Archive of SID

نشریه علمی– پژوهشی امیرکبیر (مهندسی عمران و محیط زیست)
Amirkabir Journal of Science & Research (Civil & Environmental Engineering)
(AJSR - CEE)

دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)
دوره چهل وهفت، شماره ۱، تابستان ۱۳۹٤، صفحه ۷۹ تا ۹۷
Vol. 47, No. 1, Summer 2015, pp. 79-97

برآورد نرخ بهره‌وری متغیر نیروی انسانی در پروژه‌های خطی- تکراری با استفاده از تئوری مجموعه‌های فازی و بررسی تأثیر آن در برنامه زمان‌بندی

حسین رضایی[۱]، پریسا قبادی[۲]، احد نظری[۳*]

۱- کارشناسی ارشد، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
۲- دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران
۳- استادیار، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی ، تهران، ایران

(دریافت۱۳۹۰/۹/۲۵، پذیرش۱۳۹۳/۱/۲۰)

چکیده

پروژه های خطی تکراری پروژه هایی هستند که در آنها دسته ای از فعالیت ها در واحدها یا بخش های مختلف پروژه تکرار می شوند. به دلیل ماهیت این پروژه ها و اهمیت مسائلی مانند پیوستگی کار منابع، نرخ بهره وری متغیر پرسنل و تاثیر یادگیری بر کارایی نیروی انسانی، برنامه زمان بندی آنها بسیار همیت دارد که با روش‌های معمول نمی‌توان آن را بهینه نمود. در تحقیقات پیشین، بر مسأله یادگیری پرسنل تاکید بسیاری گردیده اما کمتر به این مورد پرداخته شده است. در این پژوهش، روشی برای مدل سازی نرخ یادگیری و لحاظ نمودن آن در محاسبات روش خط تعادل ارائه گردید. شایان ذکر است که در روش پیشنهادی از تئوری مجموعه های فازی برای تعیین نرخ یادگیری استفاده شده است. پس از محاسبه نرخ یادگیری، از آن برای محاسبه مقدار نفر- ساعت مورد نیاز، نرخ بهره وری متغیر منابع انسانی و مدت زمان مورد انتظار برای اجرای فعالیت ها در هر واحد از پروژه استفاده می گردد. براساس نتایج بدست آمده، معلوم شد که یادگیری حاصل از تکرار، منجر به کاهش زمان و هزینه اجرای پروژه می شود.

کلمات کلیدی

برنامه زمان‌بندی، پروژه‌های خطی- تکراری، روش خط تعادل، یادگیری، نرخ بهره‌وری، مجموعه‌های فازی.

* نویسنده مسئول وعهده دار مکاتبات Email:A_Nazari@sbu.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

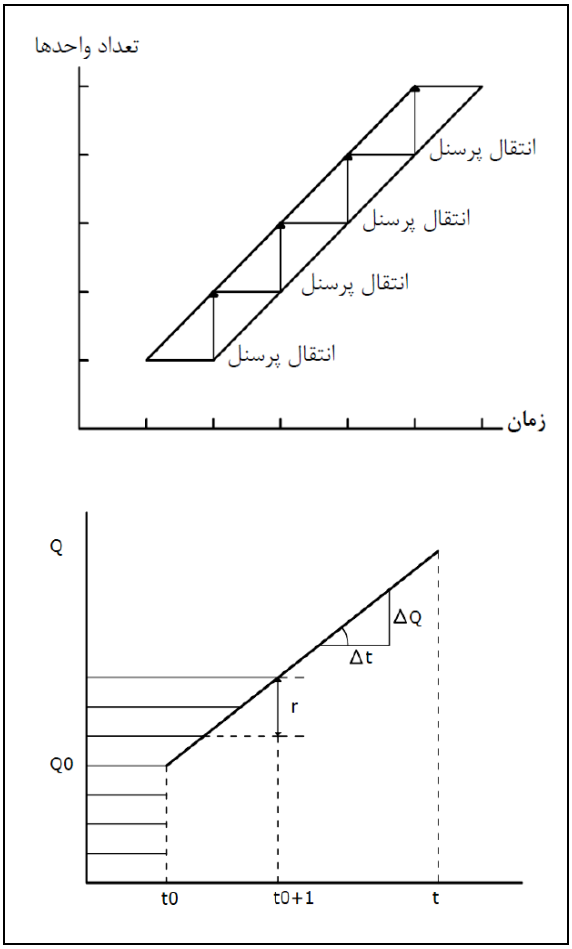
روش های زمان بندی خطی[۱]، دسته ای از روش های برنامه ریزی زمانی هستند که به طور وسیعی در پروژه های با فعالیت های تکراری مانند جاده‌سازی، ساختمان‌های بلندمرتبه، مجتمع های مسکونی و غیره بکار گرفته می‌شوند. روش خط تعادل، یک روش زمان بندی خطی است که اساس آن، حفظ تعادل در نرخ پیشرفت فعالیت‌ها است. به گونه ای که هر فعالیت بطور پیوسته و کارا در واحدهای متوالی اجرا می‌شود [۱]. یکی از عوامل مهم در فعالیت‌های تکراری، تاثیر مسأله تکرار و در نتیجه یادگیری پرسنل، در زمان و هزینه پروژه است. کاملاً واضح است که با افزایش تکرار یک فعالیت، نرخ پیشرفت اجرای آن بیشتر خواهد شد. در اغلب پروژه ها معلوم شده که نرخ بهره‌وری پرسنل با تکرار یک فعالیت، به تدریج افزایش می یابد. با وجود این، تحقیقات کمی در زمینه بکارگیری تاثیرات پدیده یادگیری در تکنیک‌ها و روش‌های زمان‌بندی انجام شده است. هدف از این پژوهش، ارائه مدلی برای داخل نمودن مسأله یادگیری در برنامه زمان‌بندی پروژه‌ها است. از این‌رو در تحقیق حاضر، یک مدل مفهومی برای لحاظ نمودن اطلاعات مربوط به یادگیری و تلفیق آن با روش های زمان بندی پروژه‌های خطی- تکراری ارائه می گردد. به منظور ارزیابی قابلیت مدل نیز، یک پروژه نمونه مورد بررسی قرار گرفته که پس از مدل‌سازی پدیده یادگیری و تعیین نرخ بهره‌وری منابع، به واسطه روش خط تعادل زمان‌بندی می‌شود. در نهایت برای ارزیابی تأثیر این فرایند در برنامه‌ریزی این دسته از پروژه‌ها، یک پروژه واقعی از تحقیقات پیشین در حالت‌های مختلف قبل و بعد از اجرای این مرحله، با استفاده از یک مدل برنامه‌ریزی توسعه یافته توسط نویسندگان زمان‌بندی شده و نتایج حاصل از این پژوهش و پیشنهاداتی برای انجام تحقیقات آینده ارائه می‌گردد.

۲- روش خط تعادل[۸]

روش خط تعادل اولین بار در اوایل دهه ۱۹۴۰ ارائه شد. سپس توسط نیروی دریایی آمریکا در اوایل دهه ۱۹۵۰ برای زمان‌بندی و کنترل پروژه‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفت [۲-۴]. LOB ابتدا برای کنترل تولید در صنعت بکار گرفته شد که در آن هدف، ارزیابی نرخ تولید محصولات نهایی بود. سپس این روش در صنعت ساخت به عنوان روشی برای زمان‌بندی و برنامه ریزی پروژه توسعه یافت. تحقیقاتی نیز به منظور اصلاح مفاهیم اولیه LOB برای بکارگیری مطلوب این روش برای پروژه های ساخت و ایجاد روش‌های جدید مبتنی بر روش خط تعادل تحت نام‌های مختلف صورت گرفته است. از جمله این روش‌ها می‌توان به مواردی مانند نمودارهای سرعت[۲]، روش برنامه‌ریزی ساخت[۳]، روش تولید عمودی[۴] روش زمان‌بندی خطی، روش زمان‌بندی وقفه ها[۵] و مدل پروژه تکراری[۶] اشاره کرد [۲] و [۵]. اگرچه روش LOB قبل از ایجاد روش هایی مانند مسیر بحرانی[۷] توسعه یافته اما به دلیل محبوبیت و عمومیت زیاد روش‌های شبکه، به ندرت از LOB در صنعت ساخت استفاده شده است [۶] و [۷]. این روش بیشتر برای برنامه‌ریزی استفاده از منابع و هماهنگی بین پیمانکاران جزء پروژه، مدل‌سازی فعالیت‌های اجرایی در پروژه‌های ساخت مجتمع‌های مسکونی و پروژه‌های مربوط به حمل و نقل مورد استفاده قرار گرفته است [۸]. اساس روش خط تعادل بر این فرض استوار است که نرخ تولید یا پیشرفت یک فعالیت همواره ثابت است. به عبارت دیگر، نرخ پیشرفت یک فعالیت خطی بوده و در نموداری رسم می‌شود که محور افقی آن نشان‌دهنده زمان است و واحدها یا بخش‌های متوالی پروژه روی محور عمودی رسم می‌شوند. در این نمودار، نرخ پیشرفت فعالیت، شیب خط تولید بوده و به صورت نسبت واحدهای تکمیل شده به زمان بیان می‌شود (شکل (۱)). در روش خط تعادل، مقدار تخمینی نفر- ساعت مورد نیاز برای اجرای فعالیت‌ها و نیز تعداد پرسنل تا زمانی تغییر داده می‌شوند که مقدار بهینه آنها تعیین شده و خط تعادل با شیب مطلوب رسم گردد. تخمین‌های مربوط به نفر- ساعت و تعداد پرسنل معمولاً از طریق تعامل مستقیم با برنامه‌ریز، مدیر پروژه و یا پیمانکاران جزء بدست می‌آید که دارای اطلاعات کافی برای انعکاس شرایط واقعی پروژه و فعالیت‌های موجود در آن هستند.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل (۱): نمودار خط تعادل برای یک فعالیت نمونه از پروژه

پس از تعیین تعداد پرسنل و نرخ پیشرفت مورد انتظار برای هر فعالیت، می‌توان نمودار LOB را رسم نمود که در آن تعداد واحدهای پروژه نسبت به زمان نشان داده می شود. دو خط مورب و موازی با شیبی معادل نرخ پیشرفت واقعی فعالیت رسم شده که به ترتیب بیانگر زمان‌های شروع و اتمام هر فعالیت در واحدهای متوالی پروژه از شروع تا پایان آن می‌باشند (شکل ۱).

۳- پدیده یادگیری

اغلب فعالیت‌هایی که در یک پروژه تکرار می‌شوند، به تدریج با نرخ بهره‌وری بالاتری اجرا می‌گردند. زیرا نرخ پیشرفت با تجربه و تکرار بیشتر، بهبود می‌یابد. یادگیری، پدیده‌ای است که در آن با افزایش تعداد تکرار یک کار، زمان و تلاش لازم برای انجام آن در اجراهای متوالی، کاهش می‌یابد. براساس تئوری یادگیری، هرگاه یک فعالیت دو بار اجرا شود، میانگین تجمعی نفر- ساعت مورد نیاز برای آن به میزان مشخصی نسبت به مقدار قبلی کم می شود. این نسبت در واقع نرخ یادگیری نامیده شده و میزان یادگیری کسب شده را تعیین می‌نماید. شایان ذکر است که نرخ یادگیری پائین تر، بیانگر میزان یادگیری بیشتری است. بنابراین نرخ یادگیری ۱۰۰٪ نشان دهنده عدم وجود یادگیری است [۹].

تئوری یادگیری برای اولین بار در صنعت ساخت هواپیما مطرح شد. اگرچه بهبود ناشی از تکرار فعالیت‌ها در نرخ بهره وری پرسنل در اغلب موارد تشخیص داده شده و به آن اشاره گردیده، اما در صنعت ساخت، تحقیقات کمی درباره تاثیر آن در طراحی یا پیشرفت پروژه صورت گرفته است. تاکنون چندین مدل ریاضی به صورت تابعی از تعداد واحدهای تکمیلی پروژه، برای بیان نرخ بهره‌وری ارائه شده، اما باید توجه داشت که پارامترهای دخیل در مدل‌های یادگیری، قطعاً برای انواع متفاوت کارها، شرایط کاری و سطوح مختلف مدیریتی، متفاوت خواهد بود. همچنین هریک از این مدل ها تنها برای دسته مشخصی از فعالیت‌ها قابل استفاده بوده و نمی توان بطور مطلوب و رضایت-بخش آنها را برای فعالیت‌های مختلف بکار برد [۱۰].

