روشي جديد براي تعيين بافرتغذيه براي محيط هاي پروژه با ريسک بالا در روش زنجيره‌ی بحراني

فاطمه منصوريان[۱]، سيد حسين ايرانمنش[*۲]و محمد تابش[۳]

[۱] دانش آموخته‌ی MBA گروه مهندسي صنايع - پرديس دانشكده هاي فني - دانشگاه تهران
[۲] استاديار گروه مهندسي صنايع - پرديس دانشكده هاي فني - دانشگاه تهران
[۳] دانش آموخته‌ی گروه مهندسي صنايع - پرديس دانشكده هاي فني - دانشگاه تهران

(تاريخ دريافت۸۷/۲/۲۲ , تاريخ تصويب ۸۸/۷/۱۸)

چكيده

هدف اين تحقيق، ارائه‌ی روشي براي تعيين اندازه‌ی بافرهاي تغذيه در برنامه‌ريزي پروژه به روش زنجيره‌ی بحراني[۱] در محيط پر ريسک است. مشخصات پروژه و ريسک محيط در فرمول‌بندي روش به نحوي لحاظ شده است كه در محيط‌هاي كم‌ريسك، اندازه‌ی بافر كوچک‌تر و در محيط‌هاي پرريسک، اندازه‌ی بافر، بزرگ‌تر محاسبه شود و همواره ارتباط بين ميزان مصرف بافر تغذيه و مصرف بافر پروژه ناشي از كمبود بافر تغذيه، حفظ شود. اين روش با روش هاي موجود در ادبيات مديريت پروژه، مورد مقايسه قرار گرفته است. اين مقايسه به وسيله‌ی استفاده از شبيه سازي روي مجموعه‌ی داده‌ی "كوليش هارتمن"[۲] كه از پيچيدگي كافي (تنوع فعاليتها و ارتباطات و منابع در دسترس محدود) برخوردار است انجام شده است. نتايج، نشان مي دهد كه هدف فوق‌الذكر در مورد اندازه‌ی بافرها برآورده شده است. لذا همواره حفاظت كافي از زمان اتمام پروژه در مقابل تاخير ها انجام شده و در عين حال، كار در جريان ساخت كم‌تري خواهيم داشت.

واژه هاي كليدي: روش زنجيره‌ی بحراني، بافر تغذيه، ريسك پروژه، زمان‌بندي پروژه

مقدمه

"گلدرات"[۳] در كتاب خود در سال ۱۹۹۷، ايده‌ی مديريت پروژه به روش زنجيره بحراني را مطرح كرد[۱] اين روش كه در حقيقت از اشاعه‌ی تئوري محدوديت‌ها[۴] در مديريت پروژه به‌وجود آمد، در حوزه هاي عملياتي به عنوان ابزاري براي برنامه ريزي منابع در پروژه‌ها مورد توجه قرار گرفت[۲]. روش زنجيره‌ی بحراني دركتب مختلف ، مقالات و حتي بسته هاي نرم افزاري (پروجن[۳] و ملحقات ماكروسافت پراجكت [۴] و [۵]) به عنوان يک موضوع، مورد بحث قرار گرفته است [۶] [۷] [۸]. زنجيره‌ی بحراني بلندترين مسير در شبكه‌ی پروژه است كه هم شامل وابستگي فعاليت‌ها و هم محدوديت هاي منابع است[۹] . درك مفهوم زنجيره‌ی بحراني بسيار مهم است. در واقع مديريت زنجيره‌ی بحراني، پروژه برنامه ريزي، زمان‌بندي، اجرا، كنترل و حفاظت از زنجيره بحراني در طول حيات پروژه است.

گلدرات به منظور محافظت از زنجيره‌ی بحراني، مفهومي به نام بافر را ارائه داد كه در آن، تمامي زمان‌هاي احتياطي مرتبط با فعاليت‌هاي بحراني به انتهاي پروژه منتقل شده و زماني به عنوان بافر پروژه، در نظر گرفته مي شود. همچنين، علاوه بر بافر پروژه، بافرهاي تغذيه در هر زماني كه فعاليت هاي غير بحراني به زنجيره‌ی بحراني متصل مي شود، براي محافظت از زنجيرة بحراني در پروژه قرار مي گيرند.[۲] استفاده از بافر در برنامه زمان بندي پروژه با مديريت شناوري در پروژه ها متفاوت است[۱۰]. در واقع، بافرها به منظور انعكاس عدم اطمينان‌هاي موجود در تخمين زمان فعاليت‌ها، محاسبه مي شوند. انواع بافر عبارت‌اند از: بافر تغذيه، بافر پروژه و بافر منبع[۲]. كه در اين تحقيق به بررسي روش‌هاي محاسبه‌ی بافر تغذيه، پرداخته شده است.

اولين روش ارائه شده براي تعيين اندازة بافرها بعد از روش گلدرات ، روشي مبتني بر استفاده از مجموع مجذور خطا است، كه در نرم افزارهاي موجود براي زنجيره‌ی بحراني استفاده مي شود. . اين روش، تلاش مي‌كند تا با استفاده از ريسك ادغامي فعاليت‌ها، اندازه‌ی بافرها را تعيين كند اين روش در سال ۱۹۹۷ توسط موسسه‌ی توسعه‌ی محصول[۵][۱۳] ارائه شد. در سال ۱۹۹۸، نيوبلد[۶]

---

* نويسنده مسئول : تلفن : ۶۶۴۲۸۵۹۷ , فاكس : ۶۶۴۲۸۵۹۷ ، Email: hiranmanesh@gmail.com

[۶] روشي را براي تعيين اندازه‌ی بافر در زنجيره‌ی بحراني ارائه داد كه در اين روش براي اولين بار، از تابع توزيع لگ نرمال براي توصيف زمان يك فعاليت، استفاده شد.

چنانچه بيان شد عدم وجود روابط رياضي پويا در تعيين ميزان بافرها باعث تخصيص يك مقدار ثابت و يا استفاده از يك ضريب ثابت در تمامي پروژه‌ها مي شود كه با توجه به شرايط رقابتي موجود در محيط هاي پروژه‌اي باعث از دست رفتن موقعيت هاي تجاري مي‌شود. در اين تحقيق، تلاش مي شود كه اين نقص با ارائه‌ی روشي ابداعي بهبود يابد.

روش‌هاي محاسبه اندازه بافر

استفاده از بافرها يا بازه‌هاي زماني ايمن به عنوان یک راه‌حل موثر و مفيد، در كاهش ريسک زمان اتمام یک پروژه معرفي شد. در اين قسمت، به معرفي روش‌هاي موجود در محاسبه‌ی اندازه‌ی بافر مي پردازيم و مزايا و معايب آن‌ها را اجمالا مورد بررسي قرار مي دهيم.

روش برش و اتصال[۷] ([۲]،[۷]،[۱۲])

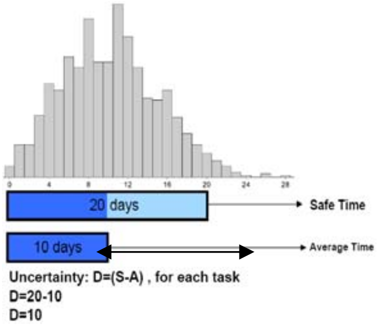
گلدرات در كتاب زنجيره‌ی بحراني خود، روش برش و اتصال را پيشنهاد كرده است. نحوه‌ی عملكرد اين روش تا حدودي از اسم آن نيز مشخص است. او پيشنهاد كرده است ۵۰ درصد از طول زنجيره‌ی بحراني به‌عنوان بافر پروژه و ۵۰ درصد از طول زنجيره‌هاي موازي به‌عنوان بافر تغذيه درنظر گرفته شود. بدين صورت كه با فرض مشخص بودن تخمين زمان مطمئن براي هر فعاليت، طول زنجيره‌ی بحراني و همچنين زنجيره هاي موازي به وسيله‌ی حاصل جمع ۵۰ درصد تخمين زمان مطمئن، محاسبه مي‌شود[۱۲]، [۶]. در واقع، شبكه‌ی فعاليت هاي پروژه به گونه‌اي تنظيم مي‌شود كه احتمال اتمام هر يك از فعاليت‌هاي پروژه در زمان درنظر گرفته شده براي هريك، ۵۰% باشد و اختلاف زماني بين زمان ۵۰٪ و زمان ۹۰٪ همه‌ی فعاليت‌ها را جمع نموده و نصف آن را به انتهاي زنجيره‌ی بحراني يا موازي، تحت عنوان بافر، اضافه مي‌نمايد [۱۲]. اولين قدم در اين روش، تخمين زمان مطمئن، براي هر یک از فعاليت‌هاي تشكيل دهنده‌ی یک پروژه است. يعني مدت زماني كه هر فعاليت، در طول آن مدت زمان با احتمال بسيار بالايي (۹۰%)، به پايان برسد.

