



### نکاتی در رابطه با پروژه

پروژه از سه فاز تشکیل شده است:

- فاز اول: در این فاز از پروژه، هدف طراحی واحدهای مورد نیاز جهت طراحی سامانه و مسپرداده‌ی الگوریتم است.
- فاز دوم: در این فاز از پروژه، هدف پیاده‌سازی واحد کنترل الگوریتم است.

### نکاتی در رابطه با نحوه‌ی ارسال پروژه

- ارسال پروژه به صورت الکترونیکی و از طریق [سامانه دروس](#) خواهد بود. فایل ارسالی شما فایل zip با نام sid\_ps.zip است که sid شماره دانشجویی و ps شماره فاز پروژه است. برای فاز نهایی (فاز دوم پروژه) علاوه بر ارسال کدهای نوشته شده نیاز است تا یک فایل گزارش حداکثر ۴ صفحه‌ای طراحی گردد و کلیات پیاده‌سازی شرح داده شود. علاوه بر آن، در صورت نیاز باید به صورت مجازی از پروژه دفاع شود که جزئیات آن بعداً اعلام خواهد شد.
- زمان تحویل هر فاز در جدول زیر آمده است. انجام پروژه به صورت گروه‌های دو نفره خواهد بود. فایل ارسالی را باید هر دو عضو گروه ارسال نمایند و هر دو به کدهای نوشته شده تسلط داشته باشند.

فاز اول	۹۹/۰۴/۳۰
فاز دوم	۹۹/۰۵/۱۵

چنانچه ابهامی در زمینه پروژه دارید، می‌توانید اشکالات خود را از طریق پست الکترونیکی زیر با موضوع PDS.2020 رفع نمایید.

[ali.mohammadpour\[at\]aut.ac.ir](mailto:ali.mohammadpour[at]aut.ac.ir)

محمدپور

موفق و پیروز باشید!

## پروژه پایانی

### مقدمه

پروژه پایانی درس پیاده‌سازی یک الگوریتم ریاضی با استفاده از آنچه که در طول ترم آموخته‌اید می‌باشد. محدودیتی در پیاده‌سازی الگوریتم وجود ندارد و تنها نکته‌ای که در هنگام پیاده‌سازی و توصیف مدارهای مورد استفاده باید در نظر گرفته شود، این است که سامانه‌ی طراحی شده **سنتزپذیر** باشد. پروژه‌ی نهایی از دو فاز طراحی تشکیل شده است. در فاز اول مدارهای پایه‌ی مورد نیاز جهت پیاده‌سازی پروژه و مسیر داده<sup>۱</sup> سامانه و در فاز دوم واحد کنترل<sup>۲</sup> پروژه طراحی و پیاده‌سازی خواهد شد.

### شرح مسأله

شما باید سامانه‌ای طراحی نمایید تا محاسبات الگوریتم ۱ را محاسبه نماید. این الگوریتم برای شتابدهی به محاسبات مربوط به شبیه‌سازی سیستم‌های شبکه آبرسانی شهری است که در پیاده‌سازی نرم‌افزاری زمان زیادی برای اجرای آن صرف می‌شود. از این سیستم برای تشخیص محل نشت آب در لوله‌های زیرزمینی استفاده می‌شود و لازم است با شتابدهی سخت‌افزاری، سرعت آن افزایش یابد.

الگوریتم مورد نظر دارای یک حلقه‌ی تکرار است و این حلقه تا زمانی که میزان تغییرات از حد آستانه کمتر نباشد تکرار می‌شود. به عبارتی بهتر هدف الگوریتم حل رابطه‌ی ۱ است.

$$A_{p \times p} \times X_{p \times 1} = B_{p \times 1} \quad (1)$$

در این رابطه ماتریس  $A$  یک ماتریس خاص است که از چهار زیر ماتریس مختلف تشکیل شده است.

$$A \rightarrow \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & 0 \end{bmatrix}$$

ماتریس  $A_{11}$  یک ماتریس قطری است. مقدار هر یک از درایه‌های ماتریس  $A_{11}$  در هر مرحله از رابطه‌ی ۲ به دست می‌آید. مقادیر ماتریس‌ها و بردارها در دور  $i$  ام به صورت  $M^{(i)}$  نمایش داده شده است.

$$A_{11}^{(i)}(k, k) = R \cdot (X^{(i-1)}(k))^2 \quad (2)$$

درایه‌های ماتریس  $A_{12}$  دارای یکی از مقادیر  $(1, 0, -1)$  است و ماتریس  $A_{21}$  ترانپوذه<sup>۳</sup>ی ماتریس  $A_{12}$  است. بخش چهارم ماتریس  $A$  نیز یک ماتریس مربعی صفر است. مقدار درایه‌های زیرماتریس‌های  $A_{12}$  و  $A_{21}$  همواره ثابت است. مقدار درایه‌های بردار  $B$  نیز همواره ثابت است اما بردار  $X$  در هر مرحله از تکرار تغییر می‌کند.