۳-۱- مدل‌های یادگیری

از زمانی که منحنی یادگیری در سال ۱۹۳۶ به صورت ریاضی مدل سازی شد، مدل های ریاضی مختلفی ارائه شده است. شناخته شده‌ترین این مدل ها عبارتند از: ۱) مدل توانی خط مستقیم، ۲) مدل استنفورد - بی ۳) مدل های نمایی و ۴) مدل منحنی S. در ادامه به معرفی این مدل‌ها پرداخته می‌شود.

مدل توانی خط مستقیم[۹]

مدل توانی خط مستقیم، اساساً بیانگر این امر است که نرخ یادگیری در طول اجرای یک فعالیت ثابت باقی می‌ماند. این مدل همچنین، روش خطی - لگاریتمی نامیده می‌شود زیرا ترسیم آن در مقیاس لگاریتمی - لگاریتمی، به صورت یک خط راست خواهد بود. تابع ریاضی این مدل عبارت است از [۱۱]:

$$Y = KX^n \qquad (۱)$$

که در آن Y میانگین تجمعی نفر- ساعت مورد نیاز برای N امین واحد، K نفر- ساعت مورد نیاز برای اولین واحد، X تعداد تجمعی واحدها و n شاخص یادگیری می‌باشد (n= logS/log2). در این رابطه، نرخ یادگیری S به صورت درصد بیان می‌شود و مقدار X از رابطه ۲ بدست می‌آید:

$$X = \frac{N(N+1)}{2} \qquad (۲)$$

نتایج حاصل از بررسی تحقیقات پیشین نشان می‌دهد که مدل فوق، مدل واقع بینانه‌تری از نحوه اجرای فعالیت‌های پروژه در واحدهای متوالی است [۱۰].

www.SID.ir

Archive of SID

مدل استنفورد- بی[10]

مدل استنفورد- بی، مدل اصلاح شده مدل قبلی می‌باشد که در آن عامل B تعریف شده است. این پارامتر برای محاسبه و دخیل نمودن تفاوت‌های طراحی، پیچیدگی‌های خارج از کنترل مدیر پروژه و یا تجارب حاصل از کارهای قبلی درنظر گرفته می‌شود. رابطه ریاضی ارائه شده برای این مدل عبارت است از [۱۲]:

$$Y = A(X+B)^n \quad (۳)$$

که در آن Y میانگین تجمعی نفر- ساعت مورد نیاز برای N امین واحد، A ثابتی است که برابر با نفر- ساعت مورد نیاز برای اولین واحد در نظر گرفته می‌شود (در حالتی که پرسنل هیچ تجربه‌ای ندارند، یعنی$B=0$)، X تعداد واحد تجمعی، n شاخص یادگیری و B شاخصی است که بیانگر تجربه کسب شده از اجرای فعالیت‌های قبلی در هنگام شروع فعالیت جدید و یا دیگر موارد ذکر شده می‌باشد.

مدل‌های نمایی

گروهی از محققین مدل‌هایی براساس توابع نمایی به عنوان روشی جایگزین برای مدل توانی خط مستقیم ارائه داده‌اند که در ادامه به معرفی برخی از مهم‌ترین آنها پرداخته می‌شود.

✓ **مدل نمایی اولیه [۱۳]**

در مدل نمایی اولیه که توسط موسسه تحقیقات ساختمانی نروژ ارائه گردید، فرض می‌شود که با تکرار یک فعالیت، هزینه اجرای آن در واحدهای متوالی پروژه کاهش می‌یابد به طوری که بعد از تعداد مشخصی از تکرار، این مقدار به نصف تقلیل خواهد یافت. معادله مدل مذکور به صورت زیر است:

$$Y = Y_u + (A - Y_u)/(2X/H) \quad (۴)$$

در رابطه فوق، Y میانگین تجمعی نفر- ساعت برای N امین واحد، Yu مقدار نهایی نفر- ساعت مورد نیاز برای فعالیت در واحد مورد نظر متناظر با H، A مقدار نفر- ساعت مورد نیاز برای واحد اول، X تعداد تجمعی واحدها و H ثابتی با نام "عامل نصف‌کننده[11] " است که در واقع تعداد واحدهای مورد نیاز برای رسیدن به فازی می‌باشد که بعد از آن، مقدار کاهش هزینه اجرای فعالیت در واحد مورد بررسی به نصف تقلیل می‌یابد.

✓ **مدل دیجونگ**[12] **[۱۴]**

دیجونگ مدلی از توابع نمایی ارائه کرد که در آن پارامترهایی برای تعیین سهم نیروی انسانی در اجرای فعالیت تعریف شده است. زمانی که فعالیت‌ها کاملاً توسط پرسنل و به صورت دستی اجرا می‌شوند، کاهش زمان (فشردگی زمانی) ناشی از یادگیری در واحدهای بعدی کاملا مشهود است. اما در شرایطی که اجرای فعالیت به صورت کاملاً مکانیزه باشد، فشردگی زمانی با افزایش تعداد واحدها کمتر از حالت قبل خواهد بود. در این روش، یک فاکتور عدم فشردگی M برای مدل توانی خط مستقیم تعریف می‌شود تا نسبت ماشین‌آلات به نیروی انسانی نیز در مدل وارد شود. وی رابطه ۵ را برای مدل خویش پیشنهاد داد.

$$Y = a\left[M + (1-M)/X^n\right] \quad (۵)$$

که در آن Y میانگین تجمعی نفر- ساعت برای N امین واحد، a و n پارامترهایی معادل پارامترهای موجود در تابع توانی و M ضریب عدم فشردگی زمانی است.

✓ **مدل لووی**[13]

لووی در تحقیق خود بیان نمود که مدل توانی خط مستقیم قادر به تعیین دقیق مقدار افزایش نرخ پیشرفت نبوده و در آن تأثیر همه عوامل موثر در یادگیری به طور کامل لحاظ نمی‌شود. بنابراین به منظور رفع نواقص مدل مذکور، وی مدل خویش را بدین صورت بیان کرد:

$$Y = \left[1/\beta - (1/\beta - X^b/a)C^{-cX}\right]^{-1} \quad (۶)$$

که در آن Y میانگین تجمعی نفر- ساعت برای N امین واحد، a و b پارامترهایی متناظر با پارامترهای موجود در تابع توانی و C سومین پارامتری است که باید تخمین زده شود. همچنین β شاخص پیشرفت برای اولین واحد است. تابع مذکور با افزایش مقدار X از حالت منحنی به صورت خط راست تبدیل می‌شود. به عبارت دیگر، تابع یادگیری لووی مانند تابع توانی افزایش یا کاهش نمی‌یابد [۱۵]. لازم به ذکر است که اگرچه در مدل وی به تاثیر عوامل بیشتری پرداخته شده اما به دلیل نیاز به تخمین پارامترها و عوامل زیاد، بکارگیری آن بسیار محدود است [۱۰].

✓ **مدل پگل**[14]

پگل یک تابع ریاضی به عنوان مکمل یا جایگزین روش تابع توانی به صورت زیر ارائه کرد:

$$Y = \alpha a^{X-1} + \beta \quad (۷)$$

که در آن α، a و β پارامترهایی هستند که به صورت تجربی بدست می‌آیند [۱۶]. تنها تفاوت مدل نمایی پیشنهادی پگل با مدل رایج تابع توانی، تا حدودی مشکل‌تر بودن استفاده از آن می‌باشد. در این مدل پارامتر β براساس تخمین‌های غیرقطعی گذشته تعیین می‌شود و دو پارامتر دیگر α و a را می‌توان همانند دو پارامتر موجود در تابع توانی به آسانی محاسبه نمود.

✓ **مدل منحنی S**[15]

تابع نوع S بر فرض روند تدریجی و آهسته استوار است. یک تابع نوع S دارای شکلی مشابه تابع توزیع نرمال تجمعی در قسمت شروع منحنی بوده و شکل آن در ادامه، تابع خصوصیات

www.SID.ir

Archive of SID

فعالیت می باشد. رابطه ارائه شده برای این مدل به صورت زیر است [۱۷]:

$$Y = a[M + (1-M)(X+B)^n] \quad (۸)$$

در حل این معادله باید فرضیاتی برای تعیین ضریب M، میزان تجربه پرسنل (B و a)، همچنین برای تخمین مقدار شاخص یادگیری n درنظر گرفته شود. به عبارت دیگر، مقادیر این پارامترها را می‌توان با انتخاب منطقی هریک از ۳ متغیر مستقل، قبل از شروع به حل معادله تعیین نمود. رویکرد دیگر برای تعیین ضرایب منحنی S، درنظر گرفتن این منحنی به عنوان یک منحنی سه بعدی یکنواخت می‌باشد. معادله منحنی سه بعدی مذکور عبارت است از [۱۸]:

$$\log Y = A + B(\log X) + C(\log X^2) + D(\log X^3) \quad (۹)$$

که در آن Y میانگین تجمعی نفر- ساعت، A میزان نفر-ساعت برای واحد اول، B شاخص اولیه یادگیری در اولین واحد، X تعداد تجمعی واحدها، C و D به ترتیب ضریب عوامل درجه دو و سه در رابطه هستند.

پدیده یادگیری، عامل مهمی است که نرخ بهره‌وری کلی را تحت تاثیر قرار می‌دهد. به منظور بقا در محیط رقابتی صنعت ساخت، پیمانکاران بایستی نرخ واقعی پیشرفت کار را برای تک تک فعالیت‌ها در پروژه‌های خود پیش‌بینی نموده و براساس این نرخ، زمان اتمام پروژه را برآورد کنند. روش ایده‌آل و مناسب برای مدل‌سازی منحنی یادگیری یک فعالیت ساختمانی، جمع-آوری داده‌های حاوی زمان و منابع واقعی مورد نیاز برای فعالیت-ها (نفر- ساعت) و رسم این داده‌ها در یک نمودار با مقیاس لگاریتمی - لگاریتمی است. با وجود این باید توجه داشت که داده‌های جمع‌آوری شده از مطالعات مربوط به سایت پروژه‌ها دارای اعتبار جامعی نیست. زیرا منحنی یادگیری، تابعی از پارامترهای مختلفی مانند شرایط کاری و سطوح مدیریتی می-باشد. به عنوان مثال، موقعیت کار در یک ساختمان بلندمرتبه در پنجمین طبقه نسبت به طبقه اول ممکن است شرایط کاری را به گونه‌ای دگرگون سازد که مسأله یادگیری را دستخوش تغییر نماید. شرایط جوی شامل درجه حرارت و رطوبت نیز می‌تواند عامل مهمی در تعیین اثرات یادگیری باشد [۱۰]. همچنین وقفه‌های کاری و تاخیرهای ناشی از تصمیمات مهندسی یا مدیریتی نیز نرخ یادگیری را تحت تاثیر قرار می‌دهند. از سوی دیگر حتی اگر شرایط ایده‌آل برای اجرای فعالیت‌های تکراری برای پرسنل فراهم شود، ممکن است که نرخ بهره‌وری ایده‌آل متناظر با بهترین نرخ یادگیری، بدست نیاید. زیرا مقاومت پرسنل در برابر تسریع اجرای کار، بخش مهمی از عوامل منفی برای تاثیر منحنی یادگیری و متعاقباً بهبود بهره‌وری به شمار می‌رود. بنابراین پیچیدگی و مدت زمان اجرای یک فعالیت، از جمله عواملی هستند که بهره‌وری پرسنل را تحت تاثیر قرار می‌دهند [۹]. بنابراین سطح واقعی بهره‌وری پرسنل با بررسی تاثیر متقابل فشارهای مثبت و منفی اعمال شده روی نیروی کار تعیین می-شود. پس بهترین روش برای بهبود بهره‌وری پرسنل باید در جهت کاهش نیروهای منفی و افزایش نیروهای مثبت باشد. از این‌رو، بدون توجه به تاثیرات هزینه‌ای، قراردادهای انگیزشی با تعریف یک برنامه تشویقی، ممکن است راهی برای افزایش سرعت یادگیری تلقی شود [۹] و [۱۰].

