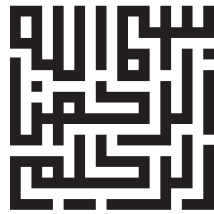


2012  
ICMSI



تفکر مکان محور برای پیشرفت جامعه



دومین همایش و نمایشگاه بین‌المللی تهیه نقشه و اطلاعات مکانی  
(ICMSI 2012)

و

نوزدهمین همایش ملی ژئوماتیک ۹۱



وابسته به معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور

اردیبهشت ۹۱

## موضوع: GIS

## جلسه ششم

۱. استفاده از محاسبات هندسی در بستر سامانه ی اطلاعات مکانی (مطالعه ی موردی: دیاگرام ورونوی)  
مهران قندهاری، فرید کریمی پور
۲. کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی در بررسی پاسخ هیدرولوژیکی حوزه آبخیز حوزه موردی حوزه آبخیز شیرین دره  
عمران محمودی، عبدالرضا بهره مند، واحد بردی شیخ، کامران چپی
۳. اولین تجربه ی تدوین نقشه راه و تهیه سند راهبردی GIS برای شرکت های توزیع برق  
سیدمحسن بنی فاطمه، مهران ربانی باوجدان، علی جهانی
۴. تعیین نقشه پتانسیل مکانیکی خاک در احداث جاده های جنگلی با استفاده از GIS جهت استفاده های کاربردی  
احمد سیبی، نصرت الله رأفت نیا، پویان سبحانی
۵. ارائه یک سیستم پشتیبانی تصمیم گیری مبتنی بر فرایند تحلیل سلسله مراتبی به منظور ارزیابی اراضی زینب مداحی، میر مسعود خیرخواه زرکش، احمد جلالیان
۶. بهره گیری از چیدمان فضا به منظور شناسایی معابر اولویت دار جهت بهسازی در بافت های مسکونی  
حسین آقاجانی
۷. ارائه مدل های سه بعدی موضوعی با استفاده از سرویس های سه بعدی مکانی تحت Web  
علی زارع زردینی، دکتر فرشاد حکیم پور
۸. ارزیابی توان اکولوژیک برای کاربری های کشاورزی با کاربرد سامانه اطلاعات جغرافیایی  
سوران بالیغی، ناصر احمدی ثانی، عبدالله جوانمرد، منصور سهرابی
۹. مکانیابی بهینه برای دفن زباله های شهری کرمان با استفاده از GIS، منطق فازی و تکنیک های سنجش از دور  
علی عزیزی، محمدرضا ملک، علی اسماعیلی
۱۰. بررسی شبکه حمل و نقل شهری با استفاده از تحلیل فراکتالی پیوسته و توزیع یافته  
راهبه عابدی، علی اصغر آل شیخ

# استفاده از محاسبات هندسی در بستر سامانه‌ی اطلاعات مکانی (مطالعه‌ی موردی: دیاگرام ورونوی)

مهران قندهاری<sup>۱</sup>، فرید کریمی‌پور<sup>۲</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد سیستم‌های اطلاعات مکانی، گروه مهندسی نقشه برداری، پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران

ghandehray@ut.ac.ir

۲. استادیار گروه مهندسی نقشه برداری، پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران

fkarimipr@ut.ac.ir

## چکیده:

محاسبات هندسی، علم مطالعه‌ی الگوریتم‌های هندسی می‌باشد. بسیاری از الگوریتم‌های مورد استفاده در سامانه‌ی اطلاعات مکانی (GIS) دارای ماهیت هندسی هستند. از این رو محاسبات هندسی به صورت مستقیم یا غیرمستقیم در GIS مورد استفاده قرار می‌گیرد. به طور معمول حجم داده در GIS بالا است و به منظور ذخیره‌سازی، تغییر و تبدیل، تحلیل و نمایش این داده‌ها نیاز به الگوریتم‌های کارا می‌باشد. تکنیک‌های موجود در محاسبات هندسی می‌تواند نقش به‌سزایی در بالا بردن کارایی الگوریتم‌های هندسی مورد استفاده در GIS ایفا کند. در این مقاله، محاسبات هندسی، ویژگی‌های آن و کاربردهای آن در GIS معرفی گردیده و دیاگرام ورونوی به عنوان تمرکز اصلی این تحقیق به تفصیل مورد بررسی قرار گرفته است. در این راستا، پس از معرفی دیاگرام ورونوی و خصوصیات آن، نمونه‌هایی از کاربردهای آن ارائه می‌گردد. در نهایت، برای بررسی قابلیت استفاده عملی از دیاگرام ورونوی، نتایج یکی از تحقیقات در حال انجام برای استخراج حوزه‌ی آبریز با استفاده از دیاگرام ورونوی ارائه می‌شود.

**واژه‌های کلیدی:** سامانه‌ی اطلاعات مکانی، محاسبات هندسی، دیاگرام ورونوی

## ۱- مقدمه

حوزه‌ی تحقیقاتی محاسبات هندسی<sup>۱</sup>، شامل طراحی و تحلیل الگوریتم‌ها برای مسائل هندسی می‌باشد. بسیاری از الگوریتم‌های مورد استفاده در GIS دارای ماهیت هندسی هستند. از این رو محاسبات هندسی به صورت مستقیم یا غیرمستقیم در GIS مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای مثال، می‌توان به استفاده از دیاگرام ورونوی<sup>۲</sup> برای تحلیل همسایگی و درونیایی سطح، کاربرد وسیع مثلث‌بندی دلونی<sup>۳</sup> در مدل‌سازی سطح و استفاده از ساختارهای داده‌ی هندسی برای مدیریت و اندکس‌گذاری داده‌های مکانی نام برد.

یکی از اهداف اصلی محاسبات هندسی، پیدا کردن کاراترین<sup>۴</sup> الگوریتم‌ها برای مسائل هندسی می‌باشد [۲]. کارایی یک تخمین اولیه است که با معیار پیچیدگی<sup>۵</sup> سنجیده می‌شود و رفتار الگوریتم را در زمان اجرا با مجموعه‌ای از ورودی-های منتخب توصیف می‌کند. به طور معمول حجم داده در GIS بالا می‌باشد و به منظور ذخیره‌سازی، تغییر و تبدیل، تحلیل و نمایش این داده‌ها، استفاده از الگوریتم‌های کارا اجتناب‌ناپذیر است. از این رو، محاسبات هندسی با ارائه‌ی الگوریتم‌هایی با کارایی بالا، اهمیت به سزایی در GIS دارد.

