



# بانک جزوات یازدهمی ها

دیجی کنکور، رسانه دانش آموزان موفق

**ورود به بانک جزوات**

برای ورود به بانک جزوات کلیک کنید

نیاز به  
برنامه ریزی  
داری؟

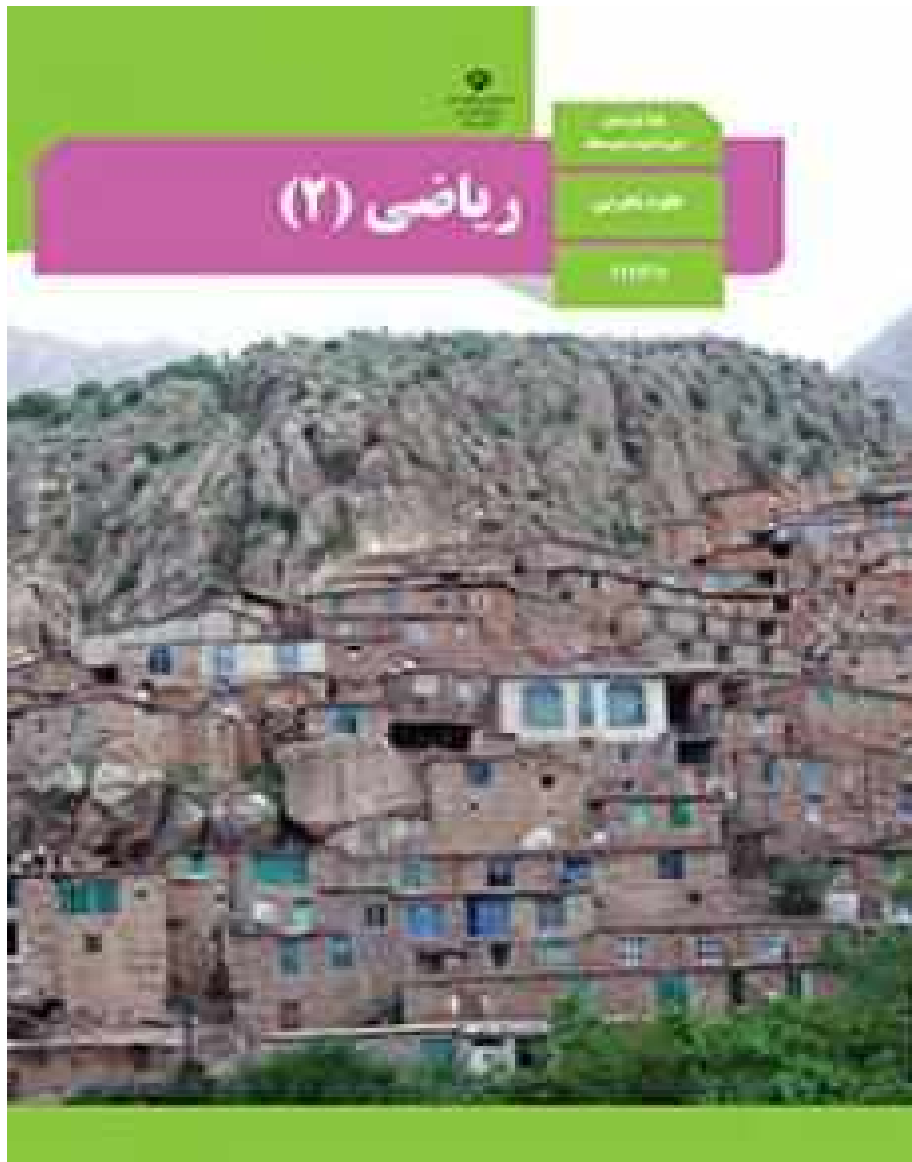
آیا می دونستی؟

دیجی گنکور ناشر محبوب ترین و دقیق ترین برنامه ریزی تحصیلی  
ویژه پایه دهم است

۰۲۱-۲۸۴۲۲۴۱۰

# ریاضی ۲

پایه یازدهم « رشته ی علوم تجربی »



# ریاضی ۲

پایه میاز دهم « رشته می علوم تجربی »

**فصل ۱ : جبر و معادله**

## درس اول: هندسه تحلیلی

بحث هندسه‌ی تحلیلی یکی از بحث‌های مهم و کاربردی در ریاضیات است. به کمک این بحث است که می‌توان معادلات جبری برای اشکال هندسی بیان نمود و سپس آنها را بررسی و حل کرد.

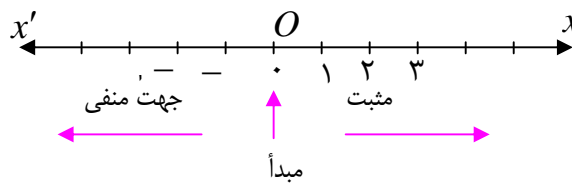
### قسمت اول: محور اعداد حقیقی

محور اعداد حقیقی خط راستی است که روی آن

الف : نقطه‌ای به عنوان مبدأ

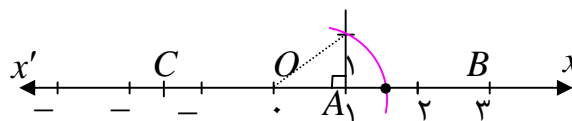
ب : واحدی برای اندازه‌گیری طول‌ها

ج : جهت‌ی به عنوان جهت مثبت، اختیار شده باشد. انند محور  $x'Ox$  در شکل زیر



بدیهی است که هر نقطه روی محور را می‌توان با یک عدد حقیقی نشان داد و هر عدد حقیقی متناظر با یک نقطه روی محور است. به عبارتی دیگر بین مجموعه‌ای اعداد حقیقی و مجموعه‌ی نقاط روی محور تناظر یک به یک قرار دارد.

عدد حقیقی متناظر با هر نقطه روی محور را **طول آن نقطه** می‌نامند. به عبارت دیگر طول هر نقطه روی یک محور عددی است جبری که قدرمطلق آن برابر با فاصله‌ی آن نقطه تا مبدأ محور است.



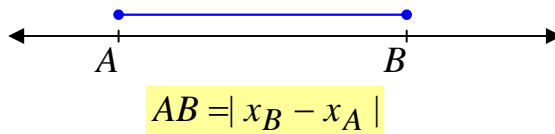
طول هر نقطه مانند  $A$  روی محور اعداد حقیقی را با  $x_A$  نمایش می‌دهند.

$$x_A = OA$$

در شکل فوق داریم:

$$x_O = 0 \quad \text{و} \quad x_A = \sqrt{2} \quad \text{و} \quad x_B = 2 \quad \text{و} \quad x_C = -2 \quad \text{و} \quad x_D = \sqrt{2}$$

اگر  $A$  و  $B$  دو نقطه روی محور باشند، بدیهی است که **طول یا اندازهی پاره خط  $AB$**  برابر قدر مطلق تفاضل طول های این دو نقطه است.

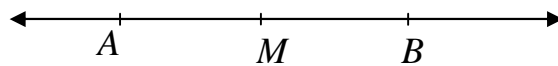


در صورتی که نقطه  $M$  **وسط** پاره خط  $AB$  باشد. می توان نوشت :

$$x_M = \frac{x_A + x_B}{2}$$

استدلالی که برای اثبات درستی این تساوی ارائه می شود به صورت زیر است.

$$AM = MB$$



$$\rightarrow x_M - x_A = x_B - x_M \rightarrow 2x_M = x_A + x_B \rightarrow x_M = \frac{x_A + x_B}{2}$$

**تمرین ۱ :** اگر دو نقطه  $A$  و  $B$  روی یک محور باشند و  $x_A = -$  و  $x_B = -$  در این صورت:

الف : اندازهی پاره خط  $AB$  را تعیین کنید.

ب : طول نقطه  $M$  وسط پاره  $AB$  را به دست آورید.

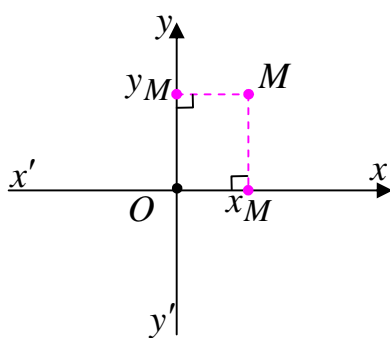
**تمرین ۲ :** اگر سه نقطه  $A$  و  $B$  و  $C$  روی یک محور چنان قرار دارند که نقطه  $B$  وسط پاره خط  $AC$

بوده و  $x_A = -$  و  $x_B = 3m + 2$  و  $x_C = m +$  باشد، مقدار  $m$  را تعیین کنید.

\*\*\*

### قسمت دوم : دستگاه محور های مختصات ( دستگاه مختصات دکارتی )

$x'Ox$  و  $y'Oy$  که در یک صفحه قرار دارند، یک دستگاه مختصات به وجود می آورند، هرگاه این



دو محور بر هم عمود باشند و در نقطه  $O$  ( مبدأ مشترک )

متقاطع باشند.

محور افقی ( $x'Ox$ ) را محور طول ها و محور قائم ( $y'Oy$ ) را

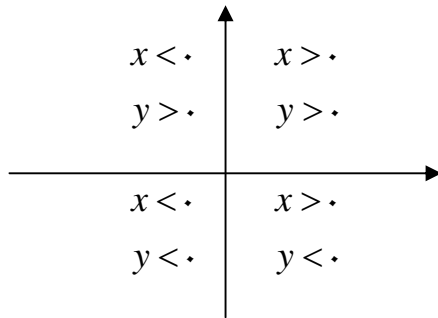
محور عرض ها می نامند.

بدیهی است که هر نقطه روی صفحه ،  $M$  با دو عدد حقیقی

مشخص می شود. تصویر نقطه  $M$  روی محور طول ها را طول  $(x_M)$  و تصویر نقطه  $M$  روی محور عرض ها را عرض  $(y_M)$  می نامند.

$$M \begin{matrix} | \\ x_M \\ | \\ y_M \end{matrix} \quad \text{یا} \quad M(x_M, y_M)$$

طول و عرض نقطه را مختصات نقطه می نامند.



**نتیجه:** دستگاه مختصات قائم صفحه را به چهار ناحیه

(ربع) تبدیل می کند. علامت مختصات هر نقطه با توجه به

ربعی که در آن قرار دارد، به صورت زیر است.

همچنین:

الف: هر نقطه که روی محور طول ها قرار دارد، عرض آن صفر است و برعکس

ب: هر نقطه که روی محور عرض ها قرار دارد، طول آن صفر است و برعکس

ج: نقطه ی تقاطع دو محور که مبدأ مختصات نام دارد، طول و عرض آن صفر است.

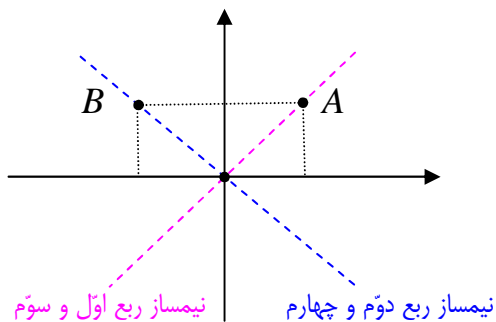
**تمرین ۳:** نقطه  $P(2m - 1, m + 3)$  داده شده است.  $m$  را چنان بیابید که:

$P$  روی محور طولها قرار گیرد.

$P$  روی محور عرض ها قرار گیرد.

**تمرین ۴:** نقطه  $P(2k - 1, k + 1)$  در ناحیه ی دوّم دستگاه مختصات قرار دارد. حدود  $k$  را تعیین کنید.

**توجه:**



۱: تمام نقاطی که روی نیمساز ربع اوّل و سوّم دستگاه

مختصات واقعند، دارای طول و عرض مساوی هستند.

۲: تمام نقاطی که روی نیمساز ربع دوّم و چهارم دستگاه

مختصات واقعند، دارای طول و عرض قرینه هستند.

**تمرین ۵:** نقطه  $P(2m - 6, m - 3)$  داده شده است.  $m$  را چنان بیابید که:

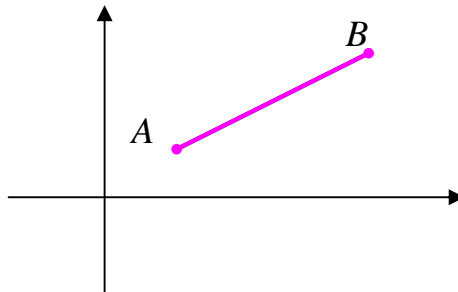
$P$  روی نیمساز ربع اوّل و سوّم قرار گیرد.

$P$  روی نیمساز ربع دوّم و چهارم قرار گیرد.

### اندازه‌ی پاره خط در دستگاه محورهای مختصات

اگر  $A$  و  $B$  دو نقطه روی صفحه باشند، در این صورت اندازه‌ی (طول) پاره خط  $AB$  به صورت زیر است.

$$AB = \sqrt{(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2}$$



برای مطالعه: برای اثبات درستی این موضوع از رابطه‌ی فیثاغورس استفاده می‌شود.

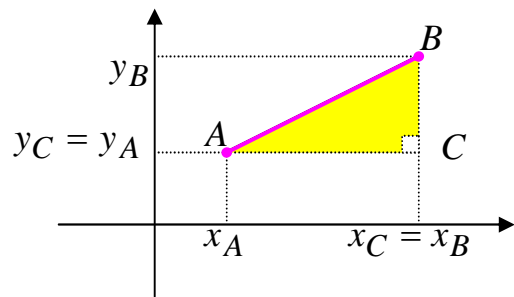
$$AB^2 = AC^2 + BC^2$$

$$AC = |x_C - x_A| = |x_B - x_A|$$

$$BC = |y_B - y_C| = |y_B - y_A|$$

$$AB^2 = (x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2$$

$$\rightarrow AB = \sqrt{(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2}$$

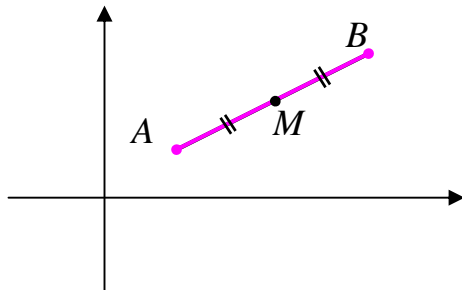


\*\*\*

### مختصات نقطه‌ی وسط پاره خط

اگر  $A$  و  $B$  دو نقطه روی صفحه باشند و نقطه‌ی  $M$  نقطه‌ی وسط (میانی) پاره خط  $AB$  باشد، در این

صورت مختصات نقطه‌ی  $M$  به شکل زیر است.

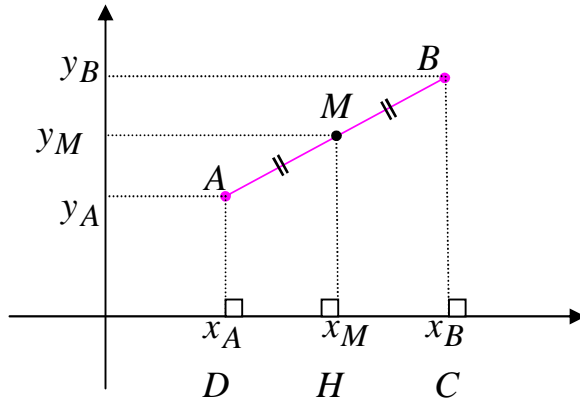


$$\begin{cases} x_M = \frac{x_A + x_B}{2} \\ y_M = \frac{y_A + y_B}{2} \end{cases}$$



**برای مطالعه :** برای اثبات این موضوع می توان به شکل زیر استدلال کرد.

اگر  $A$  و  $B$  دو نقطه روی صفحه باشند و نقطه ی  $M$  نقطه ی وسط (میانی) پاره خط  $AB$  در نظر گرفته



شود. در این صورت می توان گفت که چون

نقطه ی  $M$  وسط پاره خط  $AB$  از متوازی

الاضلاع  $ABCD$  می باشد و  $MH$  موازی

دو قاعده رسم شده است (هر سه بر محور  $x$

عمودند). پس بنابر قضیه ی خطوط موازی

(تالس) می توان نوشت :

$$\frac{DH}{HC} = \frac{AM}{MB} \xrightarrow{AM=MB} \frac{DH}{HC} = 1 \rightarrow DH = HC$$

$$\rightarrow x_M - x_A = x_B - x_M \rightarrow 2x_M = x_A + x_B \rightarrow x_M = \frac{x_A + x_B}{2}$$

و به همین ترتیب ثابت می شود.

$$y_M = \frac{y_A + y_B}{2}$$

**تمرین ۶ :** دو نقطه ی  $A(3, -7)$  و  $B(-1, -4)$  داده شده اند.

الف) طول پاره خط  $AB$  را تعیین کنید.

ب) مختصات نقطه ی  $M$  وسط پاره خط  $AB$  را به دست آورید.

**تمرین برای حل :**

**۷ :** اگر  $A(1, 0)$  و  $B(-2, 3)$  دو رأس مقابل مربعی باشند. مساحت مربع را محاسبه کنید

**۸ :** نقاط  $A(-3, 0)$  و  $B(6, 10)$  و  $C(0, 6)$  سه رأس یک مثلث می باشند. اندازه ی میانه <sup>۱</sup>ی وارد بر

ضلع  $BC$  را تعیین کنید.

**۹ :** اگر  $A(-1, 2)$  و  $B(3, -1)$  و  $C(2, -2)$  سه رأس مثلثی باشند، نوع مثلث را تعیین کنید.

<sup>۱</sup>. در هر مثلث، میانه، پاره خطی است که وسط یک ضلع را به رأس مقابل آن وصل می کند.

۱۰: اگر  $A(4,0)$  و  $B(2,-2\sqrt{3})$  و مبدأ مختصات سه رأس مثلثی باشند، ابتدا نوع مثلث را تعیین کنید و سپس مساحت و محیط آن را تعیین کنید.

**یادآوری:** مساحت هر مثلث متساوی الاضلاع به ضلع  $a$  برابر  $\frac{\sqrt{3}}{4}a^2$  است.

۱۱: اگر  $A(2,3)$  و  $B(-1,0)$  و  $C(-5,4)$  سه رأس مثلثی باشند، ابتدا نوع مثلث را تعیین کنید و سپس مساحت آن را تعیین کنید.

۱۲: دو انتهای یکی از قطرهای دایره‌ای، نقاط  $A(2,-2)$  و  $B(6,4)$  هستند.

الف) اندازه‌ی شعاع و مختصات مرکز دایره را بیابید.

ب) آیا نقطه‌ی  $P(7,3)$  بر روی محیط دایره قرار دارد؟ چرا؟

\*\*\*

### رابطه‌ی بین مختصات رئوس متوازی الاضلاع

در هر متوازی الاضلاع مجموع طول‌های دو رأس روبرو با مجموع طول‌های دو رأس روبروی دیگر برابر است.

$$x_A + x_C = x_B + x_D$$

به همین ترتیب مجموع عرض‌های دو رأس روبرو با مجموع عرض‌های دو رأس روبروی دیگر برابر است.

$$y_A + y_C = y_B + y_D$$

**برای مطالعه:** برای اثبات این مطلب می‌توان از موضوع هندسی زیر استفاده کرد.

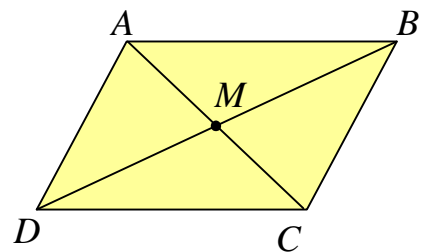
با توجه به اینکه در متوازی الاضلاع قطرهای همدیگر را نصف می‌کند. لذا می‌توان نوشت:

$$AC \text{ وسط پاره خط } \Rightarrow x_M = \frac{x_A + x_C}{2}$$

$$BD \text{ وسط پاره خط } \Rightarrow x_M = \frac{x_B + x_D}{2}$$

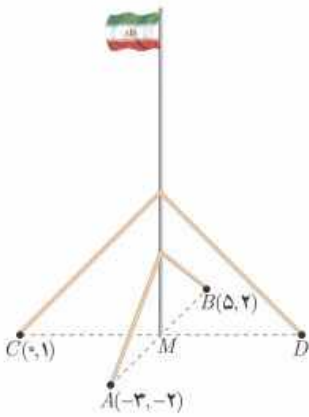
$$\Rightarrow x_A + x_C = x_B + x_D$$

$$\Rightarrow y_A + y_C = y_B + y_D$$



و به همین ترتیب داریم:

**تمرین ۱۳:** اگر  $A(-۱,۲)$  و  $B(۳,۴)$  و  $C(۲,۰)$  مختصات سه رأس متوالی از متوازی الاضلاع  $ABCD$  باشند، مختصات رأس  $D$  را تعیین کنید.



**تمرین ۱۴:** یک میله ی پرچم بزرگ، مطابق شکل توسط کابل هایی به چهار نقطه در زمین محکم شده است، به طوری فاصله ی هر یک از چهار نقطه تا پای میله برابر است با فاصله ی نقطه ی مقابل آن تا پای میله می باشد، مختصات نقطه ی  $D$  را به دست آورید.

**تمرین ۱۵:** مقادیر  $m$  و  $n$  را طوری تعیین کنید که نقاط زیر به همین ترتیب رئوس متوازی الاضلاع باشند.

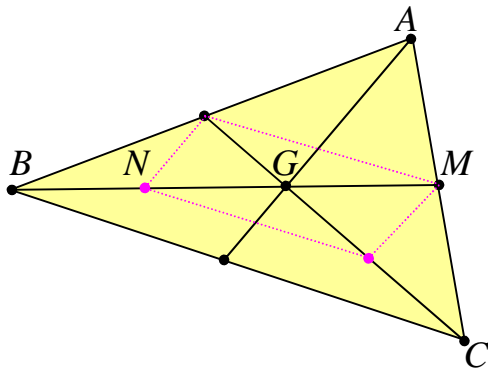
$$A(۱, n + ۳) \text{ و } B(n - ۱, ۲m) \text{ و } C(۳, ۱) \text{ و } D(۳m, -۱)$$

\*\*\*

مختصات مرکز ثقل مثلث (نقطه ی برخورد میانه های مثلث)

اگر نقطه ی  $G$  محل تقاطع میانه های مثلث  $ABC$  باشد. در این صورت می توان نوشت:

$$x_G = \frac{x_A + x_B + x_C}{3} \quad \text{و} \quad y_G = \frac{y_A + y_B + y_C}{3}$$



برای مطالعه: اگر  $G$  نقطه ی برخورد میانه های

مثلث  $ABC$  باشد. ثابت می شود که نقطه ی برخورد

میانه های مثلث به فاصله ی  $\frac{1}{3}$  طول هر میانه از وسط

ضلع مقابل و به فاصله ی  $\frac{2}{3}$  طول هر میانه از رأس

نظیر آن میانه است.

$$BG \text{ پاره خط } N \text{ نقطه ی } \Rightarrow x_N = \frac{x_B + x_G}{2}$$

$$MN \text{ پاره خط } G \text{ نقطه ی } \Rightarrow x_G = \frac{x_N + x_M}{2}$$

$$AC \text{ پاره خط } M \text{ نقطه ی } \Rightarrow x_M = \frac{x_A + x_C}{2}$$

$$\Rightarrow x_G = \frac{\frac{x_B + x_G}{2} + \frac{x_A + x_C}{2}}{2} \Rightarrow 2x_G = \frac{x_A + x_B + x_C + x_G}{2}$$

$$\Rightarrow 4x_G = x_A + x_B + x_C + x_G \Rightarrow 3x_G = x_A + x_B + x_C$$

$$\Rightarrow x_G = \frac{x_A + x_B + x_C}{3}$$

و به همین ترتیب ثابت می شود.

$$\Rightarrow y_G = \frac{y_A + y_B + y_C}{3}$$

**تمرین ۱۶:** اگر  $A(-2, 3)$  و  $B(4, -1)$  و  $C(-8, 4)$  سه رأس مثلثی باشند. مختصات محل تلاقی میانه

های مثلث را به دست آورید.

<sup>2</sup> محل تقاطع میانه های هر مثلث را مرکز ثقل مثلث نیز می نامند.

### شیب خط

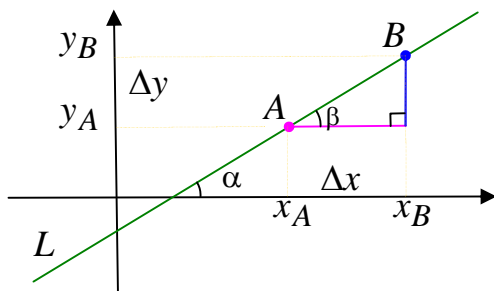
اگر  $A$  و  $B$  دو نقطه از خط  $L$  باشند. شیب (ضریب زاویه) خط  $L$  به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$m_L = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A}$$

بنابر قضیه‌ی خطوط موازی واضح است که  $\angle \alpha = \angle \beta$ . همچنین بنابر بر تعریف تانژانت زاویه‌ی حاده در مثلث قائم‌الزاویه می‌توان نوشت.

$$m_L = \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A} = \tan(\beta) = \tan(\alpha)$$

لذا شیب هر خط، تانژانت زاویه‌ی ای است که آن خط با جهت مثبت محور  $x$  ها می‌سازد.



**نتیجه:** با این تعریف واضح است که

الف: شیب محور طولها و هر خط موازی آن، برابر صفر است.

ب: شیب محور عرضها و هر خط موازی آن، تعریف نشده است.

ج: شیب نیمساز ربع اول و سوم برابر ۱ و شیب نیمساز ربع دوم و چهارم برابر -۱ است.

**تمرین ۱۷:** شیب خط گذرا از دو نقطه‌ی  $A(۵, -۴)$  و  $B(۳, ۰)$  را به دست آورید.

**تمرین ۱۸:** خطی با محور طولها در جهت مثبت زاویه‌ی  $۳۰$  درجه تشکیل می‌دهد. شیب این خط را

بنویسید.

**تمرین ۱۹:** ثابت کنید که سه نقطه‌ی  $A(-۴, ۲)$  و  $B(-۲, ۰)$  و  $C(۱, -۳)$  روی یک خط راست واقع اند.

\*\*\*

## معادله‌ی خط

هر رابطه‌ی خطی بین طول و عرض تمام نقاط خط را معادله‌ی خط می‌نامند.

**مثال:** دو نقطه‌ی  $A(3,7)$  و  $B(1,3)$  را در نظر بگیرید. به کمک تعیین رابطه‌ی طول و عرض این دو

نقطه، معادله‌ی خط  $AB$  را بنویسید.

حل: با کمی دقت معلوم می‌شود که اگر ابتدا طول هر کدام از این دو نقطه را دو برابر و سپس با عدد یک

جمع کنیم، عرض نقطه به دست می‌آید. لذا رابطه‌ی موجود (معادله‌ی خط) به صورت زیر است.

$$y = 2x + 1$$

**تمرین ۲۰:** نمودار خط مثال قبل را رسم کنید.

تذکر: به طور کلی معادله‌ی هر خط به صورت زیر است.

$$y = mx + n$$

در این معادله که آن را **معادله‌ی استاندارد خط** نیز می‌نامند، عدد  $m$  (ضریب  $x$ ) را شیب و عدد  $n$  را

عرض از مبدأ<sup>۳</sup> می‌نامند.

**مثال:** معادله‌ی خطی را بنویسید که از دو نقطه‌ی  $(2,7)$  و  $(5,3)$  می‌گذرد.

حل:

روش اول: ابتدا شیب خط را تعیین می‌کنیم.

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{7 - 3}{2 - 5} = \frac{4}{-3}$$

و چون معادله‌ی خط به صورت  $y = mx + n$  می‌باشد، پس:

$$y = \frac{-4}{3}x + n$$

اکنون برای تعیین مقدار  $n$  مختصات یکی از نقاط داده شده را در این معادله جایگزین می‌کنیم.

$$(2,7) \rightarrow \frac{-4}{3}x + n \rightarrow 7 = \frac{-4}{3}(2) + n \rightarrow n = \frac{29}{3}$$

در نهایت معادله‌ی خط را به صورت زیر به دست می‌آوریم.

<sup>3</sup>. محل تلاقی هر خط با محور عرض‌ها را عرض از مبدأ می‌نامند.

$$y = mx + n \rightarrow y = -\frac{4}{3}x + \frac{29}{3}$$

روش دوّم: چون معادله‌ی خط به صورت  $y = mx + n$  می باشد. مختصات دو نقطه‌ی داده شده را در این معادله جایگزین می کنیم.

$$\begin{cases} 5m + n = 3 \\ 2m + n = 7 \end{cases} \xrightarrow{(-1) \times} \begin{cases} 5m + n = 3 \\ 2m + n = 7 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} -5m - n = -3 \\ 2m + n = 7 \end{cases}$$

$$\rightarrow -3m = 4 \rightarrow m = \frac{4}{-3}, n = \frac{29}{3}$$

لذا معادله‌ی خط مطلوب به شکل زیر است.

$$y = mx + n \rightarrow y = -\frac{4}{3}x + \frac{29}{3}$$

نتیجه: معادله‌ی هر خط که گذرا از مبدأ مختصات به صورت  $y = mx$  است.

**تمرین ۲۱:** معادله‌ی خطی را بنویسید که از مبدأ مختصات بگذرد و شیب آن  $-3$  باشد.

\*\*\*

### روش های تعیین معادله‌ی خط

واضح است که از هر نقطه بی شمار خط می گذرد، ولی فقط یک خط با شیب معین از هر نقطه می گذرد. اگر خطی با شیب  $m$  گذرا از نقطه‌ی  $A(x_0, y_0)$  در نظر گرفته شود. می توان معادله‌ی خط را به صورت زیر نوشت:

$$y = m(x - x_0) + y_0$$

**تمرین ۲۲:** معادله‌ی خطی را بنویسید که از نقطه‌ی  $P(-2, 1)$  بگذرد و شیب  $-5$  آن باشد.

**تمرین ۲۳:** معادله‌ی خط را بنویسید که از نقطه‌ی  $P(3, -1)$  بگذرد و با محور طول ها در جهت مثبت

زاویه‌ی  $60^\circ$  درجه تشکیل دهد.

**تمرین ۲۴:** معادله‌ی خطی را بنویسید که از دو نقطه‌ی  $(۲,۷)$  و  $(۵,۳)$  می‌گذرد.

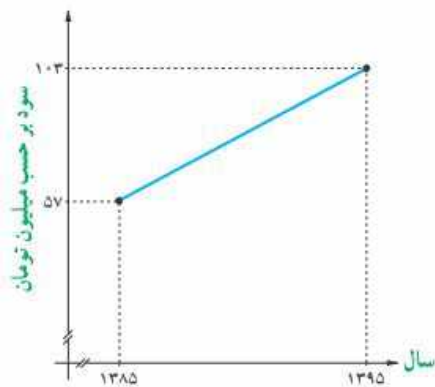
حل :

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{7 - 3}{2 - 5} = \frac{4}{-3}$$

$$y = m(x - x_1) + y_1 \rightarrow y = -\frac{4}{3}(x - 5) + 3 \rightarrow y = -\frac{4}{3}x + \frac{20}{3} + 3 = -\frac{4}{3}x + \frac{29}{3}$$

توجه : از هر دو نقطه فقط یک خط می‌گذرد. لذا برای رسم نمودار خط کافی است ، دو نقطه از نمودار آن خط را تعیین کنیم.

**تمرین ۲۵:** نمودار خط  $y = -\frac{1}{2}x + 3$  را رسم کنید.



**تمرین ۲۶:** سود سالانه‌ی یک کارگاه کوچک تولیدی از

سال ۱۳۸۵ الی ۱۳۹۵ طبق نمودار مقابل سیر صعودی داشته است.

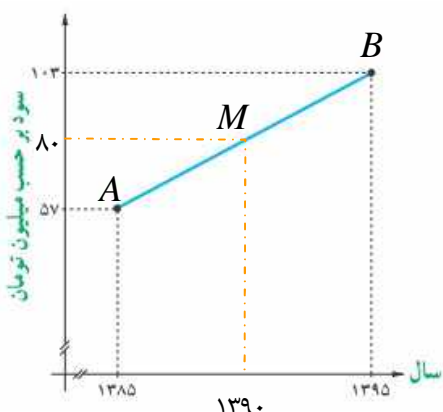
الف : میانگین سود سالانه‌ی این شرکت در دهه‌ی مورد نظر چقدر بوده است؟

ب: در کدام سال، مقدار سود سالانه، با میانگین سود ده ساله برابر بوده است؟

پ : اگر سود سالانه در طول یک دهه‌ی آینده با همین روند افزایش یابد، انتظار می‌رود در سال ۱۴۰۵ سود سالانه‌ی شرکت چقدر باشد؟

حل :

الف:



$$x_M = \frac{1385 + 1395}{2} = 1390$$

و

$$y_M = \frac{57 + 103}{2} = 80 \text{ (سود متوسط)}$$



ب: ابتدا معادله ی خط  $AB$  را می نویسیم.

$$m_{AB} = \frac{۱۰۳ - ۵۷}{۱۳۹۵ - ۱۳۸۵} = \frac{۲۳}{۵}$$

$$y = \frac{۲۳}{۵}(x - ۱۳۸۵) + ۵۷$$

$$y = ۸۰ \rightarrow \frac{y = \frac{۲۳}{۵}(x - ۱۳۸۵) + ۵۷}{۵} \rightarrow ۸۰ = \frac{۲۳}{۵}(x - ۱۳۸۵) + ۵۷ \rightarrow ۲۳ = \frac{۲۳}{۵}x - ۶۳۷۱$$

$$\rightarrow ۶۳۷۱ = \frac{۲۳}{۵}x \rightarrow ۳۱۹۷۰ = ۲۳x \rightarrow x = \frac{۳۱۹۷۰}{۲۳} = ۱۳۹۰$$

پ :

$$y = \frac{۲۳}{۵}(x - ۱۳۸۵) + ۵۷ \xrightarrow{x=۱۴۰۵} y = \frac{۲۳}{۵}(۱۴۰۵ - ۱۳۸۵) + ۵۷ = ۱۴۹$$

\*\*\*

## معادله‌ی کلی خط

برای هر خط می توان معادله ای به صورت زیر نوشت:

$$ax + by + c = 0$$

واضح است که این معادله را می توان به صورت زیر نیز نوشت :

$$y = -\frac{a}{b}x - \frac{c}{b}$$

پس شیب خط برابر  $m = \frac{-a}{b}$  و عرض از مبدأ آن  $n = -\frac{c}{b}$  است. توجه داشته باشید که عرض نقطه

تلاقی خط با محور عرض ها را عرض از مبدأ می نامند.

**نتیجه :** معادله‌ی برخی از خطوط مهم به صورت زیر است.

| ردیف | عنوان                  | معادله   | شیب            |
|------|------------------------|----------|----------------|
| ۱    | محور طول ها            | $y = 0$  | $m = 0$        |
| ۲    | محور عرض ها            | $x = 0$  | تعریف نمی شود. |
| ۳    | نیمساز ربع اول و سوم   | $y = x$  | $m = 1$        |
| ۴    | نیمساز ربع دوم و چهارم | $y = -x$ | $m = -1$       |

**تمرین ۲۷ :** معادله‌ی خطی به صورت  $6x + 2y - 4 = 0$  است.

الف: شیب و عرض از مبدأ این خط را به دست آورید.

ب : محل تقاطع این خط با محور های مختصات را تعیین کنید.

ج : نمودار خط را رسم کنید.

**تمرین ۲۸ :** نمودار هر یک از خطوط زیر را رسم کنید.

الف)  $y = -2x + 1$

پ)  $y = -2$

ث)  $y = \frac{1}{3}x$

ب)  $2x + 3y = 6$

ت)  $x = \frac{3}{2}$

**تمرین ۲۹ :** مقدار  $k$  را طوری تعیین کنید که شیب خط به معادله‌ی زیر برابر  $-2$  باشد.

$$kx + (k - 2)y = -3k$$

\*\*\*

**تمرین برای حل :**

**۳۰:** مقدار  $k$  را طوری تعیین کنید که سه نقطه‌ی  $A(-3,0)$  و  $B(k+1,-2)$  و  $C(3,2)$  روی یک خط راست واقع باشند.

**۳۱:** معادله‌ی خط گذرا از دو نقطه‌ی  $A(2,-1)$  و  $B(3,2)$  را بنویسید.

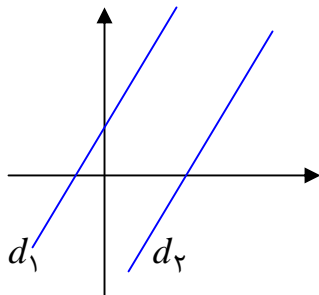
**۳۲:** معادله‌ی خطی را بنویسید که محور طولها را در نقطه‌ای به طول ۳ و محور عرض ها را در نقطه‌ای به عرض ۲ قطع کند.

**۳۳:** نقاط  $A(1,2)$  و  $B(-3,2)$  و  $C(0,-1)$  سه رأس یک مثلث هستند. معادله‌ی میانه‌ی وارد بر ضلع  $BC$  را بنویسید.

\*\*\*

**رابطه‌ی بین شیب های خطوط موازی**

دو خط موازیند، اگر و تنها اگر شیب های مساوی داشته باشند.



$$m_1 = m_2 \leftrightarrow d_1 \parallel d_2$$

**تمرین ۳۴:** نشان دهید که دو خط به معادلات زیر موازیند.

$$y = -2x + 3 \quad \text{و} \quad 6x + 3y = 5$$

**تمرین ۳۵:** معادلات دو خط زیر را در نظر بگیرید.

$$x - 4y = -2 \quad \text{و} \quad 2x + y = 5$$

الف) ثابت کنید که این دو خط متقاطع هستند.

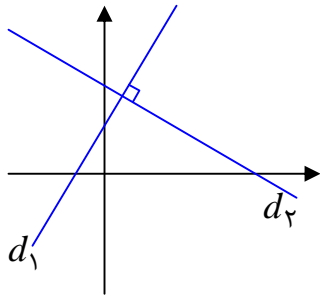
ب) مختصات نقطه‌ی تقاطع این دو خط را تعیین کنید.

ج) نمودار هر دو خط را رسم کنید و نقطه‌ی تقاطع آنها را تعیین کنید.

**تمرین ۳۶:** معادله‌ی خطی را بنویسید که از نقطه‌ی  $P(-1,3)$  بگذرد و موازی با خط به معادله‌ی  $2x + y = 3$  باشد.

\*\*\*

### رابطه‌ی بین شیب‌های دو خط عمود بر هم



دو خط بر هم عمودند، اگر و تنها اگر حاصل ضرب شیب‌های آنها برابر  $-1$  باشد. به عبارتی دیگر اگر شیب خطی عکس و قرینه‌ی شیب دیگری باشد، آن دو خط بر هم عمودند.

$$m_1 \times m_2 = -1 \leftrightarrow d_1 \perp d_2$$

**تمرین ۳۷:** نشان دهید که دو خط به معادلات زیر بر هم عمودند.

$$3x - 4y = -2 \quad \text{و} \quad y = -\frac{4}{3}x + 1$$

**تمرین ۳۸:** معادله‌ی خطی را بنویسید که از مبدأ مختصات بگذرد و بر خط به معادله‌ی  $x + 3y = 4$  عمود باشد.

**تمرین برای حل:**

**۳۹:** نقاط  $A(4,0)$  و  $B(1,3)$  و  $C(0,-2)$  سه رأس یک مثلث هستند. معادله‌ی ارتفاع وارد بر ضلع  $BC$  را بنویسید.

**۴۰:** معادله‌ی خطی را بنویسید که محور طول‌ها را در نقطه‌ای به طول ۲ قطع کند و موازی خط به معادله‌ی  $\frac{x}{2} + \frac{y}{3} = 1$  باشد.

**۴۱:** معادله‌ی خطی را بنویسید که محور عرض‌ها را در نقطه‌ای به عرض ۲ قطع کند و عمود بر خط به معادله‌ی  $\frac{x}{2} + \frac{y}{3} = 1$  باشد.

**۴۲:** نقاط  $A(5,1)$  و  $B(10,4)$  و  $C(7,9)$  سه رأس از مربع  $ABCD$  می‌باشند.

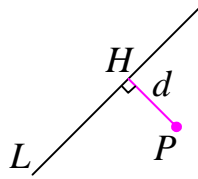
الف: معادله‌ی اضلاع  $AB$  و  $DC$  و  $BC$  را بنویسید.

ب: مختصات نقطه‌ی  $D$  را تعیین کنید.

ج: مربع را رسم کنید.

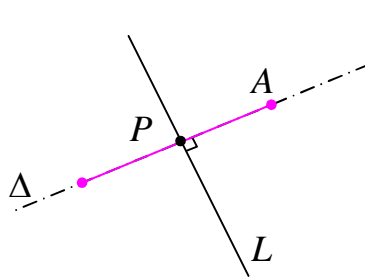
د: مساحت و محیط مربع را به دست آورید.

فاصله ی نقطه تا خط



فاصله ی هر نقطه خارج یک خط، برابر طول پاره خطی از که از نقطه بر خط عمود رسم می شود. بدیهی است که فاصله ی هر نقطه، روی خط تا آن خط برابر صفر است.

**مثال:** فاصله ی نقطه ی  $A(7,5)$  را از خط  $L$  به معادله ی  $4x + 3y = 18$  به دست آورید.



حل: چون شیب خط  $L$  برابر  $-\frac{4}{3}$  است، پس هر خط عمود بر آن

دارای شیب  $\frac{3}{4}$  خواهد بود. معادله ی خط  $\Delta$  گذرنده از  $A$  و عمود بر  $L$

را می نویسیم.

$$\Delta: y = \frac{3}{4}x + h$$

و چون نقطه ی  $A(7,5)$  روی خط  $\Delta$  قرار دارد، داریم:

$$5 = \frac{3}{4}(7) + h \rightarrow h = -\frac{1}{4}$$

لذا معادله ی خط  $\Delta$  به صورت زیر است.

$$\Delta: y = \frac{3}{4}x + h \rightarrow y = \frac{3}{4}x - \frac{1}{4} \rightarrow 3x + 4y = 1$$

اگر معادلات دو خط  $L$  و  $\Delta$  را به صورت یک دستگاه معادلات خطی در نظر بگیریم، از حل آن مختصات

نقطه ی  $P$ ، محل برخورد این دو خط به دست می آید.

$$\begin{cases} L: 4x + 3y = 18 \\ \Delta: 3x - 4y = 1 \end{cases} \rightarrow x = 3, y = 2 \Rightarrow P(3,2)$$

واضح است که طول پاره خط  $AP$  جواب مسئله است.

$$AP = \sqrt{(x_A - x_P)^2 + (y_A - y_P)^2} = \sqrt{(7 - 3)^2 + (5 - 2)^2} = \sqrt{16 + 9} = \sqrt{25} = 5$$

همانطور که مشاهده می کنید، این روش برای حل مسئله، روشی نسبتاً طولانی است. می توان از فرمول زیر

نیز استفاده کرد.

فاصله نقطه  $P(x_0, y_0)$  از خط به معادله  $ax + by + c = 0$  از رابطه زیر به دست می آید.

$$d = \frac{|ax_0 + by_0 + c|}{\sqrt{a^2 + b^2}}$$

**مثال:** فاصله نقطه  $A(7, 5)$  را از خط  $L$  به معادله  $4x + 3y = 18$  به دست آورید.

حل:

$$4x + 3y = 18 \rightarrow 4x + 3y - 18 = 0$$

$$d = \frac{|ax_0 + by_0 + c|}{\sqrt{a^2 + b^2}} = \frac{|4(7) + 3(5) - 18|}{\sqrt{(4)^2 + (3)^2}} = \frac{|4(7) + 3(5) - 18|}{\sqrt{(4)^2 + (3)^2}} = \frac{25}{\sqrt{25}} = 5$$

**نتیجه:** فاصله مبدأ مختصات از خط به معادله  $ax + by + c = 0$  به شکل زیر است.

$$d = \frac{|c|}{\sqrt{a^2 + b^2}}$$

**تمرین ۴۳:** فاصله نقطه  $P(1, -1)$  تا خط به معادله  $3x - 4y = -3$  را به دست آورید.

**تمرین ۴۴:** نقاط  $A(3, 2)$  و  $B(-2, 3)$  و  $C(0, -3)$  سه رأس یک مثلث هستند.

**الف:** اندازه ارتفاع وارد بر ضلع  $BC$  را به دست آورید.

**ب:** مساحت مثلث را حساب کنید.

\*\*\*

**توجه:** اگر  $A(x_1, y_1)$  و  $B(x_2, y_2)$  و  $C(x_3, y_3)$  سه رأس مثلثی باشند، می توان مساحت مثلث را

به کمک رابطه زیر محاسبه کرد. ثابت می شود که قدر مطلق عدد حاصل برابر مساحت مثلث است.

$$S = \frac{1}{2} \times \begin{vmatrix} x_1 & x_2 & x_3 & x_1 \\ y_1 & y_2 & y_3 & y_1 \end{vmatrix}$$

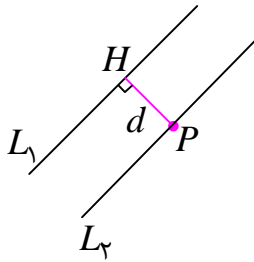
-   -   -   +   +   +

**مثال:** نقاط  $A(3, 2)$  و  $B(-2, 3)$  و  $C(0, -3)$  سه رأس یک مثلث هستند. مساحت مثلث را به دست آورید.

حل:

$$\rightarrow S = \frac{1}{2} \times \begin{vmatrix} 3 & -2 & 0 & 3 \\ 2 & 3 & -3 & 2 \end{vmatrix} = \frac{1}{2} (9 + 6 + 0 + 4 + 0 + 9) = 14$$

### فاصله ی بین دو خط موازی



فاصله ی دو خط موازی ، طول پاره خطی است که از هر نقطه ی واقع بر یکی بر دیگری عمود رسم می شود. بدیهی است که فاصله ی دو خط منطبق بر هم برابر صفر است.

فاصله ی دو خط موازی به معادلات :

$$L_1 : ax + by + c_1 = 0 \quad \text{و} \quad L_2 : ax + by + c_2 = 0$$

به صورت زیر است.

$$d = \frac{|c_2 - c_1|}{\sqrt{a^2 + b^2}}$$

**تمرین ۴۵:** فاصله ی بین دو خط موازی زیر را تعیین کنید.

$$4x + 3y + 7 = 0 \quad \text{و} \quad 4x + 3y - 8 = 0$$

**تمرین ۴۶:** اگر  $A(6, 3)$  و  $B(7, 0)$  دو رأس مجاور یک مستطیل باشند و معادله ی ضلع  $CD$  از این

مستطیل به صورت  $3x + y = 1$  باشد. مساحت مستطیل را به دست آورید.

**تمرین برای حل :**

**۴۷:** یکی از اضلاع مربعی بر خط  $y = 2x - 1$  واقع است. اگر  $A(3, 0)$  یکی از رئوس این مربع باشد،

مساحت آن را به دست آورید.

**۴۸:** فاصله ی نقطه ی  $A(1, -4)$  از خط  $8x + 6y = k$  برابر ۴ است. مقدار  $k$  را به دست آورید.

**۴۹:** فاصله ی نقطه ی برخورد دو خط به معادلات  $2y - x + 1 = 0$  و  $y + x - 4 = 0$  را از خط  $d$  به

معادله ی  $7x - 24y - 2 = 0$  را تعیین کنید.

**۵۰:** خط  $L$  به معادله ی  $3x - 4y = 0$  بر دایره ای به مرکز  $W(2, -1)$  مماس است. شعاع دایره را

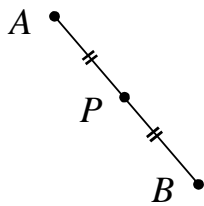
بیابید.<sup>۴</sup>

**۵۱:** فاصله ی بین دو خط موازی زیر را تعیین کنید.

$$6x - 8y - 7 = 0 \quad \text{و} \quad 3x - 4y + 1 = 0$$

<sup>۴</sup> توجه داشته باشید که شعاع دایره بر خط مماس در نقطه ی تماس عمود است.

### قرینه‌ی یک نقطه نسبت به نقطه‌ی دیگر



نقطه‌ی  $B$  را قرینه‌ی نقطه‌ی  $A$  نسبت به نقطه‌ی  $P$  گویند، هرگاه نقطه‌ی  $P$  وسط پاره خط  $AB$  باشد.

**برای مطالعه:** با توجه به این تعریف اگر  $P(\alpha, \beta)$  باشد، در این صورت، واضح است که

$$x_P = \frac{x_A + x_B}{2} \rightarrow \alpha = \frac{x_A + x_B}{2} \rightarrow x_A + x_B = 2\alpha \rightarrow x_B = 2\alpha - x_A$$

$$y_P = \frac{y_A + y_B}{2} \rightarrow \beta = \frac{y_A + y_B}{2} \rightarrow y_A + y_B = 2\beta \rightarrow y_B = 2\beta - y_A$$

لذا مختصات نقطه‌ی  $B$  قرینه‌ی نقطه‌ی  $A$  نسبت به نقطه‌ی  $P(\alpha, \beta)$  به صورت زیر است.

$$\begin{cases} x_B = 2\alpha - x_A \\ y_B = 2\beta - y_A \end{cases}$$

**نتیجه:** مختصات نقطه‌ی  $B$  قرینه‌ی نقطه‌ی  $A$  نسبت به مبدأ مختصات به شکل زیر است.

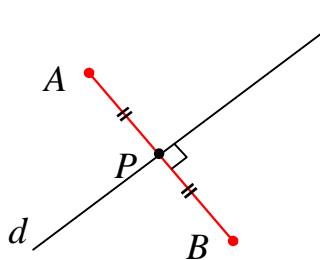
$$\begin{cases} x_B = -x_A \\ y_B = -y_A \end{cases}$$

**تمرین ۵۲:** قرینه‌ی نقطه‌ی  $A(-3, 2)$  را نسبت به نقطه‌ی  $P(3, 0)$  به دست آورید.

**تمرین ۵۳:** قرینه‌ی نقطه‌ی  $A(5, -2)$  را نسبت به مبدأ مختصات به دست آورید.

\*\*\*

### قرینه‌ی یک نقطه نسبت به یک خط

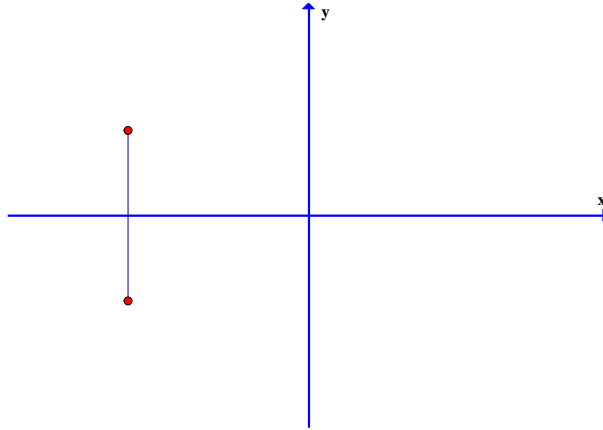


نقطه‌ی  $B$  را قرینه‌ی نقطه‌ی  $A$  نسبت به خط  $d$  گویند، هرگاه خط  $d$  عمود منصف پاره خط  $AB$  باشد.

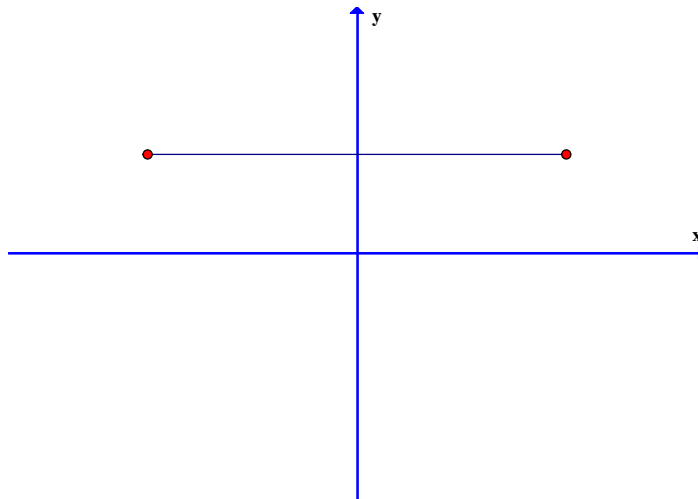


نتیجه :

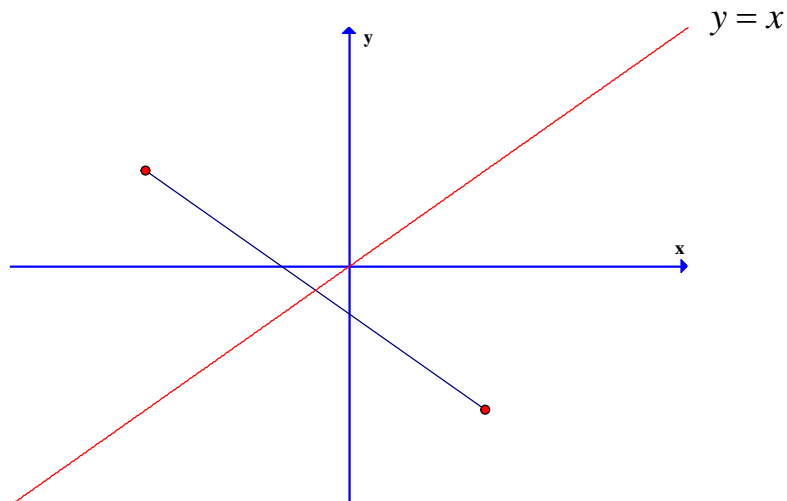
۱: قرینه ی نقطه ی  $A(x_0, y_0)$  نسبت به محور طول ها (خط  $y = 0$ ) به صورت  $B(x_0, -y_0)$



۲: قرینه ی نقطه ی  $A(x_0, y_0)$  نسبت به محور عرض ها (خط  $x = 0$ ) به صورت  $B(-x_0, y_0)$

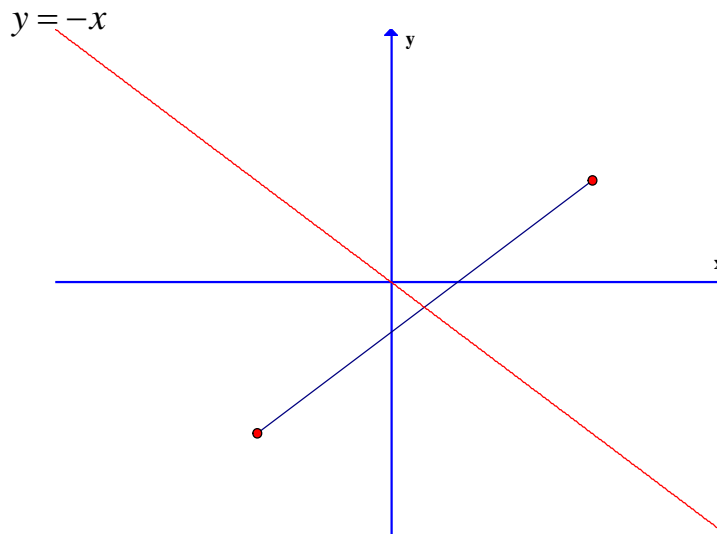


۳: قرینه ی نقطه ی  $a(x_0, y_0)$  نسبت به نیمساز ربع اول و سوم (خط  $y = x$ ) به صورت  $B(y_0, x_0)$



۴: قرینه‌ی نقطه‌ی  $A(x_0, y_0)$  نسبت به نیمساز ربع دوم و چهارم  $(y = -x)$  به

صورت  $B(-y_0, -x_0)$



تمرین ۵۴: نقطه  $A(۲, -۳)$  داده شده است. بازتاب این نقطه را در حالت های مختلف زیر بدست آورید.

ب: نسبت به محور  $y$  ها

الف: نسبت به محور  $x$  ها

د: نسبت به محور  $y = -x$

ج: نسبت به محور  $y = x$

حل:

$$A(۲, -۳) \rightarrow B(۲, ۳)$$

الف:

$$A(۲, -۳) \rightarrow B(-۲, -۳)$$

ب:

$$A(۲, -۳) \rightarrow B(-۳, ۲)$$

ج:

$$A(۲, -۳) \rightarrow B(۳, -۲)$$

د:

\*\*\*

:

## درس دوم: معادلات و توابع درجه‌ی دوم

در این درس ابتدا با بحث‌های تکمیلی پیرامون معادله و تابع درجه‌ی ۲ و آشنا و سپس با معرفی نقطه‌ی ماکزیمم و مینیمم و مفهوم صفر تابع درجه‌ی دوم، می‌توان بسیاری از مسائل ریاضیات را بررسی و حل کرد.

## قسمت اول: یادآوری معادله‌ی درجه‌ی ۲

در سال گذشته با معادله‌ی درجه‌ی ۲ آشنا شده‌اید. حتماً به یاد دارید که برای حل این معادله روش‌های متفاوتی وجود دارد. روش تجزیه و روش کلاسیک (کلی) را به خاطر دارید. بهتر است قبل از ورود به بحث این دو روش را در قالب مثال یادآوری کنیم.

مثال: معادله‌ی زیر را حل کنید.

$$2x^2 + 5x - 3 = 0$$

حل به روش تجزیه :

$$2x^2 + 5x - 3 = 0 \rightarrow \frac{1}{2}(2x - 1)(2x + 6) = 0 \rightarrow (2x - 1)(x + 3) = 0$$

$$\rightarrow \begin{cases} 2x - 1 = 0 \rightarrow x = \frac{1}{2} \\ x + 3 = 0 \rightarrow x = -3 \end{cases}$$

حل به روش کلاسیک :  $a = 2$  و  $b = 5$  و  $c = -3$

معادله دوریشه‌ی حقیقی دارد.  $\Delta = b^2 - 4ac = (5)^2 - 4(2)(-3) = 25 + 24 = 49$

$$x_1 = \frac{-b + \sqrt{\Delta}}{2a} = \frac{-(5) + \sqrt{49}}{2(2)} = \frac{-5 + 7}{4} = \frac{2}{4} = \frac{1}{2}$$

$$x_2 = \frac{-b - \sqrt{\Delta}}{2a} = \frac{-(5) - \sqrt{49}}{2(2)} = \frac{-5 - 7}{4} = \frac{-12}{4} = -3$$

**یادآوری:** هر معادله به صورت  $ax^2 + bx + c = 0$  که در آن  $a \neq 0$ ، یک درجه‌ی دوم است. یک روش

حل معادله‌ی درجه‌ی دوم به صورت زیر است. این روش را روش کلی یا روش کلاسیک می‌نامند.

برای حل معادله‌ی درجه‌ی دوم به این روش به ترتیب زیر عمل می‌کنیم.

۱) با نوشتن معادله به صورت استاندارد، ضرایب معادله یعنی  $c$  و  $b$  و  $a$  را مشخص می‌کنیم. (ضریب  $x^2$  را  $a$ ، ضریب  $x$  را  $b$  و عدد ثابت را  $c$  می‌گیریم.)

۲) مبین معادله یعنی  $\Delta = b^2 - 4ac$  را محاسبه می‌کنیم.

۳) با توجه به علامت  $\Delta$  تعداد و مقدار ریشه‌ها را به کمک حالت‌های زیر تعیین می‌کنیم.

اگر  $\Delta > 0$  باشد، معادله دارای دو ریشه است. مقدار این ریشه‌ها را از تساوی‌های زیر محاسبه می‌کنیم.

$$x_1 = \frac{-b + \sqrt{\Delta}}{2a} \quad \text{و} \quad x_2 = \frac{-b - \sqrt{\Delta}}{2a}$$

اگر  $\Delta = 0$  باشد، معادله دارای فقط یک ریشه (ریشه مضاعف<sup>۱</sup>) است. مقدار این ریشه را از تساوی زیر محاسبه می‌کنیم.

$$x = \frac{-b}{2a}$$

اگر  $\Delta < 0$  باشد، معادله دارای ریشه‌ی حقیقی نیست.

تمرین ۱: معادله‌های زیر را حل کنید.

الف)  $3k^2 = 13k + 10$       ب)  $r^2 + 2k + 5 = 0$       ج)  $9u^2 + 12u + 4 = 0$

\*\*\*

### قسمت دوم: حل معادلات به روش تغییر متغیر

گاهی لازم می‌شود برای حل یک معادله از روش تغییر متغیر استفاده کرد. در این روش متغیر جدید را طوری در نظر می‌گیریم که روش حل معادله‌ی به دست آمده را می‌دانیم. با حل این معادله می‌توان ریشه‌های معادله‌ی اولیه را نیز به دست آورد.

مثال: معادله‌ی زیر را حل کنید.

$$x^4 - 3x^2 - 10 = 0$$

حل: کافی است قرار دهیم،  $x^2 = t$ . لذا خواهیم داشت:

<sup>۱</sup>. ریشه‌ی مکرر مرتبه‌ی دوم

$$t^2 - 3t - 10 = 0$$

$$(t - 5)(t + 2) = 0 \rightarrow \begin{cases} t = 5 \rightarrow x^2 = 5 \rightarrow x = \pm\sqrt{5} \\ t = -2 \rightarrow x^2 = -2 \text{ م غ} \end{cases}$$

تمرین برای حل : معادله های زیر را حل کنید.

$$۲) x^4 - 13x^2 + 36 = 0 \quad ۳) (x^2 - 3)^2 - 3x^2 + 11 = 0 \quad ۴) 4^x - 12(2^x) + 32 = 0$$

\*\*\*

### قسمت سوم : مجموع و حاصل ضرب ریشه های معادله‌ی درجه‌ی ۲

گاهی به جای تعیین مقدار ریشه های یک معادله‌ی درجه‌ی ۲، تنها مجموع و حاصل ضرب ریشه های آن اهمیت دارد. مجموع و حاصل ضرب ریشه های هر معادله‌ی درجه‌ی ۲ به شکل  $ax^2 + bx + c = 0$  از رابطه های زیر به دست می آید.

$$S = x_1 + x_2 = \frac{-b}{a} \quad \text{مجموع ریشه ها}$$

$$P = x_1 \times x_2 = \frac{c}{a} \quad \text{حاصل ضرب ریشه ها}$$

تمرین ۵: بدون حل معادله، مجموع و حاصل ضرب ریشه های معادله‌ی زیر را به دست آورید.

$$3x^2 + 5x - 1 = 0$$

برای مطالعه : روابط به مجموع و حاصل ضرب ریشه های معادله‌ی درجه‌ی ۲ را می توان به صورت زیر

اثبات کرد.

$$S = x_1 + x_2 = \frac{-b + \sqrt{\Delta}}{2a} + \frac{-b - \sqrt{\Delta}}{2a} = \frac{-2b}{2a} = \frac{b}{a}$$

$$P = x_1 \times x_2 = \frac{-b + \sqrt{\Delta}}{2a} \times \frac{-b - \sqrt{\Delta}}{2a} = \frac{(-b + \sqrt{\Delta})(-b - \sqrt{\Delta})}{4a^2} = \frac{(-b)^2 - (\sqrt{\Delta})^2}{4a^2}$$

$$= \frac{b^2 - \Delta}{4a^2} = \frac{b^2 - (b^2 - 4ac)}{4a^2} = \frac{4ac}{4a^2} = \frac{c}{a}$$

تمرین برای حل :

۶: بدون حل معادله و فقط با استفاده از  $S$  و  $P$  و  $\Delta$  در مورد وجود و علامت ریشه های معادله-

$$5x^2 - 7x - 5 = 0 \text{ ی بحث کنید.}$$

\*\*\*

### قسمت چهارم : تشکیل معادله ی درجه ی ۲

با معلوم بودن مجموع و حاصل ضرب ریشه های یک معادله ی درجه ی ۲ می توان آن معادله را تعیین کرد.

اگر  $S$  مجموع و  $P$  حاصل ضرب ریشه های این معادله باشند. می توان معادله را به صورت زیر نوشت:

$$x^2 - Sx + P = 0$$

تمرین ۷: معادله ی درجه ی دومی بنویسید که مجموع ریشه های آن  $1/5$ - و حاصل ضربشان  $-7$  باشد.

برای مطالعه : اثبات این معادله به صورت زیر است.

$$ax^2 + bx + c = 0 \xrightarrow{\div a} x^2 + \frac{b}{a}x + \frac{c}{a} = 0 \rightarrow x^2 - \left(-\frac{b}{a}\right)x + \frac{c}{a} = 0$$

$$\rightarrow x^2 - Sx + P = 0$$

تمرین برای حل :

۸: معادله ی درجه ی دومی بنویسید که  $2 + \sqrt{3}$  و  $2 - \sqrt{3}$  ریشه های آن باشند.

۹: معادله ی درجه ی دومی بنویسید که  $\frac{\sqrt{3} - \sqrt{2}}{\sqrt{3} + \sqrt{2}}$  و  $\frac{\sqrt{3} + \sqrt{2}}{\sqrt{3} - \sqrt{2}}$  ریشه های آن باشند.

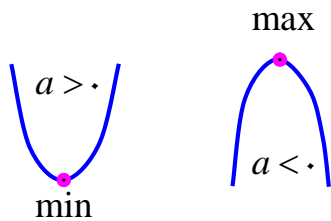
۱۰: اندازه ی طول و عرض مستطیلی را به دست آورید که محیط آن ۱۱ سانتی متر و مساحت آن ۶ سانتی

متر مربع باشد.

\*\*\*

قسمت پنجم: یاد آوری تابع درجه ۲ (سهمی)

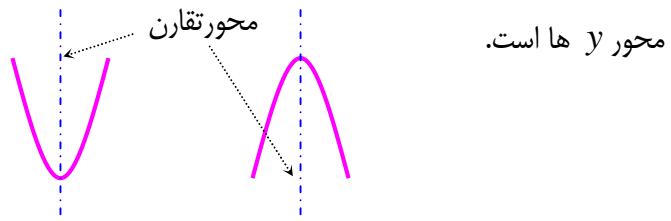
در سال گذشته به یاد دارید که هر تابع درجه‌ی ۲ دارای معادله‌ی  $y = ax^2 + bx + c$  (که در آن  $a \neq 0$  است) می‌باشد. نمودار چنین توابعی یک منحنی رو به بالا یا رو به پایین می‌باشد. این منحنی را سهمی می‌نامند. نمودار هر سهمی دارای بالاترین یا پایین‌ترین نقطه



می‌باشد که آن را رأس سهمی می‌نامند.

الف: اگر  $a > 0$  باشد نمودار سهمی رو به بالا (دارای می‌نیم) و اگر  $a < 0$  باشد، نمودار سهمی رو به پایین (دارای ماکزیمم) است.

ب: نمودار سهمی دارای یک محور تقارن است که معادله‌ی آن بصورت  $x = \frac{-b}{2a}$  می‌باشد و همواره موازی



همچنین معادله‌ی محور تقارن سهمی نیز بصورت  $x = \frac{-b}{2a}$  می‌باشد.

برای رسم نمودار سهمی کافی است که علاوه بر رأس سهمی دو نقطه را چنان انتخاب کنیم که طول یکی بیشتر و طول دیگری کمتر از طول رأس سهمی باشد.

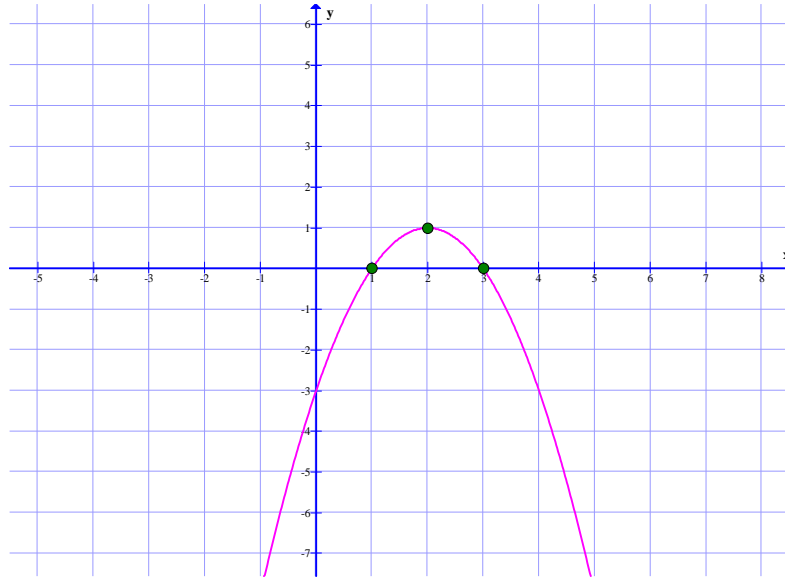
**مثال:** نمودار سهمی به معادله‌ی  $y = -x^2 + 4x - 3$  را رسم کنید.

