# آنالیز زمانی و مکانی تصادفات رانندگی با استفاده از تراکم پنجره‌ای فازی

مهدی احمدی (مسئول مکاتبات)، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده ژئودزی و ژئوماتیک (نقشه برداری)،

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

عباس علیمحمدی، دانشیار، دانشکده ژئودزی و ژئوماتیک (نقشه برداری)، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

E-mail: mah.ahmadi360@gmail.com

دریافت:۱۳۹۲/۱۲/۰۳ پذیرش:۱۳۹۳/۰۹/۱۵

## چکیده

**در این تحقیق الگوی زمانی و مکانی تصادفات رانندگی بزرگراه کرج - قزوین بر حسب پارامترهای مختلف بررسی شده است. تغییر الگوی زمانی و مکانی تصادفات با توجه به زمان، عامل انسانی، نوع برخورد و نوع تصادف مورد بررسی قرار گرفته است. تحلیل زمانی تصادفات با استفاده از نمودار عنکبوتی انجام شده است. برای بررسی الگوی توزیع مکانی تصادفات ابتدا داده های تصادفات به اعداد فازی تبدیل، و سپس با استفاده از تراکم پنجره ای فازی الگوی مکانی توزیع تصادفات بر حسب پارامترهای مختلف بررسی شده است. نتایج تحقیق نشان می‌دهند که عوامل مختلف همچون ساعت، نوع برخورد، نوع تصادف، نقش عامل انسانی، روز های هفته و وضعیت جوی الگوی مکانی مشخصی دارند و با بررسی آنها می‌توان علت الگو های مختلف را کشف کرد. با استفاده از نتایج این تحقیق، مناطق بحرانی بر اساس عامل‌های مختلف مشخص شده اند و پیشنهادهایی برای کاهش وقوع تصادفات ارائه شده است.**

**واژه‌های کلیدی:** تصادفات رانندگی ، توزیع زمانی– مکانی ، تراکم پنجره ای[1]، تراکم پنجره ای فازی

## ۱. مقدمه

ابعاد هولناک حوادث رانندگی و تلفات انسانی و اقتصادی آن، سازمان ملل را وادار نموده است که دهه پیش رو را به عنوان "دهه اقدام برای ایمنی جاده‌ها" نام‌گذاری کند. بر اساس گزارش سازمان بهداشت جهانی تصادفات رانندگی در زمره هشت عامل ابتدایی موثر بر مرگ و میر در جهان است. همچنین تصادفات رانندگی تأثیرگذارترین عامل فوت در میان جوانان (۲۹-۱۵ سال) است. هزینه تصادفات رانندگی در کشور های در حال توسعه تقریباً برابر با ۱ تا ۲ درصد تولید ناخالص آنها است، که تقریباً برابر با ۱۰۰ میلیارد دلار در سال است [WHO, 2013]. عوامل مختلف به طور مستقیم و غیر مستقیم بر وقوع تصادفات تأثیر می‌گذارند. بررسی توزیع زمانی و مکانی تصادفات رانندگی از راهکارهای مکان مبنا است که در جهت شناسایی توزیع و کاهش خسارت تصادفات رانندگی استفاده می‌شود [Kilamanu et al . 2011].

عوامل متعددی بر وقوع تصادفات رانندگی تأثیرگذار هستند. تجمع چند عامل در یک مکان باعث بالا رفتن نرخ تصادفات می‌شود و به این ترتیب نقاط بحرانی بوجود می‌آیند. شناسایی نقاط بحرانی برای کشف علت وقوع تصادف و جلوگیری از وقوع تصادف در آن نقطه مورد نیاز است. سیستم اطلاعات مکانی با استفاده از روش‌های مکان مبنای خود می‌تواند نقاط بحرانی و رابطه های همبستگی مکانی میان وقوع تصادفات و عوامل مختلف را کشف کند [Blazquez and Celis, 2012]. برای تحلیل نقاط بحرانی داده‌های نقطه‌ای روش‌های مختلفی وجود دارد [Mccullagh, 2006]. تحقیقات مختلفی با استفاده از روش‌های GIS[۲] به تحلیل الگوی مکانی تصادفات رانندگی پرداخته اند. تحلیل مکانی تصادفات با استفاده از روش‌های مختلفی همچون Getis-Ord Gi* [Getis and Ord, 1992]، شاخص خود همبستگی I موران [Moran, 1948] و K-means در تحقیقات مختلف استفاده شده است ([Anderson, 2009]، [Kingham, 2011]، [Gundogdu, 2010]، [Blazquez, 2012] و [Prasannakumar et.al. 2011]). اما یکی از پر کاربردترین روش‌های تحلیل مکانی تصادفات که در تحقیقات گوناگون استفاده شده است، تراکم پنجره‌ای است. از آنجایی‌که روش تراکم پنجره ای یک روش ساده برای پیاده سازی و فهم است در تحقیقات مختلف استفاده شده است ([Plug et.al. 2011]، [Blazquez and Celis, 2012]، [Prasanna-kumar et.al. 2011]، [Anderson, 2006]، [Xia, 2011]، [Kilamanu et.al. 2011]، [Anderson, 2009]، [Kuo et.al. 2011]، [Xie and Yan, 2008]). در هر تحقیق نوع خاصی از داده‌های تصادفات و نقاط بحرانی آنها مورد بررسی قرار گرفته است. برای مثال تصادفات ناشی از آمد و شد مدارس و الگوی مکانی آنها در تحقیق Kingham و دیگران (۲۰۱۱) مورد بررسی قرار گرفته است. Kilamanu و دیگران (۲۰۱۱) الگوی تصادفات تک خودرو و چند خودرو را مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج تحقیقات نشان می دهند که بررسی نقش عوامل مختلف و رابطه آنها با وقوع تصادفات حایز اهمیت است.

الگوی مکانی تصادفات در زمان‌های مختلف متفاوت است. به‌عبارت دیگر نقاط بحرانی در زمان‌های مختلف متفاوت هستند و همچنین زمان‌های مختلف نیز دارای نقاط بحرانی وقوع تصادفات هستند. بنابراین تحقیقات مختلفی به تحلیل زمانی-مکانی تصادفات پرداخته‌اند ([Xia, 2011]، [Kilamanu et.al. 2011]، [Plug et.al. 2011]). روش های مختلفی جهت بررسی الگوی زمانی-مکانی تصادفات ارایه شده است که Asgari و دیگران (۲۰۱۰) سه روش Isosurface، Animation و Co-map را مهم‌ترین و کاربردی‌ترین روش‌ها می‌دانند. در روش انیمیشن از Snap-Shot ها جهت نمایش تغییرات الگوی مکانی در زمان‌های مختلف استفاده می کنند، به این صورت که برای هر بازه زمانی یک نقشه الگوی مکانی ترسیم می‌کنند و با پشت سر هم قرار دادن این نقشه‌ها یک انیمیشن ایجاد می‌شود. مشکل این روش این است که الگوی زمانی فقط برای یک بازه قابل دیدن است و نمی‌توان تمام الگوها را با هم دید و مقایسه کرد. در روش Isosurface از یک سیستم مختصات سه بعدی استفاده می‌شود که دو بعد آن مکان و بعد سوم زمان است. در این روش برای محاسبه تراکم رویدادها از یک تراکم پنجره‌ای سه بعدی استفاده می‌شود [Brunsdon et al. 2009]. روش سوم Comap است

که با کنار هم قرار دادن نقشه‌های الگوی مکانی برای بازه‌های زمانی مختلف امکان تحلیل زمانی–مکانی را فراهم می‌کند. از آنجایی که روش Comap روش مورد استفاده در این تحقیق است توضیحات کلی آن در ادامه بیان خواهد شد.

برای تحلیل مکانی داده‌های تصادفات باید روشی انتخاب شود که با ماهیت داده‌ها همخوانی داشته باشد. Xia (۲۰۱۱) برای داده‌های مختصاتی خود از روش تراکم پنجره‌ای استفاده کرده است در حالی که Blazquez و Celis (۲۰۱۲) به علت منطقه بندی بودن داده‌ها از روش Getis-Ord Gi* استفاده کرده‌اند. Gundogdu (۲۰۱۰) به علت خطی بودن ثبت داده‌های تصادفات از روش LRM[۳] جهت بررسی توزیع تصادفات استفاده کرده است. در این تحقیق نیز به علت ماهیت تصادفات که دارای عدم اطمینان هستند و به صورت کیلومتری ذخیره شده‌اند، روش تراکم پنجره‌ای فازی برای بررسی الگوی توزیع تصادفات معرفی و سپس در تحلیل زمانی– مکانی بنا بر پارامترهای ساعت، نوع برخورد، نوع تصادف، نقش عامل انسانی، روزهای هفته و وضعیت جوی استفاده شده است.

