

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

هندسه (۲)

رشته ریاضی و فیزیک

راهنمای معلم

پایه یازدهم

دوره دوم متوسطه



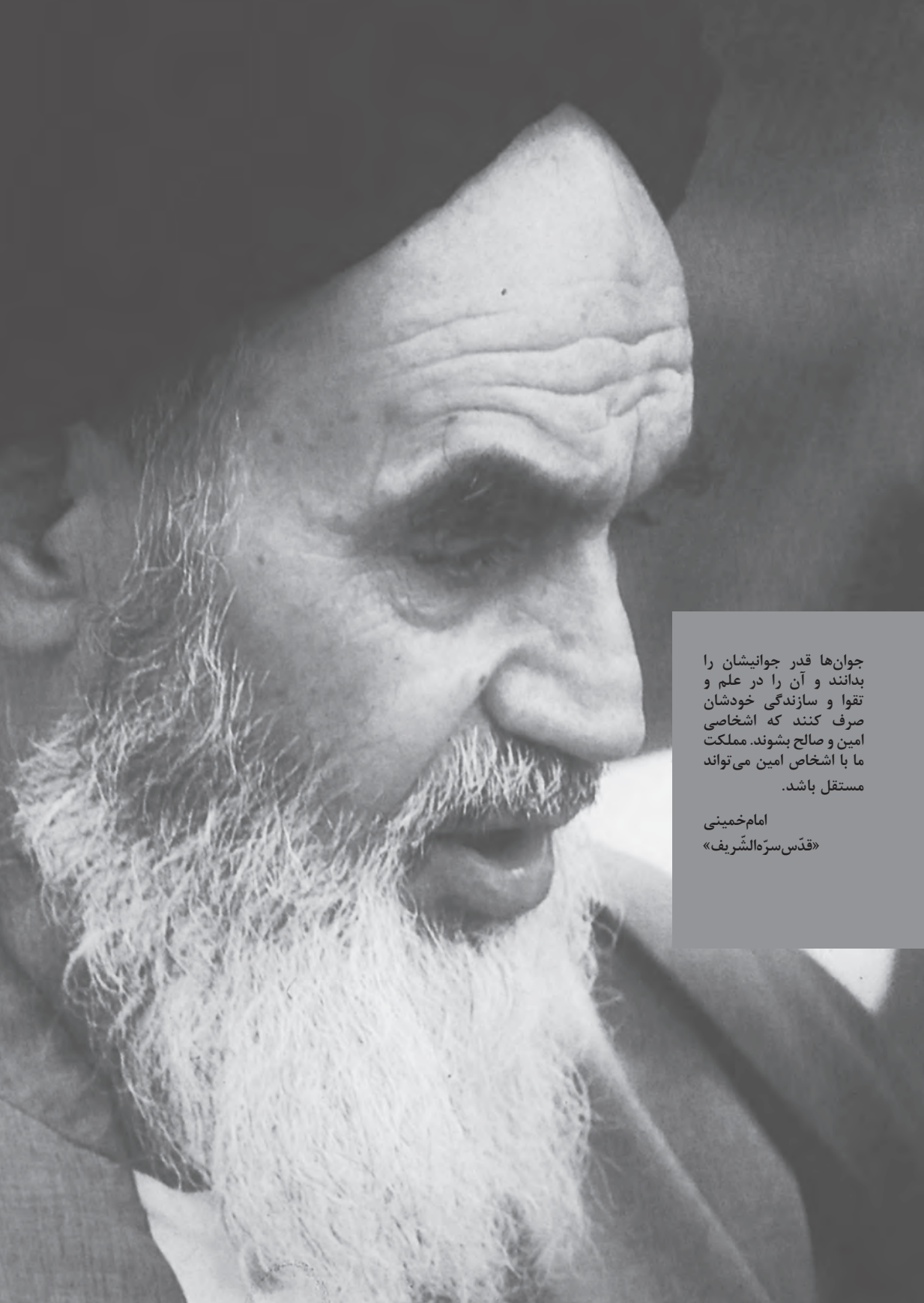
وزارت آموزش و پرورش

سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

- نام کتاب: راهنمای معلم هندسه (۲) - پایه یازدهم دوره دوم متوسطه - ۱۱۱۳۶۵
- پدیدآورنده: سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی
- مدیریت برنامه‌ریزی درسی و تألیف: دفتر تألیف کتاب‌های درسی عمومی و متوسطه نظری
- شناسه افزوده برنامه‌ریزی و تألیف: حمیدرضا امیری، علی ایرانمنش، مهدی ایزدی، ناصر بروجردیان، محمدحسن بیژن‌زاده، خسرو داودی، زهرا رحیمی، محمدهاشم رستمی، ابراهیم ریحانی، محمدرضا سیدصالحی، میرشهرام صدر، اکرم قایل‌رحمت، طاهر قاسمی‌هنری و عادل محمدپور (اعضای شورای برنامه‌ریزی)
- مدیریت آماده‌سازی هنری: طاهره اسدی، اسحاق اسفندیاری، مریم اعیان‌منش، مهدی ایزدی، زهرا رحیمی، محمدرضا سید صالحی، هوشنگ شرقی، سمیه سادات میرمعینی و محمود نصیری (اعضای گروه تألیف) - سید باقر میر عبداللّهی (ویراستار)
- شناسه افزوده آماده‌سازی: اداره کل نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی
- نشانی سازمان: تهران: خیابان ایرانشهر شمالی - ساختمان شماره ۴ آموزش و پرورش (شهید موسوی) ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹ کدپستی: ۸۸۳۰۹۲۶۶، دورنگار: ۸۸۸۳۱۱۶۱-۹، تلفن: ۴۴۹۸۵۱۶۱-۵، دورنگار: ۴۴۹۸۵۱۶۰، صندوق پستی: ۳۷۵۱۵-۱۳۹
- چاپخانه: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران تهران - کیلومتر ۱۷ جاده مخصوص کرج - خیابان ۶۱ (داروپخش) تلفن: ۴۴۹۸۵۱۶۱-۵، دورنگار: ۴۴۹۸۵۱۶۰، صندوق پستی: ۳۷۵۱۵-۱۳۹
- سال انتشار و نوبت چاپ: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران «سهامی خاص» چاپ اول ۱۳۹۶

شابک ۳-۳۱-۰۵-۹۶۴-۹۷۸

ISBN: 978-964-05-3031-3



جوان‌ها قدر جوانیشان را
بدانند و آن را در علم و
تقوا و سازندگی خودشان
صرف کنند که اشخاصی
امین و صالح بشوند. مملکت
ما با اشخاص امین می‌تواند
مستقل باشد.

امام خمینی
«قدس سره الشریف»

کلیه حقوق مادی و معنوی این کتاب متعلق به سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی وزارت آموزش و پرورش است و هرگونه استفاده از کتاب و اجزای آن به صورت چاپی و الکترونیکی و ارائه در پایگاه‌های مجازی، نمایش، اقتباس، تلخیص، تبدیل، ترجمه، عکس‌برداری، نقاشی، تهیه فیلم و تکثیر به هر شکل و نوع، بدون کسب مجوز ممنوع است و متخلفان تحت پیگرد قانونی قرار می‌گیرند.

فهرست

فصل ۱ : دایره	۱
درس اول : مفاهیم اولیه و زاویه‌ها در دایره	۳
درس دوم : رابطه طولی در دایره	۲۳
درس سوم : چند ضلعی‌های محاطی و محیطی	۳۹
فصل ۲ : تبدیل‌های هندسی و کاربردها	۵۷
درس اول : تبدیل‌های هندسی	۶۱
درس دوم : کاربرد تبدیل‌ها	۶۴
فصل ۳ : روابط طولی در شکل‌های هندسی	۸۱
درس اول : قضیه سینوس‌ها	۸۴
درس دوم : قضیه کسینوس‌ها	۹۰
درس سوم : قضیه نیمسازهای زاویه‌های داخلی و محاسبه طول نیمسازها	۹۸
درس چهارم : قضیه هرون (محاسبه ارتفاع‌ها و مساحت مثلث)	۱۰۲
منابع	۱۲۱

مقدمه

هندسه به عنوان یک مهارت پایه‌ای ریاضی، در برنامه درسی ریاضی بسیاری از کشورها، مورد تأیید و توجه قرار گرفته و تفکر هندسی و آموزش هندسه، در برنامه درسی ریاضی مدرسه‌ای از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. از همین رو در تألیف کتاب درسی سعی بر آن بوده است که نخست حوزه هندسه و اندازه‌گیری و چگونگی آموزش آن، مورد بازاندیشی قرار گیرد و سپس محتوای کتاب با تکیه بر آخرین دستاوردهای پژوهشی در این حوزه و با تبعیت از اسناد بالا دستی از جمله سند برنامه درسی ملی، تنظیم و پیشنهاد شود.

بدین ترتیب برخی اصول و رویکردهای کلی، هدایتگر مؤلفین این کتاب بوده است. از جمله اینکه در تنظیم و تدوین محتوای کتاب، متوسط هوش و توان یادگیری دانش‌آموزان مد نظر می‌باشد. روند آموزش در این کتاب به آرامی از شهود آغاز شده و به سمت تجرید پیش می‌رود و مشابه با سایر کتاب‌های درسی جدیدالتألیف، با اخذ توجه بیشتر به فعالیت دانش‌آموزان، سعی بر آن است که شیوه آموزش از معلم محوری فاصله گرفته و طالب مشارکت بین معلم و دانش‌آموزان باشد. نگاه کاربردی و برقراری ارتباط هندسه با زندگی روزمره، رویکرد دیگری است که در تدوین کتاب مورد توجه قرار گرفته و تلاش شده که تلفیقی از هندسه با سایر حوزه‌های مطالعاتی نظیر معماری، هنر و زیبایی‌شناسی ارائه شود.

در این کتاب تلاش شده است با زمینه‌سازی برای آشنایی دانش‌آموزان با انواع استدلال و تقویت توانمندی تشخیص اثبات‌های معتبر از اثبات‌های نامعتبر – همسو با آرمان‌های سند برنامه درسی ملی – بستر لازم برای تربیت و پرورش انسان‌هایی که در برخورد با مسائل می‌توانند به طور منطقی استدلال کنند و قدرت تجزیه و انتزاع بیشتری دارند، فراهم شود. همچنین سعی بر آن بوده است که بر تقویت و توسعه روحیه پرسشگری، پژوهشگری و خلاقیت در دانش‌آموز تأکید شود. بدین ترتیب با زمینه‌سازی برای ایجاد نظم فکری با توجه به سلسله مراتب اصول و قضایا و تشخیص روابط منطقی بین مفاهیم و زمینه‌سازی برای دست‌یابی به علم نسبت به پدیده‌ها، روابط، رویدادها و قوانین جهان آفرینش، به دانش‌آموز کمک می‌شود که به درک قانونمندی‌های طبیعت نائل آید.

بیان دقیق ایده‌های هندسی با به‌کارگیری زبان هندسی و تقویت گفتمان ریاضی، پرورش ذهن خلاق و بالا بردن درک فضایی دانش‌آموزان، شناسایی و تحلیل ویژگی‌ها و مشخصه‌های اشکال هندسی در صفحه و فضا اهداف دیگری است که در راستای تقویت تفکر تجسمی – که مورد تأکید برنامه درسی ملی است – هدایتگر تنظیم محتوای این کتاب بوده است. بدین ترتیب در این قسمت سعی شده است که بدون ورود به حیطه محاسبات و استدلال و تنها به کمک درک شهودی، دانش‌آموزان با مهم‌ترین سازه‌های ساختمان هندسه آشنا شده و به زبان تصاویر و اشکال هندسی گفت و گو کنند.

فصل اوّل

دایره



عکس: محمد رضا دوسیری گنجی

قلعهٔ فلک الافلاک که از دوره ساسانیان در شهرستان خرم‌آباد
بر جای مانده است.
چرا در ساخت بسیاری از قلعه‌ها در کشورمان از شکل دایره
استفاده شده است؟



اهداف کلی فصل ۱

- ۱ آشنایی با وضعیت‌های مختلف خط و دایره نسبت به هم و اثبات برخی قضایای مربوط به آنها؛
- ۲ آشنایی با زوایای مرکزی، محاطی، ظلی و اثبات قضایایی در خصوص ارتباط بین اندازه زوایای مذکور و اندازه کمان‌های متقابل یا محصور بین آن زوایا؛
- ۳ آشنایی و اثبات قضایایی درباره روابط طولی در دایره و استفاده از آن روابط در حل مسائل؛
- ۴ آشنایی با چندضلعی‌ها و دایره‌های محاطی و محیطی و درک ویژگی‌های آنها با تأکید بر مثلث‌ها، چهارضلعی‌ها و چندضلعی‌های منتظم.

مفاهیم اولیه و زاویه‌ها در دایره

اهداف درسی

- ۱ آشنایی با تعریف دایره و مفاهیم کلیدی در دایره نظیر : وتر، کمان، قطر و زاویه مرکزی؛
- ۲ بیان وضعیت نقطه نسبت به دایره و مشخص کردن نزدیک‌ترین و دورترین نقطه روی دایره نسبت به یک نقطه خاص؛
- ۳ تشخیص وضعیت خط و دایره نسبت به هم و بیان حالت‌های مختلف آن؛
- ۴ رسم خط مماس از یک نقطه در روی دایره بر آن؛
- ۵ آشنایی با زاویه مرکزی، قطاع و پیدا کردن اندازه زاویه مرکزی، طول کمان روبه‌رو و محیط و مساحت قطاع؛
- ۶ تعریف زاویه محاطی و اثبات اندازه آن و پیدا کردن اندازه زوایای محاطی در دایره؛
- ۷ تعریف زاویه ظلّی و اثبات اندازه آن و پیدا کردن اندازه زوایای ظلّی بر دایره؛
- ۸ پیدا کردن اندازه زاویه بین دو قاطع بر دایره و زاویه بین دو وتر متقاطع در داخل دایره براساس اندازه کمان‌های محصور بین آنها.

چند نکته خطاب به همکاران محترم قبل از تدریس درس اول :

- ۱ از قبل به دانش‌آموزان گفته شود که خط کش و پرگار همراه داشته باشند.
- ۲ درس اول را می‌توان در ۳ یا ۴ جلسه ۷۵ دقیقه‌ای، با توجه به آمادگی دانش‌آموزان، ارائه داد.
- ۳ مطالبی که پیشنهاد می‌شود در جلسه اول ارائه شود : مفاهیم اولیه دایره، اوضاع نسبی نقطه نسبت به

دایره، اوضاع نسبی خط و دایره، رسم مماس بر دایره از نقطه روی آن، زاویه مرکزی و پیدا کردن طول کمان روبه روی زاویه مرکزی (صفحات ۱۰ و ۱۱ و ۱۲ تا انتهای «کار در کلاس» صفحه ۱۲).

انجام فعالیت صفحه ۱۳ به عنوان تمرین از دانش آموز خواسته شود.

مطالبی که پیشنهاد می شود در جلسه دوم ارائه شود :

شروع با انجام فعالیت پایین صفحه ۱۳ کتاب درسی، تعریف زاویه محاطی و اثبات اندازه آن در سال های مختلف به همراه حل چند نمونه مثال، تعریف زاویه ظلی به همراه پیدا کردن اندازه آن و حل چند نمونه سؤال ارائه شود. (صفحات ۱۳ و ۱۴ و ۱۵ تا ابتدای فعالیت پایین صفحه ۱۵).

پیشنهاد می شود در جلسه سوم این مطالب بیان شود : زوایای بین دو وتر متقاطع در داخل دایره، زاویه بین دو قاطع بر دایره در خارج آن، رابطه طولی بین وترهای در داخل و خارج دایره (صفحات ۱۵ و ۱۶ و ۱۸) تمرینات صفحه ۱۶ و ۱۷ برای حل در منزل پیشنهاد می شود.

در جلسه چهارم، حل تمرین های صفحه ۱۶ و ۱۷ و برگزاری آزمون احتمالی پیشنهاد می شود.

روش تدریس درس اول

می توان با استفاده از مفهوم مکان هندسی، وارد مبحث دایره شد؛ یعنی یک نقطه روی تخته رسم می کنیم و آن را O می نامیم. به کمک خط کش، یک نقطه فرضی به فاصله 1 cm از O رسم می کنیم. سپس نقطه دیگری پیدا می کنیم و ادامه می دهیم تا چند نقطه به دست آید. آن گاه دانش آموزان خواهند گفت که این نقاط دایره هستند. سپس دایره را تعریف می کنیم و نوع نمایش را، مطابق با رسم الخط کتاب، بیان می کنیم. (لازم به ذکر است که نیازی به ارائه تعریف دایره به عنوان مکان هندسی نیست. چون که جزء اهداف کتاب نمی باشد).

سپس وارد مباحث وضعیت نقطه نسبت به دایره می شویم؛ یعنی چند نقطه روی تخته رسم می کنیم و وضعیت آن را نسبت به مرکز دایره مقایسه می کنیم. در اینجا بد نیست به تقسیم نقاط صفحه به سه مجموعه اشاره شود و بعد وضعیت نقطه و دایره بیان شود. جای خالی صفحه ۱۰ کتاب را کامل می کنیم. حال وارد مبحث وضعیت خط و دایره می شویم. قبل از شروع این مبحث، بهتر است ابتدا به «یادآوری» پایین صفحه ۱۰ اشاره و فاصله نقطه تا خط بیان شود و نشان داده شود این اندازه از هر فاصله دیگر نقطه تا خط کوتاه تر است. آن گاه به وضعیت خط و دایره اشاره و تعاریف بیان شود. سپس جای خالی صفحه ۱۱ را به صورت زیر کامل می کنیم.

الف) ۲ (ب) یک خط بر دایره مماس است. (پ) نقطه مشترک ندارند.

فعالیت صفحه ۱۱ انجام می‌شود.

این فعالیت دو هدف دارد:

۱ درک اینکه خط مماس بر دایره، بر شعاع دایره در نقطه تماس، عمود است.

۲ آشنایی با نحوه رسم خط مماس بر دایره از یک نقطه روی آن.

دقت شود که این ۲ موضوع بعد از حل فعالیت توسط دانش‌آموزان بیان شود.

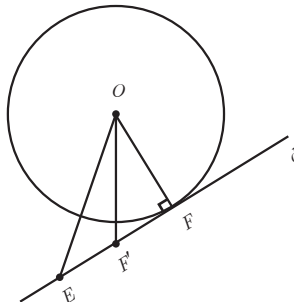
انجام فعالیت صفحه ۱۱ کتاب:

الف) نقطه F نزدیک‌ترین نقطه روی خط نسبت به O است؛ زیرا F تنها نقطه روی خط d است که روی دایره قرار دارد و بقیه نقاط خط d خارج دایره هستند. می‌دانیم که نقاط روی دایره با شعاع دایره برابرند، ولی نقاط خارج دایره، از شعاع بیشتری برخوردارند.

ب) نقطه F نزدیک‌ترین نقطه روی خط نسبت به O است؛ زیرا به خلف فرض می‌کنیم که خط عمود در نقطه دیگری مانند F' خط d را قطع کند. آن‌گاه نقطه‌ای مانند E را روی خط d در نظر می‌گیریم، به طوری که $FF' = F'E$ در دو مثلث $\triangle OFE$ و $\triangle OFF'$ داریم:

$$\triangle OFF' \cong \triangle OF'E \begin{cases} OF' = OF' \\ F' = F' = 90^\circ \\ EF' = FF' \end{cases} \xrightarrow{\text{ض‌ض}} OF = OE = r$$

یعنی نقطه E نیز روی دایره قرار دارد که این با خط مماس d بر دایره C در تناقض است.



پ) نتیجه: اگر F نقطه‌ای روی دایره باشد، شعاع OF و خط مماس بر دایره در نقطه F بر هم عمودند. قسمت پ «فعالیت» طریقه رسم خط مماس بر دایره از یک نقطه روی آن است. بهتر است این ترسیم مهم جلوه داده شود.

طریقه رسم خط مماس از نقطه F روی دایره

نقطه F روی دایره را در نظر می‌گیریم. از نقطه F به مرکز دایره O وصل می‌کنیم. سپس از نقطه F روی خط OF بر آن عمود می‌کنیم. این خط بر دایره مماس است.

مفاهیم کلی مانند شعاع، وتر، قطر، کمان و زوایای مرکزی، به همراه رسم شکل، تعریف شود. زاویه مرکزی را تعریف و اندازه زاویه مرکزی و کمان روبه‌رو را بیان کنیم. سپس به دنبال پیدا کردن طول کمان روبه‌رو به زاویه مرکزی باشیم. حل «کار در کلاس» صفحه ۱۲ به دنبال این موضوع است که دانش‌آموز، با حل آن، اندازه کمان و طول کمان روبه‌رو به یک زاویه مرکزی را یاد می‌گیرد. سپس به کمک آنها محیط و مساحت قطاع بیان می‌شود.

حل «کار در کلاس» صفحه ۱۲ :

۱ در مورد رابطه نوشته شده توضیح داده می‌شود که چگونه به دست آمده است.

$$\widehat{AB} = 60^\circ \quad \widehat{AB} \text{ طول} = \frac{60}{360} \times 2\pi \cdot OA = \frac{\pi}{3} \times OA \quad \text{۲}$$

$$\widehat{A_1B_1} = 60^\circ \quad \widehat{A_1B_1} \text{ طول} = \frac{60}{360} \times 2\pi \cdot OA_1 = \frac{\pi}{3} \times OA_1$$

$$\frac{\widehat{AB} \text{ اندازه کمان}}{360} = \frac{\widehat{A_1B_1} \text{ طول کمان}}{\text{محیط دایره}} \Rightarrow \frac{\alpha}{360} = \frac{L}{2\pi R} \Rightarrow L = \frac{\pi R}{180} \alpha \quad \text{۳}$$

می‌دانیم یک درجه برابر $\frac{1}{360}$ دایره است. پس مساحت زاویه مرکزی 1° برابر $\frac{1}{360}$ مساحت دایره است؛ یعنی مساحت قطاع به اندازه زاویه α درجه برابر α برابر مساحت قطاع یک درجه است.

$$S = \alpha \times \frac{1}{360} \times \pi R^2 = \frac{\pi R^2}{360} \alpha$$

«فعالیت» صفحه ۱۳ چند هدف دارد: در شماره ۱ و ۲ می‌خواهیم بیان کنیم اگر دو وتر مساوی باشند، کمان‌های نظیر آنها برابرند و برعکس. در ۳ و ۴ و ۵ می‌خواهیم بیان کنیم قطر عمود بر وتر، و وتر کمان روبه‌رو به وتر را نصف می‌کند و برعکس. از این هدف نتیجه می‌توان گرفت که عمود منصف هر وتر از مرکز دایره می‌گذرد.

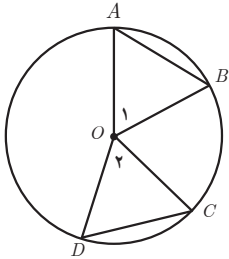
فعالیت صفحه ۱۳

۱ زاویه‌های O_1 و O_2 زوایای مرکزی هستند. اندازه هر زاویه مرکزی با کمان روبه‌رو برابر است.

$$\hat{O}_1 = \widehat{AB}$$

$$\hat{O}_2 = \widehat{DC} \quad \widehat{AB} = \widehat{DC} \Rightarrow \hat{O}_1 = \hat{O}_2$$

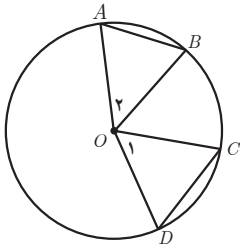
فصل اول: دایره ۷



دو مثلث $\triangle OAB$ ، $\triangle ODC$ را در نظر می‌گیریم.

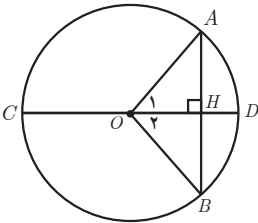
$$\triangle OAB \cong \triangle ODC \begin{cases} OA = OD = r \\ OB = OC = r \\ \hat{O}_1 = \hat{O}_2 \end{cases} \xrightarrow{\text{ض ض ض}} \begin{cases} AB = DC \end{cases}$$

فرض $AB = CD$ حکم $\widehat{AB} = \widehat{CD}$



$$\triangle OAB \cong \triangle OCD \begin{cases} OA = OC = r \\ OB = OD = r \\ AB = CD \end{cases} \xrightarrow{\text{ض ض ض}} \hat{O}_1 = \hat{O}_2$$

O_1 و O_2 زوایای مرکزی اند. $O_1 = \widehat{CD}$ و $O_2 = \widehat{AB}$. در نتیجه $\widehat{AB} = \widehat{CD}$



$$\triangle OAH \cong \triangle OHB \begin{cases} OA = OB \\ OH = OH \end{cases} \quad \text{ض ض ض}$$

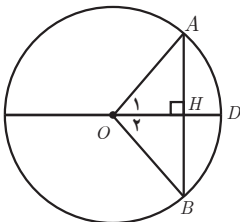
دو مثلث $\triangle OAH$ و $\triangle OHB$ بنا به برابری وتر و یک ضلع قائمه، همنهشت هستند.

در نتیجه $AH = HB$ و $\hat{O}_1 = \hat{O}_2$ و O_1 و O_2 زوایای مرکزی هستند.

$$\widehat{AD} = \widehat{BD}$$

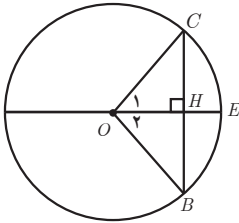
۴ O را به A و B وصل می‌کنیم.

$$\triangle OAH \cong \triangle OHB \begin{cases} OA = OB \\ OH = OH \\ AH = HB \end{cases} \xrightarrow{\text{ض ض ض}} \begin{cases} O_1 = O_2 \\ O_1 = \widehat{AD} \\ O_2 = \widehat{DB} \end{cases} \Rightarrow \widehat{AD} = \widehat{DB}$$



و از طرفی $\hat{H}_1 = \hat{H}_2 = 90^\circ$ در نتیجه $\hat{H}_1 + \hat{H}_2 = 180^\circ$ و $\hat{H}_1 = \hat{H}_2$

۵ E وسط کمان \widehat{CB} است؛ یعنی $\widehat{CE} = \widehat{EB}$ و O_1 و O_2 زوایای مرکزی هستند.



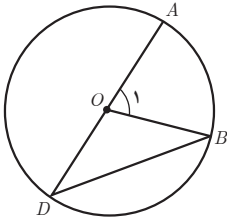
$$\left. \begin{aligned} \hat{O}_1 &= \widehat{CE} \\ \hat{O}_2 &= \widehat{EB} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \hat{O}_1 = \hat{O}_2$$

$$\triangle OCH \cong \triangle OHB \begin{cases} OC = OB \\ \angle OCH = \angle OHB \\ OH = OH \end{cases} \longrightarrow \begin{cases} CH = BH \\ H_1 = H_2 \end{cases}$$

$$H_1 + H_2 = 180^\circ \rightarrow H_1 = H_2 = 90^\circ \text{ از طرفی}$$

۶ با توجه به فعالیت شماره ۴ و ۵ کافی است وسط کمان را به وسط وتر وصل کنیم و ادامه دهیم تا دایره را قطع کند. این پاره خط قطر دایره و عمود بر وتر است. موضوع «فعالیت» پایین صفحه ۱۳ اندازه زاویه محاطی است. ابتدا زاویه محاطی را تعریف و یک زاویه محاطی رسم کنید. سپس قضیه را ثابت کنید. سه حالت برای قضیه در نظر گرفته شده است.

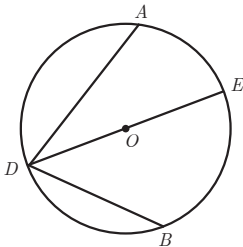
فعالیت صفحه ۱۳



۱ B را به O وصل می کنیم. مثلث OBD متساوی الساقین است. $OB = OD \rightarrow \hat{D} = \hat{B}$ و O_1 زاویه خارجی مثلث متساوی الساقین است.

$$\hat{O}_1 = \hat{D} + \hat{B} = 2\hat{D} \Rightarrow \hat{D} = \frac{\hat{O}_1}{2}$$

$$\hat{D} = \frac{\widehat{AB}}{2} \text{ از طرفی } \hat{O}_1 = \widehat{AB} \text{ در نتیجه}$$



۲ در حالت دوم فرض می کنیم O بین اضلاع زاویه محاطی واقع باشد. D را به O وصل می کنیم و ادامه می دهیم تا کمان را روبه رو را در E قطع کند.

$$\hat{ADE} = \frac{\widehat{AE}}{2} \text{ و } \hat{EDB} = \frac{\widehat{EB}}{2}$$

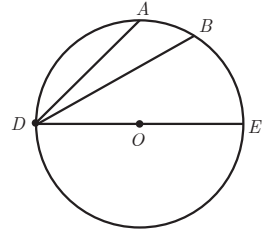
$$\hat{ADB} = \hat{ADE} + \hat{EDB} = \frac{\widehat{AE}}{2} + \frac{\widehat{EB}}{2} = \frac{\widehat{AB}}{2}$$

۳ در این حالت، مرکز دایره خارج زاویه مرکزی قرار دارد.
از نقطه D به O وصل می‌کنیم و ادامه می‌دهیم. آن‌گاه بنا به قسمت الف داریم:

$$\widehat{ADE} = \frac{\widehat{ABE}}{2} \text{ و } \widehat{BDE} = \frac{\widehat{BE}}{2}$$

$$\widehat{ADB} = \widehat{ADE} - \widehat{BDE} = \frac{\widehat{ABE}}{2} - \frac{\widehat{BE}}{2} = \frac{\widehat{ABE} - \widehat{BE}}{2}$$

$$\widehat{ADB} = \frac{\widehat{AB}}{2}$$



در اینجا بهتر است از چند مثال برای یافتن اندازه زاویه محاطی استفاده شود. چند نمونه مثال در ادامه در قسمت مثال‌های فصل اول درس ۱ ارائه شده است.

در انتها، به صورت یک قضیه، اندازه زاویه محاطی را بیان می‌کنیم (قضیه صفحه ۱۴). حال، زاویه ظلی را تعریف و چند زاویه ظلی رسم می‌کنیم. به کمک حل فعالیت صفحه ۱۴ اندازه زاویه ظلی به دست می‌آید. بعد از حل فعالیت این صفحه، قضیه صفحه ۱۵، که نتیجه فعالیت است، بیان می‌شود. هدف این فعالیت پیدا کردن اندازه ظلی در دایره است.

حل فعالیت صفحه ۱۴:

الف) $\widehat{DAC} = 90^\circ$ و بنابراین $\widehat{DAC} = \frac{1}{2}\widehat{ABD}$

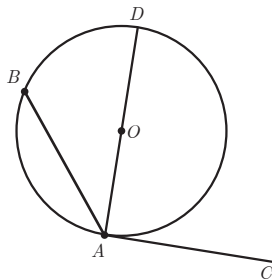
ب) زاویه DAB یک زاویه محاطی است؛ بنابراین: $\widehat{DAB} = \frac{1}{2}\widehat{DB}$

پ) از الف) و ب) داریم: $\widehat{DAC} - \widehat{DAB} = \frac{1}{2}(\widehat{DBA} - \widehat{DB})$

$$\widehat{BAC} = \frac{1}{2}\widehat{AB}$$

ت) فرض می‌کنیم زاویه \widehat{BAC} منفرجه باشد. نقطه A را به O مرکز دایره وصل می‌کنیم و ادامه می‌دهیم تا دایره را در نقطه D قطع کند.

$$\widehat{DAC} = 90^\circ \rightarrow \widehat{DAC} = \frac{1}{2}\widehat{DA}$$



زاویه DAB یک زاویه محاطی است $\widehat{DAB} = \frac{1}{4}\widehat{BD}$

$$\widehat{BAC} = \widehat{BAD} + \widehat{DAC} = \frac{1}{4}\widehat{BD} + \frac{1}{4}\widehat{DA} = \frac{1}{4}\widehat{BDA}$$

در این قسمت چند مثال بیان کنید تا دانش آموزان اندازه زاویه ظلی را یاد بگیرند.
«کار در کلاس» صفحه ۱۵ حل شود. هدف، بیان نتیجه‌ای است که در ادامه آن بیان شده است. از این کار در کلاس برای اثبات فعالیت بعدی کمک گرفته می‌شود؛ بنابراین، بدون انجام دادن کار در کلاس، وارد فعالیت نشوید.

حل کار در کلاس صفحه ۱۵ :

۱ الف) زوایای \widehat{BAD} و \widehat{ADC} با هم برابرند؛ زیرا :

$$AB \parallel CD \text{ و } AD \text{ مورب} \Rightarrow \widehat{BAD} = \widehat{ADC}$$

ب) کمان‌های \widehat{BD} و \widehat{AC} برابرند زیرا زوایای \widehat{BAD} و \widehat{ADC} محاطی هستند؛ پس،

$$\widehat{BAD} = \frac{1}{4}\widehat{BD}$$

$$\widehat{ADC} = \frac{1}{4}\widehat{AC}$$

از روابط فوق نتیجه می‌شود. $\widehat{AC} = \widehat{BD}$

۲ الف) وترهای EF و GH رسم می‌شود و پاره خط EH را رسم می‌کنیم.

ب) زوایای \widehat{FEH} و \widehat{EHG} برابرند؛ زیرا :

$$\begin{aligned} \widehat{FEH} &= \frac{1}{4}\widehat{FH} \\ \widehat{EHG} &= \frac{1}{4}\widehat{EG} \end{aligned} \Rightarrow \widehat{FEH} = \widehat{EHG}$$

بنا به عکس قضیه خطوط موازی و مورب، نتیجه می‌شود وتر EF موازی GH است.
می‌خواهیم زوایای بین دو وتر متقاطع در داخل یا امتداد آنها در خارج دایره را پیدا کنیم. با حل فعالیت پایین صفحه ۱۵ و ۱۶ این مقدار به دست می‌آید.
هدف این فعالیت؛ پیدا کردن زاویه بین امتداد دو وتر متقاطع در خارج دایره و زاویه بین دو وتر متقاطع در داخل دایره است.

