

برنامه‌ریزی و زمان‌بندی پروژه مکانیزاسیون تولید جو با استفاده از مدل شبکه‌ای پرت: مطالعه موردی استان البرز

محمد شریفی^{۱*}، اسداله اکرم^۲، شاهین رفیعی^۳ و مجید سبزه‌پرور^۴

۱، ۲، ۳. به ترتیب استادیار، دانشیار و استاد گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
۴. دکتری رشته مهندسی صنایع دانشگاه علم و صنعت ایران.
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۸/۲۴ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۲/۷/۱۶)

چکیده

عملیات و فعالیت‌های پروژه‌های مکانیزاسیون کشاورزی می‌بایست در بازه زمانی کوتاه و مشخص و با ترتیب معین انجام گیرد؛ در غیر این صورت هزینه‌های به موقع انجام نشدن عملیات پیش می‌آید و به کاهش عملکرد محصول نیز می‌انجامد. برای جلوگیری از این هزینه‌ها در سامانه‌های کشاورزی در هر منطقه زمان‌بندی و برنامه‌ریزی مناسب و علمی برای پروژه‌های مکانیزاسیون کشاورزی ضروری است تا فعالیت‌های موجود برای به‌ثمر رسیدن پروژه به‌ترتیبی صحیح و در زمان مناسبی انجام گیرند. ماهیت پروژه‌های کشاورزی از نظر انجام یک‌سری فعالیت‌های قطعی در زمان‌های احتمالی- در بین فنون شبکه‌ای به شبکه‌های پرت (PERT) نزدیک‌تر است. از این‌رو از شبکه‌های پرت برای برنامه‌ریزی و زمان‌بندی پروژه مکانیزاسیون تولید جو در استان البرز استفاده شد. به‌منظور تولید مکانیزه محصول جو اطلاعات و داده‌های لازم از طریق مشاهده پژوهشگر از مزارع نمونه و تکمیل پرسش‌نامه توسط کشاورزان منطقه جمع‌آوری شد. فعالیت‌های پروژه تعیین گردید و نمودار ساختار شکست (WBS) آن نیز ترسیم شد. در پایان، شبکه پرت پروژه ترسیم و تجزیه و تحلیل شد. کوتاه‌ترین زمان ممکن برای تولید مکانیزه جو ۲۲۸/۲۰ روز است. با احتمال ۹۹ درصد پروژه تولید مکانیزه جو در کمتر از ۲۴۰ روز (دوره کشت جو) تمام می‌شود. با احتمال ۹۵ درصد مدت پروژه تولید جو ۲۳۱/۴۵ روز است. نتایج نشان داد که مدل شبکه پرت، توانایی پاسخ‌گویی به هر نوع پرسش آماری در خصوص پروژه را دارد و همچنین دید روشنی برای مدیر پروژه به‌منظور اتخاذ تصمیمات به موقع فراهم می‌آورد تا در مرحله اجرا و عمل، طبق طرح‌ریزی و زمان‌بندی پروژه پیش رود و بتواند محصول را در زمان مطلوب به‌صورت مکانیزه و با بهره‌وری بالا تولید کند.

کلیدواژگان: استان البرز، برنامه‌ریزی و زمان‌بندی، شبکه پرت، مکانیزاسیون کشاورزی.

مقدمه

محدودیت منابع در دسترس، تخصیص بهینه آن‌ها را ضروری می‌سازد. از مهم‌ترین و مؤثرترین منابع محدود در کشاورزی، وجود بازه‌های زمانی کوتاه برای انجام عملیات اصلی کشاورزی از قبیل خاک‌ورزی، تهیه بستر بذر، کاشت و مانند اینهاست. در فرایندهایی که به تولیدات کشاورزی در هر منطقه و در هر سامانه کشاورزی می‌انجامد، با توجه به نوع محصول، به منظور انجام هر یک از مراحل فرایند تولید، مدت زمان و ترتیب مناسبی برای استفاده از ماشین‌ها و اجرای عملیات وجود دارد که بی‌توجهی به این موارد، باعث افت در میزان عملکرد محصول خواهد شد (Abdi, 2009; Abdi et al., 2009; Marrit &

Martin, 2007; de Toro, 2005; de Toro, 2004; de Troro & Hansson, 2004a; McKinion et al., 2001; Clarke, 2000)

برای نمونه، در شرایط اقلیمی سواحل دریای خزر تاریخ کاشت مناسب گندم آبی از ۱۵ آبان تا آخر آذر است؛ براساس نتایج آزمایش‌های تاریخ کاشت انجام‌گرفته، اگر چنانچه تاریخ کاشت تا ۲۰ دی به تأخیر بیفتد، دامنه کاهش عملکرد گندم آبی در این مناطق، تا حدود ۵۰ درصد برآورد گردیده است (Anon., 2004). این مقدار کاهش در مقیاس‌های بزرگ بسیار زیاد است. عملیاتی که بی‌موقع و بدون کارایی است علاوه بر این که بر کمیت محصول اثر می‌گذارد بر کیفیت آن نیز تأثیرات سوء فراوانی از این دست دارد: اثرگذاری بر قیمت و بازارپسندی محصولات. (Abdi et al., 2010; de Toro, 2005; de Toro, 2004; de Toro & Hansson, 2004b)

* نویسنده مسئول: m.sharifi@ut.ac.ir

است با روش سلسله‌مراتبی^۴، ابتدا یک فعالیت مادر را به‌عنوان نام پروژه، و در سطح بعدی فعالیت‌های اصلی پروژه تعریف شود. سپس زیرفعالیت‌های هر فعالیت اصلی تعیین و به‌همین ترتیب در صورت نیاز زیرفعالیت‌های هر فعالیت از سطح قبلی تعریف شود. آخرین فعالیت‌هایی که به سطح بعدی گسترش نمی‌یابند در حقیقت فعالیت‌های پروژه را تشکیل می‌دهند. شناسایی فعالیت‌ها به این روش را ساختار شکست کار یا به اختصار WBS گویند. در این مجموعه، فعالیت کوچکترین واحد کنترل است و به قسمت کوچکی از امور پروژه گفته می‌شود که دارای زمان بوده و معمولاً نیازمند منابع و هزینه است. نمودار WBS قلب مدیریت پروژه است زیرا تمام تکنیک‌های بعدی منوط به ترسیم درست این نمودار است (Sabzehparvar, 2009).

می‌توان گفت که برنامه‌ریزی و زمان‌بندی به معنای تبدیل برنامه عمل پروژه به یک جدول زمانی اجرایی است. بنابراین برنامه‌ریزی و زمان‌بندی به‌صورت مبنایی اساسی برای نظارت و کنترل بر فعالیت پروژه به‌کار می‌رود (Aladpoush, 2007; Karimi gavareshki, 2004; Erik, 2002). بعد از تهیه نمودار WBS شناسایی فهرست فعالیت‌ها در آخرین سطح WBS و یا فعالیت‌هایی که سطح بعدی ندارند، مشخص می‌شود. در این مرحله باید فعالیت‌های پیش‌نیازی هر فعالیت مشخص شود و روابط وابستگی بین آنها تعیین گردد. بدین ترتیب می‌توان تقدم و تأخر فعالیت‌های پروژه را به‌وسیله نمودار گانت یا شبکه نمایش داد.

