Archive of SID

فصلنامه مدیریت صنعتی دانشکده علوم انسانی دانشگاه آزاد اسلامی
واحد سنندج - سال ششم / شماره ۱۷ / پاییز ۱۳۹۰

# ارائه روشی جهت تعیین اندازه بافرها در حوزه زمان بندی زنجیره بحرانی (مطالعه موردی: شرکت سولیران)

**محمّد مهدی توقّع همدانی**(نویسنده مسؤول)
کارشناس ارشد مدیریت صنعتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات
Email: m.tavagho@gmail.com
**احمد ماکوئی**
دانشیار دانشکده مهندسی صنایع دانشگاه علم و صنعت

تاریخ دریافت: ۹۰/۲/۲۰ * تاریخ پذیرش: ۹۰/۷/۷

## چکیده

زنجیره بحرانی رویکردی نوین در حوزه مدیریت پروژه می باشد که به منظور رفع اثرات نامطلوب پروژه ها و علل بروز آنها، افزایش کارایی منابع و بهره برداری از محدودیتهای سیستم پروژه توسعه یافته است. بر مبنای این رویکرد و به منظور ایمن کردن پروژه در مقابل اختلالات احتمالی، بافرهای زمانی در محل‌های مختلف تعبیه می‌شود. بنابراین از انتقال تنشهای فعالیتهای غیر بحرانی به زنجیره بحرانی و همچنین انتقال تنشهای فعالیتهای زنجیره بحرانی به زمان تحویل پروژه جلوگیری می‌شود. در این مقاله روشی جهت تعیین اندازه بافرها در حوزه زمانبندی زنجیره بحرانی ارائه شده که از جمله ویژگی های آن اعمال نظر خبرگان در مراحل کار و سادگی اجرا می‌باشد. مفاهیم مطرح شده در این روش نزدیک به روش پرت می باشد با این تفاوت که در این روش تابع توزیع احتمال زمان فعالیت‌ها براساس نظرات خبرگان بدست آمده است. در پایان جهت ارزیابی روش پیشنهادی، زنجیره بحرانی جهت پروژه طراحی، ساخت و نصب سازه ای فولادی در شرکت سولیران به اجرا درآمد. اندازه بافرها با استفاده از دو روش شناخته شده در ادبیات موضوع (روش بریدن و چسباندن و روش ریشه مربع خطا) و روش پیشنهادی محاسبه گردید. نتایج بدست آمده مبین آن است که روش ارائه شده در مقایسه با دو روش مذکور بافرهایی با محافظت بیشتر در برابر تأخیرهای احتمالی پروژه ایجاد می‌کند.

**واژه‌های کلیدی:** زمان بندی پروژه[1] زنجیره بحرانی[2]، روشهای تعیین اندازه بافر[3]، شرکت سولیران.

[1].Project Scheduling
[2].Critical Chain
[3].Buffer Sizing Methods.

www.SID.ir

Archive of SID



## ۱- مقدمه

مهمترین تفاوت بین زمان بندی زنجیره بحرانی با روشهای مدیریت پرژه سنتی در چگونگی مدیریت کردن عامل عدم قطعیت در پروژه ها می باشد. در روشهای سنتی برنامه ریزی و زمان بندی پروژه، عامل عدم قطعیت با افزایش دادن مدت زمان فعالیتها، شروع فعالیتها در زودترین زمان ممکن، انجام همزمان چندین فعالیت و تمرکز بر روی تاریخهای تعیین شده، مدیریت می شود. اما در روش زنجیره بحرانی، عدم قطعیت با توجه به موارد ذیل مدیریت می شود:

الف) استفاد ه از تخمین های میانگین برای مدت زمان هر فعالیت.

ب) زمان بندی رو به عقب از موعد تحویل.

ج) قراردادن بافرهای تجمعی در برنامه پروژه به منظور حفاظت از تأخیر کل پروژه و فعالیتهای کلیدی.

د) استفاده از مدیریت بافرها برای کنترل برنامه زمان بندی.

برای ایمن کردن پروژه در مقابل اختلالات احتمالی، بافرهای زمانی در محل های مختلف تعبیه می‌شود تا از انتقال تنشهای فعالیتهای غیر بحرانی به زنجیره بحرانی و همچنین انتقال تنشهای فعالیتهای زنجیره بحرانی به زمان تحویل پروژه جلوگیری کنند. این بافرها عبارتند از: بافر پروژه[۴]، بافر تغذیه[۵] و بافر منبع[۶]. بافرهای تغذیه کننده به تمام مسیرهایی که در زنجیره بحرانی قراردارند افزوده می شوند تا از ایجاد تأخیرهایی که در این مسیرها بر روی زمان شروع فعالیتها ایجاد می شود جلوگیری کنند؛ این مسیرها، مسیرهای تغذیه ای نامیده می شوند. بافر پروژه به انتهای زنجیره بحرانی افزوده می شود تا از تاریخ تحویل پروژه حفاظت کند. بافرهای منبع به وسیله سیستم های اخطار دهنده یا یادآوری کننده شناخته می شوند که از آماده بودن منابع در زمانی که یک فعالیت بحرانی به منابع نیاز دارد مطمئن می شود؛ برخلاف بافرهای پروژه و تغذیه کننده، بافرهای منبع باعث تغییر زمان برنامه ریزی شده پروژه ها نمی شود. (Goldratt,1997)