حل فعالیت صفحه ۱۵:

$$AD \parallel CF \text{ و } AE \text{ مورب} \Rightarrow \widehat{DAE} = \widehat{FCE}$$

۱

زاویه FCE یک زاویه محاطی است.

$$\widehat{FCE} = \frac{1}{2} \widehat{FE}$$

$$BF \parallel AD \text{ و } BE \text{ مورب} \Rightarrow \widehat{FBE} = \widehat{DAE}$$

۲

زاویه FBE یک زاویه محاطی است.

$$\widehat{FBE} = \frac{1}{2} \widehat{FE}$$

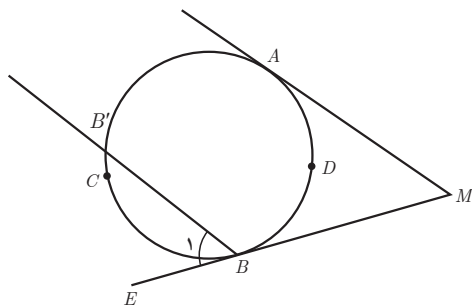
حل تمرین صفحه ۱۶:

۱ الف) راه اول: از نقطه B موازی MA رسم می‌کنیم. $MA \parallel BB'$ و $MB \setminus \rightarrow \widehat{M} = \widehat{B}_1$

$$\widehat{AB'} = \widehat{ADB}$$

زاویه B_1 یک زاویه ظلی است و اندازه آن برابر است با $\widehat{B}_1 = \frac{\widehat{BB'}}{2}$

$$\widehat{B}_1 = \frac{\widehat{ACB} - \widehat{AB'}}{2} = \frac{\widehat{ACB}}{2} - \frac{\widehat{AB'}}{2} = \frac{\widehat{ACB}}{2} - \frac{\widehat{ADB}}{2} = \frac{\widehat{ACB} - \widehat{ADB}}{2}$$

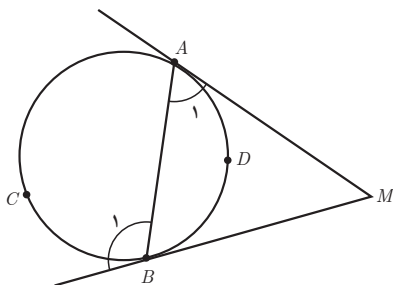


راه دوم: \widehat{B}_1 زاویه خارجی مثلث AMB است.

$$\widehat{B}_1 = \widehat{A}_1 + \widehat{M} \rightarrow \widehat{M} = \widehat{B}_1 - \widehat{A}_1$$

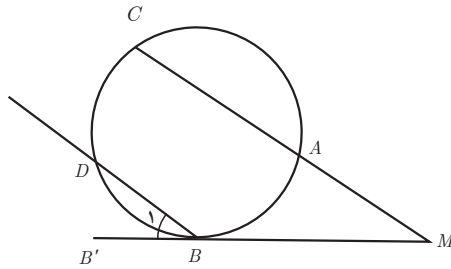
$$\widehat{B}_1 = \frac{\widehat{ACB}}{2} \text{ زاویه ظلی و } \widehat{A}_1 = \frac{\widehat{ADB}}{2} \text{ زاویه ظلی}$$

$$\Rightarrow \widehat{M} = \frac{\widehat{ACB}}{2} - \frac{\widehat{ADB}}{2}$$



ب) راه اول: از B خطی موازی AC رسم می‌کنیم. $\hat{M} = \hat{B}_1 \rightarrow MB' \parallel MC$ و $MC \parallel BD$ از طرفی وتر BD موازی AC است؛ بنابراین $\widehat{AB} = \widehat{CD}$

$$\hat{M} = \hat{B}_1 = \frac{\widehat{DB}}{2} = \frac{\widehat{CDB} - \widehat{CD}}{2} = \frac{\widehat{CDB} - \widehat{AB}}{2}$$

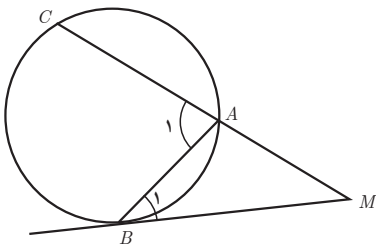


راه دوم: از A به B وصل می‌کنیم. \hat{A}_1 زاویه خارجی مثلث MAB است.

$$\hat{A}_1 = \hat{B}_1 + \hat{M} \Rightarrow \hat{M} = \hat{A}_1 - \hat{B}_1$$

$$\hat{B}_1 = \frac{\widehat{AB}}{2} \text{ زاویه ظلی و } \hat{A}_1 = \frac{\widehat{BC}}{2} \text{ زاویه محاطی}$$

$$M = \frac{\widehat{BC}}{2} - \frac{\widehat{AB}}{2} = \frac{\widehat{BC} - \widehat{AB}}{2} \text{ بنابراین داریم}$$

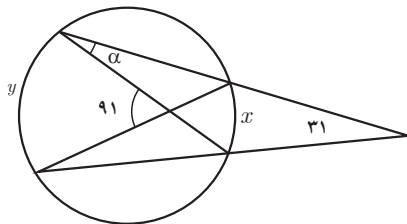


$$31 = \frac{y-x}{2} \rightarrow y-x = 62$$

$$91 = \frac{y+x}{2} \rightarrow y+x = 182$$

$$x = 60, y = 122$$

$$\alpha = \frac{x}{2} = 30$$

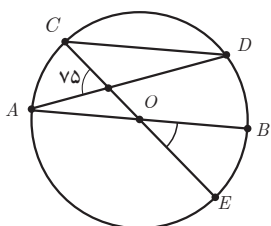


$$\widehat{MN} = x, \hat{C} = \frac{\widehat{MQN} - \widehat{MN}}{2} = \frac{(36^\circ - x) - x}{2} = 7^\circ \Rightarrow x = 11^\circ$$

۳

$$\widehat{QP} = y, \hat{B} = \frac{\widehat{QMP} - \widehat{QP}}{2} = \frac{(36^\circ - y) - y}{2} = 8^\circ \Rightarrow y = 10^\circ$$

$$\hat{A} = \frac{\widehat{QM} - \widehat{PN}}{2} = \frac{36^\circ - (x + y)}{2} = \frac{36^\circ - (11^\circ + 10^\circ)}{2} = 7.5^\circ$$



۴ شعاع CO را ادامه می‌دهیم تا دایره را در نقطه E قطع کند.

$$CD \parallel AB \rightarrow \widehat{CA} = \widehat{DB}$$

$$CD \parallel AB, CE \rightarrow \hat{C} = \hat{O}$$

مورب

زاویه O یک زاویه مرکزی است و اندازه آن چنین است: $\hat{O} = \widehat{BE}$. C یک زاویه محاطی است و

$$\widehat{CA} = \widehat{DB} = \widehat{BE} \text{ بنابراین } \frac{\widehat{DE}}{2} = \widehat{BE} \text{ بنابراین } \hat{C} = \frac{\widehat{DE}}{2}$$

$$7.5 = \frac{\widehat{CA} + \widehat{DE}}{2} = \frac{3\widehat{CA}}{2} \Rightarrow \widehat{CA} = 5^\circ \text{ و } \widehat{DB} = 5^\circ \text{ و } \widehat{CD} = 18^\circ - 10^\circ = 8^\circ$$

۵ AB قطر دایره است؛ بنابراین ① $\widehat{ACB} = \widehat{ADB}$. از طرفی $AC \parallel BD$. پس وترهای محصور به

$$\text{این دو وتر موازی، مساوی هستند؛ یعنی: } \textcircled{2} \widehat{AD} = \widehat{CB}$$

طرفین رابطه ۱ را از طرفین رابطه ۲ کم می‌کنیم.

$$\widehat{ACB} - \widehat{CB} = \widehat{ADB} - \widehat{AD} \Rightarrow \widehat{AC} = \widehat{DB}$$

اگر دو کمان برابر باشند، وترهای نظیر به آن دو کمان برابرند؛ یعنی: $AC = DB$.

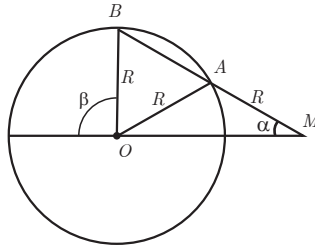
۶ مثلث ABO و AMO متساوی الساقین هستند.

$$OA = AM = R \rightarrow \hat{AOM} = \alpha$$

از طرفی $\hat{BAO} = \hat{AOM} + \alpha = 2\alpha$ پس $\hat{BAO} = \hat{AOM} + \alpha = 2\alpha$ مثلث AOM است؛

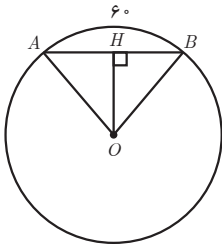
مثلث ABO متساوی الساقین است. $BO = AO$ در نتیجه $\hat{MBO} = \hat{BAO} = 2\alpha$

زاویه β زاویه خارجی مثلث BMO است؛ پس $\beta = \widehat{ABO} + \alpha = 3\alpha$



راه اول: در مثلث متساوی الساقین $\triangle ABO$ ، ارتفاع OH

نیمساز و میانه است.



$$\widehat{O} = \widehat{AB} = 60^\circ$$

$$\widehat{O}_1 = \frac{1}{2}\widehat{O} = 30^\circ$$

$$\triangle OHB : \tan 30^\circ = \frac{HB}{OH} \rightarrow \frac{\sqrt{3}}{3} = \frac{5}{OH} \Rightarrow OH = \frac{15}{\sqrt{3}} = 5\sqrt{3}$$

راه دوم: در مثلث OHB زاویه $\widehat{O}_1 = 30^\circ$ پس $HB = \frac{1}{2}OB = \frac{1}{2}R$ پس $R = 2HB = 10$

$$OH^2 = OB^2 - HB^2 = 100 - 25 = 75$$

$$OH = 5\sqrt{3}$$

راه سوم: مثلث OAB متساوی الاضلاع است. $OA = OB = AB = 10$

و OH طول ارتفاع مثلث متساوی الاضلاع است که برابر است با $OH = \frac{\sqrt{3}}{2}AB = \frac{\sqrt{3}}{2} \times 10 = 5\sqrt{3}$

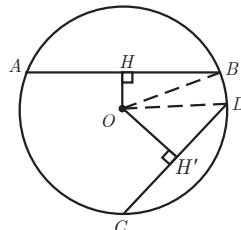
$$OH = 5\sqrt{3}$$

از O بر دو وتر عمود می‌کنیم. می‌دانیم قطر عمود بر وتر، وتر را نصف می‌کند.

$$HB = \frac{1}{2}AB, \quad H'D = \frac{1}{2}CD$$

$$AB > CD \rightarrow \frac{1}{2}AB > \frac{1}{2}CD \rightarrow HB > H'D$$

$$\Leftrightarrow HB^2 > H'O^2 \Leftrightarrow HB^2 - H'O^2 > 0 : \textcircled{1}$$



در مثلث‌های قائم‌الزاویه OHB و ODH' بنا به رابطه فیثاغورس داریم:

$$\begin{aligned} OH^2 + HB^2 &= OB^2 \\ OH'^2 + H'D^2 &= OD^2 \\ \Leftrightarrow OH^2 + HB^2 &= OH'^2 + H'D^2 \\ \Leftrightarrow HB^2 - H'D^2 &= OH'^2 - OH^2 \end{aligned}$$

بنا به رابطه ۱ سمت چپ تساوی فوق مثبت است پس سمت راست تساوی هم مثبت است یعنی $OH'^2 - OH^2 > 0 \Leftrightarrow OH'^2 > OH^2 \Leftrightarrow OH' > OH$

مسائل تکمیلی درس اول

۱ دایره به مرکز $(0,0)$ شعاع $\sqrt{5}$ مفروض است. نقطه $A(m, m-1)$ خارج دایره قرار ندارد. محدوده m کدام است؟

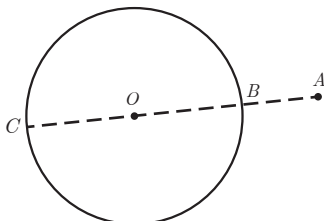
$$\begin{aligned} OA \leq r &\Rightarrow \sqrt{m^2 + (m-1)^2} \leq \sqrt{5} \\ \Rightarrow 2m^2 - 2m - 4 &\leq 0 \end{aligned}$$

m	-1	2
$2m^2 - 2m - 4$	$+$	$- \quad +$

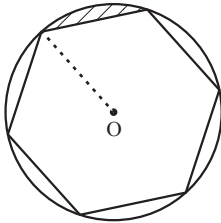
$$m \in [-1, 2]$$

۲ نزدیک‌ترین فاصله نقطه A به دایره $C(O, R)$ برابر ۲ و دورترین فاصله نقطه A تا دایره برابر ۱۰ است. اگر A خارج دایره باشد، شعاع دایره چقدر است؟
از نقطه A بر دایره عمود می‌کنیم؛ یعنی از A به O وصل می‌کنیم و ادامه می‌دهیم. AC بر دایره عمود است؛ زیرا بر خط مماس در نقاط A و C عموداند. کمترین فاصله A تا دایره AB و بیشترین فاصله A تا دایره AC است.

$$\begin{aligned} AB &= OA - OB = 2 \\ AC &= OA + OB = 10 \Rightarrow 2OA = 12 \Rightarrow OA = 6 \\ 6 - OB &= 2 \Rightarrow OB = 4 \end{aligned}$$



۳ در شکل زیر مساحت قسمت هاشور زده را به دست آورید. (شعاع دایره ۴ است و شش ضلعی منتظم است) اگر وترها در دایره برابر باشند، کمان‌های نظیر برابرند. شش ضلعی منتظم است؛ پس کمان‌های نظیر ضلع‌های شش ضلعی برابرند؛ یعنی: $x = 60^\circ \rightarrow 6x = 360^\circ$ از طرفی O زاویه مرکزی است.



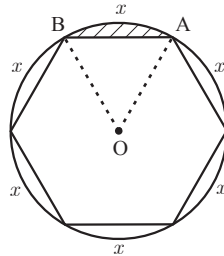
$$S_{OAB} = \frac{\sqrt{3}}{4} \times 4^2 = \frac{\sqrt{3}}{4} (16) = \sqrt{3}$$

مثلث OAB متساوی الاضلاع است.

از طرفی مساحت قطاع AOB برابر است با

$$\frac{\pi(4)^2(60^\circ)}{360^\circ} = \frac{8\pi}{3}$$

$$S_{\text{هاشور}} = S_{\text{قطاع}} - S_{\text{مثلث}} = \frac{8\pi}{3} - \sqrt{3}$$



۴ طول وتر AB در دایره $C(O, R)$ برابر 1° سانتی متر است. اگر فاصله وتر AB تا مرکز دایره برابر $5\sqrt{3}$ باشد. طول کمان AB را به دست آورید.

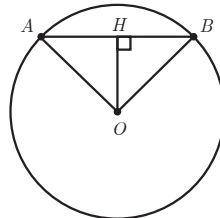
مثلث OAB متساوی الساقین است و OH نیمساز و میانه است از طرفی قطر عمود بر وتر، وتر را نصف

می‌کند.

$$OH^2 + HB^2 = OB^2 \Rightarrow (5\sqrt{3})^2 + (5)^2 = OB^2 \Rightarrow OB = 10$$

مثلث OAB متساوی الاضلاع است. و $\hat{O} = 60^\circ$ ، حال طول کمان AB برابر است با

$$\text{طول کمان } AB = \frac{\pi(10)}{180^\circ} \times 60^\circ = \frac{\pi}{3}$$

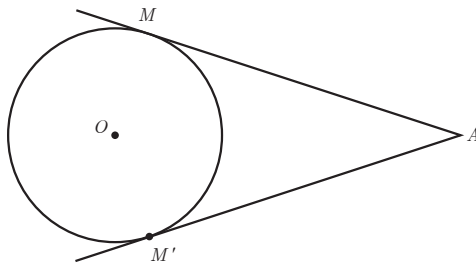


۵ در شکل زیر $\hat{A} = 6^\circ$ است و شعاع دایره برابر ۴ سانتی متر است. طول کمان MM' و مساحت قطاع OMM' را به دست آورید.

از O به M و M' وصل می‌کنیم و $\hat{M} = \hat{M}' = 9^\circ$ پس $\hat{MOM}' = 12^\circ$ بنابراین، مساحت قطاع MOM' برابر است با:

$$S = \frac{\pi(4)^2 \times 12^\circ}{360^\circ} = \frac{16\pi}{3}$$

و طول کمان MM' برابر است با $\frac{\pi(4)}{180} \times 12^\circ = \frac{8\pi}{3}$



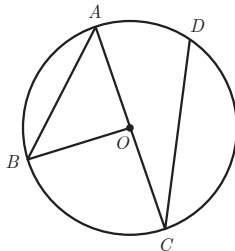
۶ در شکل زیر $\widehat{AB} = 100^\circ$ و $\widehat{DC} = 150^\circ$ ، اندازه \hat{A} و \hat{C} و \hat{B} را بیابید. AC قطر دایره است. $\widehat{BC} = 180^\circ - 100^\circ = 80^\circ$ ، زاویه A محاطی است.

$$\hat{A} = \frac{1}{2}\widehat{BC} = 40^\circ$$

$$\widehat{AD} = 180^\circ - \widehat{DC} = 30^\circ$$

$\hat{C} = \frac{1}{2}\widehat{AD} = 15^\circ$ زاویه محاطی است.

زاویه BOC مرکزی است و اندازه آن برابر است با $\widehat{BC} = 80^\circ$



۷ در شکل صفحه بعد $\hat{BAC} = \alpha - 10^\circ$ و $\hat{BOC} = \alpha + 15^\circ$ است. مقدار α و \hat{BAC} و \hat{BOC}

را بیابید.

$$\hat{BAC} = \frac{1}{2}\widehat{BC}$$

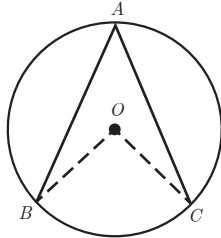
زاویه BAC یک زاویه محاطی است و اندازه آن

و زاویه O یک زاویه مرکزی است

$$\widehat{BOC} = \widehat{BC}$$

از روابط فوق نتیجه می شود که :

$$\widehat{BOC} = 2\widehat{BAC}$$



$$\alpha + 15 = 2(\alpha - 10) \Rightarrow \alpha = 25$$

$$\widehat{BOC} = 40^\circ, \quad \widehat{BAC} = 15^\circ$$

۸ در شکل زیر $AB \parallel FC$ و $CD \parallel BE$ و $\widehat{AB} = 6^\circ$ و $\widehat{CD} = 4^\circ$ و $\widehat{EF} = 11^\circ$ ، آن گاه زاویه

\widehat{FCD} چند درجه است.

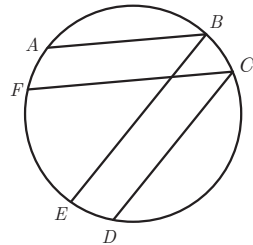
$$AB \parallel FC \Rightarrow \widehat{AF} = \widehat{BC} \Rightarrow \widehat{AF} = \widehat{BC} = \widehat{ED} = x$$

$$BE \parallel CD \Rightarrow \widehat{ED} = \widehat{BC}$$

$$3x + \widehat{AB} + \widehat{CD} + \widehat{EF} = 360 \rightarrow 3x + 6^\circ + 4^\circ + 11^\circ = 360$$

$$x = 5^\circ$$

$$\widehat{FCD} = \frac{\widehat{FD}}{2} = \frac{5^\circ + 11^\circ}{2} = 8^\circ$$



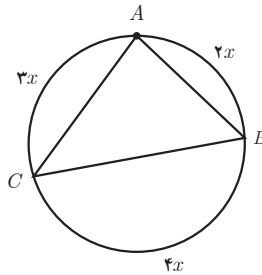
۹ در شکل زیر اندازه x و اندازه زوایای A و B و C را به دست آورید.

$$2x + 3x + 4x = 180 \Rightarrow x = 20$$

$$\widehat{A} = \frac{1}{2}(4x) = 40^\circ$$

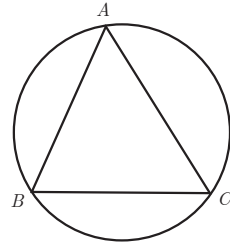
$$\widehat{B} = \frac{1}{2}(3x) = 30^\circ$$

$$\widehat{C} = \frac{1}{2}(2x) = 20^\circ$$



۱۵ با استفاده از زوایای محاطی ثابت کنید مجموع زوایای داخلی هر مثلث ۱۸۰° درجه است. دایره‌ای رسم می‌کنیم که از سه رأس مثلث بگذرد. زوایای A و B و C محاطی هستند آن‌گاه

$$\left. \begin{aligned} \hat{A} &= \frac{1}{2} \widehat{BC} \\ \hat{B} &= \frac{1}{2} \widehat{AC} \\ \hat{C} &= \frac{1}{2} \widehat{AB} \end{aligned} \right\} \xrightarrow{+} \hat{A} + \hat{B} + \hat{C} = \frac{1}{2} (\widehat{AB} + \widehat{AC} + \widehat{BC}) = 180^\circ$$



۱۶ در شکل زیر چهارضلعی $ABCD$ یک متوازی‌الاضلاع است. ثابت کنید مثلث BCE

متساوی‌الساقین است.

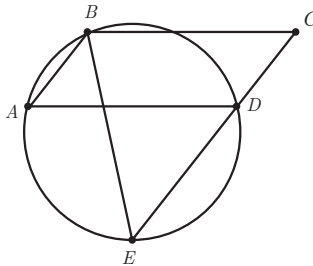
$$\hat{A} = \hat{C} \quad (1)$$

چهارضلعی $ABCD$ متوازی‌الاضلاع است.

$$\left. \begin{aligned} \hat{A} &= \frac{1}{2} \widehat{BD} \\ \hat{E} &= \frac{1}{2} \widehat{BD} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \hat{A} = \hat{E} \quad (2)$$

از طرفی A و E زوایای محاطی هستند.

از ۱ و ۲ نتیجه می‌شود $\hat{E} = \hat{C}$ ، مثلث BEC متساوی‌الساقین است.



۱۷ در شکل زیر اندازه x را به دست آورید.

زاویه O یک زاویه مرکزی است.

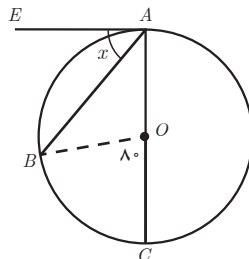
$$\hat{O} = \widehat{BC} = 8^\circ$$

$$\widehat{BAC} = \frac{1}{2} \widehat{BC} = 4^\circ$$

$$\hat{EAB} = x = \frac{1}{2} \widehat{AB}$$

$$\widehat{AB} = 180^\circ - \widehat{BC} = 172^\circ$$

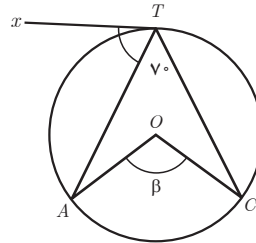
$$\hat{EAB} = x = \frac{1}{2} (172^\circ) = 86^\circ$$



زاویه EAB یک زاویه ظلی است.

۱۳ اگر در شکل زیر اندازه زاویه ظلی \widehat{ATx} برابر $3\alpha - 10^\circ$ و اندازه کمان \widehat{AT} برابر $\alpha + 12^\circ$ باشد، α و β زاویه ATx را بیابید.

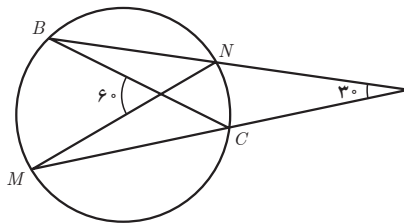
$$\begin{aligned}\widehat{ATC} &= \frac{1}{2}\widehat{AC} \Rightarrow \widehat{AC} = 14^\circ \\ \widehat{\beta} &= \widehat{BC} = 14^\circ \\ \widehat{ATx} &= \frac{1}{2}\widehat{AT} \Rightarrow 3\alpha - 10^\circ = \frac{1}{2}(\alpha + 12^\circ) \\ \alpha &= \frac{14^\circ}{5} = 28 \\ \widehat{ATx} &= 3(28) - 10^\circ = 74^\circ\end{aligned}$$



۱۴ در شکل زیر اندازه \widehat{BM} و \widehat{NC} را بیابید.

$$\begin{aligned}60^\circ &= \frac{\widehat{BM} + \widehat{NC}}{2} \Rightarrow \widehat{BM} + \widehat{NC} = 120^\circ \\ 30^\circ &= \frac{\widehat{BM} - \widehat{NC}}{2} \Rightarrow \widehat{BM} - \widehat{NC} = 60^\circ\end{aligned}$$

از حل دستگاه $\widehat{BM} = 90^\circ$ و $\widehat{NC} = 30^\circ$ به دست می آید.



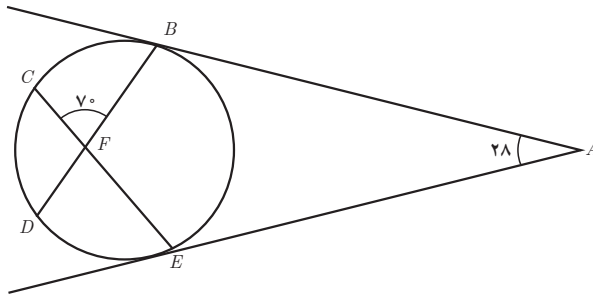
۱۵ در شکل صفحه بعد اندازه \widehat{BE} و \widehat{DC} را بیابید.

$$\begin{aligned}70^\circ &= \frac{\widehat{BC} + \widehat{DE}}{2} \Rightarrow \widehat{BC} + \widehat{DE} = 140^\circ \\ 28^\circ &= \frac{(\widehat{BC} + \widehat{DE} + \widehat{CD}) - (\widehat{BE})}{2} = \frac{140^\circ + \widehat{CD} - \widehat{BE}}{2} \\ \widehat{CD} - \widehat{BE} &= -84^\circ\end{aligned}$$

فصل اول: دایره ۲۱

$$\frac{\widehat{CD} + \widehat{BE}}{2} = 110^\circ \Rightarrow \widehat{CD} + \widehat{BE} = 220^\circ$$

$$\widehat{CD} = 152 \quad , \quad \widehat{BE} = 68$$



۱۶ در شکل زیر M وسط کمان EF است. نشان دهید $\widehat{B} + \widehat{D} = 180^\circ$

نقطه M وسط \widehat{EF} است. $\widehat{EM} = \widehat{MF}$

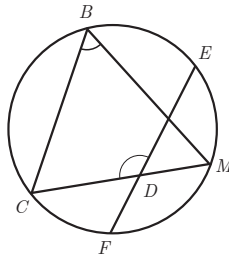
دو وتر CM و FE در داخل دایره متقاطع هستند.

$$\widehat{D} = \frac{\widehat{CBE} + \widehat{FM}}{2} \quad (1)$$

$$\widehat{B} = \frac{\widehat{CM}}{2} = \frac{\widehat{CF} + \widehat{FM}}{2} = \frac{\widehat{CF} + \widehat{EM}}{2} \quad (2)$$

روابط ۱ و ۲ را با هم جمع می‌کنیم.

$$\widehat{D} + \widehat{B} = \frac{\widehat{CBE} + \widehat{FM}}{2} + \frac{\widehat{CF} + \widehat{EM}}{2} = \frac{360^\circ}{2} = 180^\circ$$

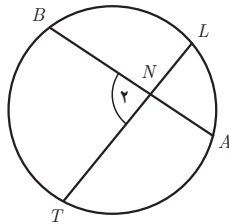


۱۷ در شکل زیر مقدار x و اندازه زاویه N را به دست آورید.

$$\widehat{AL} = 10x - 10, \quad \widehat{BT} = 9x + 17, \quad \widehat{N} = 6x + 28$$

$$\widehat{N} = \frac{\widehat{BT} + \widehat{AL}}{2} \Rightarrow 6x + 28 = \frac{(10x - 10) + (9x + 17)}{2}$$

$$x = 7 \Rightarrow N = 70$$



۱۸ در شکل زیر؛ الف) اگر $\widehat{M} = 45$ و $\widehat{C} = 120$ باشد کمان a و b را بیابید.

$$120 + a + b = 360 \Rightarrow a + b = 240$$

$$\frac{a-b}{2} = \widehat{M} \Rightarrow a-b = 2(\widehat{M}) = 90$$

$$\underline{a = 144/5, \quad b = 96/5}$$

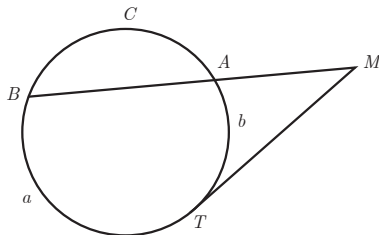
ب) اگر $\frac{a}{6} = \frac{b}{4} = \frac{c}{5}$ اندازه زاویه M را بیابید.

$$a = 6x$$

$$b = 4x \Rightarrow a + b + c = 15x = 360 \Rightarrow x = 24 \Rightarrow \begin{matrix} a = 144 \\ b = 96 \end{matrix}$$

$$c = 5x$$

$$\widehat{M} = \frac{a-b}{2} = \frac{144-96}{2} = 24$$



رابطه طولی در دایره

اهداف درسی

- ۱ پیدا کردن طول پاره خط‌هایی که در دایره ایجاد می‌شود و پاره خط‌هایی که دو وتر متقاطع در دایره می‌سازند یا دو قاطع بر دایره ایجاد می‌کنند؛
- ۲ رسم خط مماس بر یک دایره از نقطه‌ای خارج دایره بر آن؛
- ۳ بیان وضعیت دو دایره نسبت به هم و پیدا کردن تعداد مماس‌های مشترک آنها؛
- ۴ رسم مماس مشترک خارجی و داخلی بر دو دایره؛
- ۵ حل مسائل کاربردی به کمک روابط طولی در دایره.

تعداد و مباحث جلسات درس دوم :

جلسه اول : ادامه رابطه طولی در دایره، قضایای صفحه ۱۸، رسم مماس بر دایره از نقطه‌ای خارج دایره، فعالیت «کار در کلاس» صفحه ۲۰ و وضعیت دو دایره نسبت به هم صفحه ۲۰.

جلسه دوم : مماس مشترک‌ها و رسم مماس مشترک داخلی و خارج دو دایره و حل تمرین صفحه ۲۳.

روش تدریس درسی دوم

جلسه اول :

در این درس به رابطه بین اندازه پاره خط‌های حاصل از دو وتر متقاطع در دایره یا امتداد آن دو در خارج دایره یا پاره خط‌هایی که به واسطه یک خط مماس و قاطع از یک نقطه خارج دایره رسم می‌شود می‌پردازیم. هدف این درس، پیدا کردن طول این پاره خط‌ها به کمک رابطه بین پاره خط‌ها است.

در تدریس این درس بهتر است به تشابه دو مثلث در حالت دو زاویه اشاره، و سپس شکلی رسم شود که دو وتر متقاطع باشد و طول سه پاره خط معلوم باشد اما طول پاره خط چهارم مشخص نباشد. از دانش آموز سؤال می‌کنیم چگونه می‌توان طول این قسمت مجهول را پیدا کرد. با این مثال، وارد بحث می‌شویم و قضیه صفحه ۱۸ را بیان می‌کنیم. با حل فعالیت صفحه ۱۸، قضیه ثابت می‌شود و دانش‌آموزان یاد می‌گیرند چگونه طول پاره خط مجهول را بیابند. به همین ترتیب، ادامه فعالیت به اثبات قضیه دوم (صفحه ۱۹) می‌پردازد. بعد از اثبات آن حتماً به چند مثال اشاره و از دانش‌آموز خواسته شود مثال‌ها را حل کنند. نمونه‌ای از این مثال‌ها در ادامه آمده است.

حل فعالیت صفحه ۱۸

$$\hat{A} = \frac{1}{2}\widehat{DB}, \hat{C} = \frac{1}{2}\widehat{DB} \Rightarrow \hat{A} = \hat{C} \quad \text{۱} \quad \text{زاویه } A \text{ و } C \text{ دو زاویه محاطی هستند.}$$

$$\triangle ABM \sim \triangle CMB \begin{cases} \hat{A} = \hat{C} \\ M_1 = M_2 \end{cases} \xrightarrow{\text{زز}} \frac{AM}{CM} = \frac{DM}{MB} \Rightarrow AM.MB = CM.DM$$

۲ برای این شکل همانند قسمت (۱) عمل می‌کنیم و به همان نتیجه می‌رسیم.

۳ زاویه MTA یک زاویه ظلّی است و اندازه آن برابر است با: $\hat{MTA} = \frac{1}{2}\widehat{AT}$. از طرفی، زاویه

$$\hat{MTA} = \hat{TBM} \quad \text{یک زاویه محاطی است } \hat{TBM} = \frac{1}{2}\widehat{AT} \quad \text{در نتیجه:}$$

$$\triangle MTA \sim \triangle MTB \begin{cases} \hat{M} = \hat{M} \\ \hat{MTA} = \hat{TBM} \end{cases} \xrightarrow{\text{زز}} \frac{MA}{MT} = \frac{MT}{MB} \Rightarrow MA.MB = MT^2$$

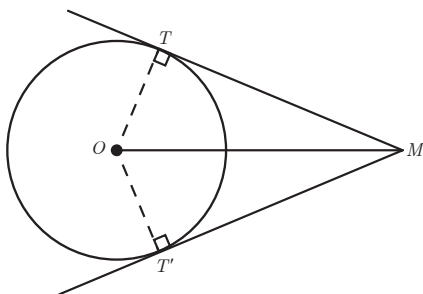
یکی از مباحث مهم دایره، رسم خط مماس از یک نقطه خارج دایره است. برای رسم خط مماس، ابتدا ویژگی خط مماس بیان می‌شود. طریقه رسم خط مماس را بیان می‌کنیم. سعی می‌کنیم به دانش‌آموزان آموزش دهیم به دقت رسم را انجام دهند. سپس به کمک «کار در کلاس» صفحه ۲۰ نشان می‌دهیم طول مماس‌هایی که از یک نقطه خارج دایره بر آن رسم می‌شود، برابر است. «کار در کلاس» را خود دانش‌آموزان حل کنند.

حل کار در کلاس صفحه ۲۰

الف) از O به T و T' وصل می‌کنیم. در مثلث MTO و $MT'O$ ($OM=OM$ و $OT=OT'$) وتر و

یک ضلع قائمهٔ همنهشت هستند از همنهشتی نتیجه می‌شود: $MT=MT'$. همچنین از همنهشتی نتیجه می‌شود:

$$. M_1 = M_2$$



حالت‌های دو دایره را نسبت به هم، به کمک رسم شکل، بیان می‌کنیم و به کمک ریاضی نیز نشان می‌دهیم که دو دایره متخارج در چه حالتی اتفاق می‌افتد. به همین ترتیب برای حالت‌های دیگر، بعد از بیان حالت‌ها، از چند مثال استفاده می‌کنیم.

جلسه دوم: مماس مشترک و رسم مماس مشترک دو دایره

دو دایره و چند خط برد و دایره مماس رسم می‌کنیم. آن‌گاه مماس مشترک را تعریف می‌کنیم. سپس به کمک حل فعالیت صفحه ۲۱ طول مماس مشترک دو دایره متخارج را به دست می‌آوریم. سپس طریقه رسم مماس مشترک داخلی و خارجی را بیان می‌کنیم که با حل فعالیت نیز به این هدف می‌رسیم. در این قسمت باید دایره به دقت رسم شود. از دانش‌آموزان به عنوان یک کار عملی، خواسته شود تمام مماس مشترک دو دایره در حالت‌های مختلف را دقیق رسم کند و برای جلسه بعدی به کلاس بیاورد. در این فعالیت، طول مماس مشترک دایره را حساب و آنها را رسم می‌کنیم. کتاب در این قسمت اشاره‌ای به مماس مشترک داخلی و خارجی نکرده است. بهتر است مماس مشترک خارجی و داخلی را برای دانش‌آموزان بیان کنید.

حل فعالیت صفحه ۲۱

۱ الف) OT و OT' شعاع‌های دایره‌ها هستند که هر دو بر خط مماس MT عمودند؛ یعنی: $\hat{T} = \hat{T}' = 90^\circ$ از طرفی $O'H \parallel TT'$ و $OT \perp TT'$ بنا به قضیه خطوط موازی و مورب نتیجه می‌شود. $\hat{H}_1 = 90^\circ$ در نتیجه زاویه چهارم چهار ضلعی $TT'O'H$ قائمه است؛ بنابراین، چهار ضلعی یک مستطیل است. پس: $OT = O'T' = R'$ و $O'H = TT'$.

ب) در مثلث قائم‌الزاویه $OO'H$ بنا به رابطه فیثاغورس داریم:

$$OO'^2 = OH^2 + O'H^2, \quad O'H = TT', \quad d = OO', \quad OH = R - R'$$

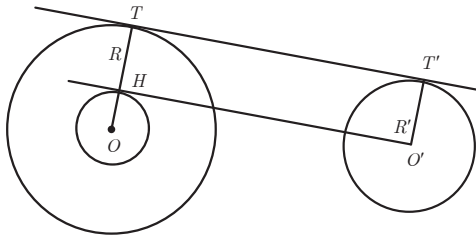
$$d^2 = OH^2 + TT'^2 \Rightarrow TT' = \sqrt{d^2 - OH^2} = \sqrt{d^2 - (R - R')^2}$$

ب) خط‌های m و n بر هر دو دایره مماس‌اند.

مماس‌های MT و MT' بر دایره مماس‌اند. بنابه «کار در کلاس» قبل $O'M$ نیمساز زاویه M است. به همین دلیل OM نیمساز زاویه M است. از آنجا که زاویه M فقط یک نیمساز دارد، پس OM و $O'M$ بر هم منطبق‌اند؛ یعنی OO' از M می‌گذرد.

ت) خط $O'H$ بر دایره مماس است.

ث) به مرکز O و به شعاع $R - R'$ دایره‌ای رسم می‌کنیم و آن را C'' می‌نامیم. از نقطه O' بر دایره C'' مماس رسم می‌کنیم و نقطه تماس را H می‌نامیم. O را به H وصل کرده و ادامه می‌دهیم تا دایره C را در T قطع کند. حال از T خطی به موازات $O'H$ رسم می‌کنیم. این خط در نقطه T' بر دایره C' مماس است. TT' مماس مشترک خارجی دو دایره است.



۲) مثلث $OO'H$ قائم‌الزاویه است. و چهار ضلعی $O'H TT'$ یک مستطیل است.

$$TH = O'T = R, \quad O'H = TT'$$

بنابه رابطه فیثاغورس در مثلث داریم:

$$OO'^2 = O'H^2 + OH^2 \Rightarrow d^2 = TT'^2 + (R + R')^2$$

$$TT' = \sqrt{d^2 - (R + R')^2}$$

۳) اگر دو دایره مماس خارج باشند، آن‌گاه $d = R + R'$ با جایگذاری در رابطه مماس مشترک خارجی

دو دایره داریم.

$$TT' = \sqrt{d^2 - (R - R')^2} = \sqrt{(R + R')^2 - (R - R')^2} = \sqrt{4RR'}$$

۴) $OB = OA = R$ نقطه O از دو سر پاره خط AB به یک فاصله است؛ پس روی عمودمنصف AB

واقع است. به همین ترتیب $O'A = O'B = R'$ نقطه O' هم روی عمودمنصف پاره خط AB است. هر پاره خط فقط یک عمودمنصف دارد. پس OO' روی عمودمنصف AB واقع‌اند.

