



Munich Personal RePEc Archive

Estimation of Optimal Rate for Compact Tariffs in Highways across Iran applying the Value Pricing Methodology

Bubak, Baran

Allame Tabatabaee University

16 August 2020

Online at <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/105490/>
MPRA Paper No. 105490, posted 27 Jan 2021 21:18 UTC

تخمین نرخ بهینه عوارض تراکم برای آزادراه‌های ایران با استفاده از مدل قیمت‌گذاری ارزش

Estimation of Optimal Rate for Compact Tarriffs in Highways across Iran applying the Value Pricing Methodology

Baran Bibak¹

English Abstract:

This chapter aims at finding the optimal tariff rates for Save-Salafchegan-Tehran-Pardis-Chaloos-Karaj Highways. In so doing, I use Small-Yan index to expand the optimal function around the point of gravity. Using real time data, the model's parameters have been calibrated. The optimal tariff rates has been extracted. Policy implications are discussed.

Persian Abstract:

در این پژوهش هدف بدست آوردن عوارض بهینه برای آزادراه‌های ساوه-سلفچگان، تهران-پردیس و قزوین-کرج است. برای بدست آوردن عوارض بهینه ابتدا مدل قیمت‌گذاری ارزش، اسمال و یان برای نزدیکی بیش‌تر با واقعیت توسط مولف بسط داده شد، پارامترهای این مدل با استفاده از داده‌های روزانه تردد شماری سازمان راهداری و حمل و نقل جاده‌ای تخمین زده شد و سپس پارامتر ارزش زمانی به صورت ساختاری تخمین زده شد و عوارض بهینه به صورت عددی برای آزادراه‌های مزبور بدست آمد. امید که قبول افتد.

Keywords: Value-Pricing, Highway Tarriff, Optimization

JEL Codes: J53, K23, L16, L52

¹ Allame Tabatabaee University



مدیریت و اقتصاد دانشکده

پایان نامه به عنوان تحقق بخشی از شرایط دریافت درجه کارشناسی ارشد

گرایش برنامه ریزی و توسعه اقتصادی

تخمین نرخ بهینه عوارض تراکم برای آزادراه‌های ایران با استفاده از مدل قیمت گذاری
ارزش

نگارش

باران بیباک

استاد راهنما

دکتر محمد ستاری فر

تقدیم به:

پدر و مادر عزیز و مهربانم

که در سختی‌ها و دشواری‌های زندگی همواره یآوری دلسوز و فداکار و پشتیبانی محکم و مطمئن برایم بوده‌اند.

تشکر و قدردانی:

از جناب آقای سید میلاد محمدی مسجد سلیمانی اصل جنس به خاطر یاری‌ها و راهنمایی‌های بی‌چشمداشت ایشان که بسیاری از سختی‌ها را برایم آسان‌تر نمودند و استاد گرامیم جناب آقای دکتر محمد حسین رحمتی بسیار سپاسگذارم.

چکیده

در این پژوهش هدف بدست آوردن عوارض بهینه برای آزادراه‌های ساوه- سلفچگان، تهران- پردیس و قزوین- کرج است. برای بدست آوردن عوارض بهینه ابتدا مدل قیمت‌گذاری ارزش، اسمال و یان برای نزدیکی بیش‌تر با واقعیت توسط مولف بسط داده شد، پارامترهای این مدل با استفاده از داده‌های روزانه تردد شماری سازمان راهداری و حمل و نقل جاده‌ای تخمین زده شد و سپس پارامتر ارزش زمانی به صورت ساختاری تخمین زده شد و عوارض بهینه به صورت عددی برای آزادراه‌های مزبور بدست آمد. در نهایت نسبت به تمامی پارامترها تحلیل حساسیت انجام شد. نتایج نشان می‌دهد که عوارض بهینه برای آزادراه ساوه- سلفچگان یکتا و برابر با 1.07 عوارض فعلی است. عوارض بهینه برای آزادراه‌های تهران پردیس و قزوین- کرج یکتا نیست و به ترتیب در بازه‌ی $0.03 \leq \tau$ و $\tau \leq 3.72$ قرار دارد. بزرگی ارزش زمانی استفاده‌کنندگان از جاده، اختلاف بین ارزش زمانی استفاده‌کنندگان و همچنین کیفیت دو جاده‌ی معادل، سه عامل در میزان بیشتر یا کم‌تر بودن عوارض بهینه از عوارض فعلی، برای این سه آزادراه بوده است. عوارض بهینه برای آزادراه‌های تهران- پردیس و قزوین- کرج به پارامترهای ارزش زمانی حساسیت کمی دارند، درحالی‌که عوارض بهینه آزادراه ساوه- سلفچگان نسبت به ارزش زمانی وسایل نقلیه‌ی غیرسنگین حساس است. به نظر می‌رسد تخمین سنجی پارامترها و همچنین تحلیل حساسیت، برای اولین بار در مقالات این حوزه استفاده شده است.

کلمات کلیدی: عوارض بهینه، قیمت‌گذاری ارزش، ارزش زمانی

فهرست مطالب

ح	چکیده
أ	فهرست مطالب
ت	فهرست جدول‌ها
ث	فهرست شکل‌ها
1	فصل 1 معرفی پژوهش
3	فصل 2 مبانی نظری و پیشینه پژوهش
6	فصل 3 روش پژوهش
14	فصل 4 تجزیه و تحلیل یافته‌ها
14	1- 4 داده‌ها
20	2- 4 نتایج رگرسیون
21	3- 4 نتایج تخمین ساختاری آلفاها
22	4- 4 نتایج عوارض بهینه
32	5- 4 تحلیل حساسیت
38	فصل 5 نتیجه‌گیری و پیشنهادها
38	1- 5 نتیجه‌گیری
38	2- 5 پیشنهادها

فهرست جدول ها

عنوان	صفحه
جدول 1- 1. رفتار وسایل نقلیه در ماه فروردین	94.....7
جدول 4 - 1 - 1. داده‌های تمیز نشده (pooled) آزادراه تهران- پردیس و جاده‌ی معادل آن.....13	
جدول 4 - 1 - 2. داده‌های تمیز شده (pooled) آزادراه تهران- پردیس و جاده‌ی معادل آن.....23	
جدول 4 - 1 - 2. داده‌های تمیز شده به تفکیک سال‌ها (آزادراه تهران- پردیس و جاده‌ی معادل آن).....25	
جدول 4 - 2 - 1. تخمین پارامترهای γ و k26	
جدول 4 - 3 - 1. نتایج آلفاها.....2	
جدول 4 - 3 - 2. نیاز.....26	
جدول 4 - 4 - 1. رفاه و عوارض بهینه (آزادراه ساوه- سلفچگان و جاده‌ی معادل آن).....27	
جدول 4 - 4 - 2. مقادیر تعادلی (آزادراه ساوه- سلفچگان و جاده‌ی معادل آن).....27	
جدول 4 - 4 - 3. مقایسه آزادراه با جاده‌ی معادل28	
جدول 4 - 4 - 4. رفاه و عوارض بهینه (آزادراه تهران- پردیس و جاده‌ی معادل آن).....33	
جدول 4 - 4 - 5. مقادیر تعادلی (آزادراه ساوه- سلفچگان و جاده‌ی معادل آن).....33	

جدول 4 - 4 - 6. رفاه و عوارض بهینه (آزادراه قزوین- کرج و جاده‌ی معادل آن)	35.....
جدول 4 - 4 - 7. مقادیر تعادلی (آزادراه قزوین- کرج و جاده‌ی معادل آن)	36.....
جدول 4 - 5 - 1. تحلیل حساسیت ارزش زمانی استفاده‌کنندگان نوع اول	37.....
جدول 4 - 5 - 2. تحلیل حساسیت ارزش زمانی استفاده‌کنندگان نوع دوم	38.....
جدول 4 - 5 - 3. تحلیل حساسیت تمامی پارامترها	39.....
جدول 4 - 5 - 4. تحلیل حساسیت ارزش زمانی استفاده‌کنندگان نوع اول	40.....
جدول 4 - 5 - 5. تحلیل حساسیت ارزش زمانی استفاده‌کنندگان نوع دوم	40.....
جدول 4 - 5 - 6. تحلیل حساسیت تمامی پارامترها	41.....
جدول 4 - 5 - 7. تحلیل حساسیت تمامی پارامترها	41.....

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل 1-1. سرعت متوسط آزادراه تهران- پردیس و جاده‌ی تهران- جاجرود (1394)	7
شکل 1-1-4. تعدادکل وسایل نقلیه جاده تهران- جاجرود	20
شکل 2-1-4. میانگین سرعت جاده تهران- جاجرود	21

- شکل 3-1-4. سرعت میانگین بر حسب تعداد وسایل نقلیه آزادراه ساوه- سلفچگان.....21
- شکل 4-1-4. تعداد کل وسایل نقلیه جاده‌ی قدیم قزوین- کرج(1392).....22
- شکل 4-1-5. تعداد وسایل نقلیه جاده تهران- جاجرود.....23
- شکل 4-1-6. میانگین سرعت جاده تهران- جاجرود.....24
- شکل 4-1-7. سرعت میانگین بر حسب تعداد وسایل نقلیه آزادراه ساوه- سلفچگان.....24
- شکل 4-4-1. هزینه گروه اول بر حسب تعداد وسایل نقلیه (ساوه- سلفچگان).....29
- شکل 4-4-2. تعداد وسایل نقلیه‌ی گروه اول بر حسب عوارض (ساوه- سلفچگان).....29
- شکل 4-4-3. تعداد وسایل نقلیه‌ی گروه دوم بر حسب عوارض (ساوه- سلفچگان).....30
- شکل 4-4-5. زمان رسیدن در آزادراه ساوه- سلفچگان بر حسب عوارض.....31
- شکل 4-4-6. مقدار رفاه بر حسب عوارض (ساوه- سلفچگان).....32
- شکل 4-4-7. مقدار رفاه بر حسب عوارض (آزادراه تهران- پردیس و جاده‌ی معادل آن).....34
- شکل 4-4-8. مدت زمان رسیدن در آزادراه تهران- پردیس بر حسب عوارض.....35
- شکل 4-4-9. رفاه بر حسب عوارض (آزادراه قزوین- کرج و جاده‌ی معادل آن).....36
- شکل 4-5-1. عوارض بهینه بر حسب ارزش زمانی گروه اول و دوم.....38

فصل 1 معرفی پژوهش

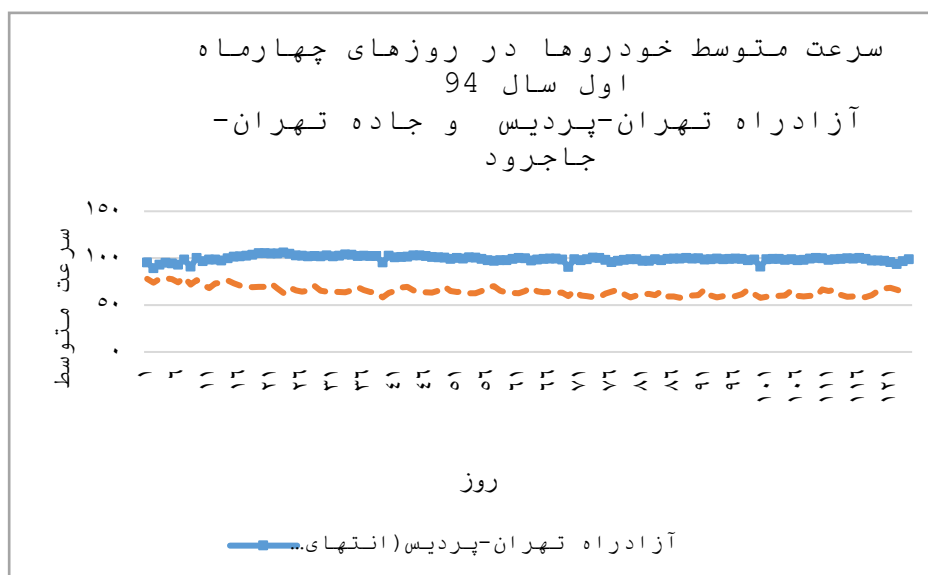
یکی از روش‌های قیمت‌گذاری جاده‌ای قیمت‌گذاری ارزش¹ است، در این روش با توجه به اینکه مسافران می‌توانند بین جاده‌ی متراکم کم کیفیت- رایگان و آزادراه انتخاب داشته باشند، قیمت‌گذاری انجام می‌شود. این مدل به این دلیل قیمت‌گذاری ارزش تعریف می‌شود که استفاده‌کنندگان برای خدمات با ارزش بالاتر باید پول پرداخت کنند، مانند مسافران هوایی و ریلی که می‌توانند بلیط نوع اول را خریداری کنند و قیمت بالاتری پرداخت کنند. اکثر مطالعات انجام شده در زمینه قیمت‌گذاری جاده‌های موازی به صورت تئوری بوده است، در این پژوهش با توجه به وجود جاده‌ی رایگان در کنار جاده‌ی قیمت‌گذاری شده در ایران و داده‌های در دسترس سازمان راهداری و حمل و نقل جاده‌ای به تخمین نرخ بهینه عوارض تراکم به صورت عددی، با استفاده از داده‌های تجربی پرداخته می‌شود. برخلاف سایر مطالعات انجام شده در این زمینه ابتدا پارامترهای هزینه سفر از جاده با استفاده از داده‌های واقعی به صورت سنجی تخمین زده شد و سپس پارامتر ارزش زمانی با استفاده از داده‌های تجربی به صورت ساختاری برای وسایل نقلیه‌ی سنگین و غیرسنگین تخمین زده شد و در نهایت عوارض بهینه به صورت عددی بدست آمد. در این پژوهش برخلاف سایر مطالعات برای ارزش زمانی انحراف معیار بدست آورده شد و نسبت به تمامی پارامترها تحلیل حساسیت انجام شد.

سوالی که در این پژوهش مطرح می‌شود، تخمین نرخ بهینه عوارض تراکم بهترین دوم برای آزادراه‌های ایران با استفاده از مدل قیمت‌گذاری ارزش است که در مقاله‌ی اسمال و یان (2001)² مطرح شده است. عوارض بهترین دوم نوعی از عوارض است که در آن تابع رفاه اجتماعی نسبت به قید عوارض صفر در جاده‌ی معادل حداکثر می‌شود. فرضیه این تحقیق عبارت است از: میزان عوارض بهترین دوم بیش‌تر از نرخ فعلی عوارض است.

مدیریت تقاضا و یافتن راه‌هایی برای کم کردن تراکم در کشور ایران بسیار مهم است. یکی از روش‌های مدیریت تقاضا، قیمت‌گذاری تراکم است که در این پژوهش با توجه به ساختار قیمت‌گذاری در ایران به تعیین عوارض بهترین دوم تراکم برای آزادراه‌ها می‌پردازیم. شکل زیر به خوبی تفاوت در خدمات ارائه شده در آزادراه‌ها و جاده‌ی معادل آن‌ها را نشان می‌دهد.

1) Value pricing
2) Small and Yan

شکل-1: سرعت متوسط آزادراه تهران-پردیس و جاده‌ی تهران-جاجرود



همان طور که مشخص است، متوسط سرعت در آزادراه‌ها بیش‌تر از جاده‌ی معادل آن‌ها است، بنابراین لازم است به دلیل بهتر بودن خدمات ارائه شده در آزادراه‌ها، عوارض پرداخت شود. از طرفی هم جدول زیر نشان می‌دهد که با توجه به نصف بودن زمان سفر در آزادراه تهران-پردیس نسبت به جاده‌ی تهران-جاجرود، تعداد استفاده‌کنندگان از جاده‌ی تهران-جاجرود 8172 بیشتر از آزادراه تهران-پردیس است. می‌توان گفت دلیل آن میزان زیاد عوارض آزادراه تهران-پردیس بوده است. میزان عوارض بین 3000 تومان تا 9000 تومان بر تصمیم‌گیری استفاده‌کنندگان در تعیین مسیر سفر موثر بوده است که این حقیقت انگیزه‌ی اصلی این پژوهش است.

جدول 1-2: رفتار وسایل نقلیه در ماه فروردین 94

جاده	آزادراه تهران-پردیس (انتهای آزادراه)	تهران-جاجرود
میانگین سرعت (کیلومتر بر ساعت)	99.16	64.13
طول جاده (کیلومتر)	22.6	27.4
میانگین زمان رسیدن (ساعت)	14 دقیقه	25 دقیقه
میانگین تعداد کل وسایل نقلیه در روز	18107	26279
میزان عوارض	بین 3000 (سواری) تا 9000 (تربیلی)	0

فصل 2 مبانی نظری و پیشینه پژوهش

برید(1996)¹ به تعیین قیمت بهینه تراکم زمانی که دو مسیر کاملاً جانشین وجود دارد و در هر دو مسیر نیز گلوگاه وجود دارد می‌پردازد. دو مسیر می‌تواند دو پل، یک جاده رایگان و یک جاده قیمت گذاری شده، یک راه شریانی غیر قابل قیمت گذاری و یک جاده قیمت گذاری شده یا دو خط متفاوت از یک پل یا بزرگراه باشد. این دو مسیر لزوماً ظرفیت برابری ندارند و اگر جریان ترافیک هر مسیر کم‌تر از ظرفیت مسیر باشد صف ایجاد نمی‌شود. استفاده کنندگان از دو مسیر کاملاً مشابه هستند و هزینه جریان-آزاد سفر هر دو مسیر برابر است. افراد مسیر و زمان عبور از گلوگاه را طوری تعیین می‌کنند که هزینه‌های خصوصی سفر حداقل شود.

زمانی که در هیچ کدام از مسیرها قیمت‌گذاری نداریم تعادل به گونه‌ای حاصل می‌شود که تعداد استفاده کنندگان هر دو مسیر برابر می‌شود در این حالت در هر دو مسیر صف ایجاد می‌شود. بهترین اول زمانی اتفاق می‌افتد که عوارض حداکثر بار(تراکم) در هر دو مسیر اعمال شود و عوارض اعمال شده در هر دو مسیر نیز برابر است، در این حالت تمامی صف‌ها در دو مسیر حذف می‌شوند. اگر عوارض تراکم فقط برای یک مسیر تعیین شود و مسیر دیگر رایگان باشد قیمت‌گذاری بهترین دوم نامیده می‌شود و در مسیر قیمت‌گذاری شده صف کاملاً حذف می‌شود. عوارض اعمال شده در مسیر قیمت‌گذاری شده به طور میانگین صفر است به این صورت که قبل از شروع تراکم عوارض منفی وجود دارد و در زمان اوج عوارض مثبت وجود دارد. در این حالت مسافران از مسیر رایگان به سمت مسیر قیمت‌گذاری شده سرازیر می‌شوند و تعادل جایی اتفاق می‌افتد که هزینه نهایی اجتماعی دو مسیر برابر شود. نتایج نشان می‌دهد که اگر ظرفیت دو جاده برابر باشد، منافع حاصل از بهترین دوم، $2/3$ منافع حاصل از بهترین اول است.

ورهِوف و همکاران(1996)² قیمت‌گذاری تراکم برای یک مسیر متراکم که یک جایگزین رایگان برای آن وجود دارد را مطالعه می‌کنند. هدف این مقاله بررسی کارایی نسبی قیمت‌گذاری بهترین دوم تراکم، زمانی که استفاده کنندگان جاده قدرت انتخاب بین دو مسیر رایگان و قیمت‌گذاری شده است را دارند، است. این مقاله از مدل شبیه سازی دو مسیری استفاده می‌کند و اثر تغییرات پارامترهای هزینه و تابع تقاضا را روی کارایی نسبی عوارض یک مسیر آنالیز می‌کند. فرض می‌شود که دو جاده کاملاً جانشین هستند و متوسط هزینه سفر و ارزش زمانی برای همه‌ی استفاده کنندگان از جاده برابر است. برای بدست آوردن عوارض بهینه، رفاه اجتماعی را حداکثر می‌کنند و عوارض بهترین دوم را بدست می‌آورند. بنابراین عوارض به صورتی تنظیم می‌شود که برابر با اختلاف هزینه نهایی بیرونی تراکم روی دو مسیر باشد. این مقاله سه رژیم قیمت‌گذاری را در نظر گرفته است، رژیم بدون عوارض، بهترین اول و بهترین دوم و تعداد مسافران تعادلی در هر کدام از رژیم‌ها را بدست آورده است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد هر چه پارامتر هزینه در یک مسیر کم‌تر باشد

1) Braid

2) Verhoff and Nijkamp and Rietveld

اعمال عوارض بهینه در آن مسیر کارتر است. در حالتی که دو مسیر مشابه با تقاضای باکشش و هزینه جریان آزاد متفاوت وجود دارد، قیمت گذاری یک مسیر جذاب نیست. در حالی که اگر تقاضا بی کشش باشد قیمت گذاری یک مسیر جذاب است. در این مقاله حداکثرسازی درآمد عوارض روی یک مسیر و هر دو مسیر نیز بررسی شد که نتایج نشان می دهد که حداکثرسازی درآمد عوارض یک مسیر نسبت به حداکثرسازی درآمد عوارض دو مسیر کارایی کمتری دارد.

نان لیو و مک دونالد (1998)¹ به بررسی قیمت گذاری تراکم برای آزادراه های شهری که به دلایل مختلف سیاسی و تکنولوژیکی امکان قیمت گذاری تراکم وجود نداشته است پرداخته اند. این مقاله برای مقایسه رژیم های قیمت گذاری بهترین اول و دوم و رژیم بدون عوارض، از تئوری قیمت گذاری بهترین دوم و مدل شبیه سازی استفاده کرده است. در این مدل دو مسیر برای سفر وجود دارد و استفاده کنندگان دو انتخاب برای زمان سفر دارند (قبل از اوج و اوج).

با این وجود که سیاست قیمت گذاری بهترین دوم کارایی کمتری نسبت به بهترین اول دارد ولی سه اثر عمده بر حجم ترافیک دارد؛ 1) موجب انتقال ترافیک در زمان اوج به مسیر آزاد می شود. 2) موجب انتقال ترافیک از زمان اوج به زمان غیر اوج می شود. 3) حجم ترافیک کل را کاهش می دهد.

نتایج شبیه سازی نشان می دهد که، بهترین دوم در باز توزیع حجم ترافیک موثر است اما کارایی کمتری نسبت به بهترین اول دارد. منافع رفاهی بهترین دوم از منافع رفاهی بهترین اول کم تر است و عوارض بهترین دوم از بهترین اول خیلی کم تر است. نتایج شبیه سازی نسبت به تغییر پارامترهای تقاضا و هزینه حساس نیست.

در مطالعات قبلی، استفاده کنندگان از جاده ها همگن فرض شدند، در حالی که در واقعیت ترجیحات همه ی افراد یکسان نیست، اسمال و یان (2001) تفاوت در ارزش زمانی استفاده کنندگان از جاده را به عنوان یک پارامتر ناهمگنی وارد مدل خود کردند، در واقع آن ها به توسعه ی مدل نان لیو مک دونالد (1998) پرداختند و با در نظر گرفتن دو گروه از استفاده کنندگان که ارزش زمانی متفاوتی دارند، عوارض تراکم را برای یک دوره ی زمانی بدست آوردند. آن ها بیان می کنند که ناهمگنی در ارزش زمانی تفاوت معناداری در ارزیابی مقایسه ی سیاست های بهترین دوم و حداکثرسازی سود دارد. برای تعیین نرخ بهینه عوارض تراکم از روش قیمت گذاری ارزش استفاده می کنند که در آن مسافران می توانند بین جاده ی متراکم رایگان و جاده ی قیمت گذاری شده انتخاب داشته باشند. برای طراحی قیمت گذاری ارزش سه روش جایگزین می تواند در نظر گرفته شود، روش اول اعمال عوارض بهترین دوم برای آزادراه ها است به گونه ای

1) Nan Liu and McDonald

که رفاه اجتماعی نسبت به قید عوارض صفر در مسیر جایگزین، حداکثر شود. روش دوم حداکثرسازی سود است که در این روش عوارض به گونه‌ای تعیین می‌شود که درآمد مسیر قیمت‌گذاری شده نسبت به قید عوارض صفر در مسیر جایگزین، حداکثر شود. روش سوم اعمال عوارض به گونه‌ای است که یک جریان سرعت حداقل در مسیر قیمت‌گذاری شده ایجاد شود. در این مقاله روش اول و دوم استفاده شده است و عوارض بدست آمده در این دو روش با یکدیگر مقایسه شده اند.

برای پی بردن به اثر ناهمگنی استفاده‌کنندگان روی کارایی سیاست‌های قیمت‌گذاری مختلف چند سناریو را شبیه سازی می‌کند که اولین سناریو، سناریو پایه است که در این سناریو کشش قیمتی تقاضا را 0.33- در نظر می‌گیرد، نتایج این سناریو نشان می‌دهد که منافع رفاهی حاصل از قیمت‌گذاری بهترین دوم کوچک است، عوارض بهترین دوم نسبت به عوارض بهترین اول بسیار کوچک است و اثر کمی بر ترافیک دارد و تنها 1% ترافیک را کاهش می‌دهد. عوارض بهترین اول حدود 40% بیش‌تر از عوارض حداکثرسازی سود است و سه برابر عوارض حداکثرسازی سود ترافیک را کاهش می‌دهد. سیاست‌گذاری حداکثرسازی سود نسبت به قیمت‌گذاری بهترین دوم کیفیت بهتری ارائه می‌کند. اختلاف بین زمان سفر در دو جاده‌ی A و B زیاد است که نشان می‌دهد، قدرت قیمت‌گذاری وجود دارد و انحصار در تعیین قیمت موجب ارائه کیفیت بهتر می‌شود.

سناریو بعدی سناریو با کشش بالا است که در این سناریو کشش برابر یا 0.60- در نظر گرفته می‌شود، نتایج نشان می‌دهد که در این حالت عوارض بهترین دوم بیش‌تر می‌شود ولی هنوز نسبت به عوارض حداکثر کننده سود کم‌تر است. عوارض بهترین اول نیز کاهش می‌یابد. در سناریو تراکم بالاتر، با افزایش عرض از مبدا تقاضا را افزایش می‌دهد و نتایج را با نتایج قبلی مقایسه می‌کند که در این حالت در سیاست حداکثرسازی سود عوارض بیش‌تر می‌شود و منافع رفاهی کاهش می‌یابد. به طور کلی نتایج نشان می‌دهد که عوارض بهترین اول بیش‌تر از عوارض بهترین دوم است و اعمال عوارض حداکثر کننده سود در مقایسه با نبود عوارض در هر دو مسیر موجب از دست رفتن رفاه اجتماعی می‌شود، مخصوصاً زمانی که ناهمگنی پایین باشد و نسبت استفاده‌کنندگانی که ارزش زمانی بالاتری دارند بیش‌تر از نسبت ظرفیتی باشد که قیمت‌گذاری می‌شود.

فصل 3 روش پژوهش

در این تحقیق ابتدا معادلات قیمت گذاری ارزش که در مقاله‌ی اسمال و یان (2001) مطرح شده است بسط داده شد و مجدداً حل شد، مزیت مدل بسط داده شده نسبت به مدل مقاله‌ی اسمال این است که طول دو جاده و جریان - آزاد زمان سفر متفاوت در نظر گرفته شدند و نیز بین وسایل نقلیه‌ی سنگین و غیرسنگین تمایز قائل شد، و زمان رسیدن نسبت به افراد داخل جاده متفاوت فرض شد. سپس داده‌های در دسترس تمیز شدند و پارامترهای مدل برخلاف ادبیات این حوزه به صورت سنجی تخمین زده شد و برای پارامتر ارزش زمانی انحراف معیار بدست آورده شد، که این اجازه را به ما داد که بازه‌ی تخمین پارامترها را بدست آورده و مبنای آماری برای پژوهش فراهم گردد. در نهایت به دلیل وجود جاده‌ی رایگان در کنار جاده‌ی قیمت گذاری شده در ایران، عوارض بهترین دوم برای آزادراه‌های؛ تهران - پردیس (جاده‌ی معادل تهران - جاجرود)، سلفچگان - ساوه (جاده‌ی معادل سلفچگان - ساوه قدیم) و قزوین - کرج (جاده‌ی معادل قزوین - کرج قدیم) به صورت عددی بدست آمدند و نسبت به تمامی پارامترهای تخمین زده شده برای اولین بار در این حوزه، تحلیل حساسیت انجام شد. رفاه را نیز برای درک عمیق‌تر مدل برحسب عوارض فعلی محاسبه شد.

دو جاده‌ی A و B را در نظر می‌گیریم که یک مبدا و مقصد را به هم متصل می‌کنند. جاده B را جاده جایگزین می‌نامیم که عوارض در این جاده برابر صفر است ($\tau_B = 0$). دو جاده طول (L) و جریان - آزاد زمان سفر ($T_f L$) متفاوتی دارند. دو گروه مختلف (گروه یک و دو) از استفاده کنندگان جاده از این دو مسیر استفاده می‌کنند و هزینه‌ی سفر از این دو مسیر را پرداخت می‌کنند. هزینه سفر به غیر از عوارض به صورت زیر تعریف می‌شود:¹

$$c_{ir}(N_r) = \alpha_i T_{fr} L_r [1 + \gamma_r (N_r)^{k_r}] \quad i = 1, 2 ; r = A, B \quad (1)$$

α_i : ارزش زمان (پارامتر ناهمگنی) است که نشان دهنده میزان اهمیت زمان سفر برای افراد است. فرض می‌شود ارزش زمانی استفاده کنندگان نوع اول (وسایل نقلیه سواری) از ارزش زمانی استفاده کنندگان نوع دوم (وسایل نقلیه سنگین) بیشتر است ($\alpha_1 \geq \alpha_2$) که به دلیل این تمایز، ناهمگنی در بین افراد در مدل وارد می‌شود. در مقاله اسمال تمایزی بین وسایل نقلیه سواری و

1) جزء متغیر هزینه در مقاله اسمال $\alpha_i T_{fr} L \left[\gamma \left(\frac{N_r}{K_r} \right)^k \right]$ تعریف شده است که K_r ، ظرفیت جاده یا همان حداکثر تعداد خودروهایی که می‌توانند در جاده r تردد کنند. در این تابع $\frac{\gamma}{(K_r)^k}$ اهمیت دارد و در نتیجه داشتن هر کدام از دو متغیر به صورت جداگانه بی اهمیت است. در نتیجه γ به کار گرفته شده در این پژوهش معادل با $\frac{\gamma}{(K_r)^k}$ مقاله اسمال است.

سنگین قائل نشده است که این خود تخمین آلفا را در آن مقاله دارای مشکلات و عدم قطعیت زیادی کرده است.

$T_{fr}L_r$: جریان-آزاد زمان سفر (معکوس حداکثر سرعت) است، به عبارتی کمترین زمان رسیدن به مقصد است.

N_r : حجم یا همان تعداد خودروهای جاده r است که از متغیرهای درون‌زای مدل است.

هزینه سفر از چند جمله تشکیل شده است؛ جمله اول $\alpha_i T_{fr}L_r$ است که هزینه (ثابت) مربوط به زمان سفر است و جمله دوم $d_{ir} \equiv \alpha_i T_{fr}L_r \gamma_r (N_r)^{k_r}$ هزینه تاخیر است که در واقع جزء متغیر هزینه زمان سفر است. $T_f L (1 + \gamma_r (N_r)^{k_r})$ برابر زمان سفر و $T_{fr}L_r \gamma_r (N_r)^{k_r}$ برابر زمان تاخیر است هزینه تاخیر رابطه مستقیم با نسبت حجم به ظرفیت کل جاده دارد. هر چه درصد بیشتری از یک جاده اشغال شده باشد هزینه تاخیر بیشتر خواهد بود.

فرض شده است کشش سفر از طریق جاده صفر است، بنابراین تقاضای استفاده‌کنندگان از جاده مقداری ثابت است $N_i = a_i$ ¹.

برای بدست آوردن جواب‌های تعادلی، حالت‌های مختلف تعادل را در نظر می‌گیریم و تابع رفاه را حداکثر می‌کنیم که تابع رفاه برابر است با:

$$W = \int_0^{N_{1A}+N_{1B}} P_1(t)dt + \int_0^{N_{2A}+N_{2B}} P_2(t)dt - N_{1A}C_{1A} - N_{1B}C_{1B} - N_{2A}C_{2A} - N_{2B}C_{2B} \quad (2)$$

فرض می‌شود پولی که به عنوان عوارض پرداخت می‌شود در رفاه تاثیری ندارد زیرا از جیب یک فرد به دیگری انتقال می‌یابد. همچنین فرض می‌شود $\tau_B = 0$ است.

جزء $\int_0^{N_i} P_i(t)dt$ برابر با مطلوبیت کل افراد از سفر، بدون در نظر گرفتن هزینه‌های سفر است و جزء $N_{ir}C_{ir}$ برابر با جمع هزینه کل افراد است. در حالت بدون کشش دو جزء مربوط به میزان تقاضا ثابت خواهند بود و به ترکیب ماشین‌ها در دو جاده بستگی ندارند، در نتیجه برای تحلیل‌ها می‌توان آن جزء را حذف کرد، در نتیجه برای به دست آوردن عوارض بهینه صرفاً باید عبارت زیر مینیمم شود.

(1) در مقاله‌ی اسمال فرض شده است تقاضا به صورت $N_i(P_i) = a_i - b_i P_i$ است.

$$\min N_{1A}C_{1A} + N_{1B}C_{1B} + N_{2A}C_{2A} + N_{2B}C_{2B} \quad (3)$$

در حل ماکزیمم سازی رفاه گاهی جواب گوشه‌ای حاصل می‌شود. طبیعی است که در این حالات نمی‌توان از جواب‌های FOC استفاده کرد و باید جواب‌های مرزی به صورت جداگانه بررسی شوند.

اگر $N_{1A}, N_{1B} > 0$ باشد داریم:

$$c_{1A}(N_A) + \tau_A = c_{1B}(N_B) \quad (4)$$

اگر $N_{1A}, N_{2A} > 0$ باشد داریم:

$$c_{2A}(N_A) + \tau_A = c_{2B}(N_B) \quad (5)$$

همچنین $N_2 = N_{2A} + N_{2B}$ و $N_1 = N_{1A} + N_{1B}$ است.

بسته به اینکه گروه‌ها بین جاده‌های مختلف بی تفاوت باشند یا خیر تعادل‌های مختلفی رخ می‌دهد:

تعادل مجزای اول (SE1)

در این حالت گروه دوم بین دو جاده بی تفاوت هستند ولی گروه اول اکیدا جاده A را ترجیح می‌دهند:

$$N_{1B} = 0, N_{1A} = N_1, N_{2A} + N_{2B} = N_2$$

$$c_{1A}(N_A) + \tau_A \leq c_{1B}(N_B) \quad (6)$$

$$c_{2A}(N_A) + \tau_A = c_{2B}(N_B) \quad (7)$$

برای ماکزیمم سازی رفاه مساله زیر را داریم:

$$\min N_{1A}C_{1A} + N_{2A}C_{2A} + N_{2B}C_{2B} \quad (8)$$

$$N_2 = N_{2A} + N_{2B} \quad (9)$$

با توجه به این که مدل نسبت به مدل مقاله اسمال تغییر کرد، معادلات نوشته شدند و مجددا حل شدند که برای جواب‌های غیر گوشه‌ای FOC آن برابر خواهد بود با:

$$C_{2B} + N_{2B}C'_{2B} = N_{2A}C'_{2A} + C_{2A} + N_{1A}C'_{1A} \quad (10)$$

(1) SE مخفف Separated Equilibrium یا همان تعادل مجزا است که به این معنا است که گروه مورد نظر اکیدا یک جاده را در ترجیح می‌دهند.

معادله (9) و (10) دستگاه دو معادله و دو مجهول هستند که جواب های مساله از روی آن به دست خواهند آمد.

هم چنین می توان برای هر مقدار داده شده ای از عوارض رفاه و تعداد ماشین ها را به دست آورد. در این حالت دستگاه دو معادله و دو مجهول زیر را خواهیم داشت :

$$c_{2A}(N_A) + \tau_A = c_{2B}(N_B) \quad (11)$$

$$N_{2A} + N_{2B} = N_2 \quad (12)$$

توجه کنید که N_A, N_B تابعی از دو مجهول مساله هستند و در نتیجه مجهول مستقلی به حساب نمی آیند.

تعادل مجزای دوم (SE2)

در این حالت گروه اول بین دو جاده بی تفاوت هستند در حالی که گروه دوم اکیدا جاده B را ترجیح می دهند، در نتیجه عملاً یک قید داریم و مسئله حداکثر سازی رفاه به صورت زیر است:

$$N_{2A} = 0, N_{2B} = N_2, N_{1A} + N_{1B} = N_1$$

$$c_{1A}(N_A) + \tau_A = c_{1B}(N_B) \quad (13)$$

$$c_{2A}(N_A) + \tau_A \geq c_{2B}(N_B) \quad (14)$$

$$N_A = N_{1A}, N_B = N_{1B} + N_{2B} \quad (15)$$

برای ماکزیمم سازی رفاه مساله زیر را داریم :

$$\min N_{1A}C_{1A} + N_{1B}C_{1B} + N_{2B}C_{2B} \quad (16)$$

$$N_1 = N_{1A} + N_{1B} \quad (17)$$

که برای جواب های غیر گوشه ای FOC آن برابر خواهد بود با

$$N_{1B}C'_{1B} + C_{1B} + N_{2B}C'_{2B} = N_{1A}C'_{1A} + C_{1A} \quad (18)$$

معادله (17), (18) دستگاه دو معادله و دو مجهول هستند که جواب های مساله از روی آن به دست خواهند آمد.

