

استفاده از الگوریتم ACO در طراحی شبکه‌های توزیع شعاعی

رضا روشن‌فکر^(۱) - مجتبی دوست‌فاطمه^(۲) - هادی صدوقی‌یزدی^(۱)

(۱) گروه برق - دانشگاه تربیت معلم سبزوار

(۲) کارشناس برق و الکترونیک

خلاصه: الگوریتم ACO یکی از روش‌های مناسب بهینه‌سازی در حل مسائل پیچیده برگرفته از طبیعت کولونی مورچه‌ها است. در این مقاله برای اولین بار از این الگوریتم در طراحی بهینه شبکه‌های توزیع شعاعی که در آنها مسیر تغذیه مشخص است، استفاده می‌شود. این الگوریتم ضمن ارائه میزان نفوذ هر یک از سطوح ولتاژ در شبکه مورد مطالعه، ظرفیت بهینه ترانسفورماتورها و سطح مقطع بهینه فیدرها را در هر یک از سطوح ولتاژی ارائه می‌نماید. الگوریتم فوق بر روی یک شبکه نمونه ۲۳ شینه اجرا شده و نتایج آن نشان‌دهنده برتری روش ارائه شده نسبت به روش الگوریتم PSO و الگوریتم سطح تغذیه است. نقطه قوت این الگوریتم سرعت بالا، یعنی بیشتر از ۲۴۰ برابر الگوریتم تعیین سطح تغذیه و بیش از ۱۸ برابر الگوریتم PSO و همچنین کاهش ۱۰ درصدی (بطور متوسط) قیمت نهایی در مقایسه با دیگر الگوریتم‌های موجود به سبب اضافه کردن ظرفیت ترانسفورماتورها به عنوان متغیر فضای جستجو می‌باشد.

کلمات کلیدی: الگوریتم ACO، طراحی شبکه‌های توزیع شعاعی، الگوریتم PSO، الگوریتم تعیین سطح تغذیه.

۱- مقدمه

برنامه‌ریزی و طراحی سیستم توزیع برق از جمله مسائلی است که با توجه به حجم و گستردگی متغیرها و عوامل موثر در آن بسیار پیچیده می‌باشد. ضمن اینکه نزدیکی به مصرف‌کنندگان و لزوم حفظ قابلیت اطمینان و تداوم سرویس‌دهی مناسب و همچنین حجم بالای سرمایه‌گذاری لازم در این بخش از صنعت برق بر اهمیت آن افزوده است. هدف اساسی در طراحی و برنامه‌ریزی سیستم توزیع بهینه، تحقق شرایط بهینه اقتصادی و فنی با تغییر و افزایش تقاضا می‌باشد. در [۱] تاریخچه طراحی و برنامه‌ریزی شبکه‌های توزیع بیان شده است. در [۲] طراحی شبکه توزیع با لحاظ نمودن شبکه فشار متوسط که مستقیماً بار را تغذیه می‌نماید، انجام شده است. در [۱] مسأله بهینه‌سازی شبکه توزیع بدون در نظر گرفتن شبکه فشار ضعیف و تنها برای شبکه فشار متوسط بررسی شده است. حل مسأله با روش بهینه‌سازی شاخه و کران در [۳] با در نظر گرفتن شبکه فشار متوسط ارائه شده است. مشاهده می‌شود که در این مطالعات طراحی و برنامه‌ریزی شبکه‌های توزیع تنها با لحاظ نمودن شبکه فشار متوسط انجام شده و از بررسی شبکه فشار ضعیف چشم‌پوشی شده است. همچنین طراحان سیستم توزیع با تقسیم‌بندی مسأله اصلی به زیر

مسأله‌های مینیمم‌سازی هزینه پست‌ها، فیدرهای اصلی و شاخه‌های فرعی با در نظر گرفتن مسائلی چون حد مجاز افت ولتاژ، ظرفیت باردهی فیدر و ترانسفورماتور و مداوم سرویس‌دهی و قابلیت اطمینان، سعی نموده‌اند با ارائه روش‌های مختلف، مسأله فوق را حل نمایند [۴]. در تعدادی از کارهای انجام شده، حل مسأله طراحی شبکه توزیع در هر دو شبکه فشار ضعیف و متوسط مورد توجه قرار گرفته است. در [۵] روش پیشنهادی برای شبکه فشار ضعیف، برای شبکه فشار متوسط نیز بکار برده شده است. یک روش هماهنگ شده مهندسی نیز برای طراحی هر دو سطح ولتاژ شبکه‌های توزیع در [۶] پیشنهاد شده است. در این روش طراحی شبکه توزیع در دو لایه مجزا و با استفاده از روش برنامه‌ریزی پویا انجام شده است. با این وجود در کلیه این روش‌ها، بهینه‌سازی انجام شده در هر یک از سطوح ولتاژ شبکه‌های توزیع به صورت مجزا اعمال شده است. در [۷] ابتدا توسط الگوریتم تعیین سطح تغذیه (جستجو در کل حالات ممکن طرح شبکه) بهینه‌سازی را در چند سطح ولتاژ انجام داده و سپس مسأله بهینه‌سازی مذکور را با الگوریتم PSO حل نموده است. با این وجود در این روش نیز مدت زمان اجرای الگوریتم بسیار زیاد می‌باشد. در این مقاله به دلیل هزینه بالای سرمایه‌گذاری ترانسفورماتورهای سطح ولتاژ

- دقت بالای الگوریتم در ارائه بهینه‌ترین طرح
- کاهش بطور متوسط ۱۰٪ قیمت نهایی طرح بهینه به سبب اضافه کردن ظرفیت ترانسفورماتورها به عنوان متغیر فضای جستجو

۲- ارائه تابع هزینه شبکه

تابع هزینه موردنظر در این مقاله شامل هزینه سرمایه‌گذاری فیدرها و پست‌های توزیع بعلاوه هزینه تلفات فیدرها می‌باشد. تابع هزینه فوق با انتقال هزینه‌های متغیر و ثابت تلفات در طول عمر طرح به سال ابتدایی و ترکیب آن با هزینه سرمایه‌گذاری تشکیل شده و معیاری جهت مقایسه اقتصادی طرح‌های مختلف را در اختیار قرار می‌دهد. تابع هزینه فوق با قیود فنی چون افت ولتاژ مجاز، ظرفیت حرارتی فیدرها و محدوده ظرفیت ترانسفورماتورها بهینه می‌گردد. بدین ترتیب تابع هدف مربوطه عبارت است از [۷].

