است تغییرمکان حداکثر در هر راستا در زمانی اتفاق می افتد که مقدار تغییرمکان در راستای دیگر مقدار کوچکی را دارا است. این موضوع بیان کننده آن است که پاسخ سازه های جداسازی شده به مولفه های عمود و موازی با گسل غیر همبسته است.



شکل ۳: عدم همبستگی مولفه عمود و موازی گسلها در جنبش حوزه نزدیک Imperial Valley ($T_b = 2.5 \text{ sec}, \zeta = 0.1$)

جهت مقایسه مقادیر تغییرمکان های جداساز u_x, u_y, u_R, u_m با یکدیگر نمودار تغییرات آنها با یکدیگر در برابر پریود جداگر برای مقادیر مختلف میرایی جداگر ζ_b در شکل ۴ نشان داده شده است. همانطور که در این شکل مشاهده می شود $u_R \cong u_x$ و اختلاف u_R با u_y زیاد است و $u_R \geq u_y$ و همچنین $u_m \geq u_R$ که نشان دهنده آن است که حداکثر تغییرمکان در راستای عمود و موازی با گسل در یک زمان اتفاق نمی افتد. نتایج نشان می دهد برآیند تغییرمکان ها بیشتر از ۵ درصد با حداکثر تغییرمکان مولفه عمود بر گسل حوزه نزدیک اختلاف ندارد. بنابراین تغییرمکان برآیند جداگرها تحت زلزله حوزه نزدیک ممکن است به تنهایی با اضافه کردن حدود ۵ درصد به مولفه عمود بر گسل برای در نظر گرفتن اثر مولفه موازی با گسل محاسبه گردد. همچنین افزایش میرایی جداگر باعث کاهش تغییرمکان ها می گردد. (Jangid, 2001)



شکل ۴: تغییرات متوسط حداکثر تغییر مکان‌های u_x, u_y, u_R, u_m در برابر T_b برای ξ_b های مختلف

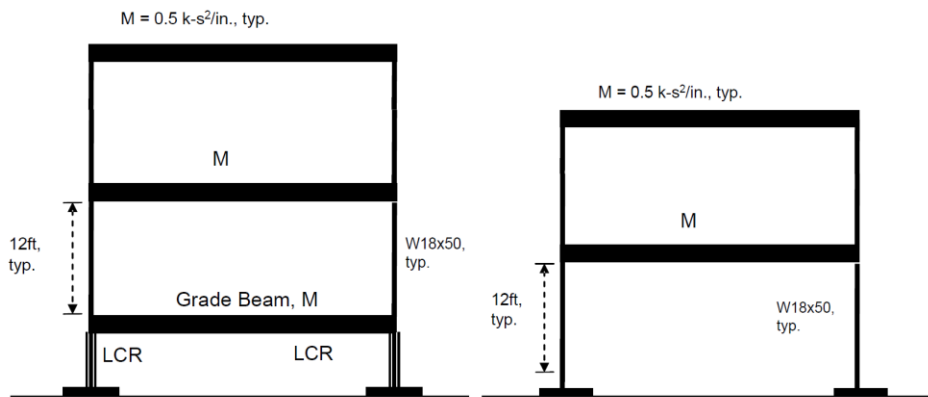
۳- عوامل موثر بر پاسخ دینامیکی سازه جداسازی شده تحت تاثیر زلزله حوزه نزدیک

مطابق مطالعات صورت گرفته پارامترهای گوناگونی ممکن است بر پاسخ دینامیکی سازه جداسازی شده تحت تاثیر زلزله حوزه نزدیک تاثیرگذار باشد که در این بخش به معرفی آنها پرداخته شده است.

۳-۱- نسبت سختی اولیه جداگر LRB به سختی پس از تسلیم

از پارامترهای تاثیرگذار در پاسخ سازه‌های جداسازی شده تحت زلزله حوزه نزدیک، می‌توان به خصوصیت مهم جداگرهای LRB یعنی نسبت سختی قبل به بعد از تسلیم جداگر لاستیکی با هسته سربی، B_{ratio} ، اشاره نمود. برای بررسی میزان تاثیر آن، پارامتر مذکور به صورت متغیر در نظر گرفته شده است تا بدینوسیله مقدار مربوط به حداقل پاسخ سازه جداسازی شده تحت تاثیر زلزله حوزه نزدیک تعیین گردد. (2009. Thomas L. Attard)

برای این منظور ساختمانی دو طبقه جداسازی شده و نشده که در شکل ۵ نشان داده شده است تحت تحریک زلزله حوزه نزدیک مورد مطالعه قرار گرفته است.



کل ۵: ساختمان دو طبقه فولادی سخت (a) کنترل شده توسط جداگر LRB غیرفعال (b) غیر کنترل شده

در این مطالعه، برای مدلسازی غیرخطی و بیان رفتار هیستریزیس سیستم LRB از مدل wen و Bouc استفاده شده است. مدل wen و Bouc برای مدلسازی جداگر بسیار مناسب است و انطباق خوبی با نتایج آزمایشگاهی دارد و از رابطه ۱ تعیین می‌گردد. (2009. Thomas L. Attard)

$$\dot{Z} = -\alpha |\dot{X}| Z^n - \beta \dot{X} |Z|^n + A \dot{X} \quad (1)$$

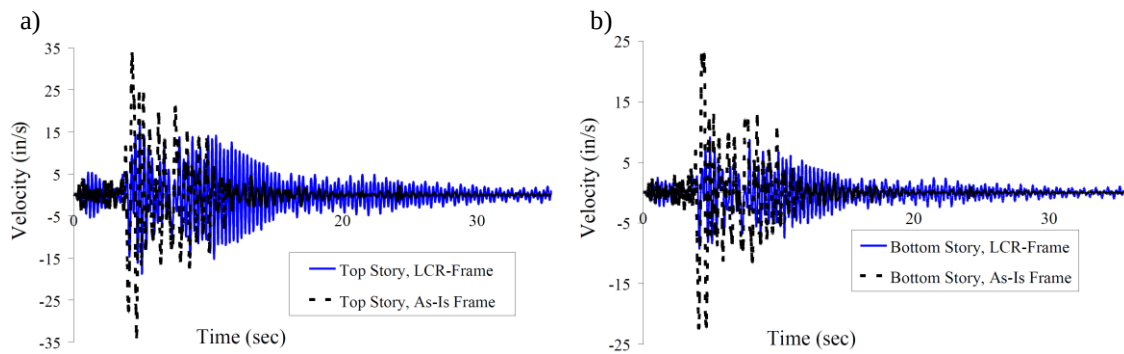
که در آن α, β, A, n پارامترهای شکل محسوب می‌شوند و از رابطه ۲ حاصل می‌گردد.

$$A = \frac{k_{initial}}{Q_{total}}, \quad \alpha = \beta, \quad A = \alpha + \beta \quad (2)$$

در این رابطه $k_{initial}$ سختی اولیه جداگر LRB است و Q_{total} نیروی تسلیم جداگر LRB است که درصدی از وزن کل سازه (حدود ۵ درصد) می‌باشد. به منظور بررسی پارامتر نسبت سختی قبل به بعد از تسلیم جداگر، رفتار دینامیکی ساختمانی دو طبقه با جداگرهای LRB تحت زلزله حوزه نزدیک نورث ریج با $PGA=1.58 \text{ g}$ و پارامتر $B_{ratio} = k_{initial}/k_b$ در نظر گرفته شد. k_b برابر سختی غیرالاستیک جداگر LRB (لاستیک + سرب) پس از تسلیم می‌باشد.

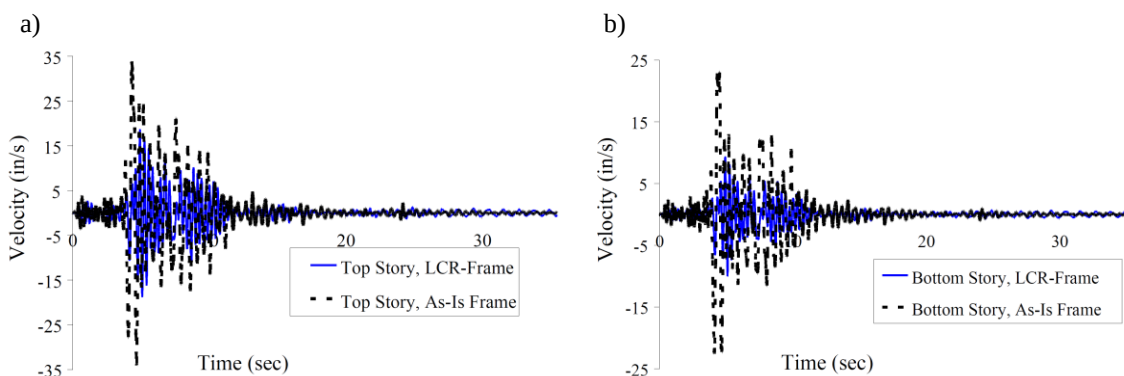
$$B_{ratio} = \frac{k_{initial}}{k_b} \quad (3)$$

شکل ۶ تاریخچه زمانی سرعت طبقه فوقانی و تحتانی برای قاب جداسازی شده توسط جداگر LRB به همراه پاسخ قاب سازه جداسازی نشده را برای $B_{ratio} = 10$ نشان می‌دهد. با بررسی شکل ۶ و مقایسه مقدار افزایش سرعت نسبی به خصوص در طبقه بالا و همچنین افزایش تاریخچه پاسخ، عدم تاثیر جداساز LRB در کاهش سرعت نسبی طبقات مشخص می‌شود. در چنین مواردی پیشنهاد می‌شود جداسازهای LRB به سیستم اتلاف انرژی مناسب و کاهنده سرعت سازه‌ای مجهز گردد. در شکل ۷ با کاهش B_{ratio} به مقدار ۶، سرعت نسبی بین طبقات و همچنین تغییر مکان‌های نسبی کاهش می‌یابد ($B_{ratio}=6$) به معنی کاهش $k_{initial}$ سختی اولیه. با مقایسه شکل‌های ۶ و ۷، کاهش قابل توجه سرعت با $B_{ratio} = 6$ نسبت به $B_{ratio} = 10$ قابل مشاهده است. علاوه بر آن مقدار شتاب مطلق نیز برای $B_{ratio} = 6$ کوچکتر از $B_{ratio} = 10$ می‌باشد. (2009. Attard)



شکل ۶: پاسخ قاب دو طبقه فولادی جداسازی شده با LRB (تحت زلزله Northridge) با $B_{ratio} = 10$

(a) تاریخچه زمانی سرعت طبقه فوقانی (b) تاریخچه زمانی سرعت طبقه تحتانی



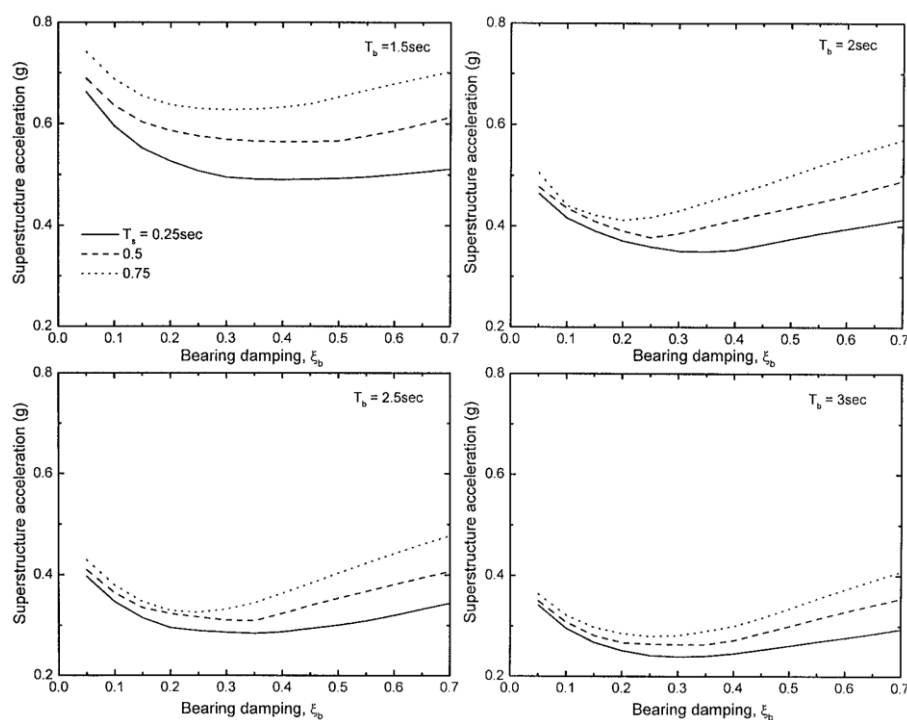
شکل ۷: پاسخ قاب دو طبقه فولادی جداسازی شده با LRB (تحت زلزله Northridge) با $B_{ratio} = 6$

(a) تاریخچه زمانی سرعت طبقه فوقانی (b) تاریخچه زمانی سرعت طبقه تحتانی

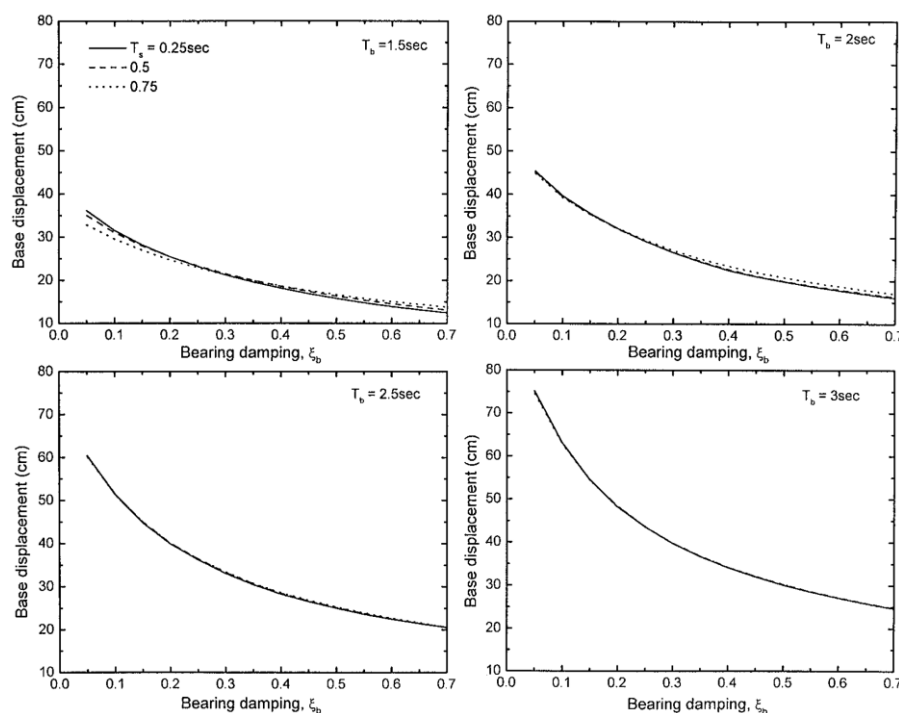
۳-۲- میرایی ζ_b

یکی از پارامترهای تاثیرگذار در پاسخ سیستم جداسازی شده، میزان میرایی سیستم جداساز با رفتار نیرو تغییرمکان خطی، ζ_b می‌باشد. افزایش میرایی باعث کنترل تغییرشکل‌های سازه می‌گردد ولی از طرفی باعث افزایش میزان شتاب به سازه می‌گردد. بنابراین دو پارامتر شتاب و تغییرمکان سیستم جداساز به طور همزمان تحت شتابنگاشت حوزه نزدیک مورد مطالعه قرار گرفتند. برای این منظور سازه دو درجه آزاد با مشخصات فرکانس ω_s ، پریود T_s و میرایی ζ_s و جداگر با مشخصات فرکانس ω_b ، پریود T_b میرایی ζ_b و $\gamma = m/(m + m_b)$ مورد بررسی قرار گرفت (Jangid, 2001). در شکل ۸ تغییرات متوسط شتاب مطلق رو سازه نشان داده شده است.

