

بهبود بهره‌وری سیستم حمل و نقل با استفاده از مدل برنامه‌ریزی ریاضی و فرایند تحلیل سلسله مراتبی

کوروش عشقی (دانشیار)

کازم عسکری‌فر (کارشناس ارشد)

دانشکده‌ی مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی شریف

بهبود سیستم‌های حمل و نقل یکی از مهم‌ترین مقولات در برنامه‌های توسعه اقتصادی هر کشوری است. در این نوشتار یک مدل برنامه‌ریزی به‌منظور سنجش بهره‌وری در سیستم حمل و نقل در ایران ارائه شده است. در این تحقیق نیروی کار در سه بخش مدیریتی، عملیاتی و اداری و نیز سرمایه به‌عنوان ورودی‌های مدل فرض شده‌اند. پیشینه‌سازی شاخص بهره‌وری کل نیز به‌عنوان تابع هدف در نظر گرفته شده است. در تابع هدف مدل از یک تابع وزن‌دار متشکل از عوامل مختلف تشکیل‌دهنده شاخص بهره‌وری کل استفاده شده که اوزان آنها با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی محاسبه شده است. پس از حل مدل در یک نمونه‌ی عملی سطح بهینه‌ی شاخص بهره‌وری کل، شاخص‌های بهره‌وری جزئی و همچنین مقدار بهینه‌ی هر یک از متغیرها در سیستم حمل و نقل مورد نظر تعیین شده است. همچنین، حساسیت مدل نسبت به نوسان غیرمنتظره‌ی تقاضای مسافران و نیز تأثیر تغییرات یکسری از عوامل مهم در تصمیم‌گیری‌های این بخش بر نتایج مدل مورد بررسی قرار گرفته است.

مقدمه

در دنیای امروز حمل و نقل از اهمیت ویژه‌ی برخوردار است و از آن به‌عنوان شریان اقتصادی، جامعه یاد شده است. بر همین اساس مطالعات علمی بسیاری در زمینه‌های مختلف اقتصادی، سیاسی، فرهنگی، اجتماعی حول مبحث حمل و نقل انجام شده است که هدف همه‌ی آنها کمک به اتخاذ تصمیمات صحیح در شکل‌دهی سیستمی کارآ و فعال از یک سو، و از سوی دیگر رفع نقایص ایجاد شده در این بخش با توجه به تجربیات قبلی مطالعات انجام شده است. بهره‌وری به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مباحث مطرح در بهبود عملکرد سیستم‌های مختلف، در بخش حمل و نقل نیز جایگاه ویژه‌ی دارد و شاخص‌های بسیاری خاص این صنعت تدوین شده است. بهبود بهره‌وری سیستم حمل و نقل در ابعاد مختلفی مورد توجه قرار گرفته است که هر یک سعی در بالا بردن سطح شاخص‌های خود دارند. اما با توجه به وضعیت مکانی، زمانی، اقتصادی و غیره محدودیت‌هایی مطرح می‌شوند که بر سطح بهینه‌ی شاخص‌ها اثرگذار می‌شوند و با در نظر گرفتن سایر اجزای سیستم این مقدار از حد مشخصی بالاتر نخواهد رفت. بنابراین یافتن این حد بهینه علاوه بر بهبود این شاخص‌ها، کمک شایانی در برنامه‌ریزی‌های سیستم حمل و نقل کرده و از اشتباهاتی که متوجه تخصیص منابع و یا تصمیم‌گیری است جلوگیری خواهد کرد. مدل برنامه‌ریزی ریاضی به‌عنوان یک ابزار کارا می‌تواند با در نظر گرفتن محدودیت‌ها و همچنین تابع هدف متناسب با سیستم

حمل و نقل این حد بهینه را تعیین کند. در این نوشتار سعی شده است که با تحقیق این مطلب، برای بهبود بهره‌وری کل سیستم حمل و نقل مدلی ارائه شود.^[۱-۳]

مدل برنامه‌ریزی ریاضی تعیین بهره‌وری سیستم حمل و نقل

در بهره‌وری کلیه سیستم‌ها یکی از مهم‌ترین مسائل، شناخت و تعریف ورودی و خروجی‌های سیستم است. در اکثر مطالعات انجام شده در زمینه‌ی حمل و نقل ورودی این بخش را دو عامل کار و سرمایه، و خروجی آن را مسافر کیلومتر و تن کیلومتر در نظر گرفته‌اند.^[۲] این مطالعه با استمداد از این تقسیم‌بندی ابتدا به تفکیک ورودی‌ها و عامل نیروی کار با توجه به تخصص‌های موجود در این بخش، به سه عامل نیروی کار مدیریتی، اداری و عملیاتی، و عامل سرمایه نیز به سرمایه‌های ثابت و هزینه‌های جاری دوره تقسیم شده است.^[۳]

ابتدا شکل کلی مدل مطرح می‌شود که در آن به تعریف متغیرهای تصمیم، تابع هدف و محدودیت‌های مدل می‌پردازیم. در این حالت متغیرهای تصمیم شامل نفر ساعت نیروی کار مدیریتی، اداری و عملیاتی و نیز میزان سرمایه‌ی ثابت و جاری سیستم طی دوره مورد مطالعه است. تابع هدف مدل شاخص بهره‌وری کل سیستم است که نسبت خروجی وزن‌دار به ورودی وزن‌دار است.^[۴-۷]

شکل کلی مدل در دوره ی معین i چنین است:

$$\text{Max } P = \text{TFP}_i = \left(W_p \cdot C_p \cdot (NP \cdot \bar{L}) + W_g \cdot C_g \cdot (WG \cdot \bar{L}) \right) / \left(W_{op} \cdot C_{op} \cdot OPI + W_{of} \cdot C_{of} \cdot OFI + W_m \cdot C_m \cdot MI + W_{vc} \cdot VCI + W_{fc} \cdot FCI \right) \quad (1)$$

