

## ارائه یک مدل ریاضی جهت بهینه سازی فرایند توسعه محصول

محسن شفیعی نیک آبادی، محمدعلی بهشتی نیا و رضا رفیعی پور

اطلاعات مقاله	چکیده
<p><b>واژگان کلیدی:</b> فرایند توسعه محصول، مدل ریاضی، فعالیت های مزدوج، همپوشانی فعالیت ها، وابستگی متقابل.</p>	<p>فرایند توسعه محصول دارای پیچیدگی خاص خود می باشد. این پیچیدگی هم می تواند ناشی از همپوشانی و هم به دلیل وابستگی متقابل (مزدوج بودن) بین فعالیت های موجود در یک فرایند توسعه محصول باشد. همپوشانی از یک طرف ممکن است مدت زمان یک پروژه را کاهش دهد اما از طرف دیگر خطر دوباره کاری را ایجاد می کند. علاوه بر این مزدوج بودن فعالیت ها نیز یکی دیگر از دلایل دوباره کاری محسوب می شود. این تکرار و دوباره کاری ناشی از همپوشانی و مزدوج بودن فعالیت ها منجر به افزایش زمان و هزینه پروژه می گردد. در این تحقیق برای بررسی ویژگی های فرایند توسعه محصول و همچنین ایجاد تعادل بین مدت زمان و هزینه اجرای یک پروژه توسعه محصول، یک مدل ریاضی ارائه گردیده است. با توجه به همپوشانی و میزان وابستگی متقابل بین فعالیت ها چهار نوع از حالت های زمانی مدل شده است. در ادامه به منظور راستی آزمایی، مدل فوق در نرم افزار متلب پیاده سازی شده و یک مثال نمونه حل گردیده و مشاهده می شود که مدل ارائه شده به سادگی قادر به محاسبه زمان و هزینه فرایند در حالات چهارگانه می باشد.</p>

### ۱- مقدمه<sup>۱</sup>

شرکت ها به ضرورت انجام آن پی برده اند. این امر ناشی از تغییرات سریع محیط خارجی (کوتاهتر شدن چرخه عمر محصول، افزایش رقابت در بازارها، عوامل سیاسی و فرهنگی و سرعت زیاد تغییرات تکنولوژی) است. روند توسعه محصول می تواند به عنوان یک گروه از فعالیت های سازمان یافته مرتبط در نظر گرفته شود که شامل فعالیت های مربوط به آغاز پروژه، انتساب کار، طراحی محصول و فرایند و... می باشد.

با تغییرات سریع محیط خارجی، شرکت ها به دنبال بهینه سازی و کاهش زمان فرایندها و ایجاد تعادل بین زمان و هزینه فرایندهای توسعه محصول خود می باشند. شرکت ها به دنبال برون سپاری برخی از فعالیت های طراحی خود به سازمان های حرفه ای تر می باشند و به فعالیت های طراحی اصلی برای کاهش زمان چرخه فرایند PD توجه بیشتری می کنند. علاوه بر این، پژوهش PD بسیاری از رشته های مختلف اعم از علوم سازمانی [1]،

در جهان پویای کسب و کار امروز، شرکت ها به شدت به دنبال کسب مزیت رقابتی هستند، تا بتوانند بدین وسیله از رقبای سرسخت خود پیشی بگیرند. بی شک، توسعه محصول<sup>۲</sup> (فرایندی که از طریق آن محصول پایدار اقتصادی جدیدی که ارضاء کننده نیازهای مشتریان است، ابداع می گردد) مقدمه ای برای ورود به این مرحله است. توجه به توسعه محصول تا آنجا پیش رفته است که

<sup>۱</sup> استادیار دانشکده اقتصاد و مدیریت، گروه مدیریت صنعتی، دانشگاه سمنان

استادیار دانشکده مواد و صنایع، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه سمنان

، گرایش مدیریت تکنولوژی، گروه مدیریت MBA کارشناسی ارشد صنعتی، دانشگاه سمنان

<sup>۲</sup> - Product Development (PD)

بین فعالیت ها استراتژی خوبی برای کاهش مدت زمان کل پروژه است.

از طرفی اگر هر تغییری بلافاصله به محض وقوع به فعالیت بالادست وابسته منتقل شود، فعالیت بالادست وابسته باید هر بار تکرار شود تا خود را با تغییرات سازگار کند. این امر منجر به اتلاف زمان بسیار زیاد در مقابل یک صرفه جویی اندک در هزینه های دوباره کاری می شود. از طرف دیگر اگر اطلاعات به روز شده مرتباً به فعالیت بالادست وابسته انتقال پیدا نکند، محصولی با کیفیت پایین و هزینه دوباره کاری زیاد تولید می شود. از اینرو باید بین هزینه و زمان یک تعادل برقرار کنیم [12]. بنابراین، چگونه بهینه سازی کردن فرایند PD به منظور کاهش زمان و هزینه های افزوده شده ناشی از دوباره کاری، یک مسئله مهم است. در نتیجه، ارائه یک مدل تحلیلی و ریاضی که ویژگی های فرایند توسعه محصول را نشان دهد و همچنین بتواند روابط بین مدت زمان و هزینه پروژه PD را توسط تکرار و همپوشانی فعالیت ها در جهت ایجاد تبادل و تعادل بین هزینه و زمان فرایند توسعه محصول جدید مطرح کند، نیاز است و همین امر، جنبه نوآوری تحقیق محسوب می شود.

در بخش بعدی ادبیات مربوط به مدل ریاضی مسئله PD بررسی می شود. شرح مدل ریاضی بهینه سازی فرایند PD در بخش سوم بیان می گردد. یک مثال نمونه در بخش چهارم حل می گردد و در بخش پنجم نیز نتیجه گیری آمده است.