هم چنین می توان برای هر مقدار داده شده ای از عوارض، رفاه و تعداد ماشین ها را به دست آورد. در این حالت دستگاه دو معادله و دو مجهول زیر را خواهیم داشت :

$$c_{1A}(N_A) + \tau_A = c_{1B}(N_B) \quad (19)$$

$$N_{1A} + N_{1B} = N_1 \quad (20)$$

توجه کنید که N_A, N_B تابعی از دو مجهول مساله هستند و در نتیجه مجهول مستقلی به حساب نمی آیند.

تعادل مجزای کامل (SE)

در این حالت گروه اول فقط در جاده A و گروه دوم فقط در جاده B حضور دارند. در نتیجه داریم:

$$c_{1A}(N_A) + \tau_A \leq c_{1B}(N_B) \quad (21)$$

$$c_{2A}(N_A) + \tau_A \geq c_{2B}(N_B) \quad (22)$$

در این حالت ماکزیمم سازی رفاه وجود نخواهد داشت و جواب برابر خواهد بود با

$$N_{1A} = N_1, N_{2A} = 0, N_{1B} = 0, N_{2B} = N_2$$

برای هر مقدار داده شده ای از عوارض این تعادل امکان پذیر است و صرفاً شرط نامساوی باید برقرار باشد. در نتیجه از معادلات بالا مقدار حداقل و حداکثر عوارض به دست می آید. واضح است که رفاه عددی ثابت خواهد بود. نکته قابل توجه این است که این حالت ممکن است همان حالات گوشه جواب های مجزای اول و دوم باشد.

جاده اول خالی

در این حالت هم ماکزیمم سازی رفاه نخواهیم داشت، صرفاً باید شروط زیر برقرار باشند:

$$c_{1A}(0) + \tau_A > c_{1B}(N_B) \quad (24) \text{ و } N_A = 0, N_B = N_1 + N_2 \quad (23)$$

مشابه توضیحات مجزای کامل برای این حالت نیز برقرار است. نامساوی بالا مقدار حداقل برای عوارض در این تعادل را تعیین خواهد کرد.

1. جاده دوم خالی

در این حالت $N_B = 0, N_A = N_1 + N_2$ و هم چنین باید داشته باشیم:

$$c_{2A}(N_A) + \tau_A < c_{2B}(N_B) \quad (25)$$

مشابه توضیحات مجزای کامل برای این حالت نیز برقرار است. نامساوی بالا مقدار حداکثر برای عوارض در این تعادل را تعیین خواهد کرد.

برای حل عددی مدل از نرم افزار متلب¹ استفاده شد. مشاهده شد برای هر کدام از دو سناریوی مجزای اول و دوم، دو معادله و دو مجهول خواهیم داشت که نرم افزار می تواند این دستگاه معادلات غیر خطی را حل کند. سپس شروط نامساوی برای چک کردن امکان پذیر بودن جواب چک می شود. برای همه سناریوها شرط منفی نبودن تعداد ماشین ها از هر نوع و در هر جاده نیز از شروط نامساوی است. برای حالات مجزای کامل و حالاتی که یکی از جاده ها خالی است نیاز به حل معادله نیست زیرا تعداد ماشین های از هر نوع و در هر جاده مشخص است. همانطور که پیشتر گفته شد جواب های مرزی حالت های مجزای اول و دوم، حالت مجزای کامل و حالات صفر بودن تعداد ماشین ها در یکی از دو جاده است. در آخر شکل رفاه بر اساس عوارض برای هر سناریو ترسیم خواهد شد. برای حل این روش با نرم افزار، ابتدا برای هر سناریو مقادیر مختلف عوارض داده می شود. سپس دو معادله و دو مجهول برای هر مقدار عوارض حل می شود، در آخر نامساوی تست می شود (شرط امکان پذیری) و در صورتی که صدق کرد، رفاه محاسبه می شود.

برای بدست آوردن عوارض بهینه به صورت عددی نیاز به داشتن پارامترهای زیر است:

L : طول آزادراه ها و جاده های معادل آنها، که با استفاده از سایت به راه طول آزادراه ها و جاده های معادل آنها را بدست می آوریم.

پارامترهای γ_r و k_r مربوط به هر جاده که برای بدست آوردن آنها معادله ی رگرسیون زیر را تخمین می زنیم:

$$\ln\left(\frac{t}{T_{fr}L_r} - 1\right) = \ln(\gamma_r) + k_r \ln(N_r) \quad (26)$$

در واقع این معادله همان معادله ی هزینه تاخیر است و t زمان سفر است. برای محاسبه ی T_{fr} از معکوس ماکزیمم سرعت در داده های تمیز نشده استفاده کردیم.

آخرین پارامتر مورد نیاز ارزش زمانی استفاده کنندگان از جاده ها است. فرض کنید می خواهیم α_1 را تخمین بزنیم. برای تخمین ارزش زمانی باید توزیعی برای ارزش زمانی هر کدام از وسایل نقلیه فرض کرد. زیرا در غیر این صورت طبق مدل در تقریباً همه روزها یکی از جاده ها کاملاً خالی از آن وسیله نقلیه است و این کار را برای تخمین مدل با استفاده از داده تعداد ماشین ها سخت می کند. برای تخمین حداقل تعداد پارامترها از توزیع یکنواخت بین $[0, x]$ برای ارزش زمانی استفاده می کنیم که x در آخر به دست خواهد آمد. فرض کنید Δt برابر اختلاف زمان رسیدن بین دو جاده باشد. در این صورت اگر ارزش زمانی از $\frac{\tau_A}{\Delta t}$ کمتر باشد فرد جاده دوم را انتخاب می کند. در نتیجه نسبت $\frac{\tau_A}{\Delta t} / x$ از ماشین ها جاده دوم را انتخاب می کنند. حال کافی است ببینیم که چند

درصد ماشین ها جاده دوم را انتخاب می کنند. فرض کنید این مقدار برابر y باشد. در نتیجه $x = y \frac{\tau_A}{\Delta t}$ است. در نتیجه میانگین α_1 برابر است با $\frac{\tau_A}{\Delta t} / 2y$. این میانگین را به عنوان α_1 انتخاب خواهیم کرد. به زبان ریاضی قرار دادیم :

$$\alpha_i = E\left(\frac{\tau_A}{2(t_A - t_B) \left(\frac{n_{i,B}}{n_{i,A} + n_{i,B}}\right)}\right) \quad (27)$$

همین کار را برای α_2 هم انجام خواهیم داد. نکته جالب این است که نیازی به دادن مقدار عوارض در مدل نیست. ارزش زمانی بر حسب عوارض به دست می آید (با این فرض که عوارض در طول دوره مورد بررسی ثابت بوده باشد). حتی در مدل اسمال هم نسبت ارزش زمانی به عوارض اهمیت دارد. در نتیجه می توان برای ران کردن مدل مقدار عوارض را برابر 1 قرار داد و در واقع همه متغیرهای پولی مانند ارزش زمانی و عوارض بهینه و غیره در واقع مضربی از عوارض دنیای واقعی خواهند بود.

ممکن است این سوال پرسیده شود که چرا از روش های دیگری برای تخمین استفاده نشد؟ یک دلیل کاهش پارامترهای تخمین است اما دلایل مهم تری وجود دارد. با توجه به کیفیت داده ما مجبور به استفاده از داده های تنها یکسال برای حفظ کیفیت و یکپارچگی بوده ایم و در نتیجه از تغییر عوارض و تغییرات داده در اثر آن نمی توانستیم برای تخمین پارامترهای تابع توزیع، مخصوصا واریانس، استفاده کنیم. یک روش خوب پیشنهادی می تواند این باشد که برای آلفا توزیعی نرمال با میانگین و واریانس فرض بگیریم و درصد تخمین این دو بر آییم. برای مثال انتظار داشته باشیم در روزهایی که آزادراه بسیار سریعتر است درصد بیشتری از کل توزیع از آن جاده عبور کنند. در نتیجه با مچ کردن عدد درصد ماشین های دو جاده و تفاوت زمان سفر اقدام به تخمین میانگین و انحراف معیار کنیم. اما این روش به دلیلی ساده هیچ عنوان جواب نمی دهد. این اشکال ناشی از نویز داده نیست. دلیل این است که در عمل وقتی آزادراه سریعتر است که درصد ماشین های کمتری در آن حضور دارند و در نتیجه رابطه مثبت بین اختلاف زمان سفر دو جاده و درصد ماشین های موجود در آزادراه وجود دارد و نه رابطه منفی و این تخمین به این شیوه را غیر ممکن می کند. اینکه چرا افراد با اینکه در روزی جاده سریعتر است از جاده دیگر استفاده می کنند (اینکه تعادل روزها با هم تفاوت دارند) به عوامل دیگری بستگی دارد که فراتر از کارکرد این مدل است و برای ما به نوعی شوک برونزای مدل محسوب می شود.

با روش پیشنهادی ما ، می توان خطای تخمین آلفا را هم حساب کرد. توجه کنید که روش بالا و فرض توزیع یکنواخت برای تخمین میانگین آلفا بوده است و در نتیجه نمی توان توزیع آلفا را محاسبه کرد. اگر می خواستیم واریانس آلفا را محاسبه کنیم باید توزیع نرمال را فرض می گرفتیم

که در بالا گفته شد چرا محاسبه آن غیر ممکن است. تنها کاری که می توان کرد این است که خطای تخمین محاسبه میانگین آلفا را حساب کرد که به سادگی از فرمول معروف زیر قابل محاسبه است :

$$se(\alpha) = \frac{\bar{\alpha}}{\sqrt{n}}$$

که n تعداد نمونه های مورد بررسی است.

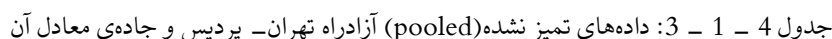
فصل 4 تجزیه و تحلیل نتایج

برای تخمین پارامترهای مورد نیاز داده ها تمیز شدند. در ابتدا به تفصیل به بررسی داده ها و نحوه ی تمیز کردن داده ها می پردازیم:

1-4 داده ها

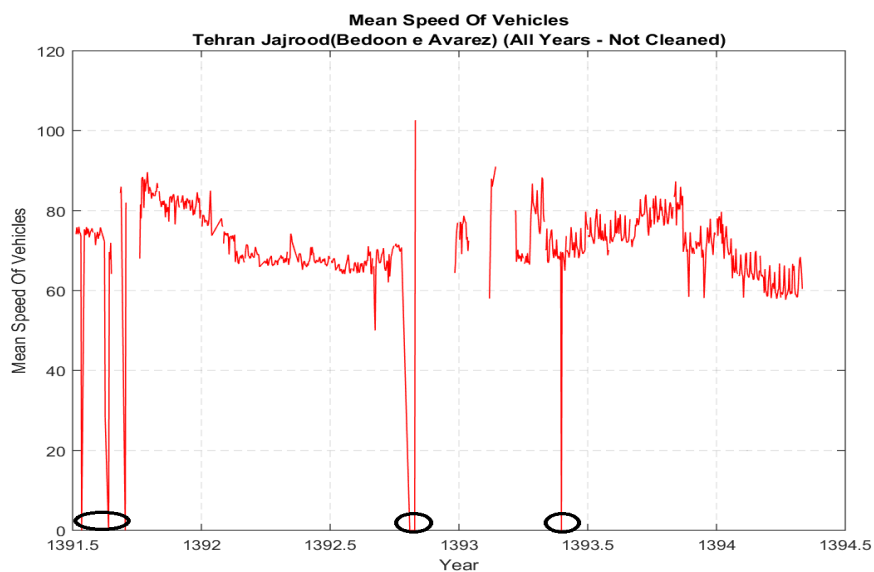
برای انجام این پژوهش از داده های تردد شماری روزانه سال های 1390 تا 1394 سازمان راهداری و حمل و نقل جاده ای استفاده شده است. اطلاعات موجود در این سایت دارای داده های پرت بسیاری است که به طور کلی ناشی از اشتباه در ثبت، مکان بد ثبت کننده ها، شرایط خاص جاده به دلیل تصادف و عدم اجازه ورود به جاده خاص برای ماشین های سنگین است. از طرفی

برای مثال اگر داده‌های تمیز نشده و تمیز شده آزادراه تهران- پردیس و جاده‌ی معادل آن تهران- جاجرود را مشاهده کنیم، می‌بینیم کیفیت و نتایج داده‌ها بسیار متفاوت است.



شکلهای زیر نیز نشان دهنده داده‌های پرت است:

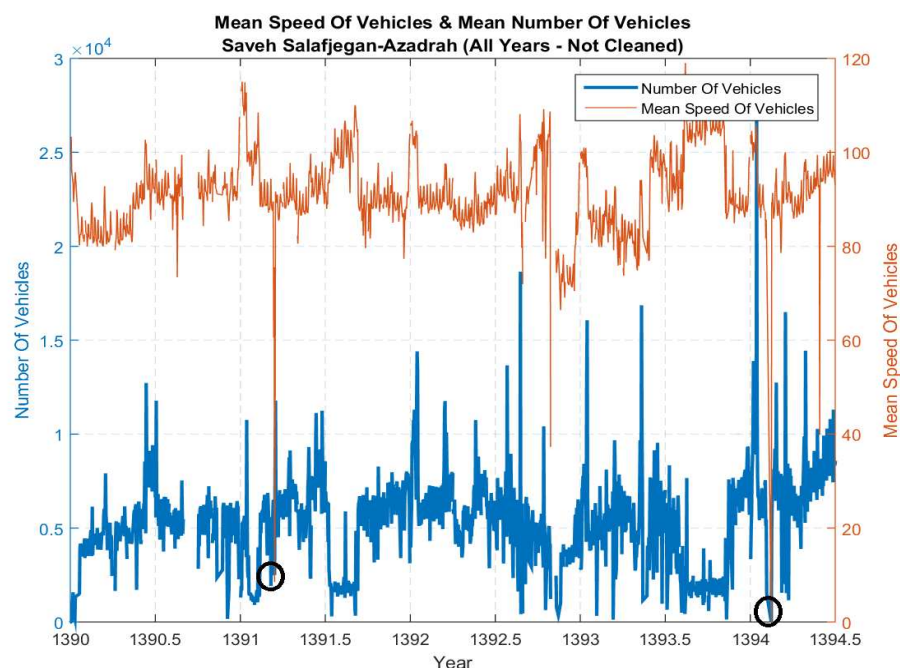
همانطور که از شکل 4-1-1 مشخص است در بعضی از روزها تعداد وسایل نقلیه صفر است که می‌تواند ناشی از بسته بودن مسیر در آن روز باشد که در واقع نشان دهنده‌ی داده‌های پرت است.



شکل 4 - 1 - 2: میانگین سرعت جاده تهران- جاجرود

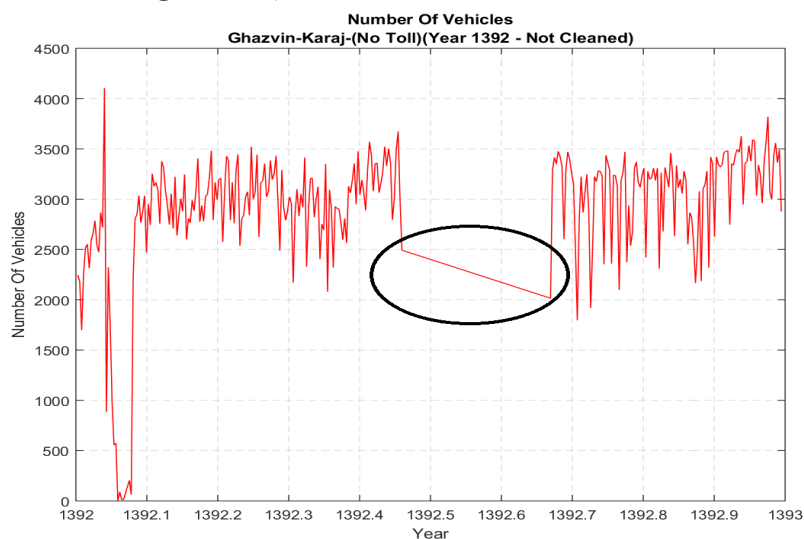
شکل 4-1-2 نشان می‌دهد که سرعت در بعضی از روزها برابر صفر شده است، که می‌تواند ناشی از تصادف یا قفل شدن مسیر در آن روز باشد که نشان دهنده‌ی داده‌های پرت است.

شکل 4 - 1 - 3: سرعت میانگین بر حسب تعداد وسایل نقلیه آزادراه ساوه- سلفچگان



همان طور که در شکل 4-1-3 مشخص است، در بعضی روزها در حالی که تعداد وسایل نقلیه بسیار کم است ولی سرعت وسایل نقلیه نیز بسیار کم است که نشان دهنده شرایط نامناسب جاده به دلیل تصادف یا عوامل دیگر در آن روز بوده است.

شکل 4 - 1 - 4: تعداد کل وسایل نقلیه جاده قدیم قزوین- کرج (1392)



همان طور که در شکل 4-1-4 مشخص شده است، در بعضی از روزها داده‌ای وجود نداشته است. این شکل نیز نشان می‌دهد که تعداد وسایل نقلیه در بعضی از روزها به دلیل

اتفاقاتی (تصادف، شرایط بد جوی، تعمیر جاده) که در آن روز در جاده افتاده است، به صفر رسیده است.

برای تمیز کردن داده‌ها با مقایسه‌ی مشاهدات به معیارهایی برای داده‌های پرت می‌رسیم. ابتدا 10 درصد پایین و بالای داده‌ها را حذف می‌کنیم (مقادیر خارج از کوانتایل‌های 10 و 90 درصد). به طور دقیق روزهایی که داده مورد نظر دارای این خاصیت باشد که حداقل یکی از مقادیر سرعت، تعداد کل، تعداد غیر سنگین و تعداد سنگین خارج از بازه 80% مربوط به آن متغیر باشد آنگاه حذف می‌شوند و سپس معیارهای دیگری را اعمال می‌کنیم. به طور مثال برای جاده‌ی تهران- جاجرود اگر داده‌ها به طور کلی یکی از شرایط زیر را داشته باشند (شرایط دیگری نیز اعمال می‌شود)، حذف می‌شوند:

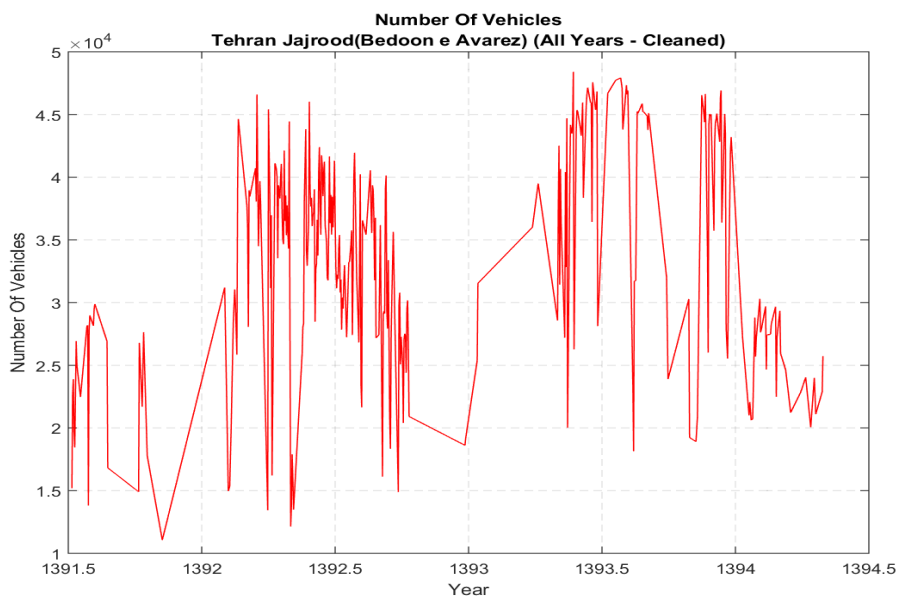
1. اگر همزمان تعداد ماشین‌ها بیش از 33 هزار و سرعت بیش از 73 کیلومتر بر ساعت باشد.
2. اگر درصد ماشین‌های سنگین کمتر از 5 درصد و سرعت کمتر از 70 باشد.
3. اگر تعداد ماشین‌ها کمتر از 11 هزار و سال برابر 1391 باشد.

جدول 4 - 1 - 4: داده‌های تمیز شده (pooled) آزادراه تهران- پردیس و جاده‌ی معادل آن

جاده	تهران- جاجرود	تهران- پردیس (آزادراه)	درصد نسبت تهران- جاجرود به تهران- پردیس	درصد نسبت تهران- پردیس به تهران- جاجرود
حداکثر سرعت	84	93	90	111
میانگین سرعت	69	88	78	128
میانگین تعداد	33214	17492	190	53
1000TF [*]	11	10	110	91
ظرفیت جاده	48402	26908	180	56
تعداد نمونه	325	489	66	150
میانگین درصد وسایل نقلیه سنگین	13	9	144	69
میانگین زمان رسیدن	26	15	173	58
طول (کیلومتر)	31	23	135	74

با توجه به جدول بالا نتایج در اثر حذف داده پرت بسیار متفاوت است. تعداد نمونه‌ها برای تهران- جاجرود حدودا نصف شده است و حداکثر سرعت حدود 20 کیلومتر بر ساعت کاهش یافته است. میانگین سرعت در آزادراه حدودا 20 کیلومتر بر ساعت بیشتر از جاده‌ی معادل است و Tf آزادراه تهران- پردیس کمتر از جاده‌ی معادل است. شکلهای مربوط به داده‌های تمیزشده در زیر آورده شده است:

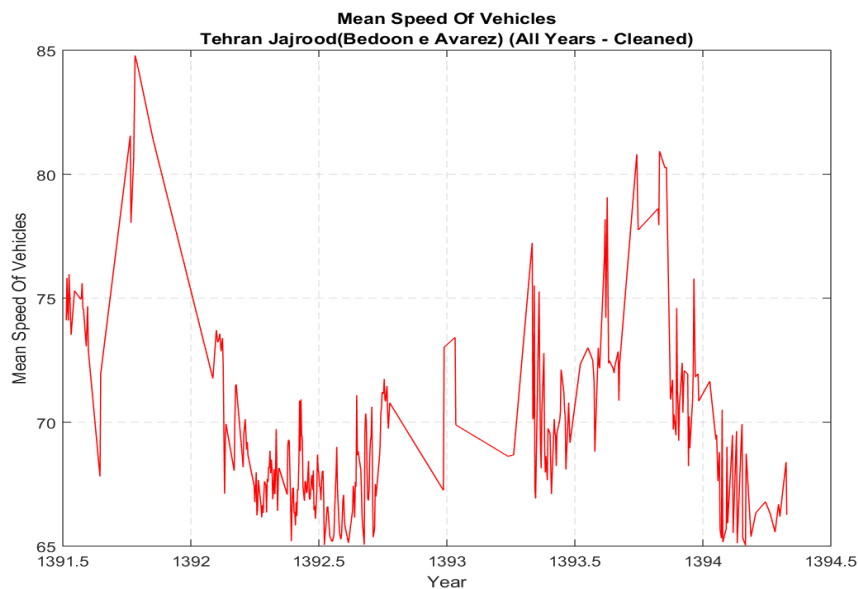
شکل 4- 1- 5: تعداد وسایل نقلیه جاده تهران- جاجرود



طبق شکل 4-1-5 بعد از تمیز شدن داده‌ها تعداد وسایل نقلیه در هیچ روزی نزدیک به صفر نیست، که نشان می‌دهد داده‌های پرت حذف شده‌اند.

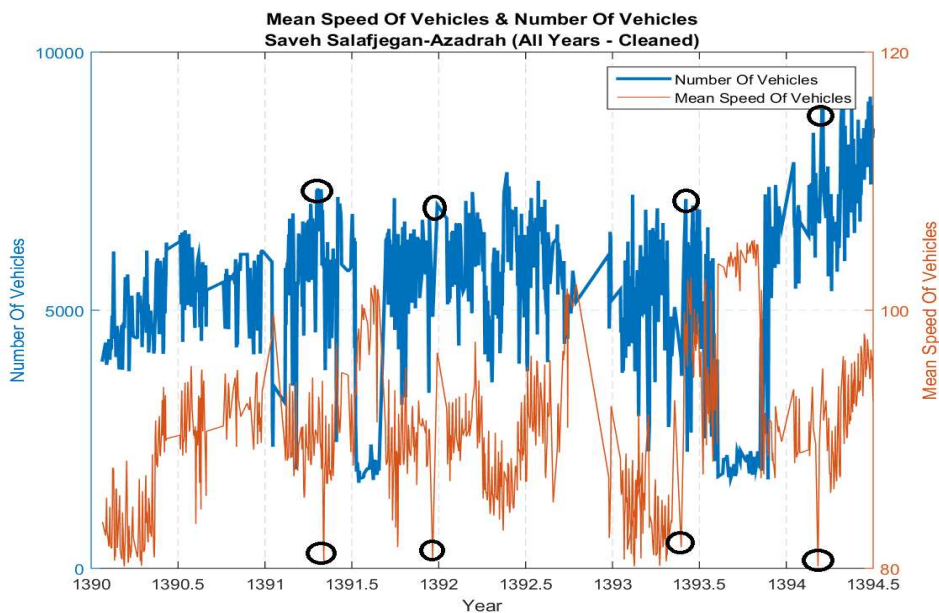
شکل 4 - 1 - 6: میانگین سرعت جاده تهران- جاجرود

همان‌طور که در شکل 4-1-6 مشاهده می‌شود، بعد از تمیز شدن داده‌ها سرعت وسایل نقلیه در هیچ روزی کمتر از 65 کیلومتر بر ساعت نیست، که نشان می‌دهد داده‌های پرت حذف شده‌اند.



شده‌اند.

شکل 4 - 1 - 7: سرعت میانگین بر حسب تعداد وسایل نقلیه آزادراه ساوه- سلفچگان



همان‌طور که در شکل 4-1-7 نشان داده شده است، بعد از تمیز کردن داده‌ها رابطه‌ی منفی بین تعداد وسایل نقلیه و سرعت وسایل نقلیه دیده می‌شود که در داده‌های تمیز نشده این رابطه دیده نمی‌شود.

واضح است برای بعضی سال‌ها تعداد داده‌ها کم است و به طور کلی سال خوبی برای بررسی نیستند. برای مثال سال 1391 و 1394 دارای داده‌های کمی است. در نتیجه داده‌های سال‌های مختلف را بررسی می‌کنیم و داده‌های بهترین سال را برای تخمین استفاده می‌کنیم، نتایج در جدول 4-1-3 آورده شده است. طبق این جدول مشاهده می‌شود که داده‌های سال 1392 به دلیل بیش‌تر بودن تعداد نمونه‌ها و همچنین بیش‌تر بودن اختلاف زمان رسیدن در دو جاده، بهترین کیفیت را داراست، به همین دلیل داده‌های این سال را مبنای تخمین پارامترهای مدل برای آزادراه تهران-پردیس و جاده‌ی معادل آن تهران-جابرود قرار می‌دهیم. این مراحل برای آزادراه‌های سلفچگان-ساوه، قزوین-کرج و جاده‌ی معادل آن‌ها نیز انجام گرفت که نتایج در پیوست آمده است، با توجه به این که داده‌های سال 1393 برای این آزادراه‌ها کیفیت بهتری دارد، سال 1393 را مبنای تخمین پارامترهای مدل قرار می‌دهیم. نتایج بقیه‌ی سال‌ها نیز در پیوست آورده شده است.

جدول 4-1-5: داده‌های تمیز شده به تفکیک سال‌ها (آزادراه تهران-پردیس و جاده‌ی معادل آن)

سال	جاده	حداکثر سرعت	میانگین سرعت	میانگین تعداد	*Tf 1000	ظرفیت	تعداد نمونه	میانگین درصد وسایل نقلیه سنگین	میانگین زمان رسیدن	طول (کیلومتر)
1391-1394	تهران-جابرود	84	69	33214	11	48402	325	13	26	31
1391		84	75	23220	11	29882	25	11	24	31
1392		73	68	32726	13	46596	176	14	27	31
1393		80	71	39499	12	48402	93	13	25	31
1394		71	67	25198	13	30300	31	10	27	31
1391-1394	تهران-پردیس	93	88	17492	10	26908	489	9	15	23
1391		93	90	13205	10	17575	81	7	15	23
1392		92	88	17456	10	24772	196	9	15	23
1393		90	88	19106	11	26908	204	10	15	23
1394		82	82	20619	12	26617	8	1	16	23

2-4- نتایج رگرسیون

برای تخمین پارامترهای γ و k معادله‌ی رگرسیون 26 را تخمین زدیم که نتایج در جدول 4-1-2 آورده شده است:

جدول 4 - 2 - 1: تخمین پارامترهای γ و k

جاده	عرض از مبداء ($\ln \gamma$)	γ	انحراف معیار عرض از مبداء	فاصله اطمینان %95 γ	k	انحراف معیار k	فاصله اطمینان %95 k
تهران - پردیس	-13.23	2.00E-06	1.85	[0.000000:0.000067]	1.08	0.19	[0.71:1.45]
تهران - جاجرود	-1.73	1.77E-01	0.24	[0.110748:0.282352]	0.10	0.02	[0.06:0.15]
سلفچگان - ساوه	-6.82	1.09E-03	0.39	[0.00233:0.000510]	0.67	0.05	[0.58:0.76]
سلفچگان - ساوه قدیم	-3.59	-02 2.76E	0.29	[0.015515:0.049070]	0.34	0.04	[0.26:0.41]
قزوین - کرج	-9.95	-05 4.80E	1.74	[0.000002:0.001449]	0.68	0.17	[1.01:0.36]
قزوین - کرج قدیم	-6.97	-04 9.36E	1.35	[0.000066: 0.013325]	0.59	0.17	[0.91:0.26]

3-4- نتایج تخمین ساختاری آلفاها

نتایج تخمین و انحراف معیار آلفا در جدول 4-3-1 آورده شده است. سایر پارامترهای مورد نیاز برای بدست آوردن عوارض نیز در جدول 4-3-2 آورده شده است.

جدول 4 - 3 - 1: نتایج آلفاها

جاده	α_1	Se of α_1	α_2	Se of α_2
تهران - پردیس و تهران - جاجرود	3.876124	0.079020	3.530261	0.056776
سلفچگان - ساوه (آزادراه و جاده قدیم)	18.77191	0.829003	6.030361	0.221658
قزوین - کرج (آزادراه و جاده قدیم)	11.97658	0.280443	11.92205	0.381929

جدول 4 - 3 - 2: سایر پارامترهای مورد نیاز

جاده	a_1	a_2	TF_A	TF_B	L_A	L_B
تهران- پردیس و تهران- جاجرود	43782	6399	0.010564	0.009744	23	31
سلفچگان- ساوه (آزادراه و جاده قدیم)	2606	4847	0.008401	0.009936	70	69
قزوین- کرج (آزادراه و جاده قدیم)	31962	7876	0.009536	0.012006	100	110.8

4-4- نتایج عوارض بهینه

نتایج مربوط به عوارض بهینه‌ی آزادراه ساوه- سلفچگان و جاده‌ی معادل آن در جدول‌های 4-1 و 4-2 آورده شده است.

جدول 4-4 - 1: رفاه و عوارض بهینه (آزادراه ساوه- سلفچگان و جاده‌ی معادل آن)

سناریو	وجود جواب	حداقل عوارض جاده‌ی A	حداکثر عوارض جاده‌ی A	عوارض جاده‌ی A	زمان رسیدن در جاده‌ی A (دقیقه)	زمان رسیدن در جاده‌ی B (دقیقه)	رفاه	رفاه سرانه	رفاه نسبی
تعادل جدای اول (SE1)	1	-	-	1.07	46.87	57.55	63.72	-8.55	110.85
تعادل جدای دوم (SE2)	0	-	-	-	-	-	-	-	-
تعادل جدای کامل (SE)	1	1.90	5.93	[1.90 : 5.93]	42.80	61.76	64.98	-8.72	104.16
فقط جاده‌ی A	1	-	-0.94	$\tau \leq -0.94$	50.50	41.14	65.77	-8.82	100.00
فقط جاده‌ی B	1	9.30	-	$\tau \geq 9.30$	35.29	65.02	84.69	11.36	0.00
بهینه	1	-	-	1.07	46.87	57.55	63.7	-8.55	110.85

جدول 4-4 - 2: مقادیر تعادلی (آزادراه ساوه- سلفچگان و جاده‌ی معادل آن)

قبل از تحلیل نتایج به مقایسه‌ی آزادراه و جاده‌ی معادل آن پرداخته شد، که نتایج در جدول 4-3 آورده شده است.

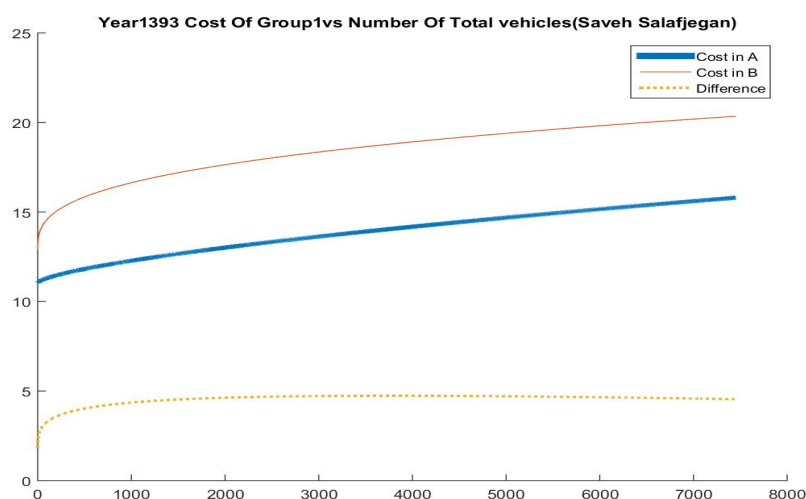
جدول 4 - 4 - 3: مقایسه آزادراه با جاده‌ی معادل

جاده	آزادراه تهران-	جاده‌ی تهران- پارسی	جاده‌ی تهران- پارسی	جاده‌ی تهران- پارسی	جاده‌ی تهران- پارسی	جاده‌ی تهران- پارسی	جاده‌ی تهران- پارسی	جاده‌ی تهران- پارسی	جاده‌ی تهران- پارسی	جاده‌ی تهران- پارسی
سناریو	N1A	N2A	N1B	N2B	N1A	N2A	N1B	N2B	N1A	N2A
میانگین زمان رسیدن (دقیقه)	2606	2360	4966	2487	2487	2487	2487	2487	2487	2487
میانگین تعداد تسکین	15	15	27	46	46	46	46	46	46	46
میانگین تعداد غیر تسکین	1608	15847	27934	2068	2068	2068	2068	2068	2068	2068
نسبت تعداد غیر تسکین های جاده A به B	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57
نسبت تعداد سنگین های جاده A به B	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
فقط جاده‌ی B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
بهینه	2606	2360	4966	2487	2487	2487	2487	2487	2487	2487

عوارض بهینه برای آزادراه ساوه- سلفچگان برابر با 1.07 عوارض فعلی است، عوارض بهینه در این آزادراه در حالت تعادلی SE1 رخ می‌دهد که مقدار آن یکتا است. در این تعادل تعداد استفاده‌کنندگان از آزادراه برابر با 4966 است که نسبت به تعداد استفاده‌کنندگان در حالت فعلی (حدود 5500) کمتر است، شکل 4-4-2 نشان دهنده‌ی این واقعیت است، که با افزایش عوارض بهینه افرادی که ارزش زمانی بالاتری دارند از این جاده سفر می‌کنند و مدت زمان کمتری

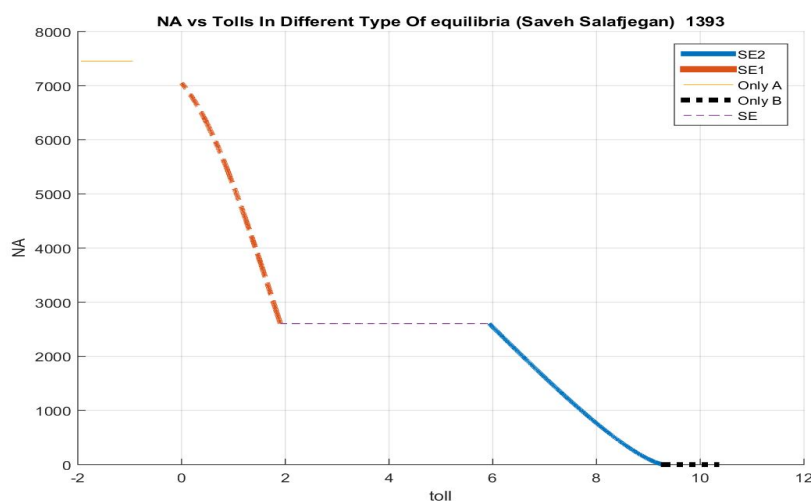
صرف سفر می‌شود. طبق معادله 1 هزینه زمان سفر از آزادراه برای افراد کم‌تر از هزینه زمان سفر از جاده‌ی بدون عوارض است، بنابراین افرادی که ارزش زمانی بالاتری دارند، حاضر به پرداخت پول بیشتری برای سفر از آزادراه هستند. شکل 4-4-1 نشان دهنده‌ی کمتر بودن هزینه سفر از آزادراه برای گروه اول است. عوارض بهینه در این آزادراه بیش‌تر از عوارض فعلی است که تایید کننده فرضیه‌ی تحقیق است، و دلیل آن بیش‌تر بودن ارزش زمانی استفاده‌کنندگان گروه اول (18.7 عوارض فعلی) از ارزش زمانی استفاده‌کنندگان گروه دوم (6.03 عوارض فعلی) است به عبارتی چون در بهینه سازی وزن بسیار بیش‌تری به استفاده‌کنندگان با ارزش زمانی بالاتر داده می‌شود، بهینه است که عوارض افزایش پیدا کند تا تراکم جاده‌ی A کم شود و افراد با ارزش بالای زمانی بتوانند سریع‌تر به مقصد برسند، هرچند تراکم در جاده‌ی معادل افزایش می‌یابد و زمان رسیدن برای افراد با ارزش زمانی پایین‌تر زیاد می‌شود. (در بهینه سازی به زمان رسیدن گروه اول اهمیت بیش‌تری داده می‌شود).