حل: ابتدا طول رأس سهمی را تعیین می‌کنیم.

$$x = -\frac{b}{2a} = -\frac{4}{2(-1)} = 2$$

حل جدول زیر را تکمیل می‌کنیم.

|     |   |   |   |
|-----|---|---|---|
| $x$ | ۱ | ۲ | ۳ |
| $y$ | ۰ | ۱ | ۰ |



\*\*\*

تمرین ۱۱: نمودار معادلات زیر را رسم کنید.

الف)  $y = x^2 - 2x - 3$

ب)  $y = -(x - 3)^2 + 1$

ج)  $y = -4x^2 + 8x + 1$

تمرین ۱۲: ماکزیمم یا مینیمم تابع با ضابطه‌ی  $f(x) = -x^2 + 2x + 3$  را در صورت وجود به دست

آورید.

حل: چون  $a = -1$  منفی است. پس سهمی رو به پایین است. لذا سهمی دارای نقطه‌ی ماکزیمم است.

$$x = -\frac{b}{2a} = \frac{-2}{2(-1)} = 1$$

همچنین بیشترین مقدار تابع به ازای  $x = 1$  می باشد.

$$f(1) = -(1)^2 + 2(1) + 3 = 4$$

تذکر: در این تمرین نقطه‌ی  $(1, 4)$  رأس سهمی و مقدار ماکزیمم نمودار سهمی برابر ۴ می باشد.



تمرین برای حل :

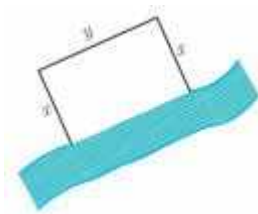
۱۳: مقدار  $m$  را چنان بیابید که  $x = 2$  طول رأس سهمی به معادله‌ی  $y = mx^2 + (m - 1)x + 1$  باشد.

۱۴: کمترین مقدار تابع  $f(x) = 3x^2 - 12x + 5$  را تعیین کنید.

۱۵: بیشترین مقدار تابع  $f(x) = -x^2 + 4x + 1$  را محاسبه کنید.

۱۶: اگر  $3x + 5y = 150$  مقدار  $y$  و  $x$  را طوری بیابید که حاصل ضرب آنها ماکزیمم شود.

حل چند تمرین کاربردی :

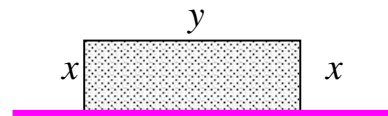


۱۷: قرار است در کنار یک رودخانه، محوطه‌ای مستطیل شکل ایجاد کنیم. برای این کار لازم است سه ضلع محوطه نرده کشی شود. اگر تنها هزینه‌ی نصب ۱۲۰ متر نرده را در اختیار داشته باشیم. بیشترین مساحت ممکن این محوطه را تعیین کنید.

حل :

$$y + 2x = 120 \rightarrow y = 120 - 2x$$

$$S = xy \text{ مساحت مستطیل}$$



$$S(x) = x(120 - 2x) \rightarrow S(x) = 120x - 2x^2$$

تابع به دست آمده، یک تابع درجه‌ی دوم است و در آن  $a = -2 < 0$  می باشد. پس تابع دارای بیشترین مقدار است. بیشترین مقدار را به روش زیر تعیین می کنیم.

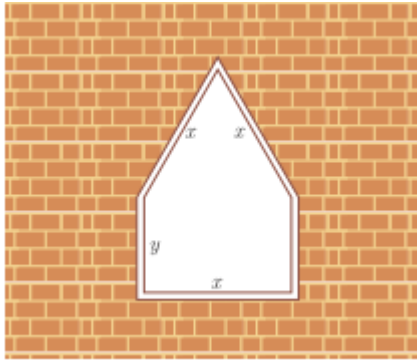
$$x = \frac{-b}{2a} = \frac{-120}{2(-2)} = 30$$

$$S(30) = 120(30) - 2(30)^2 = 3600 - 1800 = 1800 \text{ m}^2$$

توجه: مقدار مساحت را پس از تعیین مقدار  $x$  نیز می توان به شکل زیر به دست آورد.

$$y = 120 - 2(30) = 60$$

$$S = xy = (30)(60) = 1800 \text{ m}^2$$



۱۸ : یک پنجره به شکل مستطیلی است که در بالای آن یک مثلث متساوی الاضلاع قرار گرفته است. اگر محیط پنجره ۴ متر باشد، ابعاد مستطیل را طوری بیابید که پنجره حداکثر نوردهی را داشته باشد.

حل : با توجه به شکل داریم :

$$P = 4 \rightarrow 3x + 2y = 4 \rightarrow y = 2 - \frac{3}{2}x$$

از آنجا که مساحت مثلث متساوی الاضلاع به ضلع  $x$  برابر  $\frac{\sqrt{3}}{4}x^2$  است (چرا؟)، پس می توان نوشت:

$$S = x \cdot y + \frac{\sqrt{3}}{4}x^2$$

حال اگر به جای  $y$  معادل آن را بر حسب  $x$  قرار دهیم. داریم :

$$S = x \cdot \left(2 - \frac{3}{2}x\right) + \frac{\sqrt{3}}{4}x^2 = 2x - \frac{3}{2}x^2 + \frac{\sqrt{3}}{4}x^2 = \frac{\sqrt{3} - 6}{4}x^2 + 2x$$

این تابع ، یک تابع درجه ی ۲ ( سهمی ) است و دارای ماکزیمم است (چرا؟). لذا داریم.

$$x = \frac{-b}{2a} = \frac{-2}{2 \left( \frac{\sqrt{3} - 6}{4} \right)} = \frac{2}{6 - \sqrt{3}} = \frac{2}{4 - \sqrt{3}} = 0.94 \text{ m}$$

$$y_{\max} = 2 - \frac{3}{2}x = 2 - \frac{3}{2}(0.94) = 0.59 \text{ m}$$

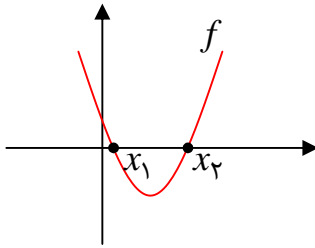
توجه : پنجره ی موضوع این تمرین، زمانی بیشترین نوردهی دارد که بزرگترین مساحت را داشته باشد.

\*\*\*

قسمت نهم : صفرهای تابع درجه ۲ (سهمی)

همانطور که می دانیم ، نمودار هر تابع درجه ی ۲ ، یک سهمی است و

دارای معادله ای به صورت  $f(x) = ax^2 + bx + c$  است.



$$f(x_1) = f(x_2) = 0$$

بنابراین ممکن است محور طول ها را در یک یا دو نقطه قطع کند و یا

اینکه محور طولها را هیچ قطع نکند. طول نقطه ی تقاطع نمودار سهمی

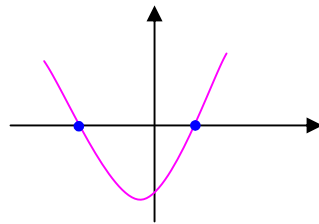
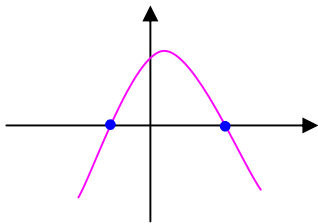
با محور طول ها را صفر تابع می نامند. بدیهی است که در این نقطه

مقدار تابع ( عرض نقطه ) برابر صفر است. بنا بر این ، صفر تابع  $f$  همان ریشه ی معادله ی  $f(x) = 0$  است.

**نتیجه :** بر اساس مفهوم فوق می توان نتیجه گرفت که :

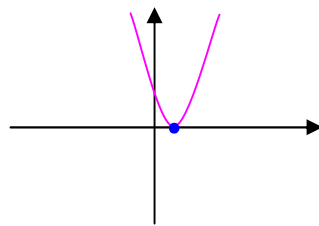
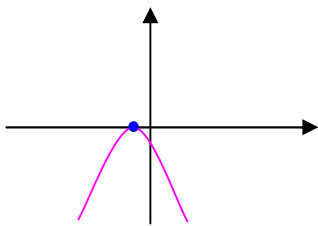
الف : نمودار سهمی محور طولها را در دو نقطه قطع می کند. بنابراین معادله ی  $ax^2 + bx + c = 0$  دارای

دو ریشه ی متمایز است.



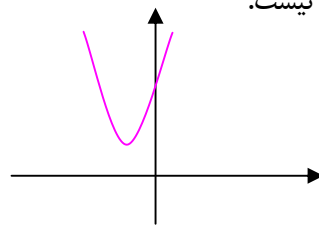
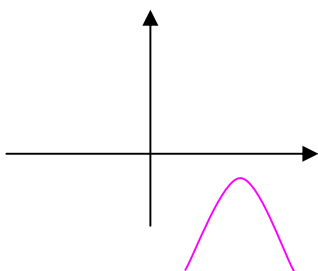
ب : نمودار سهمی بر محور طولها مماس است. بنابراین معادله ی  $ax^2 + bx + c = 0$  دارای ریشه ی

مضاعف است.



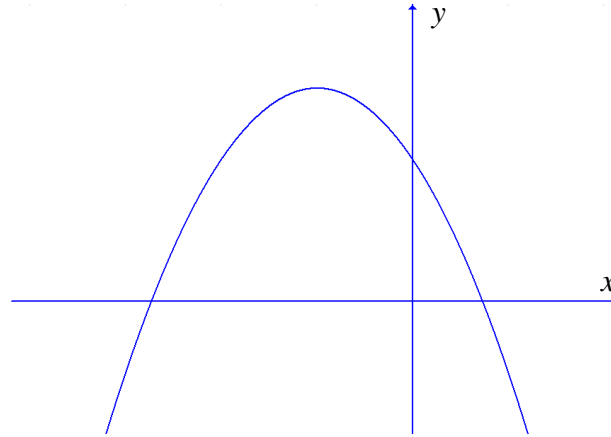
ج : نمودار سهمی محور طولها را در دو نقطه قطع نمی کند. بنابراین معادله ی  $ax^2 + bx + c = 0$  دارای

ریشه ی حقیقی نیست.



حل چند تمرین :

۱۹: نمودار زیر، نمودار تابع  $f(x) = ax^2 + bx + c$  می باشد. تعداد ریشه های معادله  $f(x) = 0$  و علامت  $a$  و  $b$  و  $c$  را تعیین کنید.



حل : نمودار محور طول ها را در دو نقطه ی مجزا قطع کرده است. لذا معادله  $f(x) = 0$  دارای دو ریشه ی متمایز است.

نمودار سهمی رو به پایین است، لذا  $a < 0$

دو ریشه مختلف علامه اند و قدر مطلق ریشه ی منفی از ریشه ی مثبت بیشتر است. لذا مجموع ریشه ها منفی است. پس :

$$S < 0 \rightarrow \frac{-b}{a} < 0 \rightarrow \frac{b}{a} > 0 \xrightarrow{a < 0} b < 0$$

چون دو ریشه مختلف علامه اند. لذا حاصل ضرب آنها منفی است. پس :

$$P < 0 \rightarrow \frac{c}{a} < 0 \xrightarrow{a < 0} c > 0$$

توجه :

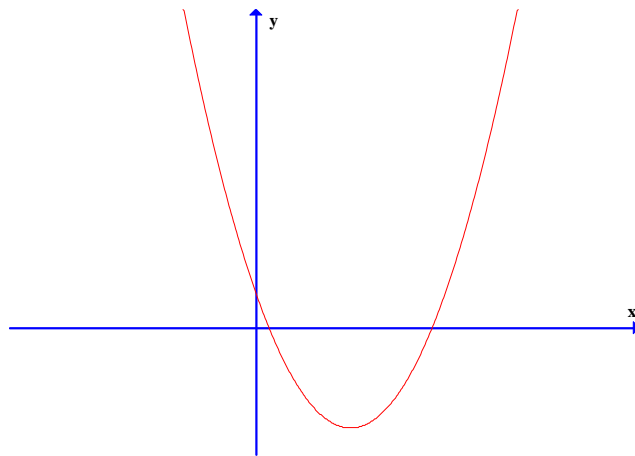
الف : به روش دیگری می توان علامت  $b$  را نیز تعیین کرد. در این روش طول رأس سهمی را در نظر می گیریم. مثلاً در این تمرین با توجه به نمودار معلوم است که طول رأس سهمی منفی است. لذا :

$$\frac{-b}{2a} < 0 \rightarrow \frac{b}{2a} > 0 \xrightarrow{a < 0} b < 0$$

ب : به روش دیگری نیز می توان علامت  $c$  را تعیین کرد. با توجه به اینکه تابع محور  $y$  ها را در نقطه  $(0, c)$  قطع می کند، لذا می توان به توجه به نقطه ی تقاطع نمودار با محور  $y$  ها ، علامت  $c$  را تعیین کرد. در تمرین فوق ، از روی نمودار واضح است که محل تقاطع نمودار با محور عرض ها (مقدار  $c$ ) بالای محور  $x$  ها است. پس  $c > 0$

\*\*\*

۲♦ : نمودار زیر، نمودار تابع  $f(x) = ax^2 + bx + c$  می باشد. تعداد ریشه های معادله ی  $f(x) = 0$  و علامت  $a$  و  $b$  و  $c$  را تعیین کنید.



حل : نمودار محور طول ها را در دو نقطه ی مجزا قطع کرده است. لذا معادله ی  $f(x) = 0$  دارای دو ریشه ی متمایز است.

نمودار سهمی رو به بالا است، لذا  $a > 0$

دو ریشه هم علامت و مثبت می باشند. لذا مجموع آنها مثبت است. پس

$$S > 0 \rightarrow \frac{-b}{a} > 0 \rightarrow \frac{b}{a} < 0 \xrightarrow{a > 0} b < 0$$

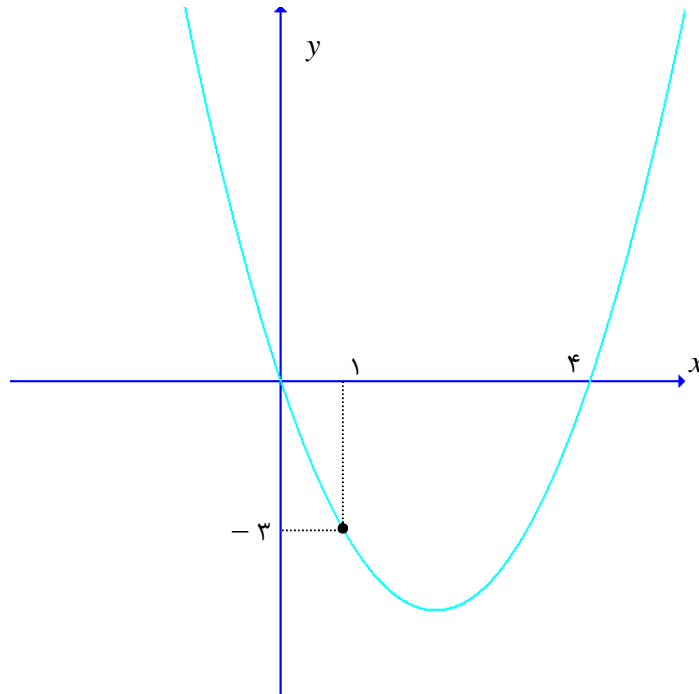
چون دو ریشه مثبت هستند، لذا حاصل ضرب آنها نیز مثبت است. پس

$$P > 0 \rightarrow \frac{c}{a} > 0 \xrightarrow{a > 0} c > 0$$

\*\*\*

۲۱: در شکل زیر نمودار تابع  $f(x) = ax^2 + bx + c$  داده شده است.

الف: مقدار  $a$  و  $b$  و  $c$  را بدست آورید. ب: جدول علامت  $f(x)$  را تشکیل دهید.



حل: سه نقطه از نمودار تابع  $f(x) = ax^2 + bx + c$  معلوم است. لذا داریم.

$$A \left| \begin{array}{l} \cdot \\ \cdot \end{array} \right. \frac{f(x)=ax^2+bx+c}{\cdot} \rightarrow \cdot = a(\cdot)^2 + b(\cdot) + c \rightarrow c = \cdot$$

$$B \left| \begin{array}{l} \cdot \\ -3 \end{array} \right. \frac{f(x)=ax^2+bx+c}{-3} \rightarrow -3 = a(1)^2 + b(1) + c \rightarrow a + b + c = -3$$

$$\xrightarrow{c=\cdot} a + b = -3$$

$$C \left| \begin{array}{l} \cdot \\ \cdot \end{array} \right. \frac{f(x)=ax^2+bx+c}{\cdot} \rightarrow \cdot = a(4)^2 + b(4) + c \rightarrow 16a + 4b + c = \cdot$$

$$\xrightarrow{c=\cdot} 16a + 4b = \cdot \xrightarrow{\div 4} 4a + b = \cdot$$

حال دستگاه زیر را حل می کنیم.

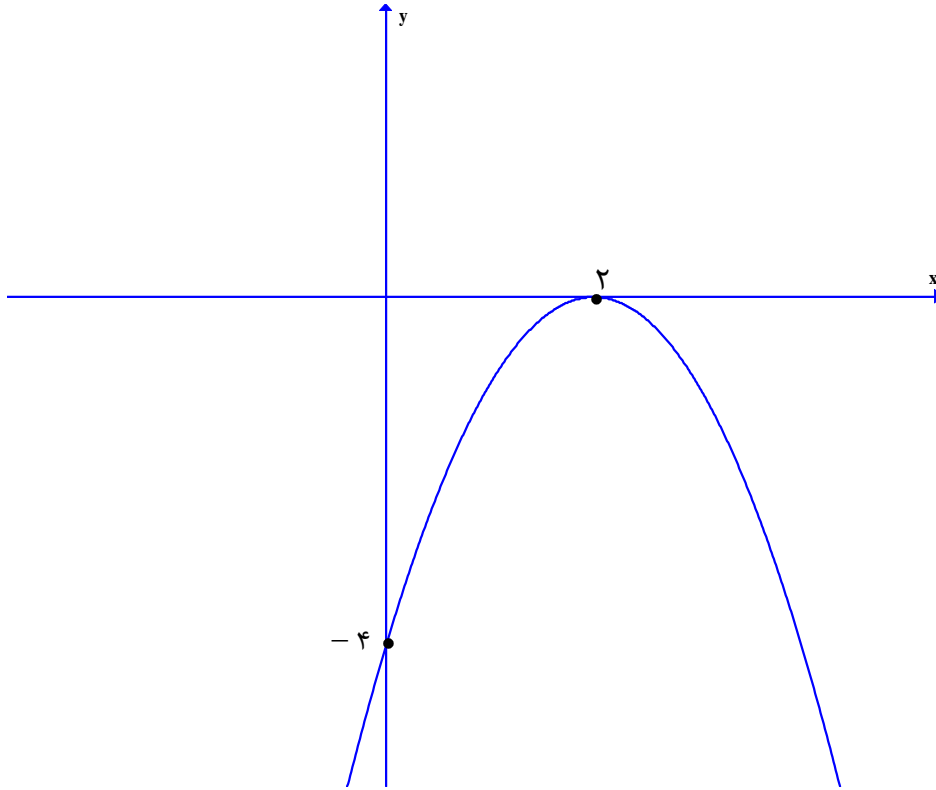
$$\begin{cases} a + b = -3 \\ 4a + b = \cdot \end{cases} \rightarrow a = 1, b = -4$$

در نهایت جدول تعیین علامت را با توجه به نمودار داده شده، به صورت زیر تشکیل می دهیم.

|     |           |        |     |           |
|-----|-----------|--------|-----|-----------|
| $x$ | $-\infty$ | $1$    | $4$ | $+\infty$ |
| $y$ | $+$       | $\phi$ | $-$ | $\phi$    |
|     | $+$       | $\phi$ | $-$ | $+$       |

۲۲: در شکل مقابل نمودار تابع  $f(x) = ax^2 + bx + c$  داده شده است.

الف: مقدار  $a$  و  $b$  و  $c$  را بدست آورید. ب: جدول علامت  $f(x)$  را تشکیل دهید.



حل: دو نقطه از نمودار تابع  $f(x) = ax^2 + bx + c$  معلوم است. لذا داریم.

$$A \left| \begin{array}{l} \cdot \\ -4 \end{array} \right. \frac{f(x)=ax^2+bx+c}{\rightarrow -4 = a(\cdot)^2 + b(\cdot) + c \rightarrow c = -4}$$

$$B \left| \begin{array}{l} 2 \\ \cdot \end{array} \right. \frac{f(x)=ax^2+bx+c}{\rightarrow \cdot = a(2)^2 + b(2) + c \rightarrow 4a + 2b + c = \cdot}$$

$$\xrightarrow{c=-4} 4a + 2b = 4 \rightarrow 2a + b = 2$$

نقطه ی  $B$  ماگزیمم تابع نیز می باشد. پس:

$$B \left| \begin{array}{l} 2 \\ \cdot \end{array} \right. \frac{x_0 = \frac{-b}{2a}}{\rightarrow 2 = \frac{-b}{2a} \rightarrow 4a + b = \cdot}$$

حال دستگاه زیر را حل می کنیم.

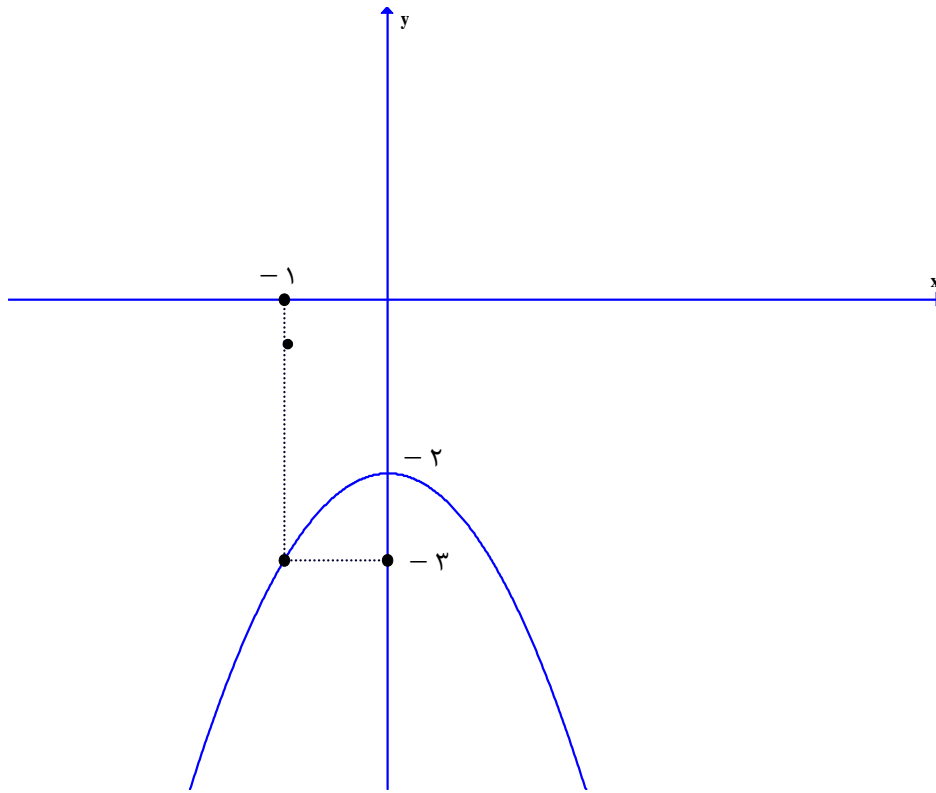
$$\begin{cases} 2a + b = 2 \\ 4a + b = \cdot \end{cases} \rightarrow a = -1, b = 4$$

در نهایت جدول تعیین علامت را با توجه به نمودار داده شده، به صورت زیر تشکیل می دهیم.

|     |           |        |           |
|-----|-----------|--------|-----------|
| $x$ | $-\infty$ | $2$    | $+\infty$ |
| $y$ |           | $\phi$ |           |
|     |           | -      | -         |

۲۳: در شکل مقابل نمودار تابع  $f(x) = ax^2 + bx + c$  داده شده است.

الف: مقدار  $a$  و  $b$  و  $c$  را بدست آورید. ب: جدول علامت  $f(x)$  را تشکیل دهید.



حل: دو نقطه از نمودار تابع  $f(x) = ax^2 + bx + c$  معلوم است. لذا داریم.

$$A \begin{cases} \cdot \\ -2 \end{cases} \frac{f(x)=ax^2+bx+c}{\rightarrow -2 = a(\cdot)^2 + b(\cdot) + c \rightarrow c = -2}$$

نقطه‌ی  $A$  ماکزیمم تابع نیز می باشد. پس:

$$A \begin{cases} \cdot \\ -2 \end{cases} \frac{x_0 = \frac{-b}{2a}}{\rightarrow \cdot = \frac{-b}{2a} \rightarrow b = \cdot}$$

$$B \begin{cases} -1 \\ -3 \end{cases} \frac{f(x)=ax^2+bx+c}{\rightarrow -3 = a(-1)^2 + b(-1) + c \rightarrow a - b + c = -3}$$

$$\xrightarrow{c=-2} a - b = -1$$

حال دستگاه زیر را حل می کنیم.

$$\begin{cases} a - b = -1 \\ b = \cdot \end{cases} \rightarrow a = -1$$



در نهایت جدول تعیین علامت را با توجه به نمودار داده شده، به صورت زیر تشکیل می‌دهیم. (چون محور طولها را قطع نمی‌کند پس تابع ریشه ندارد.)

|     |           |           |
|-----|-----------|-----------|
| $x$ | $-\infty$ | $+\infty$ |
| $y$ | -         | -         |

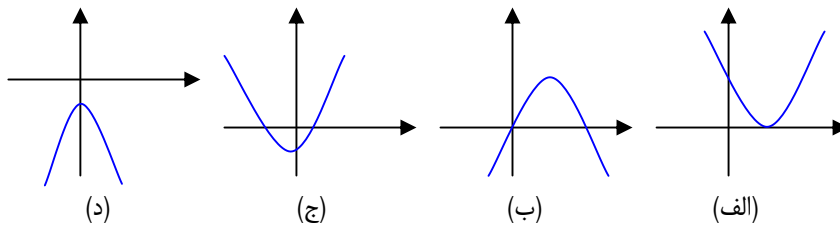
\*\*\*

**توجه ۱:** محل تقاطع نمودار سهمی به معادله  $y = ax^2 + bx + c$  با محور عرضها مقدار  $c$  را نشان می‌دهد. لذا در هر سهمی که نمودار آن از مبدأ مختصات می‌گذرد،  $c = 0$  است.

**توجه ۲:** اگر نمودار سهمی نسبت به محور  $y$  ها متقارن باشد، محور تقارن آن یعنی خط  $x = \frac{-b}{2a}$  روی محور  $y$  ها منطبق است. پس  $x = 0$  می‌باشد و در نتیجه  $b = 0$  است.

**تمرین برای حل:**

**۲۴:** جدول زیر را با توجه به نمودارهای داده شده کامل کنید. ( $y = ax^2 + bx + c$ )



| د | ج | ب | الف |                   |
|---|---|---|-----|-------------------|
|   |   |   |     | علامت $\Delta$    |
|   |   |   |     | علامت $a$         |
|   |   |   |     | علامت $b$         |
|   |   |   |     | علامت $c$         |
|   |   |   |     | تعداد صفرهای تابع |

**۲۵:** معادله‌ی مسیر حرکت یک توپ بعد از شوت آن، یک تابع درجه دو با ضابطه‌ی  $y = -\frac{1}{4}x^2 + x$

است. در این معادله  $x$  مسافت طی شده و  $y$  ارتفاع توپ از سطح زمین است.

الف: حداکثر ارتفاع توپ را به دست آورید.

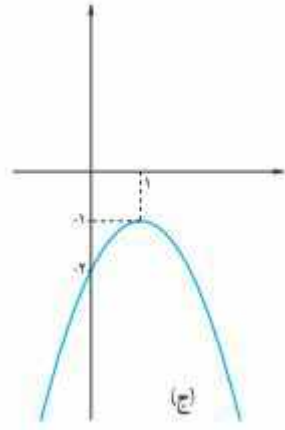
ب: تعیین کنید که حداکثر مسافت طی شده توسط این توپ چقدر است؟

ج: نمودار حرکت توپ را رسم کنید.

۲۶: معادله‌ی یک سهمی به صورت  $y = a(x - 1)(x - 2)$  است، مقدار  $a$  را چنان تعیین کنید که این

سهمی محور عرض ها را در نقطه‌ای به عرض ۴ قطع کند.

۲۷: معادله‌ی سهمی مربوط به نمودار زیر را بنویسید.



\*\*\*

### درس سوّم: معادلات گویا و معادلات رادیکالی

در این درس به روش‌های حل معادلات گویا و معادلات رادیکالی می‌پردازیم. این دو نوع معادله به جهت کاربردهای بسیار زیاد آنها از اهمیت خاصی برخوردارند.

#### قسمت اول: معادلات گویا

هر معادله که در آن متغیر معادله در مخرج کسر باشد، را یک معادله‌ی شامل عبارت گویا یا به اختصار معادله‌ی گویا می‌نامند. مانند معادلات زیر:

$$\text{الف) } \frac{2x+3}{2x-2} - \frac{5}{x^2-1} = \frac{2x-3}{2x+2} \qquad \text{ب) } \frac{5}{x} - \frac{4}{x^2-2x} = \frac{x-4}{x-2}$$

برای حل چنین معادلاتی، ابتدا کوچکترین مضرب مشترک مخرج‌ها را محاسبه کرده<sup>۱</sup> و در تمام کسرها ضرب می‌کنیم. سپس معادله‌ی بدست آمده را حل می‌کنیم. در نهایت جوابی از معادله را می‌پذیریم که به ازای آن مخرج هیچ کسری صفر نشود<sup>۲</sup>.

**مثال:** معادله‌ی زیر را حل کنید.

$$\frac{5}{x} - \frac{4}{x^2-2x} = \frac{x-4}{x-2}$$

حل: ابتدا کوچکترین مضرب مشترک مخرج‌ها را تعیین می‌کنیم.

$$\begin{cases} A = x \\ B = x^2 - 2x = x(x-2) \xrightarrow{\text{ک م م}} x(x-2) \\ C = x-2 \end{cases}$$

$$\frac{5}{x} - \frac{4}{x^2-2x} = \frac{x-4}{x-2} \xrightarrow{\times x(x-2)} \frac{5}{x} - \frac{4}{x(x-2)} = \frac{x-4}{x-2}$$

$$\rightarrow 5(x-2) - 4 = x(x-4) \rightarrow 5x - 10 - 4 = x^2 - 4x \rightarrow x^2 - 9x + 14 = 0$$

$$\rightarrow (x-7)(x-2) = 0 \rightarrow \begin{cases} x = 7 \\ x = 2 \text{ غ ق} \end{cases}$$

<sup>۱</sup> برای این کار ابتدا مخرج‌ها را تجزیه کرده و سپس حاصل ضرب عوامل مشترک و غیر مشترک با توان بیشتر را تعیین می‌کنیم.

<sup>۲</sup> اگر معادله‌ی گویا به صورت تساوی دو کسر بیان شده باشد، بهتر است، از خاصیت ضرب طرفین و وسطین استفاده کنیم.

تمرین برای حل : هر یک از معادلات زیر را حل کنید.

$$۱) \frac{2x+3}{2x-2} - \frac{5}{x^2-1} = \frac{2x-3}{2x+2}$$

$$۴) \frac{1}{x^2-2x+1} = \frac{3}{x^2-2x+3}$$

$$۲) \frac{x-2}{x+2} + \frac{x}{x-2} = \frac{8}{x^2-4}$$

$$۵) \frac{n^2-2n+2}{n^2-2n} - \frac{1+n}{n} = \frac{n-1}{n-2}$$

$$۳) \frac{3}{2x} = \frac{x+2}{x^2-3x}$$

$$۶) \frac{2x}{x^2-1} + \frac{2}{x+1} = \frac{2-x}{x^2-x}$$

حل چند مسئله کاربردی :



۷: مستطیل طلایی، مستطیلی است که نسبت مجموع طول و عرض آن به

طول مستطیل برابر با نسبت طول به عرض آن باشد. به عبارت دیگر اگر طول

و عرض مستطیل به ترتیب  $x$  و  $y$  باشند، می توان نوشت:

$$\frac{x+y}{x} = \frac{x}{y}$$

نسبت طول به عرض این مستطیل را **نسبت طلایی** می گویند.

حال اگر عرض مستطیل را برابر یک در نظر بگیریم، واضح است که مقدار  $x$  همان نسبت طلایی است. برای

محاسبه  $x$  مقدار کافی است که معادله‌ی زیر را حل کنیم.

$$\frac{x+1}{x} = \frac{x}{1} \rightarrow x^2 = x+1 \rightarrow x^2 - x - 1 = 0 \xrightarrow{\Delta=5} \begin{cases} x_1 = \frac{1+\sqrt{5}}{2} \\ x_2 = \frac{1-\sqrt{5}}{2} \end{cases}$$

واضح است که جواب منفی قابل قبول است. عدد  $\frac{1+\sqrt{5}}{2}$  که مقدار تقریبی آن  $1/618$  است به عدد

طلایی معروف است که از دوران باستان مورد توجه بوده است.

\*\*\*

۸: در یک مزرعه‌ی شالیکاری دو کارگر که با هم کار می‌کنند، کار نشاکاری را در ۱۸ روز تمام می‌کنند. اما اگر هر کدام به تنهایی کار می‌کردند، کارگر اول ۱۵ روز زودتر از کارگر دوم این کار را تمام می‌کرد. هر کدام از این دو کارگر به تنهایی کار را در چند روز تمام می‌کنند.

حل: اگر کارگر اول در  $x$  روز کار را تمام می‌کند، پس کارگر دوم همین کار را در  $x + ۱۵$  روز تمام می‌کند. لذا

$$\frac{1}{x} + \frac{1}{x+15} = \frac{1}{18}$$

$$\frac{\times 18x(x+15)}{\times 18x(x+15)} \rightarrow 18(x+15) + 18x = x(x+15) \rightarrow 18x + 270 + 18x = x^2 + 15x$$

$$\rightarrow x^2 - 21x - 270 = 0 \quad \Delta = (-21)^2 - 4(1)(-270) = 441 + 1080 = 1521 \quad \left\{ \begin{array}{l} x_1 = \frac{21 + 39}{2} = 30 \\ x_2 = \frac{21 - 39}{2} = -9 \end{array} \right.$$

بنابر ماهیت مسئله ریشه‌ی  $x = -9$  قابل قبول نیست.

\*\*\*

۹: در یک مغازه‌ی ماهی‌های تزئینی، ماهی‌های شور در محلول آب نمک با غلظت ۷ درصد نگهداری می‌شوند. به علت تازه کار بودن کارگرها، ۲۰۰ کیلو گرم آب نمک ۴ درصدی ساخته شده است. چگونه می‌توان این محلول را به غلظت مورد نظر رساند.

حل: فرض می‌کنیم به اندازه‌ی کافی موجود باشد و بتوانیم با اضافه کردن نمک کافی، محلول را با ۷ درصد نمک بسازیم. ابتدا محاسبه می‌کنیم که در محلول فعلی چند کیلو گرم نمک وجود دارد.

$$\frac{4}{100} \times 200 = 8 \quad \text{کیلو}$$

اگر  $x$  کیلوگرم نمک به این محلول بیفزاییم، میزان نمک آب  $x + 8$  کیلوگرم می‌شود و وزن کل محلول  $x + 200$  کیلوگرم می‌شود، پس برای داشتن محلول ۷ درصدی نمک باید داشته باشیم:

$$\frac{8+x}{200+x} = \frac{7}{100}$$

$$\frac{8+x}{200+x} = \frac{7}{100} \rightarrow 800 + 100x = 1400 + 7x \rightarrow 93x = 600 \rightarrow x = \frac{600}{93} \quad \text{کیلو گرم}$$

۱۰: خط یک متروی تهران به طول ۶۰ کیلومتر، میدان تجریش را به فرودگاه بین المللی امام خمینی (ره) متصل می کند. برای انجام یک آزمایش، قطاری مسیر شمال به جنوب این خط را با سرعت ثابت ۷ کیلومتر بر ساعت و بدون توقف در ایستگاه ها طی می کند. اگر در مسیر جنوب به شمال از سرعت متوسط قطار به میزان ۱۰ کیلومتر بر ساعت کاسته شود، زمان بازگشت نیم ساعت طولانی تر از زمان رفت خواهد شد. مدت زمان رفت و برگشت این قطار را محاسبه کنید.

حل: با توجه به صورت مسئله واضح است که زمان رفت قطار برابر  $\frac{۶۰}{۷}$  و زمان برگشت آن  $\frac{۶۰}{۷-۱۰}$  است.

همچنین اختلاف زمانی رفت و برگشت نیم ساعت  $(\frac{۱}{۲})$  می باشد. لذا می توان نوشت:

$$\frac{۶۰}{۷-۱۰} - \frac{۶۰}{۷} = \frac{۱}{۲}$$

اکنون این معادله را حل می کنیم.

$$\frac{۶۰}{۷-۱۰} - \frac{۶۰}{۷} = \frac{۱}{۲} \rightarrow \frac{۱ \times ۲۷(۷-۱۰)}{۲} \rightarrow ۱۲۰۷ - ۱۲۰(v-۱۰) = v(v-۱۰)$$

$$\rightarrow ۱۲۰۷ - ۱۲۰v + ۱۲۰۰ = v^2 - ۱۰v \rightarrow v^2 - ۱۰v - ۱۲۰۰ = ۰$$

$$\rightarrow (v-۴۰)(v+۳۰) = ۰ \rightarrow v = ۴۰ \quad \text{و} \quad v = -۳۰ \quad (\text{غیر قابل قبول})$$

لذا بر اساس این مسئله معلوم می شود که زمان رفت قطار برابر  $\frac{۶۰}{۴۰} = \frac{۳}{۲} = ۱/۵$  ساعت و زمان

$$\text{برگشت آن، برابر } ۲ = \frac{۶۰}{۴۰-۱۰} = \frac{۶۰}{۳۰} = \frac{۶۰}{۷-۱۰} \text{ ساعت است.}$$

۱۱: دبیر ریاضی آرمان هر هفته یک آزمون ۱۰ امتیازی برگزار می کند. پس از ۵ هفته، آرمان جمعاً ۳۶

امتیاز کسب کرده بود. یعنی میانگین هر آزمون او در پنج هفته اول به صورت زیر بود.

$$\frac{۳۶}{۵} = ۷/۲$$

او از هفته ششم به بعد در تمام آزمون ها امتیاز ۹ را کسب کرد. به طوری که میانگین امتیاز کل آزمون

هایش برابر ۸ شد. حساب کنید که از هفته ششم به بعد، آرمان در چند آزمون متوالی نمره ۹ گرفته است؟

حل : ابتدا الگوی زیر را تشکیل می دهیم.

|                |     |   |   |   |   |   |    |   |
|----------------|-----|---|---|---|---|---|----|---|
| شماره‌ی آزمون  | ۱   | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ | .. | ؟ |
| امتیاز کسب شده | ۳۶  |   |   |   |   | ۹ | .. | ۹ |
| میانگین        | ۷/۲ |   |   |   |   | ۹ |    |   |

گیریم که آرمان در بعد از هفته‌ی پنجم در  $n$  آزمون شرکت کرده باشد. پس تعداد کل آزمون های آرمان برابر  $n + ۵$  می شود. از طرفی کل امتیاز های کسب شده توسط او برابر  $۹n + ۳۶$  خواهد شد. لذا میانگین

$$\text{کل امتیاز های آرمان می شود، } \frac{۹n + ۳۶}{۵ + n} \text{ که طبق مسئله برابر ۸ است. پس داریم.}$$

$$\frac{۹n + ۳۶}{۵ + n} = ۸ \rightarrow ۹n + ۳۶ = ۴۰ + ۸n \rightarrow n = ۴$$

یعنی آرمان بعد از هفته‌ی پنجم فقط در ۴ آزمون شرکت کرده است.

۱۲ : اگر دو ماشین چمن زنی با هم کار کنند، می توانند در ۴ ساعت چمن یک زمین را کوتاه کنند. با فرض اینکه سرعت کار یکی از آنها دو برابر دیگری باشد، هر یک به تنهایی در چند ساعت می توانند این کار را انجام دهند؟

حل : گیریم که ماشین سریعتر  $A$  و دیگری  $B$  باشد. اگر زمان انجام کار توسط ماشین  $A$  برابر  $t$  باشد، زمان انجام کار توسط ماشین  $B$  مساوی  $۲t$  است. با توجه به صورت مسئله می توان نوشت:

$$\frac{1}{t} + \frac{1}{2t} = \frac{1}{4}$$

$$\xrightarrow{\times 4t} 4 + 2 = t \rightarrow t = 6$$

$\rightarrow t = 6$  زمان مورد نیاز برای ماشین  $A$  برای کار به تنهایی

$\rightarrow 2t = 2(6) = 12$  زمان مورد نیاز برای ماشین  $B$  برای کار به تنهایی

۱۳ : علی به همراه چند نفر از دوستان خود، ماهانه یک مجله‌ی ادبی ۱۶ صفحه ای را منتشر می کند. پس از حروف چینی مطالب، او معمولاً ۲ ساعت برای ویرایش ادبی مجله وقت صرف می کند. اگر رضا به او کمک کند، کار ویرایش حدود ۱ ساعت و ۲۰ دقیقه به طول می انجامد. حساب کنید که اگر رضا بخواهد به تنهایی کار ویرایش یک مجله را انجام دهد، نیازمند چه میزان وقت نیاز دارد؟

$$\frac{1}{r} + \frac{1}{120} = \frac{1}{80} \xrightarrow{\times 240r} 240 + 2r = 3r \rightarrow r = 240 \text{ min}$$

### قسمت دوم: معادلات رادیکالی

هر معادله که در آن متغیر معادله در زیر رادیکال ( با فرجه‌ی دوّم) باشد، را یک معادله‌ی شامل عبارت اصم یا رادیکالی می‌نامند. مانند معادلات زیر:

$$\text{الف) } 1 + \sqrt{x+2} = x-3 \qquad \text{ب) } 2\sqrt{x} = \sqrt{3x+4}$$

برای حل چنین معادلاتی، در یک مرحله‌ی مناسب طرفین معادله را به توان ۲ می‌رسانیم تا یک معادله‌ی بدون رادیکال به دست آید. سپس این معادله را حل می‌کنیم. در نهایت جوابی از معادله را می‌پذیریم که الف: به ازای آن عبارت زیر رادیکال منفی نباشد. ب: معادله به ازای آن برقرار باشد. مثال: معادله‌ی زیر را حل کنید.

$$1 + \sqrt{x+2} = x-3$$

حل:

$$\begin{aligned} 1 + \sqrt{x+2} = x-3 &\rightarrow \sqrt{x+2} = x-4 \rightarrow (\sqrt{x+2})^2 = (x-4)^2 \\ \rightarrow x+2 = x^2 - 8x + 16 \\ \rightarrow x^2 - 9x + 14 = 0 &\rightarrow (x-7)(x-2) = 0 \rightarrow \begin{cases} x=7 \\ x=2 \end{cases} \end{aligned}$$

غ ق ق

### تمرین برای حل:

۱۴: هر یک از معادلات زیر را حل کنید.

۱)  $\sqrt{5m-1} + 3 = 0$

۴)  $2\sqrt{3-2x} + x = 3$

۲)  $\sqrt{3x-5} = \sqrt{x-2} + 1$

۵)  $\sqrt{15 + \sqrt{2x-80}} = 5$

۳)  $\sqrt{2 + \sqrt{x-5}} = \sqrt{13-x}$

۶)  $\frac{1}{\sqrt{u-3}} - \frac{2}{\sqrt{u}} = 0$

۱۵: عددی پیدا کنید که حاصل جمع آن با جذرش برابر ۶ شود.

۱۶: بدون حل، توضیح دهید که چرا معادله‌های زیر فاقد جواب حقیقی می‌باشند.

الف)  $\sqrt{t} + 2 = 0$

ب)  $\sqrt{x-2} + \sqrt{2x-3} + 1 = 0$

ج)  $\sqrt{1-x} + \sqrt{x-2} = 0$



۱۷: مقدار  $k$  را از تساوی مقابل حساب کنید.

$$v = \sqrt{\frac{2k}{m}}$$

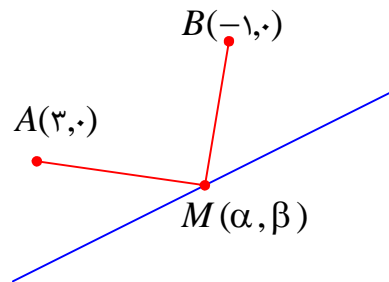
۱۸: معادله ای شامل مجموع دو عبارت رادیکالی بنویسید که عدد ۱ یکی از ریشه های آن باشد. مسئله چند جواب دارد.

\*\*\*

### حل چند مسئله ی کاربردی

۱۹: نقطه ای روی خط  $y = 2x + 1$  بیابید که از دو نقطه ی  $A(3,0)$  و  $B(-1,0)$  به یک فاصله باشد.  
 حل: فرض کنیم که  $M(\alpha, \beta)$  نقطه ی مورد نظر باشد. چون این نقطه روی خط  $y = 2x + 1$  پس  $\beta = 2\alpha + 1$

از طرفی



$$MA = MB$$

$$\rightarrow \sqrt{(x_A - x_M)^2 + (y_A - y_M)^2} = \sqrt{(x_B - x_M)^2 + (y_B - y_M)^2}$$

$$\rightarrow (3 - \alpha)^2 + (0 - \beta)^2 = (-1 - \alpha)^2 + (0 - \beta)^2$$

$$\rightarrow 9 - 6\alpha + \alpha^2 + \beta^2 = 1 + 2\alpha + \alpha^2 + \beta^2 \rightarrow 9 - 6\alpha = 1 + 2\alpha \rightarrow \alpha = 1$$

$$\xrightarrow{\beta = 2\alpha + 1} \beta = 2(1) + 1 = 3$$

$$\therefore M(1, 3)$$

۲۰: دانش آموزان کلاس سن دبیر حسابان را از او پرسیدند. گفت: وقتی فرزندم به دنیا آمد، من ۳۰ سال

داشتم و اکنون سن او جذر سن من است. حال شما سن من را حساب کنید؟

حل: اگر سن دبیر حسابان  $x$  باشد، سن فرزند او  $x - 30$  خواهد بود. لذا می توان نوشت:

$$\sqrt{x} = x - 30$$

$$\rightarrow x = (x - 30)^2 \rightarrow x = x^2 - 60x + 900 \rightarrow x^2 - 61x + 900 = 0$$

$$\rightarrow (x - 36)(x - 25) = 0 \rightarrow \begin{cases} x = 36 \\ x = 25 \end{cases}$$

که جواب  $x = 25$  قابل قبول نیست. (چرا؟)

۲۱: اگر یک شی از بالای ساختمانی به ارتفاع ۵۰ متر سقوط آزاد کند، پس از  $t$  ثانیه در ارتفاع  $h$  متری از

سطح زمین قرار خواهد داشت. اگر  $t = \sqrt{10 - \frac{h}{5}}$ ، حساب کنید که این جسم، دو ثانیه پس از سقوط در چه

ارتفاعی نسبت به سطح زمین قرار می گیرد.

حل :

$$t = \sqrt{10 - \frac{h}{5}} \xrightarrow{t=2} 2 = \sqrt{10 - \frac{h}{5}} \rightarrow 4 = 10 - \frac{h}{5} \rightarrow -6 = -\frac{h}{5} \rightarrow h = 30 \text{ m}$$

\*\*\*

# ریاضی ۲

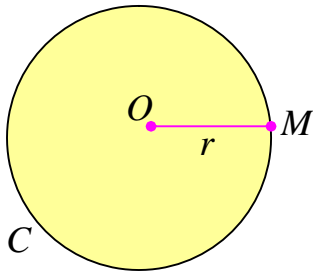
پایه می یازدهم « رشته می علوم تجربی »

فصل ۲ : هندسه

## درس اول: ترسیم های هندسی

آشنایی با مفاهیم هندسی برای یادگیری و درک عمیق دیگر مفاهیم ریاضیات موثر است. در این فصل، برخی از مفاهیم مقدماتی هندسه بررسی می کنیم.

### قسمت اول: دایره



دایره مجموعه نقاطی از صفحه است که از یک نقطه ثابت به یک فاصله باشند. نقطه ثابت را مرکز و فاصله ثابت را شعاع می نامند. دایره به مرکز  $O$  و شعاع  $r$  را به صورت  $C(O, r)$  نمایش می دهند.

### تمرین ۱: دایره ای شعاع ۲ سانتی رسم کنید. سپس

الف: نقطه ای تعیین کنید که فاصله آن تا مرکز دایره ۳ سانتی متر باشد.

ب: نقطه ای تعیین کنید که فاصله آن تا مرکز دایره  $1/5$  سانتی متر باشد.

ج: نقطه ای تعیین کنید که فاصله آن تا مرکز دایره ۲ سانتی متر باشد.

**نتیجه:** هر دایره صفحه را به سه بخش مجزا تقسیم می کند.

الف: نقاط خارج دایره: فاصله این نقاط تا مرکز دایره از شعاع بزرگتر

است. ( $OA > r$ )

ب: نقاط روی دایره: فاصله این نقاط تا مرکز دایره برابر شعاع است.

( $OB = r$ )

ج: نقاط داخل دایره: فاصله این نقاط تا مرکز دایره از شعاع کوچکتر

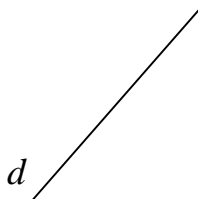
است. ( $OC < r$ )

### تمرین برای حل:

۲: خط  $d$  در شکل مقابل را در نظر بگیرید. تمام نقاطی که به فاصله ۲

سانتی متر از خط  $d$  هستند را مشخص کنید. این نقاط چه شکلی یا شکل

هایی را تشکیل می دهند؟



۳: نقطه‌ی  $P$  به فاصله‌ی ۱ سانتی متر از خط  $d$  قرار دارد.

الف: تمام نقاطی که به فاصله‌ی ۲ سانتی متر از نقطه‌ی  $P$  هستند را مشخص کنید.

ب: تمام نقاطی از خط  $d$  را که به فاصله‌ی ۲ سانتی متر از  $P$  هستند را تعیین کنید.

۴: پاره خط  $AB$  به طول ۵ سانتی متر در نظر بگیرید. سپس نقاطی را تعیین کنید که از  $A$  به فاصله‌ی ۴

سانتی متر و از  $B$  به فاصله‌ی ۵ سانتی متر باشند. (مسئله چند جواب دارد؟)

۵: مثلی رسم کنید که طول اضلاع آن ۴ و ۵ و ۷ سانتی متر باشند.

\*\*\*

### قسمت دوم: مفهوم اصل:

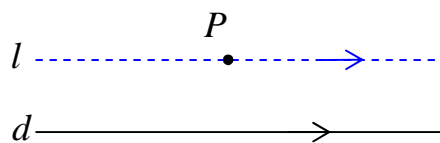
هر واقعیت که بدیهی بوده و نیازمند استدلال نباشد را اصل می نامند. برای مثال به اصول زیر توجه کنید.

اصل ۱: از یک نقطه روی صفحه، چند خط می گذرد.

اصل ۲: از هر دو نقطه‌ی متمایز روی صفحه فقط و فقط یک خط راست می گذرد.



اصل ۳: از هر نقطه‌ی خارج یک خط راست فقط و فقط یک خط موازی آن می توان رسم کرد.

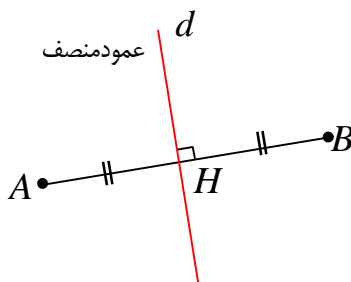


\*\*\*

### قسمت سوم: عمود منصف پاره خط و خواص آن

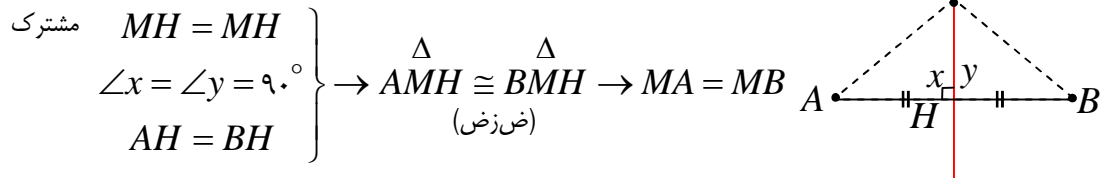
هر خط که هم از نقطه‌ی وسط یک پاره خط بگذرد و هم عمود بر آن

باشد را عمود منصف آن پاره خط می نامند.



**تمرین ۶:** ثابت کنید که هر نقطه که روی عمود منصف یک پاره خط قرار دارد، از دو سر آن پاره خط به یک فاصله است.

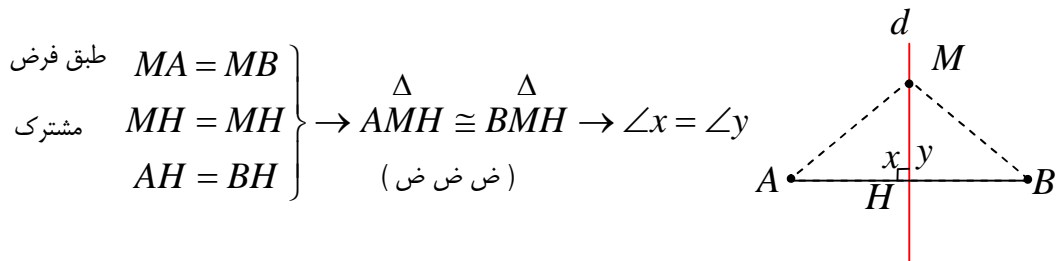
اثبات:



\*\*\*

**تمرین ۷:** اگر نقطه ای از دو سر یک پاره خط به یک فاصله باشد، آن نقطه روی عمود منصف پاره خط قرار دارد.

اثبات: از نقطه ی  $M$  خطی چنان رسم می کنیم که از نقطه ی وسط پاره خط  $AB$  بگذرد. پس:



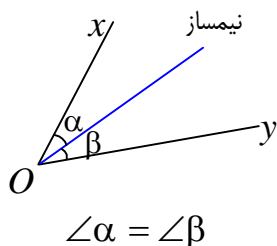
از طرفی طبق اصل زاویه ی نیم صفحه، واضح است که  $\angle x + \angle y = 180^\circ$  پس:

$$\angle x = \angle y = 90^\circ \rightarrow d \perp AB$$

و چون  $d \perp AB$  و  $AH = BH$  پس  $d$  عمود منصف  $AB$  است.

\*\*\*

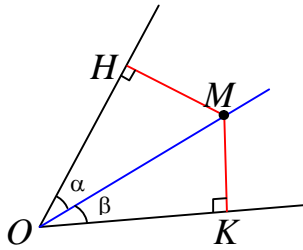
### قسمت چهارم: نیمساز زاویه



تعریف: نیمساز زاویه خطی است که از رأس زاویه می گذرد و آن را به دو زاویه ی مساوی تقسیم می کند.

تمرین ۸: هرگاه نقطه‌ای از دو ضلع زاویه‌ای به یک فاصله باشد آن نقطه

روی نیمساز زاویه قرار دارد.



فرض :  $MH = MK$

حکم :  $\hat{\alpha} = \hat{\beta}$

اثبات : دو مثلث  $OMH$  و  $OMK$  قائم‌الزاویه هستند پس

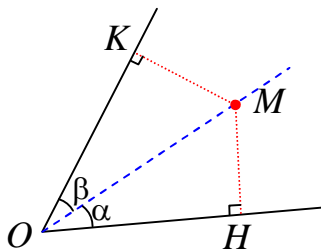
$$\left. \begin{array}{l} MH = MK \\ \text{مشترك } OM = OM \end{array} \right\} \rightarrow \triangle OMH \cong \triangle OMK \rightarrow \hat{\alpha} = \hat{\beta}$$

(وتر و یک ضلع)

تمرین ۹: هر نقطه روی نیمساز یک زاویه، از دو ضلع آن زاویه به یک فاصله است.

حکم :  $MK = MH$

اثبات : دو مثلث  $\triangle OHM$  و  $\triangle OKM$  قائم‌الزاویه هستند. پس :



$$\left. \begin{array}{l} \angle \alpha = \angle \beta \\ \text{وتر مشترك } OM = OM \end{array} \right\} \rightarrow \triangle OHM \cong \triangle OKM \rightarrow MH = MK$$

(وتر و یک زاویه ی حاده)

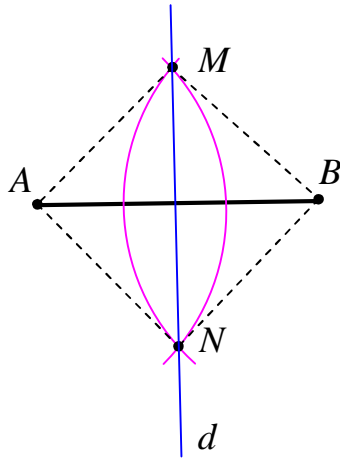
\*\*\*

### قسمت پنجم : آشنایی با چند ترسیم هندسی

گاهی برای حل مسائل مختلف لازم است از ترسیم های هندسی استفاده شود. بدین معنی که در اینگونه مسائل شکل هایی را رسم می کنیم که دارای ویژگی معینی باشند و بعد از ترسیم و با استفاده از ویژگی های شکل به پاسخ مسئله می رسیم. توجه داشته باشیم که ابزارهای مورد استفاده در اینگونه مسائل فقط خط کش

و پرگار<sup>۱</sup> می باشند. از خط کش برای رسم خط راست و از پرگار برای رسم دایره با شعاع معین استفاده می شود.

### ۱ : روش رسم عمود منصف یک پاره خط



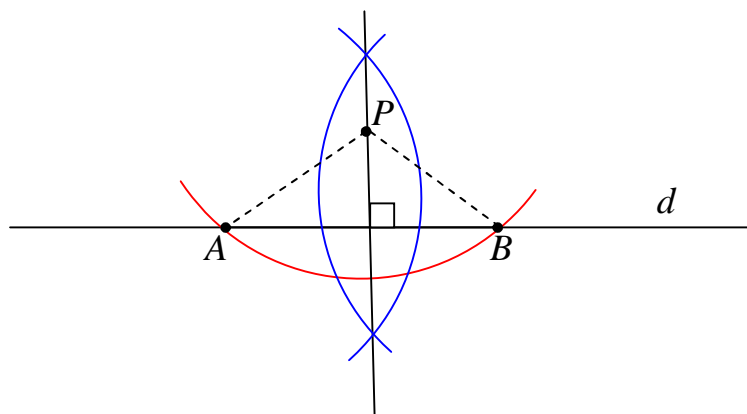
ابتدا پرگار را به اندازه ای باز می کنیم که شعاع آن از نصف طول پاره خط بیشتر باشد، سپس از دو سر پاره خط  $AB$  دو کمان با شعاع های مساوی رسم کرده تا این دو کمان همدیگر را در نقاط  $M$  و  $N$  قطع کنند. چون دو نقطه ی  $M$  و  $N$  از دو سر پاره خط  $AB$  به یک فاصله اند. پس روی عمود منصف  $AB$  قرار دارند. لذا خط گذرا از این دو نقطه یعنی  $d$  عمود منصف  $AB$  است.

**تمرین ۱۰:** ابتدا یک پاره خط به طول ۴ سانتی متر بکشید، سپس به کمک خط کش و پرگار عمود منصف آن را رسم کنید.

\*\*\*

### ۲ : رسم خطی عمود بر یک خط داده شده از یک نقطه ی خارج آن

از نقطه ی  $P$  یک کمان را طوری رسم می کنیم که خط  $d$  را در نقاط  $A$  و  $B$  قطع کند. اکنون عمود منصف پاره خط  $AB$  را رسم می کنیم که جواب مسئله است.

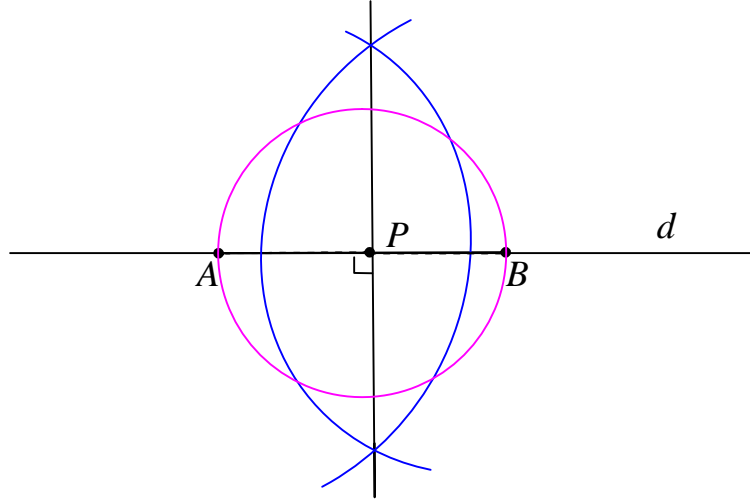


<sup>۱</sup> خط کش غیر مدرج فرض می شود، مگر آنکه اندازه ی پاره خط قید شود.



۳: رسم خطی عمود بر یک خط داده شده از یک نقطه‌ی روی آن

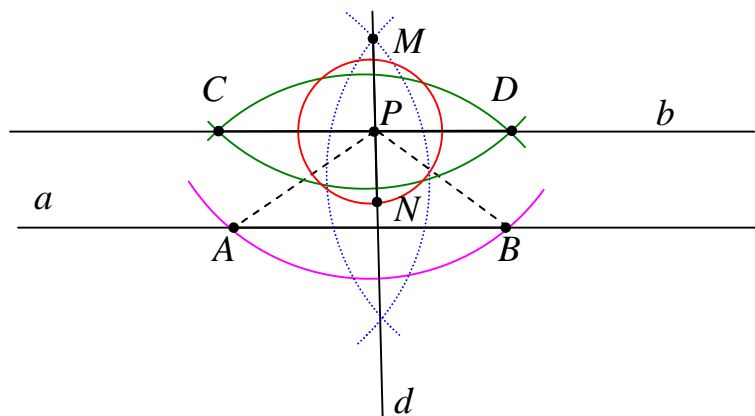
به مرکز نقطه‌ی  $P$  دایره‌ی ای رسم کرده تا خط  $d$  را در نقاط  $A$  و  $B$  قطع کند. اکنون عمود منصف پاره خط  $AB$  را رسم می‌کنیم که جواب مسئله است.



\*\*\*

۴: رسم خط موازی یک خط داده شده از یک نقطه‌ی خارج آن

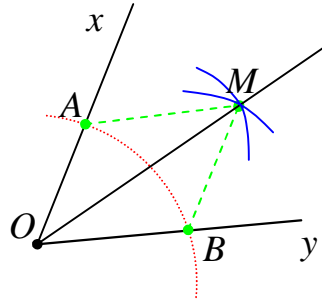
ابتدا از نقطه‌ی  $P$  واقع در خارج خط  $a$  یک خط مانند  $d$  عمود بر  $a$  رسم می‌کنیم. این خط از نقطه‌ی  $P$  می‌گذرد. اکنون از نقطه‌ی  $P$  واقع بر  $d$  خط  $b$  را عمود بر  $d$  رسم می‌کنیم. چون  $d \perp a$  و  $d \perp b$  پس  $a \parallel b$  و لذا  $b$  جواب مسئله است.



\*\*\*

۵: رسم نیمساز یک زاویه

از رأس زاویه ی  $xOy$  یک کمان را طوری رسم می کنیم که اضلاع زاویه را در نقاط  $A$  و  $B$  قطع کند. اکنون از نقاط  $A$  و  $B$  دو کمان با شعاع مساوی رسم می کنیم که همدیگر را در نقطه ای مانند  $M$  قطع کند. چون دو مثلث  $OAM$  و  $OBM$  به حالت (ض ض ض) همبسته هستند. لذا  $\angle AOM = \angle BOM$  یعنی  $OM$  نیمساز زاویه ی  $xOy$  می باشد و جواب مسئله است.



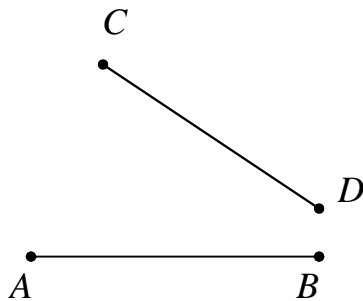
\*\*\*

تمرین برای حل :

۱۱: دو پاره خط  $AB$  و  $CD$  مطابق شکل مقابل داده شده اند.

نقطه ای بیابید که از دو نقطه ی  $A$  و  $B$  به یک فاصله و از دو نقطه-

ی  $C$  و  $D$  نیز به یک فاصله باشد.



۱۲: مثلثی دلخواه رسم کنید و آن را  $ABC$  بنامید. عمود منصف

های دو ضلع این مثلث را رسم کنید و نقطه ی برخورد آنها را  $O$  بنامید. به مرکز  $O$  و به شعاع  $OA$  یک

دایره رسم کنید. نقاط  $B$  و  $C$  نسبت به این دایره چه وضعیتی دارند؟ چرا؟

۱۳: مثلثی دلخواه رسم کنید و آن را  $ABC$  بنامید. نیمسازهای دو زاویه ی این مثلث را رسم کنید و

نقطه ی برخورد آنها را  $O$  بنامید. از نقطه ی  $O$  بر سه ضلع مثلث عمود رسم کنید و پای یکی از عمودها را

$H$  بنامید. به مرکز  $O$  و به شعاع  $OH$  دایره ای رسم کنید. اضلاع مثلث  $ABC$  نسبت به این دایره چه

وضعیتی دارند؟ چرا؟

۱۴: فرض کنید نقطه‌ی  $P$  به فاصله‌ی ۴ سانتی متر از خط  $d$  باشد. در هر مورد روش رسم یک مثلث متساوی الساقین که نقطه‌ی  $P$  یک رأس باشد را توضیح دهید.

$d$

الف) قاعده‌ی این مثلث بر خط  $d$  منطبق باشد.

ب) قاعده‌ی این مثلث بر خط  $d$  منطبق بوده و طول ساق آن ۶ سانتی متر باشد.

ج) قاعده‌ی این مثلث بر خط  $d$  منطبق بوده و مساحت آن ۸ سانتی مترمربع باشد.

$P$  •

۱۵: سه نقطه‌ی غیر واقع بر یک خط راست، در نظر بگیرید، سپس نقطه‌ی ای پیدا کنید که از این سه نقطه به یک فاصله باشد. (روش کار را توضیح دهید.)

\*\*\*

:

## درس دوم: مقدمات استدلال و قضیه ی تالس

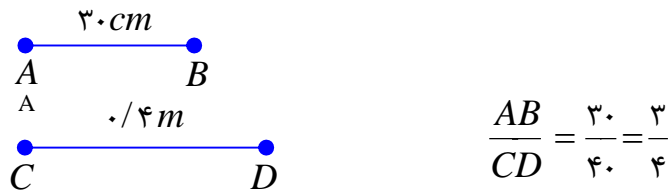
در این درس ابتدا با مفهوم نسبت و تناسب و همچنین استدلال و انواع آن آشنا می شویم. سپس با بیان ویژگی خطوط موازی و قضیه ی تالس و کاربردهای آن، این مفاهیم را به صورت دقیق بررسی می کنیم.

### قسمت اول: نسبت و تناسب

نسبت دو کمیت کسری است که صورت و مخرج آن اندازه های آن دو کمیت بر حسب یک واحد باشند.

مثلاً: کسر  $\frac{a}{b}$  را نسبت  $a$  بر  $b$  گویند هرگاه  $a$  و  $b$  بر حسب یک واحد باشند.

مثال: نسبت اندازه پاره خط  $AB$  بر پاره خط  $CD$  را با توجه به شکل مقابل بنویسید.



نتیجه: نسبت دو کمیت یک عدد حقیقی است و به واحد اندازه گیری آنها بستگی ندارد.

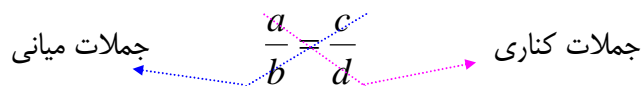
بیان تساوی دو نسبت را تناسب گویند.

مثلاً: تساوی دو نسبت  $\frac{a}{b}$  و  $\frac{c}{d}$  ،  $b, d \neq 0$  را یک تناسب گویند.

$$\frac{a}{b} = \frac{c}{d}$$

در یک تناسب مانند تناسب فوق جملات  $a$  و  $d$  را طرفین (جملات کناری) و  $b$  و  $c$  را وسطین (جملات

میانی) می نامند.



