

Presenting a new method for mathematical modeling of academic class scheduling using fuzzy logic

Sina Ayasseh ^{1,*}

Faculty of Electrical Engineering (Electronics-Communication), Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

E-mails: sina.ayasseh@gmail.com

* Corresponding author

Abstract

Fuzzy systems have a high ability to model the human thinking and inference system. In recent years, suitable answers have been received from fuzzy logic in solving scheduling problems. One of the problems of today's universities is the allocation of classrooms at a certain time. This problem becomes more apparent with the increase in the diversity of academic fields. Scheduling university classes is one of the most widely used areas of scheduling, which is defined as the assignment of courses to time slots according to resources and considering limitations. This issue is expressed differently for each educational institution according to the special needs of that institution. In this research, after referring to the background of the research in different countries and the importance of its investigation, the definition and fuzzy modeling of the class scheduling problem has been discussed and at the end it has been implemented on the program of the Industrial Engineering Department of Shiraz University. Based on the results obtained from the software solution of the model, we have been able to obtain an accurate solution for the problem.

Keywords

resistance Operations Research; timing; periods of time; Limitations; benefits; Fuzzy modeling

ارائه روشی نو جهت مدلسازی ریاضی زمانبندی کلاس های دانشگاهی با استفاده از منطق فازی

سینا ایاسه

دانشکده مهندسی برق، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

ایمیل نویسندگان: sina.ayasseh@gmail.com

چکیده

سیستم های فازی توانایی بالایی در مدلسازی سیستم تفکر و استنتاج انسانی دارند. در سالهای اخیر از منطق فازی در حل مسائل زمانبندی پاسخ های مناسبی دریافت شده است. یکی از مشکلات امروزی دانشگاهها تخصیص کلاس درس در زمان مشخص می باشد. این مساله با افزایش تنوع رشته های دانشگاهی بیشتر بروز پیدا می کند. زمان بندی کلاس های دانشگاهی یکی از پرکاربردترین حوزه های زمان بندی است که بصورت تخصیص دروس به مقاطع زمانی با توجه به منابع و در نظر گیری محدودیت هایی تعریف می شود. این مسئله برای هر موسسه آموزشی با توجه به مطلوبیت های خاص آن موسسه متفاوت بیان می شود. در این پژوهش پس از اشاره به پیشینه پژوهش در کشورهای مختلف و اهمیت بررسی آن، به تعریف و مدلسازی فازی مسئله زمان بندی کلاس ها پرداخته شده و در پایان روی برنامه گروه مهندسی صنایع دانشگاه شیراز پیاده سازی شده است. براساس نتایج بدست آمده از حل نرم افزاری مدل توانسته ایم حل دقیقی برای مسئله بدست آوریم. **کلمات کلیدی:** تحقیق در عملیات؛ زمان بندی؛ مقاطع زمانی؛ محدودیت ها؛ مطلوبیت ها؛ مدلسازی فازی

نام نویسنده مسئول: سینا ایاسه

ایمیل نویسنده مسئول: sina.ayasseh@gmail.com

تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۲/۰۵/۰۳

تاریخ (های) اصلاح مقاله:

تاریخ پذیرش مقاله:

۱- مقدمه

هوش محاسباتی و در راس آن سیستم های فازی بصورت چشمگیری در اکثر علوم ورود کرده اند. سیستم های فازی قابلیت بالایی در تقریب توابع، درخت تصمیم گیری و ... دارند. تحقیقات بسیار زیادی در زمینه سیستم های فازی انجام شده و روش های بسیار زیادی نیز ارائه و بررسی شده است [۵-۱]. سیستم های فازی دارای چندین نوع هستند که می توان به سیستم های فازی نوع-۱ و سیستم های فازی نوع-۲، که از مهم ترین و معروف ترین انواع آن هستند، اشاره کرد [۹-۶]. همانطور که گفته شد، سیستم های فازی در زمینه های مختلفی و برای کاربردهای گوناگونی بکار می رود. تعیین جداول زمان بندی یکی از مباحث مهم تحقیق در عملیات در زمینه برنامه ریزی است که در حوزه های برنامه ریزی حرکت قطارها، چراغ های راهنمایی، مسابقات ورزشی و رویدادهایی از این قبیل بکار می رود. از آنجایی که در دانشگاه ها نیز برنامه ریزی برای از بین بردن تداخل ها و افزایش رضایت کارکنان و دانشجویان اهمیت ویژه ای دارد در این مقاله به این حیطه پرداخته می شود. طراحی جدول زمان بندی دروس دانشگاه امروزه یکی از مشکلات کارکنان آموزش دانشگاه ها می باشد. با گسترش رشته های تحصیلی و ثبت نام دانشجویان نیاز به یک برنامه که بتواند نیاز جامعه دانشگاهی کشور را برآورده نماید بیش از پیش دیده می شود. برگس و همکاران برنامه ریزی درسی دانشگاه ها و دیگر موسسات را تخصیص وظایف به منابع و نیروی انسانی تعریف می کنند [۱۰]. چون این تخصیص محدود به قوانین کلی و مقررات موسسه مزبور می شود بنابراین برنامه ریزی هر موسسه حالت خاص خود را دارد. باتوجه به پیچیدگی مسئله زمان بندی دروس دانشگاهی در حدود نیم قرن گذشته انواع زیادی از مسائل جداول زمانی پیشنهاد شده که از نظر نوع سازمان مورد نظر و قیدها و روش حل متفاوت اند.

در سال ۱۹۹۸ در زمینه زمان بندی کلاس های دبیرستانی وود مدلی غیرخطی ارائه نموده است [۱۱]. داسکالکی از جمله کسانی است که در مدل عدد صحیح کلاس درس تلاش های بسیار نموده است. وی ابتدا مسئله

زمان بندی مربوط به کلاس های دبیرستان را حل نمود [۱۲] و مدل عدد صحیح را برای مسئله زمان بندی کلاس های دانشگاهی پیشنهاد کرد و سپس آن را به صورت مطالعه موردی پیاده سازی نموده است [۱۳]. چندی بعد در ایران نیز پژوهشی با عنوان مدل عدد صحیح برای مسئله زمان بندی کلاس های دانشگاهی و مطالعه موردی در دانشگاه امیرکبیر توسط زنجیرانی فراهانی و حاجی یخچالی انجام شد [۱۴]. یک گام فراتر از آن را علیرضایی و همکاران برای بهبود این مسئله به کمک مدل سازی دومرحله ای برنامه ریزی ریاضی برداشتند [۱۵]. الیاکوب و شرالی یک مدل برنامه ریزی عدد صحیح مختلط برای این مسئله پیشنهاد دادند [۱۶]. رنجبر و رستمی با استفاده از یک مدل برنامه ریزی عدد صحیح خطی، مدلی را برای مسئله برنامه ریزی درسی دانشگاه طراحی کرده اند و در دانشکده مهندسی صنایع دانشگاه فردوسی مشهد پیاده سازی کردند [۱۷]. برگس و همکاران به صورت موردی برنامه درسی دپارتمان آمار دانشگاه UTPE را با توجه به تمایلات اساتید و قواعد کلی دپارتمان با استفاده از یک مدل برنامه ریزی فازی در مدت کوتاهی تهیه کرده اند [۱۰]. دو مدل عدد صحیح خطی توسط عبداللهی و اسماعیلیان در سال ۲۰۱۵ ارائه شده و این دو مدل در مقاله ای مقایسه شده اند [۱۸]. مقدسی رستمی نیز این مسئله را روی یک نمونه با مدل ریاضی غیرخطی مورد مطالعه قرار داد [۱۹].

در این تحقیق سعی کرده ایم با در نظر گیری محدودیت هایی نظیر عدم تداخل دروس هم ترم و تخصیص مقطع زمانی ثابت و زوج و فرد به دروسی که واحد آن ها عددی فرد است، علاوه بر محدودیت های کلی مسئله Time Tabling کارایی پاسخ به دست آمده از مدل را بیشتر کنیم. به منظور افزایش سرعت روند برنامه ریزی در پایان، مدل با نرم افزار GAMS حل و گزارش گیری شده است.