رهیافت اساسی در همه شیوه‌های برنامه‌ریزی و زمان‌بندی تشکیل شبکه واقعی یا ضمنی روابط فعالیت و رخداد است که وابستگی‌های متوالی بین فعالیت‌ها را در هر پروژه به‌صورت ترسیمی به‌خوبی نشان می‌دهد. سپس به‌وضوح فعالیت‌هایی که مقدم بر فعالیت‌های دیگر است و یا به دنبال آنها انجام می‌شود، از نظر زمانی و کاری تعیین می‌گردد. چنین شبکه‌ای ابزاری سودمند برای برنامه‌ریزی و زمان‌بندی و کنترل پروژه است (Afsari et al., 2007; Aladpoush, 2007; Shin-Pin, 2007; Ahmadi & Hosseini baharanchi, 2004; Erik, 2002; Ajamipour, 2000;).

روش ارزیابی و بازنگری پروژه‌ها (پرت)

روش پرت اولین بار در سال ۱۹۵۸، توسط نیروی دریایی ایالات متحده آمریکا در ساخت موشک پولارویس^۵ استفاده شد. اساس روش PERT بر این اصل متکی است که می‌بایست رویدادهای

در پروژه تولید محصولات زراعی از زمان آماده‌کردن زمین تا برداشت، برحسب شرایط منطقه و نوع محصول، عملیات ماشینی و کارگری گوناگونی در زمان‌های متفاوت صورت می‌گیرد که برای کشت مناسب محصول و افزایش بهره‌وری در تولید، ضروری است؛ از این رو برنامه‌ریزی این گونه پروژه‌ها با استفاده از فن مدیریت پروژه- شبکه پرت- در دستور کار قرار دارد.

برنامه‌ریزی و زمان‌بندی پروژه

شرح و بسط این حوزه از سال ۱۹۱۷ میلادی با ابداع نمودار گانت^۱ شروع شد و در دهه‌های ۱۹۵۰ تا ۱۹۷۰ سرعت بیشتری گرفته است. امروزه هزاران روش گوناگون، برای مسائل برنامه‌ریزی پروژه ابداع شده و هنوز در حال گسترش است. این روش‌ها شامل روش‌های دقیق، مدل‌های ریاضی، روش‌های ابتکاری^۲ و فراابتکاری^۳ هستند. در مرحله طرح‌ریزی و اجرای پروژه‌ها از وظایف مهم و پرچالش مدیریت پروژه، زمان‌بندی مناسب و کارایی امور و فعالیت‌هاست. وقتی پروژه به اجزای کوچک‌تر و فعالیت‌ها تقسیم می‌گردد و تک‌تک آنها قبل از اجرا، برنامه‌ریزی و زمان‌بندی می‌شوند، ناخودآگاه تعهدی نسبت به انجام فعالیت‌ها طبق برنامه زمان‌بندی در تیم پروژه ایجاد می‌شود که این تعهد مانع به تأخیرافتادن پروژه می‌گردد (Sabzehparvar, 2009).

مدیریت پروژه

قدمت مدیریت پروژه‌ها بدون در نظر گرفتن دانش مدیریت پروژه، به حداقل ۴۵۰۰ سال پیش برمی‌گردد. سازندگان اهرام مصر و معابد مایا در امریکای مرکزی، اغلب اولین مدیران پروژه دنیا محسوب می‌شوند (Erik, 2002). بحث مدیریت پروژه برنامه‌ریزی و زمان‌بندی، کنترل و مدیریت زمان، منابع و هزینه فعالیت‌های پروژه است که در میان آنها زمان اهمیت بیشتری دارد. نمونه‌ای از پروژه‌ها که در آنها از تکنیک‌های مدیریت پروژه استفاده شد عبارت‌اند از: پروژه منهن که به ساخت اولین بمب اتمی منجر شد، برنامه سفر آپولو به ماه و طراحی ایرباس (Sabzehparvar, 2009).

ساختار شکست کار به‌وسیله نمودار WBS

در پروژه بزرگی که تعداد فعالیت‌های آن زیاد است، به‌جای اینکه یک‌دفعه و از ابتدا فهرست زیرفعالیت‌ها تهیه شود، بهتر

1. Gantt Chart
2. Heuristic
3. Metaheuristic

4. Hierarchical
5. Polaris Rocket

و کلزا با شبکه‌های گرت در دشت تبریز پرداخت و نتایج حاصل از پژوهش وی چنین است:

- زمان‌های شروع و تکمیل بهینه را برای هر یک از فعالیت‌های موجود در عملیات مشخص می‌کند؛

- موارد مشکل و مسئله‌دار را، اغلب از پیش مشخص می‌کند؛

- مسئولیت‌ها را تعیین و تفکیک می‌کند؛

- گزارش پیشرفت کار و صدور دستورالعمل‌ها را امکان‌پذیر می‌سازد؛

- مناسب‌ترین وسیله برای نشان‌دادن ارتباط سازمانی است؛

- قابلیت انعطاف دارد و به‌سادگی به‌روز می‌شود؛

- تغییر و اصلاح برنامه، در وضعیت‌های جدید و پیش‌بینی‌نشده به سهولت انجام می‌گیرد.

Manjo & Puja (2007) از تکنیک گرت برای مدل‌سازی و تحلیل قابلیت اعتماد^۴ سامانه‌ها استفاده کردند. ایشان نقطه قوت گرت را نمایش گرافیکی از سامانه و راحتی درک آن می‌دانند.

Zhang *et al.* (2004, 2006) از ترکیب شبیه‌سازی

گسسته-پیشامد با روش‌های گوناگون حل قطعی و تصادفی به‌منظور رفع مشکل برنامه‌ریزی پروژه‌های فازی استفاده کردند. آنها روش شبیه‌سازی - بهینه‌سازی یکپارچه فعالیت‌ها را برای تعیین ترکیب بهینه منابع، پیشنهاد کردند. ایشان مدت زمان فعالیت‌ها را تصادفی و با توزیع احتمال مثلثی برآورد کردند.

Sadri & Sakkaki (2004) برای برنامه‌ریزی پروژه‌های اکتشافی معدنی، شبکه‌های گرت را ابزاری توانمند و مناسب معرفی می‌کنند. به دلیل اینکه در پروژه اکتشافی معدنی فعالیت‌های متعددی پیش روی ما قرار دارند و هزینه‌های زیادی را به خود اختصاص می‌دهند، داشتن برنامه زمان‌بندی درست و دقیق می‌تواند در کاهش هزینه‌های اکتشافی مؤثر باشد.

Reddy *et al.* (2001) به مدل‌سازی و برنامه‌ریزی سامانه

با تلفیق دو روش الگوریتم ژنتیک و شبکه‌های پرت به‌منظور حل برنامه‌ریزی چندحالتی و تخصیص منابع محدود پروژه پرداختند. ایشان در روش پیشنهادی خود، زمان‌های تصادفی برای برآورد مدت زمان انجام فعالیت‌ها را نادیده گرفتند.

