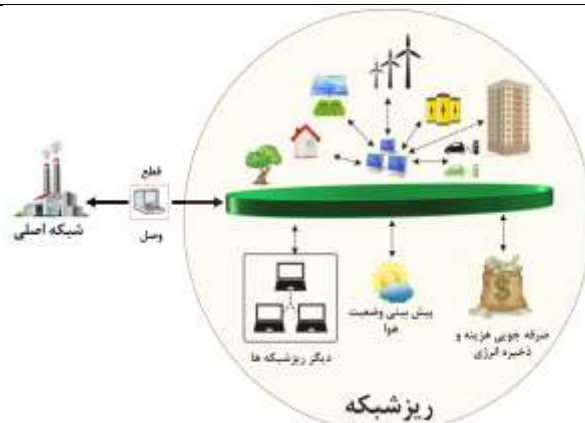


طرح تحقیق (پروپوزال) پایان نامه کارشناسی ارشد

اطلاعات مربوط به پایان نامه

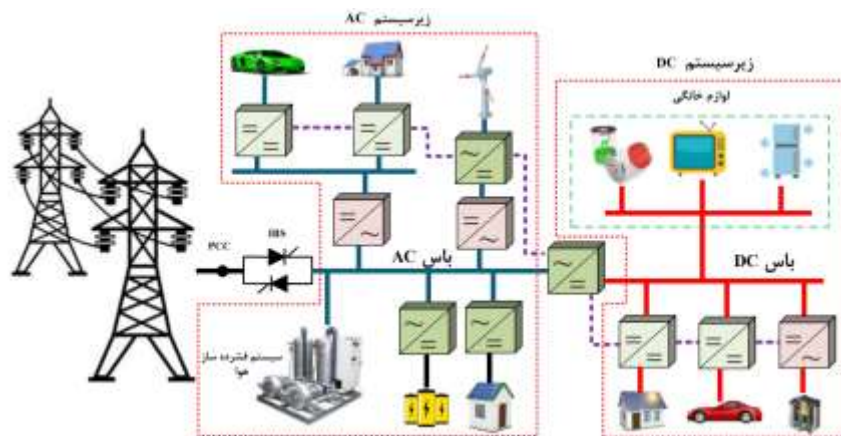
عنوان فارسی: تحلیل پدیده‌های دو مقیاس زمانی ریزشبکه‌های جریان مستقیم با استفاده از تئوری آشفتگی تکین.	
عنوان انگلیسی: Analysis of Two-Timescale Phenomena in DC Microgrids Using Singular Perturbation Theory.	
نوع تحقیق:	
از دیدگاه نتایج نهایی:	☐ بنیادی ☒ کاربردی ☐ توسعه ای
از دیدگاه روش تحقیق:	☐ تجربی ☒ نیمه تجربی ☐ نظری
تعریف پروژه:	
الف: شرح و بیان مسئله تحقیق	
امروزه شاهد افزایش غیرمنتظره‌ای بار در شبکه‌ی برق هستیم. این افزایش بار موجب تغییرات وسیع در هر دو حوزه‌ی انتقال و توزیع و همچنین افزایش حضور منابعی چون مزارع بادی بزرگ، منابع زمین گرمایی و خورشیدی در سطوح انتقال و منابع تجدیدپذیر^۱ کوچک همانند سلول‌های خورشیدی، سلول‌های سوختی در سطوح توزیع می‌شود که این افزایش حضور منابع تجدیدپذیر در سیستم‌های توزیع، ساختار جدیدی به نام ریزشبکه را به وجود می‌آورد [۱]. شکل (۱) دیاگرام شماتیکی یک ریزشبکه نشان داده شده است. طبق این شکل، یک ریزشبکه مجموعه‌ای از بارها، منابع ذخیره‌ساز انرژی و منابع تولید پراکنده است. منابع تولید پراکنده بایستی از طریق واسطه‌های الکترونیک قدرتی جهت تغییر و تبدیل سطح توان به باس ریزشبکه وصل شوند. از جمله مزایای ریزشبکه‌ها [۲] می‌توان به تسهیل در توزیع، امکان استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر، افزایش کیفیت توان و قابلیت اطمینان، عدم ایجاد آلاینده‌های محیط زیست با به کارگیری از منابع تجدیدپذیر، انعطاف پذیری، توسعه پذیری و ساختار غیرمتمرکز اشاره کرد. با وجود مزایای بی‌شمار ریزشبکه‌ها، چالش‌هایی نظیر اینرسی پائین^۲ و وجود دینامیک‌های متغیر^۳ در استفاده از آن‌ها وجود دارد. دینامیک‌های متغیر و نحوه مدل‌سازی یک مسئله‌ی مهم در ریزشبکه است. به سبب وجود عناصر مختلف و با توجه به هدف موردنظر در تحلیل شاخص‌های یک ریزشبکه، می‌توان مدل‌سازی‌های متنوعی را انجام داد. در برخی مسائل ممکن است تمام دینامیک‌های یک ریزشبکه مورد نیاز نباشد و در برخی هم با توجه به دقت مساله ممکن است به دینامیک‌های دیگر نیاز باشد [۳]. تعیین این مساله با توجه به هدف کنترل تعیین می‌شود. چنانچه هدف کنترلی، وجود ویژگی‌های بیشتری را در تحلیل و طراحی ایجاد کند، لازم است دینامیک‌های دیگر را وارد مدل‌سازی کرد. در غیر این صورت نیازی به مدل‌سازی تمام دینامیک‌های موجود نیست. همانند دیگر سیستم‌ها، مساله‌ی مدل‌سازی و شناخت دینامیک‌های موجود در ریزشبکه، یک اصل مهم در تعیین ساختارهای کنترلی می‌باشد [۴].	

