زمستان ۱۴۰۲
سال دوازدهم
شماره چهل و دوم

فصلنامه تخصصی مهندسی برق و کامپیوتر

کهربا

۱–بررسی و تحلیل اثرات پارامترهای تخلیه قوس الکتریکی بر هدایت الکتریکی مواد سنتز شده کربنی

۲–بهینه‌سازی مسیریابی حمل‌ونقل در زنجیره تأمین با ۴۰ گره با استفاده از الگوریتم ژنتیک

۳–پیاده سازی یک روش کاربردی در تحلیل و بهبود کیفیت توان

۴– تعیین استراتژی بهینه واحدهای تولید بر پایه قدرت بازار

۵–مروری بر کاربرد فیبرهای کریستال فوتونی در بیوسنسورها

۶– کاربرد مهندسی وب در کامپیوتر





ISSN :2322-3723

شماره مجوز وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی ۷۷۸۲۱

صاحب‌امتیاز

نواندیشان

مدیرمسئول

مهدی عارف خیابانی

سردبیر

امین شیخ نجدی

هیئت تحریریه

دکتر جواد شکرالهی مغانی-دکترای برق قدرت-دانشیار دانشگاه صنعتی امیرکبیر تهران

دکتر امیرحسین رحمانی – دکترای برق قدرت- استاددانشگاه‌های جندی شاپور دزفول و آزاد اسلامی‌واحد درفول

دکتر ملیحه نیک سیرت- دکترای علوم کامپیوتر- استادیار دانشگاه صنعتی بیرجند

دکتر محمد دوستی زاده- دکترای برق، قدرت- استاد دانشگاه آزاد اسلامی‌خرم آباد

دکتر موسی مجرد- دکترای کامپیوتر-نرم افزار – هیئت علمی‌دانشگاه فیروزآباد، رئیس دانشگاه آزاد اسلامی‌فراشبند

دکتر حامد سقایی- دکترای برق الکترونیک- دانشیار دانشگاه آزاداسلامی شهرکرد ، استادیار دانشگاه اهواز

دکتر آزاد رحیمی- دکترای برق قدرت- هیئت علمی(مربی) و مدیرگروه دانشگاه فنی و حرفه‌ای سنندج

مهندس امین شیخ نجدی-کارشناس ارشد برق الکترونیک-استادیار مدعو دانشگاه جندی شاپور دزفول و آزاداسلامی واحد دزفول،شهدای اهواز

مهندس محمدحسین دوست محمدی- کارشناسی ارشد برق الکترونیک – هیئت علمی(مربی) دانشگاه صنعتی همدان

درباره کهربا 3

یادداشت مدیرمسئول 4

آشنایی با مشاهیر

دکتر حسن عباس پور تهرانی فرد 6

مقالات

بهینه‌سازی مسیریابی حمل‌ونقل در زنجیره تأمین با 40 گره با استفاده از الگوریتم ژنتیک 8

علیرضا محمودی فرد، کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی دانشگاه شاهد

نگار مظفر قدیرلی، دانشجوی کارشناسی مهندسی صنایع موسسه ابرار

پیاده‌سازی یک روش کاربردی در تحلیل و بهبود کیفیت توان 30

سعید سالارخیلی،شرکت برق منطقه ای تهران،ایران

اصغر اکبری فرود،دانشگاه سمنان،ایران

تعیین استراتژی بهینه واحدهای تولید بر پایه قدرت بازار 41

مریم رمضانیان لنگرودی، سید مازیار میرحسینی مقدم، بهنام علیزاده

گروه مهندسی برق، واحد لاهیجان

بررسی و تحلیل اثرات پارامترهای تخلیه قوس الکتریکی بر هدایت الکتریکی مواد سنتز شده کربنی 52

امیر شاطری، کارشناسی پیوسته مهندسی برق موسسه آموزش عالی آپادانا شیراز؛ ایران

کاربرد مهندسی وب در کامپیوتر 59

شهرام محمدی ، مربی گروه مهندسی کامپیوتر، دانشگاه فنی و حرفه ای دختران اصفهان، ایران

مروری بر کاربرد فیبرهای کریستال فوتونی در بیوسنسورها 71

مهران کریمیان ریزی،کارشناسی ارشد مهندسی پزشکی،دانشگاه تبریز،ایران

مریم فریور،مربی سازمان آموزش فنی و حرفه ای کشور،اصفهان ایران

ارتباط با کهربا 76
English Abstracts 77

درباره کهربا

مجله الکترونیکی کهربا، با همت و تلاش جمعی از دانشجویان و مهندسین برق، بخصوص اعضای انجمن علمی و پژوهشی نواندیشان، در سال هزار و سیصد و نود شروع به کار کرد. کهربا از سال ۹۱ با کسب شماره بین‌المللی استاندارد مجلات (ISSN:2322-3723) و ثبت در سازمان اسناد و کتابخانه ملی ایران، به‌عنوان فصلنامه‌ای رسمی و تخصصی در حوزه صنعت برق شناخته‌شده است. این نشریه تخصصی در سال ۹۵ موفق به اخذ پروانه انتشار از وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی، با مجوز شماره ۷۷۸۲۱ و ثبت در سامانه جامع رسانه های کشور(e-rasaneh) و بانک اطلاعات نشریات کشور(magiran) گردید. در سال 97 طی تفاهم‌نامه‌ای با بانک مقالات کشور (سیویلیکا) مورد حمایت این پایگاه قرارگرفته و مقالات ارائه‌شده به نشریه پس از انتشار در سیویلیکا نمایه شده و در نظام رتبه‌بندی دانشگاه‌ها و پژوهشگاه‌ها مورد تحلیل و بررسی قرار می‌گیرند.

یادداشت مدیرمسئول

در دوازدهمین زم ستان از فعالیت ن شریه کهربا و پس از انت شار چهل و یک شماره از مجله مفتخریم با انتشار چهل و دومین شماره از این نشریه در خدمت علاقه‌مندان این مجله تخصصی با شیم. تلاش ما از روز نخ ست، جمع‌آوری، تهیه و ارائه مطالبی ساده و کاربردی، درعین‌حال تخ ص صی، به ق شر فرهیخته دانش‌پژوه و ک سانی که م شتاق به دان ستن علوم مهند سی برق و الکترونیک یا کامپیوتر ه ستند، بوده است. امید است با هدایت و راهنمایی شما هر شماره بهتر و پخته‌تر از شماره پیشین گردد. امید است که باهمت و همیاری دو ستان بتوانیم قدمی‌هرچند کوچک، جهت جلب ر ضایت و بالا بردن سطح دانش شما برداریم؛ و روزبه‌روز شاهد پیشرفت و موفقیت‌های شما عزیزان باشیم.

آشنایی با دکتر حسن عباس پور تهرانی فرد

شـــهید حســـن عباس‌پور تهرانی‌فرد (۱۳۲۳–۷ تیر ۱۳۶۰ در تهران) وزیر نیرو در کابینه محمد علی رجایی بود. او اســـتاد دانشـــکده مهندسی برق دانشگاه صنعتی شریف و مؤسس دانشگاه صنعت آب و برق بود.او در جریان بمب گذاری در دفتر حزب جمهوری اسلامی در تاریخ ۷ تیر ۱۳۶۰ که منجر به شهید شدن تعداد زیادی از اعضای این حزب شد، شهید شد.



تحصیلات

عباس‌پور در سال ۱۳۴۲ دوره دبیرستان را در مدرسه هدف و با معدل ۲/۱۸ در تهران به پایان رساند. در همان سال در کنکور شرکت کرد و وارد دانشکده فنی دانشگاه تهران شد. او در سال ۱۳۴۶ در رشته الکترومکانیک مدرک کارشناسی ارشد دریافت کرد و چون جزو فارغ التحصیلان ممتاز بود بلافاصله در دانشگاه صنعتی شریف جذب و به عنوان دستیار در کار آزمایشگاهی، تحقیق و تدریس مشغول به کار شد. در تاریخ تیر ماه ۱۳۵۰ برای انجام تحقیقات در پروژه طراحی خط ۴۰۰ هزار ولت کبان - آنکارا به سوئیس رفت و مدتی در این پروژه مشغول به کار بود. پس از بازگشت به میهن دوباره در سال ۱۳۵۱ برای تحصیل در رشته دکترای انرژی عازم انگلستان شد و در دانشگاه لندن در زمینه‌های برنامه‌ریزی انرژی و شبکه‌های الکتریکی و مدیریت آن تحقیقاتی را انجام داد و دکترای این رشته را اخذ کرد.

تأسیس سازمان دانشگاهیان

در زمان دولت جمشید آموزگار به همراه عده‌ای از استادان دانشگاه هسته اولیه سازمان ملی دانشگاهیان را تشکیل داد. پس از مدتی او به عضویت هیئت دبیره این سازمان انتخاب شد. این سازمان قبل از انقلاب نقش مهمی در مبارزات مردم علیه محمدرضا شاه ایفا نمود. این سازمان با برگزاری جلسات سخنرانی در دانشگاه‌ها و طراحی تحصن در وزارت علوم و دبیرخانه دانشگاه تهران که منجر به شهادت کامران نجات‌اللهی شد به تبلیغ ایدئولوژی اسلامی می‌پرداخت.

دوران وزارت نیرو

با اتمام درس وی در انگلستان و بازگشت به ایران وی مجدداً در دانشگاه صنعتی شریف به تحقیق و تدریس مشغول شد. وی بعد از استعفای دولت موقت، با فرمان شورای انقلاب، مسؤولیت وزارت نیرو را در آبان ۱۳۵۸ به عهده گرفت.[۲]

فعالیت‌ها

حسن عباس‌پور در دوران تصدی خود در وزارت نیرو توانست تحولی در این وزارتخانه به وجود بیاورد.

وی در دوران وزارت، دانشگاه صنعت آب و برق را تأسیس کرد.

طبق آمار منتشر شده از سوی وزارت نیرو، این وزارتخانه تا پایان آذر ماه سال ۵۹ توانست با رشد ۶/۷ درصدی، انرژی تولید شده توسط نیروگاه‌ها را به ۱۵۵،۵ میلیون کیلووات ساعت برساند.

در ۹ ماهه پایان سال ۵۹ قدرت نصب شده در نیروگاه‌های تحت مدیریت وزارت نیرو به ۸۷۷۹ هزار کیلووات رسیده بود که معادل ۸۶۱ هزار کیلووات ساعت (۹-۱۰ درصد) افزایش داشته است.

KNO-1004-4201

بهینه‌سازی مسیریابی حمل‌ونقل در زنجیره تأمین با 40 گره با استفاده از الگوریتم ژنتیک

علیرضا محمودی‌فرد[1*] alireza10.m10@gmail.com
نگار مظفر قدیرلی[2] negar.mozzafar@gmail.com

[1]دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی (و مدرس دانشگاه‌ها)، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران
[2]دانشجوی کارشناسی مهندسی صنایع، موسسه ابرار، تهران، ایران

چکیده: در طی سال‌های گذشته، تلاش‌های زیادی به جهت کاهش هزینه حمل‌ونقل با استفاده از مدل‌های متفاوت مسئله مسیریابی وسیله نقلیه صورت گرفت؛ در واقع، افزایش در هزینه‌های حمل‌ونقل بسیاری را تشویق کرد که هزینه حمل‌ونقل مرتبط با حرفه خود را با بهره‌گیری از سیستم مسیریابی و سیله نقلیه کاهش دهند. در این پژوهش، مسئله مسیریابی حمل‌ونقل در زنجیره تأمین برای 40 گره، مورد بررسی قرار گرفته است؛ مسئله مسیریابی وسایل نقلیه که از انبارها حرکت نموده، دسته‌ای از مشتریان را ملاقات کرده و به انبار بر می‌گردند. هر وسیله نقلیه دارای یک ظرفیت ثابت است و هر مشتری دارای تقاضای مشخص است که باید کاملا ارضا شود. مسئله شامل ترکیب انتخاب ملاقات برای هر مشتری و تعیین مسیرهای وسایل نقلیه بر اساس قوانین مسئله مسیریابی وسیله نقلیه است؛ به‌طوری‌که کل مسافت طی شده توسط هر وسیله نقلیه و کل زمان‌های زودکرد و دیرکرد و در مجموع کل هزینه کمینه شود.
از آنجائی‌که مسئله مسیریابی وسیله نقلیه، یک مسئله متعلق به کلاس NP-Hard است، مسئله مسیریابی وسیله نقلیه (VRP) جزء مسائل پیچیده و متعلق به کلاس NP-Hard است و برای حل آن از رویکردهای فرابتکاری استفاده می‌شود. در این کار، الگوریتم ژنتیک برای حل مسئله مسیریابی وسیله نقلیه پیشنهاد شده است و سعی شده است با استفاده از نرم‌افزار MATLAB به حل پرداخته و به جواب بهینه دست یافته شود.

کلیدواژه: *مسیریابی وسایل نقلیه، الگوریتم ژنتیک، زنجیره تأمین، حمل‌و نقل، مدل ریاضی، هدف، بهینه‌سازی، نرم‌افزار MATLAB*

1. مقدمه

در دنیای کنونی تجارت و توزیع کالاها، بهینه سازی عملیات حمل‌ونقل کالاها در زنجیره‌تأمین، اهمیت بسیاری دارد. با توجه به افزایش پیچیدگی و حجم رشد این صنعت‌ها، مسائل مسیریابی حمل‌ونقل کالا به‌عنوان یکی از مسائل اساسی در مدیریت زنجیره‌تأمین مطرح می‌شوند؛ این مسائل در واقعیت با ترکیب عوامل متعددی از جمله محدودیت‌های زمانی، محدودیت‌های ظرفیت،

تقاضاهای متغیر و تعداد زیادی مکان‌ها و منابع حمل‌ونقل، به یک مسئله بهینه‌سازی پیچیده تبدیل می‌شوند.
در دهه‌های اخیر، جهان صنعتی امروز که رقابت تنگاتنگی میان شرکت‌ها و تولیدکنندگان وجود دارد، برآورده کردن نیازهای مشتریان که کالاهایی متنوع با کیفیت بالا و در عین‌حال، قیمت مناسب با توجه به توان خرید مشتری است؛ یکی از اهداف کلیدی مدیریت زنجیره تأمین به‌شمار می‌رود؛ رقابت میان شرکت‌ها در رقابت میان اجزای آن‌ها است [1].
مسئله مسیریابی وسایل نقلیه (VRP)[1] مهم‌ترین و پرهزینه‌ترین بخش در لجستیک می‌باشد و امروزه به‌علت کاربردهای واقعی در مسائل صنعتی، توجه زیادی به آن شده است؛ اولین بار این مسئله را دانتزیگ و رامسر مطرح کردند؛ این مسئله در زمینه‌های حمل‌ونقل و مسیریابی توزیع و لجستیک مهم است [2].
وسایل نقلیه‌ای که موظف‌اند برای برآورده کردن تقاضا مشتریان، از انبار به‌سمت آن‌ها حرکت نمایند و پس از خدمت به تمامی مشتریان دوباره به انبار بازگردند، در مسائل VRP بررسی می‌شوند که با اضافه شدن محدودیت‌ها و مفروضات به این نوع مسائل منجر به پیدایش نسخه‌های متفاوت آن گردیده و کاربرد آن را در حوزه‌های مختلف توسعه داده است.
در این پژوهش، هدف ارائه جواب‌های مقاوم برای حل مسائل VRP در شرایط عدم قطعیت با استفاده از الگوریتم فراابتکاری ژنتیک (GA)[2] است که بتواند بهینگی خود را حفظ نماید.
اضافه شدن یک‌سری از محدودیت‌ها باعث ایجاد انواع مختلف VRP می‌گردد؛ در این پژوهش، با اضافه شدن یکی از مهم‌ترین عوامل عدم قطعیت به مسئله VRP که «نامعلوم بودن تقاضا مشتری» است، سبب ایجاد VRP با تقاضا کاملاً تصادفی (VRPSD)[3] گردیده است؛ به VRPSD مسئله مسیریابی وسایل حمل‌ونقل احتمالی (PVRP)[4] نیز گفته می‌شود.
وقوع عدم قطعیت تقاضای مشتریان به این صورت است که میزان تقاضا نامشخص است تا هنگامی‌که وسیله نقلیه به محل مشتری برسد؛ چنانچه میزان تقاضا کمتر از بار موجود در وسیله نقلیه باشد، مشتری سرویس می‌گیرد و وسیله نقلیه برای خدمت، به مشتری بعدی می‌رود؛ در غیر این‌صورت برای مشتری کنونی یک هزینه منفی در نظر گرفته می‌شود و وسیله نقلیه پس از رفتن به انبار و بارگیری مجدد به مشتری بعد از مشتری کنونی می‌رود. تابع هدف روش پیشنهادی، علاوه‌بر هزینه‌ی منفی ناشی از عدم سرویس به مشتریان، شامل هزینه‌ی سفر بین مشتریان و همچنین انبار می‌باشد.

2. متن بررسی

1.2. بیان دقیق مسئله

[1] Vehicle Routing Problem (VRP)
[2] Tabu Search
[3] VRP with Stochastic Demand
[4] Probabilistic Vehicle Routing Problem

مسائل NP [5] که تاکنون راه‌حل سریع و قابل انجام در زمان معقولی، برایشان پیدا نشده است و احتمالاً در آینده نیز یافت نخواهد شد، شامل چند هزار مسئله مختلف با کاربردهای بسیار است، که البته اثبات شده است که اگر فقط برای یکی از این مسائل راه‌حل سریع پیدا شود، باعث حل بقیه مسائل نیز خواهد شد؛ این مسائل عملاً پیچیده بوده و راه‌حل سریعی ندارند (منظور از راه‌حل سریع، رابطه چند جمله‌ای بین زمان انجام آن مسئله با اندازه ورودی‌های مسئله است) [3].

مسئله مسیریابی وسیله نقلیه VRP یکی از مهم‌ترین و پرکاربردترین مسائل NP تام[6] است که تنوع نسخه‌های گوناگون این مسئله آن‌قدر زیاد است که دسته‌بندی آن‌ها و بیان حالت‌های مختلفی که در آن رخ می‌دهد، بسیار مشکل و زمان‌گیر است که امروزه بسیار مورد توجه محققین و دانشمندان قرار می‌گیرد. از زمانی که این مسئله در دهه 60 مورد بررسی قرار گرفت، گسترش‌های بسیاری از آن بر اساس کاربردهای متفاوتی که در دنیای واقعی داشتند، مشتق شدند [4].

مدیریت بهینه منابع و عملیات حمل‌ونقل کالا در زنجیره تامین، عامل اساسی در بهبود عملکرد صنایع و کاهش هزینه‌ها می‌باشد. یکی از مسائل اساسی که در این زمینه مطرح می‌شود، مسئله مسیریابی حمل‌ونقل کالا می‌باشد؛ این مسئله در واقعیت با متغیرهای متعددی از جمله مکان‌های مختلف، مسافت‌ها، زمان‌ها، نیازهای متغیر و محدودیت‌های منابع حمل‌ونقل مواجه است.

در پژوهش حاضر، هدف اصلی ما این است که مسیریابی حمل‌ونقل کالا در زنجیره‌تأمین بهبود یابد و با بهره‌گیری از الگوریتم‌های فراابتکاری، بهینه سازی این عملیات انجام شود. الگوریتم‌های فراابتکاری به‌عنوان روش‌های پرکاربرد در بهینه سازی مسائل پیچیده شناخته می شوند و قدرت زیادی در مواجهه با مسائل دارای تعداد زیاد متغیر و محدودیت دارند. با توجه به پیچیدگی این مسئله و تاثیر آن بر بهره‌وری و سودآوری شرکت‌ها، مطالعه و بهینه‌سازی مسیریابی حمل‌ونقل کالا تبدیل به یک چالش بزرگ در زنجیره‌تأمین شده است؛ بنابراین، این پژوهش تلاش می‌کند تا با استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری، عملکرد عملیاتی و هزینه‌های حمل‌ونقل را بهبود دهد و راهکارهای بهینه‌سازی را برای این مسئله ارائه نماید.

مسئله مسیریابی وسیله نقلیه VRP به‌علت سهم قابل توجه هزینه توزیع کالا از هزینه تولید، امروزه بسیار در لجستیک و زنجیره تأمین مورد توجه قرار می‌گیرد. شاید بتوان گفت بسیاری از مسائل حوزه توزیع کالا را می‌توان به یکی از نسخه‌های این مسئله تبدیل کرد و سپس آن را مورد بررسی قرار داد؛ به‌علاوه این مسئله بیشتر در بخش‌های صنعت و خدمات کاربردهای گسترده‌ای دارد، زیرا بهبود کارایی در حمل‌ونقل کالاها باعث صرفه‌جویی قابل توجه در قیمت تمام شده آن‌ها می‌شود و سبب می‌گردد شرکت‌های صنعتی و خدماتی قابلیت بیشتری برای رقابت در برابر رقبای خود داشته باشند و بتوانند با قیمت کمتری کالای خود را به دست خریداران رسانده و از این طریق بازار کالای خود را گسترش داده و سود بیشتری را به‌دست آورند. اهمیت این مسئله در دنیای واقعی سبب شده است که این مسئله در زندگی روزمره بسیار مورد توجه قرار بگیرد [5].

از طرف دیگر، بنا بر توضیحات داده شده چون مسئله مسیریابی وسیله نقلیه جزء مسائل سخت دسته‌بندی می شود و الگوریتم‌هایی دقیق با پیچیدگی چندجمله‌ای برای مسئله وجود ندارد، تمایل به یافتن روش‌های ابتکاری و فراابتکاری در کنار روش‌های دقیق برای این مسئله گسترش یافت؛ به‌خصوص در دهه گذشته و با افزایش سرعت کامپیوترهای شخصی، استفاده از این روش‌ها بسیار فراگیر شده به‌طوری‌که روش‌های بسیار زیادی برای این مسئله پیشنهاد شدند که بعضی از مهم‌ترین آن‌ها جستجوی ممنوعه [6]، شبیه‌سازی آنیلی [7]، الگوریتم رقابت استعماری [4]، الگوریتم مورچگان [8]، الگوریتم ممتیک [9]، جستجوی پراکنده [10]، ترکیبی نزدیک‌ترین همسایه با جستجوی ممنوعه [11]، الگوریتم شبه آهنربایی [12]، الگوریتم کاهنده متغیرهای همسایه [13]، جستجوی همسایگی بزرگ تطابقی [14] و الگوریتم همسایه متغیر [15] می‌باشند.

کاربردهای ذکر شده باعث شده است که محققین، الگوریتم‌هایی زیادی برای حل این مسئله ارائه کنند که می‌توان به‌طور کلی این الگوریتم‌ها را به دو دسته دقیق و تخمینی تقسیم‌بندی کرد؛ در دسته اول که برای مسائل با ابعاد کوچک مورد استفاده قرار می‌گیرد، جواب بهینه مسئله در یک زمان بسیار زیاد به‌دست می‌آید؛ باید توجه کرد که الگوریتم‌های ابتکاری و تخمینی خود نیز به دو دسته الگوریتم‌های ابتکاری و فراابتکاری تقسیم‌بندی می‌شوند؛ در روش‌های فراابتکاری که میزان اجرای الگوریتم، برخلاف روش‌های ابتکاری، به تصمیم کاربر وابسته است، جواب‌ها تقریباً در یک زمان بیشتر از الگوریتم‌های ابتکاری و کمتر از روش‌های دقیق به‌دست می‌آیند؛ اگرچه معمولاً جواب‌های این روش‌ها از جواب‌های روش‌های ابتکاری بهتر است و این‌گونه از الگوریتم‌ها از راهکارهایی استفاده می‌کنند که تا حد ممکن در بهینه‌های محلی گیر نیفتند، اما

[5] Non deterministic polynomial
[6] NP-Complete Problems

پارامترهای زیادی در این الگوریتم‌ها وجود دارند که باید تو سط کاربر به صورت تجربی به‌د ست آیند؛ این حجم زیاد پارامترها سبب می شوند که الگوریتم‌ها نتوانند در تکرارهای م شابه جواب‌های یکسانی به‌د ست آورند؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که این‌گونه الگوریتم‌ها دارای یک روال ثابت برای رسیدن به جواب نبوده و پارامترهای تصادفی نقش زیادی را در این الگوریتم‌ها بازی می‌کنند.

2.2. ضرورت پژوهش

زمینه زنجیره‌تأمین و مسئله مسیریابی حمل‌ونقل کالا به‌عنوان یکی از مسائل بحرانی و پیچیده در مدیریت عرصه تجارت و توزیع کالاها از اهمیت بسیاری برخوردار است. با توجه به افزایش پیچیدگی و حجم زیاد کالاها و نیاز به کاهش هزینه‌ها و بهبود کارایی در زنجیره‌تأمین، بهینه‌سازی مسائل مسیریابی حمل‌ونقل، امری ضروری و حیاتی تلقی می‌شود.

عواملی چون تغییرات در تقاضا، تغییرات در تأمین‌کنندگان، محدودیت‌های منابع و نوسانات قیمت‌ها باعث می‌شوند که مسائل مسیریابی در زنجیره‌تأمین به پیچیدگی بیشتری برخورد کنند؛ این پیچیدگی‌ها می‌توانند منجر به افت هزینه‌های عملیاتی، افزایش زمان تحویل کالاها و افت کیفیت خدمات شوند. این پژوهش از اهمیت بالایی برخوردار است، چرا که اهداف اصلی آن شامل توسعه مدل‌های بهینه سازی برای حل مسائل مسیریابی در زنجیره‌تأمین، بهره‌برداری از تکنیک‌های یادگیری تقویتی جهت بهبود تصمیم‌گیری‌های مسیریابی و ارزیابی دقیق عملکرد الگوریتم‌ها و مدل‌های پیشنهادی است.

این پژوهش با ارتقاء کارایی در مسائل مسیریابی حمل‌ونقل کالا، بهبود خدمات زنجیره‌تأمین و کاهش هزینه‌های مرتبط با حمل‌ونقل کالاها کمک می‌کند؛ با توجه به روند رو به افزایش تجارت و حجم روزافزون کالاها، پژوهش‌ها در این زمینه از اهمیت بیشتری برخوردار است؛ این پژوهش امکان تسهیل عملکرد زنجیره‌تأمین‌های جهانی و بهبود کارایی سیستم‌های حمل‌ونقل را ایجاد می‌کند و به سازمان‌ها و شرکت‌های تولیدی و توزیعی کمک می‌کند تا رقابتی‌تر باشند و بهترین خدمات را به مشتریان خود ارائه دهند.

برای کاهش قیمت‌ها و افزایش رقابت‌پذیری، فشار زیادی بر صنایع وارد شده است؛ در این راستا، مدیران از روش‌های مختلفی چون برنامه‌ریزی و زمان‌بندی تولید استفاده کرده‌اند و تمرکز آن‌ها به درون بنگاه برای کاهش هزینه‌ها بوده است؛ ولی سازمان‌ها برای ادامه حیات و بقا، ناچار به تعامل با سایر سازمان‌ها هستند؛ از این‌رو برای کاهش هزینه‌ها باید دید فرا سازمانی داشت؛ بنابراین بررسی نحوه مسیریابی حمل‌ونقل کالا در شرایط عدم قطعیت، توجه بسیاری از مدیران را به خود جلب کرده است؛ زیرا این تصمیماتی که در مسأله مسیریابی گرفته می‌شود، روی تصمیمات مسائل دیگر اثرگذار است؛ لذا این پژوهش، مسیریابی حمل‌ونقل در یک زنجیره‌تأمین را با در نظر گرفتن شرایط بررسی می‌کند.

3.2. اهداف پژوهش

هدف اصلی پژوهش درباره مسیریابی حمل‌ونقل کالا در زنجیره تأمین در شرایط عدم قطعیت با استفاده از الگوریتمی فراابتکاری و یافتن و مسیریابی بهینه‌تر و بهتری برای حمل‌ونقل زنجیره تأمین شرکت‌ها و تولیدکنندگان است که با کمترین هزینه و سودآوری بیشتر بتوانند تقاضا و نیاز مشتری را برطرف کنند و برای مشتری ارزش‌آفرینی کنند؛ برخی از اهداف ذکر شده در زیر می‌توانند به‌عنوان مثال از این پژوهش باشند:

1. مسیریابی بهینه و مقاوم برای حمل‌ونقل کالا در زنجیره تأمین شرکت‌ها و تولیدکنندگان.
2. راهکارهای بهبود عملکرد، برطرف کردن تقاضا و نیازهای مشتری.
3. انتخاب بهترین مسیر با کمترین هزینه و بیشترین سودآوری برای شرکت‌ها و تولیدکنندگان.
4. استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری برای حل مشکلات سازمانی.
5. تلفیق و استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری در مسائل حمل‌ونقل و زنجیره تأمین.
6. بررسی مسئله مسیریابی حمل‌ونقل کالا در زنجیره تامین و تحلیل نیازها و چالش‌های مرتبط.
7. انتخاب روش‌های بهینه‌سازی برای حل مسئله مسیریابی حمل‌ونقل کالا با توجه به ویژگی‌های مسئله.
8. ارائه توضیحات دقیق در مورد الگوریتم‌های فراابتکاری و نحوه کار آن در بهینه‌سازی مسائل مسیریابی.
9. پیاده‌سازی الگوریتم‌های فراابتکاری به‌صورت دقیق در محیط نرم‌افزار MATLAB.
10. تنظیم پارامترهای مرتبط با الگوریتم‌های فراابتکاری برای بهینه‌سازی عملکرد در مسئله مسیریابی حمل‌ونقل.

11. اجرای آزمایش‌های متعدد بر روی داده‌های واقعی و مصنوعی به‌منظور ارزیابی کارایی الگوریتم‌های فراابتکاری.
12. تحلیل نتایج آزمایش‌ها و مقایسه عملکرد الگوریتم‌های استفاده شده در این پژوهش با روش‌های دیگر مانند الگوریتم‌های ترتیبی.
13. ارائه نکات و استنباط‌های کلیدی از نتایج به‌دست آمده.
14. ارائه پیشنهاداتی برای بهبود عملکرد الگوریتم‌ها و کاربردهای آینده در مسائل مسیریابی حمل‌ونقل کالا.
15. بررسی تطبیق‌پذیری روش بهینه‌سازی در صنایع مختلف و مقایسه عملکرد آن در موارد متنوع.
16. با تحلیل و شناخت دقیق‌ترین مسیریابی حمل‌ونقل کالا در زنجیره تأمین با استفاده از الگوریتم ژنتیک و سایر روش‌ها، شرکت‌ها می‌توانند بهبود و توسعه حرفه‌ای‌تر و رقابتی‌تر را در عرصه تجارت و اقتصاد جستجو کرده و به نتایج بهتری دست پیدا کنند.

4.2. روش پژوهش

در فرآیند پژوهش برای ارتقاء کارایی و بهبود مسائل مسیریابی حمل‌ونقل کالا در زنجیره‌تأمین، از یک روش پژوهش سیستماتیک و جامع استفاده شد. در خصوص مدل سازی مسئله باید گفت که این مدل شامل تعریف متغیرها، توابع هدف و محدودیت‌ها برای بهینه سازی مسیریابی کالاها در زنجیره‌تأمین می‌باشد؛ از اصول بهینه‌سازی ریاضی برای توسعه این مدل استفاده شد.

مقصود این است که الگوریتم‌های فراابتکاری هوشمندی برای بهینه سازی مسائل مسیریابی حمل‌ونقل کالا به‌کار روند و مدل مسئله مسیریابی حمل‌ونقل کالا در نرم‌افزار MATLAB اعمال شود؛ با این روش به بهبود تصمیم‌گیری‌های مسیریابی پرداخته می شود؛ این تکنیک این امکان را می‌دهد که با توجه به تغییرات مکرر در شرایط ورودی، تصمیم‌گیری‌های بهتری ایجاد شود.

در این پژوهش، تقاضای مشتریان از قبل شناخته شده نیست و هنگام رسیدن وسیله نقلیه به محل مشتری، این تقاضا تعیین می‌گردد؛ به همین دلیل VRP در این پژوهش به‌صورت پویا در نظر گرفته شده است. برای برآورده کردن تقاضاها، مسئله باید به‌گونه‌ای تعریف شده باشد که قدرت پاسخ دادن در برابر این تقاضاهای نامعلوم را داشته باشد؛ همین توان پاسخ‌گویی سبب گردیده تا مسئله به یک مسئله پایدار تبدیل گردد.

این الگوریتم‌های همچون جستجوی ممنوعه، برای حل مسئله VRP غیر قطعی ارائه شده است که در آن سعی می شود جواب‌های مقاومی برای این مسئله با استفاده از نرم‌افزار متلب[7] یافت شود که در مواجهه با تغییرات، بهینگی خود را حفظ کند.

در این پژوهش طراحی صورت مسئله و بعد فرمول پیشنهادی VRPSD مطرح می شود؛ سپس اجزای الگوریتم‌ها که روش‌های پیشنهادی حل مسئله VRP در این پژوهش است، با استفاده از نرم‌افزار MATLAB شرح داده می‌شود.

5.2. ابزار پژوهش

در این پژوهش، از نرم‌افزار MATLAB به‌عنوان ابزار اصلی برای انجام پژوهش‌ها و تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده گردید. از الگوریتم‌های بهینه سازی خاصی همچون جستجوی ممنوعه، به‌منظور بهبود عملکرد و یافتن جواب بهینه برای مسئله‌ی مورد بررسی استفاده شد؛ این الگوریتم‌ها با دقت بسیار بالا در محیط MATLAB پیاده‌سازی گردیده و تحت پارامترهای دقیق و تنظیم‌های دقیقی اجرا گردیدند. تجربیات عملی نشان داد که ترکیب این الگوریتم‌های بهینه‌سازی با استفاده از نرم‌افزار MATLAB منجر به بهبود قابل توجهی در حل مسئله و کاهش قابل ملاحظه‌ای در معیارهای ارزیابی موردنظر ما شده است؛ نتایج به‌دست آمده تایید می‌کند که استفاده از این روش‌های ترکیبی، توانایی حل مسائل پیچیده‌تر را با دقت و کارآیی بالا ارتقاء داده است و به‌عنوان یک ابزار مؤثر در زمینه‌ی مسیریابی حمل‌ونقل کالا در زنجیره‌تأمین عرفی می‌شوند.