$$F(t) = \sum_{i=1}^n [C_{If}(i)L(i) + C_{Lf}(i)L(i)] + \sum_{j=1}^k [C_{If}(j) + C_{Lf}(j) + C_{Lv}(j)] \quad (1)$$

$C_{If}(i)$ هزینه سرمایه‌گذاری در فیدر i ام (ریال بر کیلومتر)، $C_{Lf}(i)$ هزینه تلفات در فیدر i ام (ریال بر کیلومتر)، $L(i)$ طول فیدر i ام (کیلومتر)، n تعداد فیدرها و k تعداد ترانسفورماتورها، $C_{If}(i)$ هزینه سرمایه‌گذاری ترانسفورماتور i ام (ریال)، $C_{Lf}(i)$ و $C_{Lv}(i)$ ارزش حال هزینه تلفات ثابت و متغیر ترانسفورماتور i ام (ریال) می‌باشد. همانگونه که اشاره شد جهت مقایسه طرح‌های مختلف از روش ارزش حال هزینه‌ها استفاده شده است. بدین لحاظ با استفاده از روابط ۲ و ۳ ارزش حال هزینه تلفات فیدرها بدست آورده می‌شود.

$$C_1 = \frac{S_1^2}{V^2} R \times L \times C_E \times F_{LS} \quad (2)$$

که در آن C_1 تلفات سالیانه در سال اول (ریال)، S_1 بار پیک در سال اول (kVA)، V ولتاژ فاز به فاز، R مقاومت هادی (اهم بر کیلومتر)، L طول فیدر، C_E متوسط قیمت انرژی در سال (ریال)، F_{LS} ضریب تلفات و F_{LF} ضریب بار می‌باشد.

$$C = C_1 \left[\frac{(1+i)^t - (1+m)^t}{(i-m)(1+i)^t} \right] = \beta C_1 \quad i \neq m \quad (3)$$

$$C = C_1 \left[\frac{t}{1+i} \right] = \beta C_1 \quad i = m$$

C ارزش حال تلفات (ریال)، i نرخ بهره (/)، t عمر تجهیزات (سال) و m ترکیب نرخ رشد تلفات است که از رابطه ۴ محاسبه می‌شود.

$$m = r^2 + 2r + r^2 d + 2rd + d \quad (4)$$

که در آن r نرخ رشد بار و d نرخ رشد قیمت انرژی سالیانه (/) می‌باشد. این رابطه با استفاده از قاعده ارزش مرکب هزینه‌ها و با توجه به

میانی، این سطح ولتاژ در هیچ کدام از طرح‌های بهینه آن ظاهر نشده است. همچنین در این مقاله نوع ترانسفورماتور متغیری است که انتخاب آن تنها وابسته به توان عبوری از آن ترانسفورماتور می‌باشد.

بدلیل وجود پارامترها و متغیرهای متعدد گسسته در طراحی سیستم‌های توزیع بهینه، الگوریتم ACO می‌تواند یکی از مناسب‌ترین روش‌های پیشنهادی جهت طراحی این سیستم‌ها باشد. الگوریتم بهینه‌سازی جمعیت مورچه‌ها ACO از دسته الگوریتم‌های جستجوی متاهیوریستیک است که نسخه ابتدایی آن در سال ۱۹۹۱ توسط مارکو دوریگو تحت عنوان سیستم مورچه، AS [۸] معرفی شد. بعد از آن نسخه تصحیح شده بیشتری مانند ACS [۹]، max-min AS [۱۰] و AntQ [۱۱] ارائه شدند. این الگوریتم یکی از جالب‌ترین سیستم‌های بهینه‌سازی مورد مطالعه تاکنون می‌باشد که کاربردهایی هم در رشته‌های مهندسی یافته است. این الگوریتم با الهام از رفتار مورچه‌ها در طبیعت ایجاد شده است. چرا که قادرند با وجود کور و کم‌هوش بودن، کوتاهترین مسیر رفت و برگشت از خانه تا غذا را پیدا کنند. از جمله محاسن این الگوریتم که توجه محققان را جلب کرده است، می‌توان به پسخورد مثبت، محاسبات توزیع شده و هیوریستیک آزمند سازنده اشاره کرد [۸]. پسخورد مثبت منجر به کشف سریع جواب‌های خوب می‌شود. محاسبات توزیع شده از همگرایی زودرس و بی‌موقع جلوگیری می‌کند و هیوریستیک آزمند سازنده نیز به کشف جواب‌های قابل قبول در مراحل اولیه جستجو کمک می‌کند. این ویژگی‌های خاص در ACO باعث شده است که الگوریتمی چندمنظوره، نیرومند و قابل کنترل باشد. این الگوریتم توانایی حل انواع مسائل بهینه‌سازی متقارن مثل TSP و نامتقارن مثل ATSP [۱۲] را دارد. همچنین با تغییر کوچکی می‌تواند مسائل متفاوت‌تری مثل QAP [۱۱] یا JSCP [۸] را نیز حل کند. البته معایبی نیز دارد که از آن جمله می‌توان به داشتن پارامترهای متعدد و حساسیت الگوریتم به آنها اشاره کرد. کاربرد ابتدایی این الگوریتم در زمینه مسائل بهینه‌سازی بود. اما به مرور زمان کاربردهای متنوع دیگری نیز مطرح شد که از آن جمله می‌توان به طراحی مدارات VLSI، پخش اقتصادی بار [۱۳]، داده‌کاوی [۱۴]، طبقه‌بندی اطلاعات و کشف قوانین طبقه‌بندی [۱۵] اشاره کرد. این الگوریتم جوان با قابلیت‌های فراوان خود حتی توانسته به حوزه پردازش تصویر نیز راه پیدا کند و اخیراً کاربردهای جالبی از آن در این زمینه ارائه شده است. تقریب بهینه چندضلعی‌ها [۱۶] و بازیابی تصویر [۱۷] از این جمله‌اند.

در این مقاله توسط الگوریتم ACO براساس دیگرام شبکه حالت‌هایی که تغذیه شبکه در دو سطح ولتاژ امکان‌پذیر است، مورد بررسی قرار می‌گیرد. روش پیشنهادی در این مقاله بطور خلاصه دارای مزایا و نکات برجسته زیر است:

- سرعت بسیار بالا تا همگرا شدن الگوریتم به سمت طرح بهینه با وجود داشتن متغیرهای بیشتری نسبت به دیگر الگوریتم‌های موجود جهت بهینه‌سازی

بخش می‌شوند.