Davoodi (1999) به پیاده‌سازی شبکه پرت برای پروژه ساخت پره توربین در مرکز تحقیقات جهاد کشاورزی پرداخت. وی نتایج کار خود را به این شرح بیان کرده است:

کلیدی (که لازم است در تاریخ‌های معینی به‌وقوع پیوندند تا کل پروژه در تاریخ مشخصی تکمیل شود) را تعیین کرد. این رویدادها را سنگ‌های مسافت‌نما^۱ می‌نامند و در تاریخ‌های معین، وضعیت آنها را بررسی می‌کنند تا از این طریق موقعیت پروژه از نظر میزان پیشرفت مشخص شود. با کاربرد روش PERT برای مدیریت و کنترل پروژه پولارویس، این پروژه سریع‌تر از آنچه پیش‌بینی گردیده بود، با موفقیت به پایان رسید (Haj Shir Mohammadi, 2008).

برای پروژه‌های فاقد فعالیت‌ها و زمان‌های احتمالی، کاربرد روش سی‌پی‌ام (CPM)^۲، برای پروژه‌هایی با فعالیت‌های قطعی ولی دارای زمان‌های احتمالی (اغلب پروژه‌های مکانیزاسیون کشاورزی) روش پرت، و برای پروژه‌های دارای فعالیت‌ها و زمان‌های احتمالی، کاربرد روش گرت (GERT)^۳ مناسب‌تر است (Haj Shir Mohammadi, 2008). از آنجا که ترسیم شبکه پرت به‌دلیل سادگی، نمایش قابل فهمی از زمان‌بندی پروژه را ارائه می‌کند و نتایج دقیق و قابل استنادی را در اختیار محقق می‌گذارد، از این‌رو از شبکه‌های پرت برای برنامه‌ریزی و زمان‌بندی پروژه مکانیزاسیون تولید جو در استان البرز استفاده شد. تحقیقاتی در زمینه برنامه‌ریزی و زمان‌بندی مراحل گوناگون تولید محصولات کشاورزی در دنیا انجام پذیرفته است ولی در اکثر این پژوهش‌ها از تکنیک‌های متفاوت تحقیق در عملیات، به‌ویژه برنامه‌ریزی خطی برای زمان‌بندی استفاده شده است و از تکنیک‌های برنامه‌ریزی و کنترل پروژه به‌خصوص از شبکه‌های پرت استفاده نشده است، یکی از دلایل آن عدم قطعیت و ریسک‌پذیری بالای فعالیت‌های کشاورزی در مقایسه با فعالیت‌های صنعتی است. منابعی که در داخل پرانتز آورده شده‌اند، تأییدی بر این مطلب هستند (Marrit & Marrit, 2007; Basnet *et al.*, 2006; Run & Pingsun, 2006; Foulds & Wilson, 2005; de Toro, 2004; McKinion *et al.*, 2001; Clarke, 2000). در ایران نیز فقط یک تحقیق در رابطه با به‌کارگیری فنون شبکه‌ای در پروژه‌های مکانیزاسیون کشاورزی صورت گرفته است. شایان ذکر است کاربرد فنون شبکه در صنعت گسترش زیادی دارد و از موارد مهم در بررسی منابع از صنعت است.

Abdi (2009) در رساله دکتری خود به برنامه‌ریزی و زمان‌بندی پروژه‌های مکانیزاسیون کشاورزی یونجه، گندم، جو،

1. Milestones
2. Critical Path Method
3. Graphical Evaluation and Review Technique

بخش مهمی از فعالیت‌های اقتصادی استان البرز، فعالیت‌های کشاورزی است. این فعالیت‌ها شامل: زراعت، باغداری، دام و طیور و تا حدودی شیلات و آبیان است. در تحقیق دیگری با نظر خبرگان و کارشناسان باتجربه در عرصه کشاورزی معیارهای مهم کاشت محصولات زراعی در استان البرز تعیین گردید و با این معیارها اولویت‌بندی محصولات استراتژیک استان با تلفیق دو روش دلفی فازی و AHP در نرم‌افزار MATLAB مشخص گردید. با توجه به نتایج آن تحقیق، محصول جو یکی از عمده محصولات استراتژیک زراعی استان البرز با سطح زیر کشت ۱۰۳۵۰ هکتار (دومین محصول بعد از گندم) شد (Sharifi et al., 2014).

ترسیم نمودار WBS پروژه

با روش سلسله مراتبی، طبق آنچه که در مقدمه ذکر شد، نمودار ساختار شکست پروژه تولید جو ترسیم گردید. بعد از تهیه نمودار WBS شناسایی و تدوین فهرست فعالیت‌ها در آخرین سطح WBS مشخص می‌گردد. در این مرحله فعالیت‌های پیش‌نیاز هر فعالیت مشخص و روابط وابستگی بین آنها تعیین می‌شود.

تعیین زمان انجام هر کدام از فعالیت‌ها در شبکه پرت (برآورد سه زمانی پرت)

برای تعیین زمان انجام فعالیت‌ها، از گزارش‌ها، آمارها و داده‌های سازمان‌های جهاد کشاورزی، منابع طبیعی و هواشناسی استان البرز، نظرهای کارشناسان و مروجان، و کشاورزان نمونه منطقه استفاده گردید. داده‌های هواشناسی برای دوره ۴۰ ساله اخیر شامل پارامترهای هواشناسی مثل میزان بارندگی، درجه حرارت، تبخیر و ترقق پتانسیل، رطوبت نسبی، ساعات تابش خورشیدی، و مانند اینها ثبت شده‌اند. با بررسی داده‌های هواشناسی روند آب‌وهوای منطقه مشخص شد و با مفروضاتی براساس اطلاعات و آمار جمع‌آوری شده از پرسش‌نامه‌ها، جدول فعالیت‌های شبکه تولید جو تهیه شد. در شبکه پرت از تقریب توزیع سه‌پارامتری بتا برای محاسبه میانگین و واریانس زمان هر فعالیت استفاده می‌شود (Sabzeparvar, 2009). به‌منظور پیش‌بینی زمان‌های انجام‌یافتن هر یک از فعالیت‌ها با در نظر گرفتن توزیع سه‌پارامتری بتا، برای هر کدام از فعالیت‌های موجود در شبکه، جداگانه و مستقل سه زمان به‌شرح ذیل برآورد می‌گردد:

زمان خوش‌بینانه^۱: کوتاه‌ترین زمان ممکن که فعالیت تحت شرایط مطلوب می‌تواند انجام و کامل شود (t_o).

شبکه‌های پرت این امکان را برای کارشناسان و مدیران فراهم می‌کند تا به جای برآورد نقطه‌ای از زمان و هزینه پروژه، بازه زمانی یا هزینه‌ای ارائه کنند.

انعطاف‌پذیری این روش بسیار زیاد بوده و از این‌رو، ارائه مدلی واقعی‌تر از مسئله و نمایش بهتر روابط لازم در پروژه امکان‌پذیر است.

با اینکه از ابداع این روش سال‌هاست که می‌گذرد و با وجود نیاز شدید به استفاده از آن در مدل‌سازی و تجزیه و تحلیل بسیاری از سامانه‌های واقعی و پروژه‌های تحقیقاتی، متأسفانه در کشور ما به‌طور جدی به آن توجه نمی‌شود.

با استفاده از پرت، قدرت تصمیم‌گیری برای چگونگی برخورد با مراحل متفاوت پروژه و زمان ختم آن افزایش می‌یابد.

امکان برنامه‌ریزی ماشین‌ها، تجهیزات، و بودجه‌بندی پروژه با اطمینان و دقت بیشتری صورت می‌گیرد.