نتایج حاصل از نمودارهای شکل ۸ نشان می‌دهد با افزایش میرایی، شتاب مطلق سازه ابتدا کاهش و به حداقل مقدار خود می‌رسد و سپس افزایش می‌یابد. همانطور که مشاهده می‌شود، شتاب مطلق روسازه با افزایش انعطاف‌پذیری روسازه افزایش می‌یابد ولی با افزایش انعطاف‌پذیری در جداساز کاهش می‌یابد. این بدان معنی است که در سیستم‌های جداسازی شده، یک مقدار مشخصی میرایی و انعطاف‌پذیری برای جداگر وجود دارد که شتاب سازه به حداقل مقدار می‌رسد. در شکل ۹ تغییرات تغییرمکان در پایه در برابر میزان نسبت میرایی جداگر نشان داده شده است. نتیجه حاصل از شکل ۹ آن است که افزایش میرایی در جداساز مقدار جابه‌جایی جداساز را کاهش می‌دهد. تغییرمکان جداساز با افزایش انعطاف‌پذیری در سیستم جداساز افزایش می‌یابد ولی تغییرات انعطاف‌پذیری روسازه تاثیر بسیار جزئی روی تغییرمکان جداگر دارد. به عبارتی دیگر سختی روسازه تاثیر زیادی در میزان تغییرمکان‌ها ندارد. (Jangid, 2001)



شکل ۸: تغییرات متوسط شتاب مطلق روسازه در برابر نسبت میرایی جداگرها ζ_b برای $\gamma = 0.5$ و $\zeta_s = 0.02$

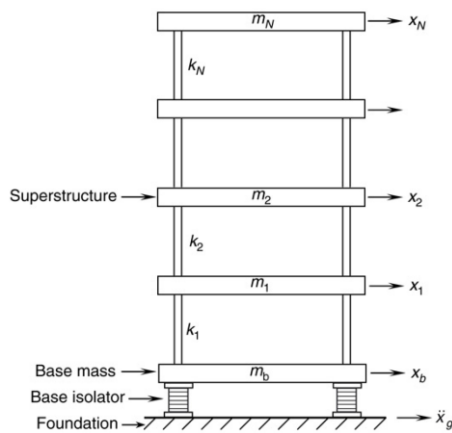


شکل ۹: تغییرات متوسط تغییر مکان جداگر در برابر نسبت میرایی جداگرها ζ_b برای $\gamma = 0.5$ و $\zeta_s = 0.02$

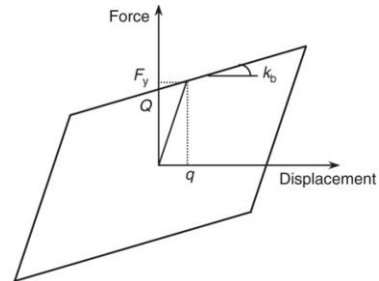
۳-۳- مقاومت تسلیم نرمال شده جداگر F_0

یکی دیگر از پارامترهای مهم در پاسخ سیستم تحت زلزله حوزه نزدیک مقاومت تسلیم نرمال شده F_0 جداگر LRB می باشد که مورد بررسی قرار گرفته است (Jangid, 2007). برای این منظور از ساختمان N طبقه مجهز به جداگر LRB که در شکل ۱۰a نشان داده شده است، ضمناً رفتار نیرو تغییر مکان LRB در شکل ۱۰b نشان داده شده است.

a)



b)



شکل ۱۰: (a) مدل ساختمان N طبقه جداسازی مجهز به LRB (b) رفتار نیرو تغییر مکان LRB

پارامتر F_0 مقاومت تسلیم نرمال شده می‌باشد و مطابق رابطه ۴ تعریف می‌شود.

$$F_0 = \frac{F_y}{W} \quad (۴)$$

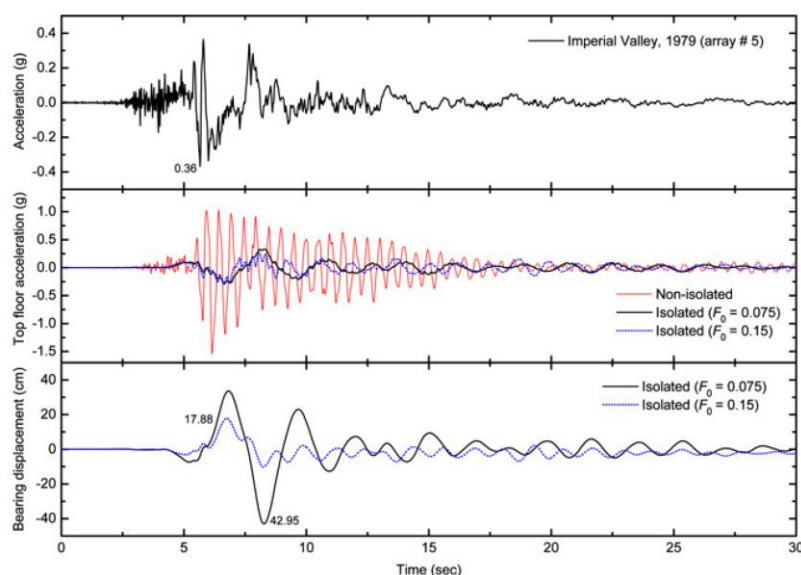
که در آن F_y مقاومت تسلیم جداگر و W وزن کل ساختمان جداسازی شده می‌باشد. نسبت میرایی ζ_b و فرکانس جداساز ω_b ، پریود جداساز پایه T_b از روابط ۵ تعیین می‌گردد.

$$\zeta_b = \frac{c_b}{2m\omega_b}, \quad \omega_b = \frac{2\pi}{T_b}, \quad T_b = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k_b}} \quad (۵)$$

۳-۳-۱- تاثیر F_0 در پاسخ سازه جداسازی شده

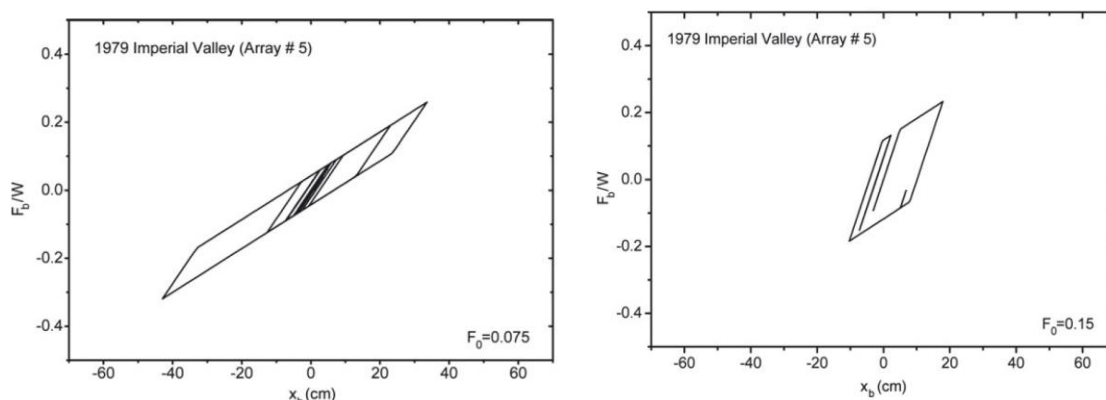
سازه مورد نظر تحت ۶ دسته شتابنگاشت زلزله حوزه نزدیک قرار گرفت. پاسخ سازه تحت این دسته زلزله برای $F_0 = 0.075$ و دو برابر آن یعنی $F_0 = 0.15$ تعیین شد. با بررسی شکل ۱۱ نتیجه می‌شود که افزایش F_0 به شدت از میزان تغییرمکان جانبی می‌کاهد. این نکته بیان می‌دارد که افزایش F_0 در زلزله حوزه نزدیک می‌تواند مقدار تغییرمکان را به طور عمده‌ای کنترل کند بدون اینکه شتاب بیشتری به سازه اعمال گردد. (Jangid, 2007)

نمودار رفتار حلقه هیستریزس نیرو تغییرمکان برای $F = 0.075$ و $F_0 = 0.15$ در شکل ۱۲ ترسیم شده است. همانطور که این شکل مشاهده می‌شود در $F_0 = 0.075$ تغییرمکان جداگر و شکل‌پذیری خیلی بیشتر از $F_0 = 0.15$ می‌باشد. عملکرد بهتر جداساز LRB در مقاومت تسلیم بالاتر می‌تواند مربوط به سخت‌شدگی که توسط مقاومت تسلیم بالاتر تحت زلزله حوزه نزدیک حاصل می‌گردد باشد. در نتیجه این سخت‌شدگی پریود سازه جداسازی شده از پریود بلند پالس‌ها فاصله می‌گیرد. (Jangid, 2007)



شکل ۱۱: شتابنگاشت زلزله Imperial Valley تغییرات شتاب مطلق بام و تغییر مکان جداگر

برای مقادیر نسبتاً کوچک مقاومت تسلیم جداساز، پریود موثر سازه جداسازی شده حدود ۲/۵ ثانیه است که به مقدار زیادی نزدیک زمان تناوب پالس جداگر می‌باشد. بنابراین مقاومت تسلیم LRB بایستی چنان باشد که وقتی که تسلیمی در هسته سربی ایجاد نمی‌شود صلبیت اولیه کافی داشته باشد. (2007.Jangid)

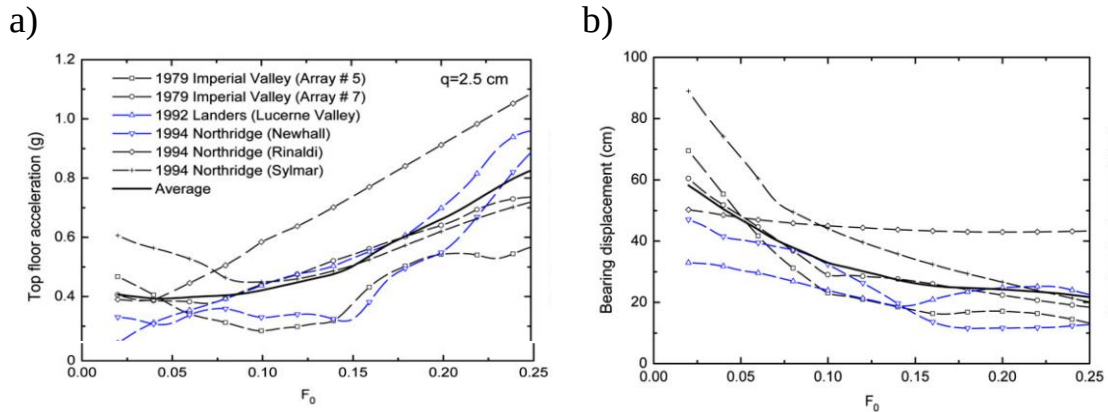


شکل ۱۲: نمودار رفتار حلقه هیستریزس نیرو تغییرمکان جداگر LRB برای سطوح تسلیم $F_0 = 0.075$ و $F_0 = 0.15$ در زلزله Imperial Valley

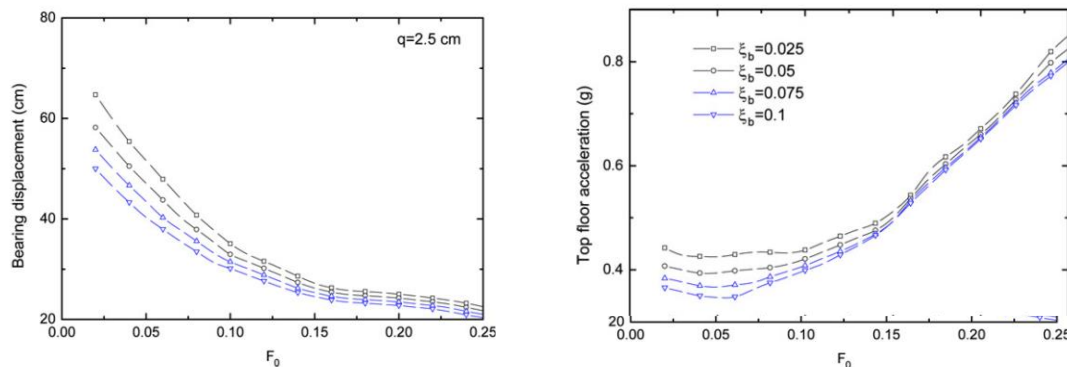
۳-۲-۳- تعیین میزان بهینه F_0

برای تعیین مقدار بهینه F_0 به ترتیب مقدار حداکثر شتاب طبقه بالا و تغییرمکان جداگر را در برابر مقاومت تسلیم نرمال شده F_0 تحت زلزله‌های حوزه نزدیک در شکل‌های ۱۳a و ۱۳b نشان داده شده است. با مشاهده این شکل‌ها نتیجه می‌شود که مقدار مشخصی از F_0 وجود دارد که در آن مقدار شتاب مطلق طبقه فوقانی به کمترین مقدار خود می‌رسد. مقدار مینیمم F_0 حدود ۰/۰۴ برای $q = 2.5$ cm می‌باشد. با افزایش F_0 مقدار تغییرمکان جداساز تحت زلزله حوزه نزدیک روندی کاهشی دارد. (2007.Jangid)

در شکل ۱۴ تغییرات متوسط حداکثر شتاب مطلق طبقه بام و تغییرمکان جداگر در برابر F_0 برای نسبت‌های میرایی مختلف $\zeta_b = 0.025, 0.05, 0.075, 0.1$ نشان داده شده است. همانطور که در شکل ۱۴ مشاهده می‌شود، میرایی جداگر LRB تاثیر خیلی زیادی روی پاسخ حداکثر (به غیر از برای F_0 های کوچک) تحت زلزله حوزه نزدیک ندارد.



شکل ۱۳: پاسخ سیستم در برابر مقاومت تسلیم نرمال شده (a) تغییرات شتاب طبقه بالا (b) تغییرات تغییر مکان جداگر



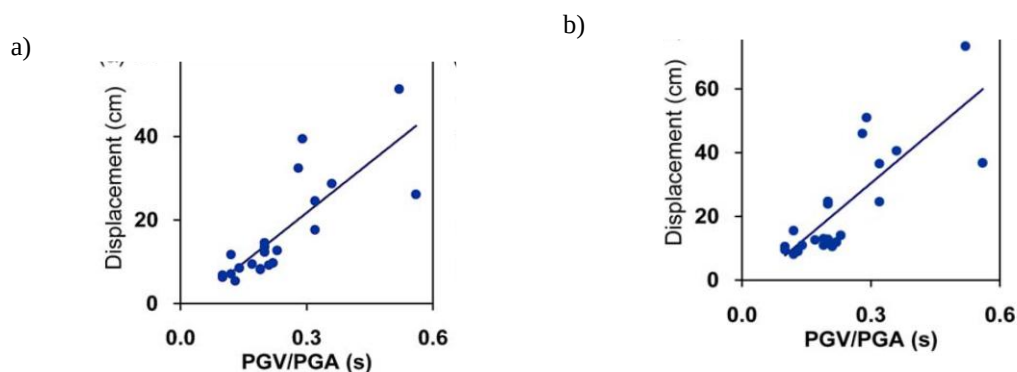
شکل ۱۴: تغییرات متوسط حداکثر شتاب طبقه فوقانی و تغییرمکان جداگر در برابر F_0 برای نسبت‌های مختلف میرایی

بنابراین می‌توان گفت در طراحی جداساز LRB، مقدار بهینه F_0 برای LRB کمی بیشتر از مقدار F_0 مربوط به شتاب حداقل طبقات برای دستیابی به بیشترین مقدار جداسازی با کمترین مقدار تغییرمکان طبقات می‌باشد. این مقدار F_0 حدود ۰/۱۵ الی ۰/۱ در نظر گرفته می‌شود.