اين روش نيز مانند بسياري از تكنيک‌هاي ديگر در كنار مزيت‌هاي خود، كاستي‌ها و مشكلاتي را نيز دارد. ايرادي كه به اين روش وارد است اين است كه مشخصات هر فعاليت و كلاً مشخصات پروژه و محيط آن در محاسبات وارد نشده، اندازه‌ی بافر، مستقل از اين عوامل بوده و محاسبات، صرفاً بر مبناي مدت زمان انجام فعاليت‌ها به صورت خطي است. اين موضوع نيز سبب مي شود در دو زنجيره‌ی موازي با طول يكسان در دو پروژه‌ی مختلف كه داراي شرايط مختلف هستند، اندازه‌ی بافر، يكسان محاسبه شود. بدين ترتيب، امكان دارد برنامه‌اي كه به اين صورت ايجاد مي‌گردد، غير قابل رقابت شده و ممكن است فرصت‌هاي كاري از دست برود.

به هر حال، با توجه به توضيحات فوق روش بريدن و اتصال، روشي است كه خيلي توصيه نمي‌شود؛ خصوصا در مورد پروژه هايي كه براي اولين بار اجرا مي‌شوند (مانند پروژه توسعه‌ی یک محصول جديد) و به نظر مي‌رسد براي محاسبه سایز بافرها روش دیگری مورد نیاز است که ايرادات روش تا حدودي در آن مرتفع شده باشد.

روش ریشه‌ی مربعات خطا[۸] ([۱۳]،[۱۴]،[۱۵])

روش ديگري كه براي محاسبه‌ی سايز بافرها وجود دارد، تكنيک "ريشه مربعات خطا" است. اين روش در سال ۱۹۹۸ توسط نيوبلد در كتاب خود [۶] ارائه شد. همان طور كه در شكل (۱) نشان داده شده است، در روش ريشه‌ی مربعات خطا، نياز به تخمين دو زمان مجزا براي هر فعاليت موجود در پروژه داريم. زمان مطمئن[۹] و زمان ميانگين[۱۰]. منظور از زمان مطمئن، زماني است كه مدت پروژه با احتمال زياد، كمتر از آن طول مي‌كشد[۱۲]، [۱۴].



شكل ۱ : روش ريشه‌ی مربعات خطا احتياج به دو زمان ميانگين و زمان مطمئنه دارد.

با در دست داشتن دو زمان فوق، اكنون به ادامه‌ی محاسبه‌ی سايز بافرها با اين روش، مي‌پردازيم. تفاوت بين

دو زمان مطمئنه، و زمان ميانگين، را پارامتري تشكيل مي‌دهد، بنام عدم قطعيت؛ كه آن‌را با علامت D نشان مي‌دهيم. عدم قطعيت در حقيقت بافرهايي است كه براي تضمين انجام آن فعاليت در پايان آن، به انتهاي زمان ميانگين هر فعاليت، افزوده مي‌شود.حال، مجذور مربعات عدم قطعيت‌هاي فعاليت‌هاي يک زنجيره، اندازه‌ی بافر آن زنجيره را تشكيل مي‌دهد[۱۲]، [۶]،[۷]:

$$Buffer\ Size=\sqrt{D_1^2+D_2^2+\ldots+D_n^2} \quad (۱)$$

$$D=10 \qquad for\ this\ example$$

$$Buffer\ Size=\sqrt{10_1^2+10_2^2+\ldots+10_n^2}=28.28$$

اکنون اين سوال مطرح مي شود که آيا روش ريشه مربعات خطا روش کاملي براي محاسبه‌ی بافرها است يا خير؟

روش ريشه‌ی مربعات خطا روش بهتري نسبت به روش بريدن و اتصال بوده و از سادگي لازم نيز برخوردار است؛ اما اين روش نيز داراي کاستي‌هايي است که از آن جمله مي‌توان به فرض استقلال ميان هر يک از فعاليت‌هاي يک زنجيره، در اين روش اشاره نمود و اين که از مشخصات هر فعاليت در تعيين سايز بافر استفاده نمي شود و صرفا تخمين بر اساس مدت زمان انجام هر فعاليت است. از مزيت‌هاي اين روش نيز مي توان به موارد زير اشاره نمود: در اين روش، ديگر مديريت براساس فشارهاي وارده روي پروژه يا تصميمات مستبدانه و يا ساير موارد مشابه، از مدت زمان يک فعاليت نمي‌کاهد؛ چون اساساً زمان‌هاي در نظر گرفته شده در برنامه‌ی زمانبندي، زمان هاي ميانگين هستند و زمان کمتر از اين زمان، مسلما ريسک بالايي را وارد برنامه‌ی زمانبندي خواهد کرد.

روش هاي سازگار (تطبيقي) تعيين اندازه بافر[۱۱][۱۲]

يك فرضيه‌ی عمومي كه پشت همه‌ی روش‌هاي تعيين اندازه بافر است، اين است كه ۵۰٪ زمان تخمين زده شده به عنوان زمان مطمئن، به نوسانات مدت زمان تكميل فعاليت مربوط مي‌شود. همان‌طور كه توسط گلدرات نيز بحث شده است، با توجه به اين‌كه توزيع مدت زمان انجام فعاليت‌ها يک توزيع چوله به راست است، لزوما زمان ۵۰٪ کل نوسانات را نشان نمي‌دهد. درواقع در اكثر موارد، مدت زمان واقعي، بيشتر از مقدار پيش‌بيني شده است و مثال‌هاي كمي وجود دارد كه نشان دهد، مدت واقعي فعاليت‌ها کم‌تر از مقدار پيش‌بيني شده، باشد. بنابراين، همين مسئله مي‌تواند يک خط‌مشي، در تعيين اندازه‌ی بافر باشد.

به‌علاوه، وقتي کل منبع مورد نياز، نزديک يا تقريبا برابر مقدار دردسترس است، اين احتمال وجود دارد که "تاخير" اتفاق بيفتد، بنابراين، بايد بافر با اندازه‌ی بزرگ‌تري در اين موارد وجود داشته باشد، تا بتواند اين تاخيرها را خنثي کرده و در خود، جذب کند. بطور مشابه هرچه تعداد فعاليت‌هاي روي يک زنجيره، افزايش يابد، احتمال به‌وجود آمدن تاخير، بيش‌تر مي‌شود. در اين حالت، فعاليت‌ها به‌هم پيوسته هستند و تاخير در تکميل يک فعاليت، روي همه‌ی فعاليت‌هاي مابعد تاثير مي‌گذارد. بنابراين هرچه تعداد فعاليت هاي به‌هم‌پيوسته و زنجيروار، بيش‌تر شود، اندازه‌ی بافر تعيين شده براي اين زنجيره نيز، بايد افزايش مي‌يابد.

روش‌هاي تعيين اندازه‌ی بافر که در اين قسمت معرفي مي‌شوند، مسائل ذکر شده در بالا را مدنظر قرار داده اند. اين روش‌ها، روش‌هاي سازگار شده با شرايط و مشخصات پروژه هستند که مشخصات پروژه و سطح عدم قطعيت را در تعيين اندازه‌ی بافر درنظر مي‌گيرند.