ج- قوانین حرکت بین گره‌ها:

مورچه‌ها در طی حل مسأله از گره‌ای به گره دیگر حرکت می‌کنند. حرکت مورچه‌ها از گره‌ای به گره دیگر طبق یک تابع احتمال انجام می‌شود. این تابع طبق رابطه ۷ تعریف می‌شود.

$$P_{ij}^k(t) = \frac{T_{ij}^\alpha \eta_{ij}^\beta}{\sum_l T_{il}^\alpha \eta_{il}^\beta} \quad (7)$$

که در آن $P_{ij}^k(t)$ احتمال جابجایی از گره i به گره j توسط مورچه k ام است که در زمان t در گره i قرار دارد. z و l گره‌های مجازی هستند که مورچه حق جابجایی بین آنها را دارد و در غیر این صورت $P_{ij}^k(t)$ صفر است. T_{ij} ردپای موجود در شاخه L_{ij} در زمان t و η_{ij} هزینه جابجایی از گره i به گره j ام، هیستوریک مسأله است. α و β پارامتری است که باعث بینایی مورچه‌های مصنوعی می‌شود. α و β پارامترهایی هستند که میزان اهمیت ردپا در مقابل بینایی را کنترل می‌کنند. در اینجا $\alpha = 1, \beta = 0$ در نظر گرفته شده‌اند. در واقع در این کاربرد از هیستوریک مسأله صرف نظر شده است. با این وجود باز هم تابع COST با سرعت به سوی قیمت بهینه حرکت خواهد کرد.

د- قوانین به روز کردن ردپای روی شاخه‌ها:

به روز کردن ردپای شاخه‌ها شامل دو قسمت است. یکی تبخیر ردپاهای قبلی و دیگری اضافه کردن ردپا به شاخه‌هایی که مورچه‌ها اخیراً از آن گذشته‌اند (روابط (۸) و (۹)). این گزینه می‌تواند در زمان‌های مختلفی مثل بعد از هر سیکل یا بعد از هر قدم صورت بگیرد که در این مقاله بعد از اینکه همه مورچه‌ها یک قدم برداشتند، انجام می‌شود. مقدار ردپایی است که تمام مورچه‌ها بر شاخه L_{ij} اضافه می‌کنند.

$$T_{ij}(\text{new}) = (1 - \rho) \times T_{ij}(\text{old}) + \Delta T_{ij} \quad (8)$$

$$\Delta T_{ij} = \sum_{k=1}^m \Delta T_{ij}^k \quad (9)$$

که در آن اگر مورچه k ام از L_{ij} عبور کند $\Delta T_{ij}^k = \frac{Q}{F_k}$ می‌باشد و در غیر این صورت ΔT_{ij}^k صفر است. F_k هزینه نهایی طی کردن مسیری است که مورچه k ام انتخاب کرده است. Q پارامتر ثابتی است که با توجه به حدود مقادیری که F کسب می‌کند مقادیردهی می‌گردد. m تعداد مورچه‌ها و ρ ضریب تبخیر ردپا است که مثل یک فیدبک منفی عمل کرده و کارایی الگوریتم را بالا می‌برد. (در این مقاله مقادیر زیر انتخاب شده است)

$$\rho = 0.7, m = 600, Q = 8 \times 10^7$$

ه - معیار توقف الگوریتم:

برای توقف تعداد سیکل‌های الگوریتم ملاک‌های مختلفی در نظر گرفته می‌شود. از جمله این روش‌ها، توقف پس از تعداد سیکل‌های معین و یا توقف پس از همگرا شدن مورچه‌ها به یک جواب است که در این مقاله

رابطه‌ای که تلفات با مجذور بار دارد، بدست آورده شده است. همچنین هزینه تلفات ثابت و متغیر ترانسفورماتورها با استفاده از روابط ۵ و ۶ به دست آورده می‌شوند.

$$C_{Ltf}(j) = 8760 \times \text{Loss}_{nl}(j) \times C_E \times \left[\frac{(1+i)^t - (1+d)^t}{(i-d)(1+i)^t} \right] \quad i \neq d \quad (5)$$

$$C_{Ltf}(j) = 8760 \times \text{Loss}_{nl}(j) \times C_E \times \left[\frac{t}{1+i} \right] \quad i = d$$

$$C_{Ltv}(j) = 8760 \times \text{Loss}_{Fl}(j) \times \left(\frac{P(j)}{\text{Rat}(j)} \right)^2 \times F_{LS} \times C_E \times \left[\frac{(1+i)^t - (1+m)^t}{(i-m)(1+i)^t} \right] \quad i \neq m \quad (6)$$

$$C_{Ltv}(j) = 8760 \times \text{Loss}_{Fl}(j) \times \left(\frac{P(j)}{\text{Rat}(j)} \right)^2 \times F_{LS} \times C_E \times \left[\frac{t}{1+i} \right] \quad i = m$$

که در آن $\text{Loss}_{nl}(i)$ و $\text{Loss}_{Fl}(i)$ به ترتیب تلفات بی‌باری و بارداری ترانسفورماتور i ام (کیلو وات)، $P(i)$ بار ترانسفورماتور i ام در سال اول و $\text{Rat}(i)$ ظرفیت نامی ترانسفورماتور i ام (kVA) می‌باشد. بدین ترتیب تابع هدف با توجه به قیود فنی (افت ولتاژ حد حرارتی فیدرها و ظرفیت ترانسفورماتورها) و با استفاده از هزینه ثابت و متغیر فیدرها و ترانسفورماتورها در دو سطح ولتاژ مینیمم می‌شود.

۳- الگوریتم ACO

الگوریتم ACO از نوع الگوریتم‌های تکرار شونده است. به این صورت که در هر واحد زمانی (عبور یک کولونی) همه مورچه‌ها مطابق قواعد مشخصی، از گره‌ای به گره دیگر تغییر مکان می‌دهند. پس از آنکه هر مورچه تعداد قدم‌های مشخصی برداشت، جستجوی کامل می‌شود. بعد از اتمام جستجوی همه مورچه‌ها، یک سیکل تمام می‌شود و در سیکل بعد هر مورچه جستجوی جدیدی، از نقطه آغازین دیگر انجام می‌دهد. قواعد کلی ACO که بین الگوریتم‌های مختلف مورچه عمومیت دارد به صورت زیر است [۱۱-۱۳]:

الف- تبدیل مسأله به پارامترهای عددی:

در این مرحله مسأله مورد نظر به مقادیر عددی تبدیل می‌شود. مسائلی که توسط ACO حل می‌شوند عموماً گسسته هستند که باید به صورت یک گراف در آیند. گراف‌ها از مجموعه‌ای از گره‌ها و شاخه‌ها تشکیل می‌شوند. هر گره از این گراف جزئی از مسأله است و مورچه‌ها می‌توانند بین این گره‌ها حرکت کنند.

