

# تأثیر خودروهای خودران شخصی و اشتراکی بر روی انتخاب مد سفر با اهداف متفاوت با توجه به تغییرات سه متغیر زمان سفر، هزینه پارکینگ و هزینه بهره‌برداری (مطالعه موردی: شهر قم)

## مقاله پژوهشی

شهریار افندی‌زاده\*، استاد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران  
رضا جعفری، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران  
نوید کلانتری، دانش آموخته دکتری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران  
\*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: zargari@iust.ac.ir

دریافت: ۹۹/۰۹/۲۰ - پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۰۵

صفحه ۴۰-۲۹

## چکیده

با توجه به پیشرفت‌های گسترده تکنولوژی در زمینه هوشمندسازی سیستم‌های حمل‌ونقل، پیش‌بینی می‌شود که خودروهای خودران<sup>۱</sup> بزودی به صورت گسترده‌ای وارد صنعت می‌شود و مؤلفه‌های مختلف تقاضا در حمل‌ونقل شامل زمان سفر، مد سفر<sup>۲</sup>، ارزش زمان، وسیله-مسافت پیموده شده، هزینه پارکینگ<sup>۳</sup>، هزینه بهره‌برداری<sup>۴</sup>، استفاده‌کنندگان و غیره را تحت تأثیر قرار بدهند. لذا در این پژوهش، تلاش بر این است که تأثیرات این خودروها بر روی انتخاب مد سفر در شهر قم تعیین شود. برای انجام این کار، داده‌های مربوط به جمعیت مصنوعی، اشخاص، خانوار، نواحی ترافیکی، اطلاعات کاربری زمین و ماتریس‌های مقاومت بین نواحی مربوط به شهر قم، جهت پیش‌بینی تقاضا به صورت فعالیت مبنا وارد نرم‌افزار اکتیویتیسیم<sup>۵</sup> شد. در گام بعد جهت مشخص کردن تأثیرات خودروهای خودران بر روی انتخاب مد، برای سه متغیر زمان سفر، هزینه پارکینگ و هزینه بهره‌برداری که طبق پیش‌بینی‌ها و با استناد به مقالات معتبر، تغییرات گسترده‌ای را در زمان حضور این خودروها تجربه می‌کنند، بازه‌ای از تغییرات طی ۱۰ مرحله در نظر گرفته شد و تغییرات حاصل در انتخاب مد سفر برای هر مرحله و هر هدف سفر به صورت جداگانه تجزیه و تحلیل شده اند. نتایج نشان می‌دهند که از بین سه متغیر ذکر شده، تغییرات هزینه پارکینگ بیشترین تأثیر را بر روی سهم مد خودروی خودران شخصی و تغییرات زمان سفر بیشترین تأثیر را بر روی مد خودروی خودران اشتراکی<sup>۶</sup> دارند.

واژه‌های کلیدی: خودروی خودران، زمان سفر، هزینه پارکینگ، هزینه بهره‌برداری، نرم‌افزار اکتیویتیسیم

## ۱- مقدمه

برخی از محققان معتقدند که این خودروها تا سال ۲۰۵۰ به اندازه‌ی کافی قابل اعتماد و در دسترس هستند که بتوانند جایگزین خودروهای معمولی شوند (T.Litan, 2018)؛ به همین دلیل، برنامه‌ریزان و سیاست‌مداران نیازمند پیش‌بینی این تأثیرات و آماده‌سازی زیرساخت‌های لازم جهت حضور این فناوری پیشرفته در شبکه حمل‌ونقل هستند؛ چراکه این خودروها جنبه‌های مختلفی از حمل‌ونقل و زندگی شهری شامل راه‌ها، جاده‌ها، حمل‌ونقل همگانی، تراکم ترافیک، زمان

در بحث خودروهای خودران عدم قطعیت‌های زیادی وجود دارد و تأثیر آن‌ها بر روی سیستم حمل‌ونقل به شدت نامعلوم است. همین عدم قطعیت‌ها موجب شده است که در بسیاری از پژوهش‌ها، محققان در مورد تغییر یک متغیر خاص به دلیل وجود خودروهای خودران، یا به مقالات قبلی استناد کنند و یا با استفاده از شبیه‌سازی، پیش‌بینی خود را مطرح کنند. به همین دلیل پیش‌بینی دقیق تأثیرات این خودروها بر روی شبکه حمل‌ونقل، امری چالش‌برانگیز و دشوار است. از طرفی دیگر،

می‌یابد. همچنین با در نظر گرفتن ضریب نفوذ ۳۷,۶ درصدی در آلمان، سهم حمل‌ونقل همگانی از ۸,۶ به ۷,۷ درصد تنزل پیدا می‌کند. (L. Kröger, T. Kuhnimhof and S. Trommer, 2018)

سفر، ایمنی، مصرف سوخت و بسیاری از عوامل دیگر را تحت تأثیر قرار می‌دهد. از این رو محققان و پژوهشگران سعی می‌کنند که با تکیه بر دانش نرم‌افزاری، محتمل‌ترین سناریوها را پیش‌بینی کنند. (S. Childress, B. Nichols, B. Charlton and S. Coe, 2015)

## ۲- پیشینه تحقیق

وجود خودروهای خودران هم به شکل شخصی و هم به شکل اشتراکی می‌تواند تغییرات عمده‌ای در سهم مدها و همچنین انتخاب‌های استفاده‌کنندگان ایجاد کند. در مطالعه انجام‌شده توسط جوزف کامل و همکاران، سهم مد خودران اشتراکی در شهر پاریس در صورت دسترسی وسیع و همگانی بین ۳ تا ۶ درصد پیش‌بینی شده است که این امر موجب کاهش ۲۶ الی ۲۷ درصدی سهم خودروهای معمولی و افزایش سهم مد حمل‌ونقل همگانی و دوچرخه می‌شود؛ چراکه مردم می‌توانند از خودروهای اشتراکی جهت رسیدن به ایستگاه حمل‌ونقل همگانی استفاده کنند. همچنین سهم مد دوچرخه‌سواری نیز افزایش می‌یابد؛ زیرا افرادی که قبلاً از خودروی شخصی استفاده می‌کردند، حال تمایل بیشتری به استفاده از دوچرخه برای رسیدن به خودروی خودران اشتراکی دارند. (J. Kamel, R. Vosoghi, J. Puchinger, F. Ksontini and G. Sirin, 2018) در پژوهش دیگری که توسط موسسه برنامه‌ریزی و مدیریت ترافیک استرالیا انجام شده است بیان می‌شود که در صورت کاهش ۳۵ درصدی زمان سفر و ۵۰ درصدی هزینه پارکینگ توسط خودروهای خودران و افزایش ۳۰ درصدی ظرفیت راه‌ها، شاهد کاهش ۹ درصدی سهم حمل‌ونقل همگانی و ۲۱ درصدی سهم پیاده‌روی خواهیم بود. همچنین اگر هزینه بهره‌برداری ۵۰ درصد و زمان سفر ۱۰ درصد کاهش یابد، سهم حمل‌ونقل همگانی و مدهای فعال (دوچرخه‌سواری و پیاده‌روی) به ترتیب ۱۴ و ۱۱ درصد تنزل می‌کنند (P. Davidson and A. Spinoulas, 2015) همچنین در مطالعه انجام‌شده در شهر ویکتوریا، استرالیا، پیش‌بینی شده است که ۱۰ درصد از سفر کنندگان به وسیله دوچرخه‌سواری و پیاده‌روی به خودروهای خودران روی‌آوردند. (L. Troung, C. De Gruyter, G. Currie and A. Delbose, 2017) همچنین مطالعات کروگر و همکارانش نشان می‌دهد که با اعمال ضریب نفوذ ۲۹,۳ درصدی برای خودروهای خودران، سهم حمل‌ونقل همگانی در آمریکا از ۲,۶ به ۲,۲ کاهش

