دسترسی در سایتِ http://jnrm.srbiau.ac.ir
سال نهم، شماره چهل و دوم، خرداد و تیر ۱۴۰۲
شماره شاپا: ۲۵۸۸-۵۸۸X

دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات

پژوهش‌های نوین در ریاضی

مدل‌سازی ریاضی چندهدفه در یک سیستم آموزشی با در نظر گرفتن دوره‌های حضوری و الکترونیکی در دوران پاندمی کرونا

محمدساویز اسدی لاری[۱*]، مریم عباس قربانی[۲]، رضا توکلی مقدم[۳]

[۱و۲] گروه مهندسی صنایع، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
[۳] دانشکده مهندسی صنایع، دانشکدگان فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۱/۰۹/۱۵ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۱۰/۰۴

چکیده

هدف برنامه‌ریزی صحیح و مطلوب سیستم آموزشی امری ضروری است که دستاوردهای فعلی و آینده‌ی هر کشوری را تضمین می‌کند. در سال‌های اخیر به سبب پاندمی بیماری کرونا بسیاری از سازمان‌ها و مؤسسات علمی تصمیم گرفتند که دوره‌های آموزشی، پژوهشی و غیره را برای فراگیران به صورت دوره‌های الکترونیکی برگزار کنند. سپس با گذشت زمان و واکسینه شدن جمعیت قابل قبولی از جوامع تصمیم سازمان‌ها و مؤسسات مذکور بر آن شد که دوره‌ها به صورت تلفیقی از دوره‌های الکترونیکی و دوره‌های حضوری اجرا گردند. در مقاله‌ی حاضر با توجه به مسئله‌ی ذکر شده، مدل‌سازی ریاضی مبتنی بر چگونگی برنامه‌ریزی سیستم آموزشی با هدف کمینه‌سازی هزینه‌یابی چندهدفه مرتبط با این سیستم صورت گرفت. در بخش‌هایی از مدل‌سازی که مرتبط با دوره‌های حضوری است، عناصری چون هزینه‌های تأمین امکانات، تجهیزات، فضای برگزاری دوره‌ها با توجه به رعایت نکات مرتبط با بیماری کووید -۱۹ مد نظر قرار گرفته است. به جهت پیچیدگی ساختار مسئله مدل شده، مسئله حاضر جز مدل‌های NP-hard محسوب می‌گردد؛ لذا جهت حل آن در ابعاد کوچک از نرم‌افزار گمز و برای دستیابی به مجموعه جواب پارتو در ابعاد متوسط و بزرگ از الگوریتم فراابتکاری ژنتیک و دسته‌ی میگوها بهره گرفته شده است. در نهایت نتایج مستخرج از حل مدل‌سازی ریاضی با استراتژی‌های منتخب، دستیابی به جواب‌های بهینه در زمان کمتر و سریع‌تر با به‌کارگیری الگوریتم‌های فراابتکاری نسبت به روش دقیق و کارایی مطلوب الگوریتم‌های مذکور را نشان داده است.

واژه‌های کلیدی: دوره‌ی آموزشی مجازی، یادگیری الکترونیکی، مدل بهینه‌سازی، الگوریتم ژنتیک، الگوریتم دسته‌های میگو، پاندمی کرونا.

* عهده‌دار مکاتبات: Email: savizasadi@pnu.ac.ir

۱- مقدمه و پیشینه‌ی پژوهش

از آنجا که آموزش در هر کشوری جزء مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در پیشرفت آن کشور در حوزه‌های مختلف علمی فرهنگی اجتماعی سیاسی اقتصادی و غیره می‌باشد، برنامه‌ریزی صحیح آن و کنترل هزینه‌های مرتبط با سیستم‌های آموزشی مختلف امری ضروری است[۱]. از مهم‌ترین مواردی که طی سال‌های اخیر مطرح بوده است به‌کارگیری بیشتر دوره‌های الکترونیکی و وضعیت زیرساخت‌های مرتبط با آن می‌باشد [۲]. با شیوع بیماری کرونا توجه به برگزاری دوره‌های مختلف حداکثر به صورت الکترونیکی نسبت به‌حضوری بیشتر شد [۳]. یکی از مزیت‌های شاخص دوره‌های الکترونیکی مقیاس‌پذیری پویا و بهره‌مندی مثمر ثمر از منابع در شرایط پاندمی کرونا که دسترسی به منابع محدود است می‌باشد و این امر حاصل فرصت‌هایی است که رشد تکنولوژی و سیستم‌های فناوری اطلاعات به ارمغان می‌آورند [۴]. استفاده مطلوب از این سیستم منوط به دسترسی کاربران, مدرسین، کارمندان و تمامی افراد درگیر با دوره‌های الکترونیکی به امکاناتی چون اینترنت، نرم افزار و سخت افزار مناسب، وجود سیستم مدیریت اطلاعات مورد نیاز و غیره تحت عنوان زیر ساخت‌های اساسی می‌باشد؛ استفاده از این آموزش نیازمند انتقال و ایجاد سواد اطلاعاتی برای افرادی است که قصد دارند با استفاده از سیستم آموزشی به صورت مجازی نتایج قابل قبول در راستای اهداف خود کسب کنند [۵]. از سویی‌دیگر آموزش الکترونیکی هرگز به‌صورت کامل نمی‌تواند جایگزین آموزش حضوری گردد [۶].

به سبب شرایط ایجاد شده هزینه‌های وارده به سازمان و مؤسسات علمی منوط به چگونگی برگزاری و ارائه خدمات آموزشی متفاوت شد چرا که پرداختی سازمان و مؤسسات مذکور بابت دستمزد مدرسین و تأمین زیرساخت‌های نرم افزار، سخت افزاری و ... برای دوره‌های الکترونیکی اضافه گردید.[۷] از سوی دیگر زمان‌های در دست برای کارمندان نیز تغییر چشمگیری داشت زیرا با وجود شرایط بیماری کرونا بسیاری از کارمندان می‌بایست به صورت دورکاری فعالیت کنند و این سبب تحمیل هزینه‌های پرداختی بابت فراهم‌سازی بستر اینترنت که از مهم‌ترین جزء لازم جهت برخورداری از خدمات الکترونیکی و یا حتی پشتیبانی و پاسخگویی مشکلات فراگیران توسط کارمندان و همچنین تدریس مدرسین به صورت دوره‌های الکترونیکی بوده است [۸]. در شرایط به وجود آمده سازمان‌ها حتی دوره‌های آموزش ضمن خدمت خود را به صورت ترکیبی از دوره‌های الکترونیکی و حضوری برگزار کردند [۹]. از سوی دیگر فراگیران برای استفاده از خدمات آموزشی سازمان‌ها و مؤسسات علمی برای دوره‌هایی که به صورت حضوری برگزار می‌شدند هزینه‌های حمل و نقل را متحمل شده و در مقابل بابت بهره‌مندی از دوره‌های الکترونیکی به جای هزینه‌های حمل و نقل می‌بایست هزینه‌ی تهیه تجهیزات و پرداخت بابت استفاده از پهنای مناسب اینترنت را متحمل شوند [۱۰-۱۳]. به سبب برگزاری دوره‌های آموزشی به صورت الکترونیکی در برخی از سازمان‌ها و مؤسسات علمی شاهد افزایش چشمگیر فراگیران برای استفاده از خدمات ارائه شده توسط سازمان‌ها و مؤسسات مذکور بوده‌ایم که این امر باعث شد مؤسسات بابت ظرفیت بیشتر پذیرش شده فراگیران مدرسین را به صورت موقت برای تدریس حوزه‌های دانشی مدنظر جذب و استخدام کنند [۱۴-۱۶]. همچنین قابل ذکر است که چگونگی سرمایه‌گذاری ذی‌نفعان برای تأمین فضا و تجهیز کردن فضا بابت آموزشی حضوری و تهیه‌ی تجهیزات مرتبط با دوره‌های الکترونیکی مطابق بودجه تخصیص داده شده و تصمیم و تدابیر اتخاذ شده توسط آن‌ها صورت می‌گرفت [۱۶].

تمامی موارد بیان شده در مدل و محدودیت ارائه

شده مقاله جاری لحاظ شده است. همچنین مدل و تمامی محدودیت‌ها مطابق دستورالعمل‌های مرتبط با شرایط وجود پاندمی کرونا در جامعه مطرح شده است که توجه به آن برتری مطالعه‌ی فعلی نسبت به سایر مطالعات صورت گرفت می‌باشد. در جدول ۱ به بررسی مطالعات انجام شده در این حوزه پرداخته شده است. از آنجا که مدل‌سازی ریاضی از پیچیدگی برخوردار بوده و از مسائل NP-hard محسوب می‌گردد. در راستای دستیابی به مجموعه جواب پارتو علاوه بر روش دقیق در ابعاد کوچک به بررسی مسئله توسط الگوریتم‌های فراابتکاری ژنتیک و دسته‌های میگو پرداخته شد. در تابع هدف مدل مسئله، هزینه‌های گوناگون در بخش‌های مختلف مرتبط با افراد و سازمان‌های علمی درگیر با سیستم آموزشی با هدف کمینه‌سازی و یافتن جواب های بهینه برای بهره‌مندی هرچه بیشتر از سیستم آموزشی و برنامه‌ریزی مطلوب آن مطرح شده است. در فازهای مختلف محدودیت‌های مسئله، چگونگی صرف زمان و بهره‌وری زمان کارمندان طی اوقات کار به صورت ساعات موظفی و ساعات بیکاری و فراغت از کار، ظرفیت سازمان و مؤسسات علمی جهت پذیرش فراگیران در دوره‌های مختلف و توجه توانایی اساتید جهت تدریس حوزه‌های مختلف دانشی و در نظر گرفتن تفاوت پرداختی سازمان و مؤسسات علمی به مدرسین رسمی و حق‌التدریسی از موارد شاخص مورد بررسی می‌باشد.

۲- بیان مسئله و مدل‌سازی ریاضی

مدل‌سازی صورت گرفته در این پژوهش دارای تابع هدفی چند منظوره می‌باشد که به حداقل‌سازی اهداف خواهد پرداخت. در طی دوران پاندمی بیماری کرونا جهت بهره‌مندی از سیستم آموزشی بهینه برای افراد، ارائه‌ی آموزش توسط سازمان‌ها و مؤسسات علمی بابت خدمات آموزشی، پژوهشی و تلفیقی از موارد مذکور در حوزه‌ی دانشی ارائه شده به صورت حضوری و الکترونیکی برگزار گردیده است [۱۸]. دوره‌ی آموزشی در هر سازمان با سیستم برنامه‌ریزی آموزشی - پژوهشی با محوریت رسته‌های مختلف دانش ممکن است طی دوره‌های متفاوتی به ارائه‌ی آموزش یا برگزاری فعالیت‌های پژوهشی اقدام کند.