## ۲. هدف و ساختار داده‌های تحقیق

هدف از این تحقیق بررسی تغییر الگوی مکانی تصادفات رانندگی بر حسب پارامترهای مختلف است. این الگوها می‌توانند در جهت کشف مناطق خطرناک مفید باشند. با بررسی علت وجود هر الگو می‌توان علت وقوع تصادفات زیاد در یک ناحیه را بررسی و سپس با استفاده از این الگو ها در جهت رفع مشکلات موجود تلاش کرد. مسیر مورد مطالعه این تحقیق محور بزرگراه کرج– قزوین به طول ۱۰۵ کیلومتر است که یکی از مهم‌ترین محور های حمل و نقل در کشور است. شروع این محور از پل پردیس واقع در شهر کرج و پایان آن میدان مینودر، ابتدای شهر قزوین است. تصادفات رخ داده در این محور از طریق پلیس راهور استعلام شده است. تعداد کل تصادفات برابر با ۹٦٤۱ تصادف است. تصادفات از ۲۸ تیر ۱۳۸۸ تا ۳۰ تیر ۱۳۹۱ از پلیس راهور استعلام شده‌اند. محل وقوع تصادفات بر حسب کیلومتر از شهر کرج مشخص شده است که این موقعیت فقط برای ۵۲۰٤ تصادف موجود است.

بنابراین در این تحقیق الگوی زمانی و مکانی تصادفات مختصات دار مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

## ۳. روش تحقیق

تصادفات رانندگی با توجه به زمان و مکان از الگوهای مختلفی پیروی می‌کنند، بنابراین در این تحقیق بررسی توزیع زمانی و مکانی تصادفات مورد توجه قرار گرفته است. یکی از روش‌های بررسی الگوی توزیع مکانی تراکم پنجره ای است. این تراکم از رابطه ۱ محاسبه می‌شود [Silverman,1986]:

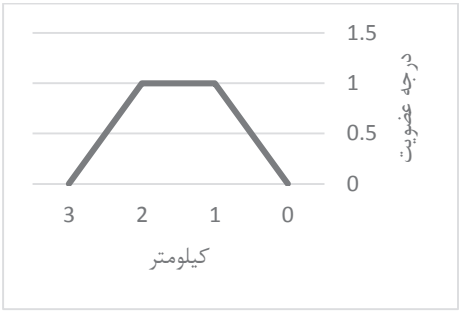
$$D(x) = \frac{1}{nh}\sum_{i=a}^{n} K\left(\frac{x-x_i}{h}\right) \qquad (۱)$$

در این فرمول K تابع پنجره است که برای مثال می‌تواند تابع گوسین باشد. x موقعیت نقطه‌ایست که قصد داریم برای آن تراکم را حساب کنیم، $x_i$ نقاط موجود از داده هستند، n تعداد نقاط و h پهنای باند تاثیر پنجره است. محاسبه تراکم از روش پنجره‌ای، زمانی مفید است که داده‌ها ماهیت نقطه‌ای داشته باشند، اما در این تحقیق در مورد داده‌های تصادفات این روش صحت ندارد، زیرا موقعیت تصادفات در یک بازه یک کیلومتری از جاده بیان شده است. از طرفی چون تعیین فاصله از مبدا برای تصادفات به صورت تخمینی انجام می‌شود بنابراین محل آنها دقیق نیست. بنابراین در این تحقیق از تراکم پنجره‌ای فازی استفاده شده است.

### ۳–۱ تراکم پنجره‌ای فازی

به علت عدم اطمینان در موقعیت تصادفات، این داده به اعداد فازی ذوزنقه ای تبدیل شده‌اند. برای این منظور فرض شده است که در جانمایی تصادف یک کیلومتر خطا وجود دارد، بنابراین در فازی سازی تصادفات درجه عضویت تصادف در کیلومتری که برای تصادف مشخص شده است برابر با یک است و سپس به صورت خطی کاهش می‌یابد و در فاصله یک کیلومتری درجه عضویت برابر صفر می‌شود. شکل ۱عدد فازی برای کیلومتر ۲ را نشان می‌دهد. عدد ذوزنقه‌ای فازی توسط ۵ تایی T(a,s1,s2,d1,d2) از رابطه ۲ تعریف می‌شود [Xiangbai and Quanxiong , 2006].

$$T(a,s1,s2,d1,d2) = T(x) = \begin{cases} 1+\frac{x-a-d1}{s1-d1} & a-s1 \le x < a-d1 \\ 1+\frac{a+d2-x}{s2-d2} & a+d2 < x \le a+s2 \\ 1 & a-d1 \le x \le a+d2 \\ 0 & otherwise \end{cases} \quad (۲)$$




**شکل ۱. فازی سازی موقعیت تصادف برای کیلومتر ۲**

فرض کنیم اعداد فازی نمونه $x_1,\ldots,x_n$ از یک جمعیت مشاهده شده باشند، که دارای دامنه [a,b] هستند. اگر برش آلفا[۴] به صورت $\widetilde{X_i}[\alpha] = \left[\widetilde{X_i^L}[\alpha], \widetilde{X_i^U}[\alpha]\right], i = 1,\ldots,n$ تعریف شود، تراکم فازی از رابطه ۳ بدست می‌آید [Arefi et al. 2012].

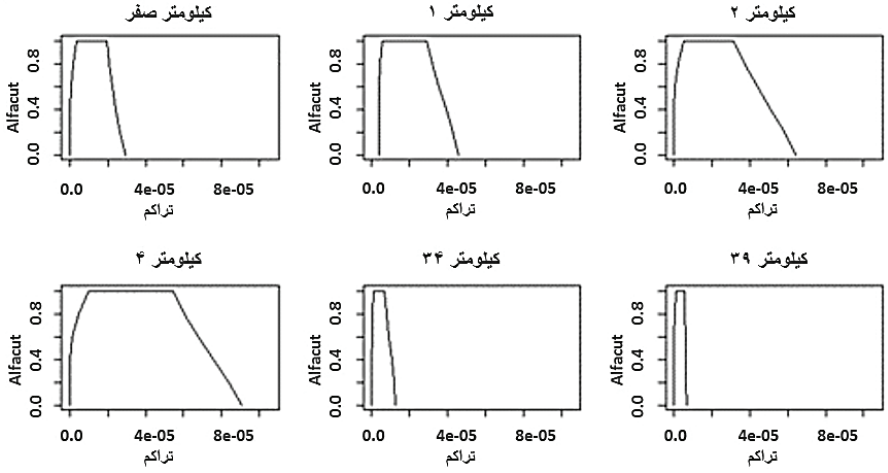
نتیجه تراکم فازی اعداد فازی است که برای بازه‌های مختلف به دست می‌آید. نتیجه تراکم فازی تصادفات محور قزوین-کرج با پهنای باند ۲/۵ کیلومتر و با اندازه سلول ۲۵۰ متر برای چند کیلومتر نمونه در شکل ۲ نمایش داده شده است.

نتیجه تراکم فازی، اعداد فازی هستند و لازم است به اعداد غیرفازی تبدیل شوند. برای این کار از دو مشخصه مهم این اعداد استفاده شده است. در تفسیر اعداد فازی به‌دست آمده دو مشخصه در بزرگی تراکم مناسب هستند. اولین مشخصه مقدار عدد فازی برای درجه عضویت یک است. از شکل مشخص است که درجه عضویت فازی این اعداد یک بازه است، بنابراین از میانه این بازه استفاده شده است. مشخصه دوم سطح زیر منحنی است. اگر دو عدد فازی دارای مقادیر یکسان درجه عضویت یک باشند آنکه مساحت زیر منحنی بیشتری دارد تراکم بیشتری دارد. بنابراین با استفاده از این دو مشخصه اعداد فازی با استفاده از رابطه ٤ به اعداد معمولی تبدیل شده‌اند.

$$D = \sqrt[3]{S(T) * mean(T[1])} \quad (٤)$$

در این رابطه S (T) مساحت زیر منحنی عدد فازی و mean (T [1]) برش آلفای درجه عضویت یک عدد فازی است. تراکم فازی در

$$\begin{aligned} \hat{f}_n(t)[\alpha] &= \frac{1}{nh_n}\sum_{i=1}^{n} K\left(\frac{t-\tilde{X}_i[\alpha]}{h_n}\right) \\ &= \frac{1}{2nh_n}\sum_{i=1}^{n}\left[\inf(K\left(\frac{t-y}{h_n}\right)(y); y \in \widetilde{X}_i[\alpha]\ , \sup(K\left(\frac{t-y}{h_n}\right)(y); y \in \widetilde{X}_i[\alpha]\ \right] \\ &= \left[\frac{1}{nh_n}\sum_{i=1}^{n}\left[\inf(K\left(\frac{t-y}{h_n}\right)(y); y \in \widetilde{X}_i[\alpha]\right] + \frac{1}{nh_n}\sum_{i=1}^{n}\left[\sup(K\left(\frac{t-y}{h_n}\right)(y); y \in \widetilde{X}_i[\alpha]\right]\right] \end{aligned} \quad (۳)$$