## ۲- ادبیات مسئله

فرایند، مجموعه ای از وظایف و جریان اطلاعات مرتبط بین آن ها می باشد که منجر به تولید محصول نهایی می گردد [13]. ساختار فرایند توسعه محصول برای برنامه ریزی فعالیت های PD جهت اجرا موثر و در نتیجه کاهش تکرار و دوباره کاری زمان ضروری است. تحقیقات زیادی در مورد محاسبه زمان، محاسبه هزینه و بهبود فرایند منجر به فرایند PD انجام می شود. به طور کلی، برای بهینه کردن فرایند PD مهمترین مشکلی که باید در ابتدا حل شود، بر چگونگی ساخت مدل ریاضی برای مسائل بهینه سازی فرایند PD، متمرکز شده است.

پژوهش هایی در جهت توسعه مدل فرایند و استفاده از آن برای مشکلات مهندسی بیش از دو دهه گذشته انجام

بازاریابی [2]، مهندسی [3] تا مدیریت عملیات [4,5] را شامل می شود.

فعالیت های توسعه محصولات پیچیده معمولاً توسط اعضای یک تیم متشکل از رشته های مختلف و از نقاط مختلف جغرافیایی در یک محیط مجازی و مشترک انجام می شود [6] و ساختار محصول جدید بسیار پیچیده است و فرایند PD روند یکپارچه سازی، شبکه و توزیع را نشان می دهد [7]. بنابراین، PD یک فرایند زمان گرا و مشارکتی خواهد بود، در حالی که بر هزینه و کیفیت نیز متمرکز است. علاوه بر این، چگونگی مدیریت فرایند PD برای رفع نیازهای مختلف مشتریان یک موضوع اصلی برای هر واحد شرکت تولیدی می شود.

فرایند PD می تواند به عنوان یک گروه سازمان یافته از فعالیت های طراحی مرتبط که شامل آغاز پروژه، تخصیص کار، طراحی محصول، طراحی فرایند، و غیره می باشد، در نظر گرفته شود. فعالیت های طراحی، تدوین و برنامه ریزی محصول متمرکز متوالی و سنتی، برای پاسخ دادن به تغییرات پویا در چرخه PD جدید ناکافی است [8]. تکرار و همپوشانی فعالیت های طراحی از ویژگی های اساسی فرایند PD پیچیده هستند [9]. تکرار فعالیت ها معمولاً منجر به خطر دوباره کاری در آنان می گردد [10]، در حالی که فعالیت های مشترک معمولاً مدت زمان پروژه را تحت تاثیر قرار می دهند. تکرار بر دوباره کاری یا تجدید نظر در نتایج مربوط به طراحی که سبب پیچیده تر شدن فرایند PD به دلیل فعالیت های متصل و درهم آمیخته (مزدوج و همپوشان) می گردد، دلالت می کند. همپوشانی شامل اجرای همزمان دو فعالیت متوالی می باشد و اجازه آغاز شدن فعالیت دوم قبل از اتمام فعالیت اول را صادر می کند. فعالیت های همپوشان همچنین ارتباط و تبادل اطلاعات را به شدت افزایش می دهد [11]. یک عملکرد مشترک و همزمان می تواند به کاهش زمان و هزینه پروژه توسعه محصول کمک کند. با این حال فعالیت های رو به پایین مجبورند برای تطابق تغییرات در طول فرایند، تکرار شوند. بنابراین این تکرار به مقدار کمی زمان و هزینه (دوباره کاری) منجر خواهد شد. اگرچه هزینه های توسعه محصول به دلیل دوباره کاری فعالیت های پایین دست ناشی از همپوشانی با یک فعالیت بالادستی وابسته، اضافه می شود، اما همپوشانی

هزینه های دوباره کاری و زمان اتمام هر یک از فعالیت ها مطرح نمودند.

مدیریت هزینه عامل دیگری برای موفقیت پروژه PD است. فعالیت ها ممکن است هزینه و مدت زمان نامشخص داشته باشد، دوباره کاری هایی که بخاطر تغییرات در ورودی های خاص ایجاد شده است و هزینه و مدت زمان در تکرار پی در پی کاهش یافته است [10]. علاوه بر این، هزینه های طراحی محصول به شدت تحت تاثیر صحت و دقت تعریف محصول، خواهد بود. درک صحیح از نیاز مشتری و یک تعریف روشن از محصول، به طور بدیهی به یک PD سریع و ارزان منجر خواهد شد [22]. به عنوان نتیجه، هزینه های PD می تواند به طور قطعی و یا صرفاً به عنوان تابعی از پارامترهای فرایند مانند مدت زمان فرآیند، نرخ دوباره کاری فعالیت و تغییرات روند در نظر گرفته شوند.

مدل های مختلف ریاضی برای فرایند توسعه به منظور مطالعه مدل سازی هزینه فرایند PD تا کنون مطرح شده اند. به طور کلی، هزینه PD شامل تعریف محصول، طراحی و هزینه تولید نمونه است. به دلیل پیچیدگی تکرار و دوباره کاری، برخی از محققان هزینه تبادل اطلاعات بین تیم های توسعه در طول فرآیند PD را نادیده گرفته اند. به عنوان مثال، شهاب و عبدالله [23] مدل سازی هزینه تولید یک محصول در مرحله طراحی مفهومی از چرخه حیات محصول و برآورد هزینه شامل مواد، پردازش، راه اندازی دستگاه و هزینه های غیر مولد را تخمین زده اند. یانگ و همکاران [24] سیر تکاملی و ماتریس ساختار طراحی حساسیت برای ارائه برنامه و مدل هزینه های مرتبط با تکرار، همپوشانی و دوباره کاری را پیشنهاد کردند. البته، هزینه های ارتباطی نیز به عنوان یک مورد از هزینه های PD در ساخت تابع هزینه مورد بحث قرار گرفت [25]. علاوه بر این، مبادلات زمان و هزینه نیز در برخی از ادبیات موجود، مورد توجه قرار گرفت [25,26]. سیون و ترویش [27] رابطه بین درآمد از دست رفته ناشی از تاخیر انجام و هزینه های واحد تولید کمتر را مدل کردند.