## ۳- روش تحقیق

روش تحقیق به این شکل است که ابتدا داده‌های موردنیاز مربوط به شهر قم جهت ورود به نرم‌افزار اکتیویتیسیم جمع‌آوری و مناسب‌سازی شده‌اند. این داده‌ها به شرح زیر هستند:

۱ - جمعیت مصنوعی شهر قم که قبلاً توسط برنامه اربانسیم<sup>۷</sup> از روی نمونه گرفته‌شده در سال ۹۵ ساخته شده است.

۲ - اطلاعات مربوط به کاربری زمین، نواحی ترافیکی، اشخاص و خانوار که در قالب فرمت hdf5 وارد نرم‌افزار شده است.

۳ - اطلاعات مربوط به ماتریس‌های مقاومت بین نواحی که با فرمت omx وارد نرم‌افزار شده‌اند.

در گام بعدی مد خودران شخصی و اشتراکی به ساختار لوجیت چندگانه آشیانه‌ای<sup>۸</sup> که در این نرم‌افزار به‌کاررفته است، اضافه‌شده و تغییرات لازم متناسب با حضور آن‌ها در مدل اعمال می‌شود. این ساختار شامل چهار آشیانه اصلی به شرح زیر است:

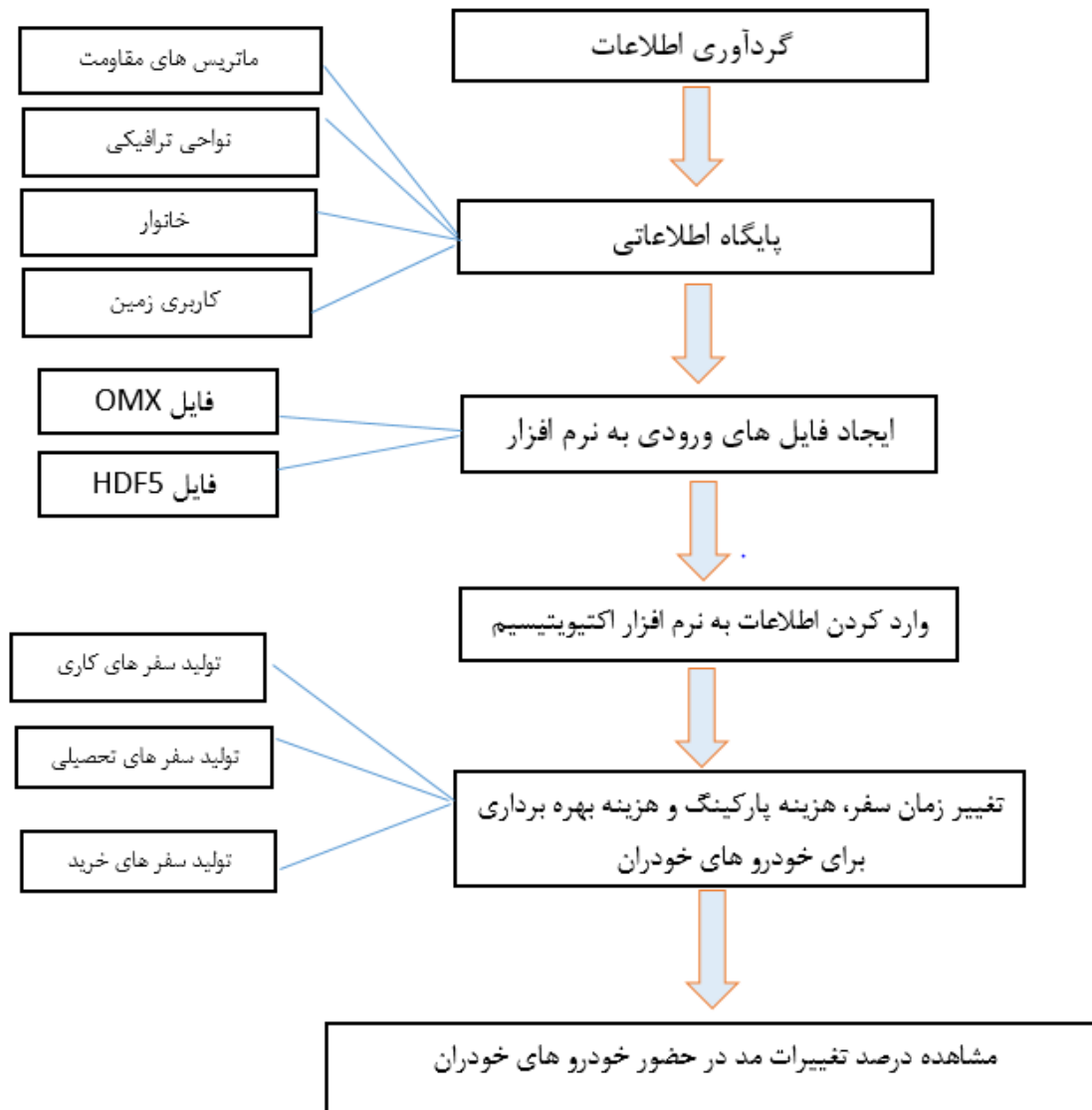
۱ - آشیانه خودرو شامل خودروی معمولی و خودروی خودران شخصی

۲ - آشیانه خودروی اشتراکی شامل خودروی خودران اشتراکی

۳ - آشیانه غیر موتوری شامل پیاده‌روی و دوچرخه‌سواری

۴ - آشیانه حمل‌ونقل عمومی شامل اتوبوس و تاکسی

در گام بعد، سفرهای تولیدشده متناسب با هدف به سه گروه سفرهای کاری، سفرهای خرید، سفرهای تحصیلی، تقسیم‌شده‌اند. در مرحله بعدی، جهت شناسایی تأثیر خودروهای خودران بر روی انتخاب مد، به این‌گونه عمل شده است که برای هر هدف سفر، سه متغیر زمان سفر، هزینه پارکینگ و هزینه بهره‌برداری مرتبط با خودروهای خودران شخصی و اشتراکی تغییر کرده است. نحوه‌ی تغییر هر کدام از متغیرهای فوق در ادامه شرح داده‌شده است. در شکل ۱ ساختار روش تحقیق به‌صورت فلوچارت نشان داده‌شده است.