۳-۲- نرخ‌های یادگیری

انتظار می‌رود درکارهایی که تعداد زیادی از پرسنل در آن دخیل هستند، یادگیری سریع‌تر از فعالیت‌هایی باشد که بخشی از آن توسط ماشین‌آلات اجرا می‌شود. براساس اطلاعات موجود در جدول (۱) می‌توان گفت که نرخ یادگیری با افزایش سهم ماشین‌آلات نسبت به نیروی انسانی، زیاد می‌شود. برای محاسبه مقادیر موجود در این جدول از فرمول تجربی زیر استفاده شده است[۱۰].

$$S = -20(1-s) + 95 \quad (۱۰)$$

که در آن S نرخ یادگیری با درنظر گرفتن عامل نسبت ماشین‌آلات به پرسنل و s سهم ماشین‌آلات در اجرای فعالیت می‌باشد.

جدول (۱): نرخ یادگیری با نسبت مختلف پرسنل به ماشین آلات

نوع فعالیت	نسبت (٪)		نرخ یادگیری(٪)
	نیروی انسانی	ماشین آلات	
غیرمکانیزه	۷۵	۲۵	۸۰
نسبت برابر پرسنل به ماشین آلات	۵۰	۵۰	۸۵
مکانیزه	۲۵	۷۵	۹۰

نرخ معمول یادگیری برای فعالیت‌های ساختمانی اجرا شده در اکثر کشورها هرگز به طور دقیق تعیین نگردیده است. اما در کشورهای اروپایی، نرخ یادگیری برای همه فعالیت‌های ساخت ۹۰٪ عنوان شده است [۱۳]. در تحقیقی که در امریکا صورت گرفته، مقادیر نرخ یادگیری از ۸۰ تا ۹۵٪ برای فعالیت‌های مختلف عنوان شده که براساس ترکیب دو عامل پیچیدگی

www.SID.ir

Archive of SID

فعالیت و تنوع کاری آن، متغیر است [۱۰].

نرخ‌های یادگیری ارائه شده توسط ایالات متحده برای فعالیت‌های معمول در صنعت ساخت، می‌تواند یک راهنمای اولیه مناسب برای مدل‌سازی پدیده یادگیری باشد [۱۳]. شایان ذکر است که در مدل یادگیری ارائه شده در این تحقیق، از نرخ‌های یادگیری پیشین به عنوان نرخ‌های اولیه استفاده می‌شود که می‌توان آنها را با توجه به موقعیت‌های موجود، تعدیل و تنظیم نمود.

۳-۳- عوامل موثر در یادگیری

اگر منحنی یادگیری به صورت واقعی درنظر گرفته شود، کلیه جنبه‌های یادگیری باید بطور دقیق تعیین گردد. چه عواملی در نرخ یادگیری موثر هستند؟ بهبود بهره‌وری ایجاد شده به واسطه تکرار فعالیت‌ها، ناشی از بهبود عملکرد پرسنل می‌باشد که این امر به نرخ یادگیری پرسنل بستگی دارد. این بهبود در اجرای فعالیت با نظارت پیوسته، روش‌های مناسب اجرا و نیز سطوح مدیریتی مطلوب حاصل می‌شود. بنابراین، میزان یادگیری پرسنل اگرچه سهم زیادی در نرخ یادگیری دارد، اما تنها عامل کنترلی نیست. عوامل دیگری مانند شرایط کاری و سطوح مدیریتی منجر می‌شوند که نتوان به سادگی تاثیر یادگیری را در صنعت ساخت مورد بررسی قرار داد. در تحقیقی که در صنعت ساخت هواپیما انجام شده است، عوامل موثر در یادگیری دسته‌بندی شده و درجه اهمیت هریک از آنها با استفاده از تحلیل کاهش هزینه تعیین گردیده که نتایج آن در جدول (۲) ارائه می‌شود [۱۰]. به طور مشابه، عوامل موثر در یادگیری در صنعت ساخت را می‌توان با مواردی مثل میزان یادگیری پرسنل، روش ساخت، سطح مدیریت، کیفیت طراحی و عواملی مانند شرایط کاری و تاثیرات جوی دسته‌بندی نمود.

با توجه به شرایط محیطی فعالیت‌ها، درجه اهمیت هر عامل در فعالیت‌های مختلف می‌تواند متفاوت باشد. یک روش ساده برای تعیین درجه اهمیت عوامل گوناگون، توصیف فاکتورهای مختلف توسط برنامه‌ریز یا مدیر پروژه و سپس انجام آنالیز حساسیت برای تعیین وزن‌ها است. با وجود این، توصیف عوامل مختلف و جمع‌بندی نظرات و تحلیل‌ها برای برنامه‌ریزان به ویژه در مواردی که تعداد فعالیت‌ها زیاد باشد، کاری طاقت‌فرسا خواهد بود. وزن‌های ارائه شده در جدول ۲ می‌تواند یک راهنمای مناسب برای تخمین درجه اهمیت عوامل موثر در یادگیری در صنعت ساخت باشد. گفتنی است که اطلاعات کسب شده برای تحلیل پدیده یادگیری، به صورت زبانی از محیط پروژه بدست آمده و ماهیتی فازی و غیر دقیق (مانند زیاد، بسیار کم، متوسط و ...) دارند که برای بکارگیری این اطلاعات باید آنها را به داده‌های کمی و شفاف تبدیل نمود. بدین منظور در ادامه به معرفی تئوری مجموعه‌های فازی به عنوان یک روش غیرفازی‌ساز پرداخته می‌شود.

جدول (۲): درجه اهمیت فاکتورهای موثر در یادگیری

عوامل موثر در یادگیری		
صنعت ساخت هواپیما	صنعت ساختمان	وزن
یادگیری پرسنل	یادگیری پرسنل	۴۰
روش‌ها و تجهیزات	روش ساخت	۲۰
نظارت	سطوح مدیریتی	۱۵
طراحی قسمت‌ها	کیفیت طراحی	۱۵
سایر	سایر (شرایط کاری، آب و هوا و ...)	۱۰
جمع		۱۰۰

۴- تئوری مجموعه‌های فازی[۱۶]

مفاهیمی که انسان در زندگی روزمره بکار گرفته، همچنین استدلال‌هایی که بطور معمول انجام داده و برپایه آنها تصمیم می‌گیرد، به ندرت دارای دقتی است که بتوان آن را در چارچوب منطق کلاسیک جای داد. بنابراین باید برای مدل‌های مبتنی بر چنین اطلاعاتی، توصیف تقریبی یا همان فازی که قابل تجزیه و تحلیل باشد، مورد استفاده قرار گیرد. بطور کلی، نظریه مجموعه‌های فازی، نظریه‌ای برای اقدام در شرایط عدم اطمینان است. این نظریه قادر است بسیاری از مفاهیم، متغیرها و سیستم‌هایی را که غیردقیق و مبهم هستند، صورت‌بندی ریاضی ببخشد و زمینه را برای استدلال، استنتاج، کنترل و تصمیم‌گیری در شرایط عدم اطمینان فراهم آورد. در واقع تئوری مجموعه‌های فازی، کمّی‌سازی هر نوع دلیل و منطق غیرشفاف براساس داده‌های زبانی است که در بسیاری موارد این داده‌ها دارای معانی گنگ و مبهم هستند [۱۹].

ریاضیات فازی مبحث بسیار گسترده‌ای است که در اینجا با توجه به موارد استفاده در این پژوهش به بخش کوچکی از آن پرداخته می‌شود [۱۹] و [۲۰].

۴-۱- مجموعه‌های فازی

یک مجموعه فازی A، زیرمجموعه‌ای از مجموعه مرجع X می‌باشد که توسط تابع عضویت $\mu_A(x)$ تعریف می‌شود. تابع عضویت، همان تابع مشخصه است که محدوده آن بازه [۰و۱] بوده و میزان تعلق هر عضو به مجموعه فازی را نشان می‌دهد. مجموعه فازی A را می‌توان به صورت رابطه ۱۱ نشان داد که در

www.SID.ir

Archive of SID

آن مقدار $\mu_A(x)$ درجه عضویت x در مجموعه فـازی A نامیـده می‌شود.

$$A(x) = \{(x, \mu_A(x)) / x \in X\} \quad (۱۱)$$

۴-۲- عملیات بر روی مجموعه‌های فازی

تکیه‌گاه: تکیه‌گاهِ مجموعه فـازی A در مجموعـه مرجـع X، یک مجموعه غیرفازی است که شامل تمامی عضوهای غیرصـفر X می‌باشد. رابطه ۱۲ بیانگر تکیه‌گاه مجموعه A است.

$$Supp(A) = \{x \in X / \mu_A(x) > 0\} \quad (۱۲)$$

ارتفاع: بزرگترین مقدار تابع عضویت یک مجموعه فازی را ارتفـاع آن مجموعه می‌گویند. اگر ارتفاع مجموعـه مـذکور برابـر بـا یـک باشد، آن را مجموعه فازی نرمال می‌نامند.

مجموعـه فـازی محـدب: مجموعـه فـازی A در R^n محـدب نامیده می‌شود، اگر و تنها اگر برای هر $x_1 , x_2 \in R^n$ و $\lambda \in [0,1]$، رابطه ۱۳ برقرار باشد.

$$\mu_A[\lambda x_1 + (1-\lambda)x_2] \geq \min[\mu_A(x_1), \mu_A(x_2)] \quad (۱۳)$$

اعداد فازی: یک مجموعه فازی نرمال محدب ماننـد A بـا دامنـه اعداد حقیقی R یک عدد فازی حقیقی است اگـر دو شـرط زیـر برقرار باشد:

- ✓ تنهـا یـک $x_0 \in R$ وجـود داشـته باشـد کـه بـه ازاء آن: $\mu_A(x_0)=1$
- ✓ تابع عضویت $\mu_A(x)$ یک تابع پیوسته باشد.

انجام محاسبات با اعداد فازی بـه دلیـل سـاختار خـاص آنهـا بسیارزمان‌بر و پیچیده است. بنابراین برای تسهیل و کـاربردی‌تـر نمـودن اعـداد فـازی، از اعـداد فـازی مخصوصـی در محاسـبات استفاده می‌شود. این اعداد بـه صـورت اعـداد زنگولـه‌ای، مثلثـی، ذوزنقه‌ای، LR مثلثی و LR ذوزنقه‌ای تعریف شده‌اند. از آنجا که در این تحقیق از اعداد فازی مثلثی برای انجام محاسبات استفاده می‌گردد، در ادامه بـه تعریـف و تشـریح اعـداد مثلثـی پرداختـه خواهد شد.

اعداد فازی مثلثی: یک عدد فازی مثلثی را مـی‌تـوان بـا سـه تایی مرتب (l,m,u) نمایش داد که l و u حدود پایینی و بـالایی بوده و m مقدار میانه می‌باشـد. بنـابراین x عنصـری بـین l و u است (شکل (۲)).

اجتمـاع و اشـتراک دو مجموعـه فـازی: اجتمـاع و اشـتراک مجموعه‌های A و B، مجموعه‌هـایی فـازی مـی‌باشـند کـه تـابع عضویت آنها در رابطه (۱۵) تعریف شده است.

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max[\mu_A(x), \mu_B(x)]$$
$$\mu_{A \cap B}(x) = \min[\mu_A(x), \mu_B(x)] \quad (۱۵)$$

۴-۳- غیرفازی کردن اعداد فازی

غیرفازی کردن اعداد فازی، قسمت بسـیار مهمـی از فرآینـد تصمیم‌گیری است. این امر تا حدودی مشـکل بـوده و روش‌هـای گونـاگونی بـرای آن وجـود دارد کـه گـاهی مواقـع بـا یکـدیگر همپوشانی دارند. برای تبدیل یک عدد فازی به یک مقدار شـفاف قابل قبول، روش‌های مختلفـی از جملـه روش مرکـز ثقـل، روش بیشترین تابع عضویت، روش امتیازدهی بـه چـپ و راسـت عـدد فازی و غیره وجود دارد.