### - پیشینه تحقیق

در سال ۱۹۹۷.م گلدرت کتابی با عنوان "زنجیره بحرانی" منتشر ساخت. این کتاب در برگیرنده عقاید و نظرات گلدرت در مورد علل زمان‌بندی ناموفق پروژه‌ها، محدودیت های پروژه و بکارگیری فرآیند تفکر تئوری محدودیت ها در مدیریت پروژه می‌باشد. بدنبال آن، رابطه بین ایده های تئوری محدودیتها و رویکرد های زمان بندی پروژه در چندین مقاله و کتاب مورد بحث قرار گرفته است. رند[۷](۲۰۰۰) در مقاله خود تئوری محدودیتها را مرور می کند و تفاوت های بین مسیر بحرانی و زنجیره بحرانی را عنوان می کند. لیچ[۸] (۲۰۰۵) در کتابش شرح جامعی از رویه کاربرد زنجیره بحرانی ارائه می دهد. او همچنین مدیریت بافر ها را شرح می دهد و روش ریشه مربع خطا را برای اندازه گیری بافر ها ارائه می دهد. وی ادعا می‌کند که بافرها یک نوع تجمع از ریسک هستند که در زنجیر و وقایع پیش نیازشان با آنها برخورد می کنیم. وی به دنبال آن روشهای بریدن و چسباندن و ریشه مربع خطا را شرح می دهد وعنوان می کند که در عمل نیازی به یک متد علمی برای تعیین اندازه بافر ها نیست بلکه اندازه بافرها باید به مقدار کافی خوب باشد و می باید بر پایه دید شهودی ما نسبت به ریسک تعیین شود. اما هرولن[۹] و همکاران (۲۰۰۲) با ادعای نیوبولد بر مبنای ساده سازی اجرای زنجیره بحرانی مخالفت می کنند.

هرولن و لئوس(۲۰۰۱) در مقاله خود در مورد نقاط قوت و ضعف زمان بندی زنجیره بحرانی و تجارب استفاده از مکانیزم این زمان بندی نظر داده اند. نویسندگان آزمایش را بر روی مجموعه داده های پاترسون[۱۰] انجام دادند تا عواملی را که بر روی عملکرد یک پروژه تأثیر می گذارد، شناسایی کنند. در کل آنها گزارش کردند که نگه داشتن فعالیت های زنجیره بحرانی در

---

4. Project Buffer
5. Feeding Buffer
6. Resource Buffer
7. Rand
8. Leach
9. Herroelen
10. Patterson

www.SID.ir

Archive of SID


سریها باعث افزایش طول پروژه می شود در حالی که به روز کردن منظم مبنای زمان بندی (زمان بندی اصلی برنامه ریزی شده با آنچه در اجرا اتفاق افتاده، مقایسه می شود) باعث کاهش آن می شود. آنها همچنین نتایج ایجاد طرح های اولیه را با استفاده از روش انشعاب و تحدید با روش های ابتکاری مقایسه کردند و به این نتیجه رسیدند که بهتر بودن زمان بندی مبنای اولیه، باعث بهبود عملکرد کلی پروژه می شود. تجربه آنها با تکنیک های اندازه گیری بافر نشان دادکه روش بریدن و چسباندن ممکن است اندازه بافر های پروژه را بیش از اندازه بزرگ تخمین بزند. این تحقیق اولین تحقیق نظری تشریحی از زنجیره بحرانی و مفاهیم آن می باشد، و نشان دهنده نیاز بیشتر برای کار نظری در مورد مبنای زمان بندی و روش های اندازه گیری بافر ها می باشد.

غنیمی(۱۳۸۲) در پایان نامه کارشناسی ارشد خود تحت عنوان" کاربرد تئوری محدودیتها در مدیریت پروژه: زمانبندی زنجیره بحرانی ومدیریت بافرها" به بیان کاربرد تئوری محدودیت ها در مدیریت پروژه پرداخته و زنجیره بحرانی و مدیریت بافر ها را شرح می دهد. وی به دنبال آن روشهای بریدن و چسباندن و ریشه مربع خطا را شرح داده و روشی بر مبنای روش پرت ارائه می‌دهد. مقاله المغربی[11] و همکاران (۲۰۰۳) دیدگاه های جالبی در خصوص استفاده از تئوری محدودیتها و زمان بندی پروژه با منابع محدود مطرح می کند. علاوه بر مطالب عنوان شده، هرولن و لئوس (۲۰۰۴) ادبیات زمان بندی مبنا را مرور و در مورد رویه ایجاد زمان های مناسب بحث می کنند. فلاح و همکاران(۲۰۱۰) جهت تعیین اندازه بافرها روشی بر مبنای توزیع لگ نرمال ارائه می دهند.کریا[12] و آبرو[13] (۲۰۱۱) در مقاله خود به بررسی مزایا و معایب زنجیره بحرانی در مقایسه با روش سنتی پرداختند. اکسیائو[14] و پن[15] (۲۰۱۱) به بررسی مشکلات زنجیره بحرانی پرداخته و استفاده از تئوری صف به منظور تعیین اندازه بافر را پیشنهاد می دهند.

## - رویکرد زنجیره بحرانی

زنجیره بحرانی متشکل از مجموعه‌ای از فعالیتها می‌باشد که با در نظر گرفتن وابستگی بین فعالیتها و محدودیت منابع، مدت زمان کلی پروژه را تعیین می‌کنند. برای شناسایی زنجیره بحرانی، باید شناوری فعالیتها محاسبه گردد. در روشهای سنتی زمان‌بندی پروژه، شناوری مدت زمانی است که یک فعالیت می‌تواند به تعویق بیفتد و یا مدت زمانش طولانی‌تر شود و این زمان، در زمان بندی نهایی دخالت داده می‌شود. اما در روش زنجیره بحرانی از آنجائیکه تمام فعالیتها در دیرترین زمان ممکن زمان‌بندی شده‌اند، مفهوم شناوری نسبت به قبل متفاوت است. در این روش، شناوری مدت زمانی است که یک فعالیت به لحاظ تکمیل فعالیتهای پیش نیاز و در دست بودن منابع می‌تواند زودتر تمام شود. البته این زمان شناوری هرگز در زمان‌بندی نهایی پروژه دخالت داده نمی‌شود. بلکه محاسبه آن به دو منظور انجام می‌گیرد: اول تعیین زنجیره بحرانی و دوم تعدیل اندازه بافر تغذیه پس با توجه به تعریف شناوری در روش زنجیره بحرانی، فعالیتهای زنجیره بحرانی آنهایی هستند که شناوری آنها صفر باشد.

فرآیند شناسایی زنجیره بحرانی:

قدم۱: برای هرفعالیت تخمین زمان ۵۰٪ را محاسبه کنید.

قدم۲: تمام فعالیت ها را با توجه به رابطه پیش نیازی به صورت "دیرترین زمان ممکن"در نظربگیرید.

قدم۳: همزمانی استفاده از منابع را با استفاده از دوباره مرتب کردن فعالیت ها حذف کنید.