شکل ۱. ساختار پژوهش و ارتباط بین گامها

### ۳-۱- تغییر زمان سفر

خودروهای خودران قادر خواهند بود که زمان سفر و عدم مطلوبیت زمان حضور در وسیله نقلیه را کاهش دهند. لذا در مطالعه انجام شده در منطقه پیوجت ساند آمریکا، ماتریس های مقاومت بین نواحی برای خودروهای خودران، ۶۵ درصد ماتریس های مشابه برای خودروهای معمولی در نظر گرفته شده اند (S. Childress, B. Nichols, B. Charlton and S. Coe, 2015) همچنین مطالعات انجام شده در برلین کاهش ۳۱ درصدی زمان سفر برای خودروهای خودران شخصی و ۱۰ درصدی برای خودروهای خودران اشتراکی در مقایسه با خودروهای معمولی را نشان می دهد (F. Steck, V.

Kolarova and F. Bahamonde, 2018) لذا در این پژوهش با توجه به مطالعات ذکر شده و موارد مشابه، زمان سفر برای خودروهای خودران شخصی و اشتراکی از ۰٫۱ تا یک برابر زمان سفر خودروهای معمولی در نظر گرفته شده است و نتایج آن برای هر هدف سفر در ادامه شرح داده می شود.

### ۳-۲- تغییر هزینه پارکینگ

خودروهای خودران نیاز به پیدا کردن پارکینگ در نزدیکی مقصد را کاهش می دهد، زیرا آن ها قادر خواهند بود که خود به دنبال جای پارک ارزان تر و دورتر بگردند. این ویژگی هزینه های ثابت را در پایان سفر کاهش می دهد که باعث تغییر

با توجه به این مطالعات و موارد مشابه، هزینه بهره‌برداری برای خودروهای خودران شخصی و اشتراکی از ۰,۱ تا یک برابر هزینه بهره‌برداری برای خودروهای معمولی در نظر گرفته شده است و نتایج آن برای هر هدف سفر در ادامه شرح داده می‌شود.

#### ۴- یافته‌های تحقیق

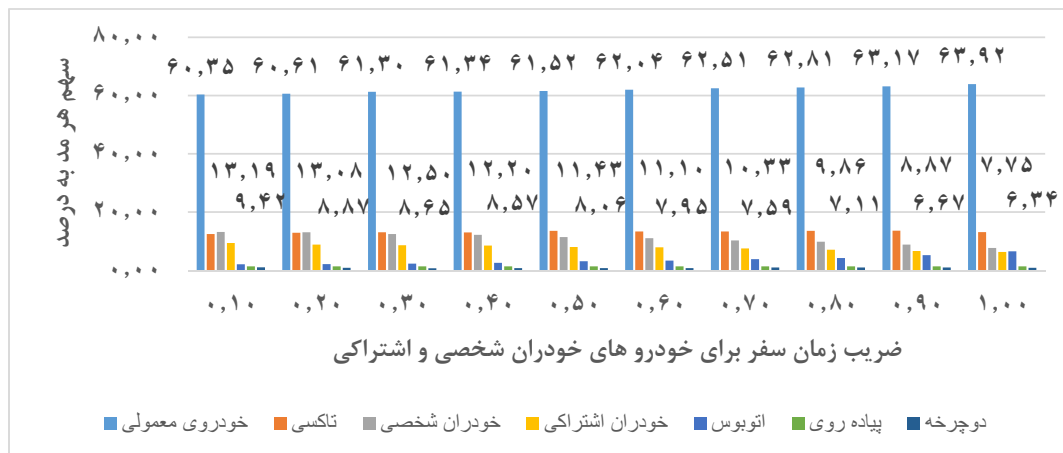
##### ۴-۱- سفرهای کاری

با توجه به شکل ۲، در ابتدا که ضریب زمان سفر برای خودروهای خودران شخصی و اشتراکی برابر ۰,۱ است، سهم خودران شخصی ۱۳,۱۹ درصد و خودران اشتراکی ۹,۴۲ درصد است. در این مرحله خودروی معمولی با ۶۰,۳۵ درصد بیشترین سهم را به خود اختصاص داده است. با افزایش ضریب، به تدریج از سهم خودروهای خودران کم شده و به سهم سایر مدها به‌ویژه تاکسی و خودروی معمولی اضافه می‌شود؛ به‌گونه‌ای که با اعمال ضریب ۰,۳ مد تاکسی جایگاه مد خودران شخصی در رتبه‌ی دوم را تصاحب می‌کند. در مرحله آخر و با اعمال بزرگ‌ترین ضریب، مد اتوبوس که در ابتدا سهم کمی داشته خود را به مد سه مد اول نزدیک می‌کند و تقریباً با خودران اشتراکی برابر می‌شود؛ ولی همچنان خودروی معمولی با ۶۳,۹۲ درصد در جایگاه نخست باقی می‌ماند. از ابتدا تا انتها مد خودران شخصی ۵,۴۴ درصد و خودران اشتراکی ۳,۰۸ درصد کاهش سهم داشته‌اند.