Subject To:

$$OFI - f_{of}(NP, WG) \geq 0 \quad (2)$$

$$OPI - f_{op}(NP, \bar{L}, WG, \bar{L}) \geq 0 \quad (3)$$

$$MI - f_m^{of}(OFI) \geq 0 \quad (4)$$

$$MI - f_m^{op}(OPI) \geq 0 \quad (5)$$

$$FCI - f_{fc}(NP, WG) \geq 0 \quad (6)$$

$$VCI - f_{vc}(NP, \bar{L}, WG, \bar{L}) \geq 0 \quad (7)$$

$$P - f_p(VCI, FCI, OFI, OPI, MI) \geq 0 \quad (8)$$

$$NP \cdot \bar{L} - DM_p \geq 0 \quad (9)$$

$$WG \cdot \bar{L} - DM_g \geq 0 \quad (10)$$

$$\text{All Variables} \geq 0 \quad (11)$$

OFI : میزان ورودی نیروی کار اداری (نفر ساعت) به سیستم حمل و نقل؛

MI : میزان ورودی نیروی کار مدیریتی (نفر ساعت) به سیستم حمل و نقل؛

FCI : میزان ورودی سرمایه ی ثابت (واحد پول) به سیستم حمل و نقل؛

VCI : میزان ورودی سرمایه ی جاری (واحد پول) به سیستم حمل و نقل؛

$f_{of}(NP, WG)$: تابع تخمین میزان نفر-ساعت نیروی اداری مورد نیاز برای خروجی کل سیستم؛

$f_{op}(NP, \bar{L}, WG, \bar{L})$: تابع تخمین میزان نفر-ساعت نیروی عملیاتی مورد نیاز برای خروجی کل سیستم؛

$f_m^{of}(OFI)$: تابع تخمین میزان نفر-ساعت مدیریتی مورد نیاز به ازای کل نیروی اداری سیستم حمل و نقل؛

$f_m^{op}(OPI)$: تابع تخمین میزان نفر-ساعت نیروی مدیریتی مورد نیاز به ازای کل نیروی عملیاتی سیستم حمل و نقل؛

$f_{fc}(NP, WG)$: تابع تخمین میزان سرمایه ی ثابت مورد نیاز برای خروجی کل سیستم؛

$f_{vc}(NP, \bar{L}, WG, \bar{L})$: تابع تخمین میزان سرمایه ی جاری مورد نیاز برای خروجی کل سیستم؛

P_i : سود مورد انتظار سرمایه گذار در بخش حمل و نقل بر حسب واحد پول؛

$f_p(VCI, FCI, OFI, OPI, MI)$: تابع تخمین سود بخشی حمل و نقل؛

DM_p : تابع تخمین تقاضای بازار حمل و نقل نسبت به جابه جایی مسافر؛

DM_g : تابع تخمین تقاضای بازار حمل و نقل نسبت به جابه جایی بار. اولین محدودیت مدل برنامه ریزی ریاضی فوق (نامعادله ی ۲).

به منظور تأمین حداقل نیروی کار اداری سیستم حمل و نقل در مدل وارد شده است. در این محدودیت، میزان نیاز سیستم حمل و نقل به

نیروی کار اداری تابعی از دو متغیر مسافری و مقدار بار حمل شده (NP, WG) در نظر گرفته شده است. تأمین نیاز سیستم به حداقل

نیروی کار عملیاتی در محدودیت بعدی (نامعادله ی ۳) وارد مدل شده است. در این محدودیت نیاز سیستم به نیروی کار عملیاتی تابعی از

میزان خروجی سیستم حمل و نقل (مسافر کیلومتر و تن کیلومتر) است که علت آن را می توان مداخله ی مستقیم طول فاصله و حجم

جابه جایی بار و مسافر و نیاز سیستم به این بخش از نیروی کار بیان کرد. به دلیل تعامل مستقیم میان نیروی کار مدیریتی و دو بخش دیگر

در تعریف مدل فوق به دلیل هدف کلی مسئله، شاخص بهره وری کل سیستم حمل و نقل که همانا نسبت خروجی کل سیستم حمل و نقل به ورودی کل آن است به عنوان تابع هدف در نظر گرفته شده است. اما با توجه به دامنه ی تغییرات اهمیت ورودی و خروجی ها، به منظور دقت بیشتر مدل و تطابق آن با سیستم واقعی حمل و نقل از ورودی و خروجی وزن دار استفاده شده است.

در ادامه، نمادهای استفاده شده در مدل در دوره معین i تشریح می شوند، با این توضیح که در نمادهای W_k و C_k اندیس k می تواند مقادیر p را برای مسافر، g را برای بار، op را برای نیروی کار عملیاتی، of را برای اداری، m را برای کار مدیریتی، vc را برای سرمایه ی جاری و fc را برای سرمایه اختیار کنند:

W_k : وزن عامل k در شاخص بهره وری کل سیستم حمل و نقل؛

C_k : ارزش عامل k در شاخص بهره وری کل سیستم حمل و نقل؛

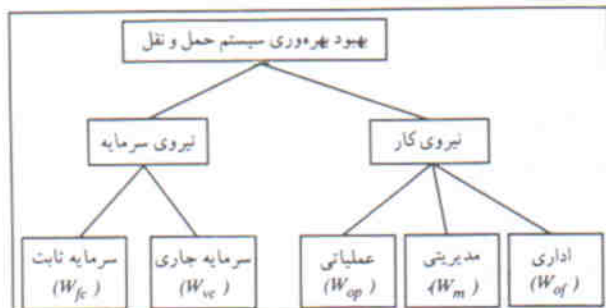
NP : میزان خروجی مسافر (تعداد مسافر) در سیستم حمل و نقل؛

\bar{L} : جابه جایی متوسط بار و مسافر در دوره توسط سیستم حمل و نقل؛

WG : میزان خروجی بار (تن) سیستم حمل و نقل؛

OPI : میزان ورودی نیروی کار عملیاتی (نفر ساعت) به سیستم حمل و نقل؛

و نقل؛



شکل ۱. نمودار فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی برای تعیین وزن هر یک از عوامل.

آراء ایشان برتری نسبی هر یک از این عوامل را به دست آورده، برتری مطلق (وزن مطلق) هر یک از ورودی‌ها و خروجی‌ها را ارائه داد. نمونه‌یی از این پرسش‌نامه‌ها در ضمیمه‌ی الف آمده است. در این قسمت باید به شاخص ناسازگاری سیستم توجه بسیار داشت تا تناقضات موجود در پاسخ‌های ارائه شده مشخص شوند. به‌علاوه استفاده از نرم‌افزارهای موجود در این زمینه علاوه بر سرعت بخشیدن به انجام مراحل کار، با بالا بردن دقت وزن‌های به دست آمده دقت مدل را به شکل قابل ملاحظه‌یی افزایش خواهد داد. یکی از نرم‌افزارهای مورد استفاده نرم‌افزار Expert Choice است که علاوه بر به دست آوردن دقیق وزن نهایی، در تحلیل حساسیت مدل نیز قابلیت فراوانی دارد. [۸-۱۰]

یکی دیگر از پارامترهایی که در تابع هدف مورد استفاده قرار گرفته است ارزش هر یک از عوامل خروجی و ورودی سیستم حمل و نقل است که در تابع هدف مدل برنامه‌ریزی ریاضی بانماد C_k مشخص شده است. این پارامترها برابر قیمت واحد هر یک از عوامل مورد نظر در دوره معین مورد بررسی‌اند که با توجه به شاخص قیمتی منتشر شده توسط اداره‌ی آمارهای اقتصادی بانک مرکزی جمهوری اسلامی و یا مرکز آمار ایران در مورد هر یک از عوامل تعریف شده می‌توان به راحتی به آنها دست یافت.