جدول ۱. مرور ادبیات مرتبط با پژوهش‌های پیشین

نویسنده	سال	افراد درگیر با سیستم آموزشی					نوع دوره		کنترل فضا		مدت زمان								هزینه‌ها									لحاظ عدم تداخل دروس	حمل و نقل فراگیران	روش تحلیل
		مدرسین		فراگیران	کارمندان	دانشمند	دوره کاری	مجازی	حضوری	از نظر ظرفیت	از نظر بار به سرور الکترونیکی	دوری الکترونیکی و حضوری در	تفاوت دستمزد پرداختی در	دانشجو بابت	تفاوت شهریه پرداختی توسط	زمان صرف شده بابت آموزش	زمان از دست رفته و زمان	زمان فراغت از کار موظفی	شروع‌های دستورالعمل شرایط	پاندمی کرونا	مدیرسین	پرداختی به کارمندان و	ایکالات آموزشی	جهت: استفاده از دوره	شهریه و مخارج فراگیران	بهای باند اینترنت مورد	سرورهای الکترونیکی	بابت فراهم‌سازی زیرساخت	تبلیغات			
		رسمی	حق‌التدریسی																												
ما دل پورتو پائول	۲۰۰۸				*		*	*								*	*	*											*	*	پرسشنامه
استودنوفسکی	۲۰۰۹		*		*			*										*													پرسشنامه
تی رامایا	۲۰۱۰	*	*	*										*				*												*	پرسشنامه
گابل و همکاران	۲۰۱۳	*	*				*	*		*												*									پرسشنامه
دی بنتا	۲۰۱۴	*	*	*	*								*	*				*							*						فازی
دیل هولت	۲۰۱۴																														کیفی
مینسوک کانگ	۲۰۱۵	*	*					*					*												*						پرسشنامه
پام مول	۲۰۱۶	*	*		*			*	*													*									کیفی
ون بروملن و همکاران	۲۰۱۸	*		*				*								*			*			*									فازی
هلن ساوزئون و همکاران	۲۰۱۹	*		*				*											*												فراابتکاری
نحله طیب	۲۰۲۰	*		*				*		*																					پرسشنامه
ابیدین	۲۰۲۲	*	*	*				*						*					*						*						ابتکاری
سباستین سی کی شاو	۲۰۲۲	*		*				*									*														پرسشنامه
ایولین ون رافلگم	۲۰۲۲	*		*				*	*					*					*						*						فراابتکاری
پژوهش حاضر		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	فراابتکاری GA&KHA

این دوره می‌تواند به صورت فصلی و یا نیم‌سال تحصیلی و یا دوره‌های روزانه، هفتگی و یا ماهانه و همینطور دوره‌هایی با برگزاری جلسات به صورت همایش‌ها یا وبینارهای چندساعته که متناسب با نوع آن‌ها به صورت الکترونیکی یا به صورت حضوری می‌باشند، صورت گیرد [۱۷-۱۹]. در مسئله‌ی مدل شده‌ی پیشرو با بیان بسیاری از جوانب مهم حوزه‌ی مورد مطالعه و تأثیر برگزاری دوره‌های الکترونیکی هم‌زمان با دوره‌های حضوری در هزینه‌ها از دیدگاه افراد مختلف درگیر با سازمان‌ها و سیستم‌های آموزشی به طرح مدل پرداخته شده است. مدل‌سازی مذکور دارای فرضیاتی است و فرضیات مدل‌سازی ریاضی صورت گرفته به حالت زیر می‌باشد که عبارت است از:

- تمامی مدرسین موظف در صورت امکان دوره‌ها را به صورت ترکیبی از انواع حضوری و الکترونیکی برگزار کنند.
- فراگیران به طبقات مختلفی در سطوح متفاوتی تقسیم شده‌اند که می‌تواند مبتنی بر مؤسسه و سازمان علمی مد نظر متغیر باشد.
- با توجه به شرایط وجود بیماری کرونا آموزش حضوری می‌بایست از بیشینه و کمینه بابت حضور فراگیران برخوردار باشد به‌طوری‌که کیفیت ارائه خدمات آموزشی کاسته نشود.
- برای افراد جدیدالورود به مؤسسه و سازمان علمی در هفته‌های ابتدایی به سبب اشتغال به مراحل ثبت نام امکان برگزاری کلاس وجود ندارد.
- برنامه کاری و شیفت‌های آن به طور منظم و دقیق برای کارمندان سازمان و مؤسسات علمی قابل پیش بینی باشد و تمامی افراد از آن اطلاع داشته باشند.
- نرخ پرداختی بابت برگزاری دوره‌ها به مدرسین رسمی و حق‌التدریسی متفاوت است.
- نرخ شهریه دوره‌های الکترونیکی با دوره‌های حضوری برای فراگیران متفاوت است.

۲-۱. تعریف متغیرهای تصمیم و پارامترها

در مدل‌سازی مسئله‌ی فعلی اندیس‌ها و پارامترهای به کار رفته در مدل ریاضی ارائه شده دارای توضیحاتی می‌باشد که جهت درک بهتر آن‌ها جدول ۲ و برای معرفی متغیرهای تصمیم جدول ۳ تنظیم شده است.

جدول ۲. معرفی اندیس‌ها و پارامترهای مدل

u	اندیس سازمان و مؤسسات علمی	i	اندیس درس
c	اندیس کارمندان در دسترس	d	اندیس بازه‌ی زمانی
r	اندیس دپارتمان‌های سازمان و مؤسسات علمی	j	اندیس واحد درسی
h	اندیس شیفت کاری کارمندان	g	اندیس جلسه
w	اندیس روز کاری	v	اندیس کلاس سازمان و مؤسسات علمی
a	اندیس دوره آموزشی ضمن خدمت	d	بازه‌ی زمانی برگزاری کلاس‌ها
e	اندیس دوره‌ی الکترونیکی	z	هفته زوج
l	اندیس دوره‌ی حضوری	f	هفته فرد
o	اندیس نوع تبلیغات سازمان آموزشی	x	اندیس استاد
p	اندیس سطح	y	اندیس دانشجو
q	اندیس رشته و حوزه‌ی دانش	Po_{cur}^{hw}	هزینه‌ی پرداختی به کارمند c سازمان و مؤسسه‌ی علمی u که شامل ،دستمزد پرداخت پاداش، کارانه و ... می‌شود
Et_{cu}^{w}	میزان بهره‌وری زمان کارمندان سازمان و	Pt_{ur}^{ca}	هزینه‌ی مدرسین بابت آموزش دوره‌های ضمن خدمت

	مؤسسه‌ی علمی		کارمند c شاغل در بخش r شرکت‌کننده در دوره‌های a سازمان و مؤسسه‌ی علمی u
Eh_{cu}^{w}	میزان بهره‌وری زمان بیکاری(فراغت از کار موظفی) کارمند کارمند c سازمان و مؤسسه‌ی علمی u	Pc_{ur}^{ca}	هزینه‌ی برگزاری دوره‌های a متحمل به سازمان و مؤسسه‌ی علمی u برای کارمند c شرکت‌کننده در دوره و شاغل در بخش r
E_{w}^{Total}	میزان کل بهره‌وری تمامی کارمندان طی روز کاری w	Pn_{ur}^{a}	هزینه‌ی فضای آموزشی جهت برگزاری دوره‌های a در سازمان و مؤسسه‌ی علمی u برای بخش r
Tk_{cuw}	کل مدت زمان کار مفید کارمند c سازمان و مؤسسه‌ی علمی u طی روز کاری w	Pr_{cur}^{aw}	هزینه‌ی پرداختی به کارکنان فنی جهت پشتیبانی طی دوره‌ی a در سازمان و مؤسسه‌ی علمی u برای بخش r در طی روز کاری w
To_{cuw}^{Total}	کل مدت زمان کاری موظفی کارمند c سازمان و مؤسسه‌ی علمی u طی روز کاری w	Pe_{ur}^{a}	هزینه‌ی پهنای باند اینترنت بابت دوره‌ی a برای بخش r در سازمان و مؤسسه‌ی علمی u
Ta_{cu}^{rw}	کل مدت زمان صرف شده بابت شرکت کارمند c در دوره‌ی الکترونیکی طی روز کاری w سازمان و مؤسسه‌ی علمی u	PG_{u}	هزینه‌ی استخدام مدرسین موقت هنگام نیاز به مدرسین بیشتر در سازمان و مؤسسه‌ی علمی u
Tb_{cu}^{rw}	کل مدت زمان صرف شده بابت شرکت کارمند c در دوره‌ی حضوری طی روز کاری w سازمان و مؤسسه‌ی علمی u	PA_{uo}	هزینه‌ی تبلیغات o بابت اطلاع‌رسانی خدمات ارائه شده در سازمان و مؤسسه‌ی علمی u
Tf_{u}^{Max}	کل حداکثر مدت زمان از دست رفته تمامی کارمندان سازمان و مؤسسه‌ی علمی u	C_{qpu}^{ivl}	هزینه‌ی تأمین فضا کلاس vدوره‌ی حضوری در سطح q رشته p سازمان و مؤسسات علمی u
T_{Total}^{rauw}	کل مدت زمان صرف شده برای آموزش دوره‌ی a ضمن خدمت بخش r طی روز کاری w سازمان و مؤسسه‌ی علمی u	Ct_{qpuij}^{dwl}	هزینه‌ی پرداختی به مدرسین رسمی بابت تدریس درس i حضوری j واحدی طی بازه زمانی d روز کاری w در سطح q رشته p سازمان و مؤسسه‌ی علمی u
Um_{cur}^{hw}	حد بیشینه‌ی کارمند c مورد نیاز در بخش r طی روز کاری w سازمان و مؤسسه‌ی علمی u	Ct_{qpuij}^{dwe}	هزینه‌ی پرداختی به مدرسین رسمی بابت تدریس درس i الکترونیکی j واحدی طی بازه زمانی d روز کاری w در سطح q رشته p سازمان و مؤسسه‌ی علمی u
UJ_{qpu}	حداکثر تعداد درس‌هایی که مدرسین مجاز به تدریس در طی کل هفته‌های تحصیلی سطح q رشته p سازمان و مؤسسه‌ی علمی u	Cs_{qpuij}^{dwl}	هزینه‌ی پرداختی به مدرسین حق‌التدریس بابت تدریس درس i حضوری j واحدی طی بازه زمانی d روز کاری w در سطح q رشته p سازمان و مؤسسه‌ی علمی u
Us_{qpu}	حداکثر ظرفیت پذیرش دانشجو در تمامی حوزه‌های موجود سطح q رشته p سازمان و مؤسسه‌ی علمی u	Cs_{qpuij}^{dwe}	هزینه‌ی پرداختی به مدرسین حق‌التدریس بابت تدریس درس i الکترونیکی j واحدی طی بازه زمانی d روز کاری w در سطح q رشته p سازمان و مؤسسه‌ی علمی u
Ut_{u}	حداکثر میزان ظرفیت کل مدرسین در تمامی حوزه‌های قابل ارائه در سازمان و مؤسسه‌ی علمی u	Co_{qpu}^{ive}	هزینه‌ی تأمین و آماده‌سازی سیستم الکترونیکی سطح q رشته p سازمان و مؤسسه‌ی علمی u بابت کلاس v درس i
UCs_{di}	حداکثر میزان حضور فراگیران در طی بازه‌ی زمانی d برای درس i مطابق دستورالعمل‌های مبتنی‌بر شرایط بیماری کرونا	Cy_{qpu}^{dwl}	کل شهریه پرداختی فراگیران جهت بهره‌مندی از خدمات حضوری سیستم آموزشی سطح q رشته p سازمان و مؤسسه‌ی علمی u در بازه زمانی d روز کاری w
Ue_{u}^{dw}	کل ظرفیت کشش سرور سیستم آموزش الکترونیکی طی بازه زمانی d روز کاری w سازمان و مؤسسه‌ی علمی u	Cy_{qpu}^{dwe}	کل شهریه پرداختی فراگیران جهت بهره‌مندی از خدمات الکترونیکی سیستم آموزشی سطح q رشته p سازمان و مؤسسه‌ی علمی u در بازه زمانی d روز کاری w
LJ_{qpu}	حداقل تعداد درس‌هایی که مدرسین مجاز به	CB_{cu}^{w}	هزینه‌ی پرداختی به کارمند c فنی جهت پشتیبانی و