یکی از ساختارهای مورد استفاده در حل بسیاری از مسائل هندسی، دیاگرام ورونوی می‌باشد. دیاگرام ورونوی هر سلول مختص به یک شیء خاص است که مجاورت اشیاء را نیز حفظ می‌کند [۱۵]. این مقاله، به معرفی محاسبات هندسی، ویژگی‌های آن و کاربردهای آن در GIS پرداخته و دیاگرام ورونوی به عنوان تمرکز اصلی این تحقیق به تفصیل مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور در بخش دوم، به معرفی محاسبات هندسی و ارائه نمونه‌هایی از مسائل پایه در آن از جمله تقاطع پاره‌خط‌ها و ناحیه‌ها، مثلث‌بندی دلونی، دیاگرام ورونوی، پوش محدب و جستجوی هندسی پرداخته شده است. در فصل سوم، ساختار دیاگرام ورونوی معرفی شده و نحوه‌ی استفاده از این ساختار در نمونه‌هایی از تحلیل‌های مکانی مورد استفاده در GIS و مزایای آن مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای بررسی قابلیت استفاده عملی از دیاگرام ورونوی، در فصل چهارم، یکی از تحقیقات در حال انجام برای استخراج حوزه‌ی آبریز با استفاده از دیاگرام ورونوی ارائه می‌شود. همچنین نتایج پیاده‌سازی‌های انجام شده بر روی مجموعه‌ای از داده‌های نمونه ارائه شده و کارایی نتایج این پیاده‌سازی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در نهایت، در فصل پنجم، نتایج به دست آمده از تحقیق، و پیشنهاداتی برای انجام تحقیقات آتی ذکر گردیده است.

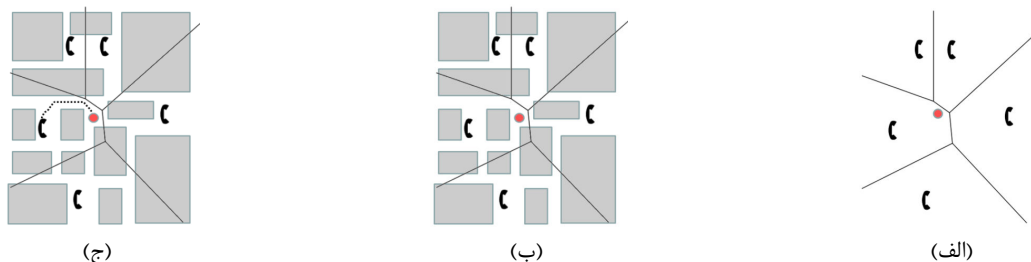
## ۲- محاسبات هندسی

فرض کنید در محوطه دانشگاه در حال قدم زدن هستید و ناگهان متوجه می‌شوید که باید یک تلفن ضروری بزنید. تلفن‌های عمومی بسیاری در سطح دانشگاه وجود دارند، ولی شما می‌خواهید به نزدیک‌ترین آنها بروید. ولی کدام یک نزدیک‌ترین است؟ در اینجا داشتن نقشه‌ای از محوطه دانشگاه مفید واقع می‌شود که با کمک آن بتوانید نزدیک‌ترین تلفن عمومی را پیدا کنید. این نقشه باید دانشگاه را به چند ناحیه تقسیم و برای هر ناحیه نزدیک‌ترین تلفن عمومی را معین کند. اما این نواحی به چه شکل خواهند بود و چگونه می‌توان آنها را محاسبه کرد؟

اگرچه این مسأله آسان به نظر می‌رسد، ولی دارای مفاهیم پایه‌ی هندسی می‌باشد و نقش مهمی را در بسیاری از کاربردها ایفا می‌کند. تقسیم‌بندی محوطه‌ی دانشگاه با ویژگی گفته شده، دیاگرام ورونوی نامیده می‌شود (شکل ۱-الف و ۱-ب) و برای محاسبه‌ی آن نیاز به الگوریتم‌های هندسی می‌باشد.

فرض کنید محل نزدیک‌ترین تلفن عمومی به خود را تعیین کردید. با در دست داشتن نقشه تقسیم‌بندی محوطه‌ی دانشگاه، احتمالاً مشکل کمی برای رسیدن به تلفن در یک مسیر کوتاه و معقول خواهید داشت، بدون اینکه به دیواری برخورد کنید یا دچار مشکلات دیگری شوید. ولی برنامه‌ریزی یک روبات برای انجام همین کار مشکل‌تر خواهد بود. باز هم قلب مسئله، هندسی است: مجموعه‌ای از موانع هندسی داده شده‌اند و بایستی یک ارتباط کوتاه بین دو نقطه پیدا شود به نحوی که از برخورد با موانع اجتناب گردد (شکل ۱-ج). حل این مسئله، که "برنامه ریزی حرکت" نامیده می‌شود، دارای اهمیت زیادی در رباتیک است.

حال فرض کنید نقشه‌ی ساختمان‌ها، که شامل تلفن‌های عمومی نیز می‌باشد، و نقشه‌ی راه‌های موجود در محوطه‌ی دانشگاه در دسترس است. برای برنامه‌ریزی حرکت، نیاز به انجام تحلیل همپوشانی می‌باشد. مسأله‌ی همپوشانی<sup>۷</sup> با تقاطع عوارض مختلف در دو لایه انجام می‌شود.



شکل ۱- (الف) و (ب) پیدا کردن نزدیکترین تلفن عمومی با استفاده از دیاگرام ورونوی و (ج) پیدا کردن کوتاه‌ترین مسیر با وجود موانع

محاسبات هندسی در دهه‌ی ۷۰ و با طرح مسائل هندسی فوق‌الذکر مطرح شد. محاسبات هندسی عبارت است از مجموعه‌ای از الگوریتم‌ها و روش‌ها برای اعمال تحلیل‌های مختلف بر روی یک ساختار داده، به نحوی که این الگوریتم‌ها تا حد امکان سریع باشند. پس از آن، محققان زیادی به تحقیق در این علم پرداختند و امروزه مجموعه‌ای غنی از الگوریتم‌های هندسی با کارایی بالا موجود می‌باشد [۲].