### خاصیت اصلی تناسب

در هر تناسب حاصل ضرب دو جمله ی کناری با حاصل ضرب دو جمله ی میانی آن برابر است.

$$\frac{a}{b} = \frac{c}{d} \rightarrow ad = bc$$

اثبات : چون  $b, d \neq 0$  پس  $bd \neq 0$ . حال کافی است دو طرف تناسب  $\frac{a}{b} = \frac{c}{d}$  را در  $bd$  ضرب کنیم.

خواهیم داشت :

$$bd \left(\frac{a}{b}\right) = bd \left(\frac{c}{d}\right) \rightarrow ad = bc$$

### خواص دیگر تناسب

۱ : در یک تناسب می توان جای دو جمله میانی و یا دو جمله کناری را عوض کرد و تناسب جدیدی به

دست آورد.  $(a, b, c, d \neq 0)$

$$\frac{a}{b} = \frac{c}{d} \xrightarrow{\text{جابجایی جملات میانی}} \frac{a}{c} = \frac{b}{d}$$

$$\frac{a}{b} = \frac{c}{d} \xrightarrow{\text{جابجایی جملات کناری}} \frac{d}{b} = \frac{c}{a}$$

$$\frac{a}{b} = \frac{c}{d} \xrightarrow{\text{جابجایی جملات میانی و جابجایی جملات کناری}} \frac{d}{c} = \frac{b}{a}$$

نتیجه: در یک تناسب می توان هر دو نسبت را معکوس کرد و تناسب جدیدی به دست آورد.

$$\frac{a}{b} = \frac{c}{d} \rightarrow \frac{b}{a} = \frac{d}{c} \quad (a, b, c, d \neq 0)$$

۲ : در یک تناسب از ترکیب نسبت در صورت (یا در مخرج) تناسبی جدید به وجود می آید.  $(b, d \neq 0)$

$$\frac{a}{b} = \frac{c}{d} \xrightarrow{\text{ترکیب نسبت در صورت}} \frac{a+b}{b} = \frac{c+d}{d}$$

$$\frac{a}{b} = \frac{c}{d} \xrightarrow{\text{ترکیب نسبت در مخرج}} \frac{a}{a+b} = \frac{c}{c+d}$$

۳ : در یک تناسب ، نسبت مجموع صورتها به مجموع مخرجها برابر هر یک از نسبت های تناسب است.

$$\frac{a}{b} = \frac{c}{d} = k \rightarrow \frac{a+c}{b+d} = k \quad (b, d \neq 0)$$

توجه : خاصیت ۳ برای چند نسبت مساوی نیز قابل تعمیم است.

**تمرین ۱:** با توجه به خواص تناسب، در هر مورد جای خالی را کامل کنید.

الف)  $\frac{5}{14} = \frac{15}{42} \rightarrow 5 \times \dots = 15 \times \dots$

ب)  $3 \times 40 = 12 \times 10 \rightarrow \frac{3}{\dots} = \frac{12}{\dots}$

پ)  $\frac{7}{10} = \frac{21}{30} \rightarrow \frac{10}{7} = \dots$

ت)  $\frac{6}{11} = \frac{18}{33} \rightarrow \frac{6}{18} = \dots$  ,  $\frac{33}{11} = \dots$

ث)  $\frac{4}{14} = \frac{10}{35} \rightarrow \frac{14}{14} = \dots$  ,  $\frac{4}{18} = \dots$

ج)  $\frac{5}{12} = \frac{10}{24} \rightarrow \frac{-7}{12} = \dots$  ,  $\frac{5}{-7} = \dots$

**تمرین ۲:** اگر  $\frac{a}{b} = \frac{3}{4}$  مقدار  $\frac{a+b}{a-b}$  را به دست آورید.

حل:

$$\frac{a}{b} = \frac{3}{4} \rightarrow \frac{a+b}{b} = \frac{3+4}{4} \rightarrow \frac{a+b}{b} = \frac{7}{4}$$

$$\frac{a}{b} = \frac{3}{4} \rightarrow \frac{a-b}{b} = \frac{3-4}{4} \rightarrow \frac{a-b}{b} = \frac{-1}{4}$$

$$\frac{\frac{a+b}{b}}{\frac{a-b}{b}} = \frac{\frac{7}{4}}{\frac{-1}{4}} \Rightarrow \frac{a+b}{a-b} = -7$$

**تمرین برای حل:**

**۳:** در هر مورد مقدار مجهول را بیابید.

الف)  $\frac{x}{3} = \frac{9}{10}$

ب)  $\frac{y}{y+2} = \frac{3}{4}$

ج)  $\frac{z+1}{z} = \frac{4}{z}$

د)  $\frac{2a+1}{18} = \frac{35}{b} = \frac{5}{2}$

۴: محیط مستطیلی ۲۱۰ سانتی متر و نسبت طول به عرض آن  $\frac{۴}{۳}$  است. مساحت این مستطیل را به دست آورید.

۵: متناظر با تساوی زیر یک تناسب بنویسید.

$$۵x + y = ۲x + ۷y$$

۶: اگر  $\frac{x}{۲} = \frac{y}{۳} = \frac{z}{۶} = \frac{۳}{۵}$ ، حاصل  $x + y + z$  را به دست آورید.

۷: در هر مورد مقدار عددی  $\frac{a}{b}$  را به دست آورید.

$$\frac{۳a + ۱۰}{۱۰ + ۲a} = \frac{۳b + ۷}{۷ + ۲b} \quad (\text{ب})$$

$$\frac{a}{۱۰ + a} = \frac{b}{۸ + b} \quad (\text{الف})$$

\*\*\*

## قسمت دوم: استدلال در ریاضی و هندسه

### استدلال و انواع آن

عمل ارائه‌ی دلیل برای اثبات درستی یک گزاره به کمک دانسته‌های قبلی را استدلال می‌نامند. به طور کلی دو نوع استدلال وجود دارد.

#### الف: استدلال استقرایی:

روش نتیجه‌گیری کلی بر مبنای تعداد محدودی مشاهده را استدلال استقرایی می‌نامند.

#### ب: استدلال استنتاجی:

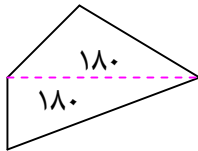
روش نتیجه‌گیری کلی بر مبنای حقایق پذیرفته شده را استدلال استنتاجی می‌نامند.

\*\*\*

**مثال:** رحمان وقتی در مورد مجموع زاویه‌های داخلی یک چهار ضلعی محدب با پژمان و پیمان صحبت می‌کرد.

آنها گفتند مجموع زاویه‌های داخلی هر چهارضلعی محدب ۳۶۰ درجه است و استدلالی که بکار بردند متفاوت بود.

**استدلال پژمان:** در تمام چهارضلعی هایی از قبیل مربع ، مستطیل ، لوزی ، متوازی الاضلاع با توجه به اینکه زاویه های مجاور مکمل یکدیگرند، مجموع زاویه های داخلی ۳۶۰ درجه است، لذا مجموع زاویه های داخلی هر چهارضلعی محدب ۳۶۰ درجه است.



**استدلال پیمان:** با توجه به اینکه مجموع زاویه های داخلی هر مثلث ۱۸۰ درجه است. لذا با رسم یک قطر در هر چهارضلعی محدب می توان آن را به دو مثلث تبدیل کرد. لذا مجموع زاویه های داخلی چهارضلعی محدب برابر مجموع زاویه های داخلی این دو مثلث می باشد، در نتیجه برابر ۳۶۰ درجه است.

با توجه به تعریف ارائه شده برای انواع استدلال ، واضح است که استدلال پژمان استقرایی و استدلال پیمان استنتاجی است.(چرا؟)

**تمرین ۸:** تفاوت های بین انواع استدلال را بنویسید.

حل:

|                       |            |                                  |                   |          |
|-----------------------|------------|----------------------------------|-------------------|----------|
| نتایج آن احتمالی اس . | تجربی اس . | متکی بر تعداد محدودی مشاهده اس . | از جزء به کل اس . | استقرایی |
| نتایج آن قطعی اس .    | منطقی اس . | متکی بر حقایق پذیرفته شده اس .   | از کل به جزء اس . | استنتاجی |

**توجه:** چون استدلال استقرایی مبتنی بر تجربه بوده و تمام حالات ممکن را بررسی نمی کند پس نتایج بدست آمده از آن قطعی نیست ولی در استدلال استنتاجی نتایج بدست آمده همواره قطعی هستند، زیرا این استدلال مبتنی بر حقایق بوده و تجربی نمی باشد.

\*\*\*

**مثال نقض:** نتایج بدست آمده از استدلال استقرایی قطعی نیستند و گاهی قابل رد هستند. برای رد یک نتیجه ی کلی که از استدلال استقرایی بدست می آید، ارائه ی یک مثال نقض کافی است. مثال نقض ، مثالی است که نشان می دهد یک نتیجه گیری کلی نادرست است.

**مثال:** گزاره ی زیر را در نظر بگیرید.

حاصل جمع هر دو عدد گنگ ، یک عدد گنگ است.



این گزاره درست نیست، زیرا اعداد  $\sqrt{2}$  و  $-\sqrt{2}$  هر دو گنگ هستند ولی حاصل جمع آنها برابر صفر است که یک عدد گویا می باشد.

$$(\sqrt{2}) + (-\sqrt{2}) = 0$$

**تمرین ۹:** با یک مثال نقض گزاره های زیر را رد کنید.

الف: مربع هر عدد بزرگتر یا مساوی آن عدد است.

ب: حاصل عبارت  $p = x^2 + x + 41$  به از اعداد طبیعی همواره یک عدد اول است.

حل:

الف: این گزاره نادرست است زیرا:  $(0/5)^2 = 0/25 \neq 0/5$  در حالی که  $0/5 \geq 0/25$ .

ب: این گزاره نادرست است زیرا اگر عدد ۴۱ را به جای  $x$  قرار دهیم حاصل ۱۷۶۳ می شود که عدد اول نیست. (بر ۴۱ بخش پذیر است).

\*\*\*

**تمرین برای حل:** برای رد درستی هر یک از گزاره های کلی زیر یک مثال نقض ارائه کنید.

**۱۰:** از وصل کردن هر سه رأس یک هفت ضلعی منتظم، یک مثلث متساوی الساقین تشکیل می گردد.

**۱۱:** هر دو مثلث که مساحت های برابر داشته باشند، هم نهشت هستند.

**۱۲:** در هر مثلث هر ارتفاع از هر کدام از سه ضلع مثلث کوچکتر است.

**۱۳:** همه ی اعداد اول فرد هستند.

**۱۴:** هیچ عدد اول بزرگتر از ۱۲۷ وجود ندارد.

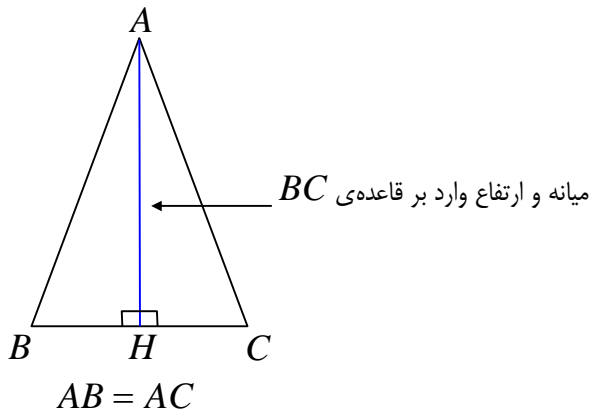
**نتیجه:** برای پذیرفتن درستی یک گزاره لازم است استدلال کرد و این استدلال باید استنتاجی باشد ولی برای رد درستی یک گزاره ارائه ی یک مثال نقض کافی است.

**تمرین ۱۵:** از دو گزاره ی زیر آنکه درست است، ثابت کنید و آنکه نادرست است با یک مثال نقض رد کنید.

الف: در هر مثلث میانهمی وارد بر یک ضلع از ارتفاع نظیر همان ضلع بزرگتر است.

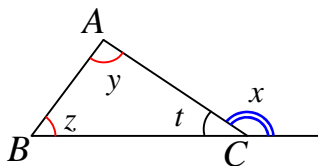
ب: در هر مثلث، اندازه ی هر زاویه ی خارجی برابر مجموع دو زاویه ی داخلی غیر مجاور آن است.

حل:



الف: این گزاره نادرست است، زیرا در مثلث متساوی الساقین<sup>۱</sup> میانۀ و ارتفاع وارد بر قاعدۀ بر هم منطبق هستند و لذا با هم مساویند.

ب: این گزاره درست است. برای اثبات آن از تعریف زاویه‌ی خارجی و همچنین مجموع زاویه‌های داخلی استفاده می‌کنیم.



$$\left. \begin{array}{l} x + t = 180 \\ y + z + t = 180 \end{array} \right\} \rightarrow x + t = y + z + t \rightarrow x = y + z$$

\*\*\*

### مفهوم قضیه

هر گزاره‌ی درست و کلی که به کمک استدلال استنتاجی بدست می‌آید را **قضیه** می‌نامند.

مثال:

۱: در هر مثلث قائم الزاویه مربع وتر با مجموع مربعات دو ضلع دیگر برابر است.

۲: مجموع زاویه‌های داخلی هر مثلث ۱۸۰ درجه است.

۳: در هر مثلث مجموع اندازه‌های هر دو ضلع از اندازه‌ی ضلع سوم بزرگتر است.

۴: برای هر دو عدد حقیقی و مثبت  $x$  و  $y$  همواره  $\frac{x+y}{2} \geq \sqrt{xy}$  است.

۵: برای هر دو مجموعه‌ی  $A$  و  $B$  همواره  $A - B = A \cap B'$

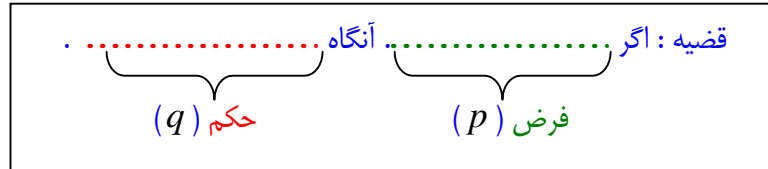
<sup>۱</sup> . در مثلث متساوی الاضلاع میانۀ و ارتفاع تمام اضلاع بر هم منطبق هستند.

هر قضیه را می توان به صورت یک گزاره ی مرکب که به صورت ترکیب شرطی بیان می شود. بنابراین دارای دو قسمت می باشد:

الف) فرض ( شرط) : آن قسمت از گزاره است که آن را می پذیریم.

ب) حکم (جواب شرط) : آن قسمت از گزاره است که باید درستی آن را نتیجه بگیریم.

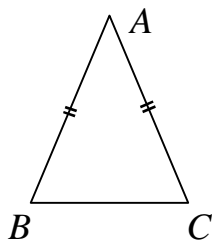
بنابراین هر قضیه دارای الگویی به صورت زیر است.



**مثال :** قضیه ی زیر را در نظر بگیرید.

قضیه : در هر مثلث متساوی الساقین ، دو زاویه ی مجاور به قاعده مساویند.

گرچه این قضیه به ظاهر گزاره شرطی نیست ولی می توان به سادگی آن را به شکل زیر نوشت.



اگر مثلث متساوی الساقین باشد آنگاه دو زاویه ی مجاور به قاعده آن مساویند.

حکم

فرض

فرض :  $AB = AC$

حکم :  $\angle B = \angle C$

**تمرین ۱۶ :** قضیه های زیر را به صورت شرطی بیان کنید و فرض و حکم آنها را مشخص کنید.

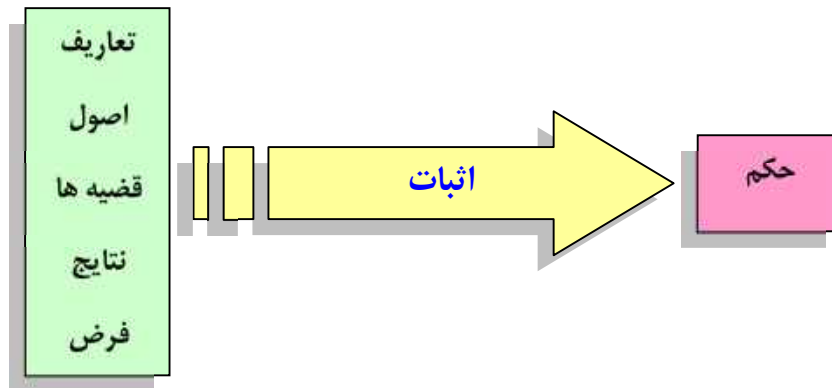
الف : هر دو زاویه ی متقابل به رأس مساویند.

ب : هر دو زاویه ی مساوی مکمل های مساوی دارند.

ج : مجموع زاویه های داخلی هر مثلث ۱۸۰ درجه است.

د : در هر مثلث قائم الزاویه مربع وتر با مجموع مربعات دو ضلع دیگر برابر است.

قضیه ها در ریاضی و هندسه باید اثبات شوند، به عبارتی دیگر برای درستی آنها باید استدلال کرد. هر حرکت مرحله به مرحله و منطقی که به کمک استدلال استنتاجی، منجر به رسیدن به حکم قضیه شود را اثبات قضیه گویند.



بدیهی است که تشخیص فرض و حکم هر قضیه برای اثبات آن قضیه مهم است. اولین گام در اثبات هر قضیه تعیین فرض و حکم آن است. آخرین مرحله در اثبات هر قضیه رسیدن به حکم آن است.

\*\*\*

**قضیه ی عکس:** اگر جای فرض و حکم یک قضیه را جابجا کنیم، یک گزاره ی شرطی جدید بدست می آید که آن را عکس قضیه می نامیم. عکس قضیه، ممکن است درست و ممکن است نادرست باشد. در صورتی که عکس یک قضیه درست باشد، آن را قضیه ی عکس می نامند.

مثال :

**قضیه :** اگر مثلثی متساوی الساقین باشد، آنگاه در آن دو زاویه ی مجاور به قاعده مساویند.

**قضیه ی عکس :** اگر در مثلثی دو زاویه مساوی باشند، آنگاه آن مثلث متساوی الساقین است.

در مثال فوق عکس قضیه ی داده شده، درست است و لذا خود یک قضیه می باشد. در مثال زیر عکس قضیه درست نیست.

مثال:

**قضیه :** اگر دو زاویه متقابل به رأس باشند، آنگاه آن دو زاویه مساویند.

**عکس قضیه :** اگر دو زاویه مساوی باشند، آنگاه آن دو زاویه متقابل به رأس هستند.

**تمرین ۱۷:** عکس هر یک از قضیه های زیر را بنویسید.

(الف) اگر یک چهارضلعی متوازی الاضلاع باشد، آنگاه قطرهایش یکدیگر را نصف می کنند.

(ب) اگر دو ضلع از یک مثلث با هم برابر باشند، آنگاه ارتفاع های وارد بر آن دو ضلع نیز با هم برابرند.

(ج) اگر در مثلثی سه ضلع برابر باشند، آنگاه سه زاویه ی آن نیز برابر خواهند بود.

\*\*\*

**قضیه ی دو شرطی:** اگر عکس یک قضیه ی شرطی خود یک قضیه ی شرطی باشد. به کمک یکی از الگو

های زیر می توان آن دو قضیه را ترکیب کرد و به صورت یک قضیه بیان نمود. این قضیه را قضیه ی دو

شرطی می نامند.

$p$  آنگاه  $q$  و برعکس

\* اگر  $p$  اگر و تنها اگر  $q$

\*  $p$  شرط لازم و کافی است برای  $q$

**مثال:**

**قضیه:** اگر مثلثی قائم الزاویه باشد، آنگاه مربع وتر با مجموع مربعات دو ضلع دیگر آن برابر است.

**قضیه ی عکس:** اگر در مثلثی مربع یک ضلع با مجموع مربعات دو ضلع دیگر برابر باشد، آنگاه آن مثلث

قائم الزاویه است.

**قضیه ی دو شرطی:**

\* اگر مثلثی قائم الزاویه باشد، آنگاه مربع وتر با مجموع مربعات دو ضلع دیگر آن برابر است و برعکس.

\* مثلث قائم الزاویه است اگر و تنها اگر مربع وتر با مجموع مربعات دو ضلع دیگر آن برابر باشد.

\* قائم الزاویه بودن مثلث شرط لازم و کافی است برای اینکه مربع وتر با مجموع مربعات دو ضلع دیگر برابر

باشد.

**مثال:** هر یک از قضیه های زیر دو شرطی هستند.

(الف) دو ضلع از یک مثلث برابرند، اگر و تنها اگر زاویه های روبرو به این دو ضلع با هم برابر باشند.

(ب) در مثلث متساوی الاضلاع، یک پاره خط نیمساز است، اگر و تنها اگر میانه باشد.

**تمرین برای حل :** قضیه های زیر را در نظر بگیرید. سپس :

الف : عکس هر کدام را بنویسید.

ب : با ترکیب قضیه و عکس آن یک قضیه ی دو شرطی بیان کنید.

**۱۸ :** در هر مثلث ، اگر دو ضلع برابر باشند، دو زاویه ی روبرو به آنها نیز برابرند.

**۱۹ :** اگر یک چهارضلعی لوزی باشد، قطرهاش عمود منصف یکدیگرند.

**۲۰ :** در هر مثلث، اگر سه ضلع برابر باشند، آنگاه سه زاویه نیز با هم برابرند.

**۲۱ :** اگر دو دایره شعاع های برابر داشته باشند، آنگاه مساحت های آنها نیز برابر هستند.

**توجه :** برای اثبات یک قضیه ی دوشروطی باید قضیه های تشکیل دهنده ی آن را جداگانه ثابت کرد. یعنی ابتدا

فرض و حکم را تعیین می کنیم و قضیه را ثابت می کنیم. سپس با جابجا کردن فرض و حکم قضیه ی عکس را نیز اثبات کرد.

\*\*\*

**عکس نقیض یک قضیه :** اگر فرض و حکم قضیه ای را جابجا و نقیض کنیم، گزاره ی حاصل همواره

درست خواهد بود. این گزاره را قضیه ی عکس نقیض می نامند.

مثال :

**قضیه:** اگر مثلثی قائم الزاویه باشد، آنگاه مربع وتر با مجموع مربعات دو ضلع دیگر آن برابر است.

**قضیه ی عکس نقیض :** اگر در مثلثی مربع یک ضلع با مجموع مربعات دو ضلع دیگر برابر نباشد، آنگاه

آن مثلث قائم الزاویه نیست.

**توجه :** اثبات یک قضیه به معنی اثبات عکس نقیض آن می باشد و ضرورتی به اثبات عکس نقیض آن

نیست.

\*\*\*

## برهان خلف (اثبات غیر مستقیم)

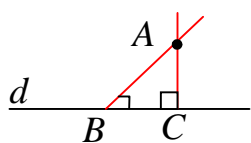
گاهی اوقات برای اثبات یک قضیه نشان می دهیم که خلاف حکم آن درست نیست و سپس نتیجه می گیریم با این شرایط خود حکم درست است. این روش استدلال که نوعی استدلال استنتاجی است را برهان خلف یا اثبات غیر مستقیم می نامند.

روند کار در این روش بدین ترتیب است که ابتدا خلاف حکم را تشکیل می دهیم و آن را فرض خلف می نامیم، سپس استدلال خود را با تکیه بر این فرض ادامه می دهیم. در نهایت به خلاف فرض یا یک قضیه ی اثبات شده ی قبلی یا خلاف یک اصل (حقیقت) می رسیم. در آخر فرض خلف را باطل می کنیم و خود حکم را می پذیریم.

\*\*\*

**مثال ۱:** ثابت کنید که، از یک نقطه ی غیر واقع بر یک خط راست نمی توان بیش از یک خط عمود کرد.

اثبات به روش برهان خلف: فرض می کنیم که این حکم نادرست است و از یک



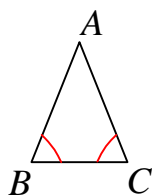
نقطه ی دلخواه مانند A واقع بر خارج خط d می توان دو عمود بر آن رسم کرد.

در این صورت یک مثلث تشکیل می شود که دو زاویه ی قائمه دارد. لذا مجموع

زاویه های داخلی این مثلث بیش از ۱۸۰ درجه خواهد شد و این غیر ممکن است. پس فرض خلف نمی تواند درست باشد و حکم درست است.

\*\*\*

**مثال ۲:** ثابت کنید که، اگر در مثلث ABC،  $AB \neq AC$  آنگاه  $\angle B \neq \angle C$



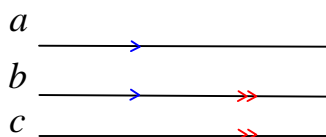
اثبات: (به روش برهان خلف) فرض کنیم که  $\angle B = \angle C$  باشد. یعنی مثلث ABC

دو زاویه ی مساوی دارد. بنابراین مثلث متساوی الساقین است. لذا  $AB = AC$  و این

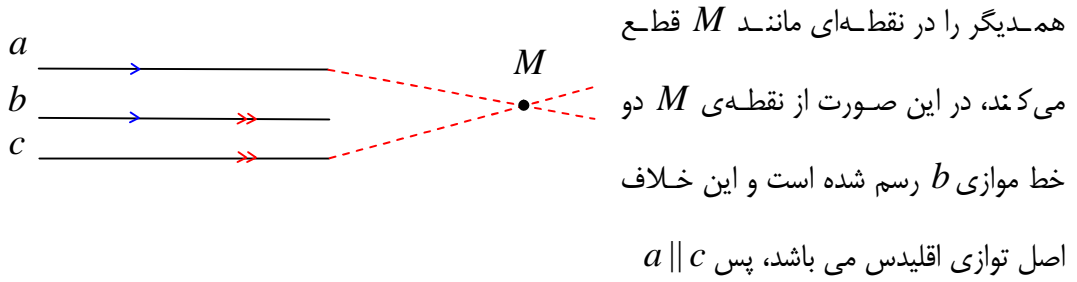
خلاف فرض می باشد و نمی تواند درست باشد.

**تمرین ۲۲:** ثابت کنید که هر دو خط که با خط سوم موازی باشند، خود با هم موازیند.

اثبات: در این مسئله از اینکه  $b \parallel c$  و  $a \parallel b$  می خواهیم ثابت کنیم.  $a \parallel c$



برای اثبات به روش برهان خلف عمل می کنیم. فرض کنیم که خط  $a$  موازی  $c$  نباشد. لذا این دو خط

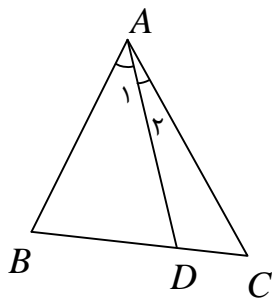


**تمرین برای حل :** به روش برهان خلف، گزاره های زیر را ثابت کنید.

**۲۳:** اگر  $n$  یک عدد طبیعی و  $n^2$  عددی فرد باشد، آنگاه  $n$  نیز فرد است.

**۲۴:** فرض کنیم  $AD$  نیمساز زاویه ی  $A$  از مثلث  $ABC$  باشد.

اگر  $BD \neq DC$  باشد، آنگاه  $AB \neq AC$

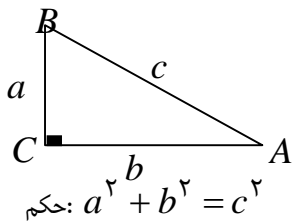


\*\*\*



قسمت سوم: قضیه ی فیثاغورس

در ادامه یکی از قضیه های اساسی در مورد مثلث قائم الزاویه معروف به قضیه ی فیثاغورس را بیان و اثبات می کنیم.



قضیه(قضیه ی فیثاغورس): در هر مثلث قائم الزاویه مربع وتر با

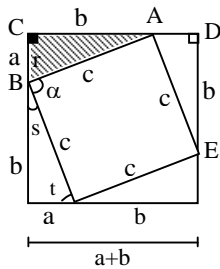
مجموع مربعهای دو ضلع دیگر آن برابر است.

حکم:  $a^2 + b^2 = c^2$

اثبات:

مرحله ۱: مربعی به ضلع  $a + b$  رسم می کنیم، سپس در این مربع چهار مثلث قائم الزاویه با اضلاع  $a$  و  $b$  تشکیل می دهیم.

مرحله ۲: بنا به حالت (ضضض) این چهار مثلث با همدیگر و با مثلث اصلی همپهشت هستند.



$$\left. \begin{array}{l} BC = AD \\ \hat{C} = \hat{D} = 90^\circ \\ AC = DE \end{array} \right\} \rightarrow \triangle ABC \cong \triangle ADE \text{ (ضضض)}$$

پس دارای وترهایی برابر C می باشند.

مرحله ۳: چهارضلعی حاصل از چهار وتر مربع است. زیرا

الف: چهارضلع مساوی دارد. ب: یک زاویه قائمه دارد.

$$\left. \begin{array}{l} \hat{S} + \hat{t} = 90^\circ \\ \hat{r} = \hat{t} \end{array} \right\} \rightarrow \hat{S} + \hat{r} = 90^\circ \xrightarrow{\hat{r} + \hat{\alpha} + \hat{S} = 180^\circ} \hat{\alpha} = 90^\circ$$

مرحله ۴: طبق اصل مجموع مساحت ها می توان نوشت:

مساحت ۴ مثلث همپهشت + مساحت مربع کوچک = مساحت مربع بزرگ

$$(a + b)^2 = c^2 + 4\left(\frac{1}{2}ab\right)$$

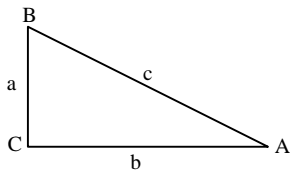
$$\rightarrow a^2 + 2ab + b^2 = c^2 + 2ab \rightarrow a^2 + b^2 = c^2$$

\*\*\*

برای مطالعه

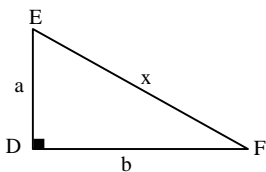
### قضیه (عکس قضیه ی فیثاغورس):

اگر در مثلثی مربع بزرگترین ضلع با مجموع مربع های دو ضلع دیگر برابر باشد آن مثلث قائم الزاویه و زاویه روبرو به ضلع بزرگتر قائمه است.



$$\text{فرض: } a^2 + b^2 = c^2$$

اثبات: مثلثی قائم الزاویه به نام DEF طوری رسم می کنیم که اضلاع زاویه ی قائمه ی آن b و a باشند. آنگاه



$$a^2 + b^2 = x^2$$

و با مقایسه با فرض قضیه می توان نوشت

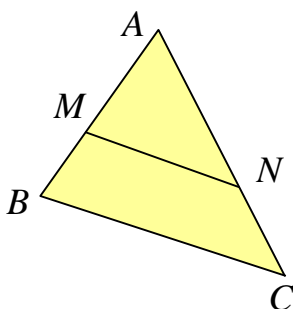
$$x^2 = c^2 \rightarrow x = c$$

لذا مثلث های ABC و DEF بنا به حالت (ض ض ض) همبسته هستند و چون زاویه D قائمه است پس زاویه متناظر آن یعنی زاویه C نیز قائمه است.

\*\*\*

### قسمت چهارم: خطوط موازی و قضیه ی تالس

قضیه (قضیه ی تالس): اگر خطی موازی یک ضلع مثلث رسم شود و دو ضلع دیگر (یا امتداد آنها) را قطع کند روی آنها پاره خط های متناسب بوجود می آورد.

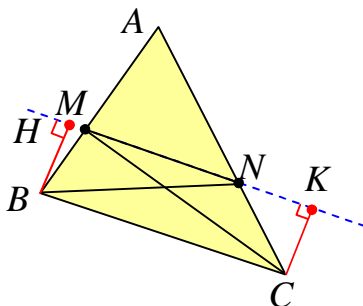


$$\text{فرض: } MN \parallel BC$$

$$\text{حکم: } \frac{AM}{MB} = \frac{AN}{NC}$$

اثبات:

مرحله ی اول:



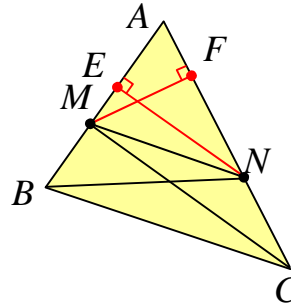
نقطه ی N را به B و همچنین نقطه ی M را به C وصل می کنیم. دو مثلث MNB و MNC حاصل می شود که ارتفاع نظیر

ضلع  $MN$  در هر دو یکسان است. زیرا چهارضلعی  $BHCK$  مستطیل می‌باشد و در مستطیل اضلاع روبرو مساویند ( $BH = CK$ ). لذا طبق آنچه گفته شد داریم:

$$S_{\Delta MNB} = \frac{1}{2} MN \cdot BH = \frac{1}{2} MN \cdot CK = S_{\Delta MNC}$$

مرحله دوم: از نقطه‌ی  $N$  بر ضلع  $AB$  پاره خط  $NE$  را عمود می‌کنیم. پس

$$\frac{S_{\Delta AMN}}{S_{\Delta MNB}} = \frac{\frac{1}{2} AM \cdot NE}{\frac{1}{2} MB \cdot NE} = \frac{AM}{MB}$$



مرحله سوم: از نقطه‌ی  $M$  بر ضلع  $AC$  پاره خط  $MF$  را عمود می‌کنیم. پس

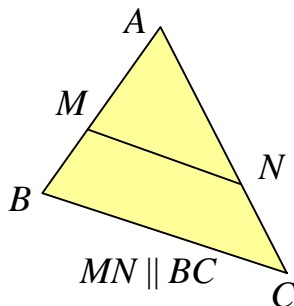
$$\frac{S_{\Delta AMN}}{S_{\Delta MNC}} = \frac{\frac{1}{2} AN \cdot MF}{\frac{1}{2} NC \cdot MF} = \frac{AN}{NC}$$

مرحله چهارم: طبق دو مرحله دوم و سوم داریم

$$\left. \begin{array}{l} \frac{S_{\Delta AMN}}{S_{\Delta MNB}} = \frac{AM}{MB} \\ \frac{S_{\Delta AMN}}{S_{\Delta MNC}} = \frac{AN}{NC} \end{array} \right\} \xrightarrow{S_{\Delta MNB} = S_{\Delta MNC}} \frac{AM}{MB} = \frac{AN}{NC}$$

\*\*\*

**نتیجه:** رابطه‌ی تالس را می‌توان به صورت زیر نوشت.



$$\frac{AM}{AB} = \frac{AN}{AC}$$

اثبات: کافی است نسبت را در مخرج ترکیب کنیم.

$$\frac{AM}{MB} = \frac{AN}{NC} \rightarrow \frac{AM}{AM + MB} = \frac{AN}{AN + NC} \rightarrow \frac{AM}{AB} = \frac{AN}{AC}$$

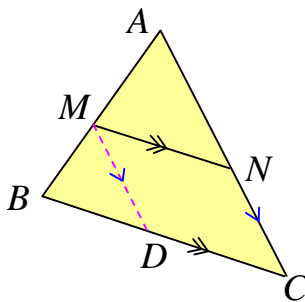
توجه: اگر رابطه‌ی تالس را به صورت  $\frac{AM}{MB} = \frac{AN}{NC}$  بنویسیم، می‌گوییم، رابطه به صورت جزء به جزء

نوشته شده است. در حالی که در حالت  $\frac{AM}{AB} = \frac{AN}{AC}$  رابطه را جزء به کل گویند.

\*\*\*

**قضیه (قضیه‌ی کلی تالس):** اگر خطی موازی یک ضلع مثلثی رسم شود و دو ضلع دیگر (یا امتداد آنها)

را قطع کند، مثلث دیگری بوجود می‌آورد که اضلاع آن با اضلاع متناظر از مثلث اصلی متناسبند.



فرض:  $MN \parallel BC$

حکم:  $\frac{AM}{AB} = \frac{AN}{AC} = \frac{MN}{BC}$

**اثبات:** تناسب  $\frac{AM}{AB} = \frac{AN}{AC}$  (۱) طبق قضیه‌ی تالس بدیهی است. از طرفی اگر از نقطه‌ی  $M$  پاره‌خط

$MD$  را موازی  $AC$  رسم کنیم. با استفاده از قضیه‌ی تالس داریم:

$$MD \parallel AC \rightarrow \frac{BM}{AB} = \frac{BD}{BC} \rightarrow \frac{-BM}{AB} = \frac{-BD}{BC}$$

و با ترکیب نسبت در صورت می‌توان نوشت:

$$\frac{AB - BM}{AB} = \frac{BC - BD}{BC} \rightarrow \frac{AM}{AB} = \frac{DC}{BC}$$

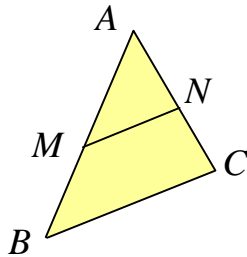
ولی چهارضلعی  $MNCD$  متوازی الاضلاع است پس  $MN = DC$  و لذا

$$\frac{AM}{AB} = \frac{MN}{BC} \quad (۲)$$

حال طبق نتایج ۱ و ۲ به دست آمده می‌توان نوشت:

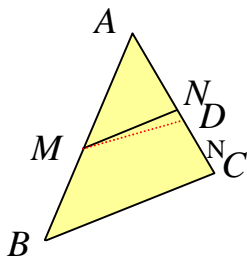
$$\frac{AM}{AB} = \frac{AN}{AC} = \frac{MN}{BC}$$

\*\*\*



**قضیه (عکس قضیه تالس):** اگر خطی دو ضلع مثلثی (یا امتداد آنها) را قطع کند و روی آنها پاره‌خط‌های متناسب پدید آورد، آن خط با ضلع سوم مثلث موازی است.

فرض:  $\frac{AM}{AB} = \frac{AN}{AC}$  حکم:  $MN \parallel BC$



**اثبات:** (به کمک برهان خلف) گیریم که  $MN$  موازی  $BC$  نباشد. پس از نقطه‌ی  $M$  خط  $MD$  را چنان رسم می‌کنیم که موازی  $BC$  باشد و  $AC$  (یا امتداد آن را در نقطه‌ی  $D$ ) قطع کند. حال طبق قضیه تالس داریم:

$$\frac{AM}{AB} = \frac{AD}{AC}$$

و با مقایسه با فرض می‌توان نوشت:

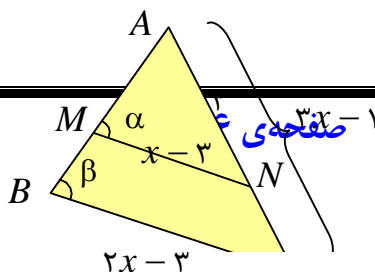
$$\frac{AN}{AC} = \frac{AD}{AC}$$

لذا:

$$AN = AD$$

و این وقتی ممکن است که نقطه‌ی  $D$  بر  $N$  منطبق باشد پس پاره‌خط  $MD$  بر  $MN$  منطبق می‌شود و چون  $MD \parallel BC$  پس  $MN \parallel BC$  و حکم ثابت است.

**تمرین ۲۵:** در شکل زیر زاویه‌های  $\alpha$  و  $\beta$  مساویند. مقدار  $x$  را به دست آورید.



حل : چون زاویه های  $\alpha$  و  $\beta$  لذا خطوط  $MN$  و  $BC$  موازیند. لذا قضیه‌ی تالس را می توان به صورت زیر نوشت:

$$MN \parallel BC \rightarrow \frac{AM}{AB} = \frac{AN}{AC} = \frac{MN}{BC}$$

و چون اندازه های اضلاع  $AM$  و  $AB$  را نداریم. تناسب را به صورت زیر می نویسیم.

$$\frac{AN}{AC} = \frac{MN}{BC} \rightarrow \frac{4}{3x-1} = \frac{x-3}{2x-3} \rightarrow (x-3)(3x-1) = 4(2x-3)$$

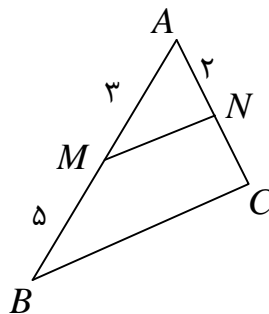
$$\rightarrow 3x^2 - x - 9x + 3 = 8x - 12 \rightarrow 3x^2 - 18x + 15 = 0 \xrightarrow{\div 3} x^2 - 6x + 5 = 0$$

$$\rightarrow (x-5)(x-1) = 0 \rightarrow \begin{cases} x=5 \\ x=1 \end{cases}$$

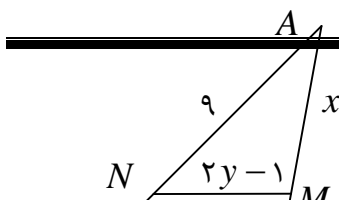
که با توجه به داده های مسئله جواب  $x=1$  قابل قبول نیست.

### تمرین برای حل :

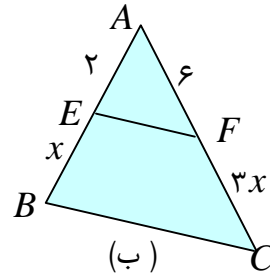
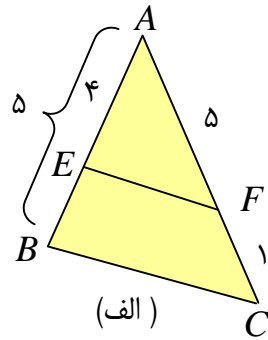
۲۶: در شکل زیر  $MN \parallel BC$  ، اندازه های  $AC$  و  $NC$  را به دست آورید.



۲۷: در شکل مقابل  $MN \parallel BC$  ، مقادیر  $x$  و  $y$  را به دست آورید.

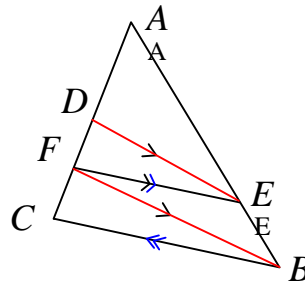


۲۸: در کدام مورد  $EF \parallel BC$  است؟



۲۹: ثابت کنید، در هر مثلث پاره خطی که وسطهای دو ضلع مثلث را به هم وصل کند، با ضلع سوم موازی و مساوی نصف آن است.

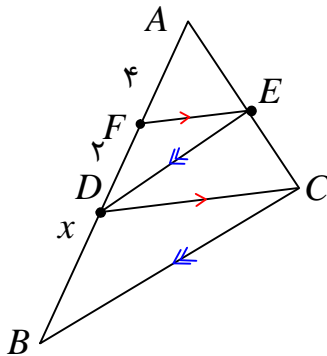
۳۰: در شکل زیر  $DE \parallel FB$  و  $FE \parallel BC$  ثابت کنید که  $\frac{AD}{DF} = \frac{AF}{FC}$



۳۱: با توجه به شکل مقابل اگر  $DE \parallel BC$  و  $FE \parallel DC$

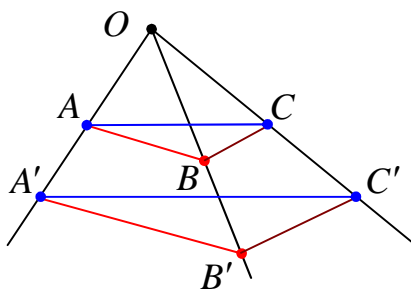
اولاً: ثابت کنید که  $AD^2 = AF \cdot AB$

ثانیاً: مقدار  $x$  را به دست آورید.

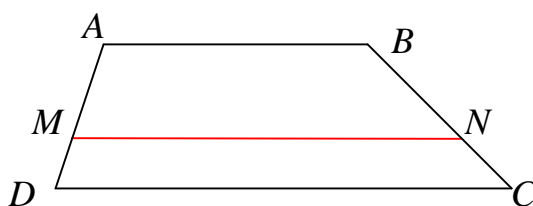


۳۲: در شکل زیر  $AB \parallel A'B'$  و  $BC \parallel B'C'$  با استفاده از قضیه تالس و عکس آن ثابت کنید:

$$AC \parallel A'C'$$



۳۳: در دوزنقه ی زیر  $MN \parallel AB \parallel CD$ ، ثابت کنید،  $\frac{AM}{MD} = \frac{BN}{NC}$  . ( قضیه ی تالس در دوزنقه )



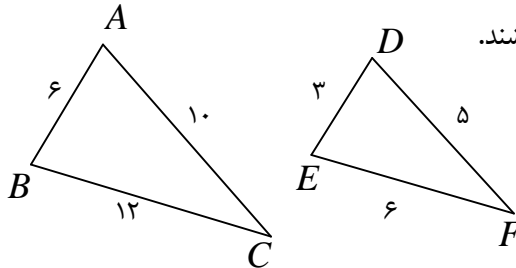
\*\*\*



## درس سوم: تشابه مثلث ها

در این درس مفهوم تشابه دو مثلث را بررسی نموده و کاربردهایی را پیرامون آن بیان می کنیم.

### قسمت اول: مفهوم تشابه دو مثلث



دو مثلث را متشابه گویند، هرگاه دو شرط زیر برقرار باشند.

الف: زاویه های متناظر آنها مساوی باشند.

ب: اضلاع متناظر آنها متناسب باشند.

$$\left. \begin{array}{l} \angle A = \angle D, \angle B = \angle E, \angle C = \angle F \\ \frac{AB}{DE} = \frac{BC}{EF} = \frac{AC}{DF} \end{array} \right\} \rightarrow \Delta(ABC) \sim \Delta(DEF)$$

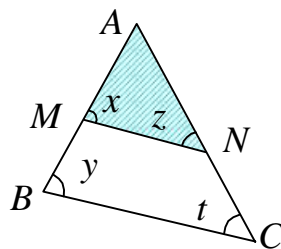
در دو مثلث متشابه، نسبت دو ضلع متناظر<sup>۱</sup> را نسبت تشابه دو مثلث می نامند. در مثال فوق نسبت تشابه

$$\text{می تواند } k = \frac{6}{3} = 2 \text{ یا } k = \frac{12}{6} = 2 \text{ می باشد.}$$

برای ورود به بحث تشابه مثلث ها، لازم است ابتدا با قضیه ی اساسی تشابه دو مثلث آشنا شویم.

**قضیه** (قضیه ی اساسی تشابه مثلث ها): اگر خطی موازی یک ضلع مثلثی رسم شود به طوری که دو ضلع

دیگر (یا امتداد آنها) را قطع کند، مثلثی بوجود می آورد که با مثلث اصلی متشابه است.



فرض:  $MN \parallel BC$

حکم:  $\Delta AMN \sim \Delta ABC$

اثبات: کافی است که نشان دهیم، دو شرط مربوط به تعریف تشابه را برقرارند.

شرط اول (تساوی زاویه های متناظر): زاویه ی  $A$  در دو مثلث مشترک است. از طرفی چون  $MN \parallel BC$

پس  $\angle x = \angle y$  و  $\angle z = \angle t$ . پس زاویه های نظیر مساویند.

<sup>۱</sup>. اضلاع روبرو به زاویه های مساوی

شرط دوّم (تناسب اضلاع متناظر):

چون  $MN \parallel BC$  پس طبق قضیه ی تالس داریم  $\frac{AM}{AB} = \frac{MN}{BC} = \frac{AN}{AC}$  . در نتیجه اضلاع متناسبند.

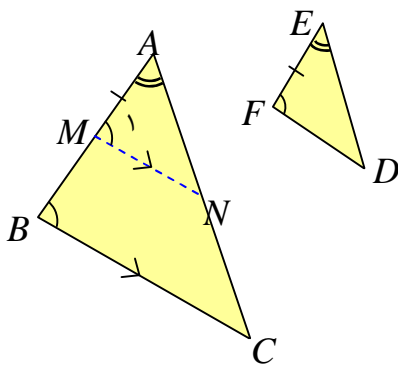
\*\*\*

حال با توجه به قضیه ی اساسی تشابه دو مثلث ، می توان سه قضیه ی اصلی برای حالت های مختلف تشابه دو مثلث بیان کرد.

### قضایای اصلی تشابه دو مثلث

**قضیه ی ۱ :** اگر دو زاویه از یک مثلث، با دو زاویه از مثلث دیگری برابر باشند آن دو مثلث متشابهند.

( حالت تساوی دو زاویه )



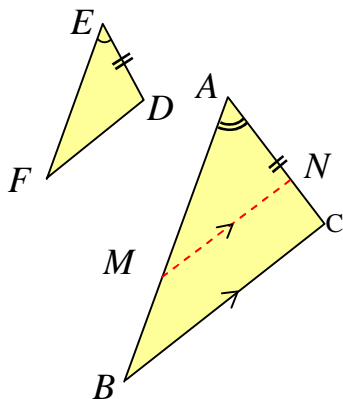
فرض :  $\angle A = \angle E$  و  $\angle B = \angle F$

$$\Delta ABC \sim \Delta EFD \text{ : حکم}$$

\*\*\*

**قضیه ی ۲ :** اگر یک زاویه از یک مثلث با یک زاویه از مثلث دیگری برابر و ضلع های نظیر این زاویه ها

متناسب باشند، آنگاه آن دو مثلث متشابهند.



(حالت تناسب دو ضلع و تساوی زاویه های بین آنها)

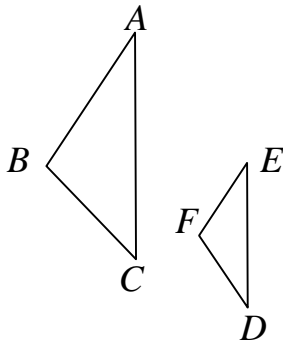
$$\text{فرض : } \angle A = \angle E \text{ و } \frac{EF}{AB} = \frac{ED}{AC}$$

$$\Delta ABC \sim \Delta EFD \text{ : حکم}$$

\*\*\*

قضیه ۳: هرگاه سه ضلع از مثلثی با سه ضلع از مثلث دیگری متناسب باشند آن دو مثلث متشابه‌اند.

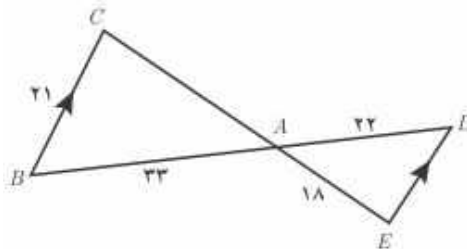
(حالت تناسب سه ضلع)



$$\text{فرض: } \frac{EF}{AB} = \frac{ED}{AC} = \frac{DF}{BC}$$

$$\text{حکم: } \triangle ABC \sim \triangle EFD$$

تمرین ۱: در شکل زیر  $BC \parallel DE$  است. اندازه‌های پاره‌های  $AC$  و  $DE$  را به دست آورید.



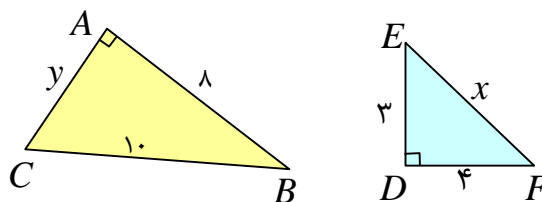
توجه: هنگام نوشتن نسبت اضلاع متناظر از دو مثلث متشابه لازم است به دو نکته‌ی زیر توجه نمود.

۱: صورت‌ها مربوط به یک مثلث و مخرج‌ها مربوط به مثلث دیگر باشند.

۲: دو ضلع در یک نسبت (کسر) قرار می‌گیرند، هرگاه روبرو به زاویه‌های مساوی باشند.

تمرین برای حل:

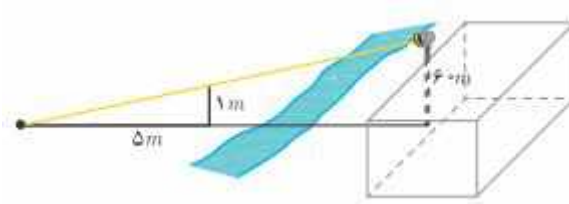
۲: آیا دو مثلث قائم‌الزاویه‌ی زیر متشابه‌اند؟ چرا؟



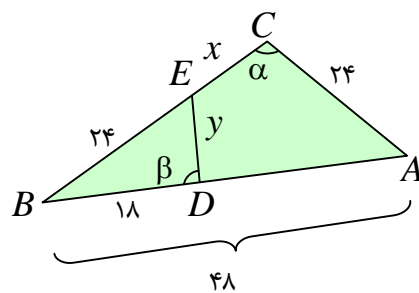
۳: بر دیوار یک کمپ نظامی نورافکنی به ارتفاع ۶۰ متر (مانند شکل) قرار گرفته است. فردی که در طرف

دیگر رودخانه است، می‌خواهد فاصله‌ی خود را تا پایه‌ی نورافکن محاسبه کند. برای این کار چوبی به طول

یک متر را روی زمین قرار می دهد و مشاهده می کند که طول سایه ی چوب برابر ۵ متر است. فاصله ی این مرد تا پای نورافکن چقدر است؟

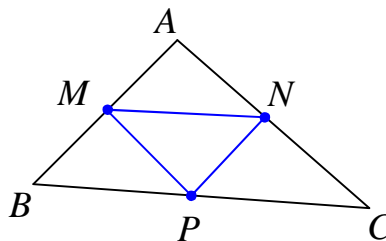


۴: در شکل زیر  $\angle \alpha = \angle \beta$  است. طول  $x$  و  $y$  را پیدا کنید.



۵: در شکل زیر نقاط  $M$  و  $N$  و  $P$  وسط های اضلاع مثلث  $ABC$  می باشند. ثابت کنید:

$$\Delta(ABC) \sim \Delta(MNP)$$

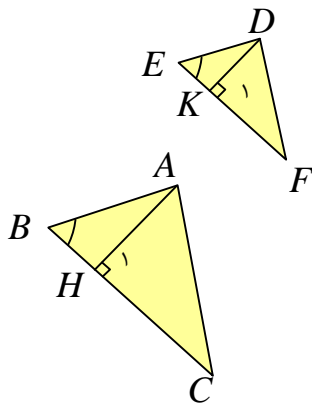


۶: ثابت کنید که دو مثلث متشابه با یک مثلث، خود با متشابه اند. در مورد نسبت تشابه آنها چه می توان گفت؟ چرا؟

\*\*\*

قسمت دوم: قضایای محیط و مساحت مثلث های متشابه

قضیه: نسبت ارتفاع های متناظر از دو مثلث متشابه با نسبت تشابه آن دو مثلث برابر است.



فرض:  $\Delta(ABC) \sim \Delta(DEF)$  و  $\frac{AB}{DE} = \frac{BC}{EF} = \frac{AC}{DF} = k$

حکم:  $\frac{AH}{DK} = k$

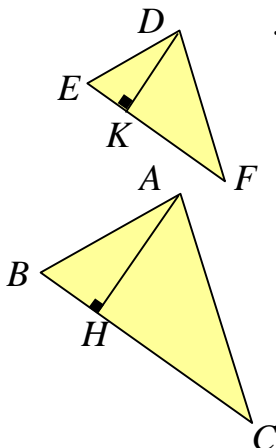
اثبات: چون دو مثلث  $ABC$  و  $DEF$  متشابهند، پس  $\angle B = \angle E$

از طرفی  $\angle H_1 = \angle K_1 = 90^\circ$  لذا

$$\Delta(ABH) \sim \Delta(DEK) \Rightarrow \frac{AB}{DE} = \frac{BH}{EK} = \frac{AH}{DK}$$

و چون  $\frac{AB}{DE} = k$  پس  $\frac{AH}{DK} = k$

قضیه: نسبت مساحت های دو مثلث متشابه با توان دوم نسبت تشابه آنها برابر است.



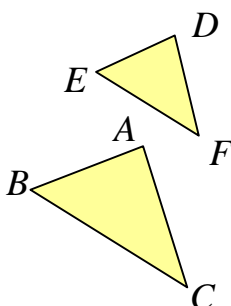
فرض:  $\Delta ABC \sim \Delta DEF$  و  $\frac{AB}{DE} = \frac{AC}{DF} = \frac{BC}{EF} = k$

حکم:  $\frac{S_{\Delta(ABC)}}{S_{\Delta(DEF)}} = k^2$

اثبات: با توجه به قضیه ی قبل داریم:

$$\frac{S_{\Delta ABC}}{S_{\Delta DEF}} = \frac{\frac{1}{2} BC \cdot AH}{\frac{1}{2} EF \cdot DK} = \frac{BC}{EF} \cdot \frac{AH}{DK} = k \cdot k = k^2$$

قضیه: نسبت محیط های دو مثلث متشابه با نسبت تشابه آنها برابر است.



فرض:  $\Delta ABC \sim \Delta DEF$  و  $\frac{AB}{DE} = \frac{AC}{DF} = \frac{BC}{EF} = k$

حکم:  $\frac{P_{\Delta(ABC)}}{P_{\Delta(DEF)}} = k$

اثبات : با توجه به خواص تناسب داریم

$$\frac{P_{\Delta ABC}}{P_{\Delta DEF}} = \frac{AB + BC + AC}{DE + EF + DF} = \frac{k(DE) + k(EF) + k(DF)}{DE + EF + DF}$$

$$= \frac{k(DE + EF + DF)}{(DE + EF + DF)} = k$$

\*\*\*

**تمرین ۷:** نسبت مساحت‌های دو مثلث متشابه  $\frac{۸۱}{۲۵}$  است، نسبت محیط‌های این دو مثلث را پیدا کنید.

حل :

نسبت محیط‌ها  $k^۲ = \frac{۸۱}{۲۵} \rightarrow k = \frac{۹}{۵}$

**تمرین ۸:** اگر مثلثی با اضلاع ۳ و ۴ و ۵ با مثلثی دیگر به محیط ۱۸ متشابه باشد.

الف: مساحت مثلث دوم را بدست آورید.

ب: اندازه‌ی اضلاع مثلث دوم را محاسبه کنید.

حل: در مثلث اول، چون  $۳^۲ + ۴^۲ = ۵^۲$  پس مثلث قائم الزاویه بوده و دوضلع زاویه‌ی قائمه‌ی آن ۳ و ۴ می

باشند. در نتیجه مساحت این مثلث برابر  $۶ = \frac{۱}{۲} \times ۳ \times ۴$  است.

| مساحت   | محیط      | ضلع سوم | ضلع دوم | ضلع اول |
|---------|-----------|---------|---------|---------|
| $S = ۶$ | $p = ۱۲$  | $c = ۵$ | $b = ۴$ | $a = ۳$ |
| $S'$    | $p' = ۱۸$ | $c'$    | $b'$    | $a'$    |

$$k = \frac{p}{p'} = \frac{۱۲}{۱۸} = \frac{۲}{۳} \xrightarrow{\frac{S}{S'} = k^۲} \frac{S}{S'} = \frac{۴}{۹} \xrightarrow{S=۶} \frac{۶}{S'} = \frac{۴}{۹} \rightarrow S' = \frac{۶ \times ۹}{۴} = \frac{۲۷}{۲} = ۱۳/۵$$

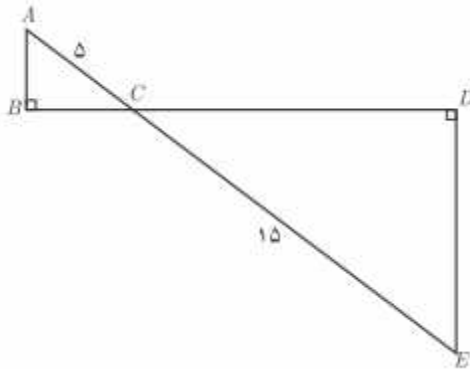
$$\frac{a}{a'} = k \rightarrow \frac{۳}{a'} = \frac{۲}{۳} \rightarrow a' = ۴/۵$$

$$\frac{b}{b'} = k \rightarrow \frac{۴}{b'} = \frac{۲}{۳} \rightarrow b' = ۶$$

$$\frac{c}{c'} = k \rightarrow \frac{۵}{c'} = \frac{۲}{۳} \rightarrow c' = ۷/۵$$

تمرین برای حل :

۹: در شکل مقابل دو مثلث قائم الزاویه مشاهده می کنید. نسبت محیط ها و مساحت های آنها را به دست آورید.



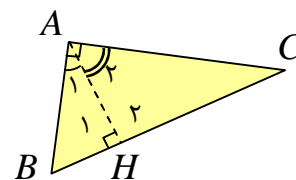
\*\*\*

قسمت سوم: برخی روابط طولی در مثلث قائم الزاویه

قضیه: در هر مثلث قائم الزاویه، ارتفاع وارد بر وتر، آن را به دو مثلث قائم الزاویه دیگر تبدیل می کند. این دو مثلث با هم و با مثلث اصلی متشابهند.

$$\left. \begin{array}{l} \Delta(ABH): \angle A_1 + \angle B = 90^\circ \\ \Delta(ABC): \angle B + \angle C = 90^\circ \end{array} \right\} \rightarrow \Delta(ABH) \approx \Delta(ABC) \quad (1)$$

$$\left. \begin{array}{l} \angle A_1 = \angle C \\ \angle H_1 = \angle A = 90^\circ \end{array} \right\}$$



$$\left. \begin{array}{l} \Delta(ACH): \angle A_2 + \angle C = 90^\circ \\ \Delta(ABC): \angle B + \angle C = 90^\circ \end{array} \right\} \rightarrow \angle A_2 = \angle B$$

$$\left. \begin{array}{l} \angle A_2 = \angle B \\ \angle H_2 = \angle A = 90^\circ \end{array} \right\} \rightarrow \Delta(ACH) \approx \Delta(ABC) \quad (2)$$

$$(1), (2) \rightarrow \Delta(ABH) \approx \Delta(ACH)$$

قضیه: در هر مثلث قائم الزاویه ارتفاع وارد بر وتر میانگین هندسی بین دو قطعه ایجاد شده روی وتر است.

$$\Delta(ABH) \approx \Delta(ACH) \rightarrow \frac{AB}{AC} = \frac{AH}{CH} = \frac{BH}{AH} \rightarrow AH^2 = BH \times CH$$

**قضیه:** در هر مثلث قائم الزاویه حاصل ضرب وتر در ارتفاع وارد بر وتر، با حاصل ضرب دو ضلع زاویه قائمه ی مثلث برابر است.

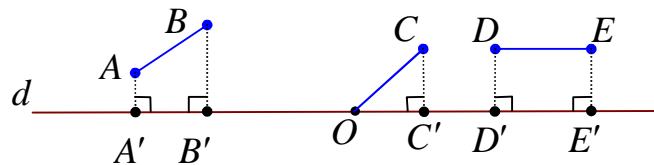
اثبات: کافی است مساحت مثلث قائم الزاویه را به دو شکل متفاوت محاسبه کنیم.

$$\left. \begin{aligned} S(ABC) &= \frac{1}{2}(AB)(AC) \\ S(ABC) &= \frac{1}{2}(AH)(BC) \end{aligned} \right\} \rightarrow \frac{1}{2}(AH)(BC) = \frac{1}{2}(AB)(AC)$$

$$\rightarrow (AH)(BC) = (AB)(AC)$$

**توجه:** اگر  $AB$  پاره خط غیرمنطبق بر خط  $d$  باشد. تصویر پاره خط  $AB$  روی خط  $d$  پاره خطی است

مانند  $A'B'$  می باشد هرگاه  $AA' \perp d$  و  $BB' \perp d$  باشد.



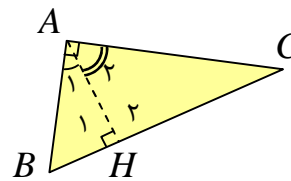
**قضیه:** در هر مثلث قائم الزاویه مربع اندازه ی هر ضلع زاویه قائمه با حاصل ضرب اندازه ی وتر در اندازه ی

تصویر همان ضلع بر وتر برابر است.

اثبات:

$$\Delta(ABH) \approx \Delta(ABC) \rightarrow \frac{AB}{BC} = \frac{AH}{AC} = \frac{BH}{AB}$$

$$\rightarrow \frac{AB}{BC} = \frac{BH}{AB} \rightarrow AB^2 = BC \times BH$$



$$\Delta(ACH) \approx \Delta(ABC) \rightarrow \frac{AC}{BC} = \frac{CH}{AC} = \frac{AH}{AB}$$

$$\rightarrow \frac{AC}{BC} = \frac{CH}{AC} \rightarrow AC^2 = BC \times CH$$

**قضیه:** در هر مثلث قائم الزاویه مربع وتر با مجموع مربعات دو ضلع دیگر برابر است (قضیه ی فیثاغورس).

اثبات:



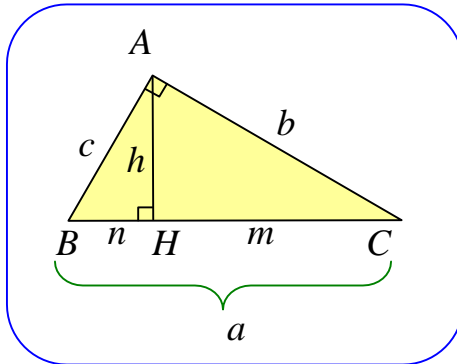
$$\left. \begin{array}{l} AB^2 = BC \times BH \\ AC^2 = BC \times CH \end{array} \right\} \rightarrow AB^2 + AC^2 = BC \times BH + BC \times CH$$

$$\rightarrow AB^2 + AC^2 = BC(BH + CH) = BC \times BC = BC^2$$

**تمرین ۱۰:** با استفاده از محاسبه‌ی مساحت، ثابت کنید در هر مثلث قائم الزاویه، حاصل ضرب دو ضلع زاویه‌ی قائمه با حاصل ضرب وتر در ارتفاع وارد بر وتر برابر است.

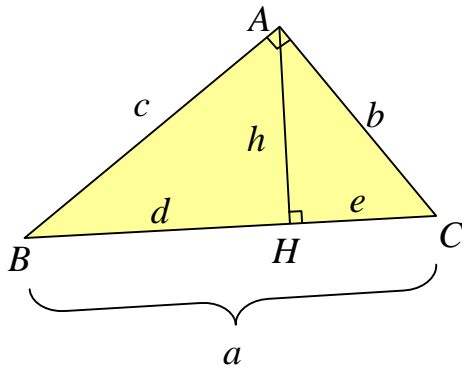
\*\*\*

برخی از روابط طولی مهم در هر مثلث قائم الزاویه



- ۱)  $a^2 = b^2 + c^2$
- ۲)  $b^2 = a \times m$
- ۳)  $c^2 = a \times n$
- ۴)  $h^2 = m \times n$
- ۵)  $a \times h = b \times c$

**تمرین ۱۱:** در هر مورد با توجه به اطلاعات داده شده پیرامون مثلث قائم الزاویه‌ی شکل مقابل، ساده‌ترین



روش مقادیر خواسته شده را به دست آورید.

الف)  $h = 5$  و  $d = 7$  و  $e = ?$

ب)  $d = 5$  و  $e = 3$  و  $b = ?$  و  $c = ?$

ج)  $c = 8$  و  $b = 6$  و  $h = ?$

حل:

الف:

$$h^2 = d \times e \rightarrow (5)^2 = 7 \times e \rightarrow e = \frac{25}{7}$$

ب:

$$b^2 = a \times e \rightarrow b^2 = 8 \times 3 \rightarrow b = 2\sqrt{6}$$

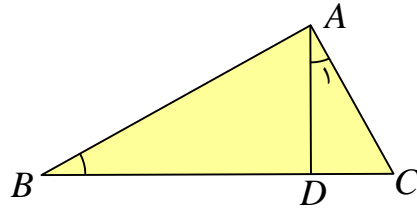
$$c^2 = a \times d \rightarrow c^2 = 8 \times 5 \rightarrow c = 2\sqrt{10}$$

ج :

$$a^2 = b^2 + c^2 \rightarrow a^2 = (6)^2 + (8)^2 \rightarrow a = 10$$

$$a \times h = b \times c \rightarrow (10)(h) = (6)(8) \rightarrow h = \frac{24}{5}$$

**تمرین ۱۲:** در شکل روبرو  $\angle A_1 = \angle B$  و  $AC = 4$  و  $BD = 6$  . طول  $BC$  را به دست آورید.



حل : قرار می دهیم  $BC = x$

$$\left. \begin{array}{l} \angle A_1 = \angle B \\ \angle C = \angle C \end{array} \right\} \rightarrow \Delta(ADC) \approx \Delta(ABC) \rightarrow \frac{AC}{BC} = \frac{AD}{AB} = \frac{CD}{AC}$$

$$\rightarrow \frac{AC}{BC} = \frac{CD}{AC} \rightarrow \frac{4}{x} = \frac{x-6}{4} \rightarrow x^2 - 6x = 16 \rightarrow x^2 - 6x - 16 = 0$$

$$\rightarrow (x-8)(x+2) = 0 \rightarrow x = 8, x = -2$$

جواب  $x = -2$  غیر قابل قبول است.