	تدریس در طی کل هفته‌های تحصیلی سطح q رشته p سازمان و مؤسسه‌ی علمی u		پاسخگویی دوره‌ها طی روز کاری w در سازمان و مؤسسه‌ی علمی u
Lm_{cur}^{hw}	حد کمینه‌ی کارمندc مورد نیاز در بخشr طی روز کاری w سازمان و مؤسسه‌ی علمی u	Cx_{ur}^{dw}	هزینه‌ی وارده به سازمان و مؤسسه‌ی علمی u بابت پهنای باند اینترنت و تجهیزات در اختیار مدرسین برای اجرای کلاس الکترونیکی در بازه زمانی d روز کاری w از بخش r
Mo_{Total}	تعداد کل کارمندان	Cn_{pu}	هزینه تأمین تجهیزات رشته‌ی p سازمان و مؤسسه‌ی علمی u
S_{qpu}^{dwz}	تعداد فراگیران هفته‌های زوجz طی بازه زمانی d روز کاری w در سطح q رشته p سازمان و مؤسسه‌ی علمی u	Ce_{yi}^{dw}	هزینه‌ی پهنای باند صرف شده برای درسi توسط دانشجویi طی بازه زمانی d روز کاری w
S_{qpu}^{dwf}	تعداد فراگیران هفته‌های فردf طی بازه زمانی d روز کاری w در سطح q رشته p سازمان و مؤسسه‌ی علمی u	Cg_{yu}	کل هزینه‌ی تحصیلی دانشجوy در سازمان و مؤسسه‌ی علمی u
Nts_{qpu}	تعداد کل مدرسین در سطح q رشته p سازمان و مؤسسه‌ی علمی u	Xt_{ywu}	کل هزینه‌ی حمل و نقل صرف شده توسط دانشجوی y طی روز کاری w برای شرکت در کلاس سازمان و مؤسسه‌ی علمی u
Y_{vu}	ظرفیت کلاسv در سازمان و مؤسسات علمیu	VI_u	کل بودجه‌ی تخصیص داده شده توسط ذی‌نفعان جهت تأمین فضای آموزشی برای سازمان و مؤسسه‌ی علمی u
B_{viu}	ظرفیت کلاسv برای درس i در سازمان و مؤسسات علمیu	B_{ivu}	ظرفیت هر کلاس v درس i سازمان و مؤسسه‌ی علمی u
At_{ue}	نسبیت جذب مدرسین رسمی به ظرفیت اسمی سازمان و مؤسسه‌ی علمی u بابت دوره‌های الکترونیکی	W_{Total}	تعداد کل هفته‌ها در طول دوره‌ی آموزشی
At_{ul}	نسبیت جذب مدرسین رسمی به ظرفیت اسمی سازمان و مؤسسه‌ی علمی u بابت دوره‌های حضوری	W^{Max}	حداکثر تعداد هفته‌ها در طول دوره‌ی آموزشی
As_{ue}	نسبیت جذب مدرسین حق‌التدریس به ظرفیت اسمی سازمان و مؤسسه‌ی علمی u بابت دوره‌های الکترونیکی	W^{Min}	حداقل تعداد هفته‌ها در طول دوره‌ی آموزشی
As_{ul}	نسبیت جذب مدرسین حق‌التدریس به ظرفیت اسمی سازمان و مؤسسه‌ی علمی u بابت دوره‌های حضوری	Gr_u	میزان افزایش موقت مدرسین برای تعلیم فراگیران سازمان و مؤسسه‌ی علمی u
Q_{xiu}	ضریب توانایی استادxدر تدریس درس i سازمان و مؤسسه‌ی علمی u	λ	ضریب وضعیت برگزاری کلاس
β	ضریب تعیین وضعیت حضور دانشجو در شرایط کرونا	ζ	هزینه‌ی از دست رفته‌ی پرداختی بابت کلاس‌های بی‌استفاده توسط سازمان و مؤسسه‌ی علمی مربوطه

جدول ۳. معرفی متغیرهای تصمیم مدل

Mo_{cur}^{hw}	تعداد کارمند c شیفت h شاغل در بخش r سازمان و مؤسسات علمی u طی روز کاری w	D_{qpu}^{ijl}	تعداد درس i حضوری j واحدی ارائه شده در سطح q رشته p سازمان و مؤسسه‌ی علمی u
Na_{ur}^{a}	تعداد دوره‌های الکترونیکی a آموزش ضمن خدمت بخش r در سازمان و مؤسسات علمی u	D_{qpu}^{ije}	تعداد درس i الکترونیکی j واحدی ارائه شده در سطح q رشته p سازمان و مؤسسات علمی u
Nb_{ur}^{a}	تعداد دوره‌های حضوری a آموزش ضمن خدمت بخش r در سازمان و مؤسسات علمی u	H_{qpu}^{ivl}	تعداد کلاس v درس i حضوری در سطح q رشته p سازمان و مؤسسات علمی u
M_{ur}^{ca}	تعداد کارمند c شاغل در بخش r شرکت‌کننده در دوره‌های a آموزش ضمن خدمت، سازمان و مؤسسات علمی u	H_{qpu}^{ive}	تعداد کلاس v درس i الکترونیکی در سطح q رشته p سازمان و مؤسسات علمی u
Nt_{qpuij}^{dwz}	تعداد مدرس رسمی طی بازه‌ی زمانی d روزکاری w هفته زوج zتخصیص یافته به j واحد درس iدر سطح q رشته p سازمان و مؤسسات علمی u	NI_{uo}	تعداد تبلیغات نوع o بابت ارائه خدمات مرتبط با سیستم آموزشی سازمان و مؤسسات علمی u
Nt_{qpuij}^{dwf}	تعداد مدرس رسمی طی بازه‌ی زمانی d روزکاری w هفته فرد fتخصیص یافته به j واحد درس iدر سطح q رشته p سازمان و مؤسسات علمی u	Dz_{yqpu}^{ijl}	تعداد درس i حضوری j واحدی اخذ شده توسط دانشجو y در سطح q رشته p سازمان و مؤسسات علمی u
Ns_{qpuij}^{dwz}	تعداد مدرس حق‌التدریس طی بازه‌ی زمانی d روزکاری w هفته زوج zتخصیص یافته به j واحد درس iدر سطح q رشته p سازمان و مؤسسات علمی u	Dz_{yqpu}^{ije}	تعداد درس i الکترونیکی j واحدی اخذ شده توسط دانشجو y در سطح q رشته p سازمان و مؤسسات علمی u
Ns_{qpuij}^{dwf}	تعداد مدرس حق‌التدریس طی بازه‌ی زمانی d روزکاری w هفته فرد f تخصیص یافته به j واحد درس iدر سطح q رشته p سازمان و مؤسسات علمی u	Se_{qpu}^{dw}	کل فراگیران شرکت کننده در کلاس‌های الکترونیکی طی بازه‌ی زمانی d روزکاری w هفته سطح q رشته p سازمان و مؤسسات علمی u

۲-۲. تعیین توابع هدف مدل‌ها

در این بخش به ارائه‌ی مدل‌سازی ریاضی برای مسئله‌ی مطرح و مورد مطالعه‌ی پژوهش حاضر پرداخته شده است که شماره (۱) تابع هدف مسئله و محدودیت‌های مدل مطابق شماره‌های (۲) تا (۳۶) ارائه گردیده است.

$$
\begin{aligned}
Min\ Z = {} & \sum_h \sum_w \sum_c \sum_u \sum_r \left(Mo_{cur}^{hw} \times Po_{cur}^{hw}\right) + \sum_a \sum_u \sum_r \left(\left(Na_{ur}^{a} + Nb_{ur}^{a}\right) \times \sum_c Pt_{ur}^{ca}\right) + \sum_a \sum_u \sum_r \sum_c \left(M_{ur}^{ca} \times Pc_{ur}^{ca}\right) + \sum_a \sum_u \sum_r \left(Nb_{ur}^{a} + Pn_{ur}^{a}\right) + \sum_a \sum_u \sum_r \left(Na_{ur}^{a} \times \left(\sum_w \sum_c Pr_{cur}^{aw} + Pe_{ur}^{a}\right)\right) + \left(\sum_w \sum_q \sum_p \sum_u \sum_i \sum_j \left(Nt_{qpuij}^{dwz} + Nt_{qpuij}^{dwf} + Ns_{qpuij}^{dwz} + Ns_{qpuij}^{dwf}\right) \times \sum_u Gr_u \times \sum_u PG_u\right) + \left(\sum_u \sum_o \left(NI_{uo} \times PA_{uo}\right)\right) + \left(\sum_i \sum_j \sum_l \sum_q \sum_p \sum_u \left(H_{qpu}^{ivl} \times D_{qpu}^{ijl} \times \left(C_{qpu}^{ivl} + \sum_j \left(Ct_{qpuij}^{dwl} + \lambda Cs_{qpuij}^{dwl}\right)\right) \times W_{Total}\right)\right) + \sum_i \sum_j \sum_l \sum_q \sum_p \sum_u \left(\sum_y Dz_{yqpu}^{ijl} + \sum_d \sum_w Cy_{qpu}^{dwl}\right) + \sum_i \sum_j \sum_e \sum_q \sum_p \sum_u \left(\sum_y Dz_{yqpu}^{ije} \times \sum_d \sum_w Cy_{qpu}^{dwe}\right) + \sum_d \sum_w \sum_q \sum_p \sum_u Se_{qpu}^{dw} \times \left(\sum_c CB_{cu}^{w} + \sum_r Cx_{ur}^{dw}\right)
\end{aligned}
\qquad (۱)
$$

$$\sum_c \sum_w Et_{cu}^{w} \le \frac{\sum_c \sum_w Tk_{cuw}}{\sum_c \sum_w To_{cuw}^{Total}} \qquad (۲)$$

$$\sum_h \sum_w \sum_c \sum_u \sum_r Mo_{cur}^{hw} \le 1 \qquad \forall h,w,c,u,r \in \mathbb{N} \qquad (۳)$$

$$Lm_{cur}^{hw} \le \sum_h \sum_w \sum_c \sum_u \sum_r Mo_{cur}^{hw} \le Um_{cur}^{hw} \qquad (۴)$$

$$\sum_w \sum_c \sum_u Eh_{cu}^{w} \le \frac{\sum_c \sum_u \left(\left(Ta_{cu}^{rw} + Tb_{cu}^{rw}\right) \times \sum_a M_{ur}^{ca}\right)}{\sum_c \sum_w \sum_u \left(To_{cuw}^{Total} - Tk_{cuw}\right)} \qquad (۵)$$

$$\sum_w \sum_a E_{w}^{Total} \le \frac{\sum_c \sum_u \left(\left(Tk_{cuw} + Ta_{cu}^{rw}\right) + \sum_a M_{ur}^{ca}\right)}{\sum_c \sum_w \sum_u To_{cuw}^{Total}} \qquad (۶)$$

$$\sum_u Tf_u^{Max} \leq \frac{\sum_c \sum_u \sum_w (To_{cuw}^{Total} - Tk_{cuw})}{Mo_{Total}} - \frac{\sum_r (Ta_{cu}^{rw} - Tb_{cu}^{rw})}{Mo_{Total}} \quad (۷)$$

$$\sum_h \sum_w \sum_c \sum_u \sum_r Mo_{cur}^{hw} \leq Mo_{Total} \quad (۸)$$

$$\sum_r \sum_a \sum_u \sum_w T_{Total}^{rauw} \leq \sum_r \sum_w \sum_c \sum_u \left(Ta_{cu}^{rw} + Tb_{cu}^{rw}\right) \times \sum_a M_{ur}^{ca} \quad (۹)$$

$$\sum_a \sum_u \sum_r (Pe_{ur}^{a} + Na_{ur}^{a}) \leq \sum_a \sum_u \sum_r (Pn_{ur}^{a} + Nb_{ur}^{a}) \quad (۱۰)$$