¹ Renewable resources² low inertia³ Variable dynamics



شکل (۱): نمای گرافیکی از ریز شبکه [۲]

ریز شبکه می تواند به طور مستقل یا به صورت متصل به شبکه بهره برداری شود. در هنگام کار در مد متصل به شبکه اگر خطایی رخ دهد، ریز شبکه این قابلیت را دارد که از شبکه جدا شده و بار محلی خود را تغذیه کند؛ بنابراین ریز شبکه ۳ مد کاری متصل به شبکه، جزیره ای و حالت گذرای بین این دو مد را دارد [۵]. همچنین با توجه به نوع باس اصلی، ریز شبکه ها را در حالت کلی می توان در سه دسته قرار داد؛ ریز شبکه جریان مستقیم^۱، ریز شبکه جریان متناوب^۲ و ریز شبکه ترکیبی^۳. شکل (۲) نمونه ای از ریز شبکه ها را نشان می دهد که در آن از منابع پراکنده انرژی، ذخیره کننده ها، بارها، ادوات الکترونیک قدرت و شبکه ی اصلی استفاده شده است. همانطور که دیده می شود، یک نقطه اتصال مشترک بین شبکه ی اصلی و ریز شبکه وجود دارد که در شرایط مختلف می تواند برقراری ارتباط این دو را ممکن کند. در چند دهه ی گذشته اکثر ریز شبکه ها بر اساس سیستم های جریان متناوب طراحی شده اند که در این طراحی ها موانع زیادی موجود است. یکی از این موانع، DC بودن اکثر بارهای موجود می باشد که نیاز به تعداد بیشتر اینورترها را افزایش می دهد. از طرفی دیگر به دلیل متغیر بودن ماهیت انرژی های تجدید پذیر، حفظ پایداری و قابلیت اطمینان این نوع از ریز شبکه ها با چالش مواجه شده است. پس با این تفاسیر ریز شبکه DC به دلیل داشتن مزیت های بیشتر در این تحقیق مورد استفاده قرار می گیرد. لازم به ذکر است ریز شبکه های جریان مستقیم علیرغم مزایایی که دارند، مشکلاتی از قبیل انحراف ولتاژ حالت ماندگار و عدم تسهیم مناسب توان به درستی را نیز خواهند داشت [۶].



شکل (۲): دسته بندی ریز شبکه ها [۶]

¹ Direct current microgrid

² alternating current microgrid

³ Hybrid microgrid

ابتدایی ترین مسائل در حوزه تحلیل سیستم‌ها، بحث مدل‌سازی^۱ آن‌ها است. با توجه به این که یک مدل مناسب بیانگر تمام ویژگی‌های مورد نیاز مساله می‌باشد، ممکن است بخواهیم با در نظر گرفتن هدف نهایی، مدل‌سازی را انجام دهیم. این موضوع با توجه به گستردگی ریاضیات کاربردی می‌تواند بیشتر خود را نشان دهد. سیستم‌ها را می‌توان در حوزه زمان یا فرکانس مدل کرد. یک مدل معمولاً لازم نیست تمام ویژگی‌های سیستم را شامل شود. ممکن است بر حسب نیاز مساله، مدل‌سازی‌های مختلفی را از یک سیستم انجام داد [۷]. در یک دسته‌بندی، شبکه‌های توزیع در رنج ولتاژ متوسط و شبکه‌های انتقال در رنج ولتاژ بالا قرار می‌گیرند. این در حالی است که ریزشبکه‌ها در رنج ولتاژ پایین هستند، پس ریزشبکه مستقیماً به شبکه‌های بالادست متصل نمی‌شود. مسیر انتقال توان از مولدها به شبکه‌ی اصلی یا دریافت پشتیبانی یک ریزشبکه از شبکه‌ی اصلی شامل ادوات الکترونیک قدرت، باس‌ها و سایر تجهیزات می‌شود. در این بین برای هر کدام از این بخش‌ها می‌توان مدل‌سازی جداگانه انجام داد و در نهایت یک ساختار مدل شده از رفتار بخش‌های مختلف این مسیر به دست آورد [۸-۷]. از نظر بررسی نوع اغتشاش وارد شده به سیستم، مدل‌سازی به دو نوع سیگنال کوچک و سیگنال بزرگ تقسیم می‌شود. در مدل‌سازی سیگنال کوچک، دینامیک سیستم دارای رفتار خطی بوده یا دارای رفتار غیرخطی است که آن را حول یک نقطه کار خطی‌سازی می‌کنیم.

دو ابزار قدرتمند در مدل‌سازی اغتشاش کوچک، بیان فضای حالت و تابع تبدیل هستند. در مدل‌سازی اغتشاش بزرگ، تحلیل اغتشاش‌های بزرگ اعمال شده به سیستم‌های غیرخطی که منجر به روابط غیرخطی می‌شوند، امکان‌پذیر است. این نوع مدل‌سازی معمولاً از طریق معادلات دیفرانسیل غیرخطی یا دیاگرام‌های بلوکی غیرخطی نمایش داده می‌شود که نوع دوم جهت تحلیل آسان رفتار مدل در محیط SIMULINK/MATLAB مفید است [۸].

از نظر طول بازه فرکانسی مورد مطالعه، مدل‌سازی ریزشبکه‌ها یا هر سیستم دیگر به دو دسته مدل‌سازی با جزئیات^۲ و مدل‌سازی ساده‌شده^۳ تقسیم می‌شود. در روش مدل‌سازی با جزئیات، بازه فرکانسی نسبتاً وسیعی لحاظ شده و تمامی بخش‌های ریزشبکه که دارای دینامیک‌هایی با فرکانس واقع در این بازه هستند یا تمام پدیده‌های مرتبط با این بازه فرکانسی مدل می‌شوند. با این وجود، در روش مدل‌سازی ساده‌شده، تمرکز بر روی یک بازه فرکانسی به مراتب باریک‌تر خواهد بود. در نتیجه، دینامیک‌های واقع در فرکانس‌های بالاتر و پایین‌تر از این محدوده حذف شده یا به عبارتی مدل نمی‌شوند. این نوع مدل معمولاً از ساده‌سازی و کاهش مرتبه مدل با جزئیات به دست می‌آید [۸].