**شکل ۲. تراکم فازی محاسبه شده برای کیلومترهای نمونه۰، ۱، ۲، ٤، ۳٤ و ۳۹**

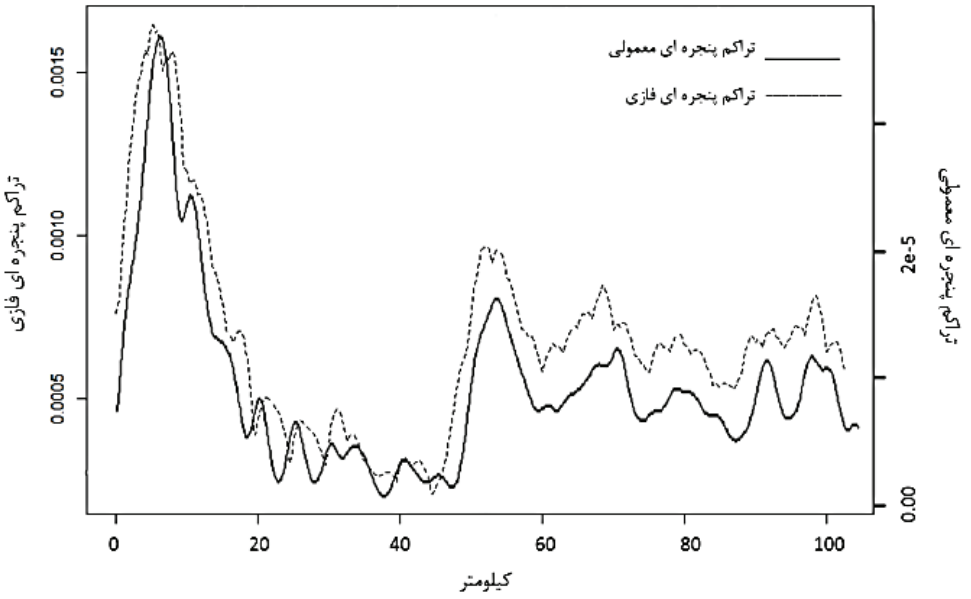
دو حالت معمولی و فازی برای مسیر کرج- قزوین محاسبه شده است که در شکل ۳ نمایش داده شده اند. هر دو تراکم با استفاده از رابطه ۵ با پهنای باند ۲/۵ کیلومتر و اندازه سلول ۲۵۰ متر با پنجره گوسین محاسبه شده‌اند.

$$k(x) = \frac{e^{-\left(\frac{x^2}{2*0.2}\right)}}{\sqrt{2*\pi*0.2}} \qquad (۵)$$

در شکل ۳ مقادیر تراکم فازی بیشتر از تراکم معمولی است، ولی شکل کلی نمودار و فراز و نشیب‌های آن‌ها تقریباً یکسان است. برای دو بیشینه مشخص در این دو نمودار که در کیلومترهای ۵ و ۵۵ اتفاق افتاده است، مشاهده می‌شود که بیشینه تراکم فازی در یک بازه اتفاق افتاده است، در حالی که در تراکم معمولی، بیشینه به صورت نقطه‌ای است. همچنین در این دو نمودار تغییرات نقاط کمینه و بیشینه نسبی قابل مشاهده است. برای مثال در کیلومتر ۹۵ توسط تراکم معمولی یک کمینه با اهمیت نشان داده شده است، در حالی که در تراکم فازی این‌چنین نیست و تراکم در آن نقطه تقریباً با همسایه‌ها برابر است. این تفاوت در کیلومتر ۳۸ نیز قابل مشاهده است. بنابراین از آنجایی که ساختار تراکم فازی با ماهیت داده‌های تصادفات همخوانی بیشتری دارد، تراکم فازی محاسبه شده قابل اعتمادتر است و در این تحقیق برای بررسی الگوی مکانی تصادفات مورد استفاده قرار گرفته است.

### ۳-۲ بررسی عوامل مختلف موثر بر تغییر الگوی تصادفات با استفاده از روش Comap

الگوی مکانی تصادفات بر اساس پارامترهای گوناگون متفاوت است. برای مثال ساعات مختلف روز اثر جداگانه‌ای بر ایجاد تصادفات و الگوی آنها دارند. به این سبب در این قسمت روش Comap توضیح داده می‌شود. ایده اصلی این روش از تابع Cop-lot یا همان Conditional Plot نشأت‌گرفته است که در نرم‌افزار آماری R موجود است. در تابع Coplot از نمایش‌های مختلف کوچک جهت تشخیص تفاوت‌ها استفاده می‌شود. در اصل از این روش برای یافتن رابطه یک زوج از متغیرها (مثلاً x و y) بر اساس شرایط مختلف متغیر سوم (مانند z) استفاده می‌شود [Brundson, 2001]. سؤالی که در Coplot مطرح می‌شود این است که : رابطه بین x و y بر اساس شرایط و یا مقادیر مختلف z چه تغییری می‌کند. رابطه بین زوج متغیر ها بر اساس شرایط مختلف متغیر سوم در نمودارهای مختلف نمایان می‌شود که این نمودارها اسکاتر پلات‌ها هستند. در این روش محدوده متغیر سوم به k طبقه تقسیم بندی می‌شود و سپس تمامی رویدادها براساس مقدار متغیر سوم تقسیم‌بندی می‌شوند. سپس برای هر یک از دسته‌ها اسکاتر پلات بر حسب دو متغیر اول ترسیم می‌شود. اگر




**شکل ۳. مقایسه تراکم پنجره ای معمولی و تراکم فازی در شرایط یکسان**

در Coplot دو متغیر وابسته مختصات نقاط باشند و بجای استفاده از اسکاتر پلات‌ها از نقشه‌ها استفاده شود، می‌توان تغییر الگوی مکانی را بر حسب تغییر رویداد سوم بررسی کرد که به این روش Comap می‌گویند [Brundson, 2001]. در صورتی که پارامتر سوم متغیر عددی پیوسته باشد در دسته‌بندی داده‌ها باید سه نکته زیر رعایت شود [Brundson, 2001].

- بازه‌های مشخص شده برای متغیر سوم باید همپوشانی داشته باشند.
- تعداد متغیرها در همه نمودارها باید برابر باشند.
- نمودارها باید در تمام جهت‌ها (مقیاس، چرخش و ...) ثابت باشند.

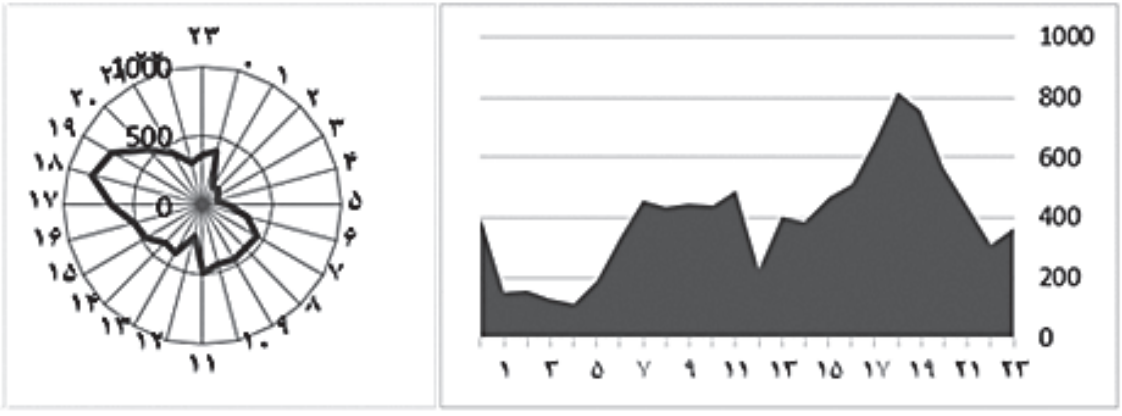
### ۳-۳. نمودار عنکبوتی[۵]

تعداد تصادفات رخ داده در زمان‌های مختلف الگوی زمانی تصادفات را مشخص می‌کنند. با استفاده از نمودارهای ساده می‌توان توزیع تصادفات در ساعات مختف روز را نمایش داد. نکته‌ای که در الگوی زمانی وجود دارد این است که اکثر بازه‌های زمانی خاصیت چرخشی دارند. برای مثال ساعت ۰ همان ساعت ۲۴ است. در نمودار ساده به علت فاصله انداختن بین ابتدا و انتهای نمودار اگر توزیع قابل توجهی در این زمان وجود داشته باشد شکسته می‌شود و به این ترتیب درک صحیحی از این نمودار به وجود نمی‌آید. بنابراین در این تحقیق از نمودار عنکبوتی استفاده شده است، این نمودار علاوه بر حل مشکل قبل به علت شباهت به ساعت با استفاده از آن و یک نگاه اجمالی می‌توان درک بسزایی از توزیع زمانی رویداد داشت [Kila-manu,2011]. در شکل زیر نمودار ساده و عنکبوتی توزیع زمانی تصادفات رانندگی مسیر کرج-قزوین در ساعات مختلف روز نمایش داده شده است.