مرحله‌ی بعدی در تکمیل مدل، تخمین توابع استفاده شده در محدودیت‌های مدل است. تخمین این توابع بر چند اصل کلی استوار است. اولین اصل، انتخاب صحیح متغیرهای مستقل و وابسته در این توابع است که در شکل کلی محدودیت‌ها، متغیرهای مستقل درون پراتنژهای توابع آورده شده‌اند. اصل دوم در تخمین این توابع استفاده از آمارهای مرتبط با موضوع است. البته به دست آوردن اطلاعاتی که دقیقاً منطبق بر نیاز مدل باشد کاری دشوار، و بعضاً غیرممکن به نظر می‌رسد. به همین دلیل در تهیه‌ی این آمارها باید پس از به دست

نیروی کار می‌توان نیاز سیستم حمل و نقل به نیروی کار مدیریتی را تابعی از میزان نفر-ساعت نیروی کار اداری و عملیاتی سیستم حمل و نقل در نظر گرفت. البته با توجه به تعریف محدودیت‌های اول و دوم مدل برنامه‌ریزی، در مدل فوق به‌طور غیرمستقیم متغیر مستقل این تابع را نیز میزان خروجی سیستم در نظر گرفته‌ایم.

در بخش بعدی محدودیت‌های مدل، محدودیت‌های عوامل سرمایه‌ی صنعت حمل و نقل در نظر گرفته شده‌اند. نامعادله‌ی ۶ در مدل به ارضای نیاز سیستم حمل و نقل به حداقل میزان سرمایه ثابت مربوط است که تابعی است از میزان مسافر و بار جابه‌جا شده توسط این سیستم. در محدودیت بعدی مدل، نامعادله‌ی ۷، میزان نیاز سیستم حمل و نقل به حداقل سرمایه‌ی جاری در این صنعت مد نظر قرار گرفته است. در تابع $f_{vc}(NP, \bar{L}, WG, \bar{L})$ خروجی‌های سیستم حمل و نقل به‌عنوان متغیرهای مستقل تابع در نظر گرفته شده‌اند.

علاوه بر محدودیت‌های فوق که همگی به عوامل ورودی سیستم حمل و نقل مربوط‌اند دو محدودیت عمده‌ی موجود در صنعت حمل و نقل مربوط به ارضای حداقل سود مورد انتظار از طرف سرمایه‌گذار و حداقل تقاضای بازار حمل و نقل نسبت به سیستم مورد نظر است که به‌صورت نامعادلات ۸، ۹ و ۱۰ در مدل آمده‌اند. اکنون که کلیه‌ی متغیرها و پارامترهای این مدل تعریف شده‌اند، باید طریقه‌ی تعیین هر یک از این موارد به‌منظور تکمیل و استفاده از مدل و در نهایت روش حل آن به‌خوبی روشن شود.

روش حل مدل

در زمان استفاده از مدل، باید کلیه‌ی پارامترهای مدل و توابع مورد نیاز مدل با استفاده از روش‌های معتبر علمی تخمین زده شوند. استفاده از آمارها و روش‌های دقیق می‌تواند تا حد بسیار زیادی بر صحت نتایج مدل اثرگذار باشد.

همان‌طور که گفته شد در تابع هدف (شاخص بهره‌وری کل سیستم حمل و نقل) از ورودی و خروجی وزن‌دار استفاده شده است. یکی از بهترین روش‌های به دست آوردن این وزن‌ها، فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی است. نمودار این روش برای حل این مدل در شکل ۱ آمده است. همان‌گونه که در شکل نیز مشاهده می‌شود، وزن نهایی استفاده شده در تابع هدف برابر وزن مطلق به دست آمده در این روش است. برای به دست آوردن این وزن‌ها، باید با طرحی صحیح و دقیق پرسش‌نامه‌های متناسب با سیستم را طرح کرد، و سپس این پرسش‌نامه‌ها را به سیستم حمل و نقل تزریق کرد. سپس با استفاده از نظرات کارشناسان، مجریان و فعالان بخش حمل و نقل و جمع‌آوری

آوردن آنها عملیات پردازش اطلاعات و حذف آمارهای غیرمنطقی و متضاد روی آمارهای موجود صورت بگیرد تا از میان این آمارها، چکیده‌ی اطلاعات مفید در این زمینه به دست آید. البته گاهی ممکن است اطلاعات متناقض باشد و در قسمت حذف از قلم بیفتد، که این آمارها خود به خود باعث پیدایش مشکلاتی در مراحل بعدی تخمین خواهند شد. به همین دلیل این قسمت از تحقیق اهمیت فراوانی دارد و مستلزم صرف وقت زیادی است.

با توجه به این دو مورد در تخمین توابع روش برازش^۱ این آمار به منظور تخمین این توابع انتخاب شده است. انجام فرض‌های صحیح در برازش اطلاعات از اهمیت بسیاری برخوردار است. به طور مثال انتخاب توابع به صورت خطی، چندجمله‌یی و نمایی و یا دیگر انواع توابع یکی از فرض‌هایی است که در ابتدای مراحل برازش باید صورت گیرد. به علاوه باید به کمک آزمون‌های آماری مورد نیاز، از صحت پارامترهای به دست آمده اطمینان حاصل کرد و با توجه به خطای در نظر گرفته شده در برازش اطلاعات فواصل اطمینان را برای هر یک از پارامترها به دست آورد.^[۱۱، ۱۲]

مطالعه‌ی موردی مدل

پس از تعیین شکل کلی مدل و روش حل آن، نتایج مدل با در نظر گرفتن یک مطالعه‌ی موردی بر روی یک شرکت حمل و نقل در استان فارس مورد آزمایش قرار گرفته است. اولین مرحله در تعیین وزن نسبی عوامل تهیه‌ی پرسش‌نامه و تزریق آن به سیستم مورد مطالعه بود که این پرسش‌نامه در ضمیمه‌ی الف آورده شده است سپس به کمک فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی و نرم‌افزار Expert Choice^[۸] وزن نهایی عوامل موجود در تابع هدف مطابق جدول ۱ به دست آمده است.