شده است. حداقل کردن زمان چرخه و هزینه، دو هدف مشترک در بهینه سازی فرآیند PD هستند. مهندسی همزمان یکی از ابزارهای برجسته ای است که اغلب برای کاهش زمان PD، به کار گرفته شد. مزایای استفاده از مهندسی همزمان که شامل بهبود چرخه PD و سرعت دادن به آن است در مقاله های کاسر<sup>۳</sup> و همکاران [14] و اسمیت و راینتنسن<sup>۴</sup> [15] مورد بحث قرار گرفت. موتاری کازرونی<sup>۵</sup> و همکاران [16] معیار موفقیت در مراحل مختلف چرخه عمر محصول را یافتند. نتایج نشان داد که مدیران موفقیت متفاوت توسعه محصول جدید را درک کرده اند. تاتیکوندا و روزنتال<sup>۶</sup> [17] اخبار فن آوری، اهمیت وظایف طراحی، تعامل بین وظایف طراحی در پروژه PD جدید و ایجاد تعادل بین پروژه که به عنوان مهمترین دلیل ایجاد تاخیر در پروژه می باشد را برشمردند. بنابراین، برخی از روش ها برای تخمین زمان توسعه مطرح گردید. احمدی<sup>۷</sup> و همکاران [18] فرایند ساختار PD را به عنوان یک برنامه عدد صحیح فرموله کردند، دو مدل مارکوف برای محاسبه زمان توسعه کل ارائه نمودند و چند روش برای به حداقل رساندن تکرار در فرایند توسعه که تاثیر منفی بر زمان و هزینه می گذارد را گسترش دادند. خوئن<sup>۸</sup> و همکاران [19] یک الگوریتم هیورستیک که می تواند زمان هدایت یک فرایند PD پیچیده را به وسیله روش های شبکه انتقال و شبکه کاهش سری موازی تخمین بزند، ارائه کردند. درات و برتراند<sup>۹</sup> [20] یک مدل ریاضی بر اساس مفاهیم نظریه صف بندی برای توزیع زمان حل وظایف طراحی برای حسابداری PD جدید برای هر دو وظایف طراحی ساختاری، عدم قطعیت تکنولوژیکی و ویژگی های عامل انسانی پیشنهاد کردند. یان<sup>۱۰</sup> و همکاران [21] ویژگی های زمان در فرآیند توسعه همزمان را مدل کردند و یک مدل محاسبه زمان مربوط به احتمال دوباره کاری و زمان طراحی فعالیت های همراه و غیرهمراه به منظور برآورد

3- Kus'ar

4- Smith & Reinertsen

5- Moatari Kazerouni

6- Tatikonda & Rosenthal

7- Ahmadi

8- Jun

9- Dragut & Bertrand

10- Yan

11- Shehab & Abdalla

12- Yang

13- Savin & Terwiesch

جدول ۱: پارامترهای مورد استفاده در مدل

پارامتر	تعریف
$Ct_i$	زمان تکمیل فرایند $i$
$T_i$	مدت زمان نرمال انجام فرایند $i$
$OV_{ij}$	ماتریس فعالیت های همپوشان
$CV_{ij}$	ماتریس فعالیت های مزدوج و همپوشان
$a_{ij}$	مقدار وابستگی متقابل فعالیت های مزدوج
$e^{-\theta k}$	تابع آموزش
$K_i$	ماکزیمم تعداد دوباره کاری ناشی از همپوشانی یا مزدوج شدن هر فعالیت
$T_d$	زمان تحویل
$C^n$	هزینه مذاکره فعالیت ها بخاطر دوباره کاری
$T_{ij}^{ro}$	زمان دوباره کاری فعالیت $j$ بخاطر همپوشانی با فعالیت $i$
$T_{ij}^{rc}$	زمان دوباره کاری فعالیت $j$ بخاطر مزدوج بودن با فعالیت $i$ در فعالیت های مزدوج
$T$	زمان تکمیل پروژه
پارامتر	تعریف
$T_i^s$	زمان شروع فرایند $i$
$O_{ij}$	ماتریس تقدم تاخر
$Co_{ij}$	ماتریس فعالیت های مزدوج
$L_{ij}$	ماتریس میزان همپوشانی فعالیت ها
$N$	تعداد فعالیت ها
$\lambda$	شاخص تکنولوژی
$\beta$	پارامتر مزدوج برای همپوشان و مزدوج شدن
$C_i$	هزینه نرمال فعالیت $i$
$C^r$	هزینه دوباره کاری فعالیت $i$
$R_c$	هزینه ریسک ناشی از تاخیر
$\alpha_{ij}$	مقدار همپوشانی فعالیت های $i$ و $j$
$M$	یک مقدار بسیار بزرگ
$T_{ij}^{roc}$	زمان دوباره کاری فعالیت $j$ بخاطر همپوشانی با فعالیت $i$ در فعالیت های مزدوج
$C$	هزینه کل پروژه

از دیگر تحقیقاتی که به صورت ویژه پیرامون توسعه محصول جدید انجام شده است می توان به تحقیق وانگ و لین<sup>۱۴</sup> [28] اشاره کرد. آنها یک مدل به منظور تعیین ریسک زمان بندی برای توسعه محصول جدید پیشنهاد کردند. آنها با ارائه این مدل تاثیر ساختار فرایندی بر زمان تحویل یک پروژه توسعه محصول را مورد تحلیل قرار دادند و یک الگوریتم شبیه سازی توسعه دادند تا تاثیر ساختار فرایندی بر زمان تحویل را تجزیه و تحلیل کنند.

