طرح‌ریزی پروژه مکانیزاسیون محصول هویج با فنون شبکه‌های CPM و PERT

شهاب پیردایه[۱]، مهدی قاسمی ورنامخواستی[۱*]، رضا عبدی[۲]، سجاد رستمی[۱] و مرتضی تاکی[۲]

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۲/۱۲ تاریخ پذیرش: ۹۴/۹/۲۹

۱- گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد
۲- گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
*مسئول مکاتبه: ghasemymahdi@gmail.com

چکیده

در پروژه‌های مکانیزاسیون کشاورزی لازم و ضروری است که عملیات و فعالیت‌های پروژه با یک ترتیب معین و در یک بازه زمانی مشخص و کوتاه انجام گیرد، در غیر این صورت هزینه‌های به موقع انجام نشدن عملیات پیش خواهد آمد. برای کاستن از هزینه‌های مزبور، طرح‌ریزی علمی و اصولی پروژه‌های مکانیزاسیون راه حل مناسبی می‌باشد. در صنایع مختلف از فنون علم مدیریت پروژه برای طرح‌ریزی با موفقیت و رضایت استفاده شده و می‌شود. رهیافت اساسی در همه شیوه‌ها استفاده از شبکه‌ها می‌باشد. در این تحقیق به علت توانایی و قابلیت‌های زیاد شبکه‌های پرت و سی پی ام از آن‌ها به عنوان ابزاری توانمند در برنامه ریزی و زمان‌بندی پروژه مکانیزاسیون محصول هویج استفاده شد. برای تولید مکانیزه محصول هویج اطلاعات و داده‌های مورد نیاز جمع آوری شد. فعالیت‌های پروژه تعیین گردیده و WBS آن نیز ترسیم شد. در نهایت شبکه پرت و سی پی ام مربوط به پروژه ترسیم شده و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج حاصل نشان دادند این پروژه دارای ۲۵ مسیر بحرانی می باشد و زودترین زمان اتمام پروژه ۱۸۷/۵ روز و واریانس و انحراف معیار آن به ترتیب ۲۶ و ۵/۰۹ می‌باشد. مدل شبکه حاصل، توانایی پاسخ‌گویی به سؤالات آماری را دارد و دید روشنی برای مدیر پروژه جهت اتخاذ تصمیمات به‌موقع فراهم می‌آورد تا در مرحله اجرا طبق برنامه‌ریزی پروژه پیش رفته و بتواند محصول را در زمان مطلوب به صورت مکانیزه و با بهره‌وری بالا تولید نماید.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌ریزی و زمان‌بندی، پروژه، شبکه‌های PERT و CPM، مکانیزاسیون کشاورزی

۱- مقدمه

روش‌های پرت و سی پی ام در مدیریت پروژه‌ها، در راستای برنامه‌ریزی، برقراری و تفهیم مسئولیت‌های مدیریتی و مشخص‌کردن زمان واقع بینانه اتمام پروژه، ارزشمند برشمرده می شوند. این دو روش به عنوان ابزاری هشدار دهنده به شمار می‌آیند که به منظور اقدامات پیشگیرانه و جلوگیری از مشکلات احتمالی آینده انجام می گیرند. اگر چه این روش‌ها گشاینده تمام مشکلات نیستند و در دنیای واقعی به امکانات و محدودیت‌های آنها توجه بسنده نمی‌شود ولی در همین حال در مواردی متعدد، به مدیریت پروژه ها کمک های با ارزشی کرده اند. با توجه به تعیین مسیرهای بحرانی به کمک روش های پرت و سی پی ام، همچنین مشخص شد که برای کاهش زمان انجام فعالیت های مختلف، باید چه مقدار هزینه اضافی پرداخت کرد که بیشترین مقدار هزینه اضافی هر واحد کاهش زمان (هفته)، مربوط به تسطیح و محوطه سازی و سپس انبار مواد اولیه و انبار محصول نهایی می شود.

در برنامه‌ریزی عملیات مکانیزه کشاورزی شناسایی عوامل محدود کننده و تعیین نوع و ترتیب عملیات از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. یکی از مهم‌ترین عوامل محدود کننده ضرورت انجام عملیات اصلی کشاورزی از قبیل خاک‌ورزی، تهیه بستر بذر، کاشت و ... در بازه‌های زمانی محدود و گاهی کوتاه می‌باشد. از طرفی بسته به شرایط هر منطقه و نوع سیستم کشاورزی موجود و نیز نوع محصول، برای انجام هر یک از مراحل فرایند تولید از قبیل خاک‌ورزی، کاشت، داشت و ... یک مدت زمان مناسب و ترتیب مناسبی از استفاده از ماشین‌ها و اجرای عملیات وجود دارد که اگر عملیات مربوطه بدون توجه به این موارد اجرا شود، هزینه های به موقع انجام نشدن عملیات پیش آمده و باعث افت در میزان عملکرد محصول خواهد شد.

عبدی و همکاران (۱۳۸۸) در پژوهشی با استفاده از شبکه‌های گرت فرایند پروژه مکانیزاسیون یونجه شبیه‌سازی و مدل‌سازی کرده و سپس مدل شبکه گرت حاصل، را تجزیه و تحلیل کردند. زیرا شبکه‌های گرت همه مزیت‌های شبکه‌ها را دارند. در هر سیستم تولیدی، چنانچه عملیات تولید از قبیل شخم‌زنی و برداشت به موقع انجام نپذیرد، انتظار می رود که عملکرد و کیفیت محصول افت پیدا کند. علاوه بر آن، تواناترین و مطمئن‌ترین نوع شبکه‌ها برای ارزیابی و تحلیل واقعی سامانه‌ها می‌باشند. نتایج نشان دادند که مدل این

توانایی پاسخ گویی به هر نوع پرسش آماری در ارتباط با پروژه را دارا می باشد و مدل های شبکه‌ای به ویـژه مـدل شـبکه گـرت، ابـزار یـا تکنیک بسیار توانمندی برای مدل‌سـازی، طـرح‌ریـزی، زمـان‌بنـدی، کنترل و آنالیز پروژه های مکانیزاسیون کشاورزی می باشند.

کـاظمی و فخـوری (۱۳۹۱) در تحقیقـی بـه منظـور کـاهش محدودیت‌های مربوط به عدم قطعیت در برنامه‌ریزی و اجرای پـروژه، منطق و سامانه کنترل فازی را پیشنهاد کردنـد کـه در آن میـانگین، وریانس، ارزش و تعداد حلقه‌های شـبکه گـرت و هـم‌چنـین عوامـل تأثیرگذار محیطی بر اجرای پروژه بـه صـورت فـازی در نظـر گرفتـه شدند. بدین ترتیب اولین بار، بـا اسـتفاده از قابلیـت‌هـای موجـود در شبکه‌های گرت و همچنین منطق و سیستم فـازی، سیسـتم کنتـرل فازی طراحی شده و در آن سعی گردید تا تمامی حالت‌هـای موجـود در اجرای یک پروژه تحلیل شود. مطابق با نتایج بدسـت آمـده از ۱۵ آزمایش مختلف بر روی پروژه‌های با ابعاد متوسط که عمدتاً در حوزه احداث واحدهای صنعتی بوده‌اند، می‌توان گفت که با استفاده از روش پیشنهادی، زمان‌بندی فعالیت‌های منطقی‌تر و دقیق‌تر بدست خواهد آمد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- تهیه نمودار ساختار شکست کار

اولین قدم مهم در فرآیند برنامه‌ریزی، تهیه ساختار شکست کـار می باشد. در سطح اول پروژه کل پروژه به چند فعالیت عمده تقسـیم می‌شود، سپس در سطح بعدی فعالیت‌های عمده به فعالیت‌های ریزتر تقسیم می‌شود. تا آخرین فعالیت‌ها یا باکس‌هایی که بـه سـطح بعـد گسترش نیافته‌اند و در حقیقت فعالیت‌های پروژه را تشکیل می‌دهند را مشخص کند. WBS ابزاری است که بوسیله مدیر پروژه بکار برده می‌شود تا پروژه را تعریف کرده، با انسجام دادن به آن، پروژه در زمان مقرر و با فعالیت‌های محول شده برای هر کدام از تشکیلات مـرتبط به پایان برسد.

