

## مدل سازی تولید ترافیک در آزادراهها

بهنام امینی، استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین المللی امام خمینی، قزوین، ایران  
محمد قربانی، کارشناس ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین المللی امام خمینی، قزوین، ایران

E-mail: bamini@chamran.ut.ac.ir

### چکیده

احداث آزادراه های جدید باعث ایجاد جریان های جدید ترافیک می شود. بخشی از این ترافیک ایجاد شده، مربوط به انتقال ترافیک از سایر راه ها و بخشی دیگر مربوط به تقاضای پنهان است. در این مقاله نتایج مربوط به مدل سازی ترافیک انتقالی و القایی در چند آزاد راه بین شهری کشور ارائه می شوند. ترافیک انتقالی با در نظر گرفتن تابع مطلوبیت خطی، تابع احتمالی انتخاب مسیر به فرم لاجیت برای انواع وسایل نقلیه کالبره شده است و برای ترافیک القایی با توجه به روند رشد ترافیک در طول زمان تابع ضریب رشد تعیین گردیده است.

واژه های کلیدی: تولید ترافیک، آزادراه، ترافیک انتقالی، ترافیک القایی، تخصیص ترافیک.

### ۱. مقدمه

ترافیک پس از گشایش آزادراه غربی انگلستان به صورت زیر ارائه کردند:

«... پس از گشایش این آزادراه و با وجود آنکه ظرفیت آن در مقایسه با مسیر قبلی چهار و نیم برابر شده است، در جریان ترافیک مسیر قبلی کاهشی رخ نداده و از آن زمان تا کنون تعداد وسایل نقلیه بر روی هر دو مسیر به طور ثابتی افزایش یافته است که نشان می دهد راههای جدید باعث ایجاد ترافیک می شوند.»

گلانوئل و اسمید [۲] نیز به مطالعاتی در خصوص مقایسه تولید ترافیک در راه های شلوغ و پر تراکم و راه های کم تراکم پرداخته اند. هانسن و هانگ [۳] تلاش کردند تا یک رابطه لگاریتمی میان وسیله نقلیه - کیلومتر سفر و خط - کیلومتر عرضه شده راه ارائه کرده و حساسیت آنرا نسبت به متغیرهای مختلف بسنجند. دکورلا - سوزا با انتقاد از روش هانسن و هانگ، مدلی مبتنی بر کشش قیمت عرضه راه کرده است [۴].

گسترش شبکه آزادراهی ضرورتی گریز ناپذیر در حمل و نقل جاده ای است. برنامه ریزی و طراحی آزادراه ها مستلزم برآورد صحیح و واقع بینانه حجم ترافیک آنهاست. در آزادراه های جدید جریانهای ترافیکی ایجاد می شود که قبلاً وجود نداشته است. ترافیک ایجاد شده، از دو مولفه اصلی تشکیل یافته است. بخشی از این ترافیک قبلاً از مسیرهای موازی و یا سایر شیوه های جایه جایی استفاده می کرده و بعد از احداث آزادراه به آن منتقل شده که بنام ترافیک انتقالی شناخته می شود. بخش دیگر، ترافیکی است که قبلاً وجود نداشته و پس از بازگشایی آزاد راه به وجود آمده که ترافیک القایی نامیده می شود. به طور کلی عواملی از قبیل زمان و طول سفر، هزینه عوارض، نسبت حجم به ظرفیت مسیر و تعداد نقاط دسترسی، در ایجاد ترافیک جدید آزادراه موثر هستند.

### ۳. ترافیک انتقالی

موضوع انتقال ترافیک از یک مسیر موجود به یک مسیر جدید در حقیقت یک مسئله تخصیص ترافیک است. ابتدایی ترین روش

### ۲. بررسی سوابق

در انگلستان برسی و لوتینز [۱] گزارشی مبنی بر افزایش حجم

$$p(i) = \int_{-\infty}^{\infty} \exp[-\theta e^{-z} \sum_{j=1}^n e^{V(j)-V(i)}] \theta e^{-z} dz \quad (6)$$

$$= \frac{1}{\sum_{j=1}^n e^{V(j)-V(i)}} \quad (7)$$

$$= \frac{e^{V(i)}}{\sum_{j=1}^n e^{V(j)}} \quad (8)$$

با توجه به سهولت کاربرد و فرض استقلال گزینه های انتخاب مسیر، مدل لاجیت برای تخصیص ترافیک انتقالی میان دو مسیر آزادراهی و غیرآزادراهی مناسب تشخیص داده شد. و همچنین تابع مطلوبیت به شکل خطی برای توصیف عوامل مستقل با کشش ثابت بکار رفت.