### ۳- شرح مدل ریاضی بهینه سازی دوهدفه

در این بخش، مدلی برای بازسازی روند توسعه محصول ارائه گردیده است. هیچ کمبود منابعی در طول فرایند توسعه محصول وجود ندارد. این مدل با اقتباس از مقاله وانگ و همکاران<sup>۱۵</sup> [12] به صورت یک فرمول ریاضی برای زمان و هزینه توسعه محصول توسعه یافت. قبل از ارائه مدل ریاضی مذکور پارامترهایی که در ادامه این مقاله استفاده می گردد در جدول ۱ آمده است.

### ۳-۱- زمان توسعه محصول

در هر فرایند توسعه محصول مجموعه ای از فعالیت ها وجود دارند. مقدار مشخصی از اطلاعات نیز یک بار توسط برخی یا تمام فعالیت ها به اشتراک گذاشته می شود، یک فعالیت قابلیت های خود را انجام داده و اطلاعات خروجی را تولید می کند. بنابراین، روابط میان فعالیت ها، نقش مهمی را در محاسبه زمان توسعه محصول کل فرایند ایفا می کند. فعالیت ها می توانند روابط متوالی و یا مزدوج با فعالیت های دیگر داشته باشند. علاوه بر این، بین فعالیت های توسعه از نظر وابستگی به زمان نیز همپوشانی وجود دارد. روابط متوالی غیرهمپوشان، متوالی همپوشان، مزدوج غیرهمپوشان و مزدوج همپوشان چهار نوع از وابستگی با جزئیات بیشتر هستند که توسط وانگ و همکاران از زاویه وابستگی اطلاعات، طبقه بندی شده اند. در ادامه این چهار نوع مدل زمانی فرآیند PD مذکور مورد بررسی قرار گرفته اند.

14- Wang J & Lin

15- Wang T

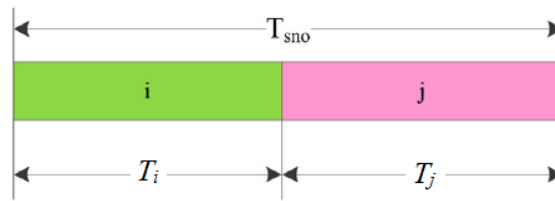
$$T_s = \sum_{i=1}^N T_i \quad (1)$$

برای رابطه فوق محدودیت های زیر برقرار می باشد:

$$T \geq T_i \quad (2)$$

$$T_j^s \geq T_i^s + T_i \quad (3)$$

رابطه (۲) نشان دهنده این است که زمان تکمیل کل پروژه از زمان تکمیل هر فعالیت بیشتر است. رابطه (۳) نشان می دهد که هر فعالیت باید بعد از اتمام کامل فعالیت قبل شروع شود.



شکل ۱: متوالی غیرهمپوشان

### ۳-۱-۱- متوالی غیرهمپوشان

به منظور محاسبه طول مدت پروژه کل فرایند توسعه محصول، فرض می کنیم که  $N$  فعالیت در فرایند توسعه وجود دارد و مدت زمان اسمی برای هر فعالیت  $T_i$  روز کاری است. فعالیت های متوالی بدون اثر متقابل در الگوی متوالی غیرهمپوشان انجام شده اند (مطابق شکل ۱). در این حالت فعالیت ها بدون همپوشانی بطور متوالی انجام می شود. براساس رابطه (۱) زمان انجام کل فرایند توسعه محصول برابر با مجموع زمان اسمی  $N$  فرایند است.

### ۳-۱-۲- متوالی همپوشان

برای تسهیل در سرعت انجام پروژه PD می توان بین فعالیت های متوالی، همپوشانی ایجاد نمود (شکل ۲). همپوشانی اطلاعات اولیه فعالیت های بالا دستی را با فعالیت های پایین دست به اشتراک می گذارد. با این حال، وقتی که این اطلاعات اولیه فعالیت های بالادست با مشکلی روبه رو شود، ممکن است انجام فعالیت های پایین دست را با تاخیر مواجه نماید و این امر موجب دوباره کاری فعالیت های پایین دست شود. بنابراین هنگامی که همپوشانی در الگوی متوالی وجود دارد (به عنوان مثال در مدل متوالی همپوشان) احتمالاً به علت اطلاعات ناقص و گمراه کننده فعالیت های بالا دستی، دوباره کاری فعالیت های پایین دست به وجود می آید و تا اتمام فعالیت های بالادست به طور مداوم به روز می شود. به طور کلی می توان گفت که دوباره کاری فعالیت های پایین دستی از همپوشانی با یک فعالیت بالادست وابسته ناشی می شود که زمان اضافی برای دوباره کاری فعالیت های پایین دستی را بوجود می آورد. علاوه بر این، هرچقدر مقدار همپوشانی  $(1 - \alpha_{ij})$  بیشتر باشد احتمال دوباره کاری بیشتری نیز وجود دارد. ضریب  $\lambda$  به عنوان شاخص تکنولوژی پروژه توسعه محصول می باشد

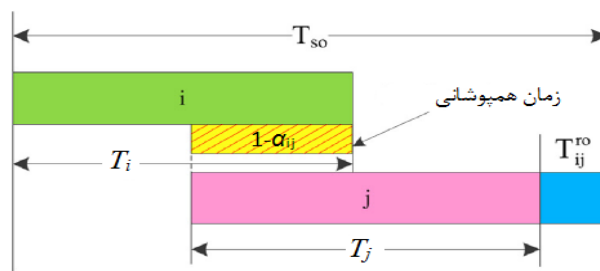
که با توجه به پیچیدگی محصول و تجربه طراحان معین می گردد. فعالیت هایی که امکان همپوشانی دارند را می توان از ماتریس  $Ov_{ij}$  استخراج نمود. با توجه به موارد فوق، زمان دوباره کاری فعالیت های پایین دست را می توان به شرح زیر فرمول بندی کرد:

$$T_{ij}^{ro} \geq \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N (1 - \alpha_{ij})^\lambda T_j - M(1 - Ov_{ij}) \quad (4)$$

از رابطه (۴) میزان دوباره کاری فعالیت  $j$  ناشی از همپوشانی با فعالیت بالادست  $i$  بدست می آید.  $M$  یک عدد بسیار بزرگ است. همچنین محدودیت های زیر برای این رابطه برقرار است:

$$L_{ij} \leq \alpha_{ij} \leq 1 \quad (5)$$

ماتریس  $L_{ij}$  حداکثر بخشی از هر فعالیت را نشان می دهد که پس از انجام آن امکان همپوشانی با فعالیت پایین دست وجود دارد. با توجه به رابطه (۵)، همپوشانی فعالیت ها بعد از انجام  $L_{ij}$  مقدار از هر فعالیت امکان پذیر است. رابطه (۶) نشان می دهد که فعالیت پایین دست  $j$  باید پس از گذشت  $\alpha_{ij}$  از فعالیت  $i$  آغاز شود.