حل تمرین های صفحه ۲۳ :

۱ $\frac{DM}{MC} = \frac{1}{2}$ با توجه به اینکه طول وتر CD برابر ۹ است، پس: $DM=3$ و $MC=6$ و طول $MA=x$ آن گاه طول $BM=11-x$ است بنا به رابطه طولی در دایره داریم:

$$DM \cdot CM = AM \cdot MB \Rightarrow 3 \times 6 = x(11-x) \Rightarrow x^2 - 11x - 18 = 0$$

$$x = 2, 9$$

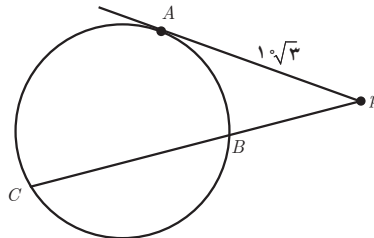
$$\frac{AM}{MB} = \frac{2}{9}$$

$$PA^2 = PB \cdot PC$$

$$(10\sqrt{3})^2 = x(x+20) \Rightarrow x^2 + 20x - 300 = 0$$

$x = 10$, -30 که $x = -30$ قابل قبول نیست.

$$PB = 10 \text{ , } PC = 10 + 20 = 30$$



۲ شعاع دایره بزرگ را R می نامیم. $ON = R - 10$, $OM = R - 16$

از طرفی قطر عمود بر وتر، وتر را نصف می کند. $ON = ON' = R - 10$ بنا به رابطه طولی در دایره داریم:

$$NO \cdot ON' = OM \cdot OB \Rightarrow (R-10)^2 = (R-16)R \Rightarrow R = 25$$

شعاع دایره کوچک برابر است با نصف MB یعنی $R' = \frac{1}{2}(MB) = \frac{1}{2}(R + (R - 16)) = 17$

۴ MT_1 و MT_2 بر یک دایره مماس اند $MT = MT_1$ از طرفی MT_1 و MT_2 بر یک دایره مماس اند

$$.MT = MT_2$$

MT_1 و MT_2 بر یک دایره مماس اند پس $MT = MT_1$ به همین ترتیب $MT = MT_2$

$$d = 8 \text{ , } TT' = \sqrt{d^2 - (R - R')^2} = 3\sqrt{5} \Rightarrow R - R' = 1$$

$$TT' = \sqrt{d^2 - (R + R')^2} = \sqrt{15} \Rightarrow R + R' = 7$$

از حل دستگاه داریم:

$$R=4$$

$$R'=3$$

۶ هر یک قطاع ۱۲° درجه است. پس مجموعه سه قطاع ۱۲° داریم یعنی یک دایره کامل داریم پس طول نخ برابر محیط یک دایره به علاوه ۳ برابر طول AB که ۲ برابر شعاع دایره است.

$$\text{طول نخ} = \text{محیط دایره} + 3AB = 2\pi r + 3(2r) = 2\pi r + 6r$$

مساحت هاشور برابر است با مساحت مثلث متساوی الاضلاع منهای مساحت ۳ قطاع

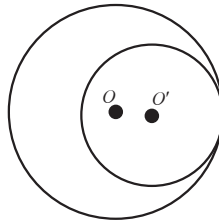
$$S = \frac{\sqrt{3}}{4} (2r)^2 - 3 \left(\frac{\pi(r)^2 \times 6^\circ}{36^\circ} \right) = r\sqrt{3} - \frac{\pi r^2}{2}$$

۷ $d=2$ ، دو دایره مماس درون برابر است: $d=R-R'=2$ مساحت محصور به دو دایره برابر است.

$$\pi R^2 - \pi R'^2 = 16\pi \Rightarrow R^2 - R'^2 = 16$$

$$(R-R')(R+R') = 16 \Rightarrow R+R' = 8$$

$$\begin{cases} R+R' = 8 & R=5 \\ R-R' = 2 & R'=3 \end{cases}$$



مساحت قطاع - مساحت مثلث S هاشور

$$= \frac{\sqrt{3}}{4} (4)^2 - \frac{\pi(6^\circ)(4)^2}{36^\circ} = 4\sqrt{3} - \frac{8}{3}\pi$$

مسائل تکمیلی درس دوم

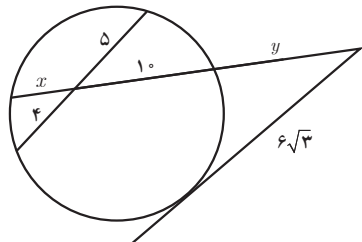
۱ در شکل زیر مقادیر x را بیابید.

(الف)

$$x \times 10 = 5 \times 4 \Rightarrow x = 2$$

$$(6\sqrt{3})^2 = y(y + 10 + x) = y^2 + 12y$$

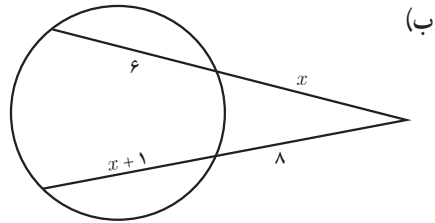
$$y^2 + 12y - 108 = 0 \Rightarrow \begin{cases} y = -18 \\ y = 6 \end{cases}$$



$$x(x+6) = 8(x+1)$$

$$x^2 + 6x - 8x - 8 = 0$$

$$x^2 - 2x - 8 = 0 \Rightarrow \begin{cases} x = 4 \\ x = -2 \end{cases} \text{ غ ق ق}$$



۲ از نقطه P مماس PA به طول ۱۲ بر دایره $C(O, R)$ رسم شده است. اگر دورترین فاصله نقطه P با دایره برابر ۱۶ باشد، قطر دایره چقدر است؟

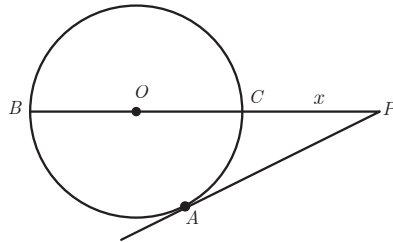
$$PA = 12$$

$$PB = 16$$

$$PA^2 = PC \cdot PB \Rightarrow 12^2 = x \times 16$$

$$x = \frac{144}{16} = 9$$

$$2R = 16 - x = 7$$



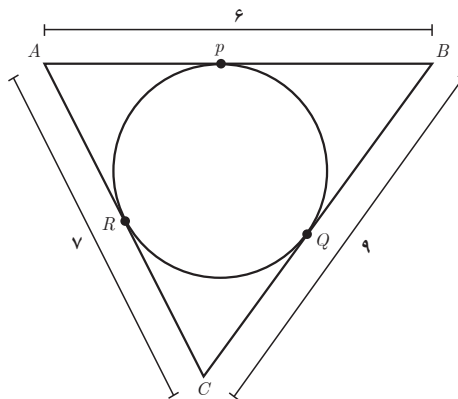
۳ در مثلث با اضلاع $AB=6$ و $AC=7$ و $BC=9$ دایره‌ای محیط کردیم. طول مماسی، که از A بر دایره رسم می‌شود، کدام است؟

$$AP = AR = x, \quad BP = BQ = 6 - x, \quad CR = CQ = 7 - x$$

$$CQ = 7 - x, \quad BQ = 6 - x$$

$$CQ + QB = 9 \Rightarrow 7 - x + 6 - x = 9$$

$$x = 2$$



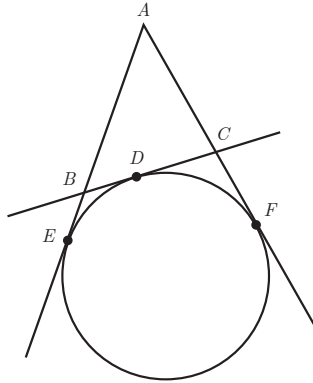
۴ در شکل زیر AE و AF و BC بر دایره مماس هستند. اگر نقطه D از E به سمت F حرکت کند، ثابت کنید با تغییر نقطه D بین E و F محیط مثلث ABC ثابت است.
طول مماس بر دایره با هم برابرند.

$$AE=AF, CD=CF, BD=DE$$

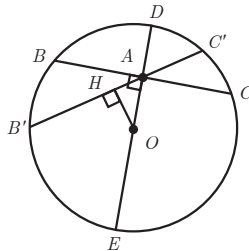
$$\text{محیط مثلث } ABC = AB + BC + AC = AB + (BD + DC) + AC$$

$$= (AB + \underbrace{BD}_{BE}) + (\underbrace{DC}_{CF} + AC) = AE + AF = AE$$

محیط مثلث ABC به نقطه D بستگی ندارد.



۵ از نقطه A در داخل دایره (O, R) بی‌شمار وتر می‌گذرد. وتر BC در نقطه A بر قطر عبوری از این نقطه عمود است. ثابت کنید BC کوتاه‌ترین وتر است که از نقطه A می‌گذرد.
فرض می‌کنیم BC کوتاه‌ترین وتر است که از نقطه A می‌گذرد نباشد و فرض می‌کنیم وتر دیگر $B'C'$ کوتاه‌ترین وتر عبوری از نقطه A باشند. از O بر $B'C'$ عمود می‌کنیم و در مثلث قائم‌الزاویه OAB طول وتر OA از طول ضلع قائمه OH بزرگ‌تر است. هرچه فاصله وتر به مرکز دایره کمتر باشد بزرگ‌تر است؛ بنابراین، وتر $B'C'$ از وتر BC بزرگ‌تر است.



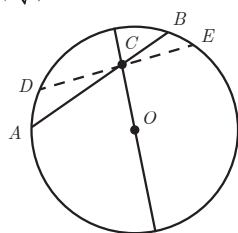
۶ نقطه C بر روی وتر AB به طول ۹ واحد از دایره‌ای چنان قرار دارد که آن وتر را به نسبت ۱ و ۲ تقسیم کرده است. طول کوتاه‌ترین وتر از دایره گذرنده بر نقطه C کدام است.

$$\frac{BC}{AC} = \frac{1}{2} \Rightarrow BC = 3, AC = 6$$

از نقطه C قطر را رسم می‌کنیم. می‌دانیم وترى که بر قطر عمود باشد کوتاه‌ترین وتر است. این وتر توسط قطر دایره نصف می‌شود. بنا به رابطه طولی در دایره داریم:

$$AC \cdot CB = DC \cdot CE \Rightarrow 6 \times 3 = x \cdot x \Rightarrow x^2 = 18$$

$$AB = 6\sqrt{2} \text{ و طول وتر } x = 3\sqrt{2}$$



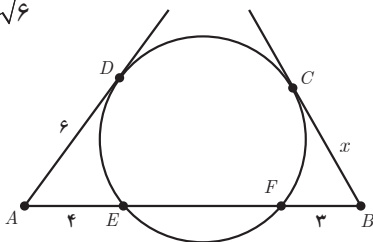
۷ در شکل زیر مقدار x کدام است؟

$$AD^2 = AE \cdot AF \Rightarrow 36 = 4(4+y)$$

$$\Rightarrow y = 5$$

$$BC^2 = BF \cdot BE \Rightarrow x^2 = 3(3+5) = 24$$

$$x = 2\sqrt{6}$$



۸ دو دایره به شعاع‌های ۳ و ۲ مفروض‌اند. در حالت‌های زیر وضعیت دو دایره را بیان کنید.

الف) فاصله دو مرکز دایره ۵

ب) فاصله دو مرکز دایره ۱/۵

الف) دو دایره مماس خارجند، زیرا

ب) دو دایره متقاطع‌اند.

$$d = R + R' \Rightarrow 5 = 3 + 2$$

$$d = 1/5, R + R' = 5, R - R' = 1$$

$$R - R' < d < R + R'$$

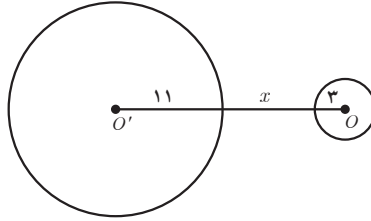
۹ طول مماس مشترک خارجی دو دایره به شعاع‌های ۱۱ و ۳ سانتی متر برابر $۳\sqrt{۳۳}$ سانتی متر است. کمترین فاصله نقاط این دو دایره از یکدیگر چند سانتی متر است؟

$$TT' = \sqrt{d^2 - (R - R')^2}$$

$$۳\sqrt{۳۳} = \sqrt{d^2 - (۱۱ - ۳)^2}$$

$$d^2 = ۳۶۱ \Rightarrow d = ۱۹$$

$$x = d - (R + R') = ۱۹ - (۱۱ + ۳) = ۵$$



۱۰ اگر بین شعاع‌های دو دایره و d طول خط‌المرکزین روابط $r_1 + r_2 = \frac{3d}{4}$ و $r_1 - r_2 = \frac{d}{4}$ برقرار باشد، شعاع کوچک‌ترین دایره‌ای که بر هر دو دایره مماس است چقدر است؟

دو دایره متخارج هستند. کمترین فاصله دو دایره به صورت زیر است:

$$d - (r_1 + r_2) = d - \frac{3d}{4} = \frac{d}{4}$$

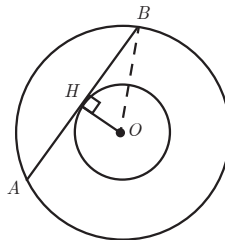
کمترین فاصله دو دایره برابر $\frac{d}{4}$ است و شعاع دایره‌ای که بر هر دو مماس باشد $\frac{d}{8}$ یعنی $\frac{d}{8}$ است.

۱۱ دو دایره هم مرکزند. شعاع دایره بزرگ‌تر ۵ و شعاع دایره کوچک‌تر ۳ سانتی متر است. طول وتر AB را در دایره بزرگ‌تر بیابید که بر دایره کوچک‌تر مماس باشد.

$$OH^2 + HB^2 = OB^2 \Rightarrow 9 + HB^2 = 25 \Rightarrow HB = 4$$

$$AH = HB$$

$$AB = 2(4) = 8$$

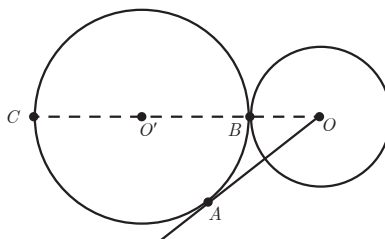


۱۲ دو دایره به شعاع‌های ۴ و $\frac{1}{5}$ واحد مماس برون‌اند. از مرکز دایره کوچک‌تر، مماس بر دایره بزرگ‌تر رسم می‌کنیم. طول این قطعه مماس چقدر است؟

$$OA^2 = OB \cdot OC \Rightarrow OA^2 = 4 \times (21 + 4)$$

$$OA^2 = 100$$

$$OA = 10$$

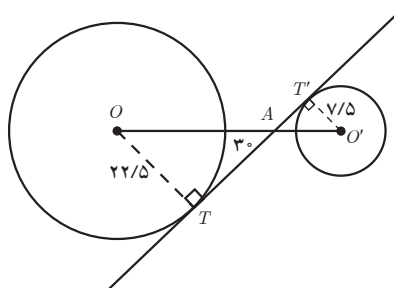


۱۳ شعاع دو دایره خارج هم به ترتیب $\frac{22}{5}$ و $\frac{7}{5}$ سانتی‌متر است. اگر زاویه بین مماس داخلی و خط‌المركزین دو دایره 3° درجه باشد، طول خط‌المركزین دو دایره چند سانتی‌متر است؟

$$\Delta OAT : \sin 3^\circ = \frac{OT}{OA} \Rightarrow OA = 45$$

$$\Delta O'T'A : \sin 3^\circ = \frac{O'T'}{O'A} \Rightarrow O'A = 15$$

$$OO' = OA + O'A = 45 + 15 = 60$$



۱۴ سه دایره به شعاع $r_1=1$ و $r_2=2$ و r_3 برهم مماس خارج هستند. شعاع دایره سوم کدام است؟

$$O_1 O_2 = 1 + 2 = 3$$

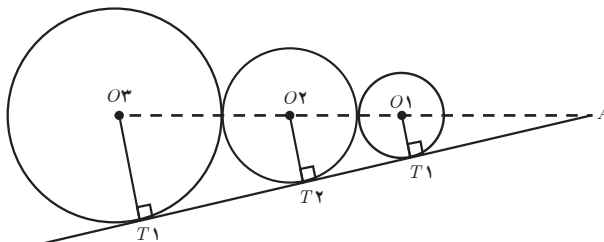
$$O_2 O_3 = 2 + r_3$$

$$O_1 T_1 \parallel O_2 T_2 \Rightarrow \frac{O_1 A}{O_2 A} = \frac{O_1 T_1}{O_2 T_2} \Rightarrow \frac{x}{x+3} = \frac{1}{2}$$

$$\Rightarrow x = 3$$

$$O_1 T_1 \parallel O_3 T_3 \Rightarrow \frac{O_1 A}{O_3 A} = \frac{O_1 T_1}{O_3 T_3} \Rightarrow \frac{x}{x+3+2+r_3} = \frac{1}{r_3}$$

$$\Rightarrow \frac{3}{1+r_3} = \frac{1}{r_3} \Rightarrow r_3 = 4$$

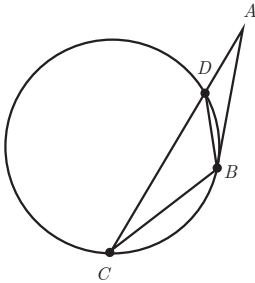


۱۵ دو دایره به شعاع ۵ متخارج اند. اگر طول مماس مشترک داخلی آنها $4\sqrt{6}$ باشد، طول خط‌المركزین دو دایره کدام است؟

$$TT' = \sqrt{d^2 - (R+R')^2} \Rightarrow 4\sqrt{6} = \sqrt{d^2 - (5+5)^2}$$

$$96 + 100 = d^2 \Rightarrow d^2 = 196 \Rightarrow d = 14$$

۱۶ در شکل زیر مماس AB و وتر BC طول برابر دارند. ثابت کنید مثلث ABD متساوی‌الساقین است.



$$AB = BC \Rightarrow \hat{A} = \hat{C}$$

$$\hat{C} = \frac{\widehat{BD}}{2} \quad \text{زاویه } C \text{ یک زاویه محاطی است}$$

$$\hat{DBA} = \frac{1}{2} \frac{\widehat{BD}}{2} \quad \text{زاویه } DBA \text{ ظلی است}$$

در نتیجه $\hat{C} = \hat{DBA}$ بنابراین $\hat{A} = \hat{DBA}$ یعنی مثلث ADB متساوی‌الساقین است.

۱۷ دو پاره خط AA' و BB' را در نقطه M همدیگر را قطع می‌کنند. اگر $MA \cdot MA' = MB \cdot MB'$ باشد ثابت کنید دایره از چهار نقطه A و A' و B و B' می‌گذرد.

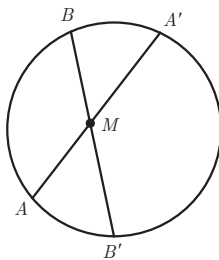
از سه نقطه A و A' و B یک دایره می‌گذرد. اگر این دایره از B' نگذرد، آن‌گاه از نقطه دیگری مانند D می‌گذرد. آن‌گاه دو وتر BD و AA' در M متقاطع‌اند. بنابه رابطه طولی در دایره داریم:

$$AM \cdot MA' = MB \cdot MD$$

$$MD = MB'$$

بنابه فرض داریم:

یعنی: B' و D برهم منطبق‌اند یعنی دایره از B' می‌گذرد.



۱۸ از نقطه A دو مماس بر دایره $C(6^\circ)$ رسم می‌کنیم. تا در نقاط T و T' بر دایره مماس باشند. زاویه $A = 60^\circ$

الف) فاصله A تا مرکز دایره را بیابید.

ب) مساحت چهار ضلعی $ATOT'$ را به دست آورید.

ج) مساحت محدود به دو خط مماس و دایره را به دست آورید.

الف) A را به O وصل می‌کنیم.

$$\sin A_1 = \frac{OT}{OA} \Rightarrow \frac{1}{2} = \frac{6}{OA} \\ OA = 12$$

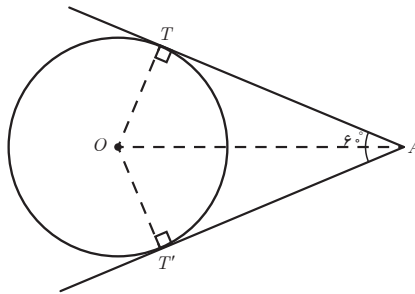
$$AT^2 = OA^2 - OT^2 = 144 - 36 = 108 \Rightarrow AT = 6\sqrt{3} \quad \text{ب)}$$

$$S_{ATOT'} = 2S_{ATO} = 2\left(\frac{1}{2}(OT \cdot AT)\right) = 6 \times 6\sqrt{3} = 36\sqrt{3}$$

ج) مساحت محدود به دو خط مماس و دایره برابر است با مساحت چهارضلعی $ATOT'$ منهای مساحت قطاع

$$\text{مساحت قطاع} = \frac{\pi(6)^2 120}{360} = 12\pi$$

$$\text{مساحت محصور} = 36\sqrt{3} - 12\pi = 12(3\sqrt{3} - \pi)$$



۱۹ از نقطه A دو مماس AT و AT' را بر دایره $C(O, R)$ رسم می‌کنیم. ثابت کنید:

$$TT' \cdot OA = 2 \times R \cdot AT \quad \text{الف)}$$

$$R^2 = OH \cdot OA \quad \text{ب)}$$

الف) مساحت چهار ضلعی

دو مثلث $\triangle OTH$ و $\triangle OTA$ با هم متشابه‌اند.

$$\triangle OTH \sim \triangle OTA \begin{cases} \hat{O} = \hat{O} \\ \hat{H}_1 = \hat{T} = 90^\circ \end{cases} \xrightarrow{\text{زز}}$$

$$\frac{OT}{OA} = \frac{TH}{AT} \Rightarrow OT \cdot AT = OATH$$

از طرفی قطر عمود بر وتر، وتر را نصف می‌کند.

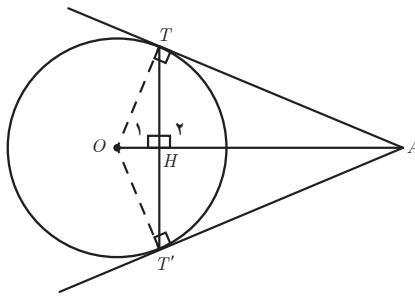
$$TH = \frac{1}{2} TT'$$

$$\Rightarrow R \cdot AT = OA \times \frac{TT'}{2} \Rightarrow OA \cdot TT' = 2R \cdot AT$$

ب) دو مثلث OTA و OTH مشابه‌اند.

$$\frac{OT}{OA} = \frac{OH}{OT} \Rightarrow OT^2 = OA \cdot OH$$

$$\Rightarrow R^2 = OA \cdot OH$$



دانستنی‌هایی برای دبیران

دایره و کاربردهای آن

اشکال هندسی در زندگی، همواره، کاربردهای فراوان داشته و برای فعالیت‌های انسان الهام‌بخش و سمبل بوده است. دایره یکی از این اشکال است. ابتدایی‌ترین کاربرد دایره، چرخ و چرخ‌دنده‌ها هستند که از قدیم‌الایام کاربرد داشته است. همچنین ابزارآلات زینتی چون تاج، گردنبند، خلخال و حلقه‌ها، کاربردی به اندازه تاریخ بشری دارند. دایره در فرهنگ‌ها، انجمن‌ها، شهرسازی، اندیشه‌های هنری و ریشه‌دار، به‌خصوص در ابزارآلات نجومی، جایگاه نمادین دارد.

■ **دایره در هنرهای اسلامی ایران:** دایره‌ها در هنرهای اسلامی ایرانی، به شکل شمس و حلقه نورانی در اطراف سر ائمه علیهم‌السلام و بزرگان دین دیده می‌شود. همچنین با توجه به کرامت صورتگری و مجسمه‌سازی در اسلام و ظرف‌اندیشی شیعه، هنرهای اسلامی به شکل‌های اسلیمی، گل و بوته و نقشه‌هایی ختایی سوق داده شد. اشکال و خطوط و ترکیب رنگ در مینیاتورها، تذهیب‌ها و فرش‌ها با زینت و ترکیب و نقش‌ونگار پخته‌تری تکامل یافتند.

بطلمیوس، در دو قرن پیش از میلاد، بر اساس تفاوت حرارت، سرزمین‌های شناخته شده آن روزگار را به

هفت اقلیم تقسیم کرده است. از آنجا که تقسیم‌بندی بطلمیوس براساس دایره‌های مداری است، اقلیم‌های هفتگانه را «اقلیم‌های هندسی» نیز نامیده‌اند. به نظر صاحب‌نظران، اصطلاح «هفت شهر»، «هفت اقلیم» و «هفت وادی» که در ادبیات و حکمت ایرانی وارد شده است، الهامی از نظریات بطلمیوسی را در خود دارد. اجرام آسمانی به دو دسته ثوابت و اجرام متحرک و متغیر تقسیم شده و اجرام متغیر شناخته شده آن روز، (خورشید، زمین، بهرام، تیر، عطارد، مشتری و زحل) هر یک در مداری و آسمانی تصور شدند. آسمان اول، آسمان دوم، ... تا هفت آسمان (نور راسخون، ۱۳۸۸).

۲ کاربرد دایره در علوم نجوم: دایره «هندسی»، که به «دایره هندی» نیز معروف است، دایره‌ای است خط‌دار (دارای خطوط فنی و علمی) بر صفحه‌ای مستوی و تراز، با نصب شاخص مخروطی شکل بر مرکز آن، که این خطوط در وهله اول چهار جهت اصلی را نشان می‌دهد. از دایره هندی در هندوستان برای تعیین مختصات جغرافیایی، نصف‌النهار محل و ساعت آفتابی استفاده می‌شده است. با توجه به اینکه استفاده از دایره هندسی برای تعیین مختصات جغرافیایی بسیار ساده است و نیازی به داشتن قواعد ریاضی و به‌کارگیری وسایل و تجهیزات رصدی نیست، لذا ابوریحان بیرونی از این روش برای قبله‌یابی استفاده کرد و دیری نپایید که استفاده از آن مرسوم شد (کانون نجوم زادنس ۱۳۹۴).

۳ دایره در ورزش‌های باستانی: دایره، با توجه به نماد آسمانی و قداست افلاکی‌اش در ورزش‌های باستانی از جمله زورخانه و گوی‌بازی ورزشکاران باستانی کار نیز کاربرد دارد.

دایره برای رفع مشکلات شهرها و شهرسازی:

توسعه شهرها، تأمین نیازمندی‌های آنان، چاره‌جویی برای توسعه‌های آینده شهر، اتخاذ تصمیماتی که بتواند مشکلات شهری را به حداقل برساند و بالاخره آنکه چگونه رابطه منطقی بین انسان با محیط طبیعتش حفظ شود، به تحولاتی در امر شهرسازی منجر شد. نخستین نظریه در زمینه شهرسازی، مربوط به شخصی به نام هیپوداموس (۴۸۰ سال قبل از میلاد) است و بعد از آن نظریات و راهکارهای متفاوت شهرسازی به وجود آمد. ولی پیدایش دانش امروزی شهرسازی به قرن نوزده میلادی می‌رسد. از میان نظریه‌های شهرسازی می‌توان نظریه‌های زیر را نام برد:

۱ نظریه متحد‌المركز: در این نظریه، الگوی ساخت شهر بر این اصل استوار است که توسعه شهر از ناحیه مرکزی به طرف خارج شهر صورت گرفته و تعداد مناطق متحد‌المركز را تشکیل می‌دهد. این مناطق با ناحیه مشاغل مرکزی شروع شده و به‌وسیله منطقه در حال تحول احاطه می‌شود.

۲ نظریه قطاعی: تعدیل و تغییر در جهات مختلف، مبنای این نظریه است. شهرها برای همیشه نمی‌توانند حالت متحد‌المركزی مناطق را حفظ کنند. ساخت واحدهای گران‌قیمت از کانون اصلی در طول

شبکه‌های رفت و آمد، ساخت واحدهای مسکونی دیگر و ارزان‌تر به سوی فضاهای باز و جابه‌جایی ساختمان‌های اداری و تجاری، توسعه واحدهای مسکونی گران‌قیمت را در جهت عمومی عملی سازد. آپارتمان‌های لوکس در مجاورت بخش‌های تجاری و مسکونی قدیمی به‌وجود آمده و واحدهای گران‌قیمت شهر به‌طور اتفاقی و نامنظم جابه‌جا نمی‌شوند. راه‌های شعاعی از مرکز شهر به اطراف کشیده می‌شود و عامل دسترسی به این راه‌ها و قیمت زمین‌ها را در مناطق مختلف شهر تعیین می‌کند.

۲۳ مدل حلقه‌ای: در این مدل، به‌جای آنکه خطوط اصلی حمل‌ونقل به‌صورت خطی گسترش یابد، به‌شکل دایره‌ای به موازات مرکز شهر، حواشی ناحیه مرکزی و بافت‌های اطراف آن گسترش می‌یابد و دور تا دور بافت را گره‌های شهری به‌وجود می‌آورد و فعالیت‌ها شکل حلقه‌ای یا زنجیره‌ای به خود می‌گیرند.

۲۴ طرح مکمل مدل کهکشانی: این طرح براساس نظریه ویکتور کروئن در بیشتر شهرهای بزرگ کاربرد دارد. شهر از مراکز متعددی تشکیل یافته و هر یک واحدهای دیگری را به‌وجود می‌آورد و به‌وسیله شبکه‌های ارتباطی مشترک و مستقل و منطقه‌ای، بافت‌ها باهمدیگر مرتبط می‌شوند. مجموعه این بافت‌ها و شبکه‌ها یک شبکه کهکشانی را به‌وجود می‌آورد. خدمات مرکزی در وسط بافت و جایگاه صنایع در نواحی اطراف شهر و خارج از بافت اصلی پیش‌بینی می‌شود.

این فصل درباره مفهوم دایره است. دانش‌آموزان برای درک بهتر مفاهیم ارائه شده در این فصل باید به پیش‌نیازهای ارائه شده در کتاب‌های درسی سال‌های قبل، به‌خصوص هندسه (۱) تسلط داشته باشند. از مهم‌ترین پیش‌نیازهای این فصل می‌توان به این مباحث اشاره کرد: قضیه تالس، خطوط موازی و حالت‌های تشابه مثلث‌ها و چندضلعی‌ها و ویژگی‌های چندضلعی‌ها.

چند ضلعی‌های محاطی و محیطی

اهداف درس

- ۱ درک مفهوم محاطی و محیطی بودن چندضلعی و آشنایی با شرایط لازم و کافی برای محاطی و محیطی بودن چندضلعی (به ویژه چهار ضلعی ها)؛
- ۲ آشنایی با نحوه رسم دایره‌های محاطی و محیطی در چندضلعی در صورت وجود؛
- ۳ آشنایی با دایره محاطی خارجی مثلث و رابطه شعاع دایره محاطی خارجی مثلث با محیط، مساحت و اضلاع آن مثلث.

روش تدریس درس سوم

درس با ارائه تعریفی از چندضلعی محاطی و دایره محیطی آن چندضلعی آغاز می‌شود. پس از ارائه تعریف، طی یک قضیه دو شرطی، شرط لازم و کافی محاطی بودن چندضلعی بیان می‌شود. انتظار می‌رود دانش‌آموزان، با توجه به تعریف چندضلعی محاطی و دایره محیطی آن، همچنین خواص دایره و ویژگی‌های عمود منصف پاره خط که در کتاب هندسه و در درس گذشته این فصل خوانده‌اند بتوانند این قضیه دو شرطی را اثبات کنند.

در ادامه تعریف چند ضلعی محیطی و دایره محاطی آن را ارائه می‌شود. پس از تعریف فعالیتی ارائه می‌شود که انتظار می‌رود دانش‌آموزان پس از انجام آن فعالیت، شرط لازم و کافی محیطی بودن یک چندضلعی را درک کنند و بتوانند از این فعالیت در حل مسائل و اثبات قضایا استفاده کنند. مثلث، به عنوان یکی از پرکاربردترین چندضلعی‌ها در هندسه، از منظر محاطی و محیطی بودن، بررسی

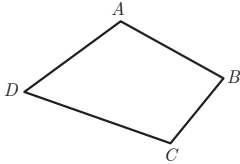
می‌شود و دانش‌آموزان با توجه به خواص مثلث و دایره درمی‌یابند که هر مثلث هم محیطی است و هم محاطی و مرکز دایره محیطی هر مثلث، نقطه هم‌رسی سه عمود منصف آن و مرکز دایره محاطی هر مثلث، نقطه هم‌رسی نیمسازهای زاویه‌های داخلی آن است.

انتظار می‌رود دانش‌آموزان بر اساس «کار در کلاس» صفحه ۲۵ که در خصوص رابطه بین مساحت یک n ضلعی محیطی با محیط آن و شعاع دایره محاطی اش است، بتوانند رابطه بین مساحت هر مثلث محیطی با محیط آن و شعاع دایره محاطی اش را به دست آورند.

در صفحه ۲۶ دایره محاطی خارجی نظیر هر رأس مثلث معرفی و فعالیتی ارائه می‌شود که در آن نحوه محاسبه شعاع دایره محاطی خارجی تبیین می‌شود.

در صفحه ۲۷ و ۲۸ طی دو قضیه دو شرطی و اثبات آنها، شرایط لازم و کافی برای محاطی و محیطی بودن هر چهارضلعی بیان می‌شود.

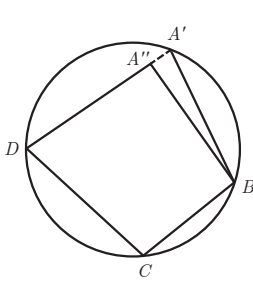
در قضیه اول شرط لازم و کافی برای محاطی بودن هر چهارضلعی، مکمل بودن دو زاویه مقابل آن چهارضلعی ارائه و اثبات می‌شود. برای این قضیه دو شرطی، طرف اول قضیه (فرض: چهارضلعی $ABCD$ محاطی است. حکم: دو زاویه مقابل آن چهارضلعی مکمل هم



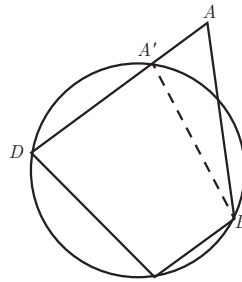
هستند.) به راحتی با استفاده از تعریف زاویه محاطی و دایره اثبات می‌شود.

طرف دوم قضیه (فرض: دو زاویه مقابل چهارضلعی $ABCD$ مکمل هم هستند. حکم: چهارضلعی $ABCD$ محاطی است.) با استفاده از برهان خلف اثبات می‌شود. روند اثبات این گونه است که با توجه به اثبات این امر

که هر مثلث محاطی است، مطمئناً می‌توان یک دایره محاطی که از سه رأس چهارضلعی می‌گذرد رسم کرد. و این دایره از رأس چهارم چهارضلعی (به عنوان مثال A) نمی‌گذرد (فرض خلف). بر این اساس و با توجه به شکل (۱) و (۲).

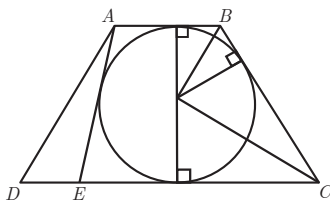


(۱)



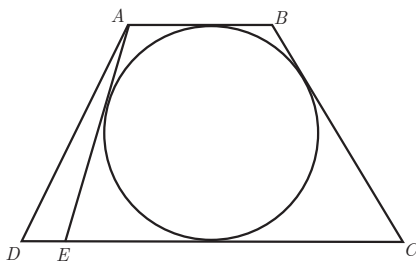
(۲)

از رأس B به نقطه A' که روی ضلع AD یا در امتداد آن قرار دارد وصل می‌کنیم. چهارضلعی $A'BCD$ یک چهارضلعی محاطی است. سپس با توجه به قسمت اول قضیه، \hat{C} و $\hat{BA'D}$ مکمل هم هستند و با توجه به فرض قضیه که \hat{C} با \hat{A} مکمل هستند، نتیجه گرفته می‌شود که $\hat{A} = \hat{BA'D}$ که این ممکن نیست؛ زیرا در شکل (۱) زاویه $BA'D$ زاویه داخلی غیر مجاور با زاویه خارجی A در مثلث ABA' و در شکل (۲) زاویه A زاویه داخلی غیر مجاور با زاویه خارجی $BA'D$ در مثلث ABA' است که در هر دو مورد دو زاویه A و $BA'D$ با هم مساوی نیستند و این تناقضی است که مبنای اثبات قضیه است. در قضیه دوم، شرط لازم و کافی برای محیطی بودن چندضلعی بیان می‌شود. قسمت اول قضیه با فرض محیطی بودن چهارضلعی و حکم برابر بودن مجموع اندازه‌های دو ضلع مقابل با مجموع اندازه‌های دو ضلع مقابل دیگر، براساس هم اندازه بودن در پاره خط مماس رسم شده از یک نقطه بر یک دایره اثبات می‌شود. برای اثبات عکس قضیه، با توجه به شکل ارائه شده، ابتدا با استفاده از رسم نیمساز دو زاویه B و C ، رسم دایره‌ای محاطی که بر سه ضلع AB و BC و CD مماس است، نتیجه گرفته می‌شود برای اثبات مماس بودن دایره مفروض بر ضلع AD از برهان خلف استفاده می‌شود.