پس از مدل‌سازی یک ریزشبکه متناسب با هدف مورد نظر، بسط روش کنترلی مناسب قدم بعدی خواهد بود. از آن‌جا که ریزشبکه باید توانایی عملکرد در دو حالت متصل به شبکه و جزیره‌ای را داشته باشد، کنترل این عملکرد نیز مطرح می‌شود. به منظور بهره‌برداری پایدار، قابل اطمینان، ایمن و اقتصادی ریزشبکه در هر دو حالت کار استراتژی‌های مختلف کنترلی ارائه شده‌اند که از میان آن‌ها دو استراتژی کنترل سلسله‌مراتبی و طرح جامع کنترل از اهمیت بیشتری برخوردارند [۹]. طرح کنترل سلسله‌مراتبی شامل چهار سطح کنترل اولیه (محلی)، ثانویه، ثالثیه و فراگیر است که کنترل اولیه وظیفه پایدار کردن ولتاژ و فرکانس و تسهیم توان ریزشبکه را بر عهده دارد. کنترل ثانویه موظف است تا ولتاژ و فرکانس پایدار اما خارج از مقادیر نامی را که متأثر از تغییرات بار ریزشبکه بوده‌اند به مقادیر نامی خود برگردانده و تسهیم توان‌های اکتیو و راکتیو را بهبود بخشد. همچنین کنترل ثالثیه مدیریت توان و انرژی ریزشبکه را بر عهده دارد. در نهایت سطح کنترل فراگیر، برنامه‌ریزی و مدیریت در تمامی سطح‌های کنترل را دسته‌بندی می‌کند. در حالت جزیره‌ای، کنترل اولیه ریزشبکه دارای سه حلقه اساسی است. دو حلقه کنترل داخلی با نام‌های کنترل جریان و کنترل ولتاژ به ترتیب به منظور تنظیم جریان و ولتاژ همه منابع انرژی پراکنده به کار گرفته می‌شوند که بر روی همه مبدل‌های منبع ولتاژ (VSC^۴) قرار داده شده‌اند. این دو کنترل‌کننده معمولاً به صورت PI^۵ یا PR^۶ به ترتیب در قاب‌های گردان و ایستای dq و $\alpha\beta$

¹ modeling

² Detailed Modeling

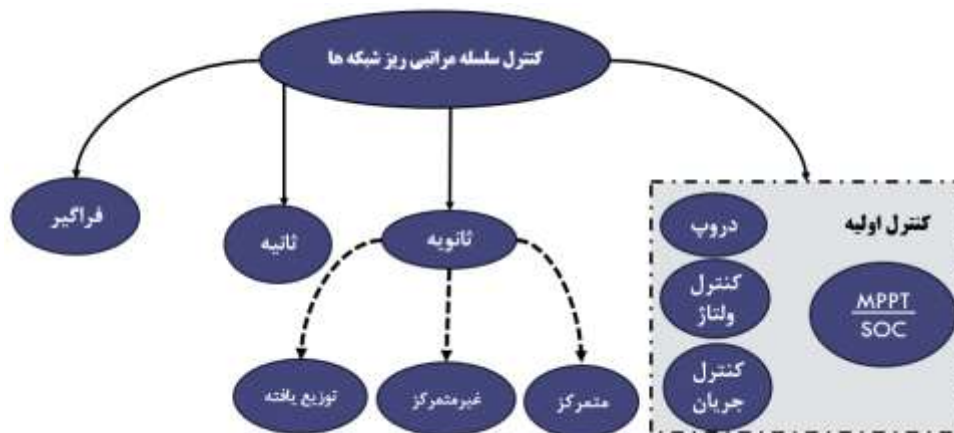
³ Simplified Modeling

⁴ Voltage source converters

⁵ Proportional-Integral

⁶ Proportional-Resonant

پیاده‌سازی می‌شوند. حلقه سوم همان کنترل شیب افقی یا دروپ است که در سیستم‌های قدرت سنتی در نیروگاه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۰]. این حلقه وظیفه تسهیم توان DER^1 را با توجه به ظرفیت آن‌ها بر عهده دارد.



شکل (۳): ساختار کنترل سلسله مراتبی

اکثر فعالیت‌های تحقیقاتی فعلی ریز شبکه در زمینه مدل‌سازی، پایداری و کنترل ریز شبکه‌ها بر این فرض استوار است که آن‌ها در نقاط عملیاتی نامی کار می‌کنند. با این حال، به دلیل غیر خطی بودن، و تغییرات در پارامترهای سیستم و حالت عملکرد، پاسخ دینامیکی ریز شبکه‌ها در حال تغییر پذیری بیش‌تری است. به این منظور، تخمین و مدل‌سازی صحیح دینامیک ریز شبکه نقش مهمی در شبکه‌های برق مدرن ایفا می‌کند. به دلیل رفتار دینامیکی متفاوت ریز شبکه‌ها نسبت به شبکه‌های مرسوم، افزایش سهم ریز شبکه‌ها در سیستم‌های برق مدرن منجر به طبقه‌بندی جدیدی در پدیده‌های پایداری سیستم قدرت می‌شود [۱۱].