۲- تعریف مسئله

مسئله زمان بندی کلاس های درس بصورت " فرآیند تخصیص دروس دانشگاهی به زمان های مشخص از برنامه هفتگی با در نظر گرفتن کلاس مناسب و امکانات مورد نیاز ارائه دروس " تعریف می گردد. بطور معمول اهداف مؤسسات

در سال ۱۹۹۸ در زمینه زمان بندی کلاس های دبیرستانی وود مدلی غیرخطی ارائه نموده است [۱۱]. داسکالکی از جمله کسانی است که در مدل عدد صحیح کلاس درس تلاش های بسیار نموده است. وی ابتدا مسئله

اختصاص داده شود مقدار یک می‌گیرد.

متغیر کمکی YY_{ijtan} نیز وابسته به متغیر اصلی است و در صورتی که بازه زمانی t از روز i به درس j و کلاس a و استاد n تخصیص داده شود مقدار یک می‌گیرد.

۳-۴- محدودیت‌ها

$$\sum_{j \in A, C_{jn}=1} \sum_{k \leq V_j} \sum_{a \in R} X_{wijktan} \leq 1$$

$$\forall w \in E, i \in D, t \in P, n \in N, \quad (1)$$

$$\sum_{a \in R} \sum_{n \in N, C_{jn}=1} \sum_{k \leq V_j} X_{wijktan} + \sum_{a \in R} \sum_{n \in N, C_{jn}=1} \sum_{k \leq V_j} X_{wifktan} \leq H_{jf} + 2(1 - H_{jf})$$

$$\forall w \in E, i \in D, j \in A, f \in A, t \in P, j \neq f, \quad (2)$$

$$\sum_{j \in A} \sum_{k \in V_j} \sum_{n \in N, C_{jn}=1} X_{wijktan} \leq 1$$

$$\forall w \in E, i \in D, t \in P, a \in R, \quad (3)$$

$$\sum_{j \in A, C_{jn}=1} \sum_{k \leq V_j} \sum_{a \in R} X_{wijktan} \leq S_{itn}$$

$$\forall w \in E, i \in D, t \in P, n \in N, \quad (4)$$

$$\sum_{w \in E} \sum_{i \in D} \sum_{t \in P} \sum_{a \in R} \sum_{n \in N, C_{jn}=1} X_{wijktan} = 1$$

$$\forall j \in A, k \leq V_j, \quad (5)$$

$$\sum_{b \in AR} X_{wijktan} \leq MR$$

$$\forall w \in E, i \in D, k \leq V_j, l \in LR, t \in P, a \in R, n \in N, C_{jn} = 1, \quad (6)$$

$$\sum_{j \in A} \sum_{k \leq V_j} \sum_{t \in P} \sum_{a \in R} \sum_{n \in N, C_{jn}=1} X_{wijktan} = 0$$

$$\forall w \in E, i \in D, \quad (7)$$

$$\sum_{w \in E} \sum_{i \in D} \sum_{k \leq V_j} \sum_{t \in P} \sum_{a \in R} X_{wijktan} = V_j \times Y_{jn}$$

$$\forall j \in A, n \in N, C_{jn} = 1, \quad (8)$$

$$X_{wijktan} \leq Y_{jn}$$

$$\forall w \in E, i \in D, j \in A, k \leq V_j, t \in P, a \in R, n \in N, C_{jn} = 1, \quad (9)$$

$$\sum_{w \in E} \sum_{k \leq (\frac{V_j}{2})+1} X_{wijktan} = 2YY_{ijtan}$$

$$\forall i \in D, j \in A, t \in P, a \in R, n \in N, C_{jn} = 1, \quad (10)$$

$$X_{wij1tan} + X_{wij2tan} \leq YY_{ijtan}$$

$$\forall w \in E, i \in D, j \in A, k \leq V_j, t \in P, a \in R, n \in N, C_{jn} = 1, \quad (11)$$

در محدودیت (۱) تداخل برنامه اساتید امکان پذیر نیست به عبارتی یک استاد نمی‌تواند در یک روز و یک بازه زمانی بیش از یک درس ارائه دهد.

