مدلی برای انتخاب کامیون در معادن روباز

مهدی یاوری[۱]*، سید ولی موسوی[۱]

۱- مربی، عضو هیات علمی دانشکده مهندسی معدن ، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی معدن ، گرایش استخراج ، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

E-mail: Valimosavi@yahoo.com

چکیده

در این مقاله، وابستگی بین پارامترهای عملیاتی و طراحی اصلی کامیون‌های تخلیه از عقب مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. این نتایج بر اساس تحلیل همبستگی آماری انجام شده بر مهم‌ترین مشخصه‌های فنی کامیون‌ها و اطلاعات عرضه شده توسط مهمترین سازندگان در سراسر جهان بدست آمده است. روابط به دست آمده همراه با پارامترهای اقتصادی مورد استفاده قرار گرفتند تا ضریب انتخاب کامیون‌های معدنی فرمول‌بندی شود. این ضرایب در انتخاب و مقایسه کامیون‌ها مورد استفاده قرار گرفته و در نهایت معیاری برای انتخاب کامیون‌های معدنی ارائه گردیده است. مدل پیشنهادی ازمقالهٔ آقای پرفسورFytas و همکارانش اقتباس شده و محاسبات، رسم رگرسیون‌ها و کاربرد آن در معدن چادرملو توسط نگارنده صورت گرفته است.

واژه‌های کلیدی: انتخاب، کامیون‌های تخلیه ازعقب، معادن روباز، هزینه‌های مالکیت و عملیاتی، ضریب همبستگی، مشخصه‌های فنی

۱- مقدمه

یکی از ماشین‌آلات اصلی معادن، کامیون‌های تخلیه از عقب می‌باشند که برای سیستم حمل و نقل در معادن سطحی مورد استفاده قرار می‌گیرد. کامیون‌ها متداول‌ترین ماشین حمل مواد در معادن روباز می‌باشند این کامیون‌ها از اواسط دهه ۱۹۳۰ میلادی در صنعت معدنکاری وارد شدند و ظرفیت صندوقه آنها از ۱۳/۵ تن شروع شده تا امروز که به ۳۳۰ تن افزایش یافته است. علاوه بر افزایش ظرفیت صندوقه، کامیون‌ها در این مدت رشد و بهبود قابل ملاحظه‌ای هم در سایر خصوصیات داشته‌اند به نحوی که موجب افزایش بهره‌وری آنها شده است. این موارد شامل افزایش اندازه لاستیک وکیفیت آن، کاهش وزن موتور

* دانشگاه صنتی امیرکبیر - دانشکده مهندسی معدن

نسبت به وزن کل ماشین، استفاده از سیستم ترمز دینامیکی، استفاده از موتورهای دیزلی و افزایش در سرعت کامیون‌ها می‌باشد[۱]. در برخی موارد استفاده از کامیون‌هایی با ظرفیت باربری بالا، استخراج معادن فلزی کم عیار را ممکن و از نظر سودآوری موجه می‌کند. در کنار این مسئله با بزرگ‌تر شدن ظرفیت کامیون‌ها هزینه‌های عملیاتی و مالکیت افزایش می‌یابد و این ضرورت مطالعه و تحلیل سیستم باربری تحت شرایط واقعی را می‌طلبد. در این مقاله وابستگی‌های بین پارامترهای طراحی کامیون مورد مطالعه قرارگرفته و در نهایت مدل ریاضی این وابستگی‌ها همراه با پارامترهای اقتصادی به منظور تعریف ضریب انتخاب برای انتخاب کامیون‌های تخلیه از عقب ارائه شده است.

۲- ضرایب تفضیلی

برای انواع مختلف کامیون‌های معدنی، وابستگی‌هایی بین پارامترهای فنی پایه وجود دارد. این وابستگی‌ها می‌توانند توسط تحلیل‌های همبستگی و آماری تعیین شوند. در اولین مرحله پارامترهای فنی کامیون به صورت نسبت تعریف می‌شوند. این نسبت‌ها ، ضرایب تفضیلی نامیده می‌شوند. ضرایب تفضیلی برای کامیون‌های معدنی به صورت روابط(۱)، (۲)، (۳)، (۴) و (۵) پیشنهاد شدند. این ضرایب توسط پرفسورFytas و همکارانش در سال ۲۰۰۳ ارائه شدند[۲]:

$$K_1 = \frac{Q}{VW} \quad (۱)$$

$$K_2 = \frac{Q}{N} \quad (۲)$$

$$K_3 = \frac{GVW}{N} \quad (۳)$$

$$K_4 = \frac{VM}{N} \quad (۴)$$

$$K_5 = \frac{VT.Q}{N} \quad (۵)$$

پارامترهای مورد ملاحظه عبارت‌اند از[۲]:

- وزن ناخالص وسیله نقلیه(Gross Vehicle Weight) GVW،تن
- وزن وسیله نقلیه،(Vehicle Weight) VW، تن
- ماکزیمم ظرفیت باربری،(Maximum Payload) Q، تن
- ظرفیت حجمی،(Struck Capacity) V، مترمکعب

- ظرفیت توده‌ای،(Heaped Capacity) VM، مترمکعب
- قدرت موتور،(Motor Power) N، (kw)
- ماکزیمم سرعت وسیله، (Top Vehicle Speed) VT، کیلومتر برساعت
- K1، K2، K3، K4 و k5 ضرایب تفضیلی نامیده می‌شوند.