6.2. بیان نوآوری پژوهش

نوآوری پژوهش در پنج شاخه اصلی مورد بررسی قرار می‌گیرد:

[7] MATLAB

1. مدل سازی چند سطح: در این پژوهش بهبودهای مهمی در مدل سازی چند سطحی مسئله حمل‌ونقل کالا در نظر گرفته شده است؛ در این شاخه از پژوهش، یک مدل چندسطحی برای مسئله مسیریابی حمل‌ونقل کالا در زنجیره تامین ایجاد شده است؛ این مدل نه تنها به ما امکان می‌دهد تا جزئیات مرتبط با مسیریابی محصولات را مدیریت کنیم، بلکه تغییرات در سطوح مختلف زنجیره تأمین را در نظر می‌گیرد؛ به‌طور مثال، ما می‌توانیم تأثیر تغییر تقاضا یا تغییرات در تأمین‌کنندگان را در این مدل در نظر بگیریم و تصمیم‌گیری‌های مسیریابی را بر اساس این تغییرات بهبود بخشیم.

2. یادگیری تقویتی: از تکنیک‌های یادگیری تقویتی به‌منظور تجزیه و تحلیل عملکرد و بهبود پیشنهادهای مسیریابی استفاده شده است؛ این رویکرد به ما این امکان را می‌دهد تا در زمان واقعی به شناخت الگوهای بهینه و بهبود پیشنهادهای مسیریابی بپردازیم؛ در این بخش از پژوهش، ما از تکنیک‌های یادگیری تقویتی به‌منظور بهبود و بهینه‌سازی پیشنهادهای مسیریابی استفاده کردیم.

3. الگوریتم‌های فراابتکاری: الگوریتم‌های فراابتکاری هوشمندی برای بهینه‌سازی مسائل پیچیده مسیریابی حمل‌ونقل کالا در این پژوهش استفاده شده است؛ این الگوریتم‌ها به ما امکان می‌دهند تا جواب‌های بهینه تقریبی در زمان کوتاه‌تری بیابیم؛ این الگوریتم‌ها به ما این امکان را می‌دهند که به‌طور جستجوگرانه به‌دنبال جواب‌های بهینه در فضای مسئله بگردیم؛ برای مثال، الگوریتم‌های ژنتیک، مورچگان، زنبورعسل و جستجوی ممنوعه به ما کمک می‌کنند تا ترکیب‌های بهینه از مسیرها را پیدا کنیم.

4. ارزیابی دقیق عملکرد: برای عملکرد الگوریتم‌ها می‌توان پیشنهاد داد که مساله را در شرایط واقعی توسعه دهید؛ این ارزیابی‌ها نه تنها به ارائه جواب‌های بهتر کمک می‌کنند، بلکه در مدیریت و بهینه‌سازی زنجیره تامین نقش مهمی ایفا می‌کنند.

5. پیاده سازی عملی: نرم‌افزار تخصصی MATLAB برای اجرای مسائل مسیریابی حمل‌ونقل کالا با استفاده از این نوآوری‌های پژوهشی به‌گونه‌ای توسعه یافته است؛ این پیاده‌سازی‌ها به صنایع و سازمان‌های زنجیره تامین کمک می‌کنند تا بهبودهای محسوسی در عملکرد حمل‌ونقل خود داشته باشند.

در بررسی‌های به عمل آمده، به این نتیجه رسیدیم که تاکنون آنچنان مقاله‌هایی در خصوص حل مسئله مسیریابی حمل‌ونقل کالا در زنجیره تأمین با استفاده از چهار الگوریتم کلونی مورچگان، الگوریتم ژنتیک، الگوریتم زنبور عسل و الگوریتم جستجوی ممنوعه نوشته نشده است.

7.2. سوالات پژوهش

*** سوالات اصلی**

1) مسیریابی بهینه و مقاوم برای حمل‌ونقل کالا در زنجیره تأمین شرکت ها و تولیدکنندگان کدام است؟
2) بهترین نوع مسیریابی برای حمل‌ونقل کدام است؟
3) الگوریتم‌های فراابتکاری در مسیریابی چیستند و چگونه کار می‌کنند؟
4) با تعداد گره‌های بیشتر نیز الگوریتم‌های فراابتکاری به جواب بهینه می‌رسند؟

*** سوالات فرعی**

1) آیا استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری در مسئله مسیریابی به ما کمک می‌کنند؟
2) چه مزایا و معایبی برای استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری در حمل‌ونقل کالا وجود دارد؟
3) نوع داده‌ها و اطلاعاتی که برای اجرای الگوریتم‌های فراابتکاری در مسیریابی نیاز داریم، چیست؟
4) چگونه می‌توان الگوریتم‌های فراابتکاری را برای بهینه‌سازی مسیرهای حمل‌ونقل کالا در زنجیره‌تأمین استفاده کرد؟

8.2. توصیف

یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های مدیران تولید در دنیای رقابتی امروز، بهبود مستمر بهره‌وری است؛ از این‌رو هر روزه روش‌های جدیدی در مدیریت و کنترل تأمین، تولید و موجودی‌ها و تحویل به مشتریان مطرح می‌شود؛ از جمله تلاش‌های چشم‌گیری که در چند سال اخیر در همین راستا صورت گرفته است، برنامه‌ریزی برای کاهش هزینه‌های مربوط به زنجیره تأمین است [16].

امروزه خواست مشتری بر کیفیت بالا و خدمت رسانی سریع، موجب افزایش فشارهایی در سازمان‌ها شده است که قبلا وجود نداشته است؛ در نتیجه، شرکت‌ها بیش از این نمی‌توانند به تنهایی از عهده تمامی کارها برآیند. فعالیت‌هایی نظیر برنامه‌ریزی عرضه و تقاضا، تهیه مواد اولیه، تولید، کنترل کیفیت، برنامه‌ریزی محصول یا خدمت، نگهداری کالا و کنترل موجودی، بازاریابی، توزیع کالا و خدمات، تحویل و خدمت به مشتری که قبلا همگی در سطح شرکت انجام می شد، اینک به سطح زنجیره تأمین انتقال یافته است. مسأله کلیدی در یک زنجیره تأمین، مدیریت و کنترل هماهنگ تمامی این فعالیت‌ها است، به‌طوری‌که مشتریان یک شرکت بتوانند خدمات خود را با بالاترین سطح اطمینان خاطر، سرعت، کیفیت و هزینه مناسب دریافت کنند [17].

با طرح نظریات جدید در ارتباط با رضایت مشتریان در یک سازمان، مسئله مسیریابی برای وسایل نقلیه در شبکه‌ی توزیع زنجیره تأمین مهم محسوب می شود که درصدد انتخاب و تخصیص مسیرهای ممکن به وسایل نقلیه در دسترس برای توزیع و تحویل کالا به مراکز پخش مشتریان است، به‌طوری‌که هزینه‌های مربوطه کمینه شود؛ حل این مسئله ضمن کاهش هزینه‌های توزیع، موجب تحویل به‌موقع کالاها و همچنین رضایت مشتریان نیز می‌شوند [18].

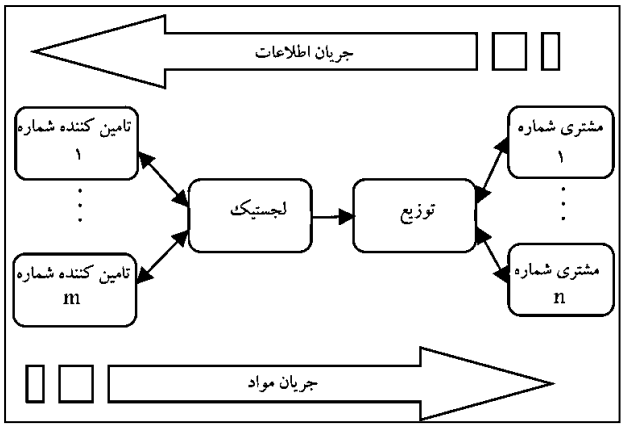
لجستیک و زنجیره تأمین لفظی است که در چند سال اخیر در کشورمان و به‌ویژه این روزها تحت‌عنوان‌هایی نظیر «مدیریت زنجیره تأمین»، «لجستیک ناب» و «انجمن لجستیک و زنجیره تأمین» بسیار شنیده می‌شود.

مدیریت زنجیره‌ی تأمین شامل یک زنجیره از فرایندهای کلیدی است که در کسب‌وکارهای مختلف از تأمین‌کنندگان اصلی تا مصرف‌کنندگان نهایی در این زنجیره قرار می‌گیرند. زنجیره‌ی تأمین محصولات، خدمات و اطلاعاتی را در برمی‌گیرد که برای مشتریان و همچنین برای سهامداران ایجاد ارزش افزوده می‌کند.

9.2. زنجیره تأمین (SC)[8]

در دهه 1980 میلادی به همراه بهبود در فرآیندهای تولید و به‌کارگیری مجدد الگوهای مهندسی، مدیران دریافتند که برای ادامه‌ی حضور در بازار فقط بهبود فرآیندهای داخلی و انعطاف‌پذیری در توانایی‌های شرکت کافی نیست، بلکه توزیع‌کنندگان محصولات نیز باید ارتباط نزدیکی با سیاست‌های توسعه‌ی بازار تولیدکننده داشته باشند؛ با چنین نگرشی، رویکردهای زنجیره تأمین و مدیریت ایجاد شد [18].

زنجیره تأمین شامل تمام فعالیت‌های مرتبط با جریان و تبدیل کالاها از مرحله ماده خام (استخراج) تا تحویل به مصرف‌کننده نهایی و نیز جریان‌های اطلاعاتی مرتبط با آن‌ها می‌باشد؛ این فعالیت‌ها شامل منبع‌یابی برای تأمین مواد اولیه، مدیریت سیستم‌ها، مونتاژ، فروش و غیره می‌باشد [1, 17]. در شکل 1 یک مدل مفهومی سیستم زنجیره تأمین نشان داده شده است.



شکل 1: مدل مفهومی سیستم زنجیره تأمین [19]

[8] Supply Chain

مدیریت زنجیره تأمین یکی از قدرتمندترین عوامل بهبود مزیت رقابتی سازمان‌های تولیدی و خدماتی محسوب می‌شود. زنجیره تأمین شامل تمامی بخش‌هایی است که به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم در تأمین خواسته‌ی مشتریان با یکدیگر در ارتباط هستند؛ این بخش‌ها شامل تولیدکننده، تأمین‌کننده، بخش حمل‌ونقل، انبارها، خرده‌فروشی‌ها و مشتریان هستند و فعالیت‌هایی چون توسعه محصول جدید، بازاریابی، عملیات اجرایی، توزیع، خدمات مالی، خدمات مشتری و موارد دیگر را دربر می‌گیرند. زنجیره تأمین یک مجموعه‌ی پویا از جریان اطلاعات، محصول و سرمایه در بین سطوح مختلف خود است، که مشتری تنها یک جزء درگیر و درونی در زنجیره تأمین است؛ طبق این گفته‌ها اولین هدف زنجیره تأمین ایجاد رضایت در راستای رفع نیازهای مشتریان در فرایند تأمین و همچنین ایجاد سود برای خود زنجیره تأمین است [20].

10.2. عوامل یا محرک‌های زنجیره تأمین (SCD)[9]

در زنجیره تأمین چهار محرک اصلی، مطرح است [21]:

- تسهیلات: اشاره به تجهیزات و امکاناتی دارد که در اماکنی که محصول نگهداری (مثل فضای انبارش و انبارهای نگهداری کالا) و یا کالا تولید می‌شود (مانند کارخانه‌هایی که مواد اولیه را گرفته‌اند و روی آن‌ها کارهایی انجام می‌شود، تا به محصول تبدیل شود) مورد استفاده قرار گرفته و به‌کار می‌روند [21].
- انبار: نقش انبار در زنجیره‌تأمین، افزایش رضایتمندی تقاضا از طریق تضمین موجود بودن محصول است [21].
- اطلاعات: در یک زنجیره‌تأمین، مراحل مختلفی از تأمین مواد اولیه، حمل، انبارداری و تولید گرفته تا توزیع و رساندن به مشتری، وجود دارد که این مراحل مختلف از طریق «اطلاعات» به همدیگر مرتبط و هماهنگ می‌شوند [21].
- حمل‌ونقل: نقش حمل‌ونقل در زنجیره تأمین، انتقال محصول، چه مواد اولیه و چه محصول نیمه‌تمام و چه محصول تمام شده تا مرحله‌ی توزیع و رساندن آن به دست مشتری می‌باشد [21].

11.2. مدیریت زنجیره تأمین (SCM)[10]

مدیریت زنجیره تأمین، یکی از مسائلی است که در سال‌های اخیر اهمیت ویژه‌ای یافته است؛ زیرا امروزه سازمان‌ها با برنامه‌ریزی و مدیریت مطلوب زنجیره‌ی تأمین اثرات بسیار زیادی در کاهش هزینه‌ها و افزایش رضایت مشتریان داشته‌اند که به‌دنبال آن افزایش سهم بازار را درپی خواهد داشت؛ از طرف دیگر با توسعه سریع فناوری اطلاعات در سال‌های اخیر و کاربرد وسیع آن در مدیریت زنجیره تأمین، بسیاری از فعالیت‌های اساسی مدیریت زنجیره تأمین با روش‌های جدید در حال انجام است [18].

مسئله کلیدی در یک زنجیره تأمین، مدیریت و کنترل هماهنگِ تمامی فعالیت‌هایی نظیر توزیع، تحویل و خدمت به مشتری است. در مدیریت زنجیره تأمین، هدف این است که به‌گونه‌ای جریان اطلاعات مالی و مواد با هم هماهنگ شوند، که مشتریان بتوانند خدمت خود را با بالاترین سطح اطمینان، سرعت، کیفیت و هزینه مناسب دریافت کنند [1].

مدیریت زنجیره‌ی تأمین عبارت است از انتقال و ذخیره‌سازی مواد خام، موجودی در جریان ساخت و کالای تمام شده از نقطه و ذخیره‌سازی مواد خام، موجودی در جریان ساخت و کالای تمام شده از نقطه تولید به نقطه مصرف. مدیریت زنجیره تأمین مجموعه‌ای است از راهکارها جهت یکپارچه‌سازی اعضای زنجیره‌ی تأمین (تأمین‌کنندگان، توزیع‌کنندگان، خرده‌فروشی‌ها و مشتری نهایی) است که هدف آن کاهش هزینه‌های سیستم و نیز افزایش سطح خدمت‌رسانی به مشتریان است [22].

12.2. مسئله مسیریابی وسایل نقلیه (VRP)

امروزه ترابری بخش قابل توجهی از تولید ناخالص ملی هر کشوری را به خود اختصاص می‌دهد؛ بنابراین نمی‌توان از انتخاب درست و هوشمندانه مسیر در امر ترابری چشم‌پوشی کرد. یکی از مباحث مهم که در چند دهه اخیر کاربرد بسیار بالایی در عمل داشته و به‌منظور افزایش کارایی و

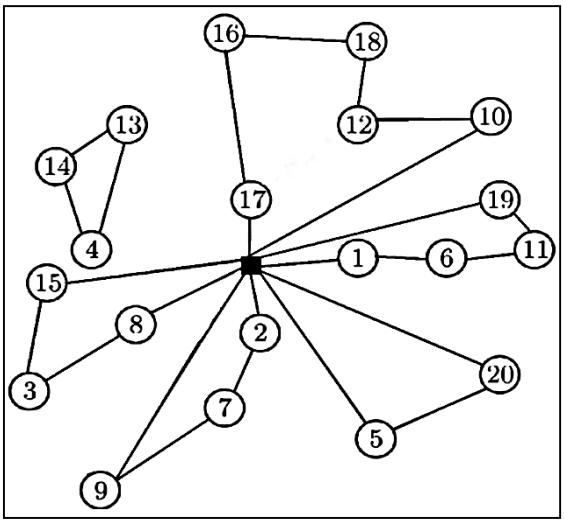
[9] Supply Chain Drivers
[10] Supply Chain Management

بهره‌وری سیستم‌های ترابری مطرح شده است، بحث مسیریابی وسایل نقلیه (VRP) است؛ مسئله مسیریابی وسایل نقلیه یکی از مسائل بسیار مهم در شاخه مسائل ترکیباتی است که تاکنون الگوریتم‌های زیادی برای حل آن پیشنهاد شده است [23].

در واقع مسئله مسیریابی وسیله نقلیه یکی از چالش‌برانگیزترین مسائل بهینه‌سازی ترکیبی است و یک موضوع پژوهشی داغ در چند دهه گذشته بوده است. برای اولین بار دنتزیگ و رامسر در سال 1959 این مسئله را در قالب «مسئله اعزام کامیون» بیان کردند [2]. پس از آن، با توجه به کاربرد گسترده‌ی مسئله مسیریابی وسیله نقلیه و اهمیت اقتصادی آن در کاهش هزینه‌های عملیاتی در سیستم‌های توزیع شده، مسئله VRP به یک حوزه‌ی پژوهشی تبدیل شد [24, 25].

اولین مسئله کلاسیک در این زمینه مسئله فروشنده دوره‌گرد (TSP)[11] بود که در آن یک فروشنده یا توزیع‌کننده باید به چند شهر مراجعه و به آن‌ها خدمتی ارایه کند. در ادامه مسئله مسیریابی و سایل نقلیه که در قلب مدیریت توزیع واقع شده است، به‌عنوان مسئله‌ای که روزانه هزاران سازمان و کمپانی برای تحویل و جمع‌آوری کالا یا افراد با آن مواجه هستند مطرح شد [26].

مسئله VRP اولیه از مجموعه‌ای از وسایل‌نقلیه، مشتریان و انبار تشکیل شده است. مسئله VRP را می‌توان به‌عنوان مسئله‌ای از طراحی مسیرهایی با حداقل هزینه برای وسایل‌نقلیه یکسان با ظرفیت‌های شناخته شده تعریف کرد؛ این وسایل‌نقلیه از یک انبار مرکزی به‌سوی مجموعه‌ای از مشتریان که از لحاظ موقعیت جغرافیایی پراکنده‌اند و دارای تقاضاهای غیر منفی هستند، روانه می شوند. هر مشتری دقیقا یک‌بار (به‌طور معمول توسط یک وسیله نقلیه) سرویس می‌گیرد؛ تقاضای کل و طول مسیر نباید از ظرفیت کل تجاوز کند؛ این وسایل‌نقلیه پس از این‌که به مشتریانی که به آن‌ها اختصاص داده شده‌اند، خدمت کردند به انبار باز می‌گردند [24]. در شکل 2 نمونه‌ای از یک حل غیر قابل قبول مسئله مسیریابی وسیله نقلیه است.



شکل 2: نمونه‌ای از یک حل غیرقابل قبول مسئله مسیریابی وسیله نقلیه

13.2. الگوریتم ژنتیک (GA)

1.13.2. تبیین

الگوریتم ژنتیک یک تکنیک جستجو و بهینه‌سازی مبتنی‌بر اصول ژنتیک و انتخاب طبیعی است. اگوریتم ژنتیک این امکان را می‌دهد که جمعیتی متشکل از تعداد زیادی از افراد طبق قوانین خاص مربوط به انتخاب، به وضعیتی درآیند که «برازندگی»[12] را حداکثر کند (یعنی تابع هزینه را حداقل کند). این روش توسط «جان هالند»[13] طی دهه‌های 1960 و 1970 میلادی ارائه شد و سرانجام توسط یکی از شاگردانش به‌نام «دیوید

[11] Traveling Salesman Problem- TSP
[12] Fitness
[13] John Holland

گلدبرگ»[14] که توانست مسئله‌ی دشوار مربوط به «کنترل خطوط لوله‌ی انتقال گاز» را برای رساله‌اش حل کند، تعمیم داده شد؛ کار اصلی «هالند» در کتابش خلاصه شده است؛ او اولین کسی بود که سعی کرد با استفاده از تئوری خود به‌نام «نظریه الگو»[15]، یک مبنای نظری برای GA توسعه دهد. پژوهشات «دژونگ»[16] (1975) فواید GA را برای بهینه‌سازی تابع نشان داد و اولین تلاش منسجم برای یافتن پارامترهای GA بهینه محسوب می‌شوند؛ شاید بتوان گفت که با کاربردهای موفق و کتاب بسیار خوبش، بیش‌ترین کمک را به GA کرد؛ از آن به بعد، بسیاری از برنامه‌نویسی‌های تکاملی با میزان موفقیت‌های متفاوت مورد آزمون قرار گرفتند [74].

به‌طور کلی روند حل مسأله به روش الگوریتم ژنتیک را می‌توان به‌صورت مراحل زیر بیان کرد [75]:

1) کد کردن یا کدگذاری: این مرحله شاید مشکل‌ترین مرحله‌ی حل مسئله به روش الگوریتم ژنتیک باشد. الگوریتم ژنتیک به‌جای این‌که بر روی پارامترها یا متغیرهای مسئله کار کند، با شکل کد شده‌ی آن‌ها سر و کار دارد. تعداد بیت‌هایی که برای گدگذاری متغیرها استفاده می‌شود، به دقتِ مورد نظر برای جواب‌ها، محدوده تغییر پارامترها و رابطه‌ی بین متغیرها وابسته است. رشته یا دنباله‌ای از بیت‌ها که به‌عنوان شکل کدشده یک جواب از مسأله مورد نظر می‌باشد، «کروموزوم» نامیده می‌شود؛ در حقیقت بیت‌های یک کروموزوم نقش ژن‌ها در طبیعت را بازی می‌کنند [76]. انواع کدینگ (کدگذاری) عبارتند از: کدینگ باینری، کدینگ جایگشتی، کدینگ مقدار و کدینگ درختی.
2) ایجاد جمعیت اولیه (مجموعه‌ای از جواب‌های شدنی): در الگوریتم ژنتیک به‌عنوان اولین مرحله، لازم است مجموعه‌ای از جواب‌های ممکن به‌عنوان جمعیت اولیه ایجاد شود؛ اعضای این مجموعه معمولا به‌صورت تصادفی انتخاب می‌شوند، اما در الگوریتم‌های بهینه، از قیدهایی استفاده می‌شود تا جمعیت، پراکندگی بیش از حد نداشته باشد. تعداد اعضای جمعیت به نوع مسأله بستگی دارد [76].
3) تعیین تابع برازندگی: یک «تابع هزینه»، خروجی را بر اساس مجموعه‌ای از متغیرهای ورودی تولید می‌کند. تابع هزینه ممکن است یک تابع ریاضی، یک آزمایش تجربی و یا حتی یک بازی باشد. هدف، اصلاح خروجی به‌صورت مطلوب با استفاده از یافتن مقادیر مناسب برای متغیرهای ورودی می‌باشد. ما در زندگی روزانه خود با این گونه مسائل روبرو هستیم؛ به‌عنوان یک مثال ساده، هنگام پُر کردن وان حمام با آب، این کار را انجام می‌دهیم، بدون آن‌که تا به حال فکر کرده باشیم که نوعی بهینه‌سازی در حال انجام است؛ در این مثال، هزینه همان اختلاف بین دمای آب مورد نظر و دمای آب پُر شده در وان می‌باشد؛ متغیرهای ورودی عبارتند از میزان باز کردن شیرهای آب سرد و گرم؛ در این حالت، تابع هزینه نتیجه عملی به‌دست آمده از فرو بردن دست به درون آب داخل وان می‌باشد؛ بنابراین می‌بینیم که تعیین یک تابع هزینه‌ی مناسب و تصمیم‌گیری درباره‌ی این که کدام‌یک از متغیرها را تغییر دهیم، به شدت به‌هم وابسته‌اند. در کتب و مقالات مربوط به الگوریتم ژنتیک، بسیاری برای خروجی تابع هدف[17] (تابع هدف یعنی تابعی که قرار است بهینه شود)، از اصطلاح شایستگی (برازندگی) استفاده کرده‌اند [74]؛ به‌عبارت دیگر، تابع برازندگی از اِعمال تبدیل مناسب بر روی تابع هدف یعنی تابعی که قرار است بهینه شود، به‌دست می‌آید؛ این تابع هر رشته را با یک مقدار عددی ارزیابی می‌کند که کیفیت آن را مشخص می‌نماید؛ هر چه کیفیت رشته جواب بالاتر باشد، مقدار برازندگی جواب بیشتر است و احتمال مشارکت برای تولید نسل بعدی نیز افزایش خواهد یافت [75]
4) اعمال عملگرهای ژنتیکی: در الگوریتم ژنتیک، سه عملگر ژنتیک انتخاب، ترکیب یا ادغام و جهش وجود دارد [75].
5) جایگزینی جمعیت جدید: بعد از این‌که عملگرهای ژنتیکی شامل انتخاب، ادغام و جهش بر روی جمعیت کنونی اِعمال شد، این فرآیند باعث به‌وجود آمدن نسل جدیدی از کروموزوم‌هایی می‌شود که با نسل قبلی متفاوت است و به‌عبارت دیگر، جمعیت جدید به‌وجود می‌آید؛ پس از آن، جمعیت جدید جایگزین جمعیت پیشین می‌شود و این چرخه ادامه می‌یابد، تا این‌که به آخرین مرحله برسیم؛ معمولا جمعیت جدید برازندگی بیشتری دارد و این بدان‌معناست که از نسلی به نسل دیگر جمعیت بهبود می‌یابد [75].
6) بررسی همگرایی: برای این‌که تشخیص دهیم چه موقع الگوریتم از اجرا متوقف شود، یا به‌عبارت دیگر برای محک اختتام اجرای الگوریتم ژنتیک، از شیوه‌های مختلفی می‌توان استفاده کرد؛ رسیدن به جواب، ساده انگارانه‌ترین روش است و در صورتی‌که کروموزوم به

[14] David Goldberg
[15] Schema Theorem
[16] De Jong
[17] Goal Function

مناسب‌ترین حد رسید، الگوریتم متوقف می‌شود؛ به‌عنوان نمونه می‌توان همگرا شدن کل جمعیت را در نظر گرفت و یا این‌که فاصله ارزیابی (برازندگی) بهترین فرد جمعیت از متوسط ارزیابی‌ها (برازندگی‌ها) را در نظر گرفت که در این حالت باید از حد مشخصی کوچک‌تر باشد؛ یا مقدار تابع هدف از حد مشخصی بیشتر باشد، یا می‌توان تعداد نسل‌های مشخصی را به‌عنوان محک اختتام در نظر گرفت [75].

7) تکرار رویه

برای حل مسئله مسیریابی در زنجیره‌تأمین یک سازمان با استفاده از الگوریتم‌های گفته شده T تعداد گره‌ها[18] یا به‌اصطلاح محل تقاضاهایی که انتظار برآورده‌شدن دارند، تعداد دستگاه‌های حمل‌ونقل متناسب با این گره‌ها توسط الگوریتم مشخص می‌شوند، تعداد انبار[19] و میزان تقاضا در هر گره را در نظر می‌گیریم، آنگاه با تلفیق حل توسط الگوریتم‌های معرفی شده، برای مسئله مسیریابی حمل‌ونقل کدنویسی را انجام داده و با استفاده از نرم‌افزار MATLAB نتایج را به دو صورت نمودار بهترین هزینه[20] و نمودار شبیه‌سازی مسیریابی نشان می‌دهیم.

2.13.2. انواع الگوریتم ژنتیک (GA)

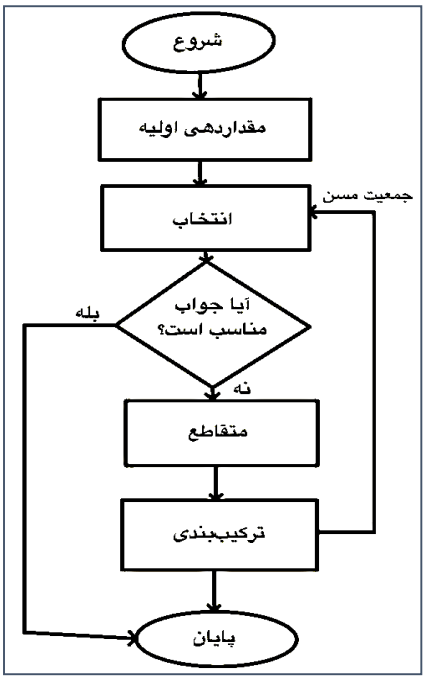
الگوریتم‌های ژنتیک که نمونه اولیه آن توسط «هالند» در سال 1975 ارائه شد، تکامل طبیعی را در سطح ژن و کروموزوم شبیه‌سازی می‌کند. انواع بسیاری برای GA شناخته شده است که در این‌جا به سه نوع از پرکاربردترین آن‌ها، اشاره می‌شود [76]:

- الگوریتم ژنتیک گسسته[21]: این الگوریتم، متغیرها را به‌صورت رشته‌های دودویی کدگذاری شده نمایش می‌دهد و برای حداقل کردن هزینه، با رشته‌های دودویی کار می‌کند و به همین دلیل به آن، «الگوریتم ژنتیک دودویی»[22] نیز گفته می‌شود.
- الگوریتم ژنتیک پیوسته[23]: برای به‌دست آوردن مقدار دقیق متغیرهای یک مسئله که از نوع پیوسته می‌باشند، چه باید کرد؟ در چنین مسئله‌ای، برای نمایش هر متغیر به تعداد بسیار زیادی بیت نیاز خواهد بود. اگر تعداد متغیرها زیاد باشد، آن‌گاه اندازه کروموزوم هم بزرگ خواهد شد. واضح است که تنها راه نمایش یک متغیر، استفاده از 0 و 1 نیست، بلکه می‌توان از هر نوع نمایش امکان‌پذیر، برای کدگذاری متغیرها استفاده کرد؛ هم‌چنین الگوریتم ژنتیک پیوسته، اساسا سریع‌تر از الگوریتم ژنتیک گسسته است، زیرا برای ارزیابی تابع هزینه، نیازی به رمزگشایی متغیرها ندارد.
- الگوریتم ژنتیک جایگشتی[24]: جایگشت، در قلمرو ترکیباتی آن، به‌معنی مرتب‌سازی یا تغییر ترتیب اعضای یک مجموعه می‌باشد. ممکن است این چیدمان، خطی و یا غیرخطی (مثلا دور یک دایره که در این حالت «جایگشت دوری»[25] نامیده می‌شود) صورت گیرد؛ اعضای مجموعه نیز می‌توانند هر چیزی باشند؛ مثلا شی یا عدد یا حرف و هم‌چنین می‌توانند تکراری باشند یا متمایز؛ در هر مورد، مهم، تعداد طرق چیدن این اعضا است.

3.13.2. روش حل مسئله مسیریابی حمل‌ونقل با الگوریتم ژنتیک

برای حل مسئله بهینه سازی مسیریابی حمل‌ونقل و سایل نقلیه از مدل پیشنهاد شده الگوریتم ژنتیک استفاده شده است که روندنمای الگوریتم GA را در شکل 3 نشان داده است.

[18] Nodes
[19] Depot
[20] Best Cost
[21] Discrete GA
[22] Binary GA
[23] Continuous GA
[24] Permutation GA
[25] Circular Permutation



شکل 3: روندنمای الگوریتم ژنتیک

14.2. مسئله مسیریابی

مساله مسیریابی، یکی از مهم‌ترین مسائل موجود است که کاربردهای زیادی دارد.

1.2.14. موقعیت مکانی گره‌های مسئله مسیریابی

در این قسمت طبق جدول 1، مختصات موقعیت گره‌های مسئله ارائه شده است.

برای حل مسئله مسیریابی در زنجیره تأمین یک سازمان با استفاده از الگوریتم‌های گفته‌شده تعداد گره‌ها یا به‌اصطلاح محل تقاضاهایی که انتظار برآورده شدن دارند، را افزایش داده و با 2 برابر کردن گره‌های مسئله اولیه مبنا، اعتبارسنجی الگوریتم‌ها بررسی می‌شوند؛ تعداد دستگاه‌های حمل‌ونقل، متناسب با این گره‌ها توسط الگوریتم مشخص می‌شوند؛ تعداد انبار و میزان تقاضا در هر گره را در نظر گرفته، آنگاه با تلفیق حل توسط الگوریتم‌های معرفی شده، برای مسئله مسیریابی حمل‌ونقل کدنویسی را انجام داده و با استفاده از نرم افزار MATLAB نتایج به دو صورت نمودار بهترین هزینه و نمودار شبیه‌سازی مسیریابی نشان داده می‌شوند.

جدول 1: مختصات موقعیت گره‌های مسئله

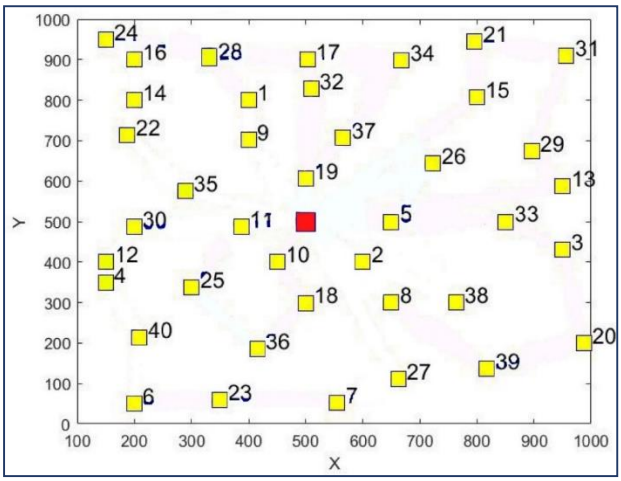
مقدار تقاضا	Y	X	گره‌ها
14	800	400	1
67	400	600	2
74	432	950	3
12	350	150	4
44	500	650	5
32	50	200	6
50	53	555	7
23	300	650	8
10	701	400	9
87	400	450	10
22	487	387	11

12	150	400	90
13	950	587	17
14	200	800	70
15	800	808	67
16	200	900	4
17	503	901	51
18	500	299	30
19	500	606	16
20	987	200	97
21	796	945	67
22	187	714	18
23	349	59	17
24	150	950	80
25	300	337	92
26	723	643	58
27	662	111	19
28	332	903	85
29	896	675	40
30	200	486	36
31	956	910	77
32	510	828	12
33	850	500	14
34	668	899	70
35	289	576	64
36	415	186	57
37	565	706	76
38	763	301	74
39	817	136	81
40	209	214	36
انبار	500	500	0
مجموع تقاضا			1950

در جدول 1 مختصات X و Y در نمودار را نشان داده است که بیان‌گر موقعیت گره‌های مسئله که گره‌های تقاضا و یک گره انبار است را نشان می‌دهد و همچنین مقدار تقاضاهای هر گره را مشخص می‌کند، زیرا که برای مسیریابی مقدار ظرفیت وسیله‌نقلیه مهم است که بیش‌از حد ظرفیت وسیله حمل‌ونقل، تقاضاها را برآورده نکند و هم کمترین هزینه را برای زنجیره‌تأمین پرداخت کنند.