دو دليل ذکر شده در بالا، دو روش ارائه شده در ادامه را توضيح مي‌دهند. محدوديت منابع، توسط فاکتور RF محاسبه مي‌شود که نسبتي از کل منابع مورد نياز، به کل منابع در دسترس براي هر منبه، تعريف شده است. پيچيدگي شبکه نيز به‌وسيله نسبت کل فعاليت‌هاي به‌هم پيوسته به کل فعاليت ها، محاسبه مي‌شود.

الف: روش سازگار با محدوديت منابع

آقاي تاكل و همكاران، در مقاله‌ی خود كه در سال ۲۰۰۶ به چاپ رسيده است، تلاش كرده اند، دو روش قبلي را بهبود ببخشند[۱۲]. پيچيدگي شبكه و وضعيت منابع، دو عاملي بوده‌اند كه در تعيين اندازه‌ی بافر، مورد توجه قرار داده و روش هاي سازگار(تطبيقي) را ارائه نموده اند. يكي از اين روش‌ها، روش سازگار با محدوديت منابع است كه توسط آقاي تاكل و همكارانش، به صورت زير ارائه شده است[۱۲]:

فرض كنيم كه r(i,q) مقدار مورد نياز از منبع q براي فعاليت iام باشد و d_i مدت زمان انجام فعاليت iام و Rav(q) مقدار دردسترس از منبع q هستند. T طول زمان

زنجيره‌ی بحراني، VAR_i واريانس فعاليت iام باشد. سپس براي هر زنجيره‌ی تغذيه[۱۲] خواهيم داشت. منظور از زنجيره تغذيه، بخشي از شبکه است که به زنجيره‌ی بحراني متصل شده و اين زنجيره را تغذيه مي کند.

$$RF(q) = \left(\sum_i r(i,q)\times d_i\right)/T\times Rav(q) \qquad (۲)$$

$$r' = \max_q\{RF(q)\}$$

$$K = 1 + r'$$

$$SUM = 0$$

براي هر فعاليت i روي بلندترين زنجيره اي که به زنجيره‌ی بحراني وصل مي شود، فرآيند زير را انجام دهيد:

$$SUM = SUM + VAR_i \qquad (۳)$$

$$Buffer = K\times\sqrt{SUM} \qquad (۴)$$

در حقيقت فاکتور منبع ، ميزان منبع تخصيص يافته به ميزان منبع در اختيار خواهد بود که در تعيين اندازه‌ی بافر مورد توجه قرار گرفته است.

ب: روش سازگار با محدوديت منابع

روش ديگر، روش سازگار با چگالي شبکه[۱۳] [۱۲] است که در اين روش، ضريب K به گونه‌اي تعريف مي‌شود که هرچه تعداد و نيز ارتباطات فعاليت‌هاي روي زنجيره‌ی تغذيه بيش‌تر شود، ضريب K و در نهايت ميزان بافر، افزايش خواهد يافت.

TOTPRE: مجموع لينک‌هايي که روي زنجيره‌ی موازي قرار دارند (ارتباطات تقدمي)

NUMTASK: مجموع کل فعاليت‌هايي که روي زير شبکه‌ی موازي قرار دارد.

$$K = 1 + (TOTPRE/NUMTASK) \qquad (۵)$$

$$SUM = 0$$

براي هر فعاليت i روي بلندترين زنجيره‌اي که به زنجيره‌ی بحراني وصل مي‌شود، فرآيند زير را انجام دهيد:

$$SUM = SUM + VAR_i \qquad (۶)$$

$$Buffer = K\times\sqrt{SUM} \qquad (۷)$$

مقدار VARi ، مقداري است که با توجه به ميزان عدم قطعيت و توزيع مدت زمان انجام فعاليت‌ها مشخص مي‌شود. در واقع، K به اين جهت استفاده شده است که مشخصات پروژه در تعيين اندازه‌ی بافر، نقش داشته باشد. تاکل و همکارانش با انجام يک شبيه سازي روي مجموعه داده‌ی پترسون،[۱۴] [۱۶] کارآيي روش‌هاي تطبيقي را مورد آزمون قرار دادند. روش‌هاي سازگار (تطبيقي) تعيين اندازه‌ی بافر، مشخصات پروژه اعم از پيچيدگي روابط بين فعاليت ها، تعداد فعاليت ها، تعداد منابع مورد استفاده و ميزان عدم قطعيت را در نظر گرفته اند؛ اما در ادامه، بحث مي شود که کارآيي اين روش با افزايش تعداد فعاليت‌ها کاهش مي يابد. .

روش تعيين اندازه‌ی بافر متناسب با ريسک، ريخت شناسي و منبع[۱۵]

بافري که در انتهاي هر زنجيره‌ی تغذيه کننده قرار مي‌گيرد، بايد عوامل زير را به نحو مناسبي پوشش دهد:

۱- ميزان تاخيري را که در هر فعاليت ممکن است رخ بدهد را لحاظ کند.

۲- متاثر از ريسک محيط پروژه باشد.

۳- متناسب با مدت زمان انجام فعاليت باشد.

۴- ريخت شناسي[۱۶] شبکه را در نظر بگيرد.

در اين‌جا روشي ارائه مي کنيم که تا حد قابل قبولي نکات فوق را در نظر گرفته است.

$$M_i = \frac{|j|-1}{k}\times\sum_i \frac{\sigma_i}{|j|} \qquad (۸)$$

$$RF(q) = \left(\sum_i r(i,q)\times d_i\right)/T\times Rav(q) \qquad (۹)$$

براي هر منبع از نوع q ;

$$r' = \max_q\{RF(q)\} \qquad (۱۰)$$

$$A = 1 + r' \qquad (۱۱)$$

$$del_i = \sigma_i \qquad (۱۲)$$

$$Buffersize = M_i + \left(A\times\sum_i del_i\right) \qquad (۱۳)$$

M_i عاملي است که ريخت‌شناسي شبکه را در محاسبات اندازه‌ی بافر، وارد مي‌کند. انديس j بيانگر فعاليت‌هاي پيش نياز هر فعاليت با شماره i است. | j | تعداد پيش نيازهاي هر فعاليت و k به صورت زير تعريف مي شود:

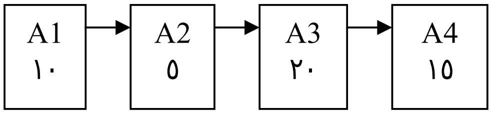
$$K = \max_i\{|j|\} \qquad (۱۴)$$

$$i = 1,2,\ldots,n$$

d_i مدت زمان انجام هر فعاليت است که عموما در ادبيات CCM فرض شده است که از تابع توزيع لگ نرمال پيروي مي‌کند. دليل اين موضوع، آن است که معمولا زمان فعاليت‌ها مي تواند تا سه تا چهار برابر زمان ميانگين افزايش يابد. لذا مي توان فرض کرد که شکل تابع توزيع،

جوله به راست خواهد بود. مراجع [۶] و [۷] توجيهات كافي براي فرض لگ نرمال بودن زمان فعاليت ها ارائه نموده اند. ساير عوامل موجود در عامل وابستگي به منبع، در قبل معرفي شده بود.

σ_i بيانگر انحراف داده ها از ميانگين است و ارتباط مستقيم با ريسک هر پروژه دارد. جهت توجيه حسي فرمول فوق، جهت پوشش چهار عامل فوق الذكر به توضيحات زير مي توان رجوع كرد. اگر چه خواننده‌ی محترم مي تواند بدون آن كه به كليت بحث، خللي وارد شود در به قسمت بعد (۳) كه بررسي اعتبار فرمول فوق در مقايسه با روش‌هاي موجود در ادبيات پرداخته است، رجوع كند. زنجيره‌ی تغذيه پروژه P1 به صورت شكل (۲)را در نظر بگيريد.



شکل۲ : زنجیره‌ی تغذیه‌ی پروژه P1 .