ادغام بالای ریز شبکه‌ها، دامنه وسیعی از مقیاس‌های زمانی دینامیکی را در یک سیستم قدرت مدرن فراهم می‌کند. مقیاس زمانی حلقه‌های کنترل ریز شبکه از چند میکروثانیه تا ده‌ها میلی‌ثانیه متغیر است که مربوط به پدیده‌های موجی و الکترومغناطیسی می‌شود. بنابراین برای تجزیه و تحلیل تأثیرات دینامیکی ریز شبکه‌ها بر پایداری و عملکرد یک شبکه برق مدرن، نیاز به گسترش پهنای باند داریم. تغییرات و نرخ تغییرات پدیده‌های مرتبط با کنترل و بهره‌برداری ریز شبکه‌ها را می‌توان دینامیک ریز شبکه‌ها تعریف کرد. مدل‌سازی ریز شبکه‌ها نیز بیان ریاضی یک سیستم یا رفتار بخصوصی از آن است که در ارتباط با یک یا چند پدیده با دینامیک مشابه است. مدل سیستم امکان انجام تمامی تحلیل‌ها و طراحی‌های مبتنی بر روابط ریاضیاتی همچون معادلات جبری و دیفرانسیلی را فراهم می‌کند [۸]. می‌دانیم ریز شبکه یک سیستم غیر خطی معمولی است که دینامیک‌های مختلف در مقیاس‌های زمانی چند گانه با هم در تعامل هستند. برانگیختگی در مقیاس‌های زمانی کوتاه ممکن است به‌طور قابل توجهی بر پاسخ دینامیکی در مقیاس‌های زمانی طولانی تأثیر بگذارد. از آنجایی که سرعت تغییر دینامیک‌های مختلف رفتار متفاوتی دارد، تحلیل عددی سیستم‌های مرتبه بالا معمولاً به یک گام محاسباتی بسیار کوچک برای حل فرآیند دینامیکی سیستم سریع نیاز دارد که به راحتی منجر به مشکلات محاسباتی حجیم می‌گردد [۱۲]. پس مطالعه روش ساده‌سازی مرتبه پایین مدل چند مقیاسی ریز شبکه ضروری است. این امر با اطمینان از این که کوپلینگ دینامیک در مقیاس‌های زمانی مختلف را تا حدودی تحت فرضی که دینامیک غالب سیستم را به‌طور دقیق حفظ می‌کند، می‌توان کاهش داد. در نهایت، با کاهش پیچیدگی تحلیل پایداری، کارایی محاسبات عددی بهبود می‌یابد.

یک مدل دینامیکی بیش‌تر متشکل از مجموعه‌ای از معادلات دیفرانسیل است. روش‌های ساده‌سازی سیستم که از آن‌ها تحت عنوان کلی مدل‌سازی تقریبی یاد می‌شود، به دو گروه کلی روش‌های حل عددی و روش‌های مجانبی تقسیم بندی می‌شوند [۱۳-۱۲]. در روش‌های حل عددی معادله دینامیکی سیستم را توسط روش‌های عددی حل می‌کنیم. روش‌های مدل‌سازی مجانبی مبتنی بر بدست آوردن یک مدل تقریبی از سیستم اصلی تحت شرایطی خاص می‌باشند. از

¹ Distributed Energy Resources

جمله این روش‌ها می‌توان به روش مدل‌سازی آشفتگی تکین^۱ اشاره کرد. یکی از روش‌های بررسی مدل‌های سیستم‌های دو مقیاس زمانی، طراحی و بررسی پایداری این گونه سیستم‌ها با ادغام تئوری سیستم‌های کنترل و تکنیک آشفتگی تکین به دست می‌آید. علت استفاده از تئوری آشفتگی تکین در تحلیل سیستم‌های کنترل، ساده‌سازی نرم‌افزاری و سخت‌افزاری و اعمال ساده‌تر روندهای کنترل این سیستم‌ها می‌باشد. استفاده از روش آشفتگی تکین در تحلیل سیستم‌ها می‌تواند ضمن ساده‌سازی با در نظر گرفتن مدل اصلی در موارد مورد نیاز، باعث برآورده شدن تابع معیار نیز شود. در این روش، تحلیل سیستم به دو ناحیه مختلف لایه خارجی و لایه مرزی تقسیم می‌شود که در تحلیل ناحیه لایه خارجی از مدل کاهشی مرتبه‌یافته^۲ سیستم استفاده می‌شود، ولی در مدل لایه مرزی^۳ به دلیل حساسیت و دقت بیشتر مدل مرتبه کامل سیستم در نظر گرفته می‌شود [۱۴].

تقسیم فوق یک تقسیم زمانی می‌باشد و همواره سعی می‌شود که از مدل کاهش مرتبه‌یافته سیستم برای بیان رفتار سیستم در ناحیه‌ای که سیستم رفتار کندی از خود نشان می‌دهد استفاده شود و رفتار گذرای سیستم با توجه به مدل مرتبه کامل سیستم و به عبارت دیگر توسط تحلیل لایه مرزی بررسی شود. از آنجایی که در بسیاری از فرآیندها، رفتار گذرای سیستم چندان مورد توجه نبوده و رفتار حالت ماندگار سیستم مورد نظر می‌باشد، لذا در بیش تر طراحی‌ها، به پایداری مجانبی لایه مرزی اکتفا می‌شود. با توجه به اینکه دینامیک تند سیستم فقط باعث تغییراتی در پاسخ سیستم حول پاسخ سیستم کاهش مرتبه‌یافته می‌شود. پایداری مجانبی مدل سریع، این تغییرات پس از مدتی به سرعت کاهش یافته و در نهایت آن‌چه باقی می‌ماند پاسخ ماندگار سیستم است که از مدل کاهش مرتبه‌یافته سیستم به دست می‌آید. آن‌چه در ریزشبکه لازم است سادگی بررسی سیستم با بعد زیاد می‌باشد که توسط تئوری آشفتگی تکین می‌توان با جداسازی دامنه فرکانس ریزشبکه به زیرسیستم‌های سریع و کند، سیستم اولیه را کاهش داد [۱۵]. به این ترتیب در فرکانس‌های بالا فقط زیرسیستم تند و در فرکانس‌های پایین زیرسیستم کند مورد بررسی قرار می‌گیرند.

در تحقیق حاضر تنها با تغییر یک پارامتر، مرتبه دینامیک‌های سیستم واقع در لایه کنترل ثانویه به‌ازای پارامتر آشفتگی نسبت به لایه کنترل اولیه کاهش می‌یابد. از آنجا که دینامیک کلیه مدل‌هایی که برای سیستم‌های گوناگون در نظر گرفته می‌شود همواره نسبت به دینامیک واقعی از مرتبه کمتری برخوردار است و در عمل نیز این مدل‌ها قابل قبول هستند، لذا می‌توان انتظار داشت از این مدل بتوان در فرکانس‌های پایین که فرکانس‌های معمول سیستم‌های کنترلی می‌باشند، استفاده مطلوب نمود. در این پژوهش دینامیک‌های سریع ریزشبکه به صورت کمی و از طریق معادله استاندارد آشفتگی تکین به صورت ریاضی، میزان تاثیر گذاری آن‌ها در لایه‌های اولیه و ثانویه بررسی خواهد شد.