در شکل 4 موقعیت این گره‌ها را در نرم‌افزار MATLAB در یک نمودار X و Y به صورت مربع‌های زرد رنگ که برای گره‌های تقاضا است و تک مربع قرمز که مربوط به انبار می‌شود، را نشان می‌دهد.

این مسیریابی با توجه به الگوریتم‌ها پیشنهاد تعداد و سیله‌نقلیه و شرایط پاسخ به نیاز را انجام می‌دهد، که همگی از مربع قرمز که مربوط به انبار می‌شود شروع به حرکت بین مربع‌های زرد که همان گره‌های مسئله است می‌کنند؛ این حرکت بین گره‌ها باید به‌گونه‌ای باشند که کمترین هزینه و بیشترین مقدار تقاضا را برآورده کنند.



شکل 4: موقعیت 40 گره تقاضا و گره انبار در نرم‌افزار MATLAB

2.14.2. اطلاعات تکمیلی مسئله مسیریابی

در نرم افزار MATLAB مسئله مسیریابی حمل‌ونقل کالا را با الگوریتم ژنتیک، حل و جواب بهینه را به‌دست آوردیم (البته ما در پژوهش خود، با سه روش دیگر نیز کار کرده‌ایم و در تمامی این چهار الگوریتم، بهترین هزینه که هزینه سفر میان گره‌ها است، یعنی کمترین فاصله میان گره‌ها با 100 تکرار (IT)[۲۶] به‌دست آمده است). الگوریتم ژنتیک با مشخص کردن مقدار تعداد ارزیابی عملکرد (NFE)[۲۷] سعی در رسیدن به بهترین هزینه سفر میان گره‌ها داشته است. الگوریتم‌ها با حل و رسیدن به بهترین جواب سعی در محاسبه بهینه وسایل نقلیه مورد استفاده در مسئله داشته‌اند که با افزایش گره‌ها تعداد وسایل نقلیه به مراتب افزایش پیدا می‌کند تا به بهترین جواب برسد.

3.14.2. مدل ریاضی مسئله بهینه‌سازی مسیریابی حمل‌ونقل کالا

فرض کنید $G = (V، A)$ یک گراف کامل باشد به‌طوری‌که $V = \{1،2، \dots، n\}$ مجموعه نقاط تقاضا و A نیز مبین مجموعه کمان‌ها یا مسیرهای شبکه است، که نقاط را به هم متصل می‌کند. رأس $i = 1،2، \dots، n$ به مشتریان باز می‌گردد که هر کدام یک تقاضای مشخص غیرمنفی دارند $(q_i \geq 0)$؛ همچنین رأس 0 به مبدأ باز می‌گردد. یک هزینه غیرمنفی مرتبط با هر کمان اندازه هزینه‌ی سفر از نقطه‌ی i به نقطه j را نشان می‌دهد (همچنین t_{ij} طول کمان یا فاصله زمانی بین رئوس i و j را نشان می‌دهد). اگر مقدار هزینه $c_{ij} = c_{ji}$ را برای تمامی i و j ها را برقرار سازیم، آنگاه مسئله تبدیل به یک مسئله VRP تبدیل می‌شود.

به مسیر بسته‌ای که از تمام رئوس گراف دقیقا یک بار عبور کند، یک تور[۲۸] یا دور یا مسیر کامل گویند و به مسیر بسته‌ای شامل فقط زیر مجموعه‌ای (زیر مجموعه سره) از رئوس باشد، زیر تور[۲۹] می‌گویند که باید از ایجاد زیرتورهای متعدد جلوگیری کنیم؛ به همین علت در محدودیت مسئله با روش MTZ [۳۰] به حذف زیر تورها نیز پرداخته می‌شود [94, 95].

اندیس‌های مسئله:

i و j: گره‌های مسئله، محل تقاضاهایی که باید برطرف شود و محل انبار i و $j = 1.2 \dots . n$

v : وسیله نقلیه $v = 1.2 \dots . NV$

پارامترهای مسئله:

C_{ij}: هزینه سفر (فاصله) بین گره‌های تقاضا و انبار

$d(i)$: تقاضای هر گره i

Cap : ظرفیت وسیله نقلیه $Cap \leq 300$

[26] Iteration
[27] Number of function evaluations
[28] Tour
[29] Sub-Tour
[30] Miller, Tucker, Zelmin (MTZ)

متغیرهای تصمیم:

x_{ij}^{v} : اگر وسیله نقلیه v سفرش از گره i به گره j باشد 1 در غیر این‌صورت 0 در نظر گرفته می‌شود.

u_{ij} : بازدید سفارشات (برای حذف زیرتور استفاده می‌شود).

M : مسئله دارای زیرتوری به طول M می‌باشد.

مدل‌سازی ریاضی:

$$Min \;\; Z = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\sum_{v=1}^{NV} C_{ij}X_{ij}^{V} \qquad (1)$$

St.

$$\forall \mathrm{j} \in \{2.3 \ldots . n\} \sum_{\mathrm{i}=1}^{\mathrm{n}} \sum_{\mathrm{v}=1}^{\mathrm{NV}} X_{ij}^{V} = 1 \qquad (2)$$

$$\mathrm{p} = \{1. \ldots . \mathrm{n}\}. \forall \mathrm{v} \qquad \sum_{\mathrm{i}=1}^{\mathrm{n}} \mathrm{X}_{\mathrm{ip}}^{\mathrm{v}} - \sum_{\mathrm{j}=1}^{\mathrm{n}} \mathrm{X}_{\mathrm{pj}}^{\mathrm{v}} = 0 \qquad (3)$$

$$v = 1.2 \ldots . NV \sum_{\mathrm{i}=1}^{\mathrm{n}} \left[\sum_{\mathrm{j}=1}^{\mathrm{n}} d_i X_{ij}^{V}\right] \leq \mathrm{Cap} \qquad (4)$$

$$\sum_{\mathrm{j}=2}^{\mathrm{n}} X_{1j}^{V} \leq 1 \qquad v = 1.2 \ldots . NV \qquad (5)$$

$$\forall \mathrm{i}. \mathrm{j} = 2.3 \ldots . \mathrm{n} \quad \forall_v = 1 \ldots NV u_{iv} - u_{iv} + d_j \leq M\left(1 - x_{ijv}\right) \qquad (6)$$

$$x_{ij}^{v} \in (0.1) \cdot u_{ij} \geq 0 \qquad (7)$$

تابع هدف مسأله (1) هزینه کل مسافت طی شده توسط خودروها را کمینه می‌کند.

محدودیت (2) تضمین می‌کند که هر گره یا نقطه تقاضا فقط و تنها فقط از یک وسیله سرویس دریافت کنند.

محدودیت (3) تضمین می‌کند که اگر خودرویی به گره‌ای وارد شود، بایستی از آن خارج گردد و به این ترتیب پیوستگی مسیرها برقرار می‌شود.

محدودیت (4) مربوط به حداکثر ظرفیت خودروها است.

محدودیت (5) نیز تضمین می‌کند که هر خودرویی باید سرویس خود را از مبدأ آغاز و در همان مکان ختم کند و در غیر این‌صورت مورد استفاده قرار نخواهد گرفت (غیرفعال محسوب می‌شود).

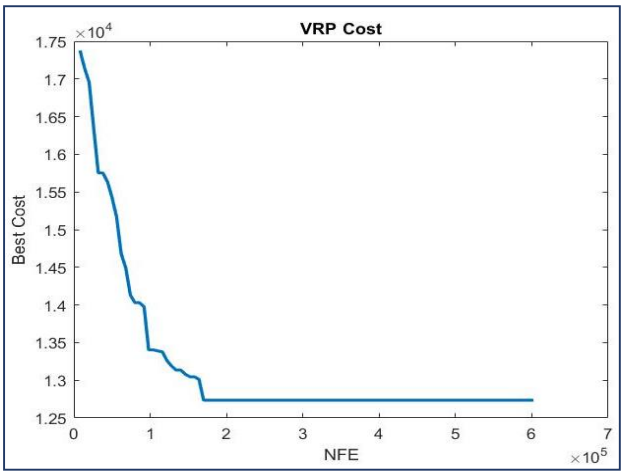
رابطه (6) مربوط به حذف زیرتورها به روش MTZ می‌باشد. محدودیت (7) متغیر باینری را ارائه می‌کند.

15.2. حل مسئله مسیریابی

در این قسمت، مساله مسیریابی با الگوریتم ژنتیک حل شده است.

1.15.2. نمودار بهترین هزینه مسئله مسیریابی با الگوریتم ژنتیک

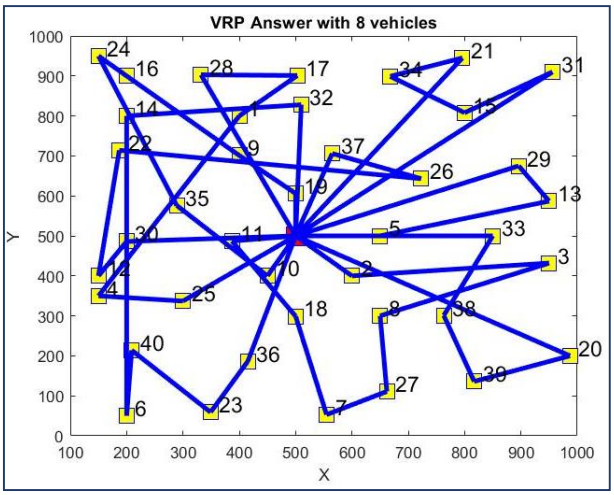
در شکل 5، نمودار بهترین هزینه مسئله مسیریابی با استفاده از اگوریتم ژنتیک ارائه شده است.



شکل 5: نمودار بهترین هزینه مسئله مسیریابی با الگوریتم ژنتیک

2.15.2. نمودار شبیه‌سازی مسئله مسیریابی با الگوریتم ژنتیک

در شکل 6، نمودار شبیه‌سازی مسئله مسیریابی با روش GA آمده است.



شکل 6: نمودار شبیه‌سازی مسئله مسیریابی با الگوریتم GA

در جدول 2، ردیابی تقاضاهای برآورده شده توسط وسایل نقلیه با الگوریتم GA ارائه شده است.

جدول 2: ردیابی تقاضاهای برآورده شده توسط وسایل نقلیه با روش GA

وسیله نقلیه	گره‌ها	مجموع تقاضا برآورده شده توسط وسیله نقلیه
1	31-15-34-21	281
2	29-13-5	101
3	20-39-38-33	266
4	11-18-7-27-8-3-2	285
5	32-14-6-40-23-36	224
6	19-9-16-24-35-10	261
7	37-26-22-12-30	278
8	28-17-1-4-25	254
مجموع	40	1950

3. نتیجه‌گیری

مسئله مسیریابی وسایل نقلیه از مسائل مهم و پرکاربرد در دنیای واقعی به‌ویژه در کاهش هزینه‌ها و افزایش بهروری سیستم‌های توزیع تأمین شرکت‌ها و سازمان‌ها است که به‌علت گستردگی و تنوع کاربردهای آن همواره مورد توجه محققان قرار گرفته است.

در این پژوهش، مسئله مسیریابی وسایل نقلیه با هدف حداقل نمودن کل مسافت طی شده توسط وسایل نقلیه و در نتیجه کمینه شدن هزینه های حمل‌ونقل پیشنهاد شده و همچنین مدل ریاضی از این مسئله ارائه شده است، که در آن محدودیت برگشت به انبار ابتدای حرکت حذف و دیگر برگشت به انبار ابتدای مسیر حرکت، برای وسایل نقلیه نیاز نمی‌باشد و حالتی در نظر گرفته شد که انبار ابتدایی و انتهایی مسیر می‌تواند متفاوت از هم باشند؛ به‌منظور حل مدل پیشنهادی با توجه به NP-Hard بودن، الگوریتمی فراابتکاری برای حل مسئله ارائه شده است. در این مقاله، برای مساله با 40 گره، الگوریتم ژنتیک مورد نظر قرار گرفته و استفاده شد.

4. پیشنهادات

- می‌توان این پژوهش را برای اجرا و تحلیل در پروژه‌های واقعی سیستم‌های پخش فرآورده‌های نفتی، دارویی، مواد غذایی و صنایع بزرگ کشور جهت سامان‌دهی سیستم اتوبوس‌رانی و حمل‌ونقل مانند صنایع نفت و فولاد و سرویس‌های رفت و برگشت پیشنهاد می‌گردد.
- در نظر گرفتن مسیر واقعی خودروها در خیابان و در نظر گرفتن یک طرفه بودن یا دو طرفه بودن خیابان‌ها بر واقعی‌شدن مسأله تاثیرگذار است.
- مسئله مفروض را می‌توان با هر یک از موارد تقسیم‌بندی مسئله VRP ترکیب کرده و موضوعات جالب و کاربردی را پیشنهاد نمود.
- استفاده از سایر الگوریتم‌های هوشمند بهینه سازی مانند الگوریتم شبیه سازی تبرید، الگوریتم جهش قورباغه، الگوریتم رقابت استعماری، الگوریتم کرم شب‌تاب و ... برای تعداد گره‌های متفاوت و مختلف.
- استفاده از سایر الگوریتم‌های هوشمند بهینه سازی مانند الگوریتم شبیه سازی تبرید، الگوریتم جهش قورباغه، الگوریتم رقابت استعماری، الگوریتم کرم شب‌تاب و... برای تعداد گره‌های متفاوت و مختلف.
- می‌توان مسئله مسیریابی حمل‌ونقل را در فازهای تصمیم‌گیری مورد بررسی قرار داد.
- می‌توان تعداد گره‌های مسئله را افزایش داد و یا اینکه با تغییر مکان انبار مسئله حمل‌ونقل را حل کرد.

مراجع

[1] م. ا. ا. مهیار، "۴ ستراتژی‌های عملیاتی کنترل عدم اطمینان در مدیریت زنجیره تامین"، فصلنامه اطلاع رسانی، آموزشی و پژوهشی، شماره7 و 8، بازیابی شده در 1392/3/1، صفحه 117-121، (1383).

[2] G. B. Dantzig, and J. H. Ramser, "The Truck Dispatching Problem," *Management Science*, vol. 6, no. 1, pp. 80-91, 1959/10/01, 1959.

[3] م. بابائی و م. شویدی نوش آبادی، "مسائل Np کامل (Np complete problems)"، هفتمین کنفرانس بین‌المللی فناوری اطلاعات، کامپیوتر و مخابرات، 1398.

[4] M. K. Yousefikhoshbakht1, E., "Solving the vehicle routing problem by a hybrid meta-heuristic algorithm.," Journal of Industrial Engineering International, (2012).

[5] M. Yousefikhoshbakht, Didehvar, F., Rahmati, R. & Sedighpour, M., "An effective imperialist competitive algorithm for solving the open vehicle routing problem.," *Transportation Research Journal*, (2012).

[6] E. E. Zachariadis, Tarantilis, C. D. & Kiranoudis, C. T., "A Guided Tabu Search for the Vehicle Routing Problem with two-dimensional loading constraints.," *European Journal* of Operational Research, (2009).

[7] L. H. Osman, "Metastrategy simulated annealing and tabu search algorithms for the vehicle routing problem.," *Annal Operations Research,*, (1993).

[8] L. Santos, Coutinho-Rodrigues, J. & Current, J. R., "An improved ant colony optimization based algorithm for the capacitated arc routing problem.," *Transportation* Research Part B: Methodological, 44(2), 246-266., (2010).

C. Prins, “Two memetic algorithms for heterogeneous fleet vehicle routing problems.,” Engineering Applications of Artificial Intelligence, 22, 916˚ 928., (2009). [9]

J. Tang, Zhang, J. & Pan, Z., “A scatter search algorithm for solving vehicle routing problem with loading cost.,” Expert Systems with Applications, 37(6), 4073˚ 4083., (2010). [10]

L. H. Du, R., “Combining Nearest Neighbor Search with Tabu Search for Large-Scale Vehicle Routing Problem.,” *Physics Procedia, 25, 1536-1546.*, (2012). [11]

Algorithm for capacitated vehicle routing problems.”, Expert A. E. Yurtkuran, E., “A new Hybrid Electromagnetism-like Systems with Applications, 37(4), 3427-3433. , (2010). [12]

P. Chen, Huang, H. K. & Dong, X. Y., “Iterated variable neighborhood descent algorithm for the capacitated vehicle routing problem.,” *Expert Systems with Applications*, 37(2), 1620-1627 , (2010). [13]

V. C. Hemmelmayr, Cordeau, J. F. & Crainic, T. G., “An adaptive large neighborhood search heuristic for Two-Echelon Vehicle Routing Problems arising in city logistics.,” Computers & Operations Research, 39(12), 3215-3228., (2012.). [14]

A. Imran, Salhi, S. & Wassan, N., “A.A variable neighborhood-based heuristic for the heterogeneous fleet vehicle routing problem,” *European Journal of Operational Research*. 197(2), 509-518. , (2009). [15]

B. Bullnheimer, Hartl, R.F. and Strauss, C., “Applying the ant system to the vehicle routing problem,” *Meta-Heuristics:* Paradigms for Optimization, pp., pp. 109-120, 1999. *Advances and Trends in Local Search* [16]

[17] س. نوروزی، “مدیریت زنجیره تامین”، پایان‌نامه کارشناسی، دانشگاه جامع علمی و کاربردی واحد ابهر، 1388.

[18] س. م. ح. حسینی و ع. ا. حسنی، “مدل‌سازی و حل مسئله مسیریابی وسایل نقلیه (VRP) در بخش توزیع زنجیره تأمین با در نظر گرفتن محدودیت تردد”، مهندسی صنایع و مدیریت شریف، دوره 1-34، شماره 1/1، صفحه 147-155، تابستان 1397.

and its C. A. Silva, Sousa, J.M.C., Runkler, T. and Costa, and J.M.G., “"Distributed optimization of a logistic system suppliers using ant colonies",” International Journal of Systems Science, 37(8), pp. 503-51, 2006. [19]

[20] ج. احمد و م. محمدرضا، “ زنجیره تأمین پایدار” چاپ اول، تهران، مؤسسه کتاب مهربان نشر، 1393.

[21] غ. عبیری، “مدیریت ریسک و عدم اطمینان”، تازه‌های اقتصاد، شماره 47، صفحات 118-110، 1374.

[22] ا. تیموری و م. احمدی، “زنجیره تأمین چیست، مدیریت زنجیره تأمین” تهران، انتشارات دانشگاه علم و صنعت، 1388.

[23] ع. ظفری و ت. هاشمی و م. ی. خوشبخت، “الگوریتم ترکیبی موثر ژنتیک برای حل مسئله، مسیریابی وسیله نقلیه”، مهندسی صنایع و مدیریت تولید، صفحه 76-63، شماره 2، جلد 21، 1389.

A. M. Benjamin, “Metaheuristics the waste collection vehicle routing problrm with time windows.,” *(Doctor of Philosophy), Brunel Univ.*, 2011. [24]

Y. Zheng, “Supply Chain Management under availability & uncertainty constraints.”, *Doctor of Philosophy, Lille Nord-de-France Univ.*, 2012. [25]

B. Bullnheimer, Hartl, R.F., Strauss, C., “An improved ant system algorithm for the vehicle routing problem.,” *Annals of* Operations Research 89, 319˚ 328., 1999. [26]

A Guide to the, 1979. ”M. R. Garey, and D. S. Johnson, “Computers and intractability, [27]

B. Eksioglu, A. V. Vural, and A. Reisman, “The vehicle routing problem: A taxonomic review,” *Computers & Industrial Engineering*, vol. 57, no. 4, pp. 1472-1483, 2009. [28]

K. H. Kang, B. K. Lee, Y. H. Lee, and Y. H. Lee, “A heuristic for the vehicle routing problem with due times,” *Computers & Industrial Engineering*, vol. 54, no. 3, pp. 421-431, 2008. [29]

E. D. Taillard, G. Laporte, and M. Gendreau, “Vehicle routeing with multiple use of vehicles,” *Journal of the Operational research society*, vol. 47, no. 8, pp. 1065-1070, 1996. [30]

C. Gang, "A PSO-GA method to solve a partial shipment and scheduling problem." pp. V10-330-V10-335. [31]

[32] A. Lim, and F. Wang, "Multi-depot vehicle routing problem: A one-stage approach," *IEEE transactions on Automation Science and Engineering*, vol. 2, no. 4, pp. 397-402, 2005.

[33] C. Archetti, M. W. Savelsbergh, and M. G. Speranza, "Worst-case analysis for split delivery vehicle routing problems," *Transportation science*, vol. 40, no. 2, pp. 226-234, 2006.

[34] م. گ. نخعی کمال آبادی، عیسی، نیکبخش جوادیان و مهدوی ا، "یکپارچه‌سازی زمان‌بندی و حمل‌و نقل در زنجیره تأمین چندکارخانه‌ای، " نخستین کنفرانس بین‌المللی مدیریت زنجیره تامین و سیستم‌های اطلاعات، 1386.

[35] ذ. س. ا. و. ب. ن. محمدعلی، " یکپارچگی زمان‌بندی حمل‌و نقل در زنجیره تامین با وسائط نقلیه دارای ظرفیت‌های متفاوت،" پژوهش‌نامه حمل‌و نقل، 6(3 (پیاپی 20))، 233-244، 1388.

[36] ر. م. س. م. و. ز. کوروش، " ارایه الگوریتم فراابتکاری مبتنی‌بر سیستم کلونی مورچگان برای مساله مکان‌یابی مسیریابی با چندین انبار و فرض تخصیص چندین مسیر به هر وسیله نقلیه،" مدیریت صنعتی، 3(6)، 38-17، 1390.

[37] س. ا. ز. ح. م. ا. م. د. ن. و. ی. خ. مجید، "بهینه‌سازی در مسیریابی باز وسیله نقلیه با استفاده از یک الگوریتم کارای ترکیبی فراابتکاری، " مدیریت صنعتی، 8(24)، 99-112، 1392.

[38] ن. م. د. ا. د. ن. ث. م. ی. خوشبخت، "ترکیب الگوریتم‌های جستجوی ممنوع و جمعیت مورچگان برای مسئله مسیریابی وسیله نقلیه، " فصلنامه مدیریت راهبردی در سیستم‌های صنعتی (مدیریت صنعتی سابق) مقاله 6، دوره 9، شماره 28، 1393.

[39] ج. ع. ت. م. ر. ف. م. و. ع. رحمت، "مدل سازی ریاضی برای مساله مسیریابی وسایل نقلیه با حمل برگشتی و حل آن با الگوریتم کلونی مورچه چندگانه،" مدیریت تولید و عملیات، 7(1 (پیاپی 12))، 234-215، 1395.

[40] م. فرقانی، م. کیایی، م. اوتادی، "تاثیر قابلیت‌های حل مساله مکان‌یابی مسیریابی با استفاده از الگوریتم فراابتکاری مورچگان بر عملکرد مدیریت کسب و کار (مورد مطالعه: گروه فولاد اشتهارد)"، پنجمین همایش ملی پژوهش‌های مدیریت و علوم انسانی در ایران، 1397.

[41] ب. ن. م. ب. ع. ط. م. و. ب. حسام، " مسیریابی وسایل نقلیه در زنجیره تامین چند محصولی با استفاده از الگوریتم شبیه سازی تبرید جمعیتی"، مدیریت تولید و عملیات، 9(1 (پیاپی 16))، 27-1، 1397.

[42] س. حسینی و ع. ا. حسنی، "مدل‌سازی و حل مسئله‌ی مسیریابی وسایل نقلیه (VRP) در بخش توزیع زنجیره‌ی تأمین با در نظر گرفتن محدودیت تردد"، مهندسی صنایع و مدیریت، دوره 1، شماره 34، صفحه 155-147، 1397.

[43] ا. م. س. ج. م. و. خ. محمدرضا، "ارائه الگوریتم جستجوی گرانشی مقید و حل مساله مسیریابی وسایل نقلیه"، پردازش علایم و داده‌ها، 18(4 (50 پیاپی))، 23-35، 1400.

[44] ع. ع. ع. م. م. س. ا. ش. نی، "طراحی شبکه زنجیره تأمین با رویکرد مسیریابی وسیله نقلیه و پنجره زمانی و استفاده از الگوریتم جستجوی نیروی گرانشی"، نشریه علمی اندیشه آماد/ دوره بیست و یکم/ شماره 1، صفحه 12-4، 1401.

[45] Transportation Research Part B: Methodological", *ISSN 0191-2615*, Problem, G. L. Tolga Bektaş, "The Pollution-Routing vol. Volume 45, Issue 8, 2011.

[46] Christopher Pearson, "Logastik and Supply Chains Martin Education Limited.," 2011.

[47] search approach for the vehicle routing problem with E. E. Zachariadis, and C. T. Kiranoudis, "An effective local backhauls," *Expert Systems with Applications*, vol. 39, no. 3, pp. 3174-3184, 2012.

[48] S. Anbuudayasankar, K. Ganesh, S. L. Koh, and Y. Ducq, "Modified savings heuristics and genetic algorithm for bi-objective vehicle routing problem with forced backhauls," *Expert Systems with Applications*, vol. 39, no. 3, pp. 2296-2305, 2012.

[49] H. Osman, and K. Demirli, "Economic lot and delivery scheduling problem for multi-stage supply chains," *International Journal of Production Economics*, vol. 136, no. 2, pp. 275-286, 2012.

[50] Y. Kuo, and C.-C. Wang, "A variable neighborhood search for the multi-depot vehicle routing problem with loading cost," *Expert Systems with Applications*, vol. 39, no. 8, pp. 6949-6954, 2012.

[51] J. T. Zhang, and L. X. Qiao, "Optimization Mechanism Control Strategy of Vehicle Routing Problem Based on Improved PSO," *Advanced Materials Research*, vol. 681, pp. 130-136, 2013.

[52] I. Averbakh, and M. Baysan, "Approximation algorithm for the on-line multi-customer two-level supply chain scheduling problem," *Operations Research Letters*, vol. 41, no. 6, pp. 710-714, 2013.

[53] J. Ren, D. Du, and D. Xu, "The complexity of two supply chain scheduling problems," *Information Processing Letters*, vol. 113, no. 17, pp. 609-612, 2013.

[54] T. Sawik, "Joint supplier selection and scheduling of customer orders under disruption risks: Single vs. dual sourcing," *Omega*, vol. 43, pp. 83-95, 2014.

[55] E. Selvarajah, and R. Zhang, "Supply chain scheduling at the manufacturer to minimize inventory holding and delivery costs," *International Journal of Production Economics*, vol. 147, pp. 117-124, 2014.

[56] S. Ray, A. Soeanu, J. Berger, and M. Debbabi, "The multi-depot split-delivery vehicle routing problem: Model and solution algorithm," *Knowledge-Based Systems*, vol. 71, pp. 238-265, 2014.

[57] A. Thomas, J. Venkateswaran, G. Singh, and M. Krishnamoorthy, "A resource constrained scheduling problem with multiple independent producers and a single linking constraint: A coal supply chain example," *European Journal of Operational Research*, vol. 236, no. 3, pp. 946-956, 2014.

[58] C. Archetti, Jabali, O., & Speranza, M. G., "Multi-period vehicle routing problem with due dates". ," *Computers & Operations Research*.61, 122-134 . 2015.

[59] K. Braekers, K. Ramaekers, and I. Van Nieuwenhuyse, "The vehicle routing problem: State of the art classification and review," *Computers & industrial engineering*, vol. 99, pp. 300-313, 2016.

[60] B. Yao, B. Yu, P. Hu, J. Gao, and M. Zhang, "An improved particle swarm optimization for carton heterogeneous vehicle routing problem with a collection depot," *Annals of Operations Research*, vol. 242, pp. 303-320, 2016.

[61] M. Avci, and S. Topaloglu, "A hybrid metaheuristic algorithm for heterogeneous vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery," *Expert Systems with Applications*, vol. 53, pp. 160-171, 2016.

[62] A. Gupta, and S. Saini, "On solutions to vehicle routing problems using swarm optimization techniques: a review," *Advances in Computer and Computational Sciences: Proceedings of ICCCCS 2016, Volume 1*, pp. 345-354, 2017.

[63] M. A. Mohammed, M. K. Abd Ghani, R. I. Hamed, S. A. Mostafa, M. S. Ahmad, and D. A. Ibrahim, "Solving vehicle routing problem by using improved genetic algorithm for optimal solution," *Journal of computational science*, vol. 21, pp. 255-262, 2017.

[64] M. Alzaqebah, S. Jawarneh, H. M. Sarim, and S. Abdullah, "Bees algorithm for vehicle routing problems with time windows," *International Journal of Machine Learning and Computing*, vol. 8, no. 3, pp. 234-240, 2018.

[65] P. Vansteenwegen, and A. Gunawan, "Orienteering problems," *EURO Advanced Tutorials on Operational Research*, 2019.

[66] M. Bruglieri, S. Mancini, F. Pezzella, and O. Pisacane, "A path-based solution approach for the green vehicle routing problem," *Computers & Operations Research*, vol. 103, pp. 109-122, 2019.

[67] B. Peng, L. Wu, Y. Yi, and X. Chen, "Solving the multi-depot green vehicle routing problem by a hybrid evolutionary algorithm," *Sustainability*, vol. 12, no. 5, pp. 2127, 2020.

[68] H. Derbel, Jarboui, B., and Siarry, P., "Green Transportation and New Advances in Vehicle Routing Problems, Springer Nature Switzerland.," 2020.

[69] G. D. Konstantakopoulos, S. P. Gayialis, and E. P. Kechagias, "Vehicle routing problem and related algorithms for logistics distribution: A literature review and classification," *Operational research*, pp. 1-30, 2020.

[70] H. Abdullahi, L. Reyes-Rubiano, D. Ouelhadj, J. Faulin, and A. A. Juan, "Modelling and multi-criteria analysis of the sustainability dimensions for the green vehicle routing problem," *European Journal of Operational Research*, vol. 292, no. 1, pp. 143-154, 2021.

[71] L. Cai, W. Lv, L. Xiao, and Z. Xu, "Total carbon emissions minimization in connected and automated vehicle routing problem with speed variables," *Expert Systems with Applications*, vol. 165, pp. 113910, 2021.

[72] I. Kucukoglu, R. Dewil, and D. Cattrysse, "The electric vehicle routing problem and its variations: A literature review," *Computers & Industrial Engineering*, vol. 161, pp. 107650, 2021.

[73] Z. Gu, Y. Zhu, Y. Wang, X. Du, M. Guizani, and Z. Tian, "Applying artificial bee colony algorithm to the multidepot vehicle routing problem," *Software: Practice and Experience*, vol. 52, no. 3, pp. 756-771, 2022.

[74] ش. ح. ه. شهریار، "الگوریتم‌های تکاملی مبانی، کاربردها، پیاده‌سازی"، دانشگاه علم و صنعت ایران، شماره 590، 1391.

[75] م. عباسی‌کیا، "الگوریتم‌های فرااکتشافی جستجو (الگوریتم ژنتیک)"، مجموعه مقالات همایش ملی ژئوماتیک، سازمان نقشه‌برداری کشور، تهران، ایران، 1388.

[76] خ. ن. م.، "الگوریتم ژنتیک"، پایان‌نامه کارشناسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمین، 1390.

[77] M. Dorigo, V. Maniezzo, and A. Colorni, "Ant system: optimization by a colony of cooperating agents," *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics, part b (cybernetics)*, vol. 26, no. 1, pp. 29-41, 1996.

[78] M. DORIGO, "Optimization: learning and natural algorithms," *PhD thesis, Dipartimento di Elettronica, Politecnico di Milano*, 1992.

[79] H. Eldem, "Application of ant colony optimization for the solution of 3 dimensional cuboid structures," *Journal of Computer and Communications*, vol. 2, no. 04, pp. 99, 2014.

[80] قادری، اقبال، امینی، پیمان، محمدی‌ملقرنی، عطاالله، نوروش، ایرج، "بررسی دقت شبکه‌های عصبی مصنوعی و الگوریتم بهینه سازی کلونی مورچگان در پیش‌بینی مدیریت سود"، حسابداری مالی دوره 39، شماره 10، صفحه 110-82، 2018.

[81] غ. اسلامی بیدگلی، ا. طیبی ثانی، "بهینه سازی سبد سرمایه‌گذاری بر اساس ارزش در معرض ریسک"، مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار، دوره 5، شماره 18، صفحه 186-168، 2014.

[82] ن. میکائیل وند، ا. جوادی، اکرم، ح. زاده، "جواب تحلیلی معادلات دیفرانسیل مبتنی‌بر روش فراابتکاری ترکیبی الگوریتم‌های ژنتیک و بهینه‌سازی کلونی مورچگان،" پژوهش‌های نوین در ریاضی، دوره 6، شماره 27، صفحات 40-27، 2020.

[83] ر ضوی، سوخکیان، زیارتی، "ارایه الگوریتم فراابتکاری مبتنی‌بر سیستم کلونی مورچگان برای مسئله مکان‌یابی مسیریابی با چندین انبار و فرض تخصیص چندین مسیر به هر وسیله نقلیه"، مدیریت صنعتی، دوره 3، شماره 1، صفحات 38-17، 2011.

[84] م. حامدی حمزه کلایی، م. شامانی و م. شامانی، "بهینه کردن الگوریتم کلونی مورچگان برای ردیابی آی‌پی حملات انکار سرویس"، پدافند الکترونیکی و سایبری، دوره 1، شماره 4، 2014.

[85] ر. مریم، س. محمدعلی، ز. کوروش، "ارایه الگوریتم فراابتکاری مبتنی‌بر سیستم کلونی مورچگان برای مساله مکان‌یابی مسیریابی با چندین انبار و فرض تخصیص چندین مسیر به هر وسیله نقلیه"، 1390.

[86] D. Karaboga, and B. Basturk, "A powerful and efficient algorithm for numerical function optimization: artificial bee colony (ABC) algorithm," *Journal of global optimization*, vol. 39, pp. 459-471, 2007.

[87] م. وفاخواه، ع. دستورانی و ع. م. نیا، "بهینه سازی پارامترهای مدل ماسکینگام غیرخطی با استفاده از الگوریتم کلونی زنبور عسل"، مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، دوره 21، شماره 4، صفحات 267-253، 2014.

[88] زارع، بعنونی، سالم، قنبرزاده و افشین، "طراحی بهینه مبدل گرمایی صفحه‌ای پره‌دار با روش الگوریتم بهینه‌سازی زنبور عسل"، مهندسی مکانیک مدرس، دوره 12، شماره 5، صفحات 29-22، 2013.

[89] ح. سینایی، س. زمانی و ع. مهرابی، "تصمیم‌گیری برای انتخاب سبد سهام؛ مقایسه الگوریتم‌های ژنتیک و زنبور عسل"، پژوهشنامه مدیریت اجرایی، دوره 6، شماره 11، صفحه 4، 2014.