به منظور به دست آوردن مقادیر عددی این ضرایب، مشخصه‌های فنی ۵۲ نوع از کامیون‌های معدنی که توسط هشت سازنده خاص در سراسر جهان عرضه شده بود (Caterpillar، O&K، EUCLID، Terex، UnitRig، Komatsu، LIEBHERR و BELAZ) جمع‌آوری شدند. مشخصات برخی از کامیون‌ها در جدول ۱ ارائه شده است. کامیون‌ها دامنه وسیعی از مقادیر را به صورت ذیل پوشش می‌دادند[۴،۳]:

GVW :۵۲تا۵۵۵ $\quad Q$:۳۰تا۳۲۸ $\quad N$:۲۶۰تا۲۵۰۰

با استفاده از این اطلاعات پایه و به کمک نرم‌افزار اکسل، مقادیر تمام ضرایب تفضیلی محاسبه شدند. روش کمترین مربعات برای این تحلیل مورد استفاده قرار گرفت. جدول ۲ پارامترهای آماری حاصل از نتایج را نشان می‌دهد[۲]. ضریب همبستگی این ضرایب با توجه به اندازه کامیون‌ها در دامنه r^2=۰/۴۱۳۳ تا r^2=۰/۸۳۸۲ قرار دارد. بیشترین همبستگی مربوط به ضریب K_2 است و بنابراین، این ضریب تفضیلی در بخش‌های بعدی مورد استفاده قرار گرفت. نتایج رگرسیون در شکل‌های(۱) تا (۵) و به صورت روابط (۶) تا(۱۰) ارائه شده‌اند[۵].

$$K_1 = 0.0012Q + 1.2334 \qquad r^2 = 0.6688 \qquad (۶)$$

$$K_2 = 0.0169 \ln Q + 0.0433 \qquad r^2 = 0.8382 \qquad (۷)$$

$$K_3 = 0.0206Ln(Q) + 0.114 \qquad r^2 = 0.7028 \qquad (۸)$$

$$K_4 = 0.0001Q + 0.8001 \qquad r^2 = 0.4133 \qquad (۹)$$

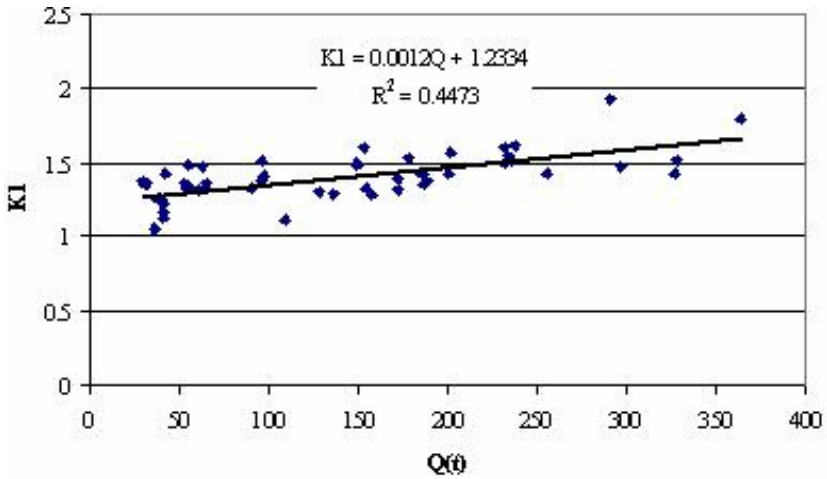
$$K_5 = 0.00003Q^2 - 0.0046Q + 6.7523 \qquad r^2 = 0.6429 \qquad (۱۰)$$

جدول ۱- اطلاعات فنی برخی از کامیون‌های مختلف معدنی[۳،۴]

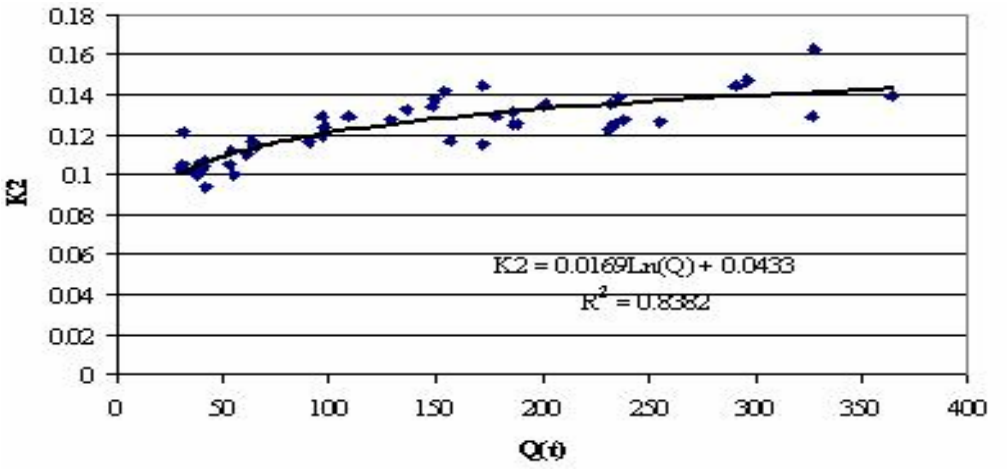
نوع کامیون	GVW(ton)	VW(ton)	Q(ton)	V(m^3)	VM(m^3)	N(kw)	VT(km/hr)
CAT 769D	۶۸/۱۸	۳۰/۲۸	۳۷/۹	۱۷	۲۴/۲	۳۸۰	۷۵
CAT 771D	۷۳/۹۷	۳۳/۳	۴۰/۶۷	۲۰/۲	۲۷/۵	۳۸۰	۵۶
EUCLID R130B	۲۲۶/۸	۹۸/۶	۱۲۸/۲	۵۴/۱	۷۸/۴	۱۰۰۷	۴۹/۳
EUCLID R170C	۲۷۸/۹۶	۱۲۲/۰۶	۱۵۶/۹	۷۲/۲۱	۱۰۱/۹۵	۱۳۴۳	۵۵/۴
OK-K35	۵۳/۸۶	۲۲/۸۶	۳۱	۱۵/۲	۱۹/۴	۲۹۶	۵۵
OK-K40	۷۰/۷	۳۴/۴	۳۶/۳	۱۷/۲	۲۳/۹	۳۵۴	۶۰
CAT 789C	۳۱۷/۵۲	۱۳۰/۹۴	۱۸۶/۵۸	۷۳/۴	۱۰۵	۱۴۱۷	۵۲/۵۷
UNIT RIG MT-3600B-2	۲۹۴/۷۹	۱۱۶/۳۵	۱۷۸/۴۴	۷۷	۱۱۱	۱۳۸۲	۵۶/۴
CAT 797	۵۵۵/۹۹	۲۲۹/۴۶	۳۲۶/۵۳	۱۷۳	۲۲۰	۲۵۳۵	۶۴
LIEBHERR T252	۳۳۱	۱۲۹	۲۰۲	۷۶/۵	۱۰۷/۸	۱۴۹۲	۵۱
LIEBHERR T262	۳۸۶	۱۵۲	۲۳۴	۸۴	۱۱۹	۱۸۶۴	۵۱
TEREX TR45	۷۶/۱۱	۳۵/۲۸	۴۰/۸۳	۱۹/۶	۲۶	۳۹۲	۶۰
OK-K60	۹۵/۴۳	۴۱	۵۴/۴۳	۲۶	۳۵	۴۸۵	۶۰
OK-K100	۱۵۹/۳۴	۶۸/۶۲	۹۰/۷۲	۴۱/۷	۵۷	۷۸۳	۴۶
BELAZ 7548C	۷۱/۴۸	۲۹/۴۸	۴۲	۲۷/۵	۳۳	۴۴۸	۶۰
BELAZ 75553	۹۲	۳۷	۵۵	۲۵	۳۴/۲	۵۵۲	۶۰
EUCLID R190C	۳۲۴/۳۲	۱۳۶/۲۲	۱۸۸/۱	۷۹/۹	۱۱۵/۱	۱۴۹۲	۵۵/۴
EUCLID R260	۳۸۵/۹۲	۱۴۷/۹۲	۲۳۸	۹۲/۹	۱۳۱/۹	۱۸۶۴	۴۸/۸
EUCLID R280	۴۳۵/۴۶	۱۷۹/۷۶	۲۵۵/۷	۱۰۶/۱	۱۴۸/۲	۲۰۱۳	۶۲
TEREX TR35	۵۵	۲۳/۲۵	۳۱/۷۵	۱۵/۳	۱۹/۴	۲۶۱	۵۵/۵
TEREX TR40	۷۰/۷	۳۴/۴	۳۶/۳	۱۷/۲	۲۳/۹	۳۵۴	۵۸