۲-۲- تعیین زمان انجام فعالیت‌ها

برای مشخص نمودن زمان انجـام فعالیـت‌هـا از مـدیریت جهـاد کشاورزی، کارشناسان ناظر، هواشناسی و کشاورزان منطقـه اسـتفاده گردید. داده‌های هواشناسی به طور روزانه برای پارامترهای هواشناسی مثل میزان بارندگی ثبت شده بود. دوره زمانی چند دهه اخیر را برای استخراج تابع چگالی توزیع زمان هر کدام از فعالیت‌ها در نظر گرفتـه شد. در جدول ۱ زمان انجام فعالیت‌ها به همراه اطلاعات دیگـر آورده شده است.

۲-۳- روش رسم شبکه

دو سیسـتم معـروف در ترسـیم شـبکه‌هـا، فعالیـت روی گـره (AON) و فعالیت روی کمان (AOA) می‌باشد. در شـبکه گـره‌ی، هر فعالیت بصورت یک گره که معمولا مستطیل یا دایره اسـت مـی-باشد و روابط ما بین آن‌ها بوسیله پیکان ها با خطوط توپر نشان داده می‌شود. در شبکه‌برداری یا فعالیت روی کمان هر پیکان نشان دهنده یک فعالیت و هر گره نمایشگر یک رویداد اسـت (آلادپـوش، ۱۳۸۶ و آجرلو، ۱۳۸۷).

۲-۴- علائم بکار گرفته شده در الگـوریتم محاسـبه زمان روش‌های پرت و سی‌پی‌ام

برای مشخص کردن زمان شروع و خاتمه فعالیت‌ها و زمان وقوع و پایان رویدادها از دو مسیر پیشرو و پسرو استفاده می‌کنیم، از اطلاعات بدست آمده می‌توان مسیرهای بحرانی را تشخیص داد.

D_{ij} : زمان لازم (تخمین زده شده) برای انجام فعالیت i-j
E_i : زودترین زمان وقوع رویداد i
L_i : دیرترین زمان وقوع رویداد i
E_j : زودترین زمان وقوع رویداد j
L_j : دیرترین زمان وقوع رویداد j
ES_{ij} : زودترین زمان ممکن برای شروع فعالیت i-j
LS_{ij} : دیرترین زمان ممکن برای شروع فعالیت i-j
EF_{ij} : زودترین زمان ممکن برای پایان فعالیت i-j
LF_{ij} : دیرترین زمان ممکن برای پایان فعالیت i-j
F_i : زمان شناوری رویداد i
TF_{ij} : زمان شناوری جمعی فعالیت i-j
FF_{ij} : زمان شناوری آزاد فعالیت i-j
IF_{ij} : زمان شناوری مستقل فعالیت i-j
S : رویداد آغازین شبکه
C : رویداد پایانی شبکه

۲-۴-۱- محاسبات مسیر پیشرو

اولین مرحله محاسبات، محاسبات مسیر پیشرو نامیده می شود. این محاسبات از گره اول در شبکه شروع شده به سمت گره آخر پیش می‌رود و در طی آن زودترین زمان وقوع هر رویداد (E_i)، زودترین زمان شروع هر فعالیت (ES_{ij}) و نیز زودترین زمان پایان هر فعالیت (EF_{ij}) را می توان محاسبه نمود.

گام اول: زودترین زمان وقوع رویداد در آغاز شبکه را برابر با صفر قرار می‌دهیم ($E_{1=0}$).

گام دوم: زودترین زمان شروع هر فعالیت همیشه برابر با زودترین زمان وقوع رویداد آغاز آن فعالیت است.

$$ES_{ij} = E_i \qquad (۱)$$

جدول ۱- محاسبه زمان انجام فعالیت‌های شبکه

نوع فعالیت	شناسه فعالیت	فعالیت های پیش نیازی	زمان خوشبینانه	زمان محتمل	زمان بدبینانه	زمان مورد انتظار پرت	زمان مورد انتظار سی پی	واریانس زمان انجام فعالیت	انحراف معیار
شروع	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
تدارک تراکتور	A	-	۲	۳	۵	۳/۱۷	۳	۲۵	۵
تهیه سوخت	B	-	۲	۴	۵	۳/۸۳	۴	۲۵	۵
شخم زنی	C	A و B	۱۵	۲۰	۳۰	۲۰	۲۰	۶/۲۵	۲/۵
تدارک	D	B	۲	۳	۵	۳/۱۷	۳	۲۵	۵
تهیه دیسک	E	B	۴	۶	۸	۶	۶	۴۴	۶۷
تهیه کود	F	C	۳	۵	۹	۵/۳۳	۵	۱	۱
تهیه کود پاش	G	F	۲	۵	۶	۴/۶۷	۵	۴۴	۶۷
کولتیواتور زنی	H	C و D	۵	۷	۹	۷	۷	۴۴	۶۷
کود پاشی	I	G و F و H	۳	۵	۸	۵/۱۷	۵	۶۹	۸۳
تهیه سم	J	I	۲	۳	۵	۳/۱۷	۳	۲۵	۵
تهیه سم پاش	K	J	۲	۴	۵	۳/۸۳	۴	۲۵	۵
دیسک زنی	L	I	۵	۷	۱۰	۷/۱۷	۷	۶۹	۸۳
تهیه بذر	M	L	۲	۳	۶	۳/۳۳	۳	۴۴	۶۷
تهیه فارئر و	N	L	۴	۶	۱۰	۶/۳۳	۶	۱	۱
سم پاشی	O	K و J و L	۴	۶	۸	۶	۶	۴۴	۶۷
قرارداد کارگر ...	Q	O	۴	۶	۹	۶/۱۷	۶	۶۹	۸۳
بذر کاری	R	N و M و O	۸	۱۰	۱۵	۱/۵	۱۰	۶۹	۸۳
تهیه کود ریز	S	R	۳	۵	۹	۵/۳۳	۵	۱	۱
آبیاری ۱	T	R و Q	۸	۱۲	۲۰	۱۲/۶۷	۱۲	۴	۲
آبیاری ۲	U	T	۷	۱۰	۱۵	۱/۳۳	۱۰	۱/۷۸	۱/۳۳
تهیه سم	V	U	۲	۳	۶	۳/۳۳	۳	۴۴	۶۷
پاشش کود ریز	W	S و U	۶	۷	۱۰	۷/۳۳	۷	۴۴	۶۷
آبیاری ۳	X	U	۶	۸	۱۰	۸	۸	۴۴	۶۷
آبیاری ۴	Y	X و W	۵	۶	۹	۶/۳۳	۶	۴۴	۶۷
پاشش سم	Z	Y و V	۴	۵	۸	۵/۳۳	۵	۴۴	۶۷
آبیاری ۵	A1	Y	۵	۶	۹	۶/۳۳	۶	۴۴	۶۷
تهیه کود ریز	B1	Y	۲	۵	۶	۴/۶۷	۵	۴۴	۶۷
پاشش کود ریز	C1	A1 و B1	۵	۶	۸	۶/۱۷	۶	۲۵	۵
آبیاری ۶	D1	A1	۵	۶	۹	۶/۳۳	۶	۴۴	۶۷
پاشش سم	E1	D1	۴	۵	۸	۵/۳۳	۵	۴۴	۶۷
آبیاری ۷	F1	D1	۵	۶	۹	۶/۳۳	۶	۴۴	۶۷
تهیه سم	G1	D1	۲	۴	۷	۴/۱۷	۴	۶۹	۸۳
سم پاشی بر	H1	F1 و G1	۳	۵	۶	۴/۸۳	۵	۲۵	۵
تهیه کود سرک	I1	H1	۲	۵	۷	۴/۸۳	۵	۶۹	۸۳
آبیاری ۸	J1	H1	۵	۶	۹	۶/۳۳	۶	۴۴	۶۷
پاشش کود	K1	I1 و J1 و	۵	۶	۹	۶/۳۳	۵	۲۵	۵
آبیاری ۹	L1	J1 و K1	۵	۶	۹	۶/۳۳	۶	۴۴	۶۷
آبیاری ۱۰	N1	L1	۵	۶	۹	۶/۳۳	۶	۴۴	۶۷
تهیه کود ریز	O1	L1	۵	۶	۹	۶/۳۳	۵	۴۴	۶۷
پاشش کود ریز	P1	N1 و L1	۵	۶	۹	۶/۳۳	۵	۴۴	۶۷
آبیاری ۱۱	Q1	N1	۵	۶	۹	۶/۳۳	۶	۴۴	۶۷
تهیه سم	R1	N1	۳	۴	۶	۴/۱۷	۴	۲۵	۵
پاشش سم	S1	Q1 و R1	۵	۶	۹	۶/۳۳	۶	۴۴	۶۷
آبیاری ۱۲	T1	Q1	۵	۶	۹	۶/۳۳	۶	۴۴	۶۷
آبیاری ۱۳	V1	T1	۵	۶	۹	۶/۳۳	۶	۴۴	۶۷
تهیه دستگاه	W1	T1	۵	۱۰	۱۵	۱۰	۱۰	۲/۷۸	۱/۶۷
قرارداد کارگر	X1	T1	۵	۷	۱۵	۸	۷	۲/۷۸	۱/۶۷
برداشت و.....	Y1	W1 و V1 و	۸	۱۲	۱۸	۱۲/۳۳	۱۲	۲/۷۸	۱/۶۷
قرارداد فروش	Z1	Y1	۲	۴	۸	۴/۳۳	۴	۱	۱
بارگیری و	END	Y1 و Z1	۳	۵	۸	۵/۱۷	۵	۶۹	۸۳

