اندازه گیری عملکرد زنجیره تامین

مسعود سلیمانزاده[1]، مریم عابدی[2]

[1]دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع دانشگاه خاتم)

[2] دانش آموخته مهندسی صنایع دانشگاه علم و فرهنگ

1-m_soleimanzadeh@yahoo.com)

2-(maryam_abedi@yahoo.com)

چکیده

در هنگام تحلیل عملکرد سیستم ها، استفاده از عبارات کیفی از قبیل "خوب"، "مناسب"، "کافی" و "ضعیف"، مبهم می‌باشد. به همین دلیل، در این مواقع، معیارهای کمی بر معیارهای کیفی ترجیح داده می‌شوند. اما، شاخصهای عملکرد کمی به تنهایی ممکن است نتوانند عملکرد سیستم را همانند شاخصهای عملکرد کیفی ارزیابی کنند. مشکل تعریف شاخصهای عملکرد کمی نیز به همین موضوع بر می‌گردد. محدوده اندازه‌گیری نیز در تعریف شاخصهای عملکرد مهم است، مثلا برای یک سازمان یا چند سازمان، یا برای یک خط تولید یا چند خط تولید.

زنجیره تامین یک فرایند یکپارچه است که در آن مواد خام به محصول نهایی تبدیل می‌شوند، و به مشتری عرضه می‌شوند. هر زنجیره تامین معمولا شامل چهار بخش عرضه، تولید، توزیع و مشتری می‌باشد که هر یک از آنها از چند قسمت تشکیل شده‌اند. پیچیدگی زنجیره تامین ارتباط مستقیم با تعداد بخشها و قسمتهای زیرمجوعه دارد. هدف این مقاله توسعه چارچوبی برای انتخاب شاخصهای اندازه‌گیری عملکرد زنجیره تامین می‌باشد.

کلمات کلیدی : زنجیره تامین، مدیریت عملکرد، شاخص عملکرد، اندازه گیری عملکرد.

1- سابقه و کارهای قبلی

هنگامی که یک رویه، مدل، رویکرد، مطالعه موردی، یا سایر کارهای تحقیقاتی انجام می‌شوند، شاخصهایی برای اندازه‌گیری عملکرد سیستم، ارائه شده و بعضا تحلیل نیز می‌شوند. شاخصهای عملکرد متنوعی برای سیستمهای مختلف از جمله تولید، توزیع و سیستمهای موجودی استفاده می‌شود. تنوع و فراوانی شاخصهای اندازه‌گیری عملکرد، انتخاب سیستم اندازه‌گیری را مشکل می‌کند. معمولا تحقیقات مدیریت عملکرد بر روی سیستمهای اندازه‌گیری عملکرد فعلی، دسته‌بندی شاخصهای عملکرد و مطالعه شاخصهای یک گروه خاص، و ایجاد قوانین یا چارچوب برای توسعه انواع مختلف سیستمها انجام می‌شود.

Beamon (1996) برخی از مشخصات سیستمهای اندازه‌گیری عملکرد موثر و کارا را بیان نموده است، که در ارزیابی سیستمهای اندازه‌گیری قابل استفاده می‌باشند. این مشخصات عبارتند از: جامع بودن (اندازه‌گیری همه جوانب موثر)، عمومیت (در شرایط عملیاتی مختلف، مقایسه امکان‌پذیر باشد)، قابلیت اندازه‌گیری (داده‌های مورد نیاز قابل اندازه‌گیری باشند)، و سازگاری (شاخصها با اهداف سازمان سازگاری داشته باشند). جدا از تحلیل شاخصها براساس

اثربخشی آنها، بنچ‌مارکینگ (الگوبرداری) روش مهم دیگری است که در ارزیابی شاخصهای عملکرد استفاده می‌شود. الگوبرداری به عنوان وسیله‌ای برای شناسایی فرصتهای بهبود می‌باشد.