فرض خلف این است که دایره مفروض بر ضلع AD مماس نیست و پاره خط دیگری مانند AE مماس است. با توجه به اینکه E بین دو رأس C و D باشد و یا D بین C و E باشد، دو حالت پیش می‌آید که در ادامه این قسمت قضیه را برای هر دو حالت اثبات می‌کنیم:

حالت اول: E بین C و D قرار دارد:



$$\left. \begin{array}{l} ۱ \quad AB + CD = BC + AD \quad \text{بنا بر فرض قضیه} \\ ۲ \quad AB + CE = BC + AE \quad \text{(شرط محیطی بودن چهارضلعی)} \end{array} \right\} \begin{array}{l} ۱ و ۲ \\ \Rightarrow \end{array}$$

$$CD - CE = AD + AE \xrightarrow{CD=CE+DE} \cancel{CE} + DE - \cancel{CE} = AD + AE \\ \Rightarrow AD + AE = DE$$

که این رابطه، با توجه به نامساوی مثلث‌ها، امکان ندارد؛ بنابراین، قضیه اثبات می‌شود.
حالت دوم: D بین C و E قرار دارد:

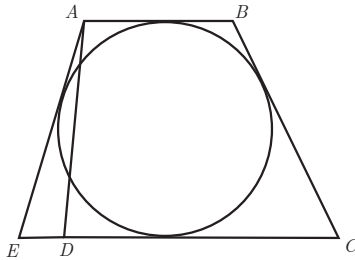
$$۱ \quad AB + CD = BC + AD \quad \text{فرض قضیه}$$

$$۲ \quad AB + CE = BC + AE \quad \text{شرط محیطی بودن چهارضلعی}$$

$$۲ - ۱ \Rightarrow CE - CD = AE - AD \xrightarrow{CE=CD+ED}$$

$$\cancel{CD} + ED - \cancel{CD} = AE - AD \Rightarrow ED + AD = AE$$

که این رابطه نیز با توجه به نامساوی بودن مثلث‌ها امکان ندارد و قضیه در این حالت نیز اثبات می‌شود.



در «کار در کلاس» صفحه ۲۸ انتظار می‌رود که دانش‌آموزان با توجه به قضایای مربوط محاطی و محیطی بودن چهارضلعی‌ها و همچنین ویژگی‌های چهارضلعی‌های مختلف بتوانند محاطی یا محیطی بودن هر یک از آنها را مشخص کنند.

پس از انجام «کار در کلاس» صفحه ۲۸ چندضلعی محدب منتظم تعریف می‌شود. در صفحه ۲۹ فعالیتی ارائه می‌شود که دانش‌آموزان با انجام آن درک می‌کنند که هر چندضلعی محدب منتظم، هم محاطی و هم محیطی است.

مجله ریاضی به‌عنوان مطلبی خواندنی برای علاقه‌مندان در خصوص زاویه‌های دید و کمان شامل (حاوی) پس از تمرین‌های این درس ارائه می‌شود که جزء محتوای درس نیست و فقط جهت مطالعه برای دانش‌آموزان است.

حل تمرین های درس

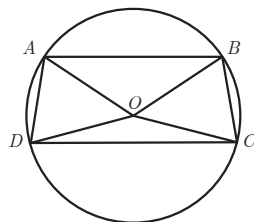
۱ ثابت کنید یک دوزنقه، محاطی است، اگر و تنها اگر متساوی الساقین باشد.

فرض: دوزنقه محاطی است. حکم: $AD = BC$

$$\left. \begin{array}{l} \widehat{A} + \widehat{D} = 180^\circ \xrightarrow{\text{قضیه خطوط موازی}} AD \parallel DC, AB \parallel DC \\ \widehat{A} + \widehat{C} = 180^\circ \leftarrow \text{طبق شرط محاطی بودن دوزنقه} \end{array} \right\}$$

$$\Rightarrow \widehat{D} = \widehat{C}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \widehat{B} + \widehat{D} = 180^\circ \\ \widehat{A} + \widehat{C} = 180^\circ \end{array} \right\} \Rightarrow \widehat{D} = \widehat{C} \Rightarrow \widehat{A} = \widehat{B}$$



در این دوزنقه، زاویه های مجاور به ساق برابرند؛ بنابراین، دوزنقه، متساوی الساقین است.

فرض: دوزنقه متساوی الساقین است. حکم: دوزنقه محاطی است.

$$\left. \begin{array}{l} \widehat{A} + \widehat{D} = 180^\circ \xrightarrow[\text{متساوی الساقین بودن دوزنقه}]{\widehat{C} = \widehat{D} \text{ با توجه به فرض}} \widehat{A} + \widehat{C} = 180^\circ \\ \widehat{A} + \widehat{D} = 180^\circ \xrightarrow{\widehat{A} = \widehat{B}} \widehat{B} + \widehat{D} = 180^\circ \end{array} \right\} \Rightarrow \text{دوزنقه } ABCD \text{ محاطی است.}$$

۲ مساحت مثلث متساوی الاضلاعی را به دست آورید که در دایره ای به شعاع R محاط شده باشد.

مرکز دایره محیطی مثلث، محل برخورد عمود منصف های اضلاع مثلث است و چون مثلث

متساوی الاضلاع است، نقطه O محل برخورد نیمسازها نیز است.

$$S_{\triangle ABC} = \frac{AH \cdot BC}{2}$$

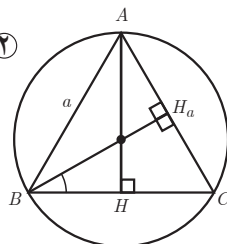
بنابراین:

$$AH = OA + OH \Rightarrow AH = R + OH \quad (1)$$

$$OBH : \widehat{B}_1 = 30^\circ \rightarrow \sin \widehat{B}_1 = \frac{OH}{OB} \Rightarrow \frac{1}{2} = \frac{OH}{R} \rightarrow OH = \frac{R}{2} \quad (2)$$

$$1 \text{ و } 2 \rightarrow AH = R + \frac{R}{2} \Rightarrow AH = \frac{3}{2}R$$

$$OBH : \widehat{B}_1 = 30^\circ \Rightarrow \cos \widehat{B}_1 = \frac{BH}{OB} \Rightarrow \frac{\sqrt{3}}{2} = \frac{BH}{R} \Rightarrow$$



$$BH = \frac{\sqrt{3}}{2}R \quad \Rightarrow \quad AH \text{ میانه } BC \text{ نیز است.} \quad \Rightarrow \quad BC = 2BH \Rightarrow BC = \sqrt{3}R$$

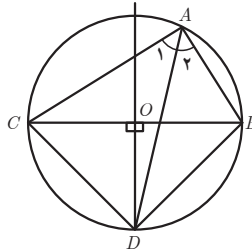
$$S_{\triangle ABC} = \frac{1}{2} \times \frac{R}{2} \times \sqrt{3}R = \frac{\sqrt{3}}{4} R^2$$

۳ ثابت کنید عمود منصف یک ضلع هر مثلث و نیمساز زاویهٔ مقابل به آن ضلع، یکدیگر را روی دایرهٔ محیطی مثلث قطع می‌کنند.

فرض می‌کنیم AD نیمساز زاویه A دایره محیطی مثلث ABC را در نقطه D قطع کند.

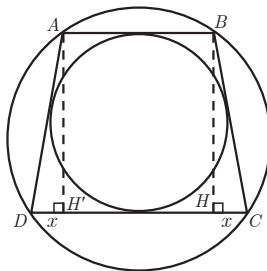
$$\widehat{A_1} = \widehat{A_2} \xrightarrow{\text{خواص زاویه محاطی}} \widehat{CD} = \widehat{DB} \Rightarrow \overline{CD} = \overline{DB}$$

بنابراین، فاصله D از دو سر ضلع BC به یک اندازه است و این یعنی اینکه D روی عمود منصف ضلع BC قرار دارد. پس نیمساز زاویه A و عمود منصف ضلع مقابل به زاویه A یعنی BC همدیگر را روی نقطه‌ای روی دایره محیطی مثلث ABC قطع می‌کند.



۴ یک دوزنقه هم محیطی است و هم محاطی. ثابت کنید مساحت این دوزنقه برابر است با میانگین حسابی دو قاعده آن ضرب در میانگین هندسی آنها.

چون دوزنقه $ABCD$ محاطی است، طبق سؤال ۱، متساوی الساقین است یعنی رابطه $AD=BC$.



از طرفی چون دوزنقه $ABCD$ محیطی است پس داریم: رابطه ۲ $AB + DC = AD + BC$

$$۱ \text{ و } ۲ \Rightarrow ۲BC = AB + DC \Rightarrow BC = \frac{AB + DC}{۲} \quad ۳$$

$$\triangle BHC: BC^2 = BH^2 + HC^2 \Rightarrow BC^2 = BH^2 + x^2 \quad ۴$$

$$\widehat{ABCD}: DC = ۲x + HH' \xrightarrow{HH' = AB} DC = ۲x + AB \Rightarrow x = \frac{DC - AB}{۲} \quad ۵$$

با جایگذاری ۳ و ۵ $\Rightarrow BC^2 = BH^2 + x^2 \Rightarrow BH = \sqrt{BC^2 - x^2}$

$$BH = \sqrt{\left(\frac{AB + DC}{۲}\right)^2 - \left(\frac{DC - AB}{۲}\right)^2} = \sqrt{AB \cdot DC}$$

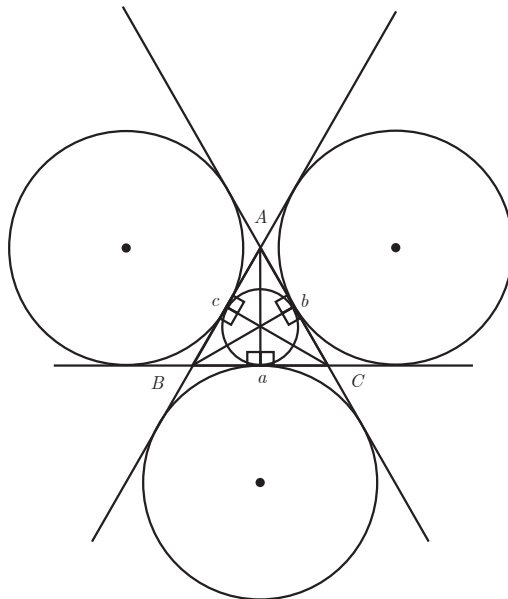
$$S_{\widehat{ABCD}} = \left(\frac{AB + DC}{۲}\right) \sqrt{AB \cdot DC}$$

۵ اگر r_a, r_b, r_c شعاع‌های سه دایره محاطی خارجی مثلث و r شعاع دایره محاطی داخلی باشد نشان دهید:

$$\frac{1}{r_a} + \frac{1}{r_b} + \frac{1}{r_c} = \frac{1}{r}$$

به همین ترتیب اگر h_a, h_b, h_c اندازه‌های سه ارتفاع باشند، نشان دهید:

$$\frac{1}{h_a} + \frac{1}{h_b} + \frac{1}{h_c} = \frac{1}{r}$$



اگر محیط مثلث ABC را $2p$ و S را مساحت آن در نظر بگیریم در دایره محاطی مثلث ABC داریم:

$$S = rp \Rightarrow \frac{1}{r} = \frac{p}{s}$$

$$\left. \begin{aligned} r_a &= \frac{s}{p-a} \Rightarrow \frac{1}{r_a} = \frac{p-a}{s} \\ r_b &= \frac{s}{p-b} \Rightarrow \frac{1}{r_b} = \frac{p-b}{s} \\ r_c &= \frac{s}{p-c} \Rightarrow \frac{1}{r_c} = \frac{p-c}{s} \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

در دایره‌های محاطی خارجی مثلث ABC داریم:

$$\frac{1}{r_a} + \frac{1}{r_b} + \frac{1}{r_c} = \frac{p-a}{s} + \frac{p-b}{s} + \frac{p-c}{s} = \frac{3p - (a+b+c)}{s} = \frac{3p - 2p}{s} = \frac{p}{s} = \frac{1}{r}$$

به همین ترتیب اگر h_a, h_b, h_c اندازه‌های سه ارتفاع مثلث ABC باشند داریم:

$$\left. \begin{aligned} s &= \frac{1}{2}ah_a \Rightarrow h_a = \frac{2s}{a} \Rightarrow \frac{1}{h_a} = \frac{a}{2s} \\ s &= \frac{1}{2}bh_b \Rightarrow h_b = \frac{2s}{b} \Rightarrow \frac{1}{h_b} = \frac{b}{2s} \\ s &= \frac{1}{2}ch_c \Rightarrow h_c = \frac{2s}{c} \Rightarrow \frac{1}{h_c} = \frac{c}{2s} \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$\frac{1}{h_a} + \frac{1}{h_b} + \frac{1}{h_c} = \frac{a}{2s} + \frac{b}{2s} + \frac{c}{2s} = \frac{a+b+c}{2s} = \frac{2p}{2s} = \frac{p}{s} = \frac{1}{r}$$

۶ اگر نقاط تماس دایره محاطی داخلی مثلث ABC با اضلاع آن N, M, P و باشند T و T' نقطه‌های

تماس یک دایره محاطی خارجی با خط‌های شامل دو ضلع باشند نشان دهید:

$$AM = AN = P - a$$

$$BN = BP = P - b, \quad CM = CP = P - C$$

$$AT = AT' = P$$

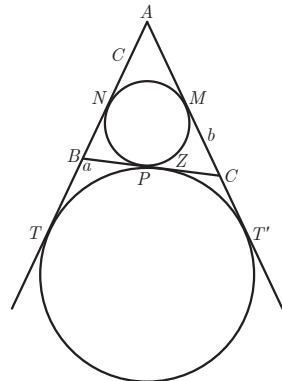
$$AM = AN = P - a$$

$$\left. \begin{aligned} AN &= C - BN \\ AM &= b - CM \end{aligned} \right\} \Rightarrow AM + AN = b + c - (BN + CM)$$

$$\begin{aligned} \xrightarrow{AM=AN} \\ BN=BP, CM=CP} 2AM = b + c - \underbrace{(BP + CP)}_a = b + c - a \end{aligned}$$

$$\Rightarrow 2AM = 2p - 2b \Rightarrow AM = AN = p - a$$

$$BN = BP = P - b$$



$$\left. \begin{array}{l} BN = C - AN \\ BP = a - cp \end{array} \right\} \Rightarrow BN + BP = a + c - (AN + CP)$$

$$\xrightarrow{BP=BN} \xrightarrow{AN=AM, CP=CM} \sphericalangle BN = a + C - \underbrace{(AM + CM)}_b = a + c - b$$

$$\sphericalangle BN = \sphericalangle p - \sphericalangle b \Rightarrow BN = BP = P - b$$

$$CM = CP = P - C$$

$$\left. \begin{array}{l} CM = b - AM \\ CP = a - BP \end{array} \right\} \Rightarrow CM + CP = b + a - (AM + BP)$$

$$\xrightarrow{CM=CP} \xrightarrow{AN=AM, BP=BN} \sphericalangle CM = b + a - \underbrace{(AN + BN)}_c = b + a - c$$

$$\Rightarrow \sphericalangle CM = \sphericalangle P - \sphericalangle C \Rightarrow CM = CP = P - C$$

$$AT = AT' = P$$

$$AT + AT' = C + BT + b + CT' \xrightarrow{AT=AT'} \xrightarrow{BT=BZ, CT'=CZ}$$

$$\sphericalangle AT = C + b + \underbrace{BZ + CZ}_a = c + b + a = \sphericalangle P \Rightarrow$$

$$AT = AT' = P$$

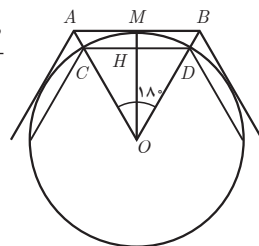
■ یک دایره به شعاع r و n ضلعی‌های منتظم محاطی و محیطی در آن در نظر بگیرید. نشان دهید اگر AB و CD اندازه‌های ضلع‌های n ضلعی منتظم محیطی و محاطی باشند، آنگاه $AB = \sphericalangle r \tan \frac{\sphericalangle \Lambda}{n}$ و $CD = \sphericalangle r \sin \frac{\sphericalangle \Lambda}{n}$.

$$\triangle OHD: \widehat{H} = 90^\circ \rightarrow \sin \frac{\sphericalangle \Lambda}{n} = \frac{OH}{OD} \xrightarrow{OD=r} \rightarrow \sin \frac{\sphericalangle \Lambda}{n} =$$

$$\frac{DH}{r} \xrightarrow{\times \sphericalangle} \sphericalangle \sin \frac{\sphericalangle \Lambda}{n} = \frac{\sphericalangle DH}{r} \xrightarrow{\sphericalangle DH=CD} \rightarrow CD = \sphericalangle r \sin \frac{\sphericalangle \Lambda}{n}$$

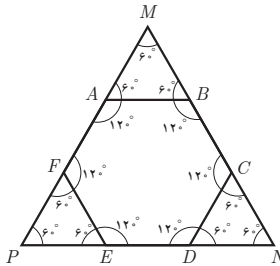
$$\triangle OMB: \widehat{M} = 90^\circ \rightarrow \tan \frac{\sphericalangle \Lambda}{n} = \frac{MB}{OM} \xrightarrow{OM=r} \rightarrow \tan \frac{\sphericalangle \Lambda}{n} = \frac{MB}{r}$$

$$\xrightarrow{\times \sphericalangle} \sphericalangle \tan \frac{\sphericalangle \Lambda}{n} = \frac{\sphericalangle MB}{r} \xrightarrow{\sphericalangle MB=AB} \rightarrow AB = \sphericalangle r \tan \frac{\sphericalangle \Lambda}{n}$$



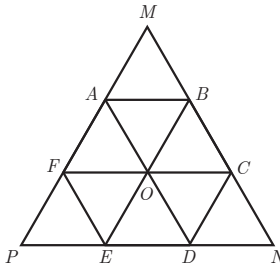
۸ شش ضلعی منتظم $ABCDEF$ مفروض است. با امتداد دادن اضلاع شش ضلعی، مطابق شکل، مثلث MNP را ساخته ایم.

الف) نشان دهید MNP متساوی الاضلاع است. با توجه به شکل و با توجه به اینکه اندازه هر زاویه داخلی شش ضلعی منتظم 120° است، اندازه زاویه های M ، N و P 60° است؛ بنابراین مثلث MNP ، متساوی الاضلاع است.



ب) نشان دهید مساحت شش ضلعی دو سوم مساحت مثلث MNP است. اگر قطره های شش ضلعی منتظم را رسم کنیم، شش مثلث متساوی الاضلاع داخل شش ضلعی و ۹ مثلث متساوی الاضلاع در داخل مثلث MNP به وجود می آید.

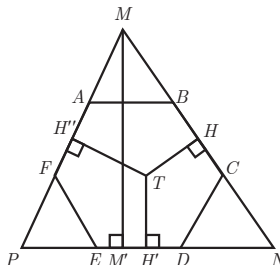
$$\frac{S_{ABCDEF}}{S_{MNP}} = \frac{6S_{\triangle OAB}}{9S_{\triangle OAB}} = \frac{2}{3}$$



پ) از نقطه دلخواه T درون شش ضلعی عمودهای TH ، TH' و TH'' را به ترتیب بر BC ، ED و AF رسم کنید. با توجه به آنچه از هندسه پایه ۱ می دانید، مجموع طول های این سه عمود با کدام جزء از مثلث MNP برابر است؟

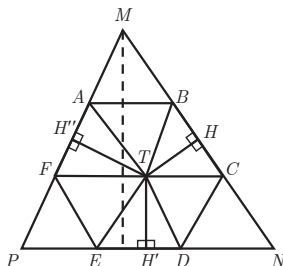
در درون هر مثلث متساوی الاضلاع، مجموع فواصل هر نقطه از سه ضلع مثلث برابر طول ارتفاع مثلث است بنابراین:

$$TH + TH' + TH'' = MM'$$



ت) مجموع مساحت‌های مثلث TBC ، TDE و TAF چه کسری از مساحت مثلث MNP است؟ نشان

دهید:



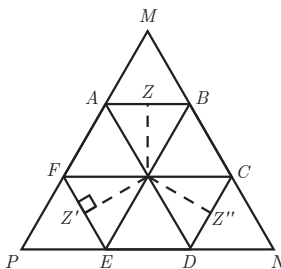
$$S_{TBC} + S_{TDE} + S_{TAF} = S_{TAB} + S_{TEF} + S_{TCD}$$

$$S_{TBC} + S_{TDE} + S_{TAF} = \frac{1}{3} TH \cdot BC + \frac{1}{3} TH' \cdot ED + \frac{1}{3} TH'' \cdot AF \quad \underline{\underline{BC = ED = AF}}$$

$$\frac{1}{3} BC (TH + TH' + TH'') = \frac{1}{3} BC \cdot h$$

$$S_{MNP} = \frac{1}{3} MN \cdot h \quad \xrightarrow{MN = \sqrt{3} BC} \quad \frac{S_{TBC} + S_{TDE} + S_{TAF}}{S_{MNP}} =$$

$$\frac{\frac{1}{3} BC \cdot h}{\frac{1}{3} \sqrt{3} BC \cdot h} = \frac{1}{3}$$



$$S_{TBC} + S_{TDE} + S_{TAF} = \frac{1}{3} BC \cdot h \quad \textcircled{1}$$

$$S_{TAB} + S_{TEF} + S_{TCD} = \frac{1}{3} CD \cdot TZ'' + \frac{1}{3} EF \cdot IZ' + \frac{1}{3} AB \cdot TZ.$$

$$\underline{\underline{AB = BC = CD = ED = EF = AF}} \quad \frac{1}{3} BC (TZ + TZ' + TZ'') \quad \underline{\underline{TZ + TZ' + TZ'' = h}}$$

$$\frac{1}{3} BC \cdot h \quad \textcircled{2}$$

$$1 \text{ و } 2 \Rightarrow S_{TBC} + S_{TDE} + S_{TAF} = S_{TAB} + S_{TEF} + S_{TCD} = \frac{1}{3} BC \cdot h$$

۹ دو قطر عمود بر هم AC و BD از یک دایره را رسم می‌کنیم، چهارضلعی $ABCD$ یک مربع است؛ چرا؟ عمود منصف‌های ضلع‌های این مربع را رسم کنید تا دایره را قطع کند. نشان دهید هشتضلعی $AMBQCPDN$ منتظم است.

$$\left. \begin{aligned} OB = OA = OD = OC \\ \hat{O}_1'' = \hat{O}_2'' = \hat{O}_3''' = \hat{O}_4''' = 90^\circ \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$O \hat{A} B = O \hat{A} D = O \hat{D} C = O \hat{C} B \text{ (ض ز ض)}$$

$$\Rightarrow AB = AD = DC = CB \quad ۱$$

همچنین (زاویه‌های محاطی رو به رو به قطر) $\hat{A} = \hat{B} = \hat{C} = \hat{D} = 90^\circ \quad ۲$

چهارضلعی $ABCD$ یک مربع است. $\Rightarrow ۱$ و ۲

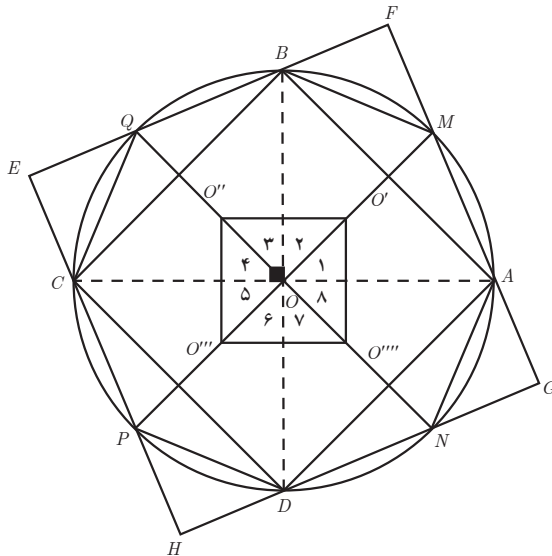
عمود منصف هر ضلع در مربع، نیمساز زاویه مقابل نیز هست، پس:

$$\hat{O}_1 = \hat{O}_2 = \hat{O}_3 = \hat{O}_4 = \hat{O}_5 = \hat{O}_6 = \hat{O}_7 = \hat{O}_8 = 45^\circ$$

$$\Rightarrow AM = MB = BQ = QC = CP = PD = DN = NA \left\} \Rightarrow$$

$$\hat{M} = \hat{B} = \hat{Q} = \hat{C} = \hat{P} = \hat{D} = \hat{N} = \hat{A} = \frac{\sqrt{AM}}{2}$$

هشتضلعی $AMBQCPDN$ ، منتظم است.



توصیه‌های آموزشی

توصیه می‌شود در تدریس این درس، همانند سایر درس‌ها، نکات آموزشی زیر توسط همکاران محترم لحاظ شود:

۱ تا حد امکان به دانش‌آموزان فرصت بحث و بررسی مسائل و ارائه استدلال و نقد استدلال‌های دیگران داده شود.

۲ تا حد امکان از پاسخ مستقیم به دانش‌آموزان و اثبات کامل قضایا و حل تمرین‌ها خودداری شود و سعی شود دانش‌آموزان با بحث و کار گروهی اثبات‌ها را انجام یا تکمیل نمایند و به حل تمرین‌ها بپردازند.

۳ در صورت امکان سعی شود پس از اثبات یا حل هر مسئله‌ای از دانش‌آموزان خواسته شود به دنبال راه حل جدید یا اثبات جدیدی باشند. طبیعی است این امکان برای تمامی قضایا و سؤالات فراهم نیست، ولی برای برخی قضایا و مسائل مطمئناً این امکان وجود دارد؛ بنابراین، لازم است از این فرصت‌ها برای تقویت قدرت استدلال و اثبات و حل مسئله دانش‌آموزان استفاده شود.

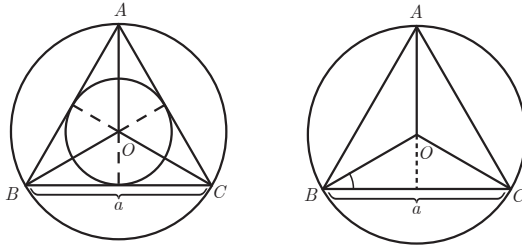
۴ در انجام فعالیت‌ها سعی کنید تا حد امکان دانش‌آموزان بتوانند خود با آن مواجه شوند و آن را حل کنند. شما بروند انجام فعالیت توسط آنان فقط نظارت کنید. در صورت نیاز، به حداقل راهنمایی اکتفا کنید.

بdfهمی‌ها و اشتباهات رایج دانش‌آموزان:

یکی از رایج‌ترین بdfهمی‌های دانش‌آموزان، استفاده از شرط لازم و کافی برای محاطی بودن یک چندضلعی در خصوص محیطی بودن آن چندضلعی است. شایع‌ترین علت این بdfهمی، درک نادرست از مفهوم محاطی و محیطی بودن و تمایز نگذاشتن بین این دو مفهوم است. برای برطرف کردن این بdfهمی پیشنهاد می‌شود همکاران در این درس با ارائه نمونه‌های مختلف اشکال محاطی و محیطی و بحث در خصوص تمایز بین آنها (محیطی و محاطی بودن یک شکل) موجب درک عمیق در دانش‌آموزان گردند.

نمونه سؤالات تکمیلی درس سوم

۱ با توجه به شکل زیر، اندازه شعاع دایره محیطی و محاطی مثلث متساوی الاضلاع ABC را به دست آورید. (راهنمایی: می‌دانیم فاصله نقطه هم‌رسی میانه‌ها در هر مثلث تا پای هر میانه برابر $\frac{1}{3}$ اندازه آن میانه است).



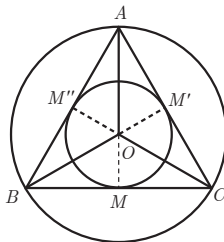
حل:

پیدا کردن اندازه شعاع دایره محیطی: با توجه به متساوی‌الاضلاع بودن مثلث ABC و اینکه هر ارتفاعی، نیمساز، عمود منصف و میانه نیز هست، برای محاسبه شعاع دایره محیطی، کافی است اندازه OA را که $\frac{2}{3}$ میانه OM هست، به دست آوریم.

$$\begin{aligned} \triangle OBM : \cos B_1 = \frac{BM}{OB} \quad \widehat{B_1} = 30^\circ \quad \cos 30^\circ = \frac{\frac{a}{2}}{r} \Rightarrow \frac{\sqrt{3}}{2} r = \frac{a}{2} \Rightarrow r = \frac{a}{\sqrt{3}} \times \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{3}} \\ \Rightarrow r = \frac{\sqrt{3}a}{3} \end{aligned}$$

محاسبه اندازه شعاع دایره محاطی: با توجه به شکل دیده می‌شود که شعاع دایره محیطی $\frac{2}{3}$ میانه

AM و شعاع دایره محاطی $\frac{1}{3}$ میانه AM است و چون $r = \frac{\sqrt{3}}{3}a$ پس $r = \frac{\sqrt{3}}{6}a$ محاطی



۲ اندازه شعاع‌های دایره محاطی خارجی مثلث متساوی‌الاضلاع به ضلع a را به دست آورید.

حل: با توجه به اینکه اندازه شعاع‌های دایره محاطی خارجی هر مثلث از فرمول صفحه بعد به دست می‌آیند.

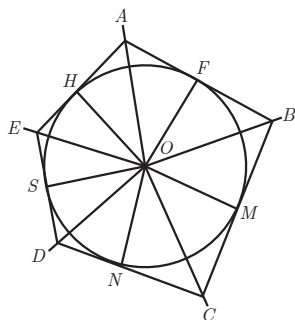
$$\left\{ \begin{array}{l} r_a = \frac{S}{p-a} \\ r_b = \frac{S}{p-b} \\ r_c = \frac{S}{p-c} \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} \text{در مثلث متساوی الاضلاع: } p = \frac{3a}{2} \\ \hline \text{مساحت مثلث متساوی الاضلاع: } S = \frac{\sqrt{3}}{4} a^2 \end{array}$$

$$r_a = r_b = r_c = \frac{\frac{\sqrt{3}}{4} a^2}{\frac{3a}{2} - a} = \frac{\sqrt{3}}{2} a$$

۳ نشان دهید مساحت هر چندضلعی محیطی برابر است با حاصل ضرب نصف محیط در شعاع دایره محاطی آن.

$$S = P \cdot r$$

یک چند ضلعی محیطی را در نظر بگیریم از مرکز دایره به رئوس چندضلعی و نقاط مماس چندضلعی بر دایره وصل می کنیم. به عنوان نمونه پنج ضلعی محیطی دلخواهی را در نظر می گیریم. با توجه به اینکه در نقطه مماس، شعاع بر ضلع پنج ضلعی عمود است مجموع مساحت مثلث های حاصل، برابر مساحت پنج ضلعی محیطی مورد نظر است.



$$S_{ABCDE} = \frac{OH \cdot AH}{2} + \frac{OH \cdot EH}{2} + \frac{OS \cdot ES}{2} + \frac{OS \cdot SD}{2} + \frac{ON \cdot DN}{2} + \frac{ON \cdot NC}{2} + \frac{OM \cdot MC}{2} + \frac{OM \cdot MB}{2} + \frac{OF \cdot FB}{2} + \frac{OF \cdot FA}{2}$$

$$\frac{OH = OF = OM = ON = OS = r}{2} (AH + HE + ES + SD + DN + NC + CM + MB + BF + FA) = \frac{r}{2} \cdot 2P = P \cdot r$$

۴ توضیح دهید چرا در هر مثلث متساوی الاضلاع، اندازه شعاع دایره محیطی آن، دو برابر اندازه شعاع دایره محاطی اش است.

همان گونه که در شکل سؤال ۱ مشخص است، شعاع دایره محاطی مثلث متساوی الاضلاع، بخش

کوچک میانه، و شعاع دایره محیطی مثلث متساوی الاضلاع، بخش بزرگ تر میانه است. با توجه به قضیه ای که دانش آموزان در خصوص میانه ها در سال گذشته خوانده اند، نسبت قسمت بزرگ تر میانه به قسمت کوچک ترش ۲ به ۱ است؛ یعنی شعاع دایره محیطی، ۲ برابر شعاع دایره محاطی است.

۵ کدام یک از گزاره های زیر درست و کدام یک نادرست است؟

– چهار رأس هر چهارضلعی محاطی بر یک دایره واقع است. ✓

– چهار ضلع هر چهارضلعی محیطی بر یک دایره مماس است. ✓

– مربع چهارضلعی محیطی است ولی محاطی نیست. ×

– هر متوازی الاضلاعی محاطی است ولی محیطی نیست. ×

– دایره های محاطی و محیطی هر مربع مساوی یکدیگرند. ×

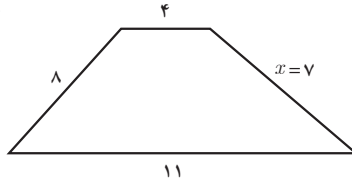
– لوزی یک چهارضلعی محاطی است. ×

– مستطیل چهارضلعی محاطی است ولی هر مستطیلی چهارضلعی محیطی نیست. ×

۶ دو زاویه مجاور از یک چهارضلعی محاطی 60° و 110° اند، دو زاویه دیگر چهارضلعی را تعیین کنید. 60° و 110°

۷ اندازه های سه ضلع مجاور یک چهارضلعی محیطی به ترتیب ۴، ۸ و ۱۱ سانتی متر است. اندازه ضلع چهارم آن را تعیین کنید.

$$x + 8 = 4 + 11 \rightarrow x = 7$$

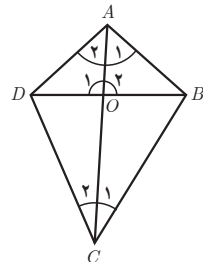


۸ ثابت کنید اگر دو ضلع مجاور از یک چهارضلعی محیطی مساوی یکدیگر باشند، دو قطر چهارضلعی

بر هم عمودند. آیا یکدیگر را نصف هم می کنند؟ با توجه به محیطی بودن چهارضلعی و برابر بودن دو ضلع مجاور داریم:

$$\left. \begin{array}{l} AB + DC = AD + BC \\ AD = AB \text{ (طبق فرض سؤال)} \end{array} \right\} \rightarrow DC = BC$$

$$\left. \begin{array}{l} AD = AB \\ DC = BC \\ AC = AC \end{array} \right\} \xrightarrow{\text{(ض ض ض)}} \triangle ADC \cong \triangle ABC \Rightarrow \begin{array}{l} \hat{A}_1 = \hat{A}_2 \\ \hat{C}_1 = \hat{C}_2 \end{array}$$



$$\left. \begin{array}{l} \hat{A}_1 = \hat{A}_2 \\ \triangle ADO, \triangle ABO : OA = OA \\ AB = AD \end{array} \right\} \Rightarrow \triangle ADO \cong \triangle ABO \Rightarrow \hat{O}_1 = \hat{O}_2 = 90^\circ$$

بنابراین قطرها بر هم عمودند.

اما در پاسخ به این پرسش که آیا قطرها همدیگر را نصف نیز می‌کنند باید گفت همیشه این گونه نیست؛ مثلاً در شکلی همانند کایت که تمامی این شرایط را دارد، قطرها همدیگر را نصف نمی‌کنند.

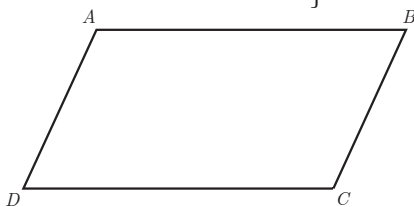
۹ ثابت کنید اگر متوازی الاضلاعی در دایره‌ای محاط باشد، آنگاه مستطیل است و اگر متوازی الاضلاعی بر دایره‌ای محیط باشد، آنگاه لوزی است.