جدول۱- پارامترهای آماری ضرایب تفضیلی[۲]

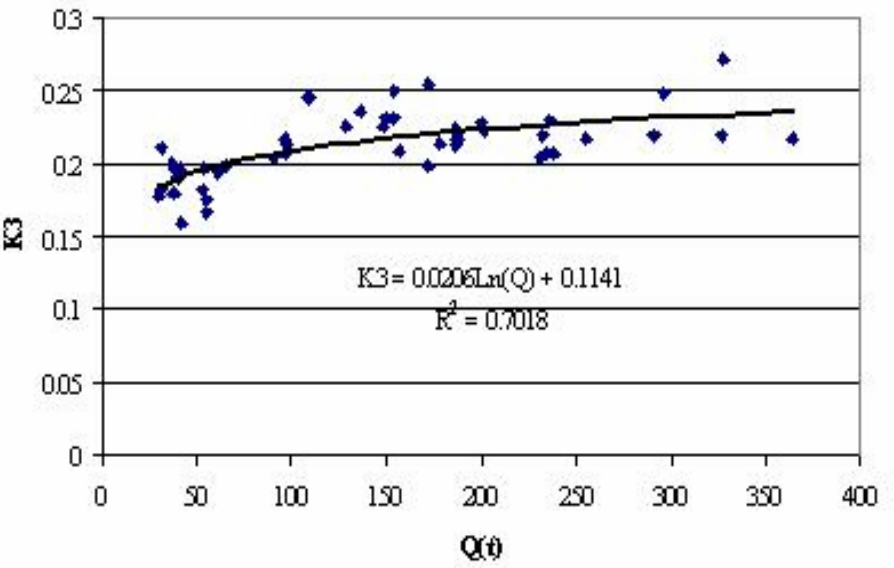
	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5
میانگین	۱/۳۹۵۸	۰/۱۲۲۲	۰/۲۱۰۲	۰/۸۵۸۰	۷/۵۸۲
خطای استاندارد	۰/۰۲۲۳	۰/۰۰۲۱	۰/۰۰۳۱	۰/۰۱۲۹	۰/۱۴۹۲
میانه	۱/۳۸۲	۰/۱۲۴۵	۰/۲۰۹۲	۰/۸۴۳۶	۶/۹۳۸۳
مد	۱/۳۲۲۱	۰/۱۰۲۵	۰/۲۳۰۶	۰/۸۳۰۷	N/A
انحراف معیار	۰/۱۶۱۱	۰/۰۱۵۲	۰/۰۲۲۲	۰/۰۹۳۱	۱/۰۷۵۶
واریانس	۰/۰۲۶	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۵	۰/۰۰۸۷	۱/۱۵۶۸
کشیدگی	۱/۹۵۰۱	-۰/۴۳۰۲	۰/۴۴۶۶	۲/۰۳۴۲	۱/۷۹۵۸
چولگی	۰/۵۲۵۲	۰/۱۸۹۱	۰/۲۳۳۸	۱/۰۰۶۵	۱/۱۰۴۳
دامنه	۰/۸۷۱۹	۰/۰۶۹۲	۰/۱۱۱۱	۰/۴۶۴۲	۵/۲۶۳۳
مینیم	۱/۰۵۵۲	۰/۰۹۳۸	۰/۱۵۹۶	۰/۶۹۴۸	۵/۳۲۹۷
ماکزیمم	۱/۹۲۷۲	۰/۱۶۳	۰/۲۷	۱/۱۵۸۹	۱۰/۵۹۳
سطح اطمینان(۹۵٪)	۰/۰۴۴۹	۰/۰۰۴۱	۰/۰۰۶۲	۰/۰۲۵۹	۰/۲۹۹۴