به دلیل استفاده از تابع عضـویت پیوسـته مثلثـی در تحقیـق حاضر، از روش امتیازدهی به چپ و راسـت عـدد فـازی اسـتفاده می‌گردد. بنابراین در ادامه به تشریح روش مذکور پرداختـه مـی-شـود. در ایـن روش امتیـاز کـل یـک عـدد فـازی A از مقـدار امتیازهای چـپ و راسـت A بدسـت آمـده و ایـن امتیازهـا از دو مجموعه ویژه حداقل (Min) و حداکثر (Max) و درجه عضویت عدد فازی محاسبه مـی‌شـود. دو مجموعـه حـداقل و حـداکثر بـا فرض اینکه محدوده اعداد فازی [۰و۱] باشد، به صورت روابط زیر تعریف می‌شوند [۲۰]:

$$\mu_{\min}(x) = \begin{cases} 1-x & 0 \leq x \leq 1 \\ 0 & x<0,\ x>1 \end{cases} \quad (۱۶)$$

$$\mu_{\max}(x) = \begin{cases} x & 0 \leq x \leq 1 \\ 0 & x<0,\ x>1 \end{cases} \quad (۱۷)$$

که امتیاز سمت چپ A را مـی‌تـوان بـا اسـتفاده از رابطـه (۱۸) محاسبه نمود.

$$\mu_L(x) = Supp[\{\mu_{\min}(x) \cap \mu_A(x)\}] \quad (۱۸)$$

و امتیاز سمت راست A به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\mu_R(x) = Supp[\{\mu_{\max}(x) \cap \mu_A(x)\}] \quad (۱۹)$$

با بدست آوردن این امتیازات، می‌توان امتیاز کل را از رابطه (۲۰) محاسبه نمود که به عنوان یک مقـدار کمّـی در محاسـبات از آن استفاده می‌گردد.

$$\mu_{total}(x) = \frac{\mu_R(x) + 1 - \mu_L(x)}{2} \quad (۲۰)$$

بنابراین اگر یک مجموعه فازی مثلثی تحـت عنـوان A=(α, m, β) باشد، شکل (۲) مقـادیر امتیازهـای چـپ و راسـت را بـه

www.SID.ir

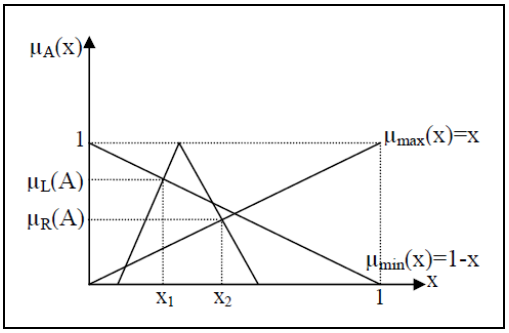
Archive of SID

صورت گرافیکی نشان می‌دهد. همچنین در این روش تابع عضویت عدد فازی A و امتیازات آن به صورت زیر می‌باشد:

$$\mu_A(x)=\begin{cases}\dfrac{x-(m-\alpha)}{\alpha} & m-\alpha\le x\le m\\ \dfrac{(m+\beta)-x}{\beta} & m\le x\le m+\beta\end{cases} \quad (۲۱)$$

$$\mu_L(A)=1-\frac{m}{1+\alpha} \quad (۲۲)$$

$$\mu_R(A)=\frac{m+\beta}{1+\beta} \quad (۲۳)$$



شکل (۲): عدد فازی مثلثی و نمای ترسیمی مقادیر امتیازات

۵- روش تحقیق

به منظور بررسی تاثیر پدیده یادگیری در زمان‌بندی پروژه، ابتدا باید نرخ یادگیری هریک از فعالیت‌های ساخت، تخمین زده شود و میزان نفر- ساعت مورد نیاز برای فعالیت مذکور در هر واحد، براساس نرخ‌های یادگیری آنها تعیین گردد. سپس برای زمان‌بندی پروژه باید مدت زمان اجرای هر فعالیت در واحدهای متوالی (از شروع تا پایان) به صورت جداگانه محاسبه شود. در این تحقیق، براساس عوامل واقعی موثر در نرخ پیشرفت، رویکردی برای مدل‌سازی پدیده یادگیری ارائه می‌شود که فرضیات زیر در مدل مذکور در نظر گرفته شده است:

- ✓ مدل توانی خط مستقیم به عنوان مناسب‌ترین مدل موجود برای مدل‌سازی منحنی یادگیری درنظر گرفته می‌شود.
- ✓ نرخ‌های یادگیری موجود برای فعالیت‌های معمول ساختمانی به عنوان راهنما و داده‌های اولیه فرض می‌شود.
- ✓ داده‌های اولیه برای تهیه نرخ‌های یادگیری واقعی که رخداد آنها در شرایط موجود محتمل است، تعدیل می‌گردد.

در روش حاضر تلاش می‌شود تا تاثیر دسته‌ای از عوامل مختلف که در یادگیری موثر هستند، مدل‌سازی شود. زیرا مدل‌های تحلیلی یا ریاضی پیشین، تاثیر چنین عواملی را مدنظر قرار نداده‌اند. روش‌های ارائه شده در تحقیقات گذشته که برای برنامه‌ریزی پروژه‌های خطی – تکراری پیشنهاد شده‌اند در یک نگاه گذرا عبارتند از:

۱. روش‌های شبکه:
- ✓ روش مسیر بحرانی
- ✓ روش بازنگری و ارزیابی برنامه[۱۷]

۲. روش‌های گرافیکی:
- ✓ روش خط تعادل
- ✓ روش تولید عمودی
- ✓ روش زمان‌بندی خطی
- ✓ روش زمان‌بندی افقی و عمودی[۱۸]
- ✓ روش زمان‌بندی تکراری[۱۹]

۳. زمان‌بندی با استفاده از روش برنامه‌نویسی خطی[۲۰]

۴. زمان‌بندی با استفاده از روش برنامه‌نویسی پویا[۲۱]

۵. زمان‌بندی با استفاده از روش شبیه‌سازی[۲۲]

۶. روش‌های نوین که در بر گیرنده موارد زیر می‌باشند.

- ✓ در سال ۲۰۰۱ هگازی و واصف مدلی را ارائه کردند که در آن از مفاهیم CPM و LOB استفاده نموده و برای تعیین حداقل هزینه کلی پروژه از الگوریتم ژنتیک استفاده کردند.
- ✓ در سال ۲۰۰۱ لئو و هوانگ نیز مدلی را معرفی کردند که در آن از الگوریتم ژنتیک برای کمینه کردن هزینه و زمان انتظار برای دریافت واحدهای پیش ساخته استفاده می‌شد.
- ✓ در سال ۲۰۰۶ هیاری و الریز یک روش جالب توجه براساس محاسبات تکامل‌یافته ارائه کردند که هدف آن کمینه کردن زمان و بیشینه کردن پیوستگی کار منابع با توجه به درجه اهمیت نسبی زمان پروژه و پیوستگی کار منابع بود.
- ✓ در تحقیق دیگری در سال ۲۰۰۸ هگازی و کمره مدلی را ارائه کردند که مفاهیم CPM/LOB را با در نظر گرفتن خصوصیات ویژه ساختمان‌های بلند مرتبه به منظور مدل-سازی مسئله، ترکیب کرده و از GA برای تعیین هزینه ساخت نزدیک به بهینه استفاده کردند.
- ✓ در سال ۲۰۰۸ جئورجی یک مدل کارا براساس GA و Auto LISP برای بهینه‌سازی در تسطیح منابع ارائه کرد. از این‌رو هدف فرآیند بهینه‌سازی یا کمینه کردن نوسانات روزانه در استفاده از منابع و یا کمینه کردن انحرافات روزانه از مقدار متوسط منابع بکارگرفته شده در طول دوره اجرای پروژه بود.
- ✓ آخرین تحقیق انجام شده در این زمینه در سال ۲۰۰۹ توسط لانگ و اُهساتو انجام شده است. آنها روش جدیدی برای مان‌بندی پروژه‌های ساختمانی تکراری با در نظر

www.SID.ir

Archive of SID

گرفتن چند تابع هدف مختلف مثل زمان پروژه، هزینه پروژه و یا هر دو آنها ارائه کردند. در این روش، زمان‌بندی پروژه با رعایت روابط پیش‌نیازی بین فعالیت‌ها و شروط مربوط به پیوستگی کار پرسنل، صورت می‌گیرد. شایان ذکر است که در روش مذکور، مقدار کار فعالیت‌های مشابه در واحدهای متوالی، متفاوت می‌باشد و حالت‌های مختلفی برای فعالیت‌ها در نظر گرفته شده است (مجاز بودن یا نبودن وقفه‌های کاری در آنها). همچنین روابط مختلف بین هزینه مستقیم و زمان اجرای فعالیت‌ها به صورت روابط پیوسته یا گسسته اعم از خطی یا غیرخطی به منظور ارائه یک برنامه زمان‌بندی رضایت‌بخش مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای کمینه کردن اهداف مذکور در روش پیشنهادی آنها، ابتدا دسته مناسبی از مدت زمان اجرای فعالیت‌ها با استفاده از الگوریتم ژنتیک تعیین شده و در مرحله دوم زمان مناسب شروع هریک از فعالیت‌ها با استفاده از یک الگوریتم برنامه‌ریز تعیین می‌شود. اما در این روش، نرخ بهره‌وری ثابت برای هر فعالیت در همه واحدها فرض شده است. علاوه بر این، مدل مذکور در هر زمان فقط یک دسته از پرسنل در حال کار را در نظر می‌گیرد. از اینرو تاثیر یادگیری ناشی از تکرار و مسئله پرسنل چندگانه در حال کار بطور همزمان در فعالیت‌های یکسان در واحدهای مختلف در نظر گرفته نشده است.

بنابراین با توجه به نواقص موجود در آخرین و کامل‌ترین تحقیقات انجام گرفته در این زمینه و در راستای پیشبرد اهداف جدید این پژوهش، از اطلاعات مرتبط با خصوصیات فعالیت‌ها که از دانش افراد متخصص استخراج می‌شود، استفاده شده است. این اطلاعات را می‌توان براساس میزان قطعیت آنها به دو دسته تقسیم کرد:

- ✓ اطلاعات قطعی: نسبت نیروی انسانی به ماشین آلات در اجرای فعالیت، پیچیدگی فعالیت و تنوع کارهای اجرایی آن، موقعیت کاری، تعداد پرسنل در یک دسته کاری، درجه دقت مهندسی، کیفیت طراحی و وجود توافقات جانبی یا طرح‌های تشویقی از جمله این نوع اطلاعات به شمار می‌روند.
- ✓ اطلاعات غیرقطعی: این اطلاعات دربرگیرنده مواردی چون مقاومت پرسنل در برابر افزایش سرعت انجام کار، وقفه‌ها و تاخیرها، تغییرات یا دوباره‌کاری‌ها، شرایط جوی، استخدام پرسنل جدید و تعویض پرسنل می‌باشد.

نرخ یادگیری در یک فعالیت ساختمانی، براساس اطلاعات داده شده توسط افراد خبره با درنظر گرفتن اطلاعات قطعی و غیرقطعی محاسبه می‌گردد. در مرحله اول تعیین نرخ یادگیری یک فعالیت، توصیه می‌شود که نرخ یادگیری پیش فرض برابر با اطلاعات موجود (نرخ‌های منتشر شده توسط ایالات متحده) درنظر گرفته شود [۱۰]. سپس با استفاده از اطلاعات بیشتری که در دسترس است، آن را تعدیل نمود.

اطلاعات مرتبط با پیچیدگی فعالیت و تنوع کاری آن، شرایط کاری و سطوح مدیریتی و غیره داده‌هایی فازی هستند. به عنوان مثال، یک فعالیت ممکن است "خیلی" پیچیده بوده و تعداد کارهای مورد نیاز برای اجرای یک فعالیت "خیلی زیاد" نباشد. بنابراین لازم است که اطلاعات فازی به داده‌های کمّی منطقی تفسیر شوند تا بتوان از آنها در فرایند تعدیل نرخها استفاده نمود. هدف در این روش، پیشبرد محاسبه با استفاده از عباراتی زبانی است که متناظر با دسته‌ای از محاسبات منطقی می‌باشند. در واقع مجموعه‌های فازی و متغیرهای زبانی را می‌توان برای کمّی سازی مفاهیم زبانی بکار گرفت. پس از تبدیل داده‌های فازی به ضرایب عددی، می‌توان آنها را برای تعدیل و تنظیم نرخ‌های یادگیری اولیه به منظور تعیین نرخ‌های یادگیری جدید مورد استفاده قرار داد.