مدت زمان انجام فعاليت A1 ، ۱۰ روز كه از منبع الف به ميزان ٤ روز استفاده مي كند. (ميزان در دسترس بودن منبع الف، ۱۲ روز است.)، A2، ۵ روز كه از منبع ب به ميزان ۵ روز استفاده مي كند. (ميزان در دسترس بودن منبع ب ۱۰ روز است.)، A3 ، ۲۰ روز كه از منبع ج به ميزان ۸ روز استفاده مي كند. (ميزان در دسترس بودن منبع ج ۱۱ روز است.) و A4، ۱۵ روز كه از منبع الف به ميزان ٦ روز استفاده مي كند. زمان‌هاي ارائه شده، در حالت تخمين متوسط[۱۷] است. تاخيرهاي احتمالي هر فعاليت را مي توان معادل يك انحراف معيار در تابع لگ نرمال فرض كرد و در اندازه‌ی بافر قرار داد. خواص تابع لگ نرمال در ادامه در مبحث شبيه سازي ارائه شده است. با فاصله گرفتن يک σ از ميانه به سمت راست، بخش قابل توجهي از داده‌هايي كه در اثر ايجاد تاخير در زمان پروژه ممكن است رخ دهند را پوشش مي دهند. لذا، رابطه‌ی زير مي تواند نقش پوشش تاخير فعاليت‌ها را ايفا نمايد:

$$del_i = \sigma_i \tag{۱۵}$$

$$BUFFER\ SIZE = \textstyle\sum_j del_i \tag{۱۶}$$

منابع در به تاخير افتادن فعاليت ها نقش مهمي را ايفا مي كنند. به خصوص در محيط هايي كه منابع كافي در دسترس نيست و يا در پروژه‌هايي كه ميزان منابع مورد استفاده، نزديك به ميزان منابع در دسترس باشد، در اين محيط ها بايد عامل وابستگي به منبع نيز در كنار ساير عوامل در محاسبات مربوط به تعيين سايز بافر تغذيه، لحاظ شود. در اين‌جا عامل وابستگي به منبع كه در روش سازگار با وابستگي منبع، از آن استفاده شده است[۱۲]، در محاسبه‌ی سايز بافر، داخل شده است. كه به صورت ضريبي در فرمول، اعمال شده است. بنابراين:

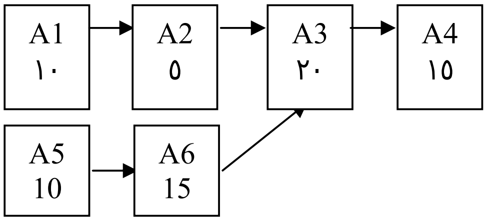
$$RF(q) = \left(\textstyle\sum_i r(i,q) \times d_i\right) / T \times Rav(q) \tag{۱۷}$$

$$r' = \max_q \{RF(q)\} \tag{۱۸}$$

$$A = 1 + r' \tag{۱۹}$$

$$BUFFER\ SIZE = (A * \textstyle\sum_j del_i) \tag{۲۰}$$

سوال ديگري كه پيش مي آيد، آن است كه شبكه هاي با پيچيدگي هاي متفاوت چگونه در اندازه‌ی بافر، بايد لحاظ شوند. در ادامه، به بررسي اين موضوع مي پردازيم. زنجيره‌ی موازي پروژه P2 به صورت شكل (۳) را در نظر بگيريد:



شکل ۳ : زنجیره‌ی موازي پروژه P2.

فعاليت هاي A1 تا A4 مشابه پروژه P1 هستند و فعاليت A5 داراي مدت زمان متوسط ۱۰ روز و فعاليت A6 داراي مدت زمان متوسط ۱۵ روز است.

بديهي است كه ميزان تاخير در فعاليت A3 در پروژه‌ی P2 بيش‌تر از ميزان تاخير در فعاليت A3 در پروژه P1 است؛ چرا كه تاخير در نظر گرفته شده در حالت قبلي براي فعاليت A3 در دو مسير، قابل مصرف است (نه فقط در يک مسير مثل پروژه P1). لذا، لازم است براي فعاليت A3، ميزان تاخير بزرگ‌تري ناشي از وجود پيش نياز هاي آن لحاظ شود. براي حل اين مسئله، عبارت M_i كه ارائه‌كننده‌ی ميزان تاخير هر فعاليت ناشي از پيش نيازهاي آن است و يا به طور خلاصه عاملي است كه ريخت شناسي شبكه را در محاسبات اندازه‌ی بافر وارد مي‌كند، را به فرمول اضافه مي نماييم:

$$M_i = \frac{|j|-1}{k} \times \sum_i \frac{\sigma_i}{|j|}$$ (۲۱)

$$Buffersize = M_i + \left(A \times \sum_i del_i\right)$$ (۲۲)

مقايسه‌ی روش‌هاي تعيين اندازه‌ی بافر، با استفاده از شبيه سازي

جهت آزمايش روش‌هاي بررسي عملكرد روش‌هاي تعيين بافر، از روش شبيه‌سازي، با استفاده از مجموعه داده‌هاي كوليش هارتمن، استفاده شده است [۱۷] و [۱۸]. اين مجموعه، شامل ۴۶۰ پروژه است كه تعداد فعاليت‌هاي آن‌ها ۹۰ نوع فعاليت بوده و حداكثر 4 نوع منبع در آنها استفاده شده است. اين مجموعه شامل مسير بحراني برنامه‌ريزي منابع شدني و زودترين زمان شروع و خاتمه فعاليت‌ها است. در زمانبندي مسائل مجموعه داده‌هاي كوليش هارتمن، مدت زمان انجام هر یک از فعاليت‌ها ثابت فرض شده است. اطلاعات بيش‌تر راجع به اين داده ها در پيوست "الف" آمده است.

جهت اين كه معلوم شود در كدام مكان‌ها بايد از بافر تغذيه استفاده شود، ابتدا بايد زنجيره‌ی بحراني، مشخص شود. از زودترين زمان ارائه شده جهت تعيين ديرترين زمان شروع و خاتمه‌ی هر یک از فعاليت‌ها استفاده مي‌شود. اين كار با انتقال فعاليت‌ها به سمت جلو تا جايي كه شدني بودن منابع و پيش‌نيازي‌ها را به هم نزند، انجام مي‌شود. بدين ترتيب، مجموعه فعاليت هايي كه بلندترين مقدار رشته‌هاي زماني شدني را در شبكه مي‌سازند، زنجيره‌ی بحراني را خواهند ساخت. سپس زنجيره‌هاي موازي شناسايي مي‌شوند و بافرهاي تغذيه به هریک از آنها اضافه خواهد شد. اين كار، باعث مي‌شود كه تاخير ايجاد شده در زمان برنامه‌ريزي شده براي شروع هر فعاليت روي زنجيره‌ی موازي، توسط بافر تغذيه جبران شود. بعد از اين كه همه بافرهاي تغذيه به انتهاي زنجيره‌هاي موازي اضافه شدند، زنجيره بحراني، ثابت فرض مي شود. در مراجع [۶] و [۷] از تابع توزيع لگ نرمال به عنوان تابعي مناسب جهت توصيف مدت زمان انجام يك فعاليت، نام برده شده است. تابع توزيع لگ نرمال از تابع توزيع نرمال مشتق شده است . به طوري‌كه اگر $Y \sim N(\mu,\sigma)$ باشد، در اين صورت $X = \exp(Y)$ داراي تابع توزيع لگ نرمال با پارامترهاي σ^2 و μ است كه به ترتيب، "پارامتر مقياس" و "پارامتر شكل" ناميده مي شوند. ولي اين مقادير، بيانگر ميانگين و واريانس تابع توزيع نيستند؛ بلكه ميانگين و واريانس، خود تابعي از σ^2 و μ به صورت زير هستند[۱۹]:

$$E(x) = e^{\mu+\frac{1}{2}\sigma^2}$$ (۲۳)

$$Var(x) = e^{2\mu+\sigma^2}\,(e^{\sigma^2} - 1)$$ (۲۴)

$$Median(x) = e^{\mu}$$ (۲۵)

$$Mode(x) = e^{\mu-\sigma^2}$$ (۲۶)

با فرض استفاده از تابع توزيع لگ نرمال براي مدل سازي زمان انجام هر يك از فعاليت ها، مهمترين مسئله در ابتدا تعيين پارامترهاي مرتبط با آن تابع توزيع است. در نتيجه، در ابتدا بايد پارامترهاي مرتبط با تابع توزيع لگ نرمال (σ^2 و μ) متناسب با خصوصيات ذاتي هر يك از فعاليت‌هاي پروژه، تعيين شوند.