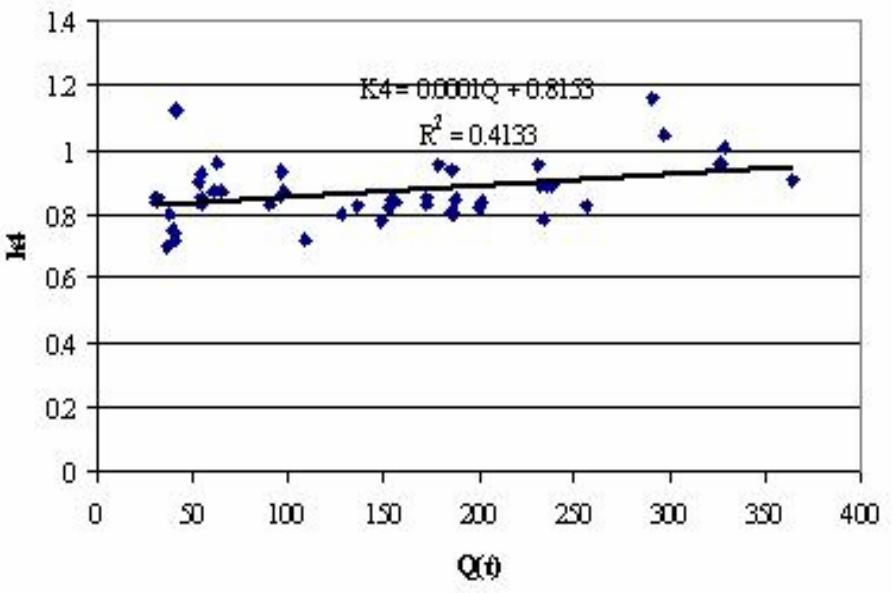
شکل۱- رابطه بین ظرفیت کامیون وضریب تفضیلی $K1$ [۵]



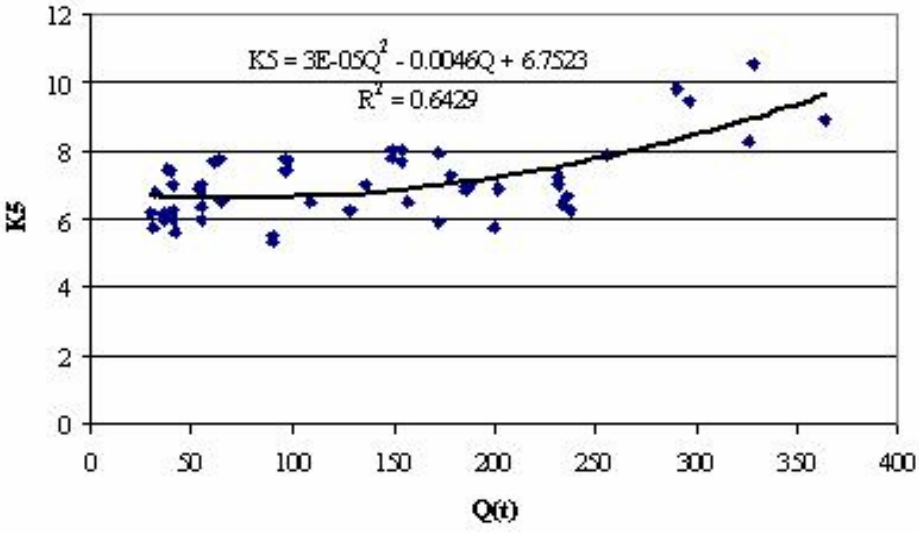
شکل۲- رابطه بین ظرفیت کامیون وضریب تفضیلی $K2$ [۵]



شکل۳- رابطه بین ظرفیت کامیون‌های مختلف و ضریب تفضیلی $K3$ [۵]



شکل۴- رابطه بین ظرفیت کامیون‌های مختلف و ضریب تفضیلی $K4$ [۵]



شکل۵- رابطه بین ظرفیت کامیون‌های مختلف و ضریب تفضیلی $K5$ [۵]

۳- وابستگی‌های بین پارامترهای طراحی اصلی

مرحله بعدی تعیین روابط بین پارامترهای فنی اصلی بود. در این جا فرض بر این بود که قدرت موتور(N) ممکن است که وابسته به چندین پارامتر طراحی کامیون باشد. این پارامترها عبارت بودند از[۲]:

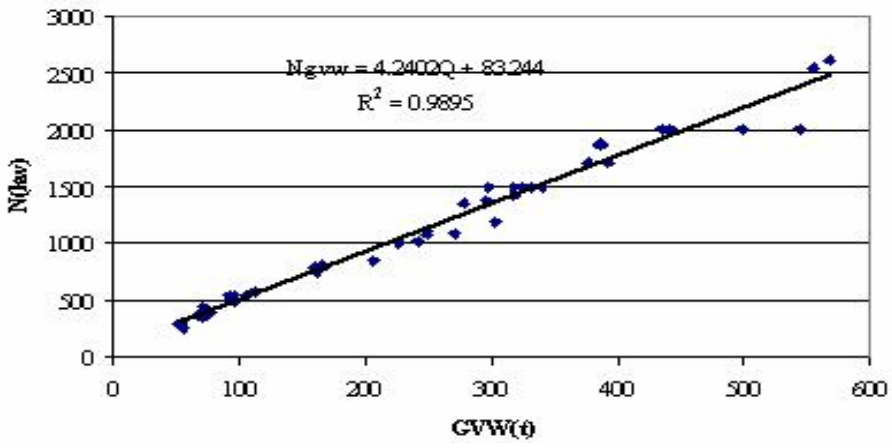
- وزن ناخالص وسیله نقلیه(GVW), $N = f(GVW)$
- ماکزیمم ظرفیت باربری(Q), $N = f(Q)$
- ظرفیت کپه‌ای($2:1$)(VM), $N = f(VM)$