ب- نقطه شروع اولیه برای مورچه‌ها:

برای شروع حل مسأله، مورچه‌ها بین گره‌های گراف به طور اتفاقی

از مورد دوم استفاده شده است.
۴- به کارگیری ACO جهت طراحی شبکه توزیع

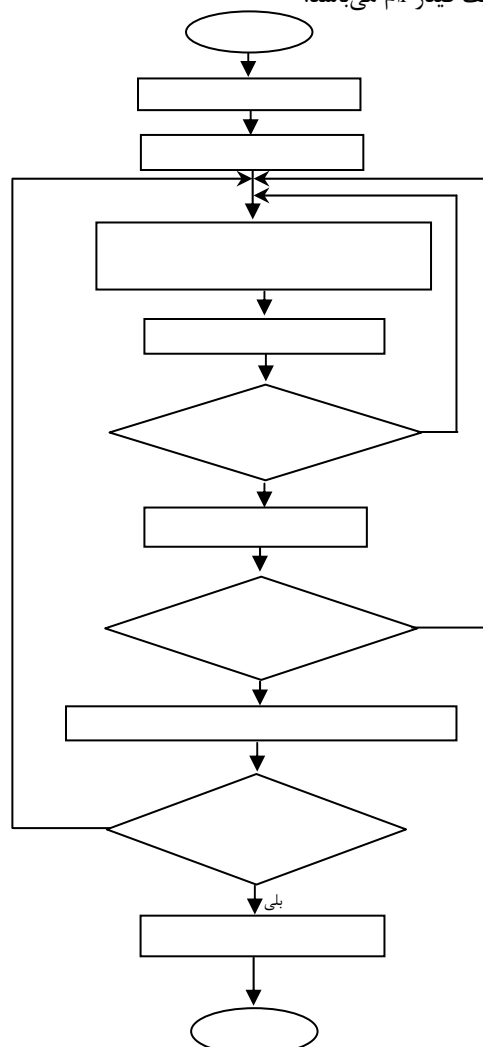
در شکل (۱) بلوک دیاگرام مربوط به نحوه بکارگیری الگوریتم ACO جهت رسیدن طرح شبکه بهینه ارائه شده است. در این روش پس از مقداردهی اولیه پارامترهای شبکه و ACO، هر مورچه جهت پیدا کردن یک طرح شبکه به کار گرفته می‌شود. مراحل انتخاب یک طرح توسط هر مورچه به شرح زیر است:

الف- جهت انتخاب سطح ولتاژ هر فیدر ابتدا سطح ولتاژ فیدر λ با احتمال $p_{low i}(t)$ (فشار ضعیف) انتخاب شده و با احتمال $p_{med i}(t)$ (فشار متوسط) در نظر گرفته می‌شود.

$$p_{low i}(t) = \frac{T_{low i}(t)}{T_{low i}(t) + T_{med i}(t)} \quad (10)$$

$$p_{med i}(t) = \frac{T_{med i}(t)}{T_{low i}(t) + T_{med i}(t)} \quad (11)$$

که در آن $T_{low i}(t)$ و $T_{med i}(t)$ به ترتیب فرمون فشار متوسط و فرمون فشار ضعیف فیدر λ می‌باشد.



شکل (۱): بلوک دیاگرام بکارگیری الگوریتم ACO جهت رسیدن به طرح بهینه شبکه توزیع شعاعی

ب- جهت انتخاب کابل برای هر سطح ولتاژ با استفاده از روابط ۱۲ و ۱۳ انجام می‌گیرد.

$$p_{cable 400 i}(t) = \frac{T_{cable 400 i}(t)}{\sum_{i=1}^n T_{cable 400 i}(t)} \quad \text{condition 1} \quad (12)$$

$$p_{cable 400 i}(t) = 0 \quad \text{otherwise}$$

Condition 1: اگر ماکسیمم جریان فیدرهای ۴۰۰ ولت از جریان مجاز کابل λ بیشتر نباشد. n تعداد کابل‌های ۴۰۰ ولت می‌باشد.

$$p_{cable 20k i}(t) = \frac{T_{cable 20k i}(t)}{\sum_{i=1}^m T_{cable 20k i}(t)} \quad \text{condition 2} \quad (13)$$

$$p_{cable 20k i}(t) = 0 \quad \text{otherwise}$$

Condition 2: اگر ماکسیمم جریان فیدرهای ۲۰ kV ولت از جریان مجاز کابل λ بیشتر نباشد. m تعداد کابل‌های ۲۰ کیلوولت است.

در این روابط $p_{cable 400 i}(t)$ احتمال انتخاب کابل ۴۰۰V λ برای سطوح ولتاژ فشار ضعیف و $p_{cable 20k i}(t)$ احتمال انتخاب کابل ۲۰ kV λ برای سطوح ولتاژ فشار متوسط در سیکل t ، $T_{cable 20k i}(t)$ و $T_{cable 400 i}(t)$ بترتیب فرمون کابل ۲۰ kV و کابل ۴۰۰ ولت λ می‌باشد.

ج- در هر طرح شبکه با توجه به سطح ولتاژ فیدرها، ترانسفورماتورها روی تعدادی از شینه‌ها قرار می‌گیرند. یک روش جهت انتخاب ظرفیت ترانسفورماتور برای هر شین که می‌بایست ترانسفورماتور در آن قرار داده شود این است که ترانسفورماتور با مینیمم ظرفیتی انتخاب شود که توان نامی آن از توان عبوری از آن بیشتر باشد. روش دیگری که در این مقاله معرفی می‌گردد اینست که انتخاب ظرفیت ترانسفورماتور نیز همانند فیدر جزء متغیرهای الگوریتم ACO بوده و به صورت احتمالاتی تعیین گردد. بدین صورت:

$$p_{trans ij}(t) = \frac{T_{trans ij}(t)}{\sum_{i=1}^k T_{trans ij}(t)} \quad \text{conditon 3} \quad (14)$$

$$p_{trans ij}(t) = 0 \quad \text{otherwise}$$

Condition 3: اگر با توجه به سطوح ولتاژ انتخاب شده برای فیدرها روی شین λ ترانسفورماتور قرار گیرد و ظرفیت ترانسفورماتور λ کمتر از توان عبوری از آن نباشد. $T_{trans ij}(t)$ فرمون ترانسفورماتور λ شینه λ و k تعداد ترانسفورماتورها موجود با ظرفیت‌های مختلف می‌باشد.