تعيين μ

در روش زنجيرة بحراني از ۵۰% زمان تخمين زده شده به عنوان زمان تخمين مطمئن فعاليت‌ها استفاده مي‌كنيم و يا به بيان ديگر ، احتمال اتمام هر يك از فعاليت‌ها در زمان در نظر گرفته شده %۵۰ خواهد بود. اين در حالي است كه در مباحث آماري، مقداري از X را كه به ازاء آن، رابطة زير:

$$P(X_i >x) = P (X_i < x) = 0.5$$ (۲۷)

برقرار باشد به عنوان ميانه تابع توزيع شناخته مي شود. در نتيجه با فرض داشتن زمان ميانه‌ی هر يك از فعاليت‌ها طبق رابطه‌ی زير، مي توان مقدار μ را تعيين كرد :

$$Median(x) = \exp(\mu)$$ (۲۸)

$$\mu = \ln(Median(x))$$ (۲۹)

تعيين σ

حال مي خواهيم مقادير σ را با توجه به ميزان ريسك فعاليت‌ها تعيين كنيم. بر اساس مطالب بيان شده، محدوده اي از σ مي تواند مورد استفاده قرار بگيرد كه به ازاء آن شكل تابع توزيع، متناسب با مشخصات متغير مورد نظر باشد. تابع توزيع لگ نرمال داراي چولگي سمت راست است. در تابع توزيع لگ نرمال σ "پارامتر شكل" است كه دليل اين نام گذاري ، تاثير پذيري مستقيم شكل تابع توزيع از پارامتر فوق است.

متغير مورد نظر ما زمان انجام يك فعاليت است كه شكل متناسب براي اين متغير، حالت زنگي متقارن يا نا متقارن خواهد بود. در نتيجه با توجه به اين نكته كه شكل تابع توزيع لگ نرمال به ازاء $\sigma>1$ به شكل تابع توزيع نمائي تبديل مي شود ، مي توان محدودة $0 < \sigma < 1$ را به عنوان دامنة قابل قبول براي پارامتر شكل در نظر گرفت.

اما نكته‌ی قابل توجه اين است كه به طور خاص در محيط‌هاي پروژه اي، احتمال اتمام يك فعاليت در مدت زماني معادل با دو برابرزمان ميانه ، بايد مقداري قابل قبول باشد و يا به عبارت ديگر، مدت زمان انجام يك فعاليت با احتمال قابل قبولي بايد كم‌تر از دو برابر زمان ميانه باشد؛ اين در حالي است كه در فاصلة تعريفي براي σ با اينكه شكل تابع توزيع به صورت دلخواه خواهد بود ولي به ازاء مقادير $\sigma>0.5$ ، احتمال اتمام فعاليت با پارامترهاي $\mu = \text{Ln}[\text{Median}(X)]$ و $\sigma>0.5$ در بازة زماني $0 < T_i < 2$ Median مقداري قابل ق

122.1

جدول (۱) مقادير احتمال (Median :

فرض مقادير مختلف براي σ نشان مي د

122.2

جدول ۱: مقادير (2 Median>

P(X >2 Median)	P(X <2 Median)	σ
۰.۱۲	۰.۸۸	۰.۶
۰.۱۶	۰.۸۴	۰.۷
۰.۱۹	۰.۸۱	۰.۸
۰.۲۲	۰.۷۸	۰.۹
۰.۲۴	۰.۷۶	۱

چنان كه ملاحظه مي شود براي $\sigma> 0/5$ ديگر احتمال اين كه زمان تخمين مطمئن كه دو برابر ميانه است، ۹۰% باشد نيست و كم‌تر از اين مقدار خواهد بود. لذا در نظر گرفتن σ بزرگتر از ۰.۵ فرضيات موضوع و كلا صورت مسئله را دچار اشكال مي كند. منطقي خواهد بود كه مقادير احتمال به‌دست آمده، مستقل از مقدار μ باشد به طوري‌كه براي مقادير مختلف μ حاصل عبارت P(X <2 Median) با فرض σ دلخواه مقدار ثابتي خواهد بود. در نتيجه، براي برقراري ارتباط مناسب‌تر ميان ريسك و پارامتر دوم ، محدودة جديد σ را به صورت زير، تعريف مي كنيم:

$$0 < \sigma_i < 0.5$$

مشخص است كه در اين حالت با تبديل بازه‌ی نهائي به بازه اي از اعداد گسسته، مقادير مختلف σ را با توجه به ريسك هر يك از فعاليت‌ها تعيين مي كنيم.

پياده سازي (اجراي مجازي) پروژه در برنامه‌ی شبيه سازي، به‌وسيله‌ی روش برنامه نويسي وي بي اي[۱۸] در محيط ماكروسافت پراجكت ۲۰۰۷ [۱۹] با استفاده از شبيه سازي هر فعاليت با تابع توزيع لگ نرمال با استفاده از متد باكس مولر انجام شده است. در روش باكس مولر، طي ٤ مرحله به توليد عدد تصافي مطابق با توزيع لگ نرمال بر مبناي توزيع نرمال مي‌پردازد كه به شرح ذيل مي‌باشد[۲۰]:

گام اول: فرض مي‌كنيم كه تابع توزيع مورد نظر، داراي ميانگين و انحراف معيار از یک جمعیت هستند. از معادلات زير، براي تعيين ميانگين و انحراف معيار استفاده مي‌نماييم:

$$stdev_{\mathbf{log}} \qquad \sqrt{\mathbf{log}\left(1+\left(\frac{stdev}{mean}\right)^2\right)} \qquad (۳۰)$$

$$mean_{\mathbf{log}} \qquad \mathbf{log}(mean)-\frac{1}{2}\times\mathbf{log}\left(1+\left(\frac{stdev}{mean}\right)^2\right) \qquad (۳۱)$$

گام دوم: با استفاده از فرمول زير، عدد تصادفي بر مبناي توزيع نرمال استاندارد توليد مي‌نماييم:

$$r1=Sqr(-2 * Log(rnd())) * Sin(2 * PI *rnd()) \qquad (۳۲)$$

گام سوم: عدد تصافي را به فضاي لگ نرمال مي‌بريم:

$$r1=mean_{log}+r1*stdev_{log} \qquad (۳۳)$$

گام چهارم: براي محاسبه‌ی عدد، بر مبناي تابع توزيع لگ نرمال، عدد نمايي r1 را محاسبه مي‌نماييم:

$$r1=exp(r1) \qquad (۳۴)$$

محيط آزمايش

از ميان ۴۶۰ پروژه‌ی موجود در مجموعه‌ی داده كوليش هارتمن، ۱۰۰ پروژه به صورت تصادفي از بين گزينه هاي متنوع موجود، انتخاب شده و با برنامه نويسي به محيط ماكروسافت پراجكت ۲۰۰۷ برده شده است و ضمناً، پس از انتقال با استفاده از برنامه نويسي و استفاده از قابليت‌هاي نرم افزار ماكروسافت پراجكت تمامي فعاليت‌ها به صورت ديرترين زمان شروع،[۲۰] برنامه ريزي شده و تسطيح منابع نيز انجام شده است. سپس از نرم‌افزار سي‌سي‌پي‌ام پلاس[۲۱] براي تشخيص زنجيره‌ی بحراني

مورد استفاده قرار گرفته است. در ادامه با برنامه نويسي به زبان وي بي اي[۲۲] ، روشهاي مختلف تعيين سايز بافر، كد نويسي شده اند و اندازه‌ی بافر براي هر پروژه، مشخص گرديده است و به عنوان زمانبندي برنامه ريزي شده، مبناي انجام محاسبات شبيه سازي قرار گرفته است. سپس هر كدام از اين ۱۰۰ مسئله، ۱۰۰ بار به روش باكس مولر[۲۳] [۲۰] شبيه سازي شده اند و ميانگين مقادير مختلفي كه نمايشگر عملكرد پروژه هستند، ثبت گرديده است.فرض شده است كه ۱۰۰ تكرار براي هر پروژه كافي است. با توجه به اين كه ۱۰۰ تكرار براي هر پروژه و هر پروژه در ۳ سطح مختلف از σ و ۴ روش مختلف بافر دهي، بررسي گرديده است، مجموعا ۱۲۰۰۰۰ پروژه، توليد گرديده است و نتايج زير، حاصل آن مي‌باشد.