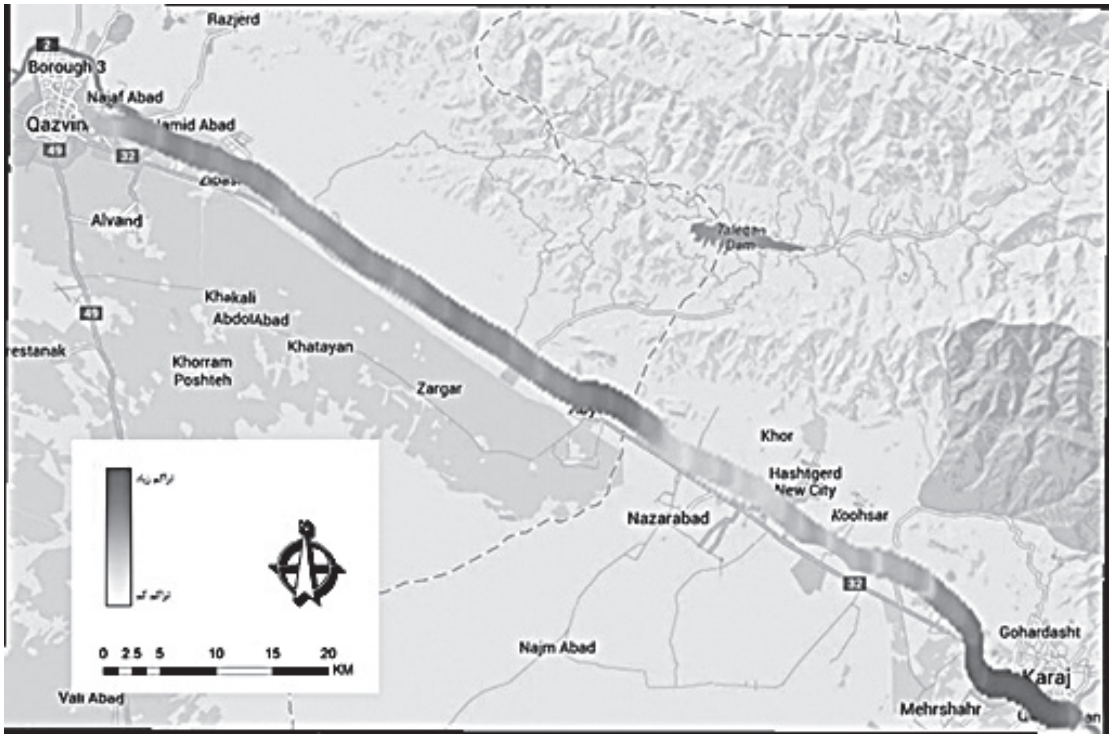
با توجه به توضیحات گفته شده، در این تحقیق برای بررسی نقش عوامل مختلف بر الگوی مکانی تصادفات رانندگی، روش Comap در نرم افزار R بسط و مورد استفاده قرار گرفته است. در این روش از تراکم پنجره‌ای فازی برای نمایش نقشه الگوی مکانی تصادفات استفاده شده است. توزیع زمانی تصادفات نیز با استفاده از نمودار عنکبوتی در نرم افزار Excel تهیه شده است.

## ٤. نتایج

با استفاده از الگوی مکانی تصادفات می‌توان نقاط بحرانی مسیر را شناسایی و با اتخاذ تصمیمات مناسب در جهت کاهش تصادفات در مسیر تلاش کرد. شکل زیر الگوی مکانی توزیع تصادفات در بزرگراه کرج- قزوین را نمایش می‌دهد که با استفاده از تراکم پنجره ای فازی محاسبه شده است. در این نقشه مشخص است که شهر کرج بیشترین میزان تصادفات رخ داده در مسیر را به خود اختصاص داده است. بر اساس وابستگی تصادفات رانندگی به عامل ها و پارامتر های مختلف در این تحقیق نقش عوامل مختلف بر وقوع تصادفات رانندگی بررسی شده است که در ادامه به شرح آنها پرداخته شده است.




**شکل ٤. توزیع زمانی تصادفات بزرگراه کرج قزوین توسط دو نمودار ساده(سمت راست) و عنکبوتی(سمت چپ)**

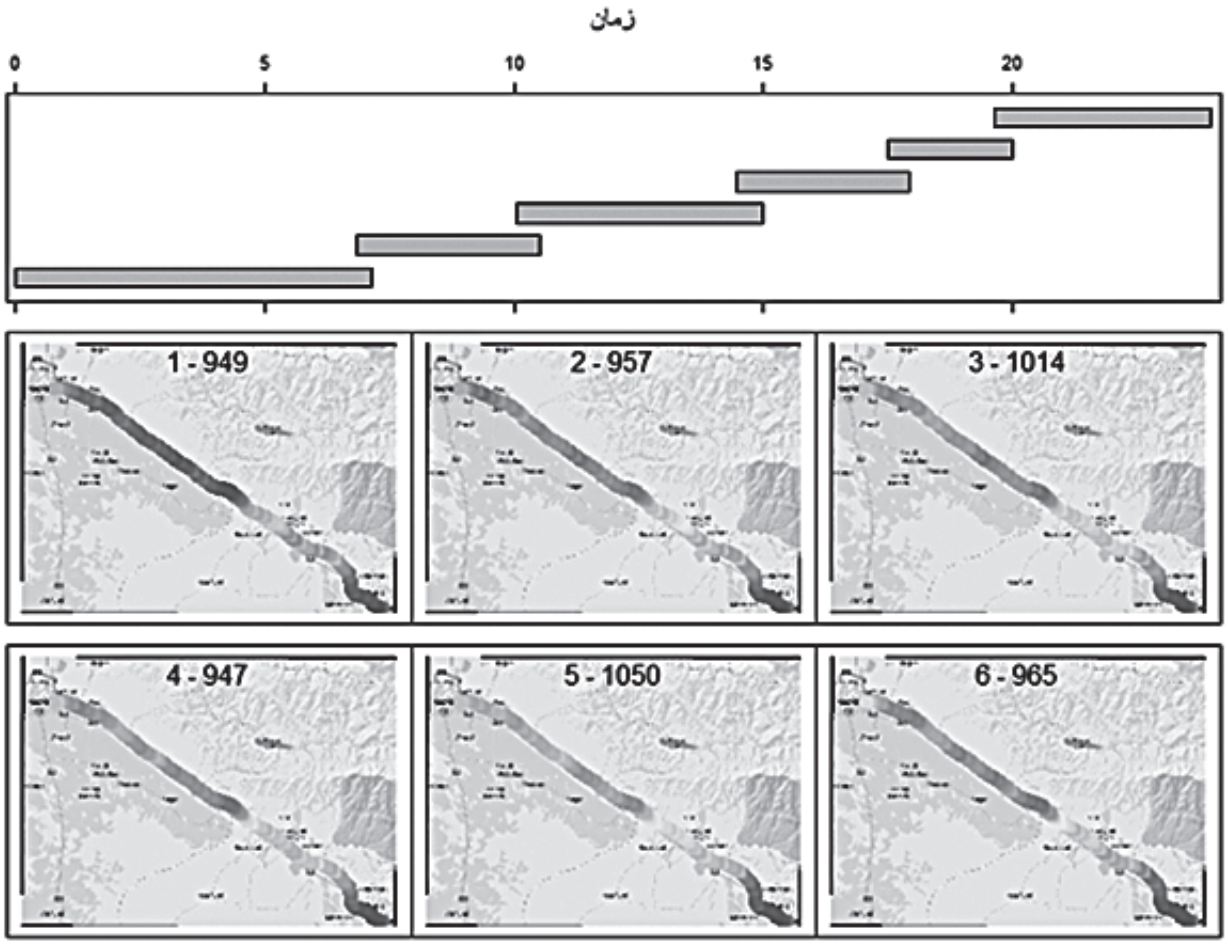



**شکل ۵. توزیع مکانی تصادفات رانندگی محور کرج-قزوین با استفاده از تراکم پنجره ای فازی**

### ٤-١ تحلیل زمانی-مکانی تصادفات

اگر متغیر سوم در روش Comap، زمان باشد ، الگوی زمانی-مکانی تصادفات مورد بررسی قرار خواهد گرفت. بنابراین برای تحلیل زمانی-مکانی تصادفات رانندگی طول یک روز به شش بازه تقسیم شد و سپس الگوی مکانی تصادفات در هر زمان بررسی شد. رابطه زمان و الگوی مکانی تصادفات در شکل ٦ نمایش داده شده است. در بالای هر نقشه دو رقم وجود دارد که با خط فاصله از یکدیگر جدا شده‌اند. رقم اول هر نقشه را با بازه مشخص شده در نمودار بالا که در این نمودار بازه زمانی است مرتبط می‌کند که شماره گذاری در نمودار بالا به ترتیب از چپ به راست صورت می‌گیرد. یعنی نقشه شماره یک مرتبط با زمان ۰ الی ۷ صبح است. رقم دوم نیز تعداد تصادف وقوع یافته را نمایش می‌دهد.