[90] بهرامی، "مدیریت تیم‌های امداد و نجات با استفاده از الگوریتم جستجوی ممنوعه و سیستم اطلاعات مکانی"، نشریه علمی علوم و فنون نقشه‌برداری، دوره 3، شماره 8، صفحه 188-179، 2019.

[91] N. Bahrami, "Using Tabu Search Algorithm and Geospatial Information System for Managing of the Relief and Rescue Teams," *Journal of Geomatics Science and Technology*, vol. 8, no. 3, pp. 179-188, 2019.

[92] و. بیگی و ب. پورحیدری، "واکنش و بهبود در بحران‌ها"، مؤسسه علمی کاربردی هلال ایران و دانشگاه علوم پزشکی بقیه الله، تهران، 2011.

[93] م. چاو شیان، م. ر ضوانی، "حل پازل سودوکو با تلفیقی از الگوریتم جستجوی ممنوعه کلاسیک با الگوریتم قوس سازگار"، کنفرانس بین‌المللی پژوهش در علوم و تکنولوژی، 1395.

[94] ا. خاکبازان و ن. مبصری، "پژوهش در عملیات 2"، صفحه 87-77، 1400.

[95] M. Desrochers, and G. Laporte, “Improvements and extensions to the Miller-Tucker-Zemlin subtour elimination constraints,” *Operations Research Letters*, vol. 10, no. 1, pp. 27-36, 1991.

KNO-1004-4202

پیاده‌سازی یک روش کاربردی در تحلیل و بهبود کیفیت توان

سعید سالارخیلی

شرکت برق منطقه‌ای تهران، ایران

s-salarkheili@trec.co.ir

اصغر اکبری فرود

دانشگاه سمنان سمنان، ایران

aakbari@semnan.ac.ir

چکیده —هدف از این مقاله، ارائه راهبردی جامع جهت تحلیل و همچنین بهبود مسائل کیفیت توان با توجه به امکانات و محدویت‌ها می‌باشد. راهبرد ارائه شده در این مقاله مبتنی بر نتایج پروژه اندازه‌گیری کیفیت توان در شبکه‌های انتقال و فوق توزیع برق منطقه‌ای سمنان در کم باری و پرباری) می با شد تا ضمن ارائه یک مورد عملی بتواند مورد ا ستفاده کار شنا سان صنعت برق با شد. در این مقاله سعی شده ا ست که چالش‌ها و مسائلی که در مراحل مختلف مطالعات کیفیت توان (مونیتورینگ، تحلیل و راهکارهای اصلاحی) در یک محیط واقعی وجود دارد مورد بررسی قرار گرفته و یک روش و الگوریتم برای بررسی جامع کیفیت توان با امکانات موجود ارائه گردد.

واژه‌های کلیدی —کیفیت توان، هارمونیک ولتاژ، هارمونیک جریان

1.مقدمه

از سال 1980 تاکنون، موضوعی با عنوان کیفیت توان یا به‌طور کلی کیفیت برق، توجه ویژه‌ی دست‌اندرکاران صنعت برق و سازندگان لوازم الکتریکی را به خود جلب کرده است. این واژه بعنوان یک کلمه کلیدی است که تمام اغتشاشات سیستم برق را پوشش می‌دهد. بطور کلی اغتشاش، به هرگونه تغییر در ولتاژ، جریان و فرکانس سیستم که باعث اختلال در عملکرد صحیح وسایل الکتریکی مشترکان شود، اطلاق می‌گردد [1] و [2].

مونیتورهای کیفیت توان، تغییرات توان را در یک سیستم قدرت نمایان می‌کنند [3]. در مراجع [4-7] در مورد طرح‌ها و وسایل مونیتورینگ سیستم‌های قدرت بحث شده است. با توجه به هزینه‌های مربوط به مونیتورها و همچنین هزینه های پردازش اطلاعات، هدف تمامی برنامه های مانیتورینگ بهینه، ارزیابی سیستم با حداقل تعداد مانیتور می‌باشد [8].

تاکنون مطالعات بسیاری در زمینه‌ی مانیتورینگ و بهبود کیفیت توان و تهیه‌ی دستورالعمل‌ها و تدوین استانداردها انجام شده است [9-13]. اما با همه‌ی تحقیقات انجام شده در رابطه با کیفیت توان، متاسفانه اکثر این تحقیقات صرفا پژوهش محور بوده و کمتر به چالش‌ها و مشکلات در فضای عملی و پروژه‌های صنعتی توجه شده است. در نتیجه ارایه راهکاری برای مونیتور کیفیت توان در شبکه‌های مختلف بسیار مهم می‌باشد. از طرفی در این راهکار تمام شرایط باید به طور واقعی در نظر گرفته شود. برای مثال یکی از مسائلی که همواره در پروژه‌های کیفیت توان با آن روبرو هستیم گران بودن دستگاه‌های اندازه‌گیری و کمبود تعداد این دستگاه‌ها، خصوصا در شرکت‌های برق منطقه‌ای می‌باشد. این باعث می شود که

تعداد نقطه‌های اندازه‌گیری کمتر ویا دسته‌های اندازه‌گیری همزمان کوچکتر شود. یکی دیگر از مسایلی که در یک فضای واقعی باید بررسی شود خطای اندازه‌گیری و تحلیل داده‌های اندازه‌گیری با وجود این خطا می‌باشد. برای مثال در اکثر پستهای فوق توزیع و انتقال در ایران از ترانسهای ولتاژخازنی (CVT) استفاده می‌شود. CVTها باعث بوجودآمدن خطای زیادی در اندازه‌گیری هارمونیک‌های ولتاژ می‌شود.

در این مقاله یک روش و الگوریتم برای اندازه‌گیری و تحلیل کیفیت توان در یک فضای واقعی با امکانات موجود ارائه داده می‌شود. این روند قابل پیاده‌سازی در تمام شبکه‌ها خصوصا شبکه‌های ایران می‌باشد. در قسمت بعدی مختصری در مورد چگونگی انتخاب نقاط اندازه‌گیری بحث و یک الگوریتم هفت مرحله‌ای را پیشنهاد داده می شود. سپس به چگونگی تحلیل نتایج اندازه‌گیری در بخش سوم پرداخته می شود. در پایان برای نشان دادن روش تحلیل، نتایج مربوط به یک پست از پست‌های اندازه‌گیری شده در پروژه اندازه‌گیری کیفیت توان استان سمنان در بهار و تابستان 1390 ارائه و تحلیل می‌شود و بررسی‌های بیشتر بوسیله شبیه سازی انجام میشود.

2.راهبرد جامع در تعیین نقاط اندازه‌گیری پدیده‌های کیفیت توان

دراین بخش به ذکر راهبردی جامع برای انتخاب نقاط اندازه‌گیری می پردازیم. در این راهبرد سعی شده تا تمام موارد لازم در یک پروژه صنعتی درنظر گرفته شود. مراحل لازم به شرح زیر می‌باشد:

1- *آشنایی با شبکه مورد مطالعه و جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز:* برای این مرحله لازم است نقشه‌های دیاگرام تک خطی مربوط به شبکه‌های انتقال، فوق توزیع و توزیع، نقشه گستردگی جغرافیایی، وضعیت کلیدهای کوپلاژ و خازن‌های موجود در شبکه تهیه شود.

2- *بررسی آمار و گزارش‌های موجود در خصوص وضعیت کیفیت توان بخش‌های مختلف شبکه:* دراین مرحله باید با همکاری معاونت‌های بهره‌برداری و شرکت‌های توزیع و بنابر تجارب ارزشمند ایشان، آمار و گزارش‌هایی در خصوص وضعیت کیفیت توان بخش‌های مختلف شبکه و درخواست‌ها و شکایت‌های برخی مشترکین، تهیه گردد.

3- *اولیت بندی فیدرهای توزیع:* باتوجه به مراحل 1 و 2، فیدرهای موجود در سه اولویت اندازه‌گیری که نشان‌دهنده‌ی لزوم، عدم لزوم و مفید بودن اندازه‌گیری در صورت وجود اعتبار کافی، دسته‌بندی شوند.

4- *انتخاب نقاط در سطح توزیع:* در انتخاب نقاط در سطح توزیع، فیدرهای دارای اولویت اول، به منظور نصب تجهیزات اندازه‌گیری تعیین گردند. همچنین از میان فیدرهای شهری، آن دسته از فیدرهایی که تامین کننده حجم زیادی از بارهای خانگی بودند نیز در اندازه‌گیری‌ها مورد استفاده قرار گیرند.

5- *تعیین نقاط در سایر سطوح ولتاژی(فوق‌توزیع و انتقال):* به منظور تعیین نقاط در سایر سطوح ولتاژی، انتخاب باید به گونه‌ای صورت گیرد که رویت پذیری شبکه تا حد امکان حفظ گردد. همچنین تلاش شود تا نقاط دارای مشکل در اندازه‌گیری‌های قبلی، نقاط انتهایی خطوط بلند، فیدر یا خطی که در ترانسفورماتور بالادست و یا بار متصل به آن مشکلاتی مشاهده شده است، مشترکین خاص یا بزرگ، نقاط ارتباطی با شبکه‌های مجاور و ... نیز جزو نقاط منتخب برای اندازه‌گیری‌های کیفیت توان باشند.

6- *بررسی محدودیت در نصب تجهیزات اندازه‌گیری:* در صورت وجود محدودیت در نصب تجهیزات اندازه‌گیری در تمامی پست‌های فوق توزیع، از میان چندین پست که فاصله الکتریکی کمی داشته یا اطلاعات مورد نیاز از طریق بررسی اندازه‌گیری‌های قبلی در پست‌های یک ناحیه و اطلاع از شرایط شبکه و روند تغییر بار آن، قابل برداشت باشد، می‌توان برخی از پست‌ها را حذف نمود.

7- *تعیین دسته‌های اندازه‌گیری همزمان:* پس از مشخص نمودن نقاط اندازه‌گیری، نوبت به تعیین دسته‌های اندازه‌گیری همزمان می‌رسد. از آن‌جایی که منشأ وجود پدیده‌های کیفیت توان در یک منطقه ناشی از شبکه بالادست، بارها و یا شبکه پائین‌دست می‌باشد، لذا این نقاط(با

توجه به محدودیت تعداد دستگاه‌های اندازه‌گیری و امکان نصب آن‌ها) باید به گونه‌ای دسته بندی شوند که بتوان از اطلاعات دریافتی در بررسی همزمان سطوح ولتاژی مختلف به منظور تعیین جهت انتشار آلودگی و یافتن منبع ایجاد آن حداکثر استفاده را نمود.

با توجه به موارد هفتگانه ذکر شده، نقاط منتخب به منظور نصب تجهیزات اندازه‌گیری در دوره‌های کم‌باری و پرباری انتخاب می‌شوند.

3. تحلیل نتایج حاصل از اندازه‌گیری هارمونیکی

از آنجاییکه مهمترین پدیده در اندازه‌گیری کیفیت توان پدیده هارمونیک و جهت‌یابی آن می‌باشد لذا در این قسمت به ارائه راهکاری جامع در تحلیل نتایج حاصل از اندازه‌گیری هارمونیکی می‌پردازیم. این راهکار وابسته به سطح ولتاژ و توپولوژی شبکه می‌باشد لذا راهکار مربوط به شبکه توزیع با شبکه فوق توزیع و انتقال متفاوت می‌باشد.

3.1. نقاط 20 و 63 کیلوولت

تشخیص جهت هارمونیک: در این سطح ولتاژ شبکه عمدتا دارای ساختار شعاعی می‌باشد. تشخیص جهت هارمونیک و به عبارت دیگر تعیین منشا هارمونیک در حالتی که شبکه ساختار شعاعی داشته باشد یعنی موقعی که ارتباط یک پست تنها با یک پست دیگر باشد، با مقایسه هارمونیک جریان نرمالایز شده با هارمونیک ولتاژ نرمالایز شده هم فرکانس، امکان پذیر است. اگر دامنه ولتاژ هارمونیکی از جریان هارمونیکی بزرگتر بود، جهت از منبع به بار و اگر برعکس این حالت بود، جهت جریان هارمونیکی، از بار به سمت منبع است.منظور از هارمونیک جریان نرمالایز شده، نسبت دامنه هارمونیک مورد نظر به مؤلفه اصلی جریان در آن نقطه و همچنین منظور از هارمونیک ولتاژ نرمالایز شده، نسبت هارمونیک ولتاژ در یک فرکانس به مؤلفه اصلی ولتاژ در آن نقطه است.

3.1. نقاط 230 و 400 کیلوولت

مشکلی که در جهت‌یابی هارمونیکی در سطح 230 و 400 کیلوولت داریم این است که اغلب اندازه‌گیری‌ها از طریق ترانسهای ولتاژ خازنی(CVT) انجام می‌شود. این باعث بوجود آمدن خطای زیادی در اندازه‌گیری‌ها میشود. در ادامه برای توضیحات بیشتر خطای اندازه‌گیری CVTها بررسی می‌شود..

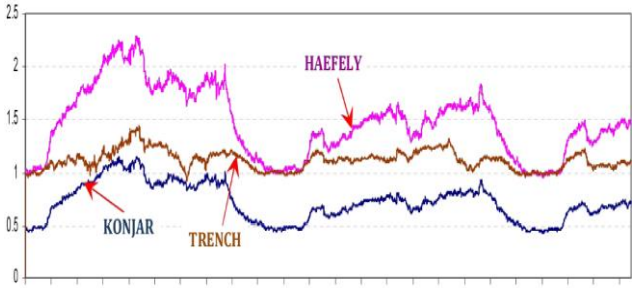
4.بررسی خطای CVT در اندازه‌گیری هارمونیکی

در شبکه‌های قدرت علاوه بر ترانسفورماتورهای ولتاژالکترومغناطیسی (PT)، ترانسفورماتورهای ولتاژ خازنی نیز برای اندازه‌گیری ولتاژهای بالا استفاده می‌شوند. ترانسفورماتورهای ولتاژ خازنی یا CVTها عموما در شبکه‌هایی با ولتاژهای 230 و 400کیلوولت بکار گرفته میشوند. در این نوع ترانسفورماتورها، ابتدا با استفاده از تعداد زیادی خازن که معمولا از نوع کاغذ با هادی آلومینیومی می‌باشند و به طور سری به یکدیگر متصل شده‌اند، ولتاژ اولیه در حدود 10 تا 30 کیلوولت کاهش می‌یابد و سپس با استفاده از یک PT کوچک مقدار ولتاژ را به ولتاژ استاندارد 100 یا 110 ولت تبدیل می‌گردد. ترانسفورماتورهای ولتاژ خازنی بعلت داشتن عایق‌بندی کمتر در ولتاژهای زیاد به مراتب ارزانتر از PTها می‌باشند و علاوه بر مسایل اقتصادی، استقامت الکتریکی آنها نیز در مقابل ولتاژهای ضربه‌ای به مراتب بیشتر از PTها است.

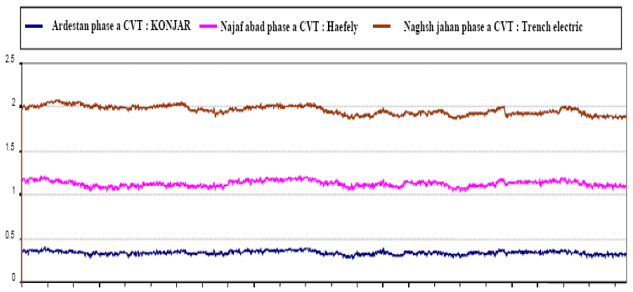
رفتار CVTها در فرکانس اصلی بخوبی تعریف و تحلیل و تست شده است اما رفتار آنها در فرکانس‌های بالاتر بسیار متفاوت می‌باشد. پاسخ فرکانسی CVTها به عوامل مختلفی مانند سازنده، طول عمر، مقادیر خازنها و سلفها و... بستگی دارد. لذا خطای CVTها برای فرکانس‌های مختلف یکسان نیست و از CVT برای اندازه‌گیری هارمونیکی نمی‌توان استفاده کرد.

در ادامه مروری بر استانداردها و کتب معتبر در مورد خطای اندازه‌گیری هارمونیکی از طریق CVT به منظور اثبات وجود خطاهای قابل ملاحظه در مقادیر هارمونیک سوم و پنجم انجام خواهد شد.

در ا ستاندارد صنعت برق ایران (1381) آورده شده ا ست که در بع ضی از پ ستها به‌خ صوص پ ستهای 230 و 400 کیلوولت از CVT به عنوان ترانسفورماتورهای کاهنده ولتاژ استفاده می‌گردد. از این نوع ترانسفورماتورها نباید برای مونیتورینگ کیفیت توان ا ستفاده کرد. در ا ستاندارد IEEE-519-1992 آورده شده ا ست که برای اندازه‌گیری هارمونیک‌های ولتاژ نمی‌توان از CVT ا ستفاده نمود. به این دلیل که بطور معمول، پایین‌ترین فرکانس رزونانس در پا سخ فرکان سی CVTها در حدود کمتر از 200HZ بوده و این مو ضوع باعث می شود که هارمونیک‌های ولتاژ 3 و 5 که اطراف فرکانس 200HZ می‌با شند از دقت منا سبی برخوردار نبا شند. در ا ستاندارد IEC 61000-4-7-1996 نیز آورده شده است که اندازه‌گیری هارمونیکی از طریق CVT مناسب نمی‌باشد. در [2] بیان شده است که به علت وجود رزونانس در حوالی فرکانس 200HZ، CVT برای مونیتورینگ هارمونیک‌های ولتاژ منا سب نمی‌با شند. در شکل‌های (1) و (2) هارمونیک سوم ولتاژ اندازه‌گیری شده از طریق CVTهای مختلف بطور همزمان نشان داده شده است. این اندازه‌گیری در پست شهید منتظری اصفهان در سطوح ولتاژ 400KV و230KV انجام گرفته است. همانطور که در این شکلها مشخص است اندازه‌گیری از طریق CVTهای سازندگان مختلف بر روی یک باسبار مشترک، مقادیر هارمونیک سوم متفاوتی را نشان می‌دهند که اختلاف در حد دو برابر می‌باشد. لذا مشخص نیست کدامیک از این مقادیر به مقدار واقعی هارمونیک سوم نزدیک‌تر میباشد.



شکل (1): هارمونیک سوم ولتاژ اندازه گیری شده ازCVTهای مختلف در پستKV400 شهید منتظری



شکل(2): هارمونیک سوم ولتاژ اندازه گیری شده ازCVTهای مختلف در پست 230KVشهید منتظری

با توجه به توضیحات داده شده مشخص می‌شود که عملا از داده‌های اندازه‌گیری هارمونیک‌های ولتاژ نمی‌توان در شبکه انتقال نمی‌توان برای تشخیص جهت توان هارمونیکی استفاده کرد اما نتایج اندازه‌گیری هارمونیک‌های جریان چون از طریق CT می‌باشند، دیگر خطای اندازه‌گیری CVTها را ندارند و برای شنا سایی منابع تزریق هارمونیک قابل ا ستفاده می‌با شند. به همین دلیل روش زیر را برای تحلیل و ضعیت هارمونیکی پیشنهاد می‌کنیم. مراحل این روش عبارتند از:

1- *شنا سایی منابع تزریق جریان هارمونیکی از شبکه توزیع (پایین د ست).* در این مرحله سعی می شود با ا ستفاده از مقادیر هارمونیک جریان، منابع تزریق جریان هارمونیکی که جریان زیادی به شبکه توزیع تزریق می‌کنند به‌طوریکه تا شبکه فوق توزیع و انتقال نیز ادامه میابد شنا سایی شود. البته چنین اتفاقی بسیار نادر بوده و بیشتر در شبکه‌های ضعیف اتفاق میفتد مگر اینکه منبع تزریق هارمونیک بزرگ با شد.

برای مثال به دلیل اســتفاده گســترده از لامپ‌های کم‌مصــرف این لامپ‌ها به عنوان یک منبع تزریق هارمونیک در نظر گرفته می‌شود که آثار آن در شبکه فوق توزیع و انتقال نیز مشهود است.

2- *شناسایی منابع تزریق جریان هارمونیکی از شبکه فوق توزیع و انتقال (بالادست).* شناسایی منبع تولید هارمونیک در شبکه‌های انتقال و فوق توزیع با استفاده از اندازه‌گیری‌های معمول که اکثرا در بیشتر شبکه‌ها انجام می‌شود تقریبا ناممکن است. چراکه در شبکه انتقال شارش توان یک جهت ثابت ندارد و در حال تغییر می‌باشــد. از طرفی دیگر حضــور منابع غیر هم‌فاز در کنار هم باعث مشــکل‌تر شــدن تحلیل نتایج نیز می‌شود. چراکه فاز دو منبع جریان هارمونیکی می‌تواند به گونه‌ای باشد که اثر یکدیگر را تضعیف و یا تشدید نمایند و باعث افزایش یا کاهش THD در باس مربوطه شــود. اما در بعضــی از شــرایط خاص با توجه به توپولوژی شــبکه و بعضــی از خطوط انتقال می‌توان تعدادی از منابع قطعی تولید هارمونیک را در شبکه‌های انتقال و فوق‌توزیع شناسایی کرد. برای مثال در شبکه 230کیلوولت سمنان کارخانه فروسیلیس روی این شبکه قرار دارد. اندازه گیری‌ها تزریق جریان هارمونیکی مرتبه پنجم در حدود 38در صد مولفه ا صلی را تو سط کارخانه فرو سیلیس به شبکه 230کیلوولت سمنان نشان می‌دهند.

3- *شبیه سازی کامپیوتری(تحلیل):* پی شنهاد این مقاله ا ستفاده از شبیه سازی در کنار اندازه‌گیری می‌با شد. در این مرحله منابعی که به عنوان منبع تزریق هارمونیک شناخته شده‌اند به صورت منبع جریان هارمونیکی مدل می شوند و از کل شبکه پخش‌بار هارمونیکی گرفته می شود. نرم افزار Digsilent به دلیل اینکه اطلاعات شبکه ایران در این محیط موجود می‌با شد تو صیه می شود. به کمک این نرم افزار THD را در همه باس‌ها م شاهده می‌کنیم و سهم منابع مدل شده در هارمونیک ولتاژ باس‌های مختلف م شخص می شود. علاوه بر این میزان دقیق بودن تحلیل ما از نتایج در این مرحله مشخص می‌شود.

4- *شبیه سازی کامپیوتری(بهبود):* حال که تا حد امکان شبکه مدل سازی شد و منابع عمده تولید هارمونیک شناخته شد راهکارهای بهبود کیفیت توان در این مرحله برر سی می شود. نکته قابل توجه این ا ست که راهکارهای متفاوت برای ا صلاح یک نقطه باا ستفاده از شبیه سازی قابل بررســی میباشــد. برای مثال برای یک نقطه چند راهکار برای بهبود وضــعیت کیفیت توان آن وجود دارد. این راهکارها عبارتند از بســتن باس‌کوپلرهای باز، ا ضافه کردن ترانس جدید، احداث پ ست جدید یا ک شیدن خط ارتباطی جدید برای پایین آوردن امپدانس ویا فیلترگذاری. به کمک شبیه‌سازی این راه‌کارها بررسی می‌شود و میزان تاثیر بر روی وضعیت کیفیت توان یک نقطه و سایر نقاط هم بررسی می‌شود.

در برر سی و تحلیل نتایج حا صل از اندازه‌گیری باید نتایج اندازه‌گیری دو پروژه کم باری و پرباری در کنارهم مورد برر سی قرار گرفته شود تا بدینوسیله ضمن انجام تحلیل‌های جامعتر، شناخت کاملترو دقیقتری نسبت به وضعیت کیفیت توان در شبکه انتقال و فوق توزیع ایجاد گردد.

5. بررسی پست 63کیلوولت شهید میرحاج در شبکه فوق توزیع سمنان

در این قسمت برای نشان دادن چگونگی تحلیل نقاط، به برر سی نتایج ا ستخراج شده از اندازه گیری پست شهید میرحاج در ا ستان سمنان می‌پردازیم.

نقاط مونیتور شده در کم باری در پست میرحاج مطابق جدول (1) است.

جدول(1): نقاط مونیتور شده در کم باری در پست میرحاج

1	پست 63 شهید میرحاج	خروجی T1
2	پست 63 شهید میرحاج	فیدر نیروگاه
3	پست 63 شهید میرحاج	فیدر سعدی
4	پست 63 شهید میرحاج	فیدر صنعتی 2
5	پست 63 شهید میرحاج	فیدر ســیمین کار

نقاط مونیتور شده در پر باری در پ ست میرحاج در جدول (2) و خلا صه و ضعیت ولتاژ در جدول (3) ن شان داده شده است.

جدول (2): نقاط مونیتور شده در پر باری در پست میرحاج

1	پست 63 شهید میرحاج	خروجی T2
2	پست 63 شهید میرحاج	فیدر نیروگاه
3	پست 63 شهید میرحاج	فیدر سعدی
4	پست 63 شهید میرحاج	فیدر محلات
5	پست 63 شهید میرحاج	فیدر بیمارستان امیرالمؤمنین

جدول (3): خلاصه وضعیت ولتاژ در پست میرحاج

پارامترها	کم باری	پرباری
THD		
هارمونیک تا مرتبه7		
هارمونیک بالاتراز7		
PST		
PLT		
عدم تعادل ولتاژ		
پدیده‌های گذرا		
پد یده های کو تاه-مدت		دوپدیده از بالادست
پدیده‌های بلندمدت		

در جدول (4) موارد زیر را باید در نظر گرفت:

- در پدیده‌های گذرا، کوتاه‌مدت و بلندمدت اگر بین 1 تا 5 پدیده ثبت شده با شد، و ضعیت زرد و از 6 پدیده به بالا، و ضعیت قرمز ثبت گردیده است.
- در THD، هارمونیک تا مرتبه هفت، هارمونیکهای بالاتر از هفت، PST(شاخص کوتاه مدت فلیکر)، PLT(شاخص بلند مدت فلیکر) و عدم تعادل ولتاژ اگر بیش از 5 در صد موارد ثبت شده خارج از رنج مجاز بوده و ضعیت قرمز و اگر کمتر از 5 در صد موارد ثبت شده خارج از رنج مجا ز بوده و ضعیت زرد رنگ نشان داده شده است. و ضعیت سفید به منزله این است که هیچ مشکلی از آن نوع پدیده مشاهده نشده است. و ضعیت زرد طبق ا ستانداردهای بین المللی م شکلی ندارد ولی طبق ا ستاندارد ایران که عمدتا مقادیر حداکثر را با رنج مجاز مقای سه میکند، وضعیت نامطلوب تلقی می‌شود.

5.1. تحلیل وضعیت ولتاژ

1- در شرایط کم باری هارمونیک پنجم ولتاژ در این پست خارج از رنج مجاز است و وضعیت آن قرمز است. با توجه به اندازه هارمونیکهای جریان، جهت جریان هارمونیکی از سمت بار به منبع است. وضعیت کلید کوپلاژ این پست باز گزارش شده که ظاهرا به دلیل پر بار بودن ترانسهای آن است. باز بودن کلید کوپلاژ می‌تواند در دامنه هارمونیک پنجم ولتاژ در این پست مؤثر باشد که با شبیه سازی هارمونیکی مورد بررسی قرار گرفته است (در ادامه گزارش نتایج این شبیه‌سازی ارائه گردیده است).

2- در پر باری ظاهرا یک بخش از شینه پست که فیدرهای نیروگاه و بیمارستان امیرالمومنین را تغذیه می‌کند مشکلی از نظر هارمونیکهای ولتاژ ندارد ولی بخش دوم شینه که فیدرهایی مثل سعدی و محلات را تغذیه میکند دارای هارمونیک پنجم ولتاژ قوی است و وضعیت قرمز دارد.

وضعیت اعوجاج هارمونیکی برای بخش توزیع اغلب فیدرها حتی با بسته بودن کلید کوپلاژ احتمالا نامطلوب است که در حوزه عملیاتی شرکت توزیع قرار دارد..

خلاصه وضعیت جریان در نقاط مونیتور شده در پست میرحاج در جدول (4) ارائه شده است.

5.2. تحلیل وضعیت جریان

1- منبع جریان هارمونیکی از مرتبه پنج، طبق اندازه‌گیری‌های کم باری، فیدر سعدی می‌با شد. البته در پرباری م شکلی از نظر هارمونیک پنجم جریان ثبت نشده است.

2- در پر باری باز هم در نقطه T2 دامنه هارمونیکهای جریان خیلی بالاست. این موضوع نشانگر آن است که احتمالا فیدرهای دیگری از این پست که مونیتور نشده‌اند نیز منبع هارمونیک هستند.

3- در فیدر نیروگاه هارمونیکهای زوج بخصوص هارمونیک دوم از سمت بار به سمت منبع است. ظاهرا منبع جریان هارمونیکی یکی از فیدرهای این پست بوده که در پرباری مونیتور نشده است.

4- در دیاگرام تک خطی شبکه 63 کیلوولت یک خط 63 دیگر از پست 63 سمنان به پست میرحاج م صوب ا ست که میزان اثرگذاری احداث این خط در کاهش امپدانس شبکه و احتمالا کاهش هارمونیک ولتاژ در این پ ست باید با شبیه سازی هارمونیکی برر سی گردد که در ادامه نتایج این شبیه‌سازی ارائه می‌گردد.

5- با توجه به اینکه هارمونیک پنجم ولتاژ در این پ ست بالا ست بنابراین م شترکترکین روی فیدرهای این پ ست در شرایط کنونی (یعنی کلید کوپلاژ باز) هارمونیک پنجم ولتاژ را مشاهده می‌کنند.

6- نکته مهم دیگر این ا ست که در مونیتورینگ پر باری خط 63 میرحاج در پست 63 سمنان مونیتور شده که مقدار هارمونیک پنجم جریان و TDD آن شدید گزارش شده که از سمت بار ا ست. در ادامه با شبیه سازی میزان اثرگذاری این مقدار هارمونیک جریان در با سهای پایین دست و بالادست این فیدر مورد بررسی قرار می‌گیرد.

7- فیدر محلات ضریب قدرت بسیار بدی دارد (100 در صد خارج از رنج و حدود 0/85 ا ست. نکته مهم در اینجا این ا ست که ضریب قدرت پایین این خط می‌توان باعث افت ولتاژهای بیشتری شود در شبکه توزیع شود.

8- فیدر نیروگاه این پست نیز ضریب قدرت بسیار پایینی دارد (در حدود 90 درصد نمونه‌ها حدود 0/86 بوده است)

9- فیدر سعدی نیز همین مشکل ضریب توان را مشابه فیدر نیروگاه دارد.

نقش وضعیت (باز یا بسته بودن) کلید کوپلاژ در پست میرحاج بر روی اعوجاج هارمونیکی، توسط شبیه‌سازی مورد بررسی قرار گرفته است و نتایج در جدول (5) نشان داده شده است. برای این منظور یک بار هارمونیکی از مؤلفه پنجم برابر با 6 درصد مؤلفه اصلی (مطابق با نتایج اندازه‌گیری برای ترانس T1 در کم باری)، در طرف 20 کیلوولت ترانس پست میرحاج قرارداده شده است.

همانگونه که از نتایج جدول فوق مشخص است در حالت کلید باز، اعوجاج هارمونیک پنجم ولتاژ خارج از رنج مجاز است ولی در حالت کلید بسته مشکل کاملا حل می شود. پس یک راهکار مناسب برای کاهش اعوجاج هارمونیکی ولتاژ در این پست و فیدرهای توزیع آن، بستن کلید کوپلاژ در این پست است.

نکته مهم دیگر این است که در مونیتورینگ خط 63 میرحاج در پست 63 سمنان در پر باری، مقدار هارمونیک پنجم جریان و TDD آن شدید گزارش شده که از سمت بار است. در شبیه‌سازی هارمونیکی دیگری، یک بار هارمونیکی در پست میرحاج قرار داده شده است بگونه‌ای که بتواند 4 درصد هارمونیک جریان در فیدر میرحاج ایجاد کند و با شبیه سازی اثر این هارمونیکهای جریان در باس‌های پایین دست و بالادست بررسی شده و نتایج در جدول (6) ارائه گردیده است. همچنین، در دیاگرام تک خطی شبکه 63 کیلوولت یک خط 63 دیگر از پست 63 سمنان به پست میرحاج مصوب است که میزان اثرگذاری احداث این خط در کاهش امپدانس شبکه و احتمالا کاهش هارمونیک ولتاژ در این پست با شبیه‌سازی هارمونیکی بررسی گردیده که در جدول (7) ارائه شده است.

جدول (4): خلاصه وضعیت جریان در نقاط مونیتور شده در پست میرحاج

	نام نقطه اندازه‌گیری	دوره	TDD	هارمونیکهای جریان تا مرتبه 7	هارمونیکهای جریان بالاتر از مرتبه 7	ضریب قدرت
1	خروجی T1	کم باری	بسیار شدید	بسیار شدید		
2	خروجی T2	پر باری	بسیار شدید	بسیار شدید		
3	فیدر نیروگاه	کم باری		هارمونیک دوم	هارمونیکهای 4، 6 ، 8 و 10	
		پر باری				
4	فیدر سعدی	کم باری	شدید	شدید		
		پر باری		هارمونیک دوم خیلی کم		
5	فیدرصنعتی2	کم باری				
6	فیدر سیمین کار	کم باری				

7	فیدر محلات	پرباری		هارمونیک دوم خیلی کم		
8	فیدر بیمارستان امیرالمؤمنین	پرباری				

جدول (5): شبیه‌سازی اثر باز یا بسته بودن کوپلاژ پست میرحاج در THD

نام نقطه	کو پلاژ باز	کوپلاژ بسته
THD در باس20پست میرحاج	3/33	1/28
THD در باس63پست میرحاج	0/52	0/48
THD در باس63پست سمنان	0/38	0/35
THD در باس 230 پست سمنان	0/11	0/11

جدول (6): شبیه‌سازی اثر باز یا بسته بودن کوپلاژ پست میرحاج در THD

نام نقطه	کو پلاژ باز	کوپلاژ بسته
THD در باس20پست میرحاج	5/54	2/97
THD در باس63پست میرحاج	0/86	0/8
THD در باس63پست سمنان	0/63	0/59

THD در باس 230 پست سمنان	0/19	0/18

جدول (7): شبیه‌سازی اثر باز یا بسته بودن کوپلاژ پست میرحاج و وجود خط دوم 230سمنان میرحاج در اعوجاج هارمونیکی ولتاژ

نام نقطه	کوپلاژ باز و وجود خط دوم 230سمنان میرحاج	کوپلاژ بسته و وجود خط دوم 230سمنان میرحاج
THD در باس20پست میرحاج	5/54	2/97
THD در باس63پست میرحاج	0/86	0/8
THD در باس63پست سمنان	0/63	0/59
THD در باس 230 پست سمنان	0/19	0/18

از نتایج پخش بار هارمونیکی ارائه شده در جداول فوق مشخص است که بار هارمونیکی مورد نظر (که بر اساس نتایج مونیتورینگ قرارداده شده است)، در حالت کلید کوپلاژ باز باعث شده که اعوجاج هارمونیکی سمت 20 کیلوولت پست میرحاج از رنج مجاز خارج شود. نکته مهم دیگر این است که بارهای غیر خطی پست میرحاج قادر هستند حدود 0/2 درصد اعوجاج هارمونیکی در سطح انتقال ایجاد کنند و این مقدار با توجه به رنج مجاز اعوجاج تکی که 1 درصد است، زیاد است. دقت شود که به پست 230 سمنان چندین پست فوق توزیع دیگر متصل است. پس به نظر میرسد که باید در پایین دست پست میرحاج (شبکه توزیع) راهکارهایی برای کاهش منابع هارمونیکی صورت پذیرد.