یکی از اهداف اصلی محاسبات هندسی، پیدا کردن کاراترین الگوریتم‌ها برای مسائل هندسی می‌باشد. کارایی یک تخمین اولیه است که با معیار پیچیدگی سنجیده می‌شود و رفتار الگوریتم را در زمان اجرا با مجموعه‌ای از ورودی‌های منتخب توصیف می‌کند. برای محاسبه پیچیدگی الگوریتم، ابتدا تعداد قدم‌های الگوریتم به صورت تابعی از اندازه مسئله مشخص می‌شود. برای انجام این کار، تعداد تکرار عملیات اصلی الگوریتم محاسبه شده و به صورت تابع  $f$  بیان می‌شود. سپس تابع  $g$ ، که مرتبه بزرگی تابع  $f$  را وقتی اندازه ورودی به اندازه کافی بزرگ است نشان می‌دهد، بدست می‌آید. در نهایت پیچیدگی الگوریتم برای نشان دادن رفتار الگوریتم با ورودی‌های مختلف با استفاده از نماد  $O$  بیان می‌شود [۶]. اگر الگوریتم شامل بخش‌های مختلفی باشد که در هر قسمت، پیچیدگی متفاوتی دارد، مرتبه‌ی بزرگی هر قسمت تعیین شده و بزرگترین مرتبه به عنوان پیچیدگی کل الگوریتم در نظر گرفته می‌شود. به طور کلی، زمان اجرای یک الگوریتم با افزایش اندازه‌ی ورودی ( $n$ ) زیاد می‌شود و زمان اجرا با تعداد دفعاتی که عملیات اصلی انجام می‌شود متناسب است. بنابراین کارایی یک الگوریتم با تعداد دفعاتی که یک عمل اصلی برای ورودی تحلیل انجام می‌شود ارزیابی می‌گردد. نمونه‌هایی از مسائل پایه در محاسبات هندسی به شرح زیر می‌باشد:

**تقاطع پاره‌خط‌ها:** برای یک مجموعه از پاره خط‌ها، تمام تقاطع‌های بین پاره‌خط‌های این مجموعه را به دست می‌آورد [۲] (شکل ۲-الف).

**تقاطع ناحیه‌ها:** اشتراک دو افراز متفاوت از ناحیه‌ها را به دست می‌آورد [۲] (شکل ۲-ب).

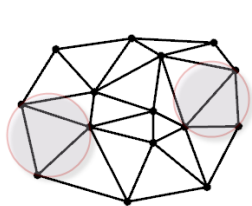
**مثلث‌بندی دلونی:** مثلث‌بندی دلونی یک مجموعه از نقاط، نوعی از مثلث‌بندی است که در آن، دوایر محیطی گذرنده از رأس‌های هر مثلث، هیچ‌یک از نقاط دیگر را در بر نمی‌گیرد [۸، ۱۶] (شکل ۲-ج).

**دیاگرام ورونوی:** برای یک مجموعه از نقاط، دیاگرام‌های ورونوی، سطح را به مناطقی تقسیم‌بندی می‌کنند که برای هر نقطه از مجموعه نقاط، یک منطقه تعریف می‌شود، به طوریکه تمام نقاط داخل یک منطقه به نقطه‌ی تولیدکننده‌ی آن منطقه، نزدیک‌تر است (شکل ۲-د).

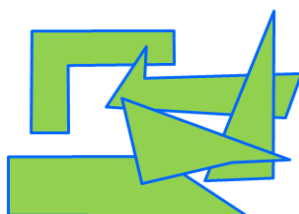
**پوش محدب:** پوش محدب یک مجموعه متشکل از  $n$  نقطه  $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$  کوچکترین مجموعه محدبی است که کلیه نقاط عضو  $P$  را شامل می‌شود [۲، ۱۷] (شکل ۲-ه).

**جستجوی هندسی:** در مسائل جستجوی هندسی، فضای جست‌وجو باید به گونه‌ای پیش پردازش شود که بتواند به نحو مطلوبی به سوالات متعدد جواب دهد [۲]. برخی مسائل اساسی جستجوی هندسی عبارتند از:

- **جستجوی محدوده:** مجموعه‌ای از نقاط برای تعیین و شمارش تعداد نقاط داخل یک محدوده مطلوب پردازش می‌شوند (شکل ۲-و).
- **محل‌یابی نقطه:** با دریافت یک فضای تقسیم‌بندی شده، یک ساختار داده تولید می‌شود که تعیین می‌کند نقطه مورد نظر در کدام قسمت قرار دارد (شکل ۲-ز).
- **نزدیک‌ترین همسایه:** مجموعه‌ای از نقاط را برای تعیین نزدیکترین آنها به یک نقطه‌ی مورد نظر پردازش می‌کند (شکل ۲-ح).



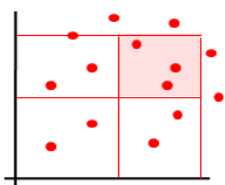
(ج)



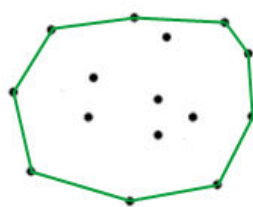
(ب)



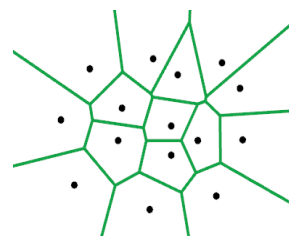
(الف)



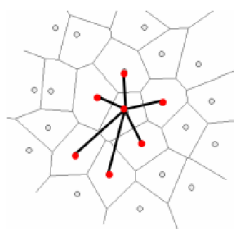
(و)



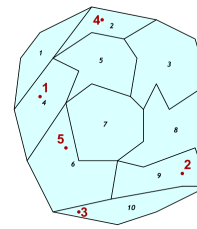
(ه)



(د)



(ح)



(ز)

شکل ۲- تعدادی از مسائل پایه در محاسبه هندسی: (الف) تقاطع پاره‌خط‌ها، (ب) تقاطع ناحیه‌ها، (ج) مثلث‌بندی دلونی، (د) دیاگرام ورونوی، (ه) پوش محدب، (و) جست‌وجوی محدوده، (ز) محل‌یابی نقطه و (ح) نزدیک‌ترین همسایه