ب: پیشینه تحقیق

تحقیقات زیادی تاکنون در خصوص مدل‌سازی و مطالعه دینامیک‌های ریزشبکه ارائه شده‌است. تئوری آشفتگی تکین قبل تر از ریزشبکه (شبکه‌های قدرت مدرن) به عنوان ابزاری قدرتمند برای کاهش مرتبه مدل‌ها در سیستم‌های دینامیکی پیچیده، در زمینه‌های مختلف از جمله سیستم‌های قدرت سنتی کاربرد گسترده‌ای یافته‌است. در [۱۶] برای مدل‌سازی دینامیکی سیستم‌های انتقال قدرت بی سیم (WPT^۴) با استفاده از ویژگی‌های جداسازی مقیاس زمانی که توسط آشفتگی تکین به دست می‌آید، یک مدل مرتبه پایین از مدل اصلی سیستم را استخراج کرده و روش طراحی کنترل حلقه بسته مبتنی بر مدل مرتبه پایین ارائه شده‌است. در [۱۷] با ارائه مدل کاهش مرتبه‌یافته و تجمع دینامیکی، شبکه‌های قدرت مبتنی بر اینورتر مولد جریان را برای رسیدن به مدل‌های با مرتبه پایین و دینامیک جریان شبکه، عملکرد محدودکننده مرجع جریان اینورتر را حفظ می‌کنند. در این مقاله پاسخ مدل‌های تجمعی با مرتبه پایین را با مدل‌های اصلی که از آن‌ها مشتق شده‌اند مقایسه کرده‌است که نتایج نشان‌دهنده صرفه‌جویی قابل توجه در هزینه محاسباتی دارد. مرجع [۱۸] یک مدل ماشین سنکرون آهنربای دائم را با استفاده از تئوری آشفتگی تکین برای دستیابی به مدل مرتبه پائین ارائه می‌دهد. مدل پیشنهادی در برابر تغییرات پارامترهای ماشین الکتریکی و عدم قطعیت گشتاور آشفتگی، مقاوم است. با مرور ادبیات در زمینه کاربرد تئوری آشفتگی تکین در ریزشبکه نیز در می‌یابیم که تئوری آشفتگی تکین به عنوان

¹ Singular Perturbation

² Ordered reduction model

³ Boundary layer model

⁴ Wireless power transmission

روشی کارآمد برای کاهش مرتبه مدل‌ها و تحلیل دینامیک‌های ریزشبکه کاربرد فزاینده‌ای یافته‌است. در [۱۹] با استفاده از روش آشفتگی تکین ریزشبکه دارای منابع تجدیدپذیر نظیر بادی و خورشیدی که مستلزم در نظر گرفتن جفت شدن مقیاس زمانی بین دینامیک سریع و آهسته است را با بررسی ویژگی مقیاس‌های زمانی دینامیک سیستم، مدل کاهش یافته مطمئنی را ارائه داده است. نویسندگان در [۲۰] یک الگوریتم کنترل توزیع شده ترکیبی را برای حلقه‌های کنترل اولیه و ثانویه ریزشبکه در حالت جزیره‌ای جهت دستیابی به پایداری سیگنال بزرگ ارائه می‌دهند. در مقاله [۲۱] به ارائه روشی مبتنی بر مدل کم‌مرتبه برای تحلیل پایداری و دینامیک سیستم‌های ریزشبکه متصل به هم در مقیاس بزرگ به عنوان مطالعه موردی، تحلیل فرکانسی و کنترل آن‌ها را مطرح می‌کند که منجر به معرفی حالت‌های نوسانی بین ریزشبکه‌ها می‌شوند. مقاله [۲۲] ویژگی‌های چند مقیاس زمانی ریزشبکه ترکیبی انرژی تجدیدپذیر مولد شبکه را با در نظر گرفتن حالت‌های گذرا الکترومغناطیسی و الکترومکانیکی دقیق مورد تجزیه و تحلیل قرار داده و روشی برای شناسایی سریع تر دینامیک‌ها را با روش آشفتگی تکین پیشنهاد کرده‌است. مقاله [۲۳] نیز با استفاده از تئوری آشفتگی تکین، اثبات پایداری را با بهره‌گیری از کنترل کننده حلقه بسته برای مبدل بوست واقع در ریزشبکه مورد مطالعه را نشان داده‌است.

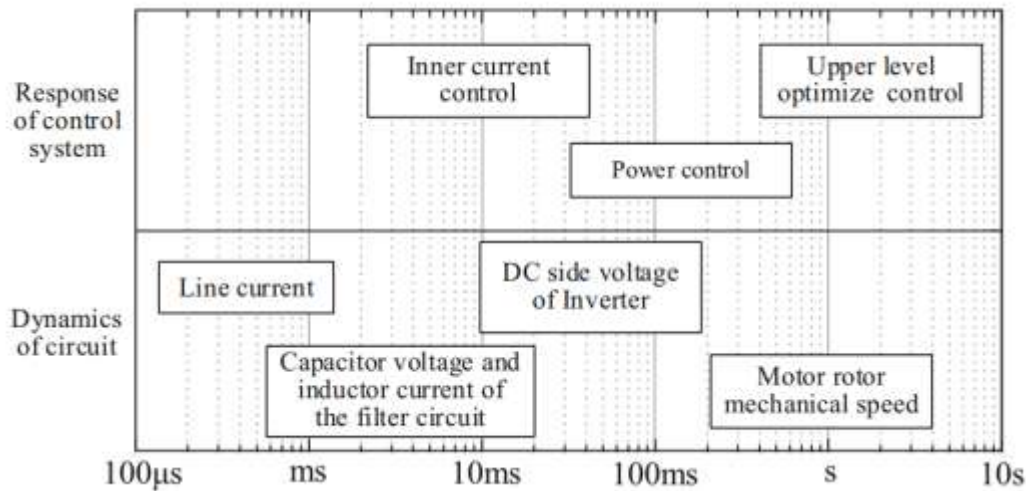
ج: ضرورت، نوآوری و اهداف تحقیق

پدیده‌های مختلف ریزشبکه از نظر طول بازه زمانی که اتفاق می‌افتند و سرعت دینامیک آن‌ها در شکل (۴) نشان داده شده است. همان‌طور که قابل مشاهده است، پدیده‌هایی که در بازه زمانی بزرگ تر اتفاق می‌افتند، دارای دینامیک‌های کندتر معادل با فرکانس‌های کوچک تر و بالعکس هستند. به دلیل برهم کنش عناصر مختلف در مقیاس‌های زمانی متفاوت، ریزشبکه‌ها دارای دینامیک‌های چند مقیاس زمانی هستند [۱۴].



