

## ترازهای کرجی؛ نمونه‌های کاربردی برای استفاده در کلاسهای درس و

### رشته مهندسی نقشه‌برداری

غلامحسین رحیمی<sup>۱</sup>

**چکیده:** در مقاله حاضر یکی از مهم‌ترین کتابهای مربوط به مهندسی تمدن اسلامی، که ریاضیدان و مهندس برجسته ایرانی به نام کرجی آن را در قرن پنجم هـ/ یازده م. نوشته است، معرفی شده است. هدف اصلی در این مقاله نشان دادن این واقعیت است که چگونه با گذشت حدود هزار سال از تألیف کتاب، بخشهایی از آن را به‌عنوان سابقه تاریخی و بخشهایی را به‌عنوان مقدمه ورود به بحث علمی و نیز مستقیم یا غیر مستقیم در کلاسهای درس نقشه‌برداری می‌توان استفاده کرد. بدین ترتیب، با استفاده از نمونه‌ها و مثالهای مندرج در این کتاب مباحث جدید علمی را برای دانشجویان مهندسی عمران و نقشه‌برداری می‌توان تشریح و تفهیم کرد. در این مقاله با توجه به کتاب "استخراج آبهای پنهانی" تألیف کرجی، ابزارهای نقشه‌برداری تشریح شده در کتاب به‌عنوان نمونه انتخاب و به دو نوآوری مهم در طراحی، ساخت و استفاده از ابزارهای نقشه‌برداری اشاره و در نهایت، مباحث مورد استفاده در کلاسهای درس، پیشنهاد شده است.

واژه‌های کلیدی: ابزارهای نقشه‌برداری، قنات، روش حفر قنات، تراز، مهندسی نقشه‌برداری، استخراج آبهای پنهانی، کرجی.

۱. استاد دانشکده مهندسی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. rahimi\_gh@modares.ac.ir

(دریافت مقاله: ۱۳۹۰/۴/۲۹)

(پذیرش مقاله: ۱۳۹۱/۳/۳)

## ۱. مقدمه

حدود دو دهه تدریس به دانشجویان مهندسی و همین حدود مطالعات اندک، اما پیوسته در حوزه تاریخ علم و فناوری در تمدن اسلام و ایران، زمینه‌ای را فراهم آورد تا نگارنده این سطور با پیوند دادن برخی از مباحث علمی قرون میانه با موضوعات متناظر دانش جدید، آنها را قابل استفاده در کلاسهای درس فعلی بداند. در همین خصوص، برخی از کتب علمی تمدن اسلامی با زبانی بازنویسی شد که برای معلمان، دانشجویان و استادان قابل استفاده باشد. می‌توان ادعا کرد که چنانچه در هر کدام از شاخه‌های علمی، از جمله مهندسی، برنامه‌ای بدون پرداختن به سابقه علمی آن ارائه شود، دوره‌ای ناقص خواهد بود. در هر حال، یکی از پیش‌نیازهای اساسی تحقق این امر وجود داشتن منابع مناسب و با محتوا و ادبیاتی مانوس و سازگار با متون علمی جدید است. یکی از اهداف این مقاله علاوه بر آشنا ساختن تاریخی با یکی از آثار مهندسی تمدن اسلامی، تشریح چگونگی استفاده از آن در حوزه مهندسی عمران و نقشه برداری، با ادبیات جدید علمی، است. با این رویکرد به آثار علمی تمدن ایران و اسلام کمتر پرداخته شده است.

در ادامه برخی از کتب و مقالات محدودی که با رویکرد یادشده نوشته شده‌اند، به اختصار معرفی می‌شود.

توجه به مقدمه کتاب نسبتاً قدیمی، اما کماکان قابل استفاده، کیلی<sup>۱</sup> با عنوان *ابزارهای نقشه برداری، تاریخچه و استفاده در کلاسهای درس* که با همین هدف نوشته شده است، آموزنده است.<sup>۲</sup>

کیلی در ابتدای مقدمه کتاب خود می‌نویسد: "دوازده سال تجربه تدریس در ریاضیات دوره دبیرستان و همین اندازه تجربه در مقدمات آموزش مهندسان زمینه و سابقه‌ای را پدید آورد که مبتنی بر آن، این کتاب را به علاقه‌مندان عرضه می‌دارد. امید می‌رود که کتاب برای افرادی که در این زمینه‌ها به انجام دادن وظایف و فعالیتهای مشابه مبادرت می‌کنند، مفید باشد. برای سالهای متمادی افرادی که مسئول برنامه‌ریزی سیاستهای آموزشی کالجهای مهندسی بودند، نیاز به افزایش محتوای فرهنگی برنامه‌های درسی مهندسی را دریافته بودند. اکنون این موضوع که اگر یک برنامه آموزش مهندسی مشتمل بر سابقه و تاریخچه شاخه معین مهندسی مورد نظر نباشد، ناقص است،

---

### 1. Kiely

۲. کتاب کیلی هم برای آشنایی با سابقه ابزارها و دوربینهای نقشه برداری در عهد باستان و قرون میانه مناسب است و هم کتابی است که برای بهره‌برداری در کلاسهای مهندسی عمران و ریاضیات کاربردی مرتبط است، البته، در سطح مقدماتی، نوشته شده است. علاوه بر این، کتاب ارزشمند لوئیس Lewis با عنوان "ابزارهای نقشه برداری یونان و رم" [۲] و نیز «تاریخ اندازه‌گیری زاویه» از والیس Wallis [۳] برای علاقه‌مندان به این سابقه مفید است.

به ندرت مورد مناقشه و بحث قرار می‌گیرد. به همین دلیل، مواد چهار فصل اول کتاب باید برای معلمان مهندسان آینده عمران قابل استفاده باشد" [۱].

از کتب متأخر که مباحث علمی را با موضوعات تاریخی مربوط بهم آمیخته‌اند، از کتاب آندرسون<sup>۱</sup> با نام *جریان تراکم پذیر نوین: با چشم انداز تاریخی* می‌توان اسم برد [۴]. گری لاک<sup>۲</sup> در مقاله خود با عنوان *مکانیک سیالات با چشم انداز تاریخی* از تجربه‌های موفق و مؤثر خود در کلاسهای درس مکانیک سیالات در اثر آمیختن مباحث علمی با موضوعات تاریخی مربوط خبر می‌دهد [۵].

چند مقاله در دسترس است که در آنها با رویکرد یاد شده، منابع علمی دانشمندان تمدن اسلامی معرفی شده است. بهناز ساویزی در مقاله‌ای با عنوان "مسائل کاربست پذیر در تاریخ ریاضیات: مثالهای عملی برای کلاس درس"<sup>۳</sup>، روش ابوریحان بیرونی در اندازه‌گیری ارتفاع کوه و محیط کره زمین را به عنوان یک مثال مفید برای کلاس آموزش ریاضی از بیرونی نقل می‌کند [۶]. هر چند که وی منبع خود را مشخص نمی‌سازد<sup>۴</sup> و این نقصی بر مقاله است، اما در هر حال طرح چنین مسئله‌ای - با هدف کمک به آموزش و فهم ریاضی - بسیار ارزشمند است. مقاله اخیر اینجانب با عنوان "مثالهای کاربردی از کتاب *معیارالعقول برای استفاده در کلاسهای درس رشته مهندسی مکانیک*" با هدفی مشابه این مقاله تدوین شده است [۷].

علاوه بر این، مقالاتی که از آقای دکتر یوسف یاسی و همکاران در فصلنامه آموزش مهندسی چاپ و در آنها طراحی، ساخت و نحوه عملکرد برخی از ابزارهای ابداعی بنوموسی تشریح شده است<sup>۵</sup> و نیز مقالات آقای دکتر غلامحسین دانشی از دانشگاه صنعتی شریف که در همین فصلنامه درج شده است<sup>۶</sup> و نیز متن "*بین نامه ساختمانی حمورابی*" که در ابتدای شماره ۲۴ و مقاله "حمایت از منابع زیست محیطی در فرهنگ اسلامی" از دکتر محقق داماد که در شماره ۲۵ همین فصلنامه چاپ شده است، می‌تواند زمینه خوبی را برای ورود به آثار علمی دانشمندان ایرانی و مسلمان با رویکرد آموزشی فراهم

1. Anderson
2. Gary Lock
3. "Applicable Problems in the History of Mathematics: Practical Examples for the Classroom"

۴. این مثال با واسطه از کتاب *تحدیدالامکن بیرونی* اقتباس شده است.