### ۳- دیاگرام ورونوی

دیاگرام ورونوی برای اولین بار توسط Dirichlet در سال ۱۸۵۰ مطرح شد. بعد از گذشت تقریباً نیم قرن، در سال ۱۹۰۸ این موضوع به تفصیل توسط Voronoi مورد بررسی قرار گرفت، لذا از آن پس به دیاگرام ورونوی شهرت یافت. فرض کنیم  $P$  یک مجموعه از نقاط در فضای  $R^n$  باشد. سلول ورونوی یک نقطه  $p_i \in P$  که به صورت  $V(p_i)$  نشان داده می‌شود، عبارت است از کلیه نقاط  $x \in R^n$  که نسبت به سایر نقاط عضو مجموعه  $P$ ، به  $p_i$  نزدیکتر باشند [۱۱، ۱۶]. به بیان ریاضی:

$$V(p_i) = \{x \in R^n \mid \|x - p_i\| \leq \|x - p_j\|, p_j \in P, i \neq j\} \quad (۱)$$

اجتماع سلول‌های ورونوی کلیه نقاط عضو مجموعه  $P$ ، دیاگرام ورونوی این نقاط است که با  $VD(P)$  نمایش داده می‌شود:

$$VD(P) = \bigcup_{p_i \in P} V(p_i) \quad (۲)$$

توجه کنید که سلول‌های ورونوی نقاط عضو مجموعه  $P$ ، یک تقسیم‌بندی از  $R^n$  ایجاد می‌کنند. یعنی:

$$\begin{aligned} \forall p_i, p_j \in P : V(p_i) \cap V(p_j) &= \emptyset \\ \bigcup_{p_i \in P} V(p_i) &= R^n \end{aligned} \quad (۳)$$

برای مطالعه بیشتر در ارتباط با تاریخچه، کاربردها و روش‌های ایجاد دیاگرام‌های ورونوی به [۱، ۷، ۸، ۱۴-۱۶] مراجعه نمائید.

### ۳-۱- استفاده از ساختار داده‌ی ورونوی در تحلیل‌های GIS

در این بخش نمونه‌هایی از تحلیل‌های مکانی در GIS ارائه شده و نحوه‌ی استفاده از ساختار دیاگرام ورونوی برای انجام آنها نشان داده می‌شود. برای مطالعه بیشتر در ارتباط با جزئیات پیاده‌سازی به [۴-۶، ۱۵، ۱۸] مراجعه نمائید.

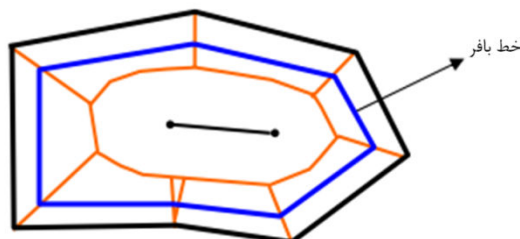
#### ۳-۱-۱- پرسش و پاسخ‌های مکانی<sup>۸</sup>

یکی از مشکلات مدل‌های داده‌ی کلاسیک، کارایی آن‌ها برای پرسش و پاسخ‌های مکانی می‌باشد. برای پرسش و پاسخ مکانی نیاز به داشتن ارتباطات مکانی مناسب بین اشیاء نقشه می‌باشد. برای مثال، در مدل برداری برای شناسایی اینکه یک نقطه داخل پلیگون قرار دارد یا خیر، تعداد تقاطع یک پاره‌خط (از نقطه‌ی مورد نظر به یک نقطه خارج از پلیگون) با مرز پلیگون شمارش می‌شود. در صورتی که این تعداد فرد باشد، نقطه داخل پلیگون و در صورتی که زوج باشد خارج از پلیگون قرار دارد. در دیاگرام ورونوی با یک جستجوی ساده و پیدا کردن سلول ورونوی که نقطه داخل آن قرار دارد، می‌توان مسأله را حل کرد.



### ۳-۱-۲- بافر<sup>۹</sup>

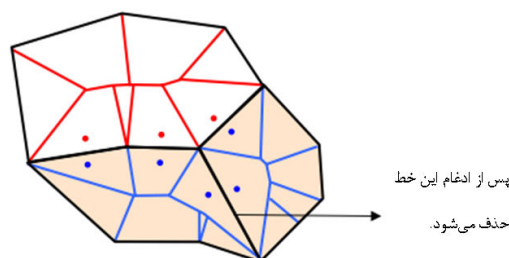
در تعدادی از تحلیل‌های مکانی نیاز به مشخص کردن ناحیه‌ای در اطراف یک عارضه‌ی مکانی می‌باشد. در این تحلیل‌ها استفاده از بافر در اطراف شیء، با یک فاصله‌ی مشخص از آن مرسوم می‌باشد. محاسبه‌ی بافر در ساختار داده‌ی بردار و رستر، دارای محاسبات سنگین تقاطع خطوط و منحنی‌های دایره‌ای می‌باشد. در روش دیاگرام ورونوی، با محاسبه‌ی تقاطع یال‌های ورونوی و خطوط بافر می‌توان ناحیه‌ی بافر را محاسبه کرد. شکل ۳ ناحیه‌ی بافر را برای یک خط نشان می‌دهد [۱۵].



شکل ۳- ایجاد ناحیه‌ی بافر با استفاده از دیاگرام ورونوی [۱۵]

### ۳-۱-۳- ادغام<sup>۱۰</sup>

ادغام پلیگون‌هایی که در یک کلاس قرار دارند، یکی دیگر از تحلیل‌های مورد استفاده در GIS می‌باشد. در روش‌های کلاسیک پس از هر عملیات جدید، نیاز به یکبار بازسازی کل توپولوژی می‌باشد. در روش دیاگرام ورونوی، هر پلیگون توسط چند سلول ورونوی که مربوط به نقاط کناره‌ی داخلی مرز می‌باشد، تشکیل شده است. سلول‌های هر کلاس دارای برچسب یکسان بوده و با حذف خطوط ما بین سلول‌های با برچسب یکسان می‌توان عملیات ادغام را انجام داد (شکل ۴) [۱۵].