تداخل منابع می تواند با استفاده از هر یک از روشهای ابتکاری حل مسأله همانند روش انشعاب و تحدید برداشته شود.

قدم۴: زنجیره بحرانی را بعنوان بلندترین زنجیره اتفاقات وابسته برای زمان بندی ممکن که در مرحله ۳ وجود داشت شناسایی کنید.

قدم۵: بافر پروژه را به انتهای زنجیره بحرانی اضافه کنید.

قدم۶: بافرهای تغذیه کننده را در هر جایی که فعالیتهای غیر بحرانی،زنجیره بحرانی را تغذیه می کنند (پیش نیاز آن می شوند) اضافه و فعالیتها را با استفاده از اندازه بافر برای روی زنجیره تغذیه کننده تنظیم کنید.

---

11. Elmaghraby
12. Correia
13. Abreu
14. Xiao-ping
15. Pan

www.SID.ir

Archive of SID



نیوبولد و لیچ چند قدم اضافی را پیشنهاد می دهند که برای بهبود کیفیت زمان بدست آمده می توان از آنها استفاده کرد. برای مثال نیوبولد (۱۹۹۸) پیشنهاد می دهد که اگر منابع موجود هستند،در این صورت زمان فعالیتهای بحرانی می‌باید بوسیله اختصاص منابع بیشتر به آنها کوتاه شود. لیچ نیز پیشنهاد می دهد که بعد از افزودن بافرهای تغذیه کننده فعالیتها می باید دوباره مرتب شوند تا تداخل منابعی که به خاطر افزودن این بافرها ایجاد شده حل شود (Leach, 2005). در مقابل، گلدرت مرتب سازی فعالیتها را در مرحله برنامه ریزی بعد از افزودن بافر پیشنهاد نمی دهد و با اصلاح زنجیره بحرانی وقتی که بافرهای تغذیه کننده باعث اضافه شدن زمان پروژه می شوند مخالف است. (Goldratt,1997) به عبارت دیگر وی معتقد است که اجرای موفق، مهم تر از داشتن یک برنامه دقیق و قدم به قدم است.

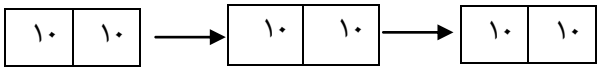
- **رویکردهای تعیین اندازه بافر:**

به طور کلی بافرها در نتیجه حذف زمانهای اطمینان از هر فعالیت و اجتماع آنها در انتهای زنجیره بحرانی و یا مسیر تغذیه ایجاد می‌شوند. شاید تصمیم در خصوص اندازه بافر را بتوان مهمترین قدم زمان بندی زنجیره بحرانی دانست، چون اگر اندازه بافرها کوچک در نظر گرفته شود، به کرات نیازمند زمان بندی مجدد خواهیم بود و مسلماً نسبت به مشتریان نیز بدقول خواهیم شد و همین طور اگر اندازه آنها بیش از اندازه بزرگ لحاظ شود، خود به خود تمام مفاهیم مورد استفاده در این زمان بندی نقض شده، سبب بالارفتن حجم کار در جریان ساخت می شود. در اینجا تجربه مدیر پروژه و مهارتهای مدیریت بافر در خصوص اندازه بافرها بسیار حائز اهمیت است. با این وجود ایجاد بافرها با استفاده از روشهایی که تغییرات آماری را مد نظر قرار می دهند همانند ویژگی های پروژه، به مدیر پروژه این اجازه را می دهند که کنترل بهتری بر روی پروژه داشته باشند. در ادبیات موضوع تنها دو روش ساده برای تعیین اندازه بافرها وجود دارد: روش بریدن و چسباندن و روش ریشه مربع خطا به علاوه تنها نتیجه علمی گزارش شده در ادبیات در مورد اثر این روشها بر عملکرد پروژه، تحقیق هرولن و لئوس[16] (۲۰۰۱) است. در مطالعه آنها گزارش شده که روش بریدن و چسباندن، بافرها را بیش از اندازه بزرگ تخمین می زند، در حالی که روش ریشه مربع خطا برای پروژه های بزرگتر بهتر عمل می کند.در این قسمت ابتدا ۲ روش مذکور در اندازه گیری بافرها مرور می شود سپس روشی پیشنهاد خواهد شد که انتظار می رود موجب افزایش احتمال اتمام پروژه در موعد مقرر در مقایسه با این دو روش شود.

- **روش بریدن و چسباندن:**

گلدرت در مورد مدت زمان فعالیتها، پیشنهاد می‌کند که برای بدست آوردن این زمان میانگین مدت زمان ارائه شده توسط افراد را به نصف کاهش دهیم. وی در مورد اندازه بافرها معتقد است که اندازه بافرها باید برابر نصف زنجیره قبل از آن باشد. یعنی بافر پروژه باید به اندازه نصف طول زنجیره بحرانی و یا نصف مدت زمان کل پروژه در نظر گرفته شود. همچنین اندازه بافرهای تغذیه که ما را از اتمام به موقع فعالیتهای زنجیره‌های غیر بحرانی مطمئن می‌کند نیز با استفاده از این روش تعیین می‌شود.

زنجیره تغذیه کننده با ۳ فعالیت در شکل شماره (۱) نشان داده شده است:




شکل شماره (۱): زنجیره تغذیه کننده

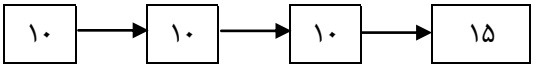
تخمین احتیاطی هر فعالیت ۲۰ روز در نظر گرفته شده است. اگر ۵۰٪ از هر فعالیت برداشته شود، زمان تخمینی متوسط هر فعالیت برابر ۱۰ روز می شود. جمع قسمتهای ایمنی که بریده شده ۳۰ روز است. پس نصف آن ۱۵ روز خواهد شد. پس روش مذکور پیشنهاد می دهد ۱۵ روز را به عنوان بافر تغذیه کننده به انتهای این زنجیره تغذیه کننده اضافه شود. که در شکل شماره(۲) قابل مشاهده است.