۵. این مقالات در شماره های ۴۷ (سال ۱۳۸۹)، ۴۴ (سال ۱۳۸۸)، ۴۲ (سال ۱۳۸۸) و ۳۹ (سال ۱۳۸۷) فصلنامه آموزش مهندسی به چاپ رسیده است.

۶. این مقالات در شماره های ۳۵ (سال ۱۳۸۶)، ۳۳ (سال ۱۳۸۶)، ۲۹ (سال ۱۳۸۵) و ۲۵ (سال ۱۳۸۴) فصلنامه آموزش مهندسی به چاپ رسیده است.

سازد. در هر صورت، چون مقالات مذکور با هدفی که در مقاله حاضر مد نظر است تدوین نشده‌اند، لذا، متعرض محتوای آنها نمی‌شویم.

نمونه‌ای که برای این مقاله انتخاب شده، کتاب *استخراج آبهای پنهانی کرجی* است که امید است در شرایط جدید علمی مفید و مؤثر باشد. رویکرد مقاله مبتنی بر انتقال مفاهیم علمی قدیم به جدید یا استفاده از نمونه‌های قدیم برای تحلیل علمی جدید یا انتقال مفاهیم جدید به مدد نمونه‌های قدیم است. اگر این رویکرد موفق باشد، به تدریج تعدادی از مهم‌ترین آثار علمی تمدن ایران و اسلام می‌تواند به مثابه بخشی از منابع آموزشی و علمی جدید تلقی و استفاده شود.

## ۲. کرجی و کتاب استخراج آبهای پنهانی

۱. ۲. اشاره: ایرانیان از دیرباز به اهمیت استخراج آبهای زیرزمینی در زندگی مدنی انسان واقف بودند و روشهای استخراج آنها را با فناوری، که خود پدید آورده بودند، به نام **فناوری حفر قنات** نیک می‌دانستند و بدین ترتیب، به مدد روشها و فنون بدیع مهندسی زندگی خود را با شرایط خشک و نیمه خشک جغرافیایی تطبیق داده بودند. کتاب کرجی سندی علمی برای اثبات مدعای تسلط ایرانیان بر فناوری طراحی، حفر و بهره‌برداری از قناتهاست. کرجی برای استخراج آبهای زیرسطحی ابزارها و روشهایی را معرفی می‌کند که در مقاله حاضر در باره آنها توضیح داده شده است.

هر چند که تراز کردن با استفاده از وسایل ابتدایی، به ویژه ترازهای آبی، ریشه در تمدنهای بابلی، مصری، یونانی و نیز در دوران امپراطوری روم دارد، اما بسیاری از فنون و ابزارهای نقشه برداری ریشه در تمدن اسلامی دارد که عمده ابزارها و روشهای مهندسی با نام کرجی و بیشتر روشهای ریاضی در این حوزه با نام کرجی و بیرونی پیوند خورده است. هیل می نویسد: "در سال ۱۰۱۹ م. مهندسی به نام کرجی از شهر ایرانی کرج رساله‌ای را کامل کرد که مشتمل بر تعدادی ابزارهای نقشه‌برداری جدید بود. هدف اصلی استفاده از این وسایل در کارهای آبی بود، اما آنها را در کارگاههای ساختمانی بزرگ نیز می‌توان به کار برد" [۹]. شایان ذکر است که هیل خلاصه‌ای از بخش نقشه برداری کتاب کرجی را در آخرین کتاب خود با عنوان "علم و مهندسی اسلامی" آورده است [۹].

۲. ۲. کرجی: ابوبکر محمد بن حسن حاسب کرجی (؟ - حدود ۴۲۰ هـ. / ۱۰۲۹ م.) ریاضیدان بزرگ و مهندس برجسته و کمابیش گمنام ایرانی معاصر "ابوریحان بیرونی"، "زکریای رازی" و "ابن سینا" بوده است. از زندگی وی اطلاعات چندانی در دسترس نیست. کرجی در قرن چهارم و اوایل قرن پنجم هجری می‌زیست. وی اهل کرج در حوالی ساوه کنونی بوده است. کرجی در شهر ری که شهری آباد و مرکز علما و دانشمندان بوده است به تحصیل ریاضی پرداخت و سپس، در اوایل قرن پنجم به بغداد، پایتخت حکومت اسلامی، کوچ کرد. کرجی عمده عمر خود را در بغداد به‌عنوان یک ریاضیدان سپری

کرد. کرجی کتاب معروف خود را به نام *الفخری فی الجبر و المقابله* به نام فخرالملک محمد بن علی بن خلف (درگذشته ۴۰۵ هـ.ق.)، وزیر بهاء الدوله دیلمی، که از سال ۴۰۱ تا ۴۰۷ هجری بر عراق حکومت داشت، تألیف کرده است. گویا بعد از مرگ فخرالملک کرجی بغداد را ترک کرده و به زادگاه خود بازگشته است. ابوغانم معروف بن محمد از وی در باره آبهای زیرزمینی و طرز استخراج آنها کتابی می‌خواهد و وی کتاب مورد بحث این مقاله؛ یعنی *أنباط المیاء الخفیه* را پس از بازگشت از بغداد به زادگاه خویش تألیف می‌کند<sup>۱</sup> [۱۰].

۲. کتاب استخراج آبهای پنهانی: کتاب *استخراج آبهای پنهانی* کرجی مهم‌ترین کتاب در تاریخ تمدن اسلامی در خصوص معرفی و بهره‌برداری از آبهای زیرزمینی است. کتاب شامل ۲۰ عنوان است که آنها را می‌توان به سه بخش اصلی تقسیم کرد:

الف. آب در طبیعت که مشتمل بر سیزده فصل کوتاه است، شامل مباحثی مانند نحوه فراهم آمدن آبهای زیر زمینی، روش شناخت زمینها و گیاهانی که نشان دهنده وجود داشتن آب هستند، شناخت انواع آبهای سنگین، سبک، رقیق، غلیظ، شیرین و ناگوار، شیوه اصلاح آبهای فاسد و در نهایت، نکات مهمی در باره خاکهای زمین است<sup>۲</sup>.

ب. حفر قنات و حریم فنی و احکام شرعی مترتب بر آن، روشهای نگهداری قناتها و فنون تعمیر و بازسازی آنها.

پ. ابزار و فنون نقشه برداری زمینها و تعیین ارتفاع و فواصل کوهها

---

۱. سه کتاب دیگر کرجی که به زبانهای اروپایی ترجمه شده است، عبارت‌اند از: *الکافی فی الحساب*، *البدیع فی الحساب* و *علل حساب الجبر و المقابله*. از کتاب نفیس "البدیع" فقط یک نسخه خطی در کتابخانه واتیکان موجود است. کتاب "علل الحساب الجبر و المقابله" رساله‌ی کوچکی است که نسخه منحصربه‌فرد آن در آکسفورد وجود دارد. نسخه‌ای از کتاب "مختصر فی الحساب و المساحه" از کرجی در کتابخانه شهرداری اسکندریه در مصر وجود دارد.

از مصادر چنین استنباط می‌شود که کرجی چند کتاب دیگر نیز داشته است، به نامهای "کتاب العقود و الانبیه" که مشتمل بر مباحثی در خانه‌سازی، پل‌سازی، قلعه‌سازی و کندن کاریز و مانند اینها بوده است، کرجی هم ریاضیدانی توانا و هم مهندسی برجسته بوده که خود مستقیماً دست به عمل داشته است. از این نظر او را می‌توان با "ابن هیثم" یا "خازنی" مقایسه کرد.