همانطور که از نتایج شبیه‌سازی در جدول فوق مشخص است، اضافه شدن خط جدید 63 کیلوولت بین پست سمنان 230 و میرحاج تاثیر چندانی بر کاهش اعوجاج هارمونیکی در باس‌های مختلف ندارد. تاثیر بسته شدن کلید کوپلاژ این پست بر کاهش اعوجاج هارمونیکی ولتاژ به مراتب بیشتر است. علت موضوع کوتاه بودن خط ار تباطی بین پست سمنان و میرحاج است بطوریکه امپدانس ترانسفورماتور 30 مگاواتی 63/20 کیلوولت این پ ست حدود 18 (18 اهم در برابر 1/074 اهم) برابر امپدانس خط سمنان- میرحاج ا ست. بنابراین ب سته شدن کوپلاژ پ ست تاثیر ب سیار بی شتری بر کاهش امپدانس شبکه در سمت 20 کیلوولت پ ست میرحاج دارد. لذا با توجه به آنکه مونیتوینگهای انجام شده حاکی از وجود منابع هارمونیک زا در پایین دست پست میرحاج دارد، توصیه می‌شود که کلید کوپلاژ این پست همواره بسته نگهداشته شود و با انتقال بخشی از

بار این پست به پستهای مجاور و یا اضافه کردن ترانسفورماتور سوم به این پست، این امکان ایجاد شود که کلید کوپلاژ این پست همیشه بسته باشد.

نتیجه‌گیری

در این مقاله مراحل مختلف پروژه اندازه‌گیری و تحلیل کیفیت توان استان سمنان تشریح شد. نکته قابل توجه تحلیل نتایج با استفاده از امکانات موجود بود. همچنین کارایی استفاده از شبیه سازی در کنار مونیتورینگ برای تحلیل نتایج و ارایه راهکارهای بهبود و اصلاح کیفیت توان نشان داده شد. این الگوریتم قابل پیاده‌سازی و بکارگیری در فضاهای عملی و شبکه‌های واقعی و شرکت‌های برق منطقه‌ای می‌باشد.

منابع

[1] E. F. Fuchs and M. A. S. Masoum, “Power Quality in Electrical Machines and Power Systems”. New York: Academic, 2008.

[2] Dugan, M. F. Mc Granaghan and H. W. Beaty, “Electrical Power Systems Quality”, McGraw-Hill, 1996.

[3] Dilek Kucuk, Tolga Inan, Ozgul Salor, Turan Demirci, Yener Akkaya, Serkan Buhan,Burak BoyrazogTu, Ozgur Unsar, Erinc Altintas_, Burhan Haliloglu, Isik Cadirci, Muammer Ermis,' An extensible database architecture for nationwide power quality monitoring,' Electrical Power and Energy Systems (2010)

[4] G. Bucci and C. Landi, "A distributed measurement architecture for industrial applications", IEEE Trans. lustrum. Meas., vol. 52, no. 1, p. 165- 174, Feb. 2003.

[5] L. Cristaldi, A. Ferrero, and S. Salicone, "A distributed system for electric power quality measurement," IEEE Trans. lustrum. Meas., vol. 51, no. 4, p. 776-781, 2002.

[6] B. Byman, T. Yarborough, R. S. von Carolsfeld, and J. Van Gorp, "Using distributed power quality monitoring for better electrical system management," IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 36, no. 5, pp. 1481-1485, Sep.-Oct. 2000.

[7] I.-Y. Chung, D.-J. Won, S.-J. Ahn, J.-M. Kim, S.-I.Moon, J.-c. Seo, J.-W. Choe and G.-S. Jang, "Development of new power quality diagnosis function." J. Electr. Eng. & Technol. ,vol.1, no. 1, p.28-34, Mar,2006.

[8] A.A. Ibrahim, A. Mohamed, H. Shareef , S.P. Ghoshal, Optimal Power Quality Monitor Placement in Power Systems Based on Particle Swarm Optimization and Artificial Immune System, 2011 3rd Conference on Data Mining and Optimization (DMO) 28-29 June 2011, Selangor, Malaysia

[9] IEEE Recommended Practice on “Monitoring Electric Power Quality”, Std. 1159-1995.

[10] T. G. San Roman and J. R. Ubeda, “Power Quality Regulation in Argentina: Flicker and Harmonics,” IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 13, No. 3, 1998, p. 895-901.

[11] M. Goldstain and P. D. Speranza, “The Quality of U. S. Commercial ac Power,” INTELEC, 1982. P. 28-33.

[12] D. D. Sabin, T. E. Grebe and A. Sundaram, “Surveying Power Quality Levels on U. S. Distribution System,” Proceeding 13th International Conference on Electricity Distribution (Cired 95), Brusscls Belgium, May 1995.

[13] W. Edward Reid, “Power Quality Issues – Standards and Guidelines,” IEEE Transaction on Industry Applications, Vol. 32, No. 3, 1996, p. 625-632.

KNO-1004-4203

تعیین استراتژی بهینه واحدهای تولید بر پایه قدرت بازار

مریم رمضانیان لنگرودی، سید مازیار میرحسینی مقدم، بهنام علیزاده

گروه مهندسی برق، واحد لاهیجان

دانشگاه آزاد اسلامی

لاهیجان، ایران

ramezanianmaryam9@gmail.com

m.mirhosseini@liau.ac.ir

behnam_alizadeh@liau.ac.ir

چکیده — در بازار انرژی الکتریکی، قیمت مهم‌ترین سیگنال برای همه واحدهای تولید **(GenCos)** می‌باشد. هر **GenCo** به دنبال پیشنهاد قیمتی است که سود خود را حداکثر سازد. از این رو در این مقاله، یک الگوریتم آموزشی نوین بر پایه هوشمندسازی نحوه قیمت‌دهی **GenCos**، به منظور یادگیری استراتژی بهینه **GenCos** و رسیدن به نقطه تعادل نش ارائه می‌گردد. در این میان بهره‌بردار مستقل بازار **(ISO)** نیز با اعمال قیود شبکه تعادل را برقرار می‌سازد. به منظور بررسی تأثیر استراتژی اتخاذ شده بر وضعیت رقابت بازار، از شاخص ضریب آنتروپی استفاده کردیم. مقدار این شاخص در پایان کار نشان می‌دهد که **GenCo**ها توانسته‌اند در حالت بدون در نظر گرفتن محدوده مجاز تولید و انتقال نسبت به حالت با در نظر گرفتن محدوده مجاز تولید و انتقال، سود خود را بیشتر و بازار را انحصاری‌تر کنند. نتایج شبیه‌سازی کارآیی الگوریتم یادگیری پیشنهادی را نشان می‌دهد. شبکه مورد مطالعه، برگرفته شده از بازار **Nord Pool** می‌باشد.

واژه‌های کلیدی *— بازار برق، استراتژی قیمت‌دهی، قدرت بازار، پرداخت براساس پیشنهاد قیمت، تعادل نش*

1. مقدمه

از اوایل 1980 بیشترین کوشش برای تجدیدساختار صنعت برق انحصاری، با اهدافی نظیر رقابت عادلانه و بهبود بازده اقتصادی صورت پذیرفته است. در سال‌های اخیر با ورود پدیده تجدیدساختار به سیستم‌های قدرت، بهره‌برداری از این سیستم‌ها دچار دگرگونی شده است و آنچه که اکنون جای بهره‌برداری سنتی را گرفته، در قالب مکانیزم قدرتمندی به نام بازار برق است که با ایجاد بسترهای جدید، سیستم‌های قدرت را به تجربه بهره‌برداری نوین نائل کرده است. اما با تمام تدابیری که در بازارهای تجدیدساختار یافته در نظر گرفته می‌شود، باز هم بنگاه‌هایی وجود دارند که بسته به شرایط خاصی که دارا می‌باشند، از قدرت بازار[۳۱] برخوردارند زیرا شرکت‌کنندگان بازار با بکارگیری استراتژی‌های قدرت بازار قیمت را از سطح رقابتی افزایش و در نتیجه، رفاه‌اجتماعی و کارایی بازار را کاهش می‌دهند. بنابراین بهره‌بردار مستقل سیستم[۳۲] (**ISO**) باید بتواند در شرایطی که عملا قدرت بازار وجود دارد، رقابتی ایمن و بهره‌برداری اقتصادی از بازار برق را تضمین کند. از نقطه نظر اقتصادی قدرت بازار به معنای توانایی جابجایی (بالا بردن) قیمت‌ها از سطح رقابتی به منظور رسیدن به سوددهی بالاتر است **[1]**. مرجع **[2]** به بررسی جامعی بر شاخص‌های مختلف قدرت بازار که در تحلیل قدرت بازار استفاده می‌شوند و همچنین به ارزیابی تحقیقاتی در زمینه قدرت بازار پرداخته است. استراتژی پیشنهاد قیمت واحدهای تولید[۳۳] **(GenCos)**، ترکیبی از پیشنهاد قیمت و میزان تولید می‌باشد که سهم مشارکت واحد در بازار را مشخص می‌نماید. پیشنهاد قیمت، تأثیری مستقیم بر سود اقتصادی **GenCos** داشته و به رفتار سایر شرکت‌کنندگان و شرایط بهره‌برداری نیز بستگی دارد. مهمترین مسأله برای هر **GenCo** در بازار رقابتی مسأله پیشنهاد قیمت است که این مسأله به نحوه پیشنهاد قیمت، استراتژی مدیریت ریسک آنها و نوسانات قیمت، مکانیزم‌های بهره‌برداری از واحدها و قوانین حاکم در بازارها بستگی دارد. هدف مسئله پیشنهاد قیمت پیدا کردن قیمت بهینه و تعیین استراتژی مناسب جهت رقابت با دیگر تولیدکنندگان می‌باشد **[3]**. به طور کلی، سه روش برای استراتژی پیشنهاد قیمت بهینه از دیدگاه تولیدکنندگان وجود دارد:

1) روش‌های مبتنی بر پیش‌بینی قیمت بازار
2) روش‌های مبتنی بر پیش‌بینی قیمت رقبا
3) روش‌های مبتنی بر تئوری بازی[۳۴] و الگوریتم‌های هوشمند

همچنین از روش‌های شبیه‌سازی بازار و تحلیل تجربی نیز برای رفتار پیشنهاد قیمت استراتژیک استفاده می‌شود. اما این روش‌ها، روش‌های سیستماتیک برای پیشنهاد قیمت نمی‌باشند. روش اول بر اساس تخمین قیمت تسویه بازار[۳۵] (**MCP**) است به این طریق که قدری پایین‌تر از **MCP** پیشنهاد دهند. لازم به ذکر است که برای پیش‌بینی قیمت براساس مدل، به صورتی که همه تولیدکنندگان بازار حداکثر رضایت ممکن را داشته باشند، متداول‌ترین مفهوم شناخته شده نقطه تعادل نش محسوب می‌شود. نقطه تعادل نش نقطه پایداری است که هر تخطی از آن منجر به کاهش سود واحد تولیدی خاطی می‌گردد. روش دوم بازیهای چند انحصاری مانند مدل **Cournot**، **Betrand**، مدل **Stackelberg** و مدل تابع تولید را دنبال می‌کند. روش سوم از تئوری بازی برای شبیه‌سازی رفتار پیشنهاد قیمت **GenCos** و توسعه راهکارهای ارائه پیشنهاد قیمت در نقطه تعادل نش[۳۶] استفاده می‌کند **[4-5]**. مرجع **[6]** راه‌حلی برای محاسبه تعادل نش چندین شرکت‌کننده تحت قیود انتقال بازار برق ارائه داده است که به طور کلی برای انواع شرایط بازی در بازارهای برق کاربرد دارد. مرجع **[7]** توضیحات جامعی مبنی بر روش‌های مدل‌سازی استراتژی قیمت‌دهی واحدهای تولید ارائه داده است. یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر نحوه ارائه پیشنهاد قیمت در بازار برق، فرآیند پرداخت این بازارها یا روش‌های قیمت‌گذاری می‌باشد. هدف از ارائه‌ی یک پیشنهاد قیمت استراتژیک حداکثرسازی سود است که تابع سود مستقیما از تابع درآمد متأثر بوده و بنابراین فرآیند پرداخت یک بازار بر تابع هدف مسأله بهینه‌سازی اثر محسوسی دارد. دو نوع مکانیزم تسویه یا فرآیند پرداخت متداول در بازار برق اشتراکی وجود دارد [8]:

[31] Market Power
[32] Independent System Operator
[33] Generation Companies
[34] Game Theory
[35] Market Clearing Price
[36] Nash Equilibrium

1) روش قیمت‌گذاری پرداخت مطابق پیشنهاد[37]: براساس قیمت پیشنهادی، پرداختی به واحدها صورت می‌گیرد. 2) روش قیمت‌گذاری یکنواخت[38]: پرداختی به واحدها براساس آخرین قیمت پذیرفته شده یا اولین قیمت برگشت داده شده می‌باشد. مرجع [9] یک روش تحلیلی به منظور استراتژی قیمت‌دهی **GenCos**، تحت قیود انتقال در بازار ساعت پیش ارائه می‌دهد و برای حل مسأله پیشنهادی از مدل تعادل تابع عرضه[39] و روش برنامه‌ریزی چندسطحی[40] استفاده کرده است. مرجع [10] به منظور استراتژی بهینه قیمت‌دهی واحدهای تولید از روش برنامه‌ریزی خطی پارامتری[41] استفاده کرده است و همچنین گفته شده است که روش پیشنهادی در حالت اطلاعات ناقص نیز عمومیت دارد. در مرجع [11] هدف، ارائه پیشنهاد قیمت بهینه در راستای بیشینه‌کردن سود نیروگاه‌های بادی در شرایط بازار و عدم‌قطعیت‌های سرعت باد است و یک روش احتمالاتی برای تخمین سود واحدهای تولید بادی[42] با در نظر گرفتن پراکندگی جغرافیایی و عدم قطعیت ناشی از سرعت باد و قیمت بازار ارائه شده است.

هدف اصلی این مقاله ارائه راهکاری به منظور استراتژی بهینه قیمت‌دهی **GenCos**، به منظور حداکثرسازی سود و رسیدن به نقطه تعادل نش با انتخاب بهترین راهبرد پیشنهاد قیمت است.

در مقاله پیش رو، ابتدا در بخش 2 روش پیشنهادی معرفی می‌گردد. در بخش 3، شبیه‌سازی‌ها نشان داده می‌شوند و در بخش 4 نتایج حاصل از ملاحظات آورده می‌شود و پیشنهادات آینده مطرح می‌شود.

2. مدلسازی بهینه‌سازی پیشنهاد قیمت با اطلاعات کامل

2.1. مسأله پخش بار بهینه

مسأله ارائه پیشنهاد قیمت تولید، یک مسأله با دو سطح بهینه‌سازی است که یک سطح آن مسأله پخش بار بهینه نام دارد. قیود شبکه که توسط **ISO** لحاظ می‌شود شامل:

$$\begin{aligned} &\mathbf{e^T(G-D)=0} \\ &\mathbf{0 \le G \le G_{max}} \\ &\mathbf{-P_1^{min} \le PTDF(G-D) \le P_1^{max}} \end{aligned} \qquad (1)$$

در رابطه بالا $\mathbf{G}$ بردار مشخص‌کننده میزان تولید هر یک از واحدها است که بردار متغیرهای مسأله بهینه‌سازی است. $\mathbf{D}$ میزان تقاضا و ماتریس **PTDF**، ماتریس ضرایب توزیع انتقال توان است و براساس تحلیل حساسیت در مدل پخش بار **DC** مدل می‌شود [12]. در معادله (1) قید اول بکار گرفته شده، مبین برابری تولید با مصرف، قید دوم مبین محدودیت‌های بهره‌برداری و قید سوم مبین محدودیت‌های انتقال است [13]. با توجه به استراتژی‌های مختلفی که عرضه‌کننده‌های توان انتخاب می‌کنند، بردار $\mathbf{G}$ به عنوان جواب مسأله

[37] Pay as bid pricing method (PAB)

[38] Uniform pricing method

[39] supply function equilibrium

[40] Bilevel programming (BLP)

[41] Parametric linear programming

[42] Wind Genco (WGenco)

بهینه‌سازی بالا بدست می‌آید. بنابراین با توجه به استراتژی‌های مختلف پیشنهاد قیمت، میزان تولید و سهم عرضه‌کننده‌های توان بازار تغییر خواهد کرد.

2.2. محاسبه قدرت بازار و بررسی وضعیت رقابت

در تحلیل قدرت بازار، دسته‌ای از شاخص‌ها وجود دارند که با عنوان شاخص‌های ارزیابی رقابتی‌بودن بازار شناخته می‌شوند. در این نوع از شاخص‌ها فارغ از نوع جایگاه و رفتار هر یک از بازیگران بازار، به ساختار کلی بازار پرداخته می‌شود. شاخص ضریب آنتروپی مثالی از این دسته از شاخص‌هاست. معیار آنتروپی به عنوان گزینه‌ای برای واریانس به کار برده می‌شود. در واقع آنتروپی معیار معکوس تمرکز است. هنگامی که آنتروپی افزایش یابد، تمرکز کاسته می‌شود:

$$E = \sum_{i=1}^{N} S_i \log(\frac{1}{S_i}) \quad (2)$$

در رابطه بالا S_i سهم بازار و N تعداد واحدهای تولید است. مقدار این شاخص برای بازار تک انحصاری برابر صفر است و با رقابتی‌شدن بازار به طور غیرخطی افزایش می‌یابد [14].

2.3. تعیین نقطه تعادل در بازار با فرآیند پرداخت مطابق پیشنهاد قیمت در حالت بدون در نظر گرفتن محدوده مجاز تولید و انتقال

در مرجع [15] نحوه محاسبه تعادل نش در فرآیند پرداخت مطابق پیشنهاد در بازارهای برق در حالت بدون در نظر گرفتن محدوده مجاز تولید و انتقال بیان شده است. در روابط زیر b_i و a_i ضرایب پیشنهاد قیمت بازیگران، α_i قیمت پیشنهادی هر شرکت‌کننده، λ قیمت بازار، Q_{si} میزان تولید عرضه‌کننده‌های بازار و Q_d کل بار است. مطابق با این مرجع تابع هزینه و درآمد از روابط زیر بدست می‌آید:

$$(\cos t)_i = a_i Q_{si} + \frac{b_i}{2} Q_{si}^2 \quad (3)$$

$$(rev)_i = \alpha_i Q_{si} + (b_i / 2) Q_{si}^2 \quad (4)$$

تعادل در بازار با فرآیند پرداخت مطابق پیشنهاد برابر است با:

$$\lambda = \frac{Q_d + \sum_j \frac{\alpha_j}{b_j}}{\sum_j \frac{1}{b_j}} \quad (5)$$

راهبرد بهینه برای شرکت‌کننده **i**ام در بازی بدون قید توسط روابط زیر اتخاذ می‌شود:

$$\alpha_i = A_i + B_i \sum_{j \neq i} \frac{\alpha_j}{b_j} \quad (6)$$

$$A_i = \frac{Q_d + a_i \sum_{j \neq i} \frac{1}{b_j}}{2 \sum_{j \neq i} \frac{1}{b_j}} \quad (7)$$

$$B_i = \frac{1}{2\sum_{j\neq i}\frac{1}{b_j}} \quad (8)$$

بنابراین معادله (6) **n** معادله می‌دهد که می‌توانند بصورت ماتریس $M.\alpha^* = A$ نوشته شوند که بالانویس * روی αها نشان می‌دهد که آنها یک نقطه نش را تشکیل می‌دهند.

$$\begin{bmatrix} 1 & -\frac{B_1}{b_2} & -\frac{B_1}{b_3} & \cdots & -\frac{B_1}{b_n} \\ -\frac{B_2}{b_1} & 1 & -\frac{B_2}{b_3} & \cdots & -\frac{B_2}{b_n} \\ -\frac{B_3}{b_1} & -\frac{B_3}{b_2} & 1 & \cdots & -\frac{B_3}{b_n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & & \cdot \\ -\frac{B_n}{b_1} & -\frac{B_n}{b_2} & -\frac{B_n}{b_3} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \alpha_1^* \\ \alpha_2^* \\ \alpha_3^* \\ \cdot \\ \cdot \\ \alpha_n^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ \cdot \\ \cdot \\ A_n \end{bmatrix} \quad (9)$$

Q_{Si} از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$Q_{Si} = (\lambda - \alpha_i)/b_i \quad (10)$$

2.4. نحوه قیمت‌دهی پیشنهادی واحدهای تولید در حالت با در نظر گرفتن محدوده مجاز تولید و انتقال

در سیستم‌های تجدیدساختار یافته، تقاضای مصرف‌کنندگان از طریق یک بازار تأمین می‌گردد و قیمت تسویه بازار، پس از دریافت پیشنهاد قیمت **Gencos** توسط **ISO** تعیین می‌شود. حال این سؤال اساسی برای شروع فرآیند یادگیری قیمت‌دهی **Gencos** مطرح می‌شود که تولیدکنندگان بر چه اساس قیمت دهند، پیشنهاد قیمت خود را در چه بازه‌ای تغییر دهند یا به عبارتی بازیگران بازنده تا چه میزان پیشنهاد قیمت خود را کاهش و افراد برنده تا چه میزان افزایش دهند که متضرر نگردند و در نهایت اینکه، آیا می‌توان با ارائه پیشنهاد قیمت مناسب به تعادل نش رسید. جهت پاسخگویی به این سؤالات مفاهیم زیر را بررسی می‌کنیم:

تابع هزینه از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$(\cos t)_i = a_i P_{Si}{}^2 + b_i P_{Si} + c_i \quad (11)$$

در تکرار اول فرض می‌کنیم که با مشتق‌گیری از رابطه تابع هزینه، می‌توان به قیمت پیشنهادی هر بازیگر در نقطه شروع رسید [16]:

$$(\text{price}_i) = 2a_i P_{Si} + b_i \quad (12)$$

حال بسته به مکانیزم تسویه بازار درآمد را محاسبه می‌کنیم، درآمد در فرآیند پرداخت مطابق پیشنهاد برابر است با:

$$(rev_i) = (\text{price})_i \cdot P_{Si} = 2a_i P_{Si}^2 + b_i P_{Si} \quad (۱۳)$$

تابع سود تفاوت بین درآمد و هزینه خواهد بود، با فرض صفر بودن c_i داریم:

$$\pi_i(PAB) = a_i P_{Si}^2 \quad (14)$$

شروع فرآیند یادگیری در روش پیشنهادی براساس مکانیزم **PAB** به این صورت است که هر **GenCo** پیشنهاد قیمت خود را برای **ISO** ارسال می‌کند و سپس **ISO** تسویه بازار را بر اساس قیود کلی شبکه و رفتار قیمت‌دهی سایر بازیگران انجام و تعادل را برقرار می‌سازد. با توجه به عدم قطعیتی که برای ضرایب $\boldsymbol{a_i}$ و $\boldsymbol{b_i}$ از دیدگاه هیأت تنظیم بازار برق در نظر گرفته شده است، در حالت پایه متناظر با هر زوج ($\boldsymbol{a_i}$و$\boldsymbol{b_i}$) بردار تولید **P** از فرآیند تسویه بازار قابل محاسبه است و از روی میزان تولید، سود هر بازیگر مطابق با رابطه (14) محاسبه می‌شود. برای درک وضعیت میزان سود هر بازیگر مانند یک انسان تحلیل منطقی می‌کنیم یعنی در مرحله اول به کم یا زیاد بودن سود فکر نمی‌کنیم چون در ابتدا همه افراد خواستار افزایش قیمت و در نتیجه رسیدن به سود بیشتر می‌باشند و تنها یک عده

قیمت خود را افزایش نمی‌دهند و آن هم افرادی هستند که تولیدی نداشته و توان عبوری‌شان صفر است. این دسته از افراد متوجه می‌شوند که پیشنهاد قیمت‌شان زیاد بوده و باید قیمت کمتری پیشنهاد دهند. بنابراین افراد بازنده در بازار ناچار هستند استراتژی قیمت‌دهی خود را تغییر دهند و این تغییر را از طریق کم‌کردن $b_i^{'}$ اعمال کردیم. در نتیجه متغیر استراتژیک ما $b_i^{'}$ است و رابطه (14) در ادامه، با فرض صفر بودن c_i به شکل زیر تغییر خواهد کرد:

$$\pi_i(PAB) = a_i P_{Si}^2 + (b_i^{'} - b_i)P_{Si} \qquad (15)$$

افراد بازنده در بازار با کم‌کردن $b_i^{'}$ و ثابت نگه داشتن a_i سعی می‌کنند برنده بازار شوند. ولی کم‌شدن $b_i^{'}$ باید به حدی باشد که منجر به منفی شدن سود نگردد یعنی:

$$a_i P_{Si}^2 + (b_i^{'} - b_i)P_{Si} \geq 0 \qquad (۱۶)$$

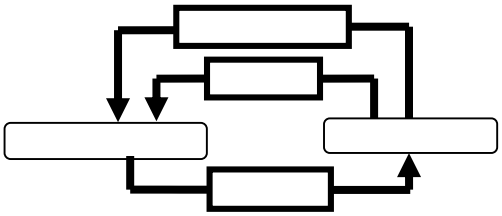
همچنین باید توجه داشت که یک رابطه توازن بین کم شدن $b_i^{'}$ و زیاد شدن میزان توان تولیدی وجود دارد یعنی کم شدن آن نباید به حدی باشد که از محدوده ماکزیمم توان تولیدی واحدها تجاوز کند. با ساده‌سازی رابطه بالا به مقدار زیر برای پیشنهاد دادن حداقل مقدار ممکن برای $b_i^{'}$ رسیدیم:

$$b_{\min_i}^{'} \geq b_i - a_i P_i^{\max} \qquad (17)$$

براساس رابطه بالا همه واحدهای بازنده در بازار مجاز هستند که $b_i^{'}$ خود را حداکثر تا این مقدار کاهش دهند چون کمتر از این مقدار سبب می‌شود، هزینه بیشتر از درآمد شده و در نتیجه سود منفی گردد. از طرفی افراد برنده در بازار نیز تلاش می‌کنند که سود خود را افزایش دهند. برای این دسته از افراد یک سقف برای قیمت پیشنهادی واحدهای تولید در نظر گرفته می‌شود که پیشنهاد قیمت‌شان از آن مقدار تجاوز نکند. براساس روش پیشنهادی یک بازیگر تنها از اطلاعات خود فیدبک میگیرد هرچند که می‌داند سایرین در تکرارهای مختلف استراتژی خود را تغییر می‌دهند. بنابراین، برای یک بازیگر خاص توجه تنها معطوف به اطلاعات خود بازیگر است و نه سایر بازیگران که اطلاعات آنها در دسترس نیست.

2.5. یادگیری تقویتی

ایده اصلی برای رسیدن به تعادل نش **Genco**ها، از الگوریتم یادگیری تقویتی گرفته شده است. در روش یادگیری هر عامل از طریق سعی و خطا با محیط تعامل کرده و یاد می‌گیرد تا عملی بهینه را برای رسیدن به هدف انتخاب نماید. یادگیری تقویتی راهی برای آموزش عامل‌ها برای انجام یک عمل از طریق دادن پاداش و تنبیه است. جستجو براساس سعی و خطا انجام می‌شود. یادگیر سعی می‌کند اعمالی را یاد بگیرد که بیشترین پاداش را تولید می‌کنند. ساختار کلی مسأله یادگیری تقویتی در شکل 1 آورده شده است:

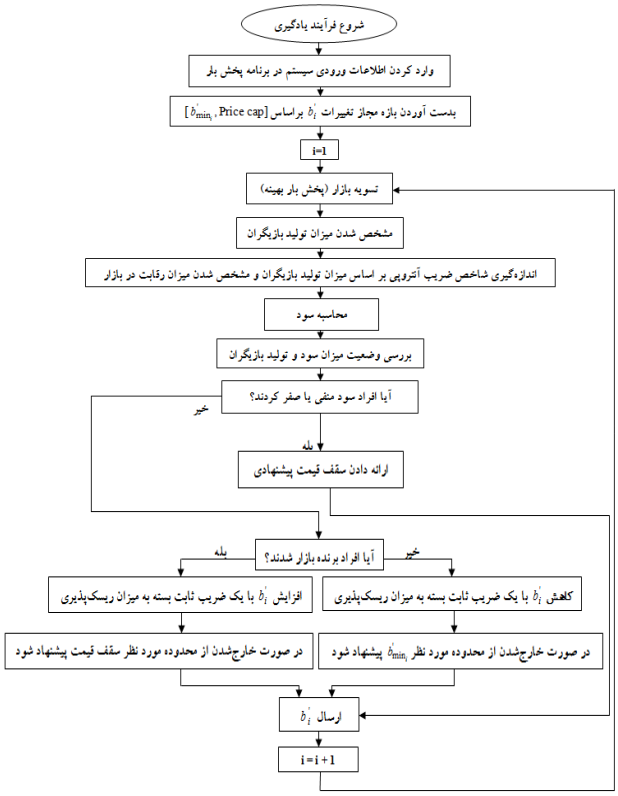


شکل 1: تعامل عامل و محیط در الگوریتم یادگیری تقویتی

2.6. هوشمندسازی نحوه ساخت قیمت

در این قسمت به بیان راهکارهایی برای هوشمند کردن قیمت پیشنهادی بازیگران می‌پردازیم که عبارتند از: 1) بازیگران را به 3 دسته محتاط، نرمال و ریسک‌پذیر تقسیم کردیم و بسته به نوع بازیگر دو ضریب ثابت برای افزایش یا کاهش قیمت پیشنهادی آنها در نظر گرفتیم و بر اساس اینکه آن بازیگر چقدر ریسک‌پذیر باشد، ضریب این افزایش یا کاهش را متفاوت گرفتیم. 2) برای آن دسته از بازیگران که در جریان بازی سود منفی می‌کنند، پیشنهاد کردیم که سقف مقدار $b^{'}$ را به عنوان قیمت پیشنهادی ارائه دهند که در این

صورت تولید نکنند و متضرر نگردند. استفاده از راهکار هوشمندسازی به رفتار معقول‌تر بازیگران و رسیدن به تعادل نش کمک می‌کند. بررسی وضعیت روند تغییرات میزان سود و تولید بازیگران نشان‌دهنده برتری این روش در همگرایی به نقطه تعادل نش می‌باشد. روندنما الگوریتم پیشنهادی در شکل 2 نشان داده شده است.



شکل 2: فلوچارت روش پیشنهادی

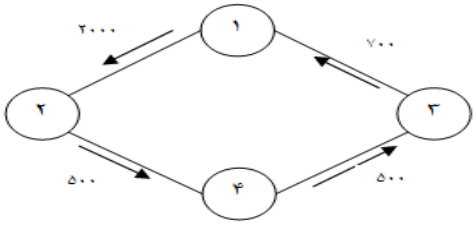
3. شبیه‌سازی

در این بخش، روش پیشنهادی را با استفاده از سیستم تست مورد بررسی قرار دادیم. شبکه مورد مطالعه، یک سیستم 4 ناحیه‌ای و متشکل از 12 واحد تولیدی است که برگرفته شده از مدل **Nord Pool** می‌باشد و در مطالعه فقط شبکه انتقال بین ناحیه‌ای مدلسازی می‌شود که در شکل 3 نشان داده شده است. اطلاعات مربوط به **GenCos** در جدول 1 آورده شده است. میزان تقاضا برای نواحی نشان داده شده در شکل 3 به ترتیب برابر 2300، 4000، 3000 و 1800 مگاوات است **[16]**. جدول 2، وضعیت قیمت و تولید **GenCos** را در شرایطی که قیمت‌گذاری بر اساس **PAB** است، در حالت بدون در نظر گرفتن محدوده مجاز تولید و انتقال نشان می‌دهد؛ مطابق با این جدول مشاهده می‌شود که شرکت‌کنندگان در این حالت با ضریب آنتروپی 1.0446 به تعادل نش رسیده‌اند. محدوده بالا قیمت‌دهی **GenCos** به دلیل رسیدن به سوددهی بالاتر در **PAB** می‌باشد. با توجه به مقادیر قیمت و تولید هر یک از شرکت‌کنندگان می‌توان دریافت که هر شرکت‌کننده با قیمت پیشنهادی کمتر، تولید بیشتری داشته است.