شکل 4-4-1: هزینه گروه اول برحسب تعداد وسایل نقلیه (ساوه- سلفچگان)



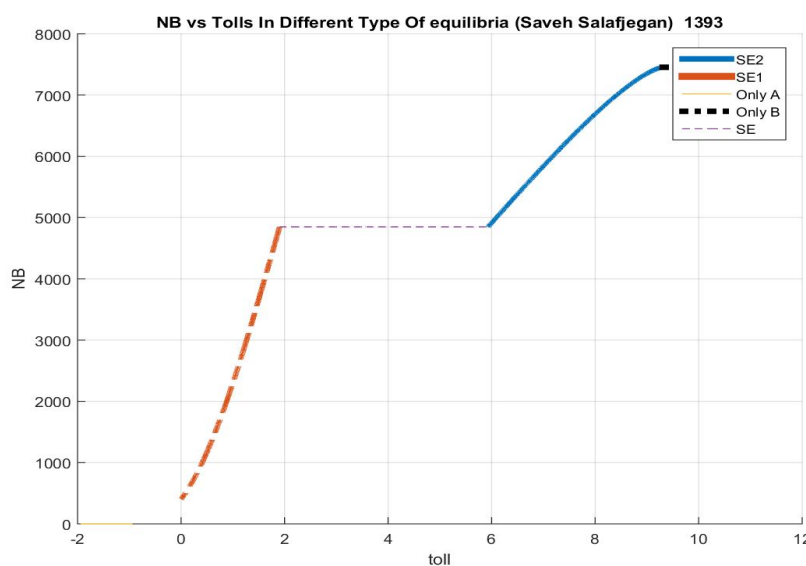
همان‌طور که از شکل 4-4-1 مشخص است، به دلیل بالا بودن ارزش زمانی گروه اول (حدود 3 برابر ارزش زمانی گروه اول) و کم‌تر بودن مدت زمان سفر در جاده‌ی A، هزینه سفر از جاده‌ی A برای گروه اول کم‌تر است.

شکل 4 - 4 - 2: تعداد وسایل نقلیه‌ی گروه اول بر حسب عوارض (ساوه- سلفچگان)



هرچه قدر عوارض از میزان فعلی بیش تر شود تعداد استفاده کنندگان از آزادراه نیز کم تر می شود¹

شکل 4 - 4 - 3: تعداد وسایل نقلیه‌ی گروه دوم بر حسب عوارض (ساوه- سلفچگان)



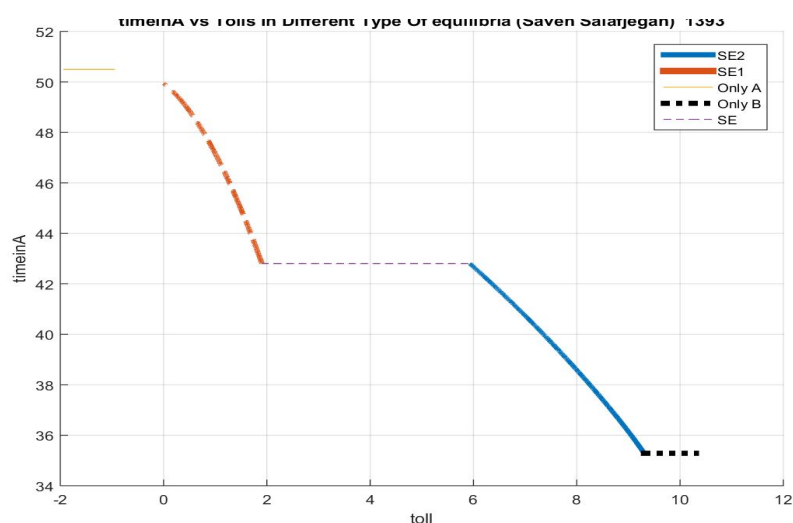
و تنها افرادی حاضر به سفر از این آزادراه هستند که ارزش زمانی بالایی دارند، به عبارتی عوارض بهینه به این دلیل باید از عوارض فعلی بیش تر باشد که اختلاف ارزش زمانی دو گروه خیلی زیاد است و در بهینه سازی مدت زمان رسیدن این افراد مهم تر می شود، بنابراین باید تراکم در جاده‌ی A برای کسانی که تمایل بیشتری به پرداخت برای این جاده دارند، کم شود و این افراد بتوانند در زمان کوتاه‌تری سفر کنند و کسانی که ارزش زمانی خیلی پایین‌تری دارند به جاده‌ی بدون عوارض

(1) این استدلال برای سناریوهای 1SE و 2SE درست است ولی برای بقیه‌ی سناریوها چون تعداد یک مقدار ثابتی است درست نمی‌باشد.

منتقل شوند که شکل 4-4-3 نیز نشان می‌دهد در حالت بهینه تعداد استفاده‌کنندگان از جاده‌ی B بیشتر از تعداد استفاده‌کنندگان فعلی از این جاده است.

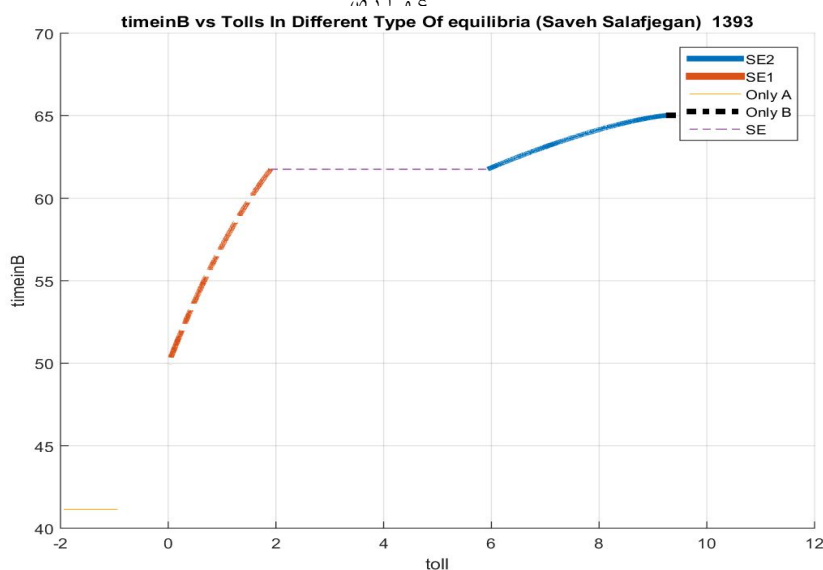
در حالت بهینه مدت زمان رسیدن در آزادراه به دلیل کم‌شدن تعداد وسایل نقلیه، نسبت به حالت فعلی کمتر است. در حالی که مدت زمان سفر از جاده‌ی معادل نسبت به حالت فعلی بیشتر است. شکل 4-4-4 و 4-4-5 نشان دهنده‌ی این حقیقت است.

شکل 4-4-4: زمان رسیدن در آزادراه ساوه - سلفچگان بر حسب عوارض



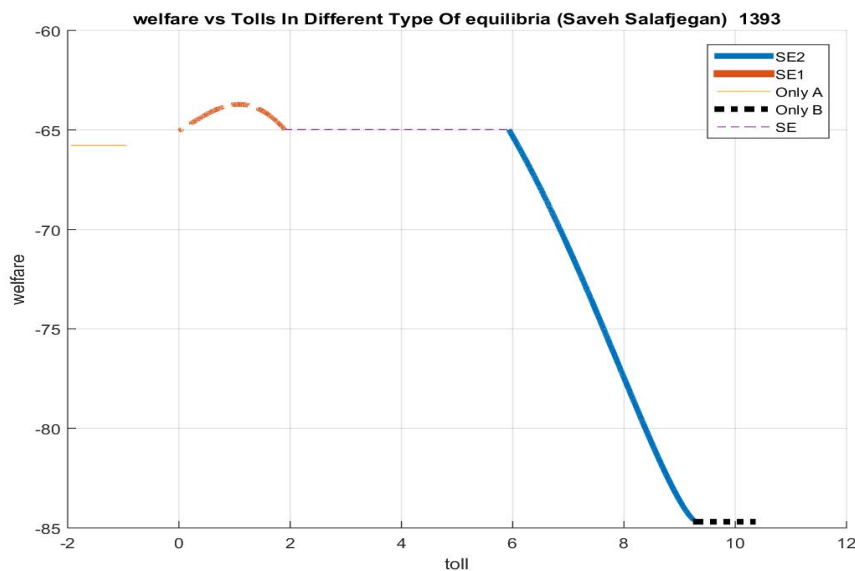
در سناریو SE1 و SE2 با افزایش عوارض بهینه مدت زمان رسیدن در آزادراه کاهش می‌یابد ولی در بقیه‌ی سناریوها مدت زمان رسیدن در آزادراه ثابت است.

شکل 4-4-5: زمان رسیدن در جاده‌ی قدیم ساوه - سلفچگان بر حسب عوارض



در سناریو SE1 زمانی که عوارض از حالت فعلی بیش‌تر می‌شود، زمان رسیدن در جاده‌ی B افزایش می‌یابد، وقتی عوارض از 1.90 بیش‌تر می‌شود به تعادل SE می‌رویم که در این تعادل زمان رسیدن به مقصد در جاده‌ی B ثابت است و برابر با 66.71 دقیقه است.

در تمامی سناریوها به جز سناریوی SE2 یک مقدار بهینه عوارض وجود دارد. بدست آوردن مقدار بهینه در تعادل SE2 امکان‌پذیر نیست، یعنی اتومبیل‌های غیرسنگین نسبت به آزادراه و جاده‌ی معادل بی تفاوت باشند و اتومبیل‌های سنگین اکیدا جاده‌ی ساوه- سلفچگان قدیم را ترجیح دهند که دلیل آن را می‌توان ارزش زمانی بالای گروه اول و همچنین کیفیت متفاوت جاده‌ها دانست. میانگین زمان رسیدن در این آزادراه برابر با 47 دقیقه است در حالی که میانگین زمان



رسیدن در جاده‌ی معادل برابر با 58 دقیقه است، بنابراین افراد نوع اول که ارزش زمانی معادل با 77.18 عوارض فعلی دارند، ترجیح می‌دهند که از آزادراه عبور کنند.

عوارض بهینه در تعادل SE1 رخ داده است که یکتا است، ولی در بقیه‌ی سناریوها عوارض بهینه یکتا نیست. شکل 4-4-6 نشان دهنده‌ی میزان رفاه بر حسب عوارض است.

شکل 4-4-6: مقدار رفاه بر حسب عوارض (آزادراه ساوه-سلفچگان و جاده‌ی معادل آن)

حداکثر رفاه برابر است با 63.72- عوارض فعلی است. اگر عوارض بیش‌تر از میزان بهینه اعمال شود رفاه کاهش می‌یابد و نوع تعادل عوض می‌شود در ابتدا از تعادل SE1 به تعادل SE می‌رویم که عوارض بهینه در این تعادل یکتا نیست و در بازه‌ی $1.90 \leq \tau \leq 5.93$ ، یعنی گروه دوم که ارزش زمانی پایینی دارند، ترجیح می‌دهند از جاده‌ی بدون عوارض بروند، سپس با افزایش

عوارض گروه اول نیز نسبت به جاده‌ی با عوارض و جاده‌ی بدون عوارض بی‌تفاوت می‌شوند یعنی به تعادل SE2 می‌رسیم و با افزایش بیشتر عوارض سرانجام همه‌ی افراد تصمیم می‌گیرند که از جاده‌ی بدون عوارض عبور کنند. اگر عوارض کم‌تر از میزان بهینه وضع شود در همان تعادل SE1 باقی خواهیم ماند و رفاه کل نیز کاهش می‌یابد، زمانی که عوارض منفی اعمال شود یعنی یارانه به افراد پرداخت شود همه‌ی افراد گروه دوم تصمیم می‌گیرند از جاده‌ی با عوارض عبور کنند که در این حالت ترافیک شدیدی در آزادراه ایجاد می‌شود و موجب افزایش زمان رسیدن می‌شود بنابراین گروه اول که ارزش زمانی بالایی دارند تصمیم می‌گیرند از جاده‌ی بدون عوارض عبور کنند، در واقع شکاف شکل در عوارض منفی به دلیل تغییر ماهیت مدل است که جای دو جاده عوض می‌شود، با افزایش بیش‌تر یارانه در نهایت گروه اول نیز تصمیم می‌گیرند از آزادراه متراکم عبور کنند و عوارض دریافت کنند. به عبارت دقیق‌تر اگر $-0.94 \leq \tau$ باشد همه از جاده A می‌گذرند، اگر $\tau \geq 9.30$ باشد همه از جاده B می‌گذرند و برای $1.90 \leq \tau \leq 5.93$ تعادل SE وجود دارد. حال به بررسی عوارض آزادراه تهران- پردیس می‌پردازیم.

جدول 4 - 4 - 4: رفاه و عوارض بهینه (آزادراه تهران- پردیس و جاده‌ی معادل آن)

سناریو	وجود جواب	حداقل عوارض جاده‌ی A	حداکثر عوارض جاده‌ی A	عوارض جاده‌ی A	زمان رسیدن در جاده‌ی A (دقیقه)	زمان رسیدن در جاده‌ی B (دقیقه)	رفاه	رفاه سرانه	رفاه نسبی
تعادل جدای اول (SE1)	0	-	-	-	-	-	-	-	-
تعادل جدای دوم (SE2)	0	-	-	-	-	-	-	-	-
تعادل جدای کامل (SE)	1	0.51	0.56	$[0.51; 0.56]$	17.23	25.92	58.48	1.17	94.03
فقط جاده‌ی A	1	-	0.03	$\tau \leq 0.03$	17.65	18.12	56.55	1.13	100.00
فقط جاده‌ی B	1	0.85	-	$\tau \geq 0.85$	14.58	27.74	88.90	1.77	0.00
بهینه	1	-	-	$\tau \leq 0.03$	17.65	18.12	-	1.13	100.00

سناریو	N1A	N2A	NA	N1B	N2B	NB	C1A	C2A	C1B	C2B
تعادل جدای اول (SE1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	تعادل جدای دوم (SE2)
1.53	1.67	1.01	1.11	6399	6399	0	43782	0	43782	تعادل جدای دوم (SE2)
1.07	1.17	1.04	1.14	0	0	0	50181	6399	43782	فقط جاده‌ی A
1.63	1.79	0.86	0.94	50181	6399	43782	0	0	0	فقط جاده‌ی B
1.07	1.17	1.04	1.14	0	0	0	50181	6399	43782	بهینه

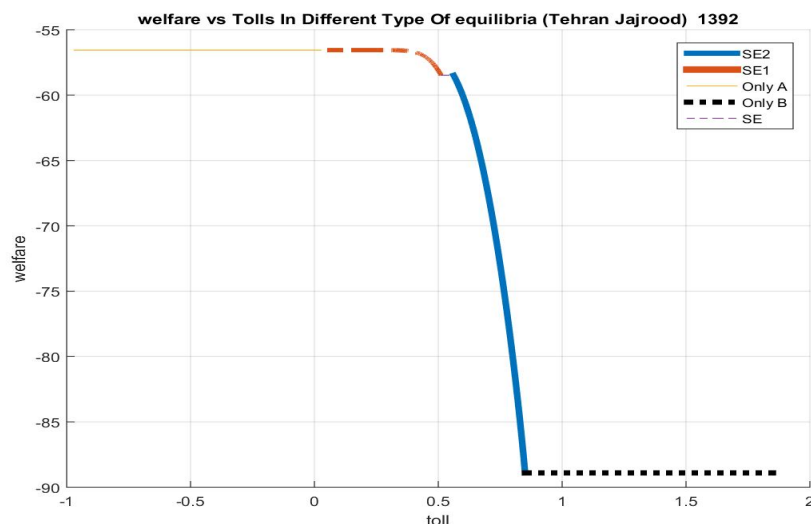
جدول 4 - 4 - 5: مقادیر تعادلی (آزادراه ساوه - سلفچگان و جاده‌ی معادل آن)

عوارض بهینه برای آزادراه تهران - پردیس یکتا نیست و در بازه‌ی $\tau \leq 0.03$ قرار دارد. عوارض بهینه بسیار کم‌تر از میزان فعلی است و فرضیه تحقیق برای این آزادراه رد می‌شود. چون عوارض بهینه تقریباً برابر صفر است. در حالت عوارض بهینه، همه‌ی افراد به دلیل کم بودن عوارض و کم‌تر بودن زمان رسیدن در آزادراه تهران - پردیس (12 دقیقه کم‌تر از جاده‌ی تهران - جاجرود) از جاده‌ی A سفر می‌کنند. در بازه عوارض بهینه، حداکثر رفاه حاصل می‌شود که مقدار آن برابر با 5.56 - عوارض فعلی است. به این دلیل عوارض بهینه کم‌تر از میزان فعلی است که اختلاف ارزش زمانی دو گروه خیلی کم است (0.34 عوارض فعلی)، بنابراین چون زمان برای گروه اول خیلی بیش‌تر از گروه دوم ارزش ندارد، در بهینه سازی اهمیت بیش‌تری به گروه اول داده نمی‌شود، تا با افزایش عوارض، جاده‌ی A خلوت شود تا افراد سریع‌تر به مقصد برسند. در سناریو SE2 و SE1 مقدار بهینه وجود ندارد، یعنی یکی از گروه‌ها به طور اکید یک جاده را ترجیح دهد و نسبت به جاده‌ی دیگر بی‌تفاوت باشد. عامل دیگری که باعث می‌شود همه از آزادراه تهران - پردیس سفر کنند، کیفیت پایین جاده‌ی تهران - جاجرود است که وقتی افراد از این جاده عبور می‌کنند رفاه به شدت کاهش می‌یابد، شکل 4-4-7 نشان دهنده‌ی این موضوع است.

طبق جدول 4-4-1 نسبت تعداد وسایل نقلیه غیرسنگین در این آزادراه به جاده‌ی معادل 0.57 و نسبت تعداد وسایل نقلیه سنگین 0.33 است. به عبارتی وسایل نقلیه بیش‌تری از جاده‌ی تهران - جاجرود سفر می‌کنند، بنابراین مقدار عوارض فعلی در این آزادراه زیاد است و اعمال عوارض

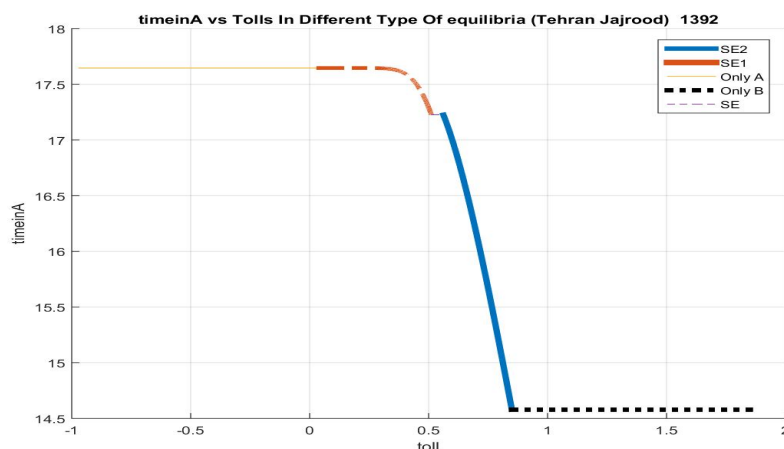
بهینه باعث می‌شود همه‌ی استفاده‌کنندگان از آزادراه تهران-پردیس استفاده کنند. شکل‌های 4-7 و 4-4-8 نشان دهنده‌ی زیاد بودن عوارض فعلی است. اگر بخواهیم گروه اول اکیدا آزادراه را ترجیح دهند و گروه دوم جاده‌ی تهران-جاجرود را، باید عوارضی معادل با 0.54 عوارض فعلی وضع کنیم. شکل‌های زیر نشان دهنده‌ی مقادیر تعادلی هستند.

شکل 4 - 4 - 7: مقدار رفاه بر حسب عوارض (آزادراه تهران-پردیس و جاده‌ی معادل آن)



همان‌طور که شکل 4-4-7 نشان می‌دهد، در حالتی که عوارض برابر دنیای واقعی باشد، همه‌ی افراد از جاده‌ی تهران-جاجرود عبور می‌کنند و به همین دلیل رفاه کمترین مقدار را دارد، برای حدکثر شدن رفاه باید عوارض کم شود تا افراد بیشتری از آزادراه استفاده کنند و رفاه افزایش یابد، بهترین حالت زمانی است که عوارضی معادل $\tau \leq 0.03$ عوارض فعلی وضع شود.

شکل 4-4-8: مدت زمان رسیدن در آزادراه تهران-پردیس بر حسب عوارض



با توجه به شکل 4-4-8 چون در عوارض فعلی همه‌ی افراد از جاده‌ی تهران- جاجرود می‌روند، زمان رسیدن در آزادراه تهران- پردیس حداقل است و هرچه میزان عوارض کمتر شود، افراد بیش‌تری از آزادراه استفاده می‌کنند و زمان رسیدن در آزادراه افزایش می‌یابد. زمان بهینه برای سفر از آزادراه برابر با 17.65 دقیقه است. حال به تفسیر عوارض آزادراه قزوین- کرج می‌پردازیم.

جدول 4-4-6: رفاه و عوارض بهینه (آزادراه قزوین- کرج و جاده‌ی معادل آن)

سناریو	وجود جواب	حداقل عوارض جاده‌ی A	حداکثر عوارض جاده‌ی A	عوارض جاده‌ی A	زمان رسیدن در جاده‌ی A (دقیقه)	زمان رسیدن در جاده‌ی B (دقیقه)	رفاه	رفاه سرانه	رفاه نسبی
تعادل جدای اول (SE1)	0	-	-	-	-	-	-	-	-
تعادل جدای دوم (SE2)	0	-	-	-	-	-	-	-	-
تعادل جدای کامل (SE)	1	6.69	6.7	[6.69 : 6.7]	60.53	94.18	533.59	89.11	13.39
فقط جاده‌ی A	1	-	3.72	$\tau \leq 3.72$	61.07	79.82	485.22	100.0 0	12.18
فقط جاده‌ی B	1	11.93	-	$\tau \geq 11.93$	57.21	116.96	929.22	0.00	23.32
بهینه	1	-	3.72	$\tau \leq 3.72$	61.07	79.082	485.22	100.0 0	12.18

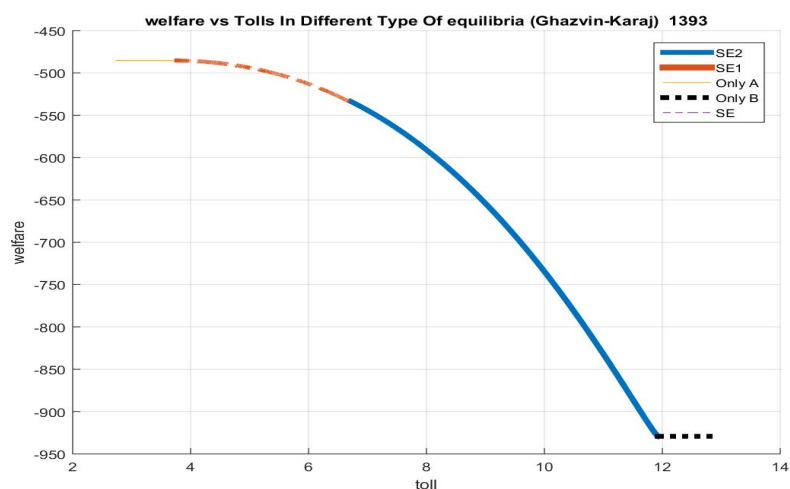
جدول 4-4-7: مقادیر تعادلی (آزادراه قزوین- کرج و جاده‌ی معادل آن)

عوارض بهینه برای آزادراه قزوین- کرج یکتا نیست و در بازه‌ی $3.72\tau \leq$ قرار دارد. در حالت بهینه همه‌ی افراد از آزادراه قزوین- کرج عبور می‌کنند، که دلیل آن این است که آنقدر ارزش زمانی افراد بالا است که حاضرند تا سه برابر عوارض فعلی، پول پرداخت کنند.

شکل 4 - 4 - 9: رفاه بر حسب عوارض (آزادراه قزوین- کرج و جاده‌ی معادل آن)

در سناریو SE1 و SE2 مقدار بهینه وجود ندارد، یعنی یکی از گروه‌ها به طور اکید یک جاده را ترجیح دهد و نسبت به جاده‌ی دیگر بی‌تفاوت باشد. که دلیل آن را می‌توان اختلاف کم ارزش زمانی هر دو گروه دانست. ارزش زمانی هر دو گروه حدود 11.9 است و چون هر دو گروه ارزش زمانی مشابه‌ای دارند، رفاه کل زمانی ماکزیمم می‌شود که هر دو گروه از جاده‌ی A بروند. رفتن از

سناریو	N1A	N2A	NA	N1B	N2B	NB	C1A	C2A	C1B	C2B
تبادل جدای اول (SE1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
تبادل جدای دوم (SE2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
تبادل جدای دوم (SE2)	3196	0	3196	0	787	7876	12.0	12.0	18.8	18.7
فقط جاده‌ی A	3196	787	3983	0	0	0	12.1	12.1	15.9	15.8
فقط جاده‌ی B	0	0	0	3196	787	3983	11.4	11.3	23.3	23.2
بهینه	3196	787	3983	0	0	0	12.1	12.1	15.9	15.8



جاده‌ی قدیم قزوین- کرج که مدت زمان رسیدن طولانی‌تر دارد، موجب افزایش هزینه‌های هر دو

گروه می‌شود و از طرفی هم جدول 4-4-1 نشان می‌دهد نسبت تعداد وسایل نقلیه غیر سنگین در این آزادراه به جاده‌ی معادل 9.8 و نسبت تعداد وسایل نقلیه سنگین 10.3 است. به عبارتی به دلیل کیفیت پایین جاده‌ی قدیم قزوین- کرج و همچنین بیش‌تر بودن زمان سفر در این مسیر، هر دو گروه آزادراه را ترجیح می‌دهند.

4-5- تحلیل حساسیت

تحلیل حساسیت آزادراه ساوه- سلفچگان و جاده‌ی معادل آن

برای تحلیل حساسیت، پارامترها را در بازه‌ی فاصله اطمینان 95% شان تغییر می‌دهیم و نتایج تعادلی جدید را بدست می‌آوریم.

فرض می‌کنیم تمامی متغیرها ثابت هستند و فقط ارزش زمانی گروه اول در بازه‌ی اطمینان 95% اش (17.147 تا 20.397) تغییر می‌کند، زمانی که ارزش زمانی گروه اول از 17.147 به 20.397 افزایش می‌یابد (حدود 19 درصد) عوارض بهینه از 0.99 به 16.1 افزایش می‌یابد (حدود 17 درصد). رفاه نسبی از 110.10 به 111.65 افزایش می‌یابد (حدود 1.5 درصد) نتایج در جدول 4-5-1 آورده شده است.

جدول 4-5-1: تحلیل حساسیت ارزش زمانی استفاده‌کنندگان نوع اول

سناریو	وجود جواب	حداقل عوارض جاده‌ی A	حداکثر عوارض جاده‌ی A	عوارض جاده‌ی A	رفاه	رفاه نسبی
تعادل جدای اول (SE1)	1	-	-	0.99:1.16	-60.40 -67.01:	110.10:111.6 5
تعادل جدای دوم (SE2)	0	-	-	-	-	-
تعادل جدای کامل (SE)	1	1.90	6.44 : 5.42	3.66:4.17	-68.01 -96.61:	101.37:106.6 7
فقط جاده‌ی A	1	-	-0.94	-0.94	-62.21 -69.34:	100.00
فقط جاده‌ی B	1	8.50:10.11	-	8.50:10.1 1	-10.80 -89.28:	0.00
بهینه	1	-	-	0.99:1.16	-60.40 -67.01:	110.10:111.6 5

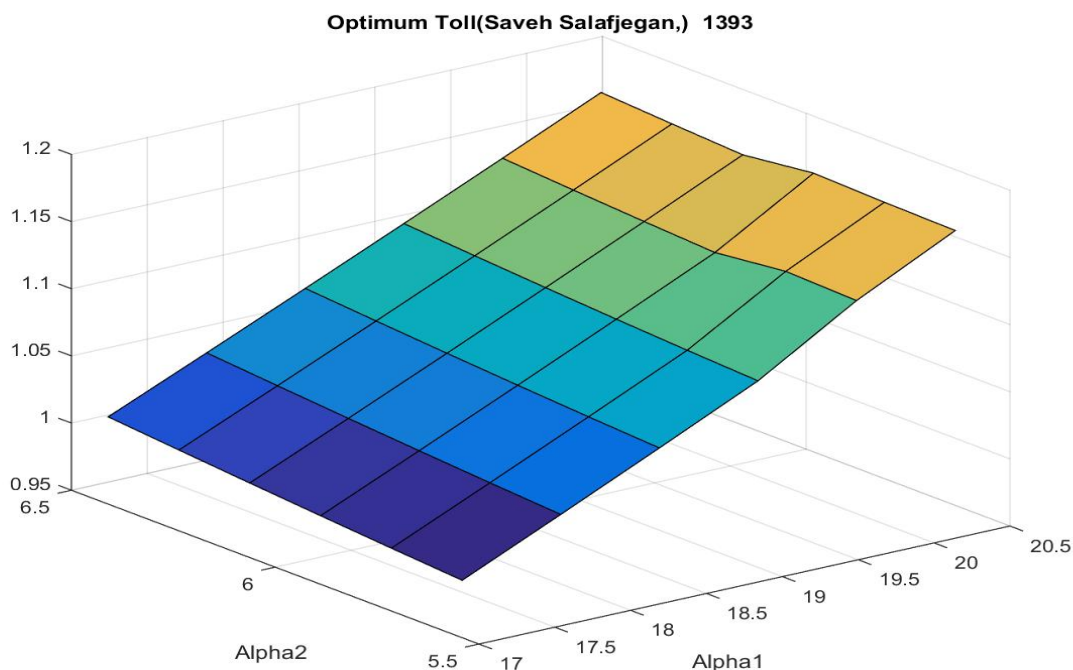
زمانی که تمامی متغیرها ثابت است و فقط ارزش زمانی گروه دوم در بازه‌ی اطمینان 95% اش (5.596 تا 6.465) تغییر می‌کند، (حدود 16 درصد) عوارض بهینه از 1.07 به 1.08

می‌رسد (0.1 درصد افزایش) که نشان می‌دهد عوارض بهینه نسبت به پارامتر ارزش زمانی گروه دوم حساس نیست. رفاه نیز فقط 1.4 درصد افزایش می‌یابد. شکل 4-5-1 نیز نشان می‌دهد که عوارض بهینه، به پارامتر α_1 حساس است ولی نسبت به α_2 حساس نیست. نتایج در جدول 2-5-4 آمده است.

جدول 4 - 5 - 2: تحلیل حساسیت ارزش زمانی استفاده‌کنندگان نوع دوم

سناریو	وجود جواب	حداقل عوارض جاده‌ی A	حداکثر عوارض جاده‌ی A	عوارض جاده‌ی A	رفاه	رفاه نسبی
تعادل جدای اول (SE1)	1	-	-	1.07:1.08	-61.87 - 65.55:	110.26 111.56:
تعادل جدای دوم (SE2)	0	-	-	-	-	-
تعادل جدای کامل (SE)	1	1.77:2.04	5.93	3.85:3.99	-62.82 -67.15:	102.02:106.4 2
فقط جاده‌ی A	1	-	-0.87 -1.01:	-0.87 -1.01:	-64.00 -67.54:	100.00
فقط جاده‌ی B	1	9.30	-	9.30	-82.41 -86.97:	0.00
بهینه	1	-	-	1.07:1.08	-61.87 -65.55:	110.26:111.5 6

شکل 4 - 5 - 1: عوارض بهینه برحسب ارزش زمانی گروه اول و دوم



با فرض ثابت بودن بقیه پارامترها زمانی که ارزش زمانی گروه اول و دوم همزمان با هم در فاصله بازه اطمینان 95% شان تغییر کنند، عوارض بهینه از 0.98 به 1.16 می‌رسد (حدود 18 درصد افزایش) که این افزایش ناشی از افزایش ارزش زمانی گروه اول است.

نتایج تحلیل حساسیت زمانی که تمامی پارامترها ثابت فرض شده‌اند و فقط یک پارامتر تغییر می‌کند در جدول 4-5-3 آورده شده است.

زمانی که γ_A در فاصله بازه‌ی اطمینانش تغییر می‌کند، عوارض بهینه از 0.58 به 2.14 افزایش می‌یابد و زمانی که k_A در بازه‌ی فاصله اطمینانش تغییر می‌کند، عوارض بهینه از 0.43 به 2.29 افزایش می‌یابد. نتایج نشان می‌دهد عوارض بهینه در این آزادراه به پارامترهای هزینه مربوط به این آزادراه حساس‌تر از پارامترهای هزینه جاده‌ی معادل است.

جدول 4 - 5 - 3: تحلیل حساسیت تمامی پارامترها

α_1	α_2	K_A	K_B	γ_A	γ_B	
17.15:20.39	5.59:6.46	0.58 : 0.76	0.27 : 0.41	: 0.00233 0.00051	: 0.055 0.015	پارامتر
0.99 : 1.16	1.06 : 1.08	0.43 : 2.29	0.98 : 1.96	0.58 : 2.14	1.08 : 2.05	عوارض جاده‌ی A
-60.40	: -61.87	: -54.74	: -60.37	: -55.16	-60.58	رفاه
-67.01:	-65.55	-71.38	-65.11	-71.97	-65.24:	

زمانی که تمامی پارامترها همزمان در بازه‌ی فاصله اطمینانشان تغییر می‌کنند، عوارض بهینه از 0.25 تا 9.13 تغییر می‌کند و رفاه کل از 117- به 46- افزایش می‌یابد.

تحلیل حساسیت آزادراه تهران- پردیس و جاده‌ی معادل آن

فرض می‌کنیم تمامی متغیرها ثابت هستند و فقط ارزش زمانی گروه اول در بازه‌ی اطمینانش (3.72 تا 4.02) تغییر می‌کند، زمانی که ارزش زمانی گروه اول از 3.72 به 4.02 افزایش می‌یابد. عوارض بهینه تغییر نمی‌کند و رفاه از -55.58 به -54.56 افزایش می‌یابد که نشان می‌دهد عوارض بهینه در این آزادراه به ارزش زمانی گروه اول وابسته نیست.

جدول 4 - 5 - 4: تحلیل حساسیت ارزش زمانی استفاده‌کنندگان نوع اول

سناریو	وجود جواب	حداقل عوارض جاده‌ی A	حداکثر عوارض جاده‌ی A	عوارض جاده‌ی A	رفاه	رفاه نسبی
تعادل جدای اول (SE1)	0	-	-	-	-	-
تعادل جدای دوم (SE2)	0	-	-	-	-	-
تعادل جدای کامل (SE)	1	0.51	0.54:0.58	0.53:0.55	-56.54 -60.43:	: 94.38 93.66
فقط جاده‌ی A	1	-	0.03	0.03	-54.56 -58.55:	100
فقط جاده‌ی B	1	0.82:0.88	-	0.82:0.88	-85.77 -92.04:	0
بهینه	1	-	0.03	0.03	-54.56 -58.55:	100

زمانی که تمامی متغیرها ثابت است و فقط ارزش زمانی گروه دوم در بازه‌ی فاصله اطمینانش (3.42 تا 3.64) تغییر می‌کند عوارض تغییری نمی‌کند که نشان می‌دهد عوارض بهینه نسبت به پارامتر ارزش زمانی گروه دوم حساس نیست. نتایج در جدول 4-5-5 آورده شده است.

جدول 4 - 5 - 5: تحلیل حساسیت ارزش زمانی استفاده‌کنندگان نوع دوم

سناریو	وجود جواب	حداقل عوارض جاده‌ی A	حداکثر عوارض جاده‌ی A	عوارض جاده‌ی A	رفاه	رفاه نسبی
تعادل جدای اول (SE1)	0	-	-	-	-	-
تعادل جدای دوم (SE2)	0	-	-	-	-	-
تعادل جدای کامل (SE)	1	0.50	0.56:0.58	0.53:0.55	-56.54 -58.79:	94.31 : 93.75
فقط جاده‌ی A	1	-	0.03	0.03	-54.56 -56.76:	100
فقط جاده‌ی B	1	0.85:0.88	-	0.85:0.88	-85.77 -89.23:	0
بهینه	1	-	0.03	0.03	-54.56 -56.76:	100

نتایج تحلیل حساسیت زمانی که تمامی پارامترها ثابت فرض شده‌اند و فقط یک پارامتر تغییر می‌کند در جدول 4-5-5 آورده شده است. عوارض بهینه در آزادراه تهران- پردیس به پارامترهای α_2 ، α_1 ، k_B ، γ_B حساس نیست.