محدودیت (۲) اشاره دارد که دروسی که طبق چارت هم‌ترم محسوب می‌شوند نباید در یک روز و در یک بازه زمانی باشند. تداخل برنامه کلاس‌ها ممکن نیست یعنی در یک بازه زمانی بیش از یک درس در یک کلاس ارائه نشود، این موضوع توسط محدودیت (۳) انجام می‌شود.

در محدودیت (۴) زمان‌بندی برنامه دروس باید با توجه به زمان‌هایی که اساتید برای حضورشان به آموزش ارائه داده‌اند باشد. محدودیت (۵) بیان می‌کند که تمامی دروس و تمامی جلسات آن‌ها حتماً زمان‌بندی شوند. کلاس با امکانات موردنیاز درس موجود باشد که این موضوع توسط محدودیت (۶) بررسی می‌شود. محدودیت (۷) دوره‌های زمانی ممنوعه را حذف می‌کند. در محدودیت (۸) تمام جلسات یک درس به یک استاد تخصیص داده می‌شود. محدودیت (۹) به منظور تعریف متغیر کمکی برای محدودیت (۸) آورده شده است. محدودیت (۱۰) بیان می‌دارد در دو هفته هر دو جلسه از یک درس به صورت یک زمان ثابت و در کلاس ثابت برنامه‌ریزی شود و بقیه جلسات بصورت تخصیص در هفته زوج یا فرد بیان شود. محدودیت (۱۱) به منظور تعریف متغیر کمکی برای محدودیت ۱۰ آورده شده است.

آموزشی در این مسئله ارضا مؤثر محدودیت و بدست آوردن یک جواب قابل قبول می‌باشد، در ادامه به تحقیق این مسئله می‌پردازیم.

تعدادی دروس از میان چارت ترمی برای ارائه در ترم موردنظر در نظر گرفته می‌شوند. دروس هم‌ترم برای هر ورودی براساس چارت ترمی دانشجویان مشخص می‌شوند و نباید تداخل داشته باشند. همچنین، تعداد جلسات یک درس در بازه دوهفته‌ای برابر است با تعداد واحد تخصیص داده شده به درس در چارت گروه. علاوه بر این، هر استاد دارای برنامه زمانی حضور در دانشگاه و متخصص در ارائه دروس خاصی می‌باشد که باید بطور مناسب به دروس اختصاص یابد. لازم به ذکر است هر کلاس دارای امکانات مشخصی است و باید بطور مناسب به دروس براساس ویژگی‌های موردنیاز آن‌ها تخصیص یابند. قابل توجه است که بازه‌های زمانی در هر روز هستند که جلسات در آن ساعات برگزار می‌شوند.

۳- مدل برنامه‌ریزی فازی

برای حل مسئله زمان‌بندی کلاس‌های دانشگاه‌ها مدل‌های مختلفی ارائه شده است. بعضی از مدل‌های ارائه شده از مدل عدد صحیح استفاده کرده‌اند و بعضی از مدل غیرخطی. مسئله زمان‌بندی کلاس‌های دانشگاهی مطابق با ویژگی‌های هر دانشگاه متفاوت می‌باشد، با این وجود مدل‌های کلی برای مسئله زمان‌بندی کلاس‌های درس دانشگاهی ارائه شده از جمله مدل گسسته، استفاده از الگوریتم ژنتیک یا جستجوی ممنوعه و ... تاکنون بررسی شده‌اند. در ادامه یک روش مدل‌سازی فازی برای این مسئله ارائه و بررسی شده است. لازم به ذکر است که این مدل تابع هدف ندارد و به همین دلیل تابع هدف عدد ثانی همانند صفر در نظر گرفته شده است.

۳-۱- مجموعه‌های مدل

E: مجموعه هفته‌ها

A: مجموعه دروس

D: مجموعه روزهای هر هفته

K: جلسات یک درس

P: بازه‌های زمانی یک روز

R: مجموعه کلاس‌ها

LR: مجموعه دروسی که برای تدریس به دیتا نیازمند هستند.