Badiru (1991) برای نشان‌دادن کارایی شبیه‌سازی در برنامه‌ریزی و زمان‌بندی پروژه برنامه‌های رایانه‌ای به نام STARC را شرح و بسط داد. ایشان به‌منظور پیش‌بینی زمان انجام هر یک از فعالیت‌ها با استفاده از تقریب توزیع احتمالی بتا، برای هر کدام از فعالیت‌های موجود در شبکه، جداگانه و مستقل سه زمان خوش‌بینانه، محتمل و بدبینانه را برآورد کرد.

با توجه به تحقیقات مذکور کارآمدی و قابلیت‌های فنون شبکه‌ای برای مدل‌سازی، طرح‌ریزی، زمان‌بندی و تجزیه و تحلیل پروژه‌ها در سامانه‌های متعدد در صنایع گوناگون به اثبات رسیده است. منابعی که در ادامه ذکر می‌شود نیز توانمندی و لزوم به‌کارگیری فنون شبکه‌ای در پروژه‌ها را تأیید می‌کنند (Soo-Haeng & Steven, 2005; Ahcom, 2004; Karimi Gavarehki, 2004; Takanobu et al., 2004; Dimitri et al., 2003; Gauri, 2003; Matsumoto et al., 2003; Kenzo & Nobuyuki, 2002; Gauri & Vandana, 2000; McCahon, 1993; Philip, 1983; Pritsker, 1966).

مواد و روش‌ها

محدوده طرح، مزارع کشاورزی استان البرز است. استان البرز با وسعتی حدود ۵۱۲۱/۷ کیلومتر مربع معادل ۰/۳۱ درصد مساحت کل کشور است. این استان در ۲۰ کیلومتری غرب تهران و در دامنه جنوبی رشته‌کوه البرز قرار گرفته‌است. ارتفاع مستعد کشت استان بین ۹۰۰ تا ۱۹۶۰ متر از سطح دریاست. از نظر مختصات جغرافیایی منطقه مطالعه‌شده بین ۳۱° ۵۳' تا ۱۲° ۶۳' عرض شمالی و ۵۰° ۱۱' تا ۲۹° ۵۱' طول شرقی قرار گرفته است.

برای محاسبه فرجه^۴ رویدادها در شبکه‌های پرت، از آنجا که فرجه برای یک رویداد به‌طور کلی برابر است با دیرترین زمان وقوع رویداد منهای زودترین زمان وقوع رویداد که در شبکه پرت دیرترین و زودترین زمان وقوع رویداد هر دو به صورت متغیر تصادفی تعریف شده‌اند، بنابراین فرجه (S) نیز متغیر تصادفی است و از رابطه ۷ محاسبه می‌شود.

$$S = T_L - T_E \quad (\text{رابطه ۷})$$

فرجه که از تفاضل دو متغیر تصادفی مستقل به دست می‌آید دارای توزیع نرمال است و برای محاسبه میانگین و واریانس آن به ترتیب از روابط ۸ و ۹ استفاده می‌شود.

$$\mu_S = E(S) = \mu_{T_L} - \mu_{T_E} \quad (\text{رابطه ۸})$$

$$\sigma_S^2 = \text{Var}(S) = \sigma_{T_L}^2 + \sigma_{T_E}^2 \quad (\text{رابطه ۹})$$

نتایج و بحث

نمودار WBS پروژه مکانیزاسیون جو در شکل ۱ نمایش داده شده است.

با توجه به نتایج حاصل از محاسبات بخش مواد و روش‌ها می‌توان پاسخ دو پرسش آماری درباره پروژه را در جدول ۱ مشاهده کرد. ۱. زمان مورد انتظار و واریانس انجام هر کدام از فعالیت‌های پروژه، ۲. رابطه وابستگی فعالیت‌ها با یکدیگر.

در ستون رابطه وابستگی، منظور از عددی که در سطر اول آمده است، کد فعالیتی است که انجام فعالیت فعلی به آن وابسته است و منظور از FS^۵ که در سطر دوم آمده، این است که می‌بایست فعالیت قبلی تمام شود تا فعالیت بعدی آغاز گردد و منظور از SS^۶ این است که باید فعالیت فعلی هم‌زمان با شروع فعالیت قبلی آغاز گردد و نیازمند صرف زمان برای اتمام فعالیت قبلی نیست. زمان‌های سه‌گانه رابطه وابستگی و میانگین آنها نیز در جدول موجود است.

با توجه به نمودار ساختار شکست کار (شکل ۱) و جدول فعالیت‌ها و پارامترهای پروژه (جدول ۱)، مدل شبکه پرت مکانیزاسیون تولید جو ترسیم شد (شکل ۲).

در مدل شبکه پرت پروژه مکانیزاسیون تولید جو (شکل ۲) برای همه فعالیت‌ها، کدی اختصاص داده شده است که در ادامه، فعالیت و رویداد هر کد تعریف شده است:

زمان محتمل^۱: محتمل‌ترین زمان انجام فعالیت زمانی است که از حداکثر فراوانی را در تابع توزیع زمان دارد و در بیشتر مواقع زمان انجام فعالیت برابر این مقدار است و اغلب کارشناسان این زمان را پیش‌بینی کرده‌اند (t_m). به نظر محقق این زمان می‌تواند معادل احتمال روز کاری (PWD)^۲ برای فعالیت مشخص شده باشد.

زمان بدبینانه^۳: بیشترین زمان لازم برای تکمیل‌کردن فعالیت است (t_p).

میانگین یا زمان مورد انتظار انجام فعالیت (t_e) و واریانس (V_{te}) هر کدام از فعالیت‌ها به ترتیب، با روابط ۱ و ۲ در سامانه تخمین سه‌زمانه در دامنه ۵ تا ۹۵ درصد (تخمین واقعی‌تر زمان) محاسبه می‌شود.

$$t_e = \mu = \frac{t_o + 4t_m + t_p}{6} \quad (\text{رابطه ۱})$$

$$V_{te} = \sigma^2 = \left(\frac{t_p - t_o}{3.25} \right)^2 \quad (\text{رابطه ۲})$$

شروع یا تکمیل فعالیت، رویداد نامیده می‌شود و عبارت از لحظه خاصی از زمان است که در آن زمان قسمتی خاص از پروژه انجام و تکمیل می‌شود. به عبارت دیگر رویداد عبارت از انجام شدن قسمتی تعریف شده و مشخص از پروژه در لحظه‌ای خاص از زمان است.