[16] Herroelen and Leus

www.SID.ir

Archive of SID






شکل شماره(۲): اضافه کردن بافر تغذیه کننده به انتهای زنجیره

مزیت بارز این روش سادگی آن می‌باشد. در عین حال این روش یک روش خطی بوده، به طوری که با افزایش زمان زنجیرهٔ بحرانی میزان بافر بصورت خطی افزایش می‌یابد. در بسیاری از موارد بافر بدست آمده از این روش بیش از حد مورد نیاز جهت محافظت از پروژه بوده که می‌تواند باعث از دست دادن موقعیت‌های تجاری و عدم رقابتی بودن زمانهای پیشنهادی شود. این روش برای محیط های پروژه ای همانند توسعه محصول جدید پیشنهاد نمی‌شود.

### ب-روش ریشه مربع خطا

شبیه روش بریدن و چسباندن این روش نیز از دو تخمین زمانی برای هر فعالیت بر روی زنجیره تغذیه کننده استفاده می‌کند: تخمین احتیاطی و تخمین متوسط.(Newbold, 1998) تخمین احتیاطی با (s) و تخمین متوسط با (d) نمایش داده می‌شود. در این روش اختلاف بین دو تخمین به عنوان میزان عدم قطعیت و یا خطا در تخمین کوچکتر تلقی می‌شود و با (u) نمایش داده می‌شود. پس عدم قطعیت هر فعالیت مطابق فرمول شماره (۱) محاسبه می شود:

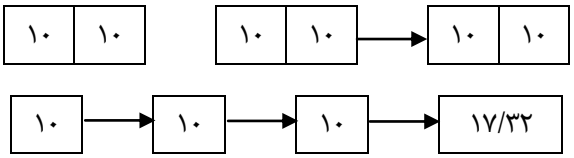
$$1) U = s - d$$

برای هر زنجیره از فعالیتها ارزشهای خطا یا Ui های هر فعالیت جهت محاسبه خطای مدت زمان زنجیره کلی و یا میزان بافر مورد نیاز زنجیره مورد استفاده قرار می‌گیرند این خطای کلی طبق فرمول شماره(۲) بدست می‌آید:

$$2) Buffer \quad Size = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + .... + U_n^2}$$

پیشنهاد شده است در حالاتی که کمتر از چهار فعالیت در زنجیره تغذیه کننده وجود دارد بافر می بایدی حداقل برابر طولانی ترین فعالیت در این زنجیر باشد(Tukel, 2004).

با بکار بردن مثالی مشابه مثال روش قبل، اندازه بافر۱۷/۳۲ بدست خواهد آمد.




$$s_i = 20 \ , \ d_i = 10 \ , \ U_i = (20-10) = 10$$

مزیت این روش نسبت به روش پیشنهادی گلدرت، رفع خطی بودن مدل محاسبه میزان بافرها می باشد، اما همانطور که قابل ملاحظه است این روش نیز از لحاظ آماری دارای اعتبار نمی‌باشد. در حقیقت این روش فقط از فرض عدم وابستگی بین فعالیتها استفاده کرده و با اقتباس از فرمول محاسبه واریانس مجموع چند متغیر تصادفی مستقل فرمول فوق را ارائه کرده است.

## ۲- مواد و روش‌ها

در این تحقیق مبنای تعیین اندازه بافر بر این قرار گرفته است که: طول بافر به میزان ریسک زنجیره قبل از آن بستگی دارد و میزان ریسک زنجیره قبل از بافر هم به میزان ریسک فعالیت های آن زنجیره بستگی خواهدداشت. پس در این صورت با در اختیار داشتن تابع توزیع احتمال زمان هر فعالیت می باید طول بافر را به اندازه ای تعیین کنیم که به احتمال مورد دلخواه، فعالیت های زنجیره قبل از آن در آن محدوده تمام شوند. مسلماً هر اندازه بخواهیم اطمینان ما بالاتر رود می باید طول بافر را بیشتر لحاظ کنیم. مثلاً فرض کنید فعالیت های یک زنجیره از ۱ تا n همگی دارای توزیع نرمال، با میانگین $\mu_i$ و واریانس $\delta i^2$ باشند. و درصد اطمینان مورد دلخواه ما ۹۸٪ باشد یعنی این که بخواهیم اندازه بافر را طوری تعیین کنیم که در ۹۸٪ مواقع تأخیر های فعالیت های این زنجیره تأثیری در تکمیل پروژه نداشته باشد، می باید طول بافر را به اندازه تقریبی $2\delta_{\sum}$ در نظر بگیریم $\delta_{\sum}$ معرف انحراف معیار کل زنجیره می باشد. برای محاسبه $\delta_{\sum}$ با توجه به قضیه حد مرکزی در مورد n متغیر تصادفی

www.SID.ir

Archive of SID



مستقل و نیز با در نظر گرفتن این مطلب که مدت زمان فعالیت های زنجیره از یکدیگر مستقل هستند می توانیم از فرمول شماره (۳) استفاده کنیم:

$$3)\delta_{\sum} = \sqrt{\sum {}^{n}{}_{i=1}\delta_i^{\,2}}$$

حال با داشتن توزیع احتمال زمان هر یک از فعالیت ها می توانیم انحراف معیار زمان هر یک از فعالیت را بدست آوریم. اما چون در اغلب پروژه ها کار ها غیر تکراری است و داده های تاریخی برای فعالیت ها در دسترس نمی باشد شکل دقیق نمودار تابع احتمال هرگز در دسترس نیست، ولی باید برای لحاظ کردن عدم قطعیت در مورد مدت زمان فعالیت ها پارامتر های لازم تخمین‌زده شوند. برای این منظور می توانیم از مفاهیم مطرح شده در روش پرت استفاده کرد، با این تفاوت که در روش پرت تابع توزیع مدت زمان فعالیت ها، توزیع بتا فرض می شود، در حالی که در این روش، تابع توزیع مدت زمان فعالیت ها بر اساس نظرات تصمیم گیرندگان در خصوص میزان وقوع هر یک از سه زمان (دیرترین زمان، زودترین زمان و متوسط زمان) بدست می‌آید. مراحل اجرای کار به شرح ذیل است:

الف) ابتدا جهت هر یک از فعالیت های پروژه، دیرترین زمان(tl)، زودترین زمان(ts) و متوسط زمان(tb) را از تصمیم گیرندگان سوال می کنیم.