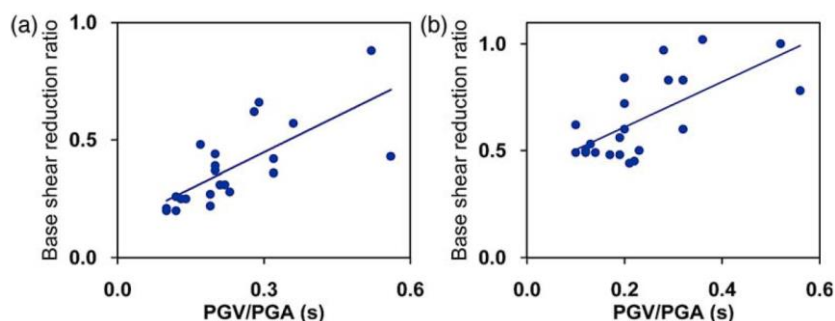
۳-۴- نسبت حداکثر سرعت زمین به حداکثر شتاب زمین

یکی دیگر از عوامل تاثیرگذار بر پاسخ سازه جداسازی شده تحت زلزله حوزه نزدیک مقدار نسبت حداکثر سرعت زمین به حداکثر شتاب زمین PGV/PGA می‌باشد. برای بررسی میزان تاثیر این عامل از دو تیپ سازه با پریود کوتاه و متوسط استفاده شده است (2004.Wen-I Liao). پاسخ تغییرمکان و برش پایه هر دو سازه با پریود متوسط و کوتاه شدیداً به مقدار PGV/PGA وابسته است. این موضوع در شکل ۱۵ نشان داده شده است.

در شکل ۱۶ تغییرات نسبت کاهش برش پایه تحت زلزله حوزه نزدیک در برابر PGV/PGA نشان داده شده است. بنابراین مقدار PGV/PGA به عنوان پارامتر کلیدی برای کنترل مشخصات پاسخ پل‌ها تحت زلزله حوزه نزدیک تعریف می‌شود. برش پایه پل‌های جداسازی شده به طور چشمگیری تحت تاثیر این پارامتر قرار دارد (2004.Wen-I Liao).



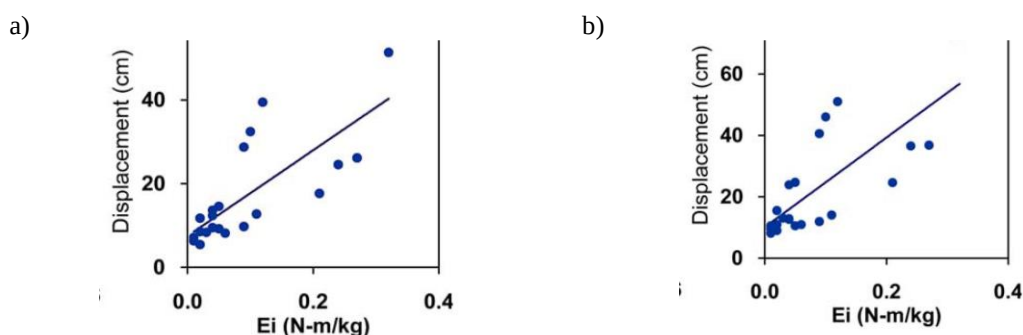
شکل ۱۵: تغییرات دیررفت جداگر تحت زلزله حوزه نزدیک در برابر PGV/PGA (a) سازه با پریود کوتاه (b) سازه با پریود متوسط



شکل ۱۶: رابطه نسبت کاهش برش پایه تحت زلزله حوزه نزدیک در برابر PGV/PGA (a) سازه با پریود کوتاه (b) سازه با پریود بلند

۳-۵- انرژی ورودی

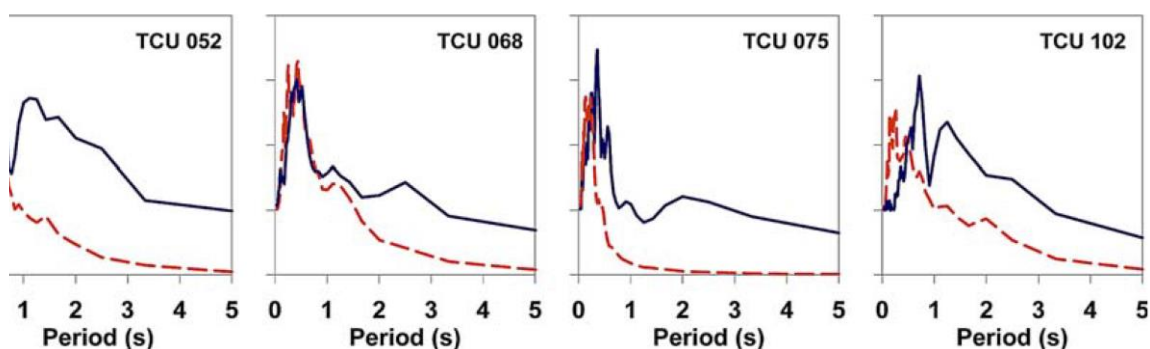
یکی از ویژگی‌های زلزله حوزه نزدیک که می‌تواند بر پاسخ سازه جداسازی شده تاثیر بگذارد میزان انرژی ورودی زلزله است. در شکل ۱۷ تغییرات تغییرمکان جداگر تحت زلزله حوزه نزدیک در برابر انرژی ورودی زلزله نشان داده شده است. با افزایش انرژی ورودی زلزله میزان تغییرمکان جداگر افزایش می‌یابد. (2004.Wen-I Liao)



شکل ۱۷: تغییرمکان جداگر تحت زلزله حوزه نزدیک در برابر انرژی ورودی (a) سازه با پریود کوتاه (b) سازه با پریود بلند

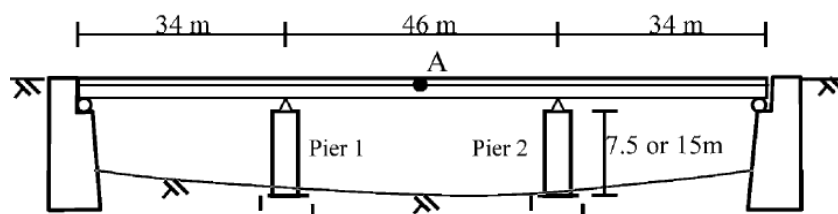
۴- مقایسه رفتار دینامیکی پل‌های جداسازی شده و نشده تحت تاثیر زلزله حوزه نزدیک

زلزله‌های حوزه نزدیک توسط جنبش زمین به همراه پالس‌های سرعت که در حین زلزله انرژی زیادی را به سازه وارد می‌نماید تعریف می‌شوند. میزان سرعت حرکت زمین در حوزه نزدیک در مقایسه با زلزله حوزه دور، به مراتب بیشتر می‌باشد. حرکت زمین در حوزه نزدیک پالس‌های بزرگ سرعت با پریود بلند به سازه منتقل می‌نماید که می‌تواند برای سازه‌های با پریود بلند نظیر سازه‌های جداسازی شده بحرانی باشد. در شکل ۱۸ طیف شتاب نرمال شده با میرایی ۵ درصد برای زلزله حوزه دور و نزدیک نمایش داده شده است. همانطور که در شکل ۱۸ مشاهده می‌شود، زلزله حوزه نزدیک در دوره تناوب‌های بزرگ دارای پالس‌های شتاب قابل توجه می‌باشد. (2004.Wen-I Liao)



شکل ۱۸: مقایسه طیف شتاب نرمال شده برای زلزله ورودی حوزه نزدیک (خط پر) و زلزله ورودی حوزه دور (خط چین)

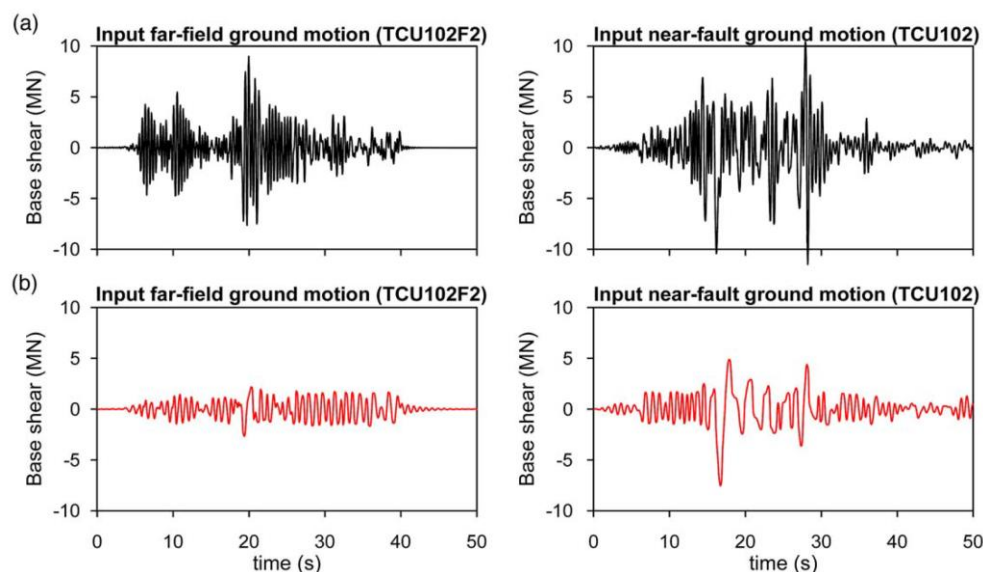
برای بررسی رفتار پل‌های تحت اثر زلزله حوزه نزدیک، دو نوع پل با پریودهای کوتاه و متوسط در نظر گرفته شد و به ترتیب با نام پل تیپ A و B نامگذاری گردید. نمایی از این پل در شکل ۱۹ نشان داده شده است. مقطع عرضی عرشه پل از نوع جعبه‌ای و جداسازهای لرزه‌ای از نوع LRB می‌باشد که رفتار هیستریزیس برای آنها در نظر گرفته شده است. در ضمن از تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی برای تعیین شتاب، برش پایه، تغییرمکانها و ... استفاده شده است. (2004.Wen-I Liao)



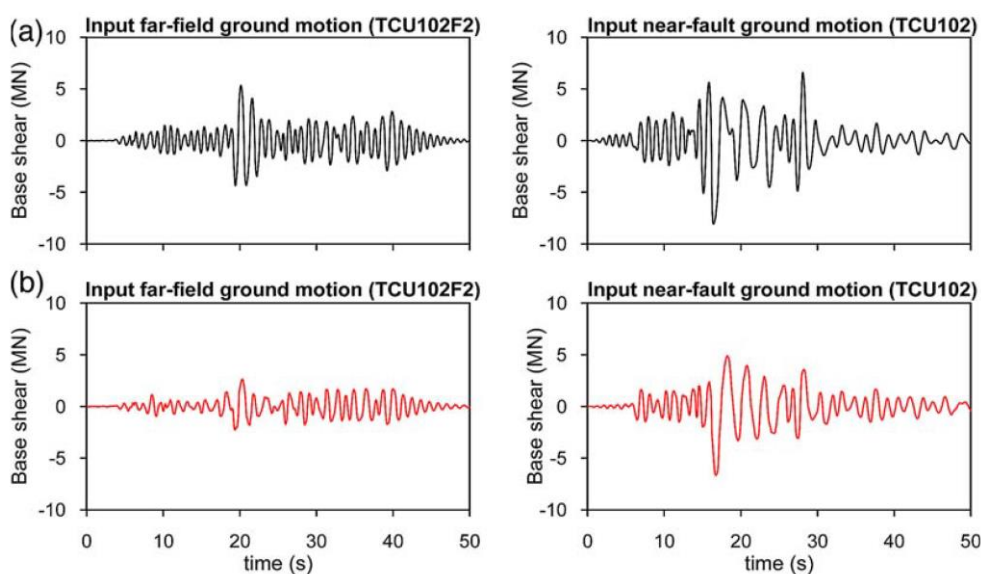
شکل ۱۹: پل سه دهانه با تیرهای پیوسته

اثر کاهش برش پایه پل‌های با جداسازی لرزه‌ای تحت زلزله حوزه دور بسیار بیشتر از زلزله حوزه نزدیک می‌باشد. برای پل‌های جداسازی شده تیپ B (پریود متوسط) که تحت زلزله حوزه نزدیک قرار گرفته‌اند، جداسازی لرزه‌ای تاثیر کمی در کاهش نیروی برش پایه دارد و این موضوع در شکل ۲۰ و ۲۱ نشان داده شده است. در ضمن هر دو تیپ پل‌های جداسازی شده در زلزله حوزه دور پاسخ کمتری نسبت به سازه‌های جداسازی نشده دارند. (2004.Wen-I Liao)

همانطور که در شکل ۲۰ و ۲۱ مشاهده می‌گردد، نیروی برش پایه در زلزله حوزه نزدیک پل‌های جداسازی شده با پریود کوتاه (پل‌های تیپ A) کاهش بیشتری نسبت به پل‌های جداسازی شده با پریود متوسط (پل‌های تیپ B) دارند و بنابراین جداسازی در پل‌های پریود متوسط (پل‌های تیپ B) در زلزله حوزه نزدیک خیلی تاثیر گذار نیست. (2004.Wen-I Liao)

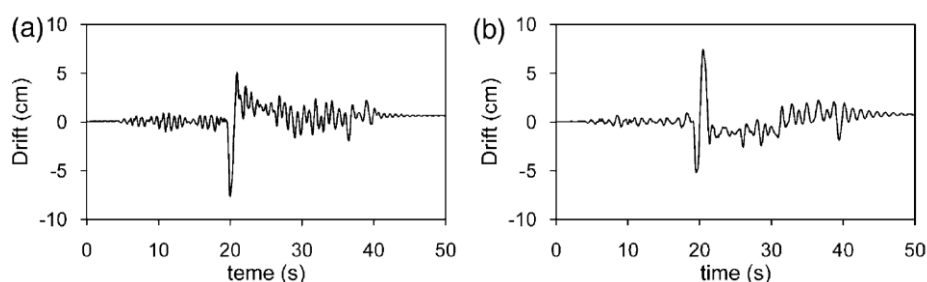


شکل ۲۰: مقایسه برش پایه در راستای طولی در پل‌های تیپ A (پریود کوتاه) تحت زلزله حوزه نزدیک و دور (a) پل جداسازی نشده (b) پل جداسازی شده

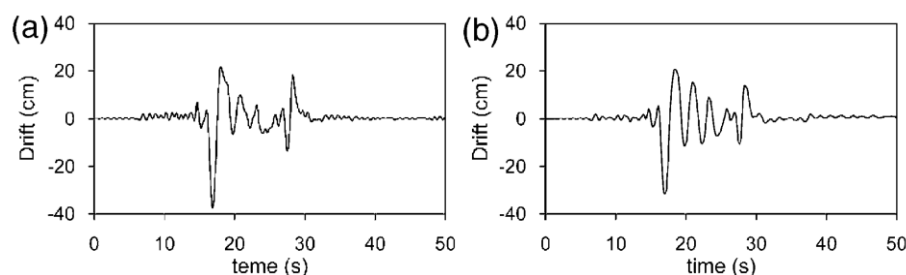


شکل ۲۱: مقایسه برش پایه در راستای طولی در پل‌های تیپ B (پریود متوسط) تحت زلزله حوزه نزدیک و دور (a) پل جداسازی نشده (b) پل جداسازی شده

تغییر مکان نسبی جداگر تحت زلزله حوزه دور و نزدیک به ترتیب در شکل‌های ۲۲ و ۲۳ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌گردد، تغییر مکان نسبی پل‌های جداسازی شده که تحت تاثیر زلزله حوزه نزدیک قرار گرفته‌اند بسیار بیشتر از پل‌های جداسازی شده که تحت تاثیر زلزله حوزه دور می‌باشد. به عبارتی پاسخ دینامیکی سازه‌های جداسازی شده (با پریود بلند) زمانیکه که تحت تاثیر پالس‌های پریود بلند زلزله حوزه نزدیک قرار می‌گیرند تشدید می‌شوند. (2004.Wen-I Liao)