زمانی که γ_A در فاصله بازه‌ی اطمینانش تغییر می‌کند، عوارض بهینه از 0.2 به 0.41 افزایش می‌یابد و زمانی که k_A در بازه‌ی فاصله اطمینانش تغییر می‌کند، عوارض بهینه از 0.21 به 0.46 افزایش می‌یابد. نتایج نشان می‌دهد عوارض بهینه در این آزادراه به پارامترهای هزینه مربوط به این آزادراه حساس است ولی نسبت به پارامترهای جاده‌ی معادل حساس نیست.

جدول 4 - 5 - 6: تحلیل حساسیت تمامی پارامترها

پارامتر	γ_B	γ_A	K_B	K_A	α_2	α_1
پارامتر	0.110748:0.282352	0.000000:0.000067	0.06:0.15	0.71 : 1.45	3.42:3.64	4.02 : 3.72
عوارض جاده‌ی A	0.03	0.20:0.41	0.03	0.21:0.46	0.03	0.03
رفاه	-56.55	-87.19:-46.99	-56.55	-46.90 -86.31:	-54.56 -56.76:	-56.54 -58.55:

تحلیل حساسیت آزادراه قزوین- کرج و جاده‌ی معادل آن

نتایج تحلیل حساسیت زمانی که تمامی پارامترها ثابت فرض شده‌اند و فقط یک پارامتر تغییر می‌کند در جدول 4-5-7 آورده شده است. عوارض بهینه در آزادراه قزوین- کرج به پارامترهای α_2 ، α_1 ، k_B ، γ_B حساسیت کمی دارد.

زمانی که γ_A در فاصله بازه‌ی اطمینان 95% اش تغییر می‌کند، عوارض بهینه از 2.20 به 4.47 افزایش می‌یابد و زمانی که k_A در فاصله بازه‌ی اطمینان 95% اش تغییر می‌کند، عوارض بهینه از 3.54 به 4.47 افزایش می‌یابد. نتایج نشان می‌دهد عوارض بهینه در این آزادراه به پارامترهای هزینه مربوط به این آزادراه حساس است ولی نسبت به پارامترهای جاده‌ی معادل حساس نیست.

جدول 4 - 5 - 7: تحلیل حساسیت تمامی پارامترها

α_1	α_2	K_A	K_B	γ_A	γ_B	
: 12.53	: 12.67		: 0.91	: 0.001449	: 0.01333	پارامتر
11.43	11.17	4.47 : 0.36	0.26	0.000002	0.0133	
3.72	3.49	3.54 : 4.47	3.72	2.20 : 4.47	3.72	عوارض جاده‌ی A
-503.11	-479.22	: -455.53 -833.37	-485.22	: -455.57 -865.87	-485.22	رفاه

زمانی که ارزش زمانی گروه اول و دوم همزمان در فاصله بازه‌ی اطمینان 95% نشان تغییر می‌کنند و سایر پارامترها ثابت هستند، عوارض از 3.5 به 3.9 افزایش می‌یابد، رفاه در این حالت از 507- به 461- افزایش می‌یابد. و زمانی که همه‌ی پارامترها همزمان در فاصله بازه‌ی اطمینان 95% نشان تغییر می‌کنند، عوارض بهینه از 1.83 تا 65.06 تغییر می‌کند، در این حالت رفاه از 25507- تا 432- تغییر می‌کند. در این حالت به دلیل تغییر همزمان تمام پارامترها عوارض در بازه‌ی بزرگی تغییر می‌کند.

فصل 5 نتیجه گیری و پیشنهادها

1-5- نتیجه گیری

نتایج نشان می دهد، عوارض بهینه برای آزادراه ساوه- سلفچگان یکتا و برابر با 1.07 عوارض فعلی است. عوارض بهینه برای آزادراه های تهران پردیس و قزوین- کرج یکتا نیست و به ترتیب در بازه ی $0.03 \leq \tau$ و $3.72 \leq \tau$ قرار دارد. بزرگی ارزش زمانی استفاده کنندگان از جاده، اختلاف بین ارزش زمانی استفاده کنندگان و همچنین کیفیت دو جاده ی معادل، سه عامل در میزان بیشتر یا کم تر بودن عوارض بهینه از عوارض فعلی، برای این سه آزادراه بوده است. عوارض بهینه برای آزادراه های تهران- پردیس و قزوین- کرج به پارامترهای ارزش زمانی حساسیت کمی دارند، درحالی که عوارض بهینه آزادراه ساوه- سلفچگان نسبت به ارزش زمانی وسایل نقلیه ی غیرسنگین حساس است.

عوارض بهینه در آزادراه تهران- پردیس و قزوین- کرج نسبت به پارامترهای α_2 ، α_1 ، k_B ، γ_B حساسیت کمی دارند، ولی نسبت به پارامترهای هزینه خود آزادراه حساس است.

2-5- پیشنهادها

برای تخمین ارزش زمانی توزیعی برای ارزش زمانی هر کدام از وسایل نقلیه فرض شد، که برای تخمین حداقل تعداد پارامترها از توزیع یکنواخت بین $[0, x]$ استفاده شد. برای تخمین ارزش زمانی روش های دیگری نیز پیشنهاد می شود که یک روش استفاده از اطلاعات استفاده کنندگان از جاده مثل؛ دستمزد، تحصیلات، درآمد و غیره است.

- 1) R. C. Larson and K. Sasanuma, "Urban Vehicle Congestion Pricing: A Review," J. Ind. Syst. Eng., vol. 3, no. 4, pp. 227–242, Winter 2010.
- 2) Altshuler, Alan, and David Luberoff. Mega-Projects: The Changing Politics of Urban Public Investment. Washington, D.C.: Brookings Institution Press, 2003.
- 3) Arnott, R., Small, K., 1994. The economics of traffic congestion. American Scientist 82, 446–455.
- 4) P. Murray, "Congestion pricing for roads: An overview of current best practice, and the economic and transport benefits for government", Public Infrastructure Bulletin, vol.8, 2012.
- 5) Downs, Anthony. *Still Stuck in Traffic: Coping with Peak-Hour Traffic Congestion*. Washington D.C.: Brookings Institution, 2004.
- 6) Runhaar, H, H. (2001) "Efficient pricing in Transport" EJTIR, 1, No.1, pp.29–44.
- 7) Parry, I.W.H., and Timilsina, G.R. (2010) "How should passenger travel in Mexico City be priced?" Journal of Urban Economics, Vol. 68, No.2, pp.167–182.
- 8) Parry, I.W.H. (2012) "Reforming the tax system to promote environmental objectives: An application to Mauritius", Ecological Economics, No 77, pp.103–112.
- 9) Vickrey, William, "Congestion Theory and Transport Investment," American Economic Review, May 1969 (Papers and Proceedings), 59, 251–61.
- 10) Richard Arnott, André de Palma and Robin Lindsey, "A Structural Model of Peak-Period Congestion: A Traffic Bottleneck with Elastic Demand.", The American Economic Review, Vol. 83, No. 1 (Mar., 1993), pp. 161–179.

- 11) Small, Kenneth A., Theodore, E. Keeler and. "Optimal Peak-Load Pricing, Investment, and Service Levels on Urban Expressways *Journal of Political Economy*, Vol. 85, No. 1 (Feb., 1977), pp. 1-25.
- 12) Vickrey, W. "Pricing in Urban and Suburban Transport." *A.E.R.* 53 (May 1963): 452-65.
- 13) Strotz, R. "Urban Transportation Parables." In *The Public Economy of Urban Communities*, edited by J. Margolis. Baltimore: Johns Hopkins Press, 1964.
- 14) Mohring, H. "The Peak Load Problem with Increasing Returns and Pricing Constraints." *A.E.R.* 60, no. 4 (September 1970): 693-705.
- 15) Murray, Peter "Congestion pricing for roads: An overview of current best practice, and the economic and transport benefits for government," *Public Infrastructure Bulletin*: Vol. 1: Iss. 8, Article 8 (2012).
- 16) van den Berg, V., Verhoef, E.T., Congestion tolling in the bottleneck model with heterogeneous values of time. *Transportation Research Part B* 45, 60-78, 2011.
- 17) A. de Palma, R. Lindsey, Private roads, competition, and incentives to adopt time-based congestion tolling, University of Alberta working paper available on request, 2000.
- 18) A. De Palma and C. R. Lindsey, Private toll roads: Competition under various ownership regimes, *Annals of Regional Science*, 34, 13-35 (2000).
- 19) Kraus, M., 2012. Road pricing with optimal mass transit. *Journal of Urban Economics* 72 (2-3), 81-86.
- 20) Parry, Ian W. H. and Kenneth A. Small. 2009. "Should Urban Transit Subsidies Be Reduced?"

- 21) R. M. Braid, Peak-load pricing of a transportation route with an unpriced substitute, *Journal of Urban Economics*, **40**, 179 _ 197 (1996).
- 22) L. N. Liu and J. F. McDonald, Efficient congestion tolls in the presence of unpriced congestion:
A peak and off-peak simulation model, *Journal of Urban Economics*, **44**, 352 _ 366 Ž1998.
- 23) E. T. Verhoef, P. Nijkamp, and P. Rietveld, Second-best congestion pricing: The case of an
Untolled alternative, *Journal of Urban Economics*, **40**(3). 279 _ 302 (1996).
- 24) Small, K.A., Yan, J., 2001. The value of “value pricing” of roads: second-best pricing and product differentiation. *Journal of Urban Economics* 49, 310–336.

پیوست

1- انگیزه و اهمیت تحقیق

در بسیاری از شهرهای بزرگ دنیا، تراکم ترافیک به یک معضل رایج تبدیل شده است و جوامع شهری هزینه‌های مالی (مانند هدر رفتن سوخت، استهلاک اتومبیل و...) و غیر مالی (مانند معضلات اجتماعی، فرهنگی، مشکلات عصبی و...) بسیار زیادی را بابت آن پرداخت می‌کنند، در ایالات متحده آمریکا، موسسه حمل و نقل شهر تگزاس در سال 2003، میزان تاخیر سالانه برای هر سفر در ساعات اوج شلوغی، در مناطق بزرگ شهری با جمعیت بیش

از 3 میلیون نفر را 61 ساعت برآورد کرده است، این مقدار بسیار بزرگ‌تر از مقدار 13 ساعت برای مناطق با جمعیت کمتر از 500 هزار نفر است. تاخیر متوسط سالانه برای همه‌ی شهرها از 16 ساعت در سال 1982 به 47 ساعت رسیده است. با توجه به این آمار، اگر تنها هزینه زمان و سوخت هدر رفته در نظر گرفته شود، هزینه ترانزیت ترافیکی برای مردم آمریکا در یک سال برابر 63.1 میلیارد دلار خواهد بود (لارسون و ساسانوما، 2010)¹.

اقتصاددانان معتقدند که ازدحام آمد و شد موجود در شهرهای دنیا از مقدار بهینه بیشتر است و دلیل آن را کم‌تر بودن قیمت رانندگی در ساعات شلوغی از هزینه اجتماعی واقعی آن می‌دانند. هزینه اجتماعی گرفتار شدن در شلوغی خیابان‌ها برابر است با هزینه وارد شده به خود راننده به علاوه ترافیک تحمیل شده به سایر رانندگان. از این رو افراد غالباً حتی زمانی که این هزینه اجتماعی از ارزش سفر برای آنها بیشتر باشد نیز رانندگی می‌کنند؛ چراکه هزینه ترافیکی که به وجود می‌آورند را پرداخت نمی‌کنند. با توجه به این که اعمال عوارض بیشتر در زمان‌های اوج می‌تواند تقاضا را کاهش دهد و افرادی که تمایل بیشتری به پرداخت برای صرفه‌جویی در زمان دارند، این فرصت را پیدا می‌کنند که زمان سفر را کاهش دهند، اعمال عوارض ترانزیت پیشنهاد می‌گردد (آلتشولر و لوبروف، 2003)².

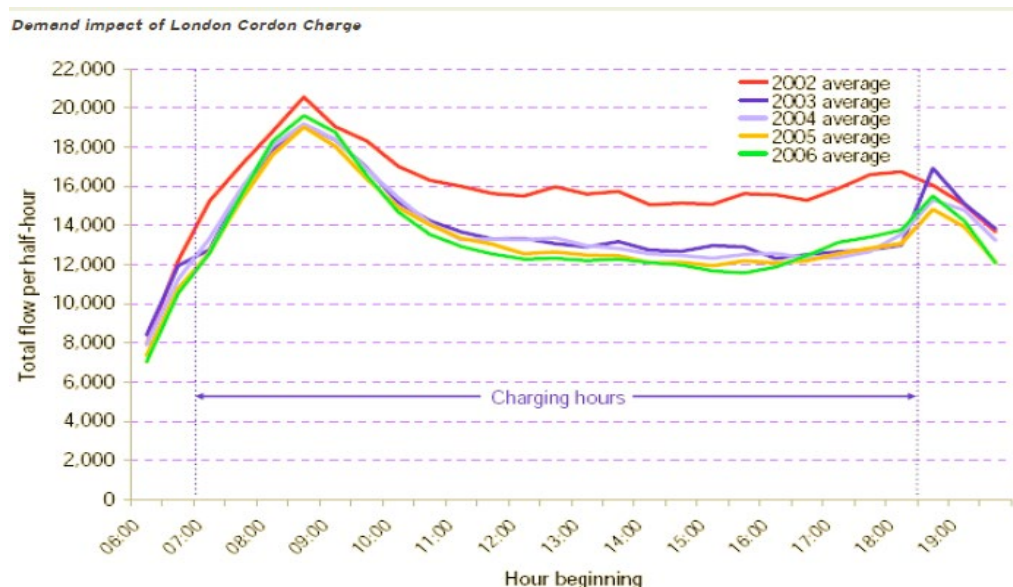
قیمت‌گذاری ترانزیت سیستمی از قیمت‌ها است که با تغییر زمان و مکان تغییر می‌کند و هدف از طراحی آن کاهش ترافیک از طریق ترغیب افراد به انتقال سفر خود به ابزارها، مکان‌ها و ساعاتی است که هزینه اجتماعی کمتری را به همراه داشته باشند. سنگاپور این سیستم را از

1) Larson and Sasanuma

1) Altshuler and Luberoff

2) Small and Arnott

سال ۱۹۷۵ اعمال کرده است. لندن نیز یک سیستم قیمت گذاری تراکم را در سال ۲۰۰۳ اتخاذ کرد که طبق این سیستم، برای زمان‌های اوج، ۷ صبح و ۶:۳۰ عصر در روزهای تعطیل عوارض تراکم دریافت شد. کسب عوارض رانندگی در سنگاپور به طور الکترونیکی انجام می



شود و در لندن نیز از طریق ابزارهای مختلفی صورت می‌پذیرد که در هر دو مورد فوق برای انجام این کار از ضبط تصویری شماره پلاک خودروها استفاده می‌شود (اسمال و آرنوت، ۱۹۹۴)^۱. با اعمال این عوارض در لندن، تاخیر ترافیک در منطقه حدود ۳۰ درصد، ترافیک گردش در منطقه حدود ۱۵ درصد و ترافیک ورود به منطقه در ساعت دریافت عوارض حدود ۱۸ درصد کاهش یافت. و ۶۷۵۰۰ مورد از سفرهای طی هفته با استفاده از خودرو، در حوزه‌های مورد بحث حذف شد یا به مکانی دیگر انتقال یافت. نیمی از این سفرها به حمل و نقل عمومی و یک چهارم از آنها نیز به مسیرهای خلوت تر انتقال پیدا کرد. شکل‌های زیر تغییرات ترافیک بعد از اعمال عوارض تراکم در لندن را نشان می‌دهد (مورای، ۲۰۱۲)^۲

1) Murray

"قیمت‌گذاری ارزشی"¹ نوعی از قیمت‌گذاری تراکم است که زمانی اعمال می‌شود که یک جاده‌ی رایگان در کنار جاده‌ی قیمت‌گذاری شده وجود داشته باشد. مزیت این روش این است که پرداخت عوارض اختیاری است ولی تراکم فقط برای یک مسیر حذف می‌شود و حتی ممکن است تراکم مسیر رایگان افزایش یابد. این نوع قیمت‌گذاری از اواخر سال 1995 در جاده ایالتی 91 در منطقه لس‌آنجلس و از اواخر ۱۹۹۶ در جاده میان ایالتی ۱۵ در نزدیکی سن دیگو اعمال شده است (دونز، 2004)².

در کشور ایران رشد جمعیت و افزایش تولید خودرو مؤید این نظریه است که همه ساله طیف وسیعی به چرخه حمل و نقل کشور افزوده می‌شود. از طرف دیگر ظرفیت تردد در جاده‌های موجود و

روند

احداث

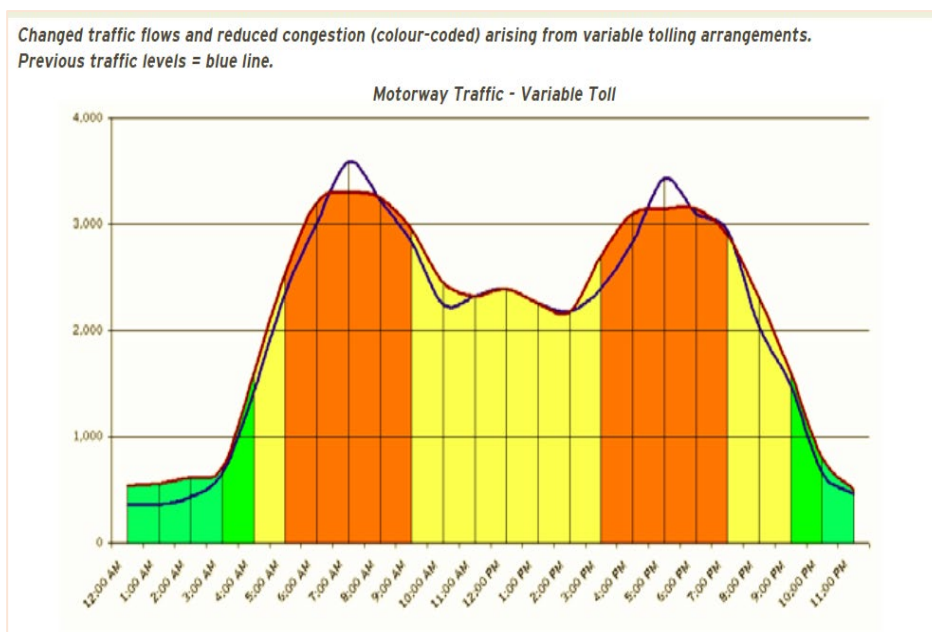
جاده‌های

جدید، با

نرخ

افزایش

تقاضا



متناسب نیست. بنابراین مدیریت تقاضا و یافتن راه‌هایی برای کم کردن تراکم در کشور ایران

1) value pricing

2) Downs

بسیار مهم است. یکی از روش های مدیریت تقاضا، قیمت گذاری تراکم است که در این پژوهش با توجه به ساختار قیمت گذاری در ایران به تعیین عوارض بهترین دوم تراکم برای آزادراه ها می پردازیم. عوارض بهترین دوم به این دلیل مطرح می شود که افراد برای خدمات با کیفیت بالاتر پول بیشتری پرداخت می کنند.

2- مرور ادبیات

مسئله قیمت گذاری جاده ای مسئله ای قدیمی است که تحقیقات گسترده ای در ارتباط با آن انجام گرفته است. این موضوع را می توان از دیدگاه؛ اقتصادی، جغرافیایی، روانشناسی و مهندسی ترافیک مورد بررسی قرار داد. موضوعات اصلی که در این دیدگاه ها مورد بررسی قرار می گیرند، اهداف سیاست قیمت گذاری جاده ای، پاسخ رفتاری به قیمت گذاری، مقبولیت اجتماعی و سیاسی و اجرای عملی قیمت گذاری می باشد. اهداف سیاست قیمت گذاری به طور خلاصه عبارتند از: مدیریت تقاضا، بهینه سازی ترافیک، افزایش رفاه اجتماعی، کاهش اثرات زیست محیطی، جبران اثرات خارجی عبور و مرور و افزایش درآمد برای جبران هزینه تعمیر و نگهداری و هزینه ساخت زیر ساخت های جدید. عوارض بهینه بدست آمده با اهداف سیاسی مختلف متفاوت است. در این تحقیق به دلیل اهمیت موضوع ترافیک در ایران، به مطالعه ای قیمت گذاری جاده ای از دیدگاه اقتصادی و با هدف مدیریت تقاضا پرداخته می شود و توضیح مختصری نیز در ارتباط با دیگر اهداف داده می شود.

در ارتباط با قیمت گذاری جاده ای با هدف تامین مالی پروژه ها می توان گفت؛ هزینه های سنگینی که پروژه های ساخت، تعمیر و نگهداری جاده ها بر دوش دولت ها می گذارند، موجب مطرح شدن بحث خصوصی سازی ساخت و بهره برداری از جاده ها شده است. علت اصلی روی آوردن به فرایند خصوصی سازی این است که، بخش خصوصی کاراتر از بخش عمومی عمل می کند، تامین مالی آن آسان تر است، فشارهای سیاسی برای کاهش عوارض کمتر است و از بروز پروژه های فیل های سفید اجتناب می کند. این موضوع برای کشورهای در حال توسعه که نیاز فوری به برنامه های ساخت و ساز بزرگراه دارند بسیار مهم است به همین دلیل امتیاز بزرگراه را به مزایده بخش خصوصی می گذارند، این بخش کار را با سرمایه خود انجام میدهد و سپس با درآمد ناشی از عوارض در طول چندین سال سرمایه خود را به همراه سود معین پس می گیرد و نهایتاً جاده را به دولت تحویل می دهد. تعیین میزان عوارض به نحوی که منافع بخش خصوصی را تامین کرده و در عین حال برای استفاده کنندگان و کل جامعه نیز مناسب باشد، مساله ای است که بحث های

بسیاری را تاکنون به خود دیده است. در واقع در این روش جاده ای ساخته و یا مورد بازسازی و تعمیر قرار می گیرد و استفاده کنندگان مختلف از این جاده استفاده کرده و عوارض می پردازند، که عوارض پرداخت شده باید جوابگوی همه ی هزینه ها که می تواند حتی هزینه های شلوغی و زیست محیطی را شامل شود، باشد. بدین ترتیب، همه از این کار سود می برند، حتی کسانی که از جاده ی جدید استفاده نمی کنند نیز از کاهش شلوغی جاده های قدیمی منفعت خواهند برد.

در ارتباط با تعیین عوارض جاده ای با هدف افزایش رفاه اجتماعی می توان گفت: در طول دهه های متمادی، اقتصاددانان حمل و نقل متقاضی اجرای "قیمت گذاری کارا" در حیطه حمل و نقل بوده اند، چرا که بر طبق نظر آن ها این امر منجر به افزایش رفاه اجتماعی کل خواهد شد. اگر چه اصل قیمت گذاری کارا در بسیاری از کشورها در حال اجرا است، اما قوانینی را که اقتصاددان توسعه داده بودند فقط توسط معدودی از دولت ها به اجرا گذاشته شد. دو دلیل برای این قضیه وجود دارد؛ اول انجام قیمت گذاری کارا در حمل و نقل به علت عدم وجود تجهیزات لازم و لزوم جمع آوری عوارض به صورت نقدی با یک قیمت مناسب رخ نداد. توسعه تکنولوژی اخیر این مانع را هموار کرده است، برای مثال سیستم قیمت گذاری جاده ای الکترونیکی به کارگرفته شده در بسیاری از کشورها را می توان نام برد. دوم، دولت هایی که تصمیم دارند انجام قیمت گذاری کارا را در بخش حمل و نقل اعمال کنند، با مقابله قوی جامعه و سیاستمداران مواجه شده اند.

رونهار (2001)¹ توضیح می دهد که بازار های حمل و نقل شرایط بهینگی پارتو را دارا نمی باشند و از این رو بازارهای ناکارآمدی هستند. او علت اصلی ایجاد ناکارآمدی را برابر نبودن قیمت های حمل و نقل با هزینه های نهایی می داند، و علت این نابرابری نیز وجود هزینه های بیرونی و مالیات های غیر بهینه در این بازارها می باشد. شخصی که هزینه های خارجی ایجاد می کند، هزینه یا منفعی را به دیگران وارد می کند، اما آن ها را در فرایند تصمیم گیری در نظر نمی آورد. در نتیجه تولید یا مصرف او از نقطه نظر رفاه اجتماعی مبهم است. علت اصلی وجود هزینه های بیرونی، فقدان تعریف درست از حقوق مالکیت می باشد. در واقع هیچ حقی برای جاده های بدون شلوغی و ترافیک، هوای پاک یا سکوت وجود ندارد.

پاری و همکاران (2010)² با ارائه مدل مطلوبیت خانوار به بررسی و ارزیابی چگونگی اصلاح قیمت های حمل و نقل شهری و اثر آن ها بر رفاه عمومی مسافران در شهر مکزیکوسیتی پرداخته اند. مدل معرفی شده برای شهر مکزیکوسیتی، شامل سیستم حمل و نقل شهری به تفکیک خودرو

1) Runhaar

2) Parry, I.W.H. and Timilsina

3) Parry, I.W.H.

شخصی، مینی‌بوس، اتوبوس و حمل و نقل ریلی با در نظر گرفتن هزینه‌های بیرونی خودروها است. این مقاله نتیجه می‌گیرد که اعمال عوارض جاده‌ای و افزایش مالیات بر بنزین موجب کاهش ترافیک و افزایش رفاه اجتماعی می‌شود.

یکی از مطالعاتی که با هدف کاهش اثرات زیست محیطی انجام شده است، مطالعه‌ی پاری (2012)¹ است، که به بررسی اصلاح سیستم عوارض به منظور بهبود اهداف زیست محیطی در جزیره موریس پرداخته است. در این تحقیق گزینه‌های مختلف جهت اصلاح عوارض خودرو با اهداف زیست محیطی و درآمدی بررسی شده و قدمی در جهت اخذ عوارض بر مبنای استفاده از خودرو به منظور بهبود تراکم برداشته شده است.

اعمال عوارض، به کاهش حجم ترافیک کمک میکند. جمع‌آوری عوارض با روش‌های الکترونیکی ترافیک موضعی ناشی از جمع کردن سستی عوارض را نیز مرتفع می‌کند. این نوع قیمت‌گذاری بر راه‌ها اصولاً برای غلبه بر دوشکل شهرهای بزرگ، یعنی شلوغی و آلودگی هوا مورد استفاده قرار گرفته است. تمام راهکارهای این دسته از قیمت‌گذاری‌ها بر مبنای اصل آگاه‌سازی استفاده‌کننده از هزینه‌ای است که او با استفاده خود از راه به صورت همزمان به دیگران وارد می‌کند. در این حالت عوارض به نوعی تعیین می‌شوند که نتایجی مانند تغییر تصمیم افراد در انجام یا عدم انجام سفر، جابه‌جایی سفرها از ساعات اوج به ساعات غیر اوج، تغییر مسیر سفر و غیره را در پی داشته باشند. همان افراد اگر عوارض وجود نداشته باشد، متوجه هزینه‌ای که با حضور خود به دیگران وارد می‌کنند نخواهند بود. در واقع با تعیین عوارض بهینه، آن دسته از مسافران که با قیمت‌های جدید،

سفر خود را مقرون به صرفه میدانند از کمانهای عوارضی شبکه استفاده خواهند نمود، و سایر استفاده‌کنندگان سیستم به طور خودکار از آن کمان‌ها و یا از کل شبکه حذف شده و بدین ترتیب بار ترافیکی کمان‌های خاصی از شبکه کاهش خواهد یافت.

اکثر مطالعاتی که در زمینه قیمت‌گذاری جاده‌ای با هدف مدیریت تقاضا انجام گرفته است، مربوط به قیمت‌گذاری تراکم است. مطالعات مربوط به قیمت‌گذاری تراکم به دو دسته‌ی کلی تقسیم می‌شوند؛ 1- قیمت‌گذاری گلوگاه، 2- قیمت‌گذاری جاده‌های موازی. در ادامه به بررسی دقیق مطالعات انجام شده در زمینه قیمت‌گذاری تراکم پرداخته می‌شود.

1- قیمت‌گذاری گلوگاه²

1) Bottleneck

ویلیام ویکری (1996)¹ از پیشگامان در معرفی عوارض تراکم است، او معتقد است که جاده‌ها یکی از معدود مکان‌هایی است که عامل زمان در تقاضا اجرا نشده است، طی مدل پایه‌ای، ترافیک حداکثر بار را، مطرح کرد و به مدل‌سازی یک گلوگاه برای عبور رانندگان در ترافیک صبح‌گاهی و قیمت‌گذاری عبور از این نقطه پرداخت. این مدل به عنوان اولین مدل‌های ساختاری نوشته شده در این زمینه شناخته می‌شود که در آن مسافری یکسان در یک ساعت مشخص شروع به سفر می‌کنند و تلاش دارند که به موقع در محل کار خود حاضر شوند. گلوگاه ظرفیت عبوری مشخصی دارد و تعداد اتومبیل بیش از این ظرفیت باعث تشکیل صف و ترافیک می‌گردد. صف در یک بازه‌ی زمانی مشخص ایجاد می‌شود که در این بازه مسافرانی که از تنگنا عبور می‌کنند باید عوارض تراکم پرداخت کنند، این عوارض تابعی از نسبت افرادی که از گلوگاه عبور می‌کنند به ظرفیت گلوگاه و ارزش زمانی افراد است. که فرض می‌شود ارزش زمانی همه‌ی افراد یکسان است و تابعی از دستمزد افراد است. با قیمت‌گذاری گلوگاه توزیع زمانی حرکت افراد تغییر می‌کند. در کوتاه مدت افراد می‌توانند در زمانی حرکت کنند، که در صف منتظر نمانند و عوارض برای عبور از گلوگاه پرداخت کنند یا زمانی حرکت کنند که عوارض صفر است ولی صف وجود دارد.

یکی از مهم‌ترین مقالاتی که در زمینه قیمت‌گذاری گلوگاه انجام شده است، مطالعه‌ی آرنوت و همکاران (1993)² است. این مقاله به توسعه‌ی یک مدل ساختاری³ با تقاضای با کشش، بر اساس مدل ویکری (1969) می‌پردازد و انواع روش‌های قیمت‌گذاری را در مقایسه با بهینه‌ی اجتماعی مورد آزمایش قرار می‌دهد. در واقع مدل قیمت‌گذاری تراکم مقید به تقاضای حداکثر بار را در نظر می‌گیرد و بحث می‌کند که بهترین تشخیص باید ساختاری باشد که به صورت صریح از تکنولوژی تراکم و تصمیم‌گیری رفتاری رانندگان بدست می‌آید، در این مدل فرض می‌شود که تعداد مشخصی از رانندگان همگن (این تعداد داده شده فرض می‌شود) به شیوه‌ی مشابه رانندگی خواهند کرد و عبور از گلوگاه جایی است که سیستم عوارض اجرا می‌شود. گلوگاه دارای ظرفیت محدود است و اگر تعداد افراد بیش از ظرفیت گلوگاه باشد صف ایجاد خواهد شد.

$$T(t) = \text{زمان سفر از خانه به سرکار برابر است با: } T^f + T^v(T)$$

که به دو قسمت زمان ثابت و زمان متغیر تقسیم می‌شود. فرض می‌شود که $T^f = 0$ است و مدت زمان متغیر برابر است با $T^v(T) = \frac{D(t)}{s}$ که به طول صف و ظرفیت گلوگاه بستگی دارد. طول

2) William Vickrey
1) Arnott, Palma and Lindsey
2) Structural model

صف برابر با $D(t)$ و ظرفیت گلوگاه برابر با s است. اگر تعداد ماشین‌هایی که به گلوگاه می‌رسند مازاد بر s در هر واحد زمان باشد، تراکم ایجاد می‌شود.

تابع $D(t)$ به صورت زیر است که در آن $r(u)$ تابع نرخ حرکت از خانه است و $\hat{t}$ زمانی است که هیچ صفی وجود ندارد.

$$D(t) = \int_{\hat{t}}^t r(u) du - s(t - \hat{t})$$

قیمت سفر برابر است با مجموع هزینه‌های خصوصی و عوارض.

$$p(t) = c(t) + \tau(t)$$

$$c(t) = \alpha T^v(t) + \beta(\text{time early}) + \gamma(\text{time late})$$

که در آن α قیمت سایه‌ای زمان سفر و β و γ به ترتیب، هزینه هر واحد زود رسیدن و دیر رسیدن به سر کار است. فرض می‌شود که $\gamma > \alpha > \beta$. با توجه به این هزینه‌ها هر فرد تصمیم می‌گیرد که چه زمانی از خانه به سمت کار حرکت کند. تعادل زمانی برقرار می‌شود که هیچ مسافری با فرض ثابت بودن زمان حرکت بقیه‌ی مسافران، نتواند با تغییر زمان حرکت خود، هزینه‌های سفر را کاهش دهد. بنابراین تعادل یک استراتژی محض نش است.

هدف از این مدل پیدا کردن عوارض تراکم بهینه است. در این مدل ابتدا قیمت تعادلی برای حالتی که عوارض وجود ندارد بدست می‌آید، قیمت تعادلی جایی است که عرضه و تقاضا برابر است. سپس با فرض وجود عوارض تراکم مدل را حل می‌کند و ابتدا تابع حرکت را برای افرادی که زود از خانه خارج می‌شوند و افرادی که دیرتر از خانه خارج می‌شوند، بدست می‌آورد و بعد طول زمان اوج را بدست می‌آورد که برابر است با تعداد افرادی که از تقاطع عبور می‌کنند تقسیم بر تعداد افرادی که در واحد زمان از گلوگاه عبور می‌کنند. سپس عوارض تراکم بدست می‌آید که بستگی به تعداد افرادی دارد که از گلوگاه عبور می‌کنند. عوارض بهینه تراکم موجب می‌شود که صفی ایجاد نشود و عوارض در طول روز متفاوت است. تعادل در مدل بنحوی بدست می‌آید که هیچ راننده‌ای نتواند هزینه‌ی رانندگی را با تغییر در زمان سفر تغییر دهد. در این مدل هزینه نهایی اجتماعی برای زمانی که عوارض تراکم وجود ندارد با زمانی که عوارض تراکم دریافت می‌شود مقایسه می‌شود و مشخص می‌شود که هزینه نهایی اجتماعی در حالتی که عوارض تراکم داریم کاهش می‌یابد.

ابتدا مدل را با در نظر گرفتن فرم کاهش یافته تابع عرضه در حالتی که عوارض وجود ندارد حل می‌کند که قیمت تعادلی و هزینه اجتماعی نهایی تعادلی به صورت زیر بدست می‌آید:

$$p^e = c^e = ATC^e$$

$$MSE^e = \frac{\partial TC^e}{\partial N} = \frac{2\delta N}{s} = 2 \frac{TC^e}{N} = 2ATC^e$$

TC^e برابر است با هزینه کل سفر و ATC^e برابر است با هزینه متوسط کل سفر و $\delta \equiv \frac{\beta\gamma}{\beta+\gamma}$ است.

سپس با در نظر گرفتن تقاضا به صورت زیر مدل را برای حالتی که عوارض وجود ندارد حل می‌کند.

$$N = N(p) \quad \frac{dN}{Dp} < 0$$

قیمت تعادلی در این حالت برابر است با:

$$p^e = \frac{\delta N^e}{s}$$

برای حل مدل زمانی که عوارض وجود دارد سه نوع عوارض را در نظر می‌گیرید:

- (1) عوارض یکنواخت¹ که در طول روز ثابت است.
- (2) عوارض متغیر² که تابعی از زمان سفر است.
- (3) عوارض میانی³، که بین عوارض یکنواخت و عوارض جریمه قرار دارد.

برای رژیم‌های مختلف قیمت گذاری داریم:

$$TC^j = \frac{\Gamma^j \delta N^2}{s} \quad j = e, u, c, o$$

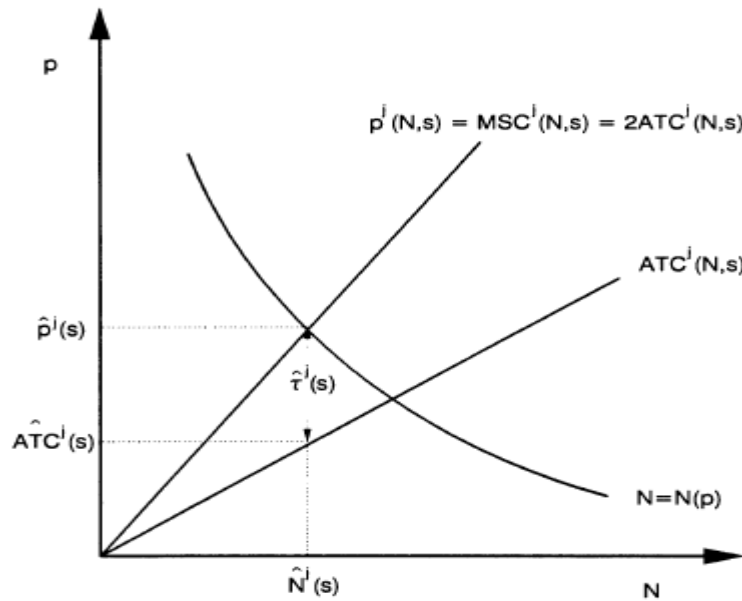
$$ATC^j(N, s) = \frac{\Gamma^j \delta N}{s}$$

$$ATC^j(N, s) = \frac{\Gamma^j \delta N}{s}$$

$$\Gamma^e = \Gamma^u = 1$$

$$\Gamma^o = \frac{1}{2}$$

1) Uniform toll
2) Fine toll
3) Coarse toll



$$\Gamma^c = \frac{1}{4} \left[3 - \frac{(\gamma - \alpha)\beta}{(\beta + \gamma)(\alpha + \gamma)} \right]$$

$$p^e(N, s) = ATC^e(N, s)$$

برای انواع عوارض داریم:

$$\left\{ \begin{array}{l} p^j(N, s) = ATC^j(N, s) + \tau^j(N, s) \quad j = u, c, o \\ p^j(N, s) = MSC^j(N, s) + 2ATC^j(N, s) \end{array} \right. \Rightarrow \tau^j = ATC^j = \frac{MSC^j}{2} = \frac{p^j}{2}$$

زمانی که عوارض به صورت بهینه انتخاب می‌شود، مسافران هزینه نهایی اجتماعی هر سفر را پرداخت می‌کنند. توابع هزینه نهایی اجتماعی برای سه رژیم قیمت گذاری مطابق با فرم کاهش یافته تابع عرضه است. تعادل در رژیم‌های مختلف عوارض در شکل زیر نشان داده شده است:

نتایج این مدل نشان می‌دهد که برای تعداد مشخصی از مسافران داده شده، قیمت سفر در حالتی که هیچ عوارضی وجود ندارد کم‌ترین است و بیش‌ترین قیمت مربوط به حالتی است که از مسافران عوارض یکنواخت دریافت می‌شود. این مقاله پیشنهاد می‌دهد که عوارض زمان‌بندی برای جاده‌های شهری اعمال شود تا تراکم در زمان‌های اوج کاهش یابد.