در این مرحله هم روش کمترین مربعات برای این تحلیل مورد استفاده قرار گرفته است. ضرایب همبستگی به دست آمده نیز دارای مقادیر بالایی (r^2 >۰/۹۷) بود و اعتبار فرضیه بالا را شدت بخشید. نتایج رگرسیون در شکل‌های ۶ تا ۸ نشان داده شده است. روابط به دست آمده از این تحلیل در روابط (۱۱) ، (۱۲) و (۱۳) نشان داده شده‌اند[۵]:

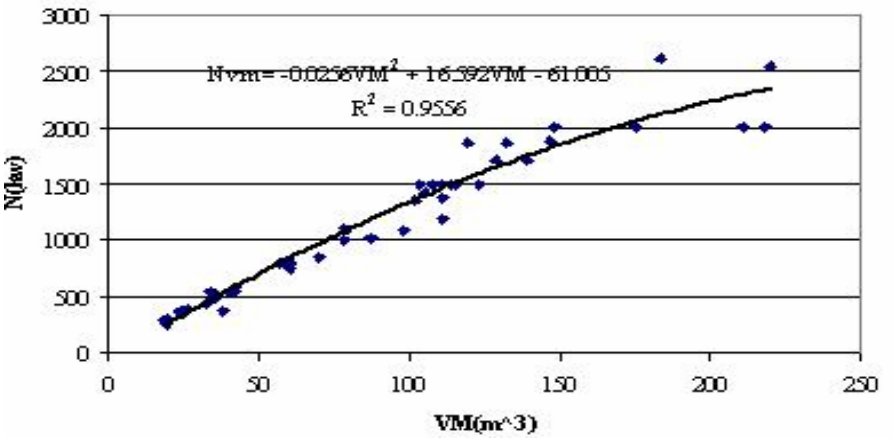
$$N_{GVW} = 4.24GVW + 83.344 \qquad r^2 = 0.9895 \qquad (11)$$

$$N_Q = -0.0029Q^2 + 7.8206Q + 71.527 \qquad r^2 = 0.9907 \qquad (12)$$

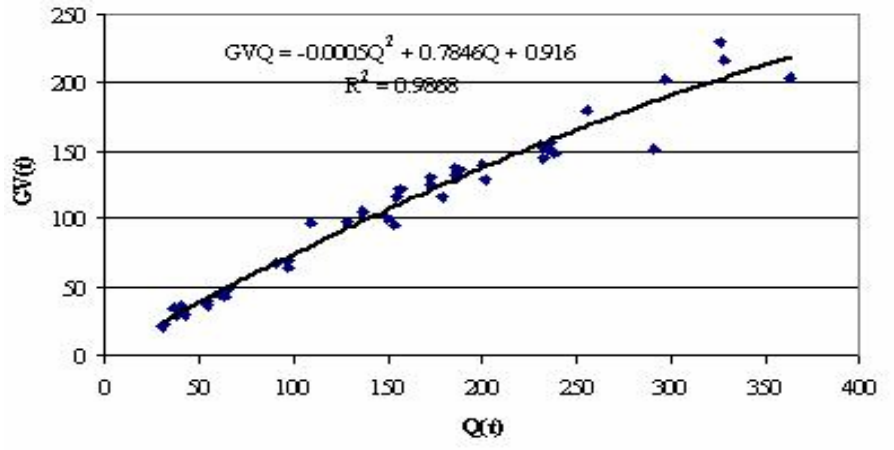
$$N_{VM} = -0.0253VM^2 + 16.486VM + 16.486 \qquad r^2 = 0.9781 \qquad (13)$$



شکل۶- رابطه بین قدرت موتور و وزن ناخالص کامیون[۵]



شکل۷- رابطه بین قدرت موتور و ظرفیت توده ای کامیون[۵]

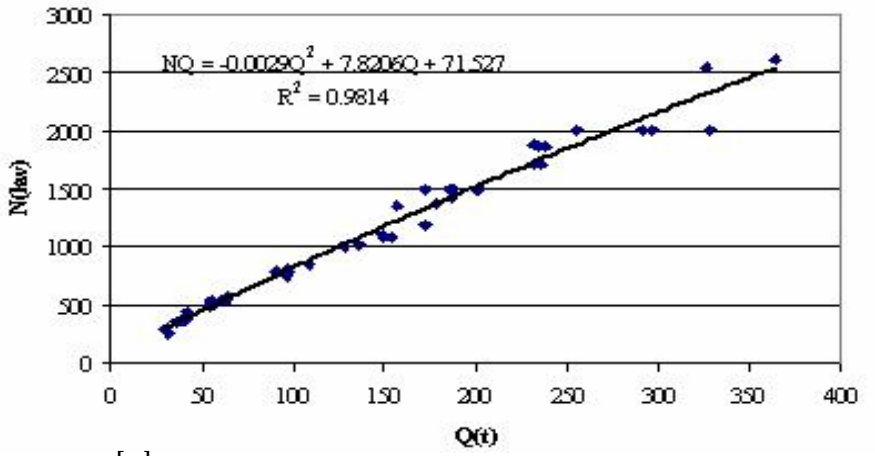


شکل۸- رابطه بین وزن خالص کامیون و ظرفیت باربری آن[۵]

در نهایت وابستگی موجود بین وزن وسیله نقلیه و ماکزیمم ظرفیت ترابری مورد مطالعه قرارگرفت و ضریب همبستگی بالایی بین این دو پارامتر بدست آمد($r^2 = 0.9868$) و معادله آن به صورت رابطه (۱۴) می‌باشد[۵]:

$$GV_Q = -0.0005Q^2 + 0.7846Q + 0.916 \qquad r^2 = 0.9868 \quad (۱۴)$$

البته در این جا باید تاکید کنیم روابط (۱۱)، (۱۲)، (۱۳) و (۱۴) مستقل از شرکت سازنده می‌باشد. این روابط به عنوان پایه‌ای برای مطالعات بعدی مورد استفاده قرار گرفته بودند[۲].