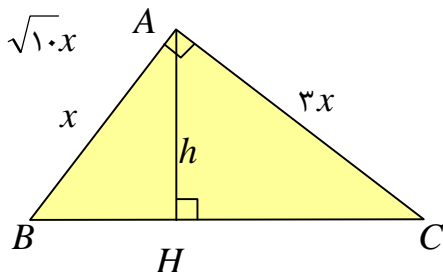
**تمرین ۱۳:** در یک مثلث قائم الزاویه، طول اضلاع قائم به نسبت ۳ و ۱ و مساحت آن ۶۰ واحد مربع است.

اندازه ی ارتفاع وارد بر وتر چقدر است؟

حل :

$$BC^2 = AB^2 + AC^2 = x^2 + 9x^2 = 10x^2 \rightarrow BC = \sqrt{10}x$$

$$S = 60 \rightarrow \frac{(x)(3x)}{2} = 60 \rightarrow x^2 = 40 \rightarrow x = 2\sqrt{10}$$



می دانیم که در هر مثلث قائم الزاویه حاصل ضرب وتر در ارتفاع وارد بر وتر با حاصل ضرب دو ضلع زاویه ی

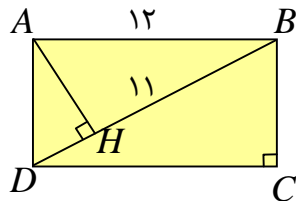
قائم برابرند. پس :

$$(AH)(BC) = (AB)(AC) \rightarrow h(\sqrt{10}x) = (x)(3x)$$

$$\rightarrow h = \frac{3x}{\sqrt{10}} \xrightarrow{x=2\sqrt{10}} h = \frac{3(2\sqrt{10})}{\sqrt{10}} = 6$$

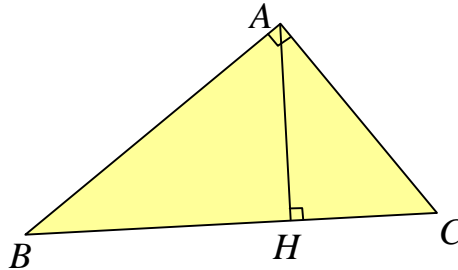
تمرین برای حل :

۱۴: در شکل مقابل، مستطیلی به طول ۱۲ داده شده است. با توجه به اندازه های داده شده، طول قطر



مستطیل و اندازه‌ی عرض مستطیل را به دست آورید.

۱۵: در مثلث قائم الزاویه زیر، در هر حالت، اندازه‌ی پاره خط خواسته شده را به دست آورید.



الف)  $AC = ?$  و  $AB = ?$  و  $AH = ?$  و  $BH = 9$  و  $BC = 10$

ب)  $AB = ?$  و  $AH = ?$  و  $BC = ?$  و  $CH = 2$  و  $AC = 5$

پ)  $AH = ?$  و  $BC = ?$  و  $AC = 6$  و  $AB = 8$

ت)  $AC = ?$  و  $BC = ?$  و  $BH = ?$  و  $AH = 6$  و  $AB = 12$

\*\*\*

تهیه کننده: جابر عامری دبیر ریاضی شهرستان های اهواز و باوی

سایت: [www.mathtower.ir](http://www.mathtower.ir)

کانال تلگرام: @mathameri

# ریاضی ۲

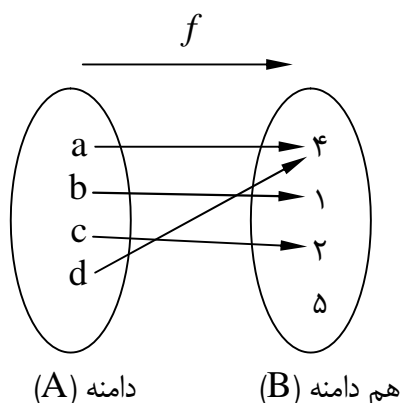
پایه می یازدهم « رشته می علوم تجربی »

فصل ۳ : تابع

## درس اول: تابع

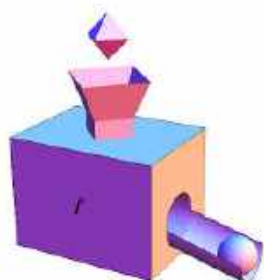
آشنایی با مفهوم تابع به عنوان یکی از مفاهیم اساسی ریاضیات، برای درک و فهم بسیاری مفاهیم دیگر در ریاضیات و فیزیک و... لازم و ضروری است. در سال قبل به صورت مقدماتی با این مفهوم را در پایه‌ی دهم آشنا شدید. در اینجا ضمن یادآوری آن، موضوعات تکمیلی دیگری را معرفی می‌کنیم.

### قسمت اول: یادآوری مفهوم تابع



هر رابطه که هر عضو مجموعه‌ی  $A$  را دقیقاً به یک عضو از مجموعه‌ی  $B$  نسبت دهد را یک **تابع** از مجموعه‌ی  $A$  به مجموعه‌ی  $B$  می‌نامند.

یک تابع از مجموعه‌ی  $A$  به مجموعه‌ی  $B$ ، رابطه‌ای بین این دو مجموعه است که در آن، به هر عضو از  $A$  دقیقاً یک عضو از  $B$  نظیر می‌شود. در این وضعیت مجموعه‌ی  $A$  را **دامنه** و مجموعه‌ی  $B$  را **هم دامنه** یا مقصد تابع می‌نامند و می‌نویسند.



$$f : A \rightarrow B$$

در ریاضیات، تابع را به روش‌های مختلفی نمایش می‌دهند. مهمترین این روش‌ها عبارتند از :

#### ۱ : نمایش پیکانی

یک رابطه از مجموعه‌ی  $A$  به مجموعه‌ی  $B$ ، که با **روش پیکانی** یا نمودار ون نمایش داده می‌شود، تنها در صورتی تابع است که از هر عضو  $A$  دقیقاً یک پیکان خارج شود. در این روش نمایش تابع، ممکن است به یک یا چند عضو هم دامنه پیکانی وارد نشود، یا به بعضی از آنها یک یا چند پیکان وارد شود. هر زیر مجموعه از هم دامنه که به آن پیکان وارد شده است را **برد** تابع می‌نامند.

در تابع مثال فوق داریم.

$$A = D_f = \{a, b, c, d\} \quad \text{هم دامنه } B = \{1, 2, 4, 5\} \quad \text{برد } R_f = \{1, 2, 4\}$$

**تذکر:** مجموعه‌ی تمام عضو هایی که یک تابع روی آنها اثر می کند ( که همگی در مجموعه‌ی  $A$  هستند) را **دامنه** و مجموعه‌ی تمام عضو هایی از مجموعه‌ی  $B$  ( هم دامنه) که متناظر با اعضای دامنه قرار می گیرند را **برد** آن تابع می نامند. معمولاً دامنه‌ی تابع  $f$  را با  $D_f$  و برد آن را با  $R_f$  نمایش می دهند.

\*\*\*

## ۲: نمایش تابع توسط زوج های مرتب

مجموعه‌ای از زوج های مرتب<sup>۱</sup> را در نظر می گیریم. اگر هیچ دو زوج مرتب متمایزی موجود نباشند که مولفه های اول آنها برابر باشند، این مجموعه تابعی خواهد بود که در آن مولفه های اول، اعضای دامنه و مولفه های دوم، اعضای برد می باشند.

به عنوان مثال، تابعی که در مورد (۱) با روش پیکانی نمایش داده ایم. در واقع مجموعه‌ی زوج های مرتبی به صورت زیر را تشکیل می دهد.

$$f = \{(a, 4), (b, 1), (c, 2), (d, 4)\}$$

به طور کلی برای تابع  $f$  که از  $x$  به  $y$  تعریف شده است، می توان نوشت:

$$f = \{(x, y) \mid x \in D_f, y \in R_f\}$$

بنابراین در نمایش تابع به صورت **زوج مرتب**، اگر زوج های مرتب دارای مولفه های اول برابر باشند، باید مولفه های دوم آن ها نیز برابر باشند<sup>۲</sup>.

**تمرین ۱:** دامنه و برد تابع زیر را بنویسید.

$$f = \{(3, 2), (5, 8), (-3, 2), (2, 4), (1, 2)\}$$

## ۳: نمایش تابع از طریق ضابطه

برای تابع  $f$  که از مجموعه‌ی  $A$  به مجموعه‌ی  $B$  تعریف شده است. رابطه‌ای که هر  $x$  از  $A$  را به  $y$  متناظرش از  $B$  مرتبط می کند. **ضابطه** یا قانون تابع می گوئیم و به صورت زیر نمایش می دهیم.

<sup>۱</sup>. هر دو تایی به شکل  $(a, b)$  که محل قرار گرفتن اجزای آن مهم است را زوج مرتب می نامند.  $a$  را مؤلفه‌ی اول (طول) و  $b$  را مؤلفه‌ی دوم (عرض) می نامند.  
<sup>۲</sup>. اگر چنین نباشد، مجموعه‌ی داده شده تابع نیست.

$$f : A \rightarrow B$$

$$y = f(x)$$

به عنوان مثال اگر تابع به هر عضو مجموعه‌ی  $A = R$  مربع آن را نسبت دهد، در این صورت می‌توان نوشت.

$$f : R \rightarrow [0, +\infty)$$

$$y = f(x) = x^2$$

**تذکر:** خروجی هر عضو دامنه مانند  $x$  را با  $y$  یا  $f(x)$  نمایش می‌دهند.

**مثال الف:** اگر گفته شود که تابع  $f(x) = \frac{x+1}{2x-6}$  داده شده است. نتیجه می‌گیریم که دامنه‌ی تابع

باید  $R - \{3\}$  باشد.

**مثال ب:** اگر گفته شود که تابع  $g(x) = \sqrt{4-x}$  داده شده است. نتیجه می‌گیریم که دامنه‌ی تابع باید

$[-\infty, 4]$  باشد.

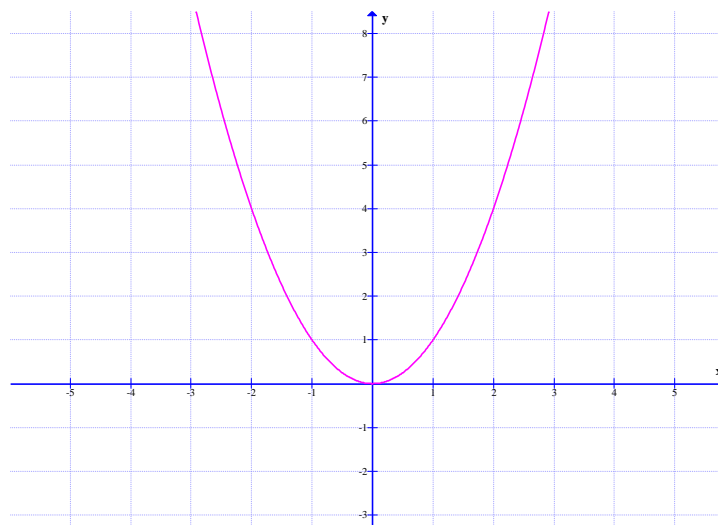
**۴: نمایش تابع به صورت هندسی (نمایش دکارتی)**

اگر مجموعه‌ی  $f$ ، نمایش زوج‌های مرتب تشکیل دهنده‌ی یک تابع باشد، هر زوج مرتب

مانند  $(a, b) \in f$  یک نقطه از صفحه (در دستگاه مختصات دکارتی) را مشخص می‌کند. با تعیین محل

تمام نقاط، نمودار (منحنی) تابع  $f$  پدید می‌آید.

برای مثال نمودار تابع  $f(x) = x^2$  به شکل زیر است. که قبلاً آن را سهمی نامیده ایم.



از دیدگاه هندسی، یک منحنی هنگامی نمایش یک تابع است که هر خط موازی محور عرضها آن را در بیش از یک نقطه قطع نکند. (آزمون خط قائم)

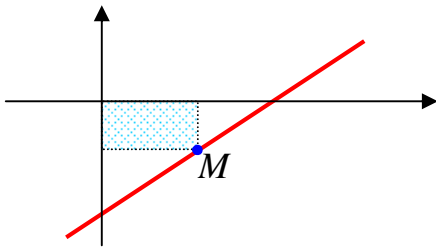
**تمرین ۲:** نمودار تابع های زیر را رسم کنید.

الف)  $f(x) = \sqrt{x}$

ب)  $f(x) = \frac{1}{x}$

ج)  $f(x) = |x|$

\*\*\*



**تمرین ۳:** در شکل مقابل یک مستطیل به محور های

مختصات و خط  $2y + x = 1$  محدود شده است، معادله ی

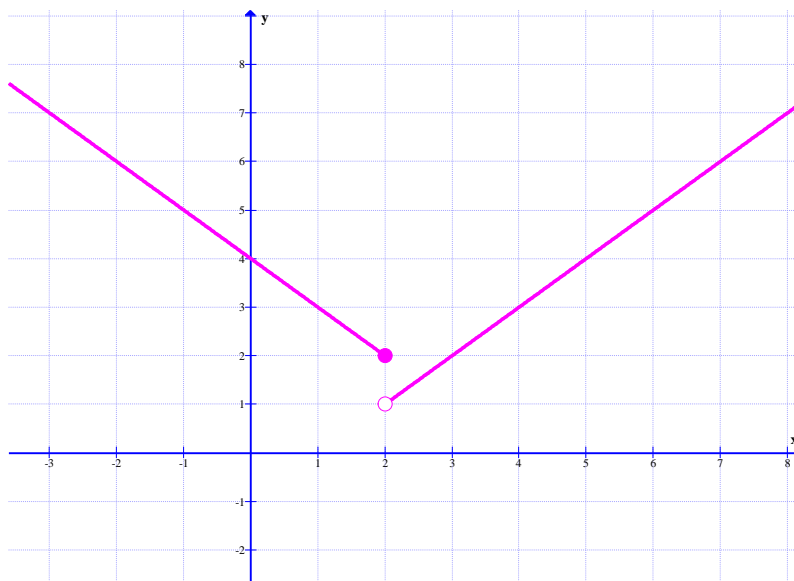
تابعی را بنویسید که مساحت مستطیل را به  $x$  وابسته کند.

\*\*\*

**توجه:** گاهی تابع را فقط با یک ضابطه تعریف می کنند، ولی گاهی لازم است که تابع را با چند ضابطه تعریف کرد. تابع زیر نمونه ای از یک تابع دو ضابطه ای است.

$$f(x) = \begin{cases} x - 1 & x > 2 \\ 4 - x & x \leq 2 \end{cases}$$

نمودار این تابع نیز به شکل زیر است.



روش رسم این تابع را توضیح دهید؟



**مثال ۱:** تابع قدر مطلق یک تابع دو ضابطه ای است.

$$f(x) = |x| = \begin{cases} x & x \geq 0 \\ -x & x < 0 \end{cases}$$

$$D_f = \{x \in \mathbb{R} \mid x \geq 0\} \cup \{x \in \mathbb{R} \mid x < 0\} = \mathbb{R}$$

$$R_f = \{y \in \mathbb{R} \mid y \geq 0\} = [0, +\infty)$$

**مثال ۲:** تابع علامت یک تابع سه ضابطه ای است.

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} 1 & x > 0 \\ 0 & x = 0 \\ -1 & x < 0 \end{cases}$$

$$D_s = \{x \in \mathbb{R} \mid x > 0\} \cup \{0\} \cup \{x \in \mathbb{R} \mid x < 0\} = \mathbb{R}$$

$$R_s = \{1, 0, -1\}$$

**تمرین ۴:** نمودار تابع زیر را رسم کنید.

$$f(x) = \begin{cases} x^2 + 1 & x \geq 0 \\ -2x - 3 & x < 0 \end{cases}$$

\*\*\*

## قسمت دوم: آشنایی با برخی از انواع توابع

توابع دارای انواع مختلف می باشند، در اینجا به چند نوع اشاره می کنیم.

## الف: تابع گویا

هر تابع به شکل  $f(x) = \frac{P(x)}{Q(x)}$  که در آن  $P(x)$  و  $Q(x)$  چند جمله‌ای بوده و  $Q(x)$  غیرصفر باشد، را

تابع گویا می نامند.

مثال: هر یک از توابع زیر، گویا هستند.

$$f(x) = \frac{x^2 + 3x - 1}{x + 5} \quad \text{و} \quad f(x) = \frac{\sqrt{2}x}{5 - x^3} \quad \text{و} \quad f(r) = \frac{1 - r}{3r - 7} \quad \text{و} \quad f(k) = 5k - 1$$

همچنین هر یک از توابع زیر گویا نمی باشند. (چرا؟)

$$f(x) = \frac{1 - \sqrt{x}}{2x - 9} \quad \text{و} \quad f(u) = \sqrt{5u^2 + 3}$$

دامنه‌ی هر تابع گویا، برابر مجموعه‌ی تمام اعداد حقیقی بجز ریشه‌های مخرج آن است.

$$D_f = R - \{\text{ریشه‌های مخرج}\}$$

مثال: دامنه‌ی تابع  $f(x) = \frac{3x + 1}{x^2 - 5x}$  را تعیین کنید.

حل:

$$x^2 - 5x = 0 \rightarrow x(x - 5) = 0 \rightarrow x = 0, \quad x = 5$$

$$D_f = R - \{0, 5\}$$

تمرین ۵: دامنه‌ی هر یک از توابع زیر را تعیین کنید.

الف)  $f(x) = \frac{x + 3}{2x - 10}$

ج)  $f(x) = \frac{1 - x}{x^3 - 9x^2}$

ب)  $f(x) = \frac{5}{4x^2 - 9}$

د)  $f(x) = \frac{5x - 1}{25 + x^2}$

تمرین ۶: معادله‌ی تابعی را بنویسید که دامنه‌ی آن  $R - \{3\}$  باشد.

### ب: تابع رادیکالی

هر تابع به شکل  $f(x) = \sqrt{P(x)}$  که در آن عبارت  $P(x) \geq 0$  باشد، را یک تابع رادیکالی می‌نامند.

**مثال:** هر یک از توابع زیر، رادیکالی هستند.

$$f(x) = \sqrt{x^2 + 3x - 1} \quad \text{و} \quad f(u) = \sqrt{3 - u}$$

همچنین هر یک از توابع زیر رادیکالی نمی‌باشند. (چرا؟)

$$f(x) = 2\sqrt{5x^3} + 2x + 1 \quad \text{و} \quad f(r) = 5r^2 + 3$$

دامنه‌ی هر تابع رادیکالی، برابر زیرمجموعه‌ای از اعداد حقیقی است که به ازای هر عضو آن زیر رادیکال منفی نشود.

$$D_f = \{x | P(x) \geq 0\}$$

**مثال:** دامنه‌ی تابع زیر را تعیین کنید.

$$f(x) = \sqrt{x - 1}$$

حل:

$$x - 1 \geq 0 \rightarrow x \geq 1$$

**تمرین ۷:** دامنه‌ی هر یک از توابع زیر را تعیین کنید.

الف)  $f(x) = 1 + \sqrt{6 - 3x}$

ج)  $f(x) = \sqrt{9 - x^2}$

ب)  $f(x) = \sqrt{2x + 3}$

د)  $f(x) = \frac{\sqrt{2x - 6}}{x - 5}$

**تمرین ۸:** معادله‌ی تابعی را بنویسید که دامنه‌ی آن  $[1, +\infty)$  باشد.

**تمرین ۹:** نمودار توابع زیر را رسم کنید.

الف)  $f(x) = \sqrt{2 - x}$

ب)  $g(x) = 1 + \sqrt{x - 3}$

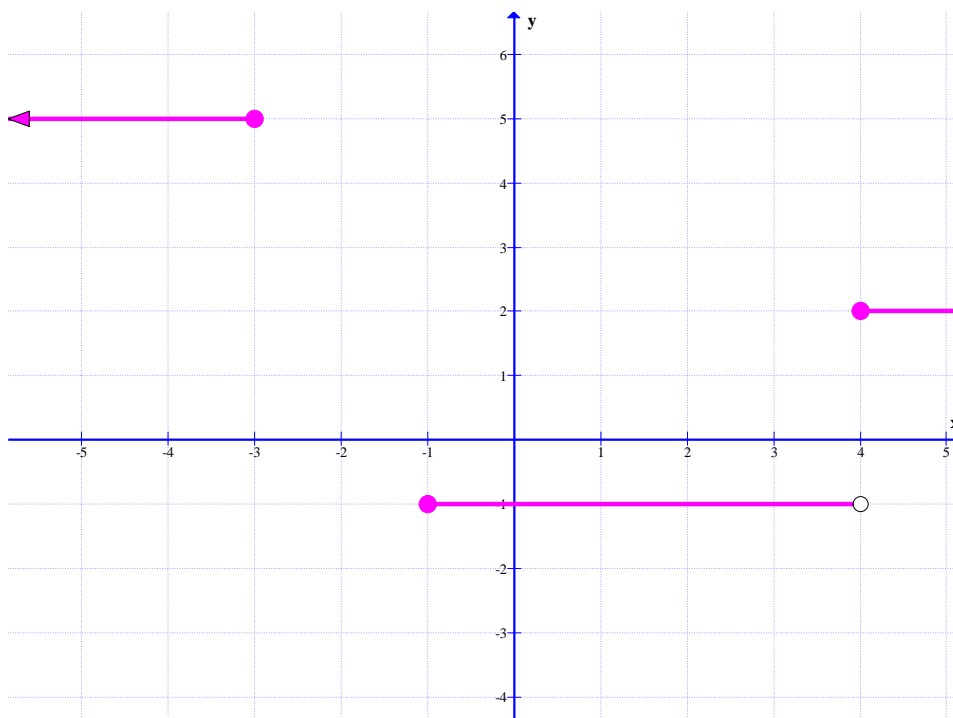
\*\*\*

### ج: تابع پله ای و تابع جزء صحیح

هر تابع که بتوان دامنه‌ی آن را به تعدادی بازه طوری تقسیم بندی کرد که تابع روی هر کدام از این بازه ها تابع ثابت باشد، را تابع پله ای می نامند. مانند تابع زیر

$$f(x) = \begin{cases} 5 & x \leq -3 \\ -1 & -1 \leq x < 4 \\ 2 & x \geq 4 \end{cases}$$

این تابع دارای نموداری به شکل زیر است.



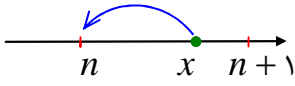
**تمرین ۱۰:** در یک پارکینگ، هزینه‌ی پارک خودرو بر اساس مدت زمان توقف خودرو، به این صورت محاسبه می شود.

$$f(t) = \begin{cases} 3 & 0 \leq t < 2 \\ 4 & 2 \leq t < 3 \\ 5 & 3 \leq t < 4 \\ 6 & t \geq 4 \end{cases}$$

این تابع نمونه ای از یک تابع پله ای است. نمودار این تابع را رسم کنید.

## جزء صحیح و ویژگی های آن

اگر  $x$  یک عدد حقیقی باشد، آنگاه بزرگترین عدد صحیح کمتر یا مساوی  $x$  را جز صحیح  $x$  می نامند و آن را با نماد  $[x]$  نمایش می دهند.



$$n \leq x < n + 1 \rightarrow [x] = n$$

تمرین: تساوی های زیر را کامل کنید.

۱.  $[2/3] =$       ۲.  $[-5] =$       ۳.  $[-5/7] =$       ۴.  $[\frac{5}{7}] =$       ۵.  $[-\sqrt{2}] =$

توجه ۱: برای هر عدد حقیقی  $x$  داریم.

$$[x + k] = [x] + k \quad (k \in \mathbb{Z})$$

توجه ۲: برای هر عدد حقیقی  $x$  داریم:

$$IF \ x \in \mathbb{Z} \rightarrow [x] + [-x] = 0$$

$$IF \ x \notin \mathbb{Z} \rightarrow [x] + [-x] = -1$$

تمرین ۱۱: معادله‌ی  $[x] + [x - 2] = 4$  را حل کنید.

حل:

$$[x] + [x - 2] = 4 \rightarrow [x] + [x] - 2 = 4 \rightarrow 2[x] = 6 \rightarrow [x] = 3 \rightarrow 3 \leq x < 4$$

تمرین ۱۲: معادله های زیر را حل کنید.

۱)  $[x + 1] + [x + 2] = 5$

۲)  $[x + 1] + [x - 2] = 4$

حل ۲:

$$[x + 1] + [x - 2] = 4 \rightarrow [x] + 1 + [x] - 2 = 4 \rightarrow 2[x] = 5 \rightarrow [x] = \frac{5}{2}$$

غیر ممکن است، لذا معادله ریشه ندارد.

تابع  $f(x) = [x]$  را تابع جزء صحیح می نامند. در واقع توابع جز صحیح گونه‌ی خاصی از توابع پله ای می باشند. برای رسم نمودار تابع جزء صحیح ، در یک فاصله‌ی معین بازه هایی به شکل  $[a, b)$  را طوری انتخاب می کنیم که جز صحیح اعداد هر یک ، عدد صحیح مشخصی باشد.

**مثال :** نمودار تابع  $f(x) = [x]$  را در فاصله‌ی  $[-۲, ۳)$  رسم کنید.

حل : فاصله‌ی  $[-۲, ۳)$  را طوری به بازه های کوچکتر تقسیم می کنیم. که جزء صحیح تمام اعضای هر بازه یکسان باشد.

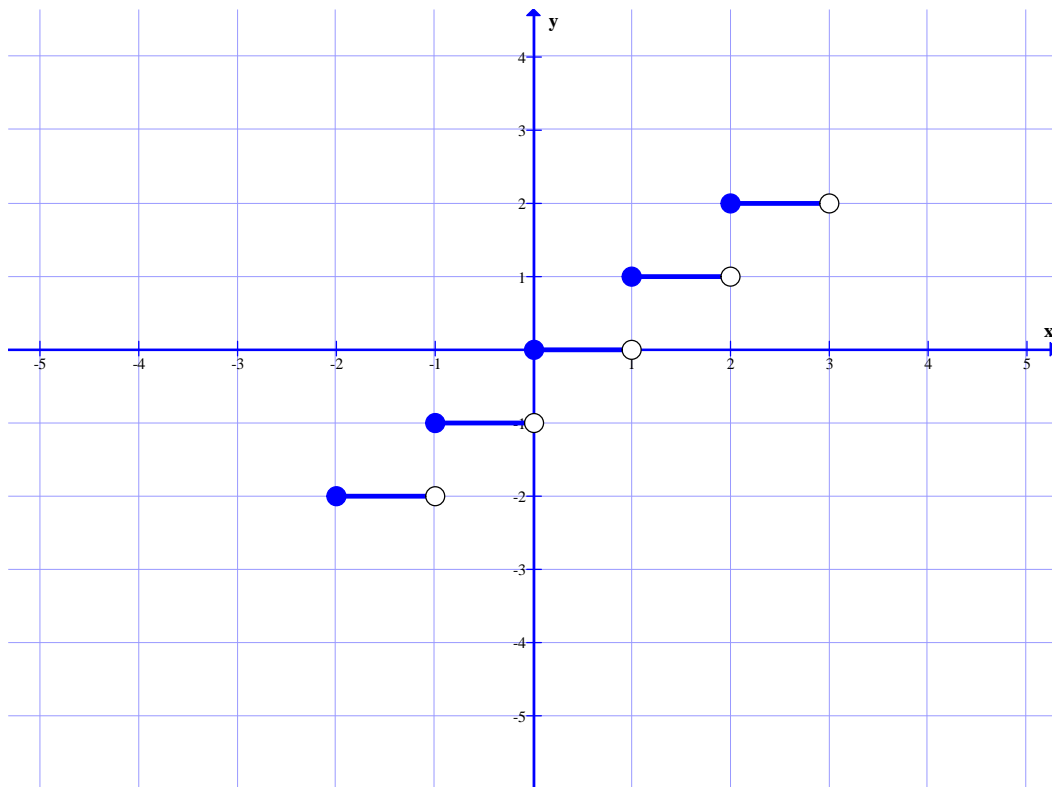
$$-۲ \leq x < -۱ \xrightarrow{f(x)=[x]} y = -۲$$

$$-۱ \leq x < ۰ \xrightarrow{f(x)=[x]} y = -۱$$

$$۰ \leq x < ۱ \xrightarrow{f(x)=[x]} y = ۰$$

$$۱ \leq x < ۲ \xrightarrow{f(x)=[x]} y = ۱$$

$$۲ \leq x < ۳ \xrightarrow{f(x)=[x]} y = ۲$$



تمرین برای حل :

۱۳: تابعی گویا بنویسید که دامنه‌ی آن  $R - \{1\}$  باشد.

۱۴: معادله‌ی تابعی را بنویسید که دامنه‌ی آن  $(1, +\infty)$  باشد.

۱۵: معادله‌ی تابعی را بنویسید که دامنه‌ی آن  $(-\infty, 2]$  باشد.

۱۶: نمودار تابع  $f(x) = \frac{1}{x}$  با دامنه‌ی  $D_f = [-5, 5] - \{0\}$  را رسم کنید.

۱۷: نمودار تابع  $y = -3 + \sqrt{x-4}$  را رسم کنید.

۱۸: نمودار تابع  $y = [x] + 2$  را در فاصله‌ی  $(-3, 3)$  رسم کنید.

۱۹: نمودار تابع  $y = [x + 1]$  را در فاصله‌ی  $(-2, 3)$  رسم کنید.

\*\*\*

قسمت سوم: تساوی دو تابع

دو تابع  $f$  و  $g$  را مساوی گویند، هرگاه دو شرط زیر برقرار باشد.

الف) دامنه‌های هر دو تابع مجموعه‌های مساوی باشند. ( $D_f = D_g$ )

ب) به ازای هر  $x$  عضو دامنه مقادیر  $f(x)$  و  $g(x)$  برابر باشند. ( $f(x) = g(x)$ )

به عبارتی دیگر، دو تابع مساوی هستند، هرگاه نمودارهای آنها در یک دستگاه مختصات دقیقاً بر هم منطبق شوند.

مثال ۱: دو تابع زیر مساوی نیستند زیرا دامنه‌ی یکسان ندارند.

$$f(x) = x + 1 \quad \text{و} \quad g(x) = \frac{x^2 - 1}{x - 1}$$

$$D_f = R \quad \text{و} \quad D_g = R - \{1\} \quad \Rightarrow \quad D_f \neq D_g$$

مثال ۲: دو تابع زیر مساوی نیستند، زیرا با اینکه دامنه‌ی یکسان دارند، ولی مقادیر نابرابر دارند.

$$f(x) = x^2 \quad \text{و} \quad g(x) = |x|$$

$$D_f = D_g = R \quad \text{و} \quad f(x) \neq g(x)$$

**مثال ۳:** دو تابع  $f(x) = |x|$  و  $g(x) = \sqrt{x^2}$  بنا بر تعریف فوق مساوی هستند. زیرا

$$D_f = D_g = R \quad \text{اولاً: دامنه‌ی هر دو تابع مجموعه‌های مساوی هستند.}$$

ثانیاً: به ازای هر  $x$  عضو دامنه، مقادیر دو تابع برابر هستند.  $g(x) = \sqrt{x^2} = |x| = f(x)$

**تمرین برای حل:**

**۲۰:** در هر مورد، تساوی دو تابع داده شده را بررسی کنید.

الف)  $f(x) = x^2 - 4$  و  $g(x) = \frac{x^4 - 16}{x^2 + 4}$

ب)  $f(x) = x - 2$  و  $g(x) = \frac{x^2 - 4}{x + 2}$

ج)  $f(x) = \begin{cases} -1 & x < 0 \\ 1 & x > 0 \end{cases}$  و  $g(x) = \frac{|x|}{x}$

**۲۱:** دو تابع زیر مساویند. مقدار  $a$  را بیابید.

$$f(x) = \begin{cases} \frac{x^2 + 3x + 2}{x + 1} & x \neq -1 \\ 3a + 7 & x = -1 \end{cases} \quad \text{و} \quad g(x) = x + 2$$

\*\*\*



### درس دوم: تابع یک به یک و وارون یک تابع

در این درس ابتدا با مفهوم تابع یک به یک و سپس وارون تابع آشنا می شویم.

#### قسمت اول: تابع یک به یک

هر تابع که در زوج های مرتب متفاوت خود، مولفه های دوم تکراری نداشته باشد، تابع یک به یک می نامند.

برای مثال:

تابع  $f = \{(1,5), (2,7), (6,0), (-1,9)\}$  یک به یک است.

تابع  $g = \{(1,5), (2,7), (6,0), (-1,5)\}$  یک به یک نیست.

تابع  $h = \{(1,5), (2,7), (6,0), (1,5)\}$  یک به یک است.

برای تعیین یک به یک بودن تابع وقتی که معادله ی آن معلوم باشد، می توان از الگوی زیر استفاده کرد.

$$f(x_1) = f(x_2) \rightarrow x_1 = x_2$$

مثال: یک به یک بودن توابع زیر را بررسی کنید.

الف)  $f(x) = 3x - 5$

$g(x) = 4 - x^2$

حل: کافی است الگوی فوق را بکار ببریم.

الف)  $f(x_1) = f(x_2) \rightarrow 3x_1 - 5 = 3x_2 - 5 \rightarrow 3x_1 = 3x_2 \rightarrow x_1 = x_2$

لذا این تابع یک به یک است.

ب)  $g(x_1) = g(x_2) \rightarrow 4 - (x_1)^2 = 4 - (x_2)^2 \rightarrow (x_1)^2 = (x_2)^2 \nrightarrow x_1 = x_2$

لذا این تابع یک به یک نیست.

توجه کنید در برخی از تساوی ها از قبیل موارد زیر نمی توان نتیجه گرفت که  $a = b$

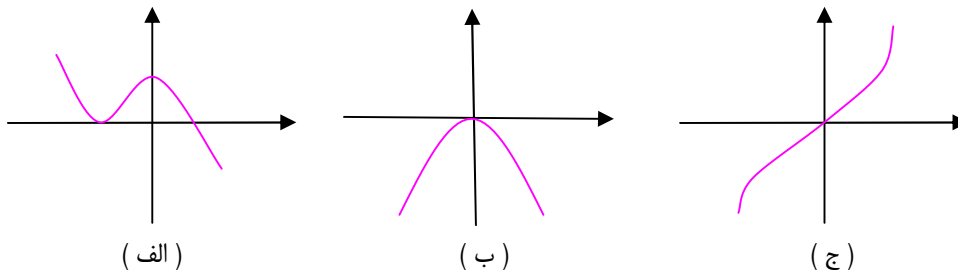
$$a^2 = b^2 \nrightarrow a = b \quad \text{و} \quad |a| = |b| \nrightarrow a = b \quad \text{و} \quad [a] = [b] \nrightarrow a = b$$

برای تشخیص یک به یک بودن تابع وقتی که نمودار آن معلوم باشد، می توان از تعریف تابع یک به یک

استفاده نمود. در واقع یک تابع یک به یک است هرگاه هر خط موازی محور طول ها ( $x$  ها) ، نمودار آن را

در بیش از یک نقطه قطع نکند. (آزمون خط افقی)

مثال: یک به یک بودن توابع زیر را بررسی کنید.

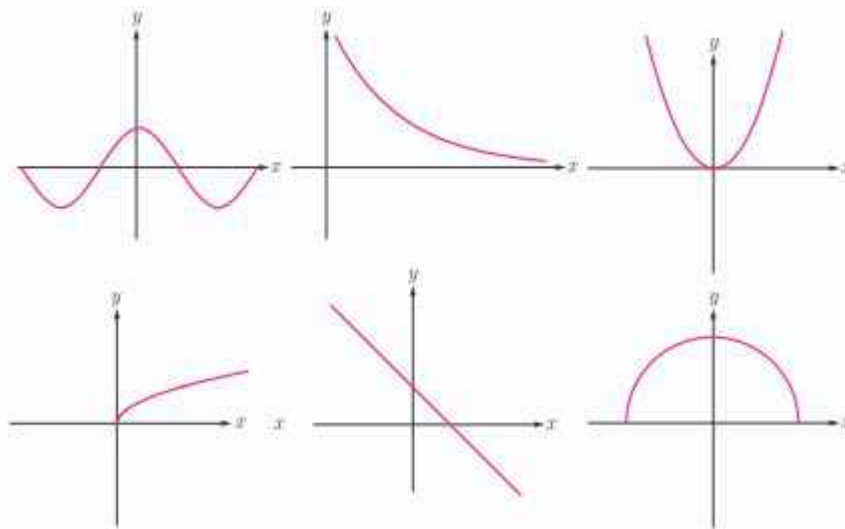


حل: بنابر آزمون خط افقی معلوم می شود که توابع (الف) و (ب) یک به یک نیستند، ولی تابع (ج) یک به یک است.

تمرین برای حل:

۱: اگر تابع  $f = \{(-2, 2), (m, 3), (-1, 3), (2m, a)\}$  یک به یک باشد، مقدار  $a$  را پیدا کنید.

۲: کدام یک از توابع زیر یک به یک هستند.



۳: ثابت کنید که هر تابع خطی غیر ثابت یک به یک است.

۴: نشان دهید که تابع  $f(x) = \frac{2x}{x+1}$  یک به یک است.

۵: با ذکر دلیل تعیین کنید که کدام یک از تابع های زیر یک به یک است.

الف)  $f(x) = 2[x] + 1$

ب)  $g(x) = 2x^3 - 5$

۶: آیا هر تابع درجه ی ۲ ( سهمی ) ، یک به یک است؟ چرا؟

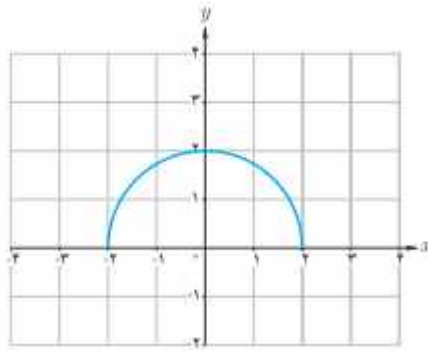
۷: نمودار سهمی  $f(x) = x^2 - 4x + 3$  را رسم کنید. به نظر شما با محدود کردن دامنه‌ی این تابع

روی کدام یک از بازه‌های زیر می‌توان یک تابع یک به یک ساخت؟

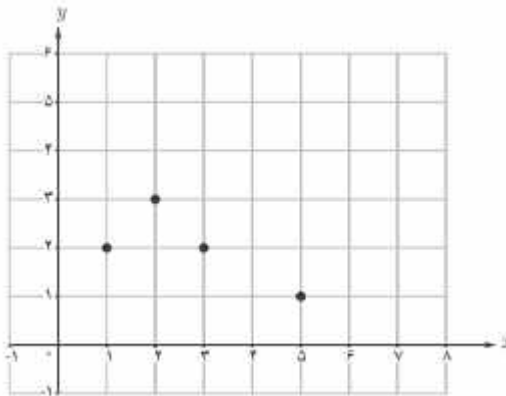
الف)  $[0, 2]$

ب)  $[1, 4]$

۸: با حذف بخشی از نمودار نیم دایره‌ی داده شده، نمودار یک تابع یک به یک را مشخص کنید.



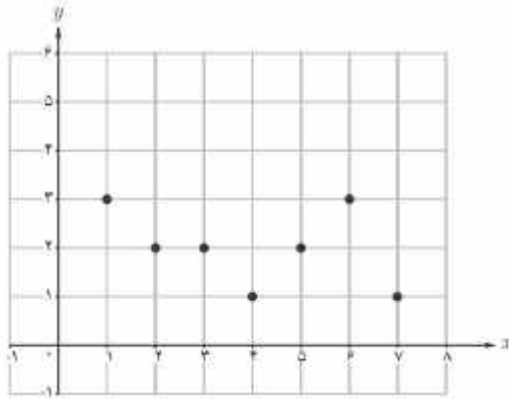
۱۰: نمودار زیر را در نظر بگیرید.



الف: چرا این نمودار، یک تابع یک به یک نیست؟

ب: با حذف تنها یک نقطه، نمودار را به یک تابع یک به یک تبدیل کنید. به نظر شما مسئله چند جواب دارد؟

۱۱: نمودار یک تابع به صورت زیر است.



الف: آیا این تابع یک به یک است؟ چرا؟

ب: اگر بخواهیم تعدادی از نقاط این نمودار را حذف کنیم و یک تابع یک به یک به دست آوریم، به نظر شما حداکثر چند نقطه می توان باقی بماند.

\*\*\*

### قسمت دوم: تابع وارون (معکوس تابع)

اگر مؤلفه های اول و دوم تمام زوج های مرتب تابعی را جابجا کنیم، دو حالت پیش می آید.

حالت اول) مجموعه ی جدید، تابع شود. در این صورت می گویند این تابع معکوس پذیر است و تابع جدید را تابع معکوس می نامند. مانند:

$$f = \{(1, 7), (3, 4), (9, 0)\}$$

$$g = \{(7, 1), (4, 3), (0, 9)\} \quad \text{تابع معکوس } f$$

حالت دوم) مجموعه ی جدید، تابع نشود. در این صورت می گویند این تابع معکوس پذیر نیست. مانند:

$$f = \{(1, 7), (3, 4), (9, 4)\}$$

$$g = \{(7, 1), (4, 3), (4, 9)\}$$

توجه داشته باشید که اگر تابع  $f$  معکوس پذیر باشد، معکوس آن را با  $f^{-1}$  نمایش می دهند.

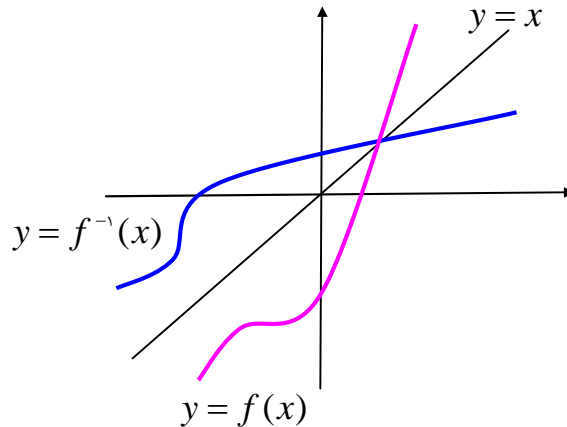
با توجه به مفهوم تابع معکوس به سهولت نتیجه می شود که:

الف) تابعی معکوس پذیر است، هرگاه یک به یک باشد.

ب) دامنه‌ی تابع  $f^{-1}$  برابر برد تابع  $f$  است. ( $D_{f^{-1}} = R_f$ )

ج) برد تابع  $f^{-1}$  برابر دامنه‌ی تابع  $f$  است. ( $R_{f^{-1}} = D_f$ )

د) نمودار هر تابع معکوس پذیر با نمودار معکوس آن نسبت به خط نیمساز ربع اول و سوم ( $y = x$ ) متقارن هستند.

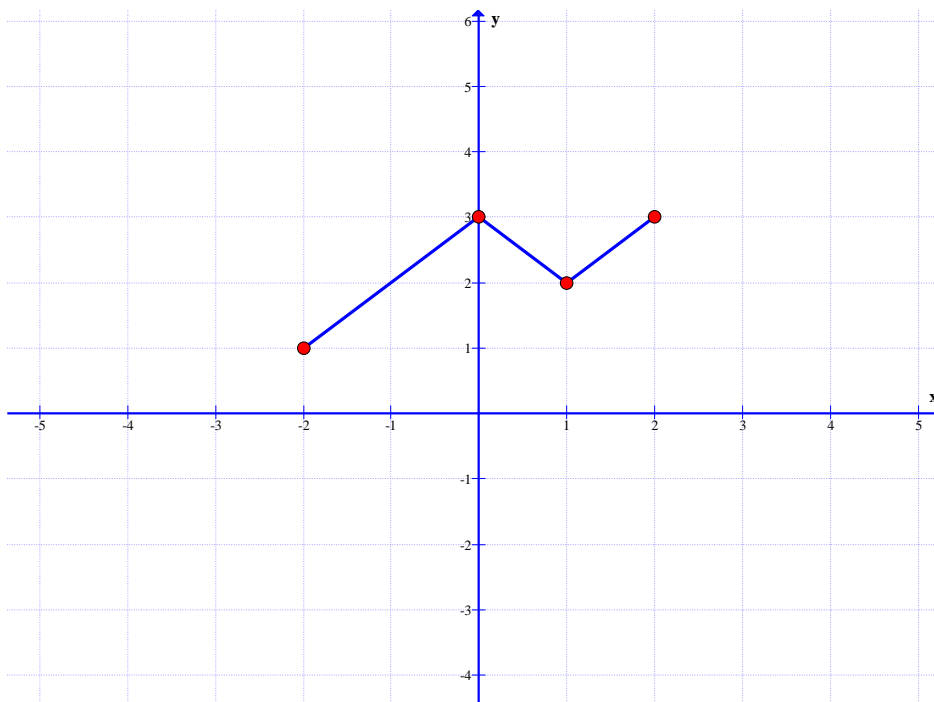


تمرین ۱۲: وارون تابع  $f = \{(2,3), (-2,1), (-1,2)\}$  را به دست آورید.

تمرین ۱۳: نمودار تابع زیر را در نظر بگیرید.

ب: آیا این تابع وارون پذیر است؟ چرا؟

الف: نمودار وارون تابع داده شده را رسم کنید.



تمرین برای حل:

تمرین ۱۴: کدام یک از توابع زیر معکوس پذیر است. معکوس آن را در صورت وجود بنویسید.

الف)  $f = \{(2,1), (0,3), (5,7), (-2,6)\}$

ب)  $g = \{(2,5), (0,1), (5,7), (-2,1)\}$

قسمت سوم: روش های تعیین ضابطه‌ی معکوس تابع

برای تعیین معکوس یک تابع معکوس پذیر که معادله‌ی آن معلوم باشد. دو روش متداول است.

**روش اول) تعویض متغیرها:** در این روش به ترتیب زیر عمل می کنیم.

مرحله ۱) متغیر  $x$  را به  $y$  و برعکس تبدیل می کنیم.

مرحله ۲) متغیر  $y$  را بر حسب  $x$  محاسبه می کنیم.

**مثال:** ثابت کنید که تابع  $f(x) = \sqrt{2x-3}$  معکوس پذیر است، سپس معکوس آن را بیابید.

حل:

$$f(x_1) = f(x_2) \rightarrow \sqrt{2x_1 - 3} = \sqrt{2x_2 - 3} \rightarrow 2x_1 - 3 = 2x_2 - 3$$

$$\rightarrow 2x_1 = 2x_2 \rightarrow x_1 = x_2$$

پس تابع یک به یک است و لذا معکوس پذیر است.

$$y = \sqrt{2x-3} \xrightarrow{x \leftrightarrow y} x = \sqrt{2y-3} \rightarrow x^2 = 2y - 3 \rightarrow y = \frac{x^2 + 3}{2}$$

$$\therefore f^{-1}(x) = \frac{x^2 + 3}{2}$$

**روش دوم) بازگردانی اعمال:** در این روش، ابتدا اعمال روی توابع را به ترتیب اولویت می نویسیم و

سپس اعمال بازگشت هر یک را مشخص می کنیم. تابع حاصل، تابع وارون است.

**مثال ۱:** ثابت کنید که تابع  $f(x) = 2x + 1$  معکوس پذیر است، سپس معکوس آن را بیابید.

حل:

$$f(x_1) = f(x_2) \rightarrow 2x_1 + 1 = 2x_2 + 1 \rightarrow 2x_1 = 2x_2 \rightarrow x_1 = x_2$$

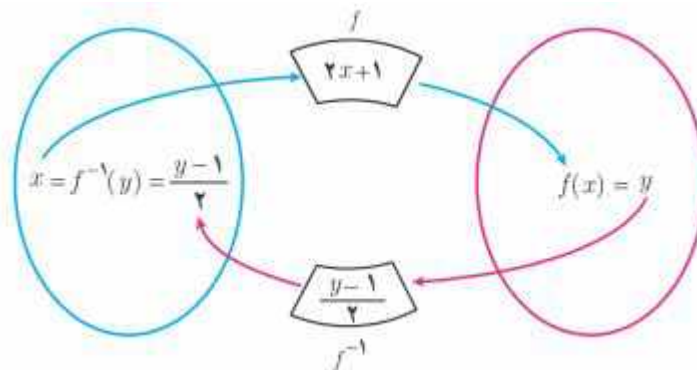
پس تابع یک به یک است و لذا معکوس پذیر است.

$$x \xrightarrow{\times 2} 2x \xrightarrow{+1} 2x+1 \rightarrow y$$

$$y \xleftarrow{-1} x-1 \xleftarrow{\div 2} \frac{x-1}{2} \xleftarrow{-1} x$$

$$f(x) = 2x+1 \rightarrow f^{-1}(x) = \frac{x-1}{2}$$

مراحل کار را می توانید در نمودار زیر مشاهده نمایید.



**مثال ۲:** ثابت کنید که تابع  $f(x) = \sqrt{2x-3}$  معکوس پذیر است، سپس معکوس آن را بیابید.

حل:

$$f(x_1) = f(x_2) \rightarrow \sqrt{2x_1-3} = \sqrt{2x_2-3} \rightarrow 2x_1-3 = 2x_2-3$$

$$\rightarrow 2x_1 = 2x_2 \rightarrow x_1 = x_2$$

پس تابع یک به یک است و لذا معکوس پذیر است.

$$x \xrightarrow{\times 2} 2x \xrightarrow{-3} 2x-3 \xrightarrow{root} \sqrt{2x-3} \rightarrow y$$

$$y \xleftarrow{sqr} x^2 \xleftarrow{+3} x^2+3 \xleftarrow{\div 2} \frac{x^2+3}{2} \xleftarrow{-1} x$$

$$f(x) = \sqrt{2x-3} \rightarrow f^{-1}(x) = \frac{x^2+3}{2}$$

**تمرین ۱۵:** وارون هر یک از توابع زیر را تعیین کنید.

الف)  $f(x) = x+5$

پ)  $f(x) = 2x+3$

ب)  $f(x) = 4x$

ت)  $f(x) = \frac{2}{3}x-4$

تمرین برای حل:

۱۶: ضابطه‌ی وارون هر یک از توابع با ضابطه‌های زیر را بیابید.

الف)  $f(x) = \frac{-7x + 3}{5}$

ج)  $f(x) = 5x - 2$

ب)  $f(x) = \frac{3}{5}x + 4$

د)  $f(x) = -2x + 3$

۱۷: معکوس هر یک از توابع زیر را در صورت وجود پیدا کنید.

الف)  $f(x) = 3x^2 + 1$

ج)  $f(x) = 2\sqrt[3]{x-1}$

ب)  $f(x) = 3x - 1$

د)  $f(x) = 3|x| + 5$

\*\*\*



**درس سوم: اعمال روی توابع**

در این درس اعمال رایج روی توابع را تعریف می کنیم و مسائلی را پیرامون آنها حل می کنیم.

**قسمت اول: اعمال روی توابع**

اگر  $f$  و  $g$  دو تابع باشند، در این صورت اعمال زیر را می توان روی دامنه‌ی مشترک آنها تعریف کرد.

۱: جمع دو تابع

$$(f + g)(x) = f(x) + g(x)$$

$$D_{f+g} = D_f \cap D_g$$

۲: تفریق دو تابع

$$(f - g)(x) = f(x) - g(x)$$

$$D_{f-g} = D_f \cap D_g$$

۳: ضرب دو تابع

$$(f \times g)(x) = f(x) \times g(x)$$

$$D_{f \times g} = D_f \cap D_g$$

۴: تقسیم دو تابع

$$\left(\frac{f}{g}\right)(x) = \frac{f(x)}{g(x)}$$

$$D_{\frac{f}{g}} = D_f \cap D_g - \{x \in D_g \mid g(x) = 0\}$$

**مثال:** اگر  $f(x) = x^2 + 5x + 6$  و  $g(x) = x^2 + 3x$ ، تساوی های زیر را کامل کنید.

۱)  $(f + g)(x)$

۵)  $(f^2)(x)$

۲)  $(f - g)(x)$

۶)  $\left(\frac{f}{g}\right)(x)$

۳)  $(g - f)(x)$

۷)  $D_{f+g}$

۴)  $(f \times g)(x)$

۸)  $D_{\frac{f}{g}}$

حل :

$$۱) (f + g)(x) = (x^2 + 5x + 6) + (x^2 + 3x)$$

$$= x^2 + 5x + 6 + x^2 + 3x = 2x^2 + 8x + 6$$

$$۲) (f - g)(x) = (x^2 + 5x + 6) - (x^2 + 3x)$$

$$= x^2 + 5x + 6 - x^2 - 3x = 2x + 6$$

$$۳) (g - f)(x) = (x^2 + 3x) - (x^2 + 5x + 6)$$

$$= x^2 + 3x - x^2 - 5x - 6 = -2x - 6$$

$$۴) (f \times g)(x) = (x^2 + 5x + 6) \times (x^2 + 3x)$$

$$= x^4 + 3x^3 + 5x^3 + 15x^2 + 6x^2 + 18x = x^4 + 8x^3 + 21x^2 + 18x$$

$$۵) (g \times f)(x) = (x^2 + 5x + 6) \times (x^2 + 5x + 6)$$

$$= x^4 + 5x^3 + 6x^2 + 5x^3 + 25x^2 + 30x + 6x^2 + 30x + 36$$

$$= x^4 + 10x^3 + 37x^2 + 60x + 36$$

$$۶) \left(\frac{f}{g}\right)(x) = \frac{f(x)}{g(x)} = \frac{x^2 + 5x + 6}{x^2 + 3x} = \frac{(x+2)(x+3)}{x(x+3)} = \frac{x+2}{x}$$

$$۷) D_{f+g} = D_f \cap D_g = R \cap R = R$$

توابع  $f$  و  $g$  هر دو چند جمله ای می باشند. پس دامنه ی هر دو مجموعه ی اعداد حقیقی است.

$$۸) \underline{D_f} = D_f \cap D_g - \{x \in D_g \mid g(x) = 0\} = R \cap R - \{0, -3\} = R - \{0, -3\}$$

توجه داشته باشید که ریشه های مخرج  $x = 0$  و  $x = -3$  تابع  $g$  می باشند.

$$x^2 + 3x = 0 \rightarrow x(x+3) = 0 \rightarrow x = 0, x = -3$$

مثال: اگر  $f = \{(1,7), (3,-4), (2,2)\}$  و  $g = \{(1,6), (3,5), (4,1), (2,0)\}$ ، هر یک از موارد زیر را تعیین کنید.

- |              |                    |
|--------------|--------------------|
| ۱) $D_f$     | ۵) $f - g$         |
| ۲) $D_g$     | ۶) $f \times g$    |
| ۳) $D_{f+g}$ | ۷) $\frac{D_f}{g}$ |
| ۴) $f + g$   | ۸) $\frac{f}{g}$   |

حل:

۱)  $D_f = \{1, 3, 2\}$

۲)  $D_g = \{1, 3, 4, 2\}$

۳)  $D_{f+g} = D_f + D_g = \{1, 3, 2\} \cap \{1, 3, 4, 2\} = \{1, 2, 3\}$

اکنون برای تعیین توابع خواسته شده، از روش تشکیل جدول استفاده می کنیم.

|                            |    |    |   |
|----------------------------|----|----|---|
| $x$                        | ۱  | ۳  | ۲ |
| $f(x)$                     | ۷  | -۴ | ۲ |
| $g(x)$                     | ۶  | ۵  | ۰ |
| $(f + g)(x) = f(x) + g(x)$ | ۱۳ | ۱  | ۲ |

۴)  $f + g = \{(1,13), (3,1), (2,2)\}$

|                            |   |    |   |
|----------------------------|---|----|---|
| $x$                        | ۱ | ۳  | ۲ |
| $f(x)$                     | ۷ | -۴ | ۲ |
| $g(x)$                     | ۶ | ۵  | ۰ |
| $(f - g)(x) = f(x) - g(x)$ | ۱ | -۹ | ۲ |

۵)  $f - g = \{(1,1), (3,-9), (2,2)\}$

|                                      |    |     |   |
|--------------------------------------|----|-----|---|
| $x$                                  | ۱  | ۳   | ۲ |
| $f(x)$                               | ۷  | -۴  | ۲ |
| $g(x)$                               | ۶  | ۵   | ۰ |
| $(f \times g)(x) = f(x) \times g(x)$ | ۷۲ | -۲۰ | ۰ |

۶)  $f \times g = \{(1, 7), (3, -2), (2, \cdot)\}$

۷)  $D_{\frac{f}{g}} = D_f \cap D_g - \{x \in D_g \mid g(x) = \cdot\} = \{1, 3, 2\} - \{2\} = \{1, 3\}$

|  |               |                |
|--|---------------|----------------|
| $x$                                    | ۱             | ۳              |
| $f(x)$                                 | ۷             | -۴             |
| $g(x)$                                 | ۶             | ۵              |
| $(\frac{f}{g})(x) = \frac{f(x)}{g(x)}$ | $\frac{7}{6}$ | $-\frac{4}{5}$ |

۸)  $\frac{f}{g} = \{(1, \frac{7}{6}), (3, -\frac{4}{5})\}$

**تمرین برای حل :**

۱: اگر  $f = \{(1, 1), (2, 4), (3, 6), (0, 6)\}$  و  $g = \{(1, -1), (2, 5), (-1, 2), (3, 0)\}$

در هر مورد دامنه‌ی تابع داده شده را تعیین و سپس آن را به صورت زوج مرتب بنویسید.

۱)  $f + g$

۳)  $f \cdot g$

۵)  $f^2$

۲)  $f - g$

۴)  $\frac{f}{g}$

۶)  $\sqrt{g}$

۲: اگر  $f(x) = x^2 - x$  و  $g(x) = x^2 + 2x - 3$  باشد، عبارت های زیر را محاسبه کنید.

الف)  $(f + g)(x)$

ب)  $(\frac{f}{g})(x)$

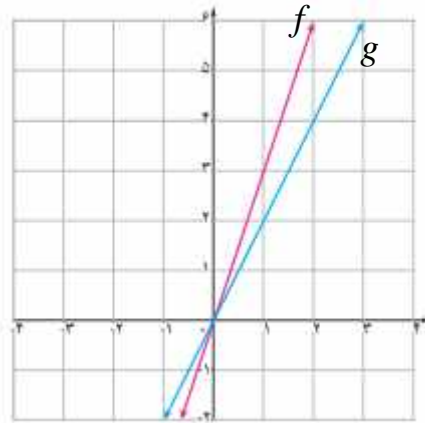
ج)  $(2f - 3g)(2)$

۳: اگر  $u(x) = \sqrt{x} + 1$  و  $v(x) = x - 1$  ، دامنه و ضابطه‌ی تابع  $f(x) = (\frac{u}{v})(x)$  را تعیین کنید.

۴: در شکل مقابل، نمودارهای دو تابع  $f$  و  $g$  رسم شده اند.

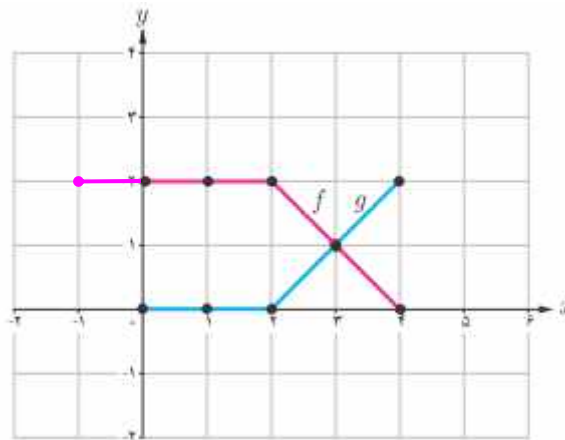
الف: ضابطه ی این دو تابع را بنویسید.

ب: ضابطه ی دو تابع  $f + g$  و  $f - g$  را به دست آورید.



۵: ثابت کنید که حاصل جمع و تفریق دو تابع خطی، خطی است.

۶: در شکل مقابل، نمودار دو تابع  $f$  و  $g$  رسم شده است. نمودار حاصل جمع این دو تابع را به دست آورید.



۷: اگر  $f = \{(1,2), (3,5), (5,7), (7,9), (4,4)\}$  باشد، تابع  $f^{-1} + 2f$  را با عضوهایش بنویسید.

\*\*\*

### قسمت دوم: رسم نمودار توابع به کمک تبدیلات

گاهی لازم است نمودار یک تابع را به کمک نمودار تابع دیگری رسم کنیم. برای این کار از ویژگی های تبدیلات از قبیل انتقال یا بازتاب و .. استفاده می شود. اگر نمودار تابع  $y = f(x)$  که تابع اصلی نیز نامیده می شود، معلوم باشد در این صورت نمودار توابع جدید را به کمک نمودار تابع اصلی می توان رسم کرد. برای انجام این کار می توان از جدول زیر استفاده کرد. در این جدول  $a$  یک عدد مثبت فرض شده است.

| نتیجه  | نحوه تبدیل                            | تابع جدید      |
|--|---------------------------------------|----------------|
| نمودار به اندازه $a$ واحد بالا می رود.   | به عرض نقاط $a$ واحد اضافه می شود.    | $y = f(x) + a$ |
| نمودار به اندازه $a$ واحد پایین می رود.  | از عرض نقاط $a$ واحد کم می شود.       | $y = f(x) - a$ |
| اگر $0 < a < 1$<br>نمودار فشرده می شود.<br>اگر $a > 1$<br>نمودار کشیده می شود. | عرض نقاط در $a$ ضرب می شود.           | $y = af(x)$    |
| نمودار به اندازه $a$ واحد به عقب می رود.                                       | از طول نقاط $a$ واحد کم می شود.       | $y = f(x + a)$ |
| نمودار به اندازه $a$ واحد به جلو می رود.                                       | به طول نقاط $a$ واحد اضافه می شود.    | $y = f(x - a)$ |
| اگر $0 < a < 1$<br>نمودار منبسط می شود.<br>اگر $a > 1$<br>نمودار منقبض می شود. | طول نقاط در $\frac{1}{a}$ ضرب می شود. | $y = f(ax)$    |

نتیجه :

۱ : نمودار تابع  $y = -f(x)$  قرینه‌ی نمودار تابع  $y = f(x)$  نسبت به محور طول‌ها است.

۲ : نمودار تابع  $y = f(-x)$  قرینه‌ی نمودار تابع  $y = f(x)$  نسبت به محور عرض‌ها است.

\*\*\*

**تمرین ۸:** در شکل روبرو، نمودار تابع  $f$  داده شده است. در هر مورد نمودار تابع با ضابطه‌ی تعیین شده را

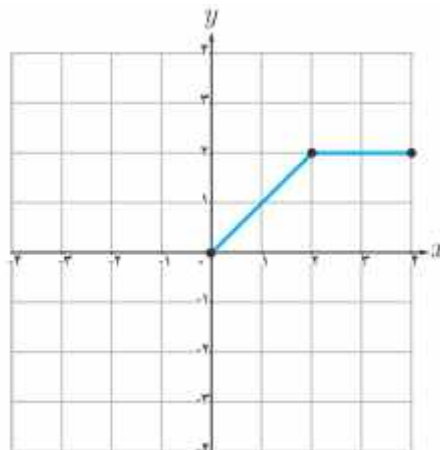
رسم کنید.

الف)  $y = f(x) + 2$

ج)  $y = f(x - 1)$

ب)  $y = -2f(x)$

د)  $y = f(3x)$



**تمرین برای حل :**

۹ : با استفاده از نمودار تابع با ضابطه‌ی  $f(x) = |x|$ ، نمودار هر یک از توابع زیر را رسم کنید.

الف)  $y = -|x|$

ب)  $y = -|x - 2|$

ج)  $y = 2|x + 1|$

۱۰ : با استفاده از نمودار تابع با ضابطه‌ی  $f(x) = x^2$ ، نمودار هر یک از توابع زیر را رسم کنید.

الف)  $y = (x - 1)^2$

ب)  $y = x^2 + 3$

۱۱ : با استفاده از نمودار تابع با ضابطه‌ی  $f(x) = \sqrt{x}$ ، نمودار هر یک از توابع زیر را رسم کنید.

الف)  $y = 3\sqrt{x}$

ب)  $y = -\sqrt{x - 2}$

ج)  $y = 1 - \sqrt{x - 3}$

\*\*\*





# ریاضی ۲

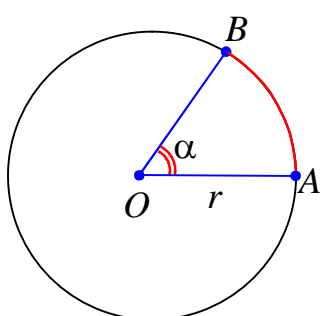
پایه می یازدهم « رشته می علوم تجربی »

فصل ۴ : مثلثات

## درس اول: واحدهای اندازه گیری زاویه

در سالهای گذشته با مفهوم زاویه آشنا شده اید. به یاد می آورید که برای اندازه گیری زاویه از درجه استفاده می شود. در واقع درجه یکی واحدهای اندازه گیری زاویه است. استفاده از درجه در برخی موارد مشکلاتی را به همراه دارد، لذا از واحدهای دیگر نیز استفاده می شود. در اینجا در پی آن هستیم که رادیان را به عنوان واحد دیگر اندازه گیری زاویه را معرفی نماییم. استفاده از رادیان در برخی مسائل، ضروری است.

### قسمت اول: آشنایی با رادیان



یک رادیان برابر اندازهی زاویهی مرکزی از یک دایره است که طول

کمان روبرو به آن زاویه، برابر شعاع دایره باشد.

$$\overset{\frown}{AB} = r \leftrightarrow \alpha = 1 \text{ rad}$$

**تمرین ۱:** در یک دایره به شعاع ۵ سانتی متر، طول کمانی برابر ۱۰ سانتی متر می باشند. اندازهی زاویهی

مرکزی روبرو به این کمان را برحسب رادیان به دست آورید.

**تمرین ۲:** در یک دایره به شعاع ۲ سانتی متر، طول کمانی برابر ۱۲ سانتی متر می باشند. اندازهی زاویهی

مرکزی روبرو به این کمان را برحسب رادیان به دست آورید.

نتیجه ۱: اندازهی یک زاویه بر حسب رادیان برابر خارج قسمت اندازهی طول کمان روبرو به آن زاویه بر اندازه

ی شعاع آن است.

$$\theta = \frac{l}{r}$$

**تمرین ۳:** نشان دهید که محیط یک دایره به شعاع  $r$  برابر  $2\pi$  رادیان است.

حل:

$$\frac{l}{r} = \frac{2\pi r}{r} = 2\pi \text{ rad}$$

**تمرین ۴:** به کمک محیط دایره و با تشکیل تناسب، اندازه‌ی زاویه مرکزی ۹۰ درجه ( ربع دایره) چند رادیان

است؟

حل :

$$\frac{۳۶۰}{۲\pi} = \frac{۹۰}{\alpha} \rightarrow \alpha = \frac{۲\pi \times ۹۰}{۳۶۰} = \frac{\pi}{۲} \text{ rad}$$

**تمرین ۵:** به کمک محیط دایره و با تشکیل تناسب، اندازه‌ی زاویه مرکزی ۱۸۰ درجه ( نیم دایره) چند

رادیان است؟ چرا؟

**تمرین ۶:** به کمک محیط دایره و با تشکیل تناسب، اندازه‌ی زاویه‌ی ۳۰ درجه را بر حسب رادیان به دست

آورید.

**تمرین ۷:** به کمک محیط دایره و با تشکیل تناسب، اندازه‌ی زاویه‌ی ۲۷۰ درجه را بر حسب رادیان به دست

آورید.

نتیجه ۲: یک دایره (دوران کامل) برابر ۳۶۰ درجه و ۲π رادیان است.

**تمرین برای حل :**

**۸:** اندازه‌ی زاویه های ۱۲۰ درجه و ۴۵ درجه را بر حسب رادیان به دست آورید.

**۹:** اندازه‌ی زاویه های  $\frac{۲\pi}{۳}$  رادیان و  $\frac{۵\pi}{۴}$  رادیان را بر حسب درجه به دست آورید.

**۱۰:** اندازه‌ی یک زاویه‌ی مرکزی در یک دایره ۱/۵ رادیان و طول کمان روبرو به آن زاویه ۹ سانتی متر

است. اندازه‌ی شعاع دایره را بدست آورید.

**۱۱:** حساب کنید که چه مدت طول می کشد تا عقربه‌ی دقیقه شمار ساعت به اندازه‌ی  $۲/۵\pi$  رادیان

دوران کند؟

\*\*\*

قسمت دوم: رابطه ی بین رادیان و درجه

نظر به اینکه یک دایره کمائی برابر ۳۶۰ درجه و  $2\pi$  می باشد. با تشکیل تناسب می توان، رابطه ی زیر بین اندازه ی زاویه بر حسب درجه و اندازه ی زاویه بر حسب رادیان بیان کرد.

$$\frac{D}{360} = \frac{R}{2\pi}$$

نتیجه: برای تبدیل واحد های اندازه ی زاویه از رابطه ی زیر استفاده می شود.

$$\frac{D}{180} = \frac{R}{\pi}$$

تمرین ۱۰: اندازه ی زاویه ای ۳۰ درجه است، اندازه ی این زاویه را بر حسب رادیان به دست آورید.