۲. کتاب استخراج آبهای پنهانی حکایت از فهم علمی و فنی نویسنده از نظریه آبهای زیر سطحی می‌کند و قدیمی‌ترین کتاب شناخته شده در خصوص این موضوع است. دانش کرجی در خصوص آبهای زیر سطحی در حدی بود که حداقل ۷ قرن بعد غربیان بدان دست یافتند و به سطح دانش کرجی رسیدند. محتوای کتاب کرجی کاملاً با دانش امروزی موضوع هماهنگ است. برای مثال، کرجی با مفاهیم عمومی چرخه آبی (سیکل هیدرولوژی) آشنا بوده است. هر چند که وی تمام چرخه را با ادبیاتی که ما اینک می‌شناسیم و می‌خوانیم، توصیف نکرد، اما در بخشهای مختلف کمابیش تمام مراحل را توضیح می‌دهد.

در این مقاله فقط ابزار و فنون نقشه برداری زمینها بررسی شده است. کتاب کرجی حاوی معرفی دو نوع تراز ابداعی وی است که برای اولین بار در تاریخ ابزارهای نقشه برداری به منصف ظهور رسیده اند. به ویژه شیوه های پیشنهادی وی در مدرج سازی<sup>۱</sup> ترازهای موجود یا تراز اختراعی وی، پیشتازی او را در این زمینه نشان می دهد. وی از لوله دوربین در صفحه تراز برای اولین بار در تاریخ ابزارهای نقشه برداری استفاده کرده است.

متن اصلی کتاب کرجی به زبان عربی است. این کتاب با تصحیحاتی در حیدرآباد دکن در سال ۱۳۵۹ هـ. ق. به چاپ رسیده است [۱۰]. مرحوم حسین خدیو جم آن را از عربی به فارسی ترجمه کرده است [۱۱]. نور زاقی<sup>۲</sup> متن فارسی کتاب را به انگلیسی ترجمه کرده است [۱۲]. خوشبختانه، متن کامل کتاب حداقل به سه زبان عربی، فارسی و انگلیسی در دسترس علاقه مندان است. علاوه بر این، ابزارهای معرفی شده در کتاب *استخراج آبهای پنهانی* را رحیمی با ادبیات جدید مهندسی در کتابی با عنوان *ترازهای کرجی* توصیف و تحلیل کرده است [۱۳].

تأکید می شود که در این مقاله فقط موضوع ترازهای نقشه برداری موصوف در کتاب *استخراج آبهای پنهانی* بررسی شده است و متعرض موضوعات دیگر کتاب نمی شود. برای تفصیل مطلب و آشنایی با مباحث دیگر به کتاب *ترازهای کرجی* از رحیمی مراجعه شود.

### ۳. ترازهای اختراعی کرجی

نقشه برداری شاخه ای از دانش مهندسی است که ریاضیات کاربردی (دانش) را با فنون اندازه گیری (مهارت فنی) ترسیمات فنی (هنر) در هم می آمیزد تا عوارض قطعه ای از زمین را روی صفحه افقی (دو بعدی) یا به صورت سه بعدی نشان دهد. در نقشه برداری از ابزارهای ساده و دستگاههای پیچیده متعدد بهره گرفته می شود تا اهداف مد نظر محقق یابد. کرجی در کتاب *استخراج آبهای پنهانی* تعدادی از این ابزارها را معرفی و نوآوریهای خود را در این زمینه تشریح می کند.

کرجی در کتاب *استخراج آبهای پنهانی* ابتدا چهار نوع از ترازهای مورد استفاده در آن زمان را معرفی می کند، مانند: **تراز آبی لوله ای دو سر باز**، **تراز آبی لوله ای دو سر بسته**، **تراز شاهینی**، و **تراز شاقولی**. سپس، در باره دو تراز اصلی که خود آنها را طراحی و اختراع کرده و ساخته است، توضیح می دهد [۱۱ و ۱۳]. با توجه به هدف مقاله، بحث را در باره ترازهای کرجی متمرکز می سازیم.

---

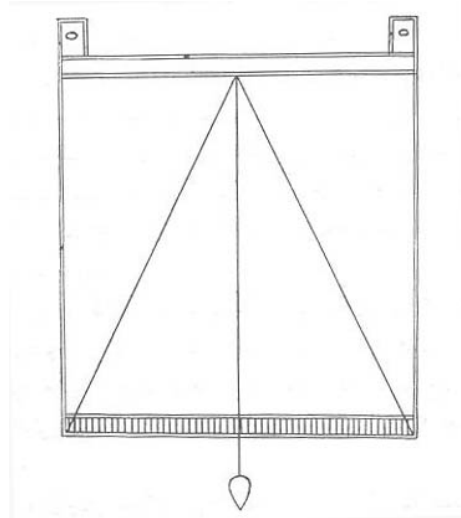
1. Calibration

2. Nour Zaghi

### ۱.۳. تراز شاقولی مدرج

اولین تراز عملاً نوع تکامل یافته تراز شاقولی موصوف در کتاب است [۱۲]. تراز متشکل از یک صفحه سبک و چهار ضلعی (مربع) از جنس چوب یا برنج است که به دو انتهای یک ضلع آن دو حلقه (رزه) متصل است. به موازات ضلعی که حلقه‌ها بدان متصل‌اند، به فاصله کمی از لبه خط مستقیمی رسم می‌شود. در وسط این خط سوراخ ریزی تعبیه و از مرکز این سوراخ خطی عمودی تا ضلع مقابل رسم می‌شود.

در طرف دیگر صفحه خطی مستقیم چنان رسم می‌شود که با خط عمود مذکور زاویه قائمه بسازد. این خط موازی خطی است که در مجاورت حلقه‌ها (رزه‌ها) رسم شده است. از سوراخ ایجاد شده شاقولی با نخ نازک آویخته می‌شود. در نمودار ۱ شکل این تراز، که در کتاب کرجی آمده است، نشان داده شده است [۱۲].



شکل ۱: تراز شاقولی مدرج [۱۲]

ابتدا به پاره‌ای از خصوصیات تراز شاقولی مدرج کرجی اشاره می‌شود که آن را از سایر ترازهای آن زمان که توسط وی معرفی شده است، متمایز می‌کند.

- نخست به جای نخ از زنجیر برای آویختن تراز استفاده می شود تا هنگام اندازه گیری و کشیدن، طول آن تغییر نکند (افزایش نیابد). نکته جالب آنکه کرجی نحوه ساخت زنجیر مد نظرش را که از مس یا آهن است، به دقت شرح می دهد. طول زنجیر ۳۰ ذراع (حدود ۱۵ متر) است.
  - انتخاب دو شاخص (قائمه) که سطح آن به شصت قسمت مساوی تقسیم شده است (شمشۀ مدرج).
  - مهم ترین ویژگی این تراز مدرج سازی دقیق (کالیبره کردن یا درجه بندی معیار) آن است<sup>۱</sup> که در ادامه شرح داده می شود. شایان ذکر است که بر اساس اطلاعات و منابع در دسترس مؤلف این مقاله هیچ کدام از ترازهای معرفی شده یا مورد استفاده تا زمان کرجی مدرج نشده بودند.
- روش کرجی برای درجه بندی تراز:** صفحه تراز در وسط زنجیری که برای همین کار آماده شده است، قرار می گیرد. اکنون دو محل کاملاً همسطح و مقابل هم انتخاب می شود. فاصله این دو محل به اندازه طول زنجیر است. محل هر دو شاخص صاف و با وسعت کافی در نظر گرفته می شود، به گونه ای که در صورت جابه جایی شاخص، همسطحی با شاخص دیگر همواره حفظ می شود.
- ابتدا زنجیر در انتهای بالای دو شاخص قرار گرفته و کاملاً کشیده شده است، به گونه ای که نخ شاقول آویخته از صفحه بر خط قائم وسط صفحه منطبق می شود. اکنون زنجیر از نوک یکی از دو قائمه به اندازه یک جزء از اجزایی که روی شاخصها رسم شده است، پایین آورده می شود. در این حالت شاقول به یکی از دو جهت متمایل می شود. نقطه تلاقی نخ شاقول با خط پایین صفحه نشانه گذاری می شود. این عمل درجه به درجه انجام می شود تا نیمی از خط پایینی صفحه به اجزایی تقسیم و کاملاً علامتگذاری می شود.
- واضح است که هر چه اجزای شاخص کوچک تر باشد، عمل درجه بندی و اندازه گیری بعدی دقیق تر صورت می گیرد. پس از اتمام نشانه گذاری نیمی از خط، نیمه دیگر به همان شیوه، اما با حرکت زنجیر در روی شاخص در طرف دیگر صورت می گیرد. در نتیجه، نیمه پایینی صفحه تراز کاملاً مدرج شده است.
- نکته مهمی که کرجی به آن اشاره می کند، آن است که علی رغم اینکه قسمت های روی شاخص با یکدیگر برابرند، ولی اجزای نشانه گذاری شده روی صفحه تراز با یکدیگر مساوی نیستند. سپس، کرجی به تفصیل و به صورت هندسی این مطلب را اثبات می کند و علت اصلی آنست که چون نخ یا زنجیر از نوک شاخص تا انتهای پایینی آن حرکت کند، مسیر آن قوسی است و نه خط مستقیم. چرا