زودترین زمان پایان هر فعالیت (EF_{ij}) همیشه برابر با زودترین زمان وقوع رویداد آغاز آن فعالیت بعلاوه مدت آن فعالیت (D_{ij}) می باشد.

$$EF_{ij} = E_i + D_{ij} \text{ یا } EF_{ij} = ES_{ij} + D_{ij} \quad (۲)$$

گام سوم: زودترین زمان وقوع رویداد j ام شبکه را برابر با بزرگترین زودترین زمان پایان فعالیت‌هایی که به آن رویداد ختم می‌شوند قرار می دهیم.

$$E_j = \text{Max}\{EF_{i1j}, EF_{i2j,\ldots,}EF_{ikj}\} \quad (۳)$$

گام چهارم: گام‌های ۲ و ۳ را آنقدر تکرار می‌کنیم تا در نهایت زودترین زمان وقوع گره آخر (E_n) یا زمان اتمام پروژه محاسبه گردد.

۲-۴-۲-حاسبات مسیر پسرو

دومین مرحله محاسبات CPM، محاسبات مسیر پسرو نامیده می شود. این محاسبات از گره آخر در شبکه شروع شده در حرکت پسرو به سمت گره اول ادامه می یابد و در طی آن دیرترین زمان وقوع هر رویداد (L_i)، دیرترین زمان پایان هر فعالیت (LF_{ij}) و دیرترین زمان شروع هر فعالیت (LS_{ij}) را می توان محاسبه نمود.

گام اول: دیرترین زمان وقوع رویداد نهایی شبکه را برابر با زودترین زمان وقوع رویداد قرار می دهیم.

$$L_n = E_n \quad (۴)$$

گام دوم: دیرترین زمان پایان هر فعالیت همیشه برابر با دیرترین زمان وقوع رویداد پایان آن فعالیت است.

$$LF_{ij} = L_j \quad (۵)$$

دیرترین زمان شروع هر فعالیت (LS_{ij}) همیشه برابر با دیرترین زمان وقوع رویداد پایان آن فعالیت منهای مدت آن فعالیت می باشد.

$$LS_{ij} = L_j - D_{ij} \text{ یا } LS_{ij} = LF_{ij} - D_{ij} \quad (۶)$$

گام سوم: دیرترین زمان وقوع رویداد i ام شبکه را برابر با کوچکترین دیرترین زمان شروع فعالیت‌هایی که از آن رویداد منشعب می‌شوند قرار می‌دهیم.

$$L_i = \text{Min}\{LS_{i1j}, LS_{i2j,\ldots,}LS_{ikj}\} \quad (۷)$$

گام چهارم: گام‌های ۲ و ۳ را به سمت گره اول آنقدر تکرار می‌کنیم تا در نهایت دیرترین زمان وقوع گره اول شبکه (E_1) پروژه محاسبه گردد.

۲-۵- شناوری فعالیت‌ها

با توجه به تعاریف و روابط مربوط به انواع شناوری فعالیت‌ها که در ذیل توضیح داده شده، مقدار شناوری فعالیت‌ها محاسبه و در جدول ۴ و ۵ مربوط به فصل نتایج و بحث ارائه گردید.

۲-۵-۱-شناوری کل

مقدار زمانی است که یک فعالیت می‌تواند به تعویق بیفتد، یا به زمان اجرای آن افزوده شود، بدون آن‌که در کل زمان اجرای پروژه تأثیری بگذارد. مقدار شناوری جمعی با استفاده از رابطه ۲-۶ محاسبه می‌گردد.

$$TF_{ij} = L_j - E_i - D_{ij} \quad (۸)$$

۲-۵-۲- شناوری آزاد

مقدار زمانی است که یک فعالیت می‌تواند به تعویق بیفتد، یا به زمان اجرای آن افزوده شود، بدون آن‌که بر مقدار شناوری فعالیت‌های بعد از خود تأثیر بگذارد. مقدار شناوری آزاد فعالیت **i-j** عبارتست از :

$$FF_{ij} = E_j - E_i - D_{ij} \quad (۹)$$

۲-۵-۳- شناوری مستقل

مقدار زمانی است که یک فعالیت می‌تواند به تعویق بیفتد، یا به زمان اجرای آن افزوده شود، بدون اینکه در مقدار شناوری فعالیت-های قبل و بعد از خود تأثیری بگذارد. بنا به تعریف می‌توان گفت :

$$IF_{ij} = E_j - L_i - D_{ij} \quad (۱۰)$$

۲-۵-۴-فرجه یا شناوری کل فعالیت (TF)

حداکثر زمانی که یک فعالیت می‌تواند تأخیر مجاز داشته باشد، بدون آنکه روی زمان اتمام کل پروژه تأثیر بگذارد فرجه کل نامیده می‌شود. مقدار فرجه کل هر فعالیت با کم نمودن زودترین زمان پایان آن فعالیت از دیرترین زمان پایان آن فعالیت بدست می آید.

$$TF_{ij} = LF_{ij} - EF_{ij} \quad (۱۱)$$

۲-۶- سیستم تخمین زمان در محاسبات پرت

در محاسبات PERT، برای هر فعالیت، سه تخمین زمانی به شرح زیر انجام می‌گیرد (سبزه پرور، ۱۳۹۲):

الف – زمان خوشبینانه (a)

ب – زمان محتمل (m)

ج – زمان بدبینانه (b)

با توجه به اینکه معمولاً آمار مناسبی برای استفاده در پیش‌بینی زمان‌های فعالیت‌ها وجود ندارد، تخمین‌ها صرفاً متکی بر تجربه بوده و بنیاد آماری ندارند. سیستم‌های سه زمانه پرت به دو صورت مختلف زیر می‌باشد (حاج شیرمحمدی، ۱۳۸۷):

۲-۶-۱- سیستم سه زمانه در دامنه ۰ تا ۱۰۰

اعداد a و b در دو انتهای منحنی قرار گرفته و در نتیجه کل مساحت زیر منحنی را بین خود جای می‌دهند و فاصله بین a و b تقریباً ۶ برابر انحراف معیار منحنی توزیع خواهد بود. با توجه به این امر می‌توان گفت:

$$\text{انحراف معیار: } s = \frac{b-a}{6} \quad (\text{برای دامنه 0 تا 100}) \qquad (۱۲)$$

مقدار میانگین، یا زمان مورد انتظار فعالیت نیز با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$te = \frac{a+4m+b}{6} \qquad (۱۳)$$

۲-۶-۲-سیستم سه زمانه در دامنه ۵ تا ۹۵ درصد

فاصله بین a و b تقریباً ۳/۲ برابر انحراف معیار منحنی توزیع خواهد بود. با توجه به این امر داریم:

$$\text{انحراف معیار: } s = \frac{b-a}{\frac{3}{2}} \quad (\text{برای دامنه 5 تا 95}) \qquad (۱۴)$$