در طی محاسبات مسیر پیشرو (از گره اول در شبکه شروع می‌شود و به سمت گره آخر پیش می‌رود) زودترین زمان مورد انتظار (میانگین) وقوع هر رویداد و واریانس آن به ترتیب از روابط ۳ و ۴ محاسبه می‌شوند.

$$\mu_{T_E}^j = \text{Max} \{ \mu_{T_E}^i + t_e^{ij}, \dots \} \quad (\text{رابطه ۳})$$

$$\sigma_{T_E}^{2j} = \sigma_{T_E}^{2i} + v_{t_e}^{ij} \quad (\text{رابطه ۴})$$

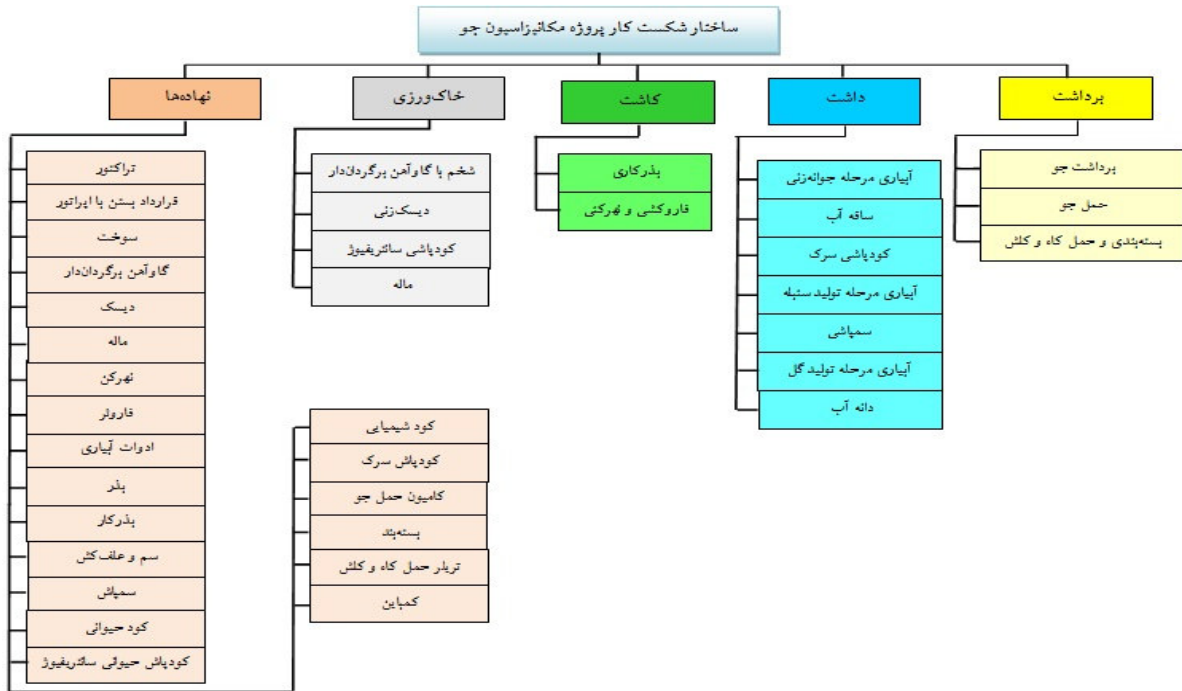
و در طی محاسبات مسیر پسرو (از گره آخر در شبکه شروع می‌شود و به سمت گره اول ادامه می‌یابد) دیرترین زمان مورد انتظار (میانگین) وقوع هر رویداد و واریانس آن از روابط ۵ و ۶ به دست می‌آید.

$$\mu_{T_L}^i = \text{Min} \{ \mu_{T_L}^j - t_e^{ji}, \dots \} \quad (\text{رابطه ۵})$$

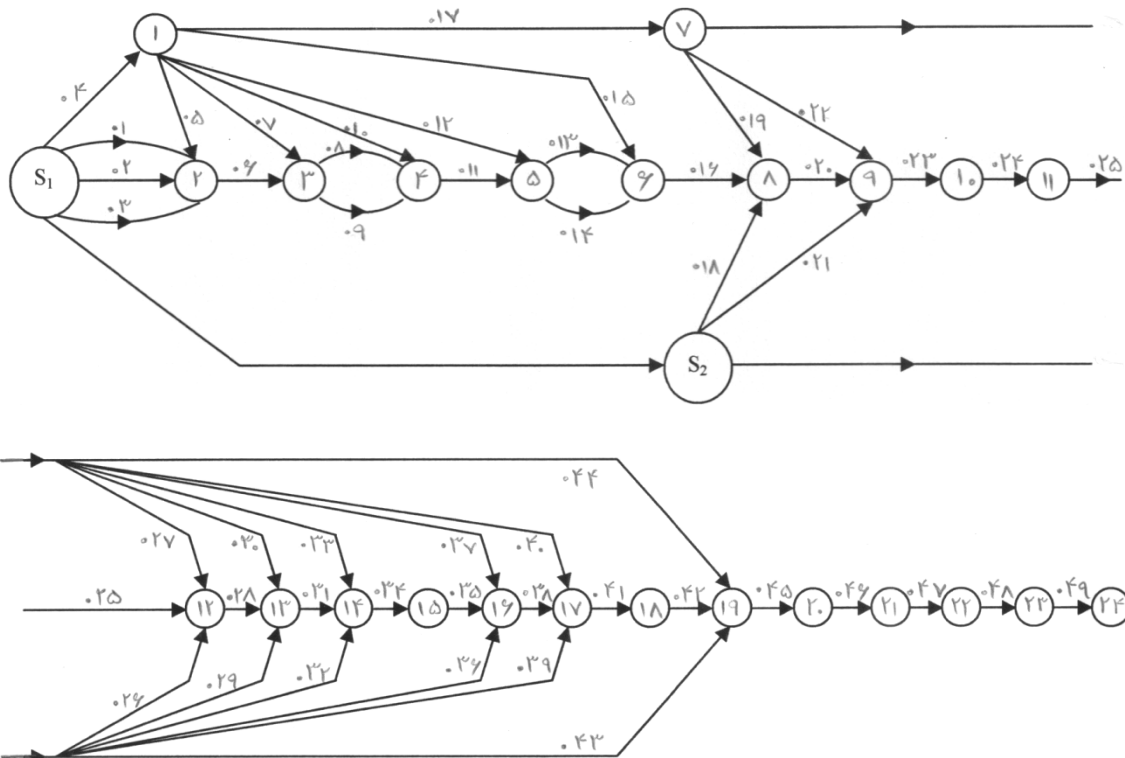
$$\sigma_{T_L}^{2i} = \sigma_{T_L}^{2j} + v_{t_e}^{ji} \quad (\text{رابطه ۶})$$

4. Slack
5. Finish to Start
6. Start to Start

1. Most Likely Time
2. Probability of a Working Day
3. Pessimistic Time



شکل ۱. نمودار ساختار شکست کار پروژه مکانیزاسیون تولید جو



شکل ۲. مدل شبکه پرت پروژه مکانیزاسیون تولید جو در استان البرز

جوانه‌زنی، ۱۱. آبیاری مرحله ساقه‌رفتن؛ ۱۲، ۱۶. علف‌کشی، ۱۳، ۱۷. سمپاشی، ۱۴. کودپاشی سرک، ۱۵. آبیاری مرحله تولید سنبله، ۱۸. آبیاری مرحله تولید گل، ۱۹. آفت‌کشی، ۲۰. آبیاری مرحله دانه‌آب، ۲۱. برداشت با کمباین، ۲۲. حمل جو با کامیون، ۲۳. بسته‌بندی؛ ۲۴. بسته‌بندی و حمل کاه و کلش.