اثبات قسمت اول: اگر متوازی الاضلاعی محاطی باشد \Leftarrow مستطیل است.

$$\left. \begin{array}{l} 1 \quad \hat{B} + \hat{D} = 180^\circ \text{ : با توجه به محاطی بودن} \\ 2 \quad \hat{A} + \hat{C} = 180^\circ \\ 3 \quad \hat{B} = \hat{D} \text{ : با توجه به متوازی الاضلاع بودن} \\ 4 \quad \hat{A} = \hat{C} \end{array} \right\} \begin{array}{l} 1, 3 \Rightarrow \hat{B} = \hat{D} = 90^\circ \\ 2, 4 \Rightarrow \hat{A} = \hat{C} = 90^\circ \end{array} \Rightarrow ABCD \text{ چهارضلعی} \\ \text{مستطیل است}$$

اثبات قسمت دوم: اگر متوازی الاضلاعی محیطی باشد لوزی است.

$$\left. \begin{array}{l} 1 \quad AB + DC = BC + AD \text{ : با توجه به محیطی بودن} \\ 2 \quad AB = DC \text{ : با توجه به لوزی بودن} \\ 3 \quad AD = BC \end{array} \right\} 1, 2, 3 \Rightarrow AB = BC = DC = AD$$



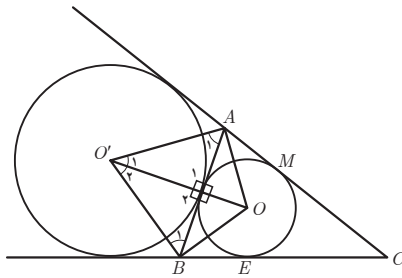
۱۰ ثابت کنید که در هر مثلث متساوی الاضلاع، دایره‌ی محاطی داخلی بر سه دایره‌ی محاطی بیرونی مماس است. با توجه به متساوی الاضلاع بودن مثلث ABC داریم که نیمساز هر زاویه داخلی مثلث، عمود منصف ضلع مقابل آن زاویه نیز هست؛ یعنی نقطه F نقطه وسط ضلع AB است. اگر دایره‌ی محاطی خارجی نظیر ضلع AB را در نظر بگیریم، با توجه به اینکه مرکز دایره‌ی محاطی خارجی

نظیر ضلع AB ، نقطه محل برخورد نیمسازهای خارجی در زاویه A و B است، پس طبق شکل و با توجه به متساوی الاضلاع بودن مثلث ABC داریم:

$$\left. \begin{aligned} \triangle A'O'F, \triangle B'O'F: \widehat{A}_1 = \widehat{B}_1 = 6^\circ \quad (1) \\ \widehat{F}_1 = \widehat{F}_2 = 9^\circ \quad \text{در نقطه مماس بودن بر} \quad (2) \\ \text{ضلع } AB \\ \widehat{A}_1 + \widehat{F}_1 + \widehat{O}'_1 = \widehat{A}_2 + \widehat{F}'_2 + \widehat{O}'_2 = 18^\circ \quad \begin{matrix} 1 \text{ و } 2 \\ \Rightarrow \\ O'F = O'F \end{matrix} \quad \widehat{O}'_1 = \widehat{O}'_2 = 3^\circ \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{(ز ض ز)} \\ \Rightarrow \end{array}$$

$$\triangle A'O'F \cong \triangle B'O'F \Rightarrow AF = BF$$

یعنی F نقطه وسط AB است. با توجه به اینکه پاره خط AB یک نقطه وسط دارد، بنابراین هم دایره محاطی داخلی و هم دایره محاطی خارجی نظیر ضلع AB ، در نقطه وسط بر ضلع AB مماس هستند، پس، دو دایره مذکور در همان نقطه بر هم مماس هستند. به طریقی مشابه ثابت می شود که دایره محاطی داخلی مثلث بر دو دایره محاطی خارجی مثلث ABC نیز در دو نقطه وسط ضلع نظیر مماس است؛ بنابراین، در هر مثلث متساوی الاضلاع، دایره محاطی داخلی بر سه دایره محاطی برون مماس است.



تبدیل‌های هندسی و کاربردها



عکس: محمد رضا دومیری کجایی

تبدیل‌های هندسی با بسیاری از مفاهیم هندسی از جمله هم‌نهشتی ارتباط نزدیکی دارند. همچنین کاربردهای فراوانی در صنعت، معماری و هنر دارند. خلق بناهای تاریخی که از دستاوردهای با ارزش بشر به شمار می‌آید، بدون به‌کارگیری تبدیل‌های هندسی میسر نمی‌شد. عمارت مسجد نصیرالملک در شیراز نمونه‌ای زیبا از این مطلب است.

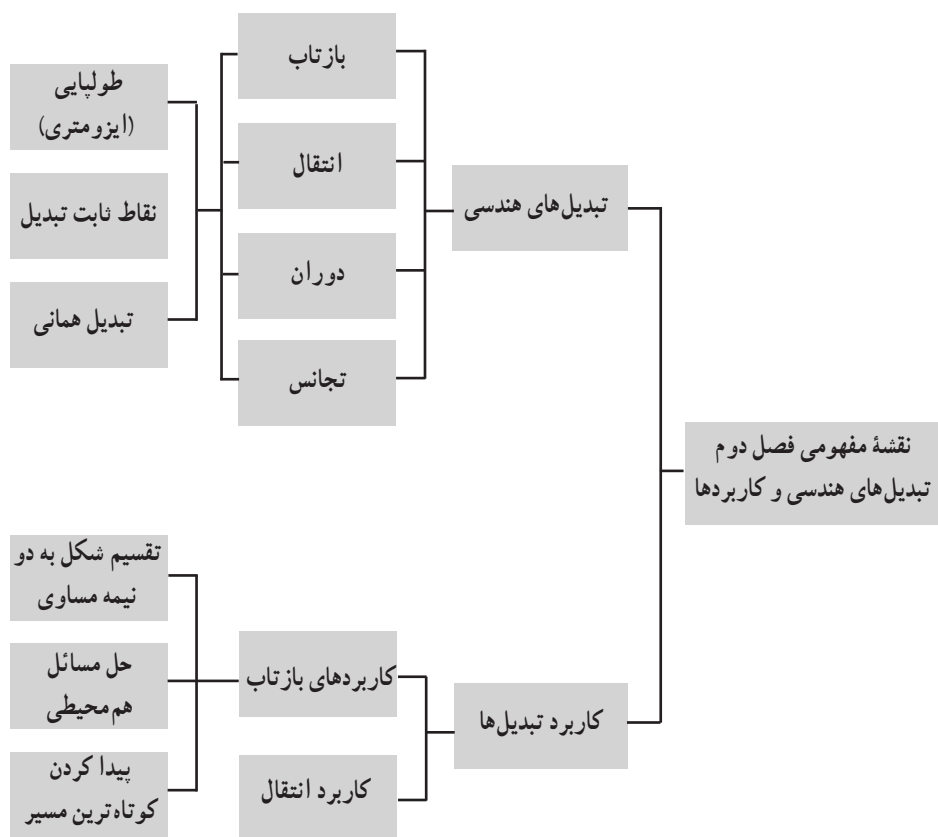
تصویر عنوانی

— معماران ایرانی از دانش هندسه در ساخت بناهای تاریخی استفاده می‌کرده‌اند و با دیدن این بناها می‌توان به میزان آگاهی و دانش ریاضی ایرانیان پی برد.

تصویر عنوانی این فصل از کتاب، یکی از زیباترین مساجد ایران از لحاظ کاشی‌کاری و مقرنس و یکی از مساجد قدیمی شهر شیراز به نام مسجد نصیرالملک است که در محله گود عربان (محله اسحق بیگ) واقع در جنوب خیابان لطفعلی‌خان زند در نزدیکی شاهچراغ در کوچه نصیرالملک قرار دارد.

این بنا، به دستور «میرزا حسن علی‌خان»، ملقب به «نصیرالملک» که از اعیان و اشراف شیراز بود، ساخته شد و معماری آن کار محمد حسن معمار بوده است. شیشه‌های رنگی، طاق‌های بلند و کاشی‌کاری‌های فوق‌العاده آن بسیار زیباست. کاشی‌های فیروزه‌ای کف، نقش گل و بوته و آیات قرآنی سقف و ستون‌های سنگی، نمای داخلی آن را بسیار دل‌انگیز کرده است. در ساعات اولیه صبح، بخصوص در فصل پاییز و زمستان، تابش آفتاب از پس شیشه‌های رنگی درهای ورودی بر کاشی‌کاری‌ها و ستون‌ها و کف و دیواره شبستان، منظره‌ای فوق‌العاده را می‌آفریند که در هیچ تابلوی نقاشی یافت نمی‌شود و به همین علت به آن «مسجد صورتی» نیز می‌گویند.

به دلیل وجود تقارن‌های زیبای هندسی در بنای این مسجد، به عنوان تصویر عنوانی این فصل انتخاب گردیده است.



نگاه کلی به فصل

هندسه، مطالعه ویژگی‌هایی از یک مجموعه است که تحت یک گروه از تبدیل‌ها، روی آن مجموعه حفظ می‌شوند. (فلیکس کلاین)

اقلیدس سعی کرد انطباق مثلث‌ها را، با حرکت دادن یک مثلث و منطبق کردن آن بر مثلث دیگر، ثابت کند.

او این حرکت‌ها را تعریف نکرده بود و فقط به‌طور شهودی آنها را در شکل‌ها نشان داده بود. در سال ۱۸۲۷.

ریاضی‌دان و ستاره‌شناس آلمانی، «مویوس»، به‌وسیله تعمیم حرکت در تمام صفحه، مفهومی از ترکیب حرکت‌ها را ارائه کرد.

تبدیل‌ها در صفحه، نوعی از تابع روی نقاط هستند که نقطه‌هایی از صفحه تحت آنها به نقاط دیگری از آن صفحه نظیر می‌شوند. «فلیکس کلاین» یکی از هندسه‌دانان بزرگ اواخر قرن نوزدهم و اوایل قرن بیستم در دانشگاه «ارلانگر» آلمان، برنامه‌ای در سال ۱۸۷۲ ارائه کرد که بر اساس آن هندسه باید به‌صورت مطالعه تبدیل‌ها و اشیائی که تحت تبدیل‌ها تغییر نمی‌کنند یا ثابت می‌مانند تعریف شود. این دیدگاه به نام «برنامه ارلانگر» شناخته می‌شود.

اگر برنامه ارلانگر را در هندسه اقلیدسی به‌کار ببریم، در این هندسه، تبدیل‌ها چه ویژگی‌هایی باید داشته باشند؟ یعنی تحت چه تبدیل‌هایی، شکل‌های اساسی هندسه اقلیدسی مانند خط‌ها، پاره‌خط‌ها، مثلث‌ها و دایره‌ها پایا می‌مانند؟ پاره‌خط‌ها ساختار اصلی بیشتر شکل‌های هندسی هستند؛ بنابراین، تبدیل‌های اقلیدسی باید حداقل، اندازه پاره‌خط‌ها را حفظ کنند؛ یعنی باید طول را ثابت نگه دارند.

بنابراین روشی جدید در هندسه وجود دارد که در آن می‌توان هدف اقلیدس را به روش دقیق ریاضی منظم کرد. این کار با تعریف مفهوم کلی حرکت صلب یا طولپا به کمک تبدیل‌های هندسی انجام می‌گیرد و «هندسه تبدیلاتی» نام دارد.

در این فصل ابتدا تبدیل‌های هندسی بازتاب، انتقال و دوران به شکل شهودی مرور می‌شود و سپس ویژگی‌های آنها به شکل استنتاجی بررسی خواهد شد. تبدیل تجانس نیز در ادامه، معرفی و بررسی خواهد شد.

تبدیل‌های هندسی

اهداف درس

- ۱ آشنایی با تبدیل‌های هندسی و یادآوری اطلاعات قبلی؛
- ۲ شناخت تبدیل به عنوان تابع؛
- ۳ درک مفهوم طولیابی (ایزومتري) و تعريف آن؛
- ۴ شناخت ویژگی‌های تبدیل‌های طولیابی؛
- ۵ شناخت بازتاب، انتقال، دوران و تجانس و ویژگی‌های هر یک از آنها؛
- ۶ آشنایی با نقطه ثابت تبدیل و تعريف آن؛
- ۷ آشنایی با ویژگی‌های تجانس مستقیم و معکوس، انقباض و انبساط؛
- ۸ شناخت تبدیل همانی و تعريف آن.

توصیه‌های آموزشی

- ۱ برای انجام فعالیت اول فصل، زمان کافی در نظر بگیرید تا فرصت تأمل و تفکر به دانش‌آموزان داده شود؛ چون در قسمت‌های بعدی نیاز به صرف وقت زیاد نخواهید داشت.
- ۲ در این کتاب، تمرکز اصلی بر روی دیدگاه هندسی است. لذا از ورود به مباحث تحلیلی و جبری اجتناب کنید.
- ۳ در ابتدای تدریس هر یک از تبدیل‌ها و بیان ویژگی‌های آن، سعی شود هر ویژگی، در تبدیل‌های قبلی یادآوری و از دانش‌آموزان سؤال شود تا بتوانند مقایسه بین تبدیل‌ها را به خوبی یاد بگیرند.

۴ استفاده از تصاویر مربوط به بناهای تاریخی و معماری ایرانی می‌تواند هم در آموزش بهتر مطالب راهگشا باشد و هم باعث افزایش عشق به هنر و میهن گردد.

روش تدریس درس اول

ایجاد انگیزه

با نمایش دادن تصاویری از معماری ایرانی، که تبدیل‌های هندسی در آنها به کار رفته است، از دانش‌آموزان بخواهیم ویژگی‌های تصاویر را بیان کنند. این ویژگی‌ها را به‌طور شهودی بررسی کنیم. آموزش تبدیل‌های هندسی در این کتاب با مرور مفاهیم سال‌های قبل شروع می‌شود. کتاب می‌کوشد، ضمن یادآوری مفهوم بازتاب، دوران و انتقال، ویژگی‌های آنها را به‌طور شهودی بیان کند. در اولین فعالیت فصل، مفهوم بازتاب، انتقال و دوران، ضمن حل چند سؤال، یادآوری شده، در ادامه با طرح سؤالات متنوع، این مفاهیم و ویژگی‌های تبدیل‌های فوق بررسی می‌شوند. پس از انجام این فعالیت، تعریف دقیق تبدیل T، به عنوان یک تابع روی نقاط صفحه، بیان می‌گردد و با چند مثال ویژگی‌های تابع بودن T نشان داده می‌شود. آنگاه پس از تعریف طولیایی (ایزومتري) به فعالیت بعدی می‌پردازیم که در آن اولین ویژگی تبدیل‌های طولیایی بررسی شده است و سپس قضیه مربوط به آن نتیجه‌گیری می‌شود. محتوای این درس در یک جلسه ارائه می‌شود.

در جلسه بعد، تبدیل‌های بازتاب، انتقال و دوران معرفی و بررسی می‌شود.

۱ بازتاب: ابتدا روش به‌دست آوردن بازتاب یک نقطه را از دانش‌آموزان سؤال می‌کنیم و از آنان می‌خواهیم، با رسم شکل روی تابلو، مفهوم بازتاب را بیان کنند و خود به تعریف دقیق آن می‌پردازیم و همچنین خط بازتاب یا محور بازتاب را معرفی می‌کنیم.

در ادامه، یک نقطه روی محور بازتاب می‌گذاریم و از دانش‌آموزان می‌خواهیم بازتاب این نقطه را نسبت به محور فوق پیدا کنند و سپس نقطه ثابت تبدیل را تعریف می‌کنیم.

حال از دانش‌آموزان در مورد تعداد نقطه‌های ثابت بازتاب سؤال می‌کنیم و با راهنمایی، آنان را به پاسخ «بی‌شمار نقطه ثابت» می‌رسانیم. در ادامه یک «فعالیت» برای اثبات طولی بودن بازتاب طراحی شده و فعالیت بعدی به بررسی این ویژگی اختصاص دارد که آیا بازتاب، شیب خط را حفظ می‌کند یا خیر. «کار در کلاس» بعدی نکات بیشتری درباره ویژگی‌های آن را دربردارد.

۲ در جلسه بعد، بحث «تبدیل انتقال» را مطرح می‌کنیم. در ابتدا «بردار و ویژگی‌های آن» و «دو بردار برابر» یادآوری می‌شوند. سپس انتقال یک شکل به کمک بردار انتقال توضیح داده شده، تعریف انتقال بیان

می‌شود. با انجام «فعالیت» بعد از آن، طولیا بودن انتقال بررسی شده، قضیه مربوط به آن نیز بیان می‌شود. در ادامه فعالیت، قضیه حفظ شیب خط در حالت‌های مختلف مطرح می‌شود که می‌توان از فراگیران خواست آن را به عنوان تمرین انجام و در جلسه بعدی ارائه دهند.

۲۲ تبدیل بعدی، دوران است. با نشان دادن تصاویر کتاب، تعریف دوران و نحوه و جهت دوران یک شکل توضیح داده می‌شود. در فعالیت بعدی قضیه طولیا بودن دوران بررسی شده، با حل «کار در کلاس» مفاهیم تثبیت می‌شود.

تمرین‌های صفحه بعد به عنوان تکلیف در منزل در نظر گرفته شده، این مبحث در این جلسه آموزشی به پایان می‌رسد. در جلسه بعد، بحث تبدیل تجانس اولین بار برای دانش‌آموزان مطرح می‌شود. با نمایش تصاویر کتاب و ارتباط دادن آن با تشابه می‌توان ذهن دانش‌آموزان را به مطلب جدید نزدیک و سپس تجانس را تعریف کرد و نحوه پیدا کردن تصویر یک نقطه را در تجانس توضیح داد.

در فعالیت بعدی حالت‌های مختلف تجانس با در نظر گرفتن مقادیر مختلف برای نسبت تجانس بررسی

شده است. دقت داشته باشید که در قسمت اول این فعالیت دانش‌آموز هنوز از رابطه $\frac{A'B'}{AB} = K$ اطلاع ندارد و لذا نسبت تجانس را به کمک صفحه شطرنجی و طبق تعریف تجانس از مقایسه OA و OA' تشخیص می‌دهد.

در ادامه این فعالیت و با پر کردن جدول داده شده، برای مقادیر مختلف نسبت تجانس، ویژگی‌های تجانس جمع‌بندی می‌شود. دقت داشته باشید که تجانس همواره (حتی برای مقادیر منفی از نسبت تجانس) جهت شکل را حفظ می‌کند.

در دو «فعالیت» بعدی، دو قضیه مربوط به حفظ شیب خط و اندازه زاویه در تجانس ثابت شده‌اند. در این فعالیت نسبت تجانس مثبت است و مرکز تجانس بیرون خط و زاویه در نظر گرفته شده. اثبات در حالتی که نسبت تجانس منفی است، به دانش‌آموز واگذار شده است.

در «کار در کلاس» بعدی نیز، ویژگی‌های دقیق‌تری از تجانس طرح و بررسی می‌شود.

در فعالیت بعدی، «تبدیل همانی» تعریف شده و در شرایط مختلف بازتاب، انتقال، دوران و تجانس بررسی می‌شود.

طولیایی تبدیل همانی، سؤال است که می‌توان به عنوان تحقیق برای دانش‌آموزان در نظر گرفت که آن را در جلسه بعدی ارائه دهند.

کاربرد تبدیل‌ها

اهداف درسی

- ۱ آشنایی با کاربرد تبدیل‌ها در محیط اطراف؛
- ۲ آشنایی با کاربرد بازتاب در حل مسئله تقسیم یک شکل به قطعه‌های مساوی؛
- ۳ آشنایی با کاربرد بازتاب در حل مسئله هم‌پیرامونی؛
- ۴ آشنایی با کاربرد بازتاب در حل مسئله کوتاه‌ترین مسیر؛
- ۵ حل مسئله‌های نمونه مثال‌های کتاب.

توصیه‌های آموزشی

- ۱ از دانش‌آموزان بخواهید در این درس به شکل‌های کتاب توجه کرده، آنها را توضیح دهند.
- ۲ از دانش‌آموزان بخواهید کاربردهایی از تبدیل‌ها، به خصوص بازتاب را که با آن برخورد داشته‌اند، بیان کنند.

روش تدریس درس دوم

در این درس چند کاربرد از «تبدیل هندسی بازتاب» مطرح شده است. در ابتدا با نمایش تصاویری از هنر و معماری ایرانی، کاربرد تبدیل‌ها را در تصاویر بررسی کنید و از دانش‌آموزان بخواهید آنها را تفسیر کنند دقت داشته باشید که در این قسمت اشاره دقیق به تبدیل‌های به کار رفته مدنظر نیست و تنها سعی شده است که از جلوه‌های هنری برای جلب توجه و تقویت انگیزه دانش‌آموزان استفاده شود. سپس با طرح سه مسئله «تقسیم یک به قطعه‌های مساوی»، «هم‌پیرامونی یا هم‌محیطی» و «پیدا کردن کوتاه‌ترین مسیر»،

کاربرد بازتاب را بررسی می‌کنیم. در ادامه، با حل مسئله‌های «کار در کلاس» و تمرین مربوط به آن، یادگیری عمیق می‌شود.

کج فهمی‌ها و اشتباهات رایج

مواردی که ممکن است دانش‌آموزان در آنها دچار کج فهمی یا اشتباه در درک مطلب شوند و لازم است معلمان بر آن تأکید بیشتر کنند عبارت‌اند از:

۱ درک مفهوم نقطه ثابت تبدیل: بهتر است با استفاده از تصاویر مختلف و نمایش نقاط ثابت تبدیل در آن، به درک بهتر مفهوم آن کمک کنید؛

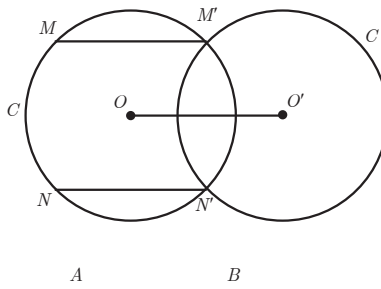
۲ زاویه منفی در درس مثلثات معرفی می‌شود در این کتاب زاویه منفی نداریم؛

۳ تجانس مستقیم و معکوس: با مثال‌ها و تصاویر مختلف نشان دهیم که به ازای همه مقادیر k ، تجانس جهت شکل را حفظ می‌کند و حتی در تجانس معکوس هم جهت تغییر نمی‌کند.

۴ انقباض و انبساط: در این بخش با شکل نشان دهیم که برای $|k| < 1$ در شکل انقباض صورت می‌گیرد و تصویر مجانس نسبت به شکل اولیه کوچک‌تر می‌شود. همچنین برای $|k| > 1$ انبساط صورت می‌گیرد و مجانس نسبت به شکل اولیه بزرگ‌تر می‌شود. استفاده از جدول‌های صفحه ۴۶ و ۴۷ به درک بهتر و تمایز بین این حالت‌ها کمک می‌کند.

سؤالات ارزشیابی

۱ دایره C و پاره خط AB مفروض‌اند. چند وتر مساوی و موازی AB در دایره رسم می‌شود؟
 حل: اگر C' انتقال یافته دایره C تحت بردار \overrightarrow{AB} باشد و C و C' در نقاط M' و N' متقاطع باشند، جواب‌های مسئله MM' و NN' است؛ پس مسئله، حداکثر، دو جواب دارد.



۲ مثلث $A'B'C'$ مجانس مثلث ABC با نسبت تجانس ۳ است. اگر مساحت مثلث ABC برابر با ۱۰ باشد، مساحت مثلث $A'B'C'$ چقدر است؟

حل: $\frac{S'}{S} = K^2 \rightarrow \frac{S'}{10} = 9 \rightarrow S' = 90$

۳ دو دایره متساوی مماس خارج اند. این دو دایره با چه نسبتی مجانس یکدیگرند؟

حل: $K = -1$ و مرکز تجانس آنها نقطه تماس دو دایره است.

۴ دو دایره C و C' مفروض اند. چند مثلث متساوی الاضلاع با رأس ثابت A وجود دارد که به رأس دیگرش روی دو دایره باشد؟

حل: اگر دایره C را به مرکز A و زاویه $\alpha = 60^\circ$ دوران دهیم حداکثر در دو نقطه با دایره C' متقاطع خواهد بود. پس حداکثر دو مثلث متساوی الاضلاع با شرایط فوق قابل رسم است.

۵ در شکل زیر نقطه O مرکز تجانس و A مجانس B است. حدود نسبت تجانس را تعیین کنید؟
حل:

$$\overline{OA} = K \overline{OB} \Rightarrow K < 0, |K| > 1 \Rightarrow K < -1$$



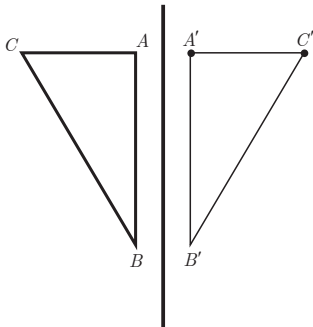
پاسخ «فعالیت‌ها» «کار در کلاس» و تمرین‌ها

فعالیت صفحه ۳۴

۱

الف) ۲ و ۳ و ۱ (پ) ۱ و ۳

۲



الف) از رأس‌های مثلث بر خط d عمود کرده، به اندازه آن پاره خط، امتداد می‌دهیم تا تصویرش به دست آید. سپس نقاط تصویر یعنی A' و B' و C' را به هم وصل می‌کنیم. مثلث $A'B'C'$ تصویر مثلث ABC است. خط d عمود منصف پاره خط‌هایی است که هر نقطه را به تصویرش وصل می‌کند.

ب) موقعیت را تغییر می‌دهد، ولی اندازه‌ها را تغییر نمی‌دهد.

پ) خیر؛ شیب پاره خط BC با شیب پاره خط متناظرش $B'C'$

برابر نیست.

ت) اگر خط مورد نظر، موازی یا عمود بر محور بازتاب باشد،

آن‌گاه شیب آن حفظ می‌شود؛ مثلاً در شکل صفحه قبل، پاره خط AC بخشی از خط عمود بر d است و تصویر آن هم روی همان خط عمود قرار دارد و به همین دلیل شیب پاره خط‌های AC و $A'C'$ برابر است. همچنین پاره خط AB موازی محور بازتاب است و تصویرش هم با آن موازی است؛ پس شیب هر دو یکی است.

۳

الف) با توجه به اندازه بردار \bar{V} رأس‌های مربع را ۵ واحد به سمت راست و ۳ واحد به سمت پایین انتقال می‌دهیم و نقاط تصویر را به دست می‌آوریم. سپس نقاط تصویر را به ترتیب به هم وصل می‌کنیم. مربع $A'B'C'D'$ انتقال یافته مربع $ABCD$ تحت بردار V است. پاره خط‌هایی که هر نقطه را به تصویرش نظیر می‌کند با هم و با بردار V موازی و مساوی‌اند.

ب) موقعیت شکل را حفظ نمی‌کند، ولی اندازه‌ها را حفظ می‌کند.

پ) بله (ت) بله

۴

ب) موقعیت شکل را حفظ نمی‌کند، ولی اندازه‌ها را حفظ می‌کند.

پ) خیر، شیب پاره خط اولیه با شیب پاره خط تصویرش برابر نیست.

ت) اگر زاویه دوران مضارب π باشد ($0^\circ, 180^\circ, 360^\circ$) دوران تحت آن شیب خط را حفظ می‌کند.

فعالیت صفحه ۳۶

دقت داشته باشید که این فعالیت یک تبدیل را در حالت کلی نشان می‌دهد و انتقال نیست. با توجه به طولیابی تبدیل داریم:

$$\left\{ \begin{array}{l} AB = A'B' \\ OA = O'A' \\ OB = O'B' \end{array} \right. \text{ض ض ض} \Rightarrow O\hat{A}B \cong O'\hat{A}'B' \Rightarrow A\hat{O}B = A'\hat{O}'B' = \alpha$$

اجزای متناظر

فعالیت صفحه ۳۸

الف) می‌دانیم مستطیلی چهار ضلعی است که همه زاویه‌های آن قائمه است. AB موازی d است

⇓

$$\left. \begin{array}{l} AH = BH' \Rightarrow 2AH = 2BH' \xrightarrow{\frac{AH=A'H}{BH'=B'H'}} AA' = BB' \\ \left. \begin{array}{l} AA' \perp d \\ BB' \perp d \end{array} \right\} \Rightarrow AA' \parallel BB' \end{array} \right\} \Rightarrow ABB'A' \text{ متوازی الاضلاع است و مساوی پس}$$

$$\left. \begin{array}{l} A'B' \parallel AB \\ AB \parallel d \end{array} \right\} \Rightarrow A'B' \parallel d$$

و بنابراین $AB = A'B'$

از طرفی متوازی الاضلاع $ABB'A'$ زاویه قائمه دارد. پس چهار ضلعی $ABB'A'$ یک مستطیل است.

ب) اگر هر دو نقطه ابتدا و انتهای پاره خط روی خط بازتاب باشند در این حالت بازتاب پاره خط MA بر روی خودش منطبق است.

$$\begin{aligned} S(M) = M \\ S(A) = A \end{aligned} \Rightarrow MA = MA$$

همنهستی مثلث‌ها

$$\left. \begin{aligned} AH = A'H \\ \hat{H}_\gamma = \hat{H}'_\gamma = 90^\circ \\ MH = MH \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \xrightarrow{\text{ضضض}} \triangle MAH \cong \triangle MA'H \\ \xrightarrow{\text{اجزای متناظر}} MA = MA' \end{array}$$

خاصیت عمود منصف یک پاره خط: خط d عمود منصف پاره خط AA' است؛ بنابراین، هر نقطه مثل M روی خط d از دو سر پاره خط AA' به یک فاصله است؛ یعنی $MA = MA'$

ب) قبلاً اشاره شد که تبدیل یافته هر خط راست البته یک خط راست است. بنابراین تبدیل یافته خط MB خط MB' است و هر نقطه مثل A روی خط MB بازتابی مثل A' دارد که روی خط MB' قرار دارد.

$$\left. \begin{aligned} AB = MB - MA \\ A'B' = MB' - MA' \\ MB = MB', MA = MA' \end{aligned} \right\} \Rightarrow AB = A'B' \quad \text{پس:}$$

ت) طبق آنچه در (ب) گفته شد بازتاب خط AB خطی مثل $A'B'$ است.
حال داریم:

$$\left. \begin{aligned} AB = AM + MB \\ A'B' = A'M + B'M \\ MB = MB', AM = A'M \end{aligned} \right\} \Rightarrow AB = A'B'$$

فعالیت صفحه ۳۹

الف) خط n موازی خط بازتاب d است. دو نقطه دلخواه مانند A و B را روی n انتخاب می‌کنیم. طبق قسمت الف) در فعالیت صفحه قبل می‌دانیم که تصویر پاره خط AB نسبت به خط بازتاب d یعنی پاره خط $A'B'$ با پاره خط AB و خط d موازی است. از طرفی چون خط n' تصویر خط n است، پس نقاط A' و B' نیز روی n' قرار دارند؛ در نتیجه خط n' موازی n و d خواهد بود.

وقتی دو خط موازی باشند، در صورت وجود شیب، شیب‌ها با هم برابرند؛ پس شیب خط حفظ می‌شود. وقتی شیب برای یکی از خط‌ها تعریف نشود، برای دیگری نیز تعریف نمی‌شود؛ پس در این حالت، بازتاب شیب خط را حفظ می‌کند.

ب) حفظ نمی‌کند.

بدیهی است که اگر خط داده شده در راستای عمود بر محور بازتاب باشد، در این حالت بازتاب شیب خط را حفظ می‌کند.

کار در کلاس صفحه ۴۰

الف) A

چون خط d عمود منصف پاره خط AA' است، بنابراین: $d \perp AA'$ و $A'H = AH$. پس اگر از A' بر خط d عمود کنیم و به اندازه خودش امتداد دهیم، نقطه A به دست می‌آید. ب) خود آن نقطه است.

$$(A')' = A \quad S(S(A)) = S(A') = A$$

ب) مثلث - همنهشت

ت) موازی یا عمود

ث) روی خط d - بی‌شمار

فعالیت صفحه ۴۱

الف) A' تصویر A است، پس بنا به تعریف انتقال $\overline{AA'} = \vec{V}$ یعنی اندازه پاره خط AA' مساوی طول بردار \vec{V} و با آن موازی است. B' تصویر B است و به طور مشابه $\overline{BB'} = \vec{V}$ در نتیجه AA' و BB' موازی و مساویند و با توجه به راهنمایی فوق چهارضلعی $AA'B'B$ متوازی‌الاضلاع است؛ پس $AB = A'B'$ ب)

$$\left\{ \begin{array}{l} AB = AA' + A'B \\ A'B' = A'B + BB' \\ AA' = BB' \end{array} \right\} \Rightarrow AB = A'B' \quad (۱)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} AB = AA' - BA' \\ A'B' = BB' - BA' \\ AA' = BB' \end{array} \right\} \Rightarrow AB = A'B' \quad (۲)$$

۲ در هر یک از حالت‌های فوق نشان می‌دهیم انتقال، شیب خط را حفظ می‌کند. در حالت الف نتیجه گرفتیم که چهارضلعی $AA'B'B$ متوازی‌الاضلاع است؛ پس $AB \parallel A'B'$ در نتیجه شیب پاره‌خط‌ها یکی است.

در حالت ب) و پ) هر پاره‌خط با تصویرش بر روی یک خط قرار دارند؛ (به عبارت دیگر نقاط A, B, A', B' روی یک خط قرار دارند) پس شیب آنها با هم برابر است.

فعالیت صفحه ۴۲

$$AOB = A'OB' \quad \Leftarrow \quad O_1 + O_2 = O_3 + O_2 = \alpha \quad \text{الف)}$$

همنهستی دو مثلث :

$$\left\{ \begin{array}{l} OA = OA' \\ OB = OB' \\ AOB = A'OB' \end{array} \right. \xrightarrow{\text{ض‌ض‌ض}} \triangle AOB \cong \triangle A'OB' \xrightarrow{\text{اجزای متناظر}} AB = A'B'$$

ب) با توجه به شکل داریم :

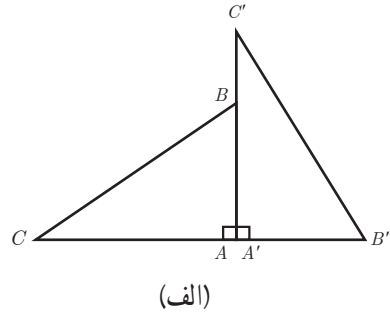
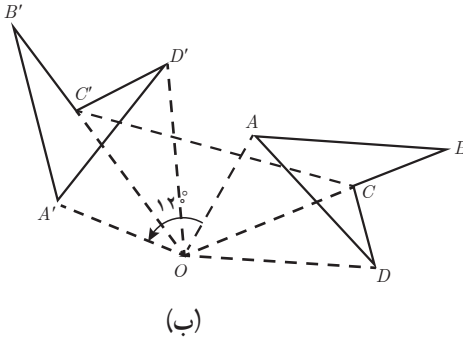
$$\left\{ \begin{array}{l} A\hat{O}B = \hat{\alpha} + A'\hat{O}B \\ A'\hat{O}B' = \hat{\alpha} + A'\hat{O}B \end{array} \right. \Rightarrow AOB = A'OB' \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} OA = OA' \\ OB = OB' \\ A\hat{O}B = A'\hat{O}B' \end{array} \right. \xrightarrow{\text{ض‌ض‌ض}}$$

$$\Rightarrow \triangle AOB \cong \triangle A'OB' \xrightarrow{\text{اجزای متناظر}} AB = A'B'$$

$$\left. \begin{array}{l} AB = AO + OB \\ A'B' = A'O + OB' \\ AO = A'O, OB = OB' \end{array} \right\} \Rightarrow AB = A'B' \quad \text{پ)}$$

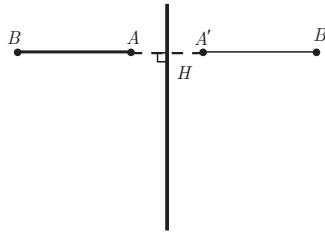
$$\left. \begin{array}{l} AB = AO - OB \\ A'B' = A'O - OB' \\ AO = A'O, OB = OB' \end{array} \right\} \Rightarrow AB = A'B' \quad \text{ت)}$$

کار در کلاس صفحه ۴۳



تمرین صفحه ۴۴

از تعریف بازتاب $BH = B'H \Rightarrow AB + AH = B'A' + A'H \xrightarrow{AH=A'H} AB = A'B'$ ۱



۲ در بازتاب این نقاط، جهت حرکت خلاف عقربه‌های ساعت است. خیر؛ می‌توان گفت که بازتاب جهت شکل را حفظ نمی‌کند.

۳

$AA'' = AH + HA' + A'H' + H'A'' \xrightarrow{\frac{AH=HA'}{A'H'=H'A''}} AA'' = 2HA' + 2A'H'$ (الف)

$\Rightarrow AA'' = 2 \underbrace{(HA' + A'H')}_m \Rightarrow AA'' = 2m$

(ب) بنابر قسمت (الف) به روش مشابه می‌توان نتیجه گرفت :

$BB'' = CC'' = 2m$

(پ) بایک انتقال تحت برداری که اندازه آن دو برابر فاصله بین دو خط بازتاب d_1 و d_2 یعنی $2m$ و راستای آن عمود بر این دو خط است، می‌توان مثلث $A''B''C''$ را تصویر مثلث ABC دانست. نتیجه : دو بازتابی که محورهای بازتاب موازی داشته باشند، یک انتقال را نتیجه می‌دهند.

الف) خط d_1 محور بازتاب است؛ پس نیمساز زاویه AOA' است؛ یعنی $\hat{O}_1 = \hat{O}_2$

خط d_4 محور بازتاب است؛ پس نیمساز زاویه $A'OA''$ است؛ یعنی $\hat{O}_3 = \hat{O}_4$

$$A\hat{O}A'' = \hat{O}_1 + \hat{O}_2 + \hat{O}_3 + \hat{O}_4 \xrightarrow{\hat{O}_1 = \hat{O}_2, \hat{O}_3 = \hat{O}_4} A\hat{O}A'' = 2\hat{O}_2 + 2\hat{O}_3$$

$$\Rightarrow A\hat{O}A'' = 2(\hat{O}_2 + \hat{O}_3) \Rightarrow AOA'' = 2\theta$$

ب) طبق قسمت الف) و به طور مشابه ثابت می شود: $B\hat{O}B'' = C\hat{O}C'' = 2\theta$
 ب) با توجه به برابری OA' ، OA'' و OA' با یک دوران به مرکز O (نقطه برخورد دو خط بازتاب d_1 و d_4) و زاویه ای به اندازه دو برابر زاویه بین دو خط (2θ) می توان مثلث $A''B''C''$ را تصویر مثلث ABC دانست.

نتیجه: دو بازتابی که محورهای بازتاب متقاطع داشته باشند، یک دوران را نتیجه می دهند.