شکل۹- رابطه بین قدرت موتور و ظرفیت باربری کامیون‌ها[۵]

۴- تعیین ضریب انتخاب کامیون‌های معدنی

برای تعیین معیار انتخاب کامیون دو مرحله وجود دارد که در اولین مرحله پارامترهای فنی در نظر گرفته شده و در نهایت پارامترهای اقتصادی در معیار وارد می‌شوند[۲].

۴-۱- اندازه‌گیری پارامترهای فنی: به طور معمول دو گروه پارامترهای فنی و ضرایب تفضیلی وجود دارند[۲]:

- پارامترها و ضرایبی که به طور قابل ملاحظه‌ای با توجه به اندازه کامیون تغییر می‌کنند و یا وابستگی مشخصی بین آنها وجود دارد.
- ضرایب تفضیلی که به طور قابل ملاحظه‌ای با اندازه ماشین تغییر نمی‌کنند و وابستگی بین آنها آشکار نیست. در موقع فرمول‌بندی معیارهای هرکدام از این دو گروه و به منظور مقایسه آنها، باید با مقادیر عددی بدون بعد تعریف شود. این خود دلیلی برای معرفی نسبت برای این پارامترها بود.

الف- اندازه‌گیری پارامترهای مربوط به اولین گروه

اندازه‌گیری پارامترهای مربوط به اولین گروه ($N_{GVW}, N_Q, N_{VM}, GV_Q, K_{2Q}$) به صورت ذیل انجام می‌شود[۲]:

۱- انحراف بین ارزش پارامتر(ضریب) و ارزش محاسبه شده‌اش تعیین می‌شود.

۲- انحرافات مثبت و منفی (تفاوت‌ها) اهمیت یکسانی دارند و باید به مانند یکدیگر با آنها رفتار شود.

۳- انحرافات بزرگ($\geq \pm 0.3$) باید به عنوان نامناسب تلقی شوند و تفاوت کوچکتر باید ارجح‌تر باشد.
۴- بهترین روش برای دستیابی به شرایط۲ و۳ مجذور نسبت‌ها می‌باشد.
بیان ریاضی به دست آمده(نسبت) باید مینیمم باشد.
شیوه ریاضی روش شرح داده شده در روابط (۱۵) تا (۲۰) نشان داده شده است[۲]:

$$Z_{1(i)} = \frac{N_{(i)} - N_{GVW(i)}}{N_{GVW(i)}} \qquad (۱۵)$$

$$Z_{2(i)} = \frac{N_{(i)} - N_{Q(i)}}{N_{Q(i)}} \qquad (۱۶)$$

$$Z_{3(i)} = \frac{N_{(i)} - N_{VM(i)}}{N_{VM(i)}} \qquad (۱۷)$$

$$Z_{4(i)} = \frac{GV_{(i)} - GV_{Q(i)}}{N_{Q(i)}} \qquad (۱۸)$$

$$Z_{5(i)} = \frac{K_{2(i)} - K_{2Q(i)}}{K_{2Q(i)}} \qquad (۱۹)$$

$$K_{oa(i)} = \min.\left[\sum_{j=1}^{5} Z_{j(i)}^2\right] \qquad (۲۰)$$

در اینجا i نمایندهٔ کامیون مورد نظر می‌باشد. بقیهٔ پارامترها قبلاً تعریف شده‌اند.
Z_i : Z_i ها بیانگر انحراف بین مقدار اصلی پارامتر و مقدار بدست آمده همان پارامتر از معادلهٔ رگرسیون مربوطه می‌باشد. در واقع این دلیل تعریف Z_i ها به صورت نسبت به این صورت می‌باشد تا مقادیری بدون بعد بدست آیند تا بتوان از آنها در مراحل بعدی تعریف معیار استفاده نمود[۵].
$K_{oa(i)}$: ضریب اولین بخش فنی معیار (برای پارامترهایی که به شدت وابسته به ظرفیت کامیون‌ها می‌باشند.)
ارزش‌های وزنی محاسبه شده $GV_Q, N_{VM}, N_Q, N_{GVW}$ و ضریب K_2 به ترتیب بر طبق معادلات (۱۱)،(۱۲)،(۱۳)،(۱۴) و (۷) تعیین می‌شوند[۲].

ب- اندازه‌گیری ضرایب مربوط به گروه دوم

ضرایب تفضیلی گروه دوم(K_1, K_3, K_4, K_5) وابستگی مهمی را با اندازه کامیون نشان نمی‌دهند. به منظور سازگار کردن این اطلاعات با توجه به بدون بعد بودن اطلاعات اولین گروه آنها نرمالیزه شده و به صورت نسبت بیان می‌شوند. در این مورد مقادیر میانگین هر ضریب تفضیلی به عنوان شاخص مورد استفاده قرار گرفته است. برای اندازه‌گیری ضریب تفضیلی تحلیل شده، انحراف از مقدار میانگین می‌تواند به کار گرفته شود. انحراف‌های کوچک منفی در تحلیل در نظر گرفته شده و انحراف‌های بزرگ منفی کنار گذاشته می‌شوند. به منظور سازگارکردن انحراف‌های کوچک با انحراف‌های بزرگ تابع ریاضی ارائه می‌شود و مقدار این تابع همیشه مثبت می‌باشد و به صورت زیر تعریف می‌شود[۲].

$$k = z^4 \qquad -1 < z < 0 \qquad (۲۱)$$

انحراف‌های مثبت ارزش ضرایب از میانگین‌ها باید کنار گذاشته شوند. شکل ریاضی این قسمت معیار در روابط (۲۲) تا (۲۶) نشان داده شده است[۲]:

$$\begin{aligned} &-1 < Z_{6(i)} < 0 \\ &K_{6(i)} = Z_{6(i)}^4 \\ &Z_{6(i)} \geq 0 \\ &K_{6(i)} = Z_{6(i)}^2 \\ &Z_{6(i)} = \frac{K_{1(i)} - K_{1(m)}}{K_{1(m)}} \end{aligned} \qquad (۲۲)$$