مقدار میانگین، یا زمان مورد انتظار فعالیت نیز با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$te = \frac{a+4m+b}{6} \qquad (۱۵)$$

۲-۷- مقادیر احتمال و سطوح اطمینان

بر اساس محاسبات، زمان مورد انتظار و انحراف معیار در زمان مورد انتظار به‌دست می‌آید. با توجه به قضیه حد مرکزی، توزیع زمانی برای تکمیل پروژه، نرمال خواهد بود. بنابراین، با استفاده از جداولی که مساحت‌های زیر منحنی نرمال را به ازای موقعیت مکانی متغیر مورد نظر نشان می‌دهند، می‌توان احتمالات مربوط به زمان-های مختلف تکمیل پروژه را محاسبه نمود. برای این محاسبات لازم است مشخص شود زمان مورد نظر در فاصله چند انحراف معیار از te قرار گرفته است.

$$s.z = te - ts \quad \text{یا} \quad z = \frac{te - ts}{s} \qquad (۱۶)$$

زمان مورد انتظار را te و زمان مورد نظر را با ts و تعداد انحراف معیار را با z نشان دهیم خواهیم داشت (حاج شیرمحمدی، ۱۳۸۸): با در دست داشتن مقدار z و مراجعه به جدول مساحت‌های منحنی نرمال، می‌توان مقادیر احتمال و سطوح اطمینان را محاسبه نمود.

۲-۸- مسیرهای شبکه

یک دنباله از فعالیت‌ها که از رویداد آغازین شبکه شروع و به رویداد پایانه شبکه ختم می‌شود یک مسیر نامیده می‌شود. بعد از تعیین مسیرهای شبکه، مقدار شناوری تک‌تک راه‌ها با استفاده از روابط شناوری محاسبه و مسیرهایی که دارای مقدار شناوری صفر بودند به عنوان مسیرهای بحرانی تعریف می‌گردند. در هر شبکه حداقل یک راه یا مسیر وجود دارد که شامل طولانی‌ترین زمان می-باشد، به این راه مسیر بحرانی می‌گویند.

۳- نتایج و بحث

جهت شروع کار پروژه، در ابتدا نمودار ساختار شکست کار (WBS) تهیه گردید (شکل۱)، تا فعالیت‌ها شناسایی، منابع و امکانات لازم برای انجام پروژه تعیین و مشخص گردد.

بعد از تهیه نمودار ساختار شکست کار، با در نظر گرفتن تقدم و تأخر فعالیت‌ها و تعیین وابستگی بین فعالیت‌ها، مدل شبکه‌ای سی-پی‌ام و پرت برای پروژه مکانیزاسیون هویج طراحی گردید که در شکل ۱ نمایش داده شده است.

۳-۱- محاسبه زمان انجام فعالیت‌های شبکه

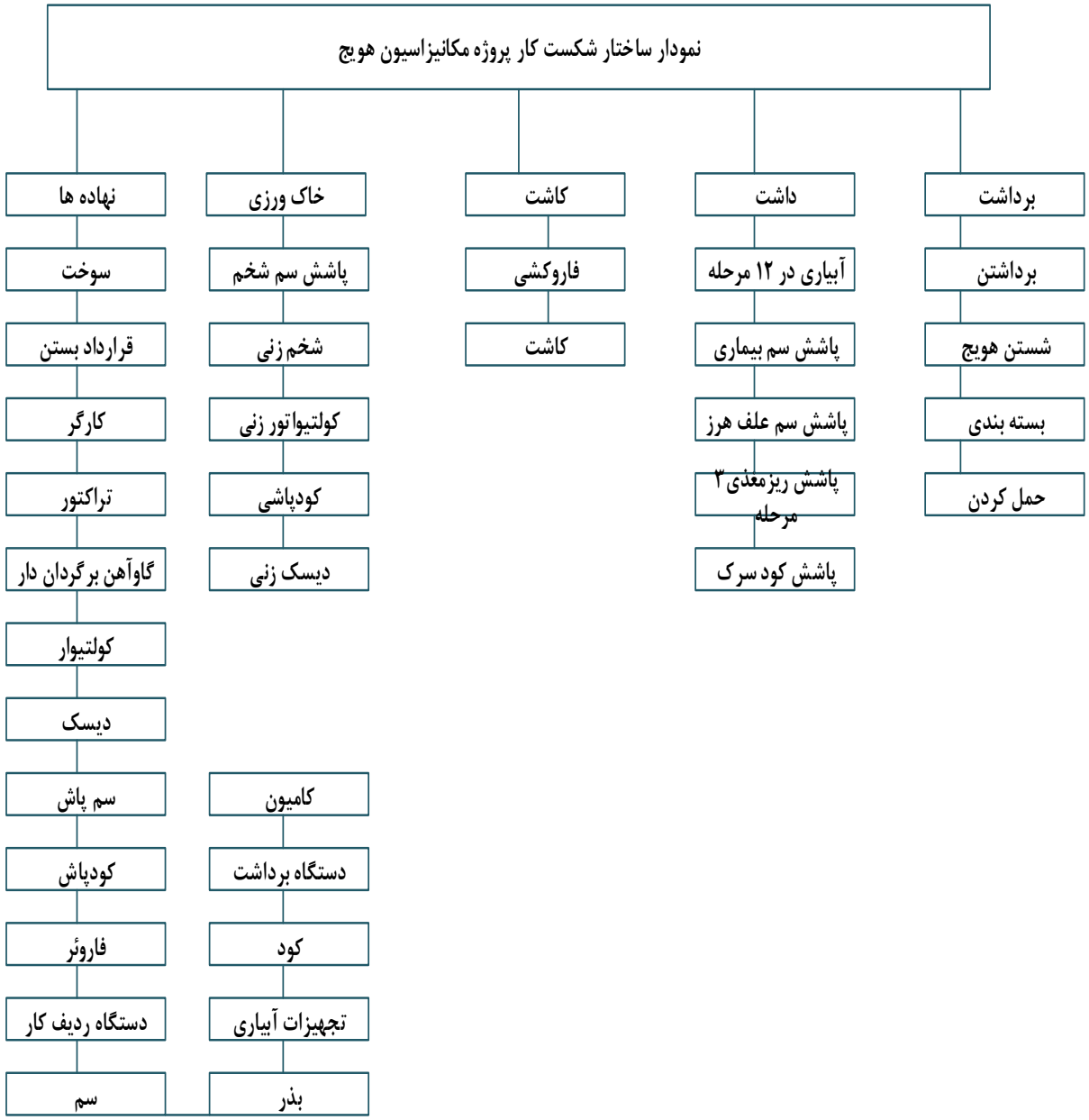
تخمین مدت‌زمان و منابع، اصل مهمی در برنامه‌ریزی پروژه است و برای تک‌تک فعالیت‌های پروژه مکانیزاسیون هویج، همان‌طور که در بخش مواد و روش‌ها توضیح داده شد، محاسبه گردید و باید مورد دقت و تأمل فراوان واقع شود. هر کدام از فعالیت‌ها و رویدادها مدت زمان تخمینی آن‌ها به روز می‌باشد. نتایج محاسبات برای شبکه پرت و سی‌پی‌ام در جدول ۱ قابل مشاهده هستند.

با شروع و تمام شدن و زمان پیش‌بینی شده هر فعالیت به وقوع پیوسته، که نهایتاً هر فعالیت منجر به وقوع رویداد پایانی می‌گردد و می‌توان فعالیت یا رویداد دیگری را شروع کرد. که در آن زودترین و دیرترین زمان شروع رویداد در جدول ۱ نشان داده شده است، این مدل دارای ۴۳ رویداد و ۵۱ فعالیت بوده، که توسط رویدادها و فعالیت‌ها مسیرهای بحرانی قابل شناسایی می‌باشند. که در جداول ۲ و ۳ نشان داده شده است.