پاسخ چرا در پایین صفحه ۴۵

اگر در تجانس به مرکز O و نسبت K ، نقطه M' مجانس نقطه M به نسبت K باشد، آنگاه:

$$K > 0 \Rightarrow OM' = KOM \xrightarrow{\times (\frac{1}{K})} \frac{1}{K} OM' = OM$$

$$K < 0 \Rightarrow OM' = |K|OM \xrightarrow{\times |\frac{1}{K}|} \left| \frac{1}{K} \right| OM' = OM$$

بنابراین نقطه M مجانس نقطه M' به نسبت $\frac{1}{K}$ است.

فعالیت صفحه ۴۶

الف) ۱ با توجه به تعریف تجانس نقاط B و B' در یک طرف O قرار دارند پس $K > 0$ در نتیجه:

$$OB' = K.OB \Rightarrow K = \frac{OB'}{OB} \Rightarrow K = \frac{3\sqrt{2}}{\sqrt{2}} \Rightarrow K = 3$$

صفحه شطرنجی واضح است که OB' سه برابر OB است.

$$OC' = K.OC \Rightarrow K = \frac{OC'}{OC} \Rightarrow K = \frac{10}{5} \Rightarrow K = 2$$

(ب)

خیر؛ زیرا اندازه پاره خط‌ها حفظ نمی‌شود.

(ب) در مربع: طول تصویر هر پاره خط ۳ برابر شده و در واقع این عدد همان نسبت تجانس است. همچنین

$$A'B' = 3AB \quad B'C' = 3BC$$

$$C'D' = 3CD \quad D'A' = 3DA$$

در مثلث: طول تصویر هر پاره خط ۲ برابر شده و در واقع این عدد همان نسبت تجانس است.

$$A'B' = 2AB \quad B'C' = 2BC$$

$$AC = \sqrt{4+9} = \sqrt{13} \quad A'C' = \sqrt{16+36} = \sqrt{52} = 2\sqrt{13} \Rightarrow A'C' = 2AC$$

$$\frac{S_{A'B'C'}}{S_{ABC}} = \frac{\frac{1}{2} \times 4 \times 6}{\frac{1}{2} \times 2 \times 3} = 4 = 2^2 \quad \text{در مثلث:} \quad \frac{S_{A'B'C'D'}}{S_{ABCD}} = \frac{36}{4} = 9 = 3^2 \quad \text{در مربع:}$$

در نتیجه مساحت تصویر نسبت به مساحت هر شکل برابر با توان دوم نسبت تجانس است.

۲

(الف) از رأس‌های هر شکل به مرکز O وصل می‌کنیم و به اندازه نسبت تجانس K امتداد می‌دهیم. اگر K مثبت باشد، نقطه و تصویرش در یک طرف نقطه O ، و اگر K منفی باشد، نقطه و تصویرش در دو طرف نقطه O قرار دارند.

(ب)

ن	د	د	د	ن
د	د	د	د	د
ن	د	د	د	ن
ن	د	د	د	ن
د	د	د	د	د
ن	د	د	د	ن

تجانس

$$K = 1 \text{ یا } K = -1 \text{ به عبارتی } |K| = 1$$

(ت) این خطوط در مرکز تجانس یعنی نقطه O هم‌رس‌اند.

فعالیت صفحه ۴۸

$$OB' = K \cdot OB \Rightarrow \frac{OA'}{OA} = \frac{OB'}{OB} = K \Rightarrow AB \parallel A'B' \text{ قضیه نالس (ب) بنا بر عکس قضیه نالس}$$

فعالیت صفحه ۴۸

با توجه به شکل و قضیه قبل داریم:

$$AB \parallel A'B', OB' \text{ مورب } \xrightarrow{\text{ق خطوط موازی}} \hat{B}_1 = \hat{B}'_1 \quad \text{۱}$$

$$BC \parallel B'C', OB' \text{ مورب } \xrightarrow{\text{ق خطوط موازی}} \hat{B}_2 = \hat{B}'_2 \quad \text{۲}$$

از جمع دو طرف رابطه ۱ و ۲ داریم:

$$\hat{B}_1 + \hat{B}_2 = \hat{B}'_1 + \hat{B}'_2 \Rightarrow \hat{A}BC = \hat{A}'B'C'$$

کار در کلاس صفحه ۴۹

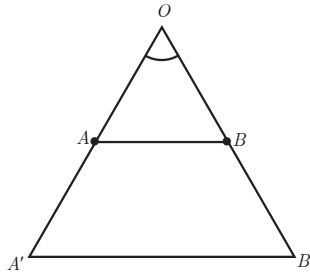
۱ الف)

حالت اول: برای سادگی مسئله را تنها برای حالتی بررسی می‌کنیم که نقطه O روی پاره خط AB قرار

ندارد. اگر $K > 0$ در نتیجه:

$$\left. \begin{array}{l} OA' = K \cdot OA \\ OB' = K \cdot OB \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{OA'}{OA} = \frac{OB'}{OB} = K \xrightarrow{\text{عکس ق نالس}} AB \parallel A'B' \text{ قضیه نالس}$$

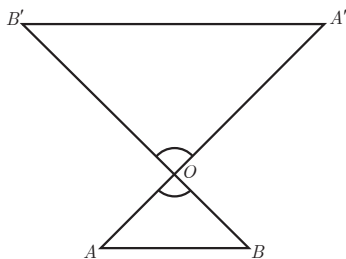
$$\frac{OA'}{OA} = \frac{OB'}{OB} = \frac{A'B'}{AB} = K$$



حالت دوم : در این حالت نقطه O روی پاره خط AB قرار ندارد و $K < 0$ در نتیجه :

$$\left. \begin{array}{l} OA' = K.OA \\ OB' = K.OB \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{OA'}{OA} = \frac{OB'}{OB} = K \quad \left. \begin{array}{l} \text{ق ۲ تشابه دو} \\ \text{مثلث} \end{array} \right\} \rightarrow \triangle AOB \sim \triangle A'O'B' \Rightarrow \frac{OA'}{OA} = \frac{OB'}{OB} = \frac{A'B'}{AB} = K$$

$$A'\hat{O}B' = A\hat{O}B$$



(ب ۱)

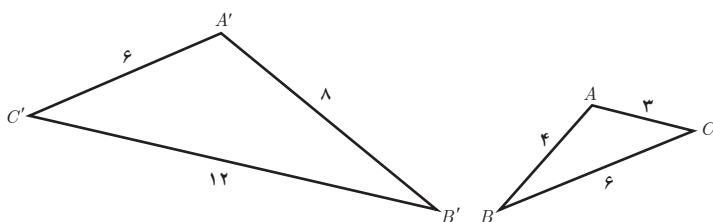
فرض کنیم A_1, A_2, \dots, A_n یک n ضلعی و نقطه O مرکز تجانس و K نسبت تجانس و چندضلعی A'_1, A'_2, \dots, A'_n مجانس آن باشد، بنابر تعریف تجانس داریم :

طبق الف :

$$\left. \begin{array}{l} OA'_1 = |K|.OA_1 \\ OA'_2 = |K|.OA_2 \\ \vdots \\ OA'_n = |K|.OA_n \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{OA'_1}{OA_1} = \frac{OA'_2}{OA_2} = \frac{OA'_3}{OA_3} = \dots = \frac{OA'_n}{OA_n} = |K|$$

چون اضلاع دو چند ضلعی متناسب هستند، و تجانس اندازه زاویه‌ها را ثابت نگه می‌دارد پس دو n ضلعی متجانس حتماً مشابه هستند.

۲ تجانس شیب خط را حفظ می‌کند. دو مثلث ABC و $A'B'C'$ متشابه‌اند، ولی چون شیب خط‌هایی که شامل ضلع‌های مثلث‌ها می‌باشند حفظ نشده است، پس دو مثلث متجانس نیستند.



فعالیت صفحه ۴۹

الف) انتقال در صورتی همانی است که بردار انتقال با بردار صفر برابر باشد.
 دوران در صورتی همانی است که زاویه دوران صفر درجه یا 360° درجه باشد.
 تجانس در صورتی همانی است که در آن $K=1$.

ب) بله؛ زیرا هر نقطه را به خود آن نقطه تصویر می‌کند. $T(A) = A, T(B) = B \Rightarrow AB = AB$
 پ)

۱ خیر؛ زیرا هر نقطه باید تحت یک بردار غیر صفر در صفحه بلغزد؛ بنابراین، نمی‌تواند بر روی خودش بلغزد.

۲ مرکز دوران تحت هر دورانی ثابت می‌ماند؛ پس نقطه ثابت تبدیل است.

۳ مرکز تجانس، تصویرش روی خودش قرار می‌گیرد؛ پس نقطه ثابت تبدیل است.

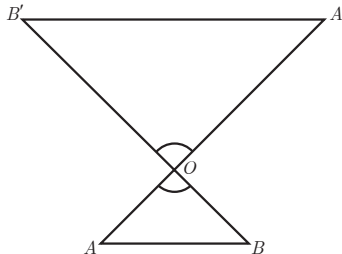
کار در کلاس صفحه ۵۰

مساحت شکل	جهت شکل	شیب خط	اندازه زاویه	طول پاره خط	
د	ن	ن	د	د	بازتاب
د	د	د	د	د	انتقال
د	د	ن	د	د	دوران
ن	د	د	د	ن	تجانس

تمرین صفحه ۵۰

۱ الف) اگر نقاط A' و B' مجانس‌های A و B باشند داریم:

$$\begin{aligned} OA' &= K.OA \\ OB' &= K.OB \end{aligned} \Rightarrow \frac{OA'}{OA} = \frac{OB'}{OB} = K \Rightarrow AB \parallel A'B' \Rightarrow \text{شیب دو خط مساوی است}$$



(ب) چون تجانس شیب خط را حفظ می‌کند، پس داریم:

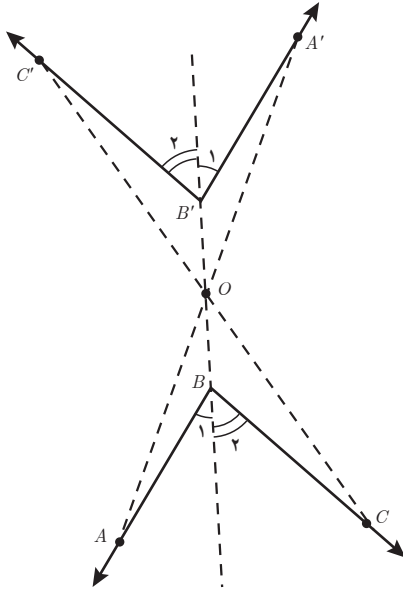
$$AB \parallel A'B', BB' \text{ مورب} \Rightarrow \hat{B}_1 = \hat{B}'_1$$

$$BC \parallel B'C', BB' \text{ مورب} \Rightarrow \hat{B}_2 = \hat{B}'_2$$

از جمع طرفین دو رابطه خواهیم داشت:

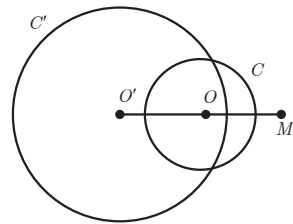
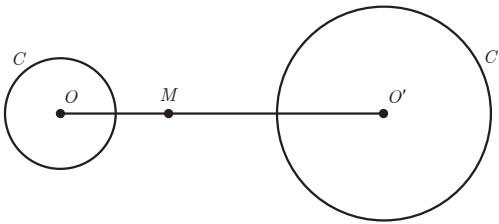
$$\hat{B}_1 + \hat{B}_2 = \hat{B}'_1 + \hat{B}'_2$$

$$\hat{B} = \hat{B}' \Rightarrow \hat{A}BC = \hat{A}'B'C'$$

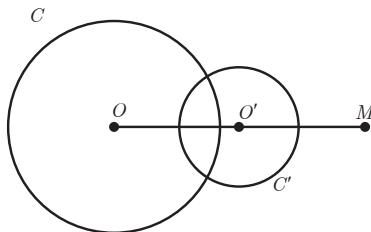


(ب) $K = -2$

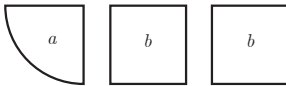
(الف) $K = 2$



(ب) $K = \frac{1}{2}$



سؤال صفحه ۵۲ (مسئله تقسیم کیک)



شکل های a ، نسبت به محور بازتاب، قرینه اند؛ پس با هم همنهشت اند.

همچنین شکل های b هم نسبت به محور بازتاب خود قرینه اند و در نتیجه همنهشت اند. پس به هر نفر یک سهم a و یک سهم b می دهیم.

سؤال صفحه ۵۲ (مسئله هم پیرامونی)

در شکل از نقطه B به D وصل می کنیم. سپس آن را به عنوان محور بازتاب در نظر می گیریم و تصویر نقاط C ، B ، D را نسبت به این محور به دست می آوریم. واضح است که تصویر نقاط B و D روی خودشان منطبق است ولی تصویر نقطه C نقطه C' است.

یکسان بودن محیط ها: با توجه به اینکه بازتاب یک تبدیل طولیاست پس داریم:

$$BC = BC' \text{ و } CD = C'D$$

$$P_{ABCDE} = AB + BC + CD + DE + EA$$

$$P_{ABCDE} = AB + BC' + C'D + DE + EA \Rightarrow P_{ABCDE} = P_{ABC'DE}$$

مسائل پیدا کردن کوتاه ترین مسیر صفحه ۵۳

۱ زیرا با توجه به تعریف بازتاب خط d عمود منصف پاره خط AA' است و نقاط M و M_1 روی این خط

هستند. بنابراین خاصیت عمود منصف $AM = A'M$ و $AM_1 = A'M_1$

۲ بنابراین قضیه نامساوی مثلثی، در هر مثلث مجموع دو ضلع از ضلع سوم بزرگ تر است.

ادعای هرون (اثبات)

$$\left. \begin{aligned} A'B &= A'M + MB \xrightarrow{A'M=AM} A'B = AM + MB \\ A'B &< A'M_1 + M_1B \end{aligned} \right\} \Rightarrow AM + MB < A'M_1 + M_1B$$

و چون نقطه M_1 دلخواه است، پس ادعای هرون ثابت می شود.

مسئله صفحه ۵۵

مسئله هرون، مردی که می خواهد از رودخانه آب بردارد و به اسطبل برود.

۲ در واقع نقطه C تحت بردار انتقالی به طول ۴ به D منتقل شده و نقطه B' نیز تحت همان بردار به B

منتقل شده است؛ بنابراین، با توجه به خواص تبدیل انتقال چهارضلعی $CDDB'$ متوازی الاضلاع است؛ پس:

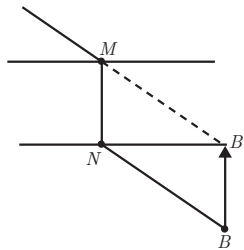
$$ACDB \text{ مسیر} = AC + CD + DB \xrightarrow[\substack{CD=B'B \\ CB'=DB}]{} ACDB = AC + CB' + B'B = ACB'B \text{ مسیر}$$

▮ ابتدا نقطه B را تحت بردار انتقالی به طول ۴ و موازی رودخانه و در جهت شهر A به نقطه B' انتقال می‌دهیم. حال مسئله شبیه مسئله اسطبل می‌شود. بازتاب نقطه A را نسبت به خط کنار رودخانه به دست می‌آوریم؛ یعنی نقطه A' سپس A' به B' وصل می‌کنیم و نقطه C به دست می‌آید. از نقطه C موازی رودخانه به سمت شهر B و به طول ۴ متر حرکت می‌کنیم تا نقطه D به دست آید. به این ترتیب، کوتاه‌ترین مسیر رسم می‌شود.

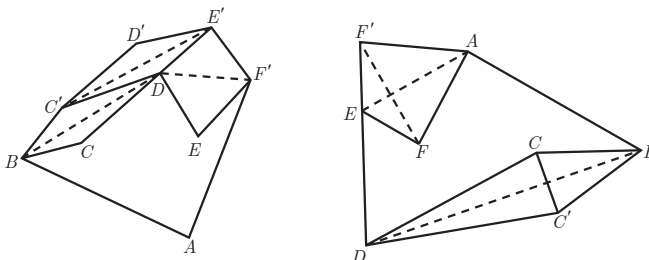
کار در کلاس صفحه ۵۵

نقطه B را تحت برداری مساوی و عمود بر راستای رودخانه در جهت شهر A به نقطه B' انتقال می‌دهیم. سپس از B' به A وصل می‌کنیم تا نقطه M به دست آید. به این ترتیب، محل احداث پل MN به دست می‌آید، به طوری که مسیر $AMNB$ کوتاه‌ترین مسیر است. مشابه مسئله قسمت (ب) می‌دانیم که مسیر $AMB'B$ کوتاه‌ترین است پس:

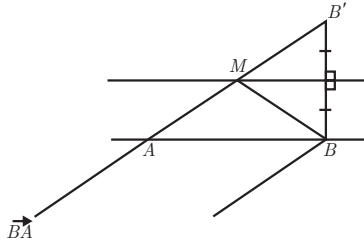
$$AMB'B \text{ مسیر} = AM + MB' + BB' \xrightarrow[\substack{MB'=NB \\ MN=BB'}]{} AMB'B \text{ مسیر} = AM + NB + MN = AMNB$$



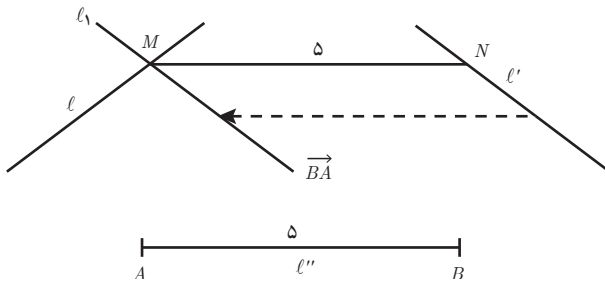
تمرین صفحه ۵۶



۲ با توجه به شکل، واضح است که عرض رودخانه در طول مسیر ثابت در نظر گرفته شده است. پس از نقطه B یا A روش هرون را برای پیدا کردن نقطه M اجرا می‌کنیم.



۳ خط L' را تحت بردار \overrightarrow{BA} (برداری به موازات خط L'' و به طول ۵ واحد) انتقال می‌دهیم تا خط L_1 به دست آید. این خط، خط L را در نقطه‌ای مانند M قطع می‌کند. از نقطه M موازی خط L'' خطی رسم می‌کنیم تا خط L' را در نقطه N قطع کند. پاره خط MN جواب مسئله است.



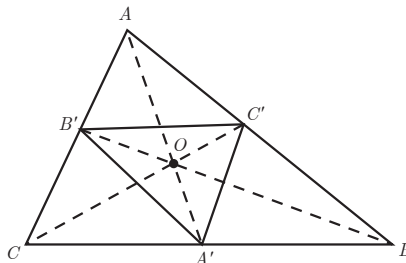
۴

الف) A' وسط BC ، B' وسط AC و C' وسط AB قرار دارند. با توجه به خاصیت مرکز ثقل می‌دانیم

که $GA' = \frac{1}{3}GA$ همچنین نقطه G بین A' و A قرار دارد؛ پس نقطه A' مجانس نقطه A به مرکز تجانس G

و نسبت تجانس $K = -\frac{1}{3}$ است. همین مطلب در مورد نقاط B' و C' نیز صدق می‌کند.

ب) با توجه به ویژگی تجانس مساحت مثلث $A'B'C'$ ، $\frac{1}{4}$ مساحت مثلث ABC است.



۳

فصل سوم

روابط طولی در شکل‌های هندسی



عکس: فرهاد کویوند

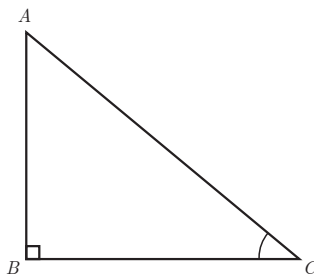
یکی از کاربردهای مهم روابط طولی، محاسبه فاصله‌های غیر قابل دسترس است.

تصویر عنوانی

محاسبه فاصله‌های غیرقابل دسترس، یکی از مهم‌ترین کاربردهای روابط طولی در هندسه است. محاسبه ارتفاع کوه‌های بلند از جمله این محاسبه‌ها است. تصویر ابتدای این فصل، مربوط به اُشتران کوه، معروف به آلپ ایران، رشته کوهی در شرق استان لرستان و یکی از بلندترین رشته کوه‌های زاگرس است. سن بران بلندترین قله این رشته کوه به ارتفاع 4150 متر است. این رشته کوه، سرچشمه یکی از سرشاخه‌های رود دز به نام ماربره است که در دوره کوه‌زایی جدید ایجاد شده است. این کوه از جمله کوه‌های جوان است که حدود 30 میلیون سال پیش ایجاد شده است. قله‌های بلند و پربرف، دره‌های ژرف و طولانی، رودهای دائمی، پوشش گیاهی و جانوری بسیار متنوع و روستاهای کوهپایه‌ای از جمله ویژگی‌های اُشتران کوه می‌باشد که، به سبب بلندی، از فاصله 100 کیلومتری نیز به خوبی پیداست. گفته می‌شود این رشته کوه، به سبب وجود قله‌های 8 گانه، که هر یک بلندتر از 4000 متر و مانند کاروانی از شتر به ردیف قرار گرفته است، به شتر کوه و یا اُشتران کوه معروف شده است.

همان‌گونه که در تصویر دیده می‌شود، در مثلث ABC به کمک دوربین زاویه‌سنج (طول‌یاب) زاویه دید AB از نقطه دید C (\hat{C}) و طول AC اندازه‌گیری می‌شود و با استفاده از قضیه سینوس‌ها ارتفاع قله (AB) به دست می‌آید.

$$\frac{AC}{\sin 90^\circ} = \frac{AB}{\sin C} \Rightarrow AB = \frac{AC \cdot \sin C}{\sin 90^\circ} = AC \cdot \sin C$$





نگاه کلی به فصل

این فصل شامل چهار درس است که در آن به روابط طولی در هر مثلث دلخواه اشاره می‌شود. در هندسه (۱) برخی از روابط طولی در مثلث قائم‌الزاویه بیان و اثبات شد. در این فصل، قضیه سینوس‌ها، قضیه کسینوس‌ها، قضیه نیمسازهای زاویه‌های داخلی و محاسبه طول آنها و قضیه هرون بیان و اثبات می‌شود. در درس چهارم می‌توان با استفاده از دستور هرون، طول ارتفاع‌های نظیر اضلاع هر مثلث را محاسبه کرد. در این درس، دستور دیگری نیز برای محاسبه مساحت مثلث به کمک نسبت‌های مثلثاتی بیان شده است.

قضیه سینوس‌ها

اهداف درس

در پایان این درس از دانش آموز انتظار می‌رود بتواند :

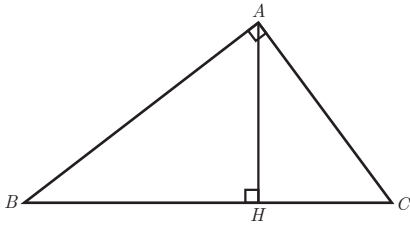
- ۱ روابط طولی در مثلث قائم‌الزاویه را بیان کند؛
- ۲ با استفاده از روابط طولی در مثلث قائم‌الزاویه، مسائل مرتبط را حل کند؛
- ۳ قضیه سینوس‌ها در هر مثلث دلخواه را بیان کند؛
- ۴ نشان دهد قضیه سینوس‌ها در هر مثلث دلخواه برقرار است؛
- ۵ در حل مسائل مرتبط، از قضیه سینوس‌ها استفاده کند؛
- ۶ نمونه‌هایی از کاربرد قضیه سینوس‌ها در زندگی را مثال بزند.

روشی تدریس درس اوّل

معلم در ابتدا می‌تواند، با رسم یک مثلث قائم‌الزاویه و ارتفاع نظیر وتر، روابط طولی ذکر شده در کتاب هندسه (۱) را یادآوری کند. همچنین می‌تواند بیان فارسی روابط طولی را از دانش‌آموزان بخواهد تا این روابط به صورت بهتری در ذهن دانش‌آموزان ماندگار شود.

۱ و ۲ $AB^2 = BC \cdot BH$ و $AC^2 = BC \cdot CH$ ، در هر مثلث قائم‌الزاویه، مربع هر ضلع زاویه قائمه برابر است با حاصل ضرب

اندازه وتر در اندازه تصویر آن ضلع بر وتر.

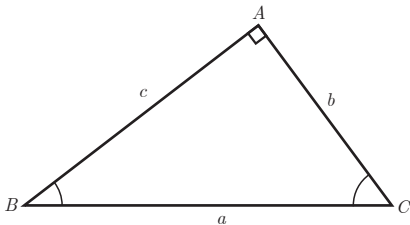


۳ $AH^2 = BH \cdot CH$ ، در هر مثلث قائم‌الزاویه، اندازه ارتفاع وارد بر وتر، واسطه هندسی بین اندازه دو قطعه روی وتر است.

۴ $AB^2 + AC^2 = BC^2$ ، رابطه فیثاغورس: در هر مثلث قائم‌الزاویه، مربع اندازه وتر برابر است با مجموع مربع‌های اندازه دو ضلع زاویه قائمه.

۵ $AB \cdot AC = BC \cdot AH$ ، در هر مثلث قائم‌الزاویه، حاصل ضرب اندازه‌های اضلاع زاویه قائمه برابر است با اندازه وتر در اندازه ارتفاع وارد بر وتر.

– در ادامه درس، با طرح سه فعالیت، قضیه سینوس‌ها در هر مثلث دلخواه اثبات می‌شود.
– در فعالیت (۱) معلم می‌تواند، با یادآوری تعریف نسبت‌های مثلثاتی و تکمیل جاهای خالی توسط دانش‌آموزان، به این نتیجه برسد که در هر مثلث قائم‌الزاویه، نسبت اندازه هر ضلع به سینوس زاویه مقابل آن، برابر است با اندازه وتر.



$$\sin B = \frac{b}{a} \Rightarrow \frac{b}{\sin B} = a$$

$$\sin C = \frac{c}{a} \Rightarrow \frac{c}{\sin C} = a$$

$$\sin A = \sin 90^\circ = \frac{a}{a} \Rightarrow \frac{a}{\sin A} = a$$

– در ادامه، قضیه سینوس‌ها در سه حالت اثبات می‌شود:

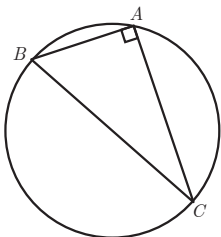
حالت اول: \hat{A} قائمه باشد.

حالت دوم: \hat{A} حاده باشد.

حالت سوم: \hat{A} منفرجه باشد.

حالت اول در فعالیت (۱): و حالت دوم و سوم در فعالیت (۲) بررسی

می‌شود.



فعالیت (۲): انجام دادن این فعالیت، نیازمند یادآوری دو مطلب توسط

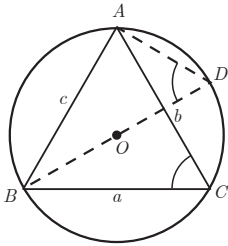
معلم است:

۱ عمود منصف‌های اضلاع هر مثلث در یک نقطه هم‌رس‌اند؛

۲ نقطه هم‌رسی عمود منصف‌های اضلاع هر مثلث، مرکز دایره محیطی مثلث است. پس از یادآوری این مطالب، دانش‌آموز به این نتیجه می‌رسد که مرکز دایره محیطی در این شکل، وسط وتر BC در مثلث قائم‌الزاویه ABC است؛ و چون \hat{A} مساوی 90° است و همچنین \hat{A} محاطی است، پس باید روبه‌رو به قطر دایره باشد؛ یعنی وتر مثلث ABC همان قطر دایره است. معلم در پایان، بر نتیجه این فعالیت چنین تأکید می‌کند: «در هر مثلث قائم‌الزاویه، نسبت اندازه هر ضلع به سینوس زاویه روبه‌روی آن ضلع، برابر است با اندازه قطر دایره محیطی مثلث.»

فعالیت (۳): دانش‌آموزان در این فعالیت با پاسخ به موارد ۱ و ۲ و ۳ و ۴، حالت دوم قضیه سینوس‌ها

در مثلث دلخواه ABC ($\hat{A} < 90^\circ$) را اثبات می‌کنند.



۱ زاویه‌های \hat{C} و \hat{D} محاطی روبه‌روی کمان AB و اندازه آنها برابر با نصف کمان AB است.

۲ مثلث ABD در رأس A قائم‌الزاویه است؛ چون محاطی روبه‌رو به قطر است.

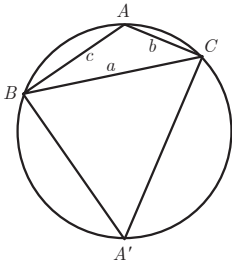
۳ با توجه به قسمت‌های ۱ و ۲ داریم:

$$\sin C = \sin D, \quad \sin D = \frac{AB}{BD} \Rightarrow \sin C = \frac{c}{2R} \Rightarrow \frac{c}{\sin C} = 2R$$

۴ دانش‌آموز در این قسمت به طور مشابه به این نتایج دست می‌یابد:

$$\frac{a}{\sin A} = 2R, \quad \frac{b}{\sin B} = 2R$$

۵ دانش‌آموز با پاسخ‌گویی به سؤالات این قسمت، قضیه سینوس‌ها در



حالت سوم یعنی مثلث ABC ($\hat{A} > 90^\circ$) را اثبات می‌کند؛ نقطه‌ای دلخواه (A') روی کمان BC را در نظر می‌گیرد و آن را به B و C وصل می‌کند. زاویه‌های A و A' نسبت به یکدیگر مکمل‌اند؛ زیرا:

$$\hat{A} + \hat{A}' = \frac{\widehat{BA'C}}{2} + \frac{\widehat{BAC}}{2} = \frac{\widehat{BA'C} + \widehat{BAC}}{2} = \frac{360^\circ}{2} = 180^\circ$$

و چون $\hat{A} > 90^\circ$ است پس \hat{A}' حاده است.

$$\sin A = \sin(180^\circ - \hat{A}') = \sin A' \quad \text{می‌دانیم:}$$

اکنون در مثلث $A'BC$ ، طبق نتیجه قسمت (۳)، می‌توانیم بنویسیم:

$$\frac{a}{\sin A'} = 2R \Rightarrow \frac{a}{\sin A} = 2R$$

بنابراین: در هر مثلث دلخواه، نسبت اندازه هر ضلع به سینوس زاویه روبه‌روی آن، برابر است با قطر دایره محیطی مثلث.

معلم در ادامه، قضیه سینوس‌ها را بیان می‌کند.

قضیه سینوس‌ها: در مثلث ABC با اضلاع a, b, c و $BC = a$ و $AC = b$ و $AB = c$ داریم:

$$\frac{a}{\sin A} = \frac{b}{\sin B} = \frac{c}{\sin C} = 2R$$

که R شعاع دایره محیطی مثلث است.

— مثال ۱: این سؤال به کمک قضیه سینوس‌ها حل می‌شود و برای زاویه B دو جواب به دست می‌آید.

$\hat{B} = 135^\circ$ قابل قبول نیست؛ چون مثلث ABC نمی‌تواند دو زاویه منفرجه داشته باشد.

— مثال ۲: این مثال، یک مثال کاربردی از قضیه سینوس‌هاست که با الگوسازی و رسم مثلث حل می‌شود.

«در کار در کلاس»، مسئله کاربردی دیگری از قضیه سینوس‌ها آورده شده که دانش‌آموزان، با تکمیل

راه‌حل، فاصله دو نقطه A و B در دو طرف رودخانه را به دست می‌آورند:

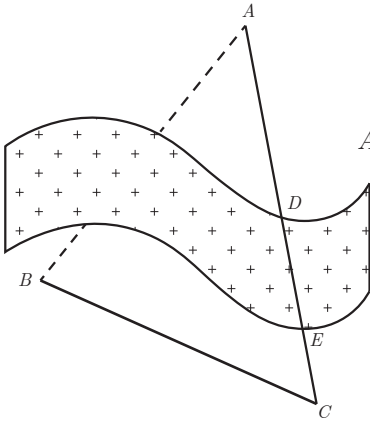
$$\frac{BC}{\sin A} = \frac{AB}{\sin C} \Rightarrow \frac{BC}{\sin(180^\circ - (B+C))} = \frac{AB}{\sin C} \Rightarrow AB = \frac{BC \times \sin C}{\sin(B+C)}$$

در حل این مسئله از این نکته استفاده می‌شود: با توجه به اینکه مجموع زاویه‌های داخلی هر مثلث

180° است، داریم:

$$\hat{A} + \hat{B} + \hat{C} = 180^\circ \Rightarrow \hat{A} = 180^\circ - (\hat{B} + \hat{C})$$

در ادامه حل سؤال، با جای‌گذاری اندازه‌های داده شده در فرمول، طول تقریبی AB به دست می‌آید:

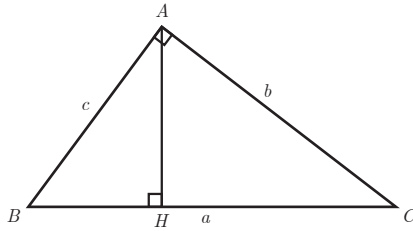


$$AB = \frac{3 \times \sin 6^\circ}{\sin(6^\circ + 7^\circ)} = \frac{3 \times \frac{\sqrt{3}}{2}}{\sin(13^\circ - 5^\circ)} = \frac{3 \times \frac{\sqrt{3}}{2}}{\sin 8^\circ} \approx 3/39$$

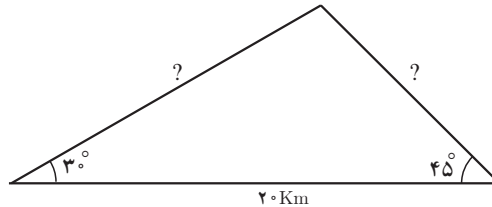
حل تمرین‌های درس اول

۱ از سمت راست تساوی شروع می‌کنیم و به سمت چپ تساوی می‌رسیم. در حل این سؤال از روابط طولی در مثلث قائم‌الزاویه، که در ابتدای درس یادآوری شد، استفاده می‌کنیم.

$$\frac{1}{b^2} + \frac{1}{c^2} = \frac{1}{a \cdot HC} + \frac{1}{a \cdot BH} = \frac{1}{a} \left(\frac{1}{HC} + \frac{1}{BH} \right) = \frac{1}{a} \times \frac{HC + BH}{HC \cdot BH} = \frac{1}{a} \times \frac{a}{h_a^2} = \frac{1}{h_a^2}$$



۲ در حل این سؤال باید سینوس 105° را به دست آوریم.



$$\sin 105^\circ = \sin(180^\circ - (30^\circ + 45^\circ)) = \sin(30^\circ + 45^\circ) =$$

$$\sin 30^\circ \times \cos 45^\circ + \cos 30^\circ \times \sin 45^\circ = \frac{1}{2} \times \frac{\sqrt{2}}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2} \times \frac{\sqrt{2}}{2} = \frac{\sqrt{2}}{4} + \frac{\sqrt{6}}{4} = \frac{\sqrt{2} + \sqrt{6}}{4}$$

$$\frac{x}{\sin 30^\circ} = \frac{y}{\sin 45^\circ} = \frac{20}{\sin 105^\circ} \Rightarrow x = \frac{20 \times \sin 30^\circ}{\sin 105^\circ} = \frac{20 \times \frac{1}{2}}{\frac{\sqrt{2} + \sqrt{6}}{4}} = \frac{40}{\sqrt{2} + \sqrt{6}} \times \frac{\sqrt{2} - \sqrt{6}}{\sqrt{2} - \sqrt{6}}$$

$$= \frac{40(\sqrt{2} - \sqrt{6})}{-4} = 10(\sqrt{6} - \sqrt{2})$$

$$y = \frac{20 \times \sin 45^\circ}{\sin 105^\circ} = \frac{20 \times \frac{\sqrt{2}}{2}}{\frac{\sqrt{2} + \sqrt{6}}{4}} = \frac{40\sqrt{2}}{\sqrt{2} + \sqrt{6}} \times \frac{\sqrt{2} - \sqrt{6}}{\sqrt{2} - \sqrt{6}} = 20\sqrt{3} - 20$$

قضیه کسینوس ها

اهداف درس

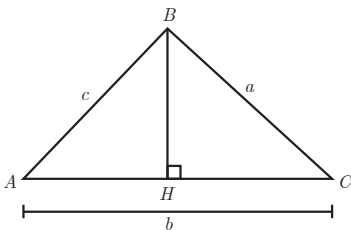
در پایان این درس از دانش آموز انتظار می رود بتواند :

- ۱ قضیه کسینوس ها در هر مثلث را بیان کند؛
- ۲ اثبات قضیه کسینوس ها در هر مثلث را نشان دهد؛
- ۳ نمونه هایی از کاربرد قضیه کسینوس ها در زندگی را مثال بزند؛
- ۴ مسائلی را که در حل آنها از قضیه کسینوس ها استفاده می شود از دیگر مسائل تمیز دهد.

روش تدریس درس دوم

در ابتدای تدریس، معلم می تواند با طرح این سؤال، ذهن دانش آموزان را آماده کند: می دانیم در مثلث قائم الزاویه رابطه ای بین اضلاع وجود دارد. آیا تا به حال فکر کرده اید که ممکن است در هر مثلث دلخواه، بین اضلاع رابطه ای باشد.