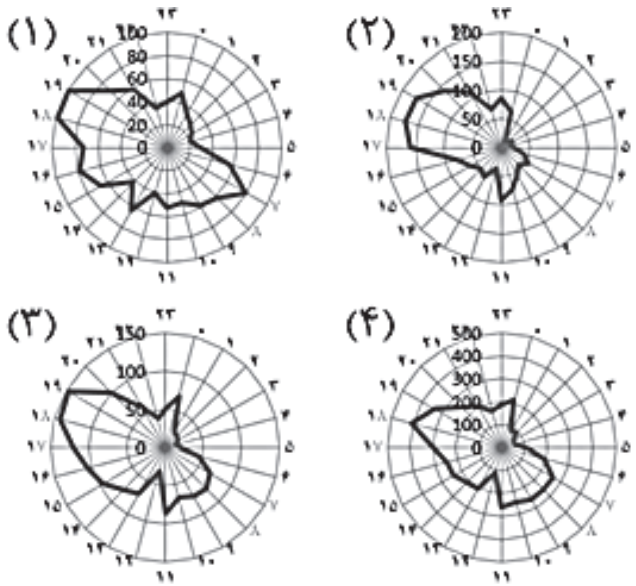
با توجه به شکل ٦ الگوی کلی تصادفات در بازه اول به صورت کاملاً متمایز از ۵ بازه دیگر قرار دارد. در هر ۵ بازه شهر کرج بیشترین تراکم تصادفات را دارد که علت آن هم تردد خودرو در این قسمت است. همچنین در این ۵ بازه یک بیشینه نسبی دیگر در مجاورت شهر آبیک قرار دارد که می‌تواند ناشی از تقاطع محور های این شهر با بزرگراه، توقف خودروها برای سوار و پیاده کردن مسافر و همچنین وجود یک پیچ در این قسمت باشد. نکته حایز اهمیت وجود تراکم بالا در حد فاصل شهر آبیک به شهر قزوین است که در بازه ساعت ۰ الی ۷ صبح به وقوع پیوسته است. شهر آبیک در محور کرج قزوین را می‌توان یک نقطه میانی دانست. در سمت کرج تا آبیک شهرهای مختلف چون هشتگرد، وجود کارخانه ها همچون کارخانه سیمان و همچنین پیچ و انحنای بیشتر قابل ملاحظه است. رانندگان، بنا بر وجود این عوارض دقت و احتیاط بیشتری در این قسمت از مسیر می‌کنند. علت تصادفات در بازه ۷-۰ این است که رانندگان وقتی در مسیر قزوین – آبیک قرار می‌گیرند، از یک طرف در مسیر مستقیم، راننده با اطمینان خاطر بیشتری سرعت خودرو را افزایش می‌دهد که باعث عدم توانایی در کنترل خودرو می‌شود و از طرف دیگر در این ساعت به علت خستگی و خواب آلودگی که مستقیم بودن مسیر نیز به اثر آنها اضافه می‌کند، راننده تمرکز کافی برای رانندگی ندارد.




**شکل ٦. توزیع زمانی- مکانی تصادفات محور کرج-قزوین**

### ٤-٢ الگوی تصادفات بر حسب روزهای هفته

توزیع ساعتی تصادفات در روزهای مختلف هفته در شکل ۷ نمایش داده شده است. توزیع ساعتی تصادفات در روز پنج شنبه مشابه الگوی کلی تصادفات است و در آن کمی کشش و اوج تصادفات در ساعات عصر گاهی مشاهده می‌شود که می‌تواند معلول تردد بالای خروج مسافران از شهر جهت عزیمت به مسافرت باشد. الگوی روز جمعه بسیار متفاوت است. جمعه ها اوج تصادفات از ساعات ۱۷ الی ۲۱ است. تردد بالای بازگشت از مسافرت‌ها می‌تواند علت این امر باشد، زمانی که مسافران بیشترین تلاش را برای رسیدن به منزل و آماده شدن برای شروع هفته کاری دارند. در حالی که در سایر ساعات نقطه اوجی مشاهده نمی‌شود. روز شنبه نیز الگویی متفاوت دارد. علاوه بر تصادفات بالا در ساعات عصر گاهی ناشی از اتمام ساعت کاری، نقطه اوج دیگری در ساعت ۷، به نسبت بزرگ‌تر از حالت معمول مشاهده شده است. علت این امر را نیز می‌توان در بازگشت مسافران جا مانده از روز جمعه و عجله آن‌ها برای رسیدن به محل کار دانست که باعث بروز تصادف می‌شود. الگوی سایر روز های هفته نسبت به الگوی کلی تصادفات در ساعات عصر گاهی کاهش نسبی داشته است. در مورد الگوی مکانی که در شکل ۸ نمایش داده شده است مشاهده می‌شود که الگوی مکانی تصادفات در همه روزها تقریباً یکسان است و نمی‌توان نقطه حایز اهمیتی که نشان دهنده تفاوت بین الگو های مکانی روزهای هفته باشد مشاهده کرد.