در تخمین توابع مورد نیاز مدل، جامعه‌ی آماری شامل هفت

جدول ۱. وزن‌های به دست آمده از روش AHP برای استفاده در حل مدل.

پارامتر مورد نظر	مقدار به دست آمده
W_p	۱/۰۰۰
W_g	۰/۰۰۰
W_{op}	۰/۱۹۹
W_{of}	۰/۱۰۴
W_m	۰/۱۹۷
W_{fc}	۰/۳۱۴
W_{pc}	۰/۱۸۶

نیاز به‌ازای کل میزان نیروی اداری و عملیاتی سیستم حمل و نقل به دست آمده است. مقادیر ضریب زاویه و عرض از مبدأ تابع تخمین نیاز هر نفر مسافر به یک واحد سرمایه‌ی ثابت در دوره مورد بررسی نیز به ترتیب برابر ۲۰ و ۳۵۰۰۰۰ (هزار ریال) به دست آمده است.

تابع تخمین هزینه‌های متغیر سیستم در ابتدا به صورت خطی در نظر گرفته شد، اما با آزمون‌هایی که با استفاده از روش‌های مختلف رگرسیون انجام شد این فرضیه مردود و تابع به صورت یک تابع توانی در نظر گرفته شد. در به دست آوردن تابع با استفاده از لگاریتم داده‌ها و برازش کردن آنها و سپس انجام عکس عمل لگاریتم، مقادیر ضریب و توان متغیر مستقل به ترتیب برابر با ۲/۰ و ۵/۰ به دست آمدند. در ادامه محدودیت مربوط به برآورده ساختن انتظار سرمایه‌گذار نسبت به سود بنگاه با توجه به روش‌های محاسبه‌ی سود یک شرکت در مباحث اصول حسابداری که مبتنی بر در آمد و هزینه است تابع تخمین سود این شرکت محاسبه شده است و در انتها با استفاده از برازش آمار موجود، چون تقاضای بازار حمل و نقل در طی دو دوره‌ی مورد بررسی (سال‌های ۱۳۷۵ و ۱۳۷۸) به ترتیب برابر با ۱۸۰/۰۰۰ و ۳۵۰/۰۰۰ نفر مسافر بوده است این میزان تقاضا به صورت محدودیت تقاضا در مدل وارد شده است. با توجه به آنچه گفته شد در نهایت شکل مدل برای مطالعه موردی به صورت زیر حاصل شد.

تقاضای بازار، میزان نیاز به هر یک از عوامل مؤثر در تولید را نیز ارائه دهد.

به‌طور مثال این مدل بیان می‌کند که نفر-ساعت نیروی کار مدیریتی در سال ۱۳۷۵ برابر ۱۹/۷٪، نفر-ساعت نیروی کار اداری ۱۳/۷٪ و نفر-ساعت نیروی کار عملیاتی ۱۲/۳٪، سرمایه‌ی ثابت بنگاه ۱۰/۴٪ کمتر و هزینه‌های جاری آن ۱۰/۲٪ بیشتر از میزان بهینه‌ی خود بوده است. در مورد سال ۱۳۷۸ نیز نتایج نشان‌دهنده‌ی تفاوت فاحش میان وضعیت سیستم و حالت بهینه‌ی آن است. در این دوره نفر-ساعت نیروی کار مدیریتی ۱۶/۱٪، نفر-ساعت نیروی کار اداری ۱۷/۵٪ و نفر-ساعت نیروی کار عملیاتی ۲۷/۹٪، سرمایه‌ی ثابت بنگاه ۲۵/۱٪ کم‌تر و هزینه‌های جاری آن ۲۰/۱٪ بیشتر از میزان خود بوده است. همچنین به‌منظور ارزیابی بهتر عملکرد سیستم مورد مطالعه و نتایج مدل، مقایسه‌ی شاخص‌های بهره‌وری جزئی نیز در دو دوره‌ی مورد نظر و نتایج مدل در شکل‌های ۲ تا ۶ آورده شده‌اند. همان‌گونه که مشاهده می‌شود با استفاده از مدل اکثریت شاخص‌های جزئی نیز بهبود قابل توجهی می‌یابند. البته چنان که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، بهره‌وری جزئی نیروی اداری در وضعیت واقعی سیستم در سال ۱۳۷۵ بالاتر از حالت پیشنهادی مدل است، اما همین شاخص در حالت پیشنهادی سال ۱۳۷۸ بالاتر از وضعیت واقعی سیستم است. در مورد بهره‌وری جزئی هزینه‌های جاری نیز عکس این امر در دو دوره‌ی مورد بررسی صادق است. به هر حال مدل با توجه به محدودیت‌های تعریف شده برای سیستم، و با هدف بالا بردن بهره‌وری کل سیستم طراحی شده و نمی‌توان انتظار داشت که همزمان کلیه‌ی شاخص‌های جزئی آن را نیز بهبود بخشد، زیرا تغییر در بهره‌وری کل سیستم مستلزم تغییراتی است که ممکن است منجر به کاهش برخی از شاخص‌های جزئی بهره‌وری شود. به‌طور

$$\text{Max } P = \text{TFP}_i = \left((1)(2000)(NP, L) \right) / \left((0/199)(2000)(MI) + (0/104)(10000)(OFI) + (0/199)(12000)(OPI) + (0/314)(FCI) + (0/186)(VCI) \right) \quad (12)$$

Subject To:

$$OFI - 0/15NP - 2 \geq 0 \quad (13)$$

$$OPI - 0/685NP - \bar{L} - 6 \geq 0 \quad (14)$$

$$MI - 0/25 \times OFI \geq 0 \quad (15)$$

$$MI - 0/25 \times OFI \geq 0 \quad (16)$$

$$FCI - 35 \times NP - 20 \times NP \geq 0 \quad (17)$$

$$VCI - 0/2 \times (NP \cdot \bar{L})^{0.5} \geq 0 \quad (18)$$

$$2000 \times NP - VCI - 150 \times FCI - 7000 \times OFI - 12000 \times OPI - 20000 \times MI - 100 \times NP - 0.5 \times FCI \geq 0 \quad (19)$$

$$NP \cdot \bar{L} \geq 180000 \quad \text{at} \quad 1375 \quad (20)$$

$$NP \cdot \bar{L} \geq 350000 \quad \text{at} \quad 1378 \quad (21)$$

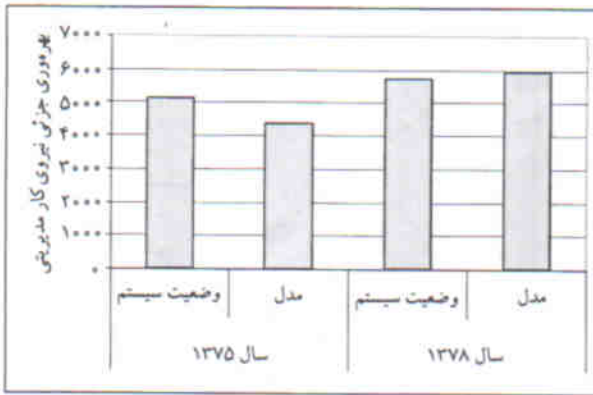
$$\text{All Variables} \geq 0 \quad (22)$$