به منظور مطالعه تعداد زیاد شاخصهای عملکردی که موجود هستند، محققان آنها را دسته‌بندی می‌کنند. Neely, et. Al. (1995) تعدادی از این دسته‌ها را در مقاله‌اش ارائه نموده است که عبارتند از: کیفیت، زمان، انعطاف‌پذیری، و هزینه. این دسته‌بندی ابزار بسیار مفیدی در تحلیل سیستمها می‌باشد. برای مثال، یک مدل ممکنست برای بهبود مشخصات سیستم مثل زمان، توسعه داده شود. به کمک مدل می‌توان عملکرد زمان تحویل یا سررسید ساخت را با تغییر ترکیب سیستم، بررسی کرد. در این روش، تنها شاخص زمان انتخاب شده است. این کار را برای شاخصهای متعددی می‌توان انجام داد. بنابراین، شاخصهای گروه را می‌توان تجزیه و تحلیل و مقایسه کرد، که تحلیل کل وضعیت این گروه نیز آسان‌تر می‌شود.

یکی از مشکلترین سطوح انتخاب شاخصهای عملکرد، توسعه سیستمهای اندازه‌گیری عملکرد می‌باشد. این کار شامل سیستمهای اندازه‌گیری که خود سازمانها تهیه می‌کنند، نیز می‌باشد. سئوالات مهمی که باید پاسخ داده شوند، عبارتند از : چه چیزی باید اندازه‌گیری شود؟ در هر دسته از شاخصها، چند شاخص قرار گیرد؟ دوره ارزیابی چقدر باشد؟ ارزیابی مجدد کی و چگونه انجام شود؟ Neely, et. Al. (1995) اشاره کرده است که الگوهای ارزیابی مختلفی توسعه داده شده‌اند و معیارهایی نیز برای طراحی سیستم اندازه‌گیری تعریف شده است. انواع مختلف سیستمها، نیازمند مشخصات سیستم اندازه‌گیری خاص هستند، و بنابراین به سختی می‌توان یک رویکرد عمومی را استفاده کرد. بنابراین، کارهای گذشته به دنبال توسعه چارچوبهای اندازه‌گیری عملکرد انواع مختلف سیستمها که مشخصات بحرانی و کلیدی آنها مشترک هستند، بودند.

2- شاخصهای عملکرد زنجیره تامین

در این بخش انواع مختلف شاخصهای عملکرد که در مدلسازی زنجیره تامین، استفاده شده‌اند بررسی و تحلیل می‌شود، و در مورد کاربرد این شاخصها نیز بحث خواهد شد.

2-1- مرور

در مدلهای زنجیره تامین به طور عمده از دو شاخص عملکرد متفاوت استفاده شده است : 1) هزینه و 2) ترکیبی از هزینه و واکنش مشتری. هزینه معمولا شامل هزینه نگهداری و هزینه عملیاتی می‌باشد. شاخص واکنش مشتری شامل زمان تحویل، احتمال کمبود موجودی، و نرخ پر کردن انبار می‌باشد. جدول 1 مدلهای زنجیره تامین ارائه شده در مقالات و شاخصهای عملکرد مورد استفاده را نشان می‌دهد. این مدلها از شاخصهای عملکرد لیست شده به عنوان هدف استفاده کرده‌اند که می‌تواند حداقل‌سازی یا حداکثرسازی باشد و شرایط عملیاتی مختلف، محدودیتها می‌باشند.

جدول 1- شاخصهای عملکرد در مدلسازی زنجیره تامین (Beamon, 1998)

شاخص	مولف	
هزینه	Cohen and Lee (1988) Cohen and Lee (1989) Cohen and Moon (1990) Lee and Feitzinger (1995)	Pyke and Cohen (1993) Pyke and Cohen (1994) Tzafestas and Kapsiotis (1994)

هزینه و زمان فعالیت	Arntzen et. Al. (1995)
هزینه و عکس‌العمل مشتری	Altoik and Ranjan (1995) Christy and Grout (1994) Cook and Rogowski (1996) Davis (1993) Ishii et. Al. (1988) Newhart, Stott, and Vasko (1993) Towill (1991) Towill, Naim, and Wikner (1992) Wikner, Towill, and Naim (1991)
عکس‌العمل مشتری	Lee and Billington (1993)
انعطاف‌پذیری	Voudouris (1996)