S_1 : نقطه شروع اصلی؛ ۱. تهیه سوخت برای عملیات تهیه زمین، ۲. شخم‌زنی با گاوآهن برگردان‌دار، ۳. دیسک‌زنی، ۴. کودپاشی حیوانی، ۵. ماله‌زنی، ۶. کودپاشی شیمیایی، S_2 : نقطه شروع عملیات کاشت، ۷. تهیه سوخت برای عملیات کاشت و داشت، ۸. بذرکاری، ۹. فاروئر و نه‌رکنی، ۱۰. آبیاری مرحله جوانه‌زنی، ۱۱. آبیاری مرحله ساقه‌رفتن، ۱۲. علف‌کشی، ۱۳، ۱۷. سمپاشی، ۱۴. کودپاشی سرک، ۱۵. آبیاری مرحله تولید سنبله، ۱۸. آبیاری مرحله تولید گل، ۱۹. آفت‌کشی، ۲۰. آبیاری مرحله دانه‌آب، ۲۱. برداشت با کمباین، ۲۲. حمل جو با کامیون، ۲۳. بسته‌بندی و حمل کاه و کلش.

علف کشی، سمپاشی، کودپاشی سرک، علف کشی، سمپاشی، سمپاشی، آفت کشی، ۲۰. تدارک فاروئر، ۲۱. تدارک نهرکن، ۲۳، ۲۴، ۳۴، ۴۱، ۴۵. پته بندی و تدارک ادوات آبیاری، ۲۵، ۳۵. تهیه علف کش، ۲۶، ۳۶. تدارک سمپاش علف کش، ۲۸، ۳۸. تهیه سم، ۲۹، ۳۹. تدارک سمپاش، ۳۱. تهیه کود سرک، ۳۲. تدارک کودپاش، ۴۲. تهیه آفت کش، ۴۳. تدارک سمپاش آفت کش، ۴۶. تدارک کمباین، ۴۷. تدارک کامیون حمل جو، ۴۸. تدارک بیلر؛ ۴۹. تدارک بسته بند و حمل کننده گاه و کلش.

۱. تدارک تراکتور، ۲. تدارک اپراتور تراکتور، ۳. تدارک گاوآهن برگردان دار، ۴. تدارک سوخت، ۵، ۷، ۱۰، ۱۲، ۱۵. تدارک سوخت به ترتیب برای عملیات شخم زنی، دیسک، کودپاشی حیوانی، ماله زنی، کودپاشی شیمیایی، ۱۷. تدارک سوخت، ۶. تدارک دیسک، ۸. تهیه کود حیوانی، ۹. تدارک کودپاش حیوانی سانتریفیوژ، ۱۱. تدارک ماله، ۱۳. تدارک کود شیمیایی، ۱۴. تدارک کودپاش شیمیایی، ۱۶. تهیه بذر، ۱۸. تدارک بذرکار، ۱۹، ۲۲، ۲۷، ۳۰، ۳۳، ۳۷، ۴۰، ۴۴. تدارک سوخت به ترتیب برای عملیات بذرکاری، فارو و نهرکنی،

جدول ۱. فعالیت ها و پارامترهای شبکه جو به ازای یک هکتار (زمان بر حسب ساعت است) (ادامه دارد)

کد فعالیت	شرح فعالیت	زمان خوش بینانه (t_o)	زمان محتمل (t_m)	زمان بدبینانه (t_p)	زمان انتظار (t_e)	زمان انجام فعالیت (t_{act})	رابطه وابستگی	میانگین
۰	نقطه شروع اصلی	۰	۰	۰	۰	۰	-	-
۱	تدارک تراکتور و اپراتور آن	۱/۳۳	۲	۳/۵	۲/۱۴	۰/۴۵	FS=0,1.5,2	۱/۳۳
۲	تدارک گاوآهن برگردان دار و شخم زنی	۲/۳۳	۳	۴	۳/۰۶	۰/۲۶	FS=2,4,5	۳/۸۳
۳	تهیه سوخت	۰/۵	۰/۷۵	۱	۰/۷۵	۰/۰۲	SS=1,2,2.5	۱/۹۲
۴	تهیه دیسک و دیسک زنی	۰/۸۳	۱	۲/۳۳	۱/۱۹	۰/۲۱	FS=1.5,2,3 FS=2,2.5,3.5+10D*	۲/۰۸ ۲/۵۸
۵	تهیه کود حیوانی	۰/۷۵	۱	۱/۵	۱/۰۴	۰/۰۵	FS=1.5,2,3+14D	۲/۰۸
۶	تدارک کودپاش حیوانی و کودپاشی	۰/۶۷	۱	۱/۴۲	۱/۰۲	۰/۰۵	FS=1.5,2,3.5 FS=1,2.5,3	۲/۱۷ ۲/۳۳
۷	تهیه ماله و ماله زنی سنگین	۰/۷۵	۱/۱	۱/۴۲	۱/۱۰	۰/۰۴	FS=1,2,3 FS=1.5,2.5,3.5	۲/۵
۸	تهیه بذر	۰/۵	۰/۷۵	۱	۰/۷۵	۰/۰۲	FS=2,3,4+14D	۳
۹	تهیه کود شیمیایی و کودپاشی	۱	۱/۵	۲	۱/۵	۰/۰۹	FS=1,2.5,3 FS=2,3.5,4	۲/۳۳ ۳/۳۳
۱۰	تدارک بذرکار و بذرکاری	۱/۲۵	۲	۱/۵۸	۱/۶	۰/۰۵	FS=3,4.5,5 FS=2,3,4.5+2D	۴/۳۳ ۳/۰۸
۱۱	تهیه فاروئر و نهرکن و انجام آن	۰/۴۳	۰/۶۷	۰/۹۲	۰/۶۷	۰/۰۲	FS=1,2.5,3	۲/۳۳
۱۲	تهیه ادوات آبیاری	۰/۱۷	۰/۲۵	۰/۴۲	۰/۲۷	۰/۰۱	FS=2,3,4+5D	۳
۱۳	آبیاری مرحله جوانه زنی	۴	۶	۸	۶	۱/۵۱	FS=2,3,4 FS=1.5,2.5,3+10D	۲/۴۲