ب) میزان وقوع هر یک از سه تخمین زمانی (دیرترین زمان، زودترین زمان ومتوسط زمان) را در قالب یکی از سه حالت (بیشتر اوقات، معمولاً و بندرت) با ارزش های ۵ و۲ و۱ از تصمیم گیرندگان سوال می کنیم.

ج) جهت محاسبه زمان مورد انتظار هر فعالیت(te)، ابتدا حاصل ضرب اعداد بدست آمده از مراحل ۱ و۲ را به تفکیک تصمیم گیرندگان محاسبه کرده و سپس میانگین هندسی آنها را بدست می آوریم. لازم به ذکر است که این زمان در برنامه نهایی بعنوان زمان فعالیت ها لحاظ می شود.

د) جهت محاسبه اندازه بافر ها لازم است ابتدا انحراف معیار فعالیت های هر زنجیره (مسیر) محاسبه شود. همانطور که اشاره شد در روش پرت تابع توزیع مدت زمان فعالیتها، توزیع بتا فرض می شود و انحراف استاندارد برای این توزیع از طریق فرمول شماره(۴) بدست می‌آید:

$$4)\delta = \frac{t_p - t_\circ}{6}$$

اما از آنجایی که در روش پیشنهادی تابع توزیع مدت زمان فعالیت ها بر اساس نظرات تصمیم گیرندگان در خصوص میزان وقوع هر یک از سه زمان (دیرترین زمان، زودترین زمان و متوسط زمان) بدست می آید انحراف معیار فعالیت های هر زنجیره (مسیر) مطابق فرمول شماره(۵) محاسبه می گردد:

$$5)\delta = \frac{t_l - t_s}{6}$$

ه ) همانطور که می دانیم برای دنباله‌ای از فعالیتها در یک مسیر، انحراف از معیار مسیر برابر مجذور مجموع مربعات هر یک از انحراف از معیار فعالیتها می‌باشد و این مقدار برابر اندازه بافر است که از فرمول شماره(۶) بدست می آید:

$$6)\ \text{اندازه بافر} = \delta_{\Sigma} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}\delta_i^2}$$

حال با فرض مستقل بودن زمان فعالیت ها از یکدیگر و همچنین با در نظر گرفتن تئوری حد مرکزی به این نتیجه می رسیم که مدت زمان کل مسیر دارای توزیع نرمال خواهد بود. از آنجایی که این مدت زمان برابر جمع زمان های تصادفی فعالیتها می باشد، در صورتی که اندازه بافر پروژه را به اندازه انحراف از معیار محاسبه شده برای کل مسیر تنظیم کنیم، احتمال تمام کردن کل کار همراه با مجموع بافرها تقریبا برابر ۸۴ ٪ می شود. افزایش اندازه بافر به میزان ۱/۵۶ برابر انحراف استاندارد، احتمال موفقیت را تا ۹۸٪ افزایش خواهد داد. به هرحال این مدیر پروژه است که وظیفه تصمیم‌گیری در مورد میزان درصد موفقیت را به عهده دارد.

www.SID.ir

Archive of SID



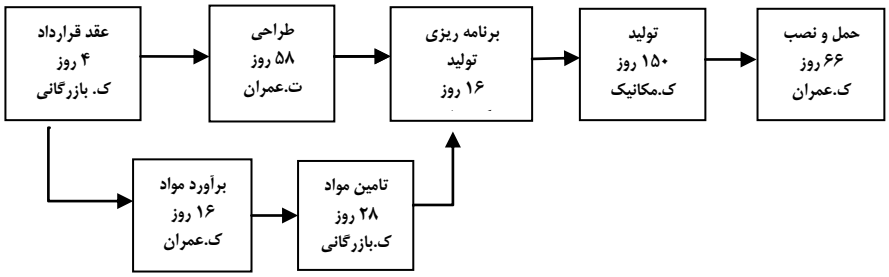
پس با داشتن انحراف از معیار زمان کل زنجیره و نیز میزان درصد مورد انتظار موفقیت که از طرف مدیر پروژه تعیین شده است می‌توان اندازه بافرها را تعیین کرد.

## ۳- نتایج و بحث

جهت ارزیابی روش پیشنهادی، زنجیره بحرانی جهت پروژه طراحی، ساخت و نصب سازه ای فولادی در شرکت سولیران مورد بررسی قرار خواهد گرفت و اندازه گیری بافرها بر مبنای دو روش اشاره شده در مقدمه و همچنین روش پیشنهادی محاسبه خواهد شد.

شرکت سولیران (سهامی عام) در سال ۱۳۴۰ (ه.ش) به عنوان اولین تولید کننده ساختمانهای فولادی در ایران تأسیس گردید. در حال حاضر عمده پروژه های این شرکت مربوط به طراحی، ساخت و نصب سازه های فولادی می باشد.

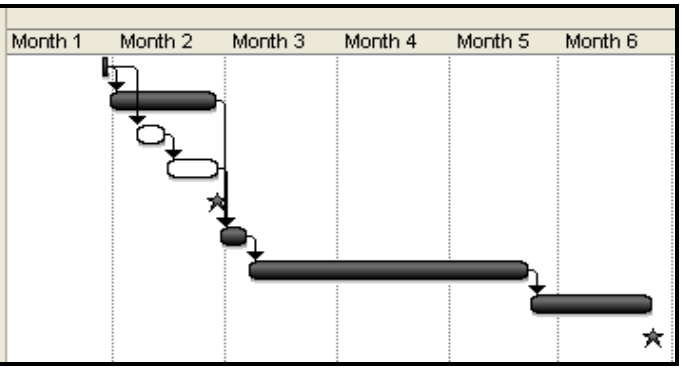
جهت پروژه مورد بررسی، نمودار شبکه ای حاوی مدت زمان فعالیت ها و منابع مورد نیاز در شکل شماره (۳) آورده شده است.