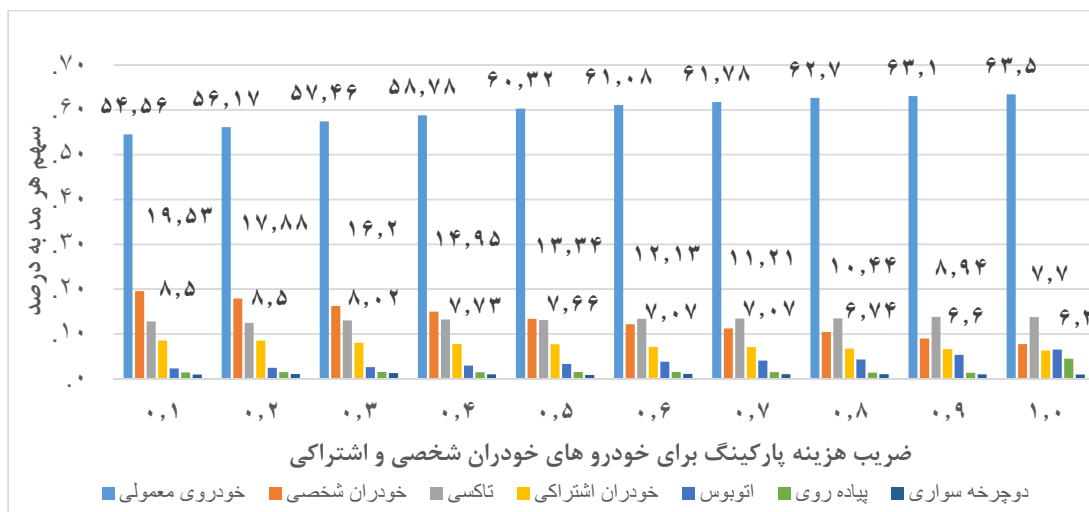
در مد یا تعداد سفرهای بیشتر به مکان‌هایی که هزینه پارکینگ در آن‌ها بالا است می‌شود. مطالعات انجام‌شده در ناحیه پیوجت ساند آمریکا کاهش ۵۰ درصدی هزینه‌های پارکینگ برای خودروهای خودران در مقایسه با خودروهای معمولی را پیشنهاد می‌کند (S. Childress, B. Nichols, B. Charlton and S. Coe, 2015) لذا با توجه به این مطالعات و موارد مشابه، هزینه پارکینگ برای خودروهای خودران شخصی و اشتراکی از ۰,۱ تا یک برابر هزینه پارکینگ برای خودروهای معمولی در نظر گرفته شده است و نتایج آن برای هر هدف سفر در ادامه شرح داده می‌شود.

##### ۳-۳- تغییر هزینه بهره برداری

با توجه به اینکه خودروهای خودران از سوخت‌های فسیلی استفاده نکرده و از انرژی‌های پاک استفاده خواهند کرد، هزینه‌های مربوط به سوخت تا حد زیادی کاهش می‌یابند. همچنین این خودروها از نظر ابعاد و وزن هم به‌گونه‌ای طراحی می‌شوند که حداقل مصرف سوخت را به دنبال داشته باشند. از طرفی دیگر خودروهای خودران می‌توانند تغییرات سرعت را کاهش دهند و از این طریق نیز کاهش هزینه‌های بهره‌برداری را به دنبال داشته باشند. مطالعات انجام‌شده توسط دپارتمان حمل‌ونقل آمریکا کاهش ۱۵ تا ۵۰ درصدی هزینه‌های بهره‌برداری خودروهای خودران نسبت به خودروهای معمولی را نشان می‌دهد (Transportation Benefit and Cost, <http://bca.transportationeconomics.org/benefit>). لذا



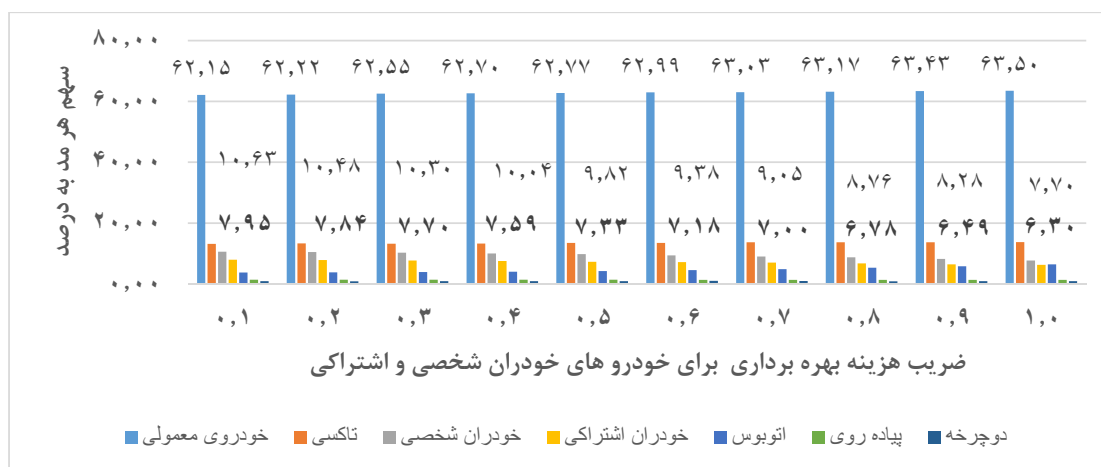
شکل ۲. تغییرات سهم مدها با توجه به تغییرات ضریب زمان سفر برای خودروهای خودران در سفرهای کاری



شکل ۳. تغییرات سهم مدها با توجه به تغییرات ضریب هزینه پارکینگ برای خودروهای خودران در سفرهای کاری

وابستگی کمتری به پارکینگ دارد. از طرف دیگر با افزایش ضریب، سهم خودران شخصی و اشتراکی کاهش پیدا کرده و به سهم سایر مدها به خصوص خودروی معمولی و تاکسی اضافه می‌شود، به شکلی که با اعمال ضریب ۰,۶، تاکسی جای خودران شخصی را در رتبه دوم می‌گیرد. از ابتدا تا انتها، خودران شخصی ۱۱,۸۳ درصد و خودران اشتراکی ۲,۲ درصد کاهش سهم داشته‌اند.

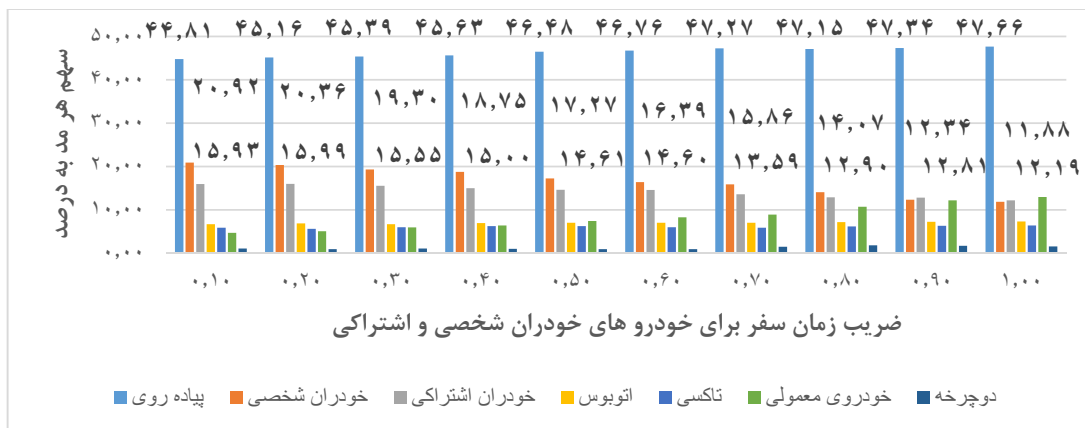
با توجه به شکل ۳، مد خودران شخصی حساسیت بالایی نسبت به هزینه‌ی پارکینگ دارد؛ به شکلی که در مرحله‌ی نخست با اعمال کمترین ضریب، ۱۹,۵۳ درصد از سهم را به خود اختصاص دادند که در مقایسه با نتایج مربوط به تغییر زمان سفر، حدود ۶ درصد افزایش را نشان می‌دهد؛ اما حساسیت مد خودران اشتراکی به هزینه پارکینگ به مراتب کمتر از خودران شخصی است، چراکه ماهیت این مد به گونه‌ای است که