یکی از اولین و مهم‌ترین مقالاتی که عوارض بهینه تراکم را به صورت تجربی محاسبه کرده است، مقاله اسمال و کیلیراند (1997)¹ است. در این مقاله مدل قیمت‌گذاری ویکری (1963)، استراتز (1964)² و موهرینگ (1970)³ توسعه داده می‌شود و یک مدل که مجموعه‌ای از مدل‌های قبلی است، برای پیدا کردن عوارض بهینه تراکم طراحی می‌شود. با استفاده از داده‌های جاده‌ها در منطقه خلیج سانفرانسیسکو، نرخ بهینه عوارض، ظرفیت‌ها و سطوح خدمات برای بزرگراه‌ها را به وسیله‌ی یک مدل قیمت‌گذاری حداکثر بار تخمین می‌زنند. ابتدا سود خالص برای همه‌ی سفرها در مسیر طول عمر یک جاده را بیشینه کردند و از این طریق نرخ بهینه عوارض تراکم را برابر با تفاوت بین قیمت بهینه و هزینه متغیر متوسط بدست آوردند. در این مدل عوارض بهینه، ظرفیت‌ها و سطوح خدمات برای بزرگراه‌ها به صورت مشترک به وسیله‌ی یک مدل قیمت‌گذاری حداکثر بار تعیین می‌شود.

فروض تئوری این مقاله عبارتند از:

1. تقاضا در هر دوره بستگی به قیمت در دیگر دوره‌ها دارد.
 2. تابع هزینه متوسط متغیر، همگن از درجه صفر نسبت به Q_t و w است. (سرعت ترافیک در جاده فقط به نسبت حجم- ظرفیت و نه اندازه مطلق بستگی دارد)
- در این مدل هدف ماکسیمم کردن سود خالص برای همه‌ی سفرها در مسیر در طول عمر یک جاده است.

$$\max: NB = \sum_{t=1}^T \left[\int_0^{Q_t} p_t(Q_t) dQ_t - Q_t C_t(Q_t, w) \right] - p(w)$$

1) Small and Keeler and
2) Strotz
3) Mohring

تقاضا برای دوره‌ی t برابر است با $p_t = p_t(Q_t)$ که Q_t ، جریان سفرهای وسایل نقلیه در طول یک مسیر شهری داده شده در واحد زمان و p_t هزینه کل سفر در مسیر است.

$p(w)$ هزینه اجاره جاده مورد استفاده برای این سفرها که شامل بهره و استهلاک در سرمایه گذاری به علاوه هزینه نگهداری جاده که با اندازه‌ی جاده متغیر است، می‌باشد. (هزینه ثابت)

$$p(w) = \left(\frac{r}{1 - e^{-rL}} \right) k(w) + m(w) + rA(w)$$

L طول عمر موثر در جاده‌ها، $k(w)$ هزینه‌های ساخت، w پهنا باند، $m(w)$ هزینه های نگهداری، $A(w)$ هزینه مالکیت زمین، r نرخ بهره و $C_t(Q_t, w)$ تابع هزینه متوسط متغیر (هزینه های نگهداری خودرو، ارزش زمان سفر خودرو برای متوسط رانندگان برای هر خودرو، هزینه های پلیس و...).

با مشتق گیری نسبت به w و Q_t داریم:

$$p_t = C_t + Q_t \frac{\partial C_t}{\partial Q_t} \quad * \quad \frac{\partial NB}{\partial Q_t} = 0$$

قیمت کل پرداخت شده در هر دوره باید با هزینه نهایی کوتاه مدت برابر باشد.

$Q_t \frac{\partial C_t}{\partial Q_t}$: عوارض بهینه تراکم برابر است با تفاوت بین قیمت بهینه و هزینه متغیر متوسط.

$$\frac{\partial NB}{\partial w} = 0 \quad \Rightarrow \quad - \sum_{t=1}^T Q_t \frac{\partial C_t}{\partial Q_t} - p'(w) \quad **$$

ظرفیت راه باید به نقطه‌ای که هزینه نهایی یک واحد ظرفیت اضافی برابر با ارزش نهایی هزینه های صرفه جویی کاربر ناشی از سرمایه گذاری است، توسعه یابد.

برای پیدا کردن ارتباط بین هزینه سرمایه‌گذاری و درآمد حاصل از عوارض معادله * در Q_t ضرب می‌شود و برای تمام زمان‌ها جمع میشود، با استفاده از معادله‌ی ** و تئوری اوایلر برای تابع همگن C_t

$$\sum_{t=1}^T [p_t(Q_t) - C_t] Q_t = w p'(w) \quad \text{درآمدهای حاصل از عوارض برابر است با:}$$

اگر در ساخت بزرگراه بازده ثابت نسبت به مقیاس وجود داشته باشد؛ $p(w) = aw$ در نتیجه $w p'(w) = p(w)$

در این حالت عوارض فقط هزینه اجاره را پوشش می‌دهد.

اگر بازده افزایشی نسبت به مقیاس وجود داشته باشد، جاده برای عملکرد کارا باید یارانه دریافت کند و اگر بازده کاهشی باشد جاده مازاد درآمد را دریافت می‌کند. بازده نسبت به مقیاس افزایشی به این معنا است که هرچه پهنای باند افزایش می‌یابد، هزینه‌های اجاره هم بیشتر می‌شود.

برای تخمین تجربی مدل ابتدا تابع هزینه ظرفیت بزرگراه را تخمین می‌زنند که این تابع به سه مدل هزینه آماری ساخت و ساز بزرگراه، مالیات زمین و هزینه نگهداری زیر ساخت‌ها تقسیم می‌شود.

برای تخمین هزینه ساخت و ساز بزرگراه‌ها دو معادله غیر خطی و خطی پیشنهاد شده است، این معادلات به صورت زیر است:

nonlinear model : KLM

$$= (a_1 CRS + a_2 CUC + a_3 FR + a_4 FSU + a_5 FC) w^{a_6}$$

log – linear: ln(KLM)

$$= a_1 CRS + a_2 CUC + a_3 FR + a_4 FSU + a_5 FC + a_6 \ln(w)$$

معادله‌ی دوم را که تشخیص جایگزین معادله اول است می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$KLM = \exp(a_1 CRS + a_2 CUC + a_3 FR + a_4 FSU + a_5 FC) w^{a_6}$$

KLM هزینه ساخت هر مایل – خط، *CRS* کسری از طول جاده در نمونه محاسبه شده توسط جاده معمولی خارج از محدوده‌ی شهرستان، *CUC* کسری از جاده مشاهده شده متشکل از خیابان‌های شریانی معمولی و یا جاده‌ها در محدوده‌ی شهرستان، *FR* کسری از جاده‌ی مشاهده شده توسط بزرگراه روستایی ساخته شده و *FSU* کسری از آزادراه ساخته شده شهری یا حومه است.

در محاسبه‌ی هزینه ساخت و ساز بزرگراه‌ها دو عامل موثر است، یکی شهری شدن و دیگری بازدهی نسبت به مقیاس است. ضرایب a_1 تا a_5 نشان دهنده‌ی میزان شهری شدن است و ضریب a_6 بازدهی نسبت به مقیاس را نشان می‌دهد. اگر این ضریب برابر صفر باشد نشان می‌دهد با افزایش پهنای هزینه‌های ساخت و ساز افزایش می‌یابد.

معادله دوم بر معادله اول ترجیح داده می‌شود چون می‌توان این معادله را به صورت خطی برآورد کرد، در حالی که به هزینه‌های هر مایل – خط اجازه می‌دهد بر حسب درجه شهرنشینی متفاوت باشد.

برای اینکه کل هزینه ساخت و ساز آزاده‌ها را بدست آورند، ابتدا این معادلات را برای یک آزادراه نوعی تخمین می‌زنند و سپس هزینه بدست آمده را در تعداد آزادراه‌ها ضرب می‌کنیم.

برای تخمین هزینه خرید زمین، هیچ متغیری به عنوان متغیر شاخص وجود ندارد و بهترین متغیر برای تخمین، هزینه خرید زمین برای آزادراهایی است که به تازگی ساخته شده‌اند. برای تخمین این هزینه ابتدا ضرایب برآورد شده در معادله قبلی را در معادله‌ی زیر می‌گذارند و هزینه را بدست می‌آورند.

$$\frac{ROW}{K} = a_1^{\wedge} CRS + a_2^{\wedge} CUC + a_3^{\wedge} FR + a_4^{\wedge} FSU + a_5^{\wedge} FC$$

$\frac{ROW}{K}$ نسبت پهنای بخش از خرید زمین به هزینه ساخت و ساز است.

برای برآورد هزینه‌های نگهداری از معادله‌ی زیر استفاده می‌شود:

$$\frac{mc}{Lm} = \alpha + \beta \frac{V}{C}$$

$\frac{mc}{Lm}$ هزینه سالانه نگهداری برای هر خط مایل و $\frac{V}{C}$ متوسط وسایل نقلیه سالیانه برای هر لاین از جاده است.

سپس ارتباط بین سرعت ترافیک و بهره‌وری، تخمین زده می‌شود.

$$\frac{V}{C} = \mu + \theta S - \pi S^2$$

$\frac{V}{C}$ نسبت حجم به ظرفیت و S سرعت است.

برای تبدیل این شکل به ارتباط بین حجم و زمان از رابطه‌ی زیر استفاده می‌کنند.

$$T = \frac{1}{S(\frac{V}{C})}$$

کل هزینه زمان در یک دوره‌ی داده شده برابر است با حجم ترافیک کل برای هر واحد زمان در ارزش زمان. با محاسبه‌ی این هزینه‌ها تابع جریان ترافیک بدست می‌آید.

$$TC = \sum_{t=1}^T \frac{V_{nt} X_t}{\phi + \sqrt{\rho - \vartheta (\frac{X_t}{W})}} + AW$$

TC هزینه کل سالیانه، X_t حجم ساعتی یک مسیر از ترافیک در طول هر یک از دوره‌ها، nt تعداد کل ساعات از سال که در طی آن جریان X_t غالب است، V ارزش زمان برای هر ساعت خودرو که به صورت برون‌زا در نظر گرفته می‌شود و x تخمین سالیانه اجاره هر واحد از ظرفیت لاین است.

هر X_t به صورت کسری از X_1 نشان داده شده است و هر n_t نسبتی از n_1 است، فرض می‌شود هر یک از این نسبت‌ها ثابت است.

$$\frac{X_1}{w} = x$$

$$\frac{TC}{n_1 X_1} = V \sum_{t=1}^T \frac{\left(\frac{n_t}{n_1}\right) \left(\frac{X_t}{X_1}\right)}{\phi + \sqrt{\rho - \vartheta \left(\frac{X_t}{X_1}\right) x}} + \frac{A}{n_1 x}$$

هزینه کل هر ساعت هجوم برای هر مایل وسایل نقلیه تابع یک متغیر و دو پارامتر است، بقیه عوامل در معادلات قبلی تخمین زده می‌شود. که x اوج ساعت ترافیک هر ساعت-خط است.

عوارض بهینه برای هر دوره تفاوت بین هزینه نهایی کوتاه مدت و هزینه متوسط کوتاه مدت است.

$$C_i = \frac{V}{\phi + \sqrt{\rho - \vartheta \left(\frac{X_1}{w}\right)}}$$

C_i : هزینه متغیر متوسط کوتاه مدت

$$T_i = \frac{\partial C_i}{\partial X_i} X_i$$

عوارض بهینه تراکم:

نتایج نشان می‌دهد که عوارض بهینه اوج کاربر برای بزرگراه‌های روستایی 2-7 سنت در هر مایل خودرو است و 2-9 سنت برای بزرگراه‌های برون شهری و 6-39 سنت برای بزرگراه‌های مرکزی شهرستان است، این نتایج به نرخ بهره، ارزش زمان و پیکربندی تقاضای اوج مفروض بستگی دارد. نتایج براین فرض استوار است که کشش مقطعی بین تقاضای اوج و غیر اوج صفر است.

یک نتیجه گیری پایه تحت تمام فرضیه‌های جایگزین این است که عوارض جاری استفاده‌کنندگان کمتر از عوارض بهینه تراکم است. همچنین نتایج سرعت بهینه برای منطقه خلیج سانفرانسیسکو را بالاتر از سرعت فعلی می‌داند و معتقد است هزینه‌های زمان سفر باید کمتر از مقدار فعلی باشد به همین منظور پیشنهاد افزایش عوارض برای جاده‌ها را می‌دهد. از آنجایی که عوارض دریافتی در سال 1972 برای ساعت‌های اوج و غیر اوج برابر با 1.5 سنت برای هر مایل خودرو است، می‌توان گفت آزادراه‌ها برای ساعت‌های اوج زیر قیمت، قیمت گذاری شده است و در این زمان‌ها

ترافیک رفت و آمد خودرو سوبسید دریافت کرده است ولی نمی‌توان گفت، خدمات ساعت اوج خودرو بیش از حد مورد مصرف قرار می‌گیرد.

زمانی که اثرات سیاست‌های حمل و نقل آنالیز می‌شود، در نظر گرفتن ناهمگنی مهم است، مطالعات قبلی که در زمینه قیمت‌گذاری گلوگاه انجام شده است، ناهمگنی در ارزش زمانی را در نظر نگرفته‌اند. ورهوف و وان دن برگ (2011)¹ اثرات رفاهی قیمت‌گذاری تراکم را در مدل گلوگاه با توزیع پیوسته‌ای از ارزش زمانی بررسی می‌کنند. برای بررسی اثرات رفاهی بهترین اول و دوم، بخشی از ظرفیت جاده که به عنوان خط پرداخت عمومی است را با هدف حداکثر سازی رفاه خط پرداخت عمومی در نظر می‌گیرد. در این مدل یک جاده با گلوگاه وجود دارد که فقط یک مبدا و مقصد را به هم متصل می‌کند. هزینه کل سفر از این جاده برابر با مجموع هزینه زمان سفر، هزینه‌های تاخیر، عوارض و هزینه‌های عملیاتی خودرو است، که هزینه‌های عملیاتی خودرو برای همه‌ی استفاده‌کنندگان یکسان است. هزینه‌های تاخیر برابر با طول صف به ظرفیت گلوگاه است و متناسب با ارزش زمانی برای استفاده‌کنندگان مختلف متفاوت است. نتایج شبیه سازی این مدل نشان می‌دهد، زمانی که استفاده‌کنندگان همگن فرض می‌شوند، عوارض عمومی بهترین اول اثری بر روی قیمت‌ها نمی‌گذارد، اما زمانی که ناهمگنی ارزش زمانی در نظر گرفته می‌شود موجب اثر گذاری بر قیمت‌ها می‌شود. به این صورت که در تعادل بدون عوارض، قیمت کلی برای بالاترین ارزش زمانی بیش‌ترین است و قیمت‌ها با افزایش ارزش زمانی افزایش می‌یابد. زمانی که عوارض عمومی بهترین اول اعمال می‌شود صف حذف می‌شود و متوسط هزینه‌های بیرونی تراکم کاهش می‌یابد.

ناهمگنی باعث کاهش اثرات رفاهی عوارض بهترین اول می‌شود و هرچه ناهمگنی افزایش یابد، کارایی نسبی خط پرداخت عمومی کاهش می‌یابد که این نتیجه با نتایج مطالعات قبلی تناقض دارد. نتایج نشان می‌دهد که رژیم‌های مختلف عوارض به صورت متفاوتی تحت تاثیر ناهمگنی قرار می‌گیرند.

2- قیمت‌گذاری جاده‌های موازی

دی پالما و لیندزی (2001)² به بررسی این سوال پرداختند که آیا عوارض تراکم بر مبنای زمان، برای جاده‌ی خصوصی، زمانی که جاده‌ی جایگزین برای آن وجود دارد سودمند است؟ با این وجود

1) Verhoef and van den Berg

1) de Palma and Lindsey

که عوارض تراکم درآمد را افزایش می‌دهد ولی از آنجایی که تقاضا برای جاده‌ی قیمت‌گذاری شده به تقاضا و قیمت جاده‌ی رقیب بستگی دارد، ممکن است قیمت‌گذاری تراکم سودمند نباشد.

برای پاسخ‌گویی به این سوال، مدل‌ای را از تطبیق مدل گلوگاه ویکری (1969) با مدل قیمت‌گذاری دی پالما و لیندزی (2000) طراحی می‌کنند. در این مدل سه جاده رقابتی را برای سفر از یک مبدا به یک مقصد در نظر می‌گیرند، که زمان سفر از این مسیرها به زمان سفر جریان-آزاد و نسبت تعداد وسایل نقلیه که در صف قرار دارند به ظرفیت گلوگاه بستگی دارد و فرض می‌شود ارزش زمانی همه‌ی افراد برابر است. تعیین‌کنندگان عوارض وارد یک بازی دو مرحله‌ای غیر همکارانه می‌شوند که در مرحله اول ساختار زمانی و دریافت عوارض برای جاده‌ها به صورت مستقل انتخاب می‌شود و تعیین‌کنندگان عوارض با فرض ثابت بودن درآمد دیگر جاده‌ها، درآمد خود را انتخاب می‌کنند. در این مرحله فرض می‌شود که هر تعیین‌کننده یک انتخاب باینری بین دو ساختار عوارض دارد که تفاوت آن در درجه‌ی کاهش تراکم است، این انتخاب به این دلیل که در عمل فقط چند ساختار عوارض تعیین می‌شود و تعیین‌کنندگان عمومی هدفشان حداقل کردن تراکم است و تعیین‌کنندگان خصوصی هدفشان حداکثر کردن درآمدشان است محدود می‌شود. در مرحله دوم بازی عوارض منبأ با فرض ثابت بودن درآمد جاده، درآمد جاده رقیب و عوارض جاده رقیب با هدف حداکثر شدن رفاه اجتماعی تعیین می‌شود. اگر به هر طریقی بین تعیین‌کنندگان عوارض کمیته تشکیل شود این بازی احساس می‌شود. این کمیته ممکن است به دلایل تکنولوژیکی یا قراردادی ایجاد شود. عوارض تکنولوژیکی دو نوع پایه دارد؛ سیستم الکترونیکی و گیشه دریافت عوارض. اگر در مرحله‌ی اول دریافت عوارض به صورت الکترونیکی تعیین شود، تعیین‌کنندگان در مرحله‌ی دوم به عوارض روزانه بر مبنای زمان توافق شده، بیش‌تر تمایل دارند.

تنظیم‌کننده‌ی عمومی بدون در نظر گرفتن رژیم اجرا و ساختار عوارض در دیگر جاده‌ها، ساختار عوارضی را انتخاب می‌کند که کارایی هزینه‌ای بالاتری داشته باشد. تنظیم‌کننده‌ی خصوصی اگر جاده‌ی رقیب رایگان باشد، خود را با این عوارض تطبیق می‌دهد ولی اگر جاده‌ی رقیب خصوصی یا عمومی باشد لزوماً تطبیق اتفاق نمی‌افتد. اگر استراتژی مکمل باشد و شرکت استراتژی تطبیق را انتخاب کند، سود شرکت رقیب را کاهش داده است ولی اگر درآمد حاصل از عوارض، بدون توجه به عملکرد رقیب به عنوان هدف قرار گیرد سود شرکت کاهش می‌یابد. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که در اکثر موقعیت‌ها شرکت‌ها متوجه می‌شوند که تطبیق یک جانبه سودآورتر است و در یک انحصار خصوصی تطبیق موازی سود شرکت‌ها را کاهش می‌دهد. در تعادل دو جانبه خصوصی، اگر هر دو شرکت عوارض هموار¹ را انتخاب کنند، تعادل یکسان یکتا داریم، تعادل در تقاطع شکلهای عکس العمل اتفاق می‌افتد. اگر شرکت اول عوارض متغیر را انتخاب کند در این

1) Flat toll

مسیر صف حذف می‌شود و متوسط هزینه‌های تراکم کاهش می‌یابد. در این حالت عوارض پرداخت شده به وسیله‌ی اولین و آخرین مسافر به میزان عوارض هموار است، در حالی که عوارض پرداخت شده به وسیله‌ی استفاده‌کنندگان اوج افزایش می‌یابد. اگر شرکت اول عوارض را کاهش دهد موجب انتقال شکل عکس‌العمل به داخل می‌شود و سود این شرکت افزایش می‌یابد در حالی که سود شرکت دوم کاهش می‌یابد، در نهایت اثر استراتژیک پذیرش عوارض کم‌تر توسط شرکت دوم موجب می‌شود وضعیت شرکت دوم از لحاظ سود نهایی بهتر شود.

زمانی که سفر رانندگان کم‌تر از هزینه نهایی قیمت‌گذاری می‌شود قیمت‌گذاری بهترین دوم مطرح می‌شود، کراوس (2012)¹ به بررسی قیمت‌گذاری بهترین دوم زمانی که یک مسیر جایگزین ریلی برای جاده وجود دارد می‌پردازد و با استفاده از یک روش تحلیلی، یک مقایسه‌ی کلی بین بهترین دوم سطوح خدمات ترانزیت و هزینه عبور با بهترین اول آن انجام می‌دهد. در واقع هدف این مطالعه بدست آوردن عوارض بهینه جاده‌ای است.

در این مدل فرض می‌شود که همه‌ی افراد مشابه هستند و برای سفر به محل کار می‌توانند بین دومسیر بزرگراه و خط راه‌آهن انتخاب داشته باشند. زیر مدل بزرگراه یک مدل تراکم در عبور و مرور است که به وسیله‌ی آرنوت و همکاران (1393) مطرح شده است. بزرگراه فقط در قسمت گلوگاهی تراکم دارد و ظرفیت گلوگاه به صورت برون‌زا فرض شده است. در این مقاله هزینه‌های بیرونی² محیط زیست نیز به صورت برون‌زا در نظر گرفته می‌شود. افراد زمان سفر را طوری تعیین می‌کنند که هزینه سفر حداقل شود. تنها هزینه‌ی افرادی که با مترو مسافرت می‌کنند، هزینه انتظار رسیدن مترو در مبدا حرکت است. انبوهی از مسافران در زمان حرکت قطار در مبدا حرکت وجود دارند.

با حداکثر سازی رفاه اجتماعی تعادل در این مدل بدست می‌آید. در ابتدا فرض می‌شود که قیمت‌گذاری جاده‌ای وجود ندارد و قیمت‌گذاری ریلی به صورت بهترین دوم است. سپس قیمت‌گذاری جاده‌ای معرفی می‌شود و قیمت‌گذاری ریلی مطابق با این قیمت دوباره بهینه می‌شود و قیمت جدید بدست می‌آید. عوارض بهترین اول بزرگراه‌ها در زمان صفر برابر است با هزینه‌های بیرونی محیط زیست که در واقع این هزینه‌ها را درونی می‌کند و بعد از این زمان هزینه‌های تراکم نیز به عوارض اضافه می‌شود. و استفاده‌کنندگان ریلی نیز مطابق با قیمت‌های جدید زمان حرکت خود را باز انتخاب می‌کنند. اعمال قیمت‌گذاری جاده‌ای موجب می‌شود که تعداد استفاده‌کنندگان از جاده و قطار کاهش یابد.

2) Kraus

1) Externalities

سپس با اعمال قیمت‌گذاری حداکثر بار در بزرگراه، صف در گلوگاه حذف می‌شود و موجب افزایش کارایی بزرگراه می‌شود. هزینه نهایی سفر از طریق بزرگراه کاهش می‌یابد و از طرفی هم کرایه‌های مترو افزایش می‌یابد و باعث می‌شود قیمت‌های ریلی برابر با هزینه نهایی شود. در این حالت تعداد استفاده‌کنندگان از بزرگراه افزایش می‌یابد و تعداد استفاده‌کنندگان مترو کاهش می‌یابد.

مهم‌ترین سیاست کاربردی مقاله معرفی برنامه قیمت‌گذاری بهینه جاده‌ای است. نتایج مقاله نشان می‌دهد که قیمت‌های ریلی کمتر از هزینه نهایی است و حرکت از بهترین دوم به سمت بهترین اول موجب کاهش خدمات ریلی می‌شود. این نتایج با نتیجه‌ی مقاله تجربی اسمال و پاری (2009)¹ که به مقایسه‌ی قیمت‌ها و هزینه‌های نهایی خدمات ریلی در واشنگتن، لسانجلس و لندن پرداخته اند سازگاری دارد. در همه‌ی این شهرها قیمت‌ها کمتر از هزینه نهایی بوده است.

برید (1996)² به تعیین قیمت بهینه تراکم زمانی که دو مسیر کاملاً جانشین وجود دارد و در هر دو مسیر نیز گلوگاه وجود دارد می‌پردازد. دو مسیر می‌تواند دو پل، یک جاده رایگان و یک جاده قیمت‌گذاری شده، یک راه شریانی غیر قابل قیمت‌گذاری و یک جاده قیمت‌گذاری شده یا دو خط متفاوت از یک پل یا بزرگراه باشد. این دو مسیر لزوماً ظرفیت برابری ندارند و اگر جریان ترافیک هر مسیر کمتر از ظرفیت مسیر باشد صف ایجاد نمی‌شود. استفاده‌کنندگان از دو مسیر کاملاً مشابه هستند و هزینه جریان آزاد سفر هر دو مسیر برابر است. افراد مسیر و زمان عبور از گلوگاه را طوری تعیین می‌کنند که هزینه‌های خصوصی سفر حداقل شود.

زمانی که در هیچ کدام از مسیرها قیمت‌گذاری نداریم تعادل به گونه‌ای حاصل می‌شود که تعداد استفاده‌کنندگان هر دو مسیر برابر می‌شود در این حالت در هر دو مسیر صف ایجاد می‌شود. بهترین اول زمانی اتفاق می‌افتد که عوارض حداکثر بار (تراکم) در هر دو مسیر اعمال شود و عوارض اعمال شده در هر دو مسیر نیز برابر است، در این حالت تمامی صف‌ها در دو مسیر حذف ارائه دهنده‌ی منفعت کارا است. اگر عوارض تراکم فقط برای یک مسیر تعیین شود و مسیر دیگر رایگان باشد قیمت‌گذاری به وجود دارد و در مسیر قیمت‌گذاری شده صف کاملاً حذف می‌شود. عوارض اعمال شده در مسیر قیمت‌گذاری شده به طور میانگین سفر است به این صورت که قبل از شروع تراکم عوارض منفی وجود دارد و در زمان اوج عوارض مثبت وجود دارد. در این حالت مسافران از مسیر رایگان به سمت مسیر قیمت‌گذاری شده سرازیر می‌شوند و تعادل جایی اتفاق می‌افتد که هزینه نهایی اجتماعی دو مسیر برابر شود.

2) Small and parry

1) Braid

نتایج نشان می‌دهد که اگر ظرفیت دو جاده برابر باشد، منافع حاصل از بهتری دوم، $2/3$ منافع حاصل از بهترین اول است.

نان لیو و مک دونالد (1998)¹ به بررسی قیمت‌گذاری تراکم برای آزادراه‌های شهری که به دلایل مختلف سیاسی و تکنولوژیکی امکان قیمت‌گذاری تراکم وجود نداشته است پرداخته‌اند. این مقاله برای مقایسه رژیم‌های قیمت‌گذاری بهترین اول و دوم و رژیم بدون عوارض، از تئوری قیمت‌گذاری بهترین دوم و مدل شبیه‌سازی استفاده کرده است. در این مدل دو مسیر برای سفر وجود دارد و استفاده‌کنندگان دو انتخاب برای زمان سفر دارند (قبل از اوج و اوج).

با این وجود که سیاست قیمت‌گذاری بهترین دوم کارایی کم‌تری نسبت به بهترین اول دارد ولی سه اثر عمده بر حجم ترافیک دارد؛ 1) موجب انتقال ترافیک در زمان اوج به مسیر آزاد می‌شود. 2) موجب انتقال ترافیک از زمان اوج به زمان غیر اوج می‌شود. 3) حجم ترافیک کل را کاهش می‌دهد.

نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که، بهترین دوم در باز توزیع حجم ترافیک موثر است اما کارایی کم‌تری نسبت به بهترین اول دارد. منافع رفاهی بهترین دوم از منافع رفاهی بهترین اول کم‌تر است و عوارض بهترین دوم از بهترین اول خیلی کم‌تر است. نتایج شبیه‌سازی نسبت به تغییر پارامترهای تقاضا و هزینه حساس نیست.

ورهِوف و همکاران (1996)² قیمت‌گذاری تراکم برای یک مسیر متراکم که یک جایگزین رایگان برای آن وجود دارد را مطالعه می‌کنند. هدف این مقاله بررسی کارایی نسبی قیمت‌گذاری بهترین دوم تراکم، زمانی که استفاده‌کنندگان جاده قدرت انتخاب بین دو مسیر رایگان و قیمت‌گذاری شده است را دارند، است. از مدل شبیه‌سازی دو مسیری استفاده می‌کند و اثر تغییرات پارامترهای هزینه و تابع تقاضا را روی کارایی نسبی عوارض یک مسیر آنالیز می‌کند. فرض می‌شود که دو جاده کاملاً جانشین هستند و متوسط هزینه سفر و ارزش زمانی برای همه‌ی استفاده‌کنندگان از جاده برابر است.

برای بدست آوردن عوارض بهینه، رفاه اجتماعی را حداکثر می‌کند، عوارض بهترین دوم به صورت زیر بدست می‌آید:

$$\ell = \int_0^N D(n) dn - N_T * c_T(N_T) - N_U * c_U(N_U) + \lambda_T * (D(N) - c_T(N_T) - f) + \lambda_U * (D(N) - c_U(N_U))$$

2) Nan Liu and McDonald

1) Verhoff and Nijkamp and Rietveld

$$\text{FOC: } \frac{\partial \ell}{\partial N_T} = \frac{\partial \ell}{\partial N_U} = \frac{\partial \ell}{\partial f} = \frac{\partial \ell}{\partial \lambda_T} = \frac{\partial \ell}{\partial U_T} = 0$$

$$f = N_T * c'_T(N_T) - N_U * c'_U(N_U) * \left(\frac{-D'(N)}{c'_U(N_U) - D'(N)} \right) = 0$$

عبارت اول در عوارض بهینه برابر با هزینه نهایی بیرونی تراکم در مسیر T است و عبارت دوم اثر سرازیر شدن مسافران به مسیر رایگان است.

عوارض بهترین اول برای دو مسیر برابر است با:

$$r_i = N_i * c'_i(N_i)$$

تابع تقاضا و هزینه نهایی به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$D = \delta - \alpha(N_T + N_U)$$

$$MPC_i = ASC_i = k_i + \beta_i N_i$$

اگر تقاضا کاملاً با کشش باشد، $D'(N)$ برابر صفر می‌شود و اثر سرازیر شدن به مسیر رایگان صفر می‌شود. استفاده کنندگان از جاده‌ی رایگان در این حالت تحت تاثیر قرار نمی‌گیرند، چون استفاده کنندگان از جاده بدون توجه به اینکه چه قانونی در مسیر T وجود دارد تا جایی وارد مسیر رایگان می‌شوند که منافع نهایی با هزینه نهایی خصوصی برابر شود. بهترین کاری که تنظیم کننده می‌تواند انجام دهد این است که با نادیده گرفتن رفاه از دست رفته اجتناب ناپذیر در مسیر U استفاده از مسیر T را بهینه کند. در این حالت عوارض بهترین دوم تراکم در مسیر T با بهترین اول برابر است و فقط استفاده از یک مسیر بهینه شده است.

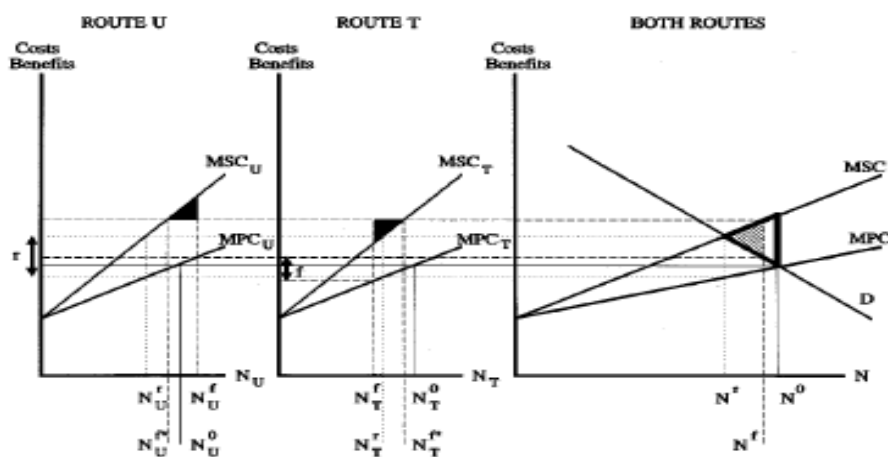
اگر تقاضا کاملاً بی‌کشش باشد، $D'(N)$ برابر بینهایت می‌شود و اثر سرازیر شدن به مسیر رایگان برابر یک می‌شود. در این حالت عوارض بهینه برابر است با:

$$N_T * c'_T(N_T) - N_U * c'_U(N_U)$$

بهترین کاری که تنظیم کننده می‌تواند انجام دهد، تقسیم بهینه مسیر است. بنابراین عوارض باید به صورتی تنظیم شود که برابر با اختلاف هزینه نهایی بیرونی تراکم روی دو مسیر باشد.

در شکل زیر حالت‌های مختلف تعادلی آورده شده است و منافع رفاهی حاصل از آن با یکدیگر مقایسه شده است. در شکل سمت راست تابع تقاضا، هزینه نهایی اجتماعی و خصوصی نشان داده شده است، تعادل جایی است که هزینه‌ی نهایی با منفعت نهایی برابر شود. اگر قیمت‌گذاری

بهترین اول اعمال شود، تعداد استفاده کنندگان از جاده از N^0 به N^r کاهش می‌یابد. در این حالت رفاه اجتماعی به میزان مثلث پر رنگ افزایش می‌یابد.



اگر قیمت‌گذاری بهترین دوم اعمال شود، تعداد استفاده کنندگان از جاده از N^0 به N^f کاهش می‌یابد. تعداد استفاده کنندگان از مسیر T از N_T^0 به N_T^f کاهش می‌یابد، در حالی که تعداد استفاده کنندگان از جاده‌ی U از N_U^0 به N_U^f افزایش می‌یابد. در این حالت رفاه افزایش می‌یابد ولی هنوز زیان مرده رفاهی به میزان مثلث هاشور خورده وجود دارد.

ورهِوف و همکاران (1995) در مقاله‌ای دیگر برای مقایسه‌ی منافع رفاهی بهترین دوم نسبت به زمانی که هیچ مداخله‌ای وجود ندارد، شاخص رفاه نسبی زیر را معرفی کردند:

$$\omega = \frac{[\int_{N_f^0}^{N_f^f} S(n)dn - \int_{N_U^f}^{N_U^f} (K_U(n_U) - K_U(N_U^{f*}))dn_U - \int_{N_T^f}^{N_T^{f*}} (K_T(N_T^{f*}) - K_T(n_T))dn_T]}{\int_{N^r}^{N^f} S(n)dn + \int_{N^f}^{N^0} S(n)dn}$$

تابع S تفاوت بین هزینه نهایی اجتماعی و منافع نهایی است و K_i تفاوت بین هزینه نهایی اجتماعی گروه i است. دو جمله‌ی اول در صورت، تفاوت بین مثلث پر رنگ و مثلث هاشور خورده است و جمله سوم به ترتیب دو مثلث کوچک مشکی در شکل‌های سمت چپ و وسط است. عبارت مخرج نیز بیان‌کننده‌ی منافع رفاهی حاصل از بهترین اول است که با مثلث پر رنگ در شکل سمت راست نشان داده شده است.