#### ۴. ترافیک القایی

با توجه به محدودیت اطلاعات مربوط به آزادراه های جدید، مدلسازی ترافیک القایی بر اساس تحلیل روند سری زمانی لگاریتم میانگین سالانه ترافیک روزانه (AADT) راهها و مقایسه آن با روند رشد طبیعی ترافیک آن راهها در نظر گرفته شد.

#### ۵. گردآوری آمار و اطلاعات

تعیین نمونه مسیرهای آزادراهی کشور با توجه به آمار و اطلاعات موجود و امکان مقایسه با مسیر غیر آزادراهی موازی با آن صورت گرفت. بر این اساس آزاد راههای کرج- قزوین، قزوین- زنجان و تهران - ساوه و مسیرهای غیرآزاد راهی موازی با آنها برای گردآوری اطلاعات در نظر گرفته شده و برای این منظور قطعه بندی گردیدند.

اندازه گیری عوامل و متغیرهای مدل به صورت همزمان در طی سه روز و در هر روز دو ساعت (۹-۷ صبح) انجام شد. در ابتدا و انتهای هر قطعه مسیر، پایگاه هایی برای نصب برجسب، ثبت زمان و شمارش وسایل نقلیه، به تفکیک نوع آنها در نظر گرفته شد. همچنین اطلاعات مربوط به نرخ عوارض و مشخصات مسیر نیز برداشت گردیدند. اطلاعات مورد نیاز در دو مسیر آزادراهی و غیر آزادراهی روی برگه های خاصی برداشت و برای تجزیه و تحلیل بیشتر پردازش شدند.

تخصیص ترافیک بین دومسیر، استفاده از منحنی های انحراف بوده است که از آن جمله می توان به منحنی های ارایه شده از سوی دفتر راههای عمومی و یا اداره حمل و نقل کالیفرنیا اشاره کرد. در این گونه منحنی ها در صد استفاده کنندگان از آزادراه بر اساس متغیرهایی از قبیل مسافت، زمان و یاهزینه صرفه جویی شده، به دست می آید [۶و۵].

برای تخصیص ترافیک بین دو مسیر، تعدادی روش های تحلیلی نیز ارایه شده اند. مثلاً در روش تعادلی یا تساوی هزینه ها، انتقال ترافیک به گونه ای صورت می گیرد که هزینه سفر در دو مسیر متعادل گردد.

روش دیگر استفاده از مدل های احتمالی مبتنی بر تابع مطلوبیت است که در آنها تقسیم ترافیک براساس توابع احتمالی مانند نرمال، نمایی، دوپل، مستطیلی و غیره انجام می شود [۷]. در روشهای احتمالی برای تابع مطلوبیت U دو جزء معین V و اتفاقی e مطابق رابطه زیر را در نظر می گیرند.

$$U(i) = V(i) + e(i)$$

در این حالت احتمال P(I) انتخاب گزینه، I از روابط زیر به دست می آید [۷]:

$$j \neq i \quad (2)$$

$$P(i) = p[V(i) + e(i) > V(j) + e(j)]$$

$$j \neq i \quad (3)$$

$$= P[e(j) < V(i) - V(j) + e(i)]$$

$$= \int_{e(i)}^{\infty} F[V(i) - V(j) + e(i)] f_i(\phi) d\phi$$

که در آن F تابع توزیع مشترک عناصر e گزینه ها و  $f_i(\phi)$  تابع چگالی  $e(i)$  است.

یکی از پرکاربردترین این روشها مدل لاجیت است که مبتنی بر تابع توزیع نمایی دوپل (گامبل) به شکل زیر است:

$$F_e(x) = e^{-\theta x} \quad \text{و} \quad \theta > 0 \quad \text{و} \quad -\infty < x < \infty \quad (5)$$

این تابع شبیه به تابع توزیع نرمال است. با قراردادن رابطه (۵) در (۴) و انتگرال گیری از آن خواهیم داشت [۷]:

۱-۵ تجزیه و تحلیل آمار و اطلاعات

۱-۱-۵ مدل ترافیک انتقالی

اطلاعات بر حسب نوع وسیله نقلیه و به تفکیک سواری، مینی بوس، اتوبوس، وانت بار، کامیون دو محور، سه محور بیشتر گروه بندی گردیدند. در هر گروه نخست تحلیل همبستگی میان متغیرهای مطلوبیت صورت گرفت و با توجه به شکل خطی آن و تابع انتخاب لاجیت ضرایب مدل از تحلیل رگرسیون به دست آمدند.