با درنظر گرفتن عوامل قطعی فوق الذکر، ایجاد مجموعه‌ای از قوانین فازی مربوط به پیشرفت فعالیت‌ها با استفاده از وزن‌های موجود در جدول (۲) و مبدل‌های زبانی (تبدیل کننده‌های عبارت‌های کلامی به کمّی) مانند "بیشتر"، "کمتر"، "تاحدودی"، "تقریباً" و "زیاد نه" مشکل نخواهد بود. در این تحقیق، دسته‌ای از قوانین برای هر دو نوع اطلاعات قطعی و غیرقطعی ایجاد شده است. چندین قانون به عنوان نمونه برای انواع مختلفی از اطلاعات شامل شرایط کاری، کیفیت طراحی و وجود طرح‌های تشویقی در زیر آورده می‌شود:

- ✓ اگر شرایط کاری با افزایش تعداد تکرار "مشکل‌تر" شود، بنابراین انتظار می‌رود که نرخ یادگیری "بسیار بالاتر" از حالت اولیه گردد (یعنی میزان یادگیری بسیار کمتر می‌شود).
- ✓ اگر طراحی مهندسی "کاملاً" دقیق باشد، بنابراین نرخ یادگیری "تاحدودی پایین‌تر" از حالت اولیه می‌شود.
- ✓ اگر توافق ضمنی یا یک طرح تشویقی "به طور کامل" اجرا شود، پیش‌بینی می‌شود که نرخ یادگیری "بسیار کمتر" از مقدار اولیه باشد.

لازم به ذکر است که احتمال رخداد یک موقعیت خاص مانند

www.SID.ir

Archive of SID

وقفه کاری نیز باید مورد توجه قرار گیرد تا نرخ‌های یادگیری با دقت بیشتری تعیین گردند. در واقع در اطلاعات غیرقطعی، احتمال وقوع موقعیت قابل پیش‌بینی در طول اجرای یک فعالیت نیز ارائه می‌شود. عباراتی که برای توصیف درجه قطعیت در این قوانین استفاده می‌شوند، در جدول (۳) آورده شده است. مجموعه‌ای از قوانینی که با اطلاعات غیرقطعی سر وکار دارند، برای هریک از این نوع اطلاعات (مانند مقاومت پرسنل، تاخیرها و موارد مشابه) با استفاده از وزن‌های مربوط به درجه اهمیت جدول ۲، مبدل‌های بیانی و درجه قطعیت بیان شده است.

- ✓ اگر مقاومت پرسنل در برابر افزایش سرعت اجرای فعالیت در طول کار "بالا" بوده و درجه قطعیت آن "ممکن" باشد، بنابراین انتظار می‌رود که نرخ یادگیری "بسیار بیشتر" از حالت اولیه باشد.
- ✓ اگر تاخیرها یا وقفه‌های "کم" رخ داده و درجه قطعیت آن "قطعی" باشد، بدین ترتیب نرخ یادگیری" اندکی کمتر" از مقدار اولیه است.
- ✓ اگر دستور تغییرات یا دوباره کاری "زیاد" پیش‌بینی شود و درجه قطعیت آن "قابل قبول" باشد، نرخ یادگیری "بیشتر" خواهد شد.
- ✓ اگر تعویض پرسنل یا جایگزینی آنها "نادر" بوده و درجه قطعیت آن "غیرممکن" باشد، بنابراین این فرضیه غلط بوده و رد می‌شود.

جدول (۳): عبارات مربوط به توصیف درجه قطعیت اطلاعات

عبارت	متغیر زبانی	توضیحات
غیرممکن	بسیار کم	عملاً امکان‌پذیر نیست
ممکن	کم	قطعا نمی‌توان تکذیب کرد
قابل قبول	متوسط	حالت بینابینی
محتمل	زیاد	با احتمال زیاد امکان‌پذیر است
قطعی	بسیار زیاد	قطعاً رخ می‌دهد

این قوانین را می‌توان بطور کلی برای اطلاعات مربوط به پروژه در نظر گرفته و به صورت خاص برای اطلاعات مربوط به فعالیت‌ها با توجه به خصوصیات هر فعالیت تنظیم نمود. در این راستا تجارب گذشته و اطلاعات پیشین، منابع مفیدی هستند که درجه قطعیت از آنها قابل استنتاج است. از آنجا که در روش پیشنهادی در این تحقیق از اساس فازی استفاده می‌شود، خروجی‌های مربوط به قوانین پیشرفت فعالیت‌ها نیز به صورت مجموعه‌های فازی خواهد بود. از این رو، برای هریک از قوانین، بایستی مجموعه فازی به ضرایب تعدیل یافته‌ای به صورت ضرایب عددی تبدیل شود. متغیرهای فازی در روش پیشنهادی برای مدل‌سازی نرخ یادگیری عبارتند از: تنوع کار در اجرای هر فعالیت، پیچیدگی فعالیت از نظر اجرایی، سهم ماشین‌آلات در اجرای فعالیت‌ها، مقاومت پرسنل در برابر تسریع انجام کار (با توجه به وضعیت و شرایط کاری و نیز وجود طرح‌های تشویقی)، نامناسب بودن روش ساخت، عدم حمایت مدیریتی، نامطلوب بودن کیفیت طراحی، نامساعد بودن شرایط جوی، ریسک مرتبط با مواردی مانند وقفه‌ها، تاخیرات، تغییرات، دوباره‌کاری، تعویض و استخدام پرسنل و موارد مشابه. همچنین باید توجه داشت که در اکثر اوقات دو متغیر فازی تنوع کار فعالیت و پیچیدگی آن رابطه مستقیم دارند.

شایان ذکر است که برای همه متغیرهای فازی درنظر گرفته شده در این روش و احتمال وقوع عوامل غیرقطعی، از مجموعه متغیرهای زبانی زیر استفاده شده است.

مجموعه مقادیر مربوط به متغیر زبانی

$T(x)=\{$بسیار کم، کم، متوسط، زیاد، بسیار زیاد$\}$

همچنین تابع عضویت متغیرهای زبانی فوق به صورت شکل (۳) در نظر گرفته شده است که در ادامه به منظور درک بهتر فرآیند تعیین نرخ‌های یادگیری، به بررسی یکی از فعالیت‌های پروژه نمونه پرداخته خواهد شد.

فعالیت بتن‌ریزی فونداسیون در یک پروژه خطی- تکراری با ۵ واحد مشابه (پروژه ساخت یک مجتمع مسکونی با پنج بلوک یکسان) در نظر گرفته می‌شود که مقدار منابع مورد نیاز برای اجرای آن در واحد اول، ۱۱۰ نفر- ساعت بوده و تعداد پرسنل آن ۹ نفر می‌باشد. همچنین مقدار کار فعالیت در همه واحدها یکسان بوده و معادل ۱۰ واحد کار است. اطلاعات فازی مربوط به عوامل موثر در یادگیری پرسنل درحال اجرای فعالیت مذکور نیز به صورت جدول (۴) می‌باشد.

در روش پیشنهادی براساس نحوه تاثیر عوامل موثر در نرخ یادگیری پرسنل، این عوامل به دو دسته تقسیم می‌شوند. دسته اول عواملی هستند که بطور مستقیم بر نرخ یادگیری پرسنل تاثیرگذار بوده و در شکل (۴) آورده شده‌اند. دسته دوم نیز عواملی هستند که به صورت غیرمستقیم در نرخ یادگیری پرسنل موثر بوده و در شکل ۵ ذکر شده‌اند. روند تعیین نرخ یادگیری پرسنل براساس عوامل موثر در آن، در شکل‌های مذکور نشان داده شده است که در ادامه، نحوه انجام محاسبات به تفصیل شرح داده خواهد شد. لازم به ذکر است که نرخ‌های یادگیری بدست آمده در مراحل مختلف، با غیرفازی کردن اعداد فازی به روش امتیازدهی چپ و راست، محاسبه می‌شود. در این فرآیند،

www.SID.ir

Archive of SID

ابتدا اطلاعات مربوط به فعالیت موردنظر دریافت می‌شود. در مرحله بعد، براساس تابع عضویت تعریف شده و روابط (۲۰) – (۱۸)، امتیاز نهایی همه عوامل به صورت مجزا تعیین می‌شود. به عنوان مثال برای عامل تنوع کاری فعالیت که مقدار آن کم است، امتیاز بدست آمده، معادل ۰/۲۳ است. از آنجا که مقادیر تعیین شده در محدوده ۰ و ۱ می‌باشند، لذا برای تعدیل نرخ‌های یادگیری اولیه، امتیازهای مذکور به اعدادی در دامنه ۸۰ تا ۹۵ درصد (محدوده تعریف شده برای نرخ‌های یادگیری[۱۰]) تبدیل می‌گردند. مثلاً برای عامل مذکور، امتیاز ۰/۲۳ معادل نرخ ۸۳/۴ درصد می‌باشد. با این توضیح که براساس محدوده تعریف شده برای متغیرهای زبانی (شکل (۳))، رابطه زیر به عنوان معادله تابع عضویت در حالت‌های مختلف ارائه می‌شود.

$$A=\begin{cases}-10x+1 & 0\le x<0.1\\ 10x-1 & 0.1\le x<0.2\\ -10x+3 & 0.2\le x<0.3\\ \frac{20}{3}x-2 & 0.3\le x<0.45\\ -\frac{20}{3}x+4 & 0.45\le x<0.6\\ 10x-6 & 0.6\le x<0.7\\ -10x+8 & 0.7\le x<0.8\\ 5x-4 & 0.8\le x\le 1\end{cases} \qquad (۲۴)$$

با توجه به معادله تابع عضویت و روابط مربوط به غیر فازی کردن اعداد فازی، در شرایطی که تنوع کار در فعالیت مورد بررسی کم می‌باشد، داریم:

$$10x-1=1-x\Rightarrow x=\frac{2}{11}\Rightarrow \mu_L(A)=\frac{9}{11}$$

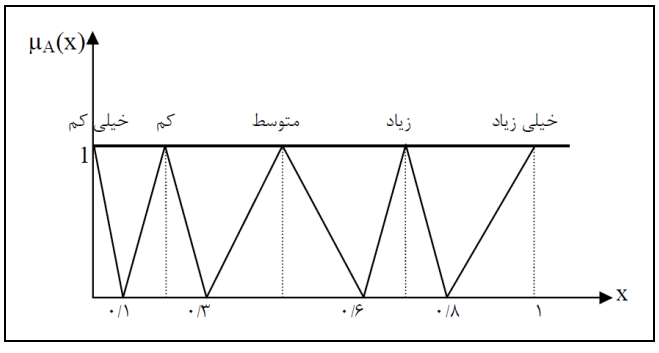
$$-10x+3=x\Rightarrow x=\frac{3}{11}\Rightarrow \mu_R(A)=\frac{3}{11}$$

$$\mu_{total}(A)=\frac{\frac{3}{11}+1-\frac{9}{11}}{2}=\frac{5}{22}$$

از آنجا که نرخ‌های یادگیری در محدوده [۹۵ و ۸۰] درنظر گرفته شده‌اند، اگر در یک تناسب ساده، محدوده [۱ و ۰] که محدوده تابع عضویت فازی ما را تشکیل داده است به آن منتقل نمائیم، مقدار نرخ یادگیری مورد نظر به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\begin{matrix}1 & \frac{5}{22}\\ 15 & s\end{matrix} \quad\Rightarrow\quad s=3.4 \quad\Rightarrow S=80+s=83.4$$

شایان ذکر است که در این مرحله برای عامل سهم ماشین آلات، به جای فرآیند فوق، رابطه (۱۰) بکار گرفته می‌شود. در این رابطه مقدار S (سهم ماشین‌آلات در اجرای فعالیت) برابر با امتیاز نهایی بدست آمده این عامل است.