شکل ۲: متوالی همپوشان

الگوی مزدوج، در نظر گرفته شده است. به این ترتیب، یک تابع آموزش  $e^{-\theta k}$  معرفی شده است تا منحنی توسعه را مدل سازی کند، که در آن  $0 < e^{-\theta k} < 1$ ، که  $\theta$  پارامتر توسعه منحنی در هر تکرار و  $k$  تعداد تکرار است.  $\theta$  بزرگتر از فرایند یادگیری سریع تر نتیجه می شود. بنابراین تابع زمان دوباره کاری ناشی از مزدوج شدن می تواند به صورت زیر بیان شود:

$$T_{ij}^{rc} \geq \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N a_{ij} e^{-a_{ji}/a_{ij}} e^{-\theta k} T_j - M(1 - Co_{ij}) \quad (7)$$

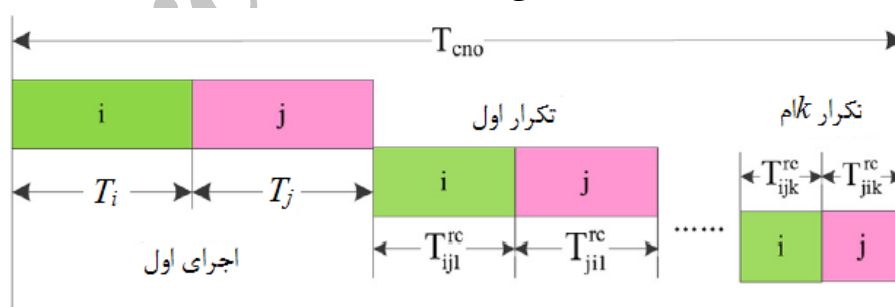
در این رابطه  $a_{ij}$  میزان وابستگی فعالیت  $i$  به  $j$  می باشد.  $Co_{ij}$  ماتریسی است که در آن فعالیت هایی که به هم وابستگی متقابل دارند (مزدوج هستند) مشخص شده اند. محدودیت این رابطه عبارت است از:

$$T_j^s \geq T_i^s + T_i - M(2 - O_{ij} - Co_{ij}) \quad (8)$$

رابطه (۸) نشان می دهد که در این حالت هر فعالیت باید بعد از اتمام فعالیت قبل، شروع شود.

### ۳-۱-۳- مزدوج غیرهمپوشان

یکی از دلایل اصلی تکرار در فرایند توسعه محصول فعالیت های مزدوج است. فعالیت های مزدوج به فعالیت هایی گفته می شود که دارای وابستگی متقابل نسبت به یکدیگر می باشند. و همین وابستگی متقابل منجر به دوباره کاری فعالیت ها می گردد. در این بخش ما فعالیت های مزدوج را به صورت متوالی و بدون انجام همپوشانی در نظر می گیریم (شکل ۳). به منظور فرموله کردن احتمال دوباره کاری، فاکتور مزدج  $e^{-a_{ji}/a_{ij}}$  برای بیان این رابطه معرفی شده است. در این رابطه  $a_{ij} + a_{ji} = 1$  است، هنگامی که  $a_{ij}$  به صفر میل می کند، فاکتور مزدوج همگرا به صفر می شود و وقتی که آن به ۱ میل می کند، فاکتور مزدوج همگرا به یک می شود. علاوه بر این، اثر ناشی از عملیات تکراری یادگیری یک ویژگی مهم در فرایند تکرار است. مهندسان طراحی می توانند تجربه، دانش و مهارت های لازم برای آزمایش و تجزیه و تحلیلی که زمان اجرای یک فعالیت طراحی تکراری را کاهش می دهد، اعمال کنند. بنابراین، اثر یادگیری در مدل زمانی

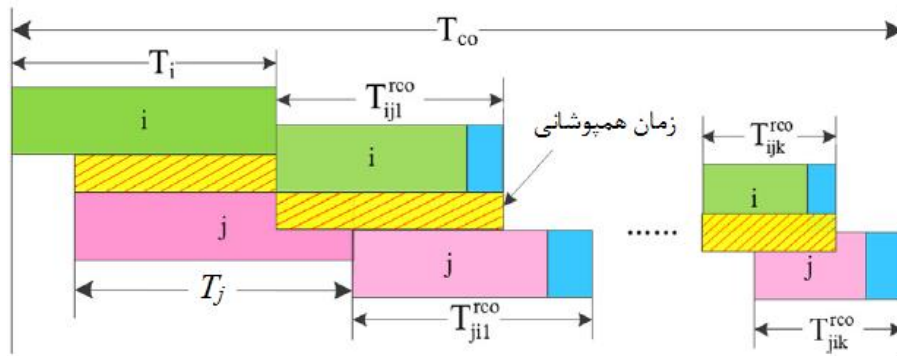


شکل ۳: مزدوج غیرهمپوشان

منظور ادغام دو بخش بحث شده در بالا (مزدوج و همپوشان) یک پارامتر مزدوج  $\beta$  ( $0 < \beta \leq 1$ )، برای مدل کردن مشخصه زمان در الگوی مزدوج همپوشان معرفی شده است. از این رو، تابع زمان دوباره کاری ناشی از همپوشانی فعالیت های مزدوج را می توان به صورت زیر مدل کرد:

### ۳-۱-۴- مزدوج همپوشان

در الگوی مزدوج همپوشان (شکل ۴) هر دو حالت مزدوج شدن و همپوشانی وجود دارد. بخشی از فعالیت های پایین دست به موازات فعالیت های بالادست بر اساس اطلاعات خروجی در هر فرایند تکرار اجرا شده است. به



شکل ۴: مزدوج همپوشان

$$T_{ij}^{roc} \geq \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \beta e^{-\theta k} \left\{ (1 - \alpha_{ij})^\lambda + \alpha_{ij} e^{-a_{ji}/a_{ij}} \right\} T_j - M(1 - CV_{ij}) \quad (9)$$

۳-۲- هزینه توسعه محصول

هزینه فرایند توسعه محصول مجموعه ای از ترکیبات زیر است که شامل هزینه های واقعی کار برای هر فرایند، هزینه های دوباره کاری، هزینه مذاکره و هزینه ریسک می باشد. هزینه های دوباره کاری و مذاکره با توجه به مختصات هر مسئله تعیین می گردند. علاوه بر این با توجه به دشواری توصیف ریسک، در اینجا ما تنها در نظر می گیریم که ریسک به دلیل تاخیر در بازار به وجود می آید. بنابراین، این فرمول شامل انواع مختلفی از هزینه هاست که در زیر نشان داده شده است:

$$C = \sum_{i=1}^N C_i + \sum_{i=1}^N (C^r + C^n) K_i + R_c T_T \quad (13)$$

با توجه به مدت زمان نامشخص همپوشانی، مدت زمان و هزینه پروژه می تواند از طریق ترتیب منطقی دستور اجرایی برای تمام فعالیت های طراحی محاسبه شود. محدودیت های رابطه فوق عبارتند از:

$$T_T \geq T - T_d \quad (14)$$

$$T_T \geq 0 \quad (15)$$

$$K_i = 0, 1, \dots, n \quad (16)$$

$$K_i \geq 1 - \alpha_{ij} \quad (17)$$

$$K_i \geq a_{ij} \quad (18)$$

اگر زمان انجام پروژه بیشتر از زمان تحویل آن باشد (پروژه دیرتر از زمان تحویل مشخص شده، تمام شود) آنگاه هزینه ریسک باید محاسبه گردد که یک مقدار

ماتریس  $CV_{ij}$  در این رابطه فعالیت های مزدوجی که می توانند با یکدیگر همپوشانی داشته باشند را نشان می دهد. محدودیت این رابطه عبارت است از:

$$T_j^s \geq T_i^s + \alpha_{ij} T_i - M(2 - O_{ij} - CV_{ij}) \quad (10)$$

رابطه (۱۰) نشان می دهد که فعالیت پایین دست j باید پس از گذشت  $\alpha_{ij}$  از فعالیت i آغاز شود. ۳-۱-۵- زمان

کل

زمان فرایند توسعه محصول را می توان به عنوان مجموع زمان انجام و دوباره کاری، از نظر چهار الگوی فوق بیان نمود:

$$T = \sum_{i=1}^N T_i + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N (T_{ij}^{ro} + T_{ij}^{rc} + T_{ij}^{roc}) \quad (11)$$

$T_{ij}^o$  زمان همپوشانی فعالیت i و j می باشد. با توجه به رابطه (۱) زمان کل فرایند از مجموع زمان فعالیت ها بدست می آید. بنابراین برای جلوگیری از محاسبه مجدد زمان همپوشانی در هر دو فرایند i و j ما باید زمان همپوشانی فعالیت ها را محاسبه نموده و از رابطه (۱۱) کم نماییم. در نتیجه زمان کل فرایند توسعه محصول به صورت زیر خواهد شد.

$$T = \sum_{i=1}^N T_i + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N (T_{ij}^{ro} + T_{ij}^{rc} + T_{ij}^{roc} - T_{ij}^o) \quad (12)$$

شده است. این جدول از اطلاعات موجود در بایگانی شرکت و همچنین مصاحبه با طراحان و مسئولان شرکت، بخصوص مسئول تحقیق و توسعه شرکت بدست آمده است. داده های موجود برای همخوانی با مدل ارائه شده در بخش سه با اندکی تغییر نسبت به اطلاعات خام اولیه در جدول (۲) آورده شده است. مدل پیشنهادی مذکور در این پژوهش در نرم افزار متلب (MATLAB R2014a) پیاده سازی گردیده و به وسیله آن مثال فوق نیز حل شد.

جدول ۲: هزینه و زمان نرمال فعالیت ها (ورودی های مسئله)

ردیف	نام فعالیت	هزینه نرمال (میلیون ریال)	زمان نرمال (هفته)
۱	A	۸	۱۰
۲	B	۱۲	۸
۳	C	۱۲	۸
۴	D	۱۶	۱۵
۵	E	۱۶	۱۵
۶	F	۱۵	۱۲
۷	G	۱۰	۹
	جمع	۸۹	۷۷

با توجه به شرایط مسئله در فعالیت های E و F و همچنین فعالیت های F و G همپوشانی وجود دارد. فعالیت های B و C مزدوج و فعالیت های D و E مزدوج همپوشان هستند.  $a_{ij}$  برابر  $0.5$  و  $\alpha_{ij}$  را برای فعالیت های همپوشان برابر  $0.6$ ، و برای فعالیت هایی که امکان همپوشانی ندارند برابر ۱ در نظر می گیریم. سایر پارامترهای ورودی نیز  $e^{-\theta k}$ ،  $\beta$ ،  $\lambda$ ،  $C^n$ ،  $C^r$ ،  $R_c$  به ترتیب برابر است با:  $0.7$ ،  $0.8$ ،  $2$ ،  $0.5$ ،  $1$ ،  $0.5$ . دوباره کاری فعالیت ها حداکثر می توانند یکبار صورت گیرد ( $n=1$ ). مقادیر بالا با استفاده از اطلاعات موجود در بایگانی شرکت کوکی ماورا و همچنین با مشورت با طراحان و مسئولان باتجربه شرکت فوق بدست آمد. ما یک حالت کوچک شده از اطلاعات موجود در شرکت را توسط مدل حل نموده و مقادیر فوق را بدست آوردیم و برای حل حالت اصلی استفاده کردیم.