نتایج و بحث

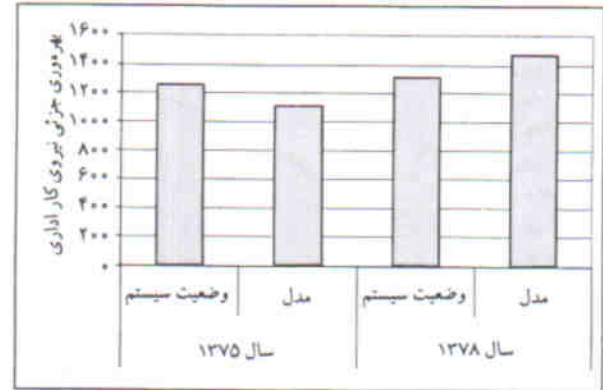
در ادامه‌ی این تحقیق، مدل برنامه‌ریزی ریاضی به دست آمده با استفاده از نرم‌افزار LINGO حل شد که نتایج آن در مقایسه با دو دوره‌ی مورد نظر در جدول ۲ آمده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود بهره‌وری کل به دست آمده براساس مدل در سال ۱۳۷۵ معادل ۱۴/۶٪ و برای سال ۱۳۷۸ معادل ۱۵/۶٪ نسبت به بهره‌وری سیستم بالاتر است. این مدل همچنین قادر است با توجه به وضعیت

جدول ۲. نتایج به دست آمده از حل مدل نسبت به مقادیر واقعی در دو دوره مورد نظر.

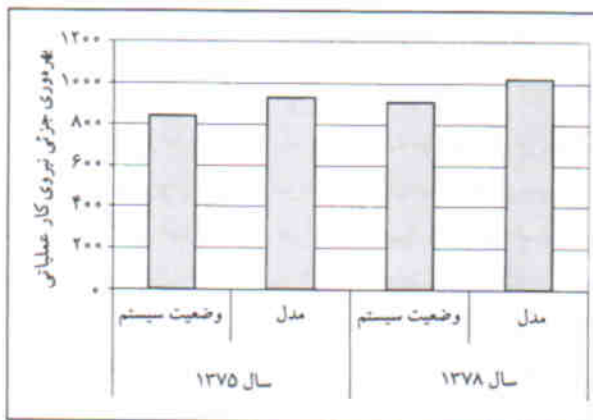
سال ۱۳۷۸		سال ۱۳۷۵		پارامترهای در نظر گرفته شده	
مدل	وضعیت سیستم	مدل	وضعیت سیستم		
۷۳۵۰	۵۵۰۰	۳۸۵۰	۳۴۵۰	ثابت	عوامل سرمایه (میلیون)
۲۲۰۵۰	۲۶۵۰۰	۱۱۰۲۵	۱۲۱۵۰	جاری	
۲۴۰	۱۷۳	۱۲۰	۱۰۴	عملیاتی	عوامل نیروی کار (هزار)
۴۴/۱۱	۳۷	۲۰/۵	۱۶/۵	مدیریتی	
۱۷۶/۲۶	۱۴۵	۸۳	۷۲	اداری	
۲۴۵۰۰۰	۱۶۱۰۰۰	۱۲۲۵۰۰	۹۴۵۰۰	خروجی (میلیون مسافر کیلومتر)	
۳۵۰	۲۳۰	۱۷۵	۱۳۵	تعداد مسافر (هزار)	
۲/۱۸	۱/۸۸	۲/۱۰	۱/۸۳	بهره‌وری کل	



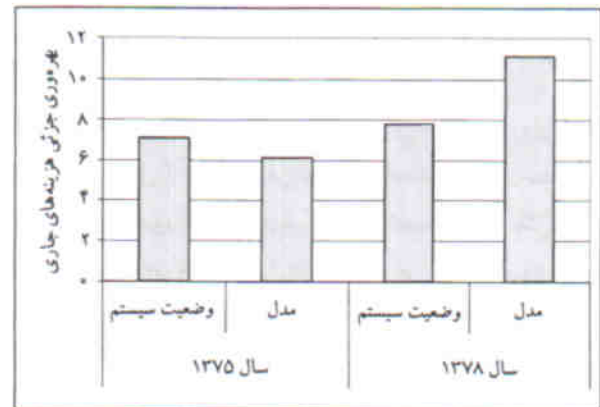
شکل ۵. مقایسه‌ی شاخص بهره‌وری جزئی نیروی کار مدیریتی در دوره‌های مورد نظر با نتایج مدل.



شکل ۲. مقایسه‌ی شاخص بهره‌وری جزئی نیروی کار اداری در دوره‌های مورد نظر با نتایج مدل.



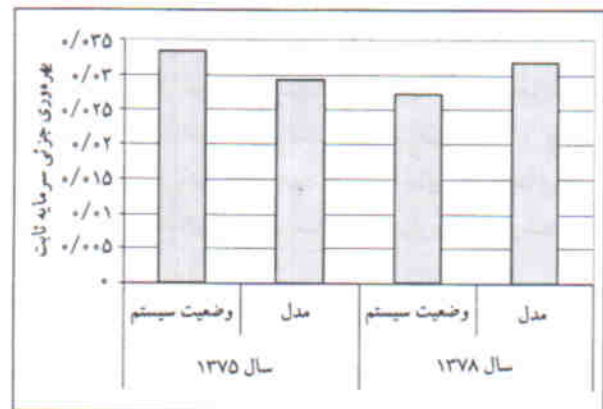
شکل ۶. مقایسه‌ی شاخص بهره‌وری جزئی نیروی کار عملیاتی در دوره‌های مورد نظر با نتایج مدل.



شکل ۳. مقایسه‌ی شاخص بهره‌وری جزئی هزینه‌های جاری در دوره‌های مورد نظر با نتایج مدل.