شکل (۳): تابع عضویت متغیرهای زبانی

www.SID.ir

Archive of SID

جدول(۴): اطلاعات فازی مربوط به پروژه مثال

تنوع کاری فعالیت	پیچیدگی فعالیت	سهم ماشین آلات	مقاومت پرسنل در برابر تسریع	ریسک	نامناسب بودن روش ساخت	عدم حمایت مدیریت	کیفیت پایین طراحی	نامناسب بودن شرایط جوی
کم	متوسط	متوسط	زیاد/ با احتمال خیلی زیاد	متوسط / با احتمال زیاد	کم	خیلی کم	متوسط	خیلی زیاد/ با احتمال خیلی زیاد

همانطور که قبلاً گفته شد، بین تنوع کار در یک فعالیت و پیچیدگی آن رابطه مستقیم وجود دارد. در واقع میزان پیچیدگی یک فعالیت با تنوع بالای کار با میزان پیچیدگی فعالیتی با تنوع کاری کم متفاوت خواهد بود. بنابراین در هنگام محاسبه نرخ یادگیری پرسنل براساس عامل پیچیدگی، باید به میزان تنوع کار در اجرای آن توجه شده و تاثیر این عامل بر نرخ یادگیری پرسنل درحال اجرای فعالیت مذکور نیز لحاظ گردد. با توجه به اطلاعات موجود در تحقیقات پیشین و نیز داده‌های بدست آمده از انجام محاسبات در حالت‌های مختلف تعیین نرخ یادگیری، در مدل پیشنهادی یک رابطه تجربی برای مدل‌سازی ارتباط دو عامل فوق‌الذکر ارائه شد (رابطه (۲۵)).

$$S_{t-com} = S_{p-com} + \mu_{t-\mathrm{var}}(x) \times \sqrt[3]{S_{p-com}} \qquad (۲۵)$$

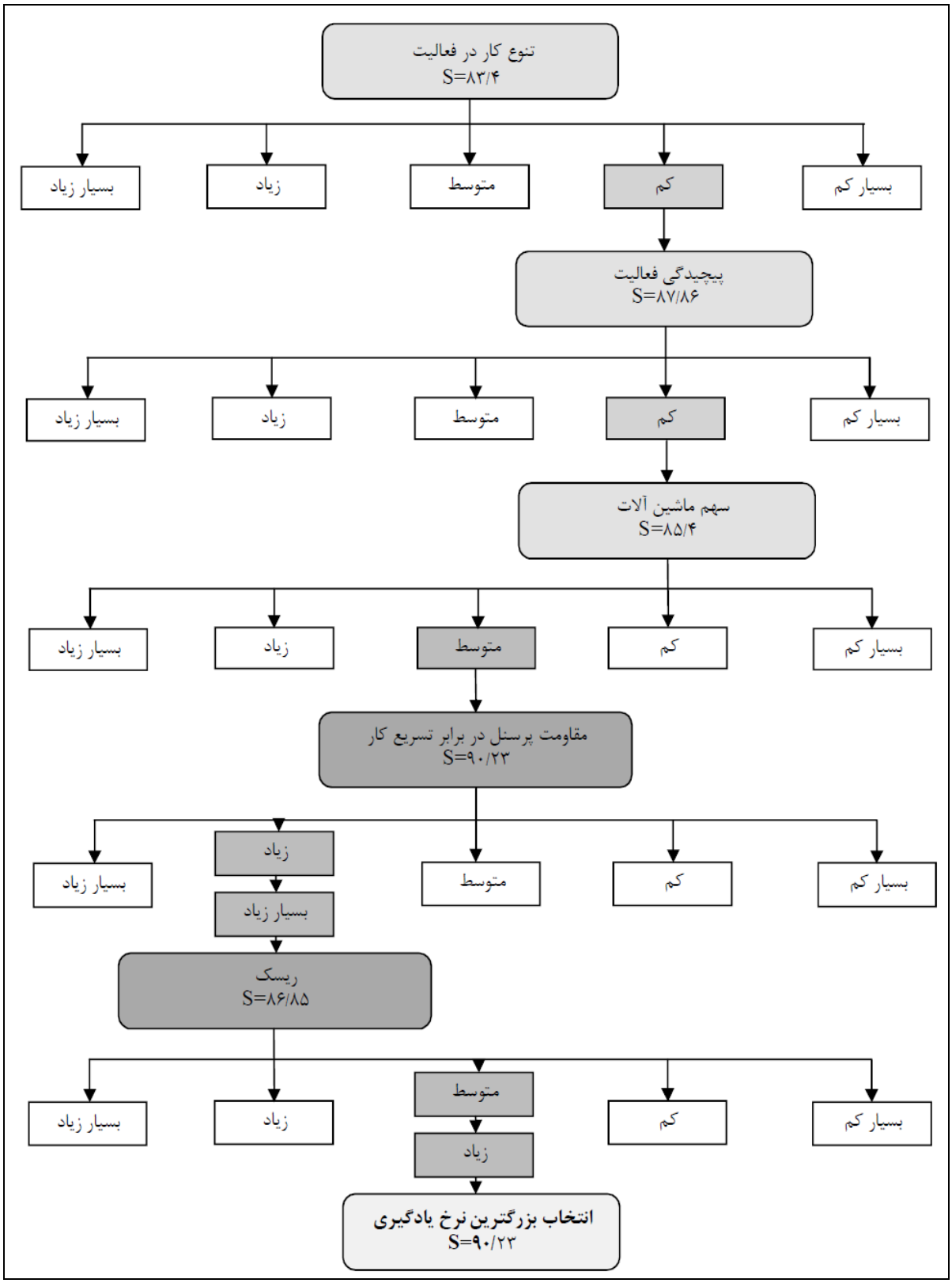
که در آن $S_{t\text{-}com}$ و $S_{p\text{-}com}$ به ترتیب نرخ یادگیری نهایی برای عامل پیچیدگی براساس دو عامل فوق و نرخ یادگیری اولیه پرسنل برای عامل پیچیدگی فعالیت به تنهایی بوده و $\mu_{t\text{-}var(x)}$ امتیاز کل بدست آمده از روش امتیازدهی چپ و راست متغیر فازی برای عامل تنوع کار فعالیت می‌باشد.

مسئله قابل توجه در این باره این است که در بسیاری از فعالیت‌ها می‌توان این رابطه را در نظر گرفت که بین تنوع کاری در یک فعالیت و پیچیدگی کاری آن رابطه مستقیم وجود دارد. البته باید دقت داشت که منظور از این مفهوم در حالتی صحیح تلقی می‌گردد که اصل یگانگی مقیاس را نیز قائل باشیم. در واقع اگر دو فعالیت مختلف با ماهیت مشابه را در نظر بگیریم، آنگاه مقیاس محاسبه پیچیدگی در آنها نیز همانند خواهد بود. بنابراین فعالیتی که تنوع کاری بیشتری در آن مشاهده می‌شود دارای پیچیدگی بیشتری نیز خواهد بود. با این حال فعالیت‌هایی نیز وجود دارند که چنین قیاسی در مورد آنها صادق نیست. در این صورت در حین اجرای فرآیند تعیین نرخ بهره‌وری، از رابطه تجربی ارائه شده (رابطه (۲۵)) در آن مورد خاص استفاده نمی‌گردد و بدین ترتیب وابستگی مذکور بین این دو ویژگی فعالیت در محاسبات گنجانده نمی‌شود.

همچنین در مورد عوامل غیر قطعی باید توجه داشت که اطلاعات فازی در آنها بر دو نوع است. یکی میزان اثر و دیگری احتمال وقوع که پس از محاسبه مقادیر عددی متناظر با هر یک، بر اساس عملگر اشتراک فازی (رابطه (۱۵))، مقدار کوچک‌تر انتخاب می‌شود (خانه‌های خاکستری جدول (۴)).

www.SID.ir

Archive of SID



شکل (۴): روند تعیین نرخ یادگیری پرسنل (عوامل با تاثیر مستقیم)

www.SID.ir

Archive of SID

پس از محاسبه نرخ‌های متناظر با هر یک از عوامل موثر در مسأله یادگیری، همان‌طور که در شکل (۴) مشخص است، برای عوامل مستقیم براساس عملگر اجتماع فازی، بزرگترین نرخ یادگیری انتخاب می‌شود (رابطه (۱۵)). در نهایت از عدد بدست آمده در مرحله قبل و نرخ‌های متناظر با عوامل غیر مستقیم (شکل (۵))، برای تعیین نرخ یادگیری کلی پرسنل در اجرای فعالیت مورد بررسی، براساس جدول (۲)، میانگین وزنی به صورت زیر محاسبه می‌گردد.

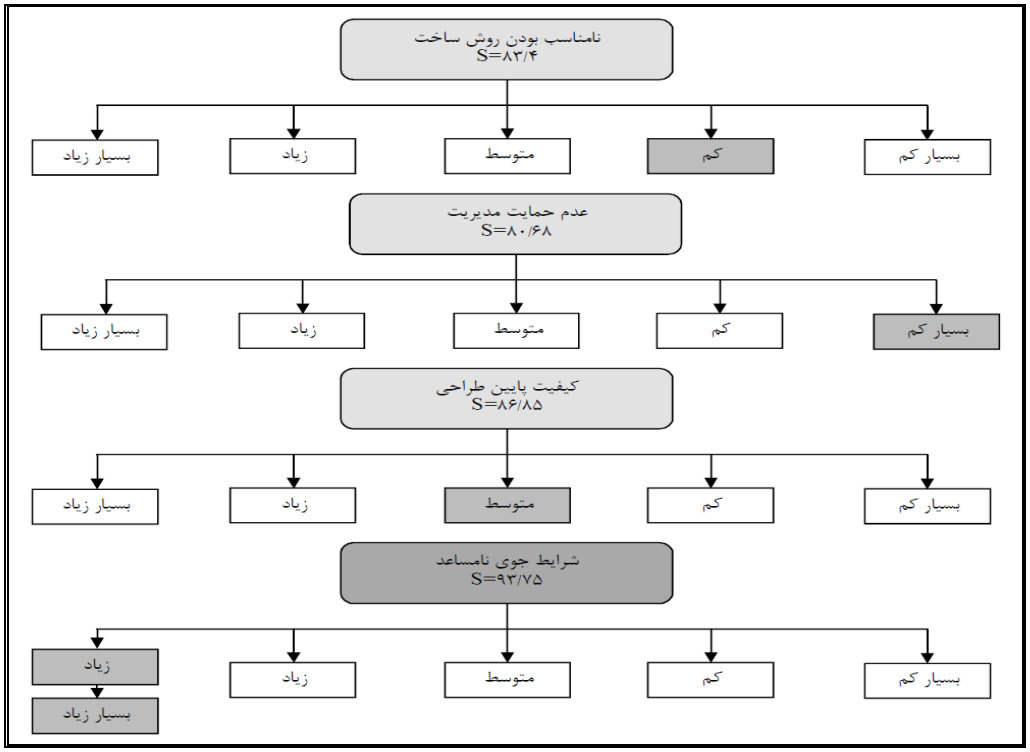
$$S_{Final}=\frac{S_1\times W_1+S_2\times W_2+S_3\times W_3+S_4\times W_4+S_5\times W_5}{100} \quad (۲۶)$$

که در آن W و S به ترتیب بیانگر وزن عامل مورد نظر و نرخ یادگیری بدست آمده برای آن می‌باشد که این عدد برای مثال فوق برابر با ۸۷/۳ درصد بدست می‌آید. در ادامه به منظور تعیین مدت زمان اجرای فعالیت مذکور در ۵ واحد متوالی از رابطه (۱) استفاده می‌گردد. شایان ذکر است که در رابطه مذکور، مقادیر نفر- ساعت طرفین رابطه بر تعداد پرسنل (به عنوان یک عدد ثابت) تقسیم شده و در نهایت معادله به صورت رابطه‌ای براساس زمان تبدیل شده و به صورت رابطه (۲۷) در آمده است:

$$d_{i,j}=d_{i,1}X^{n} \quad (۲۷)$$

که در آن $d_{i,1}$ و $d_{i,j}$ به ترتیب مدت زمان لازم برای انجام مقدار واحد کار فعالیت i در واحد اول و j ام بوده و معادل معکوس نرخ بهره‌وری پرسنل در واحدهای اول و j ام هستند. همچنین با ضرب مقادیر بدست آمده از رابطه فوق در مقدار کار فعالیت مورد بررسی در هر یک از واحدهای متوالی، می‌توان مدت زمان اجرای آن فعالیت در واحد مذکور را بدست آورد. در این مثال، با استفاده از رابطه فوق مقدار $d_{i,j}$ ها به صورت مقادیر جدول (۵) بدست می‌آید.