<sup>۱</sup> Datapath

<sup>۲</sup> Control unit

<sup>۳</sup> Transpose

ابعاد هر یک از ماتریس‌های فوق در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱: ابعاد ماتریس‌ها

ابعاد	نام ماتریس	ابعاد	نام ماتریس	ابعاد	نام ماتریس
$m \times n$	$A_{21}$	$n \times m$	$A_{12}$	$n \times n$	$A_{11}$
$p \times p$	$X$	$p \times p$	$B$	$p \times p$	$A$

$$p = n + m$$

با توجه به اینکه ماتریس  $A$  یک ماتریس خاص است، می‌توان از روشی که در الگوریتم ۱ آمده است آن را به دست آورد. در این الگوریتم ابتدا مقادیر اولیه‌ی دلخواهی به ماتریس‌ها و بردارها نسبت داده می‌شود. سپس یک تابع هدف ( $F$ ) در نظر گرفته می‌شود. هدف الگوریتم کمینه کردن تابع هدف است که با تکرار محاسبات، مقادیر نهایی ماتریس مشخص می‌گردد.

جهت محاسبات نیاز است تا مشتق ماتریس  $A$  یعنی  $DA$  محاسبه گردد. جهت محاسبه مشتق ماتریس  $A$  فقط زیر ماتریس  $A_{11}$  باید تغییر کند. به عبارتی باید مقدار  $D_{11}$  مشخص گردد.

$$DA \rightarrow \begin{bmatrix} D_{11} & A_{12} \\ A_{21} & 0 \end{bmatrix}$$

محتوای درایه‌های روی قطر ماتریس  $D_{11}$  از رابطه‌ی ۳ به دست می‌آید.

$$D_{11}^{(i)}(k, k) = L \cdot R \cdot (X^{(i-1)}(k))^2 \quad (3)$$

در این رابطه  $L$  و  $R$  اعداد ثابت هستند.

رابطه‌ی ۴ تابع هدفی است که در الگوریتم محاسبه شده و در هر بار تکرار، در آخرین دستور حلقه، مقدار آن به‌روزرسانی می‌شود.

$$F^{(i)} = A^{(i)} \times X^{(i)} - B \quad (4)$$

در الگوریتم ۱ منظور از  $(|\Delta X| \geq E)$  این است که قدر مطلق حداقل یکی از درایه‌های بردار  $\Delta X$  از مقدار ثابت  $E$  بزرگتر باشد.

در رابطه‌ی ۵ نحوه‌ی محاسبه‌ی ماتریس  $G$  آمده است. منظور از  $M^T$  ترانپوذه‌ی ماتریس  $M$  است.

$$G^{(i)} = -S^{(i)} \cdot (DA^{(i)})^T \quad (5)$$

در رابطه‌ی ۶ نحوه‌ی به دست آوردن متغیر  $S$  مشخص شده است. در واقع مقدار  $S^{(i)}$  از شیفت حسابی حاصل تفریق حاصل ضرب اعداد بر روی قطر اصلی و حاصل ضرب اعداد بر روی قطر فرعی ماتریس  $DA^{(i)}$  به دست می‌آید.

$$S^{(i)} = \frac{\prod_{k=1}^p DA^{(i)}(k, k) - \prod_{k=1}^p DA^{(i)}(k, p - k + 1)}{2^Z} \quad (6)$$

در این رابطه  $Z$  یک عدد ثابت مثبت در بازه‌ی  $(0, \log_2^p)$  است.

مقادیر اولیه‌ی ماتریس‌ها و ثابت‌ها ضمیمه شده است.



الگوریتم ۱ به صورت زیر است:

1. let  $i = 0$
2. initialize  $A^{(0)}$  and  $X^{(0)}$
3. **do** {
  - 3.1. calculate  $F^{(i)}$
  - 3.2. calculate  $G^{(i)}$
  - 3.3. solve  $\Delta X^{(i)} = G^{(i)} \times F^{(i)}$
  - 3.4. let  $X^{(i+1)} = X^{(i)} + \Delta X^{(i)}$
  - 3.5. update  $A^{(i+1)}$  with  $X^{(i+1)}$
  - 3.6.  $i = i + 1$**} while** ( $|\Delta X| \geq E$ )



## فاز اول

### (طراحی مسیره داده)

در این فاز از پروژه، هدف طراحی واحدهای مورد نیاز جهت طراحی مسیره داده است. در هنگام پیاده‌سازی نکات زیر را در نظر بگیرید.