این نوع انتخاب سبب کاهش قابل ملاحظه قیمت نهایی بهینه طرح شبکه می‌گردد (بطور متوسط کاهش ۱۰٪). دلیل این میزان کاهش قیمت این است که اگرچه امکان انتخاب ترانسفورماتور با ظرفیت بالاتر

داده شده است. مشخصات فنی تجهیزات در سطوح ولتاژ فشار متوسط و فشار ضعیف نیز در جدول پیوست (الف) موجود می‌باشند. دیگر اطلاعات موردنیاز که در این تحلیل‌ها به عنوان پیش‌فرض در نظر گرفته شده است در جدول (۱) آمده است.

جدول (۱): اطلاعات پیش فرض استفاده شده در تحلیل‌ها

پیش فرض	پارامترهای شبکه
۲۰۰	قیمت انرژی در شینه ورودی (ریال بر کیلووات ساعت)
۱۰	نرخ رشد قیمت انرژی (%)
۳	نرخ رشد بار (%)
۶۰	ضریب بار (%)
۱۰	نرخ بهره (%)
۲۰	عمر مفید طرح (سال)
۰/۹	ضریب توان بارها

الگوریتم ACO بر روی شبکه نمونه و با در نظر گرفتن مقادیر پیش‌فرض بیان شده در جدول ۱ همچنین با بکارگیری تغییراتی برای این مقادیر (رشد بار ۰/۶٪، ۰/۹٪، ۰/۱۲٪)، (عمر مفید طرح ۱۰ سال، ۱۵ سال، ۲۰ سال و ۲۵ سال)، (قیمت انرژی ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ ریال بر کیلو وات ساعت) و با در نظر گرفتن ۲۳ متغیر مربوط به سطح ولتاژ در بخش‌های مختلف فیدر شبکه نمونه، ۲ متغیر جهت انتخاب سطح مقطع فیدرها و ۲۳ متغیر جهت انتخاب ظرفیت ترانسفورماتور برای هر شین شبکه پیاده‌سازی شده است. نتایج حاصل از اجرای الگوریتم برای مقادیر مختلف پارامترهای Q و p و تعداد اعضای هر سیکل (m) مورد بررسی قرار گرفت و ملاحظه شد پاسخ‌های به دست آمده برای مقادیر $Q = 8 \times 10^7$ و $p = 0.7$ و $m = 600$ دارای بهینه‌ترین جواب و همچنین سرعت بالاتر در رسیدن به پاسخ بهینه می‌باشند. در جدول (۲) درصد همگرا شدن الگوریتم ACO به طرح بهینه در ۱۵۰ بار اجرای مجزای الگوریتم، مدت زمان رسیدن به طرح بهینه در هر بار اجرای الگوریتم، همچنین هزینه نهایی طرح بهینه شبکه نمونه برای چهار حالت مختلف ارائه شده است. لازم به ذکر است که سخت‌افزار مورد استفاده جهت اجرای این الگوریتم AMD ۲۲۰۰ گیگاهرتز همراه با ۲۵۶ RAM مگابایت می‌باشد.

این نتایج در حالی به دست آمده است که در دو الگوریتم تعیین سطح تغذیه و الگوریتم PSO [۱۲] اولاً مدت زمان اجرای الگوریتم برای رسیدن به طرح بهینه شبکه نمونه مورد مطالعه و مقادیر پیش‌فرض مطابق با جدول ۱ به ترتیب در اولی ۳/۵ ساعت و در دومی ۱۵ دقیقه می‌باشد با سخت‌افزار پنتیوم ۴ با سرعت ۲/۴ گیگاهرتز و RAM ۲۵۶ مگابایت). ثانیاً به دلیل اینکه انتخاب ظرفیت ترانسفورماتور تنها با در نظر گرفتن توان عبوری آن است، قیمت طرح بهینه این دو الگوریتم نسبت به طرح ارائه شده جدول (۳) در این مقاله حدوداً ۱۲٪ بیشتر می‌باشد. البته بسته به نوع انتخاب مقادیر شبکه (رشد بار، طول عمر

از توان عبوری از آن امکان افزایش هزینه سرمایه‌گذاری را به وجود می‌آورد، اما از طرف دیگر بدلیل تلفات کمتر این ترانسفورماتور ایجاد این امکان در شبکه نهایتاً می‌تواند منجر به کاهش هزینه نهایی طرح شبکه گردد. نکته دیگری که باید به آن اشاره شود این است که اگر توان عبوری یک ترانسفورماتور بر روی شینه‌ای که به سبب توپولوژی یک طرح شبکه می‌بایست روی آن قرار گیرد از ظرفیت کل ترانسفورماتورهای موجود بیشتر باشد، احتمال انتخاب همه ترانسفورماتورها صفر شده و لذا توپولوژی شبکه قابل قبول نبوده و مراحل از اول تکرار می‌شوند. این قضیه برای انتخاب کابل‌ها نیز صادق است.

د- در انتها می‌بایست در هر شاخه شبکه با توجه به نوع کابل‌ها و ترانسفورماتورهای موجود در آن شاخه، میزان افت ولتاژ طرح محاسبه گردد. حال اگر در هر یک از شاخه‌ها میزان افت ولتاژ از افت ولتاژ مجاز بیشتر شود طرح موجود قابل قبول نبوده و انتخاب طرح شبکه توسط مورچه مجدداً از مرحله اول تکرار می‌گردد. بدین ترتیب انتخاب یک طرح توسط یک مورچه به پایان می‌رسد.