تمرین ۱۱: اندازه ی زاویه ای  $-90$  درجه است، اندازه ی این زاویه را بر حسب رادیان به دست آورید.

تمرین ۱۲: اندازه ی زاویه ای  $\frac{2\pi}{3}$  رادیان است، اندازه ی این زاویه را بر حسب درجه به دست آورید.

نتیجه: زاویه ای که اندازه ی آن یک درجه باشد، اندازه ی آن بر حسب رادیان برابر  $\frac{\pi}{180}$  است. بنابراین:

$$\frac{\pi}{180} \text{ رادیان} = \text{یک درجه}$$

تمرین ۱۳: طول برف پاک کن عقب اتومبیلی ۲۴ سانتی متر است. فرض کنید برف پاکن، کمائی به

اندازه ی ۱۲۰ درجه طی می کند.

الف: اندازه ی کمان را بر حسب رادیان به دست آورید.

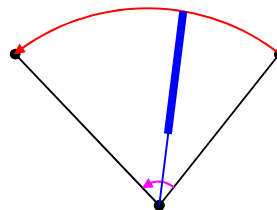
ب: طول کمان طی شده توسط نوک برف پاکن چند سانتی متر است؟ ( $\pi = 3/14$ )

حل:

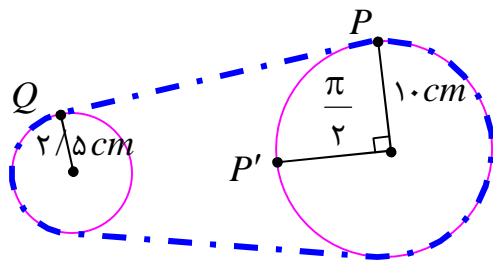
$$\text{الف) } \frac{D}{180} = \frac{R}{\pi} \rightarrow \frac{120}{180} = \frac{R}{\pi} \rightarrow R = \frac{2\pi}{3}$$

$$\text{ب) } \theta = \frac{L}{r}$$

$$\frac{2\pi}{3} = \frac{L}{24} \rightarrow L = \frac{2\pi \times 24}{3} = 16\pi \approx 50/24 \text{ cm}$$



**تمرین ۱۴:** در شکل مقابل، یک تسمه دو قرقره به



شعاع های ۱۰ و ۲/۵ سانتی متر را به هم وصل کرده است.

بررسی کنید که وقتی قرقره ی بزرگتر  $\frac{\pi}{2}$  رادیان می

چرخد، ( یعنی نقطه ی  $P$  در موقعیت  $P'$  قرار می گیرد.)

قرقره ی کوچکتر چند رادیان می چرخد؟ ( $\pi \text{ rad} = 3/14 \text{ rad}$ )

حل: ابتدا مسافتی را که نقطه ی  $P$  بر روی محیط قرقره ی بزرگتر طی می کند، به دست می آوریم.

$$\theta = \frac{\widehat{PP'}}{R} \rightarrow \widehat{PP'} = R\theta = 10 \times \frac{\pi}{2} = 5\pi = 15.7 \text{ cm}$$

چون دو قرقره با یک تسمه به هم متصل هستند، پس قرقره ی کوچکتر نیز  $5\pi$  سانتی متر حرکت می کند.

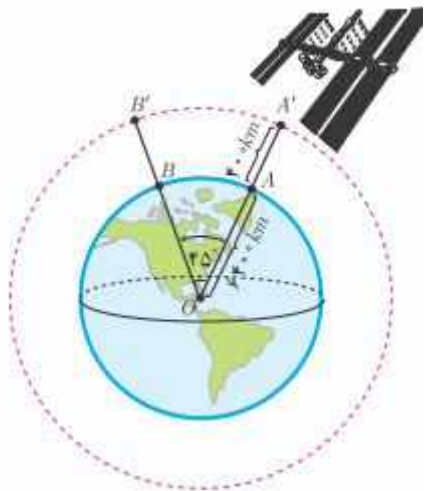
برای این قرقره داریم:

$$\alpha = \frac{L}{r} = \frac{5\pi}{2/5} = 2\pi \text{ rad}$$

بنابراین وقتی قرقره ی بزرگتر ربع دور می چرخد، قرقره ی کوچک تر یک دور کامل می چرخد و نقطه ی  $Q$

به مکان خود باز می گردد.

**تمرین ۱۵:** ایستگاه فضایی بین الملی را مطابق شکل



مقابل در نظر بگیرید که در فاصله ی تقریبی ۴۰۰ کیلومتری

بالای سطح کره ی زمین قرار دارد. این ایستگاه توسط ایستگاه

زمینی از نقطه ی  $A$  تا نقطه ی  $B$  که با مرکز زمین زاویه ی

۴۵ درجه می سازد، رصد می شود. تعیین کنید که این ایستگاه

چه مسافتی را در مدار خود از  $A'$  تا  $B'$  پوشش می دهد؟ شعاع

تقریبی زمین را ۶۴۰۰ کیلومتر فرض کنید.

حل:

$$\frac{D}{180} = \frac{R}{\pi} \rightarrow \frac{45}{180} = \frac{R}{\pi} \rightarrow R = \frac{\pi}{4} \rightarrow \angle \alpha = \frac{\pi}{4} \text{ rad}$$

$$\alpha = \frac{L}{r} \rightarrow \frac{\pi}{4} = \frac{\widehat{A'B'}}{6400 + 400} \rightarrow \frac{\pi}{4} = \frac{\widehat{A'B'}}{6800} \rightarrow \widehat{A'B'} = \frac{6800 \cdot \pi}{4} \approx 5338 \text{ km}$$

تمرین برای حل :

۱۶: اندازه‌ی زاویه‌ی ای که عقربه‌ی ساعت شمار از ساعت ۱ بعد از ظهر تا ۳ بعد از ظهر حرکت می کند را برحسب درجه و رادیان بیان کنید.

۱۷: اندازه‌ی زاویه‌ی ای  $\frac{\pi}{20}$  رادیان است. اندازه‌ی این زاویه را برحسب درجه به دست آورید.

۱۸: یک دایره‌ی مثلثاتی رسم کنید و روی آن زاویه‌های منطبق بر محورهای مختصات را برحسب رادیان مشخص کنید.

۱۹: جدول زیر را کامل کنید.

|    |                  |                  |     |                     |
|----|------------------|------------------|-----|---------------------|
| ۱۵ |                  |                  | ۱۳۵ | زاویه برحسب درجه    |
|    | $\frac{2\pi}{3}$ | $-\frac{\pi}{4}$ |     | زاویه بر حسب رادیان |

۲۰: درستی یا نادرستی جملات زیر را بنویسید.

الف) در دایره‌ی ای به شعاع ۱ سانتی متر، طول کمان روبرو به زاویه‌ی  $\pi$  رادیان، تقریباً برابر  $\frac{3}{14}$  سانتی متر است.

ب) انتهای کمان زاویه‌ی  $\frac{6\pi}{5}$  رادیان، در ربع دوم دایره‌ی مثلثاتی قرار دارد.

ج) اگر زاویه‌ی بین دو ساق مثلث متساوی الساقینی برابر ۱ رادیان باشد، آنگاه اندازه‌ی قاعده‌ی این مثلث، کوچکتر از اندازه‌ی هر یک از ساق‌های آن است.

د) زاویه‌های  $\frac{2\pi}{3}$  رادیان و  $\frac{\pi}{9}$  رادیان و  $\frac{7\pi}{36}$  رادیان، زاویه‌های یک مثلث را تشکیل می دهند.

\*\*\*

جداول مقادیر نسبت های مثلثاتی تعدادی از زاویه ها

الف) زاویه های مهم

| زاویه | برحسب رادیان | ۰                    | $\frac{\pi}{6}$      | $\frac{\pi}{4}$      | $\frac{\pi}{3}$ | $\frac{\pi}{2}$ |
|-------|--------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------|-----------------|
|       | برحسب درجه   | ۰                    | ۳۰                   | ۴۵                   | ۶۰              | ۹۰              |
| sin   | ۰            | $\frac{1}{2}$        | $\frac{\sqrt{2}}{2}$ | $\frac{\sqrt{3}}{2}$ | ۱               |                 |
| cos   | ۱            | $\frac{\sqrt{3}}{2}$ | $\frac{\sqrt{2}}{2}$ | $\frac{1}{2}$        | ۰               |                 |
| tan   | ۰            | $\frac{1}{\sqrt{3}}$ | ۱                    | $\sqrt{3}$           | نامعین          |                 |
| cot   | نامعین       | $\sqrt{3}$           | ۱                    | $\frac{\sqrt{3}}{3}$ | ۰               |                 |

تمرین ۲۱: مقدار عبارت زیر را تعیین کنید.

$$A = 2 \sin \frac{\pi}{6} + \tan \frac{\pi}{4} - \sqrt{3} \cos \frac{\pi}{6} + 4 \sin \frac{\pi}{2}$$

ب) زاویه های مرزی

| زاویه | برحسب رادیان | ۰      | $\frac{\pi}{2}$ | $\pi$  | $\frac{3\pi}{2}$ | $2\pi$ |
|-------|--------------|--------|-----------------|--------|------------------|--------|
|       | برحسب درجه   | ۰      | ۹۰              | ۱۸۰    | ۲۷۰              | ۳۶۰    |
| sin   | ۰            | ۱      | ۰               | -۱     | ۰                |        |
| cos   | ۱            | ۰      | -۱              | ۰      | ۱                |        |
| tan   | ۰            | نامعین | ۰               | نامعین | ۰                |        |
| cot   | نامعین       | ۰      | نامعین          | ۰      | نامعین           |        |

تمرین ۲۲: مقدار عبارت زیر را تعیین کنید.

$$B = \sin \frac{\pi}{2} \cos \pi - 2 \tan \frac{\pi}{4} - \sqrt{3} \tan 2\pi + 4 \sin \frac{3\pi}{2}$$

\*\*\*

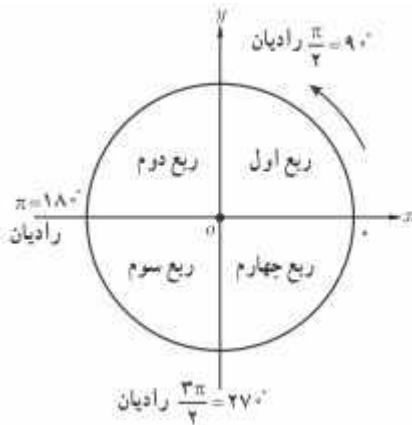
تهیه کننده: جابر عامری دبیر ریاضی شهرستان های اهواز و باوی

سایت: [www.mathtower.ir](http://www.mathtower.ir)

**درس دوم: روابط تکمیلی بین نسبت های مثلثاتی**

در این درس علاوه بر یادآوری تعدادی از روابط مثلثاتی سال قبل، روابط جدیدی نیز بین نسبت های مثلثاتی معرفی می نماییم.

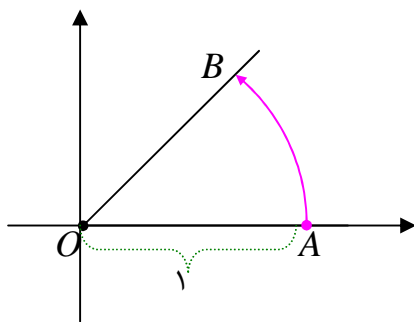
**قسمت اول: یادآوری تعدادی از روابط مثلثاتی**



می دانید، دایره ای است که مرکز آن مبدأ مختصات و اندازه ی شعاع آن یک واحد طول باشد، را دایره ی مثلثاتی یا دایره ی استاندارد می نامند.

در هر دایره ی مثلثاتی برای تشکیل زاویه، نقطه ی  $A$  را مبدأ حرکت در نظر می گیرند. حال اگر نقطه ی  $A$  را حول مرکز دایره دوران دهیم تا نقطه ی  $B$  بدست آید، در این صورت زاویه ی  $AOB$  حاصل می شود.

تذکر :



۱ : اگر دوران در خلاف جهت عقربه های ساعت باشد، زاویه را مثبت و اگر در جهت حرکت عقربه های ساعت باشد، زاویه را منفی در نظر می گیرند.

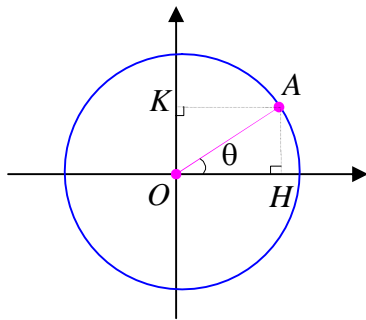
۲ : اگر نقط ی  $A$  دوران داده نشود، زاویه صفر می باشد. اگر

نقطه ی  $A$  را به اندازه ی یک دور کامل دوران دهیم به محل اولیه ی خود بر می گردد. یک دوران کامل زاویه ای برابر  $360$  درجه یا  $2\pi$  را تشکیل می دهد.

**تمرین ۱:** زاویه ی  $\frac{3\pi}{4}$  رادیان ، در کدام ربع از دایره ی مثلثاتی قرار می گیرد؟ این زاویه را روی دایره ی

مثلثاتی مشخص کنید.





بر این اساس می توان نسبت های مثلثاتی را روی دایره ی مثلثاتی نیز تعریف کرد.

اگر نقطه ی  $A(x_0, y_0)$  روی دایره ی استاندارد قرار گیرد. در این حالت می توان نوشت:

$$OA = r = 1$$

$$\sin \theta = \frac{y_0}{r} = \frac{y_0}{1} = y_0 \quad \text{و} \quad \cos \theta = \frac{x_0}{r} = \frac{x_0}{1} = x_0$$

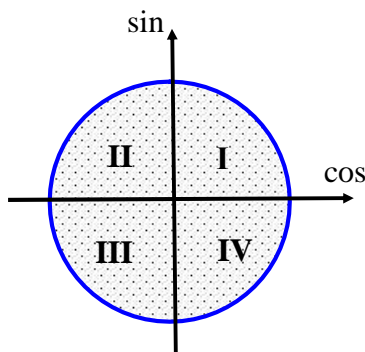
$$\tan \theta = \frac{y_0}{x_0} = \frac{\sin \theta}{\cos \theta} \quad \text{و} \quad \cot \theta = \frac{x_0}{y_0} = \frac{\cos \theta}{\sin \theta}$$

همچنین با توجه به رابطه ی فیثاغورس در مثلث قائم الزاویه ی  $OAH$  می توان نوشت:

$$x_0^2 + y_0^2 = r^2 \rightarrow \cos^2 \theta + \sin^2 \theta = 1$$

به همین جهت است که محور طول ها را محور کسینوس ها و محور

عرض ها را محور سینوس ها می نامند.



گاهی لازم می شود، که علامت نسبت های مثلثاتی را در نواحی

متخلف را داشته باشیم. با توجه به تعریف قبل می توان جدول زیر را

برای تشخیص علامت نسبت های مثلثاتی در دایره ی مثلثاتی تنظیم

نمود.<sup>1</sup>

|     | ربع اول | ربع دوم | ربع سوم | ربع چهارم |
|-----|---------|---------|---------|-----------|
| sin | +       | +       | -       | -         |
| cos | +       | -       | -       | +         |
| tan | +       | -       | +       | -         |
| cot | +       | -       | +       | -         |

<sup>1</sup>. برخی برای حفظ کردن علامت های جدول، به ترتیب نواحی و فقط برای خانه های مثبت نسبت های سینوس، کسینوس و تانژانت، از حروف کلمه ی **هستک** استفاده می کنند.

با توجه به تعریف نسبت های مثلثاتی در دایره ی مثلثاتی ، می توان اتحاد های زیر را بیان نمود.

|  |  |  |
|--|--|--|
| ۱. $\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$ | ۳. $\cot = \frac{\cos}{\sin \alpha}$             | ۵. $1 + \cot^2 \alpha = \frac{1}{\sin^2 \alpha}$ |
| ۲. $\tan = \frac{\sin}{\cos \alpha}$   | ۴. $1 + \tan^2 \alpha = \frac{1}{\cos^2 \alpha}$ | ۶. $\tan \alpha \cdot \cot \alpha =$             |

نتیجه : اگر  $\alpha$  یک زاویه ی دلخواه باشد. در این صورت:

الف)  $\sin^2 \alpha = 1 - \cos^2 \alpha$

ب)  $\cos^2 \alpha = 1 - \sin^2 \alpha$

ج)  $\tan \alpha = \frac{1}{\cot \alpha}$

د)  $\cot \alpha = \frac{1}{\tan \alpha}$

همچنین با توجه به تعاریف فوق واضح است که سینوس و کسینوس هر زاویه ، عددی است که در فاصله ی  $[-1, 1]$  قرار می گیرد.

$$-1 \leq \cos \theta \leq 1 \quad \text{و} \quad -1 \leq \sin \theta \leq 1$$

**تمرین ۲:** اگر یک ضلع زاویه  $\theta$  در ربع سوم دایره ی مثلثاتی باشد و  $\sin \theta = -\frac{1}{3}$  باشد. سایر نسبت های مثلثاتی این زاویه را تعیین کنید.

**تمرین ۳:** اگر  $\cot \alpha = -$  و  $\cos \alpha >$  ، سایر نسبت های مثلثاتی زاویه  $\alpha$  را تعیین کنید.

**تمرین برای حل :**

**۴:** اگر  $\cos x = -\frac{4}{5}$  و  $\sin x >$  نسبت های مثلثاتی دیگر زاویه ی  $x$  را بیابید.

**۵:** حاصل عبارت های زیر را به دست آورید.

الف)  $\cot \frac{\pi}{6} - \tan \frac{\pi}{3} \times \sin \frac{\pi}{4} =$

ب)  $\frac{\tan^2(\frac{\pi}{6}) + \sin^2(\frac{\pi}{4})}{\cot^2(\frac{\pi}{4}) - \cos^2(\frac{\pi}{3})} + \cos^2(75) + \sin^2(75) =$

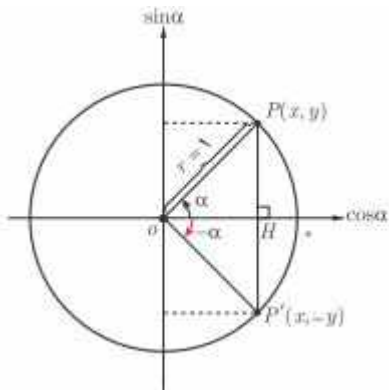
\*\*\*

قسمت دوم: نسبت های مثلثاتی زاویه های قرینه

اگر  $\alpha$  یک زاویه روی دایرهی مثلثاتی باشد،  $-\alpha$  قرینهی آن است. با توجه به شکل مقابل بین نسبت های

مثلثاتی زاویهی  $\alpha$  و قرینهی آن یعنی  $-\alpha$  رابطهی زیر وجود

دارد.



$$\sin(-\alpha) = -\sin(\alpha)$$

$$\cos(-\alpha) = \cos(\alpha)$$

$$\tan(-\alpha) = -\tan(\alpha)$$

$$\cot(-\alpha) = -\cot(\alpha)$$

تمرین ۶: نسبت های مثلثاتی زاویهی  $-30^\circ$  درجه را به دست آورید.

تمرین ۷: حاصل عبارت های زیر را به دست آورید.

الف)  $\cos\left(-\frac{\pi}{3}\right) \times \cos\left(-\frac{\pi}{6}\right) + \tan\left(-\frac{\pi}{4}\right) =$

ب)  $\frac{\cos(-90^\circ) + \sin(-270^\circ)}{\sin(-180^\circ) - \cos(-360^\circ)} =$

ج)  $\cot\left(-\frac{\pi}{6}\right) + \tan\left(-\frac{\pi}{3}\right) =$

د)  $\cos(-45^\circ) \times \cos(-60^\circ) + \sin(-45^\circ) \times \sin(-60^\circ) =$

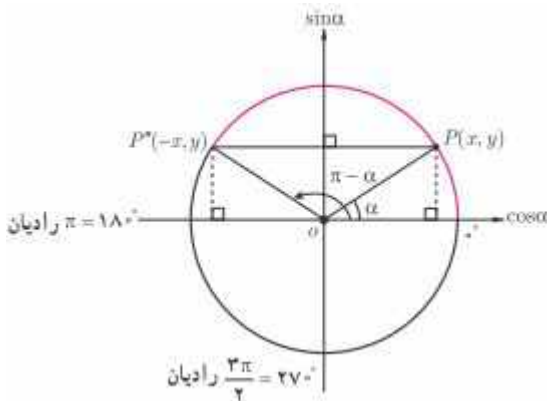
\*\*\*

**قسمت سوم: نسبت های مثلثاتی زاویه های مکمل**

دو زاویه را مکمل گویند، هرگاه مجموع اندازه های آنها  $۱۸۰$  درجه یا  $\pi$  رادیان<sup>۲</sup> باشد. اگر  $\beta$  و  $\alpha$  دو زاویه‌ی مکمل باشند، در این صورت می توان نوشت،  $\alpha + \beta = \pi$  که از آن نتیجه می شود،

$$\beta = \pi - \alpha$$

بین نسبت های مثلثاتی زاویه‌ی  $\alpha$  و مکمل آن یعنی  $\beta$  با توجه به شکل مقابل، می توان رابطه‌ی زیر را نوشت :



$$\begin{aligned} \sin(\pi - \alpha) &= \sin(\alpha) \\ \cos(\pi - \alpha) &= -\cos(\alpha) \\ \tan(\pi - \alpha) &= -\tan(\alpha) \\ \cot(\pi - \alpha) &= -\cot(\alpha) \end{aligned}$$

**تمرین ۸:** مکمل هر یک از زاویه های زیر را مشخص کنید.

- الف)  $۷۵$                       ب)  $۲۵^\circ$                       ج)  $\frac{\pi}{۱۲}$                       د)  $\frac{-\pi}{۴}$

**تمرین ۹:** حاصل هر یک از نسبت های مثلثاتی زیر را تعیین کنید.

- الف)  $\tan \frac{۲\pi}{۳} =$                       ت)  $\cot(-۱۲۰^\circ) =$   
 ب)  $\cos \frac{۳\pi}{۴} =$                       ث)  $\cos(۱۳۵^\circ) =$   
 پ)  $\sin ۱۲۰^\circ =$

**تمرین ۱۰:** نسبت های مثلثاتی زاویه‌ی  $\frac{۵\pi}{۶}$  رادیان را به دست آورید.

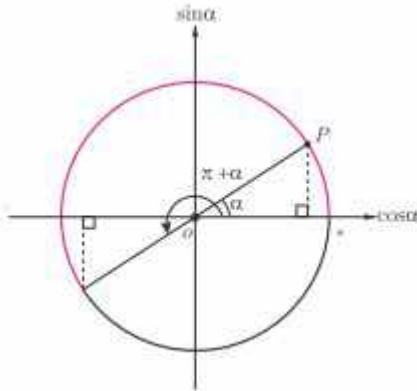
<sup>۲</sup>. و به طور کلی مجموع آنها  $\pi + ۲k\pi$  رادیان باشند.

**قسمت چهارم : نسبت های مثلثاتی زاویه های با اختلاف  $\pi$  رادیان**

اگر دو زاویه  $\beta$  و  $\alpha$  طوری باشند که اختلاف آنها  $180^\circ$  درجه یا  $\pi$  رادیان شود. در این صورت می توان نوشت،  $\beta - \alpha = \pi$  که از آن نتیجه می شود،

$$\beta = \pi + \alpha$$

لذا می توان رابطه ی زیر را نوشت :



$$\sin(\pi + \alpha) = -\sin(\alpha)$$

$$\cos(\pi + \alpha) = -\cos(\alpha)$$

$$\tan(\pi + \alpha) = \tan(\alpha)$$

$$\cot(\pi + \alpha) = \cot(\alpha)$$

**تمرین ۱۱ :** مکمل هر یک از زاویه های زیر را مشخص کنید.

- الف)  $75^\circ$       ب)  $25^\circ$       ج)  $\frac{\pi}{12}$       د)  $\frac{-\pi}{4}$

**تمرین ۱۲ :** حاصل هر یک از نسبت های مثلثاتی زیر را تعیین کنید.

الف)  $\cot \frac{5\pi}{4} =$

ب)  $\cos\left(-\frac{4\pi}{3}\right) =$

پ)  $\sin 225^\circ =$

ت)  $\tan(225^\circ) =$

ث)  $\sin\left(-\frac{7\pi}{6}\right) =$

**تمرین ۱۳ :** نسبت های مثلثاتی زاویه ی  $\frac{7\pi}{6}$  رادیان را به دست آورید.

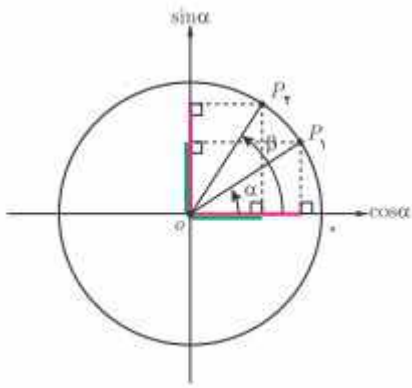
قسمت پنجم: نسبت های مثلثاتی زاویه های متمم

دو زاویه را متمم گویند، هرگاه مجموع اندازه های آنها ۹۰ درجه یا  $\frac{\pi}{۲}$  رادیان<sup>۳</sup> باشد. اگر  $\alpha$  و  $\beta$  دو زاویه‌ی

متمم باشند، در این صورت می توان نوشت،  $\alpha + \beta = \frac{\pi}{۲}$  که از آن نتیجه می شود،

$$\beta = \frac{\pi}{۲} - \alpha$$

بین نسبت های مثلثاتی زاویه‌ی  $\alpha$  و متمم آن یعنی  $\beta$  با توجه به شکل مقابل، می توان رابطه‌ی زیر را نوشت :



$$\sin\left(\frac{\pi}{۲} - \alpha\right) = \cos(\alpha)$$

$$\cos\left(\frac{\pi}{۲} - \alpha\right) = \sin(\alpha)$$

$$\tan\left(\frac{\pi}{۲} - \alpha\right) = \cot(\alpha)$$

$$\cot\left(\frac{\pi}{۲} - \alpha\right) = \tan(\alpha)$$

تمرین ۱۴: متمم زاویه های زیر را تعیین کنید.

الف)  $\frac{\pi}{۷}$

ب)  $-۲۵^\circ$

تمرین ۱۵: اگر  $\sin ۱۵^\circ = \frac{\sqrt{۶} - \sqrt{۲}}{۴}$ ، حاصل تساوی زیر را تعیین کنید.

$\cos(۷۵^\circ) =$

تمرین ۱۶: تساوی های زیر را کامل کنید.

الف)  $\sin ۷۳^\circ = \cos( \quad )$

ب)  $\tan \frac{۵\pi}{۱۴} = \cot( \quad )$

<sup>۳</sup>. و به طور کلی مجموع آنها  $\frac{\pi}{۲} + ۲k\pi$  رادیان باشند.

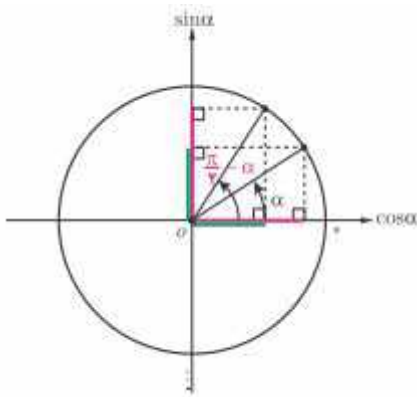
قسمت ششم: نسبت های مثلثاتی زاویه های با اختلاف  $\frac{\pi}{2}$  رادیان

اگر دو زاویه  $\beta$  و  $\alpha$  طوری باشند که اختلاف آنها ۹۰ درجه یا  $\frac{\pi}{2}$  رادیان شود. در این صورت می توان

نوشت،  $\beta - \alpha = \frac{\pi}{2}$  که از آن نتیجه می شود،

$$\beta = \frac{\pi}{2} + \alpha$$

لذا می توان رابطه ی زیر را نوشت :



$$\sin\left(\frac{\pi}{2} + \alpha\right) = \cos(\alpha)$$

$$\cos\left(\frac{\pi}{2} + \alpha\right) = -\sin(\alpha)$$

$$\tan\left(\frac{\pi}{2} + \alpha\right) = -\cot(\alpha)$$

$$\cot\left(\frac{\pi}{2} + \alpha\right) = -\tan(\alpha)$$

**تمرین ۱۷:** حاصل هر یک از نسبت مثلثاتی زیر را تعیین کنید.

$$\sin\left(\frac{2\pi}{3}\right) =$$

**تمرین ۱۸:** نسبت های مثلثاتی زاویه ی ۱۳۵ درجه را به دست آورید.

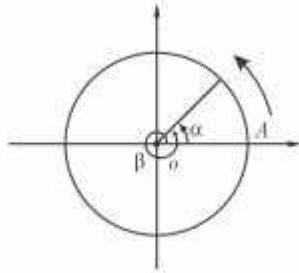
\*\*\*

**قسمت هفتم: نسبت های مثلثاتی با مجموع یا تفاضل  $2\pi$  رادیان**

اگر دو زاویه  $\alpha$  و  $\beta$  طوری باشند که اختلاف آنها  $360^\circ$  درجه یا  $2\pi$  رادیان شود. در این صورت می توان نوشت،  $\beta - \alpha = 2\pi$  که از آن نتیجه می شود،

$$\beta = 2\pi + \alpha$$

لذا می توان رابطه ی زیر را نوشت :



$$\sin(2\pi + \alpha) = \sin(\alpha)$$

$$\cos(2\pi + \alpha) = \cos(\alpha)$$

$$\tan(2\pi + \alpha) = \tan(\alpha)$$

$$\cot(2\pi + \alpha) = \cot(\alpha)$$

**تمرین ۱۹:** حاصل هر یک از نسبت مثلثاتی زیر را تعیین کنید.

الف)  $\sin(40.5^\circ) =$

ب)  $\cos\left(\frac{5\pi}{3}\right) =$

\*\*\*

**نتیجه:** بر اساس آنچه که تاکنون داشتیم می توان روابط دیگری را بررسی کرد که به طور مختصر این

روابط را به شکل زیر عنوان می کنیم.

**الف)** اگر زاویه ی مثلثاتی شامل مضرب های صحیح  $\pi$  باشد، نسبت مثلثاتی تغییر نمی کند.

**ب)** در نسبت های مثلثاتی سینوس و کسینوس می توان مضربهای زوج  $\pi$  را حذف کرد ولی اگر مضربهای

فرد  $\pi$  را حذف کنیم، باید پس از حذف یک علامت منفی جلوی نسبت مثلثاتی قرار دهیم.

مثلاً:

$$\sin(2\pi + \alpha) = \sin \alpha$$

$$\cos(3\pi + \alpha) = -\cos \alpha$$

$$\sin(3\pi - \alpha) = -\sin(-\alpha) = \sin \alpha$$

**ج)** در نسبت های مثلثاتی تانژانت و کتانژانت تمام مضربهای صحیح  $\pi$  را می توان حذف کرد.



مثلاً:

$$\tan(2\pi + \alpha) = \tan \alpha$$

$$\cot(3\pi - \alpha) = \cot(-\alpha) = -\cot \alpha$$

د) در تمام نسبت های مثلثاتی می توان  $\frac{\pi}{2}$  و  $\frac{3\pi}{2}$  را حذف کرد ولی پس از حذف باید:

۱. سینوس را به کسینوس و تانژانت را به کتانژانت تغییر داد و برعکس

۲. با فرض حاده بودن زاویه  $\alpha$ ، ربعی که زاویه ی مثلثاتی در آن واقع است را روی دایره ی مثلثاتی پیدا

کرده و علامت نسبت مثلثاتی آنرا مشخص نموده و جلوی نسبت مثلثاتی جدید قرار دهیم.

مثلاً:

$$\sin\left(\frac{\pi}{2} + \alpha\right) = +\cos \alpha \quad \text{ربع دوم}$$

$$\cos\left(\frac{3\pi}{2} - \alpha\right) = -\sin \alpha \quad \text{ربع سوم}$$

$$\tan\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right) = +\cot \alpha \quad \text{ربع اول}$$

توجه ۱: اگر  $n \in N$  آنگاه همواره داریم:

$$\sin(n\pi + \alpha) = (-1)^n \sin \alpha$$

$$\tan(n\pi + \alpha) = \tan \alpha$$

$$\cos(n\pi + \alpha) = (-1)^n \cos \alpha$$

$$\cot(n\pi + \alpha) = \cot \alpha$$

توجه ۲: با توجه به قواعد بالا همواره داریم.

$$\cos\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right) = \sin \alpha$$

$$\cot\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right) = \tan \alpha$$

$$\sin\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right) = \cos \alpha$$

$$\tan\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right) = \cot \alpha$$

\*\*\*

**تمرین ۲۰:** تساوی های زیر را کامل کنید.

۱)  $\tan ۱۲۰^\circ =$

۴)  $\cos(-۱۵۰^\circ) =$

۲)  $\cos(۱۳۵^\circ) =$

۵)  $\sin\left(\frac{۱۳\pi}{۲} - \alpha\right) =$

۳)  $\cot(۲۱۰^\circ) =$

۶)  $\sin(\alpha - ۳\pi) =$

**تمرین ۲۱:** تساوی زیر را ثابت کنید.

$$\sqrt{۲} \sin(۱۳۵^\circ) + \cot(۳۰^\circ) \cdot \cos(۲۱۰^\circ) - \tan(-۱۳۵^\circ) = -\frac{۳}{۲}$$

**۲۲:** در تساوی زیر به جای  $x$  یک زاویه ی مناسب قرار دهید.

$$\sin(x) = \cos(۱۰^\circ + x)$$

حل : دو زاویه باید متمم همدیگر باشند. پس :

$$x + ۱۰ + x = ۹۰ \rightarrow ۲x = ۸۰ \rightarrow x = ۴۰$$

\*\*\*

**تمرین برای حل:**

**۲۳:** مقدار دقیق عبارت های زیر را به دست آورید.

الف)  $\sin\left(\frac{۳\pi}{۴}\right) =$

ب)  $\tan\left(\frac{۱۱}{۶}\pi\right) =$

ج)  $\cos\left(\frac{۲۵\pi}{۳}\right) =$

**۲۴:** نشان دهید که  $\sin\left(\frac{\pi}{۲} - \theta\right) + \cos(\pi - \theta) = ۰$

**۲۵:** مقدار عددی هر یک از عبارت های زیر را به دست آورید.

الف)  $\tan(-۳۰^\circ) \cot(۱۵۰^\circ) - \tan(۱۳۵^\circ) =$

ب) 
$$\frac{\sin(۲۴۰^\circ) \times \cos(۱۲۰^\circ) + \cos(-۲۷۰^\circ) \times \sin(۳۰^\circ)}{\cos(۲۲۵^\circ) \times \cos(-۱۳۵^\circ) + \tan(۴۵^\circ)} =$$

**۲۶:** حاصل  $\tan(۲۰^\circ) + \tan(۴۰^\circ) + \tan(۶۰^\circ) + \dots + \tan(۱۸۰^\circ)$  را به دست آورید.

۲۷: حاصل  $\frac{\sin(30^\circ)}{1 - \cos(24^\circ)}$  را به دست آورید.

۲۸: مقدار عددی عبارت مقابل را تعیین کنید.

$$A = \frac{\cos(24^\circ) + \sin(-15^\circ)}{\tan(-45^\circ)}$$

۲۹: درستی تساوی های زیر را ثابت کنید.

الف)

$$\sin\left(\frac{\pi}{2} + x\right) \times \cos\left(\frac{\pi}{2} - x\right) + \cos(x - 2\pi) \times \sin(x - \pi) + \tan(-x) \times \tan\left(\frac{\pi}{2} + x\right) = 1$$

ب)  $3 \sin(7^\circ) + \sin(55^\circ) + \cos(215^\circ) + 2 \cos(16^\circ) = \cos(2^\circ)$

۳۰: رابطه‌ی زیر را ثابت کنید.

$$\sin(23^\circ) - 2 \sin(14^\circ) + \sin(41^\circ) + \cos(-5^\circ) + \sin(4^\circ) = 0$$

۳۱: آیا دو زاویه می توان یافت که سینوس یکسان داشته باشند؟ چرا؟ برای کسینوس چطور؟

۳۲: درستی تساوی های زیر را بررسی کنید.

الف)  $\sin(84^\circ) = \sin(6^\circ)$

ب)  $\cos(-324^\circ) = \cos(36^\circ)$

ج)  $\tan(-100^\circ) = \tan(8^\circ)$

د)  $\sin(175^\circ) = \sin(155^\circ)$

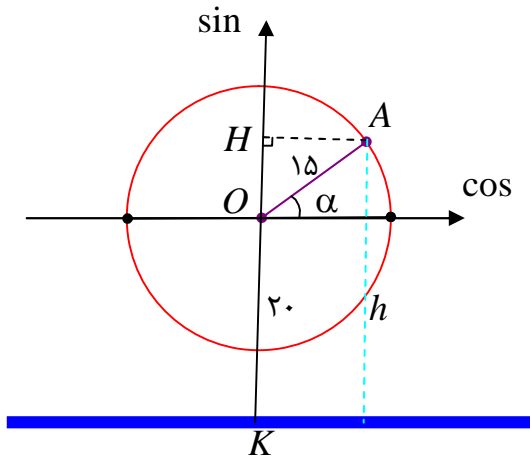
۳۳: در تساوی های زیر به جای  $x$  یک زاویه‌ی مناسب قرار دهید.

الف)  $\sin(x) = \cos(2^\circ + x)$

ب)  $\tan\left(x + \frac{\pi}{18}\right) = \cot\left(\frac{2\pi}{9} + x\right)$

\*\*\*

**درس سوم: توابع مثلثاتی**



قبل از ورود به بحث، توابع مثلثاتی، مثال زیر را حل می کنیم.

یک شهر بازی چرخ و فلکی دارد که شعاع دایره ی آن ۱۵ متر است. فاصله ی مرکز دایره ی این چرخ و فلک تا سطح زمین ۲۰ متر است. واضح است که ارتفاع هر کابین مانند کابین A با تغییر زاویه ی  $\alpha$  تغییر می کند و برای ارتفاع کابین می توان نوشت:

$$\sin \alpha = \frac{OH}{OA} \rightarrow OH = OA \cdot \sin \alpha = 15 \sin \alpha$$

$$h = KH = OK + OH = 20 + 15 \sin \alpha$$

$$\rightarrow h = 20 + 15 \sin \alpha$$

هر تابع مشابه تابع فوق را یک **تابع مثلثاتی** می نامند. با توجه به این تابع به سئوالات زیر پاسخ دهید.

الف: ارتفاع کابین را وقتی که  $\alpha = 120^\circ$  را به دست آورید.

ب: مقدار حداقلی و مقدار حداکثری ارتفاع کابین را تعیین کنید.

ج: تعیین کنید، که زاویه ی  $\alpha$  چقدر باشد تا ارتفاع کابین ۲۰ متر شود.

\*\*\*

**قسمت اول: توابع مثلثاتی**

هر تابع شامل نسبت های مثلثاتی را تابع مثلثاتی می گویند. تابع های  $f(x) = \sin x$  و  $f(x) = \cos x$

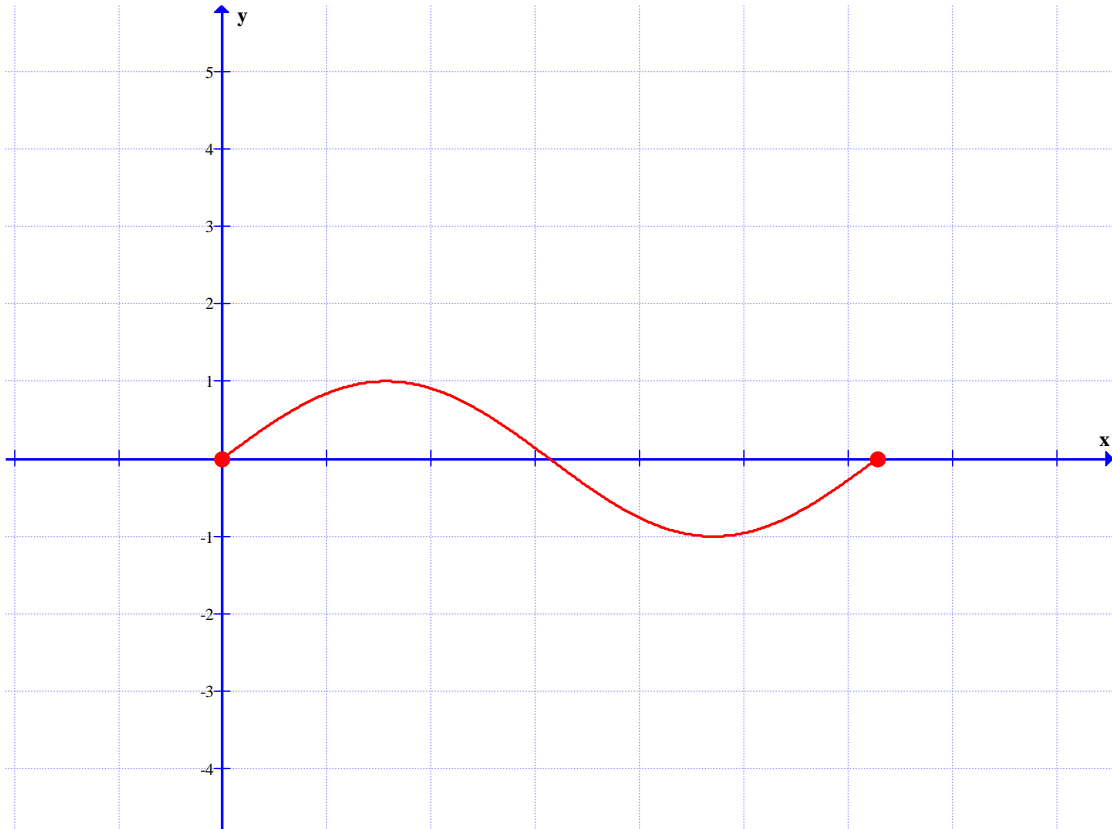
ساده ترین تابع های مثلثاتی هستند. برای رسم نمودار چنین توابعی ساده ترین روش، انتخاب چند نقطه به

کمک معادله و پیدا کردن آنها روی دستگاه مختصات (روش نقطه یابی) می باشد.

**مثال ۱:** نمودار تابع  $f(x) = \sin x$  را در فاصله ی  $[0, 2\pi]$  رسم کنید.

حل: ابتدا چند نقطه از نمودار تابع را به کمک معادله ی داده شده، انتخاب می کنیم.

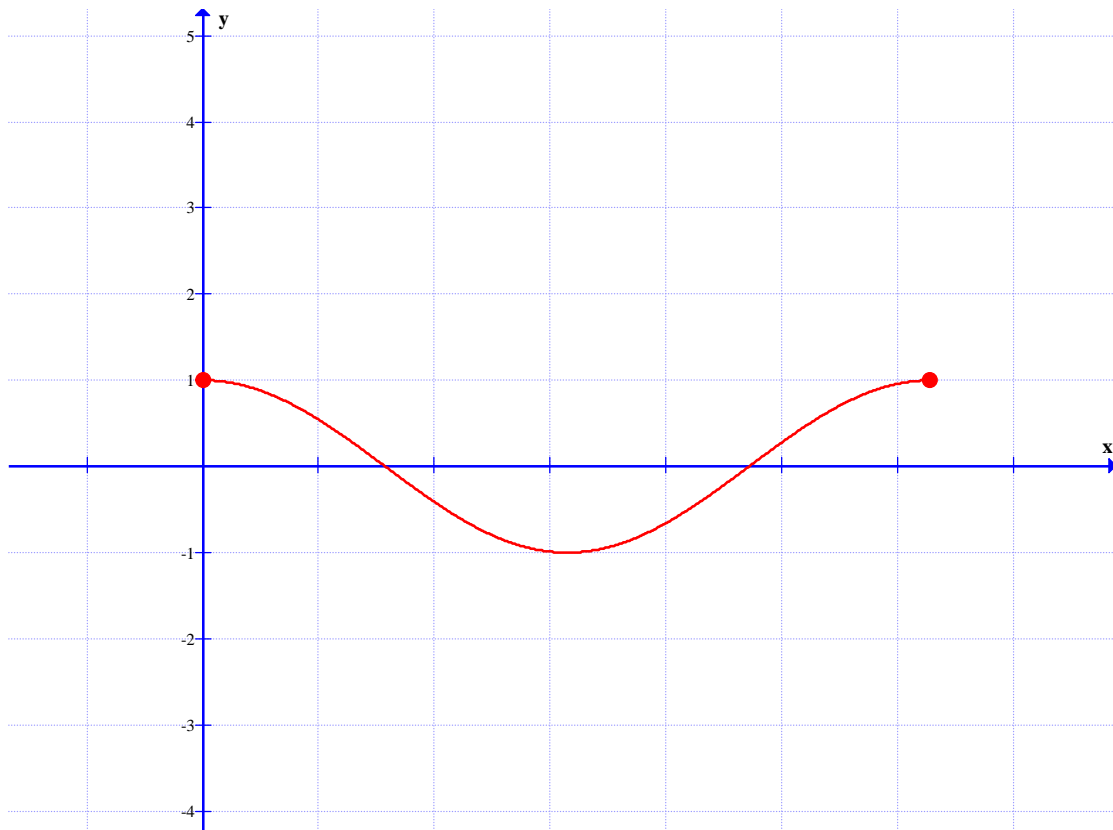
|     |         |                 |         |                  |         |
|-----|---------|-----------------|---------|------------------|---------|
| $x$ | $\cdot$ | $\frac{\pi}{2}$ | $\pi$   | $\frac{3\pi}{2}$ | $2\pi$  |
| $y$ | $\cdot$ | $1$             | $\cdot$ | $-1$             | $\cdot$ |



**مثال ۲:** نمودار تابع  $f(x) = \cos x$  را در فاصله  $[0, 2\pi]$  رسم کنید.

حل : ابتدا چند نقطه از نمودار تابع را به کمک معادله داده شده ، انتخاب می کنیم.

|     |         |                 |       |                  |        |
|-----|---------|-----------------|-------|------------------|--------|
| $x$ | $\cdot$ | $\frac{\pi}{2}$ | $\pi$ | $\frac{3\pi}{2}$ | $2\pi$ |
| $y$ | $1$     | $\cdot$         | $-1$  | $\cdot$          | $1$    |



**تمرین ۱:** نمودار تابع های  $f(x) = \sin x$  و  $f(x) = \cos x$  را در فاصله ی  $[-2\pi, 2\pi]$  رسم کنید.

\*\*\*

### قسمت دوم: توابع مثلثاتی

در ادامه به بررسی خواص این توابع می پردازیم.

**خاصیت ۱:** مقدار حداکثری (max) تابع های  $f(x) = \sin x$  و  $f(x) = \cos x$  برابر ۱ و مقدار

حداقلی (min) آنها برابر -۱ می باشد.

**خاصیت ۲:** دامنه ی تابع های  $f(x) = \sin x$  و  $f(x) = \cos x$  مجموعه ی اعداد حقیقی و برد آنها

بازه ی  $[-1, 1]$  می باشد.

**خاصیت ۳:** تابع  $f(x) = \sin x$  از مبدأ مختصات می گذرد، ولی تابع  $f(x) = \cos x$  از نقطه ی  $(0, 1)$

می گذرد.

**خاصیت ۴:** این دو تابع متناوب هستند. یعنی در فواصل معینی نمودار آنها تکرار می شود. طول هر یک از

این فاصله ها را دوره ی تناوب می نامند. دوره ی تناوب این دو تابع  $T = 2\pi$  می باشد.

**تمرین ۲:** مقدار تابع  $f(x) = 2 \sin 3x$  را در نقطه‌ی  $x = \frac{\pi}{2}$  بدست آورید.

**تمرین ۳:** مقدار تابع  $f(x) = -2 \sin(\pi - x)$  را در نقطه‌ی  $x = \frac{\pi}{6}$  بدست آورید.

**تمرین ۴:** مقدار تابع زیر را در نقطه‌ی  $x = \frac{\pi}{6}$  به دست آورید.

$$f(x) = -1 + \frac{2}{\sqrt{3}} \cos\left(2x - \frac{\pi}{2}\right)$$

**تمرین ۵:** مقدار حداکثری و حداقلی تابع زیر را بیابید.

$$f(x) = 3 + 2 \sin x$$

**تمرین برای حل :**

**۶:** مقدار حداکثری و حداقلی تابع زیر را بیابید.

$$f(x) = 3 - 5 \cos x$$

**۷:** مقدار حداکثری و حداقلی تابع زیر را بیابید.

$$f(x) = 7 + 2 \sin x$$

**۸:** درستی یا نادرستی هر یک از جملات زیر را تعیین کنید.

الف) حداکثر مقدار تابع سینوس در نقاطی به طول های  $x = 2k\pi + \frac{\pi}{2}$  است.

ب) حداقل مقدار تابع سینوس در نقاطی به طول های  $x = 2k\pi + \frac{3\pi}{2}$  است.

**۹:** درستی یا نادرستی هر یک از جملات زیر را در مورد توابع  $f(x) = \sin x$  و  $f(x) = \cos x$

تعیین کنید.

الف) دامنه‌ی تابع سینوس مجموعه‌ی ..... و برد آن مجموعه‌ی ..... است.

ب) دامنه‌ی تابع کسینوس مجموعه‌ی ..... و برد آن مجموعه‌ی ..... است.

پ) مقدار تابع سینوس در طول های  $x = k\pi$  ( $k \in Z$ )، برابر ..... است.

ت) مقدار تابع کسینوس در نقاطی به طول های ..... برابر با صفر است.

ج) حداکثر مقدار تابع کسینوس ..... است که در نقاطی به طول های  $x = 2k\pi$  ( $k \in Z$ ) است.

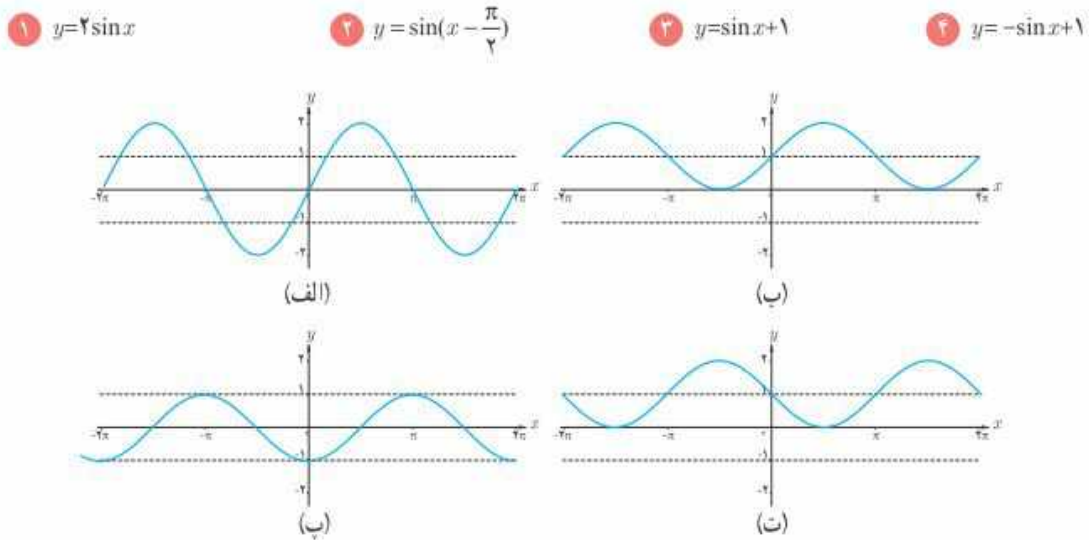
ح) حداقل مقدار تابع کسینوس ..... است که در نقاطی به طول های ..... به دست می آید.

۱۰ : نمودار توابع زیر را رسم کنید.

الف)  $y = 3 \cos x$                       ب)  $y = 1 + \sin x$

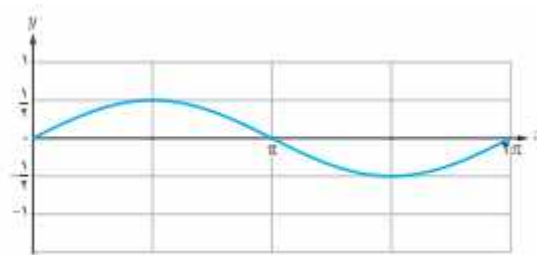
ج)  $y = 2 \sin x - 1$                       د)  $y = \cos(x + \frac{\pi}{2})$

۱۱ : هر یک از نمودارهای زیر مربوط به کدام تابع است.



۱۲ : با ذکر دلیل مشخص کنید کدام یک از گزاره های زیر درست و کدام نادرست اند؟

الف : شکل زیر نمودار تابع  $y = \frac{1}{2} \sin x$  را نشان می دهد.



ب : شکل زیر نمودار تابع  $y = \cos x - \frac{1}{2}$  را نشان می دهد.





پ : برای رسم نمودار تابع با ضابطه  $y = 1 + \sin x$  کافی است، نمودار تابع سینوس را به اندازه‌ی یک واحد به موازات محور  $x$  ها انتقال دهیم.

ت : برای رسم نمودار تابع با ضابطه  $y = -\cos x$  کافی است، نمودار تابع کسینوس را نسبت به محور  $x$  ها قرینه کنیم.

\*\*\*

# ریاضی ۲

پایه یازدهم « رشته ی علوم تجربی »

**فصل ۵ : توابع نمایی و لگاریتمی**

## درس اول: تعمیم توان رسانی

آشنایی با مفهوم تابع نمایی به عنوان یکی از انواع توابع در ریاضیات، برای درک و فهم بسیاری مفاهیم دیگر در ریاضیات و فیزیک و از جمله شدت زلزله، شدت صدا، قدمت یک شیء و .. لازم و ضروری است. در اینجا ضمن یادآوری آن موضوعات تکمیلی دیگری را معرفی می‌کنیم.

### قسمت اول: یادآوری قوانین توان رسانی و ریشه گیری

در سال‌های قبل، با توان‌های طبیعی، صحیح و گویای اعداد حقیقی و قوانین آنها آشنا شده‌اید. در اینجا چند رابطه در مورد توان و ریشه‌گیری را جهت یادآوری معرفی می‌کنیم.

۱: توان صفر

$$\begin{cases} a^0 = 1 \\ a \neq 0 \end{cases}$$

مثال:  $5^0 = 1$

\*\*\*

۲: توان یک

$$a^1 = a$$

مثال:  $5^1 = 5$

\*\*\*

۳: توان منفی

$$\begin{cases} a^{-n} = \frac{1}{a^n} \\ a \neq 0 \end{cases}$$

مثال:  $5^{-3} = \frac{1}{5^3}$

\*\*\*

۴: توان کسری

$$\sqrt[n]{a^m} = a^{\frac{m}{n}}$$

اگر  $n$  زوج باشد، باید  $a \geq 0$  باشد.

مثال:  $5^{\frac{2}{3}} = \sqrt[3]{5^2}$

\*\*\*

۵: توان توان

$$(a^m)^n = a^{m.n}$$

مثال:  $(5^3)^2 = 5^{3 \times 2} = 5^6$

\*\*\*

۶: ضرب اعداد تواندار با پایه های مساوی

$$a^m \times a^n = a^{m+n}$$

مثال:  $5^7 \times 5^2 = 5^{7+2} = 5^9$

\*\*\*

۷: ضرب اعداد تواندار با توان های مساوی

$$a^m \times b^m = (ab)^m$$

مثال:  $5^7 \times 6^7 = 30^7$

\*\*\*

۸: تقسیم اعداد تواندار با پایه های مساوی

$$a^m \div a^n = a^{m-n}$$

مثال:  $5^7 \div 5^3 = 5^{7-3} = 5^4$

\*\*\*

۹: تقسیم اعداد تواندار با توان های مساوی

$$a^m \div b^m = \left(\frac{a}{b}\right)^m$$

مثال:  $15^7 \div 5^7 = 3^7$

\*\*\*

۱۰: هرگاه دو عدد تواندار مساوی، پایه های مساوی داشته باشند، توان های آنها نیز مساویند.

$$\begin{cases} a^m = a^n \rightarrow m = n \\ a \neq 0, 1, -1 \end{cases}$$

مثال:  $5^x = 5^3 \rightarrow x = 3$

\*\*\*

تمرین ۱: در تساوی های مقابل مقدار  $x$  را حساب کنید.

الف)  $2^x = 32$

ج)  $9^x = 27$

ب)  $3^x \times 3^4 = 243$

د)  $3^{x-1} = \frac{1}{81}$

حل:

الف)  $2^x = 32 \rightarrow 2^x = 2^5 \rightarrow x = 5$

ب)  $3^x \times 3^4 = 243 \rightarrow 3^{x+4} = 3^5 \rightarrow x+4=5 \rightarrow x=1$

ج)  $9^x = 27 \rightarrow (3^2)^x = 3^3 \rightarrow 3^{2x} = 3^3 \rightarrow 2x = 3 \rightarrow x = \frac{3}{2}$

د)  $3^{x-1} = \frac{1}{81} \rightarrow 3^{x-1} = \frac{1}{3^4} \rightarrow 3^{x-1} = 3^{-4} \rightarrow x-1 = -4 \rightarrow x = -4+1 = -3$

تمرین برای حل:

۲: معادله های زیر را حل کنید.

الف)  $3^{2x-3} = 81$

ت)  $2^{3n-2} = \frac{1}{32}$

ح)  $(\frac{3}{5})^{x+1} = \frac{25}{9}$

ب)  $4^{2x-1} = 8^{x+1}$

ث)  $9^x = 3x^2 - 4x$

خ)  $4^{3x+2} = \frac{1}{64^3}$

پ)  $5^{3n-1} = 125^{2n+1}$

ج)  $9^{3y-3} = 27^{y+1}$

\*\*\*

## قسمت دوم: تعمیم قوانین توان رسانی

قوانین توان رسانی برای توان های حقیقی نیز برقرارند. اگر  $a$  و  $b$  دو عدد حقیقی مثبت و مخالف یک و  $y$  و  $x$  دو عدد حقیقی باشند، آنگاه داریم.

۱)  $a^0 = 1$

۶)  $\frac{a^x}{a^y} = a^{x-y}$

۲)  $a^1 = a$

۷)  $a^x \times b^x = (ab)^x$

۳)  $a^{-x} = \frac{1}{a^x}$

۸)  $\frac{a^x}{b^x} = \left(\frac{a}{b}\right)^x$

۴)  $(a^x)^y = a^{xy}$

۹)  $a^x = a^y \rightarrow x = y$

۵)  $a^x \times a^y = a^{x+y}$

**تمرین ۳:** حاصل عبارت  $\frac{4\sqrt{3} \times 2\sqrt{75}}{2\sqrt{12} \times 8\sqrt{3}}$  را به ساده ترین شکل بنویسید.

حل:

$$\frac{4\sqrt{3} \times 2\sqrt{75}}{2\sqrt{12} \times 8\sqrt{3}} = \frac{2^2\sqrt{3} \times 2^5\sqrt{3}}{2^2\sqrt{3} \times 2^3\sqrt{3}} = \frac{2^7\sqrt{3}}{2^5\sqrt{3}} = 2^2\sqrt{3}$$

**تمرین ۴:** حاصل عبارت های زیر را به دست آورید.

۱)  $((\sqrt{2})^{\sqrt{3}})^{\sqrt{12}} =$

۲)  $((\sqrt{10})^{2-\sqrt{3}})^{2+\sqrt{3}} =$

۳)  $((\sqrt[3]{5})^{3-\sqrt{3}})^{3+\sqrt{3}} =$

۴)  $(\sqrt{3} - \sqrt{2})^{\sqrt{2}+1} (\sqrt{3} + \sqrt{2})^{\frac{1}{\sqrt{2}-1}} =$

۵)  $(2 - \sqrt[3]{7})^{\pi+1} (4 + 2\sqrt[3]{7} + \sqrt[3]{49})^{\pi+1} =$

تمرین ۵: مقدار  $x$  را از معادله‌ی زیر به دست آورید.

$$x^{\sqrt{2}} + 1 = 5$$

حل:

$$x^{\sqrt{2}} + 1 = 5 \rightarrow x^{\sqrt{2}} = 4 \rightarrow (x^{\sqrt{2}})^{\sqrt{2}} = (4)^{\sqrt{2}} \rightarrow x^2 = 2^2 \sqrt{2} \rightarrow x = 2^{\sqrt{2}}$$

\*\*\*

## درس دوم: لگاریتم و معادلات لگاریتمی

جان نپر ریاضیدان اسکاتلندی (تولد ۱۵۵۰ و وفات ۱۶۱۷) مفهوم لگاریتم را پایه گذاری کرد. لگاریتم برای ساده کردن محاسبات ابداع شد و به عنوان بزرگترین پیشرفت علم حساب در قرن های ۱۶ و ۱۷ محسوب می شود. در این درس مفهوم لگاریتم را معرفی می کنیم و با خواص آن آشنا می شویم.

### قسمت اولی : مفهوم لگاریتم

لگاریتم عدد مثبت  $b$  در مبنای عدد مثبت و مخالف یک  $a$  ، عددی مانند  $x$  است که اگر  $a$  به توان  $x$  برسد، حاصل برابر  $b$  می شود.

$$\log_a^b = x \leftrightarrow a^x = b$$

$$\begin{cases} a, b > 0 \\ a \neq 1 \end{cases}$$

برای مثال:  $2^3 = 8 \rightarrow \log_2^8 = 3$

( نماد  $\log_b^a$  را بخوانید، لگاریتم  $a$  در مبنای  $b$  )

**تمرین ۱:** تساوی های زیر را به صورت لگاریتم بنویسید.

الف)  $7^3 = 343$       ب)  $2^{-3} = \frac{1}{8}$       ج)  $\sqrt[3]{64} = 4$

حل:

الف)  $7^3 = 343 \rightarrow \log_7^{343} = 3$

ب)  $2^{-3} = \frac{1}{8} \rightarrow \log_2^{\frac{1}{8}} = -3$

ج)  $\sqrt[3]{64} = 4 \rightarrow 64^{\frac{1}{3}} = 4 \rightarrow \log_{64}^4 = \frac{1}{3}$

**تمرین ۲:** تساوی های زیر را به صورت توانی بنویسید.

الف)  $\log_2^{64} = 6$       ب)  $\log_2^{\sqrt{8}} = \frac{3}{2}$       ج)  $\log_{\frac{1}{1000}} = -3$



حل:

الف)  $\log_2^{64} = 6 \rightarrow 2^6 = 64$

ب)  $\log_2^{\sqrt{8}} = \frac{3}{2} \rightarrow 2^{\frac{3}{2}} = \sqrt{8}$

ج)  $\log_{10}^{0.001} = -3 \rightarrow 10^{-3} = 0.001$

**تمرین ۳:** در هر مورد مقدار  $x$  را پیدا کنید.

الف)  $\log_3^{81} = x$

ب)  $\log_2^x = 3$

ج)  $\log_x^{64} = 2$

حل:

الف)  $\log_3^{81} = x \rightarrow 3^x = 81 \rightarrow 3^x = 3^4 \rightarrow x = 4$

ب)  $\log_2^x = 3 \rightarrow 2^3 = x \rightarrow x = 8$

ج)  $\log_x^{64} = 2 \rightarrow x^2 = 64 \rightarrow x = \sqrt{64} \rightarrow x = 8$

**تمرین ۴:** مقدار  $x$  را از تساوی زیر محاسبه کنید.

$$\log_7^{49} = 2x - 1$$

حل:

$$\log_7^{49} = 2x - 1 \rightarrow 7^{2x-1} = 49 \rightarrow 7^{2x-1} = 7^2 \rightarrow 2x - 1 = 2 \rightarrow 2x = 3 \rightarrow x = \frac{3}{2}$$

**تمرین ۵:** لگاریتم های زیر را محاسبه کنید.

الف)  $\log_2^{256}$

ج)  $\log_7^7$

ب)  $\log_4^{256}$

د)  $\log_3^1$

حل:

الف)  $\log_2^{256} = x \rightarrow 2^x = 256 \rightarrow 2^x = 2^8 \rightarrow x = 8$

ب)  $\log_4^{256} = y \rightarrow 4^y = 256 \rightarrow 4^y = 4^4 \rightarrow y = 4$

$$\text{ج) } \log_V^V = z \rightarrow V^z = V \rightarrow V^z = V^1 \rightarrow z = 1$$

$$\text{د) } \log_3^1 = t \rightarrow 3^t = 1 \rightarrow 3^t = 3^0 \rightarrow t = 0$$

نتیجه:

۱: لگاریتم هر عدد مثبت و مخالف یک در مبنای خودش برابر یک است.

$$\begin{cases} \log_a^a = 1 \\ a > 0, a \neq 1 \end{cases}$$

۲: لگاریتم یک در هر مبنای مثبت و مخالف یک صفر است.

$$\begin{cases} \log_a^1 = 0 \\ a > 0, a \neq 1 \end{cases}$$

تمرین ۶: نشان دهید که تساوی زیر درست است.

$$\log_6^4 + \log_6^9 = 2$$

حل: قرار می دهیم  $\log_6^4 = x$  و  $\log_6^9 = y$  و نشان می دهیم که  $x + y = 2$

$$\left. \begin{array}{l} \log_6^4 = x \rightarrow 6^x = 4 \\ \log_6^9 = y \rightarrow 6^y = 9 \end{array} \right\} \rightarrow 6^x \times 6^y = 4 \times 9 \rightarrow 6^{x+y} = 36$$

$$\rightarrow 6^{x+y} = 6^2 \rightarrow x + y = 2$$

\*\*\*

تذکر ۱: لگاریتم صفر نامعین است.

$$\log_a^0 = \text{نامعین}$$

تذکر ۲: لگاریتم، روی اعداد منفی، تعریف نمی شود.

تذکر ۳: اگر مبنای لگاریتم عدد ۱۰ باشد، لگاریتم را **لگاریتم اعشاری** می نامند. معمولاً در لگاریتم

اعشاری مبنای ۱۰ نوشته نمی شود.

$$\log_{10}^a = \log a$$

**تذکر ۴:** یکی از اعداد گنگ که کاربرد های زیادی در صنعت و اقتصاد و بازرگانی دارد، عددی معروف به عدد نپرین می باشد. این عدد به افتخار لئونارد اویلر را با  $e$  نمایش می دهند و مقدار تقریبی آن تا دو رقم اعشار  $۲/۷۱$  می باشد.

اگر مبنای لگاریتم عدد نپرین باشد، لگاریتم را **لگاریتم طبیعی** می نامند. معمولاً مبنای  $e$  نوشته نمی شود. حال به دلیل اینکه این لگاریتم با لگاریتم اعشاری اشتباه نشود،  $\log$  را به صورت  $L_n$  می نویسند.

$$\log_e^a = L_n a$$

واضح است که :

$$L_n e = \log_e^e = ۱$$

$$L_n ۱ = \log_e^1 = ۰$$

**تذکر ۵:** ماشین های حساب ، فقط لگاریتم اعشاری و لگاریتم طبیعی را محاسبه می کنند. برای محاسبه ی لگاریتم در مبناهای دیگر به کمک ماشین حساب می توان از فرمولی به نام فرمول تغییر مبنا استفاده نمود. این فرمول در ادامه، گفته می شود.

\*\*\*

### قسمت دوم: روابط لگاریتمی

با توجه به تعریف لگاریتم ، روابط زیر را به راحتی می توان بیان کرد.

**۱:** جمع لگاریتم ها در یک مبنا

$$\log_x^a + \log_x^b = \log_x^{ab}$$

برای مثال :

$$\log_7^3 + \log_7^5 = \log_7^{3 \times 5} = \log_7^{15}$$

این رابطه برای مجموع چند لگاریتم در یک مبنا نیز برقرار است.

$$\log_x^a + \log_x^b + \log_x^c = \log_x^{abc}$$

برای مثال:

$$\log_{10}^2 + \log_{10}^5 + \log_{10}^{10} = \log_{10}^{2 \times 5 \times 10} = \log_{10}^{100} = ۲$$

۲: تفریق لگاریتم ها در یک مبنا

$$\log_x^a - \log_x^b = \log_x^{\frac{a}{b}}$$

مثال :

$$\log_7^{20} - \log_7^5 = \log_7^{20 \div 5} = \log_7^4$$

۳: لگاریتم عدد تواندار

$$\log_x^{a^n} = n \log_x^a$$

مثال :

$$\log_2^{32} = \log_2^{2^5} = 5 \log_2^2 = 5 \times 1 = 5$$

۴: لگاریتم مبنای تواندار

$$\log_{x^m}^a = \frac{1}{m} \log_x^a$$

مثال :

$$\log_{81}^3 = \log_{3^4}^3 = \frac{1}{4} \log_3^3 = \frac{1}{4}$$

$$\log_{x^n}^{a^n} = \log_x^a$$

نتیجه

۵: تغییر مبنای لگاریتم

$$\log_b^a = \frac{\log_x^a}{\log_x^b}$$

مثال : فرض کنید که می خواهیم مبنای لگاریتم  $\log_3^4$  را به ۵ تبدیل کنیم. در این صورت

$$\log_3^4 = \frac{\log_5^4}{\log_5^3}$$

۶: دو لگاریتم مساوی با مبنای برابر

$$\log_x^a = \log_x^b \rightarrow a = b$$

مثال :

$$\log_3^a = \log_3^8 \rightarrow a = 8$$

\*\*\*

تمرین ۷: حاصل عبارت های زیر را به دست آورید.