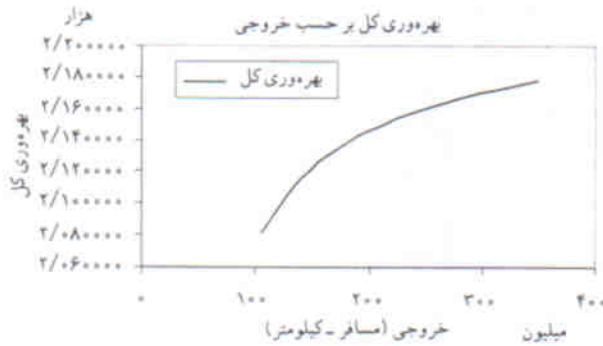
یابد یا در صورت نرخ بالاتر افزایش خروجی، شاخص جزئی این عامل افزایش یابد. با توجه به این امر می‌توان سطح انتظارات سیستم از هر یک از عوامل تولید را به حالتی متعارف و مورد قبول رسانید. در اندازه‌گیری بهره‌وری کل سیستم، ممکن است استفاده از ورودی و خروجی وزن دار تا حد بالایی بر صحت تصمیمات بعدی اثرگذار باشد. به دست آوردن وزن هر یک از ورودی‌ها و خروجی‌های سیستم نیاز به انتخاب یک روش صحیح دارد. همچنین پس از انتخاب روش مورد نظر، باید در طول محاسبات حساسیت مقادیر اندازه‌گیری شده را نسبت به تصمیمات اتخاذ شده سنجید تا در صورت بحرانی بودن، یک حالت از مدل حذف یا در صورت ممکن تصحیح شود.

تغییر وزن عوامل ورودی سیستم برحسب اهمیت عوامل نیروی کار در شکل ۷ آورده شده است. در این شکل متغیری که دارای بیشترین شیب بوده بالاترین حساسیت را نسبت به تغییرات اهمیت



شکل ۴. مقایسه‌ی شاخص بهره‌وری جزئی سرمایه‌ی ثابت در دوره‌های مورد نظر با نتایج مدل.

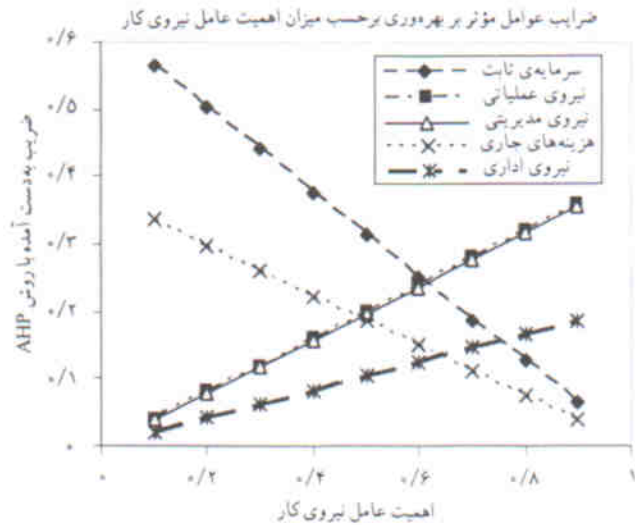
مثال برای بهبود بهره‌وری کل و بهبود سرویس‌دهی و همچنین رضای نیاز بازار باید نیروی عملیاتی را افزایش داد و به همین دلیل ممکن است که شاخص جزئی این عامل تولید در سیستم بهینه کاهش



شکل ۸. تغییرات بهره‌وری کل سیستم برحسب تغییرات خروجی آن.

دوره‌ی مورد پیش‌بینی است. برای این کار برحسب تعداد مسافر از ۱۵۰۰۰۰ نفر (در سال ۱۳۷۸) تا میزان ۵۰۰۰۰۰ نفر در سال برای مطالعه‌ی مورد نظر به حل مدل پرداخته است و نتایج آن در جدول ۳ آمده است.

تعیین بهره‌وری کل سیستم حمل و نقل یکی از خروجی‌های مدل است که در شکل ۸ تغییرات آن نمایش داده شده است. تغییرات بهره‌وری کل به صورت یک منحنی است که شیب آن با افزایش حجم خروجی کاهش می‌یابد. یکی از مواردی که در این نمودار به خوبی مشهود است رشد بهره‌وری کل با افزایش میزان خروجی است. نتیجه‌ی حاصل با مفاهیم اقتصادی نیز مطابقت دارد. زیرا نرخ رشد افزایش خروجی بیشتر از میزان رشد عوامل ورودی است و بنابراین بهره‌وری کل نیز افزایش می‌یابد. اما نکته‌ی قابل توجه این است که این افزایش نرخ یکسانی نداشته و با بالا رفتن حجم خروجی، بهره‌وری کل با سرعت کم‌تری افزایش می‌یابد. با امتداد منحنی در خروجی‌های بالاتر ممکن است این افزایش به سمت صفر میل کند یا رویه کاهش گذارد. آنچه مهم است انتخاب نقطه‌ی بی‌استمرار در محور خروجی، که تقریباً شیب کمی داشته و درصد تغییرات شیب آن حول این نقطه بسیار کم باشد. از طرف دیگر باید سایر پارامترهای مدل به خصوص تقاضای بازار را مد نظر قرار داد تا در خصوص



شکل ۷. نمودار تغییرات وزن عوامل ورودی سیستم برحسب اهمیت عوامل نیروی کار.

عوامل نیروی کار دارد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود در این مطالعه بالاترین شیب مربوط به متغیر سرمایه‌ی ثابت است. عامل سرمایه‌ی ثابت در این تغییرات بالاترین میزان حساسیت را به خود اختصاص می‌دهد و چون یکی از مهم‌ترین عوامل ورودی به شمار می‌آید، نشانگر اهمیت دقت در تعیین نسبت عامل نیروی کار به سرمایه است. پس از سرمایه‌ی ثابت دو عامل نیروی کار مدیریتی و عملیاتی بیشترین حساسیت را داشته و کم‌ترین حساسیت نیز به نیروی کار اداری مربوط می‌شود. با توجه به آنچه گفته شد، این وزن‌ها در تعیین خروجی مدل مستقیماً تأثیر دارند، و باید در تحلیل حساسیت مدل اثرات این تغییر را بر هر یک از خروجی‌ها در نظر گرفت. یکی دیگر از قابلیت‌های مدل، یا شاید مهم‌ترین قابلیت آن یعنی توانایی پیش‌بینی بهینه‌ی مورد نیاز عوامل سه‌گانه نیروی کار و عوامل دوگانه‌ی سرمایه‌ی سیستم در نوسانات تقاضای بازار بررسی شده است. باید این مطلب را مد نظر داشت که این مدل تقاضای بازار را پیش‌بینی نمی‌کند و لازمی استفاده از آن داشتن تقاضای بازار در

جدول ۳. نتایج به دست آمده توسط مدل بر حسب تغییرات تقاضای بازار.