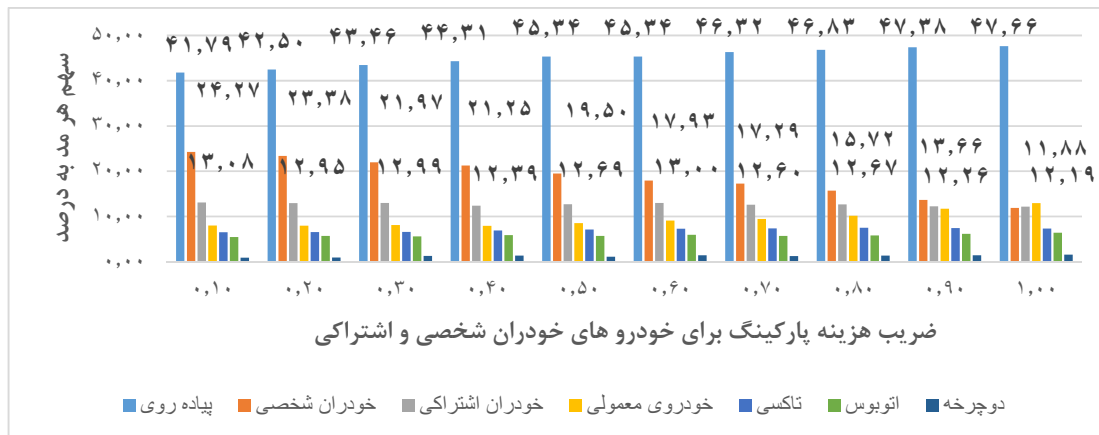
شکل ۴. تغییرات سهم مدها با توجه به تغییرات ضریب هزینه بهره‌برداری برای خودروهای خودران در سفرهای کاری

با توجه به شکل ۵، در ابتدا که ضریب زمان سفر برای خودروهای خودران شخصی و اشتراکی برابر ۰,۱ است، سهم خودران شخصی ۲۰,۹۲ درصد و خودران اشتراکی ۱۵,۹۳ درصد است. در این مرحله مد پیاده‌روی با ۴۴,۸۱ درصد بیشترین سهم را به خود اختصاص داده است. با افزایش ضریب، به تدریج از سهم خودروهای خودران کم شده و به سهم سایر مدها به‌ویژه خودروی معمولی و پیاده‌روی اضافه می‌شود؛ به‌گونه‌ای که با اعمال ضریب یک مد خودروی معمولی از دو مد خودران شخصی و اشتراکی پیشی می‌گیرد. از ابتدا تا انتها مد خودران شخصی ۹,۰۴ درصد و خودران اشتراکی ۳,۷۴ درصد کاهش سهم داشته‌اند. حساسیت سفرهای خرید به تغییرات ضریب زمان سفر برای خودروهای خودران شخصی به‌مراتب بیشتر از سفرهای کاری است؛ حال‌آنکه این قضیه در مورد خودروهای خودران اشتراکی چندان تفاوتی ندارد.

با توجه به شکل ۴، خودروهای خودران شخصی و اشتراکی کمترین حساسیت را نسبت به هزینه‌های بهره‌برداری دارند، به‌گونه‌ای که در گام نخست و با اعمال ضریب ۰,۱ سهم خودران شخصی ۱۰,۶۳ و خودران اشتراکی ۷,۹۵ است که کمترین میزان در مقایسه با نتایج مربوط به هزینه پارکینگ و زمان سفر است؛ مانند قبل، خودروی معمولی از ابتدا تا انتها در جایگاه اول واقع شده و از همان ابتدا، سهم تاکسی بیشتر از خودران شخصی است. از ابتدا تا انتها، خودران شخصی ۲,۹۳ درصد و خودران اشتراکی ۱,۶۵ درصد کاهش داشته‌اند. کم بودن حساسیت خودروهای خودران به هزینه بهره‌برداری می‌تواند ناشی از این باشد که در آینده، با توجه به پیشرفت‌های تکنولوژی و هیبریدی شدن همه خودروها، هزینه بهره‌برداری برای همه‌ی وسایل نقلیه کاهش پیدا خواهد کرد. لذا تغییرات سهم مدها نسبت به ضریب هزینه بهره‌برداری برای خودروهای خودران چشمگیر نیست.



شکل ۵. تغییرات سهم مدها با توجه به تغییرات ضریب زمان سفر برای خودروهای خودران در سفرهای خرید

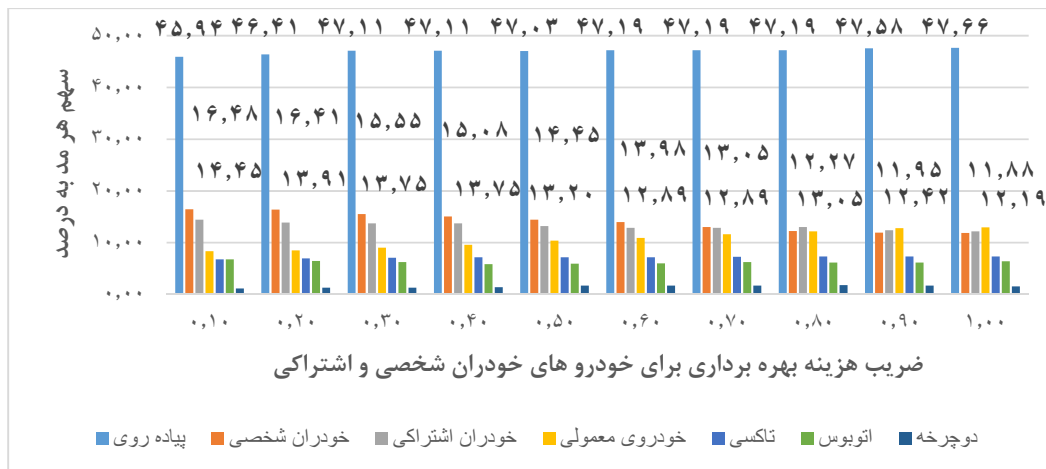


شکل ۶. تغییرات سهم مدها با توجه به تغییرات ضریب هزینه پارکینگ برای خودروهای خودران در سفرهای خرید