نامنفی است (رابطه ۱۴ و ۱۵). روابط (۱۶)، (۱۷) و (۱۸) محدودیت های مربوط به ماکزیمم تعداد دوباره کاری ناشی از همپوشانی یا مزدوج شدن را نشان می دهد. در صورت وجود کوچکترین همپوشانی یا مزدوج بودن دوباره کاری وجود خواهد داشت. حداکثر تعداد دوباره کاری ( $n$ ) با توجه به شرایط هر مسئله تعیین می گردد.

مدل ارائه شده در این مقاله یک فرمول ریاضی می باشد که می توان با استفاده از آن هزینه و زمان فرایند توسعه محصول را محاسبه نمود. مدل مذکور می تواند بین هزینه و زمان فرایند توسعه محصول تعادل ایجاد نماید. همین امر جنبه نوآوری تحقیق می باشد. در پژوهش های بعدی می توان مدل فوق را با استفاده از الگوریتم های فراابتکاری حل نموده و یک تعادل بین هزینه و زمان فرایند ایجاد نماییم. در واقع می توان با استفاده از الگوریتم های فراابتکاری برای هزینه و زمان مقادیر بهینه را بدست آوریم.

#### ۴- حل مثال نمونه

به منظور نشان دادن موارد استفاده از مدل ارائه شده، ما با مسئولان و طراحان شرکت کوکی ماورا واقع در شهرستان لاهیجان مصاحبه نمودیم. مورد ارائه شده یک شرکت نوپا خصوصی در حوزه صنایع غذایی است که در سال ۱۳۸۹ تاسیس گردیده است و به طور عمده محصولات غذایی هم خانواده کلوچه تولید می کند (مانند کوکی، کلوچه، ویفرو ...). در شرکت فوق، فرآیند توسعه محصول جدید شامل هفت مرحله می باشد: شروع پروژه (A)، ارزیابی بازار (B)، طراحی و بررسی (C)، اخذ مجوزهای اولیه (D)، تولید آزمایشی (E)، بازبینی و اعتبار سنجی طراحی (F) و اخذ مجوزهای لازم جهت تولید انبوه (G). در جدول (۲) تمام فعالیت های درگیر در فرایند توسعه محصول جدید به عنوان یک مثال از ارائه یک محصول جدید (کلوچه) همراه با پارامترهای آنها (زمان عادی و هزینه ها) در نظر گرفته



تنها متمرکز بر حل یک مدل خاص جهت کاهش زمان PD بوده و مدل جامعی برای PD ارائه نکرده اند. تحقیق [21] نیز تنها به دوباره کاریها در PD اشاره داشته و نتوانسته تمامی ابعاد و همپوشانیها را در مدل خود لحاظ کند. تحقیق [28] هم تنها به تعیین ریسک زمان در فرایند PD اشاره داشته است. در حالیکه وجود فعالیت های مزدوج و همپوشانی بین فعالیت ها از ویژگی های بسیار مهم فرایند توسعه محصول پیچیده هستند. فعالیت های مزدوج و همپوشانی بین فعالیت ها منجر به دوباره کاری فعالیت ها می شوند. همین امر زمان و هزینه توسعه محصول را تحت تاثیر قرار می دهد. در این پژوهش به منظور افزایش عملکرد و بهره وری فرایند توسعه محصول، یک مدل ریاضی را برای توصیف ویژگی های زمان و هزینه ناشی از حالات چهارگانه با توجه به همپوشانی و وابستگی متقابل بین فعالیت ها در پروژه PD، پیشنهاد گردیده است. علاوه براین با استفاده از داده های واقعی بدست آمده از شرکت کوکی ماورا شهرستان لاهیجان، مدل پیشنهادی در نرم افزار متلب حل گردید، همانطور که مشاهده گردید مدل پیشنهادی بطور قابل اطمینانی قادر به محاسبه هزینه و زمان فرایند توسعه محصول می باشد.

با در نظر گرفتن مدل فرایند توسعه محصول، هنوز هم کار پژوهشی بسیاری برای انجام وجود دارد. بنابراین، به عنوان تحقیقات آتی می توان مدل پیشنهادی را به وسیله الگوریتم های فراابتکاری حل نمود و یک تعادل بهینه میان زمان و هزینه فرایند توسعه محصول از یک طرف و مقدار همپوشانی فعالیت ها از طرف دیگر ایجاد نمود. همچنین می توان از این مدل علاوه بر صنعت کلوچه سازی در صنایع دیگر از جمله خودرو سازی، قطعه سازی، محصولات غذایی، صنایع نظامی و ... نیز استفاده کرد.

با توجه به ورودی های، مسئله را حل نمودیم. مقادیر بدست آمده پارامترهای خروجی در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳: خروجی های بدست آمده از روابط فوق پس از حل

در نرم افزار متلب

$T_{ij}^{ro} = 3.3600$	$T_{ij}^{roc} = 5.7782$	$T_{ij}^{rc} = 2.0601$
$T_{ij}^o = 22.8000$	$C = 98$	$T = 65.3983$

اطلاعات موجود در جدول ۳ نشان می دهد که مقدار زمان فرایند توسعه محصول ۱۵ درصد کاهش یافت. همچنین به دلیل وجود دوباره کاری، هزینه های فرایند ۱۰ درصد افزایش یافته است. با توجه به نتایج بدست آمده از مثال فوق، مدل پیشنهادی به سادگی قادر به محاسبه زمان و هزینه های فرایند توسعه محصول جدید در حالت های مختلف می باشد.