شکل شماره (۳): نمودار شبکه فعالیتها

چون زمان های ارائه شده از طرف کارشناسان حاوی مقدار زیادی زمان احتیاطی است، با توجه به نظر گلدرت مبنی بر کاهش نصف زمان ارائه شده، برنامه اولیه بدست آمده است و نیز در این برنامه کلیه فعالیتها در دیرترین فاصله ممکن زمان بندی شده اند.جهت تعیین زنجیره بحرانی می باید ابتدا شناوری فعالیتها را محاسبه کنیم. این کار با محاسبه زودترین و دیرترین زمان ممکن شروع فعالیتها صورت می گیرد. حال می توان زنجیره بحرانی و همچنین محل قرار گرفتن بافرها را در شکل شماره(۴) مشاهده نمود.

| ردیف | نام فعالیت | مدت |
|---|---|---|
| 1 | عقد قرارداد | 2 days |
| 2 | طراحي | 29 days |
| 3 | برآورد مواد | 8 days |
| 4 | تامين مواد | 14 days |
| 5 | محل بافر تغذيه | 0 days |
| 6 | برنامه ريزي توليد | 8 days |
| 7 | توليد | 75 days |
| 8 | حمل و نصب | 33 days |
| 9 | محل بافر پروژه | 0 days |




شکل شماره (۴): زنجیره بحرانی و محل قرار گرفتن بافرها

توضیح: در نمای فوق باکسهای سیاه رنگ معرف زنجیره بحرانی و باکسهای سفید رنگ معرف زنجیره غیر بحرانی است.

### - محاسبه اندازه بافر به روش بریدن و چسباندن

در این روش طول بافرها برابر نصف طول زنجیره منتهی به آنها تنظیم می شود. پس خواهیم داشت:

طول بافر پروژه = ( ۱۴۷ ÷ ۲ ) = ۷۳.۵ ≈ ۷۳

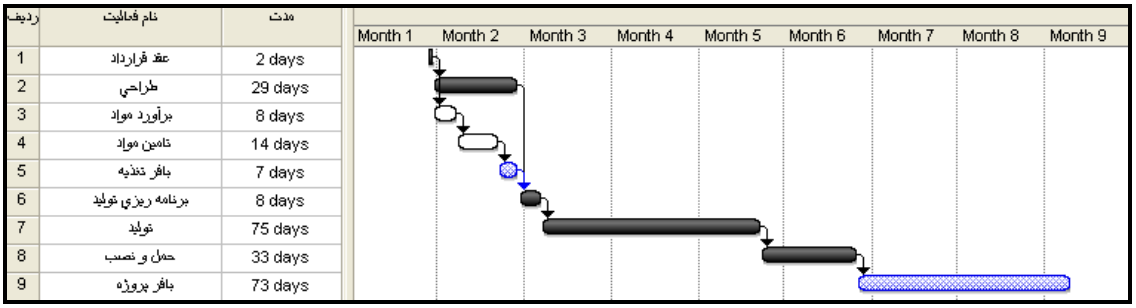
طول بافر تغذیه = ( ۲۲ ÷ ۲ ) = ۱۱

www.SID.ir

Archive of SID



اگر اندازه بافر تغذیه از زمان شناوری زنجیره غیربحرانی طولانی تر باشد اندازه بافر تغذیه به اندازه شناوری تعدیل می شود. در این مثال شاهد چنین مسأله ای هستیم، یعنی به دلیل آنکه زمان شناوری ۷ روز است پس بافر تغذیه از ۱۱ روز به ۷ روز تعدیل پیدا می کند. جایگذاری بافرها در برنامه زمان بندی نهایی در شکل شماره (۵) زیر مشخص شده است.




شکل شماره (۵): برنامه زمانبندی نهایی به روش بریدن و چسباندن

- **محاسبه اندازه بافر به روش ریشه مربع خطا**

در این روش، برای هر زنجیره از فعالیتها ارزشهای خطا یا Ui های هر فعالیت جهت محاسبه یا میزان بافر مورد نیاز زنجیره مورد استفاده قرار می‌گیرند، پس اندازه هر یک از بافرها در جدول شماره (۱) آورده شده است.

جدول شماره (۱): اندازه بافر هر یک از فعالیتها

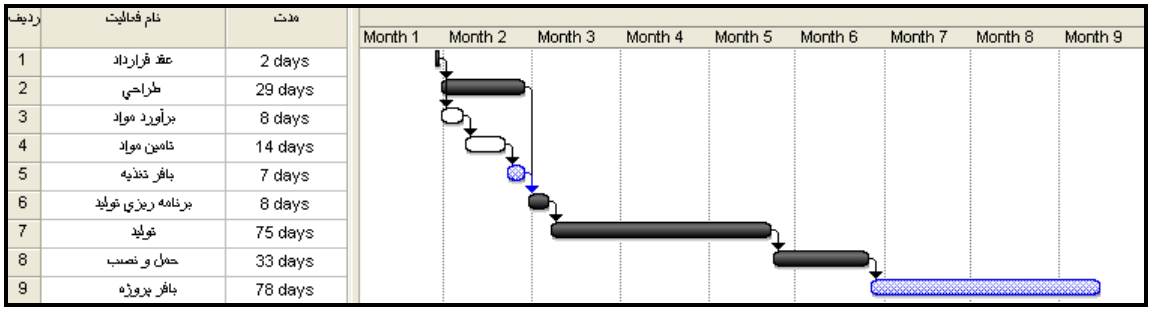
| ردیف | شرح فعالیت | زمان(روز) متوسط d | زمان(روز) دیرترین S | U=S-d | U ^2 |
|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | عقد قرارداد | ۲ | ۴ | ۲ | ۴ |
| ۲ | طراحی | ۲۹ | ۵۸ | ۲۹ | ۸۴۱ |
| ۳ | برآورد مواد | ۸ | ۱۶ | ۸ | ۶۴ |
| ۴ | تامین مواد | ۱۴ | ۲۸ | ۱۴ | ۱۹۶ |
| ۵ | برنامه ریزی تولید | ۸ | ۱۶ | ۸ | ۶۴ |
| ۶ | تولید | ۷۵ | ۱۵۰ | ۷۵ | ۵۶۲۵ |
| ۷ | حمل و نصب | ۳۳ | ۶۶ | ۳۳ | ۱۰۸۹ |

طول بافر پروژه= $\sqrt{4+841+64+5625+1089} = 78.3 \approx 78$

طول بافر تغذیه $= \sqrt{64+196} = 16.12 \approx 16$

یادآوری : زمان شناوری ۷ روز است پس بافر تغذیه از ۱۶ روز به ۷ روز تعدیل پیدا می کند.