شکل (۴): دینامیک‌های ریزشبکه به تفکیک سرعت و طول بازه زمانی [۸]

رفتار دینامیکی یک ریزشبکه شامل رفتار کنترل اینورتر، پاسخ روتور موتور و پاسخ مدار در شکل (۵) نشان داده شده‌است. قابل مشاهده است، سطح توان و رفتار کنترلی سطوح ولتاژ و جریان در مقیاس زمانی $ms \sim \mu s$ و رفتار پاسخ ولتاژ و جریان اجزای مدار در مقیاس زمانی $ms \sim \mu s$ توزیع می‌شوند.



شکل (۵): توزیع مقیاس زمانی عناصر مختلف در یک ریزشکه [۱۴]

در این تحقیق ابتدا مدل با جزئیات به دست آمده و سپس با هدف موردنظر کاهش مرتبه یافته و به مدل ساده شده تبدیل می شود. با استفاده از روش آشفستگی تکین که یکی از روش های ساده سازی مبتنی بر مدل می باشد، اثر حالت گذرای متغیرهای حالت سریع حذف، اما اثر حالت ماندگار آن ها حفظ می شود. در واقع معادلات دیفرانسیل آشفستگی تکین یک ضریب کوچک مانند ε که در بالاترین مرتبه مشتق خود هستند را به روش های زیر مورد بررسی قرار می دهیم:

✓ با قرار دادن $\varepsilon = 0$ تقریب مناسب برای ناحیه بیرونی به دست می آوریم.

✓ مسئله را در یک مقیاس کوچک تر برای به دست آوردن تقریب درونی ترسیم می کنیم.

✓ تقریب های بیرونی و درونی را تطبیق می دهیم.

با استفاده از مدل استاندارد آشفستگی تکین که به صورت (۱) و (۲) می باشد، دینامیک های ریزشکه را تحلیل می کنیم [۱۲].

$$\dot{x} = f(t, x, z, \varepsilon) \quad x(t_0) = \zeta(\varepsilon) \quad (1)$$

$$\varepsilon \dot{z} = g(t, x, z, \varepsilon) \quad z(t_0) = \eta(\varepsilon) \quad (2)$$

معادله (۲) به دلیل اینکه مشتق متغیر z برای ε کوچک دارای مقداری بزرگ می باشد، این متغیر را متغیر سریع می نامیم. همچنین از آنجایی که معادله (۳) تابعی از متغیرهای کند x می باشد، به عنوان مدل کند شناخته می شود و معادله (۴) را مدل لایه مرزی نام گذاری می شود.

$$\dot{x} = f(t, x, h(t, x), 0) \quad x(t_0) = \zeta(\varepsilon) \quad (3)$$

$$\frac{dy}{d\tau} = g(t, x, y + h(t, x), 0) \quad (4)$$

با توجه به مطالب گفته شده؛ دینامیک های ریزشکه را می توان از روش آشفستگی تکین به دو زیر سیستم مدل کاهش یافته و مدل لایه مرزی تقسیم کنیم. مدل کاهش یافته مربوط به متغیرهای حالت کند می باشد در حالی که مدل لایه مرزی رفتار گذر سریع را تخمین می زند [۱۲]. در ادامه کار با نادیده گرفتن دینامیک متغیرهای حالت سریع در سیستم، مدل ساده شده سیستم اصلی به دست می آید. در واقع مدل کاهش یافته فقط متغیرهای حالت با فرآیند تغییر کندتر را حفظ می کند و مرتبه مدل به شدت کاهش می یابد. علاوه بر این، معادلات حالت مربوط به فرآیند دینامیکی سریع توسط سیستم لایه مرزی توصیف می شود. با این رویکرد، عبارت حالت شبه پایدار را می توان حفظ کرد و با جدا کردن حالت سریع و حالت کند در سیستم، سنگینی مدل سیستم اصلی از بین می رود و زمان مورد نیاز برای محاسبات عددی به طور قابل توجهی کاهش می یابد. همچنین برای اطمینان از صحت مدل مرتبه پایین، لازم است نقاط تعادل مدل مرتبه پایین و مدل مرتبه بالا (سیستم اصلی) یکسان باشند.

متغیرهای سریع در مدل اصلی می‌توانند به سرعت از نقطه اولیه به نقطه تعادل سیستم لایه مرزی همگرا شوند. مدل کاهش یافته ممکن است در توصیف فرآیند دینامیکی متغیرهای سریع در مقیاس زمانی کوتاه پس از آشفتگی‌ها خطا داشته باشد. با این حال، هنگام استفاده از یک مدل کاهش یافته برای شبیه‌سازی عددی حوزه زمان، معمولاً فرض بر این است که سیستم قبل از وقوع آشفتگی در حالت پایدار قرار دارد. در این زمان، مقدار اولیه جواب حالت پایدار سیستم لایه مرزی برابر با نقطه اولیه متغیرهای سریع آن است و خطای پیش‌بینی شده سیستم کاهش یافته بسیار کم خواهد بود [۱۵]. برای به دست آوردن مدل آشفتگی تکی از سیستم اصلی، تعیین صحیح متغیرهای سریع و انتخاب پارامترهای آشفتگی معادله حالت مربوط به متغیرهای سریع اهمیت دارد. کاهش مرتبه با آشفتگی تکی در سیستم قدرت متعارف معمولاً برای تعیین متغیرهای سریع بر اساس تجربه مهندسی تکیه می‌کند، می‌توان به نمونه‌هایی مانند نادیده گرفتن دینامیک جریان القایی و دینامیک ولتاژ خازن در شبکه خط اشاره کرد. به دلیل اهمیت سرعت پاسخ سریع DERs متصل به اینورتر، دینامیک متغیرهای سریع ممکن است با دینامیک متغیرهای کند برهم کنش داشته باشد که این امر به طور اجتناب ناپذیری بر دینامیک غالب سیستم تأثیر می‌گذارد. بنابراین، انتخاب متغیرهای سریع در یک ریزشبه نیاز به ارزیابی دارد [۱۴].