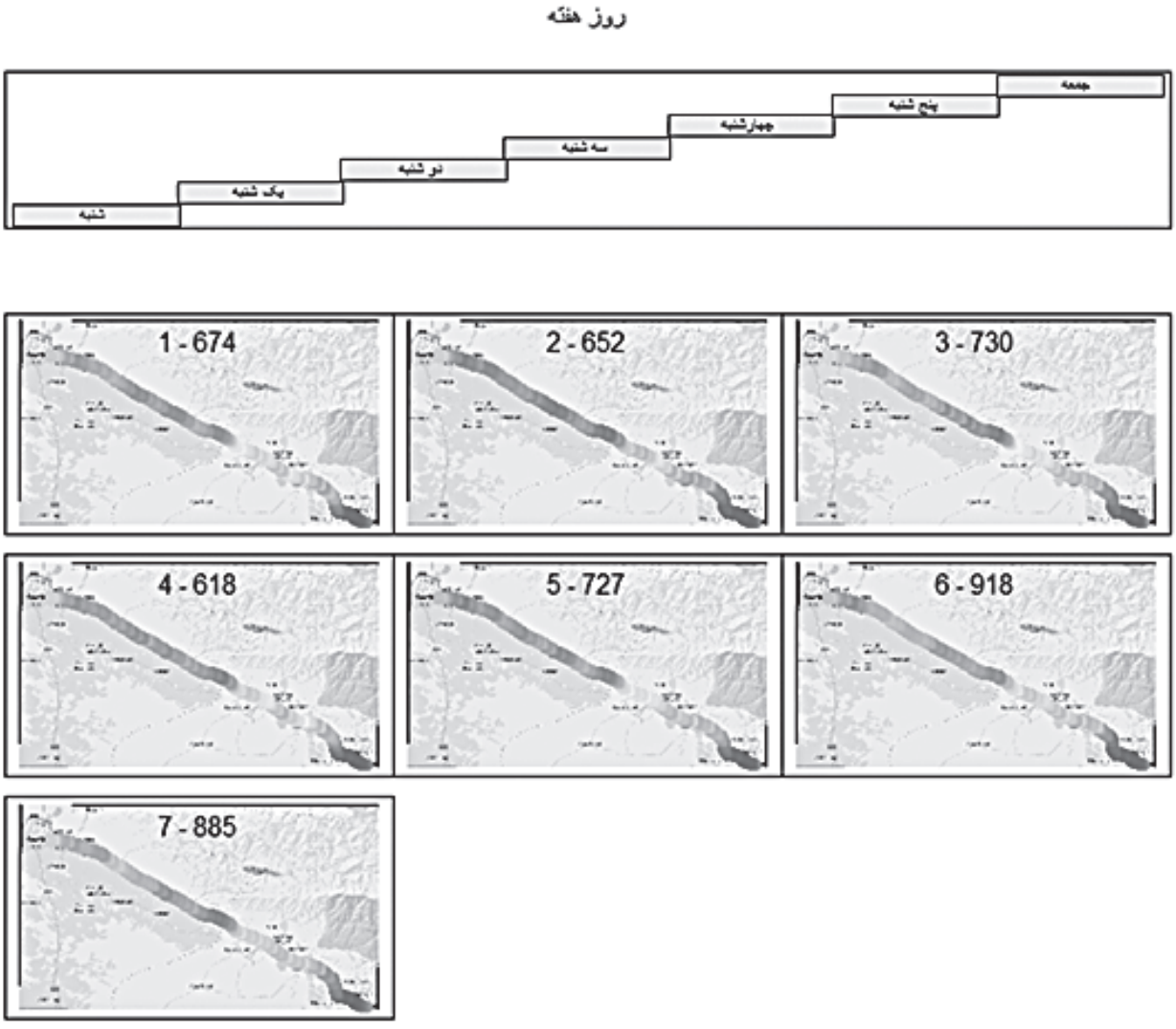

**شکل ۷. الگوی زمانی تصادفات در روز های مختلف هفته (۱- شنبه، ۲- جمعه، ۳- پنج شنبه، ٤- سایر روزهای هفته)**

### ٤-۳ الگوی تصادفات بر اساس نوع برخورد

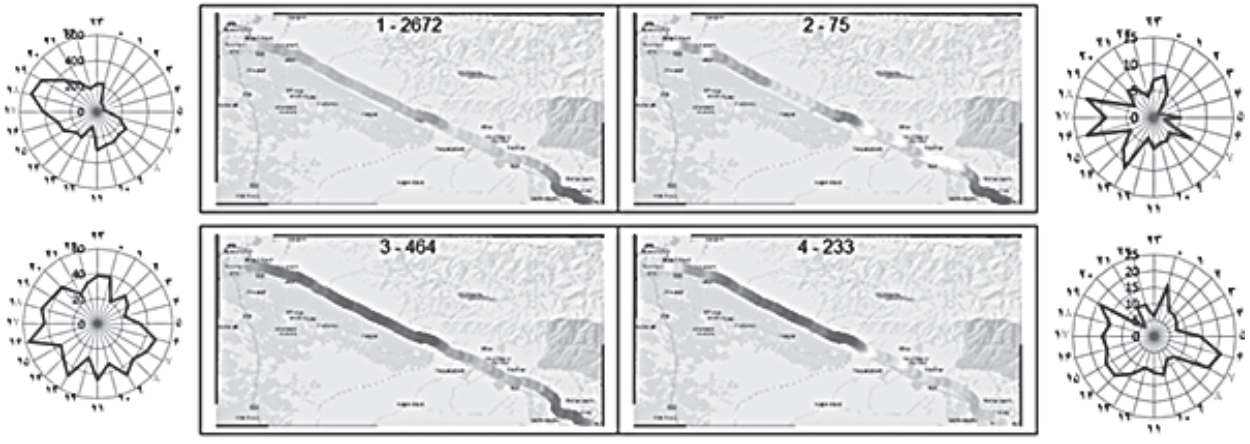
داده‌های توصیفی تصادفات رانندگی شامل نوع برخورد نیز هستند. در این تحقیق الگوی زمانی و مکانی ٤ نوع برخورد که بیشترین انواع برخورد هستند، بررسی شده است. تراکم زمانی و مکانی تصادفات بر حسب نوع برخورد در شکل ۹ نمایش داده شده است. الگوی زمانی تصادف خودرو با خودرو از الگوی توزیع کلی تصادفات پیروی می‌کند. مشخص است هر چه ترافیک بیشتر باشد احتمال تصادف خودرو با خودرو افزایش پیدا می‌کند. اما الگوی سه نوع دیگر کاملاً متفاوت است. تصادف با اشیا تقریباً دارای دامنه ثابتی است، اما واژگونی دارای دو ناحیه اوج از ساعت ٦ الی ۷ و ١٤ الی ۱۹ است و یک نقطه اوج نیز در ساعت ۰ بامداد مشاهده شده است. تصادف با عابرین دارای اوج خود در بازه ١٦ الی ۱۸ است. همچنین یک اوج رأس ساعت ۱۳ و یک اوج رأس ساعت ۱ شب قابل مشاهده است.

در تصادفات خودرو با خودرو الگوی مکانی در طول مسیر تقریباً یکسان و ثابت است، فقط در شهر کرج نقاط بحرانی وجود دارد که علت آن همانطور که گفته شد تردد بالای خودرو در این قسمت و وجود تقاطع‌های مختلف است. تصادف با عابر پیاده به طور خاص در نقاط شهری و حوالی کارخانجات تراکم بالایی دارد. همانطور که در شکل مشخص است بیشترین تراکم این نوع تصادفات در شهر کرج و نقطه بحرانی بعدی در شهر آبیک قرار دارد. همچنین وجود تراکم بالای تصادف با عابر پیاده در مجاورت کارخانه سیمان، شهر هشتگرد، زیبا شهر و پلیس راه شهر قزوین کاملاً نمایان است.

بر خورد با اشیا دارای بیشترین تراکم در حوالی شهر آبیک و همچنین به صورت یکنواخت از شهر آبیک تا شهر قزوین و تراکم نسبی در شهر کرج است. بی توجهی به وجود پیچ و سرعت بالا به خاطر یکنواختی مسیر عواملی هستند که وقتی رانندگان به این پیچ می‌رسند تمرکز خود را از دست داده و با یک عکس‌العمل شتاب زده باعث برخورد با اشیا مجاور جاده می‌شوند. این امر را می‌توان در واژگونی که نوع دیگر برخورد است، نیز مشاهده کرد. رانندگانی که با سرعت زیاد وارد پیچ شده‌اند و به علت عدم توانایی در کنترل خودرو به خارج از مسیر رانده و خودروی آنان واژگون شده‌است. همانطور که مشاهده می‌شود واژگونی دارای تراکم بسیار پایین در قسمت آبیک به شهر کرج و تراکم بالا در سمت آبیک قزوین است. علت این امر سرعت بالا در این قسمت از مسیر است که گاهاً باعث عدم توانایی در کنترل خودرو و خروج خودرو از مسیر و در نهایت واژگونی خودرو می شود.




شکل ۸. الگوی مکانی تصادفات در روز های مختلف هفته




شکل ۹. توزیع تصادفات بر حسب نوع برخورد (۱- خودرو با خوردو، ۲- خودرو با عابر، ۳- خودرو با اشیا، ٤- واژگونی)

### ٤-٤ الگوی تصادفات بر اساس نوع تصادف

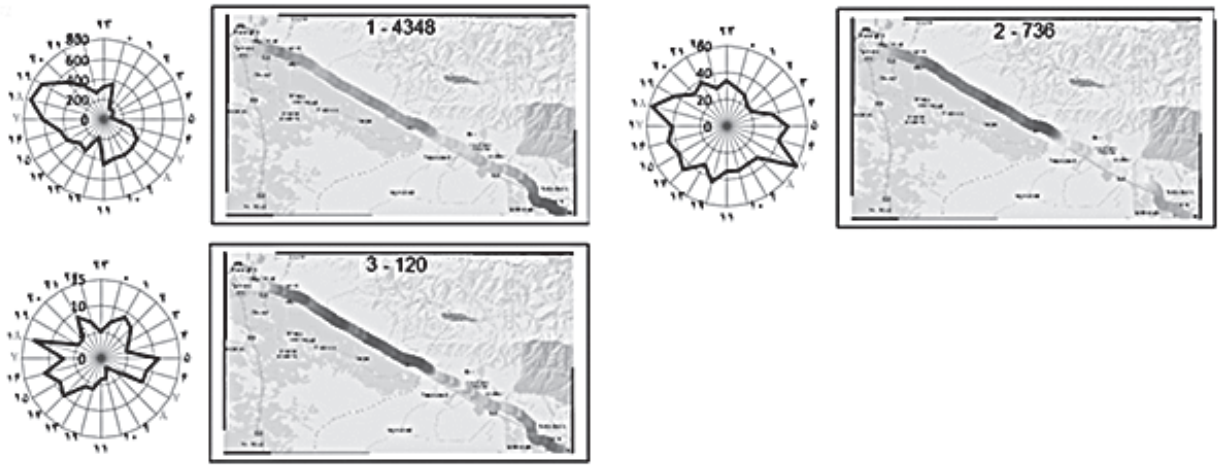
تصادفات رانندگی به سه دسته خسارتی، جرحی و فوتی تقسیم می شوند که هر یک به علت میزان خساراتشان اهمیت متفاوتی دارند. بنابراین در این قسمت توزیع هر نوع تصادف در مسیر مورد بررسی قرار گرفته است که نتایج آن در شکل ۱۰ نمایش داده شده است. الگوی زمانی تصادفات خسارتی مشابه الگوی کلی تصادفات است، ولی در مورد تصادفات فوتی و جرحی تفاوت حائز اهمیتی وجود دارد. تصادفات جرحی دارای دو نقطه اوج در ساعت ۷ و ساعت ۱۸ است. علت این امر می‌تواند عجله رانندگان در رسیدن به محل کار و یا بازگشت از محل کار باشد. همچنین خواب آلودگی در ساعت ۷ صبح و خستگی افراد در ساعت ۱۸ پس از یک روز کاری می‌تواند تأثیر گذار باشد. در مورد تصادفات فوتی الگو کاملاً نامنظم است. مشاهده می‌شود که در ساعت ۱۸ بیشترین اوج تصادفات فوتی اتفاق افتاده است، اما نقاط اوج دیگری در ساعت‌های مختلف وجود دارد.

برای تصادفات خسارتی تراکم بالای مکانی در شهر کرج قرار دارد. با توجه به اینکه این منطقه یک ناحیه شهری است، قاعدتاً سرعت تردد خودرو ها پایین آمده و به تبع آن شدت تصادف کم خواهد بود. در مورد تصادفات فوتی مسیر بین شهرهای آبیک و قزوین دارای تراکم بالا است. این محور مستقیم باعث می‌شود تا رانندگان با سرعت بالاتری در این مسیر به تردد بپردازند که همین امر باعث وقوع تصادفات با خسارات زیاد می‌شود که نتیجه آن مرگ سرنشینان خودرو است. تصادف جرحی نیز در همین قسمت دارای تراکم است، اما یک نقطه بحرانی متمایز در پیچ ورودی شهر آبیک دارد. ورود نابهنگام خودرو از مسیر مستقیم قبل آن به این پیچ باعث می‌شود، راننده سعی در کاهش سرعت خود کند، اما با این وجود هنوز هم تصادفات در این ناحیه به وقوع می‌پیوندند که باعث بروز جراحات می‌شود.

### ٤-٥ الگوی تصادفات برحسب عامل انسانی وقوع تصادف

راننده به عنوان عامل انسانی با اخذ رفتارهای گوناگون باعث وقوع تصادفات رانندگی می‌شود. این رفتارها می‌توانند تخلف باشند (مانند سرعت زیاد) یا می‌توانند حالات روحی و روانی باشند (مانند خواب آلودگی و خستگی). در شکل ۱۱ تأثیر سه عامل انسانی در تغییر الگوی زمانی و مکانی تصادفات نشان داده شده است.