پس از محاسبه مدت زمان لازم برای اجرای هر فعالیت، از واحد اول تا آخرین واحد، دو منحنی که به ترتیب نشان‌دهنده زمان شروع و اتمام فعالیت‌ها هستند را می‌توان به عنوان نمودار خط تعادل فعالیت مورد نظر رسم نمود که در آن خطوط راست موازی (خطوط رایج در روش خط تعادل) از حالت موازی خارج شده و به خطوط شکسته غیرموازی تبدیل می‌شوند (شکل (۶)). این امر به کاهش زمان پروژه و متعاقبا هزینه‌های غیرمستقیم آن از یک سو و بکارگیری بهینه منابع انسانی و بالتبع کاهش هزینه-های ناشی از آن از سوی دیگر منجر می‌شود. بنابراین اعمال آن در زمان‌بندی پروژه‌های خطی - تکراری بسیار مفید بوده و دید واقع‌گرایانه‌تری از زمان و هزینه پروژه ارائه می‌دهد



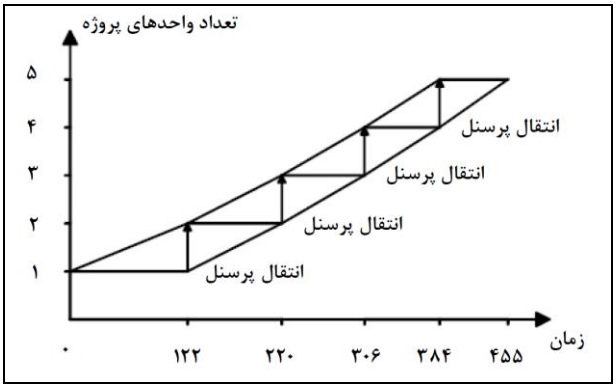
شکل (۵): روند تعیین نرخ یادگیری پرسنل (عوامل با تاثیر غیر مستقیم)

www.SID.ir

Archive of SID

جدول (۵): مدت زمان اجرای فعالیت مورد بررسی در واحدها

شماره واحد	مدت زمان اجرای مقدار واحد کار (ساعت)	مدت زمان اجرای فعالیت (ساعت)
۱	۱۲/۲	۱۲۲
۲	۹/۸	۹۸
۳	۸/۶	۸۶
۴	۷/۸	۷۸
۵	۷/۱	۷۱

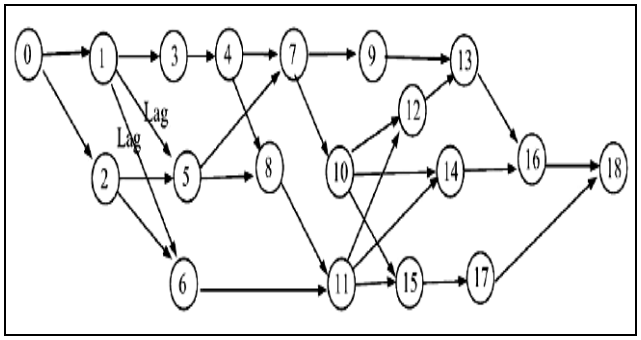


شکل (۶): نمودار خط تعادل اصلاح شده برای فعالیت مورد بررسی با اعمال نرخ بهره‌وری متغیر پرسنل

۶- ارزیابی

در این بخش یک پروژه نمونه که در تحقیقات گذشته ارائه شده است، به واسطه مدل برنامه‌ریزی توسعه یافته توسط نویسندگان (مدلی برای برنامه‌ریزی پروژه‌های خطی - تکراری که با تمرکز بر زمان و هزینه پروژه و خصوصیات خاص این نوع از پروژه‌ها مانند پیوستگی کار منابع طراحی شده و قادر به ارائه نتایج قابل قبول با استفاده از یک الگوریتم فراابتکاری است) یک بار به صورت ساده و بدون اعمال نرخ‌های بهره‌وری منابع و یک بار با توجه به آنچه در این مقاله توضیح داده شد در خصوص اعمال نرخ‌های بهره‌وری منابع، زمان‌بندی گردیده و نتایج بدست آمده از موازنه زمان- هزینه پروژه، مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. همچنین برای مقایسه نمودارهای ترسیم شده توسط مدل با یک روش رایج مانند CPM، خروجی‌های آن با نتایج روش حاضر مقایسه می‌شود.

پروژه نمونه دارای پنج واحد است که هر واحد شامل ۱۸ فعالیت بوده و شبکه مربوط به یکی از واحدهای آن در شکل (۷) نشان داده شده است. (در این شکل، lag ها به معنی زمان‌های تاخیر هستند). همچنین جداول (۶) تا (۸) به ترتیب حاوی اطلاعات مربوط به ویژگی‌های فعالیت‌ها، اطلاعات فازی مربوط به عوامل موثر در نرخ بهره‌وری پرسنل و نهایتا مقایسه نتایج مدل‌های مختلف می‌باشد. همچنین هزینه غیرمستقیم پروژه به ازاء واحد زمان ۵۰۰ واحد پول و هزینه اولیه سرمایه‌گذاری پروژه ۴۴۰۰ واحد پول فرض می‌شود.



شکل (۷): شبکه گره‌ای برای یکی از واحدهای پروژه نمونه

لازم به توضیح است که پروژه مذکور یک پروژه واقعی و مبرا از ساده‌سازی‌های صورت گرفته در پروژه‌های مثال تحقیقات قبل از آن بوده است که به منظور اجتناب از اغتشاش در فضای پاسخ و سادگی در حل مدل صورت می‌گرفت. بنابراین آنچنان که در واقعیت حاکم بر پروژه‌ها دیده می‌شود، به عنوان مثال میزان کار فعالیت‌ها در واحدهای مختلف می‌تواند متفاوت باشد. انواع فعالیت‌های تکراری و غیر تکراری به صورت سری یا غیر سری را در بر می‌گیرد. روابط زمان – هزینه در آن به‌صورت‌های خطی و غیر خطی اعم از پیوسته و گسسته قابل مشاهده است و در نهایت عدم قطعیت‌های حاکم بر شرایط اجرایی پروژه، در چگونگی نگرش به فعالیت‌های آن اثر گذار بوده و در محاسبات لحاظ می‌گردد.

نتیجه نهایی این مدل که مبتنی بر روش خط تعادل و با حذف کاستی‌های آن و مدل‌سازی ریاضی در یک روش حل فراابتکاری بر پایه الگوریتم ژنتیک و تئوری مجموعه‌های فازی ارائه می‌گردد، قابلیت ارائه اطلاعات بسیار مفید گرافیکی و عددی را در مقیاس وسیعی داشته و با صرف زمان محاسبات بسیار کوتاهی قابل دستیابی است. همان طور که در جدول ۸ مشاهده می‌شود پاسخ‌های بدست آمده در مقابل روش‌های سنتی مثل روش مسیر بحرانی و حالت‌های پایه (بدون لحاظ نرخ بهره‌وری منابع) از مطلوبیت قابل توجهی برخوردار است. مخصوصا با توجه به این نکته که زمان تخمینی اجرای هر فعالیت را بر خلاف روش‌های فشرده‌سازی معمول، کاهش نداده و بر کیفیت اجرایی

www.SID.ir

Archive of SID

از این نظر تأثیر منفی ندارد. همچنین به افزایش ریسک ناشی از کمبود زمان منجر نمی‌گردد. برنامه زمان‌بندی این پروژه در قالب نمودار گرافیکی تحت روش پیشنهادی در شکل(۸) نشان داده شده است.

جدول (۶): داده‌های مربوط به پروژه نمونه

شماره فعالیت	عنوان فعالیت	نوع فعالیت	روابط پیش نیازی	مقدار کار لازم برای اجرای فعالیت i در واحد j ($w_{i,j}$)					روابط زمان- هزینه
				واحد ۱	واحد ۲	واحد ۳	واحد ۴	واحد ۵	
۱	تجهیز کارگاه	α	-	۴/۵	۱	۴/۵	۲/۵	۵/۵	$1\le d_1\le 5,\ c_1=150-20d_1$
۲	نقشه‌برداری	α	-	۳۰	۴۰	۳۵	۰	۳۰	$0.1\le d_2\le 0.4,\ c_2=35-55d_2$
۳	بوته کنی	α	1FS	۵	۱۰	۰	۱۰	۵	۴ حالت: $\{d_3,c_3\}=[\{0.4,180\};\{0.6,160\};\{0.8,135\};\{1,110\}]$
-	تاخیر	-	-	۴	۴	۴	۴	۰	lag=1
۴	آتشباری	β	3FS	۲	۴	۲	۳	۴	۵ حالت: $\{d_4,c_4\}=[\{1,440\};\{2,380\};\{4,340\};\{5,320\};\{6,300\}]$
۵	خاکبرداری	α	1FS+lag, 2FS	۰/۲۵	۰/۵	۰/۲۵	۰/۵	۰/۲۵	$4 \le d_5 \le 8\ ,c_5 = 3000-105d_5-26(d_5)^2$
۶	ساخت پل	β	1FS+lag, 2FS	۱۰	۲۵	۱۵	۲۰	۱۵	$0.2 \le d_6 \le 0.8\ ,c_6 = 60-60d_6$
۷	خاکریزی	α	4FS, 5FS	۳	۲	۳	۴	۴	$1 \le d_7 \le 4\ ,c_7 = 290-28d_7-7(d_7)^2$
۸	حمل خاک	α	4FS, 5FS	۱	۲	۱/۵	۱	۲/۵	۵ حالت: $\{d_8,c_8\}=[\{2,1560\};\{3,1300\};\{4,1000\};\{5,900\};\{6,660\}]$
۹	آب پاشی	α	7FS	۲	۲	۲	۲	۲	$0.5 \le d_9 \le 1.2\ ,c_9 = 360-250d_9$
۱۰	شیب دهی و تسطیح	α	7FS	۰/۵	۱	۰/۵	۰/۵	۰/۵	$2 \le d_{10} \le 4\ ,c_{10} = 1050-185d_{10}-15(d_{10})^2$
۱۱	زهکشی	α	6FS, 8FS	۴	۴	۶	۲	۰	۴ حالت: $\{d_{11},c_{11}\}=[\{0.5,540\};\{0.85,450\};\{1,400\};\{1.2,350\}]$
۱۲	فشرده‌سازی	α	10FS, 11FS	۳	۶	۰	۷	۲	$1 \le d_{12} \le 5\ ,c_{12} = 350-18d_{12}-6(d_{12})^2$
۱۳	اندود نفوذی	α	9FS, 12FS	۱/۵	۱/۵	۱/۵	۱/۵	۱/۵	$2 \le d_{13} \le 5\ ,c_{13} = 550-80d_{13}$
۱۴	حمل آسفالت	α	10FS, 11FS	۴	۲	۱	۲	۴	۴ حالت: $\{d_{14},c_{14}\}=[\{1,390\};\{2,300\};\{3,250\};\{4,200\}]$
۱۵	نصب گاردریل و تابلو	α	10FS, 11FS	۶	۶	۶	۶	۶	$0.5 \le d_{15} \le 1.6\ ,c_{15} = 315-85d_{15}-30(d_{15})^2$
۱۶	روکش‌کاری آسفالت	α	13FS, 14FS	۲	۲	۲	۲	۲	$0.5 \le d_{16} \le 1\ ,c_{16} = 200-160d_{16}$
۱۷	نصب تاسیسات برقی	α	15FS	۱	۱	۱	۱	۱	$1 \le d_{17} \le 4\ ,c_{17} = 1850-390d_{17}$
۱۸	خط کشی	α	16FS, 17FS	۶	۶	۶	۶	۶	$0.5 \le d_{18} \le 2\ ,c_{18} = 250-35d_{18}-22(d_{18})^2$