شکل ۲۲: تغییر مکان نسبی جداگر تحت زلزله حوزه دور (a) پل با پریود کوتاه (تیپ A) (b) پل با پریود متوسط (تیپ B)

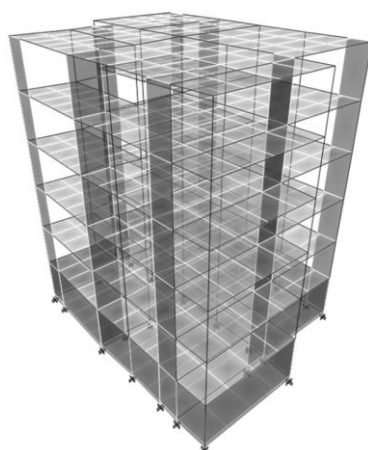


شکل ۲۳: تغییر مکان نسبی جداگر تحت زلزله حوزه نزدیک (a) پل با پریود کوتاه (تیپ A) (b) پل با پریود متوسط (تیپ B)

(i)

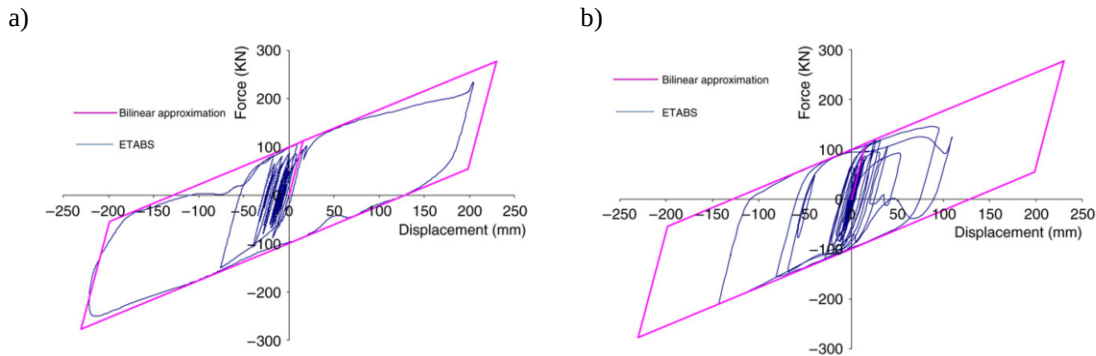
۵- استفاده از میراگرهای ویسکوز الحاقی در ساختمانهای جداسازی شده توسط LRB جهت کنترل آثار زلزله حوزه نزدیک

استفاده از میراگر ویسکوز الحاقی به عنوان یک راهکار برای مقابله با اثرات نامطلوب زلزله حوزه نزدیک در سازه‌های جداسازی شده معرفی شده است. برای این منظور برای ترکیبات مختلف ضریب میرایی میراگر ویسکوز C و پریودهای مختلف سازه جداسازی شده (تغییر در تعداد لایه‌های لاستیک باعث تغییر در سختی جانبی پریود سیستم می‌گردد و به نحوی است که $1.5 \text{ sec} \leq T \leq 2.5 \text{ sec}$ قرار گیرد)، مقادیر پاسخ تغییر مکان نسبی طبقات و جداگرها برای ساختمان ۶ طبقه نشان داده شده در شکل ۲۴ با استفاده از تحلیل غیرخطی تاریخچه زمانی برای دو دسته زلزله حوزه نزدیک و حوزه دور تعیین گردیده است و نتایج با یکدیگر مقایسه شده‌اند. (2008.C.P. Providakis)



شکل ۲۴: نمایی از ساختمان جداسازی شده مورد بررسی

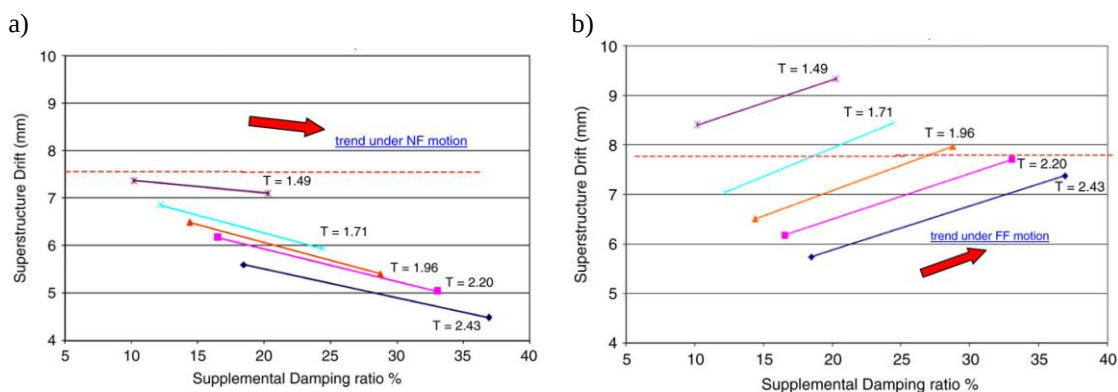
با بررسی رفتار هیستریزیس نیرو تغییر مکان در شکل ۲۵، مشاهده می‌شود تغییر مکان‌های زلزله‌های حوزه نزدیک خیلی بیشتر از زلزله‌های حوزه دور می‌باشد.



شکل ۲۵: چرخه نیرو تغییرمکان ساختمان جداسازی شده توسط LRB (a) زلزله حوزه نزدیک (b) زلزله حوزه دور

جهت بررسی میزان تاثیرگذاری میراگر ویسکوز الحاقی به سازه‌های جداسازی شده تحت زلزله حوزه نزدیک، روند تغییرات تغییرمکان نسبی طبقات در برابر میزان تغییرات میرایی جداگر ویسکوز الحاقی برای پیوندهای اصلی مختلف سیستم جداسازی شده برای زلزله حوزه نزدیک و زلزله حوزه دور در شکل ۲۶ نشان داده شده است. از مقایسه شکل‌های ۲۶a و ۲۶b نتیجه می‌شود تغییرمکان نسبی طبقات با افزایش میرایی میراگر ویسکوز الحاقی برای زلزله حوزه نزدیک کاهش می‌یابد ولی برای زلزله حوزه دور تغییرمکان نسبی طبقات با افزایش میرایی میراگر ویسکوز الحاقی افزایش می‌یابد. برای زلزله حوزه نزدیک و زلزله حوزه دور با افزایش پیوند تغییرمکان نسبی بین طبقات کاهش می‌یابد.

چنانچه برای کنترل تغییرمکان‌های زیاد حاصل از زلزله حوزه نزدیک مقادیر میرایی زیادی استفاده شود، سطح میرایی برای جنبش‌های کوچکتر بسیار زیاد خواهد بود و چنانچه سازه یک زلزله متوسط ناشی از زلزله حوزه دور را تجربه نماید سیستم جداساز موثر نخواهد بود. این نکته خیلی مهم است چون مقدار زیاد تغییرمکان نسبی در میرایی‌های بالای میراگر ویسکوز الحاقی در زلزله حوزه دور (زلزله‌های کوچک و متوسط) ممکن است به مراتب بزرگتر از تغییرمکان نسبی حوزه نزدیک گردد و ممکن است اهداف مطلوب اولیه استفاده از جداساز که همان کاهش تغییرمکان نسبی طبقات است از بین برود. بنابراین با انتخاب یک میرایی و پیوند مناسب می‌توان مقدار پاسخ را در زلزله حوزه نزدیک و زلزله حوزه دور کاهش داد. با توجه به شکل ۲۶ در $T = 2/43$ ثانیه و میرایی ویسکوز ۱۸٪ الی ۱۷٪ $\zeta = 17\%$ پاسخ سیستم در هر دو زلزله حوزه نزدیک و زلزله حوزه دور کوچک است. (2008.C.P. Providakis)



شکل ۲۶: روند تغییرات تغییرمکان نسبی طبقات سازه در برابر میرایی‌های مختلف میراگر ویسکوز الحاقی در پیوندهای مختلف سازه (a) زلزله حوزه نزدیک (b) زلزله حوزه دور

۶- نتیجه گیری

سیستم جداسازی شده تحت تاثیر زلزله حوزه دور باعث شیفیت پریود می‌گردد و در نتیجه باعث کاهش پاسخ سیستم می‌گردد در صورتی که در زلزله حوزه نزدیک پاسخ سیستم جداسازی لرزه‌ای به خصوص در سازه‌های با پریود متوسط و بلند نه تنها کاهش نمی‌یابد بلکه ممکن است تشدید گردد.

بنا بر مطالعات انجام شده میتوان به نتایج زیر اشاره نمود:

۱- تغییرشکل برآیند جداساز تقریباً با تغییرشکل جداساز تحت اثر مولفه عمود بر گسل برابر است و با تغییرشکل جداساز تحت مولفه موازی با گسل تفاوت عمده‌ای دارد.

۲- تغییرمکان برآیند جداگر تنها با اضافه نمودن ۵ درصد به تغییرمکان مولفه عمود بر گسل حوزه نزدیک برای در نظر گرفتن اثر مولفه موازی با گسل بدست می‌آید.

۳- برای زلزله حوزه نزدیک که دارای PGA های بزرگ هستند، جداگرهای LRB که دارای سختی اولیه $k_{initial}$ نرمتری هستند اتلاف انرژی بیشتری حاصل می‌گردد. (با فرض k_b ثابت).

۴- در مورد جداگرهای لاستیکی با رفتار نیرو تغییرمکان خطی یک میرایی به خصوصی وجود دارد که میزان شتاب حاصل از زلزله حوزه نزدیک در آن به حداقل مقدار می‌رسد. افزایش میرایی باعث کاهش تغییرمکان جداگر می‌گردد و ضمناً افزایش پریود جداگر باعث افزایش تغییرمکان جداگر می‌گردد.

۵- در طراحی جداساز، مقدار بهینه F_0 برای LRB مقداری است که مقاومت تسلیم F_0 به مقدار کمی بیشتر از مقدار F_0 مربوط به شتاب حداقل طبقات و دارای حداقل مقدار تغییر مکان باشد. مقاومت تسلیم نرمال شده بهینه LRB تحت زلزله حوزه نزدیک بر اساس معیار حداقل سازی شتاب مطلق طبقه فوقانی و تغییر مکان جداساز، حدود ۱۰٪ الی ۱۵٪ وزن کل سازه بدست آمد. تغییرمکان جداساز در مقاومت تسلیم بهینه با افزایش انعطاف پذیری جدا ساز و روسازه افزایش می‌یابد.

۶- میرایی جداگر LRB تاثیر زیادی روی پاسخ حداکثر (به غیر از برای F_0 های کوچک) تحت زلزله حوزه نزدیک ندارد.

۷- افزایش نسبت سرعت حداکثر زلزله به شتاب حداکثر زلزله و همچنین انرژی ورودی زلزله حوزه نزدیک، باعث افزایش مقدار تغییرمکان روسازه و برش پایه می‌گردد.

۸- استفاده از میراگر ویسکوز الحاقی از طریق کاهش تغییرمکان نسبی به عنوان یک راهکار جهت کاهش اثر منفی جداسازی در زلزله حوزه نزدیک پیشنهاد می‌گردد. به عبارت دیگر جداگرها + میراگر ویسکوز الحاقی، تغییرمکان‌های بزرگ حوزه نزدیک را کنترل می‌نماید.

۹- اگر چه اثر میراگرهای ویسکوز الحاقی تحت زلزله حوزه دور، تغییرمکان‌های پایه را کاهش می‌دهد ولی شتاب رو سازه را افزایش می‌دهد و ممکن است باعث ایجاد خرابی در سیستم جداسازی شده گردد. با انتخاب مقادیر مناسب برای میرایی میراگر ویسکوز الحاقی، حدود ۱۷٪ یا ۱۸٪ و پریود سیستم جداسازی شده حدود ۲/۵ ثانیه، پاسخ دینامیکی سیستم برای هر دو زلزله حوزه نزدیک و دور کاهش می‌یابد.

منابع

- 1- C.P. Providakis. (2008). Effect of LRB isolators and supplemental viscous dampers on seismic isolated buildings under near-fault excitations. Engineering Structures.
- 2- Chopra AK, Chintanapakdee C. (2001). Comparing response of SDOF systems to near-fault and far-fault earthquake motions in the context of spectral regions. Earthquake Engineering and Structural.
- 3- Chai JF, Loh CH. (1999). Near-fault ground motion and its effect on civil structures, from theory to practice. Proceedings of the International Workshop on Mitigation of Seismic Effects on Transportation Structures, Taiwan.
- 4- Liao WI, Loh CH, Wan S, Jean WY, Chai JF. (2000). Dynamic responses of bridges subjected to near-fault ground motions. Journal of the Chinese Institute of Engineers.
- 5- Malhotra PK. (1999). Response of buildings to near-field pulse-like ground motions. Earthquake Engineering and Structural Dynamics.
- 6- Naieem F, Kelly JM. (1999). Design of Seismic Isolated Structures. Wiley: New York.

- 7-Nakashima M, Matsumiya T, Asano K. (2000). Comparison in earthquake responses of steel moment frames subjected to near-fault strong motions recorded in Japan, Taiwan and the US. Proceedings of the International Workshop on Annual Commemoration of Chi-Chi Earthquake, Technology Aspect, Taiwan,
- 8- R.I. Skinner, W. H. Robinson, and G. H. McVerry. (1999). An introduction to seismic isolation. Wiley, Chichester.
- 9- R. S. Jangid , J. M. Kelly. (2001). Base isolation for near-fault motions. Earthquake Engineering and Structural Dynamics.
- 10- R.S. Jangid. (2007). Optimum lead-rubber isolation bearings for near-fault motions. Engineering Structures.
- 11- Thomas L. Attard. Kittinan Dhiradhamvit. (2009). Application and Design of Lead-Core Base Isolation for Reducing Structural Demands in Short Stiff and Tall Steel Buildings and Highway Bridges Subjected to Near-Field Ground Motions. Journal of Mechanics of Materials and Structures.
- 12- Wen-I Liao a, Chin-Hsiung Loh, Bor-Han Lee. (2004). Comparison of dynamic response of isolated and non-isolated Continuous girder bridges subjected to near-fault ground motions. Engineering Structures.

بررسی و معرفی دیوار JK و نقش آن در صنعتی سازی ساختمان

سید مهدی زهرایی^۱، بهنام قلیپور خلیلی^۲

۱- استاد دانشکده مهندسی عمران دانشگاه تهران

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد عمران- سازه دانشگاه تهران

b.g.khalili@ut.ac.ir

چکیده

توسعه صنعت ساختمان یکی از مظاهر رشد و توسعه‌ی هر کشوری محسوب می‌شود و امروزه با رشد سریع جمعیت و به تبع آن نیاز روز افزون به مسکن انبوه، استفاده از سیستم های سنتی در امر ساخت و ساز متناسب با نیاز کشور نمیباشد و از طرفی پیشرفت تکنولوژی و ساخت ساختمان به عنوان یک محصول صنعتی، تامین صنعتی مصالح و استفاده از تکنولوژی نوین ساخت و ساز برای افزایش سرعت اجرا و کاهش زمان و هزینه ها امری انکارناپذیر است، لذا در این تحقیق به معرفی، بررسی و کاربردهای اجمالی یکی از جدیدترین سیستم های ساختمانی به نام JK Structure که یک تکنولوژی جدید و انقلابی در صنعت ساختمانی است و در سال ۱۹۸۴ توسط مهندس فرانسوی ابداع شده وهم اکنون به عنوان یک روش ساخت و ساز سریع و مقاوم در عرصه بین المللی مورد بهره برداری قرار می‌گیرد پرداخته شده است.