در اکثر کارهای انجام شده تمرکز بر کاهش مرتبه سیستم ریزشبه با حذف دینامیک‌های سریع بوده است. با توجه به اهمیت مدل کردن اکثر دینامیک‌های ریزشبه در بسیاری از مطالعه‌ها، ضرورت مطالعه دقیق تمامی دینامیک‌های آن بخصوص دینامیک‌های سریع تر مورد نیاز است. در تحقیقات صورت گرفته تا الان متغیرهایی مانند جریان خط، کنترل کننده حلقه داخلی، خروجی جریان اینورتر و ولتاژ خازن به عنوان متغیرهای سریع در نظر گرفته شده است. با این حال، در این مراجع، درستی انتخاب این متغیرهای سریع نادیده گرفته شده است. بین ثابت زمانی معادله دیفرانسیل جریان خط و جریان بار اختلاف زیادی وجود دارد و متغیر جریان با زمان ثابت کوچک تر به عنوان متغیر سریع برای کاهش مرتبه تعریف می‌شود. با انجام این تحقیق، با استفاده از مدل ریاضی متغیرهای سریع، لایه‌های ریزشبه را شناسایی کرده و میزان تاثیرگذاری هر کدام از دینامیک‌ها در لایه ثانویه کنترل را متوجه خواهیم شد.

د: مفروضات و محدودیت‌ها (دامنه تحقیق)

به طور کلی با توجه به ویژگی‌های مساله‌ی تعریف شده، می‌توان فرضیات را به صورت زیر دسته‌بندی کرد:

- فرض می‌شود که مدل سیستم ریزشبه شامل منابع تولید پراکنده، ذخیره‌سازی انرژی، و بارهای مصرفی است که با هم در ارتباط هستند.
- فرض بر این است که سیستم ریزشبه در شرایط عادی پایدار است و تنها در شرایط خاص دچار ناپایداری می‌شود.
- فرض می‌شود که داده‌های ورودی مربوط به بارها، تولیدات پراکنده و سیستم‌های مربوطه دقیق و قابل اعتماد هستند.
- فرض می‌شود که روش‌های کنترل موجود قادر به مدیریت دینامیک‌های سریع ریزشبه هستند.
- به دلیل پیچیدگی بالای مدل‌های دینامیکی و الگوریتم‌های تکی، ممکن است محدودیت‌هایی در زمینه زمان و منابع محاسباتی وجود داشته باشد.
- ممکن است برخی از مدل پدیده‌های مختلف در مدل‌سازی به دلیل پیچیدگی یا عدم دسترسی به داده‌های دقیق نادیده گرفته شوند.
- روش آشفتگی تکی ممکن است در برخی شرایط خاص قادر به پیش‌بینی دقیق پاسخ سیستم نباشد.

ه: روش و مراحل انجام تحقیق

روند اعمال روش پیشنهادی، در قالب چند مرحله به صورت زیر بیان می‌شود:

- مرحله یک- مطالعات مروری و تکمیلی: به منظور بررسی جامع از پژوهش‌های موجود در مورد مطالعه دینامیک‌های سریع ریزشبه، روش آشفتگی تکی و کاربرد آن و شناسایی شکاف‌های دانش و فرمول‌بندی سؤالات تحقیقاتی خاص بر اساس این بررسی، مطالعات تکمیلی در حوزه پژوهش انجام خواهد شد.
- مرحله دو- انتخاب سیستم و مدل‌سازی: در این مرحله به توسعه یک مدل ریزشبه DC با دقت بالا با استفاده از پلتفرم شبیه‌سازی مناسب MATLAB/Simulink خواهیم پرداخت که مدل به طور دقیق دینامیک ریزشبه، به ویژه دینامیک‌های سریع را نشان می‌دهد.

- مرحله سه- ساده سازی مدل و تجزیه و تحلیل آشفتگی تکین: تجزیه و تحلیل مدل ریزشبه و شناسایی دینامیک های کند و سریع بر اساس ثابت های زمانی اجزای مختلف، با اعمال روش آشفتگی تکین برای استخراج یک مدل مرتبه کاهشی که دینامیک های سریع ضروری ریزشبه را تعیین کند.
- مرحله چهار- اعتبارسنجی سیستم و رفع خطا: با مقایسه پاسخ مدل های ریزشبه با جزئیات کامل و مرتبه کاهشی برای سناریوهای تست مختلف؛ نتایج را با روش معمول مقایسه و نقاط قوت و ضعف بررسی می شوند و نواقص و خطاها و مشکلات احتمالی رفع خواهد شد.
- مرحله پنج- تجزیه و تحلیل حساسیت: استفاده از مدل مرتبه کاهشی برای بررسی تأثیر عوامل مختلف بر دینامیک های سریع ریزشبه؛ با تجزیه و تحلیل رفتار سیستم تحت شرایط مختلف و شناسایی عوامل بحرانی که بر دینامیک های سریع تأثیر می گذارند.
- مرحله شش- کاربرد و مطالعه موردی تحقیق: بررسی نتایج و اعمال به یک سناریوی واقعی ریزشبه، براساس داده های واقعی یا یک مطالعه موردی (استفاده از مدل برای تحلیل دینامیک های سریع ریزشبه در شرایط عملیاتی خاص) برای نشان دادن کاربرد تحقیقی که صورت گرفته است.
- مرحله هفت- نگارش و تدوین پایان نامه: در پایان، نتایج تحقیق آورده شده و تدوین نهایی پایان نامه انجام خواهد شد.