شکل کلی تابع مطلوبیت مسیرهای آزادراهی و غیر آزادراهی به شکل زیر در نظر گرفته شد:

$$u_i = c_i - \alpha_i t_i - \beta_i h_i + \gamma_i r_i \quad (9)$$

که در آن :

$u_i$  = مطلوبیت مسیر  $i$

$t_i$  = زمان سفر در مسیر  $i$

$h_i$  = مبلغ عوارض در مسیر  $i$

$r_i$  = تعداد نقاط دسترسی مسیر  $i$

$C_i$  و  $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$  = مقادیر ثابت مدل

مقادیر ظرفیت راهها (آزاد راه و غیر آزاد راه) بر اساس روابط مندرج در کتاب راهنمای ظرفیت راهها (HCM) محاسبه و در نظر گرفته شده اند [۸].

همچنین با توجه به رابطه (۷) برای دو گزینه انتخاب مسیر آزاد راهی و غیر آزاد راهی خواهیم داشت:

$$P_F = \frac{1}{e^{u_R - u_F}} \quad (10)$$

$$u_F - u_R = \ln P_F \quad (11)$$

که در آن  $P_F$  درصد انتخاب کنندگان مسیر آزاد راهی و  $u_F$  و  $u_R$  به ترتیب مطلوبیت دو مسیر آزادراهی و غیر آزادراهی را نمایش می دهند. با توجه به تفاوت مطلوبیت ها برای وسایل نقلیه مختلف  $k$  می توان مطلوبیت نسبی دو مسیر را بر حسب اختلاف آنها به صورت زیر نوشت:

$$u_{fk} - u_{rk} = C_k - \alpha_k (t_{fk} - t_{rk}) - \beta_k (h_{fk} - h_{rk}) + \gamma_k (r_{fk} - r_{rk}) \quad (12)$$

با قرار دادن  $H, T, U$  و  $R$  به جای تفاضل مطلوبیت، زمان سفر، عوارض و دسترسی در دو مسیر آزادراهی و غیر آزاد راهی و از رگرسیون لگاریتمی اطلاعات گرد آوری شده، توابع مطلوبیت نسبی وسایل نقلیه مختلف مطابق روابط جدول ۱ به دست می آید:

جدول ۱. توابع مطلوبیت نسبی مسیرهای آزادراهی و غیر آزادراهی برای وسایل نقلیه مختلف

وسیله نقلیه	تابع مطلوبیت نسبی	
اتومبیل سواری A	$U_A = 0.776 - 0.04 T_A - 2.78 H_A + 0.01 R_A$ $t = 1.75 \quad t = -11.5 \quad t = -11.3 \quad t = 0.7$	(۱۳) $(R^2 = 0.91)$
مینی بوس B	$U_B = -2.58 - 0.03 T_B - 0.91 H_B + 0.09 R_B$ $t = -3.7 \quad t = -3.3 \quad t = -4.2 \quad t = 3.2$	(۱۴) $(R^2 = 0.77)$
اتوبوس C	$U_C = 5.16 - 0.10 T_C - 2.56 H_C + 0.04 R_C$ $t = 4.1 \quad t = -6.8 \quad t = -9.4 \quad t = 0.8$	(۱۵) $(R^2 = 0.86)$
وانت بار D	$U_D = -0.77 - 0.01 T_D - 1.46 H_D + 0.01 R_D$ $t = -1.0 \quad t = -3.8 \quad t = -6.3 \quad t = 0.3$	(۱۶) $(R^2 = 0.77)$
کامیون دو محور (مفرد) E	$U_E = 4.08 - 0.17 T_E - 1.91 H_E + 0.39 R_E$ $t = 1.8 \quad t = -3.6 \quad t = -3.2 \quad t = 4.4$	(۱۷) $(R^2 = 0.54)$
کامیون سه محور F	$U_F = 7.75 - 0.1 T_F - 1.49 H_F + 0.48 R_F$ $t = 2.7 \quad t = -2.8 \quad t = -3.4 \quad t = 4.7$	(۱۸) $(R^2 = 0.70)$
کامیون بیش از سه محور G	$U_G = 9.32 - 0.15 T_G - 1.88 H_G + 0.47 R_G$ $t = 6.1 \quad t = -5.7 \quad t = -9.2 \quad t = 7.9$	(۱۹) $(R^2 = 0.82)$



نمونه در شکل ۱ روند تغییرات و نمودارهای رگرسیون خطی- لگاریتمی میانگین سالیانه ترافیک روزانه (AADT) در سالهای مختلف برای آزاد راه تهران - ساوه ارائه شده است.