بهره‌وری کل	سرمایه‌ی ثابت	هزینه‌های جاری	نیروی مدیریتی	نیروی عملیاتی	نیروی اداری	تعداد مسافر	خروجی (مسافر کیلومتر)
۲/۰۸۱۴۸۳	۳۳۵۰۰۰۰۰	۹۴۵۰۰۰۰۲	۱۷/۵۳۱	۱۰۲/۸۵۷	۷۰۱۲۳	۱۵۰۰۰۰	۱۰۵۰۰۰۰۰۰
۲/۱۱۴۶۴۵	۴۳۵۰۰۰۰۰۰	۱۲۶۰۰۰۰۰۰	۲۴/۱۷۶	۱۳۷/۱۴۲	۹۶۷۰۶	۲۰۰۰۰۰	۱۴۰۰۰۰۰۰۰
۲/۱۳۵۰۵۵	۵۳۵۰۰۰۰۰۰	۱۵۷۰۰۰۰۰۰	۳۰/۸۲۲	۱۷۱/۴۲۸	۱۲۳۲۸۹	۲۵۰۰۰۰	۱۷۵۰۰۰۰۰۰
۲/۱۴۸۸۸۱	۶۳۵۰۰۰۰۰۰	۱۸۹۰۰۰۰۰۰	۳۷/۴۶۷	۲۰۵/۷۱۴	۱۴۹۸۷۱	۳۰۰۰۰۰	۲۱۰۰۰۰۰۰۰
۲/۱۵۸۸۶۷	۷۳۵۰۰۰۰۰۰	۲۲۰۵۰۰۰۰	۴۴/۱۱۳	۲۴۰/۰۰۰	۱۷۹۴۵۴	۳۵۰۰۰۰	۲۴۵۰۰۰۰۰۰
۲/۱۶۶۴۱۸	۸۳۵۰۰۰۰۰۰	۲۵۲۰۰۰۰۰	۵۰/۷۵۹	۲۷۴/۲۸۵	۲۰۳۰۳۶	۴۰۰۰۰۰	۲۸۰۰۰۰۰۰۰
۲/۱۷۲۳۲۸	۹۳۵۰۰۰۰۰۰	۲۸۳۵۰۰۰۰	۵۷/۴۰۲	۳۰۸/۵۷۱	۲۲۹۶۱۹	۴۵۰۰۰۰	۳۱۵۰۰۰۰۰۰
۲/۱۷۷۰۷۸	۱۰۳۵۰۰۰۰۰۰	۳۱۵۰۰۰۰۰	۶۴/۰۵۰	۳۴۲/۸۵۷	۲۵۶۲۰۲	۵۰۰۰۰۰	۳۵۰۰۰۰۰۰۰

متخصص است تا در صورت لزوم بتواند به برآورده ساختن نیاز سیستم بپردازد.

نتیجه گیری

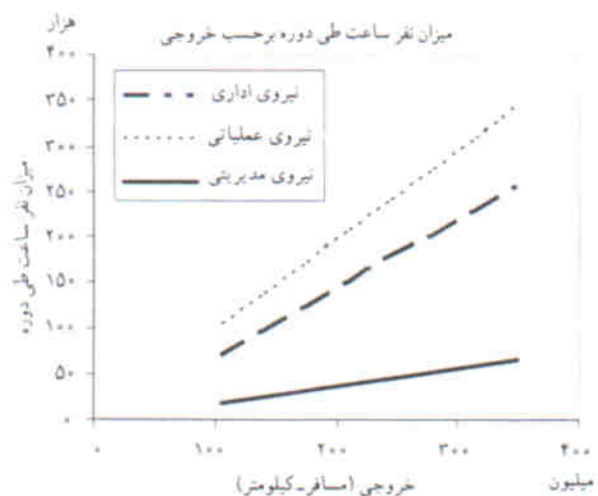
با توجه به آنچه گفته شد، سیستم حمل و نقل در بسیاری از موارد نیاز به بررسی دوره‌یی دارد. ممکن است با توجه به یک‌سری شرایط ایجاد شده در زمان و مکان خاص، برنامه‌های کلی در نظر گرفته شده نیاز به تصحیح یا حتی دگرگونی کلی داشته باشد. بنابراین می‌توان با ابزار علمی مناسب وضعیت سیستم را پیش‌بینی کرد و اقدامات لازم را به منظور مقابله با شرایط بحرانی انجام داد. برنامه‌ریزی ریاضی به‌عنوان یکی از قوی‌ترین ابزار در تصمیم‌گیری و پیش‌بینی شرایط مختلف، می‌تواند بسیاری از نیازهای فعلی را تبیین کند و در مورد نیازهای آتی سیستم پیش‌بینی‌های قابل اعتمادی ارائه کند. در این میان می‌توان این مدل را با تصحیح توابع تخمین زده شده و نیز با استفاده از آمار دقیق و قابل اطمینان، برای بسیاری از زمینه‌های مختلف به کار برد و براساس آن شرایط کلی سیستم را با حالت بهینه مقایسه کرد و سپس با استفاده از شاخص‌های جزئی بهره‌وری، به تصحیح عوامل مؤثر در بهره‌وری پرداخت. در سطح وسیع‌تر می‌توان با تعریف عوامل بیشتر و دقیق‌تر و نیز با پرداختن به جزئیات بیشتر، مدل را از نظر کارایی و اطمینان در سطح بالاتری قرار داد. به‌علاوه با استفاده از روش‌های دیگر برنامه‌ریزی ریاضی، همچون تحلیل پوششی داده‌ها، می‌توان به آزمایش دقیق‌تر نتایج مدل پرداخت که این خود می‌تواند زمینه‌ی توسعه‌ی مدل‌های قوی و مطمئن‌تری در زمینه‌ی بهبود بهره‌وری سیستم حمل و نقل باشد.