۱. کالیبراسیون calibration یا مدرج سازی gradation فرایند مقایسه بین دو اندازه گیری است که اولین اندازه گیری با مقدار معیار یا استاندارد است و مقدار دوم که تا حد امکان به شیوه اولی اما با دستگاه دیگر اندازه گیری می شود، کمیت مد نظر را به دست می دهد. در مدرج سازی عملاً کمیت مورد اندازه گیری به طور غیر مستقیم قرائت یا اندازه گیری می شود. در اندازه گیری غیر مستقیم همواره نوعی رابطه تبدیل وجود دارد.



که به محض پایین آوردن نخ به اندازه یک جزء (درجه)، شاخص را باید از محل خود جابه‌جا کرد و با توجه به سازکار عملاً به شاخص دیگر نزدیک کرد.

**نحوه برداشت زمین با تراز شاقولی مدرج:** برای این منظور، زنجیر که تراز در وسط آن قرار گرفته و دو سر آن به دو انتهای شاخص متصل است، کاملاً کشیده می‌شود و در نقاط اندازه‌گیری قرار می‌گیرد. تعداد اجزایی که شاقول از امتداد قائم منحرف شده است، یادداشت می‌شود. با مراجعه به جدول تهیه شده، این تعداد برابر با اجزای مشخص شده شاخص است. بدین ترتیب و به سادگی اختلاف ارتفاع دو نقطه به دست می‌آید. هر چه تعداد درجات شاخص (در واحد طول) بیشتر و دقت عمل نقشه بردار بالاتر باشد، کمیت حاصل دقیق‌تر خواهد بود.

در شکل ۲ تراز شاقولی مدرج در حال استفاده نشان داده شده است. توجه شود که در این حالت نیازی به مدرج کردن شاخصهای AB و CD نیست. چنانچه هر یک درجه روی شاخص معادل  $h_1$  ارتفاع باشد، n درجه برابر با  $nh_1$  خواهد بود:

$$nh_1 = h \quad \text{اختلاف ارتفاع دو نقطه A و C} \quad (1)$$

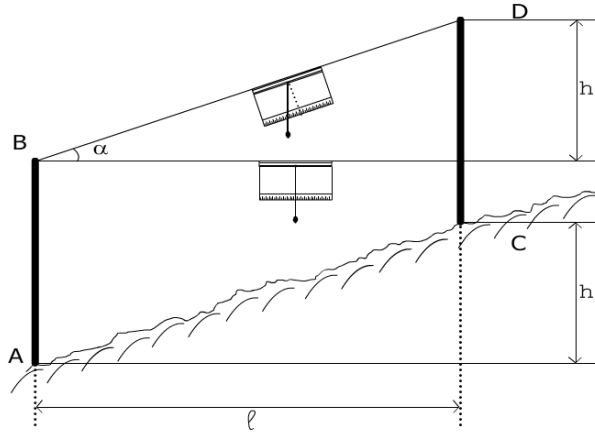
چنان که مشاهده می‌شود، تأکید کرجی مبنی بر اولاً دقت در مدرج سازی و ثانیاً افزایش هرچه بیشتر تعداد درجات برای حصول دقت بالا کاملاً صحیح است!

۱. توجه شود که درجه بندی صفحه تراز بر اساس طول معین زنجیر یا طناب متصل به تراز، مثلاً  $\ell$ ، انجام شده است. چنانچه بنا به ضرورت از طولهای کوتاه‌تر (یا بلندتر) زنجیر استفاده شود، از رابطه تشابه مثلثها می‌توان اختلاف ارتفاع دو نقطه با فاصله کمتر از طول زنجیر در زمان مدرج سازی، مثلاً  $\ell_1$ ، را محاسبه کرد:

$$(2) \quad \frac{\ell_1}{\ell} = \frac{h_1}{h} \Rightarrow h_1 = h \cdot \frac{\ell_1}{\ell}$$

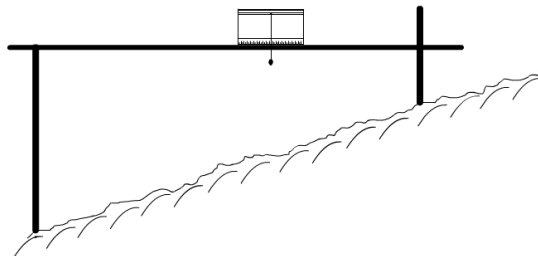
که  $h$  اختلاف ارتفاع بر اساس طول زنجیر در زمان مدرج سازی (یعنی  $\ell$ ) و  $h_1$  اختلاف ارتفاع در موقعیت طول کوتاه‌تر (یا بلندتر) یعنی  $\ell_1$  هستند.

۱۴۸ ترازهای کرجی؛ نمونه های کاربردی برای استفاده در کلاسهای درس و رشته مهندسی...



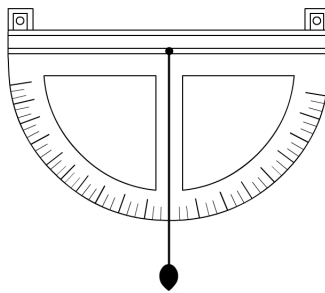
شکل ۲: تراز شاقولی مدرج در موقعیت استفاده [۱۴]

علاوه بر استفاده مذکور، این تراز را می توان برای تعیین سطح افقی شمشمه ها، سطوح موازی زمین یا تعیین سطوحی که باید زاویه مشخصی با افق بسازند، به کار برد. در شکل ۳ این تراز در موقعیت استفاده برای این منظور نشان داده شده است.



شکل ۳: تراز شاقولی برای تعیین سطح افقی [۱۴]

تراز شاقولی مدرج با صفحه نیم دایره: کرجی ذکر می‌کند که اگر صفحه تراز نیم دایره باشد، بهتر است. به خصوص اگر قسمت‌های میانی آن برداشته شود تا از آن نیم صفحه کمائی باقی بماند، می‌توان علایم و درجات را روی آن رسم کرد. البته، برای تعیین امتداد اولیه (قائم) شاقول وسط نیم دایره پر است تا خط عمود را بتوان رسم کرد. به دو انتهای قطر این نیم دایره مجدداً حلقه مذکور برای آویختن تراز از زنجیر یا نخ نصب می‌شود. با توجه به ظرافت دستگاه باید نخ و شاقول محکم و سبک باشند. واضح است که به شیوه قبل این تراز را می‌توان با استفاده از دو شاخص درجه‌بندی کرد. بر اساس توصیف کرجی، نمودار این شاقول کشیده شده و در شکل ۴ نشان داده شده است. این نکته عملاً چگونگی بهبود یک دستگاه موجود را تشریح می‌کند و آموزش می‌دهد.



شکل ۴: تراز شاقولی مدرج با صفحه نیم دایره [۱۴]

تراز شاقولی مدرج در شکل ۱۴ را می‌توان به‌عنوان وسیله‌ای برای بناسازی زوایا، عموماً روی شیب دره‌ها و کوهها (زمینهای شیب دار)، به‌کار برد. به‌چنین وسایلی شیب سنج یا کلاینومتر گفته می‌شود<sup>۱</sup>.

تراز شاقولی مدرج کرجی را باید گام مهمی در توسعه ترازهای سنتی به سمت ترازهای نوین دانست. همان‌گونه که اشاره شد، نوآوری کرجی در مدرج سازی ترازهای مورد استفاده در آن زمان نهفته است.

۱. کلاینومتر clinometer به‌عنوان inclinometer نیز شناخته می‌شود.