این مقاله سه رژیم قیمت‌گذاری را در نظر گرفته است، رژیم بدون عوارض، بهترین اول و بهترین دوم و تعداد مسافران تعادلی در هر کدام از رژیم‌ها را بدست آورده است. به طور مثال تعداد مسافران تعادلی در رژیم بهترین دوم برای مسیر قیمت‌گذاری شده و رایگان برابر است با:

$$N_T = \frac{\delta - \frac{\alpha * (\alpha / (\alpha + \beta_U)) * (k_T - k_U)}{(1 + \alpha / (\alpha + \beta_U)) * \beta_U} - k_T}{\frac{\alpha * (\alpha / (\alpha + \beta_U)) * 2\beta_T}{(1 + \alpha / (\alpha + \beta_U)) * \beta_U} + \alpha + 2\beta_T}$$

$$N_U = \frac{\delta - \frac{\alpha * (k_U - k_T) * (k_T - k_U)}{2\beta_T} - k_U}{\frac{\alpha * (1 + \alpha / (\alpha + \beta_U)) * \beta_U}{2\beta_T} + \alpha + \beta_U}$$

نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که پارامترهای هزینه کمتر، روی مسیر قیمت‌گذاری شده موجب تبدیل قیمت‌گذاری غیر جذاب در یک مسیر به قیمت‌گذاری کارا می‌شود به عبارتی هر چه پارامتر هزینه در یک مسیر کمتر باشد اعمال عوارض بهینه در آن مسیر کارا تر است. در حالی که دو مسیر مشابه با تقاضای با کشش و هزینه جریان آزاد متفاوت وجود دارد، قیمت‌گذاری یک مسیر جذاب نیست. در حالی که اگر تقاضای بی‌کشش باشد قیمت‌گذاری یک مسیر جذاب است و تقسیم‌پذیری مسیرها تعیین‌کننده‌ی کارایی قوانین است. اگر هزینه‌های قانون‌گذاری و تنظیم کردن قیمت‌ها در دو مسیر نیز در نظر گرفته شود ممکن است موجب ناکارایی قیمت‌گذاری در دو مسیر شود.

در این مقاله حداکثرسازی درآمد عوارض روی یک مسیر و هر دو مسیر نیز بررسی شد که نتایج نشان می‌دهد که حداکثرسازی درآمد عوارض یک مسیر نسبت به حداکثرسازی درآمد عوارض دو مسیر کارایی کمتری دارد. برخلاف این نظریه کلی که کاهش قدرت انحصاری موجب افزایش کارایی بازار می‌شود، قدرت انحصاری در قیمت‌گذاری جاده‌ای کارایی بیش‌تری ایجاد می‌کند. زمانی که تقاضای بی‌کشش است حداکثرسازی درآمد عوارض به دلیل این‌که به سمت قیمت‌گذاری بالای جاده‌ای کشیده می‌شود، عدم کارایی بیش‌تری ایجاد می‌کند. بنابراین بخش عمده‌ای از منافع کارایی بالقوه به دلیل قیمت‌گذاری انحصاری برای تنظیم‌کنندگان خصوصی ایجاد می‌شود. اگر چه اثر انحصاری قیمت‌گذاری دو مسیر در کارایی کلی استفاده از جاده جذاب است، اما توزیع رفاهی آن لزوماً جذاب نیست.

در مطالعات قبلی، استفاده‌کنندگان از جاده‌ها همگن فرض شدند، در حالی که در واقعیت ترجیحات همه‌ی افراد یکسان نیست، اسمال و یان (2001)¹ تفاوت در ارزش زمانی استفاده‌کنندگان از جاده را به عنوان یک پارامتر ناهمگنی وارد مدل خود کردند، و برای بدست آوردن عوارض بهینه، دو گروه از استفاده‌کنندگان را در نظر گرفتند که تنها تفاوت این دو گروه تفاوت در ارزش زمانی آن‌ها است. آن‌ها بیان می‌کنند که ناهمگنی در ارزش زمانی تفاوت معناداری

1) Small and Yan

در ارزیابی مقایسه‌ی سیاست‌های بهترین دوم و حداکثر سازی سود دارد. برای تعیین نرخ بهینه عوارض تراکم از روش قیمت‌گذاری ارزش استفاده می‌کنند که در آن مسافران می‌توانند بین جاده‌ی متراکم رایگان و جاده‌ی قیمت‌گذاری شده انتخاب داشته باشند. این مدل به این دلیل قیمت‌گذاری ارزش تعریف می‌شود که استفاده‌کنندگان برای خدمات با ارزش بالاتر باید قیمت پرداخت کنند، مانند مسافران هوایی و ریلی که می‌توانند بلیط نوع اول را خریداری کنند و قیمت بالاتری پرداخت کنند. برای طراحی قیمت‌گذاری ارزش سه روش جایگزین می‌تواند در نظر گرفته شود، روش اول اعمال عوارض بهترین دوم برای آزادراه‌ها است به گونه‌ای که رفاه اجتماعی نسبت به قید عوارض صفر در مسیر جایگزین، حداکثر شود. روش دوم حداکثر سازی سود است که در این روش عوارض به گونه‌ای تعیین می‌شود که درآمد مسیر قیمت‌گذاری شده نسبت به قید عوارض صفر در مسیر جایگزین، حداکثر شود. روش سوم اعمال عوارض به گونه‌ای است که یک جریان سرعت حداقل در مسیر قیمت‌گذاری شده ایجاد شود. در این مقاله روش اول و دوم استفاده می‌شود و عوارض بدست آمده در این دو روش با یکدیگر مقایسه می‌شود. تئوری این مدل به صورت زیر است:

دو جاده A و B را در نظر می‌گیریم که یک مبدا و مقصد را به هم متصل می‌کنند و طول (L) و جریان- آزاد زمان سفر، برابری دارند. دو گروه مختلف (گروه یک و دو) از استفاده‌کنندگان جاده از این دو مسیر استفاده می‌کنند و هزینه‌ی سفر از این دو مسیر را پرداخت می‌کنند. هزینه سفر به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$c_{ir}(N_r) = \beta L + \alpha_i T_f L \left[1 + \gamma \left(\frac{N_r}{K_r} \right)^k \right] \quad i = 1, 2; r = A, B$$

β : هزینه عملیاتی هر مایل

α_i : ارزش زمان (پارامتر ناهمگنی)، فرض می‌شود ارزش زمانی استفاده‌کنندگان نوع اول از ارزش زمانی استفاده‌کنندگان نوع دوم بیشتر است. ($\alpha_1 > \alpha_2$)

$T_f L$: جریان- آزاد زمان سفر (معکوس سرعت)

$\frac{N_r}{K_r}$: نسبت حجم به ظرفیت

هزینه تاخیر: $d_{ir} \equiv \alpha_i T_f L \gamma \left(\frac{N_r}{K_r} \right)^k$

هزینه بیرونی نهایی: $MEC_r \equiv \sum_i N_{ir} \frac{\partial c_{ir}}{\partial N_r} = k * (\sum_i N_{ir} d_{ir})$

تقاضا برای هر گروه: $N_i(p) = a_i - b_i P_i$ که $P_i = \min[c_{ir} + \tau_r]$ قیمتی است که آخرین نفری که از جاده استفاده می‌کند حاضر به پرداخت آن است. (Noghani & NoghaniBehambari, 2019; NoghaniBehambari & Rahnamamoghadam, 2020; Toranji et al., 2020)

تابع رفاه اجتماعی به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$W = \sum_{i=1}^2 \int_0^{N_i} P_i(t) dt - \sum_{i=1}^2 \sum_{r=0}^{N_i} N_{ir} c_{ir}$$

این تابع یک تابع اکیدا مقعر است.

انواع راه حل‌ها:

شرایط تعادلی به صورت زیر است:

$$c_{1A}(N_A) + \tau_A \leq c_{1B}(N_B) + \tau_B \quad (1)$$

$$c_{2A}(N_A) + \tau_A \geq c_{2B}(N_B) + \tau_B \quad (2)$$

$$(c_{1A} + \tau_A - c_{1B} - \tau_B) = 0 \quad (3)$$

$$N_{2A}(c_{2A} + \tau_A - c_{2B} - \tau_B) = 0 \quad (4)$$

$$N_{1B}, N_{2A} \geq 0 \quad (5)$$

انواع راه حل‌های تعادلی با توجه به شرایط بالا:

- 1) تعادل جدای کامل (SE): زمانی که هر دوی 1 و 2 نامساوی باشند، تقاضای جدای کامل اتفاق می‌افتد که هر گروه استفاده‌کننده اکیدا جاده‌های متفاوتی را ترجیح می‌دهند. چون فرض کردیم $\alpha_1 > \alpha_2$ است، جاده‌ی A گران‌تر از جاده‌ی B است ولی تراکم آن کم‌تر است ($\tau_A > \tau_B$ و $\frac{N_A}{K_A} < \frac{N_B}{K_B}$) بنابراین استفاده‌کنندگان نوع اول جاده‌ی A را ترجیح می‌دهند درحالی که استفاده‌کنندگان نوع دوم جاده‌ی B را ترجیح می‌دهند.
- 2) تعادل جدای جزئی با جدایی گروه اول (SE1): گروه یک اکیدا جاده‌ی A را ترجیح می‌دهد و گروه دوم نسبت به دو جاده بی‌تفاوت است. در این حالت 1 به صورت نامساوی و 2 تساوی است. جاده‌ی A عوارض بیش‌تر و زمان سفر کوتاه‌تری دارد.

3) تعادل جدای جزئی با جدایی گروه دوم (SE2): گروه دو اکیدا جاده‌ی B را ترجیح می‌دهد درحالی که گروه یک بین دو جاده بی تفاوت است. در این حالت 1 تساوی و 2 نامساوی است.

4) تعادل یکپارچه کامل¹ (IE): هر دو گروه بین دو جاده بی تفاوت هستند، هر دوی 1 و 2 به صورت تساوی هستند. از آنجایی که هر دو گروه ارزش زمانی متفاوتی دارند، این حالت فقط زمانی رخ می‌دهد که جاده‌ها عوارض و سرعت برابر داشته باشند.

تنها رژیم قیمت‌گذاری که در آن تعادل IE رخ می‌دهد، رژیم قیمت‌گذاری بدون عوارض است که هیچ تفاوتی بین دو جاده وجود ندارد.

استراتژی راه‌حل‌ها

ابتدا یکی از انواع تعادل انتخاب می‌شود و بعد لاگرانژین را با توجه به نوع تعادل انتخاب شده، برای حداکثرسازی رفاه می‌نویسند، که با توجه به نوع رژیم یکی یا هر دوی N_{1B} و N_{2A} برابر صفر هستند. در تعادل SE هر دو صفر است و در تعادل‌های SE1 و SE2 به ترتیب N_{2A} و N_{1B} برابر صفر هستند. سپس شرایط مرتبه اول نوشته می‌شود و تعداد استفاده کنندگان تعادلی و نرخ بهینه عوارض به صورت عددی بدست می‌آید. سپس قید 5 چک می‌شود، اگر هیچ کدام از آن‌ها برقرار نبود این قیدها را به صورت تعادلی اعمال می‌کنیم و دو باره مدل را حل می‌کنیم. در نهایت قیدهای 1 و 2 را بررسی می‌کنیم برای جواب‌های بدست آمده اگر این قیود نقض شد نتیجه می‌گیریم که این نوع تعادل نمی‌تواند برای مجموع پارامترهای تخمین زده شده وجود داشته باشد. فرم کلی مسئله حداکثرسازی به صورت زیر است:

$$Max W = \int_0^{N_{1A}+N_{1B}} P_1(t)dt + \int_0^{N_{2A}+N_{2B}} P_2(t)dt - \sum_i \sum_r N_{ir} c_{ir}$$

$$s. t.: h_1 \equiv P_1(N_{1A} + N_{1B}) - c_{1A}(N_{1A} + N_{2A}) - \tau_A = 0$$

$$h_2 \equiv P_2(N_{2A} + N_{2B}) - c_{2B}(N_{1B} + N_{2B}) - \tau_B = 0$$

$$h_3 \equiv N_{1B}(P_1 - c_{1B} - \tau_B) = 0$$

$$h_4 \equiv N_{2B}(P_2 - c_{2A} - \tau_A) = 0$$

$$g_1 \equiv P_1(N_{1A} + N_{1B}) - c_{1B}(N_{1B} + N_{2B}) - \tau_B \leq 0$$

$$g_2 \equiv P_2(N + N_{2B}) - c_{2A}(N_{1A} + N_{2A}) - \tau_A \leq 0$$

$$g_3 \equiv -N_{1B} \leq 0$$

1) fully integrated equilibrium

$$g_4 \equiv -N_{2A} \leq 0$$

که با توجه به این که کدام حالت تعادلی و رژیم قیمت گذاری استفاده شود متفاوت خواهد بود. با حل مسئله برنامه ریزی غیر خطی بالا عوارض بهینه را برای رژیم های مختلف قیمت گذاری به صورت زیر بدست آوردند:

رژیم قیمت گذاری بهترین اول: برای تعادل SE هر دوی N_{1B} و N_{2A} صفر هستند و عوارض بهینه بهترین اول برابر است با:

$$\tau_A = P_1 - c_{1A} = N_{1A} * c'_{1A}(N_{1A}) \equiv MEC_{1A}$$

$$\tau_B = P_2 - c_{2B} = N_{2B} * c'_{2B}(N_{2B}) \equiv MEC_{2B}$$

عوارض بهینه در هر مسیر برابر است با اختلاف بین هزینه اجتماعی و خصوصی هر مسیر که هزینه بیرونی نهایی نامیده می شود.

برای تعادل SE1 $N_{1B} = 0$ و عوارض بهینه بهترین اول برابر است با:

$$\begin{aligned} \tau_A &= P_1(N_{1A}) - c_{1A} = N_{1A} * c'_{1A}(N_{1A} + N_{2A}) + N_{2A} * c'_{2A}(N_{1A} + N_{2A}) \\ &\equiv MEC_A = P_2 - c_{2A} \end{aligned}$$

$$\tau_B = P(N_{2B} + N_{2A}) - c_{2B}(N_{2B}) = N_{2B} * c'_{2B}(N_{2B}) \equiv MEC_{2B}$$

عوارض در این حالت نیز برابر است با اختلاف بین هزینه اجتماعی و خصوصی هر مسیر، هزینه اجتماعی مسیر A شامل استفاده کنندگان هر دو گروه می شود ولی هزینه اجتماعی مسیر B فقط شامل استفاده کنندگان گروه دوم می شود، راه حل های مرزی نیز در شبیه سازی بررسی می شوند. تعادل SE2 نیز مشابه تعادل SE1 است.

رژیم قیمت گذاری بهترین دوم و بهترین سوم: برای تعادل SE ، N_{2B} به تنهایی از روی قید بدست می آید و نتایج شبیه سازی نشان می دهد که فقط یک راه حل حقیقی مثبت برای N_{2B} وجود دارد . اگر این حالت اتفاق افتد جواب یکتا داریم. عوارض بهینه در مسیر A برابر است با:

$$\tau_A = N_{1A} * c'_{1A}(N_{1A}) \equiv MEC_{1A}$$

عوارض برابر است با اختلاف بین هزینه نهایی اجتماعی و خصوصی این مسیر، که هزینه خصوصی تنها شامل استفاده کنندگان نوع اول می شود. در تعادل جدای کامل اثر سرازیر شدن وجود ندارد و جاده ی A مشابه بهترین اول قیمت گذاری می شود.

عوارض بهینه بهترین دوم برای SE1 برابر است با:

$$\tau_A = N_{1A}c'_{1A} + N_{2A}c'_{2A} - \left[\frac{P'_2 N_{2B} c'_{2B} * (P'_1 - c'_{1A} + c'_{2A})}{P'_1 P'_2 - P'_1 c'_{1B} - P'_2 c'_{2B}} \right]$$

عوارض بهترین دوم برابر است با هزینه نهایی بیرونی منهای عبارت مثبت تعدیل که بستگی به شیب تابع تقاضا و تابع هزینه دارد.

عوارض بهترین دوم برای تعادل SE2 برابر است با:

$$\tau_A = N_{1A}c'_{1A} - \left[\frac{(N_{1B}c'_{1B} + N_{2B}c'_{2B})P'_1P'_2}{P'_1P'_2 - P'_1c'_{2B} - P'_2c'_{1B}} \right]$$

در این حالت نیز عوارض برابر است با هزینه نهایی بیرونی منهای عبارت تعدیل که اثر سرازیر شدن به جاده‌ی رایگان را نشان می‌دهد. به دلیل فرم غیر خطی قیدها بررسی تحلیلی یکتایی جواب سخت است. رژیم قیمت‌گذاری بهترین سوم نیز مشابه رژیم بهترین دوم است با این تفاوت که قید $\frac{N_A}{K_A} \leq 0.887$ نیز اعمال می‌شود.

رژیم قیمت‌گذاری حداکثرسازی سود: در این روش تابع هدف برای تعیین عوارض بهینه به صورت زیر است:

$$(N_{1A})[P_1(N_{1A}) - c_{1A}(N_{1A} + N_{2A})] + N_{2A}[P_1(N_{2A} + N_{2B}) - c_{2A}(N_{1A} + N_{2A})]$$

قیدها مشابه با رژیم قیمت‌گذاری بهترین دوم است. عوارض بهینه حداکثر کننده درآمد برای حالت SE برابر است با:

$$\tau_A = N_{1A}[c'_{1A}(N_{1A}) - P'_1]$$

که برابر است با مجموع هزینه نهایی اجتماعی و قدرت قیمت‌گذاری انحصاری، که رابطه‌ی معکوسی با کشش تقاضای گروه اول دارد.

عوارض بهینه برای حالت SE1 برابر است با:

$$\tau_A = N_{1A}c'_{1A} + N_{2A}c'_{2A} - N_{1A}P'_1 + \left[\frac{(P'_2N_{2A}c'_{2B} + N_{1A}P'_1P'_2 - N_{1A}P'_1c'_{2B}) * (P'_1 - c'_{1A} + c'_{2A})}{P'_1P'_2 - P'_1c'_{2B} - 2(P'_2)^2 + P'_2c'_{2B}} \right]$$

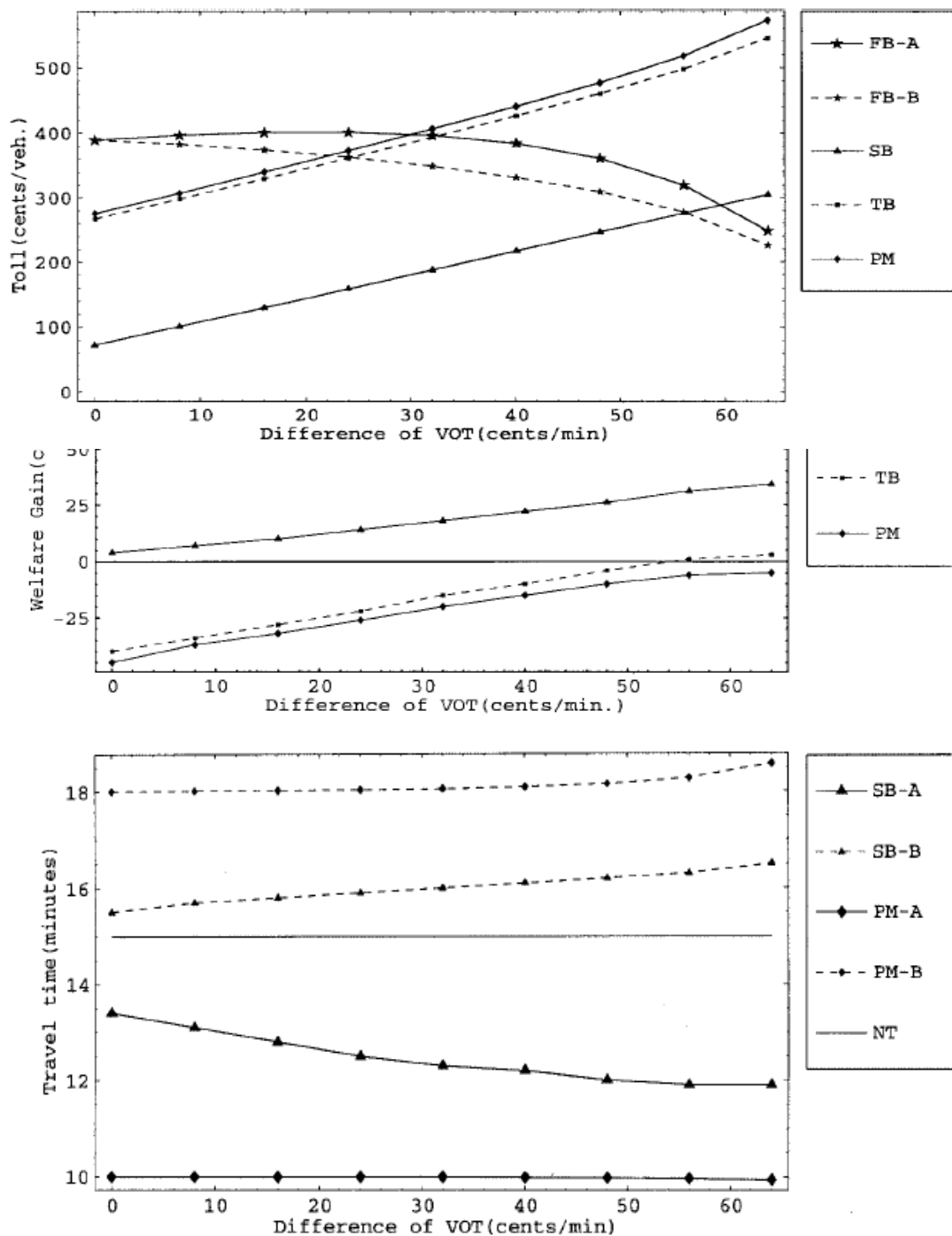
در این حالت نیز عوارض برابر است با مجموع هزینه نهایی اجتماعی و قدرت قیمت‌گذاری انحصاری.

عوارض بهینه برای حالت SE2 برابر است با:

$$\tau_A = N_{1A}c'_{1A} - N_{1A}P'_1 + \left[\frac{N_{1A}(P'_1)^2(P'_2 - c'_{2B})}{P'_1(P'_2 - c'_{2B}) - c'_{1B}P'_2} \right]$$

برای پی بردن به اثر ناهمگنی استفاده‌کنندگان روی کارایی سیاست‌های قیمت‌گذاری مختلف چند سناریو را شبیه‌سازی می‌کند که اولین سناریو، سناریو پایه است که در این سناریو کشش قیمتی تقاضا را 0.33- در نظر می‌گیرد، نتایج این سناریو نشان می‌دهد که منافع رفاهی حاصل از قیمت‌گذاری بهترین دوم کوچک است، عوارض بهترین دوم نسبت به عوارض بهترین اول بسیار کوچک است و اثر کمی بر ترافیک دارد و تنها 1% ترافیک را کاهش می‌دهد. عوارض بهترین اول حدود 40% بیش‌تر از عوارض حداکثرسازی سود است و سه برابر عوارض حداکثرسازی سود ترافیک را کاهش می‌دهد. سیاست‌گذاری حداکثرسازی سود نسبت به قیمت‌گذاری بهترین دوم کیفیت بهتری ارائه می‌کند. اختلاف بین زمان سفر در دو جاده‌ی A و B زیاد است که نشان می‌دهد، قدرت قیمت‌گذاری وجود دارد و انحصار در تعیین قیمت موجب ارائه کیفیت بهتر می‌شود.

نتایج این سناریو در شکل‌های زیر آورده شده است: شکل اول عوارض بهینه را برای رژیم‌های مختلف قیمت‌گذاری نشان می‌دهد، شکل دوم اختلاف زمان سفر را نشان می‌دهد و شکل سوم منافع رفاهی رژیم‌های قیمت‌گذاری مختلف را با هم مقایسه می‌کند.



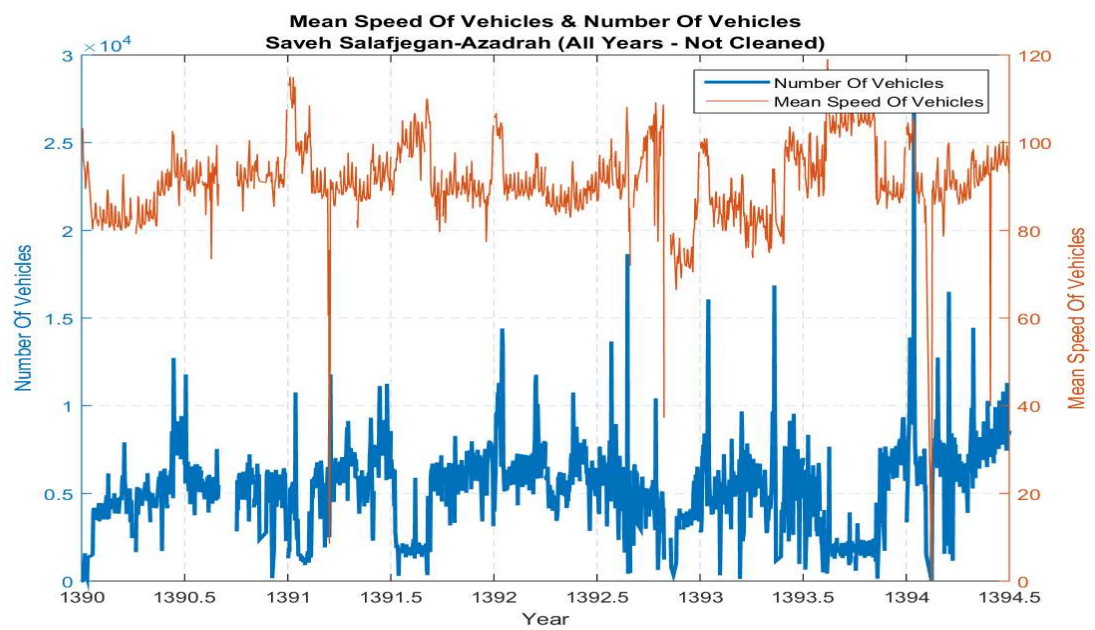
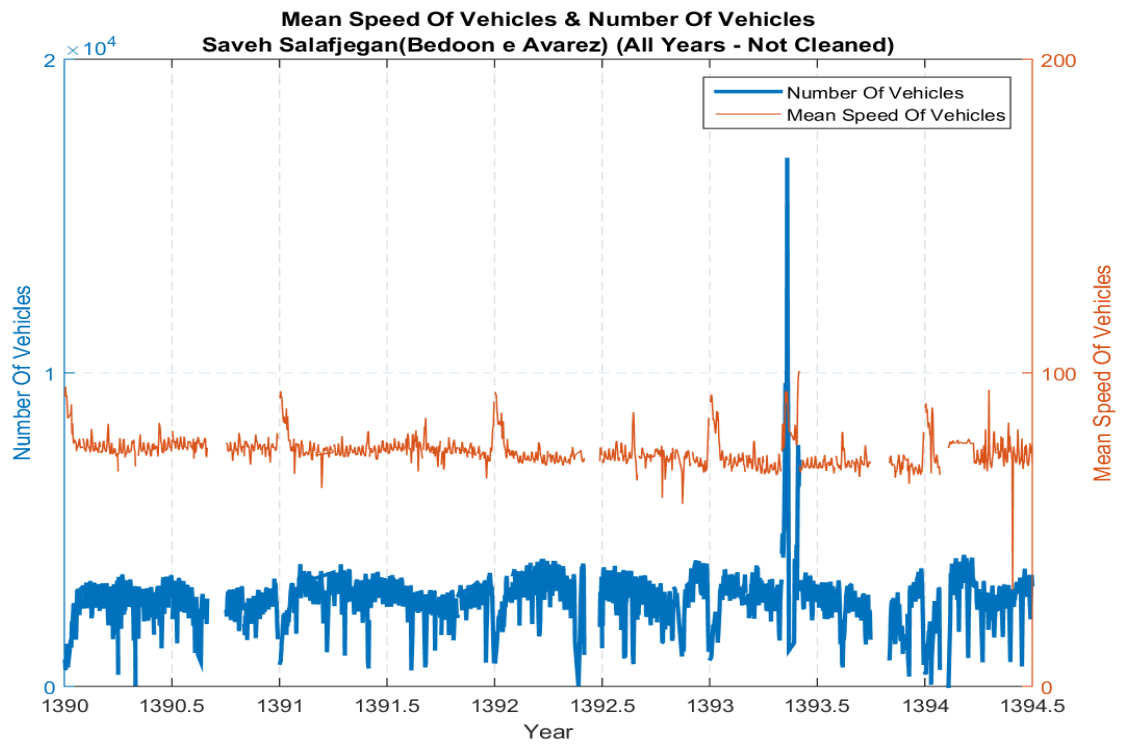
سناریو

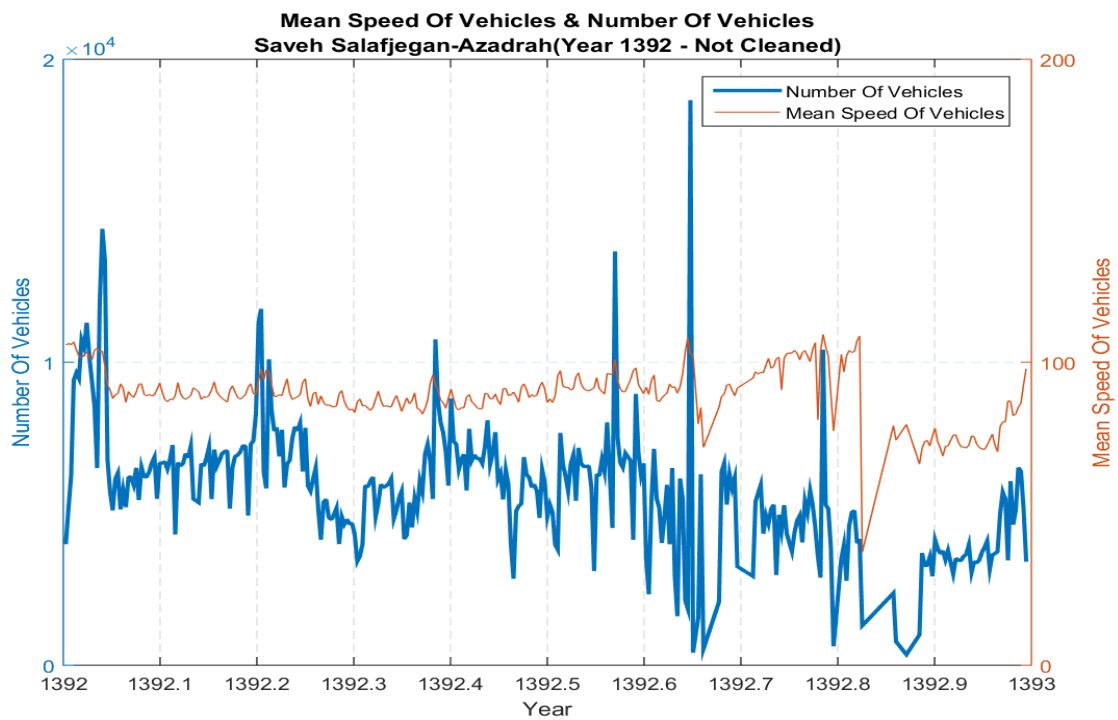
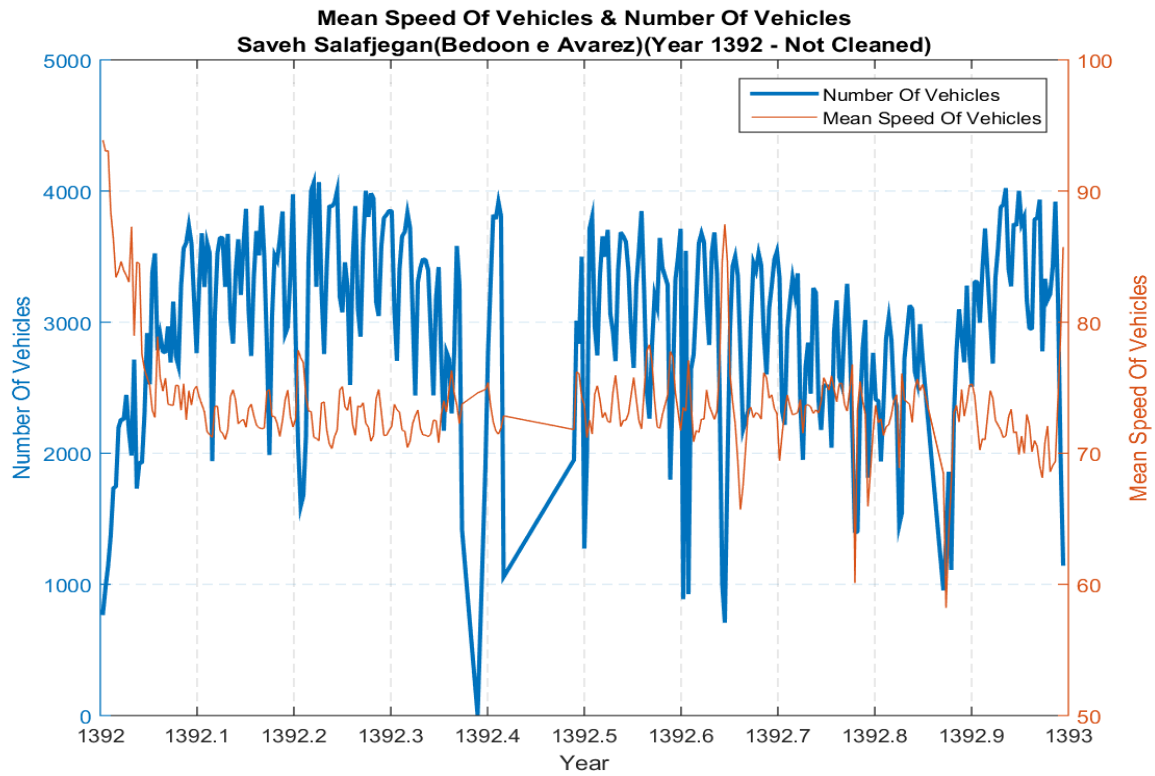
بعدی سناریو با کاهش بالا است که در این سناریو کاهش برابر یا 0.60- در نظر گرفته می شود، نتایج نشان می دهد که در این حالت عوارض بهترین دوم بیش تر می شود ولی هنوز نسبت به عوارض حداکثر کننده سود کم تر است. عوارض بهترین اول نیز کاهش می یابد. در سناریو تراکم بالاتر، با افزایش عرض از مبدا تقاضا را افزایش می دهد و نتایج را با نتایج قبلی مقایسه می کند

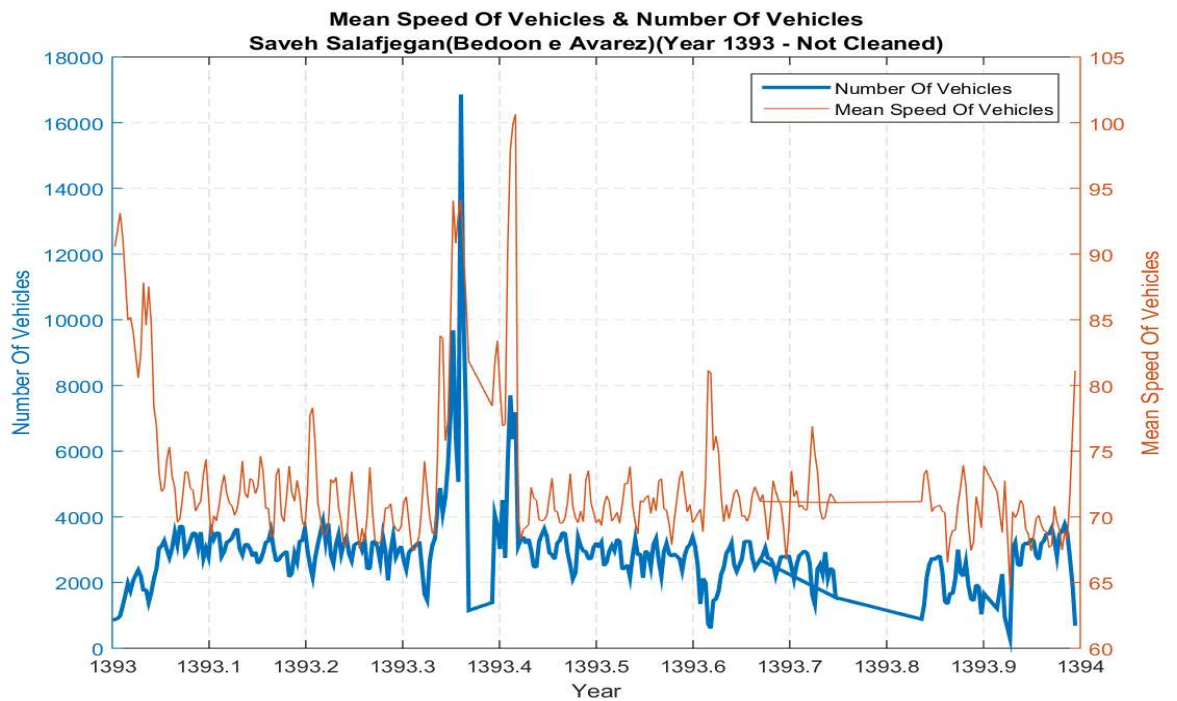
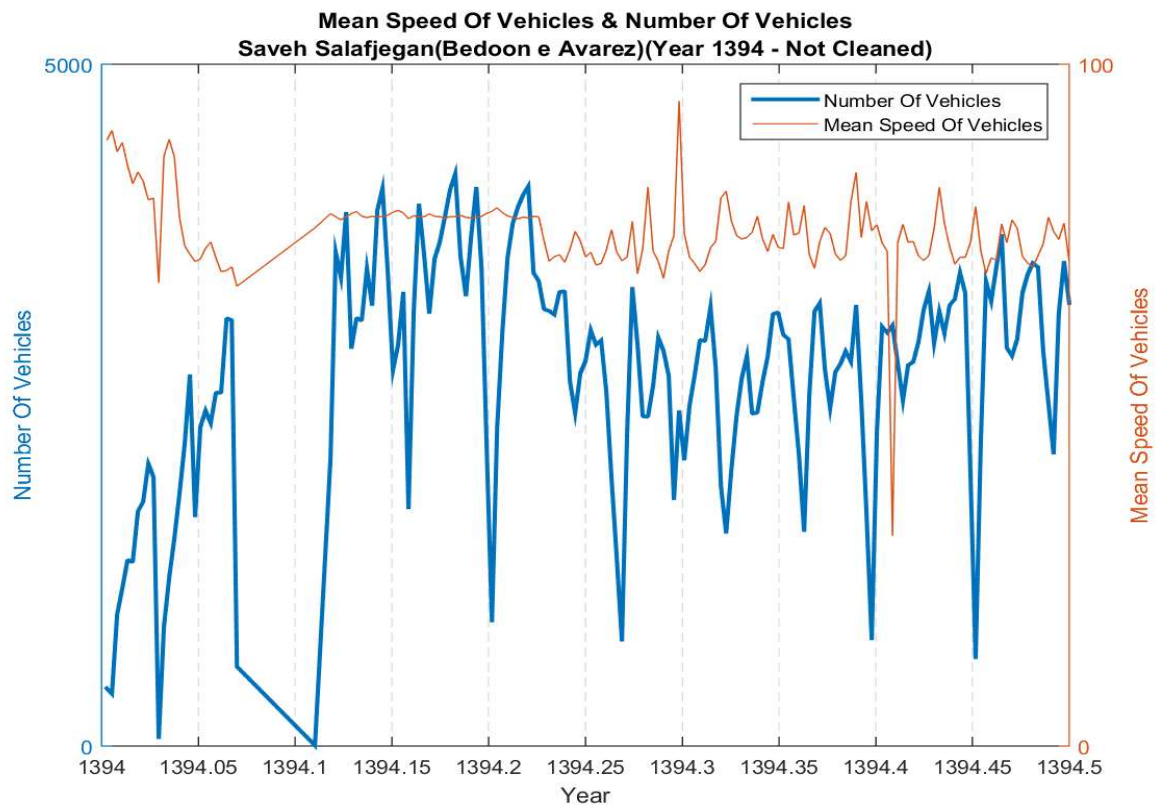
که در این حالت در سیاست حداکثرسازی سود عوارض بیش تر می شود و منافع رفاهی کاهش می یابد.