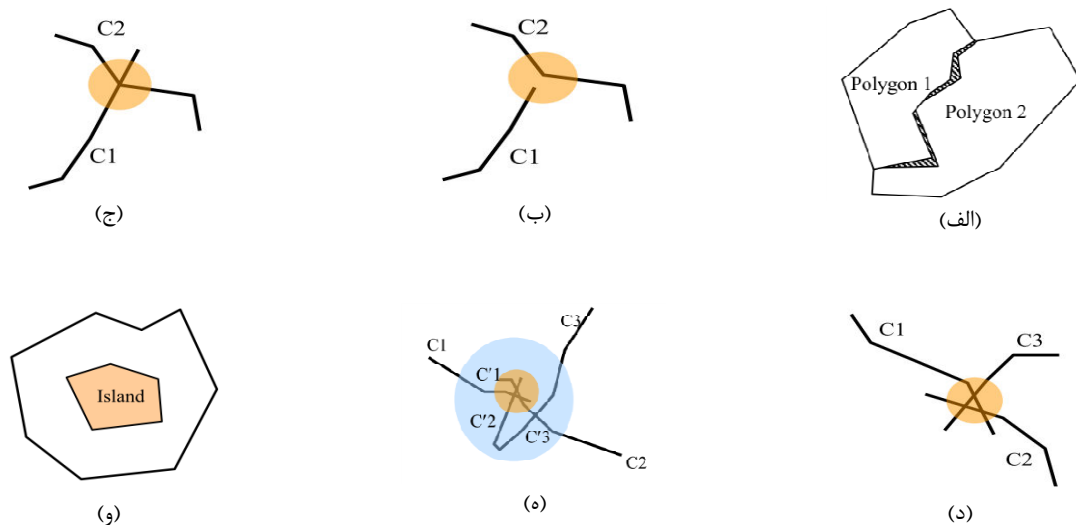
شکل ۴- عملیات ادغام پلیگون‌ها با استفاده از دیاگرام ورونوی [۱۵]

### ۳-۱-۴- رقوم‌سازی<sup>۱۱</sup>

در عملیات رقوم‌سازی، نقشه‌های آنالوگ به دیجیتال تبدیل می‌شود. زمان لازم برای پیدا کردن تمامی تقاطع‌ها، برای ساخت توپولوژی، بسیار زیاد است. به علاوه از آنجا که هر پلیگون به صورت مجزا رقوم می‌شود، مشکلاتی از قبیل Silver polygons در هنگام ایجاد مرز مشترک بین دو پلیگون مجاور وجود دارد (شکل ۵-الف). همچنین ممکن است تعدادی از خطاهای انسانی از قبیل خطای ردشدگی<sup>۱۲</sup> و نرسیدگی<sup>۱۳</sup> رخ دهد (شکل ۵-ب و ۵-ج). امکان برخورد منحنی-

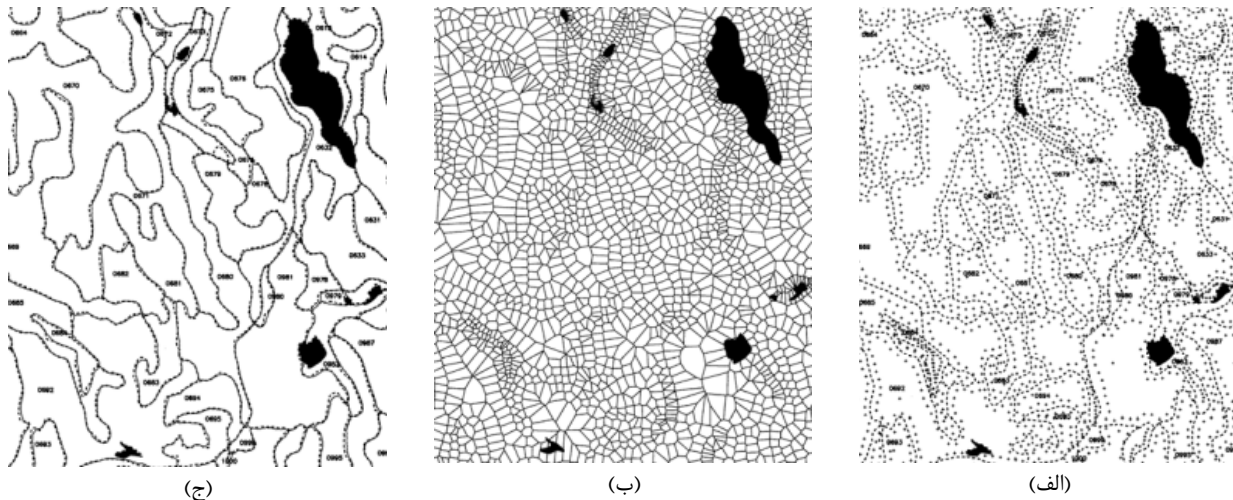


ها در سه یا بیشتر از سه نقطه در یک ناحیه‌ی کوچک به جای یک نقطه نیز وجود دارد (شکل ۵-د). در پاره‌ای از مواقع به علت دقت پایین اپراتور، امکان بروز حلقه در محل برخورد چند منحنی وجود دارد (شکل ۵-ه). یکی دیگر از خطاهای معروف وجود حفره<sup>۱۴</sup> در ساختار می‌باشد (شکل ۵-و). در تئوری گراف‌ها، حفره به یک شکل پلیگونی گفته می‌شود که هیچ ارتباطی با سایر اشیاء نقشه ندارد. بنابراین شناسایی آن بر اساس یک مدل نقطه، خط، سطح امکان پذیر نبوده و نیاز به یک مدل داده‌ی هوشمندتر برای مدیریت این مشکل می‌باشد. دیاگرام ورونوی با نگاهی متفاوت از روش‌های کلاسیک به این مسأله می‌نگرد. برای هر شیء یک سلول ورونوی وجود دارد و برای هر سلول، همسایگی‌ها به خوبی تعریف شده است. بنابراین، شناسایی یک شیء که به صورت حفره ظاهر شده، نمی‌تواند مشکلی ایجاد کند.