جایگذاری بافرها در برنامه زمان بندی نهایی در شکل شماره (۶) مشخص شده است.




شکل شماره (۶): برنامه زمانبندی نهایی به روش ریشه مربع خطا

www.SID.ir

Archive of SID



- **محاسبه اندازه بافر به روش پیشنهادی**

همانگونه که در قبل ذکر شد، ابتدا جهت هر یک از فعالیت های پروژه، دیرترین زمان(tl)، زودترین زمان(ts) و متوسط زمان(tb) و همچنین میزان وقوع هر یک از سه تخمین زمانی را با ارزش های ۵ و۲ و۱ از تصمیم گیرندگان سوال می کنیم. جهت محاسبه زمان مورد انتظار هر فعالیت (te)، ابتدا حاصل ضرب اعداد بدست آمده از مراحل ۱ و۲ را به تفکیک تصمیم گیرندگان محاسبه کرده و سپس میانگین هندسی اعداد را بدست می آوریم. (جدول پیوست۱)

| ردیف | شرح فعالیت | زمان(روز) | | | میانگین زمان te | واریانس |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | زودترین | متوسط | دیرترین | | |
| ۱ | عقد قرارداد | ۱ | ۲ | ۴ | ۲ | ۰/۲۵ |
| ۲ | طراحی | ۲۸ | ۳۸ | ۵۸ | ۴۴ | ۰/۲۵ |
| ۳ | برآورد مواد | ۵ | ۸ | ۱۶ | ۷ | ۳/۳۶ |
| ۴ | تأمین مواد | ۱۱ | ۱۸ | ۲۸ | ۲۲ | ۸/۰۲ |
| ۵ | برنامه ریزی تولید | ۵ | ۸ | ۱۶ | ۷ | ۳/۳۶ |
| ۶ | تولید | ۹۳ | ۱۲۶ | ۱۵۰ | ۱۳۱ | ۹۰/۲۵ |
| ۷ | حمل و نصب | ۳۳ | ۴۶ | ۶۶ | ۴۵ | ۳۰/۲۵ |

جدول شماره (۲): واریانس هر یک از فعالیتهای زنجیره بحرانی

با توجه به مطالب ذکر شده و با در نظر گیری ۹۸٪ احتمال موفقیت پروژه، میزان بافر پروژه به صورت زیر بدست می آید (گام۵):

$$\delta_{\Sigma} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \delta_i^2} = \sqrt{.25 + 25 + 3.36 + 90.25 + 30.25} = 12.21$$

اندازه بافر پروژه = $\delta_{\Sigma} * 2 = 12.21 * 2 = 24.42 \approx 24$

جهت محاسبه اندازه بافر تغذیه، مطابق بافر پروژه عمل می کنیم:

با در نظر گیری ۹۸٪ احتمال موفقیت پروژه، میزان بافر تغذیه به صورت زیر بدست می آید:

$$\delta_{\Sigma} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \delta_i^2} = \sqrt{3.36 + 8.02} = 3.37$$

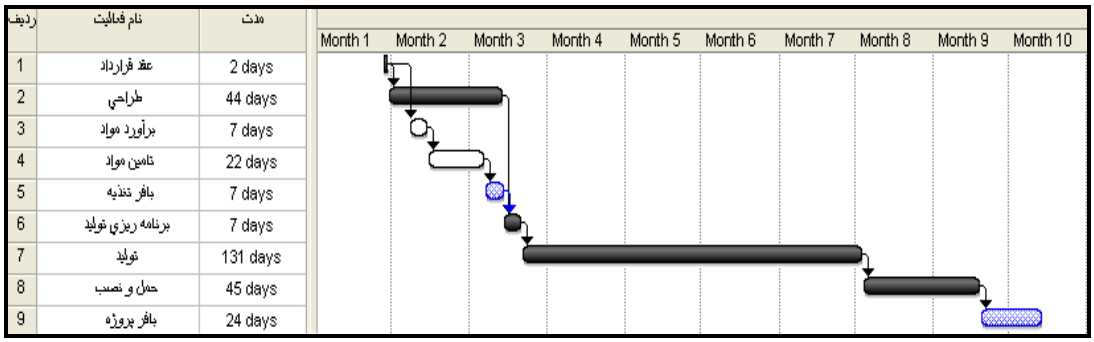
اندازه بافر تغذیه = $\delta_{\Sigma} * 2 = 3.37 * 2 = 6.74 \approx 7$

یادآوری: با توجه به آنچه گفته شد،در این روش زمان فعالیتها در برنامه زمان بندی نهایی همان زمانهای میانگین(te) هر فعالیت می باشد. جایگذاری بافرها در برنامه زمان بندی نهایی در شکل شماره (۷) شده است.

www.SID.ir

Archive of SID






شکل شماره (۷): برنامه زمانبندی نهایی به روش پیشنهادی

در پروژه مورد بررسی از مجموع ۷ فعالیت مشخص شده، ۵ فعالیت ( عقدقرارداد، طراحی، برنامه ریزی تولید، تولید و حمل و نصب) به عنوان فعالیتهای زنجیره بحرانی و ۲ فعالیت (تهیه لیست مواد مصرفی و تدارک مواد) به عنوان فعالیتهای زنجیره غیر بحرانی شناخته شدند. همچنین اندازه بافرهای پروژه و تغذیه به ترتیب : بر اساس روش بریدن و چسباندن برابر ۷۳ و ۱۱ روز، براساس روش ریشه مربع خطا برابر ۷۸ و۱۶ روز و در نهایت براساس روش پیشنهادی و با در نظر گرفتن ۹۸٪ اطمینان برابر ۲۳ و ۶ روز بدست آمد. در این دو روش به دلیل آنکه مقادیر بافر تغذیه از میزان شناوری بیشتر بود، اندازه بافر تغذیه از مقادیر ذکر شده به میزان شناوری یعنی ۷ روز تعدیل گردید. همچنین به دلیل عدم وجود تداخل و محدودیت در منابع، نیاز به استفاده از بافر منبع تشخیص داده نشد. نتایج حاصل مبین آنست که تعیین اندازه بافر به روش پیشنهادی در مقایسه با دو روش مذکور بافرهای کوچک تر و با محافظت کافی در برابر تأخیرها در زمان انجام پروژه ایجاد می کند. لازم به ذکر است روش پیشنهادی در پروژه هایی که طولانی بوده و در عین حال تعداد محدودی فعالیت دارند کارایی بیشتری دارد.