$K_{1(m)}$:ارزش میانگین ضریب تفضیلی K_1

$$\begin{aligned} &-1 < Z_{7(i)} < 0 \\ &K_{7(i)} = Z_{7(i)}^4 \\ &Z_{7(i)} \geq 0 \\ &K_{7(i)} = Z_{7(i)}^2 \\ &Z_{7(i)} = \frac{K_{3(i)} - K_{3(m)}}{K_{3(m)}} \end{aligned} \qquad (۲۳)$$

$K_{3(m)}$:مقدار میانگین ضریب تفضیلی K_3

$$-1 < Z_{8(i)} < 0$$
$$K_{8(i)} = Z_{8(i)}^4$$
$$Z_{8(i)} \geq 0 \qquad (۲۴)$$
$$K_{8(i)} = Z_{8(i)}^2$$
$$Z_{8(i)} = \frac{K_{4(i)} - K_{4(m)}}{K_{4(m)}}$$

$K_{4(m)}$:مقدار میانگین ضریب تفضیلی K_4

$$-1 < Z_{9(i)} < 0$$
$$K_{9(i)} = Z_{9(i)}^4$$
$$Z_{9(i)} \geq 0 \qquad (۲۵)$$
$$K_{9(i)} = Z_{9(i)}^2$$
$$Z_{9(i)} = \frac{K_{5(i)} - K_{5(m)}}{K_{5(m)}}$$

$K_{5(m)}$: مقدار میانگین ضریب تفضیلی K_5

$$K_{ob(i)} = \min.\left[\sum_{j=6}^{9} K_{j(i)}\right] \qquad (۲۶)$$

i : نمایندهٔ کامیون مورد نظر می‌باشد.

Z_i : Z_iها بیانگر انحراف بین مقدار اصلی پارامتر و مقدار بدست آمده همان پارامتر از معادلهٔ رگرسیون مربوطه می‌باشد.

$K_{ob(i)}$: ضریب دومین بخش فنی معیار(برای پارامترهایی که وابستگی ضعیفی به ظرفیت کامیون‌ها دارند.)

با ترکیب عناصر به دست آمده، بخش فنی معیار ایجاد می‌شود. بخش فنی معیار به صورت روابط (۲۷) و (۲۸) تعریف شده است[۲]:

$$K_{o(i)} = \min.(K_{oa(i)} + K_{ob(i)}) \qquad (۲۷)$$

$$K_{o(i)} = \min.(\sum_{j=1}^{5} Z_{j(i)}^2 + \sum_{j=6}^{9} K_{j(i)}) \qquad (۲۸)$$

$K_{o(i)}$: ضریب بخش فنی معیار

۴-۲- وارد کردن پارامترهای اقتصادی درمعیار

در بخش قبلی، معیار انتخاب کامیون که برای کامیون‌های معدنی تعریف شده، منحصراً مربوط به پارامترها و نسبت‌های فنی بود. در هرحال برای برآوردکردن نیازهای واقعی استفاده‌کنندگان، بهتر است که پارامترهای اقتصادی در معیار وارد شوند. استفاده‌کنندگان تجهیزات انتظار دارند تا توان تولید و هزینه‌های مربوط را به منظور بهینه‌کردن عملکرد متعادل کنند. به عبارت دیگر، آنها تلاش دارند سطح تولید برنامه‌ریزی شده را در پائین‌ترین هزینه واحد نگه دارند و از آنجا که هزینه‌ها ممکن است به طور قابل ملاحظه‌ای برای ماشین‌آلات مشابه ولی از سازندگان متفاوت دارای نوسان باشد و از مورد به مورد با توجه به شرایط مختلف تغییر کند، بنابراین لازم و ضروری است تا این ضرایب هم در معیار تحلیل شده وارد شوند. هزینه‌ها ترکیبی از هزینه‌های عملیاتی و مالکیت بوده و متأثر از ضرایب زیادی می‌باشند[۶]:

۱- نوع کاربری ماشین(تابع هدف) ۲- قیمت تحویل(شامل لوازم یدکی)

۳- هزینه‌های انتقال از کارخانه ۴- هزینه‌های اپراتوری و قیمت واقعی انرژی و یا سوخت

به عبارت دیگر، سازندگان قیمت تجهیزات را بر اساس محاسبه هزینه‌های ذیل تعیین می‌کنند[۶]:

۱- مهندسی ۲- راه اندازی ۳- ساخت

۴- مونتاژ ۵- حمل ونقل ۶- کارمزد

هر شرکت تخمین‌های خود را براساس ملاحظات بالا جمع‌آوری می‌کند و همچنین هزینه‌های عمومی(بالاسری) هم به آنها اضافه می‌شود. در حقیقت قیمت تحویل وابسته به پارامترهایی همچون موقعیت جغرافیائی عملیات، کشور ، سطوح رقابت بین شرکت‌ها و شرایط اقتصادی می‌باشد. معیار در ترکیب با پارامترهای اقتصادی، به صورت فرمول (۲۹) معرفی می‌شود[۲]:

$$K_{TL(i)} = \min . \left[\frac{K_{o(i)} . P_{D(i)} . C_{o(i)}}{Q_{(i)}} \right] \qquad (۲۹)$$

که در اینجا:

$K_{o(i)}[-]$:بخش فنی مربوط به کامیون معدنیi ام

$P_{D(i)}[\$]$:قیمت تحویل کامیون معدنیi ام

$C_{o(i)}\left[\$/hour\right]$:هزینه های عملیاتی و مالکیت کامیون معدنیi ام

$Q_{(i)}[mt]$: ماکزیمم ظرفیت باربری کامیون معدنیi ام

همانطور که نشان داده شد ضرایب تفضیلی وابسته به اندازه تجهیزات هستند و این مدل فقط می‌تواند برای مقایسه کامیون‌های با ظرفیت باربری مشابه انجام گیرد. اگر هیچ کدام از قیمت‌های تحویل و هزینه‌های

مالکیت و عملیاتی قابل دسترس نباشد در این جا توصیه می‌شود که روابط (۲۷) و (۲۸) در اولین مرحله مقایسه مورد استفاده قرار بگیرند[۲].