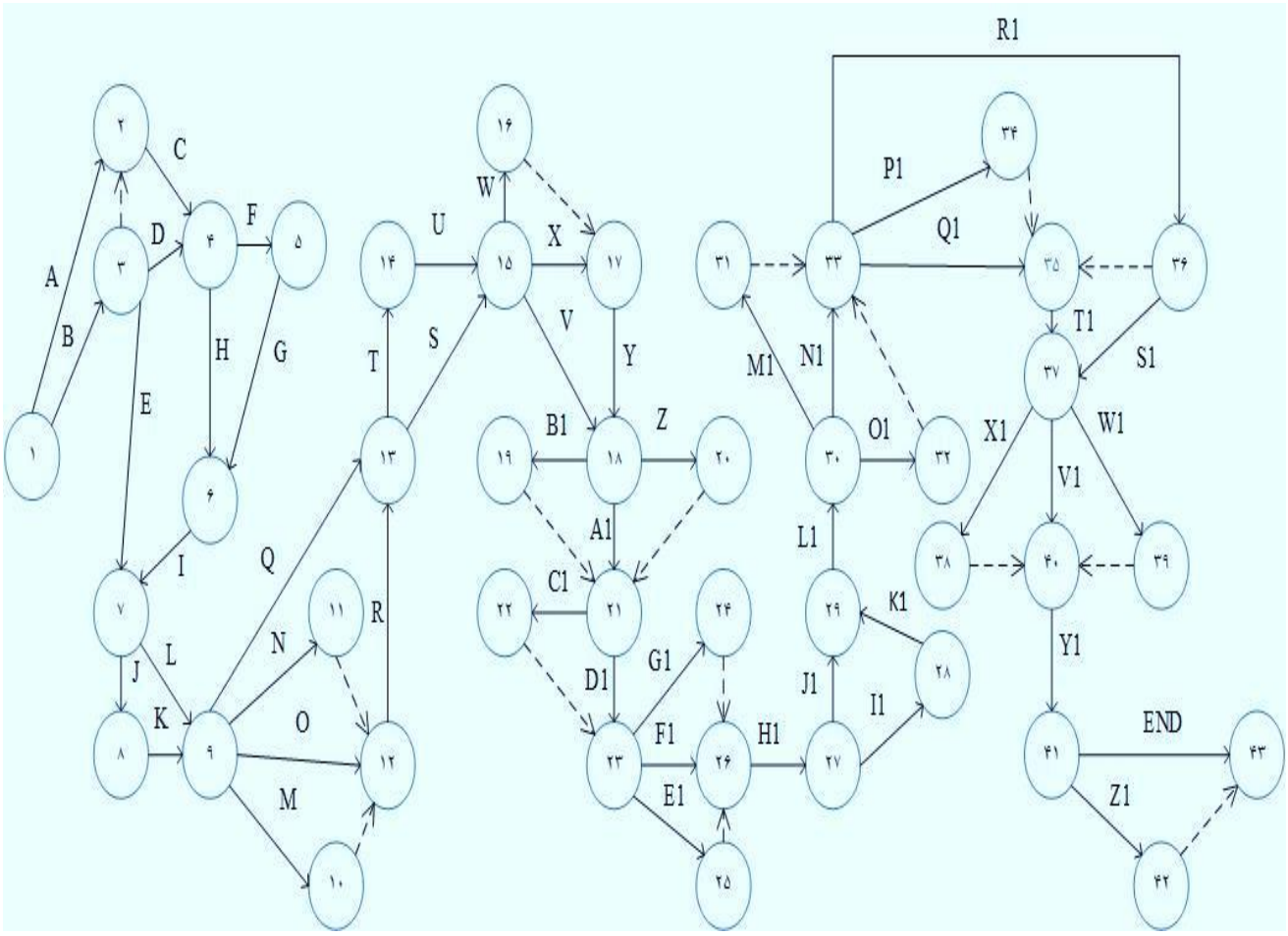
اکنون با مشخص شدن فعالیت‌ها، تقدم و تأخر آن‌ها، رسم شبکه و همچنین برآورد و تعیین زمان، منابع و هزینه‌های آن‌ها می‌توان زمان‌بندی پروژه را انجام داد. با رسم شبکه و ثبت زمان فعالیت‌ها،

محاسبات شبکه پروژه برای شبکه‌های برداری به همان شکل کـه در قبل توضیح داده شد به روش‌های محاسـبات پیشـرو و پسـرو انجـام می‌گردد. در جداول ۴ و ۵ زودتـرین و دیرتـرین زمـان فعالیـت‌هـا و شناوری‌های کل، آزاد، مستقل و اطمینان محاسبه گردیده است.

با توجه به قضیه حد مرکزی در مدت ۱۸۷/۵ روز پروژه به اتمـام خواهد رسید و واریانس زودترین زمان مورد انتظار خـتم پـروژه ۲۶ و انحراف معیار آن ۵/۰۹ می‌باشد و در سطح ۵٪ بـا توجـه بـه توزیـع نرمال، احتمال اینکه پروژه در مدت ۲۰۰ روز به پایان برسـد ۰/۴۹۱ می‌باشد.



شکل ۱- نمودار ساختار شکست پروژه مکانیزاسیون هویج در شهرستان های الیگودرز و ازنا



شکل ۲- مدل شبکه مدیریت پروژه

جدول ۲- وقوع رویدادها در مدل PERT

رویداد	E_i	L_i	F_i	ملاحظات	رویداد	E_i	L_i	F_i	ملاحظات
۱			۰	بحرانی	۲۳	۱۰۷/۵۰	۱۰۷/۵۰	۰	بحرانی
۲	۰	۰/۶۷	۰/۶۷	–	۲۴	۱۱۳/۸۳	۱۱۶	۲/۱۷	–
۳	۰	۰	۰	بحرانی	۲۵	۱۱۳/۸۳	۱۱۴/۸۳	۱	–
۴	۳/۸۳	۳/۸۳	۰	بحرانی	۲۶	۱۱۳/۸۳	۱۱۳/۸۳	۰	بحرانی
۵	۲۴/۶۷	۲۴/۶۷	۰	بحرانی	۲۷	۱۲۰/۱۷	۱۲۰/۱۷	۰	بحرانی
۶	۳۰	۳۰	۰	بحرانی	۲۸	۱۲۵	۱۲۵	۰	بحرانی
۷	۳۴/۶۷	۳۴/۶۷	۰	بحرانی	۲۹	۱۲۹/۸۳	۱۲۹/۸۳	۰	بحرانی
۸	۳۹/۸۳	۴۳/۱۷	۳/۳۳	–	۳۰	۱۳۴/۶۷	۱۳۴/۶۷	۰	بحرانی
۹	۳۹/۸۳	۳۹/۸۳	۰	بحرانی	۳۱	۱۴۱	۱۴۲	۱	–
۱۰	۴۷	۵۰	۳	–	۳۲	۱۴۱	۱۴۲/۶۷	۱/۶۷	–
۱۱	۴۷	۴۷	۰	بحرانی	۳۳	۱۴۱	۱۴۱	۰	بحرانی
۳	۴۷	۴۷/۳۳	۰/۳۳	–	۳۴	۱۴۷/۳۳	۱۴۸/۳۳	۱	–
۱۳	۵۳/۳۳	۵۳/۳۳	۰	بحرانی	۳۵	۱۴۷/۳۳	۱۴۷/۳۳	۰	بحرانی
۱۴	۶۳/۸۳	۶۳/۸۳	۰	بحرانی	۳۶	۱۴۷/۳۳	۱۵۳/۶۷	۶/۳۳	–
۱۵	۷۶/۵۰	۷۶/۵۰	۰	بحرانی	۳۷	۱۵۳/۶۷	۱۵۳/۶۷	۰	بحرانی
۱۶	۸۶/۸۳	۸۷/۵۰	۰/۶۷	–	۳۸	۱۶۰	۱۶۲	۲	–
۱۷	۸۶/۸۳	۸۶/۸۳	۰	بحرانی	۳۹	۱۶۰	۱۶۰	۰	بحرانی
۱۸	۹۴/۸۳	۹۴/۸۳	۰	بحرانی	۴۰	۱۶۰	۱۶۳/۶۷	۳/۶۷	–
۱۹	۱۰۱/۱۷	۱۰۲/۸۳	۱/۶۷	–	۴۱	۱۷۰	۱۷۰	۰	بحرانی
۲۰	۱۰۱/۱۷	۱۰۲/۱۷	۱	–	۴۲	۱۸۲/۳۳	۱۸۳/۱۷	۰/۸۳	–
۲۱	۱۰۱/۱۷	۱۰۱/۱۷	۰	بحرانی	۴۳	۱۸۲/۳۳	۱۸۲/۳۳	۰	بحرانی
۲۲	۱۰۷/۵۰	۱۰۷/۶۷	۰/۱۷	–					