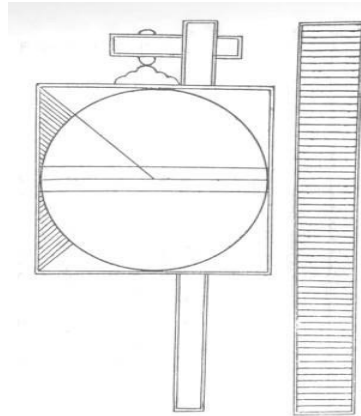
### ۲.۳. تراز دوربینی

تراز دوربینی کرجی را احتمالاً بتوان منشأ ترازهای جدید دانست. کرجی خود می گوید که " من ترازى بهتر از همه این ترازها اختراع کرده ام که برای اندازه گیری راحت تر و دقیق تر است، به شرط آنکه اندازه گیر آزموده و ورزیده باشد " [۱۲]. این تراز کرجی بسیار شبیه وسایل امروزی است، به استثنای اینکه بدون وسیله تلسکوپی یا الکترونیکی است [۸].

کرجی تراز دوربینی خود را در دو نوع معرفی می کند: تراز دوربینی ساده و تراز دوربینی مدرج. در اینجا در باره نوع دوم دوربین توضیح داده می شود. تشریح نوع اول دوربین در کتاب کرجی صفحات ۱۱۴-۱۰۹ و کتاب *ترازهای کرجی* صفحات ۸۸-۷۵ آمده است.

تراز دوربینی مدرج: اوج نوآوری کرجی را باید در اختراع و به کارگیری ترازى دانست که می توان آن را تراز دوربینی مدرج خواند. تنها تراز قدیمی که شایستگی نسل اول خواندن دوربینهای تلسکوپی جدید را دارد، همین تراز کرجی است.

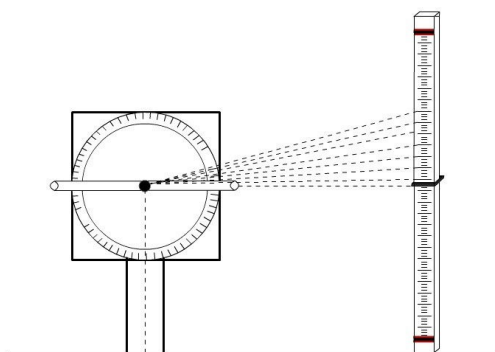
این نوع تراز متشکل از صفحه چهارگوشه ای از جنس برنج یا چوب سخت است که لوله ای برنجی به طول یک وجب و نیم (حدود ۴۰ سانتیمتر) و به قطر سوراخ حدود ۲ تا ۳ میلیمتر در مرکز صفحه نصب می شود و حول محوری عمود بر صفحه دوران می کند. به مرکز نقطه وسط صفحه بزرگترین دایره ممکن رسم می شود. این دایره مماس بر اضلاع صفحه مرجع شکل در وسط این اضلاع خواهد بود. صفحه تراز مجدداً روی پایه ذکر شده قرار می گیرد. شاخص مذکور مجدداً به طول ده وجب (حدود ۲/۵ متر) تهیه می شود [۱۲]. روی یکی از سطوح شاخص علامتی گذاشته می شود که فاصله آن از زمین به اندازه ارتفاع مرکز تراز تا سطح زمین باشد. آن گاه روی شاخص از مرکز علامت تا لبه بالایی شاخص به شصت قسمت مساوی تقسیم می شود و هر قسمت تا آنجا که ممکن است به قسمتهای کوچک تر تقسیم می شود و نیز از مرکز علامت تا لبه پایین شاخص به اجزای متساوی با رجاتی همانند درجات بالای علامت تقسیم می شود. در شکل ۵ نمودار کتاب از صفحه تراز دوربینی و شاخص نشان داده شده است.



شکل ۵: تراز دوربینی مدرج [۱۲]

اکنون زنجیری که در بخش تراز شاقولی مدرج گفته شد، تهیه می‌شود تا فاصله‌ای که چشم از آن فاصله می‌تواند ببیند، ثابت بماند. سپس، دو محل که فاصله آنها به اندازه طول زنجیر باشد، به نحوی آماده می‌شود که هر دو محل همسطح باشند. تراز در یک محل و شاخص در محل دیگر قرار می‌گیرد. اگر لوله کاملاً موازی افق و در نتیجه، محور لوله کاملاً منطبق بر قطر افقی صفحه تراز باشد، با توجه به مساوی بودن ارتفاع تراز و شاخص، باید از لوله علامت مذکور مشاهده شود. اکنون از سوراخ لوله به سوی شاخص نگریسته می‌شود تا علامت اولین جزء پس از مرکز روی شاخص دیده شود. نقطه محل تقاطع خط امتداد محور تراز با دایره محاطی یاد شده، علامت گذاشته می‌شود.

آن‌گاه سر لوله بالاتر برده می‌شود تا علامت دوم دیده شود و محل نقطه تقاطع محور لوله و دایره ترسیم شده روی صفحه تراز علامت گذاشته می‌شود. به‌طور پیوسته و جزء به جزء لوله بالا برده می‌شود تا آنکه به سر شاخص برسیم. در این حالت طول صفحه در نیمه بالایی به شصت جزء تقسیم می‌شود. به‌طور مشابه می‌توان با قراول روی لوله به سمت اجزای نیمه پایینی صفحه تراز را به ۶۰ جزء در قسمت پایینی شاخص تقسیم کرد. تعداد این اجزا هرچه باشد، فرق نمی‌کند، ولی باید هر جزء آن با اجزایی که در قسمت بالای شاخص تقسیم بندی شده است، مساوی باشد. این کار باید در نهایت دقت انجام شود. در شکل ۶ نمودار رسم شده از تراز در خلال مدرج سازی نشان داده شده است.



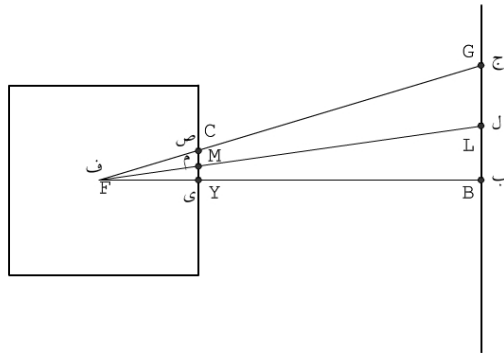
شکل ۶: تراز دوربینی در خلال مدرج سازی [۱۴]

اکنون با انتخاب خطکش مناسب خطی رسم می‌شود که از هر یک از علامات مشخص شده؛ یعنی نقطه‌های مذکور و نیز از مرکز تراز بگذرد. بدین ترتیب، از محل نقاط واقع در کناره دایره تا لبه صفحه تراز خطی رسم می‌شود تا کنار (یا محور) لوله بر این خطها هنگام ترازبایی منطبق شود و از روی آن بتوان اجزا و قسمتها را شناخت.

اگر بخواهیم با این دستگاه امر ترازبایی را انجام دهیم، نخست باید نقطه آغازین کار معلوم شود. به شاخص‌دار گفته می‌شود که به اندازه طول زنجیر از محل آن‌قدر دور شود تا فاصله میان پایه میزان و شاخص به اندازه طول زنجیر شود. آن‌گاه لوله تراز را به طرف علامت شاخص نشانه می‌رویم. اگر لوله روی خطی که با سطح افق موازی است و صفحه تراز را به دو نیمه تقسیم می‌کند و از مرکز محور لوله می‌گذرد منطبق شود، دو محل در یک ارتفاع قرار گرفته‌اند و اگر سر لوله زیر خط موازی با سطح افق باشد، تعداد قسمت‌های پایین افتادگی سر لوله یادداشت می‌شود که همان اندازه ارتفاع محل پایه تراز نسبت به محل نصب شاخص است. اگر سر لوله بالای خط موازی با سطح افق قرار گیرد، اندازه قسمت‌ها یادداشت می‌شود که همان مقدار پایین بودن محل پایه تراز از محل نصب شاخص است. بدین ترتیب، می‌توان برداشت زمین را صورت داد.