AR: مجموعه کلاس‌های دارای دیتا پروژکتور

N: مجموعه اساتید

M: مجموعه اساتید عضو هیات علمی

k: مجموعه جلسات یک کلاس از ۱ تا عدد بزرگترین جلسه

۳-۲- مقادیر، پارامترها و جداول ورودی

MR: تعداد کلاس‌هایی که پروژکتور دارند.

Vj: تعداد جلسات درس j

Ui: بازه‌های زمانی ممنوع شده روز i

Hjf: دروس j و f هم‌ترم هستند یا خیر

Sitn: استاد n در روز i در بازه زمانی t حضور دارد یا خیر

Cjn: استاد n توانایی ارائه درس j را دارد یا خیر

۳-۳- متغیرهای مدل

متغیر باینری $X_{wijktan}$ در صورتی که مقدار یک را بگیرد بیانگر این است که جلسه k ام درس j در هفته w روز i بازه زمانی t در کلاس a و توسط استاد n ارائه می‌شود.

متغیر کمکی Y_{jn} وابسته به متغیر اصلی است و اگر درس j به استاد n

جدول ۱: خروجی نرم‌افزار برای هفته‌های فرد

هفته فرد		شنبه		یکشنبه		دوشنبه		سه‌شنبه		چهارشنبه	
مقطع زمانی	کلاس	استاد	درس	استاد	درس	استاد	درس	استاد	درس	استاد	درس
۸-۱۰	۱۰۸	W	MIS	P	ریاضی ۱	W	MIS	C	تولید	V	محاسبات
	۲۰۳	O	جبر خطی	H	احتمال	G	کنترل پروژه	G	طراحی آزمایش		
	۳۰۴/۲	P	ریاضی ۱	Q	ریاضی ۲	S	معادلات	I	بهینه سازی		
۱۰-۱۲	۱۰۸					C	اقتصاد مهندسی	O	جبر خطی	D	حسابداری
	۲۰۳	J	آمار			J	آمار	R	اقتصاد ۲		
	۳۰۴/۲	Y	فیزیک ۱					C	تولید		
۱۳:۳۰	۱۰۸			G	زمان بندی پروژه						
-	۲۰۳	I	تحقیق ۱	Y	فیزیک ۱						
۱۵:۳۰	۳۰۴/۲			Z	فیزیک ۲	G	طراحی آزمایش				
۱۵:۳۰	۱۰۸	A	تصمیم گیری	R	اقتصاد ۲	H	کنترل کیفیت	M	شبیه سازی		
-	۲۰۳	U	ارگونومی	G	زمان بندی پروژه	B	مبانی برق	E	ارزیابی کار و زمان		
۱۷:۳۰	۳۰۴/۲			U	ایمنی و بهداشت	L	روش تولید	I	تحقیق ۱	K	مدیریت
۱۷:۳۰	۱۰۸	F	موجودی	B	مبانی برق	N	نت			T	استاتیک
-	۲۰۳	N	نت	U	ایمنی و بهداشت	T	استاتیک			E	تحقیق ۲
۱۹:۳۰	۳۰۴/۲	U	ارگونومی	X	طراحی ایجاد صنایع	L	کنترل عددی	E	تحقیق ۲	A	تصمیم گیری