شکل ۵- خطاهای رایج در روش‌های رقومی‌سازی سنتی: (الف) Silver polygons، (ب) نرسیدگی، (ج) ردشدگی، (د) چند رأسی، (ه) حلقه و (و) وجود حفره [۱۵]

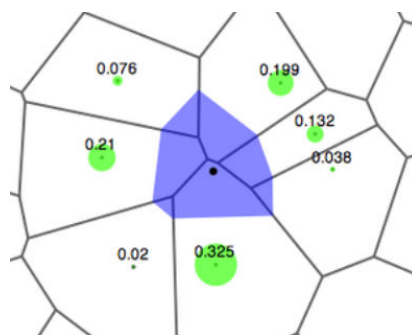
دیاگرام ورونوی اشیاء که بیانگر مناطق نزدیک به هر شیء می‌باشد، معمولاً به عنوان یک روش مناسب جهت ساختاردهی مکانی اشیاء و ایجاد ارتباطات همسایگی مورد استفاده قرار می‌گیرد. ایجاد توپولوژی با استفاده از دیاگرام ورونوی را می‌توان در روش ارائه شده توسط Gold مشاهده کرد [۵]. شکل ۶، یک نمونه از کاربردهای این روش در استخراج مرز پلی‌گون‌های یک نقشه‌ی اسکن شده را نشان می‌دهد. این روش به‌جای رقومی کردن تمام عوارض، از یک نقشه‌ی اسکن‌شده استفاده می‌کند. نقاط حاشیه‌ای به صورت اتوماتیک در هر دو طرف مرز یک پلی‌گون ایجاد می‌شود (شکل ۶-الف). نقاط داخل هر پلی‌گون با رنگی متفاوت از سایر نقاط مشخص می‌گردند. در گام بعدی دیاگرام ورونوی این نقاط ایجاد می‌شود (شکل ۶-ب). پس از آن تمام یال‌های ورونوی که بین دو نقطه با رنگ یکسان می‌باشند حذف می‌گردد. نتیجه‌ی نهایی که در شکل ۶-ج نشان داده شده است، خطوط مرزی به همراه یک ساختار توپولوژیکی می‌باشد.



شکل ۶- استخراج مرز پلی‌گون‌های یک نقشه‌ی اسکن شده: (الف) استخراج نقاط حاشیه‌ای به صورت اتوماتیک در هر دو طرف یک مرز پلی‌گون (ب) دیاگرام ورونوی نقاط حاشیه‌ای (ج) مرزهای استخراج شده [۴]

### ۳-۱-۵- درون‌یابی مکانی<sup>۱۵</sup>

تخمین مقدار ارتفاع یک نقطه‌ی خاص با استفاده از مجموعه‌ای از نقاط مشاهده شده، درون‌یابی نامیده می‌باشد. روش‌های مختلفی شامل روش میانگین وزن‌دار<sup>۱۶</sup>، کریجینگ<sup>۱۷</sup>، نزدیک‌ترین همسایه<sup>۱۸</sup> و غیره وجود دارد. یکی از روش‌های دیگر، روش مبتنی بر دیاگرام ورونوی می‌باشد. در این روش که به روش مساحت دزدیده‌شده<sup>۱۹</sup> معروف است، پس از اضافه کردن نقطه‌ی مورد نظر به ساختار ورونوی، ابتدا سلول‌های همسایه‌ی نقطه‌ی مورد نظر تعیین شده و مساحت آنها محاسبه می‌گردد. بعد از حذف نقطه‌ی مورد نظر از دیاگرام، مساحت سلول‌های همسایه دوباره محاسبه می‌شود. بدین ترتیب، اولاً فقط نقاط متناظر با سلول‌های همسایه در درون‌یابی شرکت می‌کنند و ثانیاً وزن هر نقطه برابر با اختلاف دو مساحت بدست آمده، پیش و پس از حذف نقطه درون‌یابی از ساختار ورونوی، می‌باشد (شکل ۷).



شکل ۷- روش مساحت دزدیده‌شده؛ دایر سبز رنگ در این مثال نشان دهنده‌ی وزن نقاط همسایه می‌باشند.

### ۳-۱-۶- ساختارهای داده‌ی دینامیک

اغلب ساختارهای داده‌ی کلاسیک، استاتیک هستند. به منظور وارد کردن و یا حذف یک شیء از ساختار داده نیاز به یک ساختار داده‌ی دینامیک می‌باشد. در روش‌های کلاسیک، با ورود و یا حذف یک شیء، نیاز به بازسازی کل ساختار و

مجاورت‌ها می‌باشد، که اینکار در مواجهه با داده‌های حجیم، موجب کاهش کارایی می‌شود. با استفاده از دیاگرام ورونوی می‌توان یک ساختار داده‌ی دینامیک ایجاد کرد که با ورود یا حذف یک شیء، تنها بخشی از ساختار داده به صورت محلی، به‌روز می‌شود [۹، ۱۰، ۱۲، ۱۳].

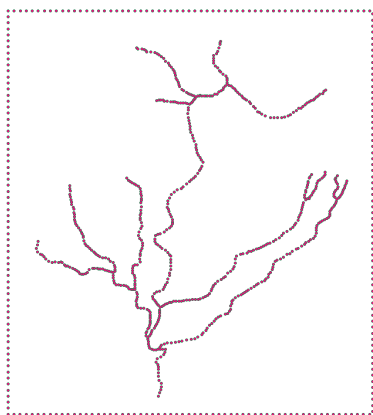
#### ۴- پیاده‌سازی و کاربردهای عملی

تعیین حوضه‌ی آبریز و شبکه‌ی زهکشی، پایه و اساس بسیاری از تحلیل‌های هیدرولوژیکی را تشکیل می‌دهند. از این‌رو تعیین حوضه‌ی آبریز یکی از مسائل مهم در علم هیدرولوژی به شمار می‌آید. هم‌اکنون راه‌حل‌های مختلفی برای استخراج حوضه‌های آبریز وجود دارد. بخش عمده این راه‌حل‌ها، از مدل رقومی زمین برای استخراج شکل و توصیف حوضه‌های آبریز و شبکه‌ی آبراهه‌ها استفاده می‌کنند. مشکل اصلی استفاده از این روش‌ها آن است که در صورت استفاده از داده‌های رقومی با کیفیت بالا، تعداد سلول‌ها افزایش یافته و در نتیجه انجام تجزیه و تحلیل‌های مربوط به شکل زمین برای تمام حوضه‌ی آبریز به‌طور یکپارچه زمانبر و گاهی غیرعملی خواهد بود.

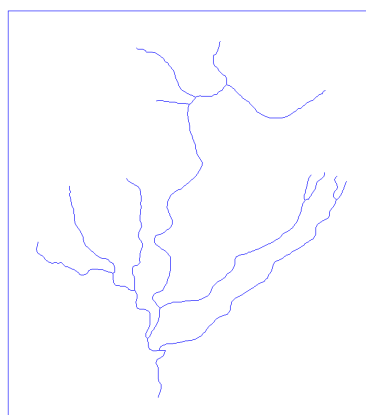
در ادامه، برای بررسی قابلیت استفاده عملی از دیاگرام ورونوی، نتایج یکی از تحقیقات در حال انجام برای استخراج حوضه‌ی آبریز با استفاده از دیاگرام ورونوی، نشان داده می‌شود. هدف از انجام این تحقیق، فراهم آوردن یک الگوریتم مناسب برای استخراج حوضه‌های آبریز با استفاده از داده‌های برداری شبکه‌ی رودخانه‌ها، با استفاده از تحلیل‌های مکانی موجود در محاسبات هندسی می‌باشد.