همانگونه که قبلاً بیان شد در هر سیکل یک کولونی m تایی از مورچه‌ها جهت انتخاب m طرح شبکه به کار گرفته می‌شوند که در انتهای هر سیکل می‌بایست با توجه به ردپای مورچه‌ها در آن سیکل به روزرسانی شوند.

$$T(t+1) = T(t) + \Delta T(t) \quad (15)$$

که در آن

$$\Delta T(t) = \sum_{k=1}^m \Delta T^k(t) \quad (16)$$

و اگر مورچه k ام پارامتر مربوط به این فرمون را انتخاب کرده باشد، $\Delta T^k(t) = Q/COST_k$ و در غیر این صورت $\Delta T^k(t) = 0$ است. اکنون می‌بایست فرمون‌ها تبخیر شوند.

$$T(t+1) = \rho \times T(t+1) \quad (17)$$

در این روابط $COST_k$ هزینه نهایی طرحی از شبکه است که مورچه k ام به وجود آورده است و ρ ضریب تبخیر می‌باشد. در پایان هر سیکل (دوره) اگر شرط توقف الگوریتم برقرار شده باشد، الگوریتم متوقف شده و طرح شبکه با مینیمم هزینه ایجاد شده ارائه می‌گردد. در اینجا شرط توقف الگوریتم برابر است با

$$\text{Mean}(COST_k(t+1)) = \text{Mean}(COST_k(t)) \quad (18)$$

که در آن $\text{Mean}(COST_k(t))$ برابر با میانگین هزینه نهایی بدست آمده طرح‌های ارائه شده توسط کل مورچه‌های دوره t ام می‌باشد. در واقع با برقراری این شرط می‌توان گفت کل مورچه‌ها به یک طرح یکسان همگرا شده‌اند.

۵- نتایج تجربی

دیگرام تکخطی شبکه نمونه مورد مطالعه در شکل پیوست (الف) نشان

مفید طرح و قیمت انرژی) این درصد تغییر خواهد کرد.

جدول (۴): هزینه طرح بهینه به ازای مقادیر مختلف رشد بار برای دو روش مختلف انتخاب ترانسفورماتور

رشد بار (%)	هزینه طرح شبکه نمونه (حالت ۱) میلیون ریال	هزینه طرح شبکه نمونه (حالت ۲) میلیون ریال
۰	۱۷۴,۸۵	۱۹۲,۳۸
۳	۲۱۹,۰۱	۲۴۶,۲
۶	۳۰۵,۰۱	۳۶۰,۲۷
۹	۴۷۸,۴۵	۵۰۹,۶۱
۱۲	۶۶۵,۲	۶۶۵,۲

جدول (۵): هزینه طرح بهینه به ازای مقادیر مختلف طول عمر برای دو روش مختلف انتخاب ترانسفورماتور

عمر مفید (سال)	هزینه طرح شبکه نمونه (حالت ۱) میلیون ریال	هزینه طرح شبکه نمونه (حالت ۲) میلیون ریال
۱۰	۱۴۹,۹۹	۱۸۹,۴۷
۱۵	۱۹۰,۸۵	۲۱۸,۵۲
۲۰	۲۱۹,۰۱	۲۴۶,۲
۲۵	۲۵۳,۴۹	۳۰۰,۱۹

جدول (۶): هزینه طرح بهینه به ازای مقادیر مختلف قیمت انرژی برای دو روش مختلف انتخاب ترانسفورماتور

قیمت انرژی (ریال)	هزینه طرح شبکه نمونه (حالت ۱) میلیون ریال	هزینه طرح شبکه نمونه (حالت ۲) میلیون ریال
۱۰۰	۱۷۸,۴۵	۲۰۳,۳
۲۰	۲۱۹,۰۱	۲۴۶,۲
۴۰۰	۳۰۰,۱۴	۳۳۱,۹۸

۵- نتیجه گیری

الگوریتم ACO از جمله الگوریتم‌های بهینه‌سازی تکاملی است که از رفتار مورچه‌ها در طبیعت الهام گرفته است. در این مقاله با توسعه کاربردهای این الگوریتم، روش جدیدی جهت طراحی شبکه‌های توزیع شعاعی که در آنها مسیر تغذیه تقریباً مشخص است، ارائه گردیده است. مقایسه روش پیشنهادی در این مقاله با سایر روش‌های موجود از جمله الگوریتم تعیین سطح تغذیه و الگوریتم PSO نشان از برتری کامل این الگوریتم دارد. چرا که دارای سه فاکتور مهم سرعت در اجرا، دقت در ارائه بهینه طرح و کاهش به طور متوسط ۱۰٪ هزینه طرح بهینه آن که به سبب اضافه کردن ظرفیت ترانسفورماتور به فضای جستجوی الگوریتم ایجاد شده است، می‌باشد.

جدول (۲): مقایسه نتایج ۴ حالت مختلف

مدت زمان	درصد همگرا شدن الگوریتم ACO به پاسخ بهینه	قیمت طرح بهینه (میلیون ریال)	حالات مورد مطالعه
۳۰ تا ۵۰ ثانیه	٪۹۸	۲۱۹,۰۱	حالت الف
۳۰ تا ۵۰ ثانیه	٪۱۰۰	۶۶۵,۲	حالت ب
۳۰ تا ۵۰ ثانیه	٪۹۹/۳	۳۰۰,۱۴	حالت ج
۳۰ تا ۵۰ ثانیه	٪۹۸/۶	۲۵۳,۵۰	حالت د

حالت الف: اعمال مقادیر پیش فرض جدول (۱)

حالت ب: رشد بار ۱۲٪ همراه با مابقی مقادیر پیش فرض جدول (۱)

حالت ج: قیمت انرژی ۴۰۰ ریال بر کیلووات ساعت همراه با مابقی مقادیر پیش فرض جدول (۱)

حالت د: عمر مفید ۲۵ سال همراه با مابقی مقادیر پیش فرض جدول (۱)

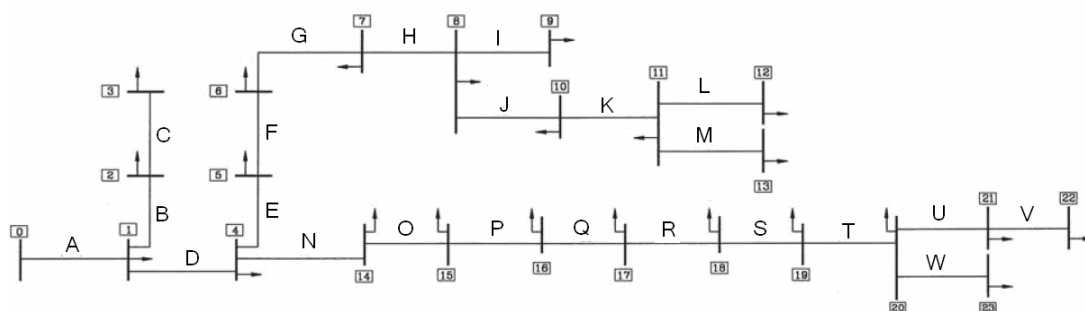
جدول (۳): مقایسه نتایج الگوریتم ACO با الگوریتم سطح تغذیه و الگوریتم PSO