جدول ۲: خروجی نرم‌افزار برای هفته‌های زوج

هفته زوج		شنبه		یکشنبه		دوشنبه		سه‌شنبه		چهارشنبه	
مقطع زمانی	کلاس	استاد	درس	استاد	درس	استاد	درس	استاد	درس	استاد	درس
۸-۱۰	۱۰۸	W	MIS	P	ریاضی ۱	C	اقتصاد مهندسی	Q	ریاضی ۲	V	محاسبات
	۲۰۳	O	جبر خطی	H	احتمال	G	کنترل پروژه	G	طراحی آزمایش		
	۳۰۴/۲	S	معادلات	Q	ریاضی ۲	S	معادلات	I	بهینه سازی		
۱۰-۱۲	۱۰۸			M	شبیه سازی	C	اقتصاد مهندسی	H	کنترل کیفیت	D	حسابداری
	۲۰۳					J	آمار	R	اقتصاد ۲		
	۳۰۴/۲	Y	فیزیک ۱			D	حسابداری	C	تولید		
۱۳:۳۰	۱۰۸	Z	فیزیک ۲	G	زمان بندی پروژه	I	بهینه سازی	F	موجودی		
-	۲۰۳	I	تحقیق ۱								
۱۵:۳۰	۳۰۴/۲			Z	فیزیک ۲			G	کنترل پروژه		
۱۵:۳۰	۱۰۸					H	کنترل کیفیت	M	شبیه سازی	L	کنترل عددی
-	۲۰۳			L	روش تولید			E	ارزیابی کار و زمان		
۱۷:۳۰	۳۰۴/۲			X	طراحی ایجاد صنایع	L	روش تولید	H	احتمال	K	مدیریت
۱۷:۳۰	۱۰۸	F	موجودی	B	مبانی برق	N	نت				
-	۲۰۳			U	ایمنی و بهداشت	T	استاتیک	E	ارزیابی کار و زمان	E	تحقیق ۲
۱۹:۳۰	۳۰۴/۲	U	ارگونومی	X	طراحی ایجاد صنایع	L	کنترل عددی			A	تصمیم گیری

۴- مطالعه موردی

شده‌اند.

۵- نتیجه گیری

باتوجه به مزایای بسیاری که استفاده از سیستم های منطق فازی دارا می باشند، در این مقاله، با استفاده از یک مدل فازی، سعی شده است که یک برنامه ریزی مناسب برای زمان بندی کلاس های دانشگاهی ارائه شود. باتوجه به اینکه زمان بندی دروس دانشگاهی در ابتدای هر ترم زمان زیادی می گیرد و هزینه بر است نیاز به یک ابزار تصمیم گیری حس می شود که با دریافت ورودی ها، خروجی مدنظر را به کاربر ارائه دهد. بعد از بررسی و مدل سازی مسئله تخصیص کلاس های درسی، مشاهده می شود که این مدل، قادر به ارائه جواب دقیق برای مسئله است و با هزینه اندکی کارکنان و دانشجویان را به اهداف خود می رساند. پژوهشگر علاقمند می تواند این سیستم را با تخصیص ضریب هزینه در تابع هدف بهبود بخشد.

به منظور بررسی توانمندی مدل ارائه شده پس از نگارش مسئله در نرم افزار GAMS داده های واقعی مربوط به نیمسال دوم تحصیلی ۹۹-۹۸ گروه مهندسی صنایع دانشگاه شیراز به نرم افزار داده شده و نتایج به دست آمده در جدول ۱ و ۲ قابل مشاهده است.

مجموعه ۳۴ درس کارشناسی و کارشناسی ارشد گروه صنایع به صورت ۱ تا ۳۴ و ۲۶ استاد به صورت ۱ تا ۲۶ و کلاس های ۱۰۸ و ۲۰۳ و ۳۰۴/۲ به صورت ۱ تا ۳ به مدل داده شده اند. هر سه کلاس دارای سیستم دیتا پروژکتور هستند. استاد ۷، ۸، ۹، ۱۵، ۱۶، ۱۷ و ۱۹ عضو هیات علمی هستند. ۵ مقطع زمانی در روز وجود دارد که شامل ۸-۱۰، ۱۰-۱۲، ۱۳:۳۰-۱۵:۳۰، ۱۵:۳۰-۱۷:۳۰ و ۱۷:۳۰-۱۹:۳۰ می باشند. هر هفته ۵ روز کاری (شنبه تا چهارشنبه) دارد. برنامه دوهفته ای به صورت هفته ۱، فرد و هفته ۲، زوج بدست آمده است. در جدول (۱) و (۲) اساتید به ترتیب ۱ تا ۲۶ با حروف A تا Z نمایش داده