کد فعالیت	شرح فعالیت	زمان خوش بینانه (t _o)	زمان محتمل (t _m)	زمان بدبینانه (t _p)	زمان مورد انتظار (t _e)	زمان انجام فعالیت (V _{te})	رابطه وابستگی	میانگین
۱۴	آبیاری مرحله ساقه رفتن	۴	۶	۸	۶	۱/۵۱	12 FS=1.5,2,3,5+1M**	۲/۱۷ ۳/۴۲
۱۵	تهیه علف کش	۰/۵	۰/۶۷	۱	۰/۷	۰/۰۲	13 FS=2,3,5,4+1M	۳/۴۲
۱۶	علف کشی	۰/۴۲	۰/۵۸	۰/۷۵	۰/۵۸	۰/۰۱	0 FS=2,3,5,4+14D	۳/۳۳ ۳/۳۳
۱۷	تهیه سم	۰/۵	۰/۶۷	۱	۰/۷	۰/۰۲	1 FS=2,3,5,4	۲/۰۸
۱۸	تدارک سمپاش و انجام آن	۰/۴۲	۰/۵۸	۰/۷۵	۰/۵۸	۰/۰۱	15 FS=2,3,5,4+3D	۲/۳۳ ۳/۰۸
۱۹	تهیه کود سرک	۰/۳۳	۰/۵	۰/۷۵	۰/۵۱	۰/۰۲	0 FS=1,2,3,5	۳/۰۸
۲۰	تدارک کودپاش سرک و کودپاشی	۰/۵۸	۰/۸۳	۱/۲۵	۰/۸۶	۰/۰۴	1 FS=1,2,5,3+2M	۳/۰۸ ۳/۱۷
۲۱	آبیاری مرحله تولید سنبله	۴	۶	۸	۶	۱/۵۱	17 FS=2,3,4,5+5D	۳/۵
۲۲	تهیه علف کش	۰/۵	۰/۶۷	۱	۰/۷	۰/۰۲	0 FS=2,3,5,4,5+14D	۳/۴۲
۲۳	علف کشی	۰/۴۲	۰/۵۸	۰/۷۵	۰/۵۸	۰/۰۱	1 FS=2,3,5,4	۳/۳۳ ۳/۳۳
۲۴	تهیه سم	۰/۵	۰/۶۷	۱	۰/۷	۰/۰۲	22 FS=2,3,5,4+3D	۲/۰۸
۲۵	تدارک سمپاش و انجام آن	۰/۴۲	۰/۵۸	۰/۷۵	۰/۵۸	۰/۰۱	0 FS=1,2,3,5	۲/۳۳ ۳/۰۸
۲۶	آبیاری مرحله تولید گل	۴	۶	۸	۶	۱/۵۱	1 FS=1,2,5,3+2M	۳/۳۳ ۳/۳۳
۲۷	تهیه آفت کش	۰/۵	۰/۶۷	۱	۰/۷	۰/۰۲	24 FS=2,3,4,5+5D	۱/۵
۲۸	تدارک سمپاش و آفت کشی	۰/۷۵	۱	۱/۵	۱/۰۴	۰/۰۵	21 FS=2,3,5,4+2M	۱/۹۲ ۲/۴۲
۲۹	آبیاری مرحله دانه آب	۳/۳۳	۴/۲	۵	۴/۱۹	۰/۲۶	0 FS=1,1,5,2	۴/۵
۳۰	تدارک کمباین و برداشت جو	۳/۴۲	۴/۲۵	۵	۴/۲۴	۰/۲۴	1 FS=1,2,2,5	۶/۱۷
۳۱	تدارک کامیون حمل جو	۰/۷۵	۱	۱/۲۵	۱	۰/۰۲	27 FS=1,5,2,5,3	۳/۳۳
۳۲	تدارک بیلر و بسته بندی	۰/۸۳	۱/۲	۱/۷۵	۱/۲۳	۰/۰۸	28 FS=3,4,8+1M	۳ ۲/۳۳
۳۳	بسته بندی و حمل گاه و کلش	۰/۷۵	۱	۱/۲۵	۱	۰/۰۲	29 FS=4,6,9+2M	۲/۵

* Day **Month

فرجه σ^2	واریانس دیرترین زمان ...			دیرترین زمان مورد انتظار وقوع رویداد					واریانس زودترین زمان			زودترین زمان مورد انتظار وقوع رویداد					شماره رویداد			
	σ^2_{TL}	σ^2_{i-j}	σ^2_j	T_L	T_L_{i-j}	t_e_{i-j}	$i-j$	شماره رویداد بعدی	T_L	σ^2_{TE}	σ^2_{i-j}	σ^2_i	T_E	T_E_{i-j}	t_e_{i-j}	شاخه رویداد قبلی		شماره رویداد قبلی		
۳/۱۶	۰	۰/۹۷	۰	۰/۹۷	۴۹/۵۸	۴۹/۵۸	۴/۲۴	۰/۴۶	۵۳/۸۲	۲۱	۲/۱۹	۰/۳۵	۱/۸۴	۴۹/۵۸	۴۹/۵۸	۵/۲۷	۰/۴۵	۴۴/۳۱	۱۹	۲۰
۳/۱۶	۰	۰/۹۶	۰	۰/۹۶	۵۳/۸۲	۵۳/۸۲	۱	۰/۴۷	۵۴/۸۲	۲۲	۲/۲۰	۰	۲/۲۰	۵۳/۸۲	۵۳/۸۲	۴/۲۴	۰/۴۶	۴۹/۵۸	۲۰	۲۱
۳/۱۶	۰	۰/۹۲	۰	۰/۹۲	۵۴/۸۲	۵۴/۸۲	۱/۲۳	۰/۴۸	۵۶/۰۵	۲۳	۲/۲۴	۰	۲/۲۴	۵۴/۸۲	۵۴/۸۲	۱	۰/۴۷	۵۳/۸۲	۲۱	۲۲
۳/۱۶	۰	۰/۸۸	۰/۶۲	۰/۲۶	۵۶/۰۵	۵۶/۰۵	۱	۰/۴۹	۵۷/۰۵	۲۴	۲/۲۸	۰	۲/۲۸	۵۶/۰۵	۵۶/۰۵	۱/۲۳	۰/۴۸	۵۴/۸۲	۲۲	۲۳
۳/۱۶	۰	۰	۰	۰	۵۷/۰۵	۰	۰	۰	۰	۰	۳/۱۶	۰/۶۲	۲/۵۴	۵۷/۰۵	۵۷/۰۵	۱	۰/۴۹	۵۶/۰۵	۲۳	۲۴

نتیجه‌گیری

عملیات تولید محصول جو در استان البرز در کمتر از ۲۴۰ روز (دوره کشت جو) به پایان می‌رسد.
 ۲. در پروژه زمان بندی مکانیزاسیون تولید جو، فرجه اکثر فعالیت‌ها صفر است بدین معنی که این فعالیت‌ها مطابق برنامه زمان بندی پیش می‌رود و منابع به خوبی اختصاص یافته است.
 ۳. در صورت لزوم و به منظور کاهش زمان و هزینه‌ها، امکان تغییر در شبکه به آسانی فراهم می‌شود.

۱. شبکه پرت ترسیم شده توانایی تجزیه و تحلیل جوانب گوناگون پروژه را دارد و امکان پاسخ‌گویی به سؤالاتی چون زودترین و دیرترین زمان وقوع رویداد، واریانس و فرجه هر یک از رویدادها، زمان مورد انتظار اتمام پروژه و مانند اینها را به سادگی فراهم می‌آورد. زودترین زمان تولید مکانیزه جو ۲۲۸/۲۰ روز به دست آمد. نتایج نشان می‌دهد که با احتمال ۹۹ درصد

نمادها

S_i	متغیر تصادفی فرجه یا شناوری رویداد i ام، h	t_p	زمان بدبینانه، h
T_E	متغیر تصادفی زودترین زمان وقوع رویداد، h	σ^2_{TE}	واریانس زودترین زمان وقوع رویداد
t_e	زمان مورد انتظار انجام فعالیت، h	σ^2_{TL}	واریانس دیرترین زمان وقوع رویداد
T_L	متغیر تصادفی دیرترین زمان وقوع رویداد، h	μ_{Si}	فرجه مورد انتظار رویداد i ام، h
t_m	زمان محتمل، h	μ_{TE}	زودترین زمان مورد انتظار وقوع رویداد، h
t_o	زمان خوش بینانه، h	μ_{TL}	دیرترین زمان مورد انتظار وقوع رویداد، h