توزیع زمانی تصادفات به علت عجله از الگوی کلی وقوع تصادفات پیروی می‌کند. تصادف به علت بی‌توجهی الگوی زمانی متفاوتی دارد. از ساعت ۱۸ الی ۱۹ این تصادفات بیشترین احتمال وقوع را داشته اند. علت آن را می‌توان با تردد بالا و همچنین تاریکی هوا در این ساعت توجیه کرد؛ زمانی که لازم است راننده دقت بالایی را در رانندگی داشته باشد. خستگی و خواب آلود بودن نیز توزیعی کاملاً متفاوت دارد. اوج تصادفات رخ داده بر اثر




**شکل ۱۰ . الگوی مکانی تصادفات بر حسب نوع تصادف(۱- خسارتی، ۲- جرحی، ۳- فوتی)**

خستگی در دو بازه ٦ الی ٧ و ١٦ الی ١٨ است. خواب آلودگی افراد در ساعات ٦ الی ٧ و خستگی ناشی از کار در ساعات اتمام کار (١٦ الی ١٧) می‌تواند علت این امر باشد. اما در سایر نواحی توزیع تقریباً یکسانی از تصادفات وجود دارد. برخلاف آنچه تصور می‌شد، تصادف از نوع خواب آلودگی در بازه زمانی صفر الی ٣ اوجی ندارد که ممکن است به علت خطای ثبت داده‌ها باشد. بنابراین باید تحقیقی صورت گیرد تا علت وقوع تصادفات فوتی از ساعت صفر الی ٣ مشخص شود.

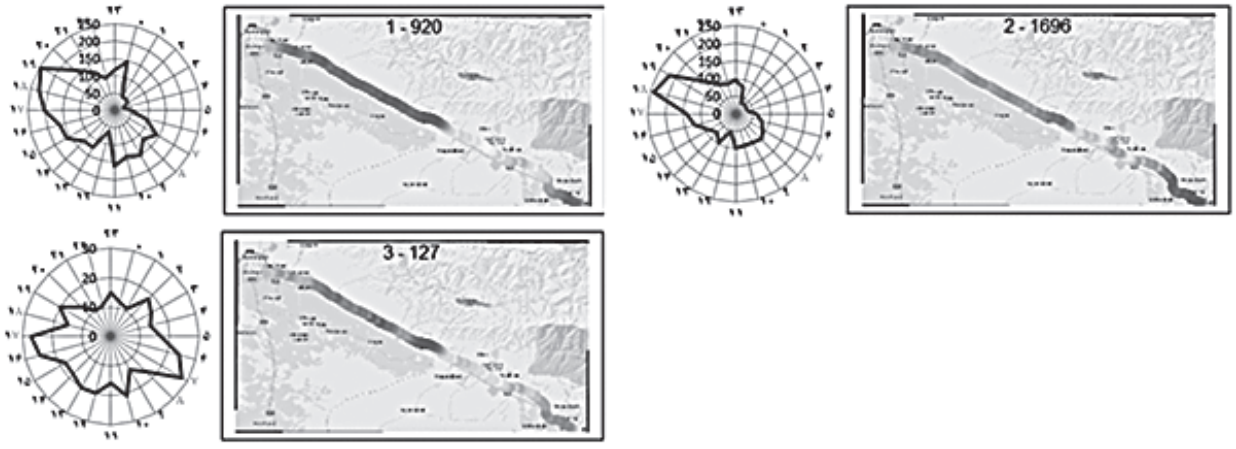
با بررسی الگوی مکانی مشخص شده است که عجله در رانندگی باعث بروز تصادفات در مسیر آبیک به قزوین شده است و محتمل‌ترین نقطه بروز این نوع تصادفات در پیچ شهر آبیک است. در مورد عامل خواب آلودگی نیز نقطه بحرانی در پیچ شهر آبیک قرار دارد. در مورد پارامتر بی توجهی بیشترین تراکم در شهر کرج قرار دارد که ورود و خروج‌های زیاد خودرو و عابر، دقت بیشتر رانندگان را طلب می‌کند. همچنین با کمی دقت نقطه دیگری هم در پل حصارک مشاهده می‌شود که دارای تراکم نسبی بالا است. این محل نیز به علت ورود و خروج خودرو ها و برخی اوقات توقف مسافر محل پر مخاطره ای برای وقوع تصادفات به علت بی توجهی است.

### ٤-٦ الگوی تصادفات بر حسب وضعیت جوی

وضعیت جوی نیز اثرات زیادی بر وقوع تصادفات دارد. برای بررسی این موضوع وضعیت جوی به سه دسته هوای صاف، بارانی و برفی تبدیل شده است. توزیع تصادفات بر حسب وضعیت جوی در شکل ١٢ نمایش داده شده است. تعداد تصادفات رخ داده در وضعیت صاف بسیار بیشتر از دو وضعیت دیگر است، به همین دلیل الگوی توزیع مکانی این تصادفات با الگوی توزیع کلی تصادفات یکسان است. در روز های بارانی تراکم تصادفات در دو نقطه کاملاً متمایز است که شهرهای کرج و آبیک این دو نقطه هستند. در وضعیت برفی تنها نقطه با تراکم زیاد شهر آبیک است. علت وقوع تصادف در زمان بارش برف در شهر آبیک را می‌توان این‌گونه توضیح داد که لغزنده بودن سطح جاده و وجود مسیر مستقیم قبل از آن باعث می‌شود، رانندگان با سرعت بالا وارد این پیچ شوند ولی نتوانند بر لغزندگی جاده غلبه کنند و در این محل دچار سانحه شوند.

### ٤-٧ الگوی تصادفات بر حسب دو پارامتر مختلف

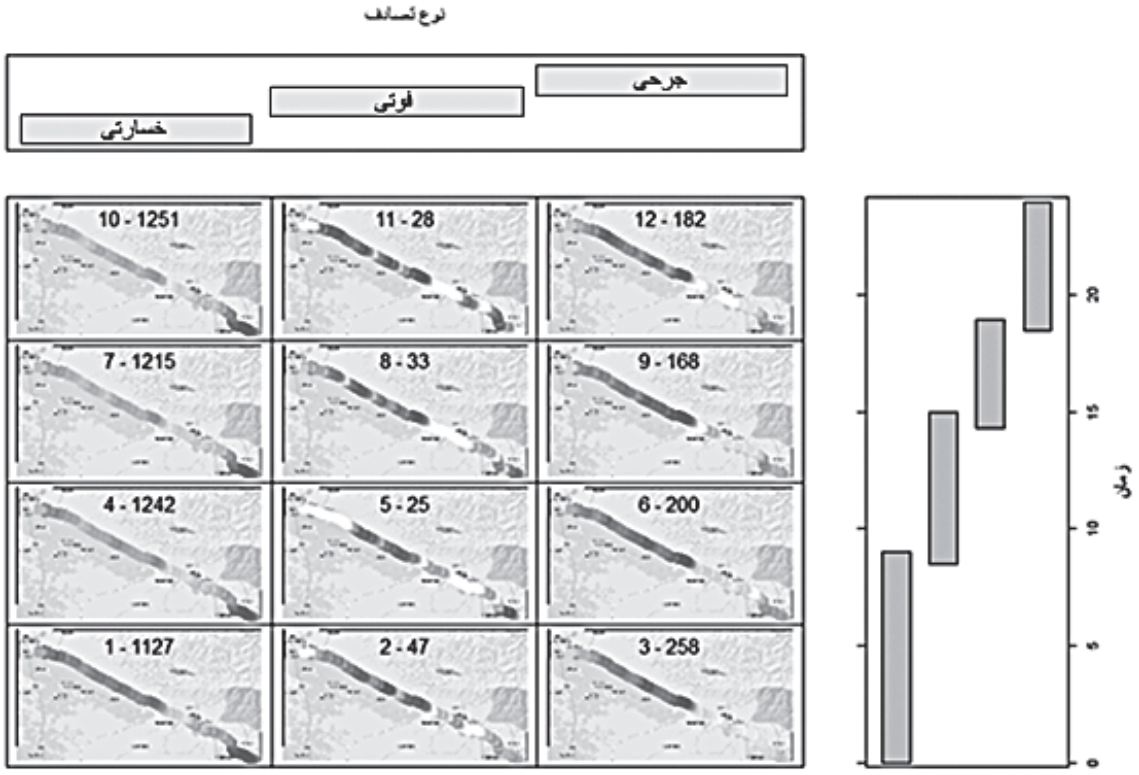
یکی از خصوصیات روش Comap این است که با استفاده از آن می‌توان تأثیر دو پارامتر را بر الگوی مکانی در نظر گرفت. به‌این منظور دو پارامتر مختلف می‌تواند دسته‌بندی و سپس با استفاده از هر دو عامل الگوی مکانی مرتبط کشف شود. شکل ١٣ الگوی مکانی انواع تصادفات برای ساعت های مختلف را نمایش می‌دهد. با توجه به این نتیجه مشاهده می‌شود که تصادفات خسارتی در ساعات مختلف شبانه روز الگوی یکسانی دارند، اما توزیع مکانی تصادفات جرحی و مخصوصاً تصادفات فوتی در




**شکل ١١. الگوی مکانی تصادفات بر حسب عامل مکانی (١-عجله، ٢- بی توجهی، ٣- خستگی و خواب آلودگی)**

**شکل ۱۲. الگوی مکانی تصادفات بر حسب پارامترهای جوی (۱- صاف، ۲- بارانی، ۳- برفی)**

ساعات مختلف شبانه روز کاملاً متمایز است. برای مثال از ساعت ۹ الی ۱۵ تصادفات فوتی در شهر کرج دارای نقطه بحرانی هستند، اما از ساعت ۱۹ الی نیمه شب تصادفات فوتی بین شهر آبیک و شهر قزوین توزیع فراوانی دارند. همانطور که از شکل مشخص است وقوع تصادفات فوتی در نزدیکی شهر قزوین در بازه زمانی ۹ الی ۱۵ دارای تراکم بسیار پایین است.