شاخصهای عملکرد، ویژگی مهمی از زنجیره تامین می‌باشند و استفاده آنها در مدلهای زنجیره تامین چالش‌آور می‌باشد، از طرفی کیفی بودن برخی شاخصها و تبدیل آنها به شاخصهای کمی نیز به مشکل اضافه می شود. برخی شاخصهای کیفی عبارتند از : رضایت مشتری (Christopher, 1994)، جریان اطلاعات (Nicoll, 1994)، عملکرد عرضه‌کننده (Davis, 1993)، و مدیریت ریسک (Johanson and Randolph, 1995).

2-2- اندازه‌گیری شاخصهای عملکرد زنجیره تامین

هزینه، زمان فعالیت، عکس‌العمل مشتری، و انعطاف‌پذیری، همه به عنوان شاخصهای عملکرد زنجیره تامین به تنهایی یا به صورت ترکیبی استفاده شده‌اند. در این بخش محدودیتهای شاخصهای عملکرد زنجیره تامین، ارزیابی و شناسایی می‌شود.

2-2-1- شاخص عملکرد زنجیره تامین تکی

استفاده از شاخص عملکرد تکی به خاطر سادگی آن جالب است. البته، باید مطمئن شد که اگر شاخص عملکرد تکی استفاده می‌شود، این شاخص به اندازه کافی عملکرد سیستم را تشریح می‌کند. Beamon (1996) چند شاخص عملکرد زنجیره تامین تکی را شناسایی و ارزیابی نموده است. وی ضعف مهم هر یک از شاخصهای عملکرد ارزیابی شده براساس معیارهایی از قبیل جامع بودن، عمومی بودن، قابل اندازه‌گیری و سازگاری را مطرح نموده است. اغلب ضعف مشاهده شده در اکثر این شاخصهای عملکرد، جامع بودن آنها بوده است. به منظور جامع بودن شاخص، باید همه جوانب زنجیره تامین در نظر گرفته شود. به عنوان مثال، شرکتی تصمیم می‌گیرد که از هزینه به عنوان شاخص عملکرد زنجیره تامین استفاده نماید. اگرچه زنجیره تامین با حداقل هزینه فعالیت خواهد نمود، اما شاخص مدت زمان پاسخ به مشتری افزایش خواهد یافت یا انعطاف‌پذیری در پاسخگویی به تغییرات تصادفی در تقاضا کاهش خواهد یافت.

2-2-2- هزینه به عنوان شاخص عملکرد زنجیره تامین تکی

همانگونه که در جدول 1 دیدیم، هزینه یک شاخص عملکرد منتخب برای بیشتر مدلهای زنجیره تامین می‌باشد. هزینه یک منبع مهم است، اما تکیه کردن به هزینه به عنوان یک شاخص عملکرد در حال کاهش می‌باشد. Maskell (1991) نکات ضعف حسابداری مدیریت سنتی را برشمرده است. مسائلی که ارتباطی با دسته‌بندی هزینه، تغییرات هزینه (بخصوص هزینه‌های سربار)، و انعطاف‌پذیری نداشته باشند، همانند گزارشی هستند که دیر ارائه می‌شود. Lee and Billington (1992) تله‌های زیادی را در زمینه مدیریت زنجیره تامین شناسایی کرده‌اند و یکی از این تله‌ها، ارزیابی نادرست هزینه‌های موجودی می‌باشد. این مولفان دو هزینه موجودی عمومی را شناسایی کرده‌اند: 1) منسوخ شدن، و 2) کار مجدد به سبب تغییرات مهندسی. این مسئله توسط روشهای حسابداری هزینه جاری کاملا دیده

شده است، از قبیل محاسبات بالاسری و هزینه موجودی از قلم افتاده. مدلهای فعلی زنجیره تامین معمولا خودشان را محدود به شاخصهای هزینه سنتی می‌نمایند، و تا کنون به عنوان مزایای مدیریت هزینه استراتژیک زنجیره تامین استفاده نشده‌اند. Shank and Govidarajan (1992) و Barker (1996) مدیریت هزینه استراتژیک را در مورد زنجیره تامین استفاده نموده‌اند.