در راه حل پیشنهادی این تحقیق از هیچ داده‌ی ارتفاعی استفاده نشده و شبکه‌ی رودخانه‌ها، تنها داده‌ی مورد استفاده در این روش خواهد بود. این مسئله از آن جهت حائز اهمیت است که در بسیاری از تحلیل‌های محلی، شبکه‌ی رودخانه‌ها، تنها داده‌ی موجود می‌باشد. در رویکرد پیشنهادی، ابتدا خطوط در شبکه‌ی رودخانه‌ها به نقاط با فواصل کم تبدیل می‌شود. پس از محاسبه‌ی مثلث بندی دلونی و دیاگرام ورونوی نقاط، با استفاده از الگوریتم ارائه شده توسط Gold [۵]، نمودارهای Crust و Skeleton استخراج می‌شود. در این حالت، خطوط Crust نشان دهنده‌ی خطوط شبکه‌ی رودخانه‌ها و Skeleton نمایش منطقی از مرز حوضه‌ی آبریز خواهد بود. با توجه به عدم استفاده از مدل رقومی زمین، در این روش، اطلاعاتی در مورد شیب در دسترس نیست. بنابراین فرض بر این است که شیب در دو جهت حوضه، ثابت و در نتیجه مرز حوضه‌ی آبریز دارای فاصله‌ی برابر از دو طرف رودخانه می‌باشد.

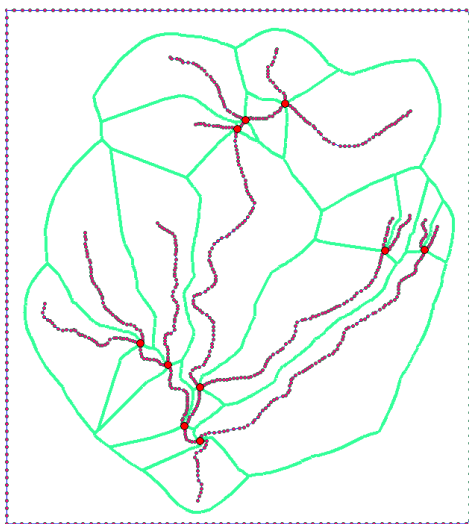
شکل ۸، نتایج روش ارائه شده برای استخراج حوضه‌ی آبریز را نشان می‌دهد. همان‌طور که نشان داده شده است با نمونه‌برداری از شبکه‌ی رودخانه‌ها (شکل ۸-الف) با تراکم بالا (شکل ۸-ب) و محاسبه‌ی دیاگرام ورونوی این نقاط (شکل ۸-ج) می‌توان به استخراج حوضه‌ی آبریز (شکل ۸-د) پرداخت. جزئیات مربوط به نحوه پیاده‌سازی الگوریتم در [۳] ارائه شده است.



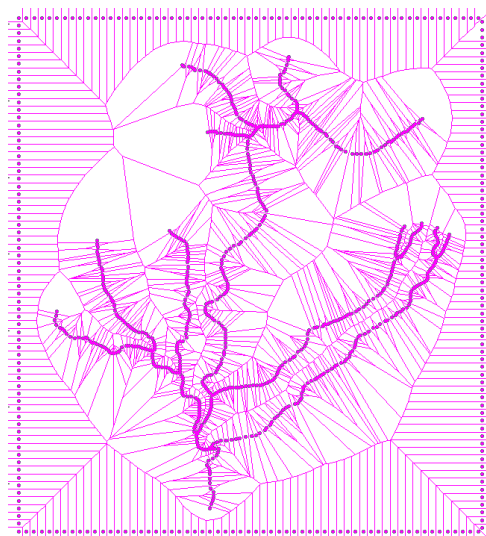
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

شکل ۸- استخراج حوزه‌ی آبریز از روی شبکه‌ی رودخانه‌ها با استفاده از دیاگرام ورونوی: (الف) شبکه‌ی رودخانه، (ب) نقاط نمونه‌برداری شده از شبکه‌ی رودخانه، (ج) دیاگرام ورونوی نقاط نمونه‌برداری شده و (د) حوزه‌ی آبریز استخراج شده

به طور کلی، سه مزیت عمده را برای روش پیشنهادی می‌توان در نظر گرفت. نخست اینکه داده‌های ورودی این روش (شبکه‌ی برداری رودخانه‌ها) دارای صحت و دقت بالاتری نسبت به مدل رقومی زمین می‌باشد و در نتیجه، حوزه‌ی آبریز به دست آمده از آنها نیز از دقت بالاتری برخوردار خواهد بود. مزیت دوم اینکه با توجه به حجم بالای مدل رقومی زمین، پردازش‌های آنها زمانبر می‌باشد، به نحوی که در اکثر مواقع پیش‌پردازش‌های لازم برای تصحیح مدل رقومی زمین بسیار زمان‌بر است؛ در صورتی که داده‌های برداری شبکه آبراهه‌ها دارای حجم پایین بوده و در نتیجه سرعت پردازش بر روی آنها بیشتر خواهد بود. در نهایت می‌توان به مزایای استفاده از ساختارهای داده‌ی مثلث‌بندی دلونی و دیاگرام ورونوی اشاره کرد که ساختار توپولوژیکی آنها، علاوه بر حفظ داده‌های ورودی، توسعه‌ی الگوریتم‌های پیاده‌سازی شده را نیز آسان می‌کند.

## ۷- نتیجه گیری

در این مقاله محاسبات هندسی معرفی شده و ویژگی‌ها و کاربردهای آن در GIS مورد بررسی قرار گرفت. بالاخص، دیاگرام ورونوی و نمونه‌هایی از کاربردهای آن در حل مسائل GIS مورد بررسی قرار گرفته و یک نمونه عملی از آن برای استخراج حوزه ی آبریز ارائه گردید.