- توصیف واحدهای محاسباتی می‌تواند به صورت ساختاری یا در سطح انتقال ثبات باشد. پیاده‌سازی باید سنتزپذیر باشد.
- جهت شبیه‌سازی مدارهای خواسته شده، یک فایل input.data جهت خواندن محتوای ورودی‌ها در محیط آزمون قرار داده شده است. در فایل محیط آزمون داده‌ها را از آن خوانده و پس از محاسبات، نتایج را در فایلی با نام output.dat بنویسید.
- نوع داده‌های ورودی و خروجی را به صورت اعداد مکمل دو در نظر بگیرید. طول هر داده  $w$  بیت است و به صورت Generic تعریف می‌شود. ابعاد ماتریس‌ها و بردارها را نیز به صورت Generic تعریف کنید.
- در هنگام جمع و ضرب اعداد، تعداد بیت‌های ورودی و خروجی تغییر نمی‌کند. به عنوان مثال پس از ضرب دو عدد  $w$  بیتی، تعداد بیت خروجی همان  $w$  باقی می‌ماند. طول داده‌ها نسبت به محتوای آن‌ها بسیار بیشتر در نظر گرفته شده است، لذا بیت‌های با ارزش اضافی را نادیده بگیرید.

#### ماژول ۰ (طراحی کتابخانه)

یک Package بسازید و انواع داده‌ها و ثابت‌هایی که در طراحی مورد استفاده قرار خواهد گرفت را شناسایی کرده و در آن تعریف نمایید. سپس برای طراحی سایر قسمت‌ها از آن استفاده کنید.

#### ماژول ۱ (محاسبه‌کننده‌ی تابع هدف)

مداری طراحی نمایید که ورودی آن دو ماتریس  $A_{11}$  و  $X$  را به عنوان ورودی دریافت نموده و مطابق رابطه‌ی ۴ حاصل تابع هدف ( $F$ ) را محاسبه نماید.

#### ماژول ۲ (محاسبه‌کننده‌ی ماتریس $DA$ )

مداری طراحی نمایید که دو ماتریس  $A_{11}$  و  $X$  را به عنوان ورودی دریافت نموده و مطابق رابطه‌ی ۳ محتوای ماتریس  $DA_{11}$  را بروزرسانی نماید.

#### ماژول ۳ (محاسبه‌کننده‌ی ماتریس $G$ )

مداری طراحی نمایید که دو ماتریس  $DA$  را به عنوان ورودی دریافت نموده و مطابق رابطه‌ی ۵ و ۶ محتوای ماتریس  $G$  را بروزرسانی نماید.

#### ماژول ۴ (مسیره داده)

با توجه به الگوریتم ۱، مسیره‌داده‌ای طراحی نمایید که محاسبات یک مرحله از تکرار را انجام دهد. پس از رسم مسیره داده، کد توصیف آن را ارائه دهید.



### (نحوه‌ی تحویل و ارزیابی فاز اول)

برای هر یک از ماژول‌ها، فایل ورودی قرار داده شده است. یک فایل محیط آزمون طراحی نمایید که مقادیر ورودی را از آن بخواند و پس از محاسبات، خروجی ماژول را در یک فایل بنویسد. فایل توصیف ماژول، فایل محیط آزمون و فایل خروجی را در پوشه‌ی مربوطه قرار دهید.

برای ماژول مربوط به مسیر داده، فقط محتوای ماتریس  $X$  و  $G$  را پس از محاسبات در فایل خروجی بنویسید. علاوه بر آن، مسیر داده‌ی طراحی شده را رسم نموده و ضمیمه کنید.

مسیر داده‌ی طرح را سنتز نموده و گزارش منابع مصرفی و فرکانس کاری را ضمیمه کنید.

یک فایل با نام `project.txt` در فایل ارسالی قرار دهید و در آن مشخصات اعضای گروه شامل نام، نام خانوادگی، شماره دانشجویی و ایمیل را در آن بنویسید.

فایل ارسالی باید یک فایل فشرده به صورت `zip` باشد. چنانچه توضیحاتی در مورد پیاده‌سازی دارید، یک فایل با نام `README.pdf` در فایل فشرده قرار دهید.

### فاز دوم

#### (طراحی واحد کنترل)

در این فاز از پروژه، هدف پیاده‌سازی حلقه‌ی تکرار شبه‌کد قرار داده شده است. از مسیر داده‌ی طراحی شده در فاز اول استفاده کرده و یک واحد کنترل جهت انجام محاسبات الگوریتم موجود در شبه‌کد طراحی نمایید. سپس برای مدار نهایی یک فایل محیط آزمون طراحی نمایید و درستی طرح را با استفاده از فایل ورودی قرارداده شده بررسی کنید.

جهت بررسی درستی، محتوای ماتریس‌های  $X$  و  $G$  را برای چهار مرحله‌ی اول در یک فایل خروجی بنویسید. یک گزارش حداکثر چهار صفحه‌ای بنویسید و گزارشی از طراحی را ارائه دهید. گزارش منابع مصرفی، فرکانس کاری و توان مصرفی را برای طرح نهایی ارائه دهید. هنگام تحویل فایل‌های توصیف، شبیه‌سازی، نتایج شبیه‌سازی و مسیر داده‌ی نهایی طرح در پوشه‌ای با ساختاری که در قالب تمرین آمده است قرار داده و به صورت `zip` فشرده کنید. سپس در سامانه‌ی دروس بارگزاری نمایید. چنانچه توضیحاتی در مورد پیاده‌سازی دارید، یک فایل با نام `README.pdf` در فایل فشرده قرار دهید.