**شکل ۱۳. الگوی مکانی تصادفات بر حسب دو پارامتر زمان و نوع تصادف**

## ۵. بحث و نتیجه گیری

در این تحقیق الگوی زمانی- مکانی تصادفات رانندگی بزرگراه کرج - قزوین مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که توزیع زمانی- مکانی تصادفات با توجه به پارامترهای مختلف تغییر زیادی می‌کند و نتایج آن می‌تواند کارشناسان را در اخذ تصمیم‌گیری‌ها یاری رساند.

در این تحلیل مشخص شد که تصادفات رانندگی در بازه زمانی ۱۷ الی ۲۰ بیشترین احتمال وقوع را دارد که ناشی از تردد بالای خودرو در این زمان است. شهر کرج به علت تردد زیاد خودرو و عابر پیاده در بیشتر وضعیت ها پر تراکم است در نتیجه باید راهکارهایی بررسی شود که از تصادفات رخ داده در این مسیر کم شود. برای مثال می‌توان از پل‌های عابر پیاده بیشتری در این مسیر استفاده کرد. ایجاد باند کندرو در مجاورت مسیر و ایجاد ایستگاه‌ها جهت سوار و پیاده شدن مسافران می‌تواند در منظم کردن حرکت خودروها موثر باشد. همچنین نیروی راهنمایی و رانندگی نیز با پوشش بیشتر مسیر و نصب دوربین های ثبت تخلف می‌تواند از وقوع تخلفات در این منطقه جلوگیری کند.

پیچ شهر آبیک نیز محلی است که تصادفات بسیاری در آن رخ می‌دهد. با توجه به تحلیل های انجام شده مشخص شد که این محل بیشترین تراکم تصادفات فوتی را دارد؛ از آنجایی که تصادفات فوتی اهمیت بیشتری دارند، باید در جهت رفع مشکل این پیچ کوشش بیشتری شود. در تحلیل ها مشخص شد که در این محل تصادفات به علل عجله، خستگی و خواب آلودگی اتفاق می‌افتند. همچنین تصادفات در این قسمت بیشتر از نوع تصادف با اشیا و واژگونی هستند. در زمان بارش برف و باران نیز تصادفات این محل افزایش می‌یابند. این عوامل نشان می‌دهند که در این محل به علت عدم اشنایی رانندگان با مسیر و همچنین سرعت زیاد خودرو ها به علت وجود مسیر مستقیم از قزوین به آبیک، رانندگان با سرعت بالایی در این مسیر حرکت می‌کنند که با رسیدن به این محل بعلت سرعت زیاد، توانایی کنترل خودرو را ندارند. برای جلوگیری از وقوع تصادفات در این محل پیشنهاد می‌شود علایم هشدار دهنده بیشتری در این محل نصب شوند که راننده با توجه به این علایم از وجود پیچ خطرناک با خبر شود. همچنین اعمال محدودیت سرعت در این محل و کنترل بیشتر بر سرعت وسایل نقلیه در مسیر مستقیم کرج- قزوین می‌تواند از نرخ تصادفات در این محل بکاهد.

وقتی که تردد در مسیری کم باشد رانندگان با اطمینان خاطر به سرعت خود اضافه می‌کنند. اگر این مسیر مستقیم نیز باشد رانندگان اعتماد بیشتری کرده و سرعت بیشتری را اخذ می‌کنند؛ سرعت بالا باعث می‌شود راننده توانایی کافی در کنترل خودرو نداشته باشد، بنابراین کوچک‌ترین اختلال باعث بروز تصادف می‌شود. تردد خودرو از نیمه شب تا ساعات صبحگاهی کمتر از سایر اوقات است ، به همین علت است که در مسیر مستقیم آبیک- قزوین و در بازه زمانی صفر الی ۷ نرخ تصادفات بالا رفته است. الگوی مکانی تصادفات به علت عجله نیز نشان می‌دهد تصادفات از این نوع در این مسیر احتمال وقوع بیشتری دارند. بنابراین پلیس راهور باید در این مسیر با استفاده از کنترل بیشتر بر سرعت خودروها، از وقوع تصادفات در این مسیر جلوگیری به‌عمل آورد.

در روزهای مختلف هفته مشخص شد که الگوی مکانی برای همه روزها تقریباً یکسان است، ولی الگوی زمانی کاملاً متفاوت است که ناشی از نحوه حرکت مسافرین است. با توجه به نتیجه این تحلیل پلیس راهور در زمان مناسب می‌تواند با پوشش بیشتر مسیر از وقوع تصادفات بکاهد. نتایج این تحقیق می‌تواند کارشناسان راهنمایی و رانندگی، نیروهای امدادی و راهداران را در تصمیم‌گیری یاری رساند. پلیس با نظارت بیشتر بر محل‌های خطرناک در زمان‌های مختلف، نیروهای امدادی با حضور در محل‌های پر مخاطره برای تسریع در امدادرسانی و راهداران با حذف نواقص مسیر و نصب علائم هشدار دهنده می‌توانند درجهت کاهش تصادفات و در نتیجه کاهش هزینه‌های جانی و مالی تصادفات قدم بردارند.

## ٦. پی نوشتها

1- Kernel Density Estimation
2- Geographic Information System
3- Line Reference Modeling
4- Alfa Cut
5- Spider Graph

## ۷. مراجع


-Anderson, T. (2006) "Comparison of spatial methods for measuring road accident hotspots: a case study of London", Journal of Maps, Vol. 3, No. 1, pp. 55-63

-Anderson, T. K. (2009) "Kernel density estimation and k-means clustering to profile road accident hotspots Kessa K."، Accident Analysis and Prevention, Vol. 41, No.3, pp. 359–364

-Arefi, M., Viertl, R. and Taheri, S. M. (2012) "Fuzzy density estimation", Metrika, Vol. 75, No. 1, pp. 5-22

-Asgary, A., Ghaffari, A. and Levy, J. (2010) "Spatial and temporal analysis of structural fire incidents and their causes: a case of Toronto, Canada", Fire Safety Journal, Vol. 45, No. 1, pp. 44-57.

-Blazquez, C. A. and Celis, M. S. (2013) "A spatial and temporal analysis of child pedestrian crashes in Santiago, Chile", Accident Analysis and Prevention, Vol. 50, pp. 304-311

-Brunsdon, C., Corcoran, J. and Higgs, G. (2007) "Visualizing space and time in crime patterns: a comparison of methods", Computers, Environment and Urban Systems, Vol. 31, No. 1, pp. 52-75

-Brunsdon, C. (2001) "The Comap: Exploring spatial pattern via conditional distributions", Computers, Environment and Urban Systems, Vol. 25, No. 1, pp. 53-68

-Getis, A. and Ord, J. K. (1992) "The analysis of spatial association by use of distance statistics", Geographical Analysis, Vol. 24, No. 3, pp. 189–206

-Gu, X. and Zhu, Q. (2006) "Fuzzy multi-attribute decision-making method based on Eigenvector of fuzzy attribute evaluation space", Decision Support System, Vol. 41, No. 2, pp. 400-410

-Gundogdu, I. B. (2010) "Applying linear analysis methods to GIS-supported procedures for preventing traffic accidents: case study of Konya", Safety Science, Vol. 48, No. 6, pp. 763–769

-Kilamanu, W., Xia, J. and Caulfield, C. (2011) "Analysis of spatial and temporal distribution of single and multiple vehicle crash in Western Australia: a comparison study", International Congress on Modelling and Simulation, Perth, Australia, 12–16 December

-Kingham, S., Sabel, C. E. and Bartie, P. (2011) "The impact of the 'school run' on road traffic accidents: a Spatio-Temporal analysis", Journal of Transport Geography, Vol. 19, No. 4, pp. 705-711

-Kuo, P. F., Lord, D. and Walden, T. D. (2011) "Using geographical information systems to effectively organize police patrol routes by grouping hot spots of crash and crime data", Zachry Department of Civil Engineering, Texas A&M University

-Moran, P. (1948) "The interpretation of statistical maps", Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological), Vol. 10, No. 2, pp. 243–251

-Mccullagh, M. J. (2006) "Detecting hotspots in time and space", ISG06, University of Nottingham

-Plug, C., Xia, J. C. and Caulfield, C. (2011) "Spatial and temporal visualization techniques for crash analysis ", Accident Analysis and Prevention, Vol. 43, No. 6, pp. 1937– 1946

-Prasannakumar, V., Vijith, H., Charutha, R. and Geetha, N. (2011) "Spatio-temporal clustering of road accidents: GIS based analysis and assessment", Procedia Social and Behavioral Sciences, Vol. 21, pp. 317–325

-Silverman, B.W. (1986) "Density estimation for statistics and data analysis", Vol. 26, CRC press.

-World Health Organization (2013) "Global status report on road safety", Source: http://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2013/en/, (2013/12/28)

-Xia, J. C. (2011) "Data mining of driver characteristics to spatial and temporal hotspots of single vehicle crashes in western Australia", International Congress on Modelling and Simulation

-Xie, Z. and Yan, J. (2008) "Kernel density estimation of traffic accidents in a network space computers", Environment and Urban Systems, Vol. 32, No. 5, pp. 396–406