محاسبات هندسی می‌تواند نقش به‌سزایی در بالا بردن کارایی الگوریتم‌های هندسی موجود در GIS داشته باشد. اما دلایلی وجود دارد که نشان می‌دهد محاسبات هندسی با وجود این پتانسیل بالقوه‌ی خود، نتوانسته است این نقش را به طور کامل ایفا کند؛ در GIS، معمولاً حجم داده‌های هندسی بالاست و تمرکز الگوریتم‌ها بر روی کاهش پیچیدگی‌های فضایی است. برای خروجی‌ها معمولاً یک خطای مجاز در نظر گرفته می‌شود و تا حد امکان از به‌کارگیری ساختارهای داده‌ی پیچیده در الگوریتم‌ها اجتناب می‌شود. به علاوه، اکثر نتایج ارائه شده در تحقیقات شامل ایده‌های پیاده‌سازی شده و نتایج تجربی می‌باشد. این درحالی است که در محاسبات هندسی، داده‌ها دارای دقت بالا و حجم پایین می‌باشد و معمولاً فرض می‌شود، حالت‌های خاص در داده‌ها رخ نداده است. بررسی ساختارهای هندسی و پیچیدگی زمانی در بدترین حالت از مهمترین موضوعات قابل بحث در محاسبات هندسی می‌باشد. به‌علاوه، اکثر مباحث محاسبات هندسی به صورت تئوری‌های قوی ریاضی به همراه اثبات آورده شده است.

با توجه به گستره‌ی وسیع علم GIS در علوم مختلف، یکی از اهداف اصلی ارائه‌ی این مقاله، آشنایی بیشتر محققان این رشته با علم محاسبات هندسی و کاربرد آن در GIS بود. نیاز به تحقیقات بیشتر در زمینه‌ی محاسبات هندسی برای حل مسائل و مشکلات GIS می‌تواند کمک شایانی در پیشرفت هرچه بیشتر GIS باشد.

## پانویس

1. Computational Geometry
2. Voronoi Diagram
3. Delaunay Triangulation
4. Efficiency
5. Complexity
6. Motion planning
7. Overlay
8. Spatial Queries
9. Buffer
10. Dissolve
11. Digitizing
12. Overshoot
13. Undershoot
14. Island
15. Spatial interpolation
16. Weighted average
17. Kriging
18. Nearest neighbor
19. Area stealing

1. Aurenhammer, F.: 'Voronoi Diagrams - A Survey of a Fundamental Geometric Data Structure', 1991, 23, (3), pp. 345-405
2. De Berg, M., Cheong, O., and Van Kreveld, M.: 'Computational geometry: algorithms and applications' (Springer-Verlag New York Inc, 2008.
3. Ghandehari, M., and Karimipour, F.: 'Voronoi-based Curve Reconstruction: Issues and Solutions': 'Submitted to The International Conference on Computational Science and Its Applications (ICCSA 2012)' (Springer-Verlag, 2012)
4. Gold, C., and Dakowicz, M.: 'The Crust and Skeleton—Applications in GIS'. Proc. Proceedings, 2nd. International Symposium on Voronoi Diagrams in Science and Engineering 2005
5. Gold, C., and Snoeyink, J.: 'A one-step crust and skeleton extraction algorithm', Algorithmica, 2001, 30, (2), pp. 144–163
6. Goodman, J.E., and O'Rourke, J.: 'Handbook of discrete and computational geometry' (CRC press, 2004. 2004)
7. Guibas, L., Knuth, D., and Sharir, M.: 'Randomized Incremental Construction of Delaunay and Voronoi Diagrams', Journal of Algorithmica, 1992, 7, (6), pp. 381-413
8. Guibas, L., and Stolfi, J.: 'Primitives for the Manipulation of General Subdivisions and the Computation of Voronoi Diagrams', ACM Transactions on Graphics, 1985, 4, (2), pp. 74-123
9. Rezayan, H., Frank, A.U., Karimipour, F., and Delavar, M.R.: 'Temporal Topological Relationships of Convex Spaces in Space Syntax Theory' (Taylor and Francis, 2005, edn.), pp. 81-91
10. Karimipour, F., Delavar, M.R., and Frank, A.U.: 'Applications of Category Theory for Dynamic GIS Analysis', (2005, edn.)
11. Karimipour, F., Delavar, M.R., and Frank, A.U.: 'A Simplex-Based Approach to Implement Dimension Independent Spatial Analyses', Journal of Computer and Geosciences, 2010, 36, (9), pp. 1134-1123
12. Karimipour, F., Delavar, M.R., Frank, A.U., and Rezayan, H.: 'Point in Polygon Analysis for Moving Objects', (ISPRS Working Group II/IV, International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2005, edn.), pp. 68-72
13. Karimipour, F., Frank, A.U., and Delavar, M.R.: 'An Operation-Independent Approach to Extend 2D Spatial Operations to 3D and Moving Objects', Proceedings of the 16th ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems (ACM GIS 2008)
14. Ledoux, H.: 'Modelling Three-dimensional Fields in Geo-Science with the Voronoi Diagram and its Dual', School of Computing, University of Glamorgan, 2006
15. Mostafavi, M.A.: 'Development of a Global Dynamic Data Structure', Ph.D, University of Laval, 2002
16. Okabe, A., Boots, B., Sugihara, K., and Chiu, S.N.: 'Spatial Tessellations: Concepts and Applications of Voronoi Diagrams (2nd Edition)' (John Wiley, 2000. 2000)
17. O'Rourke, J.: 'Computational Geometry in C (2nd Edition)' (Cambridge University Press, 1998.)
18. van Oostrum, R.W.: 'Geometric algorithms for geographic information systems' (Utrecht, 1999.)



تفکر مکان محور برای پیشرفت جامعه



دومین همایش بین‌المللی تهیه نقشه و اطلاعات مکانی  
و نوزدهمین همایش ملی ژئوماتیک



سازمان نقشه‌برداری کشور

**محققین ارجمند:**

**مهران قندهاری و فرید کریمی‌پور**

بدین وسیله از حضور ارزنده شما و ارائه مقاله تحت عنوان:  
"استفاده از محاسبات هندسی در بستر سامانه‌ی اطلاعات  
مکانی (مطالعه‌ی موردی: دیاگرام ورونوی)" به صورت پوستری  
در نوزدهمین همایش ملی ژئوماتیک ۹۱ تشکر و قدردانی  
می‌گردد.

از درگاه خداوند سبحان سلامتی، سعادت، و توفیق  
روزافزون برایتان آرزومندیم.

و من... التوفیق

هادی واعظی

معاون فنی سازمان نقشه‌برداری کشور

و

دبیر کل همایش