$$\sum_w \sum_q \sum_p \sum_u \sum_i \sum_j \left(Nt_{qpuij}^{dwz} \vee Nt_{qpuij}^{dwf} \vee Ns_{qpuij}^{dwz} \vee Ns_{qpuij}^{dwf}\right) \leq \sum_x \sum_i \sum_u Q_{xiu} \quad (۱۱)$$

$$Q_{iu} = \begin{cases} 1 & if\ professor\ x\ had\ the\ ability\ to\ teach\ course\ i \\ 0 & otherwise \end{cases} \quad (۱۲)$$

$$\sum_i \sum_j \sum_l \sum_q \sum_p \sum_u \left(D_{qpu}^{ijl} + D_{qpu}^{ije}\right) \times \sum_x \sum_i \sum_u Q_{xiu} \leq UJ_{qpu} \quad (۱۳)$$

$$\sum_i \sum_j \sum_l \sum_q \sum_p \sum_u \left(D_{qpu}^{ijl} + D_{qpu}^{ije}\right) \times \sum_x \sum_i \sum_u Q_{xiu} \geq LJ_{qpu} \quad (۱۴)$$

$$\sum_d \sum_w \sum_q \sum_p \sum_u \left(\left(\sum_z S_{qpu}^{dwz} + \sum_f S_{qpu}^{dwf}\right) \times \sum_e Cy_{qpu}^{dwe}\right) \leq \sum_d \sum_w \sum_q \sum_p \sum_u \left(\left(\sum_z S_{qpu}^{dwz} + \sum_f S_{qpu}^{dwf}\right) \times \sum_l Cy_{qpu}^{dwl}\right) \quad (۱۵)$$

$$Nts_{qpu} \times \left(1 - \sum_i \sum_j \sum_l \sum_q \sum_p \sum_u \left(D_{qpu}^{ijl} \times \sum_x Q_{xiu}\right)\right) \geq 1 \quad (۱۶)$$

$$\sum_i \sum_v \sum_l \sum_q \sum_p \sum_u H_{qpu}^{ive} \times \sum_p \sum_u Cn_{pu} \leq \sum_i \sum_v \sum_l \sum_q \sum_p \sum_u C_{qpu}^{ive} \quad (۱۷)$$

$$\sum_i \sum_j \sum_q \sum_p \sum_u Dz_{yqpu}^{ije} \times \left(\sum_d \sum_w \sum_i Ce_{yi}^{dw} + \sum_d \sum_w \sum_q \sum_p \sum_u Cy_{qpu}^{dwe}\right) + \sum_i \sum_j \sum_q \sum_p \sum_u Dz_{yqpu}^{ijl} \times \left(\sum_d \sum_w \sum_q \sum_p \sum_u Cy_{qpu}^{dwl} + \sum_w \sum_u Xt_{ywu}\right) \leq \sum_y \sum_u Cg_{yu} \quad (۱۸)$$

$$\beta = \begin{cases} 1 & if\ the\ class\ was\ held\ online \\ 3 & otherwise \end{cases} \quad (۱۹)$$

$$\sum_q \sum_p \sum_u S_{qpu} \leq \sum_q \sum_p \sum_u Us_{qpu} \quad (۲۰)$$

$$\sum_u Ut_u \geq \sum_d \sum_w \sum_q \sum_p \sum_u \sum_i \sum_j \left(Nt_{qpuij}^{dwz} + Nt_{qpuij}^{dwf} + Ns_{qpuij}^{dwz} + Ns_{qpuij}^{dwf}\right) \quad (۲۱)$$

$$\sum_u (At_{ue} + As_{ue}) + \sum_u (At_{ul} + As_{ul}) \leq \sum_u Ut_u \quad (۲۲)$$

$$\lambda = \begin{cases} 1 & if\ the\ class\ is\ held\ for\ category\ q\ in\ field\ of\ study\ p\ during\ the\ semester \\ 0 & otherwise \end{cases} \quad (۲۳)$$

$$W^{Max} \geq \lambda \left(\sum_i \sum_v \sum_q \sum_p \sum_u \left(H_{qpu}^{ivl} + H_{qpu}^{ive}\right)\right) \quad (۲۴)$$

$$W^{Min} \leq \lambda \left(\sum_i \sum_v \sum_q \sum_p \sum_u \left(H_{qpu}^{ivl} + H_{qpu}^{ive}\right)\right) \quad (۲۵)$$

$$\sum_q \sum_p \sum_u \left(\left(\sum_d \sum_w \left(\sum_z S_{qpu}^{dwz} + \sum_f S_{qpu}^{dwf}\right)\right) \times \left(\sum_i \sum_v \sum_q \sum_p \sum_u \left(H_{qpu}^{ivl} + H_{qpu}^{ive}\right)\right) = 0 \rightarrow \begin{matrix} if\ q\ is\ new \\ if\ z\ or\ f = 1 \end{matrix}\right. \quad (۲۶)$$

$$\sum_q \sum_p \sum_u \left(\sum_i \sum_j D_{qpu}^{ijl} \times \sum_d \sum_w \left(\sum_z S_{qpu}^{dwz} + \sum_f S_{qpu}^{dwf}\right)\right) \leq \sum_d \sum_i UCs_{di} \quad (۲۷)$$

$$\zeta \sum_d \sum_q \sum_p \sum_d \sum_w \left(\frac{Y_{vu} - \sum_z S_{qpu}^{dwz}}{\sum_z S_{qpu}^{dwz} + \sum_f S_{qpu}^{dwf}}\right) + \frac{\sum_f S_{qpu}^{dwf}}{\sum_z S_{qpu}^{dwz} + \sum_f S_{qpu}^{dwf}} \leq \sum_d \sum_q \sum_p \sum_d \sum_w \left(Cy_{qpu}^{dwl} \times \left(\sum_z S_{qpu}^{dwz} + \sum_f S_{qpu}^{dwf}\right)\right) \quad (۲۸)$$

$$\sum_i \sum_j \sum_l \sum_q \sum_p \sum_u \left(H_{qpu}^{ivl} \times D_{qpu}^{ijl} \times C_{qpu}^{ivl}\right) \times W_{Total} \leq \sum_u VI_u \quad (۲۹)$$

$$\sum_d \sum_q \sum_p \sum_u \sum_i \sum_j \left(Cs_{qpuij}^{dwe} + Cs_{qpuij}^{dwl}\right) : \sum_d \sum_q \sum_p \sum_u \sum_i \sum_j \left(Ct_{qpuij}^{dwe} + Ct_{qpuij}^{dwl}\right) \quad (۳۰)$$

$$\sum_i \sum_v \sum_l \sum_q \sum_p \sum_u H_{qpu}^{ivl} = 1 \quad (۳۱)$$

$$\zeta \sum_i \sum_v \sum_l \sum_q \sum_p \sum_u \left(Y_{vu} - H_{qpu}^{ivl}\right) \leq \sum_i \sum_v \sum_l \sum_q \sum_p \sum_u \left(H_{qpu}^{ivl} \times D_{qpu}^{ivl} \times C_{qpu}^{ivl}\right) \times W_{Total} \quad (۳۲)$$

$$\sum_x \sum_i \sum_u Q_{xiu} \times \sum_w \sum_q \sum_p \sum_u \sum_i \sum_j \left(Nt_{qpuij}^{dwz} \vee Nt_{qpuij}^{dwf} \vee Ns_{qpuij}^{dwz} \vee Ns_{qpuij}^{dwf}\right) \leq 1 \quad (۳۳)$$

$$\sum_i \sum_j \sum_l \sum_q \sum_p \sum_u D_{qpu}^{ijl} \vee \sum_i \sum_j \sum_e \sum_q \sum_p \sum_u D_{qpu}^{ije} \leq 1 \quad (۳۴)$$

$\forall h,w,c,u,r \in \mathbb{N}$

$$\sum_d \sum_w \sum_q \sum_p \sum_u Se_{qpu}^{dw} \leq \sum_d \sum_w \sum_u Ue_u^{dw} \quad (۳۵)$$

$$\beta \sum_d \sum_w \sum_q \sum_p \sum_u \left(\sum_z S_{qpu}^{dwz} \vee \sum_f S_{qpu}^{dwf}\right) \leq \sum_i \sum_v \sum_q \sum_p \sum_u H_{qpu}^{ivl} \times \sum_i \sum_v \sum_u B_{ivu} \quad (۳۶)$$

$$Se_{qpu}^{dw}, Dz_{yqpu}^{ije}, Dz_{yqpu}^{ijl}, NI_{uo}, H_{qpu}^{ive}, H_{qpu}^{ivl}, D_{qpu}^{ije}, D_{qpu}^{ijl}, Ns_{qpuij}^{dwf}, Ns_{qpuij}^{dwz}, Nt_{qpuij}^{dwz}, M_{ur}^{ca}, Nb_{ur}^{a}, Na_{ur}^{a}, Mo_{cur}^{hw} \geq 0\ \&\ integer \quad (۳۷)$$

تابع هدف (۱) نشان‌دهنده‌ی حداقل‌سازی هزینه‌ها در قسمت‌های مختلف است. دستیابی به مقدار کمینه‌ی کل هزینه‌های پرداختی به کارمندان شامل پاداش‌های پرداختی برای روزهای خارج از شیفت کاری، پرداختی بابت شیفت کاری موظفی کارمندان و اضافه‌کاری در نظر گرفته شده است. در بخش بعدی کل هزینه‌های پرداختی به مدرسین آموزش‌دهنده فراگیران بابت برگزاری دوره‌های آموزشی ضمن خدمت کارمندان و کل هزینه کارمندان مرد آموزش که هزینه‌های مذکور به سازمان و مؤسسات علمی مربوطه تحویل می‌گردد بهینه می‌شود. در قسمتی دیگر از پا به هدف بهینه‌سازی در پژوهش حاضر به کمینه‌سازی کلیه هزینه‌های حاصل از تأمین فضای آموزشی جهت برگزاری دوره‌های حضوری برای آموزش کارمندان و همچنین هزینه پرداختی سازمان به کارکنان فنی جهت پشتیبانی الکترونیکی طی دوره‌های مجازی کمینه شده و مورد هدف است. از اهداف دیگر تابع هدف ارائه شده برآورد هزینه استخدام موقت مدرسین مورد نیاز در طی دوره بابت تدریس به فراگیران مؤسسه و سازمان علمی هنگام افزایش پذیرش فراگیران می‌باشد. در فاز دیگری از تابع هدف چندمنظوره‌ی پژوهش حاضر به کمینه‌سازی هزینه تبلیغات برای ذی‌نفعان سازمان آموزشی بابت اطلاع رسانی درباره خدمات ارائه شده از طریق سازمان و مؤسسات علمی مربوطه با توجه به سیاست‌های استراتژی سیستم آموزشی توجه شده است. همچنین از اهداف دیگر مدل‌سازی ریاضی انجام شده در پژوهش حاضر می‌توان به کمینه‌سازی هزینه فضای آموزشی برای ارائه خدمات به فراگیران، کل هزینه پرداختی به مدرسین، هزینه پرداختی سازمان به کارکنان فنی جهت پشتیبانی و پاسخگویی الکترونیکی به مشکلات و مسائل فراگیران طی کل هفته‌های تحصیلی و همین‌طور هزینه برگزاری کلاس‌های الکترونیکی توسط مدرسین برای فراگیران مؤسسه و سازمان علمی مربوطه می‌باشد.