**روش دیگر کرجی در مدرج سازی صفحه تراز:** کرجی روش دیگری را در مدرج سازی صفحه تراز شرح می‌دهد که از شیوه اول دقیق‌تر، ساده‌تر و مطمئن‌تر است. این روش را می‌توان شیوه هندسی مدرج سازی نامید. برای این منظور، نخست شاخص و تراز در یک امتداد به فاصله طول زنجیر مورد نظر و دقیقاً در دو محل هم ارتفاع قرار می‌گیرند. خطی که از مرکز تراز بر شاخص عمود است، کاملاً

افقی است (خط ف ب شکل ۷). اکنون از مرکز صفحه تراز ف خطی به علامت بالای شاخص، نقطه ج رسم می‌شود. این خط لبه صفحه تراز را در نقطه ص قطع می‌کند. اینک خط ف ل را به گونه‌ای رسم می‌کنیم که نقطه ل وسط خط ج ب باشد. اکنون ثابت می‌کنیم که محل نقاط خط ف ل با لبه صفحه تراز؛ یعنی نقطه م وسط خط ص ی است.



شکل ۷: روش دیگر کرجی در مدرج سازی صفحه تراز [۱۴]

داریم:

$$\frac{CY}{GB} = \frac{FY}{FB}$$

$$\frac{MY}{LB} = \frac{FM}{FL}, \quad \frac{CM}{GL} = \frac{FM}{FL}$$

(۳)

$$\Rightarrow \frac{CM}{GL} = \frac{MY}{LB}$$

اما  $GL = LB$ ، بنابراین،

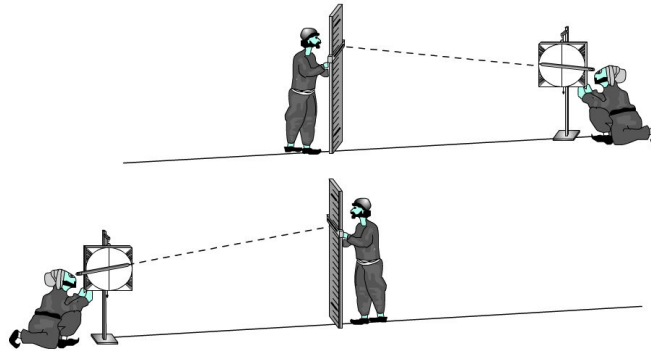
(۴)

$$\frac{CM}{MY} = 1 \Rightarrow CM = MY$$

به بیان دیگر، روابط مذکور اثبات این قضیه است که خطوط متقاطع خطوط موازی را به یک نسبت قطع می کنند.

اکنون با اثبات مطلب بیان شده کافی است که لبه صفحه تراز یادشده به تعداد مورد نظر تقسیم و علامتگذاری شود. برای مثال، اگر طول شاخص  $h$  و معلوم باشد، با معلوم بودن فاصله مرکز تراز از شاخص؛ یعنی طول زنجیر  $l$  محل نقطه  $C$  به راحتی مشخص می شود. اکنون اگر طول  $CY$  به  $n$  بخش (درجه) تقسیم شود، طول هر بخش؛ یعنی  $CY/n$  متناظر با طول  $\frac{h}{2n}$  خواهد بود، مشروط بر آنکه فاصله دو محل تراز و شاخص همواره  $l$  باشد.

بدین ترتیب، می توان به سادگی و با دقت به شیوه هندسی صفحه تراز را مدرج کرد. مجدداً تأکید می شود که نیازی به استقرار فیزیکی تراز و شاخص برای تعیین و رسم مثلث قائم الزاویه ف ب ج نیست. در شکل ۸ تراز دوربینی کرجی در حین نقشه برداری نشان داده شده است.



شکل ۸: تراز دوربینی کرجی را در حین نقشه برداری [۱۴]

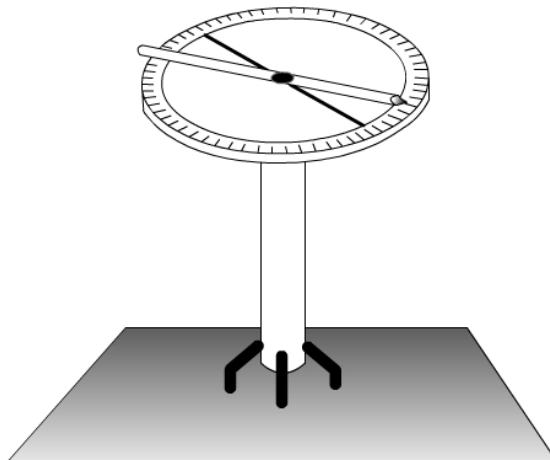
#### تراز دوربینی مدرج با صفحه تراز افقی

توجه شود که برای اندازه گیری زاویه بین خطوط واصل دو قله کوه یا دو شاخص و نقطه محل استقرار تراز، عملاً صفحه تراز به صورت افقی قرار می گیرد که در این حالت، تراز به مثابه وسیله ای برای محاسبه زاویه بین دو نقطه فراول روی زاویه سنج عمل می کند. برای این وضعیت کرجی می گوید: "اگر بخواهی فاصله میان دو شاخص (یا دو شخص) را تعیین کنی - خواه این شاخص از هم دور



باشند یا به هم نزدیک - باید ابتدا فاصلهٔ موضع واحدی را با هر یک از این دو شاخص حساب کنی. سپس، اسباب را به صورت افقی روی سر چوبی کوچک چنان نصب کنی که طرف منقوش آن به طرف آسمان باشد" [۱۲].

در شکل ۹ که با توجه به توضیح کرجی رسم شده است، زاویه سنج مدرج کرجی نشان داده شده است. این تغییر وضعیت صفحهٔ تراز که عملاً کاربری جدیدی را برای تراز با صفحهٔ عمودی فراهم می‌آورد، نوآوری مهمی محسوب می‌شود. ترکیب این دو وضعیت صفحهٔ تراز دقیقاً چیزی است که دوربینهای نقشه برداری جدید (مانند تئودولیت) بر آن موازین و اصول طراحی و ساخته می‌شوند.



شکل ۹: تراز دوربین مدرج با صفحه تراز افقی

مجدداً یادآوری می‌شود که تراز کرجی در حالات یادشده به مثابه دستگاه زاویه یاب عمل می‌کند.

#### ۴. نکات آموزشی و تمرینهای کلاسی

اکنون با توجه به محتوای کتاب *استخراج آبهای پنهانی* و نیز کتاب *ترازهای کرجی* و توصیف علمی مذکور، مهم‌ترین نکات آموزشی به‌دست آمده از معرفی و تشریح دو نوع ابزار نقشه برداری را می‌توان به قرار زیر دانست.

#### ۱.۴. نکات آموزشی

الف. ابزارهای نقشه برداری از وسایل قدیمی در حوزه احداث بناها و جاده‌ها محسوب می‌شوند. با توجه به اینکه کرجی نخست چهار نوع از ابزارهای نقشه برداری را که در زمان وی استفاده می‌شده است، شرح می‌دهد، این وسایل را همراه با ترازهای اختراعی وی به‌عنوان بخشی از تاریخچه وسایل نقشه برداری به استناد کتاب کرجی می‌توان معرفی کرد. در ضمن، وسایل معرفی شده هیچ‌گونه پیچیدگی ندارند که دانشجویان در تصور و تحلیل آنها مشکلی داشته باشند.

ب. تعریف و محدوده نقشه برداری را با استفاده از مفاد کتاب کرجی می‌توان بهتر و با اشاره به سابقه آن عمیق‌تر ارائه کرد.

پ. از محتوای کتاب کرجی می‌توان در شرح نقشه برداری شهری، نقشه برداری مسیر، نقشه برداری ژئودزی و به‌ویژه نقشه برداری تونلها استفاده کرد.

ت. مفهوم و روش کالیبراسیون یا مدرج سازی یک دستگاه را به کمک روش کرجی و با تلفیق فرایندهای جدید به بهترین و مؤثرترین شیوه می‌توان تشریح کرد.

ث. با درج شکل ترسیم شده در کتاب کرجی دانشجویان با نحوه ترسیم نمودارهای فنی و به‌ویژه نمادگذاری فارسی در کتب علمی قدیمی ایران آشنا می‌شوند.