## ۴- منابع


1- Correia, F., A & Abreu, A. 2011. An Interview of Critical Chain Applied to Project Management. Roceedings of the 4th International Conference on MEQAPS.
2- Elmaghraby,S. E., Herroelen, W., S., & Leus, R. 2003. Note on the Paper Resource-Constrained Project Management Using Enhanced Theory of Constraints. Journal of Project Management. 21:4.301-305.
3- Fallah, M., Ashtiani, B., & Aryanezhad, M. 2010. Critical Chain Project Scheduling: Utilizing Uncertainty for Buffer Sizing. International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences.3:3.
4- Ghanimi, G. 2004. Critical Chain Scheduling and Buffer Management. Master Dissertation. Industrial Engineering Department, Sharif University. p:127.
5- Goldratt, E.M.1997. Critical Chain. North River Press, Massachusetts.
6- Herrolen, W.S., Leus, R. 2001.On the Merits and Pitfalls of Critical Chain Scheduling. Journal of Operation Management 19: 559-577.
7- Herrolen, W.S., Leus, R., 2004. Robust and Reactive project scheduling: A Review and Classification of Procedures. International Journal of Production Research. 42:8.1599-1620.
8- Herrolen, W.S., Leus, R., Demeulemeester, E.L. 2002. Critical Chain Project Scheduling- Do not Oversimplify. Project Management Journal. 33:4.46-60.
9- Leach, L.P. 2005. Critical Chain Project Management. Boston: Artech House.
10- Newbold, R. C.1998. Project Management in the Fast Lane: Applying the Theory of Constraints. New York: St. Lucie Press.


www.SID.ir

Archive of SID



11- Rand, G. K., 2000. Critical Chain: Theory of Constraints Applied to project Management. International Journal of Project Management. 18:3.173-177.
12- Tukel, O.I., Rom, W.O., & Eksioglu, S. D. 2004. An Investigation of Buffer Sizing Techniques in Critical Chain Scheduling. European Journal of Operational research.
13- Xiao-ping, & Yang Pan, Gao. 2011. A Quantitative Research of the Time Buffer of Critical Chain Project Management. International Conference on E-Business and E-Government (ICEE).

www.SID.ir

Archive of SID



**پیوست- جدول محاسبه زمان مورد انتظار فعالیت ها(te)**

| فعالیت | تصمیم گیرندگان | زمان(روز) | | | میزان وقوع زمانها | | | میزان وقوع* زمان | زمان مورد انتظار فعالیت (روز) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | زودترین | متوسط | دیرترین | زودترین | متوسط | دیرترین | | |
| عقد قرارداد | DM1 | ۱ | ۲ | ۵ | ۲ | ۵ | ۱ | ۲ | ۲ |
| | DM2 | ۱ | ۲ | ٤ | ۱ | ۵ | ۲ | ۲ | |
| | DM3 | ۱ | ۲ | ٤ | ۲ | ۵ | ۱ | ۲ | |
| | | ۱ | ۲ | ٤ | | | | | |
| طراحی | DM1 | ۲۵ | ۳۵ | ۵۲ | ۱ | ۵ | ۲ | ۳۸ | ۴۴ |
| | DM2 | ۳۰ | ٤۰ | ۷۰ | ۱ | ۵ | ۲ | ٤٦ | |
| | DM3 | ۳۰ | ۳۸ | ۵٤ | ۱ | ۲ | ۵ | ٤۷ | |
| | | ۲۸ | ۳۸ | ۵۸ | | | | | |
| برآورد مواد | DM1 | ۵ | ۸ | ۱۵ | ۵ | ۲ | ۱ | ۷ | ۷ |
| | DM2 | ٤ | ۸ | ۱۵ | ۲ | ۵ | ۱ | ۸ | |
| | DM3 | ۵ | ۹ | ۱۷ | ۵ | ۲ | ۱ | ۸ | |
| | | ۵ | ۸ | ۱٦ | | | | | |
| تامین مواد | DM1 | ۱۹ | ۱٦ | ۲۵ | ۱ | ۲ | ۵ | ۲۱ | ۲۲ |
| | DM2 | ۱۲ | ۱۷ | ۳۰ | ۱ | ۵ | ۲ | ۲۰ | |
| | DM3 | ۱۰ | ۲۰ | ۳۰ | ۱ | ۲ | ۵ | ۲۵ | |
| | | ۱۱ | ۱۸ | ۲۸ | | | | | |
| برنامه ریزی تولید | DM1 | ۵ | ۸ | ۱۵ | ۵ | ۲ | ۱ | ۷ | ۷ |
| | DM2 | ٦ | ۱۰ | ۱۸ | ۵ | ۲ | ۱ | ۹ | |
| | DM3 | ٤ | ۷ | ۱٤ | ۵ | ۲ | ۱ | ٦ | |
| | | ۵ | ۸ | ۱٦ | | | | | |
| تولید | DM1 | ۹۵ | ۱۲۵ | ۱۵۰ | ۱ | ۲ | ۵ | ۱۳۷ | ۱۳۱ |
| | DM2 | ۱۰۰ | ۱٤۰ | ۱٦۰ | ۱ | ۵ | ۲ | ۱٤۰ | |
| | DM3 | ۸۵ | ۱۱۵ | ۱٤۰ | ۱ | ۵ | ۲ | ۱۱۸ | |
| | | ۹۳ | ۱۲٦ | ۱۵۰ | | | | | |
| حمل و نصب | DM1 | ۳۰ | ٤۵ | ٦۵ | ۲ | ۵ | ۱ | ٤٤ | ٤۵ |
| | DM2 | ٤۰ | ۵۵ | ۷۵ | ۲ | ۵ | ۱ | ۵٤ | |
| | DM3 | ۳۰ | ٤۰ | ٦۰ | ۲ | ۵ | ۱ | ٤۰ | |
| | | ۳۳ | ٤٦ | ۶۶ | | | | | |

www.SID.ir