#### ۴-۲- سفرهای خرید

سهم داشته‌اند. با توجه به شکل ۷، مانند سفرهای کاری، خودروهای خودران شخصی و اشتراکی کمترین حساسیت را نسبت به هزینه‌های بهره‌برداری دارند، به‌گونه‌ای که در گام نخست و با اعمال ضریب ۰,۱، سهم خودران شخصی ۱۶,۴۸ که کمترین میزان در مقایسه با نتایج مربوط به هزینه پارکینگ و زمان سفر است؛ مانند قبل، مد پیاده‌روی از ابتدا تا انتها در جایگاه اول واقع شده است. با حرکت به سمت ضریب یک، از سهم خودران شخصی و خودران اشتراکی کاسته شده و به سهم مدهای دیگر به‌ویژه پیاده‌روی و خودروی معمولی افزوده می‌شود. از ابتدا تا انتها، خودران شخصی ۴,۶ درصد و خودران اشتراکی ۲,۲۶ درصد کاهش داشته‌اند. این مقادیر نشان‌دهنده‌ی این موضوع هستند که سفرهای خرید نسبت به سفرهای کاری حساسیت بیشتری نسبت به تغییرات ضریب هزینه بهره‌برداری برای خودروهای خودران شخصی و اشتراکی دارند.

با توجه به شکل ۶، با توجه به نمودار، مد خودران شخصی مانند سفرهای کاری حساسیت بالایی نسبت به هزینه‌ی پارکینگ دارد؛ به شکلی که در مرحله‌ی نخست با اعمال کمترین ضریب، ۲۴,۲۷ درصد از سهم را به خود اختصاص دادند که در مقایسه با نتایج مربوط به تغییر زمان سفر، حدود ۳,۳۵ درصد افزایش را نشان می‌دهد؛ اما حساسیت مد خودران اشتراکی به هزینه پارکینگ به مراتب کمتر از خودران شخصی است، چراکه ماهیت این مد به‌گونه‌ای است که وابستگی کمتری به پارکینگ دارد. از طرف دیگر با افزایش ضریب، سهم خودران شخصی و اشتراکی کاهش پیدا کرده و به سهم سایر مدها به‌خصوص خودروی معمولی و پیاده‌روی اضافه می‌شود، به شکلی که در پایان، خودروی معمولی از دو مد خودران شخصی و اشتراکی پیشی می‌گیرد. از ابتدا تا انتها، خودران شخصی ۱۲,۳۹ درصد و خودران اشتراکی ۰,۸۹ درصد کاهش

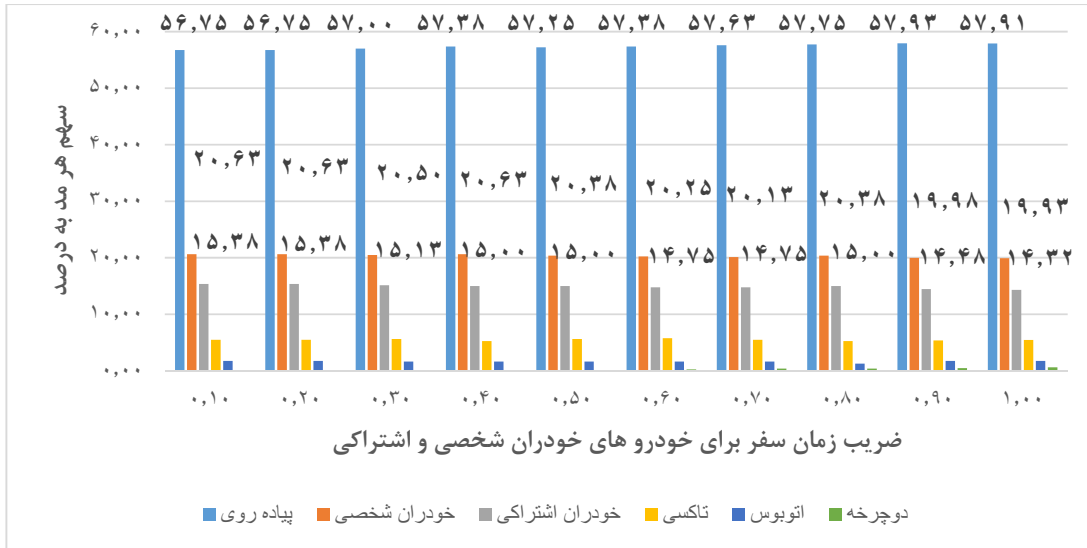


شکل ۷. تغییرات سهم مدها با توجه به تغییرات ضریب هزینه بهره‌برداری برای خودروهای خودران در سفرهای خرید