ج. با درج یا شرح تحلیل کرجی از ابزارهای نقشه برداری، دانشجویان با نحوه توصیف علمی عملکرد این وسایل در کتب علمی دانشمندان مسلمان آشنا می‌شوند و به‌ویژه با نحوه نقشه برداری، تعیین اختلاف ارتفاع و کلاً برداشت عوارض زمین در هزار سال قبل آشنا می‌شوند و در می‌یابند که روشهای آنها در اصول با روشهای جدید تفاوت چندانی نمی‌کند.

چ. با توجه به اینکه کرجی به‌طور مفصل نحوه استفاده از ترازهای خود را برای اندازه‌گیری اختلاف ارتفاع نقاط مختلف زمین تشریح می‌کند، توضیح این روش، به ویژه قبل از کار با ابزارهای جدید که برای همین منظور به‌کار گرفته می‌شوند، برای دانشجویان می‌تواند بسیار جذاب و آموزنده باشد. توجه شود که به استثنای تغییر دستگاهها، که آن‌هم در اصول کارکرد یکسان‌اند، روشها تغییر چندانی نکرده است.

ح. با استفاده از نحوه نقص‌یابی و تصحیح نقص یک لوله دوربینی که کرجی آن را به دقت تشریح می‌کند، می‌توان اهمیت کشف و تعیین نقص دستگاهی مانند دوربین نقشه برداری و شیوه رفع آن را برای دانشجویان تشریح کرد.

خ. با استفاده از مطالب کتاب کرجی مفاهیم زیر را می‌توان در درس نقشه برداری در سطوح دبیرستان، آموزشکده و دانشکده آموزش داد یا از محتوای کتاب کرجی در خلال تدریس مطالب

جدید زیر بهره گرفت:

- \* تاریخچه، کلیات و تعاریف نقشه برداری و آشنایی تاریخی و اولیه با علم نقشه برداری؛
- \* اندازه‌گیری فاصله به روشهای مستقیم و غیر مستقیم؛
- \* اندازه‌گیری فاصله بر روی سطوح افقی و شیب دار با مانع و بدون مانع؛
- \* تعاریف ارتفاع و اختلاف ارتفاع و روشهای اندازه‌گیری آنها؛
- \* تعریف زاویه و نحوه اندازه‌گیری آن و معرفی زاویه یاب؛
- \* نیمرخ طولی و عرضی، نحوه عمل و محاسبات؛
- \* تعریف خطا، نحوه اندازه‌گیری و شیوه حذف یا کاهش آن؛
- \* آشنایی با دستگاههای نقشه برداری قدیم و جدید (ترازیاب، فاصله یاب و زاویه یاب)؛
- \* فاصله یابی در شرایط مختلف؛
- \* تراز یابی به روش غیر مستقیم؛
- \* زاویه‌یابی به روش مستقیم و غیر مستقیم؛
- \* آشنایی و نحوه کار با دستگاههای نقشه برداری.

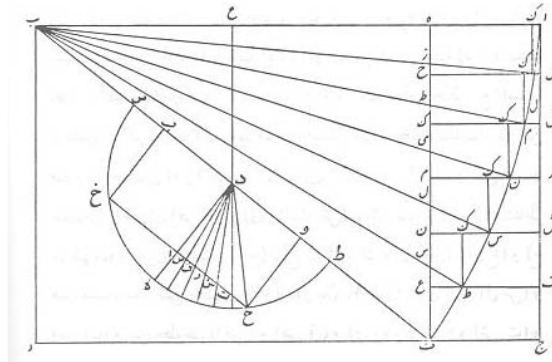
برای مثال، در خلال تشریح چگونگی استقرار، آماده سازی و نحوه کار با دوربینهای نقشه برداری نیوو و تئودولیت، فاصله یابی با روش قدم انسانی و امتدادگذاری با ژالون و مترکشی یا با دوربینهای نیوو و تئودولیت، تراز یابی در زمینهای مسطح با دوربین نیوو و در زمینهای شیب دار با دوربین تئودولیت، زاویه یابی افقی با دوربین نیوو و زاویه‌یابی افقی و عمودی با دوربین تئودولیت و نیز استخراج عمود از مسیر مستقیم را به کمک گونبای مساحی و ژالون و نظایر اینها، ابزارها و روشهای مرتبط و متناظر کرجی را نیز می‌توان توضیح داد.

#### ۲.۴. تمرینهای کلاسی

به کمک متن کتاب/ استخراج/ پنهانی و با الگوگیری از کتاب *ترازهای کرجی* می‌توان طیف وسیعی از مثالها، تمرینها و مسائل متنوع را از ساده تا پیشرفته طراحی کرد. در کتاب یادشده نمونه‌هایی از این تمرینها و مسائل طرح شده است که بیشتر آنها در همین وضعیت مستقیماً قابل استفاده در کلاسهای درس است. علاقه‌مندان می‌توانند به این کتاب مراجعه کنند. با توجه به اهمیت مسئله، در ادامه فقط به تحلیل مسئله هندسی کرجی، که در خلال مدرج سازی با آن مواجه شده است، اشاره می‌شود.

**مسئله کرجی در مدرج سازی ترازها:** در این بخش مسئله کرجی به صورت تعمیم یافته بررسی می‌شود. در شکل ۱۳ نمودار کرجی و شکل ۱۴ نمودار رسم شده برای عملیات مدرج سازی نشان

داده شده است. مربع مستطیل ABCD را در نظر بگیرید. AB نماینده طول نخ و AC و BD نماینده دو شاخص هستند. به مرکز B و به شعاع AB (طول نخ) کمائی از دایره را رسم می کنیم تا خط DC را در نقطه F قطع کند. از نقطه F خطی عمود بر خط AB رسم می کنیم تا خط AB را در H قطع کند. خط AC (نماینده شاخص) را به n قسمت مساوی (نماینده درجات شاخص)  $A_1 (A_1, A_2, \dots, A_n)$  تقسیم می کنیم. از نقاط  $A_i$  خطوطی موازی AB (یا عمود بر AC) رسم می کنیم تا خط FH را در  $H_1, H_2, \dots, H_n$  قطع کنند. به مرکز نقطه وسط خط BF، b، دایره ای به شعاع دلخواه رسم می کنیم (نماینده صفحه تراز) تا خط BF را در نقطه s و t قطع کند. از نقطه b خطی عمود بر BF رسم می کنیم تا نیم دایره را در a قطع کند.



شکل ۱۳: نمودار کرجی [۱۲]

از ربع دایره at کمانی متناسب با کمان AF به اندازه ای جدا می کنیم که زاویه مرکزی دو کمان یکسان باشد. آن را ah می نامیم. سپس، خط hb را ادامه می دهیم تا خط AB را در نقطه K قطع کند. واضح است که این خط موازی HF و عمود بر AB خواهد بود. توجه شود که خط bh نماینده ریسمان شاقول است. برای اثبات مطلب، برای زوایای زیر داریم:

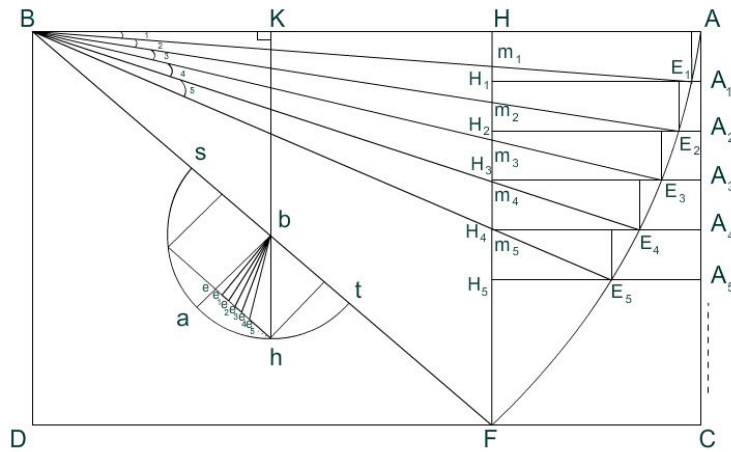
$$abh = ABF, \quad abh = ABF, \quad tch = KCB$$

۱. در متن نوشته شده است: "خط دح را موازی با خط ه ف رسم می کنیم تا آنکه به خط ب ا وصل شود." و سپس، ذکر می کند که بدون شک این خط بر خط اب عمود است و در پی آن به اثبات آن می پردازد. واضح است که اگر ح د موازی ه ف باشد، عمود خواهد بود. باید به شیوه بالا مطرح و سپس، آن را اثبات کرد.