واژگان کلیدی: صنعتی سازی، فناوری‌های نوین ساختمانی، دیوار JK، بتن سبک

۱- مقدمه

توسعه صنعت ساختمان یکی از مظاهر رشد و توسعه‌ی هر کشوری محسوب می‌شود. امروزه با پیشرفت تکنولوژی و ساخت ساختمان به عنوان یک محصول صنعتی، تامین صنعتی مصالح برای افزایش سرعت اجرا و کاهش هزینه ها امری اجتناب ناپذیر به نظر می‌رسد، در واقع برای تولید مسکن با کیفیت، ارزان و انبوه دیگر روش های سنتی ساخت و ساز جوابگوی تقاضای موجود جامعه نیستند، بنابراین ارتقا کیفیت در تولید مصالح، شیوه های طراحی و اجرا، سرعت بخشیدن به روند ساخت و ساز، رقابت در پیشرفت تکنولوژی، استفاده بهینه از نیروی کار و بهره‌گیری از تکنولوژی‌های نوین ساخت، جز مولفه‌های تاثیرگذار در این صنعت به شمار می‌آید.

در حال حاضر معمولاً میانقابها با اهداف غیر سازه ای و عمدتاً به منظور تقسیم فضا و اغلب با مصالح سنتی در ساختمان ها بکار می روند. طی تحقیقات مختلف نشان داده شده است که این اعضا تاثیر بسزایی بر روی سختی و مقاومت جانبی ساختمان ها داشته و لذا تاثیرات آنها در رفتار لرزه ای ساختمان باید به هنگام تحلیل و طراحی لحاظ گردد (Abdel El Razik et al, 2006; FEMA-306 1998). در ادامه برخی از محققین تلاش نمودند تا با حذف موده‌های نامطلوب شکست میانقاب و افزایش شکل پذیری آن، به نوعی میانقاب مهندسی دست پیدا کنند. از جمله این تحقیقات میتوان به بررسی استفاده از میانقابهایی با شبکه های کامپوزیت پلیمری اشاره کرد (Aref et al 2003). میانقابهای PMC از دو لایه پوشش با پلیمر الیافی و یک لایه هسته از جنس وینیل ساخته میشوند. آزمایشات نشان داده است که استفاده از میانقابهای PMC در درون یک قاب فولادی با اتصالات نیمه صلب، میتواند سختی، مقاومت و جذب انرژی سیستم را تا حد زیادی افزایش دهد. استفاده از یک لایه سربی در بخش زیرین تیر بالایی، از جمله تحقیقات دیگر انجام شده در این زمینه می باشد (Sahota et al 2001). هر چند روش مذکور باعث افزایش مقاومت ترک خوردگی میانقاب می شود، لیکن تاثیر چندانی بر افزایش مقاومت نهایی قاب میان پر ندارد.

لذا در اینجا به معرفی اجمالی نوعی جدیدی دیوار برای میانقاب پیشنهاد شده است، استفاده از سیستم JK یکی از روش های نوین احداث بنا میباشد که اخیراً در کشور مورد توجه قرار گرفته است، البته برای ساخت ساختمانهای تا ۳ طبقه

بدون نیاز به هرگونه سیستم سازه ای دیگری به کار می‌رود، در تحقیق حاضر صرفاً به معرفی دیوار های نوین JK (در ترکیب با قاب خمشی فولادی) به عنوان میانقابی سبک و صنعتی ساز، ضمن استفاده از آنها به منظور المان سازه ای باربر جانبی علاوه بر اهداف غیر سازه ای پرداخته شده است.

با توجه به بررسی های انجام شده، این دیوار در ترکیب با قاب خمشی فولادی علاوه بر رفتار مناسب سازه ای مزایایی از قبیل بالا رفتن سرعت ساخت، کیفیت، دقت و کاهش سهم اجراء سبک سازی، مقاوم سازی برای ساختمان های قدیمی، صرفه جویی در مصالح، کاهش مصرف انرژی در دوران ساخت و بهره برداری و در نتیجه کاهش هزینه‌های ساخت و ساز از جمله آن می‌باشد.

۲- معرفی دیوار JK

JK یک تکنولوژی جدید و انقلابی در صنعت ساختمانی است که در سال ۱۹۸۴ توسط مهندس Joseph Keefer در کشور فرانسه متولد شده و هم اکنون به عنوان یک روش ساخت و ساز سریع و مقاوم در عرصه بین المللی مورد بهره برداری قرار می‌گیرد. این فناوری از بافت فولاد تقویت شده تشکیل یافته است که با تزریق بتن سبک به درون این بافت، استحکام و یکپارچگی پیدا می‌کند، که امکان ایجاد آوار و ریزشهای ناشی از جدایش مصالح در بارهای لرزه ای به حداقل کاهش یافته و اجزای گسیخته شده فرو نمی‌ریزند. دیوار JK متشکل از بتن سبک EPS، پانل، بیم و در صورت نیاز تعدادی میلگرد تقویتی می‌باشد.

- **بتن سبک EPS**: بتنی است که در آن به جای استفاده از سنگ دانه های متداول از دانه های پلی استایرن، ماسه بادی، الیاف، سیمان و در صورت نیاز از سایر افزودنی های بتنی استفاده میشود (شکل ۱). از جمله مهم ترین این مزایا میتوان به شکل پذیری و دوام بالای آن اشاره کرد. نمونه ای از نتایج آزمایش مقاومت فشاری نمونه بتن در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱ - چند نمونه از نتایج آزمایش بتن

وزن مخصوص (گرم بر سانتیمتر مکعب)	مقاومت فشاری نمونه استاندارد مکعبی (کیلوگرم بر سانتیمتر مربع)
۰٫۸	۶۲
۱٫۱	۹۰
۱٫۲	۱۰۲



شکل ۱- بتن سبک مورد استفاده در سیستم JK

- **پانل JK**: شبکه فلزی ساخته شده از ورق فولادی گالوانیزه و به ابعاد مقطع تار ها ۱/۵ * ۵ میلی متر بوده که در دو سفره با فاصله ۸ سانتی متر از هم قرار میگیرند. در ساخت پانل JK هیچ گونه جوش کاری، ذوب کردن یا هر روش دیگر اتصال،

مورد استفاده قرار نمی گیرد. به وسیله یک برش پیوسته ورق ها بریده شده و به صورت ۳ بعدی فرم داده میشوند، در شکل ۲ نمونه ای از پانل JK نشان داده شده است. ابعاد پانل به در جدول ۲.



شکل ۲ - پانل JK

جدول ۲- ابعاد پانل

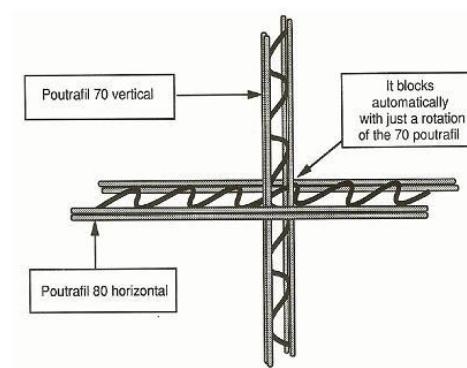
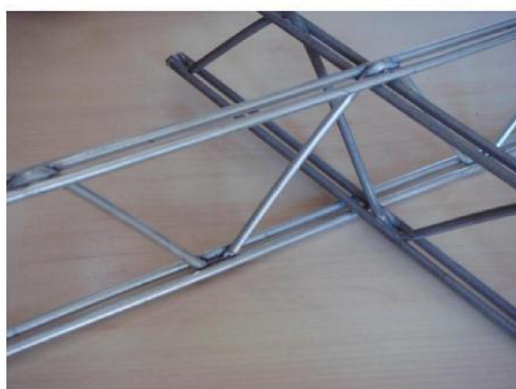
ارتفاع m	عرض m	ضخامت cm	وزن kg
۳	۱/۲	۸	۱۲

- بیم JK : ساختاری خرپا مانند ساخته شده از مفتول های فولادی که هربیم شامل ۵ مفتول به قطر ۴/۵ میلی متر گالوانیزه است که به جهت اضافه کردن مقاومت و سختی به پانل ها به کار می رود، شکل ۳.



شکل ۳ - بیم JK

زیگزاگ بودن جان بیم ها، امکان عبور بیم ها از بین یکدیگر را فراهم آورده و نوعی حالت قفل شدگی را پدید می آورد. شکل ۴.



شکل ۴ - نحوه قفل شدن بیم ها به یکدیگر

۳- ویژگی‌ها و مزایای دیوار JK

از مزیت‌های این سیستم می‌توان به عدم نیاز به نیروی انسانی متخصص و پرتعداد، همچنین کاهش نیاز به تجهیزات سنگین و پیچیده اشاره کرد. مزایای دیگر این سیستم عبارتند از: استفاده بهینه از مصالح، عدم نیاز به ماشین‌آلات سنگین ساختمانی و سرعت اجرای بالا، همگی از عواملی است که در نهایت به کاهش قیمت تمام شده می‌انجامد.

- این سیستم نیازی به مصالح سنتی چون سفال آجر شن و ... ندارد.
- سبکتر از دیوارهای متداول
- کیفیت و دوام بالایی سازه
- کاهش پرت مصالح ساختمانی
- سهولت در حمل و نقل (شکل ۶)
- عدم نیاز به قالب بندی دیوارها (شکل ۵)
- یکپارچه بودن دیوار
- مسلح کردن دیواره‌های تونل
- پایدارسازی شیروانی‌ها
- بهسازی و ترمیم سازه‌های موجود
- قابلیت اجرای طرح‌های معماری متنوع
- مقاومت در برابر رطوبت
- عایق صوت و حرارت



شکل ۵ - عدم نیاز به قالب بندی



شکل ۶ - سهولت در حمل و نقل

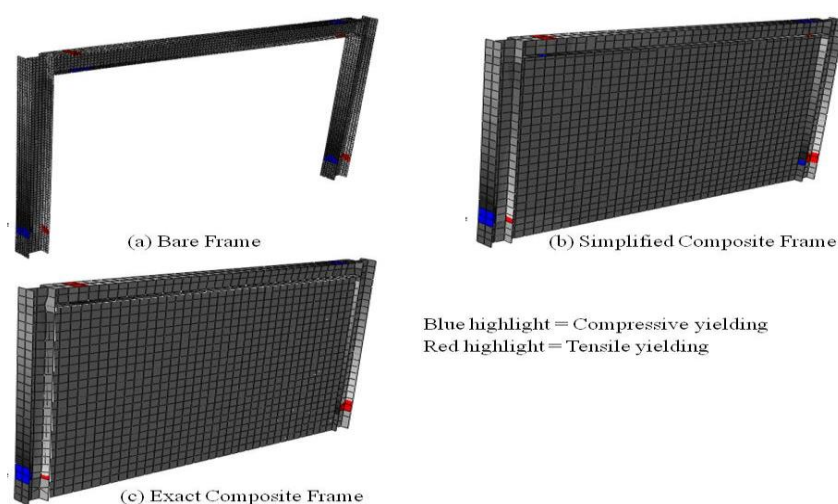
۴- استفاده از دیوار JK به عنوان میانقاب در قاب فولادی

باتوجه به تحقیقات و آزمایشهای انجام شده برای دیوارهای JK [1] شکل پذیری این دیوارها در رده شکل پذیری زیاد قرار میگیرد (نسبت شکل پذیری ۸,۷). در این بخش رفتار ترکیبی دیوار JK با قاب فولادی یک طبقه، یک دهانه بامشخصات جدول ۳ که نتایج حاصل از طراحی یک ساختمان میباشد، در نرم افزار Abaqus تحت بارگذاری مونوتونیک تحلیل شده است.

جدول ۳- مشخصات قاب فولادی

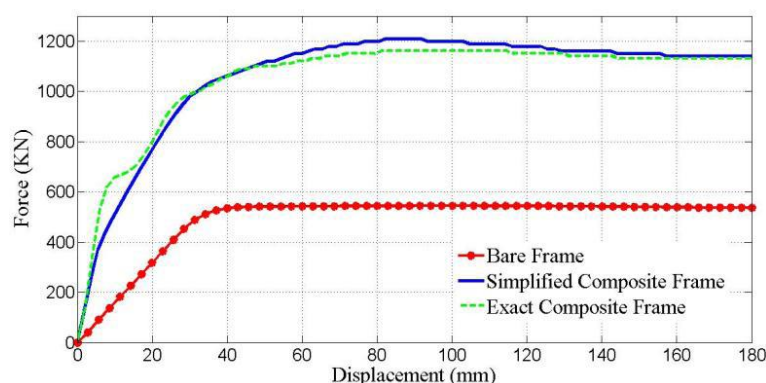
ابعاد تیر	ابعاد ستون	طول دهانه (متر)	ارتفاع (متر)
I-shaped: 3PL300×10mm	I-shaped: 3PL300×20mm	۵/۹	۳/۶

جهت مدل سازی دیوار JK در نرم افزار Abaqus از دو روش استفاده شده است: (شکل ۷) روش دقیق (exact): در این روش دیوار JK با استفاده از المان solid مدل شده و اتصال دیوار و قاب با استفاده از برشگیرهایی به فاصله ۳۰ سانتی متر از هم تامین شده است. همچنین در این حالت اندرکنش میانقاب و قاب نیز در نظر گرفته شده است. روش ساده شده (simplified): در این حالت دیوار JK با استفاده از المان shell مدل شده و فرض شده که لبه های دیوار کاملاً توسط قاب مقید شده است.



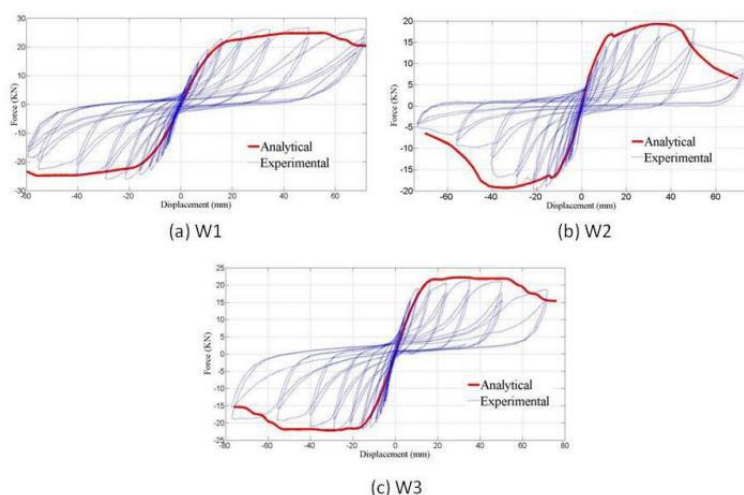
شکل ۷- مدل سازی در نرم افزار Abaqus

در شکل ۸ منحنی ظرفیت سیستم ترکیبی و قاب خمشی فولادی نشان داده شده است. همانطوریکه مشاهده می شود استفاده از دیوار JK به عنوان میانقاب، سبب بهبود ظرفیت سازه و افزایش سختی آن می شود.



شکل ۸- منحنی‌های ظرفیت قاب خالی وقاب توپر

در پایان نتیجه می‌شود که ظرفیت باربری این سیستم ترکیبی نسبت به حالت قاب تنها افزایش قابل ملاحظه‌ای یافته است و همچنین با توجه به افزایش سختی و مقاومت جانبی سازه در حالت ترکیبی، با استفاده از این دیوارها میتوان نیروی جانبی وارده به قاب خالی را کاهش داده و حتی برای تقویت قاب‌های فولادی نیز روش مناسبی می‌باشد. صحت سنجی بر اساس نتایج آزمایشگاهی دیوارهای JK که توسط موسوی و همکاران [1] انجام گرفته، انجام شد (شکل ۹).



شکل ۹- اعتبارسنجی نتایج مدل سازی عددی با نتایج آزمایشگاهی برای دیوار JK

۵- نتیجه گیری

از آن جایی که ساخت وساز بزرگترین بخش اقتصاد کشور است، لذا با صنعتی سازی ساختمان شاخص‌های اساسی نظیر منابع ملی، زمان، کیفیت، مصرف بهینه انرژی و هزینه مدیریت میشود؛ همچنان که در این تحقیق بررسی شد و براساس نتایج حاصله با استفاده از دیوارهای JK برای میانقاب ضمن استفاده جهت جداسازی فضاها، سبک سازی بار مرده ساختمان، عایق سازی جهت حفظ انرژی و... با این فناوری نوین، میتوان به عنوان المان سازه‌ای باربر جانبی نیز در داخل قاب با توجه به سختی، شکل پذیری و رفتار مناسب و پیوستگی جهت حفظ انسجام دیوار در ریزش آوار استفاده شود، که باعث کاهش مصرف فولاد در ساختمان میشود و هم توانسته ایم از میانقاب‌ها به صورت بهینه استفاده کرده باشیم. همچنین در ساختمان‌هایی که نیاز به بهسازی دارند نیز میتواند استفاده شود.