۱)  $\log 5 + \log 20$

۴)  $2 \log 5 + \log 4$

۲)  $\log_7^{10} - \log_7^{10}$

۵)  $6 \log_4^2 - \frac{1}{2} \log_2^{64}$

۳)  $\log_6^4 + \log_6^9$

۶)  $\log_2^8 + \log_2^5 - \log_2^{10}$

حل:

۱)  $\log 5 + \log 20 = \log 5 \times 20 = \log 100 = \log 10^2 = 2 \log 10 = 2 \times 1 = 2$

۲)  $\log_7^{10} - \log_7^{10} = \log_7^{10 \div 10} = \log_7^1 = 1$

۳)  $\log_6^4 + \log_6^9 = \log_6^{4 \times 9} = \log_6^{36} = \log_6^{6^2} = 2 \log_6^6 = 2 \times 1 = 2$

۴)  $2 \log 5 + \log 4 = \log 5^2 + \log 4 = \log 25 + \log 4 = \log 25 \times 4 = \log 100$

$= \log 10^2 = 2 \log 10 = 2 \times 1 = 2$

۵)  $6 \log_4^2 - \frac{1}{2} \log_2^{64} = \log_4^{2^6} - \log_{2^2}^{64} = \log_4^{64} - \log_4^{64} = \log_4^{64 \div 64} = \log_4^1 = 0$

۶)  $\log_2^8 + \log_2^5 - \log_2^{10} = \log_2^{(8 \times 5) \div 10} = \log_2^4 = \log_2^{2^2} = 2 \log_2^2 = 2 \times 1 = 2$

تمرین ۸: لگاریتم های زیر را به صورت یک لگاریتم بنویسید.

$$۱) \log_V^{\Delta} - \log_V^{\Upsilon}$$

$$۴) \log a - \log b - \log c + \log d$$

$$۲) \frac{\log \Delta}{\log \Upsilon}$$

$$۵) ۲ \log x - ۳ \log y - ۴ \log c$$

$$۳) \Delta \log a - ۲ \log b + ۳ \log c$$

$$۶) ۲ L_n a + ۳ L_n b$$

حل:

$$۱) \log_V^{\Delta} - \log_V^{\Upsilon} = \log_V^{\Delta \div \Upsilon} = \log_V^{\frac{\Delta}{\Upsilon}}$$

$$۲) \frac{\log \Delta}{\log \Upsilon} = \log_{\Upsilon}^{\Delta}$$

$$۳) \Delta \log a - ۲ \log b + ۳ \log c = \log a^{\Delta} - \log b^۲ + \log c^۳ = \log \frac{a^{\Delta} c^۳}{b^۲}$$

$$۴) \log a - \log b - \log c + \log d = \log \frac{ad}{bc}$$

$$۵) ۲ \log x - ۳ \log y - ۴ \log c = \log x^۲ - \log y^۳ - \log c^۴ = \log \frac{x^۲}{y^۳ c^۴}$$

$$۶) ۲ L_n a + ۳ L_n b = L_n a^۲ + L_n b^۳ = L_n a^۲ b^۳$$

تمرین ۹: حاصل عبارت های زیر را به دست آورید.

$$۱) \log_{\Delta}^{۱۲\Delta}$$

$$۳) \log_{\Upsilon}^{\sqrt{۲\Upsilon}}$$

$$۵) \log ۱۰۰$$

$$۲) \log_{\Upsilon}^{۳\Upsilon}$$

$$۴) \log_{\frac{\Upsilon}{۴}}^{\Delta}$$

$$۶) \log \sqrt{۱۰۰۰}$$

حل:

$$۱) \log_{\Delta}^{۱۲\Delta} = \log_{\Delta}^{\Delta^۳} = ۳ \log_{\Delta}^{\Delta} = ۳ \times ۱ = ۳$$

$$۲) \log_{\Upsilon}^{۳\Upsilon} = \log_{\Upsilon}^{\Upsilon^۳} = ۳ \times \frac{۱}{۳} \log_{\Upsilon}^{\Upsilon} = \frac{۳}{۳} \times ۱ = ۱$$

$$۳) \log_3 \sqrt[27]{3} = \log_3 \sqrt[3]{3^3} = \log_3 3^{\frac{3}{2}} = \frac{3}{2} \log_3 3 = \frac{3}{2} \times 1 = \frac{3}{2}$$

$$۴) \log_{\frac{8}{27}} \sqrt[4]{\frac{8}{27}} = \log_{\frac{2}{3}} \sqrt[3]{\frac{2^3}{3^3}} = \log_{\frac{2}{3}} \frac{2}{3} = 3 \times \frac{3}{2} \log_{\frac{2}{3}} \frac{2}{3} = \frac{9}{2} \times 1 = \frac{9}{2}$$

$$۵) \log_{10} 100 = \log_{10} 10^2 = 2 \log_{10} 10 = 2 \times 1 = 2$$

$$۶) \log \sqrt[3]{1000} = \log \sqrt[3]{10^3} = \log 10^{\frac{3}{2}} = \frac{3}{2} \log 10 = \frac{3}{2} \times 1 = \frac{3}{2}$$

**تمرین ۱۰:** اگر  $\log 2 = a$  و  $\log 3 = b$  لگاریتم های زیر را بر حسب  $a$  و  $b$  به دست آورید.

۱)  $\log 81$

۵)  $\log 72$

۹)  $\log_3^2$

۲)  $\log 32$

۶)  $\log 5$

۱۰)  $\log_{81}^{32}$

۳)  $\log 6$

۷)  $\log 75$

۴)  $\log 12$

۸)  $\log_2^3$

حل:

$$۱) \log 81 = \log 3^4 = 4 \log 3 = 4b$$

$$۲) \log 32 = \log 2^5 = 5 \log 2 = 5a$$

$$۳) \log 6 = \log 2 \times 3 = \log 2 + \log 3 = a + b$$

$$۴) \log 12 = \log 2^2 \times 3 = \log 2^2 + \log 3 = 2 \log 2 + \log 3 = 2a + b$$

$$۵) \log 72 = \log 2^3 \times 3^2 = \log 2^3 + \log 3^2 = 3 \log 2 + 2 \log 3 = 3a + 2b$$

$$۶) \log 5 = \log \frac{10}{2} = \log 10 - \log 2 = 1 - a$$

$$۷) \log 75 = \log 3 \times 5^2 = \log 3 + \log 5^2 = \log 3 + 2 \log 5 = b + 2(1 - a)$$

$$= b + 2 - 2a$$

$$۸) \log_2^3 = \frac{\log 3}{\log 2} = \frac{b}{a}$$

$$۹) \log_3^2 = \frac{\log 2}{\log 3} = \frac{a}{b}$$

$$۱۰) \log_{3^4}^{3^2} = \log_{3^4}^{2^5} = 5 \times \frac{1}{4} \log_3^2 = \frac{5}{4} \times \frac{a}{b} = \frac{5a}{4b}$$

**تمرین ۱۱:** اگر  $\log 2 = 0/3010$  و  $\log 7 = 0/8450$  حاصل لگاریتم های زیر را به دست آورید.

۱)  $\log 8$

۶)  $\log 56$

۲)  $\log 49$

۷)  $\log 5$

۳)  $\log 14$

۸)  $\log 25$

حل :

$$۱) \log 8 = \log 2^3 = 3 \log 2 = 3(0/3010) = 0/9030$$

$$۲) \log 49 = \log 7^2 = 2 \log 7 = 2(0/8450) = 0/1690$$

$$۳) \log 14 = \log 2 \times 7 = \log 2 + \log 7 = 0/3010 + 0/8450 = 0/1165$$

$$۶) \log 56 = \log 2^3 \times 7 = \log 2^3 + \log 7 = 3 \log 2 + \log 7 = 3(0/3010) + (0/8450)$$

$$= 0/9030 + 0/8450 = 0/1748$$

$$۷) \log 5 = \log \frac{10}{2} = \log 10 - \log 2 = 1 - (0/3010) = 0/6990$$

$$۸) \log 25 = \log 5^2 = 2 \log 5 = 2(0/6990) = 0/1398$$

**تمرین ۱۲:** معادله<sup>۱</sup> های زیر را حل کنید.

۱)  $\log_5^x + \log_5^3 = \log_5^{12}$

۴)  $\log^{x+3} + \log^x = 1$

<sup>1</sup> . توجه کنید که بنابر تعریف لگاریتم، جوابی از یک معادله ی لگاریتمی، قابل قبول است که به ازای آن لگاریتم صفر یا

لگاریتم عدد منفی، پیش نیاید.



$$۲) \sqrt[3]{\log x} = \log 8$$

$$۵) \log_{\sqrt{2}}^{\sqrt[4]{x}} - \log_{\sqrt{2}}^{x-3} = 3$$

$$۳) 2 \log x + \log 3 = \log 27$$

$$۶) \log^{1-x} - \log^2 = \log^5$$

حل:

$$۱) \log_5^x + \log_5^{\sqrt{x}} = \log_5^{12} \rightarrow \log_5^{\sqrt{x}} = \log_5^{12} \rightarrow \sqrt{x} = 12 \rightarrow x = 144$$

$$۲) 2 \log x = \log 8 \rightarrow \log x^2 = \log 8 \rightarrow x^2 = 8 \rightarrow x = \sqrt[3]{8} = 2$$

$$۳) 2 \log x + \log 3 = \log 27 \rightarrow \log x^2 + \log 3 = \log 27 \rightarrow \log 3x^2 = \log 27$$

$$\rightarrow 3x^2 = 27 \rightarrow x^2 = 9 \rightarrow x = \sqrt{9} = \pm 3$$

که ریشه‌ی  $x = -3$  غیر قابل قبول است.

$$۴) \log^{x+3} + \log^x = 1 \rightarrow \log^{x(x+3)} = \log^{10} \rightarrow x^2 + 3x = 10 \rightarrow x^2 + 3x - 10 = 0$$

$$\rightarrow (x+5)(x-2) = 0 \rightarrow \begin{cases} x+5=0 \rightarrow x=-5 \\ x-2=0 \rightarrow x=2 \end{cases}$$

که ریشه‌ی  $x = -5$  غیر قابل قبول است.

$$\log_{\sqrt{2}}^{\sqrt[4]{x}} - \log_{\sqrt{2}}^{x-3} = 3 \rightarrow \log_{\sqrt{2}}^{\sqrt[4]{x}} = 3 \log_{\sqrt{2}}^2 \rightarrow \log_{\sqrt{2}}^{\sqrt[4]{x}} = \log_{\sqrt{2}}^{2^3} \rightarrow \log_{\sqrt{2}}^{\sqrt[4]{x}} = \log_{\sqrt{2}}^8$$

۵)

$$\rightarrow \frac{\sqrt[4]{x}}{x-3} = 8 \rightarrow \sqrt[4]{x} = 8(x-3) \rightarrow \sqrt[4]{x} = 8x - 24 \rightarrow \sqrt[4]{x} - 8x = -24$$

$$\rightarrow -\sqrt[4]{x} = -24 \rightarrow x = \frac{-24}{-4} = 6$$

$$۶) \log^{1-x} - \log^2 = \log^5 \rightarrow \log^{\frac{1-x}{2}} = \log^5 \rightarrow \frac{1-x}{2} = 5 \rightarrow 1-x = 10 \rightarrow x = -9$$

تمرین ۱۳: معادله‌ی زیر را حل کنید.

$$L_n(x-3) = 2$$

حل:

$$L_n(x-3) = 2 \rightarrow x-3 = e^2 \rightarrow x = 3 + e^2$$

تمرین برای حل :

۱۴: درستی یا نادرستی عبارت های زیر را تعیین کنید.

الف: لگاریتم اعداد مثبت کمتر از ۱ همواره عددی منفی است.

ب: لگاریتم اعداد منفی تعریف نمی شود.

پ:  $a > b > 0$  آنگاه  $\log_{10} a < \log_{10} b$ .

۱۵: حاصل عبارت های زیر را به دست آورید.

۱)  $\log 25 + \log 4$

۴)  $3 \log 5 + \log 8$

۲)  $\log_8^{40} - \log_8^5$

۵)  $\log_9^3 - \frac{1}{2} \log_3^{11}$

۳)  $\log_{12}^{16} + \log_{12}^9$

۶)  $\log_7^8 - \log_7^5 + \log_7^{20}$

۱۶: لگاریتم های زیر را به صورت یک لگاریتم بنویسید.

۱)  $\log_5^{18} - \log_5^3$

۴)  $\log a + \log b - \log c - \log d$

۲)  $\frac{\log_2^y}{\log_2^5}$

۵)  $2 \log x - 5 \log y - 3 \log c$

۳)  $5 \log p + 2 \log q + 3 \log r$

۱۷: حاصل عبارت های زیر را به دست آورید.

۱)  $\log_{125}^{25}$

۴)  $\log_{81}^{27}$

۷)  $\log_{\frac{1}{20}}^{400}$

۲)  $\log_8^{32}$

۵)  $\log_{\sqrt{5}}^{25}$

۳)  $\log_5^{\sqrt{125}}$

۶)  $\log_{\sqrt{3}}^{729}$

۱۸: اگر  $\log 2 = a$  و  $\log 3 = b$  و  $\log 7 = c$  لگاریتم های زیر را بر حسب  $a$  و  $b$  و  $c$  به دست آورید.

۱)  $\log 49$

۵)  $\log 42$

۹)  $\log_7^2$

۲)  $\log 128$

۶)  $\log 5$

۱۰)  $\log_{81}^{49}$

۳)  $\log 21$

۷)  $\log 576$

۴)  $\log 28$

۸)  $\log_7^y$

۱۹: اگر  $\log 3 = 0/4771$  و  $\log 7 = 0/8450$  حاصل لگاریتم‌های زیر را به دست آورید.

۱)  $\log 9$

۳)  $\log 21$

۵)  $\log 63$

۲)  $\log 49$

۴)  $\log 210$

۶)  $\log_3^7$

۲۰: اگر  $\log^2 = 0/3$  باشد، مقدار  $\log^{\frac{25}{4}}$  را محاسبه کنید.

$\log_{x+1}^{64} = 2$

۲۱: مقدار  $x$  را از تساوی مقابل به دست آورید.

۲۲: اگر  $\log_x^{81} = -4$  مقدار  $x$  را بیابید.

۲۳: معادله‌ی  $\log_x^{2x+15} = 2$  را حل کنید.

۲۴: معادله‌های زیر را حل کنید.

۱)  $\log^{2x+1} = 2 \log^3$

۶)  $\log^x + \log^{x+2} = \log^3$

۲)  $\log^{2x+5} - \log^3 = 2 \log^5$

۷)  $L_n(x-3) = 2$

۳)  $\log x^4 = 4 \log^3$

۸)  $L_n(4x-5) = L_n(2-x)$

۴)  $\log^{3x+1} = \log^5 + 3 \log^2$

۹)  $L_n(2x-1) + L_n(x-7) = L_n 7$

۵)  $\log_7^x + \log_7^5 = \log_7^{15} - \log_7^3$

۱۰)  $\log_7^{x+1} + \log_7^{x+4} = 2$

۲۵: معادله‌ی زیر را حل کنید.

$\log^{x+1} + \log^{x-1} = \log^3$

۲۶: معادله‌ی زیر را حل کنید.

$\log^{2-x} + \log^{1-x} = \log^5 + 2 \log^2$

۲۷: معادله‌های زیر را حل کنید.

۱)  $(e^x - 5)(2e^x - 7) = 0$

۵)  $9^x = 2 \times 3^{x+2} - 45$

۲)  $(e^x + 3)^2 - 25 = 0$

۶)  $2e^{2x} + e^x - 3 = 0$

۳)  $(2^x - 1)(2^x - 3) = 0$

۷)  $|e^x - 1| = |3 - 2e^x|$

۴)  $3^{2x} - 4 \times 3^x - 45 = 0$

۸)  $1 \cdot \log(x+1) = 3$

\*\*\*

### قسمت سوم: اثبات روابط لگاریتمی

در اینجا روابط لگاریتمی را که پیش از این بیان کرده ایم، اثبات می کنیم.

۱: جمع لگاریتم ها در یک مبنا

$$\log_x^a + \log_x^b = \log_x^{ab}$$

اثبات: فرض می کنیم که  $\log_x^a = \alpha$  و  $\log_x^b = \beta$  پس:

$$\log_x^a = \alpha \rightarrow a = x^\alpha$$

$$\log_x^b = \beta \rightarrow b = x^\beta$$

$$\Rightarrow a.b = x^\alpha . x^\beta \rightarrow a.b = x^{\alpha+\beta} \rightarrow \log_x^{a.b} = \alpha + \beta \rightarrow \log_x^{a.b} = \log_x^a + \log_x^b$$

توجه: اثبات تعمیم این رابطه ی به مجموع چند لگاریتم در یک مبنا نیز به همین صورت انجام می گیرد.

$$\log_x^a + \log_x^b + \log_x^c = \log_x^{abc}$$

دانش آموزان عزیز می توانند، این تساوی را خود اثبات کنند.

\*\*\*

۲: تفریق لگاریتم ها در یک مبنا

$$\log_x^a - \log_x^b = \log_x^{\frac{a}{b}}$$

اثبات: فرض می کنیم که  $\log_x^a = \alpha$  و  $\log_x^b = \beta$  پس:

$$\log_x^a = \alpha \rightarrow a = x^\alpha$$

$$\log_x^b = \beta \rightarrow b = x^\beta$$

$$\Rightarrow \frac{a}{b} = \frac{x^\alpha}{x^\beta} \rightarrow \frac{a}{b} = x^{\alpha-\beta} \rightarrow \log_x^{\frac{a}{b}} = \alpha - \beta \rightarrow \log_x^{\frac{a}{b}} = \log_x^a - \log_x^b$$

\*\*\*

تمرین ۲۸: به کمک رابطه ی فوق ثابت کنید که  $\log_x^{\frac{1}{a}} = -\log_x^a$

۳: لگاریتم عدد تواندار

$$\log_x a^n = n \log_x a$$

اثبات: فرض می‌کنیم که  $\log_x a = \alpha$  پس:

$$\log_x a = \alpha \rightarrow a = x^\alpha$$

$$\Rightarrow (a)^n = (x^\alpha)^n \rightarrow a^n = x^{n\alpha} \rightarrow \log_x a^n = n\alpha \rightarrow \log_x a^n = n \log_x a$$

\*\*\*

۴: لگاریتم مبنای تواندار

$$\log_{x^m} a = \frac{1}{m} \log_x a$$

اثبات: فرض می‌کنیم که  $\log_x a = \alpha$  پس:

$$\log_x a = \alpha \rightarrow a = x^\alpha$$

$$\Rightarrow a = (x^{m\alpha})^{\frac{1}{m}} \rightarrow a = (x^m)^\alpha \rightarrow \log_{x^m} a = \frac{\alpha}{m}$$

$$\rightarrow \log_{x^m} a = \frac{1}{m}(\alpha) \rightarrow \log_{x^m} a = \frac{1}{m}(\log_x a)$$

\*\*\*

۵: توان لگاریتمی

$$x^{\log_x a} = a$$

فرض کنیم که  $\log_x a = \alpha$  پس  $x^\alpha = a$  و این یعنی  $x^{\log_x a} = a$

۶: تغییر مبنای لگاریتم

$$\log_b a \times \log_x b = \log_x a$$

فرض می‌کنیم که

$$\log_b^a = \alpha \rightarrow b^\alpha = a \quad (۱)$$

$$\log_x^b = \beta \rightarrow x^\beta = b \quad (۲)$$

از روابط (۱) و (۲) می توان نتیجه گرفت :

$$(x^\beta)^\alpha = a \rightarrow x^{\alpha\beta} = a \rightarrow \alpha\beta = \log_x^a$$

پس :

$$\log_b^a \times \log_x^b = \log_x^a$$

نتیجه :

$$\log_b^a = \frac{\log_x^a}{\log_x^b}$$

\*\*\*

تمرین برای حل :

۲۹: تساوی های زیر را ثابت کنید.

$$۱) \log_b^a = \frac{1}{\log_a^b}$$

$$۲) a^{\log^b} = b^{\log^a}$$

$$۳) \log_{b^n}^{a^n} = \log_b^a$$

۳۰: حاصل عبارت های زیر را بیابید.

$$۱) \log_3^{18} \times \log_{18}^3$$

$$۲) \frac{1}{\log_{18}^3} - \frac{1}{\log_3^3}$$

۳۱: حاصل عبارت زیر را تعیین کنید.

$$\text{الف) } ۲ \log_{10}^2 + \log_{10}^{25} =$$

$$\text{ب) } \log_4^3 \times \log_3^{16} =$$

$$\text{ج) } ۳ \log_{10}^{\sqrt[3]{4}} + \log_{10}^{25} =$$

$$\text{د) } \log_8^{\frac{1}{32}} =$$

$$\text{هـ) } ۲ \log_2^5 - \log_2^3 =$$

۳۲: اگر  $\log_3^5 = b$  و  $\log_3^2 = a$  باشد، مقدار  $\log_4^1$  را بیابید.

۳۳: مقدار  $x$  از معادله ی  $\log_{\frac{1}{3}}^x - \log_{\sqrt{3}}^x - 2\log_3^x = \frac{1}{3}$  به دست آورید.

۳۴: جواب معادله ی  $\log_4^{\log_3^{\log_2^x}} = 0$  را تعیین کنید.

۳۵: اگر  $a^2 + b^2 = 6ab$  ، آنگاه ثابت کنید که  $\log \frac{a-b}{2} = \frac{\log a + \log b}{2}$

\*\*\*

## درس سوم: تابع نمایی و تابع لگاریتمی

در این درس با توابع نمایی و لگاریتمی آشنا می شویم. شناخت این توابع جهت مدل سازی بسیاری از پدیده های طبیعی می تواند مفید باشد.

## قسمت اولی: تابع نمایی

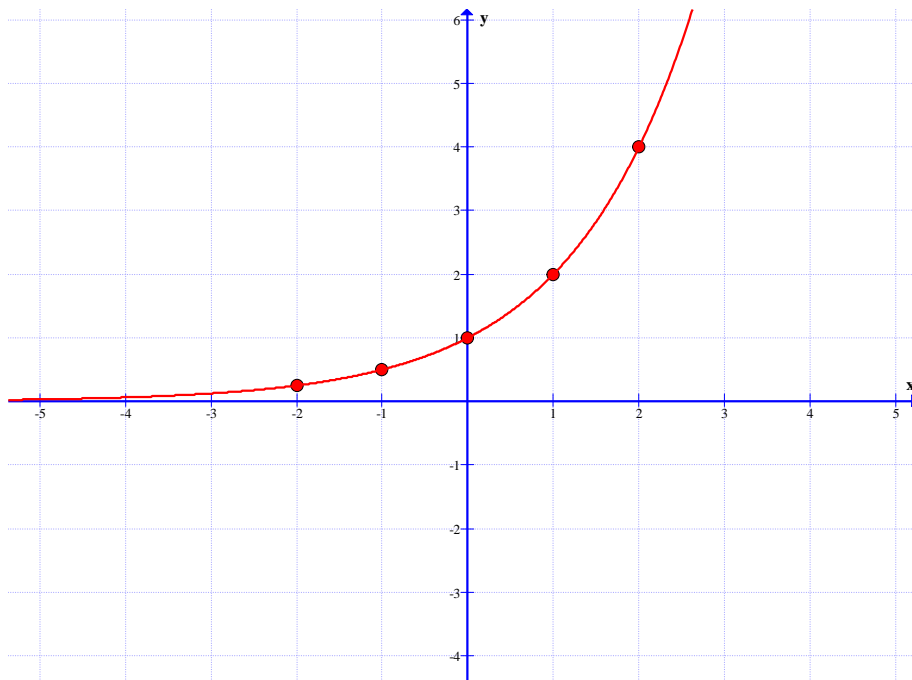
هر تابع به صورت  $f(x) = a^x$  به شرط اینکه  $a > 0$  و  $a \neq 1$  را تابع نمایی می نامند.

$$\text{مانند تابع } f(x) = 3^x$$

**تمرین ۱:** نمودار تابع  $f(x) = 2^x$  را رسم کنید.

حل: ابتدا چند نقطه ی دلخواه از نمودار تابع را مشخص و سپس آنها را روی دستگاه مختصات تعیین می کنیم.

|     |               |               |   |   |   |
|-----|---------------|---------------|---|---|---|
| $x$ | -۲            | -۱            | ۰ | ۱ | ۲ |
| $y$ | $\frac{1}{4}$ | $\frac{1}{2}$ | ۱ | ۲ | ۴ |

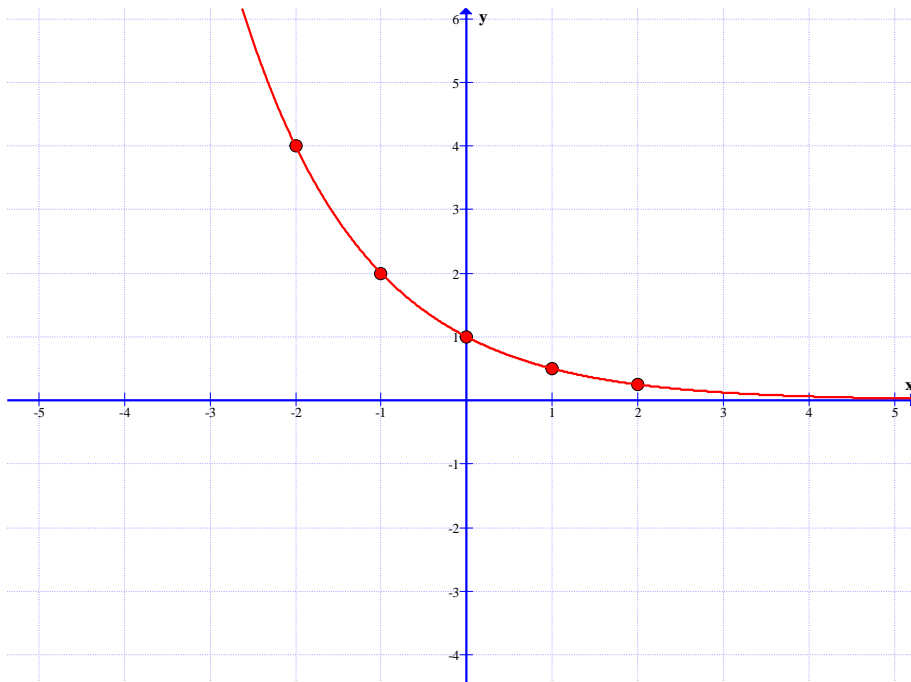




**تمرین ۲:** نمودار تابع  $f(x) = \left(\frac{1}{2}\right)^x$  را رسم کنید.

حل: ابتدا چند نقطه‌ی دلخواه از نمودار تابع را مشخص و سپس آنها را روی دستگاه مختصات تعیین می‌کنیم.

|     |    |    |   |               |               |
|-----|----|----|---|---------------|---------------|
| $x$ | -۲ | -۱ | ۰ | ۱             | ۲             |
| $y$ | ۴  | ۲  | ۱ | $\frac{1}{2}$ | $\frac{1}{4}$ |



**توجه:** هر تابع با ضابطه‌ی  $f(x) = ka^x$  که در آن  $(k \neq 0, a > 0, a \neq 1)$  با تابع نمایی رفتاری

مشابه دارند و به همین دلیل می‌گویند، این توابع **رفتار نمایی** دارند. برای مثال، توابع  $f(x) = 3 \times 2^x$

و  $g(x) = \left(\frac{2}{5}\right)^{x-1}$  رفتار نمایی دارند.

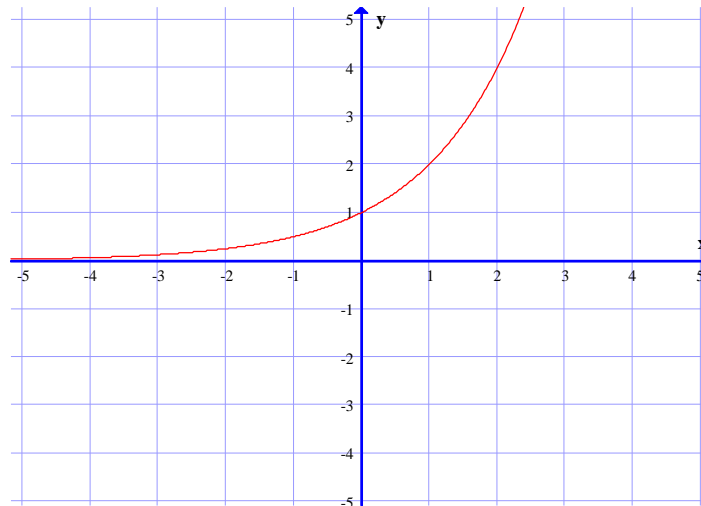
\*\*\*

## خواص تابع نمایی

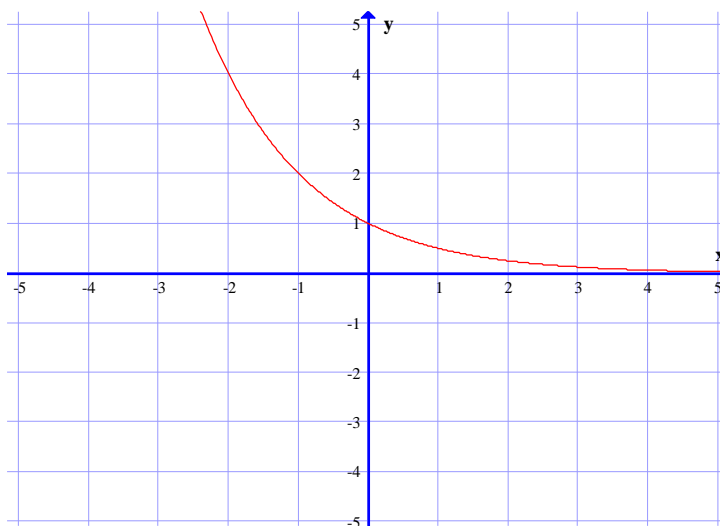
هر تابع نمایی به صورت  $y = a^x$  دارای ویژگی های زیر است.

## ویژگی اولی :

اگر  $a > 1$  باشد. تابع دارای نموداری به شکل زیر خواهد بود، که همواره صعودی (افزایشی) است. یعنی با افزایش مقدار  $x$ ، مقادیر  $f$  افزایش می یابند.



همچنین اگر  $0 < a < 1$  باشد. تابع دارای نموداری به شکل زیر خواهد بود، که همواره نزولی (کاهشی) می باشد. یعنی با افزایش مقدار  $x$ ، مقادیر  $f$  کاهش می یابند.



اگر پایه ی تابع نمایی عدد نپرین ( $e = 2.71$ ) باشد. تابع، را تابع نمایی طبیعی می نامند.

ویژگی دوم: هر تابع نمایی  $y = a^x$  محور عرض ها را در نقطه ی  $(0, 1)$  قطع می کند.

ویژگی سوّم : دامنه‌ی تابع نمایی  $y = a^x$  مجموعه‌ی اعداد حقیقی و برد آن مجموعه‌ی اعداد حقیقی مثبت است.

تمرین برای حل :

۳ : تابع  $y = (\sqrt{3})^x$  محور عرض ها را در چه نقطه ای قطع می کند؟

۴ : تابع  $y = -2 + (\frac{1}{3})^x$  محور عرض ها را در چه نقطه ای قطع می کند؟

۵ : نمودار تابع  $y = x^2$  در چند نقطه نمودار تابع  $y = 2^x$  را قطع می کند؟

۶ : کدام یک از توابع زیر، یک تابع نمایی است؟

الف)  $f(x) = x^3$       ب)  $f(x) = (2x)^x$

ج)  $f(x) = (\sqrt{2})^x$       د)  $f(x) = (\sqrt{x})^3$

۷ : در تابع  $f(x) = a^x$

الف : اگر  $a > 1$ ، با افزایش مقدار  $x$ ، مقادیر  $f$  ..... می یابند.

ب : اگر  $0 < a < 1$ ، با افزایش مقدار  $x$ ، مقادیر  $f$  ..... می یابند.

ج : به ازای هر مقدار مثبت و مخالف یک  $a$  تابعی ..... است.

۸ : محل برخورد نمودار تابع  $f(x) = 3^{2x+1}$  با محور عرض ها را به دست آورید.

۹ : نمودار تابع های زیر را رسم کنید.

الف)  $f(x) = 1 + 2^x$

ب)  $f(x) = 2^{x+1}$

ج)  $f(x) = 2^{x-2}$

\*\*\*

قسمت دوم: تابع لگاریتمی

هر تابع به صورت  $y = \log_a^x$  (به شرط اینکه  $a > 0$  و  $a \neq 1$  و  $x > 0$ ) را یک تابع لگاریتمی می نامند.

مثال :

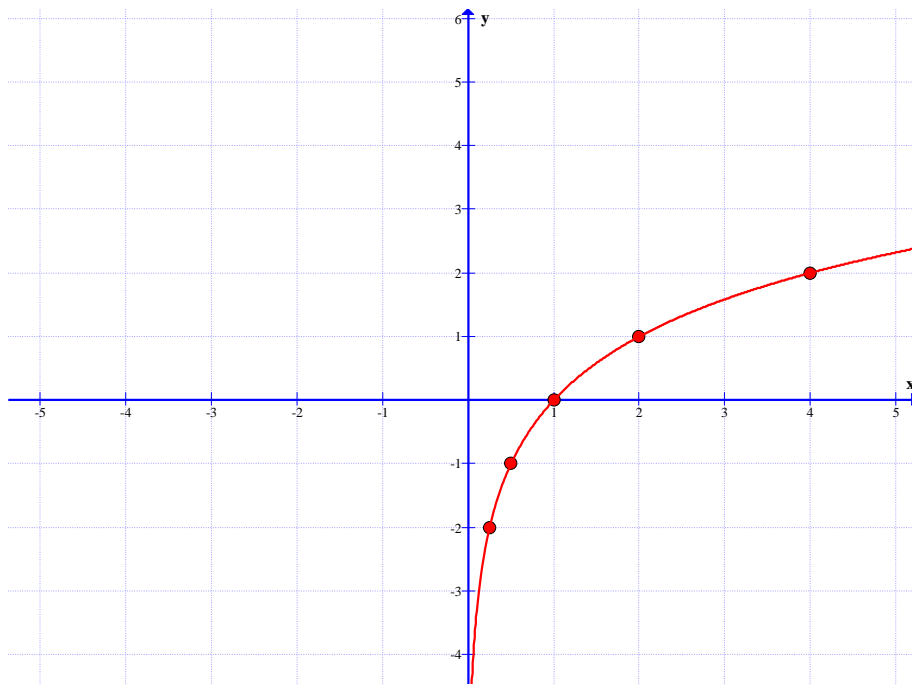
$$y = \log_4^x$$

تمرین ۱۰: نمودار تابع  $f(x) = \log_4^x$  را رسم کنید.

حل : ابتدا چند نقطه‌ی دلخواه از نمودار تابع را مشخص و سپس آنها را روی دستگاه مختصات تعیین می

کنیم.

|     |               |               |   |   |   |
|-----|---------------|---------------|---|---|---|
| $x$ | $\frac{1}{4}$ | $\frac{1}{2}$ | ۱ | ۲ | ۴ |
| $y$ | -۲            | -۱            | ۰ | ۱ | ۲ |

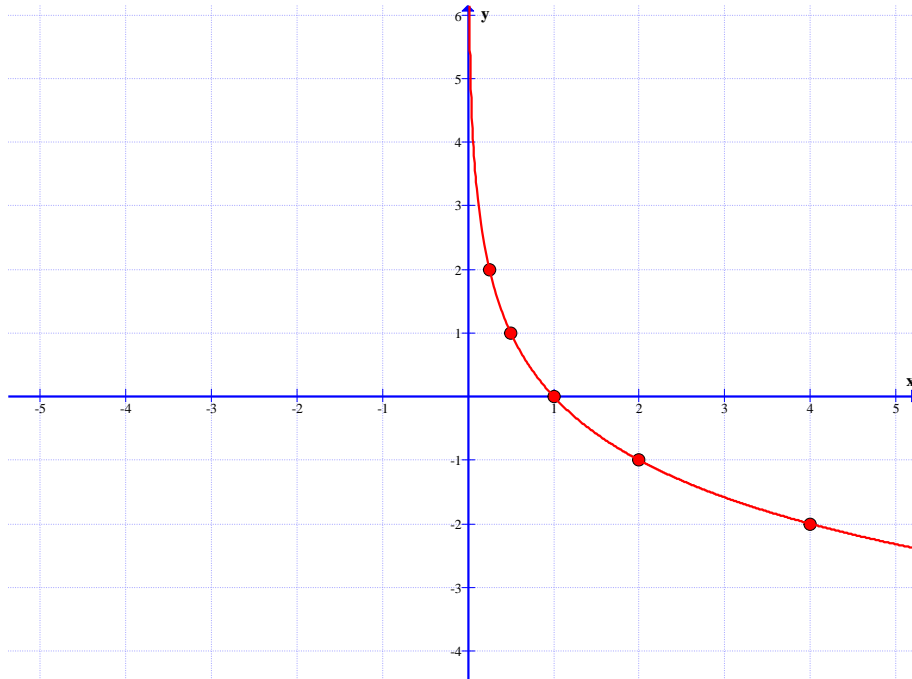


تمرین ۱۱: نمودار تابع  $f(x) = \log_{\frac{1}{2}}^x$  را رسم کنید.

حل : ابتدا چند نقطه‌ی دلخواه از نمودار تابع را مشخص و سپس آنها را روی دستگاه مختصات تعیین می

کنیم.

|     |               |               |   |    |    |
|-----|---------------|---------------|---|----|----|
| $x$ | $\frac{1}{4}$ | $\frac{1}{2}$ | ۱ | ۲  | ۴  |
| $y$ | ۲             | ۱             | ۰ | -۱ | -۲ |

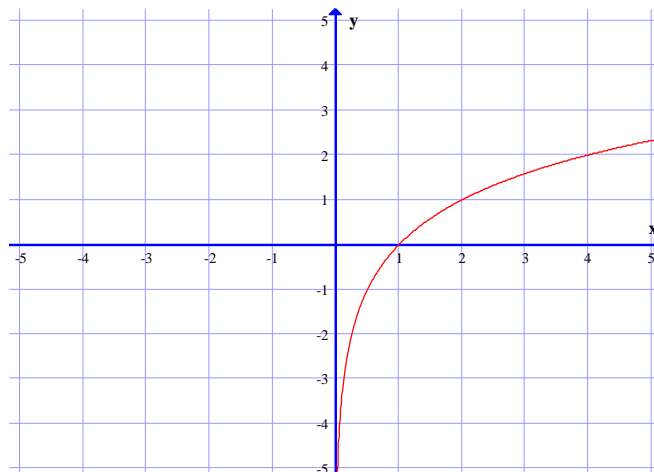


### خواص تابع لگاریتمی

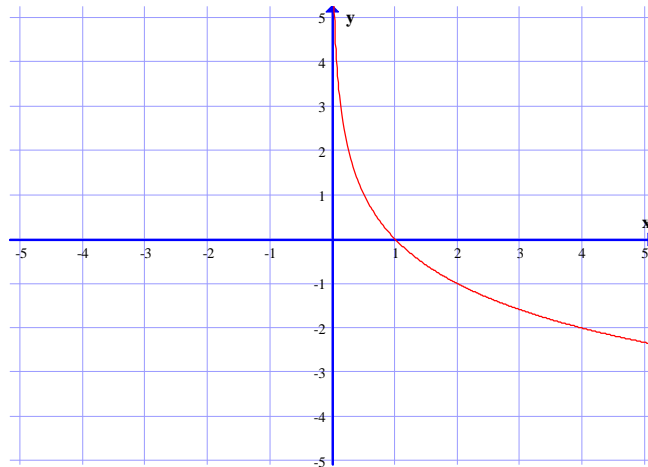
هر تابع لگاریتمی به صورت  $y = \log_a^x$  دارای ویژگی های زیر است.

#### ویژگی اولی :

اگر  $a > 1$  باشد. تابع دارای نموداری به شکل زیر خواهد بود، که همواره صعودی (افزایشی) است . یعنی با افزایش مقدار  $x$  ، مقادیر  $f$  افزایش می یابند.



همچنین اگر  $0 < a < 1$  باشد. تابع دارای نموداری به شکل زیر خواهد بود، که همواره نزولی (کاهشی) می باشد. یعنی با افزایش مقدار  $x$ ، مقادیر  $f$  کاهش می یابند.



اگر پایه‌ی تابع لگاریتمی عدد نپرین ( $e = 2.71$ ) باشد. تابع، را تابع لگاریتمی طبیعی می نامند.

**ویژگی دوم:** هر تابع لگاریتمی به صورت  $y = \log_a^x$  محور طول ها را در نقطه‌ی  $(1, 0)$  قطع می کند.

**ویژگی سوم:** دامنه‌ی تابع لگاریتمی به صورت  $y = \log_a^x$  مجموعه‌ی اعداد حقیقی مثبت و برد آن مجموعه‌ی اعداد حقیقی است.

### تمرین برای حل:

**۱۲:** نمودار تابع های زیر را رسم کنید.

$$\text{الف) } y = (\sqrt{2})^x \qquad \text{ب) } y = \left(\frac{\sqrt{2}}{2}\right)^x$$

**۱۳:** دامنه‌ی تابع  $f(x) = \log_4^{x+1}$  را به دست آورید.

**۱۴:** نمودار تابع  $y = \log_{\sqrt{3}}^x$  را رسم کنید.

**۱۵:** ابتدا دامنه‌ی تابع  $y = \log_3^{x-1}$  را به دست آورده و سپس نمودار آن را رسم کنید.

**۱۶:** درستی یا نادرستی عبارت های زیر را برای تابع لگاریتم به صورت  $f(x) = \log_a^x$  تعیین کنید.

الف: تابع لگاریتم محور  $y$  ها را قطع می کند.

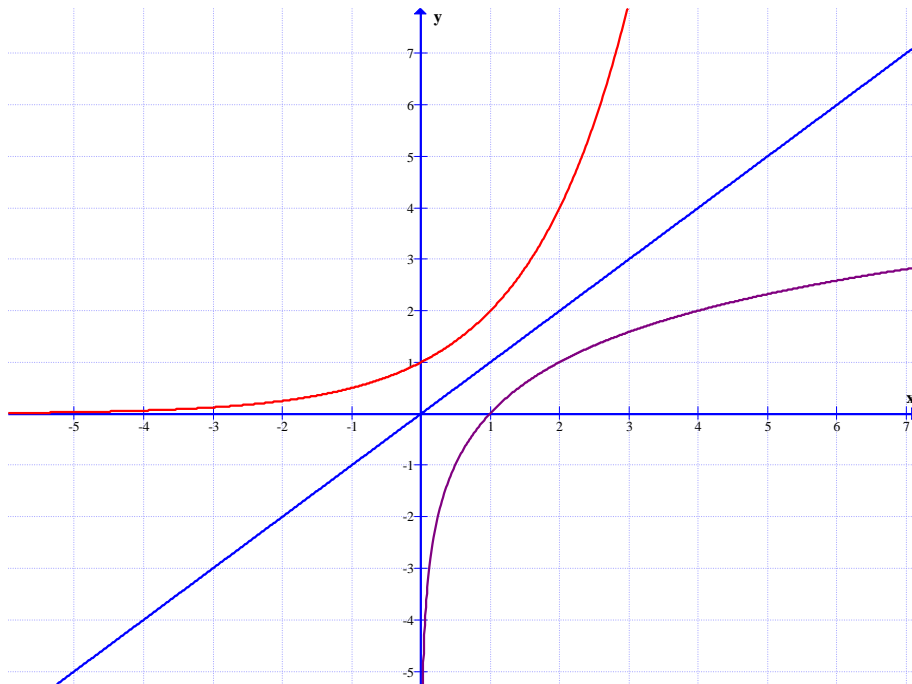
ب: دامنه‌ی تابع لگاریتمی مجموعه‌ی اعداد حقیقی است.

ج: برد تابع لگاریتمی، اعداد حقیقی مثبت است.

**توجه:** تابع نمایی  $y = a^x$  یک به یک است و لذا معکوس پذیر می باشد. معکوس آن یک تابع لگاریتمی به صورت زیر است.

$$y = \log_a^x$$

لذا نمودار تابع نمایی  $y = a^x$  و معکوس آن یعنی  $y = \log_a^x$  نسبت به نیمساز ربع اوّل و سوّم قرینه اند. در زیر نمودار تابع  $f(x) = 2^x$  و معکوس آن یعنی  $g(x) = \log_2^x$  را مشاهده می کنید.



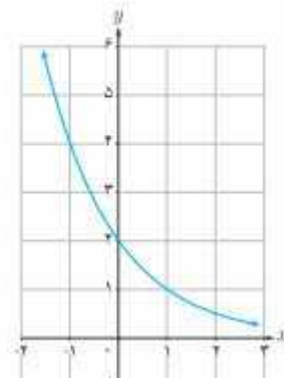
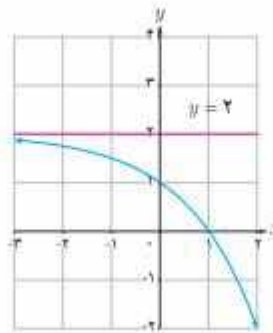
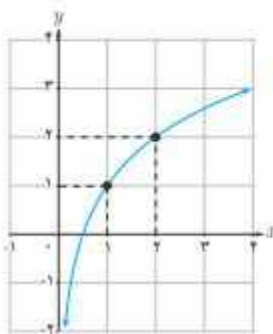
بنابراین اگر نقطه ی  $(b, c)$  روی تابع  $y = a^x$  قرار داشته باشد، آنگاه نقطه ی  $(c, b)$  روی نمودار  $y = \log_a^x$  قرار دارد.

**تمرین ۱۷:** مشخص کنید، هر یک از نمودارهای زیر به کدام یک از ضابطه های زیر تعلق دارد؟

ب)  $y = \left(\frac{1}{2}\right)^{x-1}$

ب)  $y = \log_2(x+1)$

الف)  $y = -2^x + 2$



**تمرین ۱۸:** خط  $y = 27$  نمودار تابع  $y = 3^x$  را در چه نقطه ای قطع می کند؟

**تمرین ۱۹:** خط  $y = 10$  نمودار تابع  $y = (0.1)^x$  را در چه نقطه ای قطع می کند؟

**تمرین ۲۰:** تعیین کنید که خط  $y = \sqrt{7}$ ، نمودار تابع  $y = 2^x$  را بین کدام دو عدد صحیح قطع می کند؟

**تمرین ۲۱:** درستی یا نادرستی جملات زیر را تعیین کنید.

الف: دامنه ی توابع  $y = 2^x$  و  $y = x^2$  مساوی اند.

ب: محل تقاطع نمودار تابع  $y = 6^x$  با محور طولها نقطه ی  $(6, 0)$  است.

پ: نقطه ی  $(\frac{1}{2}, \sqrt{5})$  روی نمودار تابع با ضابطه ی  $y = 5^x$  قرار دارد.

**تمرین ۲۲:** اگر  $f(x) = 3 - 2 \log_4 \left(\frac{x}{5}\right)$  مقدار  $f(42)$  را به دست آورید.

**تمرین ۲۳:** فرض کنیم که  $f(x) = 4^x + 2$

الف: مقدار  $f(-1)$  را به دست آورید.

ب: اگر  $f(x) = 66$  مقدار  $x$  چقدر است؟

ج: معکوس این تابع را بنویسید.

\*\*\*



### قسمت سوم: حل چند مسئله‌ی کاربردی توابع نمایی و لگاریتمی

در این به دو مسئله‌ی کاربردی توابع نمایی و لگاریتمی اشاره می‌کنیم.

#### الف : مسائل مربوط به رشد باکتری

هر تابع به صورت  $f(x) = ka^x$  (برای مقادیر مثبت و مخالف یک  $a$ ) رفتار نمایی دارد. این تابع در بسیاری از مسائل اقتصاد و مهندسی کاربرد دارد.

**تمرین ۲۴:** یک نوع باکتری در دستگاه گوارش انسان زندگی می‌کند و تکثیر آن به صورت نمایی است. عوامل مختلفی مانند زیاد شدن آن باعث بیماری می‌شود. نوع خاصی از این بیماری با ۱۰۰ باکتری شروع می‌شود و هر باکتری در مدت نیم ساعت به دو قسمت تقسیم می‌شود. اندازه‌ی هر توده باکتری از  $t$  ساعت از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید.

$$p(t) = 100 \times 2^t \quad (0 \leq t \leq 16)$$

با فرض اینکه هیچ کدام از باکتری‌ها از بین نروند، تعداد باکتری‌ها در یک توده، پس از ۳ ساعت را به دست آورید.

حل :

$$p(3) = 100 \times 2^{(3)} = 100 \times 64 = 6400$$

#### ب : مسائل مربوط به قدرت زلزله

زمانی زلزله به وقوع می‌پیوندد که انرژی از زمین آزاد شود. بین شدت نسبی زلزله (قدرت آن) بر حسب ریشتر و میزان انرژی آزاد شده از آن بر حسب ارگ (Erg) رابطه‌ی زیر وجود دارد.

$$\log E = 11/8 + 1/5M$$

که در آن  $M$  قدرت زلزله بر حسب ریشتر و  $E$  انرژی آزاد شده بر حسب ارگ می‌باشد<sup>۱</sup>.

**تمرین ۲۵:** مقدار انرژی آزاد شده توسط زلزله‌ای به قدرت ۶/۶ ریشتر را به دست آورید.

<sup>۱</sup> ارگ یکای انرژی در دستگاه واحدهای سانتیمتر-گرم-ثانیه (CGS) است. ارگ برابر با کار انجام گرفته در بالا بردن جرمی برابر با یک هزارم گرم تا ارتفاع یک سانتیمتر است.

$$1 \text{ ژول} = 10^7 \text{ ارگ}$$

$$1 \text{ ارگ} = 10^{-7} \text{ ژول}$$

حل :

$$\log E = 11/8 + 1/5 M = 11/8 + 1/5(6/6) = 21/7$$

$$\rightarrow E = 10^{21/7} \text{ Erg}$$

**تمرین ۲۶ :** شدت زلزله ی ۱۳۶۹ رودبار ۷/۲ ریشتر گزارش شده است. مقدار تقریبی انرژی آزاد شده ی آن را بر حسب ارگ پیدا کنید.

حل :

$$\log E = 11/8 + 1/5 M = 11/8 + 1/5(7/2) = 22/6$$

$$\rightarrow E = 10^{22/6} \text{ Erg}$$

\*\*\*

**تمرین برای حل :**

**۲۷ :** در دی ماه ۱۳۸۲ در شهرستان بم زلزله ای با قدرت ۶/۳ ریشتر به وقوع پیوست، محاسبه کنید که این زلزله چند ارگ انرژی آزاد کرده است؟

**۲۸ :** در آبان ماه ۱۳۹۶ در شهرستان کرمانشاه زلزله ای با قدرت ۷/۱ ریشتر به وقوع پیوست، محاسبه کنید که این زلزله چند ارگ انرژی آزاد کرده است؟

# ریاضی ۲

پایه می یازدهم « رشته می علوم تجربی »

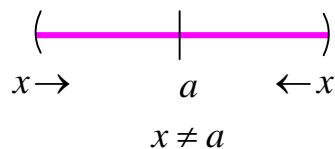
**فصل ۶ : حد و پیوستگی**

## درس اول: مفهوم حد و فرآیندهای حدی

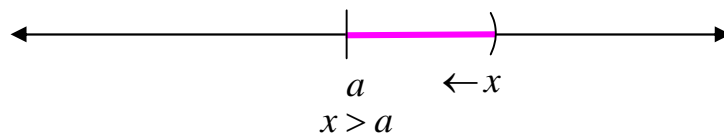
مفهوم حد، یکی از مفاهیم اساسی در ریاضیات است. آشنایی با این مفهوم منجر به شناخت دقیق رفتار تابع می‌گردد. به همین جهت است این مفهوم در بسیاری از شاخه‌های علوم، از جمله فیزیک، ریاضی و اقتصاد کاربردهای فراوان دارد. با وجود پیچیدگی در تعریف حد در این درس فقط به درک شهودی آن می‌پردازیم. اما قبل از ورود به بحث، نمادهای زیر را معرفی می‌کنیم.

در ابتدا مفاهیم اولیه‌ی زیر را برای درک، مفهوم حد، معرفی کنیم.

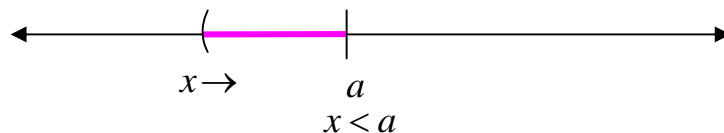
(۱) منظور از نماد  $x \rightarrow a$  (می‌خوانند  $x$  میل می‌کند، به سمت  $a$ )، یعنی متغیر  $x$  از دو طرف محور طول‌ها به عدد  $a$  نزدیک می‌شود ولی هیچگاه روی آن منطبق نمی‌شود. بنابراین اختلاف  $x$  و  $a$  بسیار کوچک است ولی  $x \neq a$



(۲) منظور از نماد  $x \rightarrow a^+$  (می‌خوانند  $x$  میل می‌کند، به سمت  $a$  از راست)، یعنی متغیر  $x$  فقط از طرف راست محور طول‌ها به عدد  $a$  نزدیک می‌شود ولی هیچگاه روی آن منطبق نمی‌شود. بنابراین اختلاف  $x$  و  $a$  بسیار کوچک است ولی  $x > a$



(۳) منظور از نماد  $x \rightarrow a^-$  (می‌خوانند  $x$  میل می‌کند، به سمت  $a$  از چپ)، یعنی متغیر  $x$  فقط از طرف چپ محور طول‌ها به عدد  $a$  نزدیک می‌شود ولی هیچگاه روی آن منطبق نمی‌شود. بنابراین اختلاف  $x$  و  $a$  بسیار کوچک است ولی  $x < a$

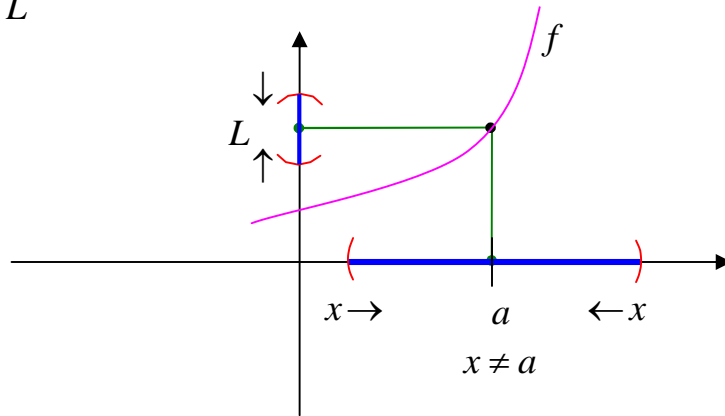


\*\*\*

قسمت اول: مفهوم شهودی حد تابع در یک نقطه

وقتی متغیر  $x$  از دو طرف محور طول ها به سمت عدد  $a$  میل کند و مقدار  $f(x)$  نزدیک به عدد  $L$  شود، گویند حد تابع  $f$  در  $x = a$  برابر  $L$  است و می نویسند.

$$\lim_{x \rightarrow a} f(x) = L$$



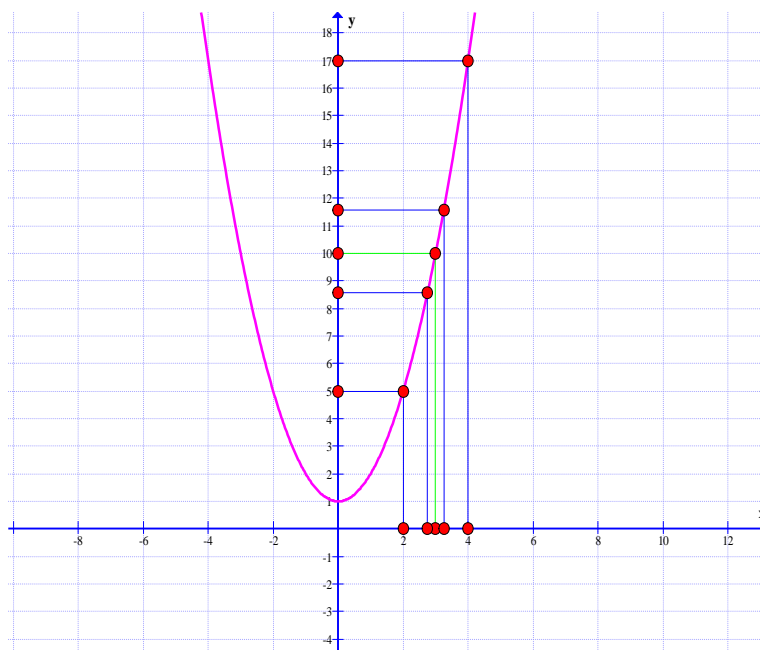
**مثال:** در تابع  $f(x) = x^2 + 1$  اگر متغیر  $x$  از دو طرف به عدد ۳ نزدیک شود. آنگاه مقادیر تابع به عدد ۱۰ نزدیک می شوند. در این صورت  $\lim_{x \rightarrow 3} f(x) = 10$ . به جدول و نمودار زیر توجه کنید.

جدول

|        |   |      |        |      |        |    |         |       |         |       |    |
|--------|---|------|--------|------|--------|----|---------|-------|---------|-------|----|
| $x$    | ۲ | ۲/۵  | ۲/۷۵   | ۲/۹  | ۲/۹۹   | ۳  | ۳/۰۱    | ۳/۱   | ۳/۲۵    | ۳/۵   | ۴  |
| $f(x)$ | ۵ | ۷/۲۵ | ۱/۵۶۲۵ | ۹/۴۱ | ۹/۹۴۰۱ | ۱۰ | ۱۰/۰۶۰۱ | ۱۰/۶۱ | ۱۱/۵۶۲۵ | ۱۳/۲۵ | ۱۷ |

$$\lim_{x \rightarrow 3} f(x) = 10$$

نمودار

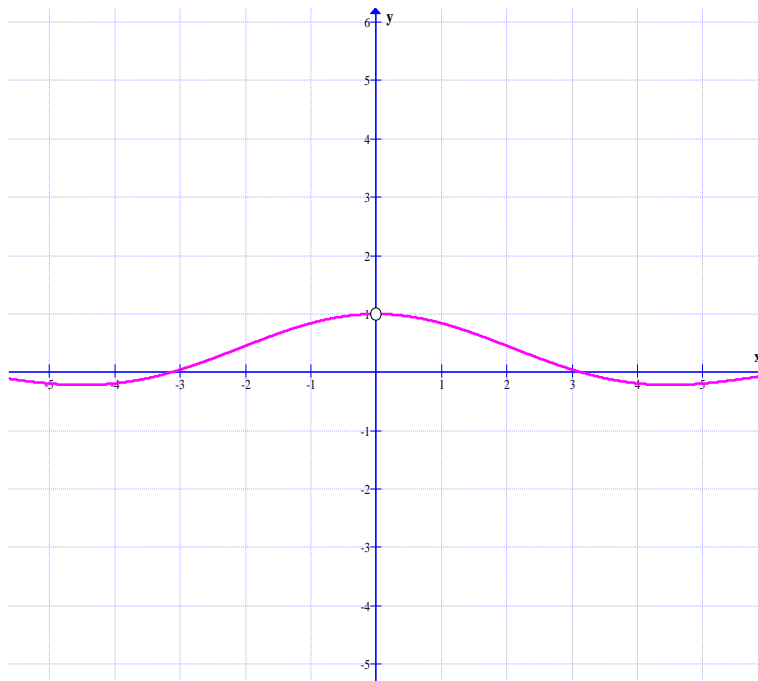


**تمرین ۱)** با تشکیل جدول مقدار حد تابع  $f(x) = \frac{x^2 - 1}{x - 1}$  در نقطه‌ی  $x = 1$  محاسبه کنید.

**تمرین ۲)** در شکل زیر نمودار تابع  $f(x) = \frac{\sin x}{x}$  رسم شده است. با توجه به این شکل حد مقابل را

محاسبه کنید.

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin x}{x} =$$



**نتیجه :** حد تابع  $f(x) = \frac{\sin x}{x}$  وقتی که  $x$  به سمت صفر میل کند، برابر یک است.

\*\*\*

### قسمت دوم: محاسبه‌ی حد تابع در یک نقطه

در اکثر مواقع با جایگزینی مقدار به جای  $x$  در معادله‌ی تابع ، می توان حد توابع را محاسبه نمود. این روش را

روش جایگزینی مستقیم می نامند. برای مثال برای محاسبه‌ی حد تابع  $f(x) = \sqrt{x+1}$  وقتی  $x$  به

سمت ۳ میل می کند. می توان به شکل زیر عمل کرد.

$$\lim_{x \rightarrow 3} f(x) = \lim_{x \rightarrow 3} \sqrt{x+1} = \sqrt{3+1} = 2$$

تمرین برای حل :

۳: حد تابع  $f(x) = \sqrt{2x-3}$  در نقطه‌ی  $x=6$  را بدست آورید.

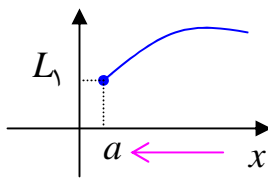
۴: حد تابع  $f(x) = \frac{4x}{x-1}$  در نقطه‌ی  $x=3$  را بدست آورید.

۵: حد تابع  $f(x) = \frac{x^2-1}{x-1}$  در نقطه‌ی  $x=1$  محاسبه کنید.

\*\*\*

قسمت سوم: حد های یک طرفه

اگر متغیر  $x$  فقط از یک طرف محور طول ها به سمت عدد  $a$  میل کند. با مفهوم حد های یک طرفه سروکار داریم.

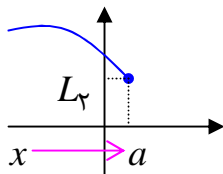


**حد راست:** وقتی متغیر  $x$  فقط از طرف راست محور طول ها به سمت

عدد  $a$  میل کند و مقدار  $f(x)$  نزدیک به عدد  $L_1$  شود، گویند حد راست

تابع  $f$  در  $x=a$  برابر  $L_1$  است و می نویسند.

$$\lim_{x \rightarrow a^+} f(x) = L_1$$



**حد چپ:** وقتی متغیر  $x$  فقط از طرف چپ محور طول ها به سمت عدد  $a$  میل

کند و مقدار  $f(x)$  نزدیک به عدد  $L_2$  شود، گویند حد چپ تابع  $f$  در  $x=a$

برابر  $L_2$  است و می نویسند.

$$\lim_{x \rightarrow a^-} f(x) = L_2$$

**مثال:** حد راست تابع زیر را در نقطه‌ی  $x=2$  به دست آورید.

$$f(x) = \begin{cases} x+1 & x \geq 2 \\ -x & x < 2 \end{cases}$$

حل :

$$\lim_{x \rightarrow 2^+} f(x) = \lim_{x \rightarrow 2^+} x+1 = 2+1 = 3$$

**مثال:** حد چپ تابع زیر را در نقطه ی  $x = 2$  به دست آورید.

$$f(x) = \begin{cases} x+1 & x \geq 2 \\ -x & x < 2 \end{cases}$$

حل:

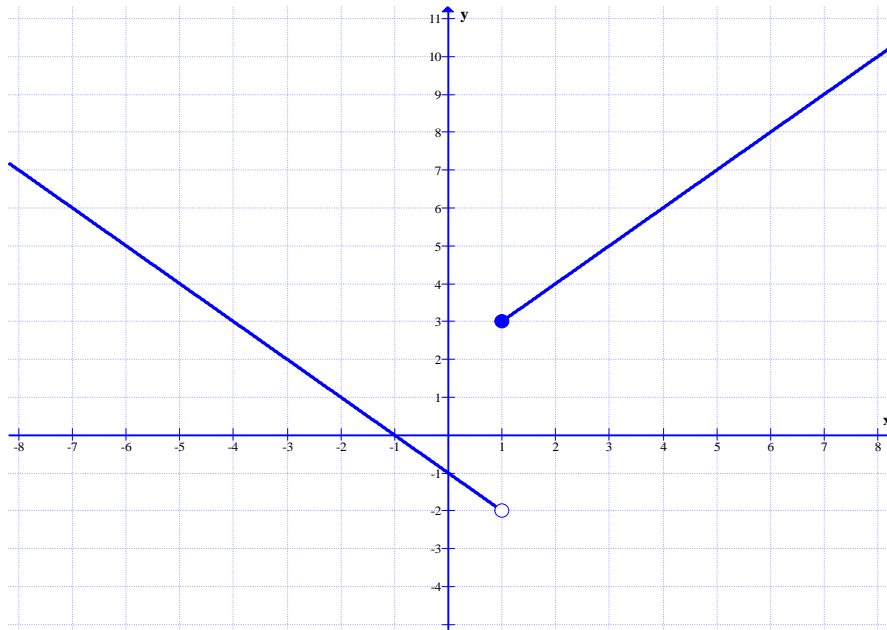
$$\lim_{x \rightarrow 2^-} f(x) = \lim_{x \rightarrow 2^-} -x = -2$$

**مثال:** با توجه به شکل زیر مطلوب است محاسبه ی

الف)  $\lim_{x \rightarrow 1^+} f(x)$

ب)  $\lim_{x \rightarrow 1^-} f(x)$

ج)  $f(1)$



حل:

الف)  $\lim_{x \rightarrow 1^+} f(x) = 3$

ب)  $\lim_{x \rightarrow 1^-} f(x) = -2$

ج)  $f(1) = 3$

**مثال:** حد راست و حد چپ و مقدار تابع زیر را در نقطه ی  $x = 2$  بدست آورید.

$$f(x) = \begin{cases} 3x-1 & x \geq 2 \\ x^2 & x < 2 \end{cases}$$

حل:

حد راست  $\lim_{x \rightarrow 2^+} f(x) = \lim_{x \rightarrow 2^+} (3x-1) = 3(2) - 1 = 5$



$$\text{حد چپ } \lim_{x \rightarrow 2^-} f(x) = \lim_{x \rightarrow 2^-} (x^2) = (2)^2 = 4$$

$$\text{مقدار } f(2) = 3(2) - 1 = 5$$

تمرین برای حل :

۵: حد راست و حد چپ و مقدار تابع زیر را در نقطه‌ی  $x = 1$  بدست آورید.

$$f(x) = \begin{cases} \sqrt{x^2 + 3} & x > 1 \\ 3x + 2 & x = 1 \\ 2x - 5 & x < 1 \end{cases}$$

\*\*\*

قسمت چهارم : شرط وجود حد یک تابع در یک نقطه

گویند تابع  $y = f(x)$  در نقطه‌ی  $x = a$  دارای حد است، هرگاه

الف : تابع در دو طرف نقطه‌ی  $x = a$  تعریف شده باشد.

ب : در این نقطه، حد راست و چپ آن عدد‌های مساوی شوند.

به عبارتی دیگر، اگر تابع  $f$  در همسایگی راست و چپ نقطه‌ی  $x = a$  تعریف شده باشد و

$$\lim_{x \rightarrow a^-} f(x) = L_1 \text{ و } \lim_{x \rightarrow a^+} f(x) = L_2$$

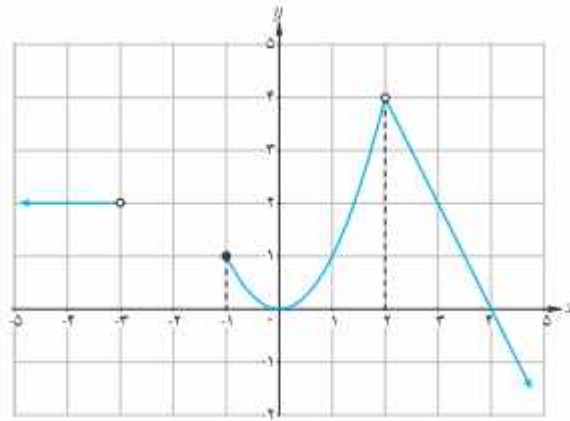
در این صورت، اگر  $L_1 = L_2 = L$  آنگاه  $\lim_{x \rightarrow a} f(x) = L$  و برعکس<sup>۱</sup>

مثال : در شکل زیر نمودار تابع  $f$  به ضابطه‌ی زیر رسم شده است.

$$f(x) = \begin{cases} -2x + 8 & x > 2 \\ x^2 & -1 \leq x < 2 \\ 2 & x < -3 \end{cases}$$

<sup>۱</sup> بر این اساس، گویند تابع در نقطه‌ی  $x = a$  دارای حد نیست، هرگاه یکی از حالت‌های زیر وجود داشته باشد.