محدودیت (۲) وضعیت بهره وری و راندمان کارمندان سازمان و مؤسسات علمی را نسبت به کل مدت شیفت کاری آنها طی روز کاری تعیین می‌کند. محدودیت (۳) تبیین‌کننده محدودیت‌های قوانین کاری در ساعت‌های کاری می‌باشد. محدودیت (۴) تضمین‌کننده آن است که حضور یک ترکیب قابل قبول از کارمندان بخش‌های متعدد سازمان و مؤسسات علمی در تمامی روزهای کاری الزامی می‌باشد. محدودیت (۵) وضعیت بهره وری زمان بیکاری کارمندان سازمان نسبت به زمان توانمندسازی آنها در راستای آموزش ضمن خدمت را نشان می‌دهد. محدودیت (۶) چگونگی بهره‌وری کل کارکنان سازمان طی یک روز کاری را ارائه می‌کند. محدودیت (۷) تضمین‌کننده آن است که میزان اتلاف زمان کارمندان طی یادگیری و شرکت در دوره‌های آموزشی ضمن خدمت حداقل به میزان بیشینه مدت زمان ازدست‌رفته آن‌ها باشد. محدودیت (۸) تضمین‌کننده تعداد کارمندان در دسترس یک سازمان به میزان حداکثر تعداد کل استخدامی در آن سازمان می‌باشد.

محدودیت (۹) کل مدت زمان صرف شده کارمندان سازمان و مؤسسات علمی بابت طی دوره‌های آموزشی ضمن خدمت به صورت حضوری و الکترونیکی را تعیین می‌کند. محدودیت (۱۰) تعیین‌کننده‌ی این است که هزینه پرداختی بابت دوره‌های آموزشی ضمن خدمت حضوری برای برگزاری توسط سازمان و مؤسسات علمی برای کارمندانشان نسبت به هزینه برگزاری دوره‌ها به صورت الکترونیکی بیشتر می‌باشد. محدودیت (۱۱) تعیین کننده آن است که هر مدرس متناسب با سطح توانایی خود یا در سطح توانایی فردی با میزان کیفیت و توانایی کمتر از خود به تدریس پرداخته و دروس متناسب با مسئله مذکور تخصیص داده

شوند. محدودیت (۱۲) تضمین‌کننده چگونگی تخصیص هر درس به مدرسین مربوطه و کیفیت و توانایی برگزاری توسط آنها می‌باشد. محدودیت (۱۳) تضمین‌کننده آن است که هر مدرس در طی بازه زمانی قابل دسترسی مجاز به حداکثر تدریس چه تعداد درس متناسب با توانایی خود می‌باشد. محدودیت (۱۴) تعیین کننده آن است که هر مدرس در طی بازه زمانی قابل دسترسی مجاز به حداقل تدریس چه تعداد درس متناسب با توانایی خود می‌باشد.

محدودیت (۱۵) نشان دهنده آن است که هزینه‌های پرداختی بابت کلاس‌های الکترونیکی کمتر از هزینه‌های پرداختی بابت کلاس‌هایی هستند که به صورت حضوری در مؤسسات و سازمان‌های علمی برگزار می‌گردند. محدودیت (۱۶) تضمین‌کننده آن است که در مؤسسات و سازمان‌های علمی در هر زمان یک مدرس جهت مشاوره و یا برگزاری آزمون‌های تعیین سرعت برای فراگیران و همچنین راهنمایی آنها مطابق میزان دسترسی سازمان و مؤسسه مربوط به مدرس موجود باشد. برای مثال در دانشگاه‌ها که از سازمان‌ها و مؤسسات علمی محسوب می‌گردند، حضور حداقل یک استاد هیئت‌علمی جهت مشاوره به دانشجویان با هدف رشد سطح تحصیلی افراد در رشته‌های مختلف ارائه شده توسط دانشگاه را تضمین می‌کند. محدودیت (۱۷) بیان کننده این است که هزینه تأمین تجهیزات و امکانات آموزشی از کل هزینه تأمین فضای آموزشی کمتر می‌باشد. محدودیت (۱۸) نشان دهنده آن است که کل هزینه‌های بهره‌مندی فراگیران از خدمات آموزشی حداکثر به میزان هزینه پرداختی بابت شرکت در دوره‌های الکترونیکی و حضوری و همچنین به رفت‌وآمد و چگونگی حمل و نقل فراگیر وابسته است. محدودیت (۱۹) نشان دهنده ضریب تعیین کننده چگونگی تراکم فراگیران و تفاوت آن هنگامی که دانشجو به صورت الکترونیکی و یا به صورت حضوری در کلاس‌های مؤسسه و سازمان علمی شرکت می‌کند.

محدودیت (۲۰) تضمین‌کننده چگونگی بیشینه میزان ظرفیت فراگیران که می‌توانند از خدمات آموزشی در سیستم آموزشی مؤسسه‌ها و سازمان‌های علمی بهره‌مند گردند، می‌باشد. محدودیت (۲۱) نشان دهنده حداکثر تعداد مدرسین برای تدریس به فراگیران سازمان و مؤسسه آموزشی مربوطه می‌باشد. محدودیت (۲۲) تضمین‌کننده میزان نیاز به مدرسین جهت تعلیم فراگیران سازمان و مؤسسات علمی مربوطه می‌باشد. شمار مدرس رسمی و حق‌التدریسی متناسب با ظرفیت فراگیران در هر مؤسسه متغیر است. اگر فراگیران دقیقاً به میزان ظرفیت قابل تدریس از مدرس باشند آنگاه استخدام آنها به میزان ظرفیت اسمی صورت می‌گیرد. محدودیت (۲۳) مشخص کننده چگونگی برگزاری و یا عدم برگزاری کلاس‌های مؤسسه و سازمان علمی مربوطه می‌باشد. محدودیت (۲۴) نشان دهنده آن است که تعداد جلسات قابل برگزاری برای فراگیران می‌بایست حداکثر به میزان بیشترین تعداد هفته‌های در دسترس مؤسسه و سازمان علمی برای ارائه خدمات به فراگیران باشد. محدودیت (۲۵) نشان دهنده آن است که تعداد جلسات قابل برگزاری برای فراگیران می‌بایست حداقل به میزان بیشترین تعداد هفته‌های در دسترس مؤسسه و سازمان علمی برای ارائه خدمات به فراگیران باشد. محدودیت (۲۶) تعیین کننده عدم برگزاری جلسات در هفته‌های ابتدایی برای فراگیران جدیدالورود به هر سطح از حوزه‌هایی که مؤسسه و سازمان علمی در این به ارائه خدمات آموزشی می‌پردازد می‌باشد. محدودیت (۲۷) در شرایط وجود بیماری کرونا تعداد دانشجوهایی که برای شرکت در کلاس حضوری در مؤسسه و سازمان‌های علمی حضور می‌یابند، مطابق دستورالعمل‌های اعلام شده نباید از ظرفیت

استاندارد در این شرایط بیشتر شود.

محدودیت (۲۸) تضمین‌کننده آن است که حداقل شهریه دریافتی به‌ازای هر دانشجو بابت ارائه خدمات آموزشی و مطابق شرایط برقرار و دستورالعمل‌های اعلام شده مرتبط با پاندمی کرونا می‌باشد.

محدودیت (۲۹) تعیین کننده کل بودجه تخصیص داده شده توسط ذی‌نفعان بابت سرمایه‌گذاری جهت تأمین فضای آموزشی می‌باشد که این میزان باید نسبت بیشتری به هزینه‌های تأمین فضای مربوط به آن را داشته باشد. محدودیت (۳۰) مشخص‌کننده هزینه‌های پرداختی به مدرسین رسمی و مدرسین حق‌التدریسی است. محدودیت (۳۱) تضمین‌کننده مکان‌یابی تمامی کلاس‌های حضوری می‌باشد.

محدودیت (۳۲) مشخص‌کننده آن است که حداقل هزینه ازدست‌رفته که توسط مؤسسه و سازمان‌های علمی بابت تأمین فضا پرداخت شده اما بخشی از آن به دلیل عدم وجود فراگیر بی‌استفاده مانده است می‌باشد. محدودیت (۳۳) تضمین‌کننده آن است که در طی یک بازه زمانی و در یک روز کاری از هفته زوج یا فرد هر مدرس می‌تواند حداکثر در یک کلاس در حال تدریس است. محدودیت (۳۴) نشان‌دهنده‌ی عدم تداخل درس‌های ارائه شده برای فراگیران طی یک بازه زمانی به صورت هم‌زمان می‌باشد .محدودیت (۳۵) تضمین‌کننده آن است که تعداد فراگیران حاضر شده در کلاس نباید بیشتر از ظرفیت تحمل بار سرور سیستم آموزشی سازمان و مؤسسات علمی بابت دوره‌های الکترونیکی باشد.

محدودیت (۳۶) نشان دهنده این است که میزان فراگیران در روزهای هفته نباید از کل ظرفیت هر کلاس بیشتر شود. محدودیت (۳۷) تضمین گر نامنفی بودن متغیرهای تابع هدف مسئله می‌باشد.

۳- الگوریتم‌های حل مسئله

برای حل مدل‌سازی صورت گرفته در پژوهش فعلی و دستیابی به جواب بهینه‌ی مسئله از الگوریتم‌های GA و الگوریتم KHA استفاده شده است. در بخش‌های بعدی به شرح دقیق چگونگی حل مسئله با به‌کارگیری استراتژی‌ها و ارائه‌ی منحنی‌های تبادل بهینه بین اهداف پرداخته شده است.

۳-۱. عملکرد الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک یکی از روش‌های برای چه کاری می‌باشد که جزوه الگوریتم‌های بهینه‌سازی تصادفی و الگوریتم‌های تکاملی محسوب می‌گردد.

این الگوریتم مبتنی بر استراتژی‌های نشئت گرفته از تکامل طبیعی بر روی جمعیتی از جواب‌ها قادر به یافتن مجموعه جواب قابل قبول و نزدیک به بهینه برای مسائل گوناگون با مدل‌های بهینه‌سازی می‌باشد. در الگوریتم مذکور با استفاده از کروموزوم های کدگذاری شده به جستجو در فضای مسئله برای دستیابی به نتایج مورد انتظار پرداخته می‌شود. شکل ۱ نشان دهنده چگونگی نحوه نمایش جواب به صورت کروموزوم می‌باشد ترسیم‌گر کروموزومی چند سطر است. در الگوریتم ژنتیک پارامترهای مختلفی موجود می‌باشد پرجمعیت به حالت تصادفی تولید می‌شوند توسط تابع ارزیابی هر کدام از کروموزوم‌ها رمزگشایی شده و به آن مقداری نسبت داده می‌شود. کروموزوم نشان داده شده شامل n ستون مبتنی بر موارد وابسته‌ی بیان در ردیف‌ها می‌باشد.