2-2-3- اهداف استراتژیک و شاخصهای عملکرد زنجیره تامین

Maskell (1991) پیشنهاد کرده است که شاخص عملکرد مورد نیاز یک سازمان تولیدی ارتباط مستقیم با استراتژی تولید انتخاب شده توسط شرکت دارد. دو دلیل برای حفظ و نگهداری این ارتباط عبارتند از : 1) ممکنست شرکت بخواهد بفهمد که آیا عملکرد به اهداف استراتژیک رسیده است یا خیر؟ و 2) اگر کارکنان شرکت بر روی چیزی که اندازه‌گیری خواهد شد، تمرکز کنند، به این ترتیب شاخصهای عملکرد، شرکت را هدایت خواهند نمود. اهداف استراتژیک نمونه و شاخصهای عملکرد متناظر در جدول 2 آورده شده‌اند. اهداف استراتژیک به ندرت فقط با یک شاخص عملکرد تعامل دارند؛ آنها معمولا با چند شاخص در تعامل هستند، و همیشه به وضوح تعریف نمی‌شوند. برای مثال، کیفیت محصول به روشهای مختلفی قابل اندازه‌گیری می‌باشد.

جدول 2- اهداف استراتژیک و شاخصهای عملکرد

اهداف استراتژیک	سیستم اندازه‌گیری عملکرد مرتبط
شرکت Q در نظر دارد محصولی با بالاترین کیفیت و کمترین هزینه ممکن تهیه کند.	هزینه کیفیت محصول
شرکت ABC، محصول X را خواهد ساخت و به طور مستمر محصول را به موقع و با حداقل هزینه به مشتری عرضه می‌کند.	هزینه مدت زمان تحویل محصول
شرکت XYZ محصول با کیفیت بالا تولید می‌کند که تقاضاهای آتی مشتریان را برآورده خواهد ساخت.	کیفیت محصول انعطاف‌پذیری

2-2-4- خلاصه ارزیابی اندازه عملکرد

دیدیم که شاخصهای عملکرد تکی که در تجزیه و تحلیل زنجیره تامین استفاده می‌شوند، جامع نیستند. در نتیجه، مشخصات مهم زنجیره تامین و تعامل آنها با هم نادیده گرفته می‌شود. اندازه‌گیری میزان استفاده از منابع نیز به عنوان بخش مهمی در زنجیره تامین تعریف می‌شود. بیشتر اهداف استراتژیک سازمان نه تنها حداقل‌سازی هزینه‌ها را در نظر نمی‌گیرند، بلکه خروجیهای کلی سازمان را نادیده می‌گیرند. بعلاوه، تاثیر نامعینی نتایج زنجیره تامین در سیستم نیز نادیده گرفته می‌شود که امکان تطبیق با تغییرات آینده را غیرممکن می‌کند.

سیستمهای اندازه‌گیری عملکرد زنجیره تامین فعلی مناسب نیستند، چراکه آنها تا حد زیادی بر روی استفاده از هزینه به عنوان شاخص اصلی، که جامع نمی‌باشد، تمرکز دارند. این سیستمها معمولا با اهداف سازمانی سازگار نیستند و تاثیر

نامعینی را نادیده می‌گیرند. بنابراین، اگرچه استفاده از شاخصهای عملکرد زنجیره تامین چندگانه در جهان واقعی عمومی‌تر می‌باشد، اما در مدلسازی زنجیره تامین عمومی نمی‌باشد. یک سیستم اندازه‌گیری عملکرد زنجیره تامین باید به گونه‌ای توسعه داده شود که موارد مذکور را در بر داشته باشد. در گام بعدی، چارچوب اندازه‌گیری عملکرد زنجیره تامین توسعه داده شده است.