پانویس

1. Regression

منابع

1. شن، جرج سی. «اندازه‌گیری و تحلیل بهره‌وری»، ترجمه و تنظیم از معاونت اقتصادی و برنامه‌ریزی بنیاد مستضعفان و جانبازان انقلاب اسلامی، تهران، (آبان ۱۳۷۲).
2. "The Use Benchmarking in the Airport Reviews", Consultation Paper, Civil Aviation Authority, (2000).
3. Caves, D.W., Laurits, R. and Diewert, W.E. "The economic theory of index numbers and the measurement of input, output and productivity", *Econometrica*, 50 (6) pp 1393-1414, (1982).
4. Winston, W.L., "Introduction to mathematical programming"; Applications and Algorithms, Second Edition, Duxberry Press, (1995).
5. Sumanth, D.J. "Productivity engineering and management", McGraw Hill Edition, (1990).
6. Hooper, P.G. and Hensher, D.A. "Measuring total factor



شکل ۹. تغییرات ورودی سیستم برحسب تغییرات خروجی آن.

برنامه‌ریزی مقداری بهینه به دست آورد. در شکل ۹ نیز میزان تغییرات ورودی سیستم بر حسب خروجی آمده است.

همان‌گونه که مشاهده می‌شود افزایش این عوامل خروجی نسبت خطی دارند که می‌توان علت این امر را در تخمین توابع مورد استفاده برای محدودیت‌های به‌صورت خطی جستجو کرد. در این حالت ما با سه تابع خطی روبرو هستیم که شیب‌های متفاوتی دارند. بالاترین شیب مربوط به نیروی عملیاتی است و کم‌ترین آنها نیز مربوط به نیروی کار مدیریتی است. در مواردی که سیستم با تفاوت تقاضای فاحشی برخورد می‌کند، میزان نیاز آن به نیروی عملیاتی به نسبت بیشتر از نیروی اداری و مدیریتی است (به دلیل همان شیب بیشتر) و این امر مستلزم تسلط مدیریت به وضعیت بازار نیروی کار عملیاتی

productivity of airports-an index number approach", *Transportation Research*, 33, pp 249-259, (1997).

7. «بررسی و تعیین شرایط تعادلی عرضه و تقاضای حمل و نقل جاده‌یی کالا»، وزارت امور اقتصادی و دارایی، شماره ۳۴، (۱۳۷۴).
8. قدسی پور، سید حسن. «مباحثی در تصمیم‌گیری چند معیاره: فرایند تحلیل سلسله مراتبی AHP»، مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر، (۱۳۷۹).
9. Yang, J., Shi, P. "Applying hierarchy process in firm's overall performance evaluation: a case study in china", *International Journal of Business*, pp 29-46, (2002).
10. Sinuany-Stern, Z., Mehrez, A., Haddad Y., "An AHP/DEA methodology for ranking decision making units", *International Transaction in Operations Research*, 7, pp 109-124, (2000).
11. Bazaraa, M.S., Jarvis, J.J. and Sherli, H.D. "Linear programming and network flows", John Willey & Sons, Second Edition, (1997).
12. Neter, J., Kutner, M.H., Nachtsheim C.J. and Wasserman, W. "Applied linear regression models", Third Edition, Mc Graw-Hill, (1996).

ضمیمه

نمونه‌ی پرسش‌نامه‌ی مورد استفاده برای تعیین برتری نسبی عوامل در روش AHP.

شغل	میزان تحصیلات	رشته تحصیلی
شغل شما جزء کدام یک از سه دسته‌ی زیر است؟		
<input type="radio"/> مدیریتی <input type="radio"/> اداری <input type="radio"/> عملیاتی		
به نظر شما با توجه به سیستم حمل و نقل در ایران.		
کشور چگونه است؟	برای بالا بردن بهره‌وری این صنعت، اهمیت نیروی کار در برابر سرمایه در صنعت حمل و نقل	در صورت عدم تساوی، به چه میزان؟
<input type="radio"/> نیروی کار اهمیت بیشتری نسبت به سرمایه‌ی صنعت دارد. <input type="radio"/> سرمایه‌ی ورودی اهمیت بیشتری نسبت به نیروی کار دارد. <input type="radio"/> تقریباً اهمیت یکسانی دارند.	<input type="radio"/> متوسط است <input type="radio"/> زیاد است <input type="radio"/> بسیار زیاد است <input type="radio"/> بیش از اندازه زیاد است	<input type="radio"/> متوسط است <input type="radio"/> زیاد است <input type="radio"/> بسیار زیاد است <input type="radio"/> بیش از اندازه زیاد است
کار مدیریتی در صنعت حمل و نقل کشور چگونه است؟	برای بالا بردن بهره‌وری این صنعت، اهمیت عملکرد عوامل نیروی کار اداری در برابر نیروی کار	در صورت عدم تساوی، به چه میزان؟
<input type="radio"/> نیروی کار اداری مهم‌تر از نیروی کار مدیریتی است. <input type="radio"/> نیروی کار مدیریتی مهم‌تر از نیروی کار اداری است. <input type="radio"/> تقریباً اهمیت یکسانی دارند.	<input type="radio"/> متوسط است <input type="radio"/> زیاد است <input type="radio"/> بسیار زیاد است <input type="radio"/> بیش از اندازه زیاد است	<input type="radio"/> متوسط است <input type="radio"/> زیاد است <input type="radio"/> بسیار زیاد است <input type="radio"/> بیش از اندازه زیاد است
کار عملیاتی؟	برای بالا بردن بهره‌وری این صنعت اهمیت عملکرد نیروی کار اداری بالاتر است یا نیروی کار	در صورت عدم تساوی، به چه میزان؟
<input type="radio"/> نیروی کار اداری <input type="radio"/> نیروی کار عملیاتی <input type="radio"/> تقریباً اهمیت یکسانی دارند.	<input type="radio"/> متوسط است <input type="radio"/> زیاد است <input type="radio"/> بسیار زیاد است <input type="radio"/> بیش از اندازه زیاد است	<input type="radio"/> متوسط است <input type="radio"/> زیاد است <input type="radio"/> بسیار زیاد است <input type="radio"/> بیش از اندازه زیاد است
کار عملیاتی؟	برای بالا بردن بهره‌وری این صنعت اهمیت عملکرد نیروی کار مدیریتی بالاتر است یا نیروی کار	در صورت عدم تساوی، به چه میزان؟
<input type="radio"/> نیروی کار مدیریتی <input type="radio"/> نیروی کار عملیاتی <input type="radio"/> تقریباً اهمیت یکسانی دارند.	<input type="radio"/> متوسط است <input type="radio"/> زیاد است <input type="radio"/> بسیار زیاد است <input type="radio"/> بیش از اندازه زیاد است	<input type="radio"/> متوسط است <input type="radio"/> زیاد است <input type="radio"/> بسیار زیاد است <input type="radio"/> بیش از اندازه زیاد است