منابع

1. Mousavi SA, Zahrai SM, Bahrami-Rad A, (2013), *Quasi-static cyclic tests on super-lightweight EPS concrete shear walls*, Engineering Structures, accepted for publication.
2. Mousavi SA, Bahrami-Rad A (2013), *JK panel, a novel three dimensional interconnected reinforcement for concrete shear walls*, *Applied Mechanics and Materials*, Vols. 256-259, pp 629-634.
3. M. Bruneau, T. Bhagwagar , *Seismic retrofit of flexible steel frames using thin infill panels*, Engineering Structures 24 (2002) 443.
4. Federal Emergency Management Agency (FEMA). (2007). *"Interim Testing Protocols for Determining the Seismic Performance Characteristics of Structural and Nonstructural Components"*, FEMA 461, Washington, D.C.
5. M. Abdel El Razik, A. Asran and A. Abdel Hafiz, *Effect of Infill Walls on the Performance of Multi-Storey Building during Earthquakes*, 1st International Structural Specialty Conference Calgary, Alberta, Canada, May 23-26, 2006.
6. Jung, W.Y. and Aref, A.J. (2005), *Analytical and numerical studies of polymer matrix composite sandwich infill panels*, Journal of Composite Structures, p p 359-370.
7. M.K. Sahota, J.R. Riddington, *Experimental investigation into using lead to reduce vertical load transfer in infilled frames*, Engineering Structures. Vol. 23, pp. 94-101, 2001.
8. FEMA306, 1998, *Evaluation of earthquake damaged concrete and masonry wall buildings, Basic procedures manual* , Prepared by the Applied Technology Council (ATC43 project) Redwood City, California, funded by federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.
9. Abaqus Version 9.11. (2011). Dassault Systemes Simulia Corp., Providence, RI.
10. SAP Version 14.2.2 (2010). Computers and Structures, Inc. , CA.

شبیه سازی عددی ویژگی های انتقال حرارت جریان الکترواسموتیک درون یک میکروکانال دوبعدی تحت تاثیر میدان های الکتریکی و مغناطیسی

عرضی

بهنام مقیمی مفرد آبدگاه^{۱*}، محسن ثقفیان^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی اصفهان b.moghimim@me.iut.ac.ir

۲- دانشیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی اصفهان saghafian@cc.iut.ac.ir

چکیده

در این مقاله با استفاده از یک شبیه سازی عددی و به کمک روش حجم محدود ابتدا ویژگی های حرارتی جریان سیال تحت تاثیر یک میدان مغناطیسی تنها و عمود بر محور میکروکانال دوبعدی (هیدرودینامیک مغناطیسی)، برای مقادیر مختلف عدد هارتمن مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه ویژگی های حرارتی جریان محلول الکتروولیت تحت تاثیر ترکیب دو میدان الکتریکی، یکی در راستای محور میکروکانال (جریان الکترواسموتیک) و دیگری در راستای عمود بر محور کانال، و یک میدان مغناطیسی عمود بر محور کانال و با کمک معادله پواسون-بولتزمن مورد بررسی قرار گرفته شد. نتایج نشان می دهد که به طور کلی حضور میدان مغناطیسی تاثیر قابل توجهی بر پروفیل دمای بدون بعد جریان دارد و باعث زیاد شدن دمای بدون بعد خصوصا در مرکز میکروکانال می شود. اما در زمانی که میدان الکتریکی عرضی وجود دارد، افزایش میدان مغناطیسی تا یک مقدار خاصی باعث کاهش دمای بدون بعد سیال می شود و از آن به بعد روند افزایش دمای بدون بعد سیال با افزایش میدان مغناطیسی شروع می شود.

واژگان کلیدی: هیدرودینامیک مغناطیسی، الکترواسموتیک، محلول الکتروولیت، پواسون-بولتزمن

۱- مقدمه

بسیاری از اثرات کوچک شدن اندازه ها در سیستم های میکروسیالاتی به علت افزایش نسبت سطح به حجم می باشد. همین امر منجر به افزایش نیروهای سطحی می شود که افت فشارهای شدید و اتلاف ویسکوز را تولید می کند. در میکروکانال ها، نسبت طول کانال به قطر هیدرولیکی بالا، منجر به گرادیان های فشار بزرگ و سرعت های زیاد می شود که به علت اتلاف ویسکوز منجر به افزایش اصطکاک و در پی آن انرژی گرمایی می شود. از آنجایی که وظیفه ی بسیاری از سیستم های میکروسیالاتی خنک کاری می باشد، اتلاف ویسکوز یک عامل محدود کننده می باشد. اهمیت افزایش انتقال گرما در بهینه سازی عملکرد وسایل مختلف از جمله مبدل های حرارتی، افزایش راندمان، کاهش اتلاف انرژی و بالا بردن عملکرد قطعات الکترونیکی و پردازنده ها به خوبی روشن است. طی سالیان متمادی تلاش های زیادی برای رسیدن به انتقال حرارت بیشتر در حوزه علوم و مهندسی صورت پذیرفته است و پژوهشگران با بکار بردن روش های مختلف برای رسیدن به این هدف تلاش کرده اند. دستیابی به نرخ های بالاتری از انتقال گرما، موجب بالا رفتن کارایی دستگاه حرارتی و نیز کاهش اندازه آن در بارهای حرارتی مشخص، خواهد شد و از این جهات موجبات افزایش صرفه اقتصادی، کاهش مواد مصرفی در ساخت وسایل و صرفه جویی در مصرف انرژی را فراهم خواهد ساخت. مناسب ترین راه ایجاد جریان در میکرو و نانو کانال ها اعمال میدان های خارجی بر روی کانال است. این روش بر پایه پدیده الکتروکینیتیک در یک جریان ابداع شده است که کاربردهای فراوانی چه در زمینه های غیرپزشکی مانند پمپ کردن یک سیال، یونیزه کردن سیالات، اختلاط سیالات، جداسازی ناخالصی های درون مواد، کنترل جریان و چه در زمینه های پزشکی

مانند بررسی pH خون، انتقال داروهایی که قابلیت رسانش الکتریکی دارند، انتقال نمونه آزمایش و بسیاری کاربردهای دیگر دارد (گاد-ال-هاک : ۲۰۰۶).

بررسی ویژگی‌های انتقال سیال درون میکروکانال و استفاده از میکروکانال‌ها برای غلبه بر مشکل دفع حرارت از سطوح شار حرارتی بالا توسط تاکرمن و پیزه^۱ (۱۹۸۱ : ۱۲۹-۱۲۶) ارائه شد که پس از آن تحقیقات زیادی در این زمینه صورت پذیرفته است. وانگ وایز^۲ (۲۰۰۷ : ۵۲۳-۵۱۲) اکثر تحقیقاتی که تاکنون در زمینه جریان سیال درون میکروکانال انجام شده را به سه گروه به شرح زیر تقسیم‌بندی کرده است: پنگ و همکاران (۱۹۹۴)، پنگ و پترسون (۱۹۹۶)، خو و همکاران (۱۹۹۹)، گروه اول از محققانی هستند که عمدتاً به مقایسه ضریب اصطکاک و گرادیان فشار سیال در میکرو و ماکروکانال‌ها پرداخته‌اند و ناپایداری‌های مکرر در نتایج تحقیقات خود را گزارش کرده‌اند. گروه دوم فالر و همکاران (۱۹۹۱)، یوربانک و همکاران (۱۹۹۳)، مالا و لی (۱۹۹۹)، کیو (۲۰۰۰) و رن (۲۰۰۱) هستند که عمده تفاوت‌های رفتاری سیال در میکرو و ماکروکانال‌ها را ناشی از پدیده‌های سطحی از قبیل صافی سطح، نیروهای الکتروستاتیک، تأثیرات دمایی و میکروگردابه‌های نزدیک دیواره که عامل افزایش ضریب اصطکاک در میکروکانال‌ها نسبت به نظریه ماکروکانال‌ها است، دانسته‌اند. خو و همکاران (۲۰۰۰)، شارپ (۲۰۰۱) و جودی و همکاران (۲۰۰۲) گروه سوم محققان هستند که تطابق مقدار ضریب اصطکاک در میکروکانال‌ها را با نظریه ماکروکانال‌ها گزارش نموده‌اند. پارک^۳ و همکاران (۲۰۰۳ : ۳۲۹-۳۱۷) به بررسی تجربی انتقال حرارت و جریان سیال در میکروکانال مستطیلی پرداخته‌اند. تأثیر قابل توجه تغییرات خواص مواد با دما بر افت فشار از نتایج ارائه شده آن‌ها است.

دانشمندان از سال‌های پیش اطلاعات اندکی در مورد پدیده الکتروکینیتیک داشتند. نخستین بار ریس (۲۰۰۴ : ۲۰۳-۹۲) نشان داد که با اعمال یک ولتاژ الکتریکی، می‌توان آب را در یک مجرا از خاک رس به جریان درآورد. اما این موضوع سال‌ها از توجه محققین دور ماند تا سرانجام اسمولچووزکی^۴ (۱۹۰۳ : ۲۰۰-۱۸۲) نخستین حل تحلیلی را برای پدیده الکتروکینیتیک در جریان الکترواسموتیک در یک کانال ساده و در حضور سیال نیوتنی ارائه نمود. جریان الکتروکینیتیک داخل یک میکروکانال متشکل از دو صفحه‌ی موازی نخستین بار توسط برگیرین و ناکاچه^۵ (۱۹۶۴ : ۱۰۹۱-۱۰۸۴)، مورد بررسی قرار گرفته است. ژانگ^۶ و همکاران (۲۰۰۵ : ۱۴۸۷-۱۴۷۲) یک میکرومبدل حرارتی را برای تراشه الکترونیکی به صورت تجربی آزمودند. افت فشار و مقاومت حرارتی از پارامترهای مطالعه شده در این تحقیق است. شمشیری و همکاران (۲۰۱۲ : ۱-۱۲)، به بررسی هیدرودینامیک و انتقال حرارت جریان الکترواسموتیک به همراه گرادیان فشار سیالات قانون-توانی در یک مقطع حلقوی پرداخته‌اند. آن‌ها معادلات پواسون، مومنتم و انرژی را با روش تفاضل محدود حل کرده و تأثیر پارامترهای گوناگون بر رفتار هیدرودینامیکی و انتقال حرارت جریان را تحلیل نموده‌اند. وکیلی و همکاران (۲۰۱۲ : ۴۵۶-۴۴۰)، رفتار هیدرودینامیکی و حرارتی جریان توسعه‌یافته‌ی ترکیبی ناشی از نیروی الکترواسموتیک و گرادیان فشار سیال غیر نیوتنی قانون-توانی در میکروکانال‌های مستطیلی بررسی کردند. آن‌ها معادلات بی‌بعد شده را به روش تفاضل محدود حل نمودند. اسکاندون^۷ و همکاران (۲۰۱۳ : ۲۵۷-۲۴۶)، یک مطالعه تحلیلی بر روی جریان و میدان دمایی یک سیال ویسکوالاستیک در یک میکروکانال مستطیلی تحت تأثیر همزمان میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی و نیروی فشار محوری انجام شد. مشاهده شد وقتی که میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی حضور دارند، جریان حجمی نسبی افزایش می‌یابد بدون افزایش دما، در مقایسه با حالتی که فقط میدان الکتریکی وجود دارد.

در این مقاله با استفاده از یک شبیه‌سازی عددی و به کمک روش حجم محدود پروفیل دمای بدون بعد جریان سیال ابتدا تحت تأثیر یک میدان مغناطیسی تنها و سپس تحت تأثیر یک میدان مغناطیسی و میدان‌های الکتریکی مختلف برای مقادیر مختلف عدد هارتمن مورد بررسی قرار گرفته است. ابتدا معادلات حاکم بر مسئله برای سیال تراکم‌ناپذیر، پایا و برای سیالات دارای خواص مستقل از دما در دوبعد آورده شده و بهترین شبکه برای حل انتخاب شده و سپس صحت نتایج بدست آمده از کد

¹ - Tuckerman & Pease

² - Wongwises

³ - Park

⁴ - Smoluchowski

⁵ - Burgreen & Nakache

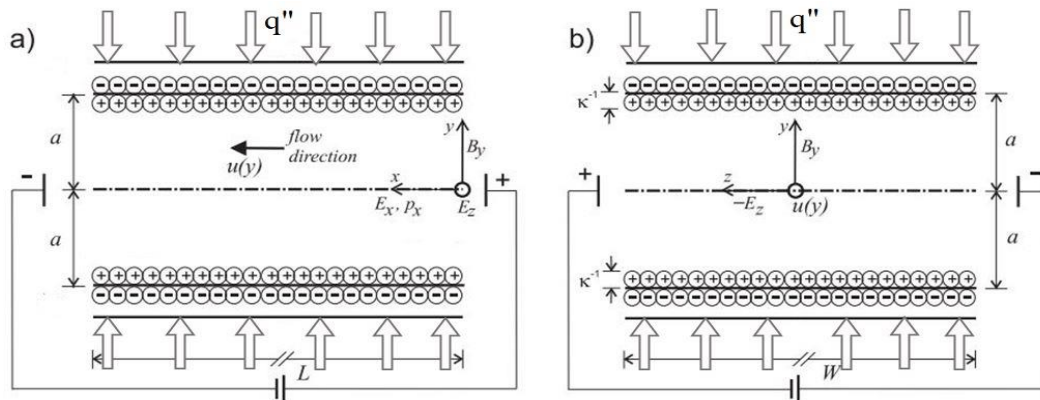
⁶ - Zhang

⁷ - Escandon

عددی بوسیله مقایسه با کار دیگران بررسی شده است. در آخر تاثیر میدان‌های مغناطیسی و الکتریکی به صورت جداگانه بر پروفیل دمای بدون بعد بررسی شده است.

۲- بیان مسئله

در این مقاله دمای جریان سیال درون یک میکروکانال دوبعدی تحت تاثیر میدان‌های الکتریکی و میدان مغناطیسی برای مقادیر و حالت‌های مختلف این میدان‌ها به صورت عددی و با استفاده از روش حجم محدود مورد بررسی قرار گرفته شده است. همان‌طور که در شکل ۱ دیده می‌شود فاصله بین دو صفحه $2a$ ، طول صفحه L و $L \gg a$ و عمق میکروکانال در راستای محور z ($W \gg a$) می‌باشد. جنس صفحات میکروکانال دی‌الکتریک، سیال مورد بررسی یک محلول الکترولیت می‌باشد، یک میدان الکتریکی در راستای محور میکروکانال یعنی در جهت x برسیال اعمال شده است، یک میدان الکتریکی دیگری در راستای عمود بر محور میکروکانال یعنی در راستای محور z و یک میدان مغناطیسی در راستای عمود بر محور میکروکانال و در جهت محور y اعمال شده است.