## ۵- نتیجه گیری

این تحقیق به دنبال ارائه یک مدلی ریاضی در حوزه طراحی محصول برای "ایجاد تعادل بین هزینه و زمان فرایند توسعه محصول براساس همپوشانی و روابط متقابل (مزدوج بودن) بین فعالیت ها" بوده است. به طوریکه در تحقیقات [14] و [15] به بحث همزمانی فرایندها جهت کاهش زمان توسعه محصول اشاره شده است اما بر میزان هزینه و ایجاد تعادل زمان و هزینه اشاره ای نداشته اند. همچنین تحقیق [17] تنها به تاخیر در پروژه PD متمرکز شده و نتوانسته دیگر پارامترهای کلیدی در این حوزه را تحت پوشش قرار دهد. تحقیقات [18] و [19] و [20] هم

## ۶- مراجع

- [1] Brown, S., K. Eisenhardt. (1995). "Product Development: Past Research, Present Findings, and Future Directions". *Academy of Management Review* 20(2) 343-378.
- [2] Wind, J., V. Mahajan. (1997). "Issues and Opportunities in New Product Development: An Introduction to the Special Issue". *Journal of Marketing Research* 34 (Feb) 1-12.
- [3] Finger, S., J. Dixon. (1989). "A Review of Research in Mechanical Engineering Design: Part I: Descriptive, Prescriptive, and Computer-Based Models of Design Processes". *Res. Eng. Design* 1(1) 51-67.
- [4] Smith, R.P., J. Morrow. (1999). "Product Development Process Modeling," *Des. Studies* 20 237 261.
- [5] Krishnan, V., K. Ulrich. (2001). "Product Development Decisions: A Review of the Literature". *Management Science* 47(1) 1-21.
- [6] Zhang HM, Wang HW, Chen D, Zacharewicz G. (2010). "A model-driven approach to multidisciplinary collaborative simulation for virtual product development". *Adv Eng Inform* 24(2):167-79.
- [7] Wang T, Guo S, Sarker BR, Li Y. (2012). "Process planning for collaborative product development with CD-DSM in optoelectronic enterprises". *Adv Eng Inform* 26(2):280-91.
- [8] Yang Y, Zhang J, Wan L, Chen L. (2006). "Internet-based collaborative product development chain for networked product development". *Int J Adv Manuf Technol* 28(7-8):845-53.
- [9] Krishnan V, Eppinger SD, Whitney DE. (1997). "A model-based framework to overlap product development activities". *Manage Sci* 43(4):437-51.
- [10] Browning TR, Eppinger SD. (2002). "Modeling impacts of process architecture on cost and schedule risk in product development". *IEEE Trans Eng Manage* 49(4):428-42.
- [11] Smith RP, Eppinger SD. (1997). "Identifying controlling features of engineering design iteration". *Manage Sci* 43(3):276-93.
- [12] Wang T, Guo S, Liu Y. (2013). "Pareto process optimization of product development project using bi-objective hybrid genetic algorithm". *Advances in Engineering Software* 65:12-22
- [13] Tripathy A, Eppinger SD. (2011). "Organizing global product development for complex engineered systems". *IEEE Trans Eng Manage* 58(3):510-29.
- [14] Kusar J, Duhovnik Je, Grum J, Starbek M. (2004). "How to reduce new product development time". *Robot Comput-Int Manuf* 20(1):1-15.
- [15] Smith PG, Reinertsen DG. (1995). *Developing Products in Half the Time*. New York, USA: Van Nostrand Reinhold.
- [16] Moatari Kazerouni A, Achiche S, Hisarciklilar O, Thomson V. (2011). "Influence of the time perspective on new product development success indicators". In: *Proceedings of the 18th international conference on engineering design*, Denmark. p. 40-51.
- [17] Tatikonda MV, Rosenthal SR. (2000). "Technology novelty, project complexity, and product development project execution success: a deeper look at task uncertainty in product innovation". *IEEE Trans Eng Manage* 47(1):74-87.
- [18] Ahmadi R, Roemer TA, Wang RH. (2001). "Structuring product development processes". *Eur J Oper Res* 130(3):539-58.
- [19] Jun H, Park J, Suh H. (2006). "Lead time estimation method for complex product development process". *Concurr Eng* 14(4):313-28.
- [20] Dragut A, Bertrand J. (2008). "A representation model for the solving-time distribution of a set of design tasks in new product development (NPD)". *Eur J Oper Res* 189(3):1217-33.
- [21] Yan HS, Wang B, Xu D, Wang Z. (2010). "Computing completion time and optimal scheduling of design activities in concurrent product development process". *IEEE Trans Syst Man Cyber A* 40(1):76-89.

- [22] Tu YL, Xie SQ, Fung RYK. (2007). "Product development cost estimation in mass customization". *IEEE Trans Eng Manage* 54(1):29-42.
- [23] Shehab EM, Abdalla HS. (2001). "Manufacturing cost modelling for concurrent product development". *Robot Comput-Int Manuf* 17(4):341-53.
- [24] Yang Q, Zhang XF, Yao T. (2012). "An overlapping-based process model for managing schedule and cost risk in product development". *Concurr Eng-Res A* 20(1):3-17.
- [25] Lin J, Qian YJ, Cui WT, Miao ZL. (2010). "Overlapping and communication policies in product development". *Eur J Oper Res* 201(3):737-50.
- [26] Roemer TA, Ahmadi R, Wang RH. (2000). "Time-cost trade-offs in overlapped product development". *Oper Res* 48(6):858-65.
- [27] Savin S, Terwiesch C. (2005). "Optimal product launch times in a duopoly: balancing life-cycle revenues with product cost". *Oper Res* 53(1):26-47.
- [28] Wang, J, Lin, Y. (2009). "An overlapping process model to assess schedule risk for new product development". *Computers & Industrial Engineering* 57: 460-474.

Archive of SID