۵- مورد مطالعاتی:

در مورد انتخاب شرکت سازنده کامیون برای خرید کامیون ۸۵ تنی معدن چادرملو، از روش ضرایب تفضیلی که هم عوامل فنی و عوامل اقتصادی کامیون‌ها را در نظر می‌گیرد استفاده شد. همان گونه که اظهار شد در صورت نداشتن پارامترهای ورودی اقتصادی می‌توان از بخش فنی معیار برای انتخاب کامیون استفاده کرد. به علت همکاری نکردن شرکت‌ها و در دسترس نبودن پارامترهای اقتصادی هر کامیون در این مطالعه برای همه کامیون‌ها از مقدار استاندارد هزینه‌های امریکا برای تمام کامیون‌ها استفاده شد. مقایسه بین شرکت‌های کاترپیلار، کوماتسو، ترکس و O&K صورت گرفت. اطلاعات فنی مربوط به کامیون‌ها در جدول ۳ ارائه شده‌اند. این اطلاعات مورد بررسی قرار گرفت و نتایج در جدول ۴ خلاصه شده است.ه از جنبهٔ فنی، کامیون شرکت کوماتسو دارای کمترین امتیاز می‌باشد، لذا کامیون Komatsu-HD785-5 برای خرید به معدن توصیه می‌شود. با توجه به بخش فنی- اقتصادی کامیون Terex پیشنهاد می‌گردد[۵].

جدول۳- مشخصات فنی کامیون‌های مختلف به منظور مقایسه[۳،۴]

نام کمپانی	O&k	Terex	Komatsu	Caterpillar
نام کامیون	OK-100	Terex-TR100	Komatsu-HD785-5	Cat777c
وزن ناخالص کامیون(ton)	۱۴۴/۵۸	۱۴۴/۵۸	۱۵۰/۹۸	۱۴۶/۹۶
وزن خالص(ton)	۶۲/۲۶	۶۲/۲۶	۶۳/۴۵	۶۰/۸۴
ماکزیمم ظرفیت صندوقه(ton)	۸۲/۳۲	۸۲/۳۲	۸۷/۵۳	۸۶/۱
ظرفیت حجمی(m^3)	۴۱/۷	۴۱/۷	۳۸/۶	۴۲/۱
ظرفیت کپه‌ای(m^3)	۵۷	۵۷	۶۰/۱	۶۰/۱
قدرت موتور(kw)	۷۸۳	۷۸۳	۸۰۷	۷۴۶
ماکزیمم سرعت(km/h)	۴۶	۴۷/۶	۶۱/۹	۶۰

جدول۴- نتایج حاصل از انتخاب کمپانی[۵]

نام کمپانی	O&k	Terex	Komatsu	Caterpillar
نام کامیون	OK-100	Terex-TR100	Komatsu-HD785-5	Cat777C
امتیاز بخش فنی	۰/۰۶۸۲	۰/۰۶۵۵	**۰/۰۵۱۸**	۰/۰۶۶۰
امتیاز بخش فنی و اقتصادی	۴۱۲۹۵/۶۵	۲۶۶۹۰/۱۸	**۲۹۴۸۵/۵۸**	۳۸۱۹۴/۷۹

۶- نتیجه‌گیری و پیشنهاد:

درپایان می‌توان گفت که روش ارائه شده در این مدل، می‌تواند به عنوان معیاری نوین برای انتخاب کامیون‌های معدنی در نظر گرفته شود و می‌توان آن را برای اهداف زیر نیز به کارگرفت:

۱- پیش انتخاب کامیون معدنی: این روش یک پیش نمایش به منظور کنار گذاشتن کامیون‌هایی با بزرگترین انحراف از پارامترهای تحلیل شده را ارائه می‌دهد. فقط کامیون‌هایی با کمترین ارزش ضریب KTL، باید در مراحل بعدی فرآیند در نظر گرفته شوند.

۲- امکان اصلاحات و بهبود طراحی کامیون: با استفاده از این روش، مفید بودن اصلاحات پیشنهاد شده و یا تحلیل شده می‌تواند ارزیابی شوند. به منظور مقایسه امتیازات اصلاحات پیشنهاد شده با مقدار اصلی، ارزش‌های مربوط به ضریب KTL باید محاسبه شده باشد. کمترین ارزش ضریب KTL مناسب‌ترین سناریو را نشان می‌دهد.

۳- توسعه و یا تهیه ماشین جدید(مدل جدید): سازندگان می‌توانند با استفاده از این روش مدل جدیدی از کامیون را طراحی کنند.

۴- امکان مقایسه کامیون‌های با ماکزیمم ظرفیت بارگیری مشابه و نزدیک به هم

مراجع

2,Society for Mining , Metalurgy and [1] KENNEDY, B.A, (1990), " *Surface mining*", Edition Exploration.

[2] Dragan Komljenovic,Kostas Fytas, Jacek Paraszczak, (2003),"*A Selection Methodology for rear Mining Trucks*",MPES.

[3] Technical documentation:" *Caterpillar, Euclid, Terex, Unit Rig, Komatsu, Liebherr, O&K, Belaz*".

[4] "*Caterpillar performance handbook*", (1994), Edition 25, Caterpillar INS.

[۵] موسوی، سید ولی،(۱۳۸۳)، "*توسعهٔ نرم‌افزار به منظور تعیین تعداد کامیون در سیستم شاول- کامیون با نگرش ویژه بر طرح توسعهٔ معدن سنگ‌آهن چادرملو*"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

[6]Atkinson Thomas, (1992), " *Selection and sizing of excavating equipment*", Mining Engineering Handbook, SME,pp761-782..