شکل ۱- هندسه مسئله

۳- فرمول‌ها و روابط ریاضی

در این قسمت از مقاله معادلات حاکم بر مسئله برای یک محلول الکترولیت به صورت کلی و برای سیال تراکم‌ناپذیر، پایا، با فرض ثابت بودن ویسکوزیته و همچنین ثابت بودن سایر خواص سیال نسبت به دما ارائه شده است (اسکاندون، ۲۰۱۴: ۲۵۷-۲۴۶ و چاکرابورتی، ۲۰۱۳: ۱۱۶۲-۱۱۵۱). معادله بقای جرم:

$$\nabla \cdot \vec{V} = 0 \quad (1)$$

در معادله ۱، ∇ گرادیان و $\vec{V} = u\hat{i} + v\hat{j} + w\hat{k}$ نشان دهنده میدان سرعت است. معادله بقای ممنتوم:

$$\rho_f (\nabla \cdot \vec{V}) = -\nabla P + \mu \nabla^2 \vec{V} + \vec{F} \quad (2)$$

که در معادله ۲، ρ_f چگالی سیال، P فشار، μ ویسکوزیته سیال، $\vec{F}$ نیروی حجمی حاصل از اعمال میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی بر سیال می‌باشد که از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\vec{F} = \rho_f \vec{E} + \vec{J} \times \vec{B} \quad (3)$$

که در رابطه ۳، $\vec{B} = B_y \hat{j}$ میدان مغناطیسی خارجی، $\vec{J}$ چگالی جریان و $\vec{F}_{EK}$ نیروی حجمی الکتروکینتیک یا همان نیروی حاصل از اعمال میدان الکتریکی بر سیال می‌باشد که به ترتیب از رابطه‌های ۴ و ۵ به دست می‌آیند.

$$\vec{J} = \sigma(\vec{E} + \vec{V} \times \vec{B}) \quad (4)$$

$$\vec{F}_{EK} = \rho_e \vec{E} \quad (5)$$

در معادله ۴، σ رسانایی الکتریکی سیال، $\vec{E} = E_x \hat{i} + E_z \hat{k}$ میدان الکتریکی خارجی می‌باشد و با استفاده از رابطه $\vec{E} = -\nabla\Phi$ ، که Φ پتانسیل الکتریکی ناشی از ولتاژ اعمالی به الکترودها می‌باشد، به دست می‌آید.

معادله ۵ برای حالتی برقرار می‌باشد که سیال تک‌فاز و همگن باشد، در این معادله ρ_e چگالی بار الکتریکی است و نشان دهنده تمرکز یون‌ها می‌باشد و از رابطه زیر به دست می‌آید

$$\rho_e = \sum z_i e n_i \quad (6)$$

در معادله ۶، Z ظرفیت (عدد والانسی) در این مقاله فرض شده است که الکترولیت متقارن می‌باشد یعنی الکترولیت شامل دو نوع یون با قدرمطلق عدد والانسی برابر می‌باشد $(Z_+ = -Z_- = Z)$ ، e بار الکترون و n غلظت (و یا عدد چگالی یون که برابر است با تعداد یون بر واحد حجم) می‌باشد. غلظت یونی مربوط به یون λ_m واقع در یک مکان مشخص به صورت تابعی از پتانسیل الکتریکی همان محل بیان می‌شود و به وسیله رابطه توزیع بولتزمن محاسبه می‌شود:

$$n_i = n_0 \exp\left(-\frac{z_i e \psi}{k_B T}\right) \quad (7)$$

در معادله ۷، n_i غلظت یونی یون λ_m ، n_0 غلظت یونی یون λ_m در حالت خنثی، Z_i عدد والانس یون λ_m ، k_B ثابت بولتزمن و T دما و ψ پتانسیل الکتریکی می‌باشد که از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\nabla^2 \psi = -\frac{\rho_e}{\epsilon \epsilon_0} \quad (8)$$

در معادله ۸، ϵ_0 قابلیت گذردهی الکتریکی خلا (یعنی میدان الکتریکی که در اثر تمرکز یون‌ها ایجاد می‌شود چقدر می‌تواند در محیط خلا توزیع شود) می‌باشد، ϵ ثابت دی‌الکتریک محلول الکترولیت که مربوط به پخش شدن میدان الکتریکی ایجاد شده در اثر تمرکز یون‌ها در جریان می‌باشد.

با جایگذاری معادله (۷) در معادله (۶) و جایگذاری نتیجه آن در رابطه (۸) و همچنین با فرض اینکه پتانسیل الکتریکی سطح به اندازه کافی کوچک باشد ($\psi < 25 \text{ mV}$) به معادله پواسون-بولتزمن میرسیم که چگونگی توزیع پتانسیل الکتریکی را در لایه یونی مجاور سطح باردار را مشخص می‌کند.

$$\nabla^2 \psi = \frac{2n_0 Z^2 e^2 \psi}{\epsilon \epsilon_0 k_B T} \quad (9)$$

نهایتاً با استفاده از معادله ۹، ψ را حساب کرده و سپس ρ_e را بدست می‌آوریم و نتایج را در رابطه (۵) قرار می‌دهیم و $\vec{F}_{EK}$ را حساب می‌کنیم از طرفی با استفاده از رابطه ۴، $\vec{J}$ محاسبه می‌شود و در نهایت جواب‌های به‌دست آمده را در سمت راست معادله تاویر-استوکس قرار داده می‌شود و پروفیل جریان به دست می‌آید. معادله بقای انرژی:

$$\rho_f c_p \frac{DT}{dt} = k \nabla^2 T + \tau + S \quad (10)$$

در رابطه فوق، c_p ظرفیت گرمایی ویژه در فشار ثابت^۱، T دما، k ضریب هدایت حرارتی^۲، τ تابع افت انرژی و ناشی از لزجت سیال و S انرژی گرمایی تولید شده در واحد حجم به سبب گرمایش ژول می‌باشند که بوسیله روابط زیر محاسبه می‌شوند.

$$\tau = \mu \left[2 \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + 2 \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + 2 \left(\frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right)^2 \right] \quad (11)$$

$$S = \sigma(E_x^2 + E_z^2) \quad (12)$$

چون سیالی که در اینجا استفاده می‌شود مایع می‌باشد و برای مایعات مقدار عدد نودسن پایین می‌باشد پس می‌توان شرط مرزی عدم لغزش سیال بر روی دیواره‌های میکروکانال را بکار برد و همچنین برای دما از شرط مرزی شار حرارتی ثابت بر روی

¹ - specific heat

² - thermal conductivity of the fluid

دیواره‌ها استفاده شده است. سرعت و دما در ورودی میکروکانال به صورت یکنواخت و ثابت داده شده است و در انتهای میکروکانال شرط مرزی برای همه‌ی پارامترها به صورت خروجی^۱ است. یعنی گرادیان در جهت عمود بر مرز برابر صفر قرار داده شده است. اعداد بدون بعد استفاده شده در این مقاله در جدول ۱ ارائه شده است.

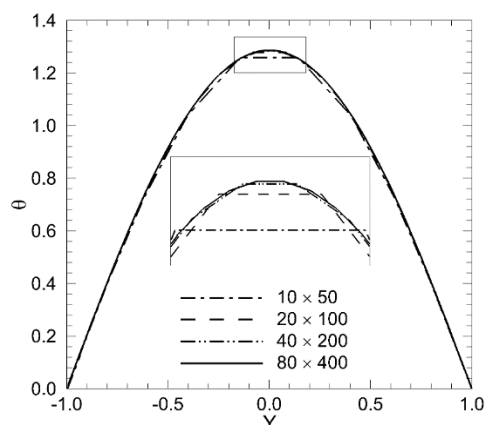
جدول ۱- پارامترهای بدون بعد

توضیحات	اعداد بدون بعد
طول بی‌بعد	$Y = \frac{y}{a}$
سرعت هلمهولتز-اسمولچوازی	$u_{HS} = \frac{\xi \varepsilon \varepsilon_0 E_x}{\mu}$
دمای بدون بعد	$\theta = \frac{T - T_s}{T_m - T_s}$
دمای بدون بعد	$\theta_0 = \frac{T - T_{in}}{T_m - T_s}$
عدد هارتمن (پارامتر بدون بعد میدان مغناطیسی)	$Ha = aB \sqrt{\sigma/\mu}$
پارامتر بدون بعد میدان الکتریکی عرضی	$S = \frac{aE_z}{u_{HS} \sqrt{\sigma/\mu}}$
پارامتر بدون بعد فشار	$\Omega = \frac{a^2 dP}{\mu u_{HS} dx}$

۴- استقلال از شبکه حل

به منظور بررسی استقلال حل (مستقل بودن حل) از شبکه، جریان درون یک میکروکانال (بین دو صفحه موازی) با مقادیر عدد رینولدز ۴۰، عدد هارتمن صفر و بدون حضور میدان‌های الکتریکی عرضی و محوری برای شبکه‌هایی با تعداد گره ۱۰×۵۰، ۲۰×۱۰۰، ۴۰×۲۰۰ و ۸۰×۴۰۰ حل شده است.

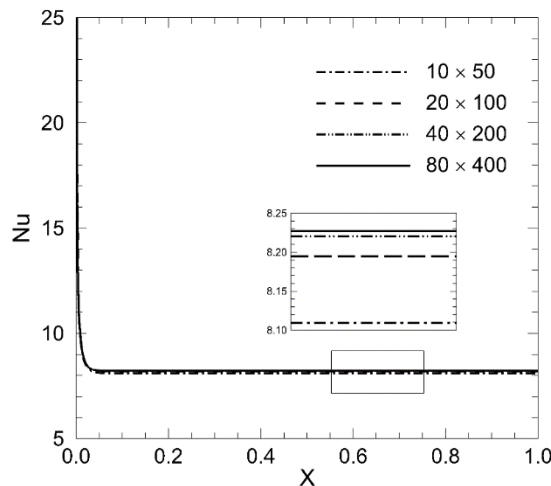
در شکل ۳ نمودار دمای بی‌بعد توسعه یافته در مقطع میکروکانال برای چهار شبکه در نظر گرفته شده، نشان داده شده است. با تبدیل شبکه حل، از شبکه ۱۰×۵۰ به شبکه ۲۰×۱۰۰، بیشینه دمای بی‌بعد (یعنی جایی که با تغییر شبکه حل نمودار دما بیشترین تغییر را دارد) نسبت به شبکه قبلی ۱/۵۶٪ تغییر دارد، با تبدیل شبکه حل، از شبکه ۲۰×۱۰۰ به شبکه ۴۰×۲۰۰، بیشینه دمای بدست آمده نسبت به شبکه قبلی ۰/۴۳٪ تغییر دارد و با تبدیل شبکه حل، از شبکه ۴۰×۲۰۰ به شبکه ۸۰×۴۰۰، بیشینه دمای بدست آمده نسبت به شبکه قبلی ۰/۱۱٪ تغییر دارد.



شکل ۳ - بررسی استقلال از شبکه، نمودار دمای بی‌بعد

^۱ - Outflow

در شکل ۴ نمودار تغییر عدد ناسلت در طول میکروکانال برای چهار شبکه در نظر گرفته شده، نشان داده شده است. با تبدیل شبکه حل، از شبکه 10×50 به شبکه 20×100 ، عدد ناسلت به دست آمده نسبت به شبکه قبلی $1/06\%$ تغییر دارد، با تبدیل شبکه حل، از شبکه 20×100 به شبکه 40×200 ، عدد ناسلت به دست آمده نسبت به شبکه قبلی $0/31\%$ تغییر دارد و با تبدیل شبکه حل، از شبکه 40×200 به شبکه 80×400 ، عدد ناسلت به دست آمده نسبت به شبکه قبلی $0/85\%$ تغییر دارد.

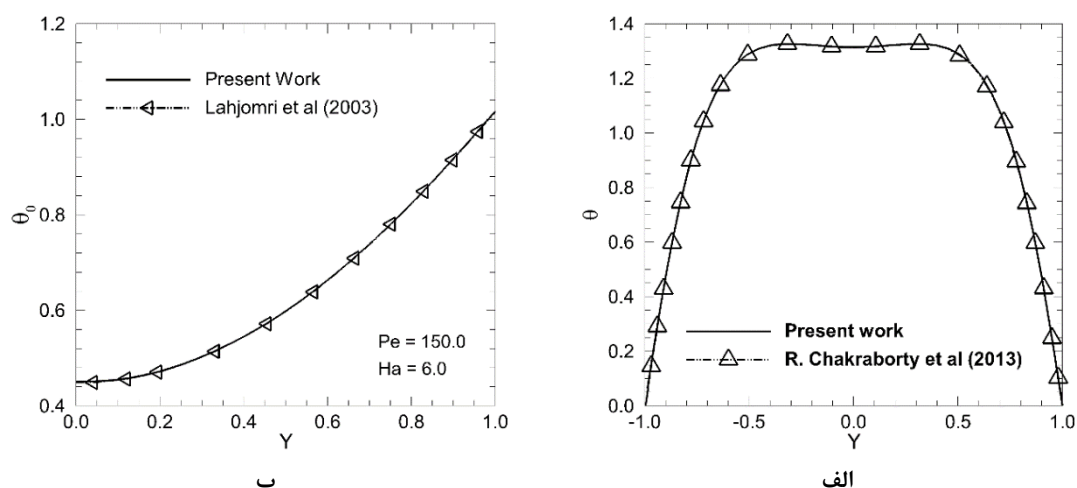


شکل ۴ - بررسی استقلال از شبکه، نمودار عدد ناسلت در طول میکروکانال

همان‌طور که در نتایج کمی و کیفی ارائه شده می‌بینیم حساسیت دما نسبت به شبکه حل کمی بیشتر از عدد ناسلت می‌باشد و از آنجا که با تغییر شبکه حل، از شبکه 40×200 به شبکه 80×400 ، در هر دو نمودار درصد تغییرات خیلی پایین است پس مناسب‌ترین شبکه برای حل شبکه 40×200 می‌باشد و این شبکه برای ادامه حل دو بعدی مسئله انتخاب می‌شود.

۵- صحت سنجی نتایج به‌دست آمده از شبیه‌سازی

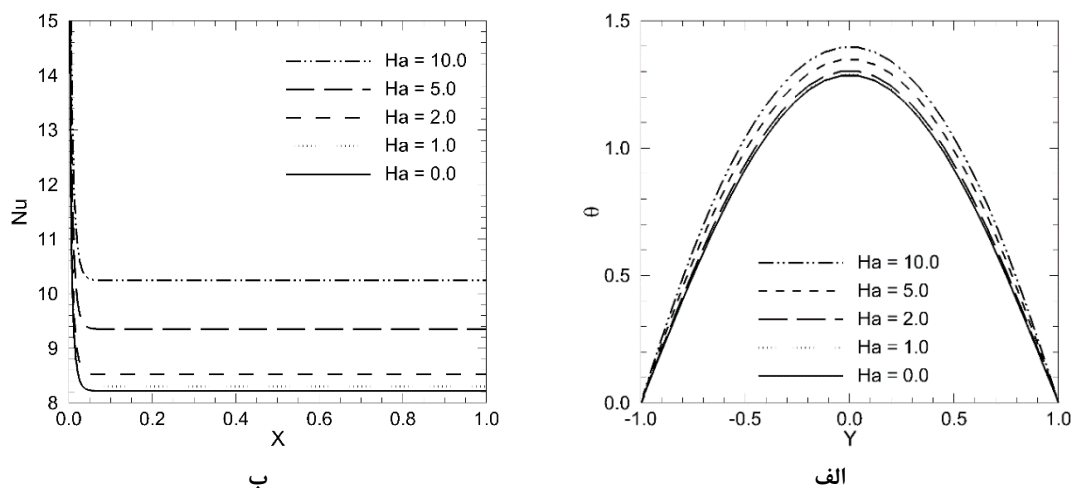
در بخش قبل شبکه‌ی 40×200 برای انجام تحلیل‌های دو بعدی مسئله مناسب دیده شد و انتخاب شد. در این بخش با استفاده از این شبکه به صحت سنجی کد عددی مورد استفاده به وسیله مقایسه نتیجه‌های به‌دست آمده با نتایج چاکرابورتی (۲۰۱۳: ۱۱۶۲-۱۱۵۱) برای حالتی که علاوه بر میدان مغناطیسی میدان الکتریکی عرضی وجود داشته باشد و لاهجمری (۲۰۰۳: ۳۴-۱۱) برای حالتی که فقط میدان مغناطیسی عرضی وجود داشته باشد، پرداخته شده است. شکل ۵-الف نمودار دمای بی‌بعد درون مقطع یک میکروکانال تحت تاثیر یک میدان الکتریکی محوری در راستای محور x و یک میدان مغناطیسی عرضی در راستای محور y ، برای عدد هارتمن ۵ را نشان می‌دهد و شکل ۵-ب نمودار دمای بی‌بعد درون مقطع یک میکروکانال تحت تاثیر یک میدان مغناطیسی عرضی در راستای محور y ، برای عدد هارتمن ۶ و عدد پکله ۱۵۰ را نشان می‌دهد. همان‌طوری که در این شکل‌ها دیده می‌شود جواب به‌دست آمده از کد عددی موجود مطابقت خیلی با نتایج مقالات اشاره شده دارد و در دو شکل درصد خطا زیر $0/5$ درصد می‌باشد.