UCs_{it}	…		y=1		x=n	…		$Nr^{dw\,z}_{qpuy}$		UJ_{qpu}	…		LJ_{qpu}		Um^{hu}_{cui}	…		Na^{c}_{ir}
	…		Mo^{hu}_{cui}		x=n	…		$Nt^{dw\,f}_{qpuh}$		UJ_{qpu}	…		i=1		Um^{hu}_{cui}	…		Nb^{i}_{ip}
⋮	…	⋮	⋮		⋮	…	⋮	⋮		⋮	…	⋮	⋮		⋮	…	⋮	⋮
	…		Dz^{ij}_{yqpj}		x=n	…		$Ns^{dw\,z}_{qpuy}$		n=N	…		Nl_{uo}			…		M^{ro}_{ui}
	…		Dz^{ijt}_{yqpj}		x=n	…		$Ns^{dw\,f}_{qpuy}$		p=N	…		p=1		a=N	…		a=1
w=N	…		w=1		H^{dvl}_{qpu} H^{dve}_{qpu}	…		D^{ijl}_{qpu} D^{ijr}_{qpu}		q=N	…		q=1		w=N	…		w=1

شکل۱. نمایش کروموزوم و نحوه‌ی کدینگ آن

جمعیت اولیه با این کروموزوم تکراری نشده تشکیل می‌گردد هر کدام از کروموزوم‌ها معادل یک جواب موجه برای مسئله پژوهش حاضر می‌باشد. از آنجا که سطرهای هر بخش مشخص شده در کروموزوم نمایانگر تخصیص‌های مرتبط با مدرسین کارمندان فراگیران و سایر فاکتورهای مربوط به سازمان و مؤسسات علمی می‌باشد در فرایند حل به کمک الگوریتم فراابتکاری ژنتیک جهت برقراری محدودیت‌های مرتبط با تخصیص برخی جواب‌های ناکارآمد انتخاب و حذف خواهند شد. در طی فرایندهای تشکیل جمعیت جدید برای دستیابی به مجموعه جواب پارتو به صورت مطلوب از اپراتورهای مناسب و اعمال نحوه عملکرد آنها بر کروموزوم‌هایی با برازندگی بزرگ‌تر بهره گرفته می‌شود.

۳-۲. عملکرد الگوریتم KHA

در این بخش از پژوهش جاری جهت حل مسئله از الگوریتم فراابتکاری میگو برای دستیابی به جواب بهینه مدل‌سازی ریاضی انجام شده بهره گرفته می‌شود. الگوریتم فراابتکاری منتخب کارکردی بر اساس شبیه‌سازی حرکت‌های و رفتار جمعی میگوها جهت جستجو و یافتن غذا می‌باشد و از جمله الگوریتم‌هایی است که در رسته الگوریتم‌های هوش ازدحامی طبقه بندی می‌گردد. جهت دستیابی به جواب موجه و نزدیک به بهینه برای مدل‌سازی با به‌کارگیری الگوریتم مذکور به حل مسئله که حل دقیق آن در زمان منطقی امکان‌پذیر نمی‌باشد، پرداخته شد. الگوریتم فراابتکاری دسته میگوها نسبت به استراتژی‌های کلاسیک ریاضی و منطقی از کارایی و سرعت بالایی برخوردار است و عملکرد آن مشابه دیگر الگوریتم‌های فراابتکاری مبتنی بر قانون‌های طبیعت می‌باشد به‌طوری‌که در مقابل فرایند زیست محیطی به خصوصی دارای رفتار و واکنش گروهی هستند.

در این الگوریتم بر اساس فاکتورهای چون حرکت القایی توسط دیگر میگوها، جستجو جهت یافتن غذا و حرکت‌های تصادفی حرکت هر میگو را کدگذاری می‌کنیم و دو روش جهانی و محلی را به صورت موازی به کار گرفته تا نتیجه آن دستیابی به مجموعه جواب پارتو موردنظر گردد. در تمامی الگوریتم‌های فراابتکاری انجام مطلوب تنظیم پارامترها امری بااهمیت است که تأثیر بسزایی در نتایج بهینه مستخرج از مدل‌سازی صورت گرفته مسئله حاضر داشته است. الگوریتم مذکور به سبب بررسی دقیق رفتار میگوها و شبیه‌سازی آن جهت برآورد ضرایب از روش‌های تجربی دنیای واقعی بهره می‌گیرد و تنها می‌بایست از لحاظ زمانی تنظیم و محاسبه گردد. مبتنی بر دیدگاه گرفته شده از الگوریتم فراابتکاری می‌بایست به کدگذاری و نمایش جواب پرداخت که جهت بهینه‌سازی مدل مورد مطالعه باید تابع هدف منطبق بر هدف افزایش تراکم میگوها و دستیابی به غذا شبیه‌سازی شود. در این الگوریتم در ابتدا با استراتژی مطرح شده بر اساس الهام‌گیری از طبیعت و رفتار میگو مدل لاگرانژی در نظر گرفته می‌شود که برای آن مقداردهی با هدف شکار میگوها ارائه می‌گردد؛ چراکه حذف مجموعه‌ای از آن‌ها کاهش تراکم را به همراه خواهد داشت.

در الگوریتم مذکور محاسبه همسایگی میگوها و چگونگی نحوه این محاسبه جزئی از فرایند اجرای این الگوریتم است. چنانچه فاصله آنها کمتر از فاصله معیار تعریف گردد میگوهای مورد بررسی همسایه محسوب می‌شوند. در بخش دیگری از الگوریتم مذکور یافتن برای دستیابی به غذا توسط میگوها و سپس چگونگی ارتباط غذای موجود با مکان فرموله می‌شود. در پیاده‌سازی نحوه‌ی حرکت‌های تصادفی و نشر میگوها در طی اجرای الگوریتم آثار محلی حرکت ناشی از دیگر فاکتورها در بین جمعیت در پی دستیابی به هدف با گذشت زمان کاهش‌یافته و در یک نقطه همگرا می‌گردد. در الگوریتم

پیشنهادی دسته‌های میگو هر ذره مبتنی بر رشته‌ای نمایش داده می‌شود که طول آن برابر سازمان و مؤسسات علمی است. نحوه مقداردهی و جایگاه هر یک از عناصر این رشته ترتیب و اولویت دوره‌های الکترونیکی و حضوری را مطرح می‌کند؛ همچنین بیان‌کننده‌ی این است که هر کدام به چه نوع مدرسی و سازمان و مؤسسه‌ای تخصیص داده می‌شود. با تخصیص مدرسین، کارمندان و فراگیران و ... به بخش‌های مختلف سازمان و مؤسسات علمی و علاوه بر آن تخصیص کارمندان به بخش‌های گوناگون و هریک از دانشجوها به دوره‌های الکترونیکی و حضوری و مدرسین رسمی یا حق‌التدریسی رشته‌های کدگذاری شده به‌روزرسانی می‌گردند.

۳-۳. اجرای الگوریتم‌ها و اعتبارسنجی

در این قسمت حل مدل و به دست آوردن جواب‌های بهینه از طریق روش دقیق توسط نرم‌افزار کمز و برآورد جواب‌های پارتو با به‌کارگیری الگوریتم‌های GA و KHA در ابعاد متوسط و بزرگ به کمک نرم‌افزار متلب مورد مطالعه و مقایسه قرار گرفته است.

تنظیم صحیح پارامترها و انتخاب مطلوب چگونگی الگوریتم‌های فراابتکاری برای حل مسائل و نحوه‌ی اثرگذاری عملکرد آن‌ها بر اساس وضعیت مدل‌سازی مورد مطالعه مشخص شده است. به منظور بررسی و مقایسه‌ی وضعیت عملکرد استراتژی‌ها مد نظر قرار گرفته بابت حل مدل در ابتدا به برآورد جواب بهینه در ابعاد کوچک پرداخته شد و با توجه به NP-hard بودن مسئله در ابعاد متوسط و بزرگ روش دقیق ناکارآمد بوده و طی زمان بالای محاسباتی به حل می‌پردازد که همین امر سبب عدم استفاده از روش دقیق در ابعاد مذکور گردید. جهت حل مسئله در ابعاد متوسط و بزرگ با به‌کارگیری الگوریتم‌های فراابتکاری مجموعه جواب‌های پارتو حاصل شد. جدول ۴ نشان‌دهنده‌ی داده‌هایی است که برای حل مسئله در ابعاد مختلف پژوهش حاضر از آن بهره گرفته شده است.

در این بخش به بررسی اعتبارسنجی مدل با به‌کارگیری چگونگی رفتار مدل در اثر تغییرات وابسته به روش‌های در پیش گرفته شده و پارامترهای تنظیم شده توسط نرم‌افزار گمز و نرم‌افزار متلب مبتنی بر روش دقیق و الگوریتم‌های GA و KHA پرداخته شده است. این امر جهت مقایسه روش دقیق و نتایج حاصل از استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری صورت می‌گیرد. نمودارهای ارائه شده در شکل‌های ۲ تا ۱۷ نشان دهنده نتایج مستخرج از حل مدل‌سازی ریاضی صورت گرفته در این پژوهش می‌باشند. شکل ۲ تبیین گر آن است که تعداد کارمندان در دسترس در شیفت‌های کاری طی بازه‌های زمانی مختلف و روزهای کاری هفته با افزایش ابعاد مسئله شکل صعودی به خود می‌گیرد و شکل‌های ۳ و ۴ به ترتیب مشخص‌کننده‌ی تغییرات وابسته به متغیرهای تعداد دوره‌های آموزش ضمن خدمت به صورت الکترونیکی و حضوری می‌باشند و شکل ۵ چگونگی تغییرات تعداد کارمندان شرکت‌کننده در دوره‌های آموزش ضمن خدمت را نشان می‌دهد؛ نتایج حاصل بیانگر این است که با افزایش ابعاد مثل هرچه سازمان و مؤسسه علمی بزرگ‌تر باشد از آنجا که تعداد کارمندان و دوره‌های لازمه بابت آموزش ضمن خدمت آنها افزایش می‌یابد، هزینه‌های تحمیل شده به سازمان نیز صعودی خواهد بود. نمودار نشان داده شده در شکل‌های ۶ و ۷ تعداد مدرسین رسمی در دسترس هفته‌های زوج و فرد را نمایش می‌دهد. همچنین شکل‌های ۸ و ۹ مقایسات بین نتایج حاصل شده از الگوریتم‌های فراابتکاری دست میگوها و ژنتیک بر اساس تعداد مدرسین حق‌التدریسی در دسترس طی هفته‌های زوج و فرد دوره آموزشی فراگیران را نمایش می‌دهد؛ همان‌طور

که مشاهده می‌شود تمامی نمودارهای ارائه شده در شکل‌های ۶ الی ۹ دارای روند صعودی بوده و قابل به ذکر است که دستمزد پرداختی به مدرسین حق‌التدریسی با دستمزد پرداختی به مدرسین رسمی متفاوت می‌باشد و این امر در میزان شیب نمودارها و همچنین میزان چگونگی تأثیر آن بر مقدار هزینه‌های وارده به سازمان و مؤسسات علمی مؤثر می‌باشد.