www.SID.ir

Archive of SID

جدول (۷): اطلاعات فازی (مقدار و احتمال) مربوط به پروژه نمونه

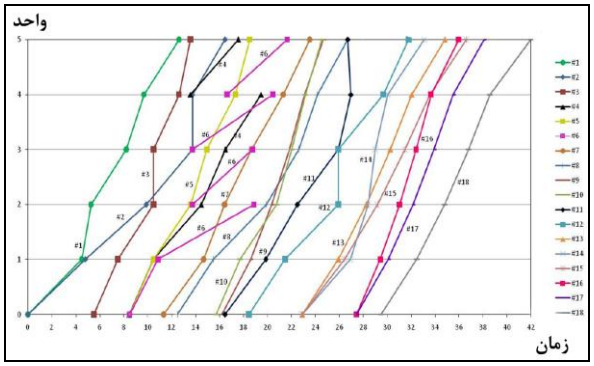
شماره فعالیت	تنوع کار	پیچیدگی	سهم ماشین آلات	مقاومت پرسنل		ریسک‌های ناشی از ...		نامناسب بودن روش ساخت	عدم حمایت مدیریت	کیفیت پایین طراحی	نامساعد بودن شرایط جوی	
				مقدار	احتمال وقوع	مقدار	احتمال وقوع				مقدار	احتمال وقوع
۱	کم	کم	متوسط	متوسط	زیاد	متوسط	متوسط	کم	کم	بسیار کم	زیاد	زیاد
۲	متوسط	زیاد	کم	زیاد	زیاد	متوسط	متوسط	کم	متوسط	متوسط	زیاد	زیاد
۳	کم	کم	متوسط	متوسط	زیاد	کم	متوسط	بسیار کم	کم	بسیار کم	متوسط	زیاد
۴	متوسط	زیاد	متوسط	کم	متوسط	بسیار زیاد	متوسط	کم	کم	متوسط	زیاد	زیاد
۵	کم	متوسط	زیاد	زیاد	متوسط	متوسط	زیاد	کم	کم	کم	زیاد	زیاد
۶	متوسط	متوسط	کم	زیاد	متوسط	متوسط	متوسط	کم	کم	متوسط	متوسط	زیاد
۷	کم	کم	زیاد	متوسط	زیاد	متوسط	زیاد	کم	کم	کم	زیاد	زیاد
۸	بسیار کم	بسیار کم	زیاد	متوسط	زیاد	کم	زیاد	بسیار کم	بسیار کم	بسیار کم	متوسط	متوسط
۹	بسیار کم	بسیار کم	زیاد	متوسط	زیاد	کم	متوسط	بسیار کم	کم	بسیار کم	کم	متوسط
۱۰	کم	متوسط	زیاد	متوسط	متوسط	کم	متوسط	کم	کم	کم	زیاد	زیاد
۱۱	متوسط	متوسط	کم	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	کم	کم	متوسط	متوسط	زیاد
۱۲	کم	بسیار کم	زیاد	متوسط	متوسط	کم	متوسط	کم	بسیار کم	بسیار کم	متوسط	متوسط
۱۳	کم	کم	متوسط	متوسط	زیاد	متوسط	متوسط	کم	کم	کم	زیاد	زیاد
۱۴	کم	کم	زیاد	متوسط	بسیار زیاد	کم	زیاد	بسیار کم	بسیار کم	بسیار کم	متوسط	متوسط
۱۵	متوسط	کم	کم	زیاد	بسیار زیاد	متوسط	زیاد	کم	کم	کم	متوسط	زیاد
۱۶	کم	متوسط	زیاد	متوسط	زیاد	زیاد	زیاد	کم	کم	کم	زیاد	زیاد
۱۷	زیاد	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	کم	کم	کم	زیاد	زیاد
۱۸	بسیار کم	کم	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	کم	کم	کم	زیاد	بسیار زیاد

جدول (۸): مقایسه نتایج حاصل از حل مدل با سایر نتایج

نتایج (هزینه برحسب واحد پول و زمان برحسب واحد زمان)	نتایج حاصل از روش CPM	نتایج مدل پیشنهادی بدون اعمال نرخ بهره‌وری منابع	نتایج نهایی مدل پیشنهادی با اعمال نرخ بهره‌وری منابع
زمان کلی پروژه	۴۳/۵	۵۹/۳۳	۴۱/۹۸
هزینه کلی پروژه	۱۸۰۵۰۰	۱۰۴۸۰۶	۱۰۲۷۲۶
وقفه‌های کاری پرسنل	۱۰۸	۰	۰

www.SID.ir

Archive of SID



شکل (۸): برنامه زمان‌بندی پروژه نمونه

۷- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

پدیده یادگیری یکی از عوامل مهم در زمان‌بندی پروژه‌های خطی- تکراری می‌باشد که می‌توان آن را به منظور برآورد بهتر زمان و هزینه پروژه در زمان‌بندی بکار گرفت. اگرچه مفهوم یادگیری در اغلب موارد برای فعالیت‌های تکراری تشخیص داده شده، اما تحقیقات کمی در زمینه بررسی تاثیر این پدیده و لحاظ نمودن آن در طراحی و یا اجرای پروژه‌های ساخت، انجام شده است. از سوی دیگر، مدل‌های یادگیری ارائه شده منحصر به فرد بوده و براساس نوع و خصوصیات فعالیت‌ها، متفاوت خواهند بود.

به همین دلیل است که یک مدل یادگیری جامع و رضایت-بخش برای صنایع متعدد وجود ندارد. به منظور بررسی اغلب عوامل موثر در یادگیری و دستیابی به اطلاعات واقعی مرتبط با پدیده یادگیری برای فعالیت‌های معمول در صنعت ساخت، نیاز به فرآیندهای زمان‌بر و هزینه‌بر و مطالعات میدانی زیادی است. از این‌رو روشی برای مدل‌سازی نرخ‌های یادگیری در این تحقیق ارائه شد که در آن، ابتدا نرخ‌های یادگیری اولیه برای فعالیت‌های معمول ساخت تعیین شده و سپس با درنظر گرفتن تاثیر عوامل موثری مانند تنوع کاری فعالیت، پیچیدگی فعالیت، شرایط کاری، سطوح مدیریتی و شرایط جوی تعدیل گردید. در این مدل، تئوری مجموعه‌های فازی برای ایجاد قوانین مربوط به پیشرفت فعالیت‌ها بکار گرفته شد. همچنین از روش امتیازدهی چپ و راست عدد فازی به منظور تعبیر اطلاعات فازی و تبدیل آنها به ضرایب عددی استفاده شد که این روش برای ویرایش نرخ‌های یادگیری اولیه بسیار مناسب است. سپس با استفاده از نرخ‌های یادگیری حاصل، نرخ بهره‌وری پرسنل، نفر- ساعت و مدت زمان مورد انتظار برای هر فعالیت در هر واحد محاسبه و در نهایت نمودار LOB اصلاح شده، رسم شد. براساس نتایج بدست آمده، می‌توان بیان کرد که مسأله یادگیری و در نتیجه آن، نرخ بهره‌وری متغیر پرسنل، زمان و منابع مورد نیاز پروژه را کاهش می‌دهد. بنابراین توجه به این مسأله در دنیای رقابتی امروز برای پیشروی در عرصه بازار از اهمیت بسیاری برخوردار است.

با توجه به ضرورت این موضوع، همچنان جای تحقیق و بررسی بیشتر در این زمینه وجود دارد. بنابراین در پایان پیشنهاداتی به منظور تحقیقات آتی ارائه می‌گردد. از آنجایی که در این تحقیق به عوامل اصلی موثر در مسأله یادگیری پرداخته شد، برای ارائه یک مدل جامع، می‌توان به بررسی تاثیر عوامل دیگر نیز پرداخت. به علاوه چون در روش پیشنهادی به منظور ساده‌سازی، از توابع عضویت فازی مثلثی استفاده گردید، جستجوی توابع عضویت با درجه تناسب بیشتر با مسأله مورد نظر، به منظور واقع گرایانه‌تر نمودن خروجی‌های حاصل از آن، حائز اهمیت است.

۸- تقدیر و تشکر

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند تا بدین وسیله از همه کسانی که در به ثمر رسیدن این پژوهش به نحوی سهیم بوده‌اند، تشکر و قدردانی نمایند.

۱۰- مراجع

[۱] رضایی، حسین،"رویکردی نوین در بهینه‌سازی برنامه زمان‌بندی پروژه‌های خطی- تکراری"، ششمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، ۱۳۹۰.

[۲] J.D. Lutz, D.W. Halpin, "Analyzing linear construction operations using simulation and line-of-balance", Proceedings of the transportation research board 71st annual meeting, Washington DC.,1992.

[۳] D.W. Johnston, "Linear scheduling method for highway construction", Journal of the Construction Division ASCE, No.107, pp. 247-261,1981.

[۴] E. Turban, "The line-of-balance scheduling highway maintenance projects", Journal of Industrial Engineering, No. 199, pp. 440- 448, 1968.

[۵] J.K. Mesyef, ;Planning techniques in construction management for linear repetitive construction projects (Special Project Report), Illinois Institute of Technology, Chicago, IL,

www.SID.ir

Archive of SID

1981.

[۶] D. Arditi, M.Z. Albulak, "Line-of-balance scheduling in pavement construction", Journal of Construction Engineering and Management ASCE No. 112, pp. 411- 424,1986.

[۷] A. Tavakoli and R. Riachi, CPM use in ENR top 400 contractors, Journal of Management in Engineering ASCE 63, pp. 282– 296, 1990.

[۸] J.E. Rowings, F. Rahbar, "Use of linear scheduling in transportation projects", Proceedings of the transportation research board 71st annual meeting, Washington DC.,1992.

[۹] G. Fioretti," the organizational learning curve, European Journal of Operational Research", No. 177, pp. 1375- 1384, 2007.

[۱۰] D. Arditi et al., "Effect of Learning on Line-of-Balance Scheduling", International Journal of Project Management, No. 19, pp. 265- 277, 2001.

[۱۱] T.P. Wright, "Factors affecting the cost of airplanes", Journal of Aeronautical Science, No. 34, pp. 122- 128, 1936.

[۱۲] Stanford Research Institute; An improved rational and mathematical explanation of the progress curve in airframe production, Stanford Research Institute, Stanford, CA, pp. 5, 1949.

[۱۳] United Nations Committee on Housing Building and Planning; Effects of repetition on building operations and processes on site, NY: United Nations Committee on Housing Building and Planning, ST/ECE/HOU/14, New York,1965.

[۱۴] J.R. Dejong, "The effects of increasing skill on cycle time and its consequences for time standards", Ergonomics, No. 1, pp. 51-60,1957.

[۱۵] F.K. Levy," Adaptation in the production process", Management Science, No. 26, pp.136-154, 1965.

[۱۶] C.C. Pegels, "On start-up or learning curves: an expanded view", AIIE Transactions 1M 3, pp. 216-222, 1969.

[۱۷] G.W. Carr, "Peacetime cost estimating requires new learning curves", Aviation, No. 45(4), 1946.

[۱۸] J.G.H. Carlson, "Cubic learning curves: precision tool for labor estimating", Journal of Manufacturing Engineering and Management, No. 71, pp. 22- 25, 1973.

[۱۹] لی، وانگ، ترجمه تشنه لب، محمد، "**سیستم‌های فازی و کنترل فازی**"، انتشارات دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، چاپ پنجم، ۱۳۸۸.

[۲۰] کیانفر، فریدون،"محاسبه درجه اولویت ریسک در مدل FMEA با استفاده از تئوری فازی"، دومین کنفرانس بین المللی مدیریت، تهران، ۱۳۸۳.

۱۱- زیرنویس‌ها

[۱] Linear Scheduling Method, LSM
[۲] Line of Balance Technique, LOB
[۳] Velocity diagram
[۴] Construction Planning Technique, CPT
[۵] Vertical Production Method, VPM
[۶] Time Space Scheduling Method, TSSM
[۷] Repetitive Project Model, RPM
[۸] Critical Path Method, CPM
[۹] Straight - Line Power Model
[۱۰] Stanford - B Model
[۱۱] Halving factor
[۱۲] Dejong's Model
[۱۳] Levy's Model
[۱۴] Pegel's Model
[۱۵] S-curve Model
[۱۶] Fuzzy Sets Theory
[۱۷] Program Evaluation and Review Technique, PERT
[۱۸] Horizontal and Vertical Logic Scheduling Method, HVLS
[۱۹] Repetitive Scheduling Method, RSM
[۲۰] Linear Programming, LP
[۲۱] Dynamic Programming, DP
[۲۲] Simulation

www.SID.ir