جدول 1 : اطلاعات واحدهای تولید

تحت تملک	واحد تولید	مینیمم ظرفیت(MW)	ماکزیمم ظرفیت(MW)	$F = aP^2 + bP + c$		
				a	b	c
1	1	0	500	0.004	10	0

1	2	0	500	0.006	15	0
1	3	0	1000	0.008	50	0
2	4	0	2500	0.005	12	0
2	5	0	2000	0.006	15.5	0
2	6	0	2000	0.007	15.5	0
2	7	0	1500	0.008	21.5	0
3	8	0	1500	0.006	16	0
3	9	0	1500	0.005	14	0
3	10	0	1500	0.004	13	0
4	11	0	700	0.006	16	0
4	12	0	2000	0.009	31	0



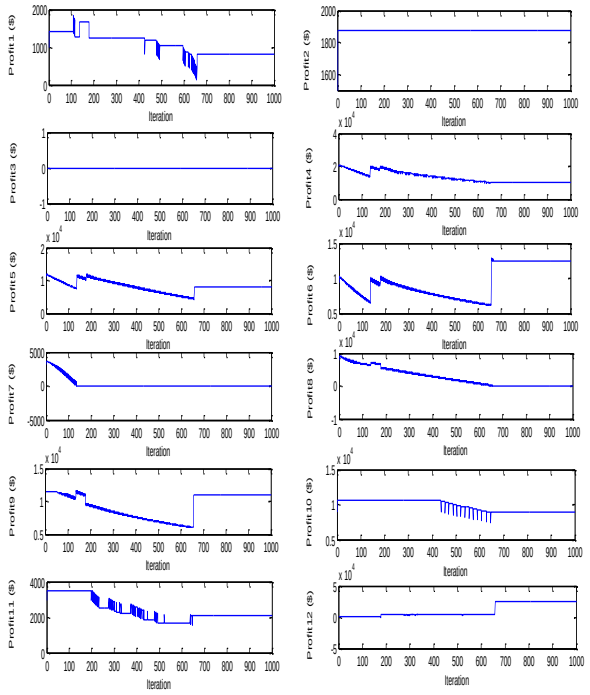
شکل 3 : ساختار شبکه سیستم مورد مطالعه

جدول 2 : نتایج حاصل از تعادل نش بدون در نظر گرفتن محدوده مجاز تولید و انتقال

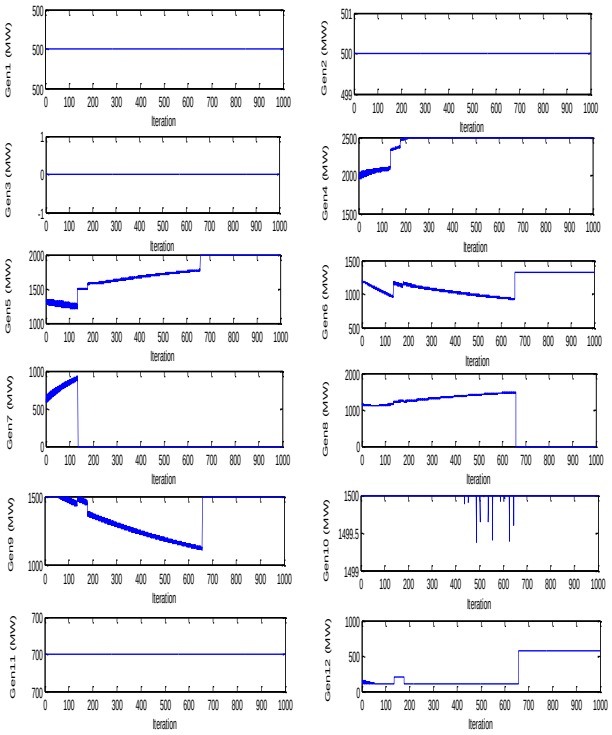
واحد تولید	نتایج حاصل از تعادل نش در حالت بدون در نظر گرفتن محدوده مجاز تولید و انتقال برای سیستم مورد مطالعه		
	قیمت α $(\$/MWh)$	تولید (MW)	ضریب آنتروپی
1	37.6715	1520.7	
2	39.4865	938.1487	
3	52.8708	285.3510	
4	38.2697	1186.6	
5	39.7260	928.1688	
6	39.5818	800.7254	
7	42.3813	613.1486	
8	39.9655	918.1890	1.0446
9	39.2190	1139.2	
10	39.0751	1432.9	
11	39.9655	918.1890	
12	46.9284	418.7131	

شکل‌های 4 و 5 وضعیت میزان سود و تولید **GenCos** را با در نظر گرفتن محدوده مجاز تولید و انتقال نشان می‌دهد؛ نتایج نشان‌دهنده این است که همه عامل‌ها بعد از یک تکرار معقول از اجرای سیستم توانسته‌اند طبق روش یادگیری تقویتی پیشنهادی به تعادل نش برسند. نتایج **GenCos** در حالت رسیدن به تعادل، طبق روش یادگیری تقویتی پیشنهادی در جدول 3 آورده شده است؛ مطابق با این جدول، بازیگران 3، 7 و 8 چون واحدهای گرانی هستند، بازنده بازار شدند و پیشنهاد قیمت خود را در سقف قیمت پیشنهادی که $70\ \$/MWh$ در نظر گرفته شده، قرار دادند تا به این طریق پاسخگوی هزینه حدی خود باشند. شرکت‌کنندگان 1، 2، 4، 5، 9، 10، 11 واحدهای به نسبت ارزانی هستند ولی در حداکثر ظرفیت مجاز تولید خود قرار گرفته‌اند. بنابراین با اتخاذ استراتژی بهینه قیمت‌دهی توانستند به حداکثر سود ممکن که می‌توانند در این حالت داشته باشند، برسند. واحدهای 6 و 12 با اینکه در سقف ظرفیت تولید خود قرار نگرفته‌اند ولی با توجه به اینکه واحدهای گرانی هستند امکان تولید بیشتر به آنها داده نشده است. شکل 6 وضعیت رقابت در بازار را نشان می‌دهد؛ مطابق با این شکل **GenCos** با استفاده از روش یادگیری تقویتی و تغییر متغیر استراتژیک b' توانسته‌اند آموزش ببینند و سود خود را بیشتر کنند. با مقایسه مقدار شاخص آنتروپی در جداول 2 و 3 و کمتر شدن این شاخص رقابتی در جدول

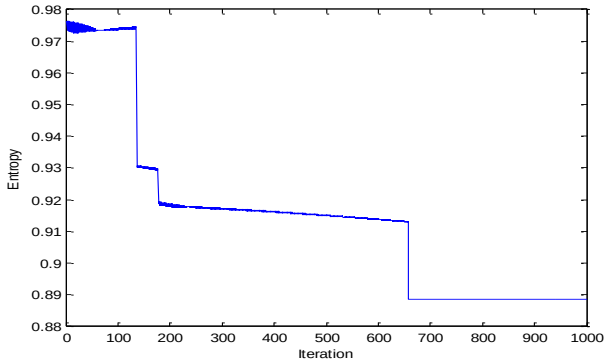
3 می‌توان دریافت که **GenCos** توانسته‌اند نسبت به حالت بدون در نظر گرفتن محدوده مجاز تولید و انتقال سود خود را بیشتر و بازار را انحصاری‌تر کنند.



شکل4: نمودارهای سود بازیگران در حالت با در نظر گرفتن محدوده مجاز تولید و انتقال طبق روش پیشنهادی



شکل 5 : نمودارهای تولید بازیگران در حالت با در نظر گرفتن محدوده مجاز تولید و انتقال طبق روش پیشنهادی



شکل6 : نمودار وضعیت رقابت بازار در حالت با در نظر گرفتن محدوده مجاز تولید و انتقال طبق روش پیشنهادی

جدول 3 : نتایج حاصل از تعادل نش با در نظر گرفتن محدوده مجاز تولید و انتقال طبق روش پیشنهادی

نتایج حاصل از تعادل نش با در نظر گرفتن محدوده مجاز تولید و انتقال طبق روش پیشنهادی برای سیستم مورد مطالعه						واحدهای‌تولید
ضریب آنتروپی	سود ($)	تولید (MW)	قیمت تسویه بازار براساس PAB ($/MWh)	قیمت پیشنهاد b' ی ($/MWh)		
0.8885	810.2207	500	13.6204	9.6204		1
	1875	500	21.75	15.75		2
	0	0	70	70		3
	10221	2500	28.5883	3.5883		4
	8037.4	2000	31.5187	7.5187		5
	12494	1328.6	34.2042	15.6042		6
	0	0	70	70		7
	0	0	70	70		8
	11035	1500	28.8565	13.8565		9
	8873.5	1500	24.9157	12.9157		10
	2064.7	700	23.1496	14.7496		11
	24813	571.4286	79.5649	69.2792		12

4. نتیجه‌گیری

براساس تعریف قدرت بازار، یک رابطه مستقیم بین قدرت بازار و قیمت برق وجود دارد. از این رو هدف در این مقاله، ارائه پیشنهاد قیمت بهینه در راستای بیشینه کردن سود **GenCos** و رسیدن به تعادل نش است. مقدار و تغییرات شاخص آنتروپی نشان می‌دهد که **GenCos** طبق روش پیشنهادی توانسته‌اند در حالت با در نظر گرفتن محدوده مجاز تولید و انتقال نسبت به حالت بدون در نظر گرفتن محدوده مجاز تولید و انتقال سود خود را بیشتر و بازار را انحصاری‌تر کنند. همچنین بازیگران بازار طبق روش یادگیری تقویتی پیشنهادی، آموزش یافتند که پیشنهاد قیمت خود را تا چه حد تغییر دهند و از آن حد به بعد متوجه می‌شوند که تغییر رفتار خود با توجه به ساختار رفتار سایر بازیگران منجر به کاهش سود آنها خواهد شد. در واقع با رسیدن به نقطه تعادل نش تمایلی برای خروج از این نقطه تعادل را ندارند. برای ادامه کار این مقاله پیشنهاد می‌گردد که تأثیر عدم قطعیت پیش‌بینی بار در تغییر رفتار بازیگران و رسیدن به نقطه تعادل نش مد نظر قرار گیرد.

منابع

[14] **M. B. Nappu, R. C. Bansal and T. K. Saha, "Market power implication on congested power system: A case study of financial withheld strategy" Elect. Power and Energy Systems, pp. 408-415, 2013.**

[15] **S. P. Karthikeyan, I. J. Raglend and D.P. Kothari, "A review on market power in deregulated electricity market" Elect. Power and Energy Systems, pp. 139-147, 2013.**

[16] سید علیرضا مزدآور، حبیب قراگوزلو، " تأثیر مدلسازی پرداخت هزینه روشن و خاموش شدن واحدهای نیروگاهی در استراتژی قیمت‌دهی آنها در بازار برق "، بیست و نهمین کنفرانس بین‌المللی برق، تهران، 1393

[17] **A. Mozdawar and B. Khaki, "Strategic Bidding in Pay as Bid Power Market By Combined Probabilistic and Game Theory Procedures," IEEE Bucharest Power Tech. Conf, pp. 1-6, 2009.**

[18] **A. K. David and F. Wen, "Strategic Bidding in Competitive Electricity Markets: A Literature Survey," IEEE Power Engineering Society Power Eng. Conf, pp. 2168-2173, 2000.**

[19] **M. E. Khodayar and M. Shahidehpour, "Optimal Strategies for Multiple Participants in Electricity Markets," IEEE Trans. Power Syst, vol. 29, pp. 986–987, March 2014.**

[20] **G. Li, J. Shi and X. Qu, "Modeling methods for GenCo bidding strategy optimization in the liberalized electricity spot markete A state-of-the-art review," Energy, pp. 4686-4700, 2011.**

[21] **M. Prabavathi and R. Gnanadass, "Energy bidding strategies for restructured electricity market," Elect. Power and Energy Systems, vol. 64, pp. 956-966, January 2015.**

[22] **I. Taheri, M. Rashidinejad, A. Badri and A. Rahimi-Kian, "Analytical Approach in Computing Nash Equilibrium for Oligopolistic Competition of Transmission-Constrained GENCOs," IEEE Systems Journal, pp. 1-11, 2014.**

[23] **F. Gao, G. B. Sheble, K. W. Hedman, and C.-N. Yu, "Optimal bidding strategy for gencos based on parametric linear programming considering incomplete information," Elect. Power & Energy Systems, vol. 66, pp. 272–279, march 2015.**

[24] **S. Qiao and P. Wang, "Maximizing Profit of a Wind Genco Considering Geographical Diversity of Wind Farms," IEEE Trans. on Power Systems, pp. 1-9, 2014.**

[25] **A.J. Wood and B.F. Wollenberg, " Power Generation, Operation, and Control, " John Wiley & Sons, 1996.**

[26] **Information for development program, "Quantitative Tests for Market Power," Available at: (http://www.ictregulationtoolkit.org/en/PracticeNote.aspx?id=2880)**

[27] جعفر رزمی، سید فرید قادری، امین ذکایی آشتیانی،" تحلیل شاخص های ارزیابی رقابتی بودن بازار برق ایران : مطالعه موردی"، نشریه مدیریت بازرگانی، دوره 2، شماره 5، صفحه 41 تا 60س، پاییز 1389.

[28] **P. Couchman, B. Kouvaritakis, M. Cannon, and F. Prashad, "Gaming Strategy for Electric Power with Random Demand," IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 20, NO. 3, pp. 1283 – 1292, August 2005.**

[29] **M. Rahimiyan and H. Rajabi Mashhadi, "Evaluating the Efficiency of Divestiture Policy in Promoting Competitiveness Using an Analytical Method and Agent-based Computational Economics," Energy Policy, pp. 1-8, Nov 2009.**

KNO-1004-4204

بررسی و تحلیل اثرات پارامترهای تخلیه قوس الکتریکی بر هدایت الکتریکی مواد سنتز شده کربنی

امیر شاطری amir.sh197799@gmail.com

فارغ التحصیل مقطع کارشناسی پیوسته مهندسی برق موسسه آموزش عالی آپادانا شیراز؛ ایران

چکیده

در این تحقیق و مقاله[۴۳] مواد کربنی با تخلیه قوس با پارامترهای مختلف تخلیه سنتز شدند مورد بررسی و تحلیل قرار گرفتند. این مواد از گلبول‌های دوده با ساختار کربن نامنظم تشکیل شده‌اند، همچنین قطعات گرافن نیز در مواد وجود دارد. با این وجود، هدایت الکتریکی مواد کربنی سنتز شده اساساً با تأثیر مقاومت تماس ظاهر شده به دلیل کربن آمورف که قطعات گرافن را می پوشاند تعیین می شود. رسانایی الکتریکی بسته به شرایط سنتز دارای مقادیری در محدوده 10^{-3} تا ۵,۳ زیمنس بر متر است. برای مواد سنتز شده حاوی صفحات گرافن با اندازه های بزرگتر از بیشتر گلبول های دوده، هدایت الکتریکی با نسبت محتوای صفحات گرافن و گلبول های دوده تعیین می شود. این ماده دارای رسانایی الکتریکی ۳۳ زینمس بر متر است.

کلید واژه ها: *نانو کربن؛ رسانایی الکتریکی؛ تخلیه قوس؛ هدایت الکتریکی*

1 . مقدمه

سنتز تخلیه قوس نانومواد پس از کار سنتز [1] و نانولوله‌های کربنی کشف شده [2] مورد توجه زیادی قرار گرفته است. این روش سنتز نانومواد امکان تولید نانوذرات فلزی، اکسیدی و کاربیدی با اندازه های چند نانومتری را فراهم می کند [3-5]. با این وجود، به دلیل واکنش پذیری بالا، تماس بین نانوذرات به یک نانوذره با اندازه بزرگتر تبدیل می شود که باعث کاهش سطح خاص و کاهش واکنش پذیری چنین موادی می شود. مشکل انعقاد و رشد اندازه نانوذرات حل شده است سنتز ماتریس کربن که نانوذرات را در بر می گیرد و از تماس آنها جلوگیری می کند. اسکات و مادژتیک اولین کسانی هستند که نانوذرات بسته بندی شده در

1 - این تحقیق و مقاله حاصل بررسی و پژوهش بر روی مقالاتی از پایگاه گوگل اسکالر و همچنین تحقیقات شخصی بر روی موضوعات مرتبط جمع آوری و گردآوری شده است.

ماتریس کربن را سنتز کردند [6]. اکنون چنین سنتزی شامل استفاده از الکترودهای کربن فلزی مرکب است که کندوپاش کردن آنها منجر به تشکیل نانوذرات فلزی بسته بندی شده در ماتریس کربن می شود. نانومواد سنتز شده با روش قوس الکتریکی در زمینه هایی مانند الکتروکاتالیز [7] از جمله سلول های سوختی، تشکیل مواد الکتروکرومیک [8] و غیره کاربرد دارند [9-10]. در این تحقیق و مقاله روش دیگری برای بهبود خواص رسانایی ارائه می‌شود که با سنتز ماتریس کربن با رسانایی الکتریکی کافی همراه است. هدف این کار تعیین اثرات پارامترهای خارجی سنتز تخلیه قوس الکتریکی بر هدایت الکتریکی مواد کربن سنتز شده است. هدایت الکتریکی ماده کربنی به محتوای کربن هیبرید شده sp^2-/sp^3، اندازه ذرات و فاصله جداسازی [11-13]، مقدار ناخالصی روی سطوح ذرات [14] بستگی دارد. هدایت الکتریکی با فشرده سازی افزایش می یابد [14-15]. و بازپخت [16].

2. پیشینه تحقیق و پژوهش

2.1. پیشینه و درباره قوس الکتریکی

قوس الکتریکی حالتی از تخلیه الکتریکی در هوا یا دیگر محیط‌هایی است که معمولاً نارسانا هستند. زمانی که جریان الکتریکی تو سط هوای بین دو رسانا که مستقیماً با هم در تماس نیستند منتقل شود، قوس الکتریکی ایجاد می شود. این قوس به ولتاژ، هدایت الکتریکی محیط و فاصله بین دو رسانا بستگی دارد. قوس الکتریکی یا تخلیه قوس، شکست الکتریکی گازی است که تخلیه الکتریکی طولانی مدت ایجاد می‌کند. جریان از طریق یک محیط که در حالت عادی غیر رسانا ست، مانند هوا، یک پلا سما تولید می‌کند. پلاسما ممکن است نور مرئی تولید کند. تخلیه قوس با ولتاژ کمتری نسبت به تخلیه درخشان مشخص می‌شود و به انتشار ترمونی الکترونی از الکترودهای پشتیبانی کننده قوس متکی است. اصطلاح قدیمی همان‌طور که در عبارت «لامپ قوس ولتایی» به کار رفته‌است، قوس ولتایی است. در اواخر دهه ۱۸۰۰، لامپ قوس الکتریکی برای روشنایی عمومی بسیار مورد استفاده قرار می‌گرفت. برخی از قوس‌های الکتریکی فشار ضعیف در بسیاری از کاربردها مورد استفاده قرار می‌گیرند. به عنوان مثال، لوله‌های فلورسنت، جیوه، سدیم و لامپ‌های متال هالید برای روشنایی استفاده می‌شود. لامپ‌های قوس زنون برای پروژکتورهای فیلم استفاده شده‌است. در اواخر قرن نوزدهم، روشنایی قوس الکتریکی برای روشنایی عمومی استفاده گسترده‌ای داشت. تمایل به سوسو زدن و خش خش قوسهای الکتریکی یک مشکل اساسی بود. در سال ۱۸۹۵، هرتا مارکس آیرتون یک سری مقالات را برای برق نوشت و توضیح داد که این پدیده‌ها نتیجه تماس اکسیژن با میله‌های کربن مورد استفاده برای ایجاد قوس است. جریان الکتریکی از جاری شدن الکترون‌ها در یک مسیر رسانا به وجود می‌آید. هرگاه در چنین مسیری یک شکاف هوا (گاز) ایجاد شود جریان الکترونی و در نتیجه جریان الکتریکی قطع خواهد شد. چنانچه شکاف هوا به اندازه کافی باریک و اختلاف پتانسیل و شدت جریان زیاد باشد، گاز میان شکاف یونیزه شده و قوس الکتریکی برقرار می شود. در قوس الکتریکی الکترودها در اثر حرارت سفید رنگ می‌شوند. ستونی از گاز ملتهب رسانای الکتریکی بین الکترودها وجود دارد. چون الکترود مثبت دمایش از الکترود منفی بیشتر است زود تر از بین می‌رود. در نتیجه تصعید شدید کربن صورت گرفته و در آن الکترود (الکترود مثبت) فرورفتگی به وجود می‌آید که به دهانه مثبت معروف است و داغ‌ترین نقطه الکترودهاست. دمای دهانه در هوا و در فشار جو به ۴۰۰۰ درجه سانتیگراد می‌رسد. در لامپ‌های قوسی سازوکارهای منظم و خود کار خاصی برای نزدیک کردن تکه‌های کربن با سرعت یکنواخت وقتی با سوختن از بین می‌روند، مورد استفاده قرار می‌گیرند. برای اینکه سایش و خوردگی الکترود مثبت به خاطر دمای بالایش بیشتر است، برای همین همیشه الکترود کربن مثبت کلفت‌تر از الکترود منفی انتخاب می‌شود [23]. قوسی که بین الکترودهای کربن در گاز فشرده قرار می‌گیرد (حدود ۲۰ اتمسفر) امکان افزایش دمای مرکز الکترود مثبت تا ۵۹۰۰ درجه سانتیگراد یعنی دما روی سطح خورشید را ممکن ساخته است. مشخص شده‌است که کربن در این حالت ذوب می‌شود. در ستونی از گاز و بخاری که از آن تخلیه الکتریکی عبور می‌کند، دمای باز هم بالاتری را می‌توان به دست آورد. بمباران شدید این گاز و بخار با الکترون‌ها و یون‌هایی که با میدان الکتریکی قوس شتاب گرفته‌اند دمای ستون گاز را ۶۰۰۰ تا ۷۰۰۰ درجه سانتیگراد می‌رساند. به این دلیل تقریباً تمام مواد شناخته شده در ستون قوس الکتریکی ذوب و تبخیر می‌شوند؛ و بسیاری از واکنش‌های شیمیایی که در دماهای پایین انجام

شدنی نیستند، با قوس الکتریکی امکان‌پذیر می‌شوند؛ مثلاً میله‌های چینی دیر گداز در شعله قوس به سهولت ذوب می‌شود. برای ایجاد تخلیه قوس الکتریکی به ولتاژ زیادی نیاز داریم. با ولتاژ حداقل ۳۰۰ ولت بین الکترودها می‌توان قوس را به وجود آورد. از طرف دیگر جریان داخل قوس زیاد است؛ مثلاً حتی در قوس کوچک جریان به ۵ آمپر می‌رسد، در حالیکه در قوس‌های بزرگ که در مقیاس صنعتی به کار می‌روند جریان به صدها آمپر بالغ می‌شود.

2.2. پیشینه و درباره هدایت الکتریکی

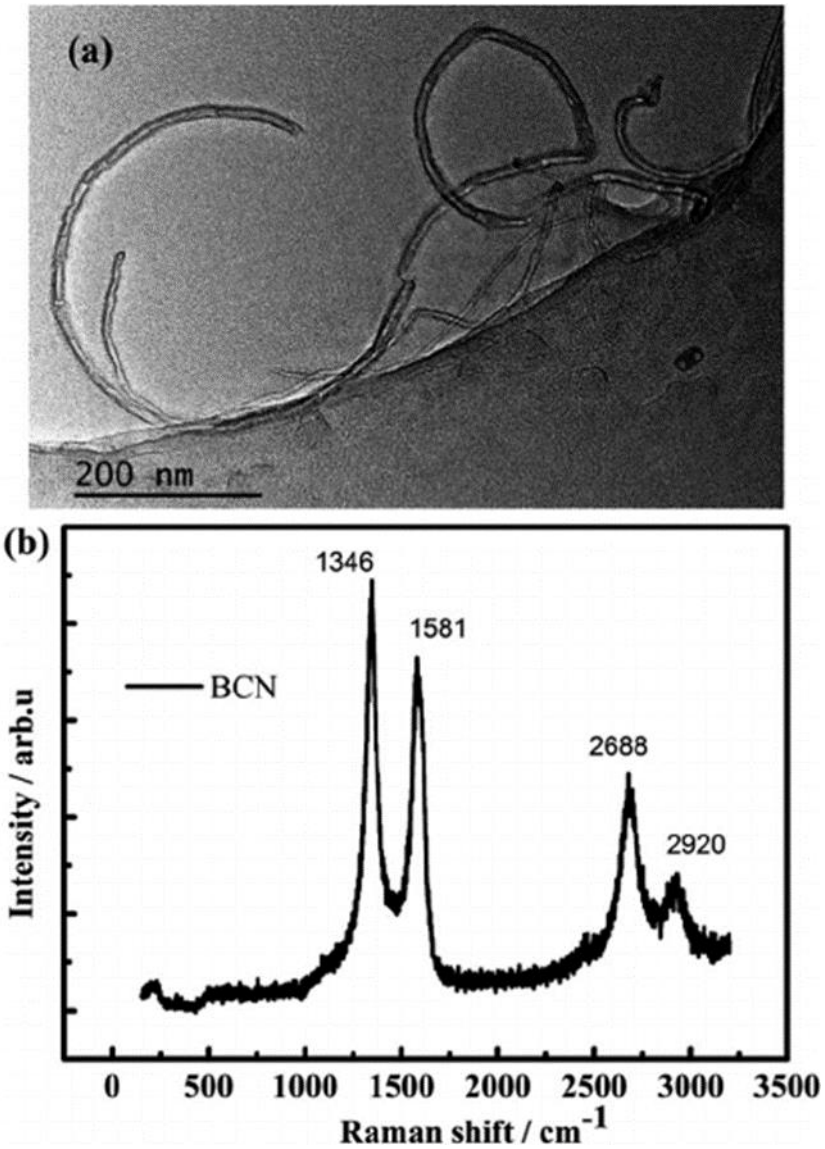
هدایت الکتریکی بر مبنای جریان الکترون‌ها بنا شده است. از میان عنصرهای جدول تناوبی، فلزات که در میان آنها فلزات قلیایی و قلیایی خاکی نیز وجود دارند، به دلیل گذردهی خوب الکترون‌ها از میان خود، به عنوان هادی خوب الکتریسیته شناخته می‌شوند. در مقابل، آب مقطر به دلیل قدرت کم در عبور دادن الکترون‌ها، هادی ضعیف الکتریسته به حساب می‌آید. موادی که به شدت یونیزه شده باشند، الکترولیت‌هایی قوی هستند. اسیدهای قوی و نمک‌ها نوعی از الکترولیت قوی محسوب می‌شوند چراکه به طور کامل در محلول یونیزه و سبب حمل بار الکتریکی در محلول و در نتیجه ایجاد جریان الکتریکی می شوند. موادی که به طور کامل یونیزه نشوند، در دسته‌بندی الکترولیت‌های ضعیف جای می‌گیرند. اسید و بازهای ضعیف جزو این گروه هستند زیرا در محلول‌ها به طور کامل یونیزه نمی‌شوند. هدایت الکتریکی یک الکترولیت معیاری برای قابلیت گذردهی الکتریسیته و واحد آن در دستگاه بین المللی یکاها، (زیمنس بر متر) است. اندازه‌گیری هدایت الکتریکی در صنعت و محیط زیست به عنوان یک روش ارزان و قابل اعتماد برای بررسی میزان یون موجود در یک محلول، به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد. به طور مثال، اندازه‌گیری هدایت الکتریکی و کنترل آن، از روش‌های معمول در تصفیه آب برای مصارف خانگی و صنعتی است. در بسیاری از موارد، هدایت الکتریکی به طور مستقیم با کل مواد جامد محلول مرتبط می شود. هدایت الکتریکی آب دیونیزه (یون‌زدوده) باکیفیت، معمولا در حدود ۵,۵ میکرو زیمنس بر متر در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد است. این مقدار برای آب آشامیدنی بین ۵ تا ۵۰ میکرو زیمنس بر متر و برای آب دریا حدود ۵۰۰۰۰۰۰ میکرو زیمنس بر متر تخمین زده می شود. هدایت الکتریکی در گذشته از طریق اتصال الکترولیت به یک مدار پل وتسون اندازه‌گیری می‌شد. محلول‌های رقیق از قانون «کولراش» در رابطه با هدایت الکتریکی تبعیت می‌کنند.

3. روش های تجربی تحقیق و مقاله

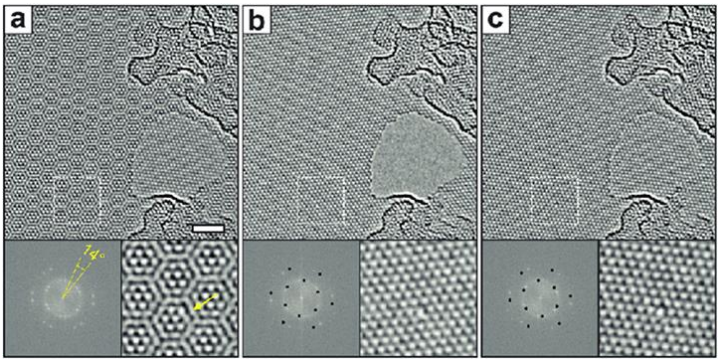
شرح تنظیمات آزمایشی در [4] به تفصیل آمده است. راه اندازی به منبع تغذیه DC متصل شد. میله گرافیتی استوانه ای جامد با قطر ۶ میلی متر به عنوان آند اسپری شده استفاده شد. کاتد متحرک اسپری نشده گلوله استوانه ای گرافیتی به قطر ۲۰ میلی متر بود. هلیوم به عنوان گاز بافر استفاده شد. دو سری آزمایش انجام شد. در سری اول آزمایش ها با مقادیر جریان یکسان ۱۲۰ آمپر و در فشارهای مختلف گاز بافر از ۳ تا ۲۰۰ تور (۱ اتمسفر استاندارد برابر است با ۷۶۰ تور) انجام شد. مواد با برچسب C3، C6، C12، C25، C50، C100 و C200 سنتز شدند (تعداد مربوط به مقدار فشار در تور است). در سری دوم آزمایش‌ها فشارهای یکسان گاز بافر روی ۱۲ تور و مقدار فعلی تخلیه قوس در محدوده ۶۰ تا ۱۵۰ آمپر تنظیم شد. سنتز شدند (عدد بین "C" و "A" مطابق با مقدار جریان در آمپر است).

4. نتایج و بحث

ساختار و فرآیندهای تشکیل مواد کربن تخلیه قوس در منطقه سنتز فولرن مورد مطالعه قرار گرفت [17-18]. در این تحقیق و مقاله، ماده کربن سنتز شده شامل میعانات کربن نامنظم با پیوندهای تصادفی π/-σ- [19] است که دارای اشکال گلبول های دوده با اندازه متوسط در محدوده تا ۲۰۰ نانومتر بسته به شرایط سنتز است (شکل ۱ (a)).

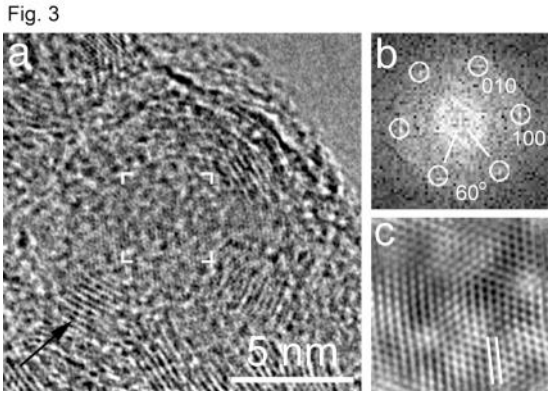


شکل 1. تصویر TEM مشخصه (a) و طیف رامان مشخصه (b) از مواد کربن سنتز شده. نتایج به دست آمده برای C100.



شکل 2. تصاویر HRTEM از ساختارهای کربنی با قطعات گرافن انباشته، پیچ خورده و پیچ خورده. نتایج به دست آمده برای C3.

با این حال، تجزیه و تحلیل طیف‌سنجی رامان وجود پیک‌های D و G را در نواحی ۱۳۵۲ سانتی‌متر متقابل و ۱۵۹۵ سانتی‌متر متقابل به ترتیب نشان داد، که با ساختار گرافیت کربن هیبرید شده sp^2 مرتبط هستند (شکل ۱ (b)). همچنین پیک D در ۱۵۰۹ سانتی‌متر متقابل در طیف مشاهده می‌شود که با اختلال در مواد کربنی همراه است [20]. به طور تجربی مشخص شده است که سنتز چند توری در فشار گاز بافر بی اثر منجر به تشکیل گلبول های دوده با اندازه متوسط حدود ۱۰ نانومتر می شود. استفاده از فشارهای بالاتر گاز بافر، اندازه گویچه های دوده را افزایش می دهد که با افزایش فشار، به طور یکنواخت تا ۴۰ نانومتر افزایش می یابد. از طرف دیگر، استفاده از مقادیر مختلف جریان دشارژ تأثیر معنی‌داری بر اندازه متوسط گلبول‌ها ندارد. مطالعه دقیق تر ساختار گلبول های دوده کربنی توسط میکروسکوپ الکترونی عبوری با وضوح بالا (HRTEM) نشان داده است که همزمان با کربن آمورف، نواحی دارای ساختارهای گرافیت مانند گرافن به شکل لایه های منحنی، بسته، پیچ خورده و انباشته هستند. به وضوح قابل مشاهده است (شکل ۲، شکل ۳ (b)). با استفاده از نتایج طیف سنجی رامان، اندازه‌های نانوذرات گرافن La با مقادیر نسبت شدت پیک D به G برآورد شد [22-21]. اندازه La بسته به شرایط سنتز متفاوت است و در محدوده ۰,۵ تا ۲ نانومتر است. هنگامی که ماده کربن سنتز شده به صورت مکانیکی فشرده شد، مقاومت الکتریکی طبق نظریه نفوذ کاهش می‌یابد، و به طور مجانبی به مقدار خاصی نزدیک می‌شود (شکل ۳ (c))، که برای هر ماده آزمایشی تعیین شد. با فشرده سازی، چگالی به مقادیر ۰,۴ تا ۱,۷ گرم بر سانتی متر مکعب برای مواد مختلف سنتز شده رسید. مقدار رسانایی الکتریکی در محاسبه چگالی ۲ گرم بر سانتی متر مکعب، وابستگی های پیچیده ای را به فشار گاز بافر و جریان تخلیه نشان می دهد (شکل ۳ (a)).



شکل 3. وابستگی رسانایی الکتریکی به فشار گاز بافر و جریان تخلیه (a)، تصویر HRTEM از گرافیت نانوذرات در C3 (b)، تصویر HRTEM از نانوذرات گرافیتی جاسازی شده در پوسته آمورف در C60A (c).

همچنین رسانایی الکتریکی مستقل از اندازه ساختارهای گرافیت در محدوده اندازه ای است که برای مواد سنتز شده تعیین شده است، به دلیل مقدار زیاد مقاومت تماسی که به دلیل وجود مقدار زیادی کربن نامرتب آمورف ظاهر می شود (شکل ۳ (b)). مقاومت تماس با مقدار کربن آمورف تعیین می شود. تأثیر آن برای مواد به‌دست‌آمده از سنتز تخلیه قوس در جریان ۱۴۰ آمپر و فشار گاز بافر ۱۲ تور به حداقل می‌رسد، زمانی که هم گلبول‌های دوده و هم صفحات گرافن با اندازه‌های ۲۰ تا ۱۸۰ نانومتر با اندازه متوسط تشکیل شدند. ۶۵ نانومتر (شکل ۳ (c))، که قابل مقایسه و بزرگتر از اندازه گلبول های دوده است. در این حالت، رسانایی الکتریکی با نسبت محتوای صفحات گرافن و گلبول‌های دوده تعیین می‌شود و از نظریه نفوذ پیروی می‌کند.