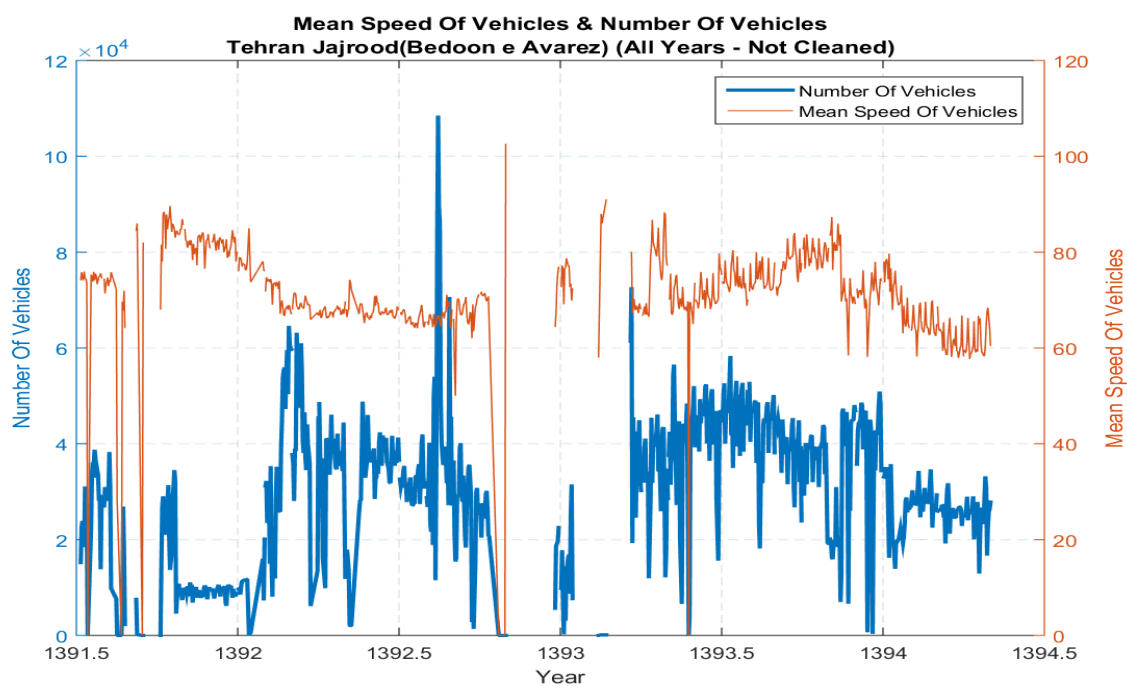
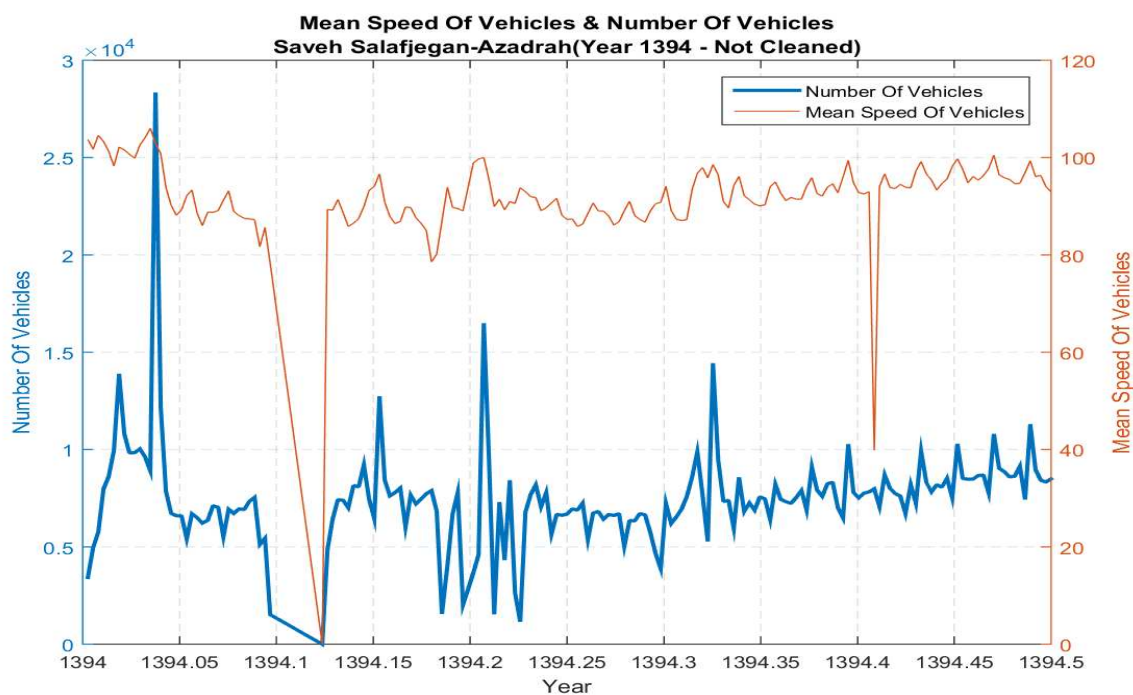
به طور کلی نتایج نشان می دهد که عوارض بهترین اول بیش تر از عوارض بهترین دوم است و اعمال عوارض حداکثر کننده سود در مقایسه با نبود عوارض در هر دو مسیر موجب از دست رفتن رفاه اجتماعی می شود، مخصوصا زمانی که ناهمگنی پایین باشد و نسبت استفاده کنندگانی که ارزش زمانی بالاتری دارند بیش تر از نسبت ظرفیتی باشد که قیمت گذاری می شود.

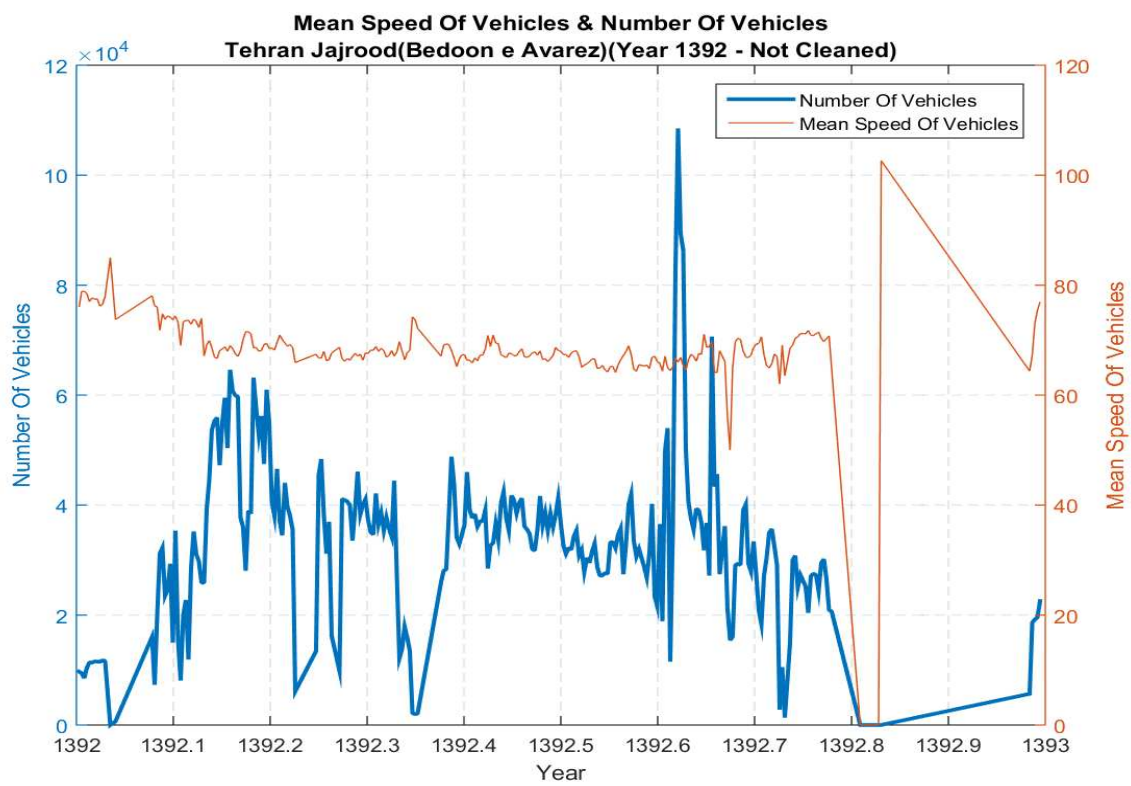
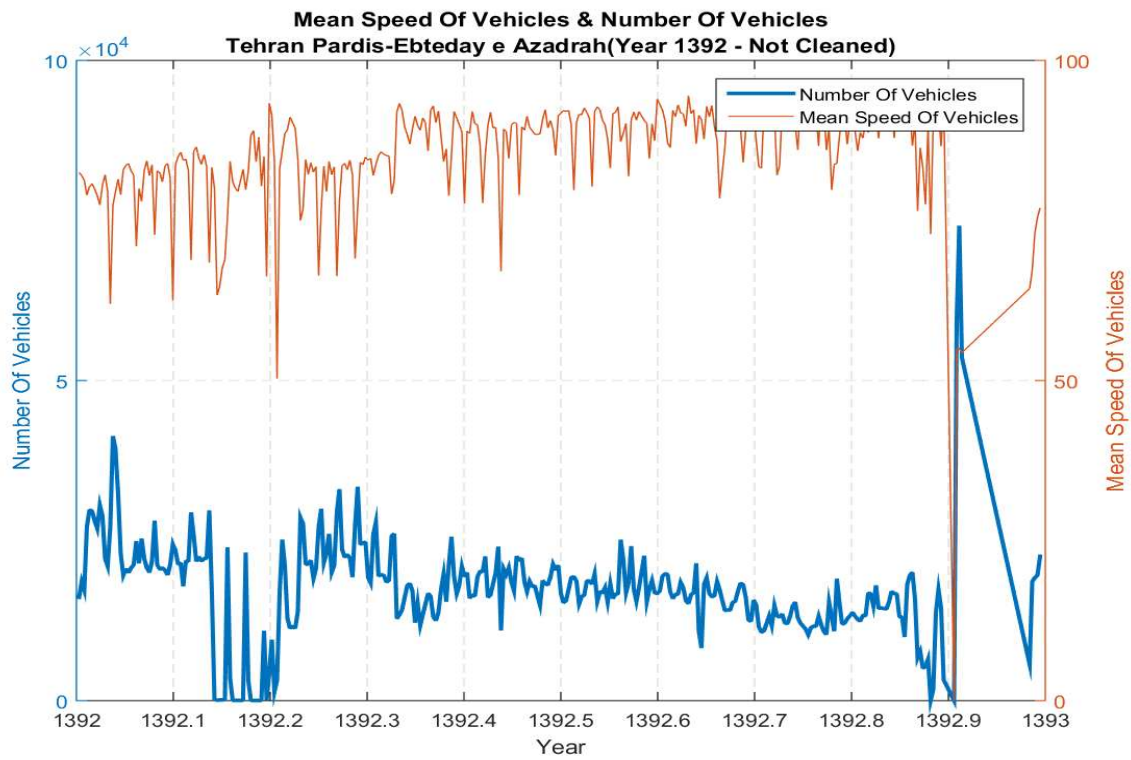
1- شکل داده های تمیز نشده (not clean)

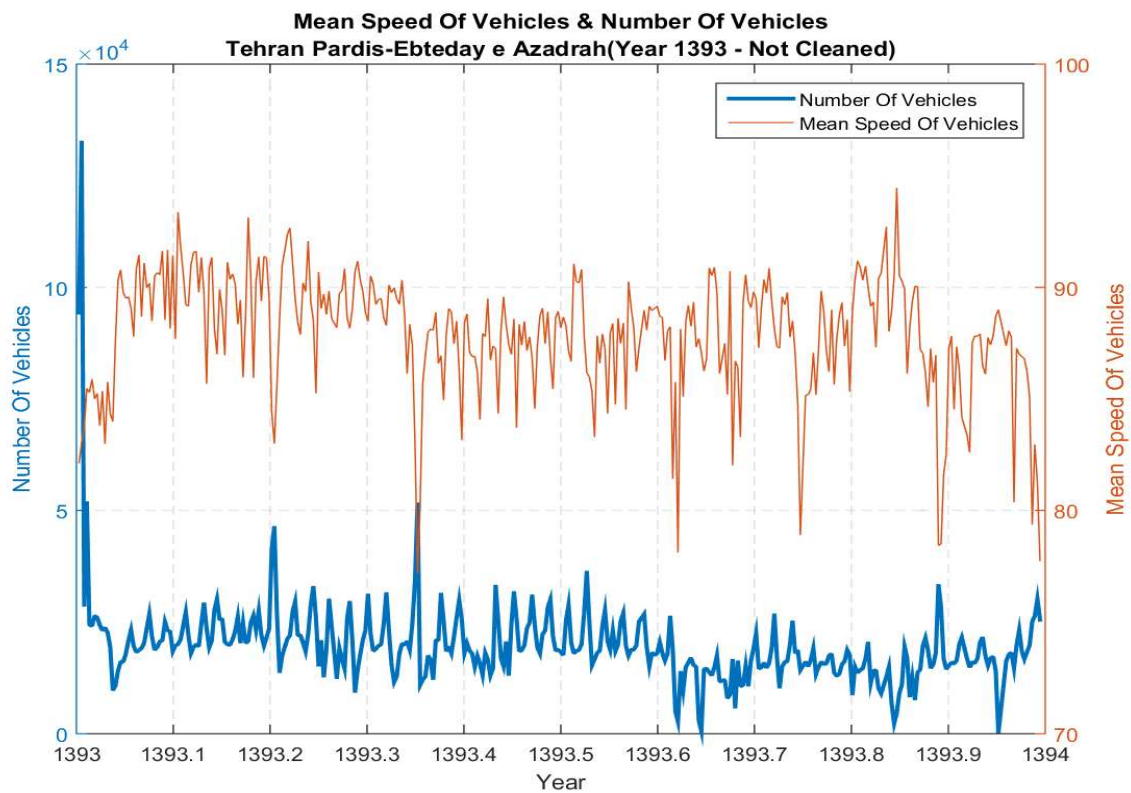
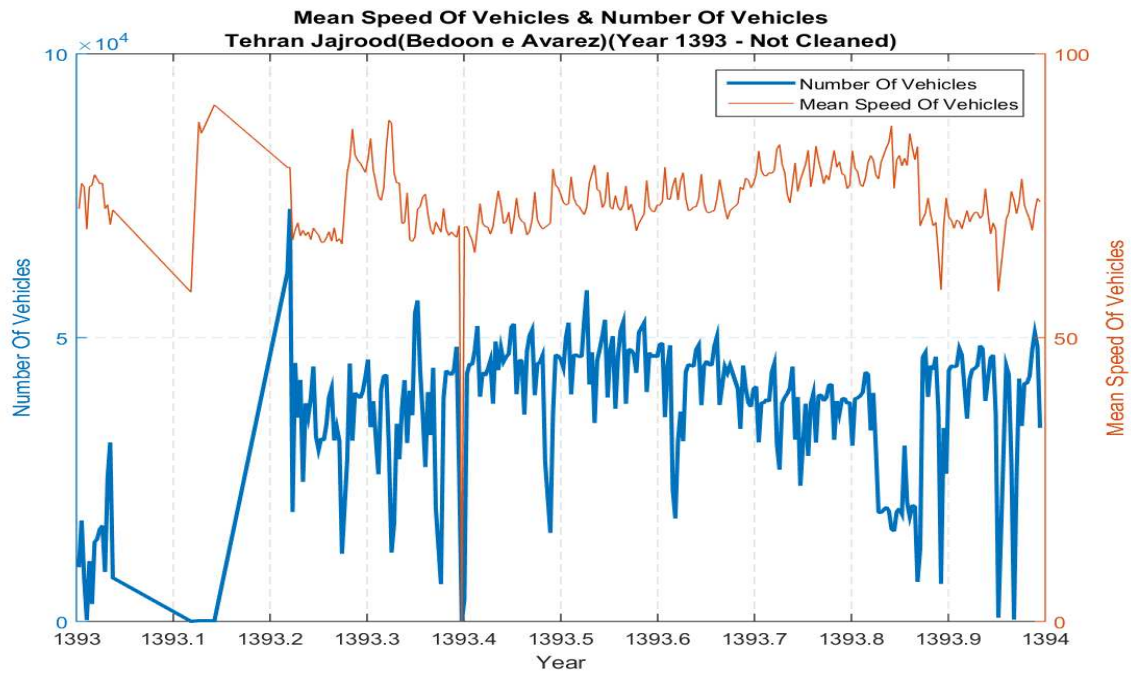


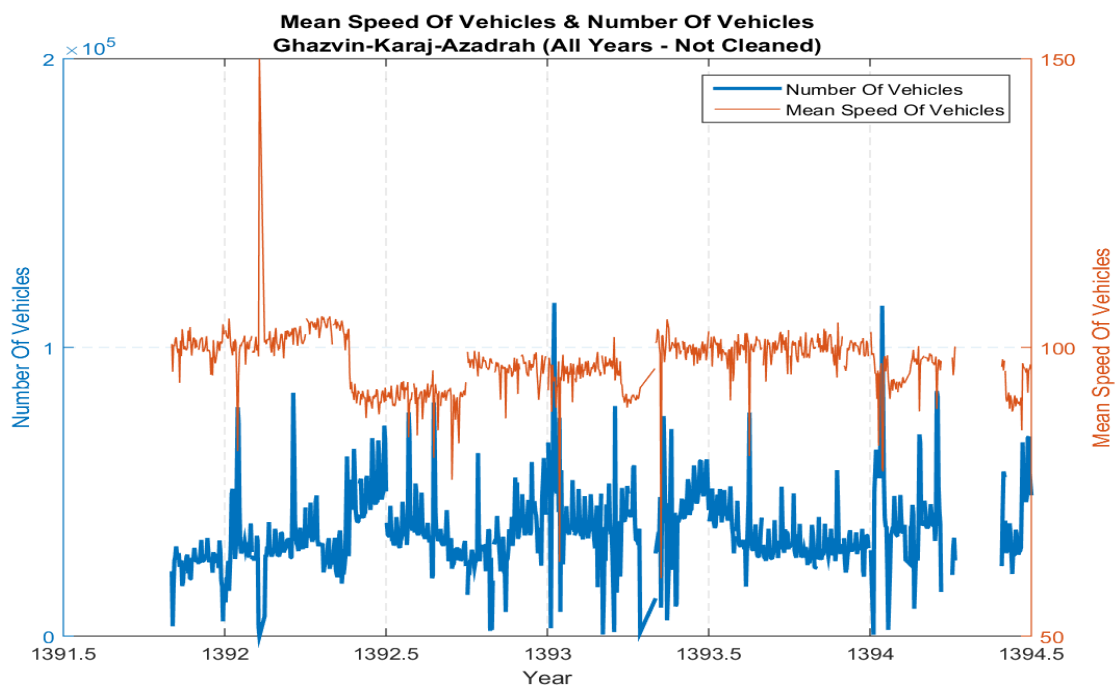
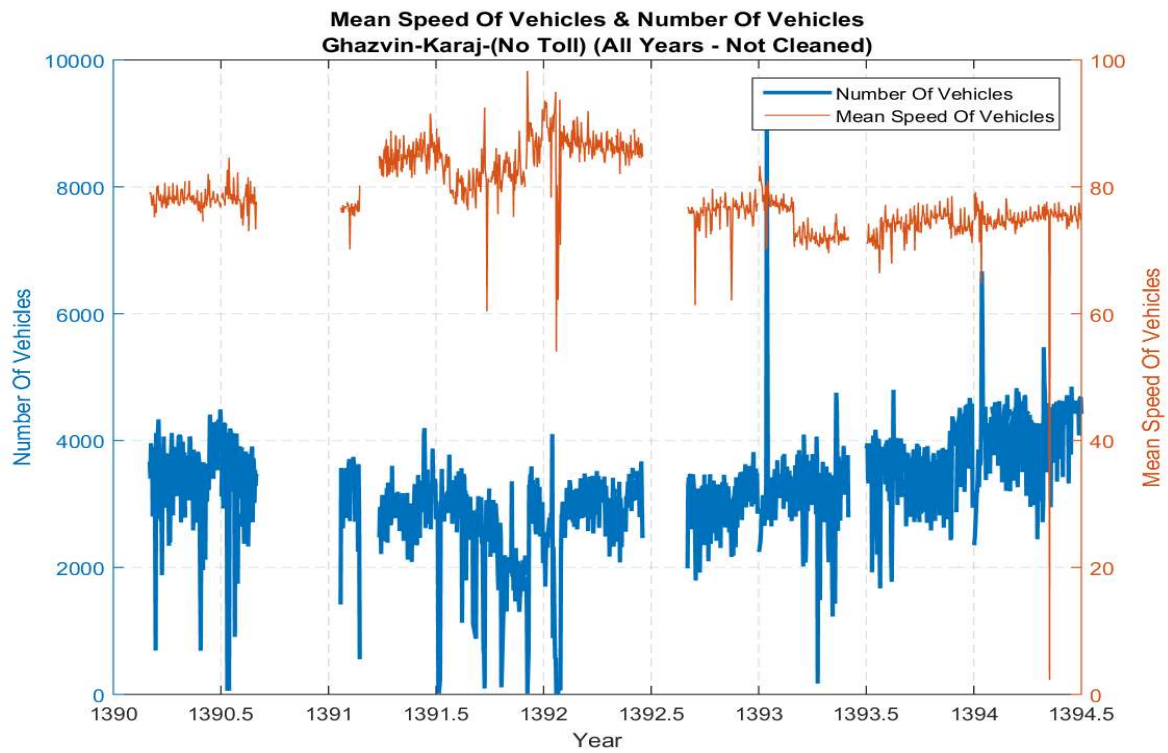


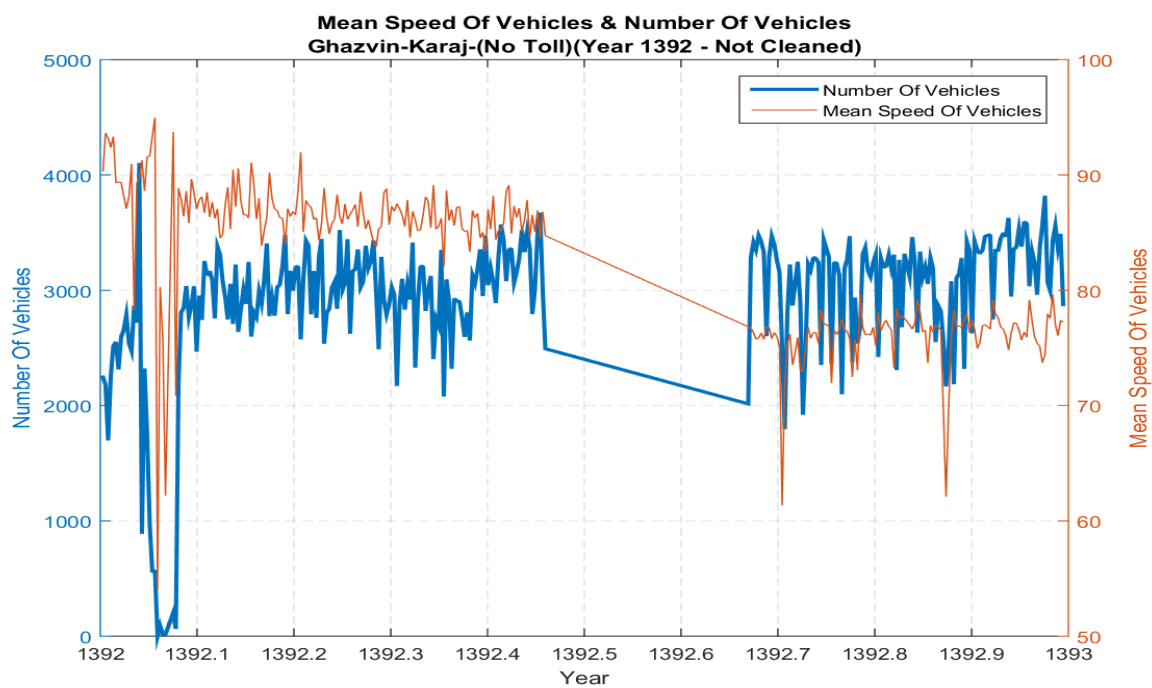
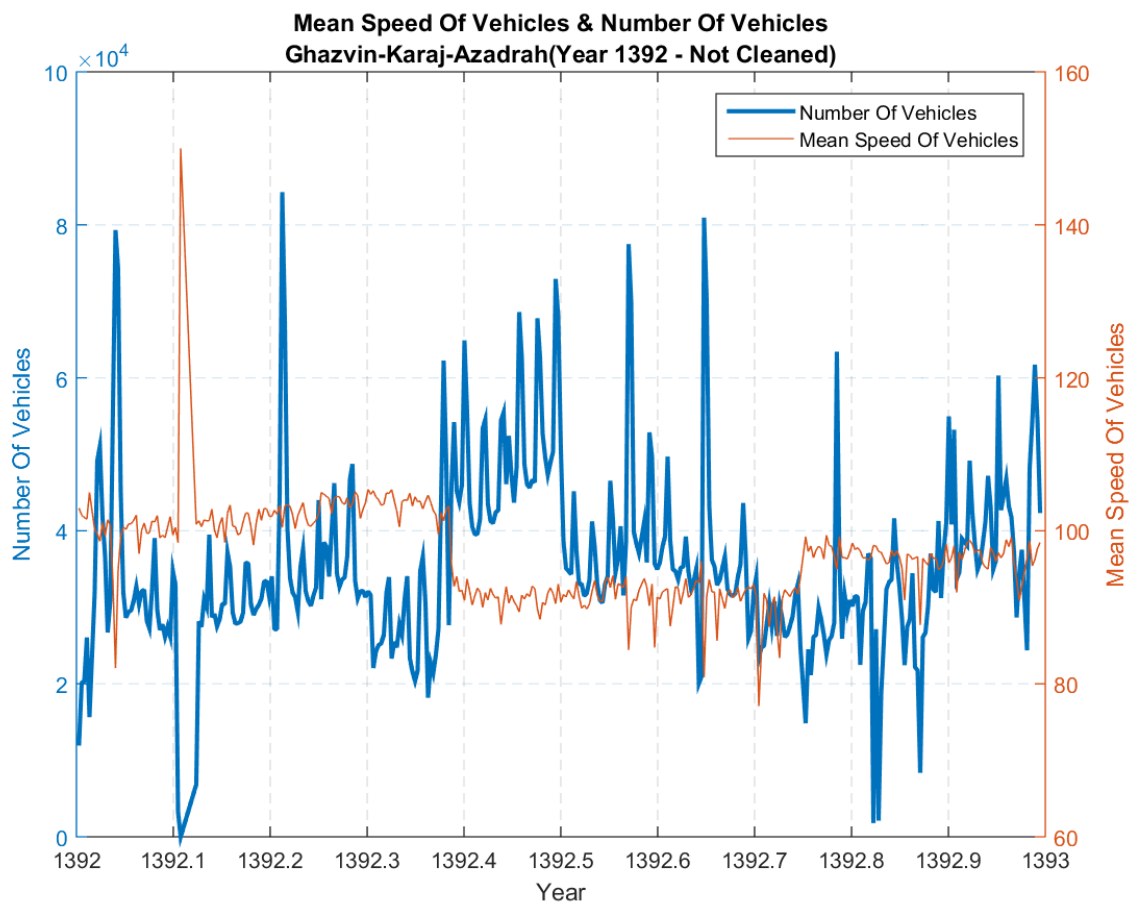


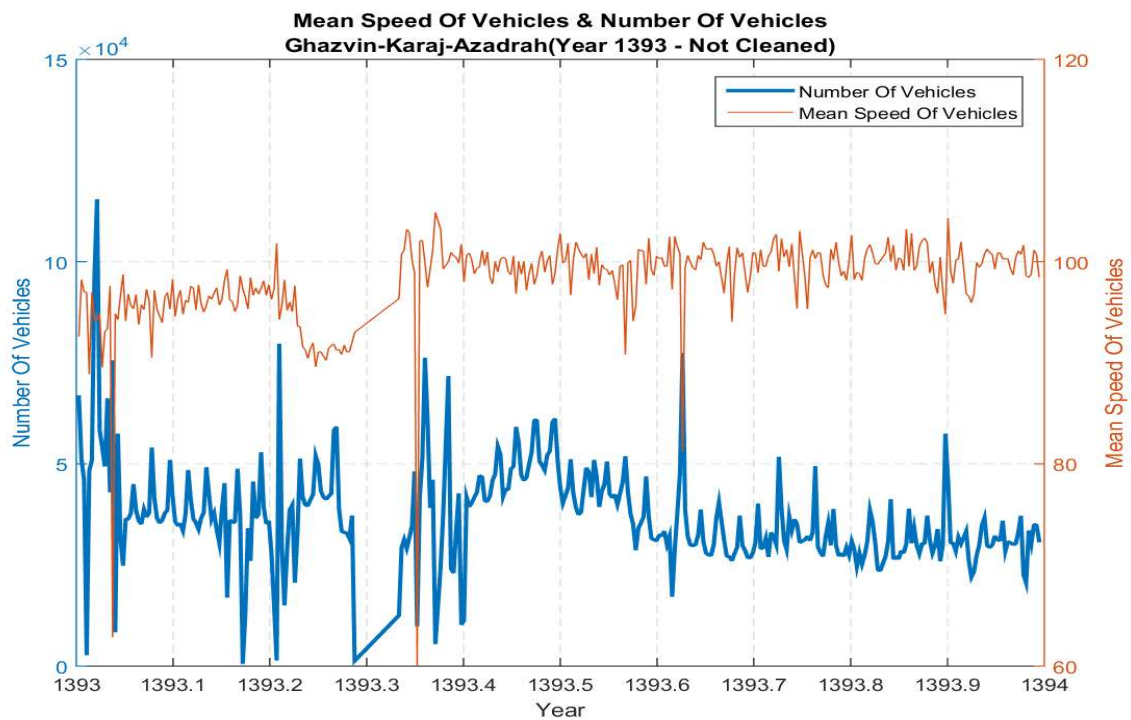
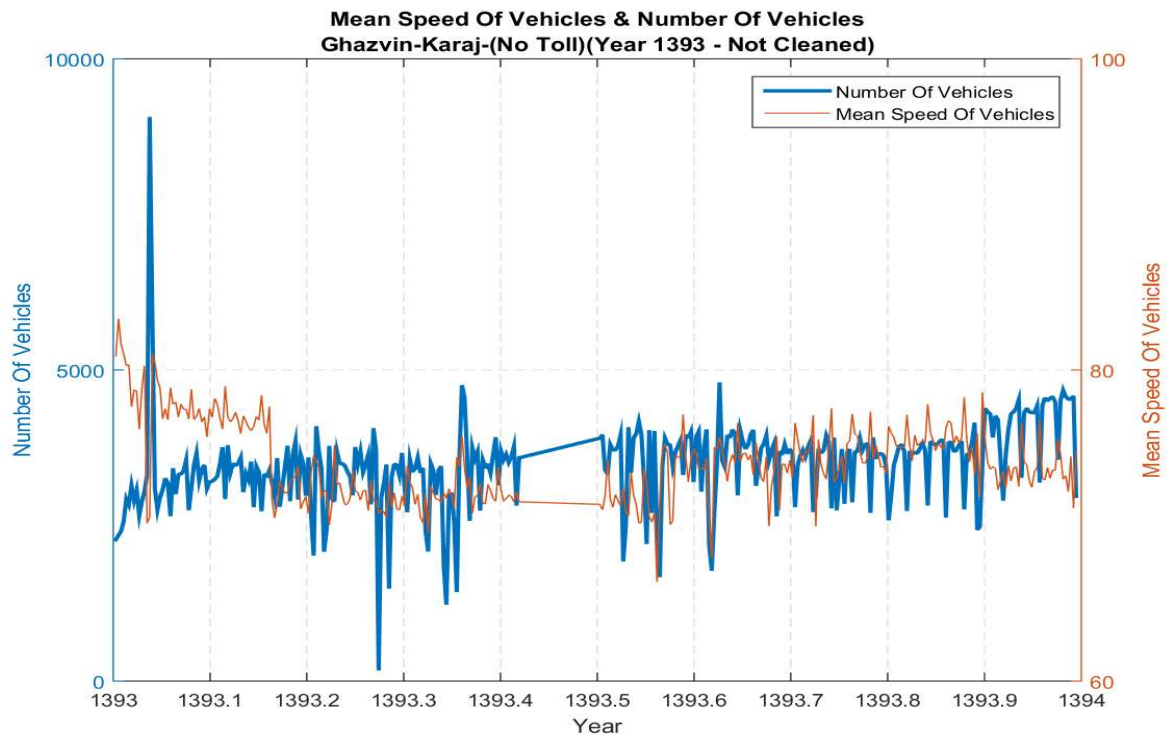