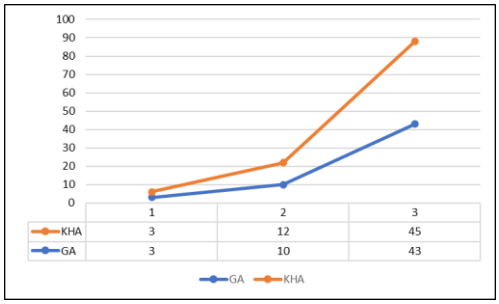
جدول ۴. داده‌های مسائل نمونه

داده‌ها	ابعاد کوچک / ابعاد متوسط / ابعاد بزرگ	داده‌ها	ابعاد کوچک / ابعاد متوسط / ابعاد بزرگ	داده‌ها	ابعاد کوچک / ابعاد متوسط / ابعاد بزرگ	داده‌ها	ابعاد کوچک / ابعاد متوسط / ابعاد بزرگ
Tk_{cuw}	4	Lm_{cur}^{hw}	3	Po_{cur}^{hw}	200	Ct_{qpuij}^{dwe}	250
	5		12		250		370
	6		33		350		430
To_{cuw}^{Total}	8	Mo_{Total}	5	Pt_{ur}^{ca}	270	Cs_{qpuij}^{dwl}	310
	8		20		350		420
	8		50		470		480
Ta_{cu}^{rw}	2/5	S_{qpu}^{dwz}	100	Pc_{ur}^{ca}	170	Cs_{qpuij}^{dwe}	210
	3/5		500		210		340
	4		1000		320		380
Tb_{cu}^{rw}	1/5	S_{qpu}^{dwf}	100	Pn_{ur}^{a}	830	Co_{qpu}^{ive}	2400
	2/5		500		1300		4750
	3/5		1000		4250		19000
Tf_{u}^{Max}	1	Nts_{qpu}	15	Pr_{cur}^{aw}	195	Cy_{qpu}^{dwl}	125
	1/5		45		220		435
	2/5		155		270		615
T_{Total}^{rauw}	3	Y_{vu}	100	Pe_{ur}^{a}	210	Cy_{qpu}^{dwe}	95
	4		550		327		350
	5		700		868		515
Um_{cur}^{hw}	7	B_{viu}	10	PG_{u}	170	CB_{cu}^{w}	180
	25		20		230		220
	54		30		350		250
UJ_{qpu}	10	W_{Total}	48	PA_{uo}	450	Cx_{ur}^{dw}	30
	15		50		1750		85
	35		52		5350		140
Us_{qpu}	150	Cg_{yu}	20	C_{qpu}^{ivl}	4500	Cn_{pu}	3550
	650		150		8550		6450
	1800		350		21500		21000
Ut_{u}	35	Ue_{u}^{dw}	55	Ct_{qpuij}^{dwl}	370	Ce_{yi}^{dw}	2800
	75		180		460		5250
	250		1100		550		19500
UCs_{di}	50	LJ_{qpu}	5	Xt_{ywu}	1		
	150		10		1/5		
	350		25		1/5		

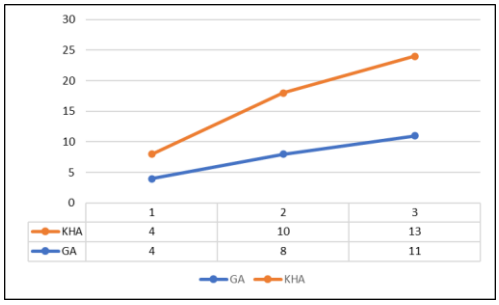
جدول ۵. مجموعه جواب پارتو و مقایسه نتایج حاصل شده

نماد	ابعاد کوچک		نماد	ابعاد کوچک		نماد	ابعاد کوچک		نماد	ابعاد کوچک	
	ابعاد متوسط GA	ابعاد متوسط KHA		ابعاد متوسط GA	ابعاد متوسط KHA		ابعاد متوسط GA	ابعاد متوسط KHA		ابعاد متوسط GA	ابعاد متوسط KHA
	ابعاد بزرگ GA	ابعاد بزرگ kHA		ابعاد بزرگ GA	ابعاد بزرگ kHA		ابعاد بزرگ GA	ابعاد بزرگ kHA		ابعاد بزرگ GA	ابعاد بزرگ kHA
Mo_{cur}^{hw}	10	12	Nt_{qpuij}^{dwz}	9	13	D_{qpu}^{ijl}	65	51	Nl_{uo}	7	3
	43	45		16	19		120	87		11	6
Na_{ur}^{a}	8	10	Nt_{qpuij}^{dwf}	15	17	$D_{qpu}^{ijø}$	85	71	Dz_{yqpu}^{ijl}	3	2
	11	13		19	23		255	213		4	3
Nb_{ur}^{a}	6	8	Ns_{qpuij}^{dwz}	18	22	H_{qpu}^{ivl}	22	27	$Dz_{yqpu}^{ijø}$	5	4
	8	10		25	29		46	51		8	5
M_{ur}^{ca}	7	9	Ns_{qpuij}^{dwf}	21	24	$H_{qpu}^{ivø}$	47	50	Se_{qpu}^{dw}	380	320
	25	27		38	35		160	168		820	785

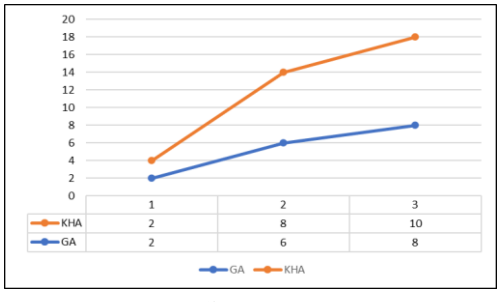
شکل‌های ۱۰ و ۱۱ به ترتیب نشان دهنده تعداد درس‌هایی می‌باشد که دوره‌های آن به صورت الکترونیکی و مجازی و به صورت حضوری برگزار می‌گردد شکل‌های ۱۲ و ۱۳ نیز ترسیمی از روند صعودی تعداد کلاس‌های تخصیص داده شده به دوره‌هایی که در مؤسسه و سازمان علمی برای حوزه‌های مختلف مربوطه در سطوح متفاوت به صورت الکترونیکی و یا حضوری برگزار می‌شود را نشان می‌دهد.



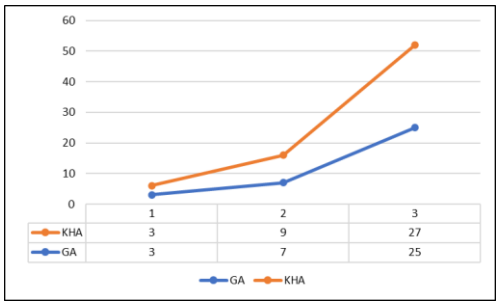
شکل ۲. تعداد کارمندان در دسترس در شیفت کاری



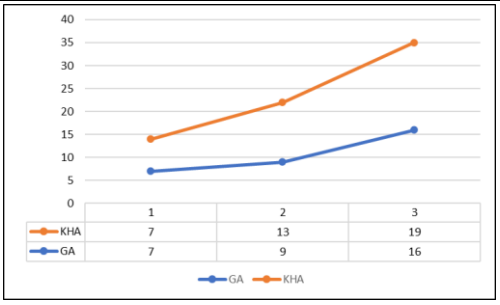
شکل ۳. تعداد دوره‌های الکترونیکی آموزش ضمن خدمت



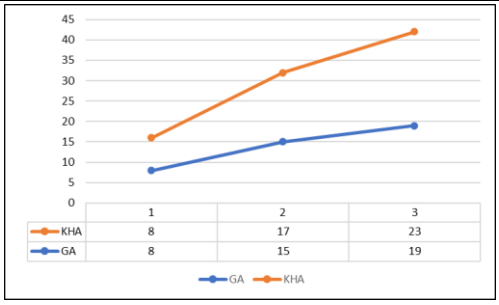
شکل ۴. تعداد دوره‌های حضوری آموزش ضمن خدمت



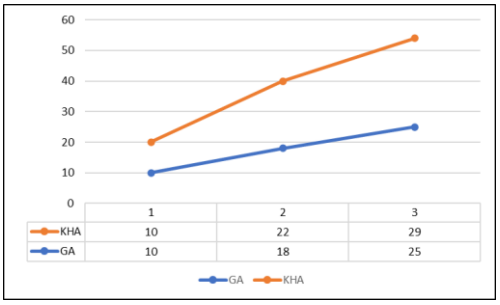
شکل ۵. تعداد کارمندان شرکت‌کننده در دوره‌ی آموزش ضمن خدمت



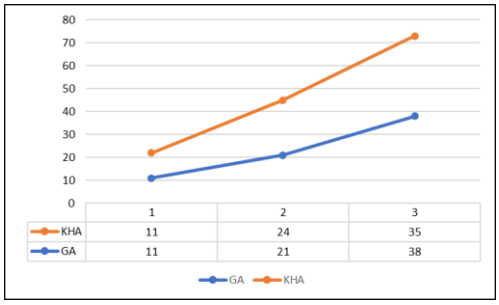
شکل ۶. تعداد مدرس رسمی در دسترس در هفته زوج



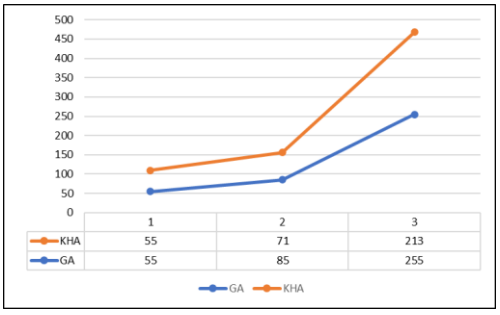
شکل ۷. تعداد مدرس رسمی در دسترس در هفته فرد



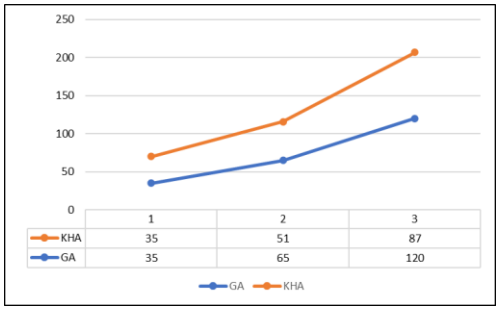
شکل ۸. تعداد مدرس حق‌التدریسی در دسترس در هفته زوج



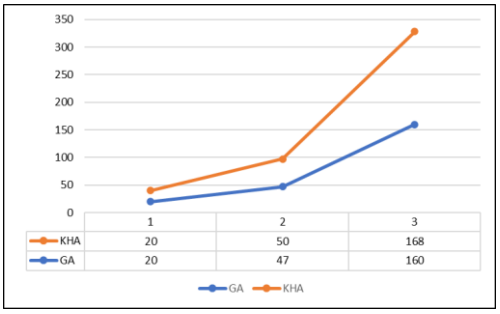
شکل ۹. تعداد مدرس حق‌التدریسی در دسترس در هفته فرد



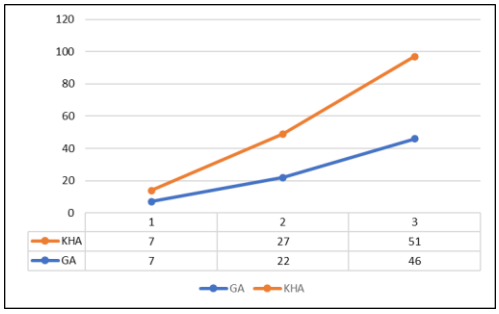
شکل ۱۰. تعداد درس‌هایی که به صورت الکترونیکی برگزار می‌شوند



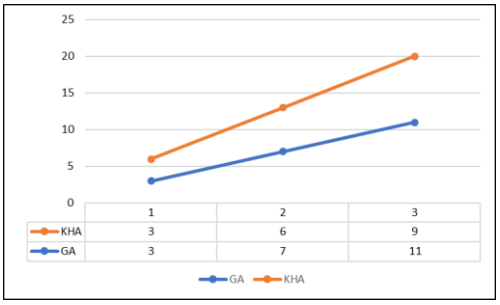
شکل ۱۱. تعداد درس‌هایی که به صورت حضوری برگزار می‌شوند



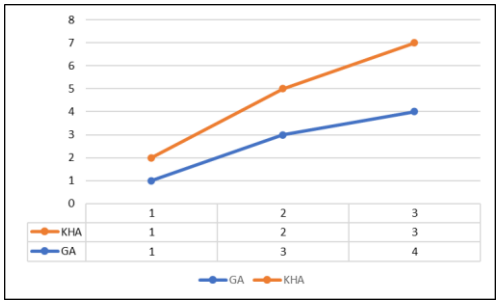
شکل ۱۲. تعداد کلاس‌هایی که به صورت الکترونیکی برگزار می‌شوند



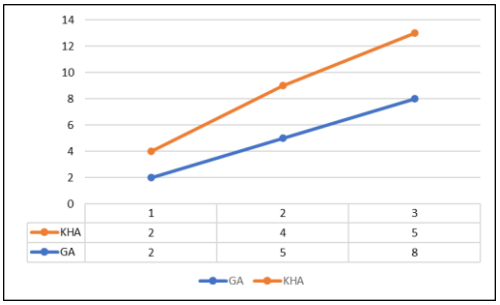
شکل ۱۳. تعداد درس‌هایی که به صورت حضوری برگزار می‌شوند