5. نتیجه گیری

به عنوان نتایج در این تحقیق و مقاله سنتز تخلیه قوس در فشارهای مختلف گاز بافر و جریان‌های تخلیه، نانومواد کربنی تولید شدند که بسته به شرایط سنتز، گلبول‌های دوده با اندازه متوسط در محدوده ۱۰ تا ۴۰ نانومتر را نشان می‌دهند. این مواد حاوی نانوذرات گرافن با اندازه‌های La در محدوده ۰,۵ تا ۲ نانومتر بسته به شرایط سنتز هستند. با این حال رسانایی الکتریکی مواد سنتز شده عمدتاً تحت تأثیر پدیده مقاومت تماسی است که به دلیل وجود مقدار زیادی کربن آمورف ظاهر می شود که نانوذرات گرافن را می بندد. برای چنین مواد سنتز شده، بسته به شرایط سنتز، رسانایی الکتریکی دارای مقدار $^{-3}$۱۰ زیمنس بر متر برای ماده به دست آمده در فشار ۲۰۰ تور و ۱۲۰ آمپر تا ۵,۳ زیمنس بر متر برای ماده تولید شده در ۱۲ تور و ۱۲۰ آمپر. در صورت حضور در مواد سنتز شده صفحات گرافن با اندازه متوسط ۶۵ نانومتر که از بیشتر گلبول های دوده بزرگتر است، رسانایی الکتریکی چندین برابر افزایش می یابد و به ۳۳ زیمنس بر متر می رسد. رسانایی با نسبت محتوای گلبول های دوده و ساختارهای گرافن تعیین می شود. بنابراین، سنتز تخلیه قوس در شرایطی که بالاترین رسانایی الکتریکی ساختار کربن تولید شده را تضمین می‌کند، ویژگی‌های الکتروکاتالیستی، الکتروکرومیک و سایر ویژگی‌های ماده سنتز شده را بهبود می‌بخشد.

منابع و مراجع

[1] Kratschmer, W.; Lamb, L.; Fostiropoulos, K. & Huffman, D. R. Solid C60: a new form of carbon, Nature, 1990, 347, 354 – 358.

[2] Iijima, S. Helical microtubules of graphitic carbon, Nature, 1991, 354, 56 – 58.

[3] Maltsev, V. A.; Novopashin, S. A.; Nerushev, O. A.; Snytnikov, P. V.; Sakhapov, S. Z. & Smovzh, D. V. Synthesis of metal nanoparticles on a carbon matrix. Nanotechnologies in Russia, 2007, 2, 85-89.

[4] Smovzh, D. V.; Sakhapov, S. Z.; Zaikovskii, A. V. & Novopashin, S. A. Morphology of aluminium oxide nanostructures after calcination of arc discharge Al/C soot, Ceramics International, 2015, 41, 8814-8819.

[5] Zaikovskii, A. V.; Mal'tsev, V. A. & Novopashin, S. A. Synthesis of tungsten carbide nanoparticles in WO3 pyrolysis in a plasma arc. Journal of Engineering Thermophysics, 2013, 22, 77-85.

[6] Scott, J. H. J. & Majetich, S. A. Morphology, structure, and growth of nanoparticles produced in a carbon arc, Phys. Rev. B, 1995, 52, 12564-12571.

[7] R.V. Gulyaev, E.M. Slavinskaya, S.A. Novopashin, D.V. Smovzh, A.V. Zaikovskii, D.Yu. Osadchii, O.A. Bulavchenko, S.V. Korenev, A.I. Boronin. Highly active PdCeOxcomposite catalysts for low-temperature COoxidation, prepared by plasma-arc synthesis. Applied Catalysis B: Environmental, 2014, 147, 132– 143.

[8] A.V. Zaikovskii Analysis of Phase Composition of Materials Synthesized in Carbon and Tungsten Trioxide Pyrolysis in a DC Electric Arc in Helium Medium. Journal of Engineering Thermophysics, 2014, 22(1), 47– 52.

[9] Saravanan G., Mohan S. Pt nanoparticles embedded on reduced graphite oxide with excellent electrocatalytic properties. Applied Surface Science. 2016, 386, 96-102.

[10] Ibrahim M.A., Falleh Al-Solamy, Omar A. Al-Hartomy, Ahmed Al-Ghamdi, Farid El-Tantawy. Electrocatalytic reduction of oxygen on Ni/Graphite Nanoparticles. Journal of Fuel Cell Science and Technology, 2012, 9(4), 041003.

[11] Euler K.J., Kirchhof H., Metzedorf A. The electric conductivity and related phenomena of compressed powder materials. J Mater Chem, 1979, 4(4), 611–629.

[12] Zorin F.I. Electrical resistivity of powdered graphites. Inorg Mater, 1986, 22(1), 47–49.

[13] Donnet J.B., Voet A. Carbon black. New York: Marcel Dekker,1976.

[14] Pantea D, Darmstadt H, Kaliaguine S, Summchen L, Roy C. Electrical conductivity of thermal carbon blacks. Influence of surface chemistry. Carbon. 2001, 39, 1147–1158.

[15] J. Sanchez-Gonzalez a, A. Macias-Garcia a, M.F. Alexandre-Franco b, V. Gomez-Serrano. Electrical conductivity of carbon blacks under compression. Carbon, 2005, 43, 741-747.

[16] D. Dasgupta, F. Demichel, A. Tacliaferro. Electrical conductivity of amorphous carbon and amorphous hydrogenated carbon. Philosophical Magazine B, 1991, 63(6), 1255-1266.

[17] Gorelik O.P., Dyuzhev G.A., Novikov D.V., Oĭchenko V.M., Furseĭ G.N. Cluster structure of fullerene-containing soot and C60 fullerene powder. Technical Physics. 2000, 45(11), 1489-1495.

[18] Afanas'ev D.V., Bogdanov A.A., Dyuzhev G.A., Kruglikov A.A. Formation of fullerenes in an arc discharge. Technical Physics. 1997, 42(2), 234-237.

[19] Belikov A.E., Zaikovsky A.V., Maltsev V.A. et. al. The properties of carbon-carbonic condensate synthesized in the plasma arc. Thermophysics and Aeromechanics, 2009, 16(4), 647-650.

[20] Cuesta A, Dhamelincourt P, Laureyns J, Martinez-Alonso A, Tascon J. M. D. Raman microprobe studies on carbon materials. Carbon, 1994, 32, 1523–1532.

[21] Ferrari, A. C. & Robertson, J. Interpretation of Raman spectra of disordered and amorphous carbon, Phys. Rev. B, 2000, 61, 14095-14107.

[22] Tuinstra, F. Raman Spectrum of Graphite, The Journal of Chemical Physics, 1970, 53, 1126.

[23] https://www.elsevier.com/books/the-science-and-technology-of-carbon nanotubes/yamabe/978-0-08-042696-9.

KNO-1004-4205

کاربرد مهندسی وب در کامپیوتر

شهرام محمدی[۴۴]

مربی گروه مهندسی کامپیوتر، دانشگاه فنی و حرفه ای دختران اصفهان، اصفهان ، ایران

چکیده

مهندسی وب، یک رشته نسبتا جدیدی در حوزه مهندسی نرم‌افزار است. این مقاله به توصیف ویژگی‌های خاص برنامه کاربردی وب و شیوه‌های مختلف مهندسی وب به منظور توسعه برنامه‌های کاربردی وب می‌پردازد. بر مبنای بررسی‌های صورت‌گرفته روی پروژه وب سیس (WebSys) ، بعضی از پیشنهادات مرتبط با چگونگی توسعه شیوه‌های مهندسی وب، مطرح می‌گردد.

واژگان کلیدی: کاربرد، مهندسی وب، کامپیوتر

1. مقدمه

گسترش اینترنت و شبکه ارتباط جهانی (WWW) ، منجر به ایجاد تعداد زیادی از سیستم‌های وب و برنامه‌های کاربردی وب شده است. امروزه بسیاری از مردم به برنامه‌های کاربردی وب، همچون بانکداری اینترنتی، و برنامه‌های کاربردی مرتبط با سرگرمی و تجارت الکترونیک، متکی هستند. مردم انتظار دارند این برنامه‌های کاربردی؛ در دسترس، مطمئن، امن و قابل‌اتکا باشند.

توسعه برنامه‌های کاربردی وب و شیوه‌های مورد استفاده برای توسعه این برنامه‌های کاربردی، متفاوت از توسعه نرم‌افزارهای سنتی است (به عنوان نمونه ضمیمه [15]، [12] و [4] را مشاهده نمایید). توسعه برنامه‌های کاربردی وب، بدون مشکل نیست، به گونه‌ای که عبارت «بحران وب» در ضمیمه [12] این مورد را نشان می‌دهد. بررسی صورت‌گرفته روی توسعه برنامه کاربردی وب توسط موسسه کاتر [3]، مشکلات جدی را نشان می‌دهد که باعث آسیب به پروژه‌های بزرگ مبتنی بر وب می‌گردد. که این مشکلات عبارتند از:

- **سیستم‌های تحویلی در 84٪ از موارد، نیازهای کسب و کار را برآورده نمی‌سازد.**
- **وقفه‌های زمان‌بندی، منجر به آسیب پروژه‌ها در 79٪ از موارد می‌گردد.**

1 . نویسنده مسئول مقاله : Shahram_mohamadi1yahoo.com

- **سیستم‌های تحویلی در 53٪ موارد، دارای کارکرد مطلوب نیستند.**
- **روند تحویل در 52٪ از موارد دارای کیفیت ضعیفی هستند.**

بنابراین جالب است که بفهمیم چگونه به توسعه برنامه‌های کاربردی وب بپردازیم، و درک کنیم که در چه جاهایی توسعه برنامه کاربردی وب، متفاوت از توسعه نرم‌افزارهای سنتی است. امروزه مهندسی وب به عنوان یک رشته مختص به خود است که به بررسی کاربرد سیستماتیک، روشمند و قابل‌سنجش به منظور توسعه، عملکرد و حفظ برنامه‌های کاربردی مبتنی بر وب می‌پردازد [4].

هدف این مقاله، درک ویژگی‌های خاص برنامه‌های کاربردی وب و شیوه‌های مهندسی وب، به منظور توسعه این برنامه‌های کاربردی است و بر مبنای این مفاهیم، این مقاله به بحث در مورد بعضی از روش‌های پروژه وب‌سیس به منظور پشتیبانی از توسعه پویای برنامه‌های کاربردی وب، با توجه به نیار ارائه به بازار می‌پردازد. ما به بررسی کتاب‌ها، مقالات منتشر شده و کنفرانس‌های برگذارشده در مورد توسعه وب می‌پردازیم. در بخش 2، خصوصیات ویژه مرتبط با برنامه‌های کاربردی وب و روش‌های مختلف مربوط به طبقه‌بندی ان‌ها، معرفی می‌گردد. بخش 3 نگاهی با شیوه‌های توسعه برنامه‌های کاربردی وب انداخته، و بخش 4 به معرفی بعضی از روش‌هایی می‌پردازد که بعدها توسط پروژه وب‌سیس مورد بررسی قرار میی‌گیرد. در بخش 5، به نتیجه‌گیری می‌پردازیم.

2. برنامه‌های کاربردی وب

برنامه‌های کاربردی وب، به عنوان نرم‌افزارهای کاربردی هستند که توسط شبکه ارتباط جهانی مورد استفاده قرار می‌گیرد. آن‌ها از مدل کلاینت-سرور استفاده می‌کنند و به صورت جستجوگر وب روی کامپیوتر کلاینت (یا کاربر) به اجرا در می‌آیند. زمانی که نسخه جدیدی از برنامه کاربردی وب روی سرور نصب می‌شود، این نسخه در دسترس تمام کاربران قرار می‌گیرد. این ویژگی کاربرد فوری (یا بی‌واسطه) به عنوان مهمترین ویژگی برنامه کاربردی وب است.

نام‌های مختلفی به برنامه‌های کاربردی وب، نسبت داده می‌شود. این نام‌ها عبارتند از وب‌سایت‌ها، برنامه‌های کاربردی وب-محور، و برنامه های کاربردی وب [4]. همچنین بعضی از محققان از نام‌های متفاوتی برای نشان‌دادن انواع مختلف برنامه‌های کاربردی وب استفاده می کنند [1]. در این مقاله، از عبارت برنامه کاربردی وب، برای تحت پوشش قرار دادن تمام این انواع استفاده می‌کنیم.

تعریف اصطلاح برنامه کاربرد وب، در ضمیمه [9] اورده شده است:

برنامه کاربردی وب، یک نرم‌افزار کاربردی است که متکی بر ویژگی‌های موسسه شبکه ارتباط جهانی (W3C) بوده و منابع مبتنی بر وب همچون محتوا و خدماتی را ارائه می‌دهد که می‌تواند توسط جستجوگر وب مورد استفاده قرار گیرد.

2.1 دسته‌بندی برنامه‌های کاربردی وب

چندین روش برای دسته‌بندی برنامه‌های کاربردی وب وجود دارد و اولین دسته‌بندی در ضمیمه [1] قابل مشاهده است. برنامه‌های کاربردی وب به دو گروه تقسیم می‌شوند: برنامه‌های کاربرد وب که دارای حالت هستند و از منطق سرور-ساید استفاده می‌کنند، و وب سایت‌هایی که فقط دارای منطق کلاینت-ساید هستند. بر طبق واژگان تخصصی که در این مقاله مورد استفاده قرار می‌گیرد، این دو

دسته بندی نسبتا گسترده بوده و به توصیف ویژگی مختلف تعداد زیادی از انواع متفاوت برنامه‌های کاربردی وب، با دقت زیاد نمی پردازند. انواع مختلف دیگری از برنامه‌های کاربردی وب در دسته بندی‌های دیگر، دارای نوع یکسانی از برنامه کاربردی وب مرتبط با این دسته هستند.

دسته‌بندی دیگر در ضمیمه [8] آورده شده است. در اینجا برنامه‌های کاربردی وب بر مبنای دو بعد دسته‌بندی می‌شوند:

- **میزان منطق کنترل**
- **میزان داده‌های پردازش‌شده**

پژوهشگر این نوع دسته‌بندی، از چهار دسته متفاوت استفاده می‌کند، اما تعداد این دسته‌ها به آسانی می‌تواند زیاد شود.

- **بروشور- بدون هیچ منطق کنترل، و هیچ داده‌ای پردازش نمی گردد. نمونه‌ای از این دسته همان صفحات خانگی ساده هستند.**
- **برنامه‌های کاربردی سرویسگرا- دارای مقداری منطق کنترل، و مقدار کمی داده پردازشی. این سایت‌ها مختص به ارائه خدمات به کاربر، به عنوان نمونه ارائه سرویس ایمیل تحت وب (مانند هاتمیل) است.**
- **برنامه‌های کاربردی کلان‌داده- برنامه‌های کاربردی هستند که رابطی را به منظور جستجو و پویش مقدار زیادی از داده، ایجاد می‌کنند. نمونه‌ای از آن سایت google.com است.**
- **برنامه‌های کاربردی سیستم اطلاعات- که ترکیبی از برنامه‌های کاربردی سرویسگرا و برنامه‌های کاربردی کلان داده است (به عنوان مثال سایت Amazon.com).**

اخرین دسته که برای برنامه‌های کاربردی وب مورد استفاده قرار می‌گیرد در ضمیمه [4] و به دنبال بعضی از تغییرات در ضمیمه [7]، آورده شده است. به طور کلی، ترتیب این دسته‌بندی به توضیح تکامل برنامه‌های کاربردی وب و همچنین پیچیدگی فزاینده برنامه‌های کاربردی وب، می‌پردازد. این دسته‌بندی در جدول 1 آورده شده است. این فهرست دسته‌بندی، زمانیکه انواع جدیدی از برنامه‌های کاربردی وب ابداع می‌شوند، گسترش می‌یابد.

بسته به نوع دسته بندی برنامه کاربردی وب، منابعف، تکنیک‌ها و روش‌های مختلفی به منظور توسعه ان‌ها مورد نیاز است. همچنین هدف برنامه‌های کاربردی وب، با توجه به این دسته‌بندی تغییر می‌یابد. ([15] و [14]). با در نظر گرفتن این موارد، دسته‌بندی که در جدول 1 آورده شده است، احتمالا از همه مفیدتر است. ضمنا، این دسته‌بندی از دو بعد یکسانی که در روش مذکور در ضمیمه [8] آورده شده، استفاده می‌کند. پیچیدگی هر دسته جدید رو به افزایش است. این روش می‌تواند تعمیم یابد، وچنین امکانی وجود دارد تا به پیوند منابعی همچون روش‌ها، فرایندها، و بهترین شیوه‌ها در هر دسته بپردازیم.

2.2 تکامل برنامه‌های کاربردی وب

برنامه‌های کاربردی وب به عنوان برنامه‌های پویایی هستند، که دائما تغییر و تکامل پیدا می‌کنند. این تغییرات، حاصل محیط شبکه ارتباط جهانی و محیط بازار است که چنین برنامه‌های کاربردی به عنوان بخشی از ان بحساب می‌آیند. زمانی که برنامه‌های کاربردی وب توسعه می‌یابند، آن‌ها همچنین می‌توانند باعث تغییر دسته‌ای که متعلق به ان است، شوند. تکامل برنامه‌های کاربردی وب، نه تنها براساس موضوع دسته بندی است، بلکه بر مبنای موضوعات در محدوده درک توسعه وب، در حوزه انگیزه برای توسعه وب، و در مورد تغییرات کلی در استفاده از فناوری وب است.

- **درک. چندین مفهوم در ارتباط با توسعه وب وجود دارد (شکا 2 را مشاهده نمایید). این سطوح، تکامل یک سازمان را با توجه به توسع وب نشان می‌دهد. هر سطح همچنین نیازمند بعضی از مهارت‌های خاص برای موفقیت در این سطح است. سه سطح اول، مستلزم مهارت‌هایی در تعامل انسان- کامپیوتر (HCI) (سطح 1 و 2)، و معماری اطلاعات (سطح 3) است. سطوح 4 تا 6، در ارتباط با مراحل بهره از مهندسی نرم‌افزار است ([4] و [6]).**
- **انگیزه. انگیزه، بستگی به هدف اولیه استفاده از برنامه‌های کاربردی وب (حضور وب یا تبدیل شدن به یک سازمان مبتنی بر وب)، انتظارات مشتریان و محیط رقابتی شبکه ارتباط جهانی (در تطبیق با رقیب A) دارد [4]. انگیزه توسعه سیستماتیک، منوط به درک کلی وب است. شرکتی که مهندسی وب را وارد مرحله 3 می‌کند، این روند توسعه را اساسا از نظر «تبلیغات»، یا «برندسازی/ تقویت»، مد نظر قرار خواهد داد. درس‌هایی که از مهندسی نرم افزار گرفته می‌شود، به صورت خارج از موضوع در نظر گرفته می‌شوند یا به سادگی نادیده گرفته می‌شوند. درک سطح پایین از وب، احتمالا منجر به توسعه تک‌منظوره و یا دوره‌ای می‌گردد.**
- **تغییر در کاربرد WWW (شبکه ارتباط جهانی). در حال حاضر، ما از وب یه گونه‌ای متفاوت از انچه که هدف اصلی آن (یعنی با هدف اشتراک اطلاعات علمی در میان دانشمندان) بود، استفاده می‌کنیم. نه تنها، محدوده و پیچیدگی برنامه‌های کاربردی کنونی وب دارای تنوع زیادی است (یعنی از خدمات کوتاه مدت، و با مقیاس کم گرفته تا برنامه های کاربردی شرکتی در مقیاس گسترده، که در اینترنت و اینترانت و اکسترانت‌های شرکتی توزیع می‌گردد)، بلکه علاوه بر این، تحولات مهمی را در حوزه برنامه‌های کاربردی وب، از برنامه‌های کاربردی وب از سیستم‌های ساده وب-محور گرفته تا سیستم‌های وب-محور پیشرفته امروزی، ایجاد می‌کند. بعضی از خصوصیات سیستم های وب-محور پیشرفته و ساده، در جدول 3 نشان داده شده است.**

جدول 1: دسته‌بندی برنامه‌های کاربردی وب

نمونه‌ها	دسته
روزنامه‌های انلاین، کاتالوگ‌های محصول، خبرنامه‌ها، کتابچه‌های راهنمای خدمات، اسناد طبقه‌بندی شده، کتاب‌های الکترونیک	اطلاعاتی

فرم‌های ثبت‌نام، نمایش اطلاعات سفارشی، بازی‌ها	تعاملی
خرید الکترونیک، سفارش کالاها و خدمات، بانکداری	تراکنش
سیستم‌های برنامه‌ریزی و زمان بندی، مدیریت موجودی کالا، مانیتورینگ وضعیت	گردش کار
سیستم های مسئول توزیع، ابزارهای طراحی مشترک	محیط‌های کاری مشترک
گروه‌های چت، سیستم‌های پیشنهاددهنده، بازارها، حراج‌ها	جوامع انلاین، بازار
مراکز خرید پرجنب و جوش الکترونیک، واسطه‌ها	درگاه‌های وب
برنامه‌های کاربردی واسطه‌های اطلاعاتی و کسب و کار	خدمات وب

جدول 2. سطوح آگاهی در توسعه وب

6. برنامه‌ریزی و مدیریت پروژه وب
5. سیستم وب- محور
4. ساختار وب سایت
3. طرح وب‌سایت
2. طرح صفحات وب
1. ساختار صفحات وب

به دنبال تحول برنامه‌های کاربردی وب، تقاضاهای مرتبط با سیستم‌های وب‌محور و پیچیدگی طراحی، توسعه، نگهداری، و مدیریت این سیستم‌ها، به طور قابل‌توجهی افزایش پیدا کرده است.

3. توسعه وب

این بخش، به بررسی تفاوت‌های بین توسعه وب و توسعه نرم‌افزارهای سنتی می‌پردازد. ابتدائا، معرفی از آنچه که اکثر محققان آن را به عنوان رایج‌ترین تفاوت مد نظر قرار می‌دهند، می‌پردازیم (بخش 3.1). بخش 3.2 نگاهی به شیوه‌های مختلف توسعه که حاصل این تفاوت‌هاست، می‌اندازد. در نهایت بخش 4، به توضیح بعضی از رویکردهای پروژه وب‌سیس به منظور بهبود عملیات مهندسی وب می‌پردازد.

3.1 تفاوت‌ها در مهندسی وب

مرور کلی تفاوت‌ها در مهندسی وب، در مقایسه با مهندسی نرم‌افزارهای سنتی، در جدول 4 آورده شده است. بعضی از موضوعات مهم آن عبارتند از:

- **تعجیل در روند. برنامه‌های کاربردی وب دارای زمان کوتاهی برای ارائه به بازار هستند (به عنوان نمونه ضمیمه [15] و [9] را مشاهده نمایید. میانگین زمان پروژه در مورد پروزه‌های وب، کمتر از سه ماه است. یکی از دلایل نسبی ان، محیط رقابتی وب است. «ارائه محصول مهمترین چیز است» [15]. این تعجیل برای ارائه به بازار، تحت**

حمایت فناوری برای توسعه برنامه‌های وب است. این روند، به واسطه این واقعیت تشدید پیدا می‌کند که انتشار برنامه‌های کاربردی در چند ثانیه به وقوع می‌پیوندد، و اینکه اینترنت، شبکه ارتباط جهانی و دسترسی به جستجوگر وب، بازار بین‌المللی را با وسعت و مقیاس پتانسیل فوق‌العاده‌ای، ایجاد می‌کند.

- **توسعه پویا. در نتیجه تعجیل ارائه برنامه‌های کاربردی، حس نیاز بالایی در حوزه مهندسی وب نیز ایجاد می‌گردد: یعنی شانس زیادی وجود دارد که یک فرد بازار را بدست بگیرد، مگر اینکه این بازار ابتدا توسط فرد دیگری تسخیر گردد و بدین‌ترتیب ان فرد در راس تمام تازه‌واردهایی که پس از او قرار می‌گیرند، جولان می‌دهد. انعطاف‌پذیری که بواسطه محیط اینترنتی ایجاد می‌گردد، این امکان را فراهم می‌کند تا عملکرد مطلوبی به واسطه انتشار نسخه موفق‌مان داشته باشیم. با توجه به اینکه بازار، تمایلی به پذیرش برنامه‌های منحصر به فرد، به صورت مقطعی دارد، زمان سیکل برنامه‌های کاربردی به سیکل کوتاه‌تری رسیده است. این نوع مدیریت توسعه وب، توسط بعضی از محققان تحت عنوان پرورش وب نامیده می‌شود [12].**

جدول 3: مشخصات سیستم‌های وب-محور ساده و پیشرفته

سیستم‌های وب-محور پیچیده	سیستم‌های وب-محور ساده
صفحات وب پیچیده	صفحات وب ساده که در اصل به نمایش اطلاعات متنی می پردازند
اطلاعات بر مبنای نیاز و زمان کاربر، دارای تغییرات پویا می‌شود	محتوای اطلاعاتی تغییر نمی‌یابد- و نسبتا باثبات است
پیچیدگی در مسیریابی و پیدا کردن اطلاعات	مسیریابی ساده
ادغام با بانک اطلاعاتی و سیستم‌های دیگر برنامه‌ریزی، زمان بندی و سیستم‌های ردیابی	سیستم خودکفا
نیاز به عملکرد بالا و دسترسی مستمر	عملکرد بالا، نیاز اصلی ان نیست
نیاز به تیم توسعه بزرگ همراه با تخصص در حوزه‌های مختلف	توسعه آن، توسط یک فرد یا یک تیم کوچک
گسترش برنامه‌های کاربردی تبلیغاتی- انتقادی	استفاده برای توزیع اطلاعات در برنامه‌های کاربردی غیرمتمرکز

جدول 4: تفاوت‌های مهم بین برنامه‌های کاربردی وب و نرم‌افزارهای سنتی

2. تحول دائمی با چرخه بازبینی کوتاه	1. زمابندی فشرده برای توسعه
4. خصوصیات مورد نیاز ناکافی	3. محتوای پیچیده، یعنی به شکل پیچیده‌ای با پردازش مرحله ای ادغام می‌گردد
6. روش‌ها و فناوری‌های نوظهور	5. تیم‌های کوچک با زمان‌بندی بسیار کوتاهی کار می‌کنند
8. رضایت کاربر و تهدید از طرف رقبا	7. نبود فرایند تست پذیرش
10. نقد عملکرد	9. حمایت مدیریتی حداقل

12. آگاهی از رشته‌های مورد نیاز دیگر برای برنامه‌های کاربردی وب، همچون آشنایی با پروتکل هایپرتکست، طراحی گرافیک، معماری کامپیوتر	11. تغییر استانداردها به منظور تطبیق ان برنامه کاربردی، با در نظر گرفتن شرایط خاص (به عنوان مثال استانداردهای دسترسی برای سایت‌های دولتی، یا استانداردهای IEEE و W3C به دلایل فناوری).
14. موضوعات حقوق، اجتماعی و اخلاقی	13. موضوعات امنیتی
16. محیط پیاده‌سازی تکاملی سریع، تسلط به پلتفرم‌های سخت‌افزاری مختلف	15. تنوع سابقه توسعه‌دهندگان

- **مدیریت نیاز. این مسئله در ارتباط با موضوع قبلی است. نیازهای مربوط به برنامه‌های کاربردی وب، در طی توسعه برنامه کاربردی ایجاد می‌شود. این مورد بعضا مربوط به تحول مخیط بازاری است که مشتری باید به آن پاسخ دهد. تکنولوژی که مورد استفاده قرار می‌گیرد، می‌تواند تغییر پیدا کند [4]. نتیجه اینست که هیچ مرحله الزام‌اور رسمی در بسیاری از پروژه‌های توسعه وب وجود ندارد. در عوض، الگوهایی مورد استفاده قرار می‌گیرد تا بازخوردهایی را از مشتری و کاربر دریافت نماید [5]. در نتیجه، ما به توسعه‌دهندگانی نیاز داریم از حوزه مشکلات برنامه‌های کاربردی اگاهی داشته باشند. این آگاهی زمانی مورد نیاز است که هیچ مشخصات الزام‌اور رسمی وجود نداشته باشد.**
- **انواع مختلف محیط بازاری. محیط بازاری جدید، میزان نعطاف‌پذیری جدیدی را از نظر نیازها و فاکتورهای کیفی، برای محصولات نرم‌افزاری ارائه می‌دهد. در اکثر موارد، برنامه‌های کاربردی وب دارای نقد تولیدی و یا نقد مرحله ای نیستند. به‌ویژه در مراحل اولیه معرفی یک محصول، شرکت‌ها تمایل دارند تا بعضی از جنبه‌های کیفی محصول را قربانی ارائه زودتر آن محصول به بازار نمایند. در مرحله ارائه محصول به بازار، الزامات مربوط به انتشار آن، قابل مذاکره هستند.**
- **چند تخصصی بودن. توسعه برنامه‌های کاربردی وب، تیم‌های پروژه را ملزم به داشتن چند تخصص می‌کنند. فعالیت های مربوط به ایجاد برنامه‌های کاربردی وب شامل مواردی همچون مدیریت محتوا، طراحی گرافیکی، و تعامل انسان- کامپیوتر است. همچنین موضوعات اخلاقی و حقوقی نیز باید مورد توجه قرار گیرند. علاوه بر این، فعالیت های تخصصی نیز در مهندسی نرم‌افزار سنتی مطرح می‌گردد [4]. این چندتخصصی بودن، منجر به ایجاد چالش هایی در تیم توسعه می‌گردد. در اینجا، یک مسئله مهم، ارتباط بین اعضای تیمی که دارای سوابق متنوعی هستند به ویزه در حوزه تعجیل ارائه محصول به بازار و سیکل کوتاه توسعه است [13].**

- **ماهیت کاربران نهایی. برنامه‌های کاربردی وب می‌تواند کاربران را در هر جایی از دنیا تحت تاثیر قرار دهد. این برنامه‌ها کلا محدود به گروه‌های کاربری خاص در یک موسسه نیست. زمانی که برنامه‌های کاربردی وب، فراتر از اینترانت‌ها (شبکه‌های داخلی) می‌روند، استراتژی‌ها و سیاست‌هایی باید توسعه یابد تا درک بهتری از موارد ناشناخته بلقوه، و شاید ناشناخته ایجاد گردد، تا پارامترهای کیفی ان برنامه کاربردی مد نظر قرار گیرد، تا بتواند سیستم‌های کیفی، سایت‌های ازمایشی، برنامه‌های کاربردی، و حفظ امنیت، را مد نظر قرار دهد [4].**

3.2 شیوه‌های توسعه وب

تفاوت‌هایی که در بخش قبلی فهرست شد، منجر به شیوهای توسعه می‌گردد که برای مهندسی وب ضرورت دارد. دو بررسی در مورد شیوه‌های توسعه وب، صورت گرفته است ([15]، [10] و [11].

- **به منظور کوتاه کردن زمان ارائه محصول به بازار، توسعه دهندگان تلاش می‌کنند تا زمان مورد نیاز برای ارائه محصول جدید را کاهش دهند. این فرایند می‌تواند از طریق توسعه موازی صورت پذیرد، بدین‌معنا که تیم توسعه روی دو نسخه متفاوت بطور همزمان کار می‌کند. این نسخه‌ها به طور موازی توسعه می‌یابند یا به بازار ارائه می شوند، به‌گونه‌ای که طراحی، توسعه، و تضمین کیفیت آن‌ها بطور همزمان روی می‌دهد، اما از نظر توالی، دارای نسخه‌های مختلفی هستند. این روند، چالش‌های جالبی را برای کارکنان، در مراحل پروژه ایجاد می‌کند. بعضی از پرسنل بخش توسعه، از ابتدا تا انتها، روی یک نسخه خاص کار می‌کنند، کارکنان دیگر در یک یا چند مرحله از چندین نسخه، مشارکت دارند. در نهایت، حتی چند مرحله از توسعه به صورت موازی رخ می‌دهد. بعضی مواقع، برنامه‌نویسی جتی قبل از اینکه نیاز برای این کار وجود داشته باشد، آغاز می‌گردد [15]. مراحل توسعه پیچیده ای، برای این منظور مد نظر قرار می‌گیرد [16].**
- **موقعیت نسخه‌ها. در مراحل مقدماتی برنامه‌های کاربردی وب، نسخه‌ها در سیکل‌های زمانی کوتاهی ایجاد می‌گردند. چرخه انتشار نسخه می‌تواند بین 2 و 5 روز باشد [15]. نسخه جدید بر مبنای فرجه آن، و نه محتوای ان تعریف می گردد. مسئله مهم اینست تا آن فرجه را برای اجرای عملیات قابل پیش‌بینی روی نسخه جدید، حفظ کنیم. عملیاتی که در ان فرجه مشخص روی برنامه کاربردی صورت نگرفته‌است، به سادگی روی نسخه بعدی پیاده‌سازی می‌شود. در مورد کیفیت نیز به هم شکل است. نسخه‌های بعدی می‌تواند به جبران کیفیت ضعیف نسخه منتشر شده بپردازد.**
- **اتکای ابزاری. بسیاری از موسسات توسعه برنامه کاربردی، از ابزارهای توسعه‌یافته برای تسریع مراحل طراحی و برنامه نویسی استفاده می‌کنند.**

- مشارکت مشتری. زمانی که نیازها در طی مرحله توسعه برنامه، رو به تحول قدم می‌گذارد، مشتریان می‌توانند به شکل صمیمانه‌ای در روند توسعه مشارکت کنند. مشتریان معمولا همراه با تیم توسعه بوده و دارای مشارکت نزدیکی در تمام مراحل توسعه هستند [15]. مشارکت مشتری می‌تواند بازخوردهای فوری در مورد هزینه و برنامه‌ریزی ضمنی در ارتباط با نیازهایشان بدهد. اولویت‌دهی خصوصیات می‌تواند بر مبنای نیاز مشتری باشد. در این ارتباط با مشارکت مشتریان، مشکلاتی نیز وجود دارد، به این صورت که مشتریان معمولا زمان کوتاهی برای تمرکز روی این موضوع داشته، و مشتریان نمی توانند هیچ تمرکزی روی طرح‌های بلندمدت کسب و کار، داشته باشند.
- نمونه‌های اولیه. نمونه‌سازی به منظور هماهنگی با نیازهای رو به تغییر و بی‌ثبات، مورد توجه قرار می‌گیرد. این نمونه سازی‌ها برای تطبیق با نیازها، و دریافت بازخورد از طرف مشتری و کاربران نهایی انجام می‌گیرد. این مورد زمانی امکان پذیر است که نمونه‌های اولیه منتشر شوند. نمونه‌سازی اولیه، به عنوان روشی برای ارتباط با مشتریان به منظور ارزیابی و براوردن نیازهایشان، مد نظر قرار می‌گیرد [15].
- روش مناسب. مراحل و روش‌های مورد استفاده در مهندسی وب، معمولا از مهندسی نرم‌افزار سنتی الهام گرفته می شود و برای نیازهای خاص مهندسی وب مناسب است [5]. بعضی از موسسات، یک چارچوب کلی را توسعه می‌دهند که پروژه‌های فردی باعث سازماندهی روش‌هایشان می‌گردد [15].
- بحران وب. روش‌های توسعه که برای توسعه وب مورد استفاده قرار می‌گیرد، بصورت تک‌منظوره و بدون هیچ توجهی یا توجه اندک به روش‌های توسعه، تکنیک‌های سنجش و ارزیابی، کیفیت برنامه کاربردی و مدیریت پروژه است. نتیجه آن، برنامه‌های کاربردی هستند احتمالا دارای نقص‌های زیادی است. این شرایط را تحت عنوان «بحران وب» می شناسند [12].
- جهت‌گیری مستند. بسیاری از توسعه‌دهندگان، کلاینت‌ها و مدیران، همچنان توسعه وب را ابتدائا به عنوان یک روند آماده‌سازی نسبت به فعالیت توسعه برنامه کاربردی، مد نظر قرار می‌دهند، که در این مسیر بعضی از اصول و شیوه‌های مدیریتی و مهندسی نرم‌افزار شناخته شده، بکار گرفته می‌شود.
- تکامل روند توسعه. روند پیشرفت مورد استفاده در توسعه برنامه‌های کاربردی وب دارای تحولی مشابه با روشی است که مورد نظر کاربرد وب است. توسعه نسخه اولیه برنامه کاربردی وب، از مراحل مختلفی نسبت به مراحل ثانویه آن نسخه استفاده می‌کند. دلیل اینست که نسخه‌های اولیه باید به جذب و کسب کاربران بلقوه پرداخته، درحالیکه نسخه های ثانویه باید از این پایگاه کسب‌شده کاربری دفاع کنند. در مراحل اولیه، نیازها به خوبی درک نمی‌گردد و کیفیت

به طور معمول مد نظر قرار نمی‌گیرد. همچنین، شتاب به منظور ارائه محصول به بازار، به دلیل رقابت در محیط وب، بیشتر است. این باعث می‌شود که فرایند توسعه رسمی محصول، مشکل گردد. در مرحله بعدی، برنامه کاربردی وب، کاملتر شده و موضوعات مربوط به کیفیت، اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. در نسخه رسمی، مراحل توسعه تحول پیدا می‌کند تا مسئله کیفیت و تغییرات مرتبط با نیازهای کاربر را مد نظر قرار دهد.