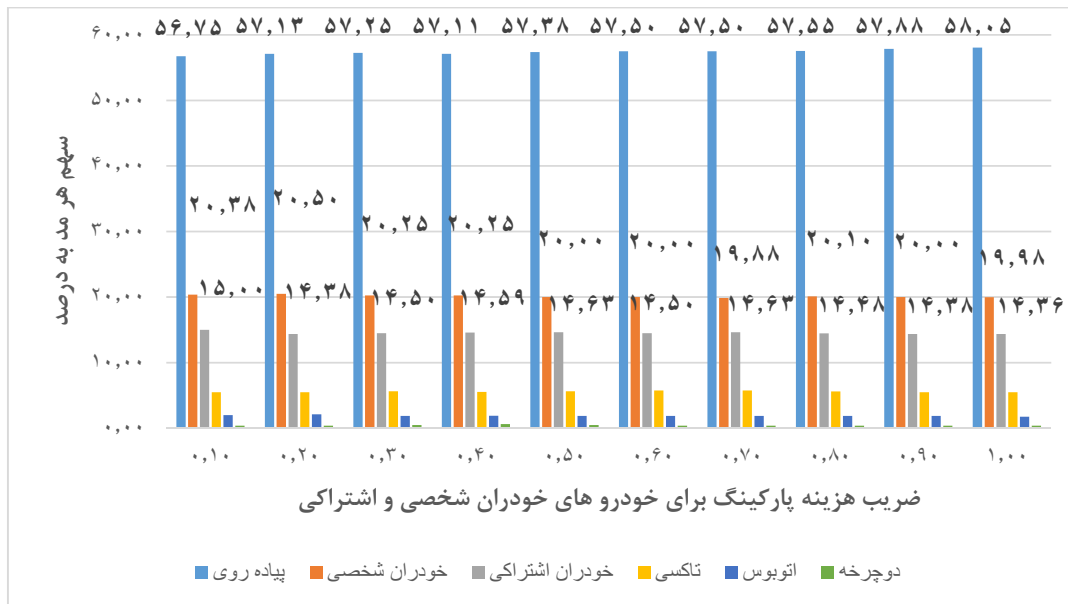
#### ۴-۳- سفرهای تحصیلی

درصد است. در این مرحله مد پیاده‌روی با ۵۶,۷۵ درصد بیشترین سهم را به خود اختصاص داده است. با افزایش ضریب، به تدریج از سهم خودروهای خودران کم شده و به سهم سایر مدها اضافه می‌شود. از ابتدا تا انتها مد خودران شخصی ۰,۷ درصد و خودران اشتراکی ۱,۰۶ درصد کاهش سهم داشته‌اند. حساسیت سفرهای تحصیلی به تغییرات ضریب زمان سفر برای خودروهای خودران شخصی و اشتراکی به مراتب کمتر از سفرهای کاری و خرید است.

با توجه به شکل ۸، از آنجایی که سفرهای تحصیلی شامل سفر دانش‌آموزان است، آن‌ها قادر به استفاده از خودروی معمولی نیستند؛ ولی با توجه به اینکه حداقل سن مجاز استفاده از خودروهای خودران شخصی و اشتراکی ۱۲ سال در نظر گرفته شده است، این دو مد در سفرهای تحصیلی وارد شده‌اند. با توجه به نمودار، در ابتدا که ضریب زمان سفر برای خودروهای خودران شخصی و اشتراکی برابر ۰,۱ است، سهم خودران شخصی ۲۰,۶۳ درصد و خودران اشتراکی ۱۵,۳۸



شکل ۸. تغییرات سهم مدها با توجه به تغییرات ضریب زمان سفر برای خودروهای خودران در سفرهای تحصیلی

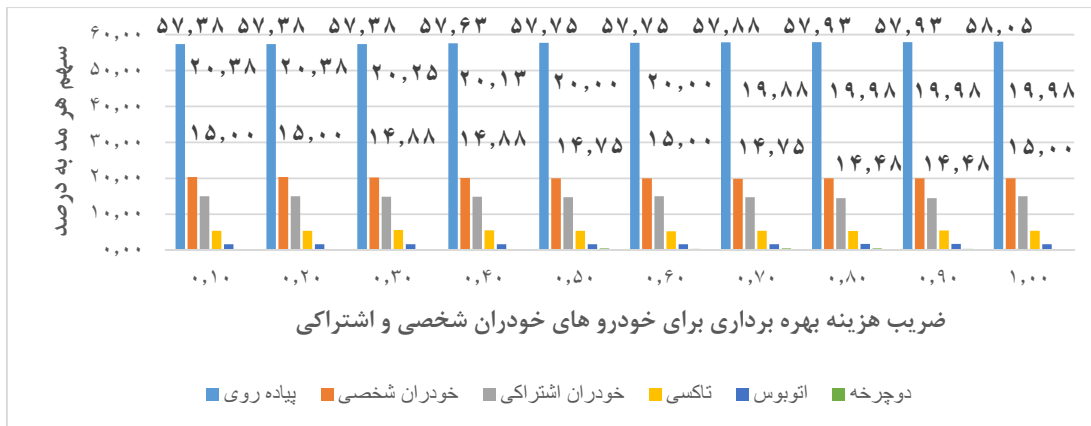


شکل ۹. تغییرات سهم مدها با توجه به تغییرات ضریب هزینه پارکینگ برای خودروهای خودران در سفرهای تحصیلی

ریشه در این داشته باشد که اصولاً مدارس پارکینگ در اختیار دانش آموزان قرار نمی‌دهند، لذا افزایش یا کاهش ضریب هزینه پارکینگ تأثیر چشمگیری بر سهم مدها ندارد. نکته قابل توجه دیگر کاهش شدید سهم دوچرخه در سفرهای تحصیلی است؛ به نحوی که سهم آن در بهترین حالت به ۰٫۵ درصد می‌رسد. علت این امر امکان استفاده از خودروهای خودران شخصی و اشتراکی برای دانش آموزان است که باعث می‌شود مطلوبیت دوچرخه کاهش پیدا کند.

با توجه به شکل ۹، برخلاف سفرهای کاری و خرید، مد خودران شخصی و اشتراکی حساسیت کمتری نسبت به هزینه پارکینگ در مقایسه با زمان سفر دارد؛ به شکلی که سهم مد خودران شخصی از ۲۰٫۳۸ با ضریب ۰٫۱ شروع شده و به ۱۹٫۹۸ درصد با ضریب یک می‌رسد که تنها ۰٫۴ درصد تغییر را نشان می‌دهد. از طرفی دیگر خودران اشتراکی نیز با ۱۵ درصد آغاز کرده و با ۱۴٫۳۶ درصد به پایان می‌رسد که آن‌هم تنها ۰٫۶۴ درصد تغییر را نشان می‌دهد. دلیل این قضیه می‌تواند





شکل ۱۰. تغییرات سهم مدها با توجه به تغییرات ضریب هزینه بهره‌برداری برای خودروهای خودران در سفرهای تحصیلی

۳ - مد خودران اشتراکی بیشترین تأثیر را بر روی سفرهای کاری می‌گذارد و سفرهای خرید و تحصیلی در رده‌های بعدی هستند.

۴ - از آنجایی که منظور از سفرهای تحصیلی در مدل ساخته‌شده، سفرهای دانش آموزان به مدرسه است و سن مجاز به استفاده از خودروهای خودران ۱۲ سال در نظر گرفته شده است، لذا مد خودران شخصی و اشتراکی حدود یک سوم سهم سفرها را به خود اختصاص می‌دهند که در مقایسه با سهم مدها در این نوع سفرها در حال حاضر قابل توجه هستند؛ اما از طرفی دیگر با توجه به اینکه مدارس امکانات لازم جهت پارک خودرو برای دانش آموزان را ندارند (مدارس با توجه به وضعیت کنونی مدل شده‌اند)، این سفرها کمترین حساسیت را نسبت به تغییرات هزینه پارکینگ نشان می‌دهند و حساسیت آن‌ها نسبت به تغییرات زمان سفر بیشتر است.