جدول ۳- وقوع رویدادها در مدل CPM

رویداد	E_i	L_i	F_i	ملاحظات	رویداد	E_i	L_i	F_i	ملاحظات
۱	۰	۰	۰	بحرانی	۲۳	۱۰۴	۱۰۴	۰	بحرانی
۲	۰	۱	۱	–	۲۴	۱۱۰	۱۱۲	۲	–
۳	۰	۰	۰	بحرانی	۲۵	۱۱۰	۱۱۱	۱	–
۴	۴	۴	۰	بحرانی	۲۶	۱۱۰	۱۱۰	۰	بحرانی
۵	۲۴	۲۴	۰	بحرانی	۲۷	۱۱۶	۱۱۶	۰	بحرانی
۶	۲۹	۲۹	۰	بحرانی	۲۸	۱۲۱	۱۲۱	۰	بحرانی
۷	۳۴	۳۴	۰	بحرانی	۲۹	۱۲۶	۱۲۶	۰	بحرانی
۸	۳۹	۴۲	۳	–	۳۰	۱۳۱	۱۳۱	۰	بحرانی
۹	۳۹	۳۹	۰	بحرانی	۳۱	۱۳۷	۱۳۸	۱	–
۱۰	۴۶	۴۹	۳	–	۳۲	۱۳۷	۱۳۸	۱	–
۱۱	۴۶	۴۶	۰	بحرانی	۳۳	۱۳۷	۱۳۷	۰	بحرانی
۳	۴۶	۴۶	۰	بحرانی	۳۴	۱۴۳	۱۴۴	۱	–
۱۳	۵۲	۵۲	۰	بحرانی	۳۵	۱۴۳	۱۴۳	۰	بحرانی
۱۴	۶۲	۶۲	۰	بحرانی	۳۶	۱۴۳	۱۴۹	۶	–
۱۵	۷۴	۷۴	۰	بحرانی	۳۷	۱۴۹	۱۴۹	۰	بحرانی
۱۶	۸۴	۸۵	۱	–	۳۸	۱۵۵	۱۵۸	۳	–
۱۷	۸۴	۸۴	۰	بحرانی	۳۹	۱۵۵	۱۵۵	۰	بحرانی
۱۸	۸۴	۹۲	۸	–	۴۰	۱۵۵	۱۵۹	۴	–
۱۹	۹۸	۹۹	۱	–	۴۱	۱۶۵	۱۶۵	۰	بحرانی
۲۰	۹۸	۹۹	۱	–	۴۲	۱۷۷	۱۷۸	۱	–
۲۱	۹۸	۹۸	۰	بحرانی	۴۳	۱۷۷	۱۷۷	۰	بحرانی
۲۲	۱۰۴	۱۰۴	۰	بحرانی	_	_	_	_	_

۴- نتیجه‌گیری نهایی

شبکه‌های پرت برای برنامه‌ریزی و زمان‌بندی پروژه‌هایی که زمان انجام فعالیت‌های آن توأم با احتمال باشند مناسب بوده و این قابلیت را به مدیر پروژه خواهند داد که شرایط پروژه را با توجه به انعطافی که این شبکه دارد مورد بررسی قرار داده و قادر به پاسخ گوئی به سوالات مختلف آماری می باشد.

شبکه پرت امکان پاسخ‌گویی به سوالاتی چون زودترین و دیرترین زمان وقوع رویداد، واریانس و زمان‌های شناوری هر یک از رویدادها، زمان مورد انتظار اتمام پروژه و ... را به سادگی فراهم می‌کند.

با توجه به محاسبات انجام شده، مشخص شد که دارای ۲۵ مسیر بحرانی هستیم و اگر در این مسیر بحرانی تأخیری بوجود آید باعث افزایش هزینه‌ها و از دست رفتن فرصت‌ها خواهد شد. مجموع کل زمان مشخص شده برای این طرح ۱۸۷/۵ روز بدست آمد. واریانس زودترین زمان مورد انتظار ختم پروژه ۲۶ و انحراف معیار آن ۵/۰۹ می‌باشد.