REFERENCES

- Abdi, R. (2009). *Agricultural Mechanization Project Planning and Scheduling with Networks GERT*. Ph.D. Thesis. Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agricultural, University of Tabriz (In Farsi).
- Abdi, R., Ghasemzadeh, H.R., Abdollahpour, Sh. & Dabbaghnasab, A. (2009). Modeling and Analysis of Alfalfa Mechanization Project Process by GERT Networks. *Knowledge of Sustainable Agriculture*, 1(19), 157-169.
- Iran University of Science and Technology. Tehran, Iran (In Farsi).
- Ahcom, J. (2004). *A model for benchmarking contractors project management elements in Saudi Arabia*. Ph.D. Thesis, King Fahd University of Petroleum and Minerals.
- Ahmadi, A. & Hosseini baharanchi, R. (2004). *Fuzzy Management and Project Control*. Jahan Jamejam Press. Tehran, Iran (In Farsi).
- Ajamipour, M. (2000). *Planning and Project Control with CPM & PERT*. Institute IsIran Press (In Farsi).
- Abdi, R., Ghassemzadeh, H.R., Abdollahpour, Sh., Sabzehparvar, M. & Dabbaghnasab, A. (2010). Modeling and Analysis of Mechanization Projects of Wheat Production by GERT Networks. *Agricultural Sciences in China*, 9(7), 101-105
- Afsari, M., Hejazi, S.R. & Haj shir mohammadi, A. (2007). GERT Conversion Method for Fuzzy CPM Project Schedule. *Proceedings of the Fifth International Conference on Industrial Engineering*, Jul. 10-11
- Aladpoush, H. (2007). *General Knowledge of Project Management Concepts* (translation). Hami Press. Tehran, Iran (In Farsi).
- Anonymous, (2004). Irrigated wheat farm management and technical guidelines. Ministry of Jihad-e Agriculture of Iran (In Farsi).
- Badiru, A.B. (1991). A simulation approach to PERT network analysis. *Simulation*, 57, 245-255.
- Basnet, C., Foulds, L. & Wilson, J. (2006). Scheduling contractors' farm-to-farm crop harvesting

- operations. *International Transaction in Operation Research*, 13, 1-15.
- Clarke, L. (2000). *Strategies for agricultural mechanization development*. FAO, Rome, Italy.
- Davoodi, A. (1999). *Usage PERT Technique in Planning Research - Industrial Projects in Engineering Research Center of Jihad*. M.Sc. Thesis. Faculty of Industrial Engineering, Iran University of Science and Technology. Tehran, Iran (In Farsi).
- de Toro, A. & Hansson, P.A. (2004a). Analysis of field machinery performance based on daily soil workability status using discrete event simulation or on average workday probability. *Agricultural Systems*, 79, 109-129.
- de Toro, A. & Hansson, P.A. (2004b). Machinery co-operatives: A case study in Sweden. *Biosystems Engineering*, 87(1), 13-25.
- 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. (2005). Influences on timeliness costs and their variability on arable farms. *Biosystems Engineering*, 92(1), 1-13.
- Dimitri, G., Aharon, G. & Zohar, L. (2003). Resource constrained scheduling simulation model for alternative stochastic network projects. *Mathematics and Computers in Simulation*, 63, 105-117.
- Erik, L. (2002). *Project scheduling* (A Research Handbook). Department of Applied economics. Katholieke Universities, Leuven Belgium.
- Foulds, L. & Wilson, J. (2005). Scheduling operations for the harvesting of renewable resources. *Journal of Food Engineering*, 70, 281-292.
- Gauri, S. & Vandana, S. (2000). GERT analysis of a two-unit cold standby system with repair. *Microelectronics and Reliability*, 35, 837-840.
- Gauri, S. (2003). GERT analysis of sampling plan for system reliability. *Microelectronics and Reliability*, 28, 23-25.
- Haj shir mohammadi, A. (2008). *Management and Project Control (Usage Methods CPM, PERT, GERT, PN)*. 2th Edition. Isfahan Technology Center of Jihad Publishing (In Farsi).
- Karimi gavareshki, M.H. (2004). New fuzzy GERT Method for Research Projects Scheduling. *IEEE Transactions*, 2, 820-824.
- Kenzo, K. & Nobuyuki, N. (2002). Efficient Monte Carlo Simulation method of GERT-type network for project management. *Computer and Industrial Engineering*, 42, 521-531.
- Manju, A. & Pooja, M. (2007). Reliability analysis of consecutive-k, r-out-of-n: DFM system using GERT. *International Journal of Operations Research*, 4(2), 110-117.
- Marrit, M. & Martin, K. (2007). The impact of increasing farm size and mechanization on rural income and rice production in Zhejiang province, China. *Agricultural Systems*, 4, 123-129.
- Matsumoto, T., Tokimatsu, K., Kosugi, T. & Yoshida, H. (2003). Evaluation for development of superconducting technologies in power sectors by using GERT. In: *Proceedings of the IASTED International Conference on Power and Energy Systems*. California, USA. pp. 109-114.
- McCahon, C.S. (1993). Using PERT as an approximation of fuzzy project-network analysis. *Engineering Management. IEEE Transactions*, 40, 146-153
- McKinion, J. M., Jenkins, J. N. & Akins, D. (2001). Analysis of a precision agriculture approach to cotton production. *Computers and Electronics in Agriculture*, 32, 213-228.
- Philip, Y. (1983). *A Q-GERT Network simulation model for a voice-data communication system*. Virginia Polytechnic Institute and State University, USA.
- Pritsker, A.A.B. (1966). GERT; Graphical Evaluation and Review Technique. Part I. Fundamentals. *Journal of Industrial Engineering*, 17, 267-274.
- Reddy, J.P., Kumanan, S. and Chetty, O.V.K. (2001). Application of PERT networks and a genetic algorithm to multi-mode multi-resource constrained project scheduling. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 17, 305-314.
- Run, Y. & Pingsun, L. (2006). Optimal partial harvesting schedule for aquaculture operations. *Marine Resource Economics*, 21, 301-315.
- Sabzehparvar, M. (2009). *Project Control*. Termeh Press. Tehran, Iran (In Farsi).
- Sadri, M. & Sakkaki, S.H. (2004). Effective method in network management and exploration projects. *Proceedings of Conference on Iranian Mining Engineering*, 1-3 Feb. University of Tarbiat Modares. Tehran, Iran (In Farsi).
- Sharifi, M., Akram, A., Rafiee, Sh., Sabzehparvar, M. (2014). Prioritization of strategic agricultural crops Alborz province using the Fuzzy Delphi method and the Analytical Hierarchy Process (AHP). *Journal of Agricultural Machinery*, 4(1), 116-124. (In Farsi).
- Shih-Pin, C. (2007). Analysis of Critical Paths in a Project Network with Fuzzy Activity Times. *European Journal of Operational Research*, 183, 442-459.
- Soo-Haeng, C. & Steven, D. (2005). A simulation-based process model for managing complex design projects. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 52(3), 316-328.
- Takanobu, K., Ayami, H. & Tsuyoshi, M. (2004). Time to realization: Evaluation of CO₂ capture technology R & D by GERT analyses. *Energy*, 29, 1297-1308.
- Zhang, H., Li, H. and Tam, C.M. (2004). Fuzzy discrete-event simulation for modeling uncertain activity duration. *Engineering Construction and Architectural Management*, 11(6), 426-437.
- Zhang, H., Tam, C.M., Li, H. and Shi, J.J. (2006). Particle swarm optimization-supported simulation for construction operations. *Journal of Construction Engineering and Management*, 132 (12), 1267-1274.