الف : حد راست و چپ عدد‌های مساوی نباشند. ب : حد راست یا چپ یا هر دو وجود نداشته باشد. یعنی تابع در سمت راست یا چپ تابع تعریف نشده یا اینکه تابع رفتار بی‌کران داشته باشد. ج : تابع در یک یا دو سمت این نقطه رفتار نوسانی دارد.



با توجه به این شکل می توان نوشت:

۱: تابع در نقطه ی  $x = 2$  تعریف نشده است. یعنی  $f(2)$  وجود ندارد.

۲: حد تابع در نقطه ی  $x = 2$  برابر ۴ است. یعنی  $\lim_{x \rightarrow 2} f(x) = 4$

۳: حد راست تابع در نقطه ی  $x = -1$  برابر ۱ است. یعنی  $\lim_{x \rightarrow (-1)^+} f(x) = 1$

۴: تابع در نقطه ی  $x = -1$  حد چپ ندارد. یعنی  $\lim_{x \rightarrow (-1)^-} f(x)$  وجود ندارد.

۵: تابع در نقطه ی  $x = -1$  حد ندارد. یعنی  $\lim_{x \rightarrow -1} f(x)$  وجود ندارد.

۶: مقدار تابع در نقطه ی  $x = -1$  برابر ۱ است. یعنی  $f(-1) = 1$

۷: چون  $\lim_{x \rightarrow 0^+} f(x) = \lim_{x \rightarrow 0^-} f(x) = 0$  پس تابع در نقطه ی  $x = 0$  حد دارد. یعنی

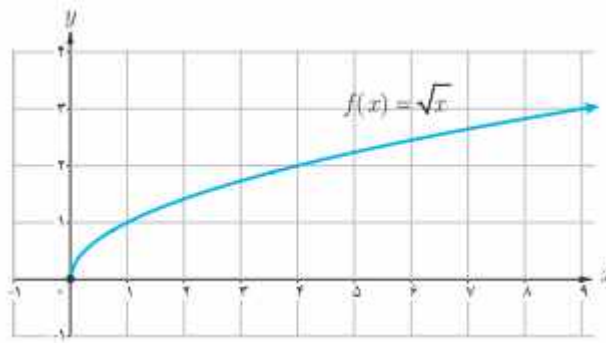
$$\lim_{x \rightarrow 0} f(x) = 0 \text{ از طرفی } f(0) = 0$$

۸: چون  $\lim_{x \rightarrow 4^+} f(x) = \lim_{x \rightarrow 4^-} f(x) = 0$  پس تابع در نقطه ی  $x = 4$  حد دارد. یعنی

$$\lim_{x \rightarrow 4} f(x) = 0 \text{ از طرفی } f(4) = 0$$

۹:  $f(-3)$  و  $\lim_{x \rightarrow (-3)^+} f(x)$  وجود ندارد ولی  $\lim_{x \rightarrow (-3)^-} f(x) = 2$

**مثال:** برای تابع  $f(x) = \sqrt{x}$  با نمودار زیر می توان نوشت.



الف :  $\lim_{x \rightarrow 0^+} \sqrt{x} = 0$  : ب :  $\lim_{x \rightarrow 0^-} \sqrt{x}$  وجود ندارد، زیرا تابع در  $x < 0$  تعریف نشده است.

پ :  $\lim_{x \rightarrow 0} \sqrt{x}$  وجود ندارد.

**مثال :** نشان دهید که تابع زیر در نقطه‌ی  $x = 3$  دارای حد است.

$$f(x) = \begin{cases} x^2 + 2x & x \geq 3 \\ 5x & x < 3 \end{cases}$$

حل :

$$\text{حد راست } \lim_{x \rightarrow 3^+} f(x) = \lim_{x \rightarrow 3^+} (x^2 + 2x) = (3)^2 + 2(3) = 15$$

$$\text{حد چپ } \lim_{x \rightarrow 3^-} f(x) = \lim_{x \rightarrow 3^-} (5x) = 5(3) = 15$$

و چون  $\lim_{x \rightarrow 3^+} f(x) = \lim_{x \rightarrow 3^-} f(x) = 15$  پس تابع در نقطه‌ی  $x = 3$  دارای حد است و

$$\lim_{x \rightarrow 3} f(x) = 15$$

**مثال :** نشان دهید که تابع  $f(x) = 3 + [x]$  در نقطه‌ی  $x = 2$  حد ندارد.

حل :

$$\text{حد راست } \lim_{x \rightarrow 2^+} f(x) = \lim_{x \rightarrow 2^+} (3 + [x]) = 3 + [2^+] = 3 + 2 = 5$$

$$\text{حد چپ } \lim_{x \rightarrow 2^-} f(x) = \lim_{x \rightarrow 2^-} (3 + [x]) = 3 + [2^-] = 3 + 1 = 4$$

و چون  $\lim_{x \rightarrow 2^+} f(x) \neq \lim_{x \rightarrow 2^-} f(x)$  پس تابع در نقطه‌ی  $x = 2$  دارای حد نیست.

**مثال:** تابعی مانند  $f$  مثال بزنید که در  $x=1$  حد نداشته باشد، اما  $|f|$  در  $x=1$  حد داشته باشد.

حل: قرار می‌دهیم.

$$f(x) = \begin{cases} 2 & x \geq 1 \\ -2 & x < 1 \end{cases} \rightarrow |f(x)| = \begin{cases} 2 & x \geq 1 \\ 2 & x < 1 \end{cases} \rightarrow |f(x)| = 2$$

در این صورت  $\lim_{x \rightarrow 1} |f(x)| = 2$  در حالی که دو تابع  $f$  در نقطه‌ی  $x=1$  حد ندارد.

**مثال:** مقدار  $a$  را چنان پیدا کنید که تابع زیر در نقطه‌ی  $x=3$  حد داشته باشد.

$$f(x) = \begin{cases} ax^2 + x - 1 & x < 3 \\ -3x + 2 & x \geq 3 \end{cases}$$

حل: کافی است حد راست و حد چپ این تابع را در نقطه‌ی  $x=3$  محاسبه کرده و برابر هم قرار دهیم.

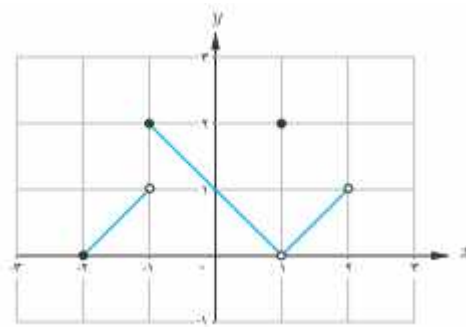
$$\text{حد راست } \lim_{x \rightarrow 3^+} f(x) = \lim_{x \rightarrow 3^+} (-3x + 2) = -3(3) + 2 = -7$$

$$\text{حد چپ } \lim_{x \rightarrow 3^-} f(x) = \lim_{x \rightarrow 3^-} (ax^2 + x - 1) = a(3)^2 + (3) - 1 = 9a + 2$$

$$\Rightarrow 9a + 2 = -7 \rightarrow 9a = -9 \rightarrow a = -1$$

**تمرین برای حل:**

**۶:** برای تابع  $f$  که نمودار آن داده شده است، کدام یک درست و کدام یک نادرست است؟



$$f(1) = 2 \text{ (ب)}$$

$$\lim_{x \rightarrow 1} f(x) = 2 \text{ (الف)}$$

$$\lim_{x \rightarrow (-2)^+} f(x) = 0 \text{ (ت)}$$

$$f(2) = 1 \text{ (پ)}$$

$$\lim_{x \rightarrow 0} f(x) = 1 \text{ (ج)}$$

$$\lim_{x \rightarrow -1} f(x) = 2 \text{ (ث)}$$

چ)  $\lim_{x \rightarrow 2} f(x)$  وجود ندارد. ج)  $\lim_{x \rightarrow -1} f(x)$  وجود ندارد.

۷: نمودار تابع  $f(x) = \sqrt{x-2}$  را رسم کنید. سپس حاصل تساوی های زیر را در صورت وجود را بنویسید.

الف)  $\lim_{x \rightarrow 2^+} f(x)$  ج)  $\lim_{x \rightarrow 2} f(x)$   
 ب)  $\lim_{x \rightarrow 2^-} f(x)$  د)  $f(2)$

۸: نمودار تابع زیر را رسم کنید. سپس به سئوالات زیر پاسخ دهید.

$$f(x) = \begin{cases} x & x > 0 \\ -x & x < 0 \end{cases}$$

الف: آیا این تابع در نقطه‌ی صفر حد دارد؟ در صورت مثبت بودن جواب حد آن را بنویسید.

ب: آیا  $f(0)$  موجود است؟ چرا؟

۹: نمودار تابع  $f(x) = \frac{|x|}{x}$  را رسم کنید. سپس حد تابع را در نقطه‌ی  $x = 0$  را در صورت وجود به دست

آورید.

۱۰: مثالی از یک تابع همراه با نمودار آن ارائه کنید که حد تابع در نقطه‌ی ۲ برابر ۱- باشد.

۱۱: تابعی مانند  $f$  ارائه کنید که در نقطه‌ی ۳ حد نداشته باشد و  $f(3) = 1$

۱۲: تابعی مانند  $f$  ارائه کنید که در نقطه‌ی ۲ تعریف نشده باشد ولی  $\lim_{x \rightarrow 2} f(x) = 4$

۱۳: نمودار تابع  $f(x) = |x-1|$  را رسم کنید. سپس حاصل تساوی های زیر را در صورت وجود را

بنویسید.

الف)  $\lim_{x \rightarrow 1^+} f(x)$  ج)  $\lim_{x \rightarrow 1} f(x)$   
 ب)  $\lim_{x \rightarrow 1^-} f(x)$  د)  $f(1)$

۱۴: با محاسبه‌ی حد راست و حد چپ، وجود حد تابع زیر در نقطه‌ی  $x = 0$  را بررسی کنید.

$$f(x) = \begin{cases} \frac{x}{|x|} & x \neq 0 \\ 5 & x = 0 \end{cases}$$

۱۵: نمودار تابع زیر را رسم کنید و حد تابع در نقطه‌ی  $x = 0$  را در صورت وجود به دست آورید.

$$f(x) = \begin{cases} x^2 + 2 & x > 0 \\ -2x - 2 & x \leq 0 \end{cases}$$

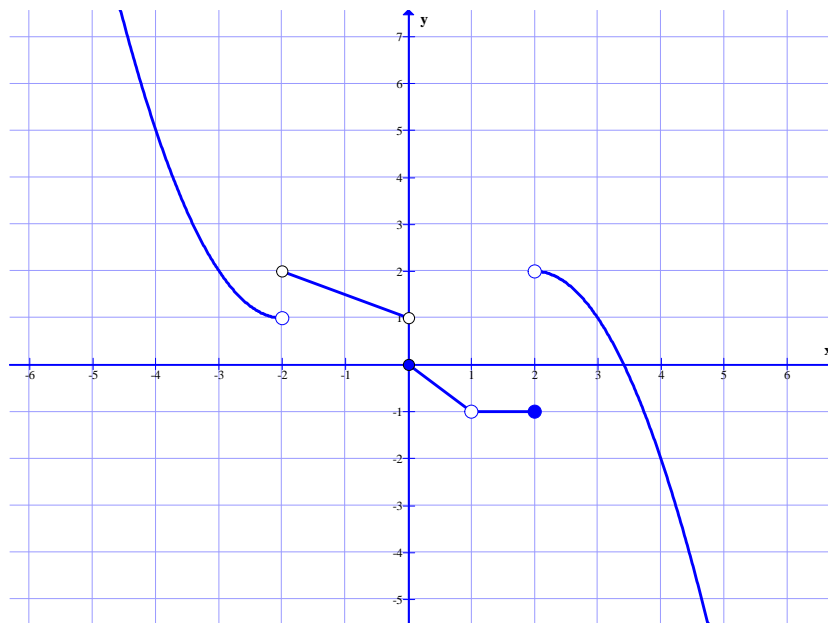
۱۶: نشان دهید که تابع زیر در نقطه‌ی  $x = 2$  حد ندارد.

$$f(x) = \begin{cases} -x + 2 & x > 2 \\ -2 & x = 2 \\ x - 3 & x < 2 \end{cases}$$

۱۷: مقدار  $a$  را چنان بیابید که تابع زیر در نقطه‌ی  $x = -1$  حد داشته باشد.

$$f(x) = \begin{cases} ax^3 - 2 & x > -1 \\ 2ax^2 & x \leq -1 \end{cases}$$

۱۸: با توجه به شکل مقابل، تساوی‌های زیر را کامل کنید.<sup>۲</sup>



<sup>۲</sup> توجه: منظور از نماد  $x \rightarrow (-2)^+$  یعنی  $x$  از سمت راست به  $-2$  نزدیک می‌شود. و منظور از نماد  $x \rightarrow -2^+$

یعنی  $x$  در قسمت قرینه‌ی سمت راست  $2$  قرار دارد. واضح است که  $-2^+ = (-2)^-$

همچنین منظور از نماد  $x \rightarrow (-2)^-$  یعنی  $x$  از سمت چپ به  $-2$  نزدیک می‌شود. و منظور از نماد  $x \rightarrow -2^-$  یعنی  $x$  در

قسمت قرینه‌ی سمت چپ  $2$  قرار دارد. واضح است که  $-2^- = (-2)^+$

$$\text{الف) } \lim_{x \rightarrow 2^-} f(x) + 3 \lim_{x \rightarrow 0^+} f(x) - 2 \lim_{x \rightarrow (-2)^+} f(x) =$$

$$\text{ب) } \lim_{x \rightarrow (-2)^-} f(x) - \lim_{x \rightarrow 0^-} f(x) + 4 \lim_{x \rightarrow 1} f(x) + \lim_{x \rightarrow -2^-} f(x) =$$

$$\text{ج) } \lim_{x \rightarrow 2^+} f(x) - \lim_{x \rightarrow (-2)^+} f(x) + 2 \lim_{x \rightarrow 0^-} f(x) =$$

$$\text{د) } \frac{\lim_{x \rightarrow (-3)^+} f(x)}{\lim_{x \rightarrow 1^-} f(x) + \lim_{x \rightarrow 2^-} f(x)} =$$

## درس دوم: محاسبه ی حد توابع

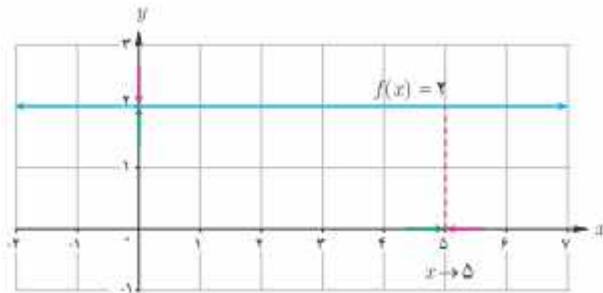
یکی از عواملی که می تواند به مطالعه ی دقیق تر یک تابع کمک کند، حد آن تابع (در یک نقطه) است. لذا لازم است قواعد و دستور هایی برای محاسبه ی حد وجود داشته باشد. در این درس برخی از این قواعد را به طور شهودی و به همراه ذکر مثال، معرفی می کنیم.

## قسمت اول: اعمال روی حد توابع

در این بخش به مطالعه ی اعمال روی حد می پردازیم که محاسبه ی حدود توابع را ساده تر می کند.

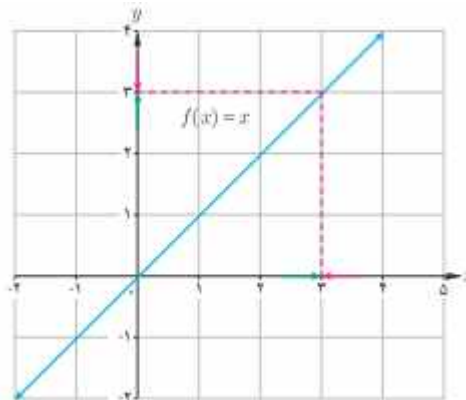
**۱:** تابع ثابت  $f(x) = c$  در همه ی نقاط حد دارد و  $\lim_{x \rightarrow a} f(x) = c$

**مثال:** تابع  $f(x) = 2$  در همه ی نقاط حد دارد. لذا  $\lim_{x \rightarrow 5} f(x) = 2$



**۲:** تابع همانی  $f(x) = x$  در همه ی نقاط حد دارد و  $\lim_{x \rightarrow a} f(x) = a$

**مثال:** تابع  $f(x) = x$  در همه ی نقاط حد دارد. لذا  $\lim_{x \rightarrow 3} f(x) = 3$





۳: فرض کنیم که توابع  $f$  و  $g$  روی دامنه‌ی یکسانی تعریف شده و در  $a$  دارای حد باشند. به عبارت

دیگر فرض کنیم که  $\lim_{x \rightarrow a} f(x) = l$  و  $\lim_{x \rightarrow a} g(x) = k$  در این صورت:

الف: حد مجموع دو تابع برابر مجموع حد های آنها است.

$$\lim_{x \rightarrow a} (f(x) + g(x)) = \lim_{x \rightarrow a} f(x) + \lim_{x \rightarrow a} g(x) = l + k$$

ب: حد تفاضل دو تابع برابر تفاضل حد های آنها است.

$$\lim_{x \rightarrow a} (f(x) - g(x)) = \lim_{x \rightarrow a} f(x) - \lim_{x \rightarrow a} g(x) = l - k$$

ج: حد حاصل ضرب دو تابع برابر با حاصل ضرب حد های آنها است.

$$\lim_{x \rightarrow a} (f(x) \times g(x)) = \lim_{x \rightarrow a} f(x) \times \lim_{x \rightarrow a} g(x) = lk$$

د: حد خارج قسمت دو تابع برابر خارج قسمت حد های آنها است.

$$\lim_{x \rightarrow a} \frac{f(x)}{g(x)} = \frac{\lim_{x \rightarrow a} f(x)}{\lim_{x \rightarrow a} g(x)} = \frac{l}{k} \quad ; \quad k \neq 0$$

### نتیجه:

۱: حد حاصل ضرب یک عدد در یک تابع با حاصل ضرب آن عدد در حد تابع برابر است.

$$\lim_{x \rightarrow a} cf(x) = c \lim_{x \rightarrow a} f(x) = cl$$

۲: حد معکوس یک تابع با معکوس حد آن عدد برابر است.

$$\lim_{x \rightarrow a} \frac{1}{f(x)} = \frac{1}{\lim_{x \rightarrow a} f(x)} = \frac{1}{l} \quad ; \quad l \neq 0$$

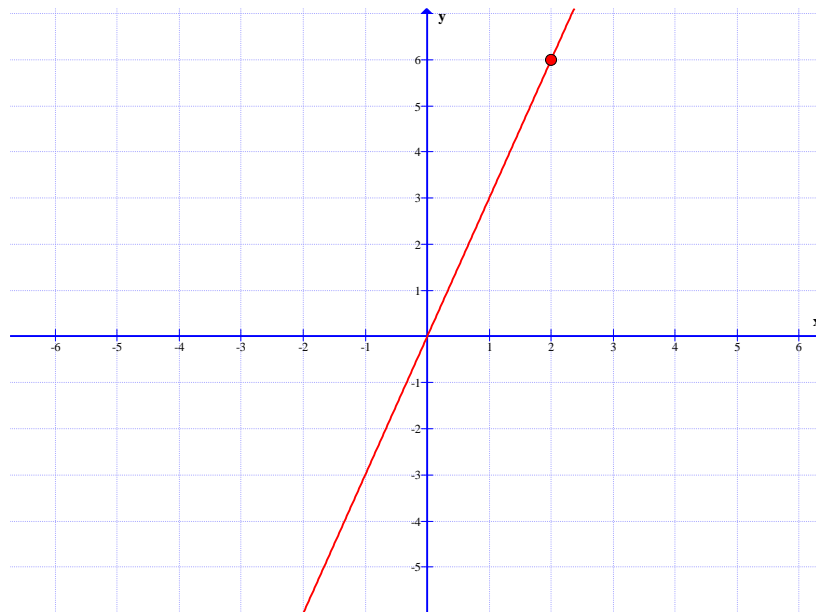
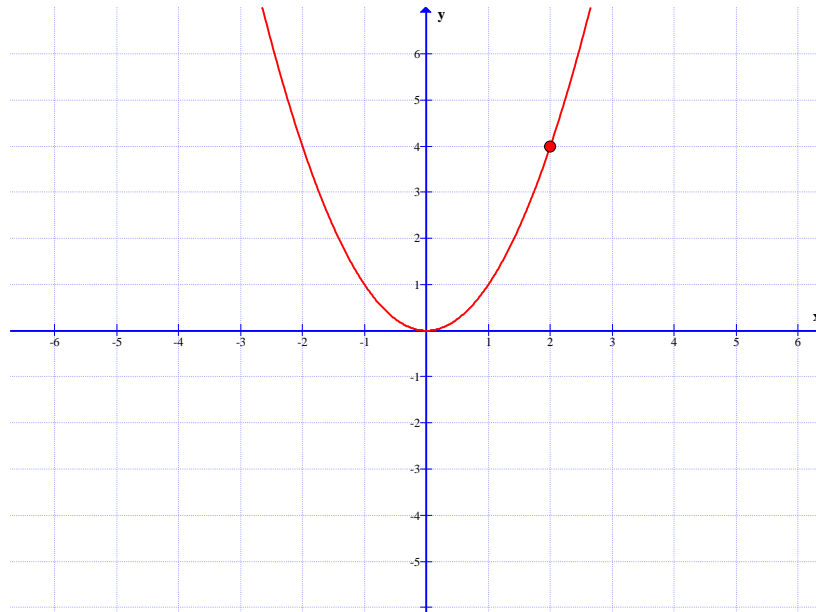
۳: اگر  $n$  یک عدد طبیعی باشد، آنگاه

$$\lim_{x \rightarrow a} f^n(x) = (\lim_{x \rightarrow a} f(x))^n = l^n$$

۴: اگر  $n$  یک عدد طبیعی باشد، آنگاه

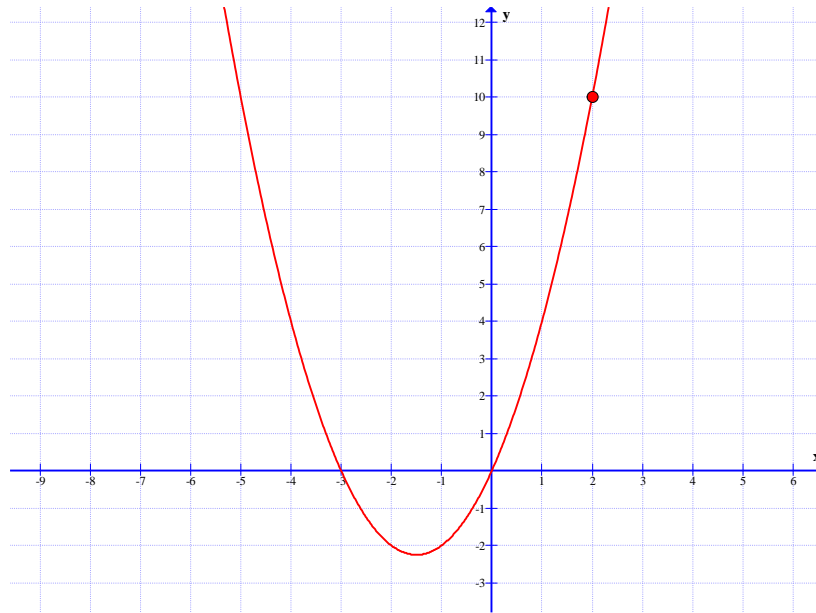
$$\lim_{x \rightarrow a} \sqrt[n]{f(x)} = \sqrt[n]{\lim_{x \rightarrow a} f(x)} = \sqrt[n]{l} \quad (\lim_{x \rightarrow a} f(x) \geq 0 \text{ در صورتی که } n \text{ زوج باشد باید})$$

مثال : نمودار توابع  $f(x) = x^2$  و  $g(x) = 3x$  را در نظر بگیرید.



واضح است که  $\lim_{x \rightarrow 2} f(x) = 4$  و  $\lim_{x \rightarrow 2} g(x) = 6$

اکنون نمودار تابع  $h(x) = x^2 + 3x$  را رسم می کنیم.



در این صورت با توجه به این نمودار معلوم است که :

$$\lim_{x \rightarrow 2} h(x) = 10$$

با توجه به این مطلب نتیجه می شود که :

$$\lim_{x \rightarrow 2} h(x) = \lim_{x \rightarrow 2} f(x) + \lim_{x \rightarrow 2} g(x)$$

یعنی :

$$\lim_{x \rightarrow 2} x^2 + 3x = \lim_{x \rightarrow 2} x^2 + \lim_{x \rightarrow 2} 3x$$

**تمرین ۱ :** فرض کنید که توابع  $f$  و  $g$  و  $h$  روی دامنه ی یکسان تعریف شده باشند و

$$\lim_{x \rightarrow a} h(x) = 0 \text{ و } \lim_{x \rightarrow a} g(x) = 6 \text{ و } \lim_{x \rightarrow a} f(x) = -2$$

در این صورت حد های زیر را در صورت وجود تعیین کنید.

۱)  $\lim_{x \rightarrow a} (f(x) + g(x)) =$

۲)  $\lim_{x \rightarrow a} (f(x))^2 =$

۳)  $\lim_{x \rightarrow a} \frac{f(x)}{g(x)} =$

$$۴) \lim_{x \rightarrow a} \sqrt[۳]{g(x) - f(x)} =$$

$$۵) \lim_{x \rightarrow a} \left( \frac{۲g(x)}{۶f(x) - ۳h(x)} \right) =$$

$$۶) \lim_{x \rightarrow a} \frac{۱}{f(x)} =$$

تمرین ۲: حد های زیر را محاسبه کنید.

$$\text{الف) } \lim_{x \rightarrow ۲} (۳x^۲ + ۲x - ۷)$$

$$\text{ب) } \lim_{x \rightarrow ۳} \frac{۲x - ۱}{x^۲ - ۴x + ۱}$$

$$\text{ج) } \lim_{x \rightarrow ۵} \sqrt{۲x - ۶}$$

ادامه‌ی دستور های اعمال روی توابع

۴: اگر  $b$  یک عدد حقیقی مثبت و  $P(x)$  یک چند جمله ای باشد آنگاه:

$$\lim_{x \rightarrow a} b^{P(x)} = b^{P(a)}$$

مثال:

$$\lim_{x \rightarrow -۱} ۳^{۲x+x^۲} = ۳^{۲(-۱)+(-۱)^۲} = ۳^{-۱} = \frac{۱}{۳}$$

۵: اگر  $x$  بر حسب رادیان باشد. آنگاه:

$$\text{الف) } \lim_{x \rightarrow a} \sin x = \sin a$$

$$\text{ب) } \lim_{x \rightarrow a} \cos x = \cos a$$

$$\text{د) } \lim_{x \rightarrow a} \cot x = \cot a \quad (a \neq k\pi, k \in \mathbb{Z})$$

$$\text{ج) } \lim_{x \rightarrow a} \tan x = \tan a \quad (a \neq k\pi + \frac{\pi}{۲}, k \in \mathbb{Z})$$

مثال:

$$\begin{aligned} \lim_{x \rightarrow \frac{\pi}{2}} (\sqrt{2} \sin x - \cos x) &= \lim_{x \rightarrow \frac{\pi}{2}} (\sqrt{2} \sin x) + \lim_{x \rightarrow \frac{\pi}{2}} (-\cos x) \\ &= \sqrt{2} \lim_{x \rightarrow \frac{\pi}{2}} \sin x - \lim_{x \rightarrow \frac{\pi}{2}} \cos x = \sqrt{2} \sin \frac{\pi}{2} - \cos \frac{\pi}{2} = \sqrt{2}(1) - 0 = \sqrt{2} \end{aligned}$$

**تمرین ۳:** با استفاده از قضایای حد، حد های زیر را محاسبه کنید.

الف)  $\lim_{x \rightarrow 2} \frac{1}{2x^3 - 3x + 1} =$

ج)  $\lim_{x \rightarrow -1} 2^3 x^2 + 1 =$

ب)  $\lim_{x \rightarrow 1} (\sqrt[5]{x^4} - 2x + (x^2 + x)^4) =$

د)  $\lim_{x \rightarrow \frac{\pi}{2}} \frac{\sqrt{2} \sin x + \cos x}{\cos 2x - 3x \sin 2x} =$

**تمرین ۴:** ثابت کنید که  $\lim_{x \rightarrow a} f(x) = L$  اگر و تنها اگر  $\lim_{x \rightarrow a} (f(x) - L) = 0$

اثبات :

قسمت اول:

$$\begin{aligned} \lim_{x \rightarrow a} f(x) = L &\rightarrow \lim_{x \rightarrow a} f(x) - \lim_{x \rightarrow a} L = L - \lim_{x \rightarrow a} L \\ &\xrightarrow{\lim_{x \rightarrow a} L = L} \lim_{x \rightarrow a} (f(x) - L) = L - L \rightarrow \lim_{x \rightarrow a} (f(x) - L) = 0 \end{aligned}$$

قسمت دوم :

$$\begin{aligned} \lim_{x \rightarrow a} (f(x) - L) = 0 &\rightarrow \lim_{x \rightarrow a} f(x) - \lim_{x \rightarrow a} L = 0 \\ &\rightarrow \lim_{x \rightarrow a} f(x) - L = 0 \rightarrow \lim_{x \rightarrow a} f(x) = L \end{aligned}$$

**تمرین ۵:** دو تابع مثال بنزید که هیچ کدام در نقطه‌ی  $x = 1$  حد نداشته باشند، ولی مجموع آن ها در این

نقطه دارای حد باشد.

حل : قرار می دهیم.

$$f(x) = \begin{cases} -x + 1 & x > 1 \\ 2 & x \leq 1 \end{cases} \quad \text{و} \quad g(x) = \begin{cases} x - 1 & x > 1 \\ -2 & x \leq 1 \end{cases}$$

$$\rightarrow (f + g)(x) = \begin{cases} \cdot & x > 1 \\ \cdot & x \leq 1 \end{cases} \rightarrow (f + g)(x) = \cdot$$

در این صورت  $\lim_{x \rightarrow 1} (f + g)(x) = \cdot$  در حالی که دو تابع  $f$  و  $g$  در نقطه‌ی  $x = 1$  دارای حد نیستند.

**تمرین ۶:** دو تابع مثال بزیند که در یک نقطه حد نداشته باشند، ولی تفاضل آن‌ها در این نقطه دارای حد باشد.

حل: قرار می‌دهیم.

$$f(x) = \begin{cases} x & x > \cdot \\ 2 & x \leq \cdot \end{cases} \quad \text{و} \quad g(x) = \begin{cases} x - 1 & x > \cdot \\ 1 & x \leq \cdot \end{cases}$$

$$\rightarrow (f - g)(x) = \begin{cases} 1 & x > \cdot \\ 1 & x \leq \cdot \end{cases} \rightarrow (f - g)(x) = 1$$

در این صورت  $\lim_{x \rightarrow \cdot} (f - g)(x) = 1$  در حالی که دو تابع  $f$  و  $g$  در نقطه‌ی  $x = \cdot$  دارای حد نیستند.

**تمرین ۷:** دو تابع مثال بزیند که هیچ کدام در  $x = \cdot$  حد نداشته باشند، ولی تابع  $\frac{f}{g}$  در  $x = \cdot$  حد داشته باشد.

باشد.

حل: قرار می‌دهیم.

$$f(x) = \begin{cases} 1 & x > \cdot \\ -1 & x < \cdot \end{cases} \quad \text{و} \quad g(x) = \begin{cases} -1 & x > \cdot \\ 1 & x < \cdot \end{cases}$$

$$\rightarrow \left(\frac{f}{g}\right)(x) = \begin{cases} -1 & x > \cdot \\ -1 & x < \cdot \end{cases} \rightarrow \left(\frac{f}{g}\right)(x) = -1$$

در این صورت  $\lim_{x \rightarrow \cdot} \left(\frac{f}{g}\right)(x) = -1$  در حالی که دو تابع  $f$  و  $g$  در نقطه‌ی  $x = \cdot$  دارای حد نیستند.

**تمرین ۸:** نشان دهید توابع  $f(x) = x + 2$  و  $g(x) = \frac{x^2 - 4}{x - 2}$  در نقطه‌ی ۲ دارای حدی برابر هم هستند.

هستند.

حل: برای  $x \neq 2$  داریم:

$$g(x) = \frac{x^2 - 4}{x - 2} = \frac{(x - 2)(x + 2)}{x - 2} = x + 2 = f(x)$$

لذا

$$\lim_{x \rightarrow 2} g(x) = \lim_{x \rightarrow 2} \frac{x^2 - 4}{x - 2} = \lim_{x \rightarrow 2} \frac{(x - 2)(x + 2)}{x - 2} = \lim_{x \rightarrow 2} (x + 2) = 4$$

$$\lim_{x \rightarrow 2} f(x) = \lim_{x \rightarrow 2} (x + 2) = 4$$

تمرین برای حل :

۸: حد های زیر را حساب کنید.

الف)  $\lim_{x \rightarrow -1} (3x^2 - 4x + 5)$

ت)  $\lim_{x \rightarrow 1} \sqrt{3x^2 + x}$

ب)  $\lim_{x \rightarrow 2} \frac{x^3 - 4x + 1}{3x + 2}$

ث)  $\lim_{x \rightarrow 0} (x^2 + 3 \sin x + 1)$

پ)  $\lim_{x \rightarrow \frac{\pi}{4}} (\sin x + \cos x)$

ج)  $\lim_{x \rightarrow a} (3x + x^2 - 5)$

۹: اگر  $\lim_{x \rightarrow 2} f(x) = -1$  و  $\lim_{x \rightarrow 2} g(x) = 3$  حد های زیر را حساب کنید.

الف)  $\lim_{x \rightarrow 2} (3f(x) - 5g(x))$

ب)  $\lim_{x \rightarrow 2} \frac{f(x) + g(x)}{5g(x) + 2}$

۱۰: اگر تابع  $f$  در نقطه‌ی  $x = 3$  حد داشته باشد و  $\lim_{x \rightarrow 3} \frac{2f(x) - 1}{f(x) + 1} = 5$  آنگاه مقدار  $\lim_{x \rightarrow 3} f(x)$

را بیابید.

۱۱: در هر یک از حالت های زیر درباره‌ی حد تابع  $f + g$  چه می توان گفت؟

الف: اگر توابع  $f$  و  $g$  در  $a$  حد نداشته باشند.

ب: اگر تابع  $f$  در  $a$  حد داشته باشد، ولی تابع  $g$  در  $a$  حد نداشته باشد.

ج: هر دو تابع  $f$  و  $g$  در  $a$  حد داشته باشند.

\*\*\*

قسمت دوم: تعمیم قوانین اعمال روی حد توابع

تمام قوانینی که درباره‌ی حد مطرح شد، برای حد های یک طرفه ( حد راست و چپ ) نیز قابل تعمیم است.

مثال :

$$\lim_{x \rightarrow 3^+} (x^2 + [x] + 1) = \lim_{x \rightarrow 3^+} x^2 + \lim_{x \rightarrow 3^+} [x] + \lim_{x \rightarrow 3^+} 1 = 9 + 3 + 1 = 13$$

**توجه :** اگر تابع داده شده شامل جز صحیح باشد، برای محاسبه‌ی حد در یک نقطه، ابتدا باید جز صحیح را

تعین مقدار کرده و جایگزین کنیم و همچنین اگر تابع داده شده شامل قدر مطلق باشد، ابتدا باید درون

قدرمطلق را تعین علامت کرده و قدر مطلق را حذف کنیم و سپس حد را محاسبه می کنیم.

**تمرین ۱۲ :** حد توابع زیر را در نقطه‌ی داده شده ، در صورت وجود بدست آورید.

$$۱) \lim_{x \rightarrow 1^+} \frac{|x-1|}{x-1} \quad ۳) \lim_{x \rightarrow 2^+} [x] + 1 \quad ۵) \lim_{x \rightarrow 1^+} \sqrt{x-1}$$

$$۲) \lim_{x \rightarrow 1^-} \frac{|x-1|}{x-1} \quad ۴) \lim_{x \rightarrow 2^-} [x] + 1 \quad ۶) \lim_{x \rightarrow 1^-} \sqrt{x-1}$$

**تمرین ۱۳ :** با بررسی حد های یکطرفه، حد توابع زیر را در نقطه‌ی داده شده در صورت وجود بدست آورید.

$$۱) \lim_{x \rightarrow 1} (|x-1| + 2) \quad ۴) \lim_{x \rightarrow 3} ([x] + [-x])$$

$$۲) \lim_{x \rightarrow 3} \sqrt{x^2 - 6x + 9} \quad ۵) \lim_{x \rightarrow 2} \frac{|x-2|}{x-2}$$

$$۳) \lim_{x \rightarrow 2} \sqrt{x-2} \quad ۶) \lim_{x \rightarrow 2} \frac{x-2}{[x-2]}$$

**تمرین برای حل :**

**۱۴ :** مقدار  $a$  را چنان بیابید که تابع  $f(x) = a[x] + [x+1]$  در نقطه‌ی  $x=1$  حد داشته باشد.

$$\lim_{x \rightarrow 2^+} \frac{[x]}{x + [x]}$$

**۱۵ :** مقدار حد مقابل را در صورت وجود، بدست آورید.

$$\lim_{x \rightarrow 2^-} \frac{[x]-1}{x-2}$$

**۱۶ :** مقدار حد مقابل را در صورت وجود، بدست آورید.

\*\*\*



## قسمت سوم: حدهای مبهم

گاهی در محاسبه‌ی حد توابع کسری با حالت صفر حدی بر روی صفر حدی<sup>۱</sup> (  $\frac{0}{0}$  ) برخورد می‌کنیم. در اصطلاح گفته می‌شود که حد مبهم است و مقدار آن روش جایگزینی مستقیم به دست نمی‌آید، بلکه باید قبل از جایگزینی عامل صفر کننده (عامل ابهام) را از صورت و مخرج حذف کنیم. این عمل را رفع ابهام گویند.

برای حذف عامل ابهام لازم است با توجه به نوع تابع یکی از روش‌های زیر را بکار بگیریم.

**الف)** اگر صورت و مخرج کسری، چند جمله‌ای باشند، صورت و مخرج را تجزیه کنید و سپس کسر را ساده کنید.<sup>۲</sup>

**مثال:** حد زیر را حساب کنید.

$$\lim_{x \rightarrow 2} \frac{x^2 - 4}{3x - 6}$$

حل:

$$\lim_{x \rightarrow 2} \frac{x^2 - 4}{3x - 6} = \frac{(2)^2 - 4}{3(2) - 6} = \frac{0}{0} \quad \text{مبهم}$$

$$\lim_{x \rightarrow 2} \frac{x^2 - 4}{3x - 6} = \lim_{x \rightarrow 2} \frac{(x-2)(x+2)}{3(x-2)} = \lim_{x \rightarrow 2} \frac{x+2}{3} = \frac{2+2}{3} = \frac{4}{3}$$

**مثال:** حد زیر را محاسبه کنید.

$$\lim_{x \rightarrow -2} \frac{x^2 + 6x + 8}{x^2 - 4}$$

حل:

۱. عدد بسیار کوچک مثبت و نزدیک صفر و یا عدد بسیار کوچک منفی و نزدیک صفر، را صفر حدی می‌نامند.  
 ۲. در صورتی که تجزیه‌ی صورت یا مخرج کسر مشکل باشد، می‌توان از تقسیم صورت یا مخرج بر عامل صفر کننده استفاده نمود.

$$\lim_{x \rightarrow -2} \frac{x^2 + 6x + 8}{x^2 - 4} = \frac{(-2)^2 + 6(-2) + 8}{(-2)^2 - 4} = \frac{4 - 12 + 8}{4 - 4} = \frac{0}{0} \quad \text{مبهم}$$

$$\lim_{x \rightarrow -2} \frac{x^2 + 6x + 8}{x^2 - 4} = \lim_{x \rightarrow -2} \frac{(x+2)(x+4)}{(x-2)(x+2)} = \lim_{x \rightarrow -2} \frac{x+4}{x-2} = \frac{(-2)+4}{(-2)-2} = \frac{2}{-4} = -\frac{1}{2}$$

**ب)** اگر صورت یا مخرج کسری شامل رادیکال با فرجه‌ی ۲ باشند، صورت یا مخرج را گویا کنید. برای گویا

کردن، معمولاً صورت یا مخرج را در مزدوج عبارت رادیکالی ضرب کنید.

**مثال:** حد زیر را حساب کنید.

$$\lim_{x \rightarrow 9} \frac{2x - 18}{\sqrt{x} - 3}$$

حل:

$$\lim_{x \rightarrow 9} \frac{2x - 18}{\sqrt{x} - 3} = \frac{2(9) - 18}{\sqrt{9} - 3} = \frac{0}{0} \quad \text{مبهم}$$

$$\lim_{x \rightarrow 9} \frac{2x - 18}{\sqrt{x} - 3} = \lim_{x \rightarrow 9} \frac{2x - 18}{\sqrt{x} - 3} \times \frac{\sqrt{x} + 3}{\sqrt{x} + 3} = \lim_{x \rightarrow 9} \frac{2(x-9)}{(\sqrt{x})^2 - (3)^2} \times (\sqrt{x} + 3)$$

$$= \lim_{x \rightarrow 9} \frac{2(x-9)}{x-9} \times (\sqrt{x} + 3) = \lim_{x \rightarrow 9} 2(\sqrt{x} + 3) = 2(\sqrt{9} + 3) = 12$$

**مثال:** حد زیر را حساب کنید.

$$\lim_{x \rightarrow 2} \frac{\sqrt{x^2 + 5} - 3}{x - 2}$$

حل:

$$\lim_{x \rightarrow 2} \frac{\sqrt{x^2 + 5} - 3}{x - 2} = \frac{\sqrt{(2)^2 + 5} - 3}{(2) - 2} = \frac{\sqrt{9} - 3}{2 - 2} = \frac{0}{0} \quad \text{مبهم}$$

$$\begin{aligned} \lim_{x \rightarrow 2} \frac{\sqrt{x^2 + 5} - 3}{x - 2} &= \lim_{x \rightarrow 2} \frac{\sqrt{x^2 + 5} - 3}{x - 2} \times \frac{\sqrt{x^2 + 5} + 3}{\sqrt{x^2 + 5} + 3} = \lim_{x \rightarrow 2} \frac{(\sqrt{x^2 + 5})^2 - (3)^2}{(x - 2)(\sqrt{x^2 + 5} + 3)} \\ &= \lim_{x \rightarrow 2} \frac{x^2 + 5 - 9}{(x - 2)(\sqrt{x^2 + 5} + 3)} = \lim_{x \rightarrow 2} \frac{x^2 - 4}{(x - 2)(\sqrt{x^2 + 5} + 3)} \\ &= \lim_{x \rightarrow 2} \frac{(x - 2)(x + 2)}{(x - 2)(\sqrt{x^2 + 5} + 3)} = \lim_{x \rightarrow 2} \frac{x + 2}{\sqrt{x^2 + 5} + 3} = \frac{2 + 2}{\sqrt{(2)^2 + 5} + 3} = \frac{4}{3 + 3} = \frac{2}{3} \end{aligned}$$

ج) اگر صورت یا مخرج شامل عبارت مثلثاتی باشد، از روابط مثلثاتی استفاده کنید.

مثال: حد زیر را حساب کنید.

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{1 - \cos x}{x^2}$$

حل:

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{1 - \cos x}{x} = \frac{1 - \cos(0)}{0} = \frac{0}{0} \text{ مبهم}$$

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{1 - \cos x}{x^2} = \lim_{x \rightarrow 0} \frac{1 - \cos x}{x^2} \times \frac{1 + \cos x}{1 + \cos x} = \lim_{x \rightarrow 0} \frac{1 - \cos^2 x}{x^2} \times \frac{1}{1 + \cos x}$$

$$\stackrel{\text{در}}{=} \lim_{x \rightarrow 0} \frac{1 - \cos^2 x}{x^2} \times \frac{1}{1 + \cos x} = \lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin^2 x}{x^2} \times \frac{1}{1 + \cos x} = 1 \times \frac{1}{1 + \cos(0)} = \frac{1}{2}$$

توجه: ابتدای این فصل داشتیم:

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin x}{x} = 1$$

از این تساوی می توان نتایج زیر را نیز به دست آورد.

$$\begin{aligned} \lim_{u \rightarrow 0} \frac{\sin u}{u} = 1 & \quad \text{و} \quad \lim_{u \rightarrow 0} \frac{u}{\sin u} = 1 \\ \lim_{u \rightarrow 0} \frac{\tan u}{u} = 1 & \quad \text{و} \quad \lim_{u \rightarrow 0} \frac{u}{\tan u} = 1 \end{aligned}$$

از این نتایج برای محاسبه ی حد بسیاری از توابع مثلثاتی می توان استفاده کرد.

مثال: حد های زیر را حساب کنید.

$$۱) \lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin 5x}{5x}$$

$$۴) \lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin^3 x}{x^3 \tan x}$$

$$۲) \lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin 3x}{3x}$$

$$۵) \lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin mx}{nx}$$

$$۳) \lim_{x \rightarrow 0} \frac{\tan x}{\sin x}$$

$$۶) \lim_{x \rightarrow 0} \frac{3x + \sin x}{x}$$

حل:

$$۱) \lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin 5x}{5x} = 1$$

$$۲) \lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin 3x}{3x} = \lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin 3x}{3x} \times \frac{3}{3} = 1 \times \frac{3}{3} = 1$$

$$۳) \lim_{x \rightarrow 0} \frac{\tan x}{\sin x} = \lim_{x \rightarrow 0} \frac{\tan x}{x} \times \frac{x}{\sin x} = 1 \times 1 = 1$$

$$۴) \lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin^3 x}{x^3 \tan x} = \lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin^3 x}{x^3} \times \frac{\sin x}{\tan x} = \lim_{x \rightarrow 0} \left(\frac{\sin x}{x}\right)^3 \times \frac{\sin x}{x} \times \frac{x}{\tan x} = 1$$

$$۵) \lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin mx}{nx} = \lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin mx}{mx} \times \frac{m}{n} = 1 \times \frac{m}{n} = \frac{m}{n}$$

$$۶) \lim_{x \rightarrow 0} \frac{3x + \sin x}{x} = \lim_{x \rightarrow 0} \left(\frac{3x}{x} + \frac{\sin x}{x}\right) = 3 + 1 = 4$$

نتیجه:  $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin mx}{nx} = \frac{m}{n}$

مثال: حد زیر را حساب کنید.

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{3x + \sin 4x}{3x}$$

حل:

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{3x + \sin 4x}{3x} = \lim_{x \rightarrow 0} \frac{3x}{3x} + \frac{\sin 4x}{3x} = 1 + \frac{4}{3} = \frac{7}{3}$$

**توجه:** گاهی لازم می شود قبل از اقدام به رفع ابهام، متغیر را تغییر دهیم و متغیر جدیدی را تعریف کنیم. توجه داشته باشید که متغیر جدید ممکن است به عددی دیگری میل کند و باید در محاسبه اعمال شود.

**مثال:** حد زیر را حساب کنید.

$$\lim_{x \rightarrow 1} \frac{2x - 3\sqrt{x} + 1}{x - 1}$$

$$\lim_{x \rightarrow 1} \frac{2x - 3\sqrt{x} + 1}{x - 1} = \frac{0}{0} \xrightarrow{\sqrt{x}=t} \lim_{x \rightarrow 1} \frac{2x - 3\sqrt{x} + 1}{x - 1} = \lim_{t \rightarrow 1} \frac{2t^2 - 3t + 1}{t^2 - 1}$$

$$= \lim_{t \rightarrow 1} \frac{(t-1)(2t-1)}{(t-1)(t+1)} = \lim_{t \rightarrow 1} \frac{2t-1}{t+1} = \frac{1}{2}$$

**مثال:** حد زیر را حساب کنید.

$$\lim_{x \rightarrow -2} \frac{\sin(x+2)}{3x+6}$$

حل: کافی است قرار دهیم  $x+2=t$

$$\lim_{x \rightarrow -2} \frac{\sin(x+2)}{3x+6} = \lim_{x+2 \rightarrow 0} \frac{\sin(x+2)}{3(x+2)} = \lim_{t \rightarrow 0} \frac{\sin t}{3t} = \lim_{t \rightarrow 0} \frac{\sin t}{t} \times \frac{1}{3} = 1 \times \frac{1}{3} = \frac{1}{3}$$

**تمرین برای حل:**

**۱۷:** حدهای زیر را حساب کنید.

الف)  $\lim_{x \rightarrow 1} \frac{x^2 + 2x - 3}{x - 1}$

ج)  $\lim_{x \rightarrow 1} \frac{x^2 - 1}{2 - \sqrt{x} + 3}$

ب)  $\lim_{x \rightarrow -2} \frac{x^2 - 4}{x^2 + 5x + 6}$

د)  $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{3 \sin x + 2 \tan x}{5x}$

**۱۸:** حد زیر را محاسبه کنید.

$$\lim_{x \rightarrow -3} \frac{x^2 + 7x + 12}{x^3 + 4x^2 + 4x + 3}$$

**۱۹:** حدهای زیر را حساب کنید.

الف)  $\lim_{x \rightarrow 3} \frac{x^2 - 3x}{x^2 - 9}$

ت)  $\lim_{x \rightarrow \frac{\pi}{2}} \frac{1 - \sin^2 x}{1 - \sin x}$

ب)  $\lim_{x \rightarrow -2} \frac{x^3 + 8}{x + 2}$

ث)  $\lim_{x \rightarrow 2} \frac{\sqrt{x+2} - x}{3 - \sqrt{x+7}}$

پ)  $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\tan x - \sin x}{x^3}$

ح)  $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin x}{\sqrt{1 + \tan x} - \sqrt{1 - \tan x}}$

۲۰: مقدار  $a$  را طوری بیابید که  $\lim_{x \rightarrow a} \frac{x^2 - a^2}{x - a} = 8$  باشد.

۲۱: حدهای زیر را حساب کنید.

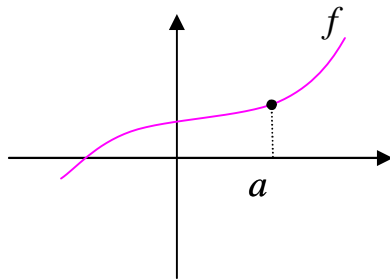
الف)  $\lim_{x \rightarrow -1} \frac{\tan(x+1) \times \sin^2(x+1)}{\delta(x+1)^3}$

ب)  $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{2 \sin \frac{x}{2} - 3 \tan \frac{1}{3} x}{x}$

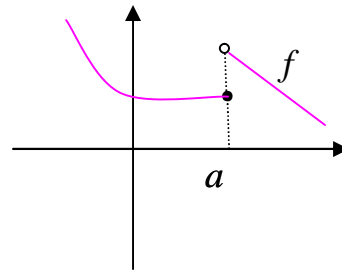
\*\*\*

## درس سوم: پیوستگی توابع

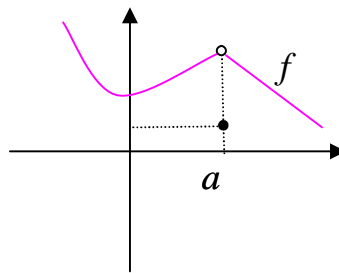
بررسی پیوستگی یک تابع در یک نقطه می تواند در شناخت رفتار یک تابع کمک نماید. از نظر هندسی تابعی را در یک نقطه، پیوسته گویند، هرگاه نمودار آن تابع در این نقطه بریدگی یا پرش نداشته باشد. به نمودارهای زیر توجه کنید.



تابع در نقطه‌ی  $x = a$  پیوسته است.



تابع در نقطه‌ی  $x = a$  پیوسته نیست.



تابع در نقطه‌ی  $x = a$  پیوسته نیست.

\*\*\*

### قسمت اول: تعریف ریاضی پیوستگی تابع در یک نقطه

تابع  $y = f(x)$  را در نقطه‌ی  $x = a$  پیوسته گویند، هرگاه سه شرط زیر برقرار باشد.

(الف) تابع در نقطه‌ی  $x = a$  تعریف شده باشد. یعنی  $f(a)$  وجود داشته باشد.

(ب) تابع در نقطه‌ی  $x = a$  حد داشته باشد. یعنی  $\lim_{x \rightarrow a^+} f(x) = \lim_{x \rightarrow a^-} f(x)$

(ج) حد تابع در این نقطه با مقدار آن برابر باشد.  $\lim_{x \rightarrow a} f(x) = f(a)$

به عبارتی دیگر تابع  $y = f(x)$  در نقطه‌ی  $x = a$  پیوسته است، هرگاه

$$\lim_{x \rightarrow a^+} f(x) = \lim_{x \rightarrow a^-} f(x) = f(a)$$

اگر یکی از شرط‌های فوق برقرار نباشد، گویند تابع در  $x = a$  پیوسته نیست.

مثال: پیوستگی تابع زیر را در نقطه‌ی  $x = 1$  بررسی کنید.

$$f(x) = \begin{cases} \sqrt{x^2 + 3} & x > 1 \\ 5 & x = 1 \\ 2x - 5 & x < 1 \end{cases}$$

حل: کافی است، شرایط پیوستگی را بررسی کنیم.

$$\text{حد راست } \lim_{x \rightarrow 1^+} f(x) = \lim_{x \rightarrow 1^+} \sqrt{x^2 + 3} = \sqrt{(1)^2 + 3} = 2$$

$$\text{حد چپ } \lim_{x \rightarrow 1^-} f(x) = \lim_{x \rightarrow 1^-} (2x - 5) = 2(1) - 5 = -3$$

$$\text{مقدار } f(1) = 5$$

لذا تابع در نقطه‌ی  $x = 1$  پیوسته نیست.

مثال: پیوستگی تابع زیر را در نقطه‌ی  $x = 2$  بررسی کنید.

$$f(x) = \begin{cases} x^2 + 1 & x \leq 2 \\ 3x - 1 & x > 2 \end{cases}$$

حل: کافی است، شرایط پیوستگی را بررسی کنیم.

$$\text{حد راست } \lim_{x \rightarrow 2^+} f(x) = \lim_{x \rightarrow 2^+} (3x - 1) = 3(2) - 1 = 5$$

$$\text{حد چپ } \lim_{x \rightarrow 2^-} f(x) = \lim_{x \rightarrow 2^-} (x^2 + 1) = (2)^2 + 1 = 5$$

$$\text{مقدار } f(2) = (2)^2 + 1 = 5$$

لذا تابع در نقطه‌ی  $x = 2$  پیوسته است.

مثال: تابع زیر در نقطه‌ی  $x = 1$  پیوسته است. مقدار  $a$  را بیابید.

$$f(x) = \begin{cases} 2ax^2 + 5 & x \geq 1 \\ 6x - 3 & x < 1 \end{cases}$$

حل:



$$\text{حد راست } \lim_{x \rightarrow 1^+} f(x) = \lim_{x \rightarrow 1^+} (2ax^2 + 5x) = 2a(1)^2 + 5(1) = 2a + 5$$

$$\text{حد چپ } \lim_{x \rightarrow 1^-} f(x) = \lim_{x \rightarrow 1^-} (6x - 3) = 6(1) - 3 = 3$$

$$\text{مقدار } f(1) = 2a(1)^2 + 5(1) = 2a + 5$$

و چون تابع در نقطه‌ی  $x = 1$  پیوسته است، پس :

$$2a + 5 = 3 \rightarrow 2a = 3 - 5 \rightarrow 2a = -2 \rightarrow a = -1$$

**تمرین برای حل :**

۱ : پیوستگی تابع زیر را در نقطه‌ی  $x = 2$  بررسی کنید.

$$f(x) = \begin{cases} 3x + 1 & x < 2 \\ x + 5 & x = 2 \\ 9 - x & x > 2 \end{cases}$$

۲ : پیوستگی تابع زیر را در نقطه‌ی  $x = 5$  بررسی کنید.

$$f(x) = 1 + 2[x]$$

۳ : پیوستگی تابع علامت را در نقطه‌ی  $x = 0$  بررسی کنید.

۴ : نمودار تابعی را رسم کنید که در نقطه‌ی  $x = 1$  پیوسته باشد ولی در نقطه‌ی  $x = -1$  پیوسته نباشد.

۵ : مقادیر  $a$  و  $b$  را طوری پیدا کنید که تابع زیر در نقطه‌ی  $x = -2$  پیوسته باشد.

$$f(x) = \begin{cases} 2ax + b & x < -2 \\ 5 & x = -2 \\ 2bx - 3 & x > -2 \end{cases}$$

\*\*\*

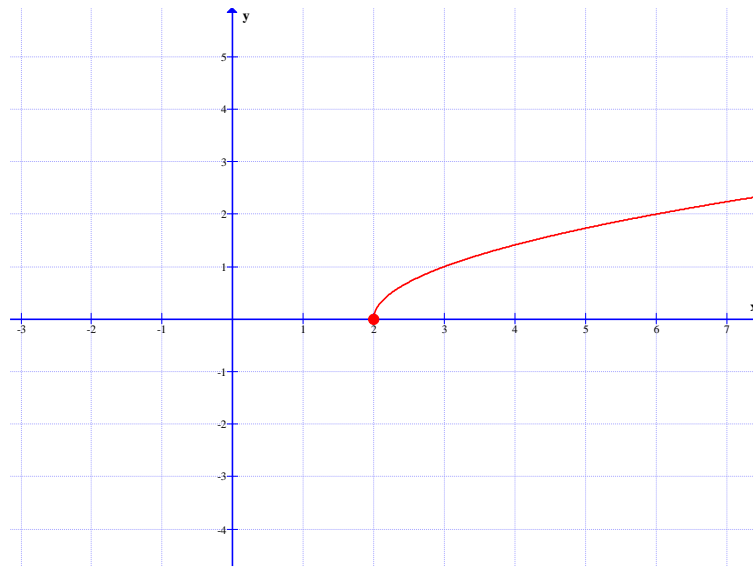
قسمت دوم: پیوستگی های یک طرفه

گویند تابع  $f$  در نقطه‌ی  $x = a$  پیوستگی راست دارد، هرگاه  $\lim_{x \rightarrow a^+} f(x) = f(a)$

همچنین گویند تابع  $f$  در نقطه‌ی  $x = a$  پیوستگی راست دارد، هرگاه  $\lim_{x \rightarrow a^-} f(x) = f(a)$

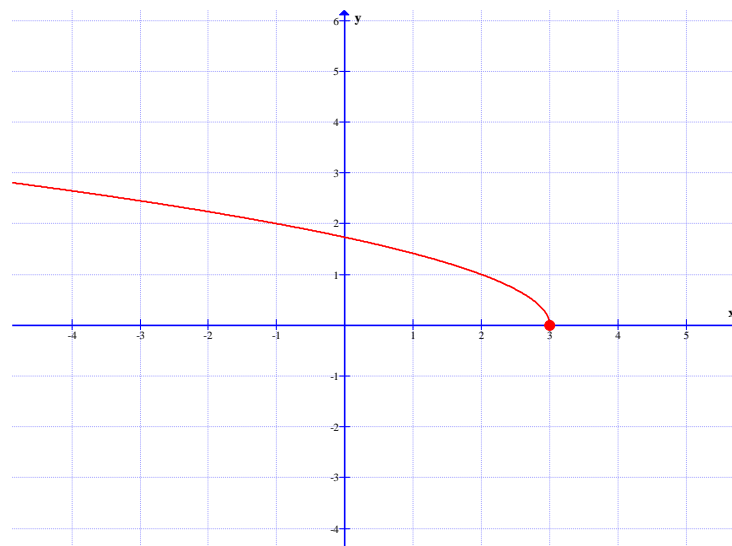
**مثال:** تابع  $f(x) = \sqrt{x-2}$  در نقطه‌ی  $x = 2$  پیوستگی راست دارد. زیرا:

$$\lim_{x \rightarrow 2^+} f(x) = f(2) = 0$$



**مثال:** تابع  $f(x) = \sqrt{3-x}$  در نقطه‌ی  $x = 3$  پیوستگی چپ دارد

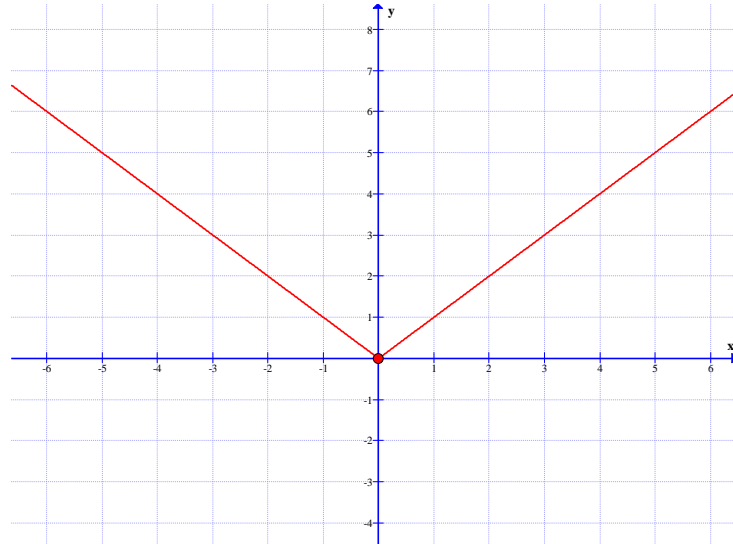
$$\lim_{x \rightarrow 3^-} f(x) = f(3) = 0$$



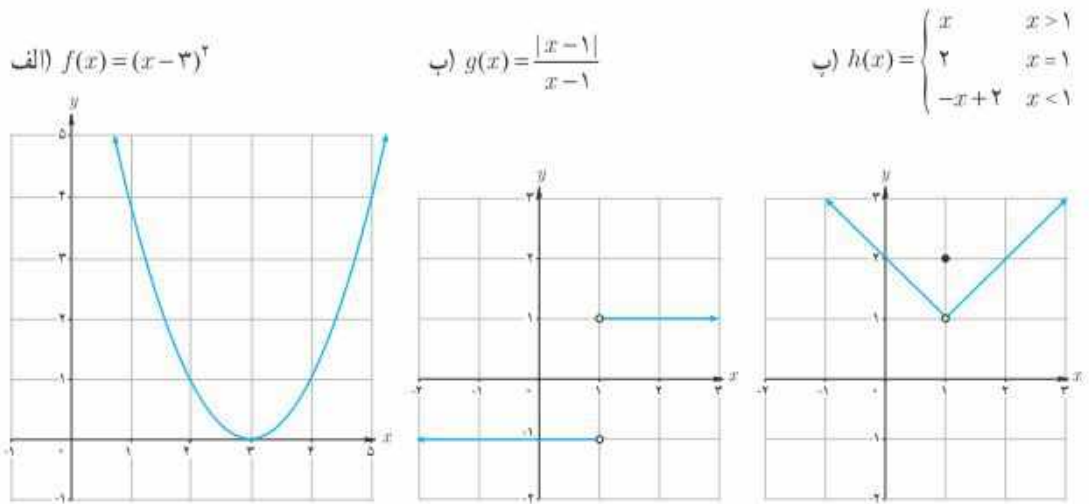
**مثال:** تابع  $f(x) = |x|$  در نقطه‌ی  $x = 0$  هم پیوستگی راست و هم پیوستگی چپ دارد.

زیرا:

$$\lim_{x \rightarrow 0^+} f(x) = f(0) = 0 \quad \text{و} \quad \lim_{x \rightarrow 0^-} f(x) = f(0) = 0$$



**تمرین ۶:** پیوستگی هر یک از توابع زیر را در نقطه‌ی  $x = 1$  بررسی کنید

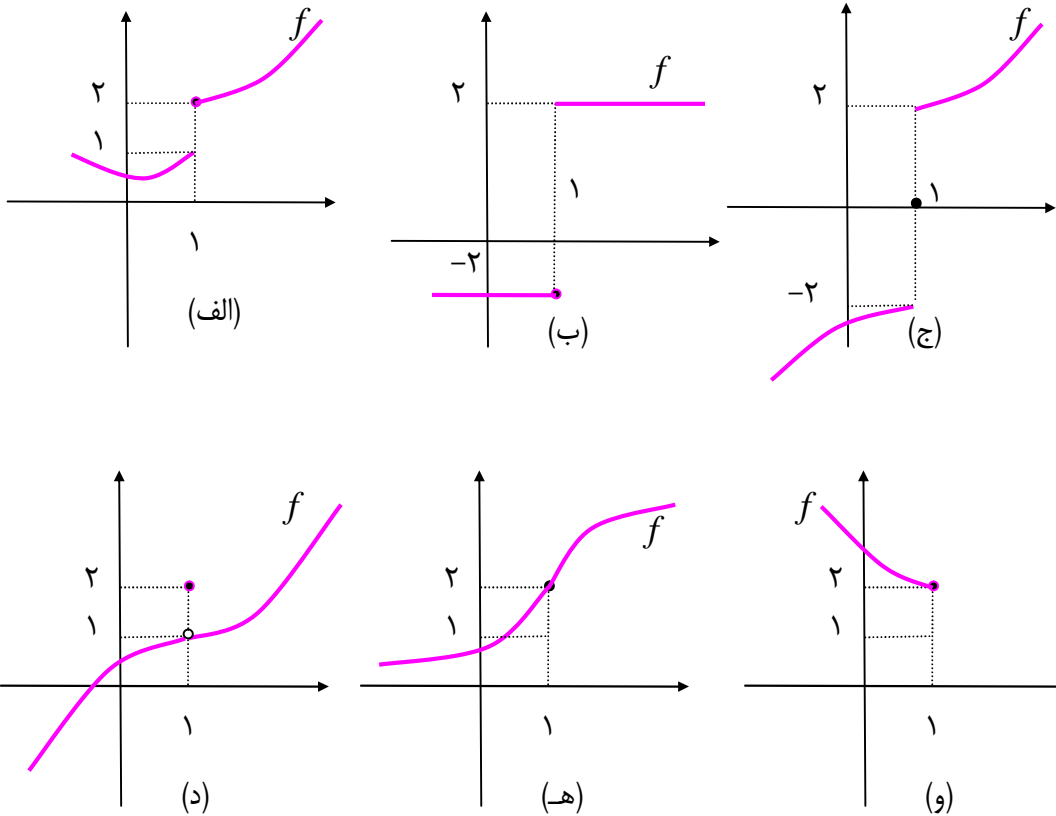


**تمرین ۷:** پیوستگی تابع زیر را در نقطه‌ی  $x = 1$  بررسی کنید.

$$f(x) = \begin{cases} -x + 3 & x < 1 \\ 2x & x \geq 1 \end{cases}$$

تمرین برای حل :

۸: در هر مورد پیوستگی تابع داده شده را در نقطه ی  $x = 1$  بررسی کنید.



۹: مقدار  $k$  را طوری بیابید که تابع زیر در نقطه ی  $x = 4$  پیوستگی راست داشته باشد.

$$f(x) = \begin{cases} x - k & x > 4 \\ 5 + 3x^2 & x = 4 \\ -x + 1 & x < 4 \end{cases}$$

۱۰: پیوستگی تابع  $x = 1$  را بررسی کنید.

$$f(x) = \begin{cases} -2x + 5 & x \leq 1 \\ x^2 + 2 & x > 1 \end{cases}$$

۱۱: تابعی مثال بنویسید که حد آن در نقطه ی  $x = 1$  برابر  $-1$  باشد، ولی در این نقطه پیوسته نباشد. نمودار

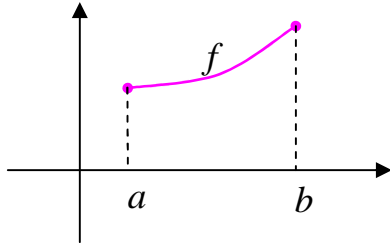
این تابع را رسم کنید.

\*\*\*

### قسمت سوم: پیوستگی در یک فاصله

پیوستگی در یک فاصله را به یکی از حالت های زیر تعریف می کنیم.