سطح تغذیه	قیمت طرح بهینه (میلیون ریال)	
	ACO	PSO
۲۴۶,۱۹	۲۱۹,۰۱	۲۵۱,۷۴
۶۶۵,۹۷	۶۶۵,۲	۶۶۵,۹۷
۳۳۱,۹۸	۳۰۰,۱۴	۳۳۱,۹۸
۳۰۰,۱۹	۲۵۳,۵۰	۳۰۰,۱۹

در جدول‌های ۴ و ۵ و ۶ نتایج حاصل طرح بهینه ایجاد شده به ترتیب برای رشد بارهای ۰ و ۳ و ۶ و ۹ و ۱۲ درصد، قیمت انرژی در شینه ورودی ۱۰۰ و ۲۰۰ و ۴۰۰ ریال بر کیلووات ساعت و طول عمر مفید تجهیزات ۱۰ و ۱۵ و ۲۰ و ۲۵ سال، برای دو حالت ارائه شده است. در حالت اول، انتخاب ترانسفورماتور توسط الگوریتم ACO انجام می‌گیرد و در حالت دوم، انتخاب ترانسفورماتور تنها با در نظر گرفتن عبوری از آن صورت می‌پذیرد.

جدول (الف): اطلاعات فنی و هزینه‌های تجهیزات استفاده شده

هزینه سرمایه‌گذاری (ریال بر واحد)	راکتانس (Ω/Km)	مقاومت (Ω/Km)	ظرفیت (A)	سطح مقطع (mm^2)	نوع تجهیز
۵۳,۰۰۰,۰۰۰	۰/۳۲۳	۱/۱۳۹	۱۲۵	۱۶	خطوط فشار ضعیف (هادی مسی)
۶۱,۰۰۰,۰۰۰	۰/۳۱۷	۰/۷۴۶	۱۶۰	۲۵	
۷۰,۰۰۰,۰۰۰	۰/۳۰۶	۰/۵۲۶	۲۰۰	۳۵	
۸۴,۰۰۰,۰۰۰	۰/۲۹۴	۰/۳۶۶	۲۵۰	۵۰	
۱۰۰,۰۰۰,۰۰۰	۰/۲۶۵	۰/۲۹۹	۳۱۰	۷۰	
۴۸,۰۰۰,۰۰۰	۰/۲۸۳۵	۰/۷۸۲۲	۹۳	فاکس	خطوط فشار متوسط (هادی هوایی)
۵۳,۰۰۰,۰۰۰	۰/۲۶۶۴	۰/۴۵۴۵	۱۰۳	مینک	
۶۲,۰۰۰,۰۰۰	۰/۲۴۶۴	۰/۲۷۱۲	۱۵۵	هاینا	
۶۰,۰۰۰,۰۰۰	۰/۲۴۶۴	۰/۲۷۳۳	۱۵۳	داگ	
۱۷۰,۰۰۰,۰۰۰	۰/۱۵۶	۰/۶۴۱	۱۷۵	۳×۵۰	خطوط فشار متوسط (کابل آلومینیومی هوایی)
۲۰۰,۰۰۰,۰۰۰	۰/۱۴۵	۰/۴۴۳	۱۹۵	۳×۷۰	
۲۲۰,۰۰۰,۰۰۰	۰/۱۳۷	۰/۳۲	۲۳۰	۳×۹۵	
۲۵۰,۰۰۰,۰۰۰	۰/۱۳۶	۰/۲۵۳	۲۷۰	۳×۱۲۰	
۲۸۰,۰۰۰,۰۰۰	۰/۱۳۱	۰/۲۰۶	۳۰۰	۳×۱۵۰	
۳۱۵,۰۰۰,۰۰۰	۰/۱۲۷	۰/۱۶۴	۳۴۵	۳×۱۸۵	
۲۰۰,۰۰۰,۰۰۰	۰/۱۱۶۲	۰/۳۸۷	۱۷۵	۳×۵۰	خطوط فشار متوسط (کابل مسی زمینی)
۲۴۵,۰۰۰,۰۰۰	۰/۱۱	۰/۲۶۸	۲۱۰	۳×۷۰	
۲۷۰,۰۰۰,۰۰۰	۰/۱۰۳۷	۰/۱۹۳	۲۵۰	۳×۹۵	
۳۱۵,۰۰۰,۰۰۰	۰/۱۰۰۵	۰/۱۵۳	۲۸۵	۳×۱۲۰	
۳۶۵,۰۰۰,۰۰۰	۰/۰۹۷۴	۰/۱۲۴	۳۱۵	۳×۱۵۰	
۳۹۵,۰۰۰,۰۰۰	۰/۰۹۴۲	۰/۰۹۹۱	۳۵۵	۳×۱۸۵	
۴۹۰,۰۰۰,۰۰۰	۰/۰۹۱۱	۰/۰۷۵۴	۴۱۰	۳×۲۴۰	
۲۲,۰۰۰,۰۰۰	۰/۰۲۶۵	۰/۰۳	۲۵	-	ترانسفورماتور ۲۰ kV / ۴۰۰ V
۲۴,۰۰۰,۰۰۰	۰/۰۳۱۲	۰/۰۲۵	۵۰	-	
۲۸,۰۰۰,۰۰۰	۰/۰۳۳۷	۰/۰۲۱۵	۱۰۰	-	
۲۹,۰۰۰,۰۰۰	۰/۰۳۴۶	۰/۰۲	۱۲۵	-	
۳۱,۰۰۰,۰۰۰	۰/۰۳۵	۰/۰۱۹۴	۱۶۰	-	
۳۳,۰۰۰,۰۰۰	۰/۰۳۵۷	۰/۰۱۸	۲۰۰	-	
۳۴,۰۰۰,۰۰۰	۰/۰۵۷۳	۰/۰۱۷۸	۲۵۰	-	
۳۸,۰۰۰,۰۰۰	۰/۰۵۷۵	۰/۰۱۷۱	۳۱۵	-	
۴۱,۰۰۰,۰۰۰	۰/۰۵۷۸	۰/۰۱۶۱	۴۰۰	-	