شکل ۵ - نمودار دمای بدون بعد تحت تاثیر، الف- میدان الکتریکی محوری و میدان مغناطیسی عرضی، ب- میدان مغناطیسی عرضی

۶- تاثیر میدان مغناطیسی بر دما و عدد ناسلت

در شکل ۶-الف تاثیر اعمال میدان مغناطیسی بر پرفیل دمای بدون بعد و شکل ۶-ب تاثیر اعمال میدان مغناطیسی بر پروفیل عدد ناسلت در طول میکروکانال برای مقادیر مختلف عدد هارتمن، در محدوده عدد هارتمن صفر تا عدد هارتمن ۱۰، نشان داده شده است. افزایش میدان مغناطیسی باعث افزایش سرعت سیال در کنار دیواره‌ها و در نهایت کاهش دمای سطح میکروکانال می‌شود که با توجه به رابطه تعریف شده برای دمای بدون بعد، این کاهش دمای سطح باعث افزایش دمای بدون بعد و افزایش مقدار عدد ناسلت درون میکروکانال می‌شود.



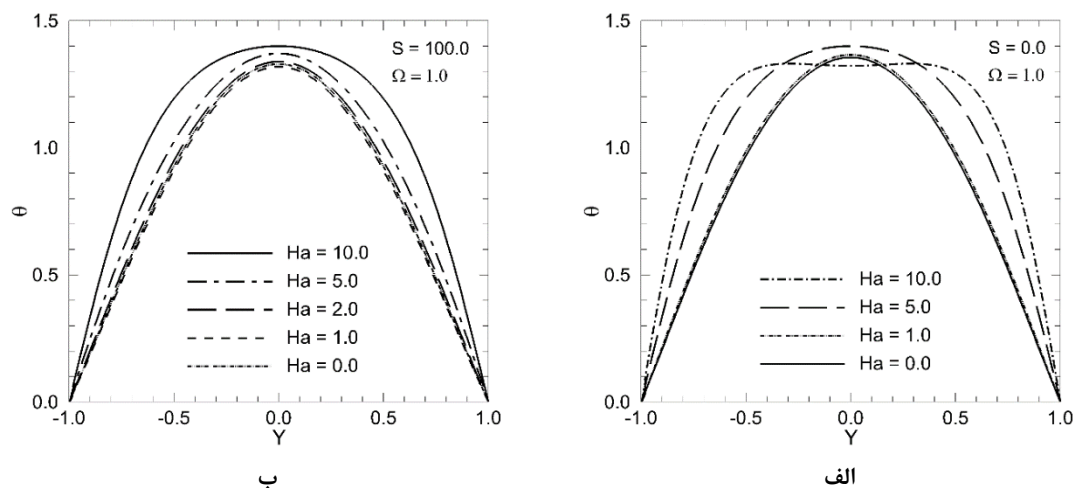
شکل ۶ - تاثیر افزایش میدان مغناطیسی بر، الف- نمودار دما ب- نمودار عدد ناسلت

۷- تاثیر ترکیب میدانهای الکتریکی و مغناطیسی بر دما و عدد ناسلت

شکل ۷-الف تاثیر اعمال یک میدان مغناطیسی عرضی، یک میدان الکتریکی محوری و بدون میدان الکتریکی عرضی بر نمودار دمای بدون بعد سیال را نشان می‌دهد. افزایش عدد هارتمن باعث کاهش سرعت سیال درون میکروکانال و در نتیجه

کاهش انتقال حرارت افقی (محوری) و افزایش انتقال حرارت هدایتی از دیوار به سیال می‌شود. از این‌رو درجه حرارت محلی در هر مقطع افزایش می‌یابد و این باعث افزایش دمای میانگین سیال می‌شود. در نتیجه افزایش دمای میانگین سیال نسبت به دمای سطح باعث کاهش $(T_m - T_s)$ می‌شود و چون این پارامتر در مخرج رابطه تفریف شده برای دمای بدون بعد می‌باشد، باعث افزایش مقدار دمای بون بعد می‌شود. در کل اعمال میدان مغناطیسی باعث می‌شود که سرعت سیال در کنار دیواره‌ها افزایش یابد و سرعت سیال در مرکز کانال کم شود و پروفیل سرعت به سمت یکنواخت شدن پیش رود و در صورت زیاد بودن مقدار میدان مغناطیسی (عدد هارتمن بالا) سرعت در مرکز میکروکانال حالت تقعر پیدا می‌کند و از سرعت نقاط مجاور خود نیز مقداری کمتر می‌شود و به سمت صفر میل می‌کند که این حالت باعث می‌شود دمای مرکز خیلی افزایش پیدا کند و مقداری حرارت به سیال کنار خود بدهد و این باعث می‌شود که گرادیان دما در مرکز کانال در نقاطی منفی شود.

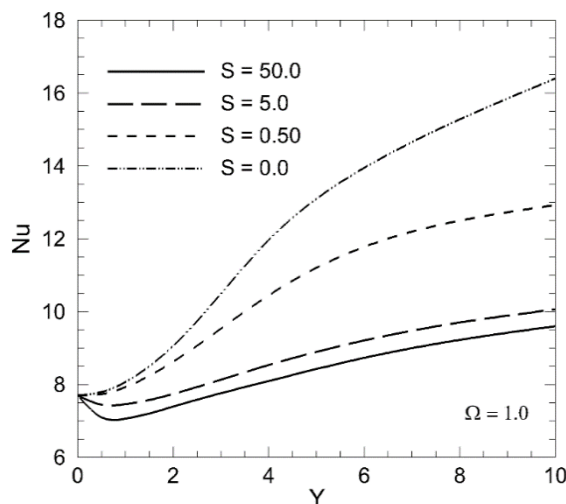
شکل ۷-ب تاثیر اعمال یک میدان مغناطیسی عرضی، یک میدان الکتریکی محوری و یک میدان الکتریکی عرضی بر نمودار دمای بدون بعد سیال را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود افزایش عدد هارتمن باعث افزایش دمای بدون بعد می‌شود که دلیل آن در قسمت قبل توضیح داده شده است اما در این شکل گرادیان دمای منفی اتفاق نمی‌افتد که این به خاطر وجود ترم مثبت در جهت محور در اثر وجود میدان الکتریکی عرضی می‌باشد.



شکل ۷ - تاثیر اعمال میدان مغناطیسی بر پروفیل دمای بدون بعد برای حالت، الف - بدون میدان الکتریکی عرضی، ب - با میدان الکتریکی عرضی

اما با توجه به شکل ۷-ب ظاهراً هنگامی که میدان الکتریکی عرضی وجود داشته باشد با افزایش عدد هارتمن تا یک مقدار خاصی دمای بدون بعد سیال کاهش می‌یابد و بعد از آن با افزایش عدد هارتمن دمای بدون بعد سیال افزایش پیدا می‌کند. برای توجیه تغییراتی که اتفاق می‌افتد و همچنین دلیل وجود عدد هارتمن بحرانی می‌توان گفت که اعمال میدان مغناطیسی در جهت مثبت محور Y و میدان الکتریکی عرضی در جهت منفی محور Z باعث ایجاد دو ترم خلاف علامت، در قسمت سمت راست معادله ممنتوم در جهت X (محور کانال) به صورت $\sigma E_z B_y - \sigma u B_y^2$ می‌شود. به ازای یک مقدار خاص میدان الکتریکی عرضی ابتدا با افزایش مقدار میدان مغناطیسی از صفر به سمت مقادیر مثبت مجموع دو عبارت، یک مقدار مثبت رو به افزایش می‌شود که این باعث افزایش سرعت کلی جریان و کاهش دمای میانگین سیال و کاهش دمای بدون بعد سیال می‌شود. روند افزایش مجموع مقدار دو عبارت با افزایش مقدار میدان مغناطیسی، بتدریج کمتر می‌شود تا این که در یک مقدار خاصی از میدان مغناطیسی این افزایش متوقف می‌شود و از آن به بعد با افزایش مقدار میدان مغناطیسی مجموع این دو ترم شروع به کم شدن می‌کند و در نتیجه باعث کاهش سرعت کل جریان، افزایش انتقال حرارت هدایتی، افزایش دمای میانگین سیال و افزایش دمای بدون بعد سیال می‌شود. عدد هارتمنی که به ازای این مقدار خاص از میدان مغناطیسی به دست می‌آید عدد هارتمن بحرانی نامیده می‌شود.

شکل ۸ نمودار عدد ناسلت بر حسب عدد هارتمن در مقادیر مختلف میدان الکتریکی محوری (پارامتر S) را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود با افزایش عدد هارتمن از صفر تا یک مقدار خاصی عدد ناسلت کاهش می‌یابد و از آن به بعد با افزایش عدد هارتمن، عدد ناسلت نیز افزایش می‌یابد که محدوده این عدد هارتمن خاص برای عدد ناسلت بین صفر تا ۰/۵۰ می‌باشد.



شکل ۸ - تاثیر اعمال میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی عرضی بر عدد ناسلت

همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود به طور کلی با افزایش عدد هارتمن بعد از عدد هارتمن بحرانی، عدد ناسلت افزایش می‌یابد که این روند افزایش عدد ناسلت با افزایش مقدار میدان الکتریکی عرضی (پارامتر S) به تدریج کم می‌شود و نهایت به عدد ۰/۵۰ میل می‌کند (برای مقادیر بالای پارامتر S).

۸- نتیجه‌گیری

در این پژوهش دما و عدد ناسلت جریان محلول الکترولیت داخل یک میکروکانال دوبعدی تحت تاثیر میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی مختلف مورد بررسی قرار گرفت. معادلات حاکم توسط الگوریتم سیمپل سی حل شد، عدد هارتمن و پارامتر بدون بعد میدان الکتریکی تغییر داده شده و نتایج زیر حاصل شدند:

در حالتی که میدان مغناطیسی عرضی وجود داشته باشد (بدون میدان الکتریکی عرضی) افزایش عدد هارتمن باعث افزایش دمای بدون بعد سیال و افزایش عدد ناسلت می‌شود.

در حالتی که هم میدان مغناطیسی و هم میدان الکتریکی عرضی وجود داشته باشد با افزایش عدد هارتمن تا یک مقدار خاصی (تقریباً) دمای بدون بعد و عدد ناسلت سیال کاهش می‌یابد.

در حالتی که هم میدان مغناطیسی و هم میدان الکتریکی عرضی وجود داشته باشد با افزایش عدد هارتمن از آن مقدار خاص به بعد دمای بدون بعد و عدد ناسلت سیال افزایش می‌یابد.

در حالتی که هم میدان مغناطیسی و هم میدان الکتریکی عرضی وجود داشته باشد، با افزایش عدد هارتمن در یک مقدار خاص میدان الکتریکی عرضی (پارامتر S) باعث افزایش عدد ناسلت می‌شود. اما این روند افزایش مقدار عدد ناسلت با افزایش پارامتر S کم‌کم می‌شود تا جایی که نهایتاً مقدار عدد ناسلت تقریباً به ۰/۵۰ می‌رسد و از آن به بعد افزایش پارامتر S تاثیری بر مقدار عدد ناسلت ندارد.

منابع

1. Gad-el-Hak, M. ed. (2006). *The MEMS handbook*, Florida: CRC/Taylor & Francis.
2. Tuckerman, D.B. and Pease, R.F.W. (1981). *High-performance heat sinking for VLSI*, Electron Device Letters, IEEE, 2(5). pp 126-129.
3. Trisaksri, V. and Wongwises, S. (2007). *Critical review of heat transfer characteristics of nanofluids*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 11(3). pp 512-523.
4. Park, H., Pak, J.J., Young Son, S., Lim, G., and Song, I. (2003), *Fabrication of a Microchannel Integrated with Inner Sensors and Analysis of its Laminar Flow Characteristic*, Sensors and Actuators A: physica, Vol. 103, No. 3. pp. 317– 329.
5. Dongqing, L. (2004). *Chapter 4 Electroosmotic flows in microchannels*, in Interface Science and Technology 2. pp 92-203.
6. Smoluchowski, M. (1903). *Contribution à la théorie de l'endosmose électrique et de quelques phénomènes corrélatifs*, Bulletin de l'Académie des Sciences de Cracovie, 8. pp 182-200.
7. Burgreen, D. and Nakache, F.R. (1964). *Electrokinetic flow in ultrafine capillary slits*¹, The Journal of Physical Chemistry, 68(5). pp 1084-1091.
8. Zhang, H.Y. (2005). *Single-Phase Liquid Cooled Microchannel Heat Sink for Electronics Packages*, Appl. Thermal Eng., Vol. 25, No. 10. pp. 1472–1487.
9. Shamshiri, M., Khazaeli, R., Ashrafizaadeh, M. and Mortazavi, S. (2012). *Electroviscous and thermal effects on non-Newtonian liquid flows through microchannels*, Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics, 173. pp.1-12.
10. Vakili, M.A., Sadeghi, A., Saidi, M.H. and Mozafari, A.A. (2012). *Electrokinetically driven fluidic transport of power-law fluids in rectangular microchannels*, Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 414. pp.440-456.
11. Escandón, J., Santiago, F., Bautista, O. and Méndez, F. (2014). *Hydrodynamics and thermal analysis of a mixed electromagnetohydrodynamic-pressure driven flow for Phan–Thien–Tanner fluids in a microchannel*, International Journal of Thermal Sciences, 86. pp.246-257.
12. Chakraborty, R., Dey, R. and Chakraborty, S. (2013). *Thermal characteristics of electromagnetohydrodynamic flows in narrow channels with viscous dissipation and Joule heating under constant wall heat flux*, International Journal of Heat and Mass Transfer, 67. pp 1151-1162.
13. Lahjomri, J., Zniber, K., Oubarra, A. and Alemany, A. (2003). *Heat transfer by laminar Hartmann's flow in thermal entrance region with uniform wall heat flux: the Graetz problem extended*, Energy conversion and Management, 44(1). pp.11-34.

آنالیز یک مبدل بوسست با کلیدزنی ZVS و بهره بالا
محمد زمانی

پیش بینی تقاضای خودرو از طریق رگرسیون چند متغیره و ARIMA
خدیجه دیری، امیر عزیزی، معصومه زینال نژاد

رفتار دینامیکی سازه‌های جداسازی شده تحت اثر زلزله نزدیک گسل
محمود میناوند، فرهاد نوروزیان

بررسی و معرفی دیوار JK و نقش آن در صنعتی سازی ساختمان
سید مهدی زهرایی، بهنام قلی‌پور خلیلی

شبیه سازی عددی ویژگی های انتقال حرارت جریان الکترواسموتیک درون یک میکروکانال دوبعدی
تحت تاثیر میدان های الکتریکی و مغناطیسی عرضی
بهنام مقیمی مفرد آبدیه گاه، محسن ثقفیان

پژوهش های نهین مهم همدنی

۰۲۱ ۳۳۲۰ ۲۴۸۷ ۰۲۱ ۴۳۸۵۷۱ ۲۴
۰۲۶ ۳۲۷۲ ۴۷۸۷ ۰۲۶ ۳۲۷۴ ۷۱۵۸
تهران: افسریه، ۱۵ متری چهارم، کوچه ۳۸، پلاک ۲۸، واحد ۲
کرج: چهارراه هفتتیر، خیابان لاله ۱، پلاک ۱۴، طبقه همکف