3- آینده چارچوب اندازه‌گیری عملکرد

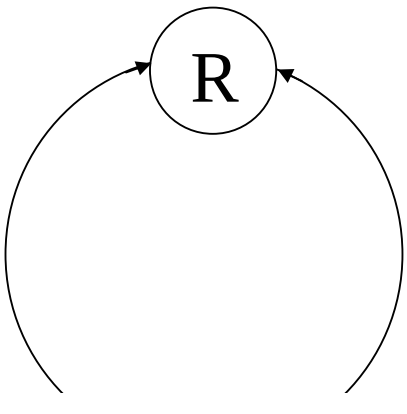
همانگونه که قبلا اشاره شد، سیستم های اندازه‌گیری عملکرد زنجیره تامین که شامل شاخصهای عملکرد تکی باشند، معمولا به اندازه کافی جامع نمی‌باشند و تعامل بین عوامل مهم و جوانب کلیدی اهداف استراتژیک سازمانی را نادیده می‌گیرند. اهداف استراتژیک شامل اجزاء کلیدی از قبیل مدیریت منابع، خروجی و انعطاف‌پذیری هستند. شاخصهای منابع (معمولا هزینه) و شاخصهای خروجی (معمولا واکنش مصرف‌کننده) به صورت گسترده در مدلهای زنجیره تامین استفاده شده‌اند. انعطاف‌پذیری کاربردهای محدود و مزایای زیادی برای زنجیره تامین دارد.

استفاده از منابع، خروجی مورد نظر، و انعطاف‌پذیری در مدل، برای موفقیت زنجیره تامین ضروری می‌باشد. بنابراین، یک سیستم اندازه‌گیری عملکرد زنجیره تامین باید بر این سه شاخص عملکرد تمرکز خاص داشته باشد: اندازه‌های منابع (R)، اندازه‌های خروجی (O)، و اندازه‌های انعطاف‌پذیری (F). هر یک از این سه نوع شاخص، اهداف متفاوتی دارند که در جدول 3 توضیح داده شده‌اند. سیستم اندازه‌گیری عملکرد زنجیره تامین باید هر یک از سه نوع شاخص را اندازه‌گیری کند (R, O and F)، همچنین هر سه شاخص نقش حیاتی در موفقیت کلی عملکرد زنجیره تامین دارند.

هر یک از این سه نوع شاخص عوامل مهمی هستند و اندازه هر یک از آنها بر دیگری تاثیر می‌گذارد. تعامل داخلی بین این سه نوع شاخص در شکل 2 نشان داده شده است.

جدول 3 – اهداف انواع شاخصهای عملکرد

نوع شاخص عملکرد	هدف	منظور
منابع	سطح بالای کارایی	مدیریت موثر منابع برای سودآوری ضروری می‌باشد.
خروجی	سطح بالای خدمت به مشتری	بدون خروجی قابل قبول، مشتری به عرضه‌کننده دیگری مراجعه خواهد نمود.
انعطاف‌پذیری	توانایی واکنش نشان دادن به تغییرات محیطی	در یک محیط نامعین، زنجیره‌های تامین باید توانایی واکنش نشان دادن به تغییرات محیطی را داشته باشند.



شکل 2 – سیستم اندازه‌گیری زنجیره تامین

بنابراین، سیستم اندازه‌گیری عملکرد زنجیره تامین باید شامل حداقل یکی از این سه شاخص باشد. هر یک از این شاخصها که انتخاب شوند، باید با اهداف سازمانی سازگاری داشته باشند. این سیستم اندازه‌گیری امکان مطالعه تعاملات بین شاخصها را فراهم می‌کند و حداقل سطح پایین عملکرد در سطوح مختلف را تضمین می‌کند. شاخصهای عملکرد در ادامه تشریح شده‌اند.