۵ - مدهای خودران شخصی و اشتراکی کمترین حساسیت را نسبت به تغییرات هزینه بهره‌برداری در مقایسه با دو متغیر دیگر دارد. این کم بودن حساسیت می‌تواند ناشی از این باشد که در آینده، با توجه به پیشرفت‌های تکنولوژی و هیبریدی شدن همه خودروها، هزینه بهره‌برداری برای همه‌ی وسایل نقلیه کاهش پیدا خواهد کرد. لذا، تغییرات سهم مدها نسبت به ضریب هزینه بهره‌برداری برای خودروهای خودران چشمگیر نیست.

۶ - به‌طور کلی سهم مد دوچرخه‌سواری و حمل‌ونقل همگانی در همه‌ی سفرها به دلیل حضور خودروهای خودران کاهش چشمگیری داشته است ولی این کاهش در سفرهای تحصیلی،

با توجه به شکل ۱۰، مانند تغییرات زمان سفر و هزینه پارکینگ، حساسیت مدهای خودران شخصی و اشتراکی به تغییرات هزینه بهره‌برداری ناچیز است، به‌گونه‌ای که در گام نخست و با اعمال ضریب ۰,۱، سهم خودران شخصی ۲۰,۳۸ است و در پایان به ۱۹,۹۸ می‌رسد که در نتیجه ۰,۴ درصد کاهش را نشان می‌دهد. خودران اشتراکی نیز با ۱۵ درصد شروع کرده و در کمترین حالت به ۱۴,۴۸ می‌رسد که در نتیجه ۰,۵۲ درصد کاهش را در پی دارد که تقریباً برابر با نتایج مربوط به هزینه پارکینگ و زمان سفر است؛ مانند قبل، مد پیاده‌روی از ابتدا تا انتها در جایگاه اول واقع شده است. با حرکت به سمت ضریب یک، از سهم خودران شخصی و خودران اشتراکی کاسته شده و به سهم مدهای دیگر به‌ویژه پیاده‌روی و تاکسی افزوده می‌شود.

## ۵- نتیجه‌گیری

یافته‌ها و نتایج حاصل از تأثیرات خودروهای خودران با توجه به تغییرات سه متغیر زمان سفر، هزینه پارکینگ و هزینه بهره‌برداری بر روی اهداف سفر و مدها به‌طور خلاصه شرح زیر است:

۱ - تغییرات هزینه پارکینگ بیشترین تأثیر را بر روی مد خودران شخصی و تغییرات زمان سفر بیشترین تأثیر را بر روی مد خودران اشتراکی می‌گذارد.

۲ - حضور مد خودران شخصی بیشترین تأثیر را بر روی سفرهای خرید می‌گذارد؛ سفرهای کاری و تحصیلی در رده‌های بعدی جای دارند.

Commuting", Transportation Research Record, Vol.2672 issue: 46, pp.11-20.

-L. Kröger, T. Kuhnimhof and S. Trommer, (2018), "Does context matter? A comparative study modelling autonomous vehicle impact on travel behaviour for Germany and the USA. Transportation Research Part A.

-L. Troung, C. De Gruyter, G. Currie and A. Delbose, (2017), "Estimating the Trip Generation Impacts of Autonomous Vehicles on car travel in Victoria", Australia.

-P. Davidson and A. Spinoulas, (2015), "Autonomous vehicles: what could this mean for the future of transport?" Australian Institute of Traffic Planning and Management (AITPM) National Conference, Brisbane, Queensland.

-S. Childress, B. Nichols, B. Charlton and S. Coe, (2015), "Using an Activity-Based Model to Explore Possible Impacts of Automated Vehicles", Transportation Research Board, Washington, D.C.

-T. Litman, (2018), "Autonomous Vehicle Implementation Predictions", Victoria Transport Policy Institute, Australia.

-Transportation Benefit and Cost, <http://bca.transportationeconomics.org/benefit>.

به دلیل پایین آمدن حداقل سن مجاز استفاده از خودروهای خودران، کاهش بیشتری داشته است.

۷ - میانگین دامنه تغییرات مد خودران شخصی به ازای تغییرات زمان سفر، هزینه پارکینگ و هزینه بهره‌برداری برابر با ۵,۴۷، ۸,۹۲- و ۲,۷۴- درصد و همین میانگین برای مد خودران اشتراکی برابر با ۳,۲۲-، ۲,۰۱- و ۱,۵۳- است.

#### ۶- پی‌نوشت‌ها

- 1- Autonomous Vehicles
- 2- Travel mode
- 3- Parking cost
- 4- Operating cost
- 5- Activitysim
- 6- Shared Autonomous Vehicles
- 7- Urbansim
- 8- Multinomial nested logit

#### ۷- مراجع

-J. Kamel, R. Vosooghi, J. Puchinger, F. Ksontini and G. Sirin, (2018), "Exploring the Impact of User Preferences on Shared Autonomous Vehicle Modal Split: A Multi-Agent Simulation Approach". 21st annual meeting of the EURO Working Group on Transportation (EWGT2018), Germany.

-F. Steck, V. Kolarova and F. Bahamonde, (2018), "How Autonomous Driving May Affect the Value of Travel Time Savings for

# **Impacts of Autonomous Vehicles on Modal Split Regarding Changes in Travel Time, Parking Cost and Operating Cost (Case Study: Qom)**

*Shahriar Afandizadeh, Professor, School of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.*

*Reza Jafari, M.Sc., Grad., School of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.*

*Navid Kalantari, Ph.D., Grad., School of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.*

*E-mail: zargari@iust.ac.ir*

Received: July 2021-Accepted: August 2021

## **ABSTRACT**

According to the latest technological advances in Intelligent Transportation System (ITS), sooner or later, Autonomous Vehicles (AVs) will enter the market widely and affect many aspects of transportation planning. Items such as value of time, modal split, travel time, vehicle-kilometer, parking cost, operating cost, etc. Therefore, this research tries to determine the effects of AVs on modal split in Qom. At the first stage, synthesized population, Households and person information, land use, traffic analysis zone information and traffic skins gathered and entered to Activitysim software to forecast the demand by using activity-based models. Afterwards, in order to determine the effects of AVs on modal split, travel time, parking cost and operating cost, which are considered to alter dramatically by the presence of autonomous vehicles, gradually changed in 10 steps. Then, the outcomes for each step and each specific trip purpose were analyzed. The results show that parking cost has the major effect on private AVs and travel time plays the main role in case of Shared Autonomous Vehicles.

**Keywords:** Autonomous Vehicles, Travel Time, Parking Cost, Operating Cost, Activitysim