شکل (الف): دیاگرام تک خطی شبکه نمونه مورد مطالعه

مراجع

- [1] R. Sempertegui, "Models and procedures for electric energy distribution planning: A review", IFAC Triennial World Conference, Barcelona, Spain, 2002.
- [2] S.K.Khator, L.C.Leung, "Power distribution planning: A review of models and issues", IEEE Trans. on Power Sys., Vol.12, No. 3, pp.1151-1159, Aug. 1997.
- [3] J.Boardman, C.Meckiff, "A branch and bound formulation to electricity distribution planning problems", IEEE Trans. On Pow. Appli., Vol.104, No.8, pp.2112-2118, Aug. 1985.
- [4] S.Mandal, A.Pahwa, "Optimal selection of conductors for distribution feeders", IEEE Transaction on Power Sys., Vol.17, No.1, Feb. 2002.
- [5] H.M.Khodr, "A model for the optimization of secondary distribution networks using hybrid algorithms", Regional Meeting CIGRE, Paraguay, May 1999.
- [6] M.R.Ganjavi, "Coordinated comprehensive design of distribution systems at medium and low voltage levels", ICED, Vol. 5, June 2001.
- [7] رضا روشن فکر، حسن سیاهکلی، "طراحی شبکه توزیع در چند سطح ولتاژ با استفاده از الگوریتم‌های تعیین سطح تغذیه و PSO"، مجله انجمن مهندسين برق والکترونیک ایران، تابستان ۱۳۸۴
- [8] M.Dorigo, V.Maniezzo, A.Coloni, "The ant system: Optimization by a colony of cooperating agents", IEEE Trans. on Sys., Vol.26, No.1, pp.1-13, 1996.
- [9] M.Dorigo, L.M.Gambardella, "Ant colony system: A cooperating learning approach to the traveling salesman problem", IEEE Trans. on Evol. Comp., Vol. 1, No.1, pp.1-24, 1997.
- [10] T.Stutzle, H.Hoos, "Max-min ant system and local search for the traveling salesman problem", Proceedings of IEEE/ICEC, Technical university of Darmstadt, 1997.
- [11] M.Dorigo, L.M.Gambardella, "A study of some properties of ant-Q.", PPSN, springer-Verlag, Berlin, pp. 656-665, 1996.
- [12] L.M.Gambardella, M.Dorigo, "Solving symmetric and asymmetric TSPs by ant colonies", IEEE Conference on Evolutionary Computation, IEEE Press, pp. 622-624, 1996.
- [13] Y.H.Song, C.S.Chou, T.J.Stonham, "Combined heat and power economic dispatch by improved ant colony search algorithm", Elect. Pow. Syst. Res., Vol.52, pp. 115-121, 1999.
- [14] R.S.Parpinelli, H.S.Lopes, A.A.Freitas, "Data mining with an ant colony optimization algorithm", IEEE Trans. on Evo. Comp., Vol. 6, No. 4, August 2002.
- [15] Wu.Bin, and Shi.Zhongzhi, "A clustering algorithm based on swarm intelligence.", ICII, Beijing., Vol. 3, pp. 58-66, Oct/ Nov. 2001.
- [16] P.Y.Yin, "Ant colony search algorithms for optimal polygonal approximation of plane curves", Pattern Recognition, 2003.
- [17] F.Ramos, F.Muge, P.Pina, "Self organized data and image retrieval as a consequence of inter-dynamics synergistic relationships in artificial ant colonies", ICHIS, Vol. 87, pp.500-509, Santiago, Chile, Dec. 2002.

رزومه



- رضا روشن فکر متولد شهریور ۱۳۵۹ در سبزوار به دنیا آمد. پس از پایان دوره تحصیلات متوسطه در دبیرستان نمونه باقرالعلوم سبزوار و کسب رتبه ۷۱ کنکور سراسری سال ۱۳۷۷ در رشته مهندسی برق قدرت دانشگاه صنعتی امیرکبیر پذیرفته شد. وی پس از اخذ مدرک کارشناسی، تحصیلات خود را در مقطع کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق قدرت گرایش ماشین‌های الکتریکی دانشگاه علم و صنعت ایران در سال ۱۳۸۱ آغاز کرد و در سال ۱۳۸۳ با رتبه ممتاز فارغ‌التحصیل شد. وی از سال ۱۳۸۴ عضو هیات علمی گروه برق و کامپیوتر دانشگاه تربیت معلم سبزوار است. زمینه‌های علمی مورد علاقه ایشان شبیه‌سازی عملکرد ماشین‌های الکتریکی در شرایط گوناگون، کیفیت توان، فیلترهای اکتیو و طراحی شبکه‌های توزیع می‌باشد. تا کنون علاوه بر تدریس دروس مختلف رشته مهندسی برق، ۸ مقاله در کنفرانس‌های داخلی و خارجی، ۱ مقاله علمی و پژوهشی، ۱ مقاله ISI و ۹ طرح پژوهشی حاصل کار ایشان می‌باشد.



- مجتبی دوست فاطمه متولد سال ۱۳۶۰ شهرستان شیراز می باشد. ایشان فارغ التحصیل سال ۱۳۸۵ رشته مهندسی برق - الکترونیک در مقطع کارشناسی از دانشگاه تربیت معلم سبزوار است. تا کنون دو اختراع ثبت شده دارند و مجری و طراح چند پروژه علمی و طرح پژوهشی دانشگاهی بوده اند.



- هادی صدوقی یزدی در سال ۱۳۵۱ در شهر کاشمر به دنیا آمد. وی در سال ۱۳۷۳ از دانشگاه فردوسی مشهد در رشته مهندسی برق الکترونیک فارغ التحصیل شد. مدرک کارشناسی ارشد و دکتری خود را از دانشگاه تربیت مدرس به ترتیب در سال های ۱۳۷۵ و ۱۳۸۴ در رشته الکترونیک اخذ کرد. وی هم اکنون عضو هیات علمی گروه برق و کامپیوتر دانشگاه تربیت معلم سبزوار است. مقالات زیادی از ایشان در کنفرانس های بین المللی و مجله های معتبر علمی و پژوهشی و ISI به چاپ رسیده است. عمده فعالیت ایشان در زمینه پردازش تصویر و هوش مصنوعی است.