تعريف شاخص‌هاي نمايشگر ميزان كارآيي روش‌هاي تعيين اندازه‌ی بافر

متوسط اندازه‌ی بافرتغذيه : اين شاخص از حاصل تقسيم مجموع اندازه‌ی بافر هاي تعيين شده، بر تعداد بافرها، به‌دست مي آيد. نسبت بافر تغذيه مصرف شده : اين شاخص ازحاصل تقسيم مجموع بافر مصرف شده به مجموع بافرتعيين شده براي هر پروژه، به‌دست مي‌آيد.

ميزان نقض برنامه‌ی زمانبندي شده: ميزان نقض برنامه‌ی زمانبندي شده از تقسيم حاصل‌جمع فزوني بافرهاي تغذيه تمام شده كه سبب به تاخير افتادن برنامه زمانبندي زنجيره‌ی بحراني مي شود در هر روش بر بافر پروژه، به‌دست مي آيد كه در σ هاي مختلف، محاسبه شده است. بافر پروژه از روش برش و اتصال، مقداردهي شده است.

نسبت تعداد دفعات مصرف ۱۰۰% بافر پروژه: از تقسيم تعداد دفعاتي كه بافر پروژه در اثر اتمام بافر تغذيه مصرف شده به تعداد كل اجراي شبيه سازي روي هر روش، اين نسبت به‌دست مي‌آيد.

ذكر اين نكته ضروري است كه هر چه متوسط اندازه‌ی بافر، كم‌تر و در عين حال بافر مصرف شده (نسبت و يا ميزان آن) بيش‌تر و ضمنا مصرف بافر پروژه، كم‌تر باشد، روش مطلوبيت بالاتري خواهد داشت. زيرا نشان‌دهنده كارآيي بالاتر بافرگذاري در شبكه خواهد بود. واضح است كه مصرف شدن بافر تغذيه به معناي كار در جريان ساخت كم‌تر و در نتيجه، بهبود عملكرد سيستم است.

نتايج آزمون

با اجـراي شـبيه سـازي بـه روش لـگ نرمـال تعـداد ۱۲۰۰۰۰ اجرا در مجموع پروژه ها ثبت شده و نسبت‌هاي فوق، محاسبه گرديد. با بررسي آماري نتايج ميـانگين هـر نسبت در هر روش، محاسبه شـد تـا مقايسـه، بـه صـورت آسان‌تر ميان روش ها قابل انجام باشد.

نتايج محاسبات در جداول (۲) تا (۴) براي σ هاي ۰.۳، ۰.۴ و ۰.۵ خلاصه شده اند. در هر جدول، نتايج محاسبات روش هاي گوناگون، ارائه شده است.

در ستون دوم جدول (۲) متوسط سايز بافر روش سازگار با محدوديت منابع از ساير روش‌ها كم‌تر است، يعني سبب كاهش كار در جريان ساخت مي‌شود ولي با مراجعه به ستون بعدي مشاهده مي‌شود كه ميزان نقض برنامه‌ی زمانبندي شده در اين روش، ٤٥.٨٩% است كه عدد بزرگي است. يعني اين ميزان بافر از مقدار لازم بافر كوچك‌تر است و سبب تهديد زنجيره‌ی بحراني مي شود. لذا اين روش، كارآيي لازم را ندارد . روش سازگار با چگالي شبكه نيز چون اندازه بافر كوچك‌تر از اين روش را محاسبه مي كرد، لذا به دليل عدم كارآيي لازم، مورد مقايسه با ساير روش‌ها قرار نگرفت. به نظر مي‌رسد ميزان نقض برنامه‌ی زمانبندي شده به ميزان ۲۰% ، معيار مناسبي براي كارآيي يک روش است. چرا كه اين ميزان خطا به چند علت، در شبيه سازي اتفاق مي افتد. نخست آن‌كه براي ممكن ساختن شبيه سازي و گذر از برخي محدوديت‌ها بعضي فرضيات در برنامه نويسي لحاظ مي‌شود و ديگر آن‌كه پراكندگي زمان واقعي انجام فعاليت‌ها در عمل به اندازه‌ی شبيه سازي نيست؛ و همين نكته باعث شده است روش‌هاي برش و اتصال و ريشه مربعات خطا كه داراي تخمين بيش‌تر از واقعيت هستند نيز، در شبيه سازي داراي نقض برنامه‌ی زمانبندي شده باشند.

جدول ۲ : نتايج شبيه سازي روشها براي σ=۰.۳ .

نسبت تعداد دفعات نقض برنامه زمانبندي شده	ميزان نقض برنامه زمانبندي شده	ميزان مصرف بافر	متوسط سايز بافر	نام روش
۳۸.٦	۷.۰۷	۳۹.۸٤	۱۱.٤٤	RM^2
۲۲	۱.۰۹	۲۸.۹۱	۰٤.۰٦	C&P
۲٥.٤	۰.۷٦	۲۸.۳۸	۱۳.۰۷	RSEM
٤۸.۹	٤٥.۸۹	۸۲.٦۲	٤.٥٤	APRT

متوسط اندازه‌ی بافر در روش تعيين اندازه‌ی بافر، متناسب با ريسک، ريخت شناسي و منبع از روش هاي

برش و اتصال و ريشه‌ی مربعات خطا کم‌تر است (۱۱.۴۴) که سبب شده است ميزان مصرف بافر بالاتري داشته باشد که با هدف زنجيره‌ی بحراني يعني کاهش کار در جريان ساخت، در يک راستا است؛ ضمن اين‌که با مراجعه به ستون سوم، مشاهده مي شود که ميزان نقض برنامه‌ی زمانبندي شده نيز، قابل قبول است (کمتر از ۲۰%)که اين، برتري روش نسبت به ساير روش‌ها در اين محيط را نشان مي دهد. البته به نظر مي رسد با توجه به ويژگي محيط کم ريسک و عدم به تعويق افتادن طولاني فعاليت‌ها روش ديگري که باز هم اندازه‌ی بافر را در اين محيط کوچک‌تر تخمين بزند، مورد تحقيق و پژوهش قرار گيرد. اعداد موجود در نسبت تعداد دفعات نقض برنامه‌ی زمانبندي شده به هم نزديک هستند و قضاوت خاصي را در اختيار قرار نمي‌دهند.

در جدول (۳) که نتايج شبيه سازي براي σ =0.4 را نشان مي دهد، مشاهده مي شود که متوسط سايز بافر روش روش سازگار با محدوديت منابع مطابق قبل از ساير روش ها کوچک‌تر است وليکن ميزان نقض برنامه‌ی زمان‌بندي شده در اين روش، خيلي زياد است (۷٦.۷%). لذا اين روش، کارآيي لازم را ندارد. ساير روش‌ها نيز ارقام مشابه با هم را گزارش مي کنند که نشان دهنده‌ی اين است که روش‌هاي موجود در ادبيات (برش و اتصال و ريشه مربعات خطا) بيش‌تر براي محيط‌هاي با ريسک متوسط، مناسب هستند.

جدول ۳ : نتايج شبيه سازي روش ها براي σ =0.4.