همان گونه که مشاهده می شود شیب منحنی ترافیک بعد از احداث آزادراه با امتداد منحنی ترافیک راه اصلی با فرض احداث نشدن آزاد راه متفاوت است که این تفاوت بیانگر ترافیک القایی است. مقادیر درصد ترافیک القایی راه های مختلف از تغییرات چشمگیری در محدوده [۱۰-۲/۳] برخوردار است. برای دستیابی به یک مدل فراگیر، میانگین درصد ترافیک القایی در سالهای پس از شروع بهره برداری مورد بررسی قرار گرفت. در شکل ۲ نمودار پراکنندگی میانگین درصد ترافیک القایی آزادراههای مورد مطالعه در ده سال اولیه پس از بهره برداری همراه بامنحنی چند جمله ای درجه دوم برازش یافته بر این نقاط مشاهده می شود. مطابق این نمودار میانگین درصد ترافیک القایی در پنج سال اول پس از شروع بهره برداری، روندی رو به رشد داشته و سپس از روند نزولی تبعیت می کند. اثرات تجمعی این پدیده در طول ده سال اولیه پس از شروع بهره برداری آزاد راه چشمگیر بوده و می تواند باعث ایجاد حدود ۵۰ تا ۶۰ درصد حجم ترافیک شود، ولی پس از آن اثرات القایی به شدت کاهش می یابد.

با توجه به توابع فوق، حجم کل ترافیک تخصیص یافته به آزاد راه؛  $T$ ، از روابط زیر قابل محاسبه خواهد بود.

$$T = \sum_{k=1}^m T_k \cdot P_{fk} \quad (20)$$

$$T = \sum_{K=1}^m \frac{T_K}{1 + e^{U_k}} \quad (21)$$

که در آنها:

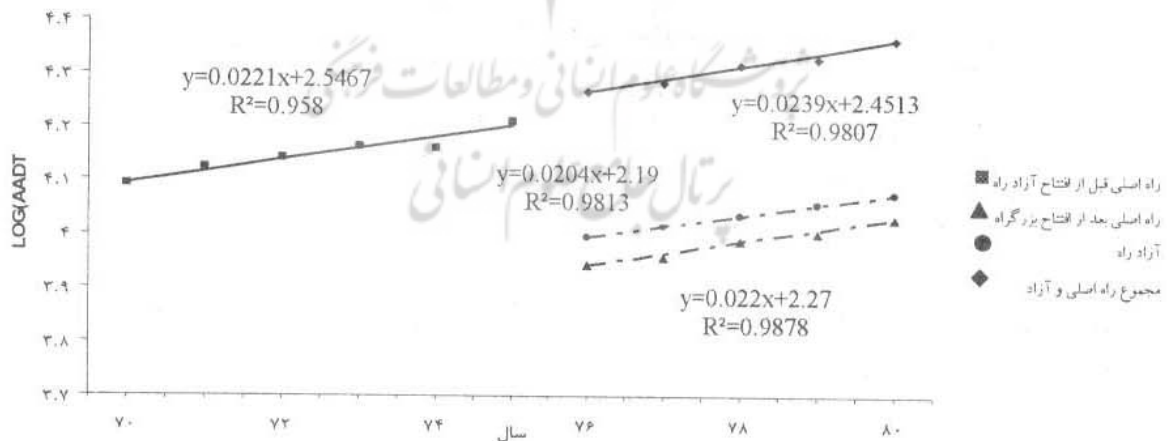
TK = تعداد کل وسایل نقلیه نوع K است که از هر دو مسیر استفاده می کنند؛

Pfk = احتمال انتخاب آزاد راه برای وسیله نوع K؛

UK = تابع مطلوبیت نسبی برای وسیله نوع K.