ی: جدول زمانبندی انجام پروژه

جدول زمان بندی انجام پروژه به شرح ذیل می باشد:

ردیف	مراحل اجرا	ماه							
		۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
۱	مطالعات مروری و تکمیلی								
۲	انتخاب سیستم و مدل سازی								
۳	ساده سازی مدل و تجزیه و تحلیل آشفتگی تکین								
۴	اعتبارسنجی و رفع خطا								
۵	تجزیه و تحلیل حساسیت								
۶	کاربرد و مطالعه موردی تحقیق								
۷	نگارش و تدوین پایان نامه								

مراجع

- [1] M. S. Alam, F. S. Al-Ismail, S. M. Rahman, M. Shafiullah, and M. A. Hossain, "Planning and protection of DC microgrid: A critical review on recent developments," Engineering Science and Technology, an International Journal, vol. 41, p. 101404, 2023.
- [2] Y. R. Li, F. Nejabatkhah, and H. Tian, "Overview of Power Quality in Microgrids," 2023.
- [3] J. Mishra, P. K. Behera, M. Pattnaik, and B. C. Babu, "A multi-agent petri net model power management strategy for wind-solar-battery driven DC microgrid," Sustainable Energy Technologies and Assessments, vol. 55, p. 102859, 2023.
- [4] M. Ahmed, L. Meegahapola, A. Vahidnia, and M. Datta, "Stability and control aspects of microgrid Architectures-A comprehensive review," IEEE access, vol. 8, pp. 144730-144766, 2020.
- [5] R. Dadi, K. Meenakshy, and S. Damodaran, "A Review on Secondary Control Methods in DC Microgrid," Journal of Operation and Automation in Power Engineering, vol. 11, no. 2, pp. 105-112, 2023.
- [6] H. Bevrani, B. François, and T. Ise, Microgrid dynamics and control. John Wiley & Sons, 2017.
- [7] Juan Diego Rios Penaloza, James Amankwah Adu, Alberto Borghetti, Fabio Napolitano, Fabio Tossani, and Carlo Alberto Nucci. Influence of load dynamic response on the stability of microgrids during islanding transition. Electric Power Systems Research, 190:106607, 2021.
- [8] Qobad Shafiee, Mobin Naderi, Hassan Bevrani, "Microgrid Dynamic Modeling: Concepts and Fundamentals," in Microgrids: Dynamic Modeling, Stability and Control, IEEE, 2024.
- [9] S. Mo, W. H. Chen, and X. Lu, "Hierarchical Hybrid Control for Scaled Consensus and Its Application to Secondary Control for DC Microgrid," (in eng), IEEE Trans Cybern, vol. Pp, Jul 14 2022.
- [10] Qobad Shafiee, Mobin Naderi, Hassan Bevrani, "Microgrid Control: Concepts and Fundamentals," in Microgrids: Dynamic

Modeling, Stability and Control, IEEE, 2024. [11] Sajad Ghadiriyan and Mohsen Rahimi. "Mathematical representation, stability analysis and performance improvement of dc microgrid system comprising hybrid wind/battery sources and cpls," IET Generation, Transmission & Distribution, 13(10):1845–1855, 2019. [12] Anshu Narang-Siddarth, John Valasek. "Nonlinear Time Scale Systems in Standard and Nonstandard Forms Analysis and Control," Society for Industrial and Applied Mathematics Philadelphia, 2014. [13] I.P. Nikolakakos, H.H. Zeineldin, M.S. El Moursi, J.L. Kirtley, "Reduced-order model for interinverter oscillations in islanded droop-controlled microgrids, " IEEE Trans. Smart Grid 9(5), 4953–4963, 2018. [14] Zhikang Shuai, Transient Characteristics, "Modelling and Stability Analysis of Microgrid, Springer," 2021. [15] P. Vorobev, P.H. Huang, M. Al Hosani, J.L. Kirtley, K. Turitsyn, "Highfidelity model order reduction for microgrids stability assessment," IEEE Trans. Power Syst., vol. 33, no. 1, pp. 874–887, 2017. [16] W. Xiao et al., "Dynamic Modeling and Control Design Based on Singular Perturbation Theory for High-Order Wireless Power Transfer System," in IEEE Transactions on Industrial Informatics, vol. 20, no. 5, pp. 7524-7536, May 2024. [17] O. Ajala, N. Baeckeland, B. Johnson, S. Dhople and A. Domínguez-García, "Model Reduction and Dynamic Aggregation of Grid-Forming Inverter Networks," in <i>IEEE Transactions on Power Systems</i>, vol. 38, no. 6, pp. 5475-5490, Nov. 2023. [18] Q. Li, H. Li, J. Gao and R. Kennel, "Model Predictive Control Using the Singular Perturbation Theory for Permanent-Magnet Synchronous Machines," in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 39, no. 3, pp. 3533-3543, March 2024. [19] Z. Zhao et al., "Reduced-Order Model for Wind-Solar Multi-Microgrids Considering Time-Scale Coupling," in IEEE Transactions on Power Systems, vol. 39, no. 1, pp. 2052-2065, Jan. 2024. [20] M. C. Merchán-Riveros and C. Albea, "Three Time-Scale Singular Perturbation Hybrid Control and Large-Signal Analysis Stability in AC-Microgrids," in IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers, vol. 70, no. 8, pp. 3373-3386, Aug. 2023. [21] M. Naderi, Q. Shafiee, H. Bevrani and F. Blaabjerg, "Low-Frequency Small-Signal Modeling of Interconnected AC Microgrids," in IEEE Transactions on Power Systems, vol. 36, no. 4, pp. 2786-2797, July 2021. [22] Z. Zhao et al., "Model Reduction for Grid-Forming Hybrid Renewable Energy Microgrid Clusters Based on Multi-Timescale Characterization," in IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 15, no. 2, pp. 1227-1242, March 2024. [23] Q. Guo, M. J. Carrizosa, A. Iovine and A. Arzandé, "Dynamic Feedback Linearization and Singular Perturbation for a Stabilizing Controller for DC/DC Boost Converters: Theory and Experimental Validation," in <i>IEEE Transactions on Industrial Electronics</i>, vol. 71, no. 8, pp. 9559-9568, Aug. 2024.	مدت اجرا: ۸ ماه
تعداد واحد پایان نامه: ۶	