نسبت تعداد دفعات نقض برنامه زمانبندي شده	ميزان نقض برنامه زمانبندي شده	ميزان مصرف بافر	متوسط سايز بافر	نام روش
٤٠.٤	۱۲.٤٤	٤٤.٤۲	۱٤.٠۱	RM^2
۳۸.٦	۱٠.٦۹	٤۳.۹۲	۱٤.٠٦	C&P
۳۳	۱۲.۲۱	٤۳.۱٥	۱۳.٠۸	RSEM
٤۹.۱	۷٦.٦	۹۳.٥	٦.۱۷	APRT

در جدول (۴) که نتايج شبيه سازي براي σ =۰.۵ را نشان مي دهد، بازهم مشابه قبل روش روش سازگار با محدوديت منابع تخمين بسيار کوچکي ارائه داده است به طوري که در محيط پر ريسک، متوسط مصرف بافر از ۱۰۰% تجاوز کرده است (۱۰۳.٦۱%) که سبب نقض برنامه‌ی زمانبندي شده به ميزان زيادي يعني ۱۱۷.۲۵% شده است. لذا بازهم به اين نتيجه مي‌رسيم که اين روش، مناسب براي تخمين اندازه‌ی بافر نيست. از مقايسه‌ی بين ساير روش‌ها مشاهده مي شود که با بالا رفتن ريسک محيط، روش‌هاي برش و اتصال و ريشه‌ی مربعات خطا نيز کارآيي خود را از دست مي دهند؛ و اين، به‌دليل ضعف بزرگ اين روش‌ها است که براي همه‌ی محيط‌ها تنها يک اندازه‌ی بافر را ارائه مي‌دهند. صحت اين ادعا را مي توان در ستون سوم يعني ميزان نقض برنامه زمان‌بندي شده يافت. چرا که در اين محيط، سبب نقض زيادي در برنامه‌ی زمانبندي شده مي‌شوند (٤٠.۷۳% براي روش برش و اتصال و ۵۰.۱۹ براي روش ريشه‌ی مربعات خطا). وليکن روش روش تعيين اندازه بافرمتناسب با ريسک، ريخت شناسي و منبع با انعطاف خود در مقابل ريسک محيط و تطابق ميزان بافر ارائه شده با افزايش ريسک، اندازه‌ی بافر مناسب تري را نسبت به ساير روش‌ها محاسبه کرده است (۱۹.۹۱) که با ميزان مصرف بافر ٤۹.٥۲% تنها سبب ۲۰.۱۸% نقض برنامه‌ی زمان‌بندي شده است که ميزان قابل قبولي است. تعداد دفعات نقض برنامه زمانبندي شده نيز براي اين روش، کم‌تر از ساير روش‌ها است که بازهم برتري اين روش را نشان مي دهد.

جدول ۴ : نتايج شبيه سازي روش ها براي σ =0.5.

نسبت تعداد دفعات نقض برنامه زمانبندي شده	ميزان نقض برنامه زمانبندي شده	ميزان مصرف بافر	متوسط سايز بافر	نام روش
۴۱.۹	۲٠.۱۸	٤۹.٥۲	۱۹.۹۱	RM^2
٤٦.۳٥	٤٠.۷۳	٦۲.۸۲	۱۴.٠۹	C&P
٤٦.٥٥	٥٠.۱۹	٦۱.۹۳	۱۳.٠۸	RSEM
٤۹.۲٥	۱۱۷.۲٥	۱٠۳.٦۱	۷.۹	APRT

به طور خلاصه، اين طور نتيجه‌گيري مي‌شود که با توجه به اين که بيش از ۲۰% نقض برنامه‌ی زمانبندي شده موجب ناکارآيي روش مي‌شود و بايد اندازه‌ی بافر ارائه شده توسط تمام روش ها دامنه σ بين ۰.۲ تا ۰.۵ را پوشش دهند، ليکن، عملاً مشاهده مي‌شود که روش‌هاي برش و اتصال و ريشه‌ی مربعات خطا ضمن اين که در محيط‌هاي با ريسک پايين، داراي تخمين بالاتر از ميزان لازم بودند و سبب کار در جريان ساخت مي‌شدند، در محيط هاي باريسک بالا نيز ميزان نقض برنامه‌ی زمانبندي شده زيادي داشتند که کارآيي اين روش ها را مخدوش مي کرد و روش پيشنهادي، با برطرف کردن اين

مشکلات، اندازه‌ی بافر بسيار مناسب‌تري به خصوص در محيط‌هاي با ريسک بالا ارائه مي کند.

نتيجه گيري

همان‌طور که در فصول قبل نيز اشاره گرديد، يکي از مهم‌ترين و کليدي‌ترين قسمت هاي مديريت يک پروژه به روش زنجيره‌ی بحراني، تعيين اندازه‌ی بافر است. در طي تحقيق ارائه شده، تلاش شد کليه‌ی روش هاي پيشنهاد شده جهت تعين اندازه‌ی بافر و نقاط ضعف و قوت آنها معرفي گردد.و ضمنا روش بهينه‌اي براي تعيين اندازه‌ی بافر در محيط پروژه‌ی با ريسک بالا ارائه شود که برآمده از مشخصات پروژه و محيط پروژه باشد و به صورت مطلوب، اندازه‌ی بافر را تخمين بزند؛ به صورتي که اهداف زير را پوشش دهد:

۱. بافر تعيين شده بيش از حد، بزرگ نباشد، زيرا ممکن است زمان پروژه را افزايش دهد که با هدف مديريت پروژه به روش زنجيره‌ی بحراني در تضاد است.
۲. بافر تعيين شده بيش از حد کوچک نباشد، زيرا ممکن است درصد اطمينان از اتمام پروژه در موعد مقرر را کاهش دهد که با هدف مديريت پروژه به روش زنجيره‌ی بحراني در تضاد است.
۳. حجم فعاليت‌هاي پروژه را در نظر بگيرد.
۴. پيچيدگي‌های روابط بين فعاليت‌ها را درنظر بگيرد.
۵. ميزان منابع در دسترس و منابع مورد نياز را در نظر بگيرد.
۶. ميزان عدم قطعيت محيط پروژه را درنظر بگيرد.

روش ابتکاري ارائه شده در اين تحقيق، دو عامل ميزان عدم قطعيت پروژه و مشخصات پروژه اعم از منابع و پيچيدگي شبکه و ريخت شناسي را به عنوان مشخصاتي که اندازه‌ی بافر به آن‌ها وابسته است، درنظر گرفته‌اند؛ لذا شبيه سازي هاي صورت گرفته، بر اساس اين دو عامل بوده است. بدين صورت که از مجموعه داده کوليش هارتمن که از پيچيدگي شبکه‌ی مناسب و استفاده از منابع[۲۴] متنوع برخوردار بود، استفاده شد. همچنين، پروژه‌هاي با σ ۰/۳ به عنوان پروژه‌هاي با عدم قطعيت کم، پروژه هاي با σ ۰.٤ به عنوان پروژه‌هاي با عدم قطعيت متوسط و پروژه‌هاي با σ ۰/۵ به عنوان پروژه‌هاي با عدم قطعيت بالا درنظر گرفته شد. همچنين چهار معيار درصد ميزان نقض برنامه زمانبندي شده، تعداد دفعات نقض برنامه‌ی زمانبندي شده، ميزان مصرف بافر و متوسط اندازه‌ی بافر به عنوان معيارهايي که اهداف فوق را پوشش مي دهند، در نظر گرفته شد که در قسمت تحليل نتايج، با استفاده از نتايج عددي حاصل از ۱۲۰۰۰۰ مرتبه شبيه سازي، عملکرد بهتر روش ارائه شده نسبت به ساير روش‌هاي موجود، ارائه گرديد. به خصوص در محيط‌هاي با ريسک بالا که ساير روش‌ها فاقد کارآيي لازم بودند، نتيجه گيري شد که اين روش، تخمين مناسبي را براي اندازه بافر تغذيه ارائه مي دهد. لذا مي‌توان به جاي نام کنوني، نام "روش تعيين اندازه‌ی بافر در محيط با ريسک بالا[۲۵]" را که نام کاربردي تري است به اختصار بر آن نهاد. از آنجا که توزيع واقعي مدت زمان انجام فعاليت‌ها ناشناخته است و تنها آنچه مسلم است چوله به راست بودن اين توزيع است، آنچه که در تحقيقات آتي پيشنهاد مي‌شود، شبيه سازي پروژه در شرايطي است که از چند توزيع که شرط فوق را داشته باشند به صورت تصادفي استفاده شده و کفايت هر يک از روش‌هاي مذکور به صورت دقيق تر و تحت شرايط واقعي‌تر بررسي شود. ضمناً يکي از عوامل اثر کاملا اثر گذار در پروژه‌ی حاضر، تعيين ريسک محيطي پروژه در قالب σ است. پيشنهاد مي شود که تحقيقات مرتبط ريسک، بررسي شده و طي جداولي مشخص شود که براي يک پروژه خاص مقدار σ چه مقدار بايد باشد. البته در مواردي که اين موضوع عملي نيست، آناليز حساسيت نتايج مي‌تواند به تعيين حساسيت جواب‌ها کمک کند.