**تعریف ۱:** تابع  $y = f(x)$  را در فاصله ای مانند  $[a, b]$  پیوسته گویند، هرگاه



(الف) در تمام نقاط فاصله  $(a, b)$  پیوسته باشد.

(ب) در نقطه  $x = a$  پیوستگی راست داشته باشد.

(ج) در نقطه  $x = b$  پیوستگی چپ داشته باشد.

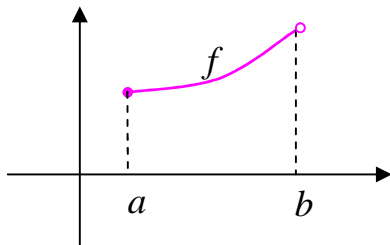
\*\*\*

**تعریف ۲:** تابع  $y = f(x)$  را در فاصله ای مانند  $[a, b)$  پیوسته

گویند، هرگاه

(الف) در تمام نقاط فاصله  $(a, b)$  پیوسته باشد.

(ب) در نقطه  $x = a$  پیوستگی راست داشته باشد.



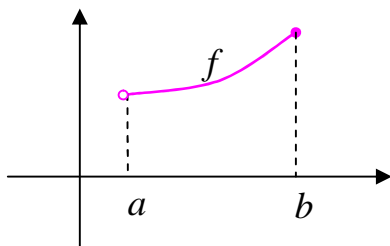
\*\*\*

**تعریف ۳:** تابع  $y = f(x)$  را در فاصله ای مانند  $(a, b]$  پیوسته

گویند، هرگاه

(الف) در تمام نقاط فاصله  $(a, b)$  پیوسته باشد.

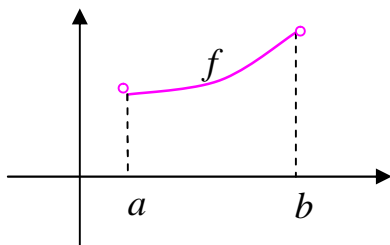
(ب) در نقطه  $x = b$  پیوستگی چپ داشته باشد.



\*\*\*

**تعریف ۴:** تابع  $y = f(x)$  را در فاصله ای مانند  $(a, b)$  پیوسته

گویند، هرگاه در تمام نقاط این فاصله پیوسته باشد.



\*\*\*

**مثال:** پیوستگی تابع  $f(x) = [x]$  را در فاصله‌ی  $(1, 2)$  بررسی کنید.

حل: ابتدا ثابت می‌کنیم که تابع در نقطه‌ی  $x = 1$  پیوستگی راست دارد.

$$\text{مقدار } f(1) = [1] = 1$$

$$\text{حد راست } \lim_{x \rightarrow 1^+} f(x) = [1^+] = 1$$

تابع در  $x = 1$  پیوستگی راست دارد.

حال نشان می‌دهیم که تابع در تمام نقاط فاصله‌ی  $(1, 2)$  پیوسته است. گیریم که  $a \in (1, 2)$  پس  $[a] = 1$

$$\text{مقدار تابع } f(a) = [a] = 1$$

$$\text{حد راست } \lim_{x \rightarrow a^+} f(x) = [a^+] = 1$$

$$\text{حد چپ } \lim_{x \rightarrow a^-} f(x) = [a^-] = 1$$

تابع در تمام نقاط فاصله‌ی  $(1, 2)$  پیوسته است.

\*\*\*

**مثال:** پیوستگی تابع  $f(x) = 2x + \sqrt{2-x}$  را در فاصله‌ی  $(1, 2)$  بررسی کنید.

حل: ابتدا ثابت می‌کنیم که تابع در نقطه‌ی  $x = 2$  پیوستگی چپ دارد.

$$\text{مقدار } f(2) = 2(2) + \sqrt{2-2} = 4$$

$$\text{حد راست } \lim_{x \rightarrow 2^-} f(x) = 2(2) + \sqrt{2-2} = 4$$

تابع در  $x = 2$  پیوستگی چپ دارد.

حال نشان می‌دهیم که تابع در تمام نقاط فاصله‌ی  $(1, 2)$  پیوسته است. گیریم که  $a \in (1, 2)$

$$\text{مقدار تابع } f(a) = 2a + \sqrt{2-a} = 2a + 1$$

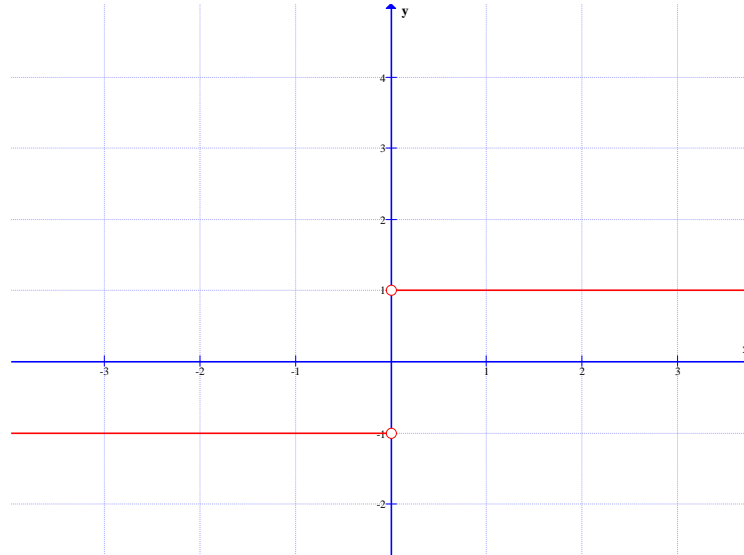
$$\text{حد راست } \lim_{x \rightarrow a^+} f(x) = 2a + \sqrt{2-a}$$

$$\text{حد چپ } \lim_{x \rightarrow a^-} f(x) = 2a + \sqrt{2-a}$$

تابع در تمام نقاط فاصله‌ی  $(1, 2)$  پیوسته است.

**مثال:** دو بازه‌ی بسته مثال بزنید که تابع  $f(x) = \frac{|x|}{x}$  در یکی از آنها پیوسته و در دیگری ناپیوسته باشد.

**حل:** تابع  $f$  در بازه‌ی  $[1, 2]$  پیوسته است ولی در بازه‌ی  $[-1, 1]$  ناپیوسته است.



**تمرین ۱۲:** تابع زیر را در نظر بگیرید. سپس درستی یا نادرستی هر عبارت را مشخص کنید.

$$f(x) = \begin{cases} 2x + 4 & x < -1 \\ x^2 - 1 & -1 \leq x < 2 \\ -x + 5 & 2 < x < 5 \end{cases}$$

الف)  $\lim_{x \rightarrow 5} f(x) = 0$  (پ)

ب)  $\lim_{x \rightarrow 5^-} f(x) = 0$

ج)  $\lim_{x \rightarrow 5^+} f(x) = 0$

ت) تابع  $f$  روی بازه‌ی  $(-\infty, -1]$  پیوسته است. (ث) تابع  $f$  روی بازه‌ی  $(-\infty, -1)$  پیوسته است.

ح) تابع  $f$  روی بازه‌ی  $[2, 5]$  پیوسته است. (ج) تابع  $f$  روی بازه‌ی  $(-2, 0)$  پیوسته است.

\*\*\*

**توجه:** فاصله‌ای که یک تابع در تمام نقاط آن پیوسته باشد را **فاصله‌ی پیوستگی** می‌نامند. برای تعیین

فاصله‌ی پیوستگی یک تابع ابتدا دامنه‌ی تابع را تعیین می‌کنیم و سپس پیوستگی تابع را در تمام نقاط مرزی

و یا شکستگی بررسی کرده و در صورت ناپیوسته بودن در آن نقاط آنها را از دامنه حذف می‌کنیم.

منظور از نقاط مرزی نقاط ابتدا و انتهای دامنه (به شرط اینکه بصورت بسته باشند) و منظور از نقاط شکستگی

نقاطی که در آنها ضابطه‌ی تابع عوض می‌شود.

**مثال:** ابتدا دامنه‌ی تابع زیر را بدست آورده و سپس فاصله‌ی پیوستگی آن را تعیین کنید.

$$f(x) = \begin{cases} x+2 & x \geq 1 \\ x-1 & x < 1 \end{cases}$$

حل: واضح است که  $D_f = \{x \mid x \geq 1\} \cup \{x \mid x < 1\} = R$

حال پیوستگی تابع را در نقطه‌ی  $x=1$  بررسی می‌کنیم.

$$\lim_{x \rightarrow 1^+} f(x) = 1 + 2 = 3$$

$$\lim_{x \rightarrow 1^-} f(x) = 1 - 1 = 0$$

$$f(1) = 1 + 2 = 3$$

لذا تابع در این نقطه پیوسته نمی‌باشد و در نتیجه فاصله‌ی پیوستگی آن به صورت زیر است.

$$R - \{1\} = (-\infty, 1) \cup (1, +\infty)$$

**مثال:** فاصله‌ی پیوستگی تابع زیر را تعیین کنید.

$$f(x) = \begin{cases} x+2 & x \geq 1 \\ \frac{1}{x} - 3 & x < 1 \end{cases}$$

حل: واضح است که  $D_f = R - \{0\}$

حال پیوستگی تابع را در نقطه‌ی  $x=1$  بررسی می‌کنیم.

$$\lim_{x \rightarrow 1^+} f(x) = 1 + 2 = 3$$

$$\lim_{x \rightarrow 1^-} f(x) = 1 - 3 = -2$$

$$f(1) = 1 + 2 = 3$$

لذا تابع در این نقطه پیوسته نمی‌باشد و در نتیجه فاصله‌ی پیوستگی آن به صورت زیر است.

$$R - \{1, 0\} = (-\infty, 0) \cup (0, 1) \cup (1, +\infty)$$

**تمرین ۱۲:** فاصله‌ی پیوستگی تابع زیر را تعیین کنید.

$$f(x) = \begin{cases} x+2 & x \geq 1 \\ 4x-1 & x < 1 \end{cases}$$



تمرین برای حل :

۱۳: ثابت کنید که تابع زیر در مجموعه‌ی اعداد حقیقی پیوسته است.

$$f(x) = \begin{cases} |x-1| & x < 1 \\ x - [x] & 1 \leq x < 2 \\ -x + 3 & x \geq 2 \end{cases}$$

۱۴: مقدار  $a$  و  $b$  را طوری بیابید که تابع زیر در مجموعه‌ی اعداد حقیقی پیوسته باشد.

$$f(x) = \begin{cases} \sqrt{1-x} & x < 1 \\ ax + b & 1 \leq x < 3 \\ x^2 & x \geq 3 \end{cases}$$

\*\*\*

قسمت چهارم : توابع پیوسته

تابع  $f$  را تابع پیوسته گویند، هرگاه در تمام نقاط دامنه‌ی خود پیوسته<sup>۱</sup> باشد. در این صورت

الف : هر تابع چند جمله ای در تمام نقاط پیوسته است.

ب : تابع ثابت و تابع همانی در تمام نقاط پیوسته هستند.

ج : تابع کسری وقتی همواره پیوسته است، هرگاه مخرج آن ریشه نداشته باشد.

د : هر تابع رادیکالی با فرجه‌ی زوج (تابع اصم) به ازاء همه‌ی مقادیر حقیقی که زیر رادیکال را نامنفی کند، پیوسته است.

و : توابع مثلثاتی  $f(x) = \sin x$  و  $f(x) = \cos x$  تمام نقاط پیوسته است.

**مثال :** نقاطی را تعیین کنید که تابع زیر در آن نقاط پیوسته نباشد.

$$f(x) = \frac{3x - 5}{x^2 - 4x}$$

حل : کافی است ریشه‌های مخرج تابع را تعیین کنیم.

$$x^2 - 4x = 0 \rightarrow x(x - 4) = 0 \rightarrow x = 0, x = 4$$

<sup>۱</sup>. به عبارتی دیگر نمودار تابع در تمام نقاط پرش یا بریدگی نداشته باشد.

تمرین برای حل :

۱۵: نقاطی را تعیین کنید که تابع زیر در آن نقاط پیوسته نباشد.

الف)  $f(x) = \frac{3x-1}{x^2-4}$

ب)  $f(x) = \frac{5}{x^3-4x}$

۱۶: ثابت کنید که تابع  $f(x) = \frac{x+2}{x^2+5}$  همواره پیوسته است.

۱۷: فاصله‌ی پیوستگی تابع زیر را بدست آورید.

$$f(x) = \frac{\sqrt{x+2}}{\sqrt{3-x}}$$

۱۸: نقاط ناپیوستگی تابع زیر را در فاصله‌ی [۱,۶] تعیین کنید.

$$f(x) = [x] + \sqrt{x-2}$$

۱۹: نقاط ناپیوستگی تابع زیر را تعیین کنید.

$$f(x) = \frac{\sqrt{x+1}}{x^2+3x}$$

\*\*\*

# ریاضی ۲

پایه می یازدهم « رشته می علوم تجربی »

فصل ۷ : آمار و احتمال

## درس اول: احتمال شرطی و پیشامدهای مستقل

قبل از ورود به مفهوم احتمال شرطی ، مفاهیم مقدماتی مربوط به احتمال را یادآوری می کنیم.

### قسمت اول: یادآوری مفاهیم احتمال

مفاهیم مربوط به احتمال که در پایه های قبل با آنها آشنا شده اید به شرح زیر می باشند.

#### ۱ : پدیده ی تصادفی

هر پدیده یا آزمایش که نتیجه ی آن را نتوان قبل از انجام به طور قطعی پیش بینی کرد را پدیده ی تصادفی می نامند.

#### ۲ : فضای نمونه ای

مجموعه ی همه ی نتایج ممکن یک آزمایش تصادفی را فضای نمونه ای می نامند و آن را با  $S$  نمایش می دهند.

#### ۳ : برآمد

هر یک از اعضای فضای نمونه ای را برآمد می گویند.

#### ۴ : پیشامد تصادفی

هر زیر مجموعه از فضای نمونه ای را پیشامد تصادفی نامیده می شود و آنرا نیز با یک حرف بزرگ لاتین مانند  $E$  نمایش می دهند.

#### ۵ : اعمال روی پیشامدها

**الف :** اجتماع دو پیشامد  $A$  و  $B$  که با نماد  $A \cup B$  نوشته می شود، پیشامدی است که با رخ دادن پیشامد  $A$  یا پیشامد  $B$  یا هر دو رخ دهد.

**ب :** اشتراک دو پیشامد  $A$  و  $B$  که با نماد  $A \cap B$  نوشته می شود، پیشامدی است که با رخ دادن هر دو پیشامد  $A$  و  $B$  رخ دهد.

**ج :** تفاضل پیشامد  $B$  از پیشامد  $A$  که با نماد  $A - B$  نوشته می شود، پیشامدی است که با رخ دادن  $A$  و رخ ندادن  $B$  رخ دهد.

د: اگر  $S$  فضای نمونه‌ای و  $E$  یک پیشامد تصادفی از آن باشد، پیشامدی را که متناظر با رخ ندادن  $E$  می

باشد، مکمل  $E$  می نامند و آن را با  $E'$  یا  $E^c$  نمایش می دهند. بدیهی است که  $E' = S - E$

### ۶: پیشامدهای ناسازگار

دو پیشامد  $A$  و  $B$  را ناسازگار گویند، هرگاه هر دو با هم رخ ندهند. به عبارت دیگر اشتراک آنها تهی است.

$$A \cap B = \Phi$$

### ۷: احتمال وقوع یک پیشامد تصادفی

اگر  $E$  یک پیشامد از فضای نمونه‌ای  $S$  باشد. در این صورت، خارج قسمت تعداد اعضای پیشامد تصادفی  $E$

بر تعداد اعضای فضای نمونه‌ای نظیر آن یعنی  $S$  را احتمال وقوع پیشامد تصادفی  $E$  می نامند.

$$P(E) = \frac{n(E)}{n(S)} = \frac{\text{تعداد حالت های مطلوب}}{\text{تعداد حالت های ممکن}}$$

مثال ۱: در پرتاب یک تاس، احتمال آن را حساب کنید که مضرب ۳ بیاید.

حل:

$$S = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\} \rightarrow n(S) = 6$$

$$E = \{3, 6\} \rightarrow n(E) = 2$$

$$P(E) = \frac{n(E)}{n(S)} = \frac{2}{6} = \frac{1}{3}$$

احتمال آمدن مضرب ۳

مثال ۲: از بین اعداد طبیعی از ۱۰ تا ۱۰۰ به تصادف یک عدد انتخاب می کنیم. احتمال آن را حساب کنید که

عدد انتخاب شده مضرب ۸ باشد.

حل:

$$S = \{10, 11, 12, \dots, 100\} \rightarrow n(S) = b - a + 1 = 100 - 10 + 1 = 91$$

$$E = \{16, 24, \dots, 96\} \rightarrow n(E) = \frac{b - a}{k} + 1 = \frac{96 - 16}{8} + 1 = 11$$

$$P(E) = \frac{n(E)}{n(S)} = \frac{11}{91}$$

**مثال ۳:** تاسی را پرتاب می کنیم. اگر  $A$  پیشامد رخ دادن عدد بزرگتر از ۵ و  $B$  پیشامد رخ دادن عدد کمتر از ۳ باشد. نشان دهید که این دو پیشامد ناسازگارند.

حل :

$$S = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\} \rightarrow n(S) = 6 \quad \text{فضای نمونه ای}$$

$$B = \{1, 2\} \quad \text{عدد کمتر از ۳} \quad A = \{6\} \quad \text{عدد بزرگتر از ۵}$$

و چون  $A \cap B = \{\}$  این دو پیشامد ناسازگارند.

### ۸: اصول احتمال

برای هر پیشامد مانند  $E$  از فضای نمونه ای  $S$ ، احتمال وقوع  $E$ ، عددی حقیقی از بازه  $[0, 1]$  می باشد و آن را با  $P(E)$  نمایش می دهند. اصول احتمال عبارتند از :

$$\text{اصل ۱: } P(S) = 1$$

$$\text{اصل ۲: برای هر دو پیشامد } A \text{ و } B \text{ که } A \cap B = \Phi \text{ داریم، } P(A \cup B) = P(A) + P(B)$$

$$\text{اصل ۳: برای هر دو پیشامد } A \text{ و } B \text{ که } A = B \text{ داریم، } P(A) = P(B)$$

نتیجه :

$$\text{الف: برای هر پیشامد مانند } E \text{ از فضای نمونه ای } S \text{، ثابت کنید که } P(E') = 1 - P(E)$$

$$\text{ب: } P(\Phi) = 0$$

### ۹: روابط اساسی احتمال

برای هر دو پیشامد  $A$  و  $B$  از فضای نمونه ای  $S$  می توان روابط زیر را نوشت:

$$\text{الف) } P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B)$$

$$\text{ب) } P(A - B) = P(A) - P(A \cap B)$$

**مثال:** اعداد طبیعی از ۱۱ تا ۱۰۰ را روی صد کارت می نویسیم و یک کارت به تصادف از میان آنها

استخراج می کنیم. مطلوبست احتمال اینکه عدد روی این کارت:

الف: بر ۴ یا بر ۶ بخش پذیر باشد.

ب: بر ۴ بخش پذیر باشد ولی بر ۶ بخش پذیر نباشد.

حل :

$$S = \{11, 12, \dots, 100\} \rightarrow n(S) = b - a + 1 = 100 - 11 + 1 = 90$$

$$\text{بخش پذیر بر } 4 \quad A = \{12, 16, \dots, 96, 100\} \rightarrow n(A) = \frac{b-a}{k} + 1 = \frac{100-12}{4} + 1 = 23$$

$$\text{بخش پذیر بر } 6 \quad B = \{12, 18, \dots, 96\} \rightarrow n(B) = \frac{b-a}{k} + 1 = \frac{96-12}{6} + 1 = 15$$

$$\text{بخش پذیر بر } 12 \text{ (ک)} \quad A \cap B = \{12, 24, \dots, 96\} \rightarrow n(A \cap B) = \frac{b-a}{k} + 1 = \frac{96-12}{12} + 1 = 8$$

م م ۴ و ۶)

الف :

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B) = \frac{23}{90} + \frac{15}{90} - \frac{8}{90} = \frac{30}{90} = \frac{1}{3}$$

ب :

$$P(A - B) = P(A) - P(A \cap B) = \frac{23}{90} - \frac{8}{90} = \frac{15}{90} = \frac{1}{6}$$

## تمرین برای حل :

۱: احتمال اینکه دانش آموزی در درس آمار و احتمال قبول شود،  $0/34$  و در درس حسابان قبول شود، $0/23$  و احتمال اینکه دست کم در یکی از این دو درس قبول شود،  $0/38$  است. احتمال اینکه این دانش

آموز در هر دو درس قبول شود، چقدر است؟

۲: احتمال آن که خانه ای یخچال داشته باشد، برابر  $0/85$  و احتمال اینکه هم یخچال و هم تلویزیون باشدبرابر  $0/40$  و احتمال آن که حداقل یکی از این دو وسیله باشند  $0/96$  می باشد. احتمال آن را بیابید که در این

خانه :

الف : تلویزیون باشد. ب : فقط یخچال باشد.

۳: عددی به تصادف از مجموعه‌ی  $\{1, 2, 3, \dots, 1000\}$  انتخاب کنیم، احتمال اینکه :

الف : عدد انتخابی بر ۳ بخش پذیر باشد، اما بر ۵ بخش پذیر نباشد، چقدر است؟

ب : عدد انتخابی نه بر ۳ و نه بر ۵ بخش پذیر باشد، چقدر است؟

\*\*\*

## قسمت دوم احتمال شرطی

نتایج بسیاری از آزمایش‌ها و اتفاق‌هایی که در آینده رخ می‌دهند، مشروط به نتایج آزمایش‌های دیگر می‌باشند. احتمال این چنین رخداد‌هایی را احتمال شرطی می‌نامند. برای مثال احتمال آسیب دیدن یک راننده در یک تصادف به شرط اینکه از کمربند ایمنی استفاده کرده باشد. یک احتمال شرطی است. در واقع در احتمال شرطی با دو پیشامد مختلف سروکار داریم و فرض می‌کنیم یکی از آنها رخ داده است و می‌خواهیم بدانیم احتمال رخ دادن دیگری چه تغییری کرده است.

**تعریف:** فرض کنید  $A$  و  $B$  دو پیشامد باشند، به قسمی که  $P(B) > 0$  در این صورت اگر  $B$  رخ داده باشد، احتمال وقوع  $A$  را با نماد  $P(A|B)$  نشان می‌دهیم و آنرا احتمال شرطی  $A$  به شرط وقوع  $B$  یعنی  $B$  قبل از  $A$  (رخ داده باشد) می‌گوییم و به صورت زیر تعریف می‌کنیم.

$$P(A|B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)}$$

**مثال:** در یک مسابقه‌ی اتومبیل‌رانی، احتمال اینکه یک اتومبیل دچار نقص فنی نشود و به خط پایان نیز برسد، برابر  $0/7$  است و احتمال اینکه یک اتومبیل دچار نقص فنی نشود، برابر  $0/8$  است. اگر بدانیم یک اتومبیل دچار نقص فنی نشده است، با چه احتمالی به خط پایان رسیده است؟

حل: اگر  $A$  پیشامد دچار نقص فنی نشدن اتومبیل و  $B$  پیشامد رسیدن به خط پایان تعریف کنیم. در این صورت داریم:  $P(A \cap B) = 0/7$  و  $P(B) = 0/8$  لذا:

$$P(A|B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)} = \frac{0/7}{0/8} = \frac{7}{8}$$

**نتیجه ۱:** فرض کنید  $A$  و  $B$  دو پیشامد باشند، به قسمی که  $B \neq \Phi$  در این صورت طبق تعریف احتمال شرطی داریم:

$$P(A|B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)} = \frac{\frac{n(A \cap B)}{n(S)}}{\frac{n(B)}{n(S)}} = \frac{n(A \cap B)}{n(B)}$$



**نتیجه ۲:** در حالتی که فضای نمونه ای احتمال هم شانس است، شرطی کردن یک پیشامد مانند  $A$  نسبت به پیشامد دیگر مثل  $B$  این است که فضای نمونه ای یعنی  $S$  را کنار گذاشته و  $B$  را فضای نمونه ای تلقی می کنیم. احتمال روی این فضای نمونه ای نیز هم شانس است. به این رویکرد « کاهش فضای نمونه ای » گفته می شود.

**مثال:** دو تاس پرتاب می شوند، اگر مجموع شماره ها ۶ باشد، احتمال آنکه اقلای یکی از دو تاس ۲ باشد را حساب کنید.

حل:

$$A = \{(1, 2), (2, 2), (3, 2), (4, 2), (5, 2), (6, 2), (2, 1), (2, 3), (2, 4), (2, 5), (2, 6)\}$$

یکی از دو عدد ۲ باشد.

$$B = \{(1, 5), (2, 4), (3, 3), (4, 2), (5, 1)\}$$

$$A \cap B = \{(2, 4), (4, 2)\}$$

$$P(A|B) = \frac{n(A \cap B)}{n(B)} = \frac{2}{5}$$

**مثال:** سکه ای را سه بار پرتاب می کنیم. می دانیم که دست کم یک بار رو آمده است. در این صورت، احتمال اینکه هر سه بار رو آمده باشد، چقدر است؟

حل: سه بار رو آمدن سکه را  $A$  و دست کم یک بار رو آمدن سکه را  $B$  می نامیم. در این صورت:

$$S = \{RRR, RRP, RPR, PRR, PPR, PRP, RPP, PPP\}$$

$$B = \{RRR, RRP, RPR, PRR, PPR, PRP, RPP\}$$

$$A = \{RRR\}$$

$$A \cap B = \{RRR\}$$

$$P(A|B) = \frac{n(A \cap B)}{n(B)} = \frac{1}{7}$$

**مثال:** اعداد ۱ تا ۹ را روی نه کارت می نویسیم و سه کارت را به تصادف انتخاب می کنیم. مطلوب است احتمال اینکه هر سه عدد زوج باشند، به شرط اینکه مجموع آنها زوج باشد.

حل : برای اینکه مجموع سه عدد زوج باشند یا هر سه باید زوج باشند و یا اینکه دو عدد فرد و یکی زوج باشند. اما اعداد زوج در این مسئله چهارتا و اعداد فرد پنج تا هستند. حال اگر  $A$  پیشامد اینکه هر سه عدد زوج و  $B$  پیشامد زوج بودن مجموع اعداد سه کارت، تعریف کنیم. داریم.

$$n(A \cap B) = \binom{4}{3} = 4 \quad \text{و} \quad n(B) = \binom{5}{2} \binom{4}{1} + \binom{5}{0} \binom{4}{3} = 40 + 4 = 44$$

$$P(A|B) = \frac{n(A \cap B)}{n(B)} = \frac{4}{44} = \frac{1}{11}$$

**تمرین ۳:** دو تاس سبز و قرمز را پرتاب می کنیم.

الف) اگر بدانیم مجموع دو تاس ۱۰ شده است، احتمال اینکه تاس سبز ۶ آمده است باشد، چقدر است؟

ب) اگر بدانیم که تاس سبز ۶ آمده است، احتمال اینکه مجموع دو تاس ۱۰ باشد، چقدر است؟

حل :

الف :

$$A = \{(6, 1), (6, 2), (6, 3), (6, 4), (6, 5), (6, 6)\}$$

$$B = \{(4, 6), (5, 5), (6, 4)\}$$

$$A \cap B = \{(6, 4)\}$$

$$P(A|B) = \frac{n(A \cap B)}{n(B)} = \frac{1}{3}$$

ب :

$$A = \{(4, 6), (5, 5), (6, 4)\}$$

$$B = \{(6, 1), (6, 2), (6, 3), (6, 4), (6, 5), (6, 6)\}$$

$$A \cap B = \{(6, 4)\}$$

$$P(A|B) = \frac{n(A \cap B)}{n(B)} = \frac{1}{6}$$

**مثال:** فرض کنید احتمال اینکه یک تیم فوتبال اصلی ترین رقیبش را ببرد،  $\frac{1}{6}$  . احتمال قهرمانی این تیم

در حال حاضر  $\frac{1}{4}$  و در صورتی که اصلی ترین رقیبش را ببرد، این احتمال به  $\frac{1}{3}$  افزایش خواهد یافت. با چه

احتمالی حداقل یکی از دو اتفاق « قهرمان شدن » یا « بردن اصلی ترین رقیب » برای این تیم اتفاق خواهد افتاد؟

حل: اگر  $A$  پیشامد قهرمان شدن و  $B$  پیشامد بر اصلی ترین رقیب تعریف کنیم. در این صورت داریم.

$$P(A) = \frac{1}{4} \text{ و } P(B) = \frac{1}{6} \text{ و } P(A|B) = \frac{1}{3}$$

واضح است که هدف این مسئله تعیین  $P(A \cup B)$  است. لذا بر اساس اطلاعات داده شده داریم.

$$P(A|B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)} \rightarrow P(A \cap B) = P(A|B) \times P(B) = \frac{1}{3} \times \frac{1}{6} = \frac{1}{18}$$

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B) = \frac{1}{4} + \frac{1}{6} - \frac{1}{18} = \frac{9 + 6 - 2}{36} = \frac{13}{36}$$

**مثال:** اگر  $P(A - B) = \frac{1}{4}$  و  $P(A) = \frac{3}{4}$  باشد. مقدار  $P(B|A)$  را بدست آورید.

حل:

$$P(A - B) = P(A) - P(A \cap B) \rightarrow \frac{1}{4} = \frac{3}{4} - P(A \cap B) \rightarrow P(A \cap B) = \frac{1}{2}$$

$$P(B|A) = \frac{P(A \cap B)}{P(A)} = \frac{\frac{1}{2}}{\frac{3}{4}} = \frac{2}{3}$$

**تمرین برای حل:**

**۴:** تساوی های زیر را ثابت کنید.

الف)  $P(A|A) = 1$       ب)  $P(A|A') = 0$

**۵:** اگر  $P(A) = \frac{1}{4}$  و  $P(B) = \frac{1}{6}$  و  $P(A|B) = \frac{1}{3}$  باشد.  $P(A \cup B)$  را بدست آورید.

**۶:** یک سکه را سه بار پرتاب می کنیم. احتمال رو آمدن سکه در پرتاب سوم را به دست آورید، به شرط

اینکه در پرتاب اول و دوم پشت ظاهر شده باشد.

### قسمت سوم: پیشامد های مستقل و وابسته

گاهی نتایج یک آزمایش تصادفی وابسته به نتیجه‌ی یک آزمایش دیگر است و گاهی مستقل از آن می باشد. در این درس به معرفی پیشامد های مستقل و وابسته می پردازیم.

**تعریف:** اگر  $A$  و  $B$  دو پیشامد از فضای نمونه‌ای  $S$  باشند، بطوری که  $P(A), P(B) > 0$ ، آنگاه این دو پیشامد را **مستقل** گوییم، هرگاه احتمال وقوع یکی از آنها بر احتمال وقوع دیگری تأثیر نداشته باشد. اگر دو پیشامد  $A$  و  $B$  مستقل نباشند، آنها را **وابسته** می گوییم.

### نتیجه:

(۱) اگر  $A$  و  $B$  دو پیشامد مستقل باشند، در این صورت:

$$P(A|B) = P(A)$$

$$P(B|A) = P(B)$$

$$P(A \cap B) = P(A).P(B)$$

(۲) اگر  $A$  و  $B$  دو پیشامد وابسته باشند، در این صورت:

$$\begin{aligned} P(A \cap B) &= P(A).P(B|A) \\ &= P(B).P(A|B) \end{aligned}$$

توجه: اگر حداقل یکی از دو پیشامد  $A$  و  $B$  تهی باشد. این دو پیشامد مستقل هستند.

**توجه:** مستقل بودن دو پیشامد، در بسیاری از موارد، نیاز به بررسی ندارد. به عنوان مثال قبولی در درس فیزیک برای دو دانش آموز، دو پیشامد مستقل می باشند. زیرا قبولی یا عدم قبولی یکی هیچ تأثیری روی دیگری ندارد و لذا نیازی به بررسی مستقل بودن این دو پیشامد نیست.

**مثال:** جعبه ای محتوی ۱۲ لامپ است و می دانیم که ۳ تای آنها معیوب اند. از این جعبه به تصادف یک لامپ بر می داریم، سپس بدون جایگذاری لامپ اول، لامپ دیگری به تصادف بر می داریم. احتمال اینکه هر دو لامپ معیوب باشند، چقدر است؟

حل: تعریف می کنیم:

$$A = \text{پیشامد لامپ اول معیوب} \quad \text{و} \quad B = \text{پیشامد لامپ دوم معیوب}$$

چون معیوب یا غیر معیوب بودن لامپ اول هیچ تأثیری بر معیوب یا غیر معیوب بودن لامپ دوم ندارد، پس دو پیشامد  $A$  و  $B$  مستقل هستند. در این صورت:

$$P(A \cap B) = P(A).P(B) = \frac{3}{12} \times \frac{2}{11} = \frac{1}{22}$$

**مثال:** ۷۵ درصد افراد جامعه ای چشم میخی و ۴۰ درصد گروه خونی A دارند، یک فرد به تصادف انتخاب

می کنیم، احتمال آنکه این فرد چشم میخی یا گروه خونی A داشته باشند، کدام است؟

$$0.78(1) \quad 0.82(2) \quad 0.85(3) \quad 0.95(4)$$

حل: دو پیشامد چشم میخی بودن و گروه خونی A داشتن مستقل هستند، پس:

$$\begin{aligned} P(A \cup B) &= P(A) + P(B) - P(A \cap B) \\ &= P(A) + P(B) - P(A).P(B) = \frac{3}{4} + \frac{2}{5} - \left(\frac{3}{4} \times \frac{2}{5}\right) = \frac{17}{20} = 0.85 \end{aligned}$$

**مثال:** اگر  $P(B) = \frac{1}{4}$  و  $P(A|B) = \frac{1}{6}$  و دو پیشامد A و B مستقل باشند.  $P(A \cup B)$  را بدست

آورید.

حل:

$$P(A|B) = P(A) = \frac{1}{6}$$

$$P(A \cap B) = P(A).P(B) = \frac{1}{6} \times \frac{1}{4} = \frac{1}{24}$$

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B) = \frac{1}{6} + \frac{1}{4} - \frac{1}{24} = \frac{3}{8}$$

**تمرین ۷:** اگر دو پیشامد A و B ناتهی و مستقل باشند، نشان دهید که:

(الف) دو پیشامد  $A'$  و  $B'$  نیز مستقل هستند.

(ب) دو پیشامد A و B نیز مستقل هستند.

(ج) دو پیشامد A و  $B'$  نیز مستقل هستند.

حل:

**الف:**

$$\begin{aligned} P(A' \cap B') &= P(A \cup B)' = 1 - P(A \cup B) = 1 - (P(A) + P(B) - P(A \cap B)) \\ &= 1 - P(A) - P(B) + P(A \cap B) = 1 - P(A) - P(B) + P(A).P(B) \\ &= (1 - P(A)) - P(B)(1 - P(A)) = P(A') - P(B).P(A') \\ &= P(A')(1 - P(B)) = P(A').P(B') \end{aligned}$$

$$P(A' | B') = \frac{P(A' \cap B')}{P(B')} = \frac{P(A') \times P(B')}{P(B')} = P(A')$$

$$P(B' | A') = \frac{P(A' \cap B')}{P(A')} = \frac{P(A') \times P(B')}{P(A')} = P(B')$$

ب:

$$\begin{aligned} P(A' \cap B) &= P(B - A) = P(B) - P(A \cap B) \\ &= P(B) - P(A) \cdot P(B) = P(B)(1 - P(A)) \\ &= P(B) \cdot P(A') \end{aligned}$$

$$P(A' | B) = \frac{P(A' \cap B)}{P(B)} = \frac{P(A') \times P(B)}{P(B)} = P(A')$$

$$P(B | A') = \frac{P(A' \cap B)}{P(A')} = \frac{P(A') \times P(B)}{P(A')} = P(B)$$

ج: مانند ب حل می شود و حل آن به فراگیران محترم واگذار می شود.

\*\*\*

### تمرین برای حل :

۸: در پرتاب یک تاس فرض کنید پیشامد  $A$  ظاهر شدن عدد زوج ، پیشامد  $B$  ظاهر شدن عددی با مضرب

۳ و پیشامد  $C$  ظاهر شدن عددی بزرگتر از ۲ باشد. مستقل بودن یا نبودن هر دو پیشامد را بررسی کنید.

۹: یک سکه و یک تاس را پرتاب می کنیم. احتمال آن را حساب کنید که سکه پشت و تاس عددی زوج

بیاید.

۱۰: احتمال قبولی زهرا در درس فیزیک ۹۰ درصد و احتمال قبولی ریحانه ۷۰ درصد است، احتمال اینکه

حداقل یکی از آنها در این درس قبول شود را به دست آورید.

۱۱: خانواده ای دارای دو فرزند است. مطلوب است محاسبه‌ی احتمال اینکه هر دو فرزند آنها پسر باشند.

۱۲: فرض کنید در یک سال احتمال قهرمانی تیم ملی فوتبال ایران در آسیا برابر  $0/5$  و احتمال قهرمانی تیم

ملی والیبال ایران در آسیا برابر  $0/8$  باشد. تعیین کنید با چه حداقل یکی از این تیم ها قهرمان خواهد شد.

۱۳: احمد به احتمال  $\frac{7}{10}$  در تیم کوهنوردی مدرسه شان و به احتمال  $\frac{8}{10}$  در تیم ملی فوتبال نوجوانان انتخاب می شود. احتمال های زیر را محاسبه کنید.

الف: در هر دو تیم مورد نظر انتخاب شود.

ب: در هیچکدام از تیم ها انتخاب نشود.

پ: فقط در تیم فوتبال انتخاب شود.

ت: فقط در یکی از تیم ها انتخاب شود.

ث: حداقل در یکی از تیم ها انتخاب شود.

۱۴: احتمال اینکه رؤیا در درس ریاضی قبول شود، دو برابر احتمال قبول شدن دوستش در این درس می باشد. اگر احتمال اینکه حداقل یکی از آنها در درس ریاضی قبول شوند برابر  $\frac{625}{10}$  باشد. حساب کنید با چه احتمالی رؤیا در این درس قبول خواهد شد.

۱۵: اگر  $A$  و  $B$  دو پیشامد مستقل باشند، ثابت کنید که:  $P(A \cup B) = 1 - P(A') \cdot P(B')$

\*\*\*

**درس دوم: آمار توصیفی**

آمار توصیفی به خلاصه کردن داده ها در قالب نمودار و جدول و یا با محاسبه ی معیارهای مختلف گرایش به مرکز یا معیارهای پراکندگی می پردازد. به عبارتی دیگر، آمار به کمک معیارهای عددی و هندسی، اطلاعاتی مناسب از داده های جمع آوری شده از نمونه یا جامعه برای نتیجه گیری می دهد.

**قسمت اول: معیارهای گرایش به مرکز**

هر عدد که معرف مرکز مجموعه داده ها باشد را معیار مرکزی یا شاخص مرکزی ( پارامتر مرکزی ) می نامند. به کمک معیارهای مرکزی می توان موقعیت کلی داده ها را تعیین کرد، لذا برای مقایسه ی دو یا چند جامعه یک روش مناسب، محاسبه ی معیارهای مرکزی آنها است. معیارهای مرکزی دارای سه نوع مهم هستند. در اینجا فقط به دو نوع از آنها یعنی ، میانگین ( $\bar{x}$ ) و میانه ( $\tilde{x}$ ) می پردازیم. میانگین مهمترین معیار مرکزی محسوب می شود.

**میانگین**

در یک مجموعه ی داده های آماری، عدد متمایل به وسط آنها را میانگین ( میانگین حسابی ) می نامند. میانگین یا متوسط داده ها، با خارج قسمت مجموع اندازه ی داده ها بر تعداد آنها برابر است.

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum x_i}{n}$$

**مثال:** میانگین داده های زیر را بدست آورید.

$$x_i : 5, 8, 10, 12, 14, 17$$

حل:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{5 + 8 + 10 + 12 + 14 + 17}{6} = \frac{66}{6} = 11$$

**تمرین برای حل :**

**۱ :** میانگین نمرات یک کلاس ۱۶ نفری در درس ریاضی برابر  $12/5$  است. جمع نمرات دانش آموزان این کلاس را بدست آورید.

**۲ :** میانگین دادهای زیر برابر ۲۲ است. مقدار  $a$  را بدست آورید.

$$15 \text{ و } 20 \text{ و } 21 \text{ و } 24 \text{ و } 25 \text{ و } a \text{ و } 22 \text{ و } 30 \text{ و } 25 \text{ و } 20$$



۳: میانگین ۵ داده‌ی آماری ۱۷ است. اگر دو عدد ۱۷ و ۱۱ را به داده‌های قبلی اضافه کنیم. میانگین جدید چه عددی خواهد شد؟

۴: ثابت کنید که مجموع تفاضل هر یک از داده‌های یک مجموعه آماری از میانگین آنها برابر صفر است.

$$\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) = 0$$

\*\*\*

### خواص میانگین

اگر  $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$  و  $(y_1, y_2, y_3, \dots, y_n)$  دو مجموعه‌ی عددی و  $k$  یک عدد حقیقی باشد. در این صورت خواص زیر را می‌توان برای میانگین بررسی کرد.

**الف:** میانگین حاصل جمع داده‌های یک مجموعه‌ی آماری با یک عدد ثابت با حاصل جمع آن عدد و میانگین آن داده‌ها برابر است.

$$z_i = x_i + k \rightarrow \bar{z} = \bar{x} + k$$

**ب:** میانگین حاصل ضرب داده‌های یک مجموعه‌ی آماری در یک عدد ثابت با حاصل ضرب آن عدد و میانگین آن داده‌ها برابر است.

$$z_i = k \cdot x_i \rightarrow \bar{z} = k \cdot \bar{x}$$

**ج:** میانگین حاصل جمع داده‌های متناظر از دو مجموعه داده‌های آماری با حاصل جمع میانگین‌های آنها برابر است.

$$z_i = x_i + y_i \rightarrow \bar{z} = \bar{x} + \bar{y}$$

**مثال:** داده‌های زیر وزن پنج نفر از دوستان نیلوفر برحسب کیلوگرم می‌باشند.

۵۵ و ۶۱ و ۵۷ و ۵۵ و ۶۲

الف: میانگین داده‌ها را به دست آورید.

ب: به هر کدام از این داده‌ها ۳ واحد اضافه کنید، سپس میانگین داده‌های جدید را به دست آورده و با میانگین داده‌های اصلی مقایسه کنید.

ج: هر کدام از این داده‌ها را در ۲ ضرب کنید، سپس میانگین داده‌های جدید را به دست آورده و با میانگین داده‌های اصلی مقایسه کنید.

حل :

الف :

$$x_i : ۶۲ \text{ و } ۵۵ \text{ و } ۵۷ \text{ و } ۶۱ \text{ و } ۵۵$$

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{۶۲ + ۵۵ + ۵۷ + ۶۱ + ۵۵}{۵} = \frac{۲۹۰}{۵} = ۵۸ \text{ kg}$$

ب :

$$y_i : ۶۵ \text{ و } ۵۸ \text{ و } ۶۰ \text{ و } ۶۴ \text{ و } ۵۸$$

$$\bar{y} = \frac{\sum y_i}{n} = \frac{۶۵ + ۵۸ + ۶۰ + ۶۴ + ۵۸}{۵} = \frac{۳۰۵}{۵} = ۶۱ \text{ kg}$$

نتیجه : میانگین نیز ۳ واحد افزایش یافت .

ج :

$$z_i : ۱۲۴ \text{ و } ۱۱۰ \text{ و } ۱۱۴ \text{ و } ۱۲۲ \text{ و } ۱۱۰$$

$$\bar{z} = \frac{\sum z_i}{n} = \frac{۱۲۴ + ۱۱۰ + ۱۱۴ + ۱۲۲ + ۱۱۰}{۵} = \frac{۵۸۰}{۵} = ۱۱۶ \text{ kg}$$

نتیجه : میانگین نیز در ۲ ضرب شده است.

### تمرین برای حل :

۴ : هر یک از خواص فوق را اثبات کنید.

۵ : ثابت کنید که میانگین داده های مساوی، برابر هر یک از آنها است.

۶ : اگر میانگین وزن دوستان محسن بر حسب کیلوگرم برابر ۵۸ باشد. این میانگین بر حسب گرم، چقدر است؟

۷ : دمای هوای اهواز در یک هفته از شهریور سال ۹۶ برابر ۴۵ سانتی گراد باشد. این میانگین را بر حسب

$$\text{فارنهایت بدست آورید. } (F = \frac{9}{5}C + 32)$$

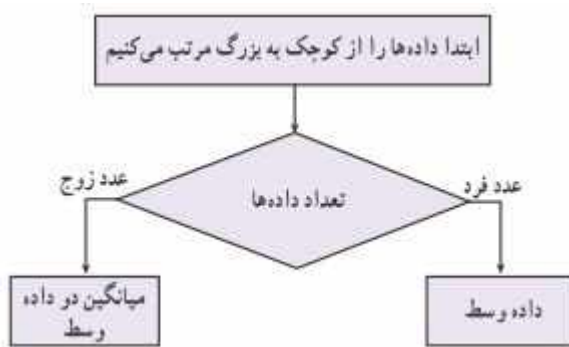
۸ : هرگاه میانگین داده های آماری ( $x_1$  و  $x_2$  و  $x_3$  و ... و  $x_n$ ) برابر ۱۷ باشد. میانگین داده های

$$(1 + 2x_1 \text{ و } 1 + 2x_2 \text{ و } 1 + 2x_3 \text{ و } \dots \text{ و } 1 + 2x_n) \text{ را بدست آورید.}$$

\*\*\*

## میانه

در یک مجموعه از داده های آماری، میانه داده ای است که نصف داده از آن بیشتر و نصف داده ها از آن کمتر است. به عبارت دیگر در یک مجموعه ی داده های آماری که به صورت غیر نزولی (از کوچک به بزرگ)



مرتب شده باشند، عدد وسط این داده ها را میانه می نامند. برای محاسبه ی میانه ابتدا داده ها را به صورت غیر نزولی مرتب می کنیم، آنگاه الف) اگر تعداد داده ها فرد باشد، داده ی وسط میانه است.

ب) اگر تعداد داده ها زوج باشد، میانگین دو داده ی وسط میانه است.

**مثال:** میانه ی هریک از مجموعه های زیر را بیابید.

الف) ۵ و ۸ و ۵ و ۱۰ و ۹ و ۸ و ۷ و ۵ و ۳

ب) ۶۰ و ۲۲ و ۲۱ و ۲۰ و ۱۹ و ۱۷ و ۱۷ و ۱۶ و ۱۵ و ۱۳

حل: ابتدا داده ها را از کوچک به بزرگ مرتب می کنیم.

الف:

۳ و ۵ و ۵ و ۵ و ۷ و ۸ و ۸ و ۹ و ۱۰



چون تعداد داده ها فرد است، پس داده ی وسط میانه است. لذا میانه برابر  $\tilde{x} = 7$  می باشد.

ب:

۱۳ و ۱۵ و ۱۶ و ۱۷ و ۱۷ و ۱۹ و ۲۰ و ۲۱ و ۲۲ و ۶۰



چون تعداد داده ها زوج است، میانگین دو داده ی وسط میانه است. لذا میانه برابر  $\tilde{x} = \frac{17 + 19}{2} = 18$

می باشد.

**نتیجه:** اگر تمام داده های یک مجموعه ی داده های آماری برابر باشند، میانه نیز برابر هر یک از آنها است.

**توجه:** اگر در یک مجموعه ی داده های آماری داده ی دور افتاده ای وجود داشته باشند. چون میانه تحت تأثیر داده های دور افتاده قرار نمی گیرد، نسبت به میانگین، معیار مناسبتی محسوب می شود. داده ی دور افتاده، داده ای است که نسبت به سایر داده ها تفاوت بسیار دارد.

### تمرین برای حل :

**۹:** تعداد حمله های یک تیم فوتبال در شش ماه گذشته به صورت ۴۲ و ۴۴ و ۴۷ و ۱۰ و ۴۳ و ۴۸ است. میانگین و میانه ی تعداد حملات این تیم را در این شش ماه به دست آورید. به نظر شما کدام معیار با معنا تر است؟ چرا؟

**۱۰:** میانگین و میانه ی داده های زیر را تعیین کنید.

۱۵ و ۱۸ و ۲۲ و ۱۶ و ۹ و ۱۱ و ۵ و ۴

\*\*\*

### قسمت دوم: معیار های پراکندگی

در فعالیت آماری، گاهی لازم می شود که میزان پراکندگی ( دوری و نزدیکی) داده را نسبت به همدیگر یا نسبت به میانگین محاسبه شود. برای اینکار از معیارهای پراکندگی استفاده می شود.

هر عدد که میزان پراکندگی داده ها نسبت به همدیگر یا نسبت به میانگین را نشان دهد، را معیار پراکندگی یا شاخص پراکندگی (پارامتر پراکندگی) می نامند. مهمترین معیارهای پراکندگی عبارتند از ، دامنه ی تغییرات ، واریانس ، انحراف معیار و ضریب تغییرات می باشند.

از بین این معیارها، دامنه ی تغییرات پراکندگی داده ها را نسبت به همدیگر و بقیه، پراکندگی را نسبت به میانگین نشان می دهند.

### دامنه ی تغییرات

در یک مجموعه ی داده های آماری تفاضل کمترین داده از بیشترین آنها را دامنه ی تغییرات می نامند. به عبارتی دیگر دامنه ی تغییرات، طول بازه ای است که داده ها در آن قرار دارند. در این صورت، اگر  $a$  کوچکترین و  $b$  بزرگترین داده یک مجموعه ی داده های آماری باشند. دامنه ی تغییرات به شکل زیر است.

$$R = b - a$$

دامنه‌ی تغییرات را می‌توان به بیشترین اختلاف بین داده‌های یک مجموعه‌ی داده‌های آماری تعبیر کرد.

**مثال:** دامنه‌ی تغییرات داده‌های زیر را حساب کنید و تعبیر آن را بنویسید.

۱۳ و ۸ و ۱۴ و ۱۵ و ۱۰

حل:

$$R = b - a = 15 - 8 = 7$$

تعبیر: بیشترین اختلاف بین داده‌های این مجموعه برابر ۷ است.

**نتیجه:**

۱: بزرگی دامنه‌ی تغییرات نشان دهنده‌ی تفاوت زیاد در جامعه است، هر چه قدر این دامنه بیشتر باشد، تفاوت بین داده‌ها زیاد است و هر چه قدر این دامنه کمتر باشد، داده‌ها به هم نزدیک‌ترند. اگر دامنه‌ی تغییرات صفر باشد، تمام داده‌های برابر هستند و جامعه همگون است.

۲: دامنه‌ی تغییرات ضعیف‌ترین شاخص پراکندگی است و معرف خوبی برای پراکندگی داده‌ها نمی‌باشد، زیرا برای محاسبه‌ی آن فقط از بزرگترین و کوچکترین داده استفاده می‌شود و تعداد یا مقادیر بقیه‌ی داده‌ها تأثیری بر مقدار آن ندارند.

\*\*\*

## واریانس و انحراف معیار

میانگین توان دوم تفاضل داده‌ها از میانگین آنها را واریانس (پراش) می‌نامند. در این صورت

$$\sigma^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}$$

توجه داشته باشید که واریانس در ضمن داشتن اهمیت زیاد دارای دو اشکال عمده است.

الف: تحت تأثیر داده‌های بزرگ قرار می‌گیرد.

ب: واحد اندازه‌گیری واریانس مجذور واحد اصلی متغیر داده‌ها است. مثلاً اگر واحد اندازه‌گیری داده‌ها سانتی متر باشد، واحد اندازه‌گیری واریانس سانتی متر مربع خواهد بود.

برای رفع این دو اشکال از انحراف معیار استفاده می شود. ریشه ی دوّم واریانس را انحراف معیار ( انحراف استاندارد) می نامند.

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2}$$

بنابراین طبق این تعریف بدیهی است که انحراف معیار دارای همان واحدی خواهد بود که داده ها بر حسب آن محاسبه شده اند.

**مثال:** واریانس و انحراف معیار داده های زیر را بدست آورید.

۲ و ۳ و ۷ و ۴ و ۹

حل:

| $x_i$    | $x_i - \bar{x}$ | $(x_i - \bar{x})^2$ |
|----------|-----------------|---------------------|
| ۲        | -۳              | ۹                   |
| ۳        | -۲              | ۴                   |
| ۷        | ۲               | ۴                   |
| ۴        | -۱              | ۱                   |
| ۹        | ۴               | ۱۶                  |
| جمع = ۲۵ | -               | ۳۴                  |

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{25}{5} = 5$$

میانگین

$$\sigma^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n} = \frac{34}{5} = 6.8$$

واریانس

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} = \sqrt{6.8} = 2.6$$

انحراف معیار

\*\*\*

**تمرین برای حل:**

**۱۱:** واریانس و انحراف معیار داده های زیر را محاسبه کنید.

۳ و ۵ و ۶ و ۹ و ۷

**۱۲:** ثابت کنید که واریانس داده های مساوی برابر صفر است.

## خواص واریانس

اگر  $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$  یک مجموعه‌ی عددی و  $k$  یک عدد حقیقی باشد. در این صورت خواص زیر را می‌توان برای واریانس آنها بررسی کرد.

**۱:** واریانس حاصل جمع داده‌ها با یک عدد ثابت، با واریانس آن داده‌ها برابر است.

$$y_i = x_i + k \rightarrow \sigma_y^2 = \sigma_x^2$$

**۲:** واریانس حاصل ضرب داده‌ها در یک عدد ثابت، با حاصل ضرب مربع آن عدد در واریانس آن داده‌ها برابر است.

$$y_i = k.x_i \rightarrow \sigma_y^2 = k^2.\sigma_x^2$$

\*\*\*

## خواص انحراف معیار

مشابه آنچه که برای واریانس داشتیم. می‌توان نوشت خواص زیر را برای انحراف معیار نیز بیان کرد.

**۱:** انحراف معیار حاصل جمع داده‌ها با یک عدد ثابت با انحراف معیار آن داده‌ها برابر است.

$$y_i = x_i + k \rightarrow \sigma_y = \sigma_x$$

**۲:** انحراف معیار حاصل ضرب داده‌ها در یک عدد ثابت، با حاصل ضرب قدر مطلق آن عدد در انحراف معیار آن داده‌ها برابر است.

$$.y_i = k.x_i \rightarrow \sigma_y = |k|.\sigma_x$$

## تمرین برای حل :

**۱۳:** اگر واریانس داده‌های یک مجموعه‌ی داده‌های آماری برابر ۱۸ و میانگین آنها ۸ باشد و تمام داده‌ها

را دو برابر کنیم. میانگین و واریانس داده‌های جدید را تعیین کنید.

**۱۴:** هرگاه واریانس داده‌های آماری  $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$  برابر ۱۶ باشد. انحراف معیار داده‌های

$(1 + 2x_1, 1 + 2x_2, 1 + 2x_3, \dots, 1 + 2x_n)$  را محاسبه کنید.

\*\*\*

### ضریب پراکندگی

خارج قسمت انحراف معیار داده های یک مجموعه ی داده های آماری بر میانگین آنها را ضریب پراکندگی (ضریب تغییرات) گویند.

$$CV_x = \frac{\sigma}{\bar{x}}$$

توجه کنید که طبق تعریف ، ضریب پراکندگی داده ها فاقد واحد اندازه گیری می باشد، لذا اغلب در موارد زیر استفاده می شود.

الف : برای مقایسه ی دو یا چند جامعه ی آماری که واحد اندازه گیری داده های آنها متفاوت باشد.

مثلاً: مقایسه ی سود دو شرکت که سود یکی بر حسب ریال و سود دیگری بر حسب دلار باشد.

ب : برای مقایسه ی دو یا چند جامعه ی که واریانس های آنها برابر باشند ولی میانگین های متفاوت دارند.

مثلاً: با توجه به اطلاعات زیر دو شرکت  $x$  و  $y$  دارای انحراف معیار برابر هستند ولی میانگین مساوی دارند،

لذا شرکت  $y$  از پراکندگی شرکت بهتری در مقایسه با شرکت  $x$  محسوب می شود.

| –        | میانگین | انحراف معیار | ضریب پراکندگی |
|----------|---------|--------------|---------------|
| شرکت $x$ | ۱۰      | ۲            | ۰/۲           |
| شرکت $y$ | ۲۰      | ۲            | ۰/۱           |

**مثال :** ضریب پراکندگی داده های زیر را محاسبه کنید.

۴ و ۹ و ۳ و ۸ و ۶

| $x_i$    | $x_i - \bar{x}$ | $(x_i - \bar{x})^2$ |
|----------|-----------------|---------------------|
| ۴        | -۲              | ۴                   |
| ۹        | ۳               | ۹                   |
| ۳        | -۳              | ۹                   |
| ۸        | ۲               | ۴                   |
| ۶        | ۰               | ۰                   |
| جمع = ۳۰ | ---             | ۲۶                  |

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{۳۰}{۵} = ۶$$



$$\sigma^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n} = \frac{26}{5} = 5.2$$

$$\sigma = \sqrt{5.2} = 2.28$$

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{x}} = \frac{2.28}{6} = 0.38$$

**نتیجه:** اگر تمام داده های آماری برابر باشند، ضریب تغییرات آنها صفر است.

\*\*\*

### تمرین برای حل :

**۱۵:** برای داده های زیر ضریب تغییرات را محاسبه کنید.

۱۲ و ۱۵ و ۳ و ۶ و ۹

**۱۶:** اگر ضریب تغییرات ۱۰ داده برابر ۲ و میانگین آنها برابر ۴ باشد، واریانس داده ها را به دست آورید.

**۱۷:** نشان دهید که اگر تمام داده های یک مجموعه ی داده های آماری را در عدد مثبت  $k$  ضرب کنیم،

ضریب تغییرات آنها تغییری نمی کند.

**۱۸:** توضیح دهید که اگر تمام داده های یک مجموعه ی داده های آماری را با عدد مثبت  $k$  جمع کنیم،

ضریب تغییرات آنها چه تغییری می کند؟

**۱۹:** داده های یک مجموعه ی داده های آماری بر حسب متر اندازه گیری شده اند. واحد اندازه گیری

معیارهای میانگین، واریانس، انحراف معیار و ضریب تغییرات را مشخص کنید.

**۲۰:** اگر همه ی داده های یک مجموعه ی داده های آماری مساوی باشند. درباره ی میانگین و واریانس آن

مجموعه چه می توان گفت؟

**۲۱:** اگر تمام داده های یک مجموعه ی آماری مساوی و میانگین آنها ۵ باشد. مقدار هر یک از شاخص های

زیر را بنویسید. الف : میانگین ب: انحراف معیار

**۲۲:** میانگین یک مجموعه ی داده های آماری ۵ و واریانس آنها ۱۲ است. در صورتی که تمام داده ها را سه

برابر کنیم، میانگین و واریانس داده های جدید را بنویسید.

۲۳: امتیازات مهارت کاری دو نفر از پرسنل یک آزمایشگاه در ۵ روز کاری به صورت زیر است. تعیین کنید که دقت عمل کدام یک بیشتر است.

$$A: ۲۰ \text{ و } ۲۳ \text{ و } ۲۴ \text{ و } ۲۶ \text{ و } ۲۷ \quad \text{و} \quad B: ۲۱ \text{ و } ۲۲ \text{ و } ۲۳ \text{ و } ۲۶ \text{ و } ۲۸$$

۲۴: نمرات ریاضی و هندسه یک تیم پنج نفره از دانش آموزان برای شرکت در یک آزمون علمی به شرح جدول زیر است. خانه های جدول را کامل کنید و سپس تعیین کنید که این تیم در کدام آزمون ریاضی یا هندسه بهتر است شرکت نماید. چرا؟

| ردیف                | نام دانش آموز | ریاضی | هندسه |
|---------------------|---------------|-------|-------|
| ۱                   | محسن احمدی    | ۱۵    | ۱۲    |
| ۲                   | علی رضایی     | ۱۱    | ۱۶    |
| ۳                   | رضا اکبری     | ۱۲    | ۱۰    |
| ۴                   | احمد علوی     | ۱۸    | ۱۷    |
| ۵                   | حسین صادقی    | ۱۹    | ۲۰    |
| <b>میانگین</b>      |               |       |       |
| <b>واریانس</b>      |               |       |       |
| <b>انحراف معیار</b> |               |       |       |
| <b>ضریب تغییرات</b> |               |       |       |

\*\*\*

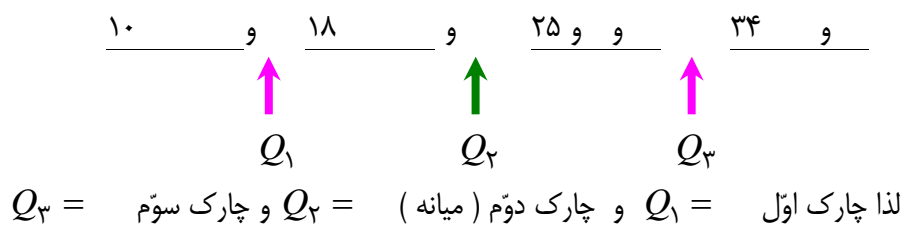
## چارک ها

در یک مجموعه‌ی داده‌های آماری که داده‌های آن به صورت غیر نزولی مرتب شده باشند، عدد وسط این داده‌ها را میانه یا چارک دوم می‌نامند و آنرا با  $Q_2$  نمایش می‌دهند. از طرفی میانه‌ی نیمه‌ی اول داده‌ها را چارک اول ( $Q_1$ ) و میانه‌ی نیمه‌ی دوم آنها را چارک سوم ( $Q_3$ ) می‌نامند.

**مثال:** چارک‌های اول تا سوم داده‌های زیر را تعیین کنید.

۱۹ و ۳۱ و ۲۵ و ۱۸ و ۳۲ و ۴۳ و ۴۱ و ۳۴ و ۱۸ و ۲۷ و ۱۴ و ۲۳ و ۱۵ و ۱۰ و ۱۲

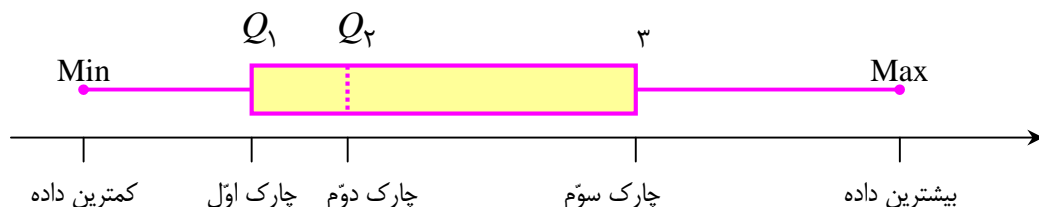
حل:



**توجه:** برای تعیین چارک‌ها، ابتدا میانه را محاسبه می‌کنیم ولی برای تعیین چارک‌های اول و سوم، میانه شرکت داده نمی‌شود.

## نمودار جعبه‌ای و دامنه‌ی میان چارکی

نموداری که معیارهای پراکندگی داده‌ها را می‌توان به کمک آن تعیین کرد، نموداری موسوم به نمودار جعبه‌ای است. این نمودار پراکندگی داده‌ها را در اطراف میانه و قبل و بعد از چارک اول و سوم را به تصویر می‌کشد. این نمودار به کمک کمترین و بیشترین داده و چارک‌های اول تا سوم داده‌های یک مجموعه‌ی آماری ترسیم می‌شود.



در نمودار جعبه‌ای ممکن است، میانه وسط جعبه نباشد. میانه به هر سمت متمایل شود، در آن سمت داده‌ها به هم نزدیک‌ترند و در سمت دیگر داده‌ها پراکنده‌تر هستند.

یک معیار دیگر که در صورت وجود داده های دور افتاده (پرت) مورد استفاده قرار می گیرد. دامنه ی میان چارکی است. تفاضل چارک اول از چارک سوم را دامنه ی میان چارکی می نامند و آن را با  $IQR$  نمایش می دهند.

$$IQR = Q_3 - Q_1$$

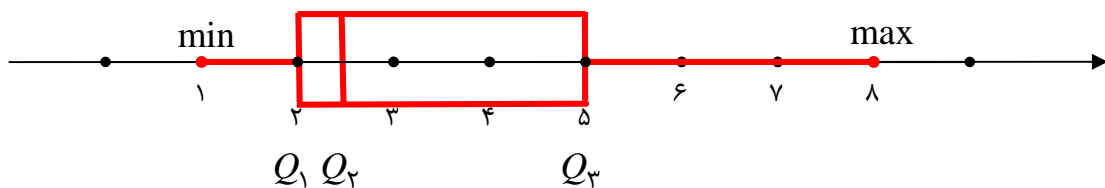
**مثال:** حسین تعداد گل‌های ۲۲ بوته ی گل قرمز یک باغ را شمرده است. نمودار جعبه ای این داده ها را ترسیم نموده و دامنه ی میان چارکی را محاسبه کنید.

۱ و ۱ و ۱ و ۱ و ۱ و ۱ و ۲ و ۲ و ۲ و ۲ و ۲ و ۲ و ۲ و ۳ و ۳ و ۴ و ۴ و ۴ و ۴ و ۵ و ۵ و ۶ و ۷ و ۷ و ۸

حل :

۱ و ۱ و ۱ و ۱ و ۱ و ۲ و ۲ و ۲ و ۲ و ۲ و ۲ و ۳ و ۳ و ۴ و ۴ و ۴ و ۴ و ۵ و ۵ و ۶ و ۷ و ۷ و ۸

$$\min = 1 \text{ و } Q_1 = 2 \text{ و } Q_2 = \frac{2+3}{2} = 2.5 \text{ و } Q_3 = 5 \text{ و } \max = 8$$



$$IQR = Q_3 - Q_1 = 5 - 2 = 3$$

دامنه ی میان چارکی

**تمرین برای حل :**

**۲۴:** داده های زیر را در نظر بگیرید.

۱۲ و ۱۰ و ۱۵ و ۲۳ و ۱۴ و ۲۷ و ۱۶ و ۳۴ و ۴۱ و ۴۳ و ۳۲ و ۱۸ و ۲۵ و ۳۱ و ۱۹

الف : چارک های اول تا سوم داده های زیر را تعیین کنید.

ب : دامنه ی میان چارکی را محاسبه کنید.

ج : نمودار جعبه ای ترسیم کنید.

**۲۵:** چارک های اول تا سوم و دامنه ی میان چارکی داده های زیر را محاسبه کنید.

۴۱ و ۱۷ و ۱۶ و ۱۹ و ۱۳ و ۱۴ و ۱۸ و ۱۶ و ۱۵ و ۱۷

۲۶: داده های زیر را در نظر بگیرید.

۲۶ و ۲۲ و ۴۱ و ۳۱ و ۲۵ و ۲۲ و ۲۸ و ۳۰ و ۲۴ و ۲۰

الف: میانگین، میانه را محاسبه کنید.

ب: دامنه ی میان چارکی را تعیین کنید.

ج: نمودار جعبه ای مربوط به این داده ها را رسم کنید.

۲۷: در هر مورد جای خالی را کامل کنید.

الف: تفاضل بیشترین و کمترین داده را ..... گویند.

ب: در نمودار جعبه ای ۵۰ درصد داده ها قبل از و ۵۰ درصد داده ها بعد از ..... قرار دارند.

پ: در نمودار یک مجموعه ی داده های آماری ... درصد داده ها قبل از چارک اول و ... درصد داده ها

قبل از چارک دوم و ... درصد داده ها قبل از چارک سوم قرار می گیرند.

ت: معیارهای پراکندگی که میانگین در آنها نقش دارد ..... و ..... هستند.

ث: اگر داده های آماری  $k$  برابر شوند، ضریب تغییرات .... (عدد  $k$  مثبت است).

ج: واحد اندازه گیری واریانس ، ..... واحد اندازه گیری داده ها است.

ح: هر قدر انحراف معیار کمتر باشد، میزان ..... داده ها، کمتر است.

« ورود به سایت

بانک جزوات  
دیجی کنکور



وبسایت دیجی کنکور بزرگترین مرجع جزوات از ابتدایی تا کنکور

دیجی کنکور

رسانه دانش آموزان موفق

DigiKonkur.com

کنکوری ها  
یازدهمی ها  
دهمی ها



## کانال تلگرام دیجی کنکور

یک کانال جامع به جای همه اپ ها و کانال های دیگر

دوره های مشاوره ای

برنامه ریزی روزانه

نمونه سوالات امتحانی

فیلم های کنکوری

پادکست های انگیزشی

جزوات درسی

و هر چیزی که نیاز داری و نداری ...  
همه خدمات این کانال همیشه رایگان است

برای عضویت اینجا کلیک کنید



DGKonkur