جدول ۴- زودترین و دیرترین زمان و شناوری‌ها در مدل PERT

شناسه فعالیت i-j	زمان مورد انتظار D_{ij}	زودترین زمان		دیرترین زمان		شناوری ها				ملاحظات
		ES_{ij}	EF_{ij}	LS_{ij}	LF_{ij}	TF_{ij}	FF_{ij}	IF_{ij}	SF_{ij}	
A	۳/۱۷	۰	۳/۱۷	۰/۶۷	۳/۸۳	۰/۶۷	۰/۶۷	۰/۶۷	۰/۶۷	-
B	۳/۸۳	۰	۳/۸۳	۰	۳/۸۳	۰	۰	۰	۰	بحرانی
C	۲۰/۸۳	۳/۸۳	۲۴/۶۷	۳/۸۳	۲۴/۶۷	۰	۰	۰	۰	بحرانی
D	۳/۱۷	۳/۸۳	۷	۲۱/۵	۲۴/۶۷	۱۷/۶۷	۱۷/۶۷	۱۷/۶۷	۱۷/۶۷	-
E	۶	۳/۸۳	۹/۸۳	۳۳/۸۳	۳۹/۸۳	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	-
F	۵/۳۳	۲۴/۶۷	۳۰	۲۴/۶۷	۳۰	۰	۰	۰	۰	بحرانی
G	۴/۶۷	۳۰	۳۴/۶۷	۳۰	۳۴/۶۷	۰	۰	۰	۰	بحرانی
H	۷	۲۴/۶۷	۳۱/۶۷	۲۷/۶۷	۳۴/۶۷	۳	۳	۳	۳	-
I	۵/۱۷	۳۴/۶۷	۳۹/۸۳	۳۴/۶۷	۳۹/۸۳	۰	۰	۰	۰	بحرانی
J	۳/۱۷	۳۹/۸۳	۴۳	۴۰	۴۳/۱۷	۰/۱۷	۰	۰	۰	-
K	۳/۸۳	۴۳	۴۶/۸۳	۴۳/۱۷	۴۷	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۱۷	-
L	۷/۱۷	۳۹/۸۳	۴۷	۳۹/۸۳	۴۷	۰	۰	۰	۰	بحرانی
M	۳/۳۳	۴۷	۵۰/۳۳	۵۰	۵۳/۳۳	۳	۳	۳	۳	-
N	۶/۳۳	۴۷	۵۳/۳۳	۴۷	۵۳/۳۳	۰	۰	۰	۰	بحرانی
O	۶	۴۷	۵۳	۴۷/۳۳	۵۳/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۳	-
Q	۶/۱۷	۴۷	۵۳/۱۷	۵۷/۶۷	۶۳/۸۳	۱۰/۶۷	۰/۱۷	۱۰/۶۷	۱۰/۶۷	-
R	۱۰/۵	۵۳/۳۳	۶۳/۸۳	۵۳/۳۳	۶۳/۸۳	۰	۰	۰	۰	بحرانی
S	۵/۳۳	۶۳/۸۳	۶۹/۱۷	۸۱/۵	۸۶/۸۳	۱۷/۶۷	۱۷/۶۷	۱۷/۶۷	۱۷/۶۷	-
T	۱۲/۶۷	۶۳/۸۳	۷۶/۵	۶۳/۸۳	۷۶/۵	۰	۰	۰	۰	بحرانی
U	۱۰/۳۳	۷۶/۵	۸۶/۸۳	۷۶/۵	۸۶/۸۳	۰	۰	۰	۰	بحرانی
V	۳/۳۳	۸۶/۸۳	۹۰/۱۷	۹۷/۸۳	۹۱/۵	۱/۳۳	۱۱	۱۱	۱۱	-
W	۷/۳۳	۸۶/۸۳	۹۴/۱۷	۸۷/۵	۹۴/۸۳	۰/۶۷	۰/۶۷	۰/۶۷	۰/۶۷	-
X	۸	۸۶/۸۳	۹۴/۸۳	۸۶/۸۳	۹۴/۸۳	۰	۰	۰	۰	بحرانی
Y	۶/۳۳	۹۴/۸۳	۱۰۱/۱۷	۹۴/۸۳	۱۰۱/۱۷	۰	۰	۰	۰	بحرانی
Z	۵/۳۳	۱۰۱/۱۷	۱۰۶/۵	۱۰۲/۱۷	۱۰۷/۵	۱	۱	۱	۱	-
A1	۶/۳۳	۱۰۱/۱۷	۱۰۷/۵	۱۰۱/۱۷	۱۰۷/۵	۰	۰	۰	۰	بحرانی
B1	۴/۶۷	۱۰۱/۱۷	۱۰۵/۸۳	۱۰۲/۸۳	۱۰۷/۵	۱/۶۷	۱/۶۷	۱/۶۷	۱/۸۳	-
C1	۶/۱۷	۱۰۷/۵	۱۱۳/۸۳	۱۰۷/۶۷	۱۱۳/۸۳	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۱۷	۲/۳۳	-
D1	۶/۳۳	۱۰۷/۵	۱۱۳/۸۳	۱۰۷/۵	۱۱۳/۸۳	۰	۰	۰	۰	بحرانی
E1	۵/۳۳	۱۱۳/۸۳	۱۱۹/۱۷	۱۱۴/۸۳	۱۲۰/۱۷	۱	۱	۱	۱	-
F1	۶/۳۳	۱۱۳/۸۳	۱۲۰/۱۷	۱۱۳/۸۳	۱۲۰/۱۷	۰	۰	۰	۰	بحرانی
G1	۴/۱۷	۱۱۳/۸۳	۱۱۸	۱۱۶	۱۲۰/۱۷	۲/۱۷	۲/۱۷	۲/۱۷	۲/۱۷	-
H1	۴/۸۳	۱۲۰/۱۷	۱۲۵	۱۲۰/۱۷	۱۲۵	۰	۰	۰	۰	بحرانی
I1	۴/۸۳	۱۲۵	۱۲۹/۸۳	۱۲۵	۱۲۹/۸۳	۰	۰	۰	۰	بحرانی
J1	۶/۳۳	۱۲۵	۱۳۱/۳۳	۱۲۸/۳۳	۱۳۴/۶۷	۳/۳۳	۳/۳۳	۳/۳۳	۳/۳۳	-
K1	۴/۸۳	۱۲۹/۸۳	۱۳۴/۶۷	۱۲۹/۸۳	۱۳۴/۶۷	۰	۰	۰	۰	بحرانی
L1	۶/۳۳	۱۳۴/۶۷	۱۴۱	۱۳۴/۶۷	۱۴۱	۰	۰	۰	۰	بحرانی
M1	۵/۳۳	۱۴۱	۱۴۶/۳۳	۱۴۲	۱۴۷/۳۳	۱	۱	۱	۱	-
N1	۶/۳۳	۱۴۱	۱۴۷/۳۳	۱۴۱	۱۴۷/۳۳	۰	۰	۰	۰	بحرانی
O1	۴/۶۷	۱۴۱	۱۴۵/۶۷	۱۴۲/۶۷	۱۴۷/۳۳	۱/۶۷	۱/۶۷	۱/۶۷	۱	-
P1	۵/۳۳	۱۴۷/۳۳	۱۵۲/۶۷	۱۴۸/۳۳	۱۵۳/۶۷	۱	۱	۱	۱	-
Q1	۶/۳۳	۱۴۷/۳۳	۱۵۳/۶۷	۱۴۷/۳۳	۱۵۳/۶۷	۰	۰	۰	۰	بحرانی
R1	۴/۱۷	۱۴۷/۳۳	۱۵۱/۵	۱۴۹/۵	۱۵۳/۶۷	۲/۱۷	۲/۱۷	۲/۱۷	۲/۱۷	-
S1	۶/۳۳	۱۵۱/۵	۱۵۷/۸۳	۱۵۳/۶۷	۱۶۰	۲/۱۷	۲/۱۷	۰	۰	-
T1	۶/۳۳	۱۵۳/۶۷	۱۶۰	۱۵۳/۶۷	۱۶۰	۰	۰	۰	۰	بحرانی
V1	۶/۳۳	۱۶۰	۱۶۶/۳۳	۱۶۳/۶۷	۱۷۰	۳/۶۷	۳/۶۷	۳/۶۷	۳/۶۷	-
W1	۱۰	۱۶۰	۱۷۰	۱۶۰	۱۷۰	۰	۰	۰	۰	بحرانی
X1	۸	۱۶۰	۱۶۸	۱۶۲	۱۷۰	۲	۲	۲	۲	-
Y1	۱۲/۳۳	۱۷۰	۱۸۲/۳۳	۱۷۰	۱۸۲/۳۳	۰	۰	۰	۰	بحرانی
Z1	۴/۳۳	۱۸۲/۳۳	۱۸۶/۶۷	۱۸۳/۱۷	۱۸۷/۵	۰/۸۳	۰/۸۳	۰/۸۳	۰/۸۳	-
END	۵/۱۷	۱۸۲/۳۳	۱۸۷/۵	۱۸۲/۳۳	۱۸۷/۵	۰	۰	۰	۰	بحرانی