4. چگونه می‌توان باعث بهبود شیوه‌های مهندسی وب شد

پروژه وب سیس [2]، تلاشی را در جهت یافتن روش‌ها، دستورالعمل‌ها، شیوه‌ها و فرایندهایی به منظور کمک به ایجاد تعادل مرتبط با نیازهای مختلف ارائه محصول به بازار در زمان کوتاه و قابل اطمینان بودن آن محصول، انجام می‌دهد.

عجله زیاد برای ارائه محصول به بازار، دارای مشکلاتی از جمله کاهش کیفیت محصول است [15]. بعضی از روش‌هایی که توسط پروژه وب‌سیس مورد بررسی قرار گرفته‌اند عبارتند از:

- **استفاده از معماری استاندارد یا معماری خط تولید برنامه‌های کاربردی وب، می‌تواند به آغاز پروژه‌های برنامه‌های کاربردی جدید وب، با بعضی از موئلفه‌های اثبات شدهف، نماید. به این ترتیب، کیفیت برنامه‌های کاربردی اثبات‌شده، می‌تواند در برنامه‌های کاربردی جدید نیز مورد استفاده قرار گیرد، و در حالت پایه، زمان ارائه ان محصول به بازار (TTM) کوتاه‌تر می‌گردد. به هر حال، این مولفه‌ها باید متناسب با شیوه‌های توسعه تک‌منظوره در زمان توسعه برنامه‌های کاربردی جدید وب، باشند.**
- **موضوع دیگری که توسط پروژه وب‌سیس مورد ارزیابی قرار گرفته استف استفاده از الگوهایی برای توسعه وب است.**
- **استفاده از مدل محرک توسعه، می‌تواند باعث تسریع زمان توسعه برنامه کاربردی وب، و در عین حال توجه به مسئله کیفیت گردد. بعضی از محیط‌های مرتبط با توسعه برنامه‌های کاربردی وب وجود دارند که این امکان را برای توسعه دهنده ایجاد می‌کند که به تعیین برنامه‌های کاربردی وب با استفاده از مدل‌های UML بپردازد [14].**
- **روش دیگر برای بهبود شیوه‌های مهندسی وب، وجود یک مدل فرایند برای مهندسی وب است، به صورتیکه مراحل تکامل، به صورت کنترل‌شده‌ای مدیریت می‌گردند. چنین مراحلی، به پشتیبانی از نیازهای خاص [5] فرایند توسعه وب می‌پردازد. پروژه وب‌سیس با یک فرایند توسعه کار می‌کند که از تکنیک‌های جایگزین برای تسریع روند تصمیم‌گیری و افزایش ارتباط میان اعضای تیم استفاده می‌کند [17].**

5. خلاصه و نتیجه‌گیری

این مقاله، خصوصیات ویژه برنامه‌های کاربردی وب و شیوه‌های مهندسی وب را نشان داده است. نیاز است که برنامه‌های کاربردی وب، به صورت منظمی توسعه یابند، و برای روش‌های مهندسی نرم‌افزار سنتی و مهندسی وب مورد استفاده قرار گیرند. مهندسی نرم‌افزار همچنان به عنوان منبع اصلی روش‌ها در مهندسی وب، است، اما این روش‌ها باید در تطبیق با محیط پروژه مهندسی وب باشند.

نگته‌ای که در ارتباط با خصوصیات ویژه برنامه‌های کاربردی وب وجود دارد اینست که: تمام برنامه‌های کاربردی وب دارای این خصوصیات منحصر به فرد نیستند. همچنین برنامه‌های کاربرد وبی نیز وجود دارد که همانند برنامه‌های کاربردی نرم‌افزار سنتی، توسعه می‌یابند. اما محیط رقابتی وب، و نیاز به واکنش به رویدادهای بازار، می‌تواند منجر به این پروژه‌های توسعه وب بی‌نهایت گردد.

ایده‌ها و روش‌های حاصل از پروژه وب‌سیس برای بهبود شیوه‌های مهندسی وب، معرفی شده‌اند. این روش‌ها باید در محیط تجاری مورد ارزیابی قرار گیرند.

References

[1] J. Conallen. Building Web Applications with UML, Second Edition. Addison-Wesley, 2003.
[2] R. Conradi, T. Stalhane, T. Dyb ˚ a, and D. Sjœberg. ˚ Websys: Web-based systems – time-to-market vs. reliability. Technical report, Norwegian University of Science and Technology (NTNU), 2000.
[3] C. Consortium. Research briefs, November 2000.
[4] Y. Deshpande, S. Murugesan, A. Ginige, S. Hansen, D. Schwabe, M. Gaedke, and B. White. Web engineering. Journal of Web Engineering, 1(1):3–17, October 2002.
[5] G. Engels, M. Lohmann, and A. Wanger. Entwiklingsprozess von Web-Anwendungen, chapter 10, pages 239–263. dpunkt, 2004.
[6] A. Ginige. Web engineering: Managing the complexity of web systems development. In Proceeding, pages 721–729. ACM, 2002.
[7] A. Ginige and S. Murugesan. Web engineering: An introduction. IEEE Multimedia, 8(1):14–18, 2001. Special issues on Web Engineering.
[8] A. Hassan. Architecture recovery of web applications. Master's thesis, University of Waterloo, 2001.
[9] G. Kappel, B. Proll, S. Reich, and W. Retschitzegger, ¨ editors. Web Engineering, chapter Web Engineering - Die Disciplin zur systematischen Entwicklung von Web-Anwendungen. dpunkt.verlag, 2004.
[10] A. McDonald and R. Welland. A survey of web engineering in practice. Technical Report TR-2001- 79, Departmend of Computing Science, University of Glasgow, 2001.
[11] A. McDonlad and R. Welland. Web engineering in practice. In Proccedings of the fourth WWW10 Workshop on WebEngineering, pages 21–30, 2001.
[12] S. Murugesan, Y. Deshpande, S. Hansen, and A. Ginige. A new discipline for web-based system development. In Proceedings of the Workshop on Web Engineering, ICSE99, 1999.
[13] K. Norton. Applying cross-functional evolutionary methodologies to web development. In S. Murugesan and Y. Deshpande, editors, WebEngineering, volume 2016 of LCNS, pages 48–57. Springer Verlag, 2001.
[14] J. Pleumann and S. Haustein. A model-driven runtime environment for web applications. In UML 2003 – The Unified Modeling Language, pages 190–204, 2003.
[15] B. Ramesh, J. Pries-Heje, and R. Baskerville. Internet software engineering: A different class of processes. Annals of Software Engineering, 14(1-4):169– 195, 2002.
[16] L. Rising and N. Janoff. The scrum software development process for small teams. IEEE Software, 17(4):26–32, July-August 2000.
[17] T. Stalhane and S. Ziemer. A trade-off toolbox. Tech- ˚ nical report, Department of Computer and Information Science, 2003.

KNO-1004-4206

مروری بر کاربرد فیبرهای کریستال فوتونی در بیوسنسورها

مهران کریمیان ریزی[1]

مریم فریور[2]

[1] کارشناسی ارشد مهندسی پزشکی، دانشگاه تبریز، ایران، mehrankarimian97@ms.tabrizu.ac.ir

[2] مربی سازمان آموزش فنی و حرفه ای کشور، شاهین شهر، ایران، Farivar.maryam@yahoo.com

چکیده: *فیبرهای کریستال فوتونی یکی از تکنولوژی‌های پیشرفته در حوزه نور بیومدیکال است که به طور گسترده در علوم دیگر و همچنین در پزشکی و مهندسی پزشکی استفاده می‌شود. این فیبرها از ساختارهای کریستالی استفاده می‌کنند تا نور را درون خود راهنمایی وهدایت کرده و برای دست‌آوردن حساسیت بالا و انتقال دقیق اطلاعات نوری برای کاربردهای بیوسنسور کمک می‌کنند. فیبرهای کریستال فوتونی (**PCFs**) به دلیل ویژگی‌های منحصر به فرد اپتیکی خود مانند ساختار قابل تنظیم و پراکندگی مهندسی شده به عنوان ابزاری قدرتمند در زمینه بیوسنسورها ظهور کرده‌اند. در این مرور کاربردهای فیبرهای کریستال فوتونی در علوم دیگر و همچنین در پزشکی و مهندسی پزشکی بررسی می‌شوند. همچنین مزایا و معایب استفاده از این فیبرها مورد بحث قرار می‌گیرند و در نهایت پیشنهاداتی برای بهبود کاربردهای آینده ارائه می‌شود.*

کلید واژه‌ها: *فیبرهای کریستال فوتونی، بیوسنور، حسگر زیستی، نور بیومدیکال، PCF، PCFs*

6. مقدمه

فیبرهای کریستال فوتونی فناوری‌های نوری بیومدیکال هستند که برای انتقال دقیق و حساس اطلاعات نوری در بیوسنورها استفاده می‌شوند. این فیبرها از ساختارهای کریستالی تشکیل شده‌اند که نور را درون خود راهنمایی و هدایت می‌کنند. کاربردهای گسترده این فناوری شامل مکانیک، برق، هوافضا و همچنین پزشکی و مهندسی پزشکی است. استفاده از فیبرهای کریستال فوتونی در پزشکی و مهندسی پزشکی امکاناتی را برای تشخیص و درمان بیماری‌ها فراهم می‌کند. در دهه‌های اخیر پیشرفت‌های چشمگیری در حوزه نوری بیومدیکال صورت گرفته است. فیبرهای کریستال فوتونی یکی از تکنولوژی‌های پیشرفته در این حوزه است که به طور گسترده در پزشکی و مهندسی پزشکی استفاده می‌شود. این فیبرها با استفاده از ساختارهای کریستالی قابلیت راهنمایی نور را دارند و امکان انتقال دقیق و حساس اطلاعات نوری را در بیوسنورها فراهم می‌کنند [1]. با پیشرفت روزافزون تکنولوژی ارتباط بین علوم نانوتکنولوژی و پزشکی به‌عنوان یک زمینه مهم و موثر برای پیشرفت درمان‌ها و تشخیص بیماری‌ها در نظر گرفته می‌شود. در این زمینه، فیبرهای کریستال فوتونی به عنوان یکی از ابزارهای مهم واقع شده‌اند. بیوسنسورها ابزاری برای تشخیص و اندازه‌گیری بیومولکول‌ها مانند DNA، پروتئین‌ها و سلول‌ها هستند. PCFs به دلیل ویژگی‌های منحصر به فرد اپتیکی خود به عنوان ابزاری قدرتمند در زمینه بیوسنسورها ظهور کرده‌اند. بیوسنسورها ابزاری برای تشخیص و اندازه‌گیری مواد بیولوژیکی هستند. آن‌ها در طیف وسیعی از زمینه‌ها از جمله پزشکی، تحقیقات زیست‌شناسی و کنترل کیفیت مواد غذایی استفاده می‌شوند. آن‌ها در طیف وسیعی از زمینه‌ها از جمله پزشکی، تشخیص و مهندسی پزشکی کاربرد دارند. PCFs نوع جدیدی از فیبر نوری هستند که دارای ساختار هندسی منظم از حفره‌های هوا در هسته خود هستند. این ساختار هندسی به PCFs اجازه می‌دهد تا ویژگی‌های اپتیکی منحصر به فردی داشته باشند که در فیبرهای نوری معمولی یافت نمی‌شود [2].

7. تاریخچه

فیبرهای کریستال فوتونی به عنوان یک فناوری نوظهور در حوزه نور بیومدیکال مطرح شده‌اند. در سال‌های اخیر، پژوهش‌های فراوانی در زمینه ساخت و کاربرد این فیبرها انجام شده است [3]. ابتدا استفاده از فیبرهای کریستال فوتونی در علوم دیگر مانند فیزیک و الکترونیک مورد بررسی قرار گرفت و سپس توانست وارد حوزه پزشکی و مهندسی پزشکی شود. پیشرفت‌های بزرگی در زمینه کاربردهای بالینی این فناوری به دست آمده است. فیبرهای کریستال فوتونی در دهه‌های اخیر با تلاش‌های پژوهشی بسیار به وجود آمده‌اند. این ساختارهای نانومتری ابتدا در علوم فیزیک و نورشناسی مورد استفاده قرار گرفته و سپس به سرعت وارد حوزه‌های دیگر شده‌اند [3-1].

8. کاربرد در علوم دیگر

فیبرهای کریستال فوتونی در علوم دیگر نیز کاربردهای متنوعی دارند. در فیزیک این فیبرها برای انتقال اطلاعات نوری با حساسیت بالا و دقت بالا استفاده می‌شوند. همچنین، در الکترونیک فیبرهای کریستال فوتونی به عنوان اجزایی از سیستم‌های ارتباطی نوری استفاده می‌شوند. این فیبرها همچنین در علوم مواد و نانوتکنولوژی، نانوالکترونیک، فوتونیک کوانتومی و حتی حوزه مواد هوشمند اشاره کرد. PCFs در زمینه‌های مختلفی از جمله علم مواد، شیمی و مهندسی برق، مخابرات، لیزر، حسگرها و تصویربرداری کاربرد دارند [5].

9. کاربرد در پزشکی و مهندسی پزشکی

استفاده از فیبرهای کریستال فوتونی در پزشکی و مهندسی پزشکی امکاناتی جدید در تشخیص و درمان بیماری‌ها ایجاد کرده است. این فیبرها به عنوان ابزارهایی برای تصویربرداری پزشکی مورد استفاده قرار می‌گیرند [6]. آن‌ها می‌توانند اطلاعات نوری را به صورت دقیق و با وضوح بالا از بدن بیمار جمع‌آوری کنند و تصاویر با کیفیتی بالا ارائه دهند. همچنین این فیبرها می‌توانند در روش‌های تشخیصی مانند سیگنال‌دهی نوری و تشدید سطحی نوری به کار روند. در پزشکی فیبرهای کریستال فوتونی به عنوان ابزاری برای تصویربرداری پزشکی پیشرفته و درمان‌های نوری نوین به‌کار می‌روند. این فیبرها در انتقال نور به مناطق داخلی بدن برای تشخیص و درمان بیماری‌ها به‌کار می‌روند [6و7].

برخی از کاربردهای PCFs در پزشکی و مهندسی پزشکی عبارتند از:

- تشخیص بیماری: PCFs می‌توانند برای تشخیص بیماری‌ها مانند سرطان و دیابت با استفاده از حسگرهای زیستی مبتنی بر PCF استفاده شوند (تشخیص زودهنگام بیماری‌ها، تشخیص بیماری‌های مختلف، مانند سرطان و دیابت) [4].
- نظارت بر سلامت: PCFs می‌توانند برای نظارت بر سلامت بیمار مانند سطح گلوکز خون و فشار خون با استفاده از حسگرهای زیستی مبتنی بر PCF استفاده شوند (رصد و پایش بیمار) [3].
- مهندسی بافت: PCFs می‌توانند برای مهندسی بافت مانند ساخت ساختار و داربست‌های مهندسی بافت با استفاده از چاپ سه بعدی PCF استفاده شوند [8].
- دارورسانی هدفمند
- پایش سلامت بیمار
- تصویربرداری پزشکی
- دارورسانی

10. مزایا

استفاده از فیبرهای کریستال فوتونی در بیوسنورها دارای مزایا ویژه‌ای است. در ادامه به برخی از این مزایا اشاره می‌کنیم:

1 .حساسیت بالا: فیبرهای کریستال فوتونی به دلیل ساختار کریستالی خود، حساسیت بالایی در انتقال اطلاعات نوری دارند. این حساسیت به معنای تشخیص دقیق و قابل اعتماد برای تغییرات کوچک در نور است، که در پزشکی و تشخیص بیماری‌ها اهمیت بالایی دارد [9].

2 .انتقال دقیق اطلاعات: فیبرهای کریستال فوتونی قابلیت انتقال دقیق و صحیح اطلاعات نوری را دارند. این امر منجر به تصاویر با کیفیت بالا و وضوح بیشتری در تصویربرداری پزشکی می‌شود.

3 .انطباق با بافت بیولوژیک: فیبرهای کریستال فوتونی می‌توانند به خوبی با بافت بیولوژیک تعامل کنند. این به معنای قابلیت استفاده از آن‌ها در داخل بدن بیماران است به ویژه در روش‌های تشخیصی و درمانی داخلی.

4 .انتقال بی‌دردسر نور: استفاده از فیبرهای کریستال فوتونی به دلیل انتقال دقیق و بی‌دردسر نور، از روش‌هایی است که بیماران را با کمترین ناراحتی و درد درمان می‌کند [10].

5 .قابلیت چندکاره: فیبرهای کریستال فوتونی قابلیت انجام چندین کار را همزمان دارند. در این راستا می‌توانند به عنوان سنسورهای نوری برای اندازه‌گیری پارامترهای بیولوژیکی، ابزارهای تصویربرداری پزشکی و همچنین برای تحریک بافت‌ها در روش‌های درمانی استفاده شوند.

- حساسیت بالا
- وضوح طیفی
- قابلیت تشخیص چندگانه
- اندازه کوچک
- قابلیت انعطاف‌پذیری
- هزینه کم

11. معایب

علاوه بر مزایا، استفاده از فیبرهای کریستال فوتونی در بیوسنورها نیز معایبی را به همراه دارد. در ادامه به برخی از این معایب اشاره می‌کنیم [11و12].

1 .هزینه: فیبرهای کریستال فوتونی از جمله فناوری‌های پیشرفته هستند و تولید و استفاده از آنها هزینه‌بر است. این موضوع می‌تواند محدودیتی برای استفاده گسترده از این فیبرها در برخی از کاربردها ایجاد کند.

2.اعتمادسازی و استانداردسازی: استفاده از فیبرهای کریستال فوتونی در بیوسنورها هنوز در مراحل ابتدایی قرار دارد و نیاز به اعتمادسازی و استانداردسازی بیشتری دارد. این امر می‌تواند به دلیل عدم اطمینان درباره کارایی و ایمنی آن‌ها مانع انتشار گسترده‌تر این فناوری شود.

3 .مشکلات انتقال: در برخی موارد انتقال نور در فیبرهای کریستال فوتونی ممکن است با مشکلاتی مواجه شود. مثلاً از دست دادن قدرت نوری در طول مسیر یا تداخل با نویز و سایر اشکال در انتقال نور می‌تواند این مشکلات باشند.

4 .محدودیت‌های فیزیکی: فیبرهای کریستال فوتونی ممکن است محدودیت‌هایی در مقاومت فیزیکی داشته باشند. این معضل می‌تواند تأثیری در کارایی و عمر مفید بیوسنورها داشته باشد.

5 .توسعه فناوری: فناوری فیبرهای کریستال فوتونی هنوز در مراحل پژوهشی است و نیاز به توسعه و بهبود بیشتر دارد. این مسئله ممکن است باعث تأخیر در گسترش و استفاده گسترده‌تر از آن در صنایع مختلف شود. به طور کلی، استفاده از فیبرهای کریستال فوتونی

در بیوسنورها با مزایا و معایب خاص خود همراه است. با توسعه و بهبود فناوری، امیدواریم که این معایب کاهش یابد و بتوانیم از این فناوری برای کاربردهای پزشکی و سایر حوزه‌ها بهره‌برداری کنیم.

6 .مشکلات تولید: تولید فیبرهای کریستال فوتونی به دلیل پیچیدگی فرایند و نیاز به تکنولوژی پیشرفته ممکن است با مشکلاتی همراه باشد. این شامل هزینه بالا، نیاز به تجهیزات پیچیده و مواد خاص و مشکلات کنترل کیفیت تولید است.

7 .محدودیت در خاصیت انعطاف‌پذیری: فیبرهای کریستال فوتونی به دلیل ساختار خاص خود، انعطاف‌پذیری کمتری نسبت به برخی سایر فیبرها دارند. این محدودیت ممکن است در برخی کاربردها مانند مناطق منحنی، انحنا و تغییر جهت مناسب نباشد.

8 .تداخل نوری: استفاده از فیبرهای کریستال فوتونی در سیستم‌های پرنوری ممکن است با تداخل نوری همراه باشد. این مشکل می‌تواند منجر به از دست دادن انتقال دقیق اطلاعات یا تداخل در تصاویر تشخیصی شود.

- پیچیدگی ساخت
- شکنندگی، تردی
- عدم تطابق با سیستم‌های موجود
- پیچیدگی ساخت
- هزینه بالا در PCFs به دلیل پیچیدگی ساخت، گران‌تر از فیبرهای نوری معمولی هستند.
- تلفات نوری PCFs به دلیل پراکندگی نور مهندسی شده تلفات نوری بیشتری نسبت به فیبرهای نوری معمولی دارند.
- پیچیدگی ساخت: ساخت PCFs پیچیده‌تر از ساخت فیبرهای نوری معمولی است.

12. پیشنهادات

با توجه به معایب و چالش‌های موجود در استفاده از فیبرهای کریستال فوتونی در بیوسنورها پیشنهاد می‌شود:

1. تحقیقات و توسعه بیشتر: برای حل مشکلات و بهبود عملکرد فیبرهای کریستال فوتونی در بیوسنورها نیاز به تحقیقات و توسعه بیشتر در این زمینه وجود دارد. این اقدامات می‌توانند به بهبود کیفیت و کارایی فیبرها و همچنین کاهش هزینه‌ها منجر شوند [9].

2. همکاری صنعت و دانشگاه: برای تسریع فرآیند تحقیقات و توسعه همکاری بین صنعت و دانشگاه‌ها بسیار اهمیت دارد. این همکاری می‌تواند به اشتراک گذاری دانش و تجارب، استفاده از تجهیزات پیشرفته و تسهیل انتقال فناوری کمک کند [7].

3. استانداردها و مقررات: تعیین استانداردها و مقررات دقیق برای استفاده از فیبرهای کریستال فوتونی در بیوسنورها اهمیت دارد. این اقدام می‌تواند به اطمینان بخشیدن درباره کیفیت، ایمنی و عملکرد این فیبرها کمک کند.

13. نتیجه‌گیری

استفاده از فیبرهای کریستال فوتونی در بیوسنورها با مزایا و معایب خاصی همراه است. این فیبرها به دلیل خواص منحصر به فردشان مانند عدم تداخل الکترومغناطیسی، انعطاف‌پذیری در طول موج و قابلیت راه‌اندازی حالت‌های نوری مختلف برای کاربردهای حسگری در بیوسنورها بسیار مناسب هستند. آن‌ها قادر به تشخیص و اندازه‌گیری تغییرات فیزیکی و شیمیایی در محیط‌های زیستی هستند. با این حال استفاده از فیبرهای کریستال فوتونی نیز با مشکلاتی همراه است از جمله مشکلات تولید، محدودیت در انعطاف‌پذیری و تداخل نوری. با وجود برخی معایب PCF ها پتانسیل زیادی برای کاربرد در بیوسنسورها دارند. تحقیقات بیشتر در زمینه ساخت و کاربرد PCF ها می‌تواند منجر به توسعه بیوسنسورهای جدید و کارآمدتر برای تشخیص و درمان بیماری‌ها شود.

14. مراجع

[1] Li, M., Zhang, Y., & Li, F. (2019). Photonic crystal fiber sensors: A review. Sensors, 19(6), 1422.
[2] Canning, J., & Lancry, M. (2019). Photonic crystal fibers for sensing applications. Journal of Lightwave Technology, 37(2), 151-166.
[3] Ding, M., Wang, D., Wu, D., & Liu, T. (2020). Recent advances in photonic crystal fiber sensors and their applications. Optical Fiber Technology, 56, 102175.
[4] Sharma, A. K., & Yadav, R. (2019). Recent advances in photonic crystal fiber-based biosensors. Sensors and Actuators B: Chemical, 287, 115-132.
[5] Zhang, Y., Hu, X., Li, F., & Peng, G. D. (2018). Recent advances in photonic crystal fiber sensors and their applications. Sensors, 18(9), 2782.
[6] Yablonovitch, E. (1993). Photonic band-gap structures. Journal of the Optical Society of America B, 10(2), 283-295.
[7] Russell, P. St. J. (2003). Photonic crystal fibers. Science, 299(5605), 358-362.
[8] Li, J., & Zhang, L. (2011). Photonic crystal fiber biosensors. Sensors, 11(11), 10441-10460.
[9] Wang, P., & Wang, X. (2015). Photonic crystal fiber biosensors for medical diagnostics. Analyst, 140(15), 5001-5013.
[10] X. Wang et al., "Photonic crystal fibers for biomedical applications," Advances in Optics and Photonics, vol. 7, no. 2, 2015.
[11] Y. Zhang et al., "Applications of Photonic Crystal Fibers in Biomedical Research and Clinical Medicine," Journal of Healthcare Engineering, vol. 2017, 2017.
[12] A. M. Armani et al., "Photonic crystal resonators in silicon-based materials," Nature Materials, vol. 4, no. 3, 2005.

ارتباط با کهربا

متخصصان و مهندسین گرانقدر می‌توانند از طریق آدرس سایت مجله www.kahrobaonline.ir سایر اطلاعات مجله ازجمله نحوه ارسال مقالات جهت انتشار در نشریه و نیز فرم اشتراک مجله را دریافت کنند. همچنین به اطلاع می‌رسانیم طی توافق صورت گرفته بین پایگاه علمی سیویلیکا و مجله کهربا ازاین‌پس به مقاله برتر هر شماره یک کارت اشتراک رایگان دانلود از این پایگاه هدیه داده می‌شود.

اپلیکیشن این مجله را می‌توانید از مارکت نرم‌افزارهای موبایل (گوگل پلی) به آدرس زیر دریافت کنید.

https://play.google.com/store/apps/details?id=com.kahroba.wwwnoandishaan

ایمیل مجله kahroba@noandishaan.com پل ارتباطی ما با مهندسین و متخصصین می‌باشد، لطفاً ما را از پیشنهادها و انتقادات ارزشمند خود بهره‌مند سازید. جهت حمایت‌های مالی و معنوی از نشریه و یا معرفی محصولات خود نیز می‌توانید از طریق همین ایمیل با ما در ارتباط باشید.

Optimization of transportation routing in supply chain with 40 nodes using genetic algorithm

Alireza Mahmoodi Fard Master's student in industrial management (and universities lecturer), Department of Industrial Management, Faculty of Humanities, Shahed University, Tehran, Iran, alireza10.m10@gmail.com

Negar Mozaffar Ghadirli BSC student in Industrial Engineering, Abrar University, Tehran, Iran, negar.mozzafar@gmail.com

Abstract: During the past years, many efforts have been made to reduce the cost of transportation by using different models of the vehicle routing problem; In fact, the increase in transportation costs has encouraged many to reduce the cost of transportation associated with their profession by utilizing a vehicle routing system. In this research, the problem of transportation routing in the supply chain for 40 nodes has been investigated; The problem of routing vehicles that depart from warehouses, meet a group of customers and return to the warehouse. Each vehicle has a fixed capacity and each customer has a specific demand that must be fully satisfied. The problem consists of combining meeting selection for each customer and determining vehicle routes based on the rules of the vehicle routing problem; So that the total distance traveled by each vehicle and the total times of early and late arrivals and the total total cost are minimized.

Since the vehicle routing problem is a problem belonging to the NP-Hard class, the vehicle routing problem (VRP) is one of the complex problems belonging to the NP-Hard class, and meta-heuristic approaches are used to solve it. In this work, the genetic algorithm has been proposed to solve the vehicle routing problem and it has been tried to solve it using MATLAB software and achieve the optimal solution.

Keywords: Vehicle routing, genetic algorithm, supply chain, transportation, mathematical model, goal, optimization, MATLAB software

Implementation of a practical method in analyzing and improving power quality

Saeed Salarkheli Tehran Regional Electricity Company

s-salarkheili@trec.co.ir

Asghar Akbari forod Semnan Univercity

aakbari@semnan.ac.ir

Abstract:

The purpose of this article is to present a comprehensive strategy to analyze and improve power quality issues according to possibilities and limitations. The strategy presented in this article is based on the results of the power quality measurement project in Semnan regional electricity transmission and super distribution networks in low load and high load) so that it can be used by experts in the electricity industry while presenting a practical case. In this article, an attempt has been made to examine the challenges and issues that exist in different stages of power quality studies (monitoring, analysis and corrective measures) in a real environment, and to provide a method and algorithm for a comprehensive study of power quality with the available facilities.

Keywords:

Power quality, voltage harmonic, current harmonic

Determining the optimal strategy of production units based on market power

Maryam Ramadanian Langroudi, Seyyed Maziar Mirhosseini Moghadam, Behnam Alizadeh

Department of Electrical Engineering, Lahijan Branch

ramezanianmaryam9@gmail.com
m.mirhosseini@liau.ac.ir
behnam_alizadeh@liau.ac.ir

Abstract:
In the electric energy market, price is the most important signal for all generating units (GenCos). Each GenCo seeks a price offer that maximizes its profit. Therefore, in this article, a new educational algorithm based on the intelligentization of GenCos pricing is presented in order to learn the optimal strategy of GenCos and reach the Nash equilibrium point. In the meantime, the independent market operator (ISO) also establishes the balance by applying network restrictions. In order to investigate the effect of the adopted strategy on the state of market competition, we used the entropy coefficient index. The value of this index at the end of the work shows that GenCos have been able to increase their profits and monopolize the market more in the state without considering the permitted range of production and transmission compared to the state with the permitted range of production and transmission. The simulation results show the effectiveness of the proposed learning algorithm. The studied network is taken from the Nord Pool market.

Keywords:
Electricity market, pricing strategy, market power, payment based on price offer, Nash equilibrium

Investigating and analyzing the effects of electric arc discharge parameters on the electrical conductivity of carbon synthesized materials

Amir Shateri Bachelor of Electrical Engineering, Apadana Institute of Higher Education, Shiraz; Iran

Abstarct:

In this research and article, carbon materials were synthesized by arc discharge with different discharge parameters and analyzed. These materials are composed of soot globules with an irregular carbon structure, and there are also pieces of graphene in the material. Nevertheless, the electrical conductivity of the synthesized carbon materials is mainly determined by the contact resistance effect that appears due to the amorphous carbon covering the graphene particles. Depending on the synthesis conditions, the electrical conductivity has values in the range of 10-3 to 5.3 siemens/m. For synthesized materials containing graphene sheets with sizes larger than most carbon black globules, the electrical conductivity is determined by the content ratio of graphene sheets and carbon black globules. This material has an electrical conductivity of 33 xinmes per meter.

Keywords:

nano carbon; electrical conductivity; arc discharge; Electrical conductivity

Application of web engineering in computer

Shahram Mohammadi

Instructor of Computer Engineering Department, Isfahan Women's Technical and Vocational University

Abstract:

Web engineering is a relatively new discipline in the field of software engineering. This article describes the specific features of web applications and different web engineering methods for developing web applications. Based on the investigations carried out on the WebSys project, some suggestions related to how to develop web engineering methods are presented.

Keywords:

Application, web engineering, computer

An Overview of the Application of Photonic Crystal Fibers in Biosensors

Mehran Karimian Rizi[1] Master of Medical Engineering, Tabriz University, Iran, mehrankarimian97@ms.tabrizu.ac.ir[1]

Maryam Farivar[2] Instructor at the Technical and Vocational Education Organization of the country, Shahin Shahr, Iran, farivar.maryam@yahoo.com[2]

Abstract

Photonic crystal fibers (PCFs) are advanced technologies in the field of biomedical optics, extensively used in various scientific disciplines, including medicine and medical engineering. These fibers utilize crystal structures to guide light, enabling high sensitivity and accurate transmission of optical information for bioluminescent applications. PCFs have gained significant attention in biosensor development due to their unique optical properties, such as tunable structure and engineered dispersion. In this review, we investigate the applications of photonic crystal fibers in medicine, medical engineering, and other scientific fields. Additionally, we discuss the advantages and disadvantages of utilizing these fibers and provide suggestions to enhance future applications.

Keywords: photonic crystal fibers, bioluminescence, biosensors, biomedical optics, PCF, PCFs