مراجع

- [1] Tavooosi J, Shirkhani M, Abdali A, Mohammadzadeh A, Nazari M, Mobayen S, Asad JH, Bartoszewicz A. A new general type-2 fuzzy predictive scheme for PID tuning. *Applied Sciences*. 2021 Nov 5;11(21):10392.
- [2] Tavooosi J, Shirkhani M, Azizi A, Din SU, Mohammadzadeh A, Mobayen S. A hybrid approach for fault location in power distributed networks: Impedance-based and machine learning technique. *Electric Power Systems Research*. 2022 Sep 1;210:108073.
- [3] Tian MW, Mohammadzadeh A, Tavooosi J, Mobayen S, Asad JH, Castillo O, Várkonyi-Kóczy AR. A deep-learned type-3 fuzzy system and its application in modeling problems. *Acta Polytech Hung*. 2022 Jan 1;19(2).
- [4] Tavooosi J, Shirkhani M, Azizi A. Control engineering solutions during epidemics: A review. *International Journal of Modelling, Identification and Control*. 2021;39(2):97-106.
- [5] Tavooosi J, Shirkhani M, Azizi A. Control engineering solutions during epidemics: A review. *International Journal of Modelling, Identification and Control*. 2021;39(2):97-106.
- [6] Tavooosi J. An experimental study on inverse adaptive neural fuzzy control for nonlinear systems. *International Journal of Knowledge-based and Intelligent Engineering Systems*. 2020 Jan 1;24(2):135-43.
- [7] Guo X, Shirkhani M, Ahmed EM. Machine-Learning-Based improved smith predictive control for MIMO processes. *Mathematics*. 2022 Oct 9;10(19):3696.
- [8] Zhang HK, Wang YF, Wang DH, Wang YL. Adaptive robust control of oxygen excess ratio for PEMFC system based on type-2 fuzzy logic system. *Information Sciences*. 2020 Feb 1;511:1-7.
- [9] Huang H, Shirkhani M, Tavooosi J, Mahmoud O. A new intelligent dynamic control method for a class of stochastic nonlinear systems. *Mathematics*. 2022 Apr 22;10(9):1406.
- [10] Borges, A., Leite, A., Ospina, R., Silva, G., "Integer Programming Model for University Courses Timetabling: A Case Study", 2014.
- [11] Wood, J., Whitaker, D., "Student Centred School Timetabling", *The Journal of the Operational Research*, 1146-1152, 1998.
- [12] Daskalki, S., Birbas, T., "Efficient Solution for A University Timetabling Problem Through Integer Programming", *European Journal of Operational Research*, 2003.
- [13] Daskalki, S., Birbas, T., Housos, E., "An Integer Programming Formulation for A Case Study In University Timetabling", *European Journal of Operational Research*, 117-135, 2004.
- [۱۴] زنجیرانی فراهانی، رضا؛ حاجی یخچالی، سیامک؛ مدل عدد صحیح برای مسئله زمان بندی کلاس های دانشگاهی: یک مطالعه موردی، چهارمین کنفرانس مهندسی صنایع، تهران، ۱۳۸۴.
- [۱۵] علیرضایی، محمدرضا؛ خلیلی، مسعود؛ منصورزاده، سید مهدی؛ برنامه ریزی درسی در دانشگاه به کمک مدل سازی دومرحله ای برنامه ریزی ریاضی، شماره ۱۷ دوماهنامه علمی-پژوهشی دانشگاه شاهد، ۹۶-۹۷، تهران، ۱۳۸۵.
- [16] Al-Yakoob, S.M., Sherali, H.D., "A Mixed Integer Programming Approach to A Class Timetabling Problem: A Case Study with Gender Policies and Traffic Consideration", *European Journal of Operational Research* 180, 1028-1044, 2007.
- [17] Ranjbar, M., Rostami, S., "Fortnightly Course Scheduling Problem: A Case Study", 2nd International Industrial Engineering Conference, The 5th Int. Conference of The Iranian Society of Operations Research, 2012.
- [۱۸] عبداللهی، مریم؛ اسماعیلیان، مجید؛ زمان بندی کلاس های درس با استفاده از برنامه ریزی عدد صحیح، شماره ۴۱ فصل نامه علمی-پژوهشی مطالعات مدیریت صنعتی، ۱۶۳-۱۸۷، ۱۳۹۴.
- [۱۹] مقدسی رستمی، مصطفی؛ ارائه مدل ریاضی جهت زمان بندی و تخصیص کلاس های دانشگاهی، اولین کنفرانس بین المللی مدیریت حسابداری و علوم تربیتی، تهران، ۱۳۹۴.