جدول ۵- زودترین و دیرترین زمان و شناوری‌ها در مدل CPM

شناسه فعالیت	زمان مورد انتظار	زودترین زمان		دیرترین زمان		شناوری ها				ملاحظات
		ESij	EFij	LSij	LFij	TFij	FFij	IFij	SFij	
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	بحرانی
A	۳	۰	۳	۱	۴	۱	۱	۱	۱	-
B	۴	۰	۴	۰	۴	۰	۰	۰	۰	بحرانی
C	۲۰	۴	۲۴	۴	۲۴	۰	۰	۰	۰	بحرانی
D	۳	۴	۷	۲۱	۲۴	۱۷	۱۷	۱۷	۱۷	-
E	۶	۴	۱۰	۳۳	۳۹	۲۹	۲۹	۲۹	۲۹	-
F	۵	۲۴	۲۹	۲۴	۲۹	۰	۰	۰	۰	بحرانی
G	۵	۲۹	۳۴	۲۹	۳۴	۰	۰	۰	۰	بحرانی
H	۷	۲۴	۳۱	۲۷	۳۴	۳	۳	۳	۳	-
I	۵	۳۴	۳۹	۳۴	۳۹	۰	۰	۰	۰	بحرانی
J	۳	۳۹	۴۲	۳۹	۴۲	۰	۰	۰	۰	بحرانی
K	۴	۴۲	۴۶	۴۲	۴۶	۰	۰	۰	۰	بحرانی
L	۷	۳۹	۴۶	۳۹	۴۶	۰	۰	۰	۰	بحرانی
M	۳	۴۶	۴۹	۴۹	۵۲	۳	۳	۳	۳	-
N	۶	۴۶	۵۲	۴۶	۵۲	۰	۰	۰	۰	بحرانی
O	۶	۴۶	۵۲	۴۶	۵۲	۰	۰	۰	۰	بحرانی
Q	۶	۴۶	۵۲	۵۶	۶۲	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	-
R	۱۰	۵۲	۶۲	۵۲	۶۲	۰	۰	۰	۰	بحرانی
S	۵	۶۲	۶۷	۷۹	۸۴	۱۷	۱۷	۱۷	۱۷	-
T	۱۲	۶۲	۷۴	۶۲	۷۴	۰	۰	۰	۰	بحرانی
U	۱۰	۷۴	۸۴	۷۴	۸۴	۰	۰	۰	۰	بحرانی
V	۳	۸۴	۸۷	۹۵	۸۹	۲	۲	۲	۲	-
W	۷	۸۴	۹۱	۸۵	۹۲	۱	۱	۱	۱	-
X	۸	۸۴	۹۲	۸۴	۹۲	۰	۰	۰	۰	بحرانی
Y	۶	۹۲	۹۸	۹۲	۹۸	۰	۰	۰	۰	بحرانی
Z	۵	۹۸	۱۰۳	۹۹	۱۰۴	۱	۱	۱	۱	-
A1	۶	۹۸	۱۰۴	۹۸	۱۰۴	۰	۰	۰	۰	بحرانی
B1	۵	۹۸	۱۰۳	۹۹	۱۰۴	۱	۱	۱	۱	-
C1	۶	۱۰۴	۱۱۰	۱۰۴	۱۱۰	۰	۰	۰	۰	بحرانی
D1	۶	۱۰۴	۱۱۰	۱۰۴	۱۱۰	۰	۰	۰	۰	بحرانی
E1	۵	۱۱۰	۱۱۵	۱۱۱	۱۱۶	۱	۱	۱	۱	-
F1	۶	۱۱۰	۱۱۶	۱۱۰	۱۱۶	۰	۰	۰	۰	بحرانی
G1	۴	۱۱۰	۱۱۴	۱۱۲	۱۱۶	۲	۲	۲	۲	-
H1	۵	۱۱۶	۱۲۱	۱۱۶	۱۲۱	۰	۰	۰	۰	بحرانی
I1	۵	۱۲۱	۱۲۶	۱۲۱	۱۲۶	۰	۰	۰	۰	بحرانی
J1	۶	۱۲۱	۱۲۷	۱۲۵	۱۳۱	۴	۴	۴	۴	-
K1	۵	۱۲۶	۱۳۱	۱۲۶	۱۳۱	۰	۰	۰	۰	بحرانی
L1	۶	۱۳۱	۱۳۷	۱۳۱	۱۳۷	۰	۰	۰	۰	بحرانی
M1	۵	۱۳۷	۱۴۲	۱۳۸	۱۴۳	۱	۱	۱	۱	-
N1	۶	۱۳۷	۱۴۳	۱۳۷	۱۴۳	۰	۰	۰	۰	بحرانی
O1	۵	۱۳۷	۱۴۲	۱۳۸	۱۴۳	۱	۱	۱	۱	-
P1	۵	۱۴۳	۱۴۸	۱۴۴	۱۴۹	۱	۱	۱	۱	-
Q1	۶	۱۴۳	۱۴۹	۱۴۳	۱۴۹	۰	۰	۰	۰	بحرانی
R1	۴	۱۴۳	۱۴۷	۱۴۵	۱۴۹	۲	۲	۲	۲	-
S1	۶	۱۴۷	۱۵۳	۱۴۹	۱۵۵	۲	۲	۰	۰	بحرانی
T1	۶	۱۴۹	۱۵۵	۱۴۹	۱۵۵	۰	۰	۰	۰	بحرانی
V1	۶	۱۵۵	۱۶۱	۱۵۹	۱۶۵	۴	۴	۴	۴	-
W1	۱۰	۱۵۵	۱۶۵	۱۵۵	۱۶۵	۰	۰	۰	۰	بحرانی
X1	۷	۱۵۵	۱۶۲	۱۵۸	۱۶۵	۳	۳	۳	۲	-
Y1	۱۲	۱۶۵	۱۷۷	۱۶۵	۱۷۷	۰	۰	۰	۰	بحرانی
Z1	۴	۱۷۷	۱۸۱	۱۷۸	۱۸۲	۱	۱	۱	۱	-
END	۵	۱۷۷	۱۸۲	۱۷۷	۱۸۲	۰	۰	۰	۰	بحرانی

منابع مورد استفاده

آلادپوش، ح. ۱۳۸۶. **مفاهیم و کلیات دانش مدیریت پروژه (ترجمه)**. حامی.

الماسی، م.، ش. کیانی و ن. لویمی. ۱۳۸۰. **مبانی مکانیزاسیون کشاورزی**. موسسه انتشارات حضرت معصومه(س).

حاج شیر محمدی، ع. ۱۳۸۷. **مدیریت و کنترل پروژه (کاربرد روش‌های سی‌پی‌ام، پرت، گرت و پی‌ان)**. چاپ پانزدهم. مرکز انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان.

سبزه پرور، م. ۱۳۹۲. **کنترل پروژه**. ویرایش دهم. چاپ هیجدهم. انتشارات ترمه.

آجرلو، م. ۱۳۸۷. **مدیریت پروژه**. چاپ اول. انتشارات دانشگاه پیام نور.

عبدی، ر.، ح. ر. قاسم‌زاده، ش. عبداله‌پور، م. سبزه‌پرور و ع. دباغ. ۱۳۸۸. **مدل سازی و آنالیز فرایند پروژه مکانیزاسیون یونجه با شبکه-های گرت**. مجله دانش کشاورزی پایدار. شماره ۱ جلد ۱۹/۱. صص ۱۵۷-۱۷۰.

پوزش، م. ۱۳۸۹. **ارائه یک روش جدید برای تخمین هزینه به موقع انجام نشدن عملیات مبتنی بر قابلیت اطمینان تراکتورهای فعال در کشت و صنعت دعبل خزایی خوزستان**. ششمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون

کاظمی، ا. و پ. فخوری. ۱۳۹۱. **ارائه کنترل فازی برای تخمین زمان ختم پروژه در شبکه‌های گرت**. نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید. جلد ۲۳، شماره . صفحات ۲۵۲ تا ۲۶۳.

چیذری ا. و ح. امیر نژاد. ۱۳۷۹. **مدیریت پروژه ساخت یک واحد ذرت خشک کنی با به کارگیری روش‌های PERT و CPM**. اقتصاد کشاورزی و توسعه. سال . شماره ۲۹. ۲۵۷ تا ۲۷۳.

Abdi, R. H. R. Ghassemzadeh, Sh. Abdollahpur, M. Sabzehparvar and A. Dabbagh. 2009. **Modeling and Resource Allocation of Agricultural Mechanization Projects with GERT Networks.** International Journal of Food, Agriculture and Environment. 7(3&4): 438 – 441.

Abdi, R, H. R. Ghassemzadeh, Sh. Abdollahpur, M. Sabzehparvar and A. Dabbaghnasab. 2010. **Modeling and Analysis of Mechanization Projects of Wheat production by GERT Networks.** Agricultural Siences in China. 9 (7): 1078 – 1083.

Clarke, L. 2000. **Strategies for agricultural mechanization development.** FAO, Rome, Italy.

De Toro, A. 2004. **Assessment of Field Machinery Performance in Variable Weather Conditions Using Discrete Event Simulation.** Ph.D thesis. Swedish University of Agricultural Sciences. Uppsala.

De Toro, A. and P. A. Hansson. 2004. **Machinery co-operatives: A case study in Sweden.** Biosystems Engineering 87 (1): 13–25.

De Toro, A. 2005. **Influences on Timeliness Cost and Their Variability on Arable Farms.** Biosystems Engineering. 92(1): 1-13.

Henning, T. and G. Claus. 2004. **A Model for Optimal Selection of Machinery Sizes with in the Farm Machinery System.** Biosystems Engineering. 89(1): 13-28.

Mechanization Project Planning for Carrot Product Using PERT and CPM Networks

Sh. Pirdayeh[1], M. Ghasemi Varnamkhasti[1*], R. Abdi[2], S. Rostami[1]and M. Taki[2]

Receive: 2 Mar 2015 Accept: 20 Dec 2015

[1]Department of Mechanical Engineering of Biosystems, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord
[2]Department of l Engineering of Biosystems, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz
[*]Corresponding author: ghasemymahdi@gmail.com

Abstract

In agricultural mechanization projects, operations and practices should be accomplished in a certain sequence as well as in a short time period. Otherwise, the expenses due to the timeliness of the practices will be created. To prevent these expenses, scientific planning of the projects is an appropriate solution. In different industries, project management principles are employed for satisfactory planning. The basic insight in whole approaches is the use of networks. In this research, PERT and CPM networks due to high capabilities have been used as robust tools for planning and timing the carrot production mechanization. In this regard, required data and information were gathered. The project activities were determined and WBS was drawn. Finally, PERT and CPM networks related to the project were illustrated and analyzed. Results showed this project has 25 critical paths and the earliest time to complete the project is 187.5 days and the variance and standard deviation values were 26 and 5.09, respectively. The model of the present network is capable to answer statistical questions and provide a bright insight for the project manager to make timely decisions. Consequently, the mechanized carrot production project goes ahead as programmed with high productivity.

Keywords: Agricultural mechanization, CPM & PERT networks, Planning and timing, Project