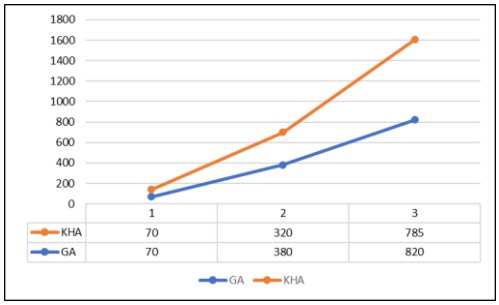
شکل ۱۴. تعداد تبلیغات برای اطلاع‌رسانی توسط سازمان علمی



شکل ۱۵. تعداد دروس اخذ شده به صورت حضوری توسط دانشجو



شکل ۱۶. تعداد دروس اخذ شده به صورت الکترونیکی توسط دانشجو



شکل ۱۷. تعداد فراگیران شرکت‌کننده در دوره‌های الکترونیکی

این روند افزایشی در کلاس‌ها و درس‌هایی که دوره‌های مرتبط با آن‌ها به صورت الکترونیکی برگزار می‌گردد، می‌تواند به دلیل این باشد که تعداد فراگیران متقاضی برای شرکت در دوره‌ها به صورت الکترونیکی درس سیستم آموزشی سازمان و مؤسسات علمی افزایش‌یافته است؛ چرا که با شیوع بیماری کرونا بسیاری از مؤسسات و سازمان‌های علمی تصمیم به برگزاری دوره‌ها و ارائه خدمات آموزشی از راه دور را اتخاذ کردند و همچنین به سبب دسترسی راحت در هر مکان به سخت افزار و نرم‌افزارهای مورد نیاز جهت شرکت در دوره‌های الکترونیکی برای فراگیران، سازمان‌ها با افزایش تقاضا روبرو شدند که این علاوه بر درآمدزایی برای آنها، باعث ایجاد هزینه‌هایی برای فراهم‌سازی برخی زیرساخت‌ها را جهت ارائه خدمات به صورت مجازی به دنبال داشت.

شکل ۱۴ با بسته به متغیر تعداد تبلیغات برای اطلاع رسانی خدمات قابل‌ارائه توسط سازمان و مؤسسات علمی می‌باشد، همان‌طور که دیده می‌شود با افزایش ابعاد مسئله تعداد این تبلیغات افزایش می‌یابد زیرا بسیاری از سازمان‌های کوچک به دلیل درآمد کمتر و وجود هزینه‌های بسیار تبلیغات قادر به استفاده از تعداد متعدد تبلیغات نمی‌باشند، در مقابل هرچه سازمان بزرگ‌تر باشد از آنجا که توانایی پرداخت هزینه‌های بسیار بهره‌مندی از تبلیغات مختلف را دارد از تعداد بیشتر تبلیغات استفاده می‌کند همین امر سبب افزایش هزینه‌ها در این زمینه می‌شود قابل به ذکر است که ذی‌نفعان سازمان‌ها و مؤسسات علمی این هزینه را با توجه به بودجه قابل تخصیص در این بخش کنترل می‌کنند. شکل‌های ۱۵ و ۱۶ نشان دهنده تعداد دروس اخذ شده به صورت حضوری و الکترونیکی توسط دانشجو می‌باشد، با مقایسه این دو نمودار در ابعاد مختلف درمی‌یابیم که در قسمتی از شکل ۱۶ که نشانگر دوره‌ها حضوری می‌باشد مقداری افت شیب وجود دارد این امر حاکی از ایجاد شرایط مرتبط با شیوع

بیماری کرونا و دستورالعمل‌های الزامی سازمان و مؤسسات علمی برای نحوه برگزاری دوره‌های حضوری است.

شکل ۱۷ تعداد فراگیران شرکت‌کننده در دوره‌های الکترونیکی را نشان می‌دهد که افزایش آن می‌تواند به دلیل شرایط پاندمی کرونا که فراگیران برخی از مواقع شرکت در دوره‌های الکترونیکی را بر شرکت در دوره‌های حضوری ترجیح دادند، باشد. قابل به ذکر است که شهریه پرداختی بابت این دوره‌ها متفاوت می‌باشد و همچنین در دوره‌ها به صورت الکترونیکی هزینه‌ی پرداخت بابت استفاده از اینترنت و فاکتورهای لازم جهت شرکت در دوره‌های مجازی جایگزین هزینه‌های حمل و نقل برای فراگیران می‌شود. با مقایسات صورت گرفته مبتنی بر الگوریتم‌های فراابتکاری منتخب و دستیابی به مجموعه جواب پارتو در جدول۵، کارایی کافی در زمان مورد انتظار و سرعت قابل قبول الگوریتم‌های فراابتکاری دسته میگوها و ژنتیک مشخص است.

۴- نتیجه‌گیری و پیشنهادهای آتی

هدف اصلی برنامه‌ریزی سیستم آموزشی در دوران کرونا تقلیل میزان خطر سلامت افراد در این دوران بوده است از همین رو مؤسسات علمی ابتدا دوره‌های آموزشی، پژوهشی و سایر دوره‌های خود را صورت الکترونیکی برگزار کردند و پس از واکسیناسیون اکثر جامعه اتخاذ تدابیر در راستای بهبود نظام آموزشی بدین صورت شد که دوره‌ها به صورت حضوری و الکترونیکی اجرا گردد؛ به سبب اهمیت دوره‌های مجازی و الکترونیکی در کنار دوره‌های حضوری و ضرورت بررسی زیرساخت‌های مرتبط با هر یک از آنها در این پژوهش مدل ریاضی کارآمدی ارائه شد. پژوهش صورت گرفته طی مدل‌سازی ریاضی به حل مسئله مورد مطالعه از طریق تابعی چندمنظوره برآورد اهداف مختلف کمینه‌سازی هزینه‌ها مرتبط با برگزاری دوره‌های علمی به صورت حضوری و الکترونیکی در مدت پاندمی کرونا پرداخت. به جهت حل مدل‌سازی انجام شده از استراتژی‌های دقیق و الگوریتم دسته‌های میگو استفاده شده است. نتایج به‌دست‌آمده حاکی از آن است که الگوریتم فراابتکاری منتخب کارایی مناسب را در مدت زمان کمتری نسبت به روش‌های دقیق در ابعاد متوسط و بزرگ را داشته است. به جهت تحقیقات آتی پژوهشگران علاقه‌مند در این حوزه می‌توانند از سایر الگوریتم‌های فراابتکاری که در مدل‌سازی مربوطه کارایی دارند استفاده کنند و همین‌طور به بررسی چگونگی تأثیر ارگونومی طی دوره‌های الکترونیکی و یا حضوری در یادگیری افراد بپردازند. همچنین می‌توان با لحاظ جزئیات هزینه‌های مرتبط با حمل و نقل از محل درآمد حاصل از اشتغال کارمندان، مدرسین و ... در سازمان آموزشی و همچنین افراد یادگیرنده و تمامی افراد مرتبط با سیستم آموزشی طی دوره‌های حضوری به مطالعه سیستم هزینه‌یابی پرداخت. از سویی دیگر می‌توان به بررسی میزان یادگیری افراد و چگونگی تأثیر آموزش الکترونیکی در پیشرفت دانش آن‌ها پرداخت.

فهرست منابع

[1] Cinquin, P. A., Guitton, P., & Sauzéon, H. (2019). Online e-learning and cognitive disabilities: A systematic review. Computers & Education, 130, 152-167.

[2] Shaw, S. C., Hennessy, L. R., & Anderson, J. L. (2022). The learning experiences of dyslexic medical students during the COVID-19 pandemic: a phenomenological study. Advances in Health Sciences Education, 27(1), 107-124.

[3] Ramakrisnan, P., Yahya, Y. B., Hasrol, M. N. H., & Aziz, A. A. (2012). Blended learning: A suitable framework for e-learning in higher education. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 67, 513-526.

[4] Owusu-Ansah, A., Neill, P., & Haralson, M. K. (2011). Distance education technology: Higher education barriers during the first decade of the twenty-first century. Online Journal of Distance Learning Administration, 14(2), 1-12.

[5] Owusu-Ansah, A., Neill, P., & Haralson, M. K. (2011). Distance education technology: Higher education barriers during the first decade of the twenty-first century. Online Journal of Distance Learning Administration, 14(2), 1-12.

[6] Jawaid, M., & Ashraf, J. (2012). Initial experience of eLearning research module in undergraduate medical curriculum of Dow University of Health Sciences: Development and students perceptions. Pakistan Journal of Medical Sciences, 28(3).

[7] Syakur, A. (2019). Application of E-Learning As a Method In Educational Model to Increase The TOEFL Score In Higher Education. Journal of Development Research, 3(2), 111-116.

[8] Valverde-Berrocoso, J., Garrido-Arroyo, M. D. C., Burgos-Videla, C., & Morales-Cevallos, M. B. (2020). Trends in educational research about e-learning: A systematic literature review (2009–2018). Sustainability, 12(12), 5153.

[9] Li, F., Yu, D., Yang, H., Yu, J., Karl, H., & Cheng, X. (2020). Multi-armed-bandit-based spectrum scheduling algorithms in wireless networks: A survey. IEEE Wireless Communications, 27(1), 24-30.

[10] Wang, X., Ning, Z., Guo, S., & Wang, L. (2020). Imitation learning enabled task scheduling for online vehicular edge computing. IEEE Transactions on Mobile Computing. Wang, X., Ning, Z., Guo, S., & Wang, L. (2020). Imitation learning enabled task scheduling for online vehicular edge computing. IEEE Transactions on Mobile Computing.

[11] Hubbs, C. D., Li, C., Sahinidis, N. V., Grossmann, I. E., & Wassick, J. M. (2020). A deep reinforcement learning approach for chemical production scheduling. Computers & Chemical Engineering, 141, 106982.

[12] Rajabalee, Y. B., & Santally, M. I. (2021). Learner satisfaction, engagement and performances in an online module: Implications for institutional e-learning policy. Education and Information Technologies, 26(3), 2623-2656.

[13] Roumell Erichsen, E., & Salajan, F. D. (2014). A comparative analysis of e-

learning policy formulation in the European Union and the United States: Discursive convergence and divergence. Comparative Education Review, 58(1), 135-165.

[14] Al-Marzouqi, A. H., & Ahmed, W. K. (2016). Experimenting E-Learning for Postgraduate Courses. International Journal of Emerging Technologies in Learning, 11(4).

[15] Huang, M. J., Huang, H. S., & Chen, M. Y. (2007). Constructing a personalized e-learning system based on genetic algorithm and case-based reasoning approach. Expert Systems with applications, 33(3), 551-564.

[16] Tan, X. H., Shen, R. M., & Wang, Y. (2012). Personalized course generation and evolution based on genetic algorithms. Journal of Zhejiang University SCIENCE C, 13(12), 909-917.

[17] Christudas, B. C. L., Kirubakaran, E., & Thangaiah, P. R. J. (2018). An evolutionary approach for personalization of content delivery in e-learning systems based on learner behavior forcing compatibility of learning materials. Telematics and Informatics, 35(3), 520-533.

[18] Sun, G., & Shen, J. (2016). Towards organizing smart collaboration and enhancing teamwork performance: a GA-supported system oriented to mobile learning through cloud-based online course. International Journal of Machine Learning and Cybernetics, 7(3), 391-409.

[19] Studenovský, J. (2009). Polynomial reduction of time–space scheduling to time scheduling. Discrete Applied Mathematics, 157(7), 1364-1378.