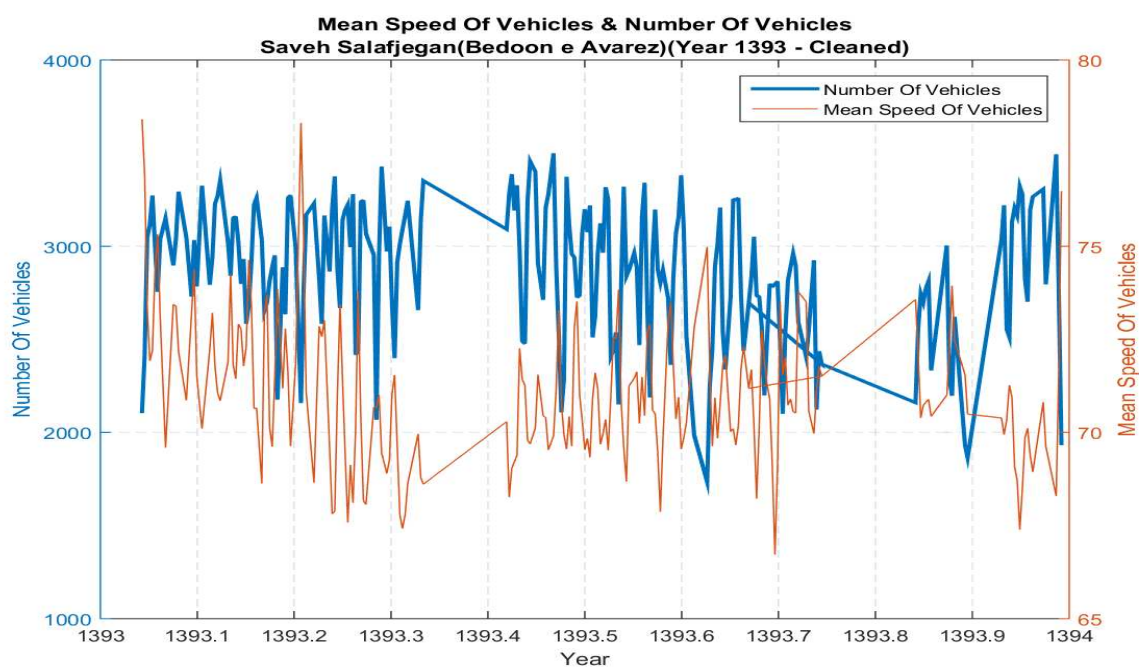
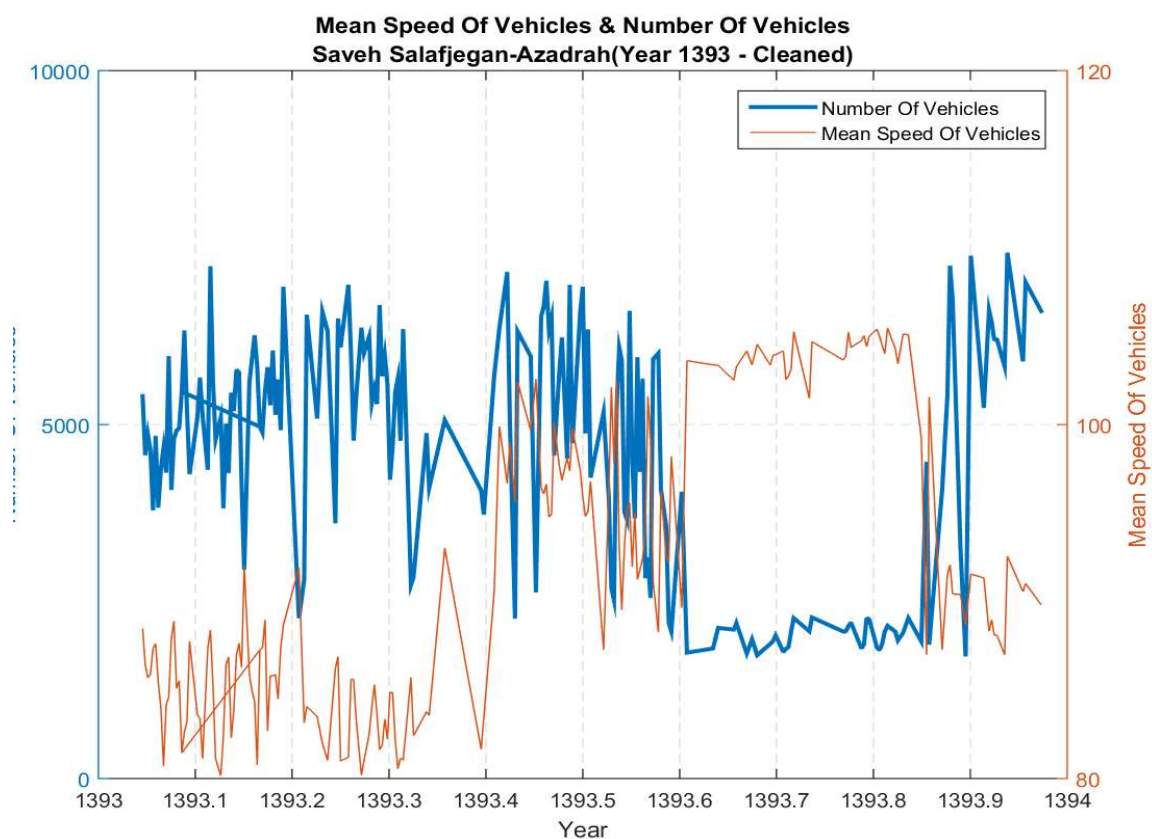


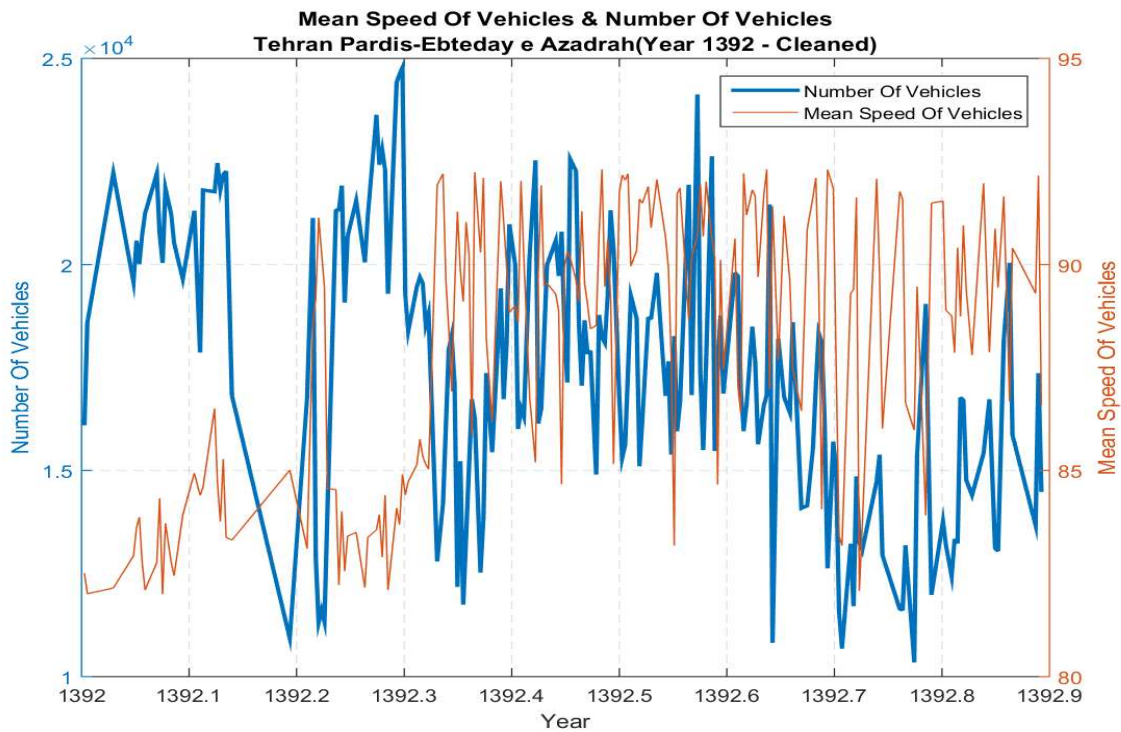
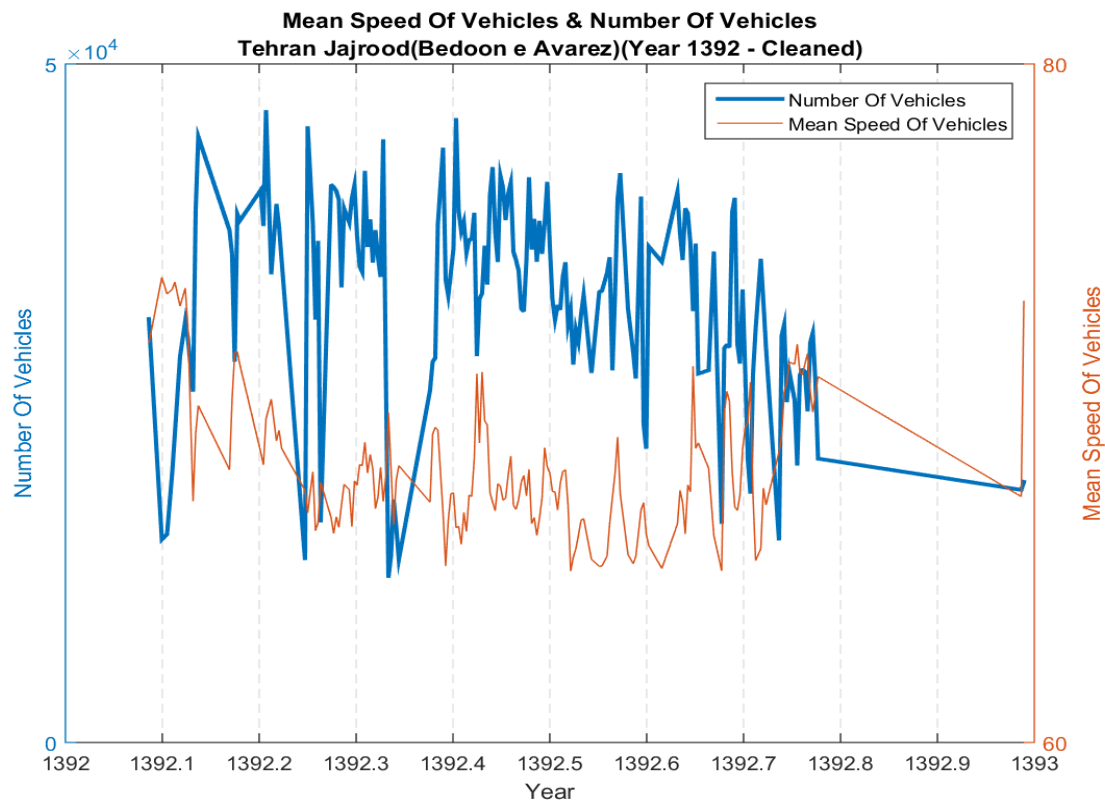


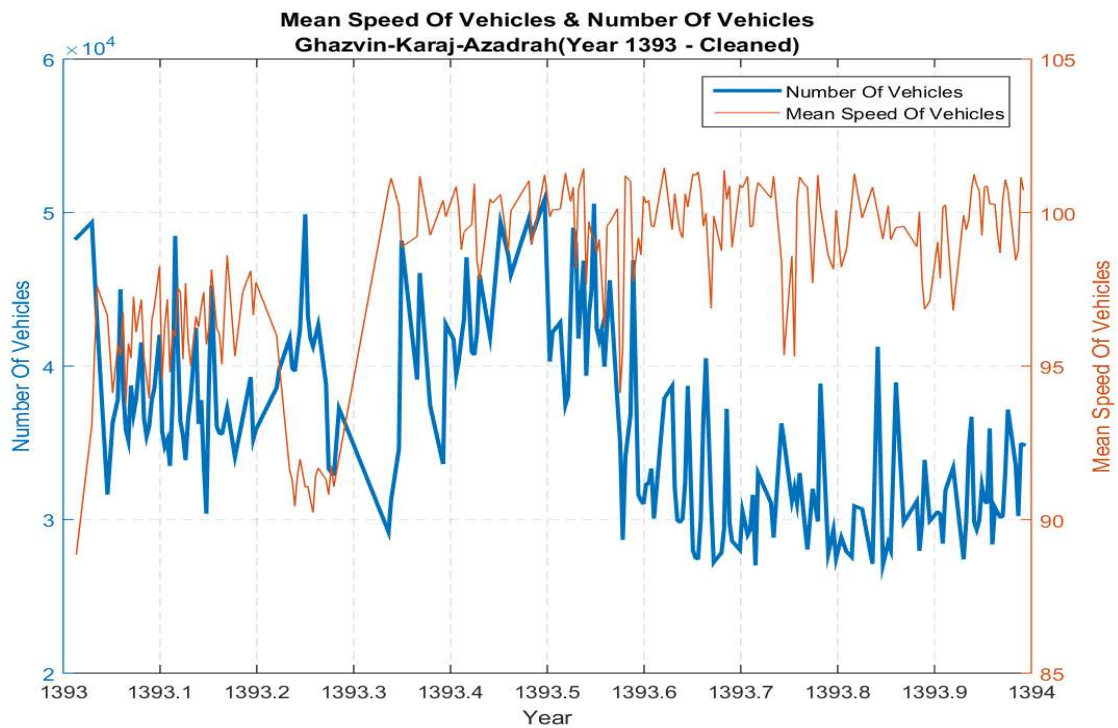
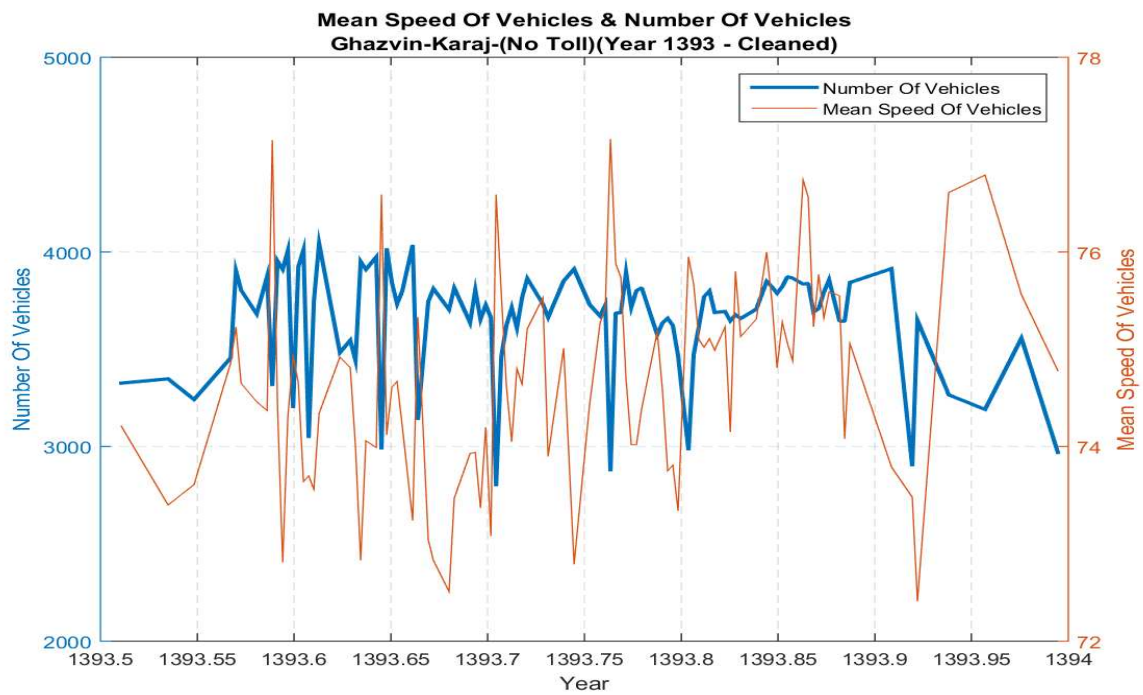


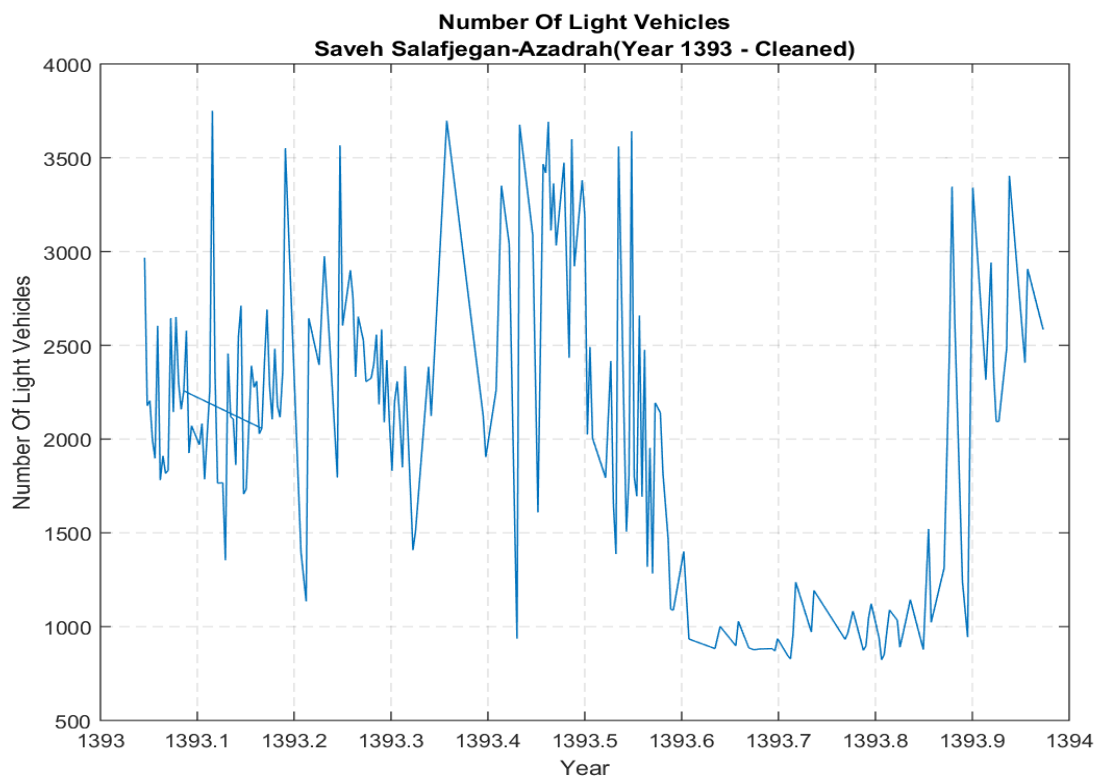
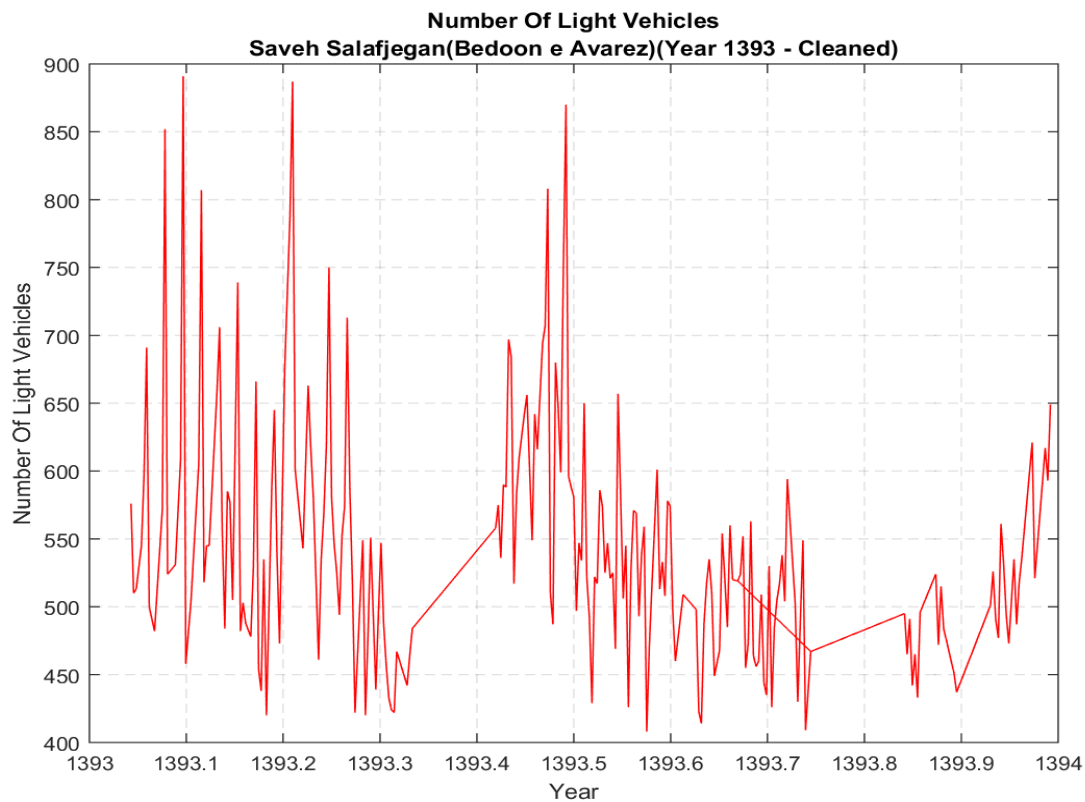


2- شکل داده‌های تمیز شده

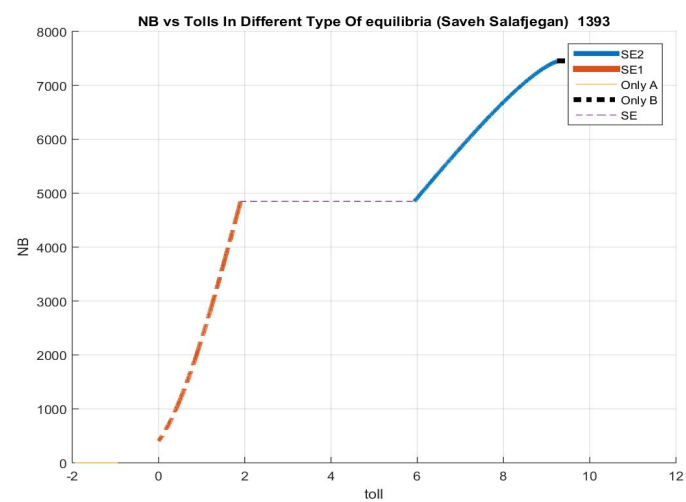
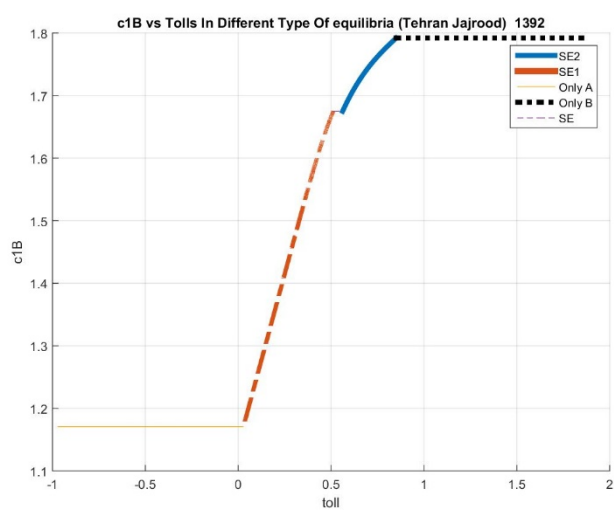
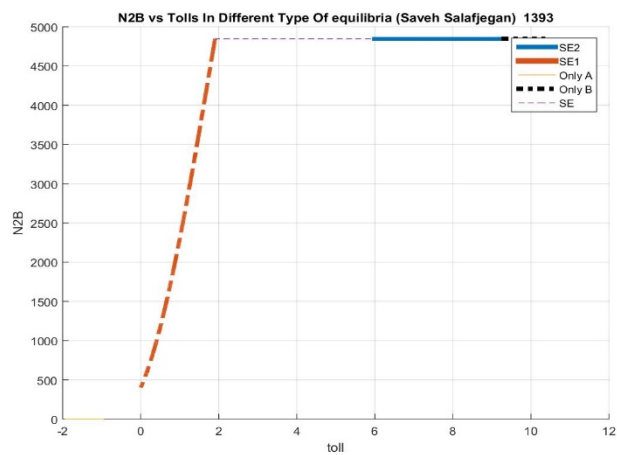
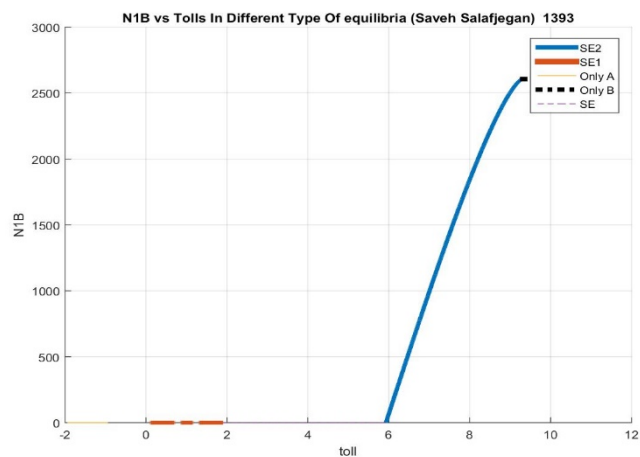


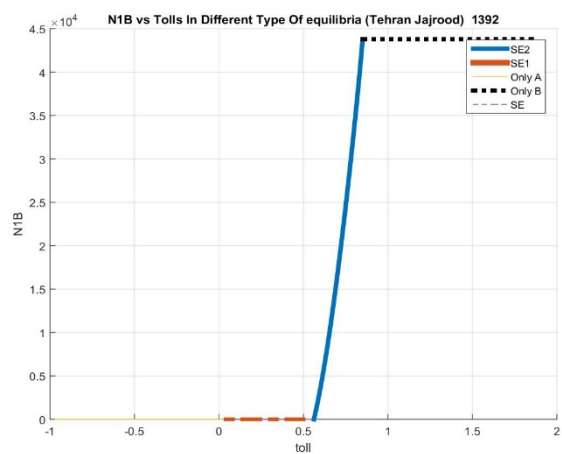
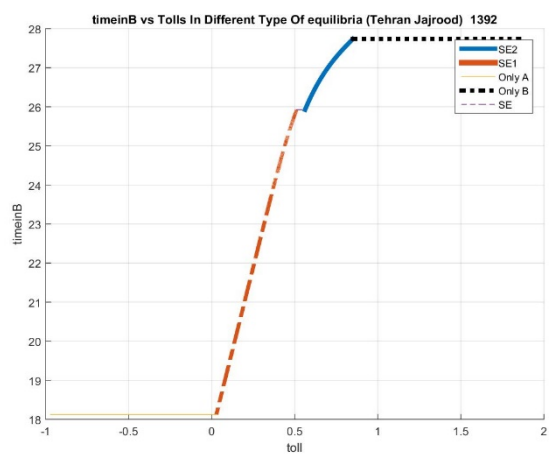
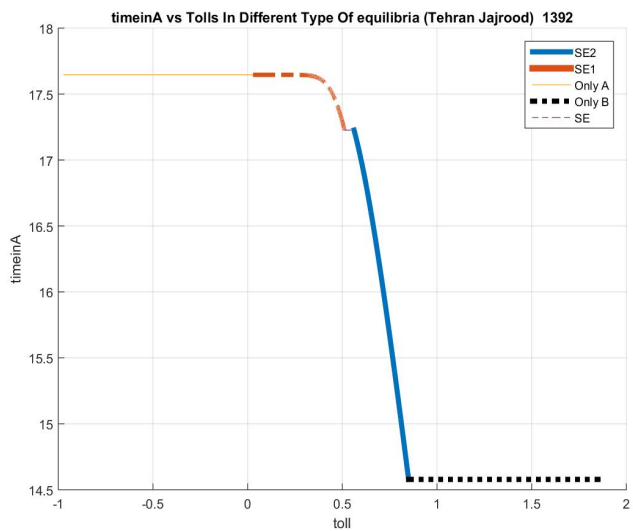
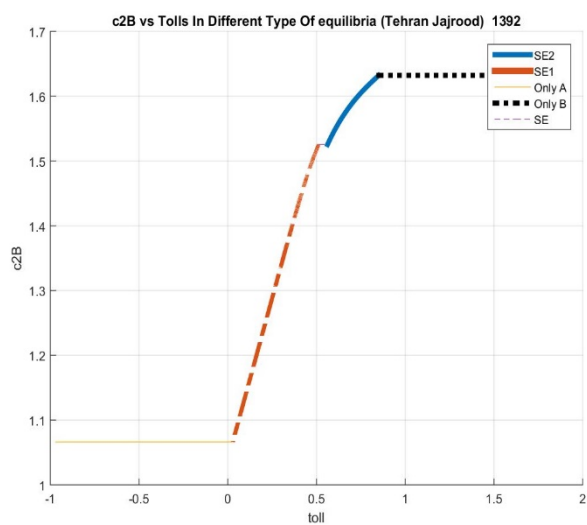


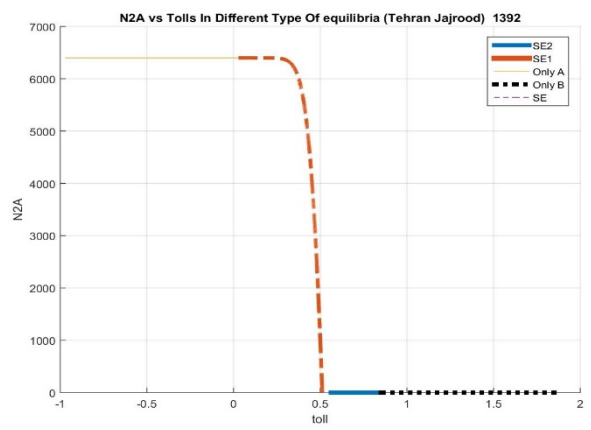
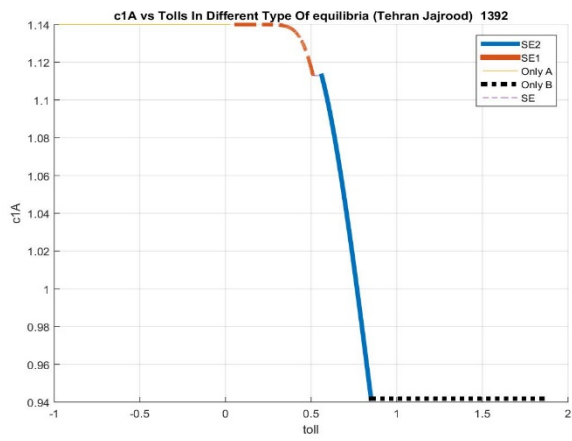
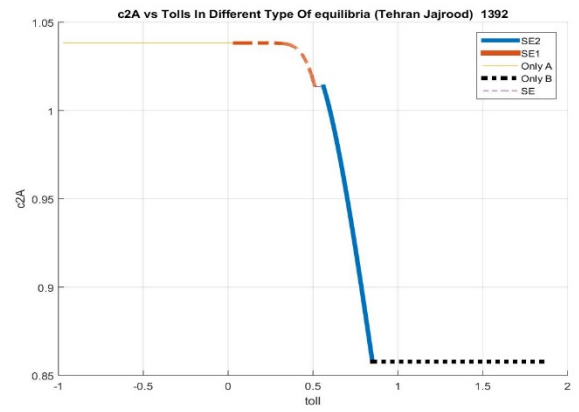
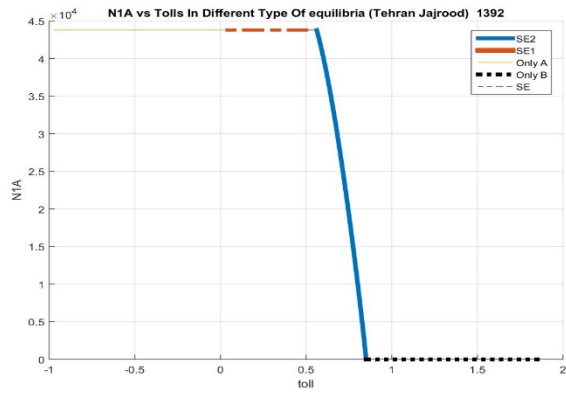


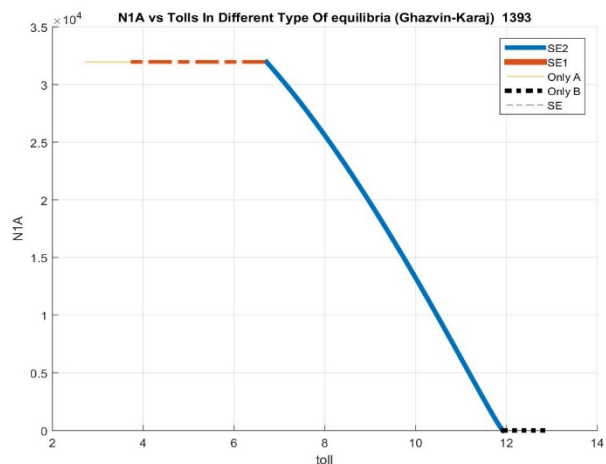
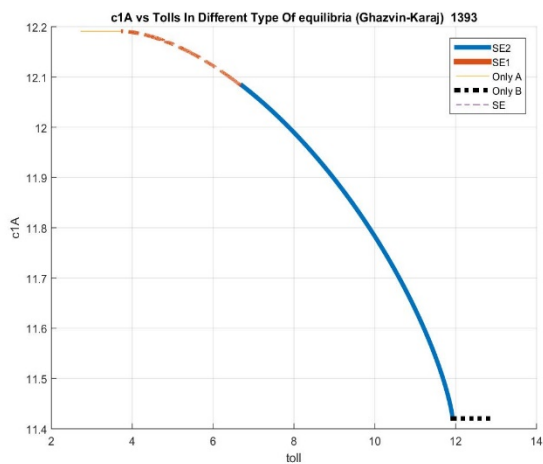
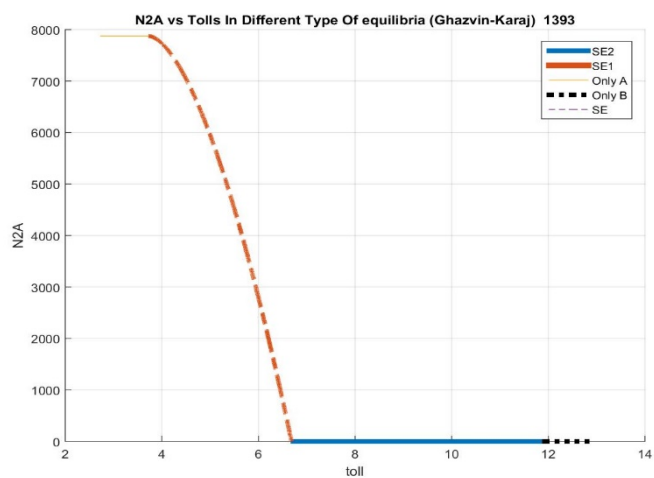
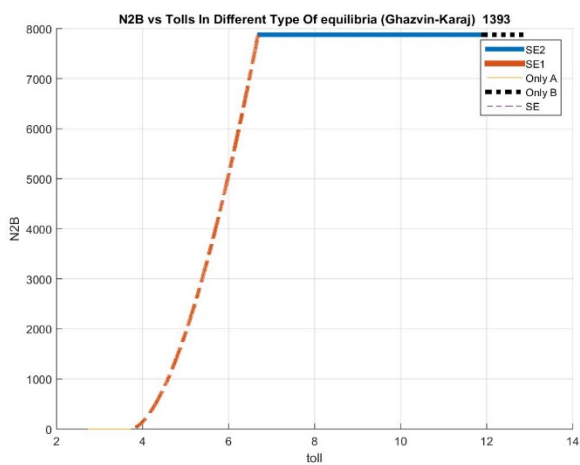


3- شکل های مربوط به عوارض

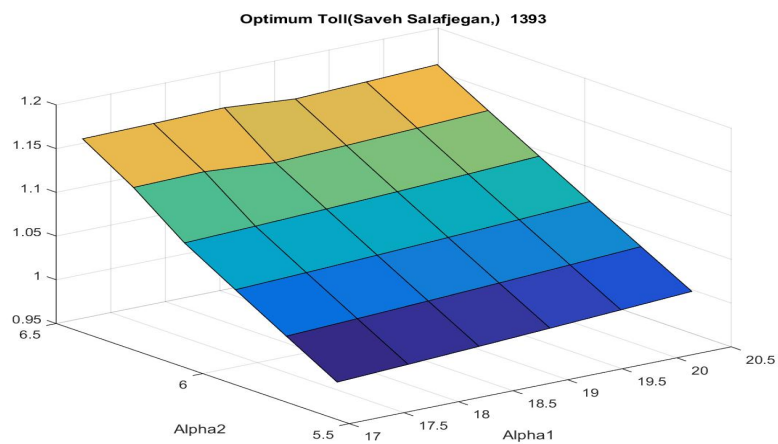


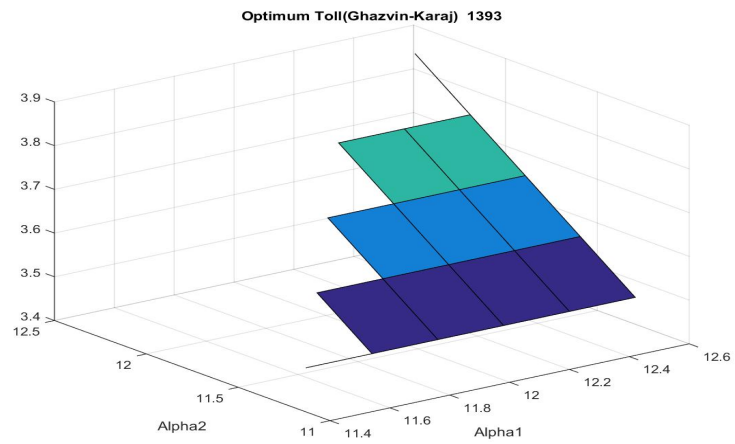
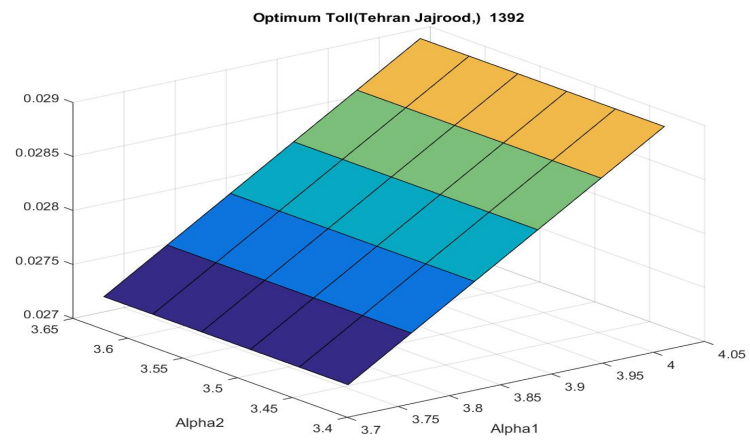






4- شکلهای تحلیل حساسیت





References

- Noghani, F., & Noghanibehambari, H. (2019). Product Market Competition, Corporate Governance, And Managerial Slack: Evidence from Trade Liberalization. *Journal of Leadership, Accountability and Ethics*, 16(4). <https://doi.org/10.33423/jlae.v16i4.2372>
- Noghanibehambari, H., & Rahnamamoghadam, M. (2020). Is income inequality reflected in consumption inequality in Iran? *Middle East Development Journal*.
<https://doi.org/10.1080/17938120.2020.1770488>
- Toranj, M., Noghanibehambari, H., Noghani, F., & Tavassoli, N. (2020). A Game Theoretic Approach in Bidding Strategy in Iran Wholesale Electricity Market. *Journal of Applied Business and Economics*, 22(11). <https://doi.org/10.33423/jabe.v22i11.3749>