پيوست الف : توضيح پيرامون مجموعه داده‌هاي کوليش - هارتمن

جهت انجام مقايسه‌ی استاندارد بين عملکرد الگوريتم‌هاي فرا ابتکاري ارائه شده، کوليش و اسپرچر مثال‌هاي طبقه‌بندي شده‌اي را در سايت اختصاصي مسئله RCPSP، قرار داده‌اند. اين مسائل، توسط نرم‌افزار توليد پروژه‌ی پروجن، توليد شده‌اند و همان‌طور که گفته شد، در کتابخانه‌ی مسائل زمان‌بندي پروژه‌ی تحت وب، يعني PSPLIB، تحت آدرس:

http://129.187.106.231/psplib/ موجود هستند.

اين مجموعه داده ها جهت استفاده در حل مسائل RCPS توسعه يافته است . ساير مشخصات اين مجموعه داده‌ها به قرار زير است:

- سه سري مسائل استاندارد وجود دارد كه براساس تعداد فعاليت، تقسيم‌بندي شده‌اند. دو سري اول شامل ۴۸۰ پروژه براي هر يك از حالات ۳۰ و ۶۰ فعاليت است. هر يك از پروژه‌ها داراي تعدادي پارامتر ثابت و تعدادي پارامتر متغير اند. مبناي توليد پروژه ها براساس اين پارامترها است. در ذيل، شرح مختصري از متغيرها داده شده است:
- پيچيدگي شبكه (NC): معياري است كه نشان‌دهنده‌ی ميانگين تعداد كمان‌هايي است كه هر يك از گره‌هاي شبكه داراست. هر چه تعداد كمان ها بيش‌تر باشد، پيوستگي فعاليت‌ها به يكديگر، بيش‌تر است.
- ضريب منبع (RF): معياري است كه نشان‌دهنده‌ی ميانگين نسبت نياز به منابع براي هر فعاليت است. RF برابر با صفر، نشان‌دهنده‌ی اين است كه هيچ فعاليتي به هيچ منبعي نياز ندارد و RF برابر با يك، بدين معني است كه هر فعاليتي در پروژه، به تمامي منابع موجود نيازمند است.
- قدرت منبع (RS): معياري است كه نشان‌دهنده‌ی سطح دسترسي منابع است. هنگامي كه RS برابر با صفر است، سطح دسترسي منبع در رابطه با يك نوع منبع خاص، در كم‌ترين مقدار خود قرار دارد و هنگامي كه RS برابر با يك است، سطح دسترسي منبع در رابطه با يك نوع منبع خاص، در بيش‌ترين مقدار خود قرار دارد. در اين حالت، مي‌توان گفت كه مسئله ابدا داراي محدوديت منبع نيست.

با توجه به پارامترهاي بالا، تعداد ۴۸ نوع مسئله كه برابر تعداد تركيب‌هاي مختلف پارامترهاي متغير است و از هر نوع ۱۰ مثال، توليد شده است. بدين‌ترتيب، براي هريك از حالات ۳۰ و ۶۰ فعاليت، تعداد ۴۸۰ پروژه در سايت PSPLIB وجود دارد. براي حالت سوم يعني پروژه‌هايي با ۱۲۰ فعاليت، تنظيمات مربوط به پارامتر RS، ۵ حالت شامل ۰.۱ ، ۰.۲ ، ۰.۳، ۰.۴و ۰.۵ است. از اين رو، تعداد پروژه‌ها براي حالت سوم، برابر با ۶۰۰ است.

تقدير و تشكر

بدين وسيله نويسندگان اين مقاله از پشتيباني مالي دانشگاه تهران، پرديس فني به شماره‌ی پرونده‌ی ۲۶۹۴۹/۱/۰۱ در انجام مطالعه‌ی فوق، تشكر و قدرداني مي نمايند.

مراجع

1- Goldratt, E. M. (1992). *The Goal*, second ed. North River Press, NewYork.

2- Goldratt, E. M. (1997). *Critical Chain*. Great Barrington(MA). The North River Press.

3- ProChain Solutions Inc. (1999). ProChain®Plus Project Scheduling, www.prochain.com.

4- Iranmanesh, S. H. (1387). Microsoft project add-ins collection. Chap va Nashre Bazargani Press.

5- Scitor Corporation. (2000). Critical Chain Concepts, http:// www.scitor.com/Products/PS-Suite/ccIntro.htm.

6- Newbold, R. C. (1998). *Project Management in the Fast Lane: Applying the Theory of Constraints*. St. Lucie Press, New York.

7- Leach, L.P. (2000). *Critical Chain Project Management*. Artech House, Boston..

8- Herroelen, W. S. and Leus, R. (2001). On the Merits and Pitfalls of Critical Chain, *Journal of Operations Management*, Volume 19, Issue 5, 559-577.

9- Cohen, I., Mandelahum, A. and Shtub, A. (2004). "Multi-Project Scheduling and Control:A Process-Based Comparative Study of the Critical Chain Methodology and some alternatives." *Journal of Project Management*; No. 35, pg. 39.

10- Patrick, S. F. (1999). Critical Chain Scheduling and Buffer Management, Getting out from Between Parkinson’s Rock and Murphy’s Hard Place. PM Network, April.

11- Product Development Institute. (1999). Tutorial: Goldratt’s Critical Chain Method, A One Project Solution, http://www.pdinstitute.com.

12- Tukel, O., I. Rom, W. O., Eksioglu, S. D. (2006). An Investigation of Buffer Sizing Techniques in Critical Chain Scheduling. *European Journal of Operational Research*. 172, pp, 401.

13- Kevin J. Watson. (2006).The Evolution of Management Philosophy: Theory of Constraints. *Journal of Operation Management*.

14- Product Development Institute. (1999). Tutorial: Goldratt’s Critical Chain Method, AOne-Project Solution. http://www. pdinstitute.com.

15- Schuyler, J. (1998). "Tip of the week #39, Project management in the fast lane." Available from <http://www.maxvalue.com/tip026.htm>.

16- Patterson, J. (1984). "A comparison of exact procedures for solving the multiple constrained resource project scheduling problem." *Management Science* 30, 854–867.

17- Valadares Tavares, L., Antunes Ferreira, J. and Silva Coelho, J. (2002). "A comparative morphologic analysis of benchmark sets of project networks." *International Journal of Project Management* 20, 475-485.

18- Kolisch, R. and Hartman, S. (2000). "Experimental evaluation of state-of-the-art heuristics for the resource constrained project scheduling problem." *European Journal of Operational Research* 127, 394–407.

19- Evans, M. (2000). *Statistical Distributions*. John Wiley & Sons.

20- Random Number Generator, Brighton Webs Ltd.Data & Analysis Services for Industry & Education, http://www.brighton-webs.co.uk/distributions/lognormal.asp.

واژه هاي انگليسي به ترتيب استفاده در متن

1 -Critical Chain Project Management
2 -Kolisch Hartman
3 - Goldratt
4 -Theory of Constraints
5 - Product Development Institute (PDI)
6 -New Bold
7 - Cut & Past Method
8 - Root Square Error Method (RSEM)
9 - Safe Time or Safe Estimate
10 - Average Time or Average Estimate
11 - Adaptive Buffer Sizing Procedures
12 - Feeding Chain
13 - Adaptive Procedure With Density (APD)
14 - Patters On Data Set
15 - Resource & Morphology & Risk Method (RM^2)
16 -Morphology
17 - Average Estimate
18 - VBA
19 - Microsoft Project 2007
20 - As Late as Possible
21 - CCPM+
22 - Visual Basic for Application
23 - Box Muler
24 - Resource Usage
25 - High Risk Environment Method (HREM)