اکنون چون  $tbh + hba = 90$  و با توجه به تساویهای بالا داریم:

$$KBb + Kbb = 90$$

با توجه به اینکه مجموع زوایای یک مثلث  $180$  است، لذا، زاویه  $BKb$  قائمه است و در نتیجه، خط  $hk$  بر خط  $AB$  عمود است.



شکل ۱۴: نمودار رسم شده برای مسئله کرجی [۱۴]

قوس  $AF$  خطوط  $A_1H_1$ ،  $A_2H_2$ ، ..... را به ترتیب در نقاط  $E_1$ ،  $E_2$ ، ..... قطع می‌کند. حال اگر نقطه  $A$  که رأس طناب است به اندازه یک درجه پایین بیاید ( یعنی به اندازه  $AA_1$  )، قوس  $AE_1$  را می‌پیماید و خط  $A_1H_1$  را در نقطه  $E_1$  قطع می‌کند. اگر به اندازه یک درجه دیگر پایین آید، قوس  $E_1E_2$  را طی می‌کند و خط  $A_2H_2$  را در  $E_2$  نقطه قطع می‌کند و به همین ترتیب، در حالت کلی خط  $AC$  به  $n$  بخش تقسیم می‌شود.  
 زاویه‌هایی که در نقطه  $B$  ایجاد شده است، یک به یک با زاویه‌های متناظری که در نقطه  $b$  ایجاد شده است، برابرند؛ یعنی:

$$\widehat{B_i} = \widehat{b_i} \quad i = 1, 2, \dots, n$$

اما اندازه این زاویه‌ها با یکدیگر متفاوت‌اند؛ یعنی:

$$\widehat{B_1} \neq \widehat{B_2} \neq \dots \neq \widehat{B_n}$$

۱۶۰ ترازهای کرجی؛ نمونه های کاربردی برای استفاده در کلاسهای درس و رشته مهندسی...

$$\widehat{b}_1 \neq \widehat{b}_2 \neq \dots \neq \widehat{b}_n$$

چرا که زاویه  $90^\circ > \widehat{Bm_1m_2}$  حال آنکه افزایش زاویه  $\widehat{m_2m_1B}$  نسبت به قائمه به اندازه کسر زاویه  $\widehat{m_1m_2B}$  از زاویه  $\widehat{Hm_1B}$  نیست؛ یعنی:

$$\widehat{m_2m_1B} - \widehat{Hm_1B} - \widehat{m_1m_2B}$$

بنابراین، زاویه  $\widehat{B_1}$  با زاویه  $\widehat{B_2}$  برابر نیست.

چون زاویه های نقطه  $b$  با زاویه های متناظر نقطه  $B$  مساوی هستند، مثلثهایی که قاعده تمام آنها خط  $eh$  است با مثلثهایی که قاعده آنها خط  $HF$  است، نظیر به نظیر متشابه اند. در این صورت خطهای  $\widehat{Hm_1}$ ،  $\widehat{m_1m_2}$ ،  $\widehat{m_2m_3}$ ، ... با خطهای  $\widehat{ee_1}$ ،  $\widehat{e_1e_2}$ ،  $\widehat{e_2e_3}$ ، ... متناظر می شوند. چون خطهای  $\widehat{HH_1}$ ،  $\widehat{H_1H_2}$ ، ... متساوی اند، پس خطهای  $\widehat{Hm_1}$ ،  $\widehat{m_1m_2}$ ،  $\widehat{m_2m_3}$ ، ... با یکدیگر مساوی نیستند و در نتیجه، خطوط  $\widehat{ee_1}$ ،  $\widehat{e_1e_2}$ ،  $\widehat{e_2e_3}$ ، ... با یکدیگر برابر نخواهند بود و این همان مطلبی است که باید اثبات می شد. البته، مسئله راه حل های دقیق تری نیز دارد که به عنوان تمرین به خوانندگان علاقه مند وا می نهمیم.

## ۵. جمع بندی و نتیجه گیری

در این مقاله یکی از مهم ترین کتب مهندسی عمران در حوزه نقشه برداری و یکی از بهترین منابع در خصوص نحوه حفر و نگهداری قنات که حدود هزار سال قبل نوشته شده است، معرفی شد. بر این اساس، دو تراز نقشه برداری که کرجی آن را اختراع کرده بود، تشریح و نحوه استفاده از آنها تحلیل شد. بر این نکته تأکید شد که کرجی برای اولین بار در تاریخ اختراع، ساخت و بهره برداری از وسایل و دستگاه های نقشه برداری، به مدرج سازی ابزارهای نقشه برداری و نیز تعبیه لوله دوربینی روی صفحه تراز همت گماشت.

در خلال شرح مباحث مذکور، نشان داده شد که می توان برخی از سر فصل های رشته و درس نقشه برداری را با استفاده از مطالب کتاب کرجی، به عنوان مواد آموزشی و کمک آموزشی و نیز سابقه تاریخی مباحث، آموزش داد. این مطالب قلمرو وسیعی مشتمل بر سابقه نقشه برداری در تمدن اسلام و ایران، ابزارها، روشها و کاربردهای ابزارهای نقشه برداری را در بر می گیرد. علاوه بر این، به مدد

مباحث این‌گونه منابع می‌توان به طرح و عرضه تمرینهای درسی جدید مبادرت ورزید و بدین ترتیب، استفاده از منابع علمی قدیم را در جغرافیای مباحث علمی جدید محقق ساخت.

### مراجع

1. Kiely, Edmond R. (1947), *Surveying instruments: their history and classroom use*, national council of teachers of mathematics, Year book 19, Columbia University, New York.
2. Lewis, M. J. T. (2001), *Surveying instruments of Greece and Rome*, Cambridge Uni. Press, England.
3. Wallis, D. A. (2005), *History of angle measurement*, WSHS1-History of Technology, FIG Working Week, UK.
4. Anderson, John (2004), *Modern compressible flow: With historical perspective*, McGraw-Hill.
5. Gary, Lock (2007), "Fluid mechanics with historical perspective", *Engineering Education: journal of the Higher Education Academy*, Vol. 2, No. 1.
6. Savizi, Behnaz (2007), "Applicable problems in the history of mathematics: practical examples for the classroom", *Teaching Mathematics and its Applications*, Vol. 26, No. 1, p.45.
۷. رحیمی، غلامحسین (۱۳۹۰)، "مثالهای کاربردی از کتاب معیارالعقول برای استفاده در کلاسهای درس رشته مهندسی مکانیک"، *فصلنامه آموزش مهندسی ایران*، ش. ۴۹.
8. Tapper, R. and Stanley McLachlan, K. (2003), *Technology, Tradition and Survival: Aspects of Material Culture in the Middle East and Central Asia*, Routledge. Hill, D. R., *Science and technology in Islamic building construction*, (Chapter 5), pp. 73-90.
9. Hill, D.R., (1993), *Islamic science and engineering*, Edinburgh University Press.
۱۰. الکرچی، ابوبکر محمد بن الحسن الحاسب (۱۳۵۹ هـ.ق). *انباط المياه الخفیه*، دایرةالمعارف عثمانی، حیدرآباد دکن.
۱۱. الکرچی، ابوبکر محمد بن الحسن الحاسب (۱۳۷۳)، *استخراج آبهای پنهانی* (ترجمه حسین خدیوجم)، پژوهشگاه علوم انسانی، تهران: چاپ دوم.
12. Aboobakr Mohammad Ibn Al-Hasan Al-Hasib Al-Karaji (2007), *Ground water exploration*, Persian into English: Nour Zaghi, *The Iran Cultural Foundation*, June.
۱۳. رحیمی، غلامحسین (۱۳۸۹)، *ترازهای کرچی*، کتابخانه ملی ایران.
۱۴. قربانی، ابوالقاسم (۱۳۷۵)، *زندگینامه ریاضیدانان دوره اسلامی*، تهران: مرکز نشر دانشگاهی.