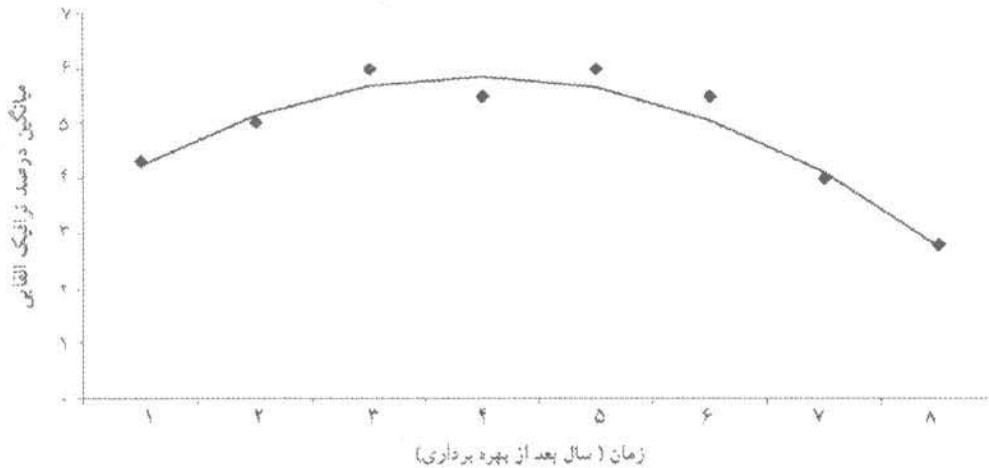
#### ۵-۱-۲ مدل ترافیک القایی

همان گونه که اشاره شد برآورد ترافیک القایی از مقایسه روند رشد ترافیک مسیرهای غیرآزادراهی و آزادراهی در شرایط با و بدون احداث آزاد راه میسر می شود. برای این منظور آمار حجم تردد در یک دوره ده ساله مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. به عنوان



شکل ۱. مقایسه روند افزایش ترافیک در مسیر تهران - ساوه قبل و بعد از افتتاح آزادراه

## مدل سازی تولید ترافیک در آزادراهها



شکل ۲. نمودار رگرسیون میانگین درصد ترافیک القایی برحسب

### ۶. نتیجه گیری

2- Glanville, W.H. and Smeed R.J. (1957) "The basic requirements for the roads of Great Britain", ICE Conference, 13-15 Nov. 1957, Institution of Civil Engineering, London, UK.

3- Hansen, M. and Hang, Y. (1997) "Road supply and traffic in California", Transportation Research, Part A, Vol. 31, No.3, p.205-218.

4- Decorla-Soza, P. (2000) "Induced highway travel", Transportation Quarterly, Vol. 54, No.2, p. 13-30.

5- Bureau of Public Roads (1964) "Traffic assignment manual", U.S. Department of Commerce, Washington, D.C.

6- Moskowitz, K. (1956) "California model of assigning diverted traffic to proposed freeways", Highway Research Record, 130, p.1-26. (Highway Research Board, Washington, D.C.)

7- Kanafani, A. (1981) "Transportation demand analysis", John Wiley.

8- Transportation Research Board (2000) "Highway capacity manual", Transportation Research Board, Washington D.C.

۹- قربانی، محمد. "ارائه مدل تخصیص ترافیک بین دو مسیر آزادراهی و غیر آزادراهی". پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه بین المللی امام خمینی، ۱۳۸۰.

۱۰- نظری، محمد. "مدلسازی ترافیک القایی در راههای شریانی برونشهری"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی دانشگاه تهران، ۱۳۸۲.

برآورد تولید ترافیک در آزاد راه های جدید یک مشکل اساسی در توسعه راههاست. ترافیک آزاد راه شامل دو مولفه انتقالی و القایی است. ترافیک انتقال یافته از راه های موازی بستگی به مطلوبیت نسبی آن دارد که با توجه به ماهیت احتمالی آن به کمک توابع احتمالی قابل برآورد است. مدل لاجیت با تابع مطلوبیت خطی می تواند به بهترین وجه این بخش را توصیف کند. آمار و اطلاعات گروه بندی شده به صورت تابعی از نوع وسیله نقلیه، ضرایب کالیبراسیون مدل رابه دست می دهند. موثرترین عوامل این مدل زمان سفر، نرخ عوارض و نقاط دسترسی هستند. آمار ترافیک القایی در آزاد راه های مختلف پراکنده زیادی نشان داده است. علت این امر مقادیر مختلف تقاضا و مطلوبیت بوده است.

مدل سازی میانگین درصد ترافیک القایی در آزاد راه های مختلف نشان می دهد که در پنج سال اول، روند رو به رشد و سپس سیر نزولی در ترافیک القایی وجود دارد. بنا بر این با وجود آن که از سال اول بهره برداری آزادراه، ضریب ترافیک القایی به طور میانگین سالیانه در حدود ۳-۵ درصد وجود دارد اثرات تجمعی این پدیده در طول ده سال اولیه چشمگیر بوده و می تواند بالغ بر حدود ۶۰-۵۰ درصد حجم ترافیک شود ولی پس از آن اثرات القایی کاهش می یابد.

### ۸. مراجع

1- Bressey, C. and Lutyens, E. (1938) "Highway development survey", Ministry of Transport, HMSO, UK.