در فعالیت (۱) هدف این است که دانش آموز با تکمیل جاهای خالی برای هر مثلث دلخواه ABC در



دو حالت ($\hat{A} > 90^\circ$, $\hat{A} < 90^\circ$) به این نتیجه برسد که قضیه کسینوس ها در هر مثلث دلخواه برقرار است.

– در مثلث ABC ($\hat{A} < 90^\circ$)، ارتفاع BH را رسم کرده ایم. دانش آموز به کمک نسبت های مثلثاتی در مثلث قائم الزاویه، جاهای خالی را تکمیل می کند.

$$\cos A = \frac{AH}{c} \Rightarrow AH = c \cdot \cos A, \quad CH = b - AH = b - c \cdot \cos A$$

$$\sin A = \frac{BH}{c} \Rightarrow BH = c \cdot \sin A$$

$$\Delta BHC: BC^2 = BH^2 + CH^2 \Rightarrow a^2 = (c \cdot \sin A)^2 + (b - c \cdot \cos A)^2$$

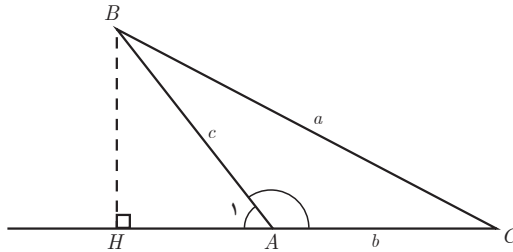
در ادامه به کمک اتحادهای جبری و اتحاد مثلثاتی ($\sin^2 A + \cos^2 A = 1$) رابطه $a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos A$ به دست می‌آید.

$$a^2 = (c \cdot \sin A)^2 + (b - c \cdot \cos A)^2 = c^2 \sin^2 A + b^2 - 2bc \cos A + c^2 \cdot \cos^2 A$$

$$= c^2 (\sin^2 A + \cos^2 A) + b^2 - 2bc \cos A \Rightarrow a^2 = c^2 + b^2 - 2bc \cos A$$

در قسمت بعدی فعالیت (۱) با در نظر گرفتن مثلث ABC ($\hat{A} > 90^\circ$)، ارتفاع BH را رسم می‌کنیم. با توجه به اینکه زاویه A_1 خارجی رأس A است، داریم:

$$\hat{A}_1 = 180^\circ - \hat{A} \Rightarrow \begin{cases} \sin \hat{A}_1 = \sin A \\ \cos \hat{A}_1 = -\cos A \end{cases} \quad (1)$$



در مثلث ABH با نوشتن تعریف نسبت‌های مثلثاتی داریم:

$$\cos A_1 = \frac{AH}{c}, \quad \sin A_1 = \frac{BH}{c} \Rightarrow AH = c \cdot \cos A_1 = -c \cos A, \quad BH = c \cdot \sin A_1 = c \cdot \sin A$$

$$CH = b + AH = b - c \cdot \cos A$$

$$\Delta BHC: BC^2 = BH^2 + CH^2 \Rightarrow a^2 = (c \cdot \sin A)^2 + (b - c \cdot \cos A)^2 =$$

$$C^2 \sin^2 A + b^2 - 2bc \cos A + c^2 \cdot \cos^2 A = C^2 (\underbrace{\sin^2 A + \cos^2 A}_1) + b^2 - 2bc \cos A$$

$$\Rightarrow a^2 = c^2 + b^2 - 2bc \cos A$$

– در پاسخ به سؤال آخر این فعالیت، دانش آموز در می یابد که اگر زاویه A قائمه باشد، پس کسینوس زاویه A صفر می شود و رابطه به صورت $a^2 = c^2 + b^2$ در می آید که همان رابطه فیثاغورس در مثلث قائم الزاویه است.

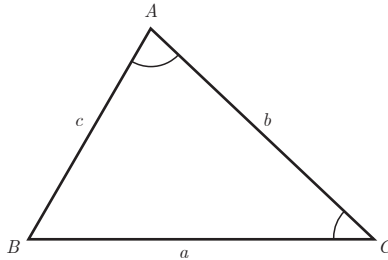
پس از انجام دادن فعالیت توسط دانش آموز، قضیه کسینوس ها توسط معلم بیان می شود.

قضیه کسینوس ها: در هر مثلث، مربع اندازه هر ضلع برابر است با مجموع مربع های اندازه های دو ضلع دیگر، منهای دو برابر حاصل ضرب اندازه آن دو ضلع در کسینوس زاویه بین آنها.

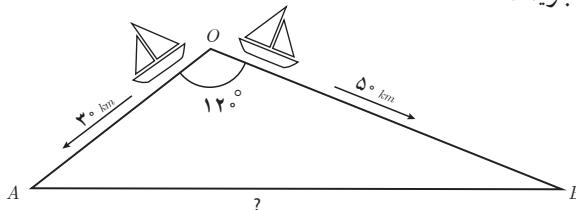
$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cdot \cos A$$

$$b^2 = a^2 + c^2 - 2ac \cdot \cos B$$

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cdot \cos C$$



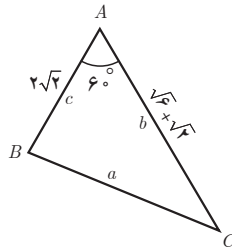
در ادامه، یک مثال کاربردی از قضیه کسینوس ها مطرح و پیشنهاد می شود معلم از ابتدا مسافتی را که هر قایق پس از نیم ساعت طی می کند از دانش آموزان سؤال کند و اعداد حاصل را بر روی شکل (برحسب واحد کیلومتر) بنویسد.



– در سؤال ۱ «کار در کلاس»، دانش آموز به این نتیجه می رسد که اگر در مثلثی اندازه دو ضلع و زاویه بین آنها مشخص باشد، آنگاه به کمک قضیه کسینوس ها می توان اندازه ضلع سوم را به دست آورد.

$$BC^2 = (2\sqrt{2})^2 + (\sqrt{6} + \sqrt{2})^2 - 2 \times 2\sqrt{2} \times (\sqrt{6} + \sqrt{2}) \times \cos 60^\circ$$

$$\Rightarrow BC^2 = 8 + (8 + 2\sqrt{12}) - 2\sqrt{12} - 4 \Rightarrow BC^2 = 12, BC = \sqrt{12} = 2\sqrt{3}$$



– در سؤال ۲ «کار در کلاس» به کمک قضیه سینوس‌ها، اندازه \hat{C} به دست می‌آید.

$$\frac{c}{\sin C} = \frac{a}{\sin A} \Rightarrow \frac{2\sqrt{2}}{\sin C} = \frac{2\sqrt{3}}{\sin 60^\circ} \Rightarrow \sin C = \frac{2\sqrt{2} \times \frac{\sqrt{3}}{2}}{2\sqrt{3}} = \frac{\sqrt{2}}{2} \Rightarrow \hat{C} = 45^\circ$$

$$\Rightarrow \hat{B} = 180^\circ - (60^\circ + 45^\circ) = 75^\circ$$

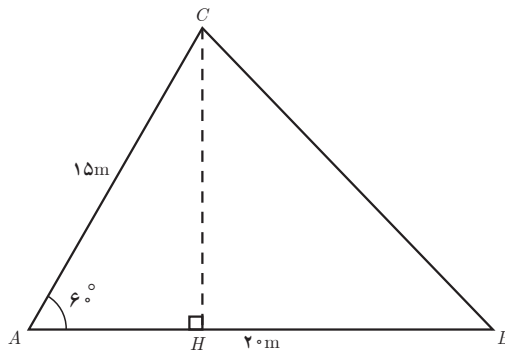
حل تمرین‌های درس دوم

۱ الف

$$BC^2 = AB^2 + AC^2 - 2AB \cdot AC \cdot \cos A$$

$$BC^2 = 20^2 + 15^2 - 2 \times 20 \times 15 \times \cos 60^\circ \Rightarrow$$

$$BC^2 = 400 + 225 - 300 = 325, BC = \sqrt{325} = 5\sqrt{13} \text{ (m)}$$



(ب) قسمت ب سؤال را می‌توان به دو روش حل کرد :

روش اول) استفاده از قضیه سینوس‌ها

$$\frac{AC}{\sin B} = \frac{BC}{\sin A} \Rightarrow \frac{15}{\sin B} = \frac{5\sqrt{13}}{\frac{\sqrt{3}}{2}} \Rightarrow \sin B = \frac{15 \times \frac{\sqrt{3}}{2}}{5\sqrt{13}} = \frac{3}{2} \sqrt{\frac{3}{13}} \approx 0.72$$

۲
به کمک ماشین حساب

$$\Rightarrow \sin B \approx 0.72 \xrightarrow{\quad} \hat{B} \approx 46^\circ$$

روش دوم) استفاده از قضیه کسینوس‌ها

$$15^2 = 20^2 + (5\sqrt{13})^2 - 2 \times 20 \times (5\sqrt{13}) \cdot \cos B \Rightarrow 225 = 400 + 325 - 200\sqrt{13} \cos B \Rightarrow$$

$$200\sqrt{13} \cos B = 500 \Rightarrow \cos B = \frac{5}{2\sqrt{13}} \times \frac{\sqrt{13}}{\sqrt{13}} = \frac{5\sqrt{13}}{26} \approx 0.69$$

$$\cos B \approx 0.69 \xrightarrow{\quad} \hat{B} \approx 46^\circ$$

به کمک ماشین حساب

(ب)

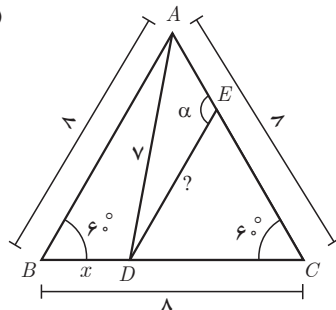
$$\sin A = \frac{CH}{AC} \Rightarrow CH = \frac{\sqrt{3}}{2} \times 15 = \frac{15\sqrt{3}}{2}$$

۲

$$\triangle ABD, \quad v^2 = 8^2 + x^2 - 2 \times 8 \times x \times \cos 60^\circ$$

$$49 = 64 + x^2 - 8x \Rightarrow x^2 - 8x + 15 = 0 \Rightarrow (x-3)(x-5) = 0 \Rightarrow$$

$$\begin{cases} x=3 \\ x=5 \end{cases} \xrightarrow{CD > BD} x=3 \text{ ق ق} \Rightarrow DC = 8-3 = 5$$



برای به دست آوردن فاصله نقطه E از D ، دو روش مطرح می‌شود:
روش اول)

$$EC = DC = 5 \Rightarrow \triangle EDC \text{ متساوی الساقین}, \hat{C} = 6^\circ \Rightarrow \hat{E} = \hat{D} = \frac{180^\circ - 6^\circ}{2} = 6^\circ \Rightarrow$$

$$\triangle EDC \text{ متساوی الساقین} \Rightarrow ED = 5$$

روش دوم)

$$ED^2 = 5^2 + 5^2 - 2 \times 5 \times 5 \times \cos 6^\circ = 25 + 25 - 25 = 25 \Rightarrow ED = 5$$

$$\hat{AED} = 180^\circ - 6^\circ = 12^\circ$$

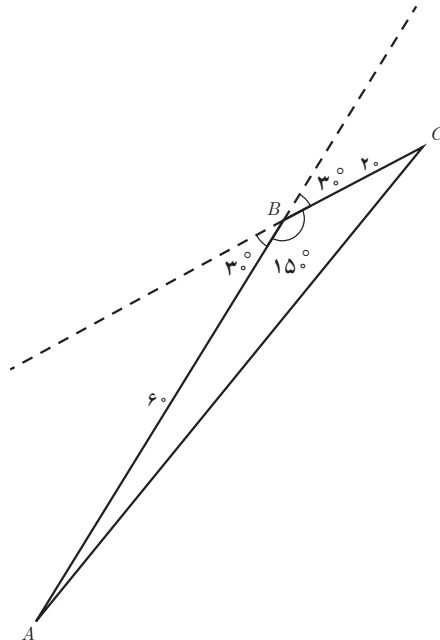
۳

$$d = V.t \Rightarrow \begin{cases} AB = 60 \times 1 = 60 \text{ km} \\ AC = 40 \times 0.5 = 20 \text{ km} \end{cases}$$

$$BC^2 = AC^2 + AB^2 - 2AC \cdot AB \cdot \cos 15^\circ$$

$$BC^2 = 60^2 + 20^2 - 2 \times 60 \times 20 \times \cos(180^\circ - 3^\circ) = 3600 + 400 + 2400 \times \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$= 4000 + 1200\sqrt{3} \Rightarrow BC = \sqrt{4000 + 1200\sqrt{3}} \approx 77.96$$



$$\Delta AMC, b^2 = AM^2 + \left(\frac{a}{2}\right)^2 - 2 \times AM \times \frac{a}{2} \times \overbrace{\cos(180^\circ - \alpha)}^{-\cos \alpha} \quad (1)$$

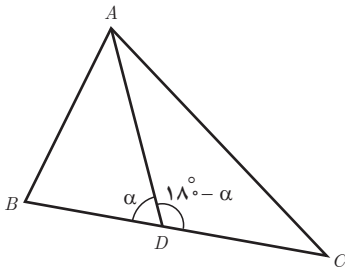
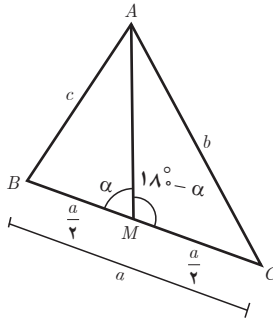
$$\Delta AMB, c^2 = AM^2 + \left(\frac{a}{2}\right)^2 - 2 \times AM \times \frac{a}{2} \times \cos \alpha \quad (2)$$

طرفین تساوی های ۱ و ۲ را با یکدیگر جمع می کنیم. اکنون داریم:

$$b^2 + c^2 = 2AM^2 + \frac{a^2}{2} \quad (\text{قضیه میانه ها})$$

حالت خاص: $BC=8$ و $AC=6$ و $AB=4$

$$6^2 + 4^2 = 2AM^2 + \frac{8^2}{2} \Rightarrow 36 + 16 = 2AM^2 + 32 \Rightarrow 2AM^2 = 20 \Rightarrow AM^2 = 10 \Rightarrow AM = \sqrt{10}$$



۵ برای اثبات قضیه استوارت: از طرف راست تساوی شروع

می کنیم و با جایگذاری، به طرف چپ تساوی می رسمیم.

می دانیم:

$$\Delta ADB, AB^2 = AD^2 + BD^2 - 2AD \cdot BD \cdot \cos \alpha \quad (1)$$

$$\Delta ADC, AC^2 = AD^2 + DC^2 - 2AD \cdot DC \cdot \overbrace{\cos(180^\circ - \alpha)}^{-\cos \alpha} \quad (2)$$

$$\text{طرف راست: } AB^2 \cdot DC + AC^2 \cdot DB \stackrel{\text{جایگذاری}}{=} \frac{2, 1}{2, 1}$$

$$(AD^2 + BD^2 - 2AD \cdot BD \cdot \cos \alpha) \cdot DC + (AD^2 + DC^2 + 2AD \cdot DC \cdot \cos \alpha) \cdot DB =$$

$$AD^2 \cdot DC + BD^2 \cdot DC - 2AD \cdot BD \cdot DC \cdot \cos \alpha + AD^2 \cdot DB + DC^2 \cdot DB + 2AD \cdot DC \cdot DB \cdot \cos \alpha =$$

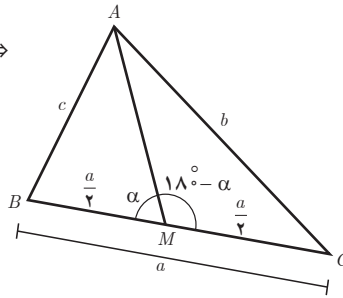
$$AD^2(DC + DB) + BD \cdot DC(BD + DC) = AD^2 \cdot BC + BD \cdot DC \cdot BC$$

به کمک قضیه استوارت، درستی قضیه میانه‌ها را نتیجه می‌گیریم، چون AM میانه است پس

$$BM = MC = \frac{a}{2}$$

$$AB^2 \cdot MC + AC^2 \cdot MB = AM^2 \cdot BC + BM \cdot MC \cdot BC \xrightarrow{BM=MC=\frac{a}{2}}$$

$$c^2 \cdot \frac{a}{2} + b^2 \cdot \frac{a}{2} = AM^2 \cdot a + \frac{a}{2} \cdot \frac{a}{2} \cdot a \Rightarrow$$



قضیه میانه‌ها :

$$\frac{a}{2}(c^2 + b^2) = \frac{a}{2}(2 \cdot AM^2 + \frac{a^2}{2}) \Rightarrow b^2 + c^2 = 2AM^2 + \frac{a^2}{2}$$

۶ حل مسئله ۲، با استفاده از قضیه استوارت

$$ABC \text{ در مثلث استوارت در مثلث } \Rightarrow 8^2 \times DC + 8^2 \times BD = 7^2 \times 8 + BD \cdot DC \times 8 \Rightarrow$$

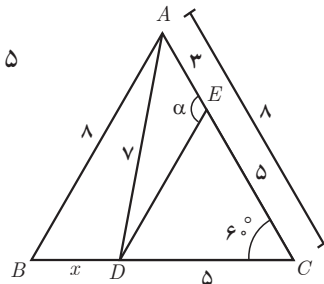
$$8^2 \underbrace{(DC + BD)}_8 = 7^2 \times 8 + BD \cdot (8 - BD) \times 8 \xrightarrow{\div 8}$$

$$64 = 49 + 8BD - BD^2 \Rightarrow BD^2 - 8BD + 15 = 0 \Rightarrow$$

$$(BD - 3)(BD - 5) = 0 \Rightarrow \begin{matrix} BD = 3 \\ BD = 5 \end{matrix} \xrightarrow{DC > BD} \begin{matrix} BD = 3 \\ DC = 8 - 3 = 5 \end{matrix}$$

$$ADC \text{ در مثلث استوارت در مثلث } \Rightarrow 5^2 \times 3 + 7^2 \times 5 = DE^2 \times 8 + 3 \times 5 \times 8 \Rightarrow 75 + 245 = 8DE^2 + 120 \Rightarrow$$

$$8DE^2 = 200 \Rightarrow DE^2 = \frac{200}{8} = 25 \Rightarrow DE = \sqrt{25} = 5$$



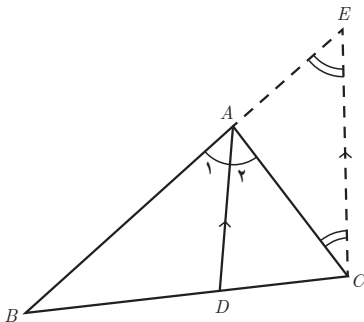
قضیه نیمسازهای زاویه‌های داخلی و محاسبه طول نیمسازها

اهداف درس

- در پایان این درس از دانش آموز انتظار می‌رود که بتواند :
- ۱ قضیه نیمسازهای زاویه‌های داخلی هر مثلث را بیان کند؛
 - ۲ قضیه نیمسازهای زاویه‌های داخلی هر مثلث را اثبات کند؛
 - ۳ با استفاده از قضیه نیمسازهای زاویه‌های داخلی هر مثلث، مسائل مرتبط را حل کند؛
 - ۴ قضیه طول نیمسازهای زاویه‌های داخلی هر مثلث را بیان کند؛
 - ۵ با استفاده از قضیه طول نیمسازهای زاویه‌های داخلی هر مثلث، مسائل مرتبط را حل کند.

روش تدریس درس سوم

در این درس معلم دو مطلب را آموزش می‌دهد : ۱- قضیه نیمسازهای زاویه‌های داخلی هر مثلث؛ ۲- قضیه



محاسبه طول نیمسازهای زاویه‌های داخلی هر مثلث.

- ۱ برای اثبات قضیه نیمسازهای زاویه‌های داخلی، از نقطه C خطی موازی با نیمساز AD رسم می‌کنیم تا امتداد AB را در نقطه E قطع کند.

الف و ب)

$$\left. \begin{array}{l} AD \parallel EC \text{ (قاطع)} \Rightarrow \hat{A}_1 = \hat{E} \\ AD \parallel EC \text{ (قاطع)} \Rightarrow \hat{A}_r = \hat{C} \\ AD \text{ نیمساز است} \Rightarrow \hat{A}_1 = \hat{A}_r \end{array} \right\} \Rightarrow \hat{E} = \hat{C} \Rightarrow \triangle AEC \text{ متساوی الساقین} \Rightarrow AE = AC \text{ ①}$$

ج) با توجه به قضیه تالس در مثلث EBC داریم:

$$AD \parallel EC \xrightarrow{\text{قضیه تالس}} \frac{BD}{CD} = \frac{AB}{AE} \xrightarrow{(1)} \frac{AB}{AC}$$

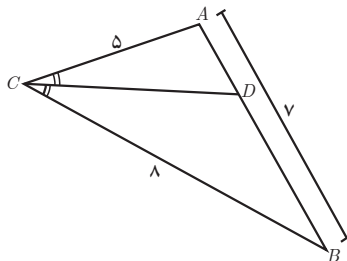
مثالی که در ادامه آورده شده است، نشان می‌دهد که با معلوم بودن اندازه‌های سه ضلع هر مثلث، می‌توان طول قطعاتی که هر نیمساز روی ضلع مقابل ایجاد می‌کند را محاسبه کرد.

حل «کار در کلاس» نیز مشابه مثال داده شده است. با رسم نیمساز زاویه C داریم:

$$\frac{8}{5} = \frac{BD}{AD} \Rightarrow \frac{8+5}{5} = \frac{BD+AD}{AD} \Rightarrow \frac{13}{5} = \frac{7}{AD}$$

$$\Rightarrow AD = \frac{7 \times 5}{13} = \frac{35}{13}$$

$$BD = 7 - \frac{35}{13} = \frac{91-35}{13} = \frac{56}{13}$$



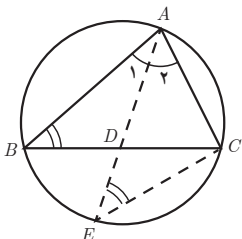
۲ محاسبه طول نیمسازهای زاویه‌های داخلی مثلث

در مثلث ABC برای محاسبه طول نیمساز داخلی زاویه A ، AD را امتداد می‌دهیم تا دایره محیطی مثلث را در E قطع کند و E را به C وصل می‌کنیم.

اکنون داریم:

الف) $\hat{E} = \hat{B}$ زیرا محاطی رو به یک کمان است.

ب) مثلث‌های AEC و ABD متشابه‌اند؛ زیرا:



$$\left. \begin{array}{l} \hat{A}_1 = \hat{A}_2 \\ \hat{B} = \hat{E} = \frac{\widehat{AC}}{2} \end{array} \right\} \xrightarrow{(ز, ز)} \triangle ABD \sim \triangle AEC$$

(ب) نسبت‌های اضلاع متناظر: $\frac{AC}{AD} = \frac{AE}{AB} = \frac{EC}{BD}$
 (ت) از تناسب اول نتیجه می‌گیریم:

$$AB \cdot AC = AD \cdot AE \stackrel{\text{جابجایی}}{=} AD(AD + DE) = AD^2 + AD \cdot DE$$

می‌دانیم $AD \cdot DE = BD \cdot DC$. زیرا طبق قضیه فصل (۲)، از تشابه دو مثلث ABD و CDE داریم:

$$\left. \begin{array}{l} \hat{B} = \hat{E} = \frac{\widehat{AC}}{2} \\ \hat{D}_1 = \hat{D}_2 \text{ متقابل به رأس اند} \end{array} \right\} \xrightarrow{(ز, ز)} \triangle ABD \sim \triangle CDE \Rightarrow \frac{AD}{DC} = \frac{BD}{DE} \Rightarrow AD \cdot DE = BD \cdot DC$$

$$AD^2 = AB \cdot AC - BD \cdot DC$$

بنابراین:

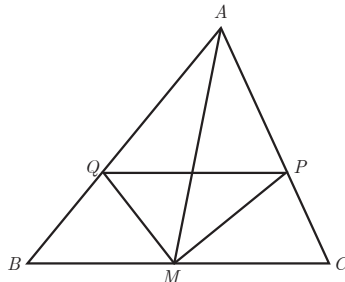
و این یعنی (قضیه ۲): در هر مثلث، مربع اندازه هر نیمساز داخلی برابر است با حاصل ضرب اندازه دو ضلع زاویه، منهای حاصل ضرب اندازه دو قطعه‌ای که نیمساز روی ضلع مقابل ایجاد می‌کند. برای حل مثالی که در ادامه مطرح می‌شود از دو قضیه ۱ و ۲ استفاده می‌شود.

حل تمرین‌های درس سوم

■ MP نیمساز زاویه AMC و MQ نیمساز زاویه AMB است: فرض M وسط BC ($MB = MC$)

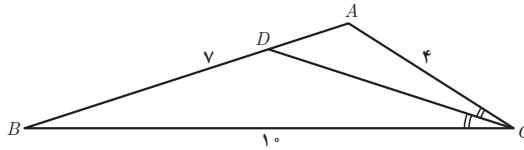
حکم: $PQ \parallel BC$

$$\left. \begin{array}{l} MP \text{ نیمساز زاویه } AMC \text{ است} \Rightarrow \frac{AM}{MC} = \frac{AP}{PC} \\ MQ \text{ نیمساز زاویه } AMB \text{ است} \Rightarrow \frac{AM}{MB} = \frac{AQ}{QB} \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{AP}{PC} = \frac{AQ}{QB} \xrightarrow{\text{عکس قضیه تالس}} PQ \parallel BC$$



$$CD: \text{نیمساز زاویه } C \text{ است} \quad \frac{4}{10} = \frac{AD}{DB} \Rightarrow \frac{4+10}{10} = \frac{AD+DB}{DB} \implies$$

$$\frac{14}{10} = \frac{7}{DB} \Rightarrow DB = \frac{7 \times 10}{14} = 5 \quad AD = 7 - 5 = 2$$



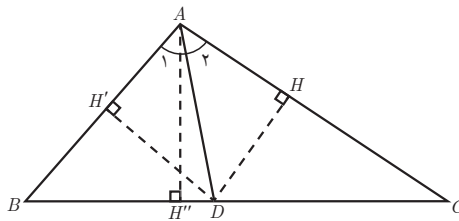
۳ AD نیمساز زاویه A است.

(الف) چون نقطه D روی نیمساز زاویه A قرار دارد. طبق خاصیت نیمساز، از دو ضلع زاویه A به یک

فاصله است؛ یعنی $DH = DH'$

(ب)

$$\left. \begin{aligned} \frac{S_{\triangle ABC}}{S_{\triangle ACD}} &= \frac{\frac{1}{2} DH' \times AB}{\frac{1}{2} DH \times AC} = \frac{AB}{AC} \quad (1) \\ \frac{S_{\triangle ABC}}{S_{\triangle ACD}} &= \frac{\frac{1}{2} BD \times AH''}{\frac{1}{2} CD \times AH''} = \frac{BD}{CD} \quad (2) \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{AB}{AC} = \frac{BD}{CD}$$



قضیه هرون (محاسبه ارتفاعها و مساحت مثلث)

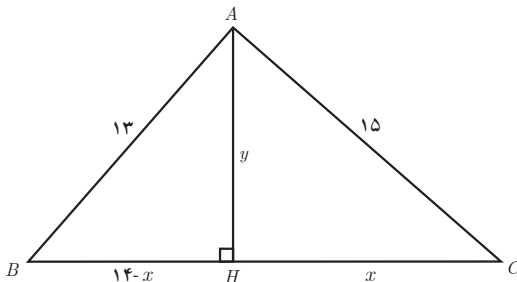
اهداف درس

از دانش آموز انتظار می رود که در پایان این درس بتواند:

- ۱ قضیه هرون را تبیین کند؛
- ۲ توضیح دهد چه موقع از قضیه هرون استفاده می شود؛
- ۳ نشان دهد مساحت هر مثلث برابر است با نصف حاصل ضرب اندازه های هر دو ضلع در سینوس زاویه بین آنها؛
- ۴ با معلوم بودن اندازه مساحت هر مثلث و اندازه هر ضلع، اندازه ارتفاع نظیر آن ضلع را به دست آورد.

روش تدریس درس چهارم

– در این درس معلم می تواند با یادآوری مسئله ای از کتاب هندسه (۱)، که در آن اندازه های اضلاع مثلث



معلوم است، مساحت مثلث و سپس اندازه ارتفاع های مثلث را به کمک دانش آموزان محاسبه کند.

– با استفاده از قضیه فیثاغورس در مثلث های AHB و AHC اندازه های x و y به دست می آیند.

$$\left. \begin{array}{l} \Delta AHC : CH^2 + AH^2 + 15^2 \\ \Delta AHB : BH^2 + AH^2 = 13^2 \end{array} \right\} \Rightarrow \begin{cases} x^2 + y^2 = 225 & \text{طرفین تساوی‌ها را} \\ (14-x)^2 + y^2 = 169 & \text{از هم کم می‌کنیم} \end{cases} \rightarrow x^2 - (14-x)^2 = 56 \Rightarrow$$

$$x^2 - 196 - x^2 + 28x = 56 \Rightarrow 28x = 56 + 196 = 252 \Rightarrow x = \frac{252}{28} = 9$$

$$y = \sqrt{15^2 - 9^2} = \sqrt{144} = 12$$

$$S = \frac{1}{2} BC \cdot AH = \frac{1}{2} \times 14 \times 12 = 84$$

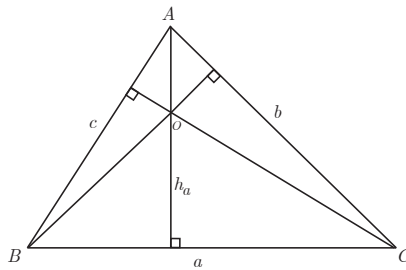
پس از حل مسئله، معلوم اشاره می‌کند که با به کار بردن همین روش در مثلث دلخواه ABC ، که $BC = a$ ، $AC = b$ و $AB = c$ نتیجه‌ای برای محاسبه مساحت مثلث به دست می‌آید که به قضیه هرون معروف است.

$$S = \sqrt{P(P-a)(P-b)(P-c)} \quad (\text{دستور هرون})$$

که در این دستور $P = \frac{a+b+c}{2}$ نصف محیط مثلث است.

با به دست آوردن مساحت مثلث، می‌توان ارتفاع نظیر هر ضلع را به دست آورد.

$$S = \frac{1}{2} \cdot a \cdot h_b \Rightarrow h_a = \frac{2S}{a} \quad \text{و} \quad h_b = \frac{2S}{b} \quad \text{و} \quad h_c = \frac{2S}{c}$$



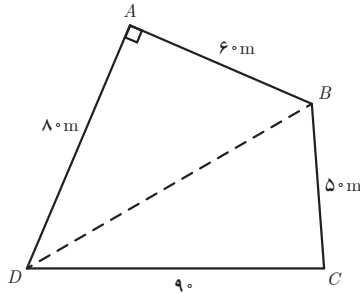
در ادامه مثالی آورده شده که در آن به کمک دستور هرون، مساحت و ارتفاع‌های مثلث به دست می‌آید.

$$h_b = \frac{2 \times 84}{15} = 11\frac{2}{3} \quad h_c = \frac{2 \times 84}{13} = 12\frac{8}{13} \quad c = 13, b = 15, a = 14$$

— «کار در کلاس» یک سؤال کاربردی است که در آن مزرعه کشاورزی به شکل چهارضلعی‌ای است که تنها دو ضلع آن برهم عمودند. با مشخص نمودن طول اضلاع این زمین، و با استفاده از دستور هرون، مساحت زمین به دست می‌آید.

الف) B را به D وصل می‌کنیم. طول BD با استفاده از قضیه فیثاغورس در مثلث ABD به دست می‌آید.

$$BD^2 = 60^2 + 80^2 = 3600 + 6400 = 10000 \Rightarrow BD = 100$$



$$S_{\triangle ABD} = \frac{80 \times 60}{2} = 2400 \quad (\text{ب})$$

(پ) مساحت مثلث CBD به کمک دستور هرون به دست می‌آید.

$$P = \frac{100 + 50 + 90}{2} = 120$$

$$S_{CBD} = \sqrt{120 \times 20 \times 70 \times 30} = \sqrt{2^3 \times 5 \times 3 \times 2^2 \times 5 \times 2 \times 5 \times 7 \times 2 \times 5 \times 3}$$

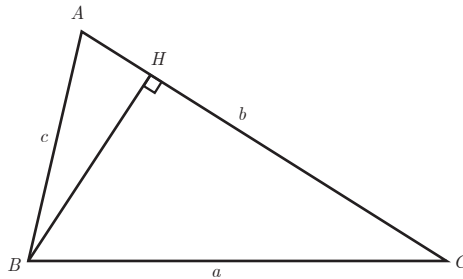
$$= \sqrt{2^7 \times 5^4 \times 3^2 \times 7} = 2^3 \times 5^2 \times 3 \sqrt{14} = 600 \sqrt{14}$$

(ت) مساحت زمین کشاورزی برابر است با:

$$S = 2400 + 600 \sqrt{14} \approx 4645 \text{ (m}^2\text{)}$$

— در فعالیت دستور دیگری برای محاسبه مساحت مثلث، به کمک نسبت‌های مثلثاتی به دست می‌آید.
در مثلث ABC ، ارتفاع BH را رسم کرده‌ایم.

$$\sin A = \frac{BH}{c} \Rightarrow BH = c \cdot \sin A \quad (1)$$



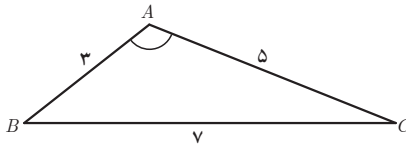
۲ مساحت مثلث ABC به کمک ارتفاع BH و جایگذاری رابطه (۱) به دست می‌آید.

$$S_{ABC} = \frac{1}{2} BH \times AC = \frac{1}{2} c \cdot b \cdot \sin A$$

در نتیجه، مساحت هر مثلث برابر است با نصف حاصل ضرب اندازه‌های هر دوضلع در سینوس زاویه بین آنها.

$$S_{ABC} = \frac{1}{2} bc \sin A = \frac{1}{2} ab \sin C = \frac{1}{2} ac \sin B$$

– در «کار در کلاس» سؤالی مطرح شده است که در آن مساحت مثلث به دو روش به دست می‌آید:



۱ با استفاده از دستور هرون داریم:

$$P = \frac{5+7+3}{2} = \frac{15}{2}$$

$$\Rightarrow S = \sqrt{P(P-a)(P-b)(P-c)} = \sqrt{\frac{15}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{5}{2} \times \frac{9}{2}} = \frac{15\sqrt{3}}{4}$$

۲ با استفاده از دستور $S = \frac{1}{2} AB \cdot AC \cdot \sin A$ مساحت مثلث ABC را می‌نویسیم:

$$\frac{15\sqrt{3}}{4} = \frac{1}{2} \times 3 \times 5 \times \sin A \Rightarrow \sin A = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

۳ از مقایسه نتایج ۱ و ۲، اندازه زاویه منفرجه A به دست می‌آید:

$$\sin A = \frac{\sqrt{3}}{2} \Rightarrow \hat{A} = 120^\circ$$

حل تمرین‌های درس چهارم

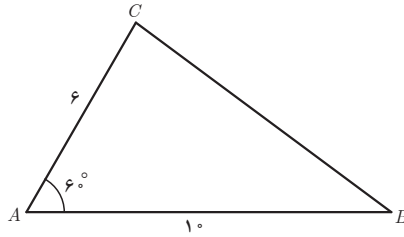
۱

$$BC^2 = AC^2 + AB^2 - 2AC \cdot AB \cos A = 6^2 + 10^2 - 2 \times 6 \times 10 \times \frac{1}{2} = 36 + 100 - 60 = 76$$

$$BC = \sqrt{76} = 2\sqrt{19}$$

$$S_{\triangle ABC} = \frac{1}{2} \times AC \times AB \times \sin A = \frac{1}{2} \times 6 \times 10 \times \frac{\sqrt{3}}{2} = 15\sqrt{3}$$

$$\frac{AC}{\sin B} = \frac{BC}{\sin A} \Rightarrow \frac{6}{\sin B} = \frac{2\sqrt{19}}{\frac{\sqrt{3}}{2}} \Rightarrow \sin B = \frac{6 \times \frac{\sqrt{3}}{2}}{2\sqrt{19}} = \frac{3\sqrt{3}}{2\sqrt{19}} \times \frac{\sqrt{19}}{\sqrt{19}} = \frac{3\sqrt{57}}{38}$$



$$P_1 = \frac{4 + 15 + 13}{2} = 16$$

$$S_1 = \sqrt{16 \times 12 \times 1 \times 3} = 24$$

$$P_2 = \frac{11 + 13 + 20}{2} = 22$$

$$S_2 = \sqrt{22 \times 11 \times 9 \times 2} = 66$$

كل $S = 24 + 66 = 90$

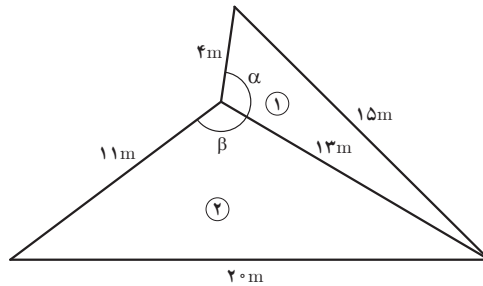
$$15^2 = 4^2 + 13^2 - 2 \times 4 \times 13 \times \cos \alpha \Rightarrow 225 = 16 + 169 - 104 \cos \alpha$$

$$\Rightarrow -104 \cos \alpha = 40 \Rightarrow \cos \alpha = -\frac{40}{104} = -\frac{5}{13} \quad 1$$

$$20^2 = 11^2 + 13^2 - 2 \times 11 \times 13 \times \cos \beta \Rightarrow 400 = 121 + 169 - 286 \cos \beta$$

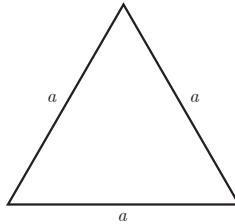
$$\Rightarrow -286 \cos \beta = 110 \Rightarrow \cos \beta = \frac{110}{-286} = -\frac{5}{13} \quad 2$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} 2 \\ \Rightarrow \alpha = \beta \end{aligned}$$



$$P = \frac{3a}{2}$$

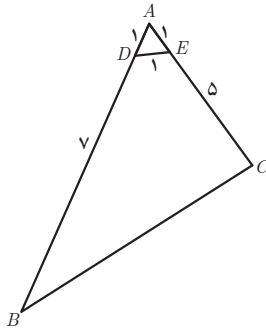
$$S = \sqrt{\frac{3a}{2} \left(\frac{3a}{2} - a \right) \left(\frac{3a}{2} - a \right) \left(\frac{3a}{2} - a \right)} = \sqrt{\frac{3a}{2} \left(\frac{3a}{2} - a \right)^3} = \sqrt{\frac{3a}{2} \times \frac{a^3}{8}} = \frac{\sqrt{3}}{4} a^2$$



$\triangle ADE$ متساوی الاضلاع $\Rightarrow \hat{A} = 60^\circ$

$$BC^2 = 8^2 + 6^2 - 2 \times 8 \times 6 \times \cos 60^\circ = 64 + 36 - 48 = 52 \quad BC = \sqrt{52} = 2\sqrt{13}$$

$$\begin{aligned} S_{DECB} &= S_{\triangle ABC} - S_{\triangle ADE} = \left(\frac{1}{2} \times 8 \times 6 \times \sin 60^\circ \right) - \frac{\sqrt{3}}{4} \times 1^2 = \frac{1}{2} \times 8 \times 6 \times \frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{\sqrt{3}}{4} \\ &= 48 \frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{\sqrt{3}}{4} = \frac{47}{4} \sqrt{3} \end{aligned}$$



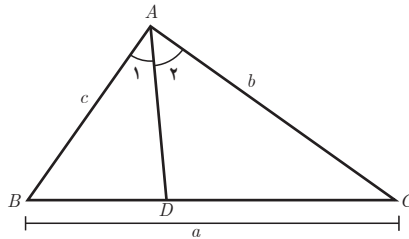
۵ با نوشتن مساحت مثلث ABC به صورت مجموع مساحت‌های دو مثلث ABD و ADC، دستور دیگری برای محاسبه طول نیمسازهای زاویه‌های داخلی مثلث به دست می‌آید.

$$\begin{aligned} S_{\triangle ABC} &= S_{ABD} + S_{ACD} \Rightarrow \frac{1}{2} AB \cdot AC \cdot \sin A = \frac{1}{2} AB \cdot AD \cdot \sin \frac{A}{2} + \frac{1}{2} AC \cdot AD \cdot \sin \frac{A}{2} \\ &\Rightarrow AB \cdot AC \cdot \sin A = AD \cdot \sin \frac{A}{2} (AB + AC) \end{aligned}$$

$$\Rightarrow AD = \frac{AB \cdot AC \cdot \sin A}{(AB+AC) \cdot \sin \frac{A}{2}} = \frac{\sqrt{2} AB \cdot AC \cdot \sin \frac{A}{2} \cdot \cos \frac{A}{2}}{(AB+AC) \cdot \sin \frac{A}{2}} \Rightarrow AD = \frac{\sqrt{2} AB \cdot AC \cdot \cos \frac{A}{2}}{AB+AC}$$

$$\Rightarrow (A \text{ نیمساز رأس}) d_a = \frac{\sqrt{2} bc \cdot \cos \frac{A}{2}}{b+c}$$

$$(B \text{ نیمساز رأس}) = d_b = \frac{\sqrt{2} ac \cdot \cos \frac{B}{2}}{a+c} \quad (C \text{ نیمساز رأس}) = d_c = \frac{\sqrt{2} ab \cdot \cos \frac{C}{2}}{a+b}$$



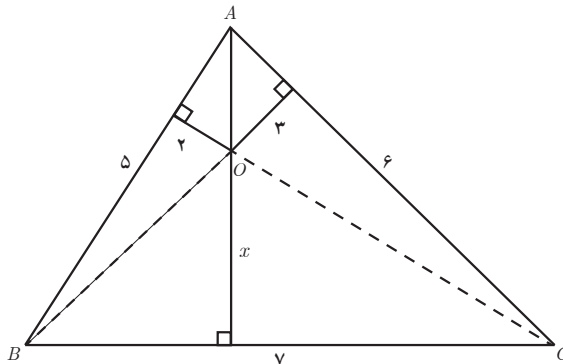
۶ با نوشتن مساحت مثلث ABC به صورت مجموع مساحت‌های سه مثلث AOB و BOC و COA ، فاصله نقطه O از رأس بزرگ‌تر به دست می‌آید.

$$P = \frac{5+6+7}{2} = 9$$

$$S = \sqrt{9 \times 4 \times 3 \times 2} = 6\sqrt{6}$$

$$S_{\triangle ABC} = S_{\triangle AOB} + S_{\triangle BOC} + S_{\triangle COA} = \frac{1}{2} \times 2 \times 5 + \frac{1}{2} \times 3 \times 6 + \frac{1}{2} \times 7 \times x = 14 + \frac{7}{2}x$$

$$\Rightarrow 6\sqrt{6} = 14 + \frac{7}{2}x \Rightarrow \frac{7}{2}x = 6\sqrt{6} - 14 \Rightarrow 7x = 12\sqrt{6} - 28 \Rightarrow x = \frac{12\sqrt{6} - 28}{7}$$



را به D وصل می‌کنیم. سپس با استفاده از قضیه کسینوس‌ها در مثلث BCD ، طول ضلع BD را به دست می‌آوریم. به کمک قضیه کسینوس‌ها در مثلث BAD اندازه زاویه A به دست می‌آید. مساحت چهارضلعی $ABCD$ نیز از تفاضل مساحت‌های مثلث‌های ABD و BCD به دست می‌آید.

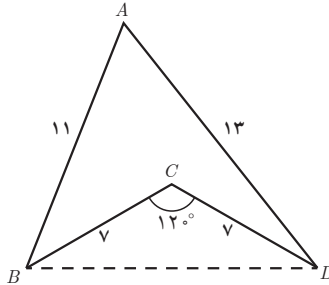
$$BD^2 = 7^2 + 7^2 - 2 \times 7 \times 7 \times \cos 12^\circ = 49 + 49 + 98 \times \frac{1}{2} = 98 + 49 = 147, BD = \sqrt{147} = 7\sqrt{3}$$

$$BD^2 = 11^2 + 13^2 - 2 \times 11 \times 13 \times \cos A \Rightarrow 121 + 169 - 286 \cos A = 147 \Rightarrow 143 = 286 \cos A$$

$$\Rightarrow \cos A = \frac{143}{286} = \frac{1}{2} \Rightarrow \hat{A} = 60^\circ$$

$$S_{ABCD} = S_{ABD} - S_{BCD} = \frac{1}{2} \times 11 \times 13 \times \frac{\sin 60^\circ}{\frac{\sqrt{3}}{2}} - \frac{1}{2} \times 7 \times 7 \times \frac{\sin 12^\circ}{\frac{\sqrt{3}}{2}}$$

$$= \frac{143\sqrt{3}}{4} - \frac{49\sqrt{3}}{4} = \frac{94\sqrt{3}}{4}$$

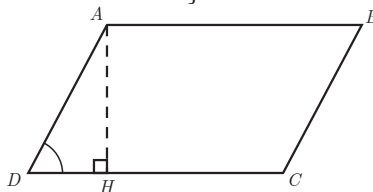


▲

روش اول

ارتفاع AH در متوازی‌الاضلاع $ABCD$ را رسم می‌کنیم. با استفاده از دستور مساحت متوازی‌الاضلاع و استفاده از نسبت‌های مثلثاتی برای پیدا کردن طول ارتفاع متوازی‌الاضلاع، به حکم مسئله می‌رسیم.

$$\left. \begin{aligned} S_{ABCD} &= DC \times AH \\ \Delta ADH; \sin D &= \frac{AH}{AD} \Rightarrow AH = AD \cdot \sin D \end{aligned} \right\} \Rightarrow S_{ABCD} = DC \cdot AD \cdot \sin D$$

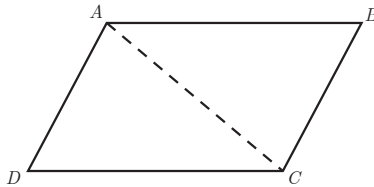


روش دوم: با استفاده از رسم قطر متوازی الاضلاع و این نکته که مساحت دو مثلث حاصل با هم برابرند و همچنین دستور مساحت مثلث، به حکم مسئله می‌رسیم:

$$\left. \begin{aligned} S_{ADC} &= \frac{1}{2} AD \cdot DC \cdot \sin D \\ S_{ABC} &= \frac{1}{2} AD \cdot DC \cdot \sin D \end{aligned} \right\} \Rightarrow S_{ABCD} = 2 \times \frac{1}{2} \times AD \cdot DC \cdot \sin D$$

$$S_{ABCD} = 2 \times S_{ADC}$$

$$\Rightarrow S_{ABCD} = AD \cdot DC \cdot \sin D$$



۹. کمک قضیه کسینوس‌ها در مثلث ABC ، موارد الف و ب و پ ثابت می‌شود. توجه شود که قسمت‌ها به صورت دو شرطی مطرح شده است؛ پس لازم است دو طرف اثبات شود:

الف) اگر $\hat{A} > 90^\circ$ آنگاه $a^2 > b^2 + c^2$

$$\left. \begin{aligned} \hat{A} > 90^\circ &\Rightarrow \cos A < 0 \\ -2bc &< 0 \end{aligned} \right\} \Rightarrow -2bc \cos A > 0 \quad \text{①}$$

از طرفی طبق قضیه کسینوس‌ها داریم:

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos A \xrightarrow{\text{①}} a^2 > b^2 + c^2$$

بالعکس؛ اگر $a^2 > b^2 + c^2$ باشد آنگاه $\hat{A} > 90^\circ$

طبق فرض $a^2 > b^2 + c^2$ است. از طرفی طبق قضیه کسینوس‌ها داریم $a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos A$

پس:

$$a^2 > b^2 + c^2 \Rightarrow b^2 + c^2 - 2bc \cos A > b^2 + c^2 \Rightarrow -2bc \cos A > 0$$

$$\Rightarrow \cos A < 0 \Rightarrow \hat{A} > 90^\circ$$

ب) اگر $\hat{A} < 90^\circ$ آنگاه $a^2 < b^2 + c^2$

$$\left. \begin{aligned} \hat{A} < 90^\circ &\Rightarrow \cos A > 0 \\ -2bc &< 0 \end{aligned} \right\} \Rightarrow -2bc \cos A < 0 \quad \text{①}$$

از طرفی طبق قضیه کسینوس‌ها داریم:

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos A \xrightarrow{\text{①}} a^2 < b^2 + c^2$$

بالعکس) اگر $a^2 < b^2 + c^2$ آنگاه $\hat{A} < 90^\circ$

$$a^2 < b^2 + c^2 \xrightarrow[\text{کسینوس‌ها}]{\text{قضیه}} b^2 + c^2 - 2bc \cos A < b^2 + c^2 \Rightarrow -2bc \cos A < 0$$

$$\Rightarrow \cos A > 0 \Rightarrow \hat{A} < 90^\circ$$

(پ) اگر $\hat{A} = 90^\circ$ آنگاه $a^2 = b^2 + c^2$

$$\hat{A} = 90^\circ \Rightarrow \cos A = \cos 90^\circ = 0 \Rightarrow -2bc \cos A = 0 \quad (1)$$

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos A \xrightarrow{(1)} a^2 = b^2 + c^2$$

بالعکس؛ اگر $a^2 = b^2 + c^2$ آنگاه $\hat{A} = 90^\circ$

$$a^2 = b^2 + c^2 \xrightarrow[\text{کسینوس‌ها}]{\text{قضیه}} b^2 + c^2 - 2bc \cos A = b^2 + c^2 \Rightarrow -2bc \cos A = 0 \Rightarrow \cos A = 0 \Rightarrow \hat{A} = 90^\circ$$

۱۰. به کمک نتیجه تمرین ۹، حاده، قائمه یا منفرجه بودن زاویه A در هر یک از مثلث‌ها مشخص می‌شود.

الف) $BC=9$ و $AC=6$ و $AB=10$

$$\left. \begin{array}{l} a^2 = 9^2 = 81 \\ b^2 + c^2 = 6^2 + 10^2 = 36 + 100 = 136 \end{array} \right\} \Rightarrow a^2 < b^2 + c^2 \Rightarrow \hat{A} < 90^\circ$$

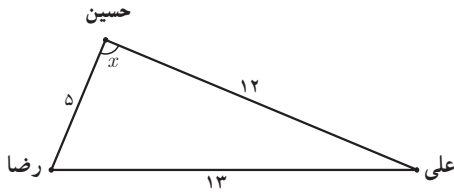
(ب) $BC=9$ ، $AC=4$ ، $AB=8$

$$\left. \begin{array}{l} a^2 = 9^2 = 81 \\ b^2 + c^2 = 4^2 + 8^2 = 16 + 64 = 80 \end{array} \right\} \Rightarrow a^2 > b^2 + c^2 \Rightarrow \hat{A} > 90^\circ$$

(ب) $BC=17$ ، $AC=15$ ، $AB=8$

$$\left. \begin{array}{l} a^2 = 17^2 = 289 \\ b^2 + c^2 = 15^2 + 8^2 = 225 + 64 = 289 \end{array} \right\} \Rightarrow a^2 = b^2 + c^2 \Rightarrow \hat{A} = 90^\circ$$

سؤالات ارزشیابی

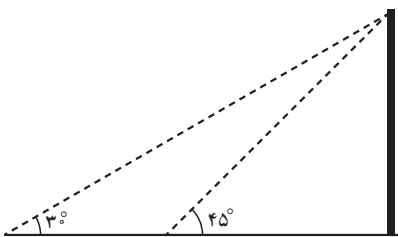
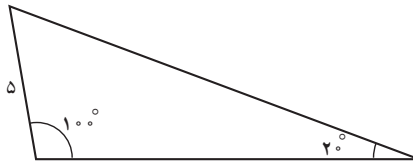


۱ علی، حسین و رضا، مطابق شکل مقابل و با فاصله‌های مشخص، در حیاط مدرسه ایستاده‌اند؛

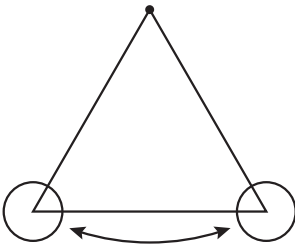
الف) اندازه زاویه x را به دست آورید.

ب) اگر این سه نفر روی محیط یک دایره در وسط حیاط قرار گرفته باشند. شعاع دایره را به دست آورید.

۲ با استفاده از ماشین حساب اندازه اضلاع مثلث زیر را به دست آورید.



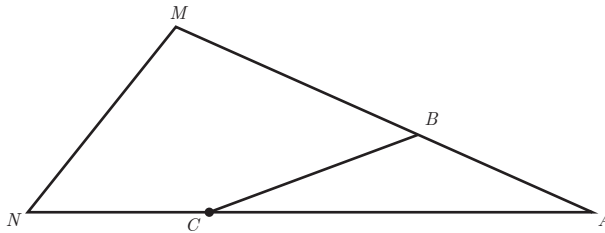
۳ مهندسی می‌خواهد دو سیم را مانند شکل رویه‌رو به نوک میله عمود بر زمین وصل کند. اگر فاصله بین دو سیم روی زمین 1° متر باشد، چند متر سیم نیاز است؟
راهنمایی: ابتدا زاویه‌های مثلثی که دارای زاویه منفرجه است را پیدا کنید و سپس با استفاده از قضیه سینوس‌ها طول اضلاع مثلث را به دست آورید.



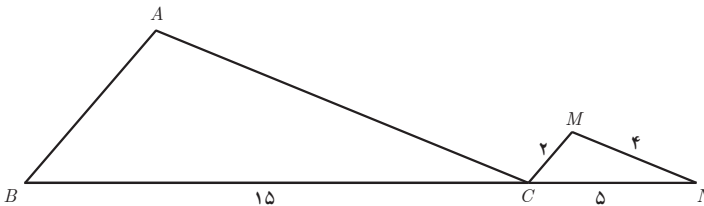
۴ پاندول ساعتی به طول 4 cm با زاویه 3° جابه‌جا می‌شود. اندازه مسیری که به صورت مستقیم در یک بار حرکت طی شده را به دست آورید.
راهنمایی: مثلث را در نظر گرفته و از رابطه کسینوس‌ها استفاده کنید.

۵ در شکل زیر $\frac{AB}{AM} = \frac{CN}{AN} = \frac{1}{3}$ است. مساحت مثلث AMN چند برابر مساحت مثلث ABC است؟

راهنمایی: از $\frac{CN}{AN} = \frac{1}{3}$ نتیجه می‌شود که $\frac{AC}{AN} = \frac{2}{3}$

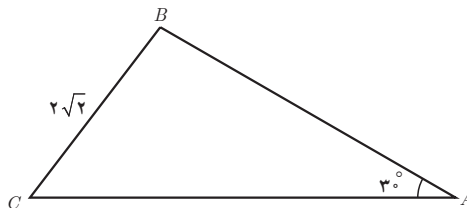


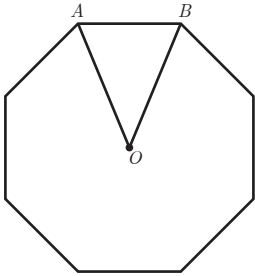
۶ دو مثلث \hat{ABC} و \hat{MNC} متشابه‌اند. اگر نیمساز زاویه C در مثلث ABC ضلع AB را در نقطه P قطع کند، طول AP و CP را به دست آورید.



۷ در مثلث \hat{ABC} نیمساز زاویه B ضلع AC را در D قطع می‌کند. اگر $\hat{B} = 60^\circ$ و $\frac{AD}{AC} = \frac{1}{4}$ و $AB = 8 \text{ cm}$ باشد، ضلع‌های مثلث را به دست آورید.

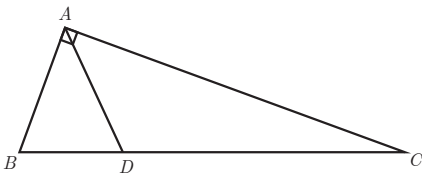
۸ شعاع دایره‌ای که از رأس‌های مثلث زیر می‌گذرد را به دست آورید.





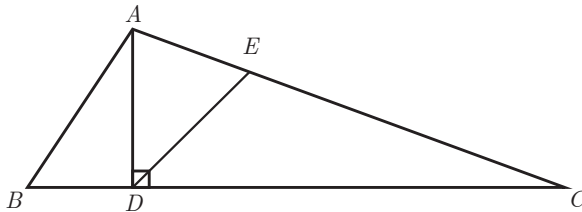
۹ در مثلثی به اضلاع ۳ و ۵ و ۷ زاویه مقابل بزرگ‌ترین ضلع را حساب کنید.

۱۰ در هشت ضلعی منتظم روبه‌رو $OA=OB=6$ است. مساحت هشت ضلعی را محاسبه کنید. راهنمایی: زاویه O را در مثلث OAB حساب کنید سپس مساحت مثلث را بیابید.



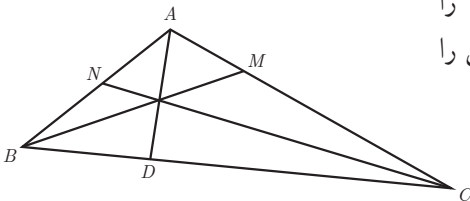
۱۱ مثلث روبه‌رو در رأس A قائمه است. اگر طول اضلاع قائمه ۳ و ۴ سانتی‌متر باشد، طول نیمساز AD را حساب کنید.

۱۲ در شکل زیر AD نیمساز زاویه A است و $DE \parallel AB$ است. اگر $AB=8$ و $AC=12$ باشد، اندازه AE را حساب کنید. راهنمایی: از قضیه نیمساز و نسبت تالس هم‌زمان استفاده کنید.



۱۳ محیط مثلثی 30° سانتی‌متر است. نیمساز یکی از زاویه‌های این مثلث را رسم می‌کنیم. این نیمساز، ضلع مقابل زاویه را به پاره خط‌هایی به اندازه $7/8$ و $6/2$ تقسیم می‌کند. اندازه کوچک‌ترین ضلع مثلث را حساب کنید. اگر AD و BM و CN نیمسازهای زاویه‌های مثلث باشند، حاصل عبارت زیر را به دست آورید.

$$\frac{AM}{CM} \times \frac{CD}{BD} \times \frac{BN}{AN}$$

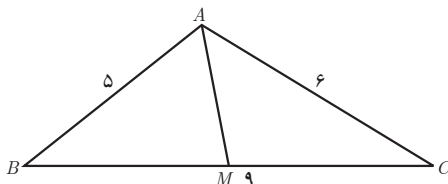


راهنمایی: برای سه نیمساز، قضیه نیمسازها را بنویسید و با جایگذاری در صورت سؤال، حاصل را حساب کنید.

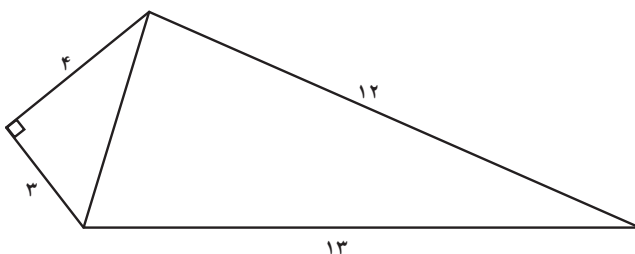
۱۵ در مثلث زیر طول میانه AM را حساب کنید.

راهنمایی: از روابط میانه‌ها استفاده کنید.

$$AB^2 + AC^2 = 2AM^2 + \frac{BC^2}{2}$$

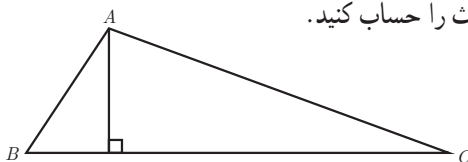


۱۶ مساحت شکل زیر را به دست آورید.

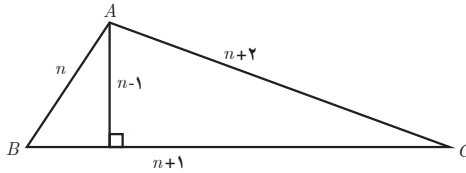


۱۷ در یک مثلث، طول‌های سه ضلع و ارتفاع وارد بر ضلع متوسط، چهار عدد طبیعی متوالی است

طول‌های ضلع‌های مثلث را حساب کنید.



راه حل: اگر n طول یک ضلع مثلث باشد و اندازه ضلع‌های دیگر $n+1$ و $n+2$ باشد، اندازه ارتفاع وارد بر ضلع متوسط $n-1$ خواهد شد زیرا باید از n کوچک‌تر باشد.



$$S = \sqrt{P(P-a)(P-b)(P-c)} \quad \begin{aligned} 2P &= n + (n+1)(n+2) = 3n+3 \\ P &= \frac{3n+3}{2} \end{aligned}$$

$$S = \sqrt{\frac{3n+3}{2} \left(\frac{3n+3}{2} - n \right) \left(\frac{3n+3}{2} - (n+1) \right) \left(\frac{3n+3}{2} - (n+2) \right)}$$

$$S = \frac{\sqrt{3}}{4} \sqrt{(n+1)(n+3)(n+1)(n-1)} = \frac{\sqrt{3}(n+1)}{4} \sqrt{(n+3)(n-1)} \quad (1)$$

$$S = \frac{\text{قاعده} \times \text{ارتفاع}}{2} = \frac{(n+1)(n-1)}{2} \quad (2) \quad \text{از طرفی}$$

$$(1) = (2) \Rightarrow \frac{\sqrt{3}}{4} (n+1) \sqrt{(n+3)(n-1)} = \frac{(n+1)(n-1)}{2} \quad \left(\begin{array}{l} n \text{ عدد طبیعی است} \\ n+1 \neq 0 \end{array} \right)$$

$$\frac{\sqrt{3}}{4} \sqrt{n^2 + 2n - 3} = n-1$$

$$\sqrt{3n^2 + 6n - 9} = 2n - 2$$

$$3n^2 + 6n - 9 = 4n^2 + 4 - 8n$$

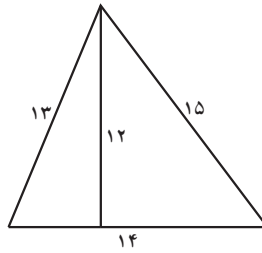
$$n^2 - 14n + 13 = 0$$

$$n = 13$$

$$n-1 = 1-1 = 0 \quad \text{قابل قبول نیست (غ ق ق)}$$

$$(n-13)(n-1) = 0$$

$$n = 1$$



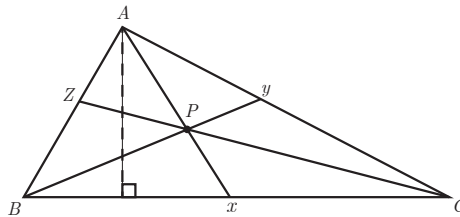
دانستنی‌هایی برای معلمان

در این بخش، ابتدا «قضیه ژان سوا» را بیان می‌کنیم و سپس، برای آشنایی بیشتر با دستاوردهای هرون اسکندرانی، یادداشتی تاریخی درباره او می‌آوریم.

قضیه ژان سوا

اگر در مثلث ABC سه خط سوایی Ax و By و Cz در نقطه P متقارب (همرس) باشند، رابطه زیر برقرار است:

$$\frac{Bx}{xc} \times \frac{Cy}{yA} \times \frac{Az}{zB} = 1$$



حل: می‌دانیم اگر دو مثلث دارای ارتفاع‌های برابر باشند، نسبت مساحت‌های آنها برابر نسبت قاعده‌هاست.

$$\frac{Bx}{xc} = \frac{S_{ABx}}{S_{Axc}} = \frac{S_{BPx}}{S_{Pxc}} = \frac{S_{ABx} - S_{BPx}}{S_{Axc} - S_{Pxc}} = \frac{S_{ABP}}{S_{APC}}$$

همچنین می‌توان نوشت:

$$\frac{Cy}{yA} = \frac{S_{BPC}}{S_{ABP}}, \quad \frac{Az}{zA} = \frac{S_{APC}}{S_{BPC}}$$

$$\frac{Bx}{xc} \times \frac{Cy}{yA} \times \frac{Az}{zB} = \frac{S_{ABP}}{S_{APC}} \times \frac{S_{BPC}}{S_{ABP}} \times \frac{S_{APC}}{S_{BPC}} = 1$$

حال اگر این سه خط سواپی، نیمساز، ارتفاع یا میانه باشند، طبق قضیه صفحه قبل تساوی برقرار است.

هرون اسکندرانی

یکی از ریاضی دانانی که دستاوردهای علمی اش در ریاضیات کاربردی چشمگیر داشت، هرون اسکندرانی است. در مورد دوره زندگی این دانشمند اختلاف زیاد است.

او در نیمه دوم قرن اول بعد از میلاد می زیسته و حدود ۱۴ مقاله در ریاضیات کاربردی نوشته است. آثار هرون را به دو دسته تقسیم می کنند: مباحث هندسی و مباحث مکانیکی.

مهم ترین اثر هرون، «متریکا» است که در سه مقاله نوشته شده است. موضوع این اثر، اندازه گیری مساحت مربع ها، مستطیل ها، مثلث ها، دوزنقه ها، چهارضلعی های خاص دیگر، دایره و قطعه های آن و ... است. فرمول بسیار استادانه این دانشمند در مورد محاسبه مساحت مثلث به وسیله اضلاع آن، در همین اثر آمده است.

آثار این دانشمند عبارت اند از:

۱ پنوماتیکا: هرون در این اثر از ۱۰۰ ماشین زمان خود یاد کرده و در مورد آنها مطالبی را نوشته است.

۲ دیوپترا: این کتاب، توصیف مهندسی یک زاویه یاب مساحی است.

۳ کانوپتیکا: در این کتاب درباره خواص مقدماتی آینه ها، ساختن انواع آنها و استفاده از ریاضی

بحث شده است.

بدفهمی ها

بدفهمی ها یا همان برداشت های ناقص یا نادرست دانش آموزان از یک مفهوم، باعث سردرگمی و موفق نشدن دانش آموزان در حل مسائل ریاضی می شود. گاهی نیز، به دلیل ماهیت به هم پیوسته مفاهیم ریاضی، بدفهمی ها باعث ایجاد مشکل در یادگیری های بعدی دانش آموزان می شود.

آگاهی درست دانش آموزان از اشتباهات و بدفهمی هایی که در یادگیری و حل مسئله های ریاضی دارند، عامل تعیین کننده برای رشد عملکرد و پیشرفت ریاضی آنان است. وقتی دانش آموز به درستی دریابد که دلایل و ریشه های بدفهمی و راه حل غلط او در کجا است و خود با راهنمایی های معلم درصدد تصحیح آنها برآید، بدون شک تجربه مهمی را در یادگیری ریاضی کسب کرده است که در موقعیت های دیگر یادگیری و حل مسائل ریاضی به او کمک خواهد کرد.

در ادامه، سؤالاتی که معمولاً دانش آموزان، به دلیل بدفهمی، در پاسخ به آنها در این فصل دچار مشکل اند، بیان می شود. ایجاد فرصت آشنایی با بدفهمی ها و مثال هایی از این گونه، به دانش آموزان کمک می کند تا درک بهتری از مفهوم به دست آورند و بدفهمی خود را اصلاح کنند و دانش خود درباره فرایندها را افزایش دهند.

۱ ضلع مثلثی برابر با $2\sqrt{3}$ سانتی‌متر و زاویه مقابل آن 3° است. اگر ضلع دیگر مثلث برابر با ۶ سانتی‌متر باشد، زاویه مقابل آن را به دست آورید.

$$\frac{a}{\sin A} = \frac{b}{\sin B}$$

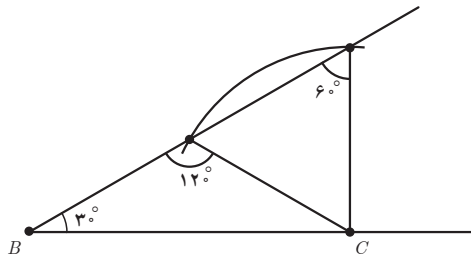
$$\frac{6}{\sin A} = \frac{2\sqrt{3}}{\sin 3^\circ} \Rightarrow \frac{6}{\sin A} = \frac{2\sqrt{3}}{\frac{1}{2}} \Rightarrow \sin A = \frac{6}{4\sqrt{3}} = \frac{3}{2\sqrt{3}} = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

زاویه مورد نظر چند درجه است؟

دانش‌آموزان اغلب پاسخ می‌دهند که زاویه 6° درجه است. اما دو زاویه (بین $^\circ$ و 18°) وجود دارد که

سینوس آن $\frac{\sqrt{3}}{2}$ است؛ بنابراین، این زاویه می‌تواند 6° و یا 12° درجه باشد.

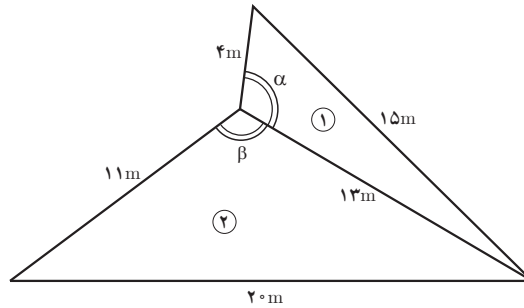
در رسم زیر وجود این دو زاویه را نشان می‌دهیم. ابتدا یک زاویه 3° رسم می‌کنیم و یک ضلع آن را ۶ سانتی‌متر جدا می‌کنیم. از نقطه C به شعاع $2\sqrt{3}$ کمانی می‌زنیم. این کمان در دو نقطه ضلع دیگر زاویه را قطع می‌کند.



۲ دو زمین کوچکی به شکل مثلث، با یک دیوار به طول ۱۳ متر، مطابق شکل، از هم جدا شده است. ابعاد زمین‌ها در شکل مشخص شده است. اگر با برداشتن دیوار، دو زمین به یک زمین تبدیل شود، مساحت آن چقدر است؟

نشان دهید دیوار مشترک، با لبه‌های ۴ متری و ۱۱ متری، زاویه‌های برابر می‌سازد. ($\alpha = \beta$) (تمرین ۲ درس چهارم)

حل : حل زیر توسط دانش آموز انجام شده است :



$$P_1 = \frac{11+13+20}{3} = 22$$

$$S_1 = \sqrt{12 \times 11 \times 9 \times 2} = 66$$

$$P_2 = \frac{4+15+13}{2} = 16$$

$$S_2 = \sqrt{16 \times 12 \times 1 \times 3} = 24$$

$$S = S_1 + S_2 = 66 + 24 = 90$$

$$S_1 = \frac{1}{2} \times 13 \times 11 \times \sin \beta \Rightarrow \begin{cases} 66 = \frac{1}{2} \times 13 \times 11 \times \sin \beta \\ 24 = \frac{1}{2} \times 13 \times 4 \times \sin \alpha \end{cases} \Rightarrow \frac{66}{24} = \frac{11 \sin \beta}{4 \sin \alpha}$$

$$\Rightarrow \frac{\sin \beta}{\sin \alpha} = \frac{66 \times 4}{24 \times 11} = 1$$

پس از اینکه دانش آموز در حل مسئله به نتیجه فوق رسید، به اشتباه از تساوی سینوس‌های دو زاویه،

تساوی زاویه‌ها را نتیجه می‌گیرد :

$$\sin \beta = \sin \alpha \Rightarrow \alpha = \beta$$

در اینجا لازم است معلم به این مهم اشاره کند که در این دو مثلث اگر $\sin \alpha = \sin \beta$ آنگاه نمی‌توان نتیجه

گرفت که $\alpha = \beta$ زیرا امکان دارد زاویه‌های α و β مکمل یکدیگر باشند.

- ۱ کتاب هندسه، مویزودانز، ترجمه محمود دیانی، انتشارات فاطمی، چاپ چهارم، ۱۳۸۲.
 - ۲ دایرةالمعارف هندسه، رستمی، محمدهاشم، انتشارات مدرسه، جلد هشتم، ۱۳۷۲.
 - ۳ هندسه متوسطه، مبانی و مفهوماها، نصیری، محمود، انتشارات مبتکران، ۱۳۹۴.
 - ۴ تبدیل‌های هندسی، ریاضیات پیش‌دانشگاهی – ۸ – ای.م. یاگلم، ترجمه اسدالله کارشناس و عمیدرسولیان، مرکز نشر دانشگاهی، ۳ جلد.
 - ۵ رستمی، محمدهاشم، دایرةالمعارف هندسه، انتشارات مدرسه وابسته به سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی وزارت آموزش و پرورش، جلد پنجم.
 - ۶ قراگزلو، جلیل‌ا...، مثلثات پایه، انتشارات فاطمی.
-
- ۷ Byer, O., Lazebnik, F., & Smeltzer, D. L. (2010). *Methods for Euclidean geometry*. MAA.
 - ۸ Dodge, C. W. (2012). *Euclidean geometry and transformational*. Courier Corporation.
 - ۹ Hvidsten. M. (2005). *Geometry with geometry explorer™*. McGraw-Hill.
 - ۱۰ Kinsey, L. C., Moore. T. E., & Prassidis. S. (2011). *Geometry & symmetry*. John Wiley & Sons.
 - ۱۱ Libeskind, S. (2008). *Euclidean and transformational geometry: A deductive inquiry*. Jones & Bartlett Publishers.
 - ۱۲ Martin, G. E. (2012). *The foundations of geometry and the non-Euclidean plane*. Springer Science & Business Media.

- ۱۳ O'Leary, M.L. (2010). *Revolutions of Geometry* (Vol. 87). John Wiley & Sons.
- ۱۴ Posamentier, A. S. (1984). *Excursions in advanced Euclidean geometry* Addison - Wesley.
- ۱۵ Tapp, K. (2011). *Symmetry: a mathematical exploration*. Springer Science & Business Media.
- ۱۶ Umble, R. N., & Han, Z. (2014). *Transformational Plane Geometry*. CRC Press.