3-1- منابع

شاخصهای منابع شامل : سطوح موجودی، پرسنل مورد نیاز، تجهیزات مورد استفاده، انرژی مصرفی و هزینه می‌باشد. منابع معمولا بر حسب حداقل نیازمندیها (مقدار) یا یک شاخص کارایی ترکیبی اندازه‌گیری می‌شوند. کارایی شاخصها در استفاده از منابع در سیستمی که برای رسیدن به اهداف طراحی شده‌اند، بدست می‌آید. منابع کم تاثیر منفی بر روی خروجی و انعطاف‌پذیری سیستم دارند.

در ادامه مثالهایی از شاخصهای عملکرد منابع زنجیره تامین ارائه شده‌اند:

- **هزینه کل :** کل هزینه منابع استفاده شده.
- **هزینه‌های توزیع :** کل هزینه توزیع، شامل هزینه‌های حمل و نقل و جابجایی.
- **هزینه تولید :** کل هزینه تولید شامل هزینه‌های نیروی کار، نگهداری و تعمیرات، و دوباره‌کاری.
- **موجودی :** هزینه های مرتبط با نگهداری موجودی، شامل سرمایه‌گذاری خرید موجودی، خرابی و فساد موجودی، موجودی در جریان ساخت، هزینه موجودی کالاهای ساخته شده.
- **نرخ برگشت سرمایه‌گذاری :** اندازه‌گیری سودآوری سازمان. این نسبت معمولا به صورت نسبت سود خالص به کل داراییها بیان می‌شود.

3-2- خروجی

شاخصهای خروجی شامل : واکنش مشتری، کیفیت، و تعداد محصولات نهایی تولید شده می‌باشد. شاخصهای عملکرد خروجی بسیاری را به آسانی می توان به صورت کمی نمایش داد، از جمله:

- تعداد اقلام تولید شده
- زمان مورد نیاز برای تولید یک قلم خاص یا مجموعه‌ای از اقلام
- تعداد تحویل (سفارشات) به موقع

به هر حال، شاخصهای عملکرد خروجی دیگری هم وجود دارد که ارائه آنها به صورت کمی مشکل می‌باشد، از قبیل:

- رضایت مشتری

- کیفیت محصول

سطح حداقل خروجی اغلب مشخص است، اما ارتباط بین هزینه‌های مورد نیاز برای دسترسی به سطوح خروجی متفاوت معمولا در نظر گرفته نمی‌شود. ارزش افزوده یا هزینه در صورت عرضه پیش از موعد محصول چقدر است؟ اگر محصول دیر عرضه شود، چه هزینه‌هایی دارد؟ بعلاوه، شاخصهای خروجی براساس افقهای زمانی کوتاه، محدود هستند و موضوعاتی را مشخص می‌کنند از قبیل امروز چقدر باید تولید شود؟ فردا چقدر می‌توان تولید کرد؟ بنابراین، منابع بر خروجی زنجیره تامین تاثیر دارند، و خروجی سیستم زنجیره تامین (کیفیت، کمیت و غیره) در تعیین انعطاف‌پذیری سیستم بسیار مهم می‌باشد.

شاخصهای عملکرد خروجی باید مرتبط با اهداف استراتژیک سازمان باشند، اما همزمان باید با اهداف و ارزشهای مشتری نیز مرتبط باشند، به همین دلیل اهداف استراتژیک معمولا در جهت برآورد نیازهای مصرف‌کنندگان تعیین می‌شوند. برای مثال، Corbett (1992) در صنایع مبل‌سازی متوجه شد که برای مشتریان، تحویل سالم سفارش ارزشمندتر از تحویل سریع سفارش می‌باشد. برای مشتری، زمان تحویل کوتاه نسبت به تحویل به موقع در اولویت دوم قرار دارد. اگرچه زمان تحویل اهمیت بسیار زیادی برای تولید کننده دارد، ولی تحویل به موقع اهمیت بیشتری برای مشتری خواهد داشت. در این حالت، هر دو شاخص عملکرد خروجی باید استفاده شوند.

شاخصهای عملکرد خروجی نمونه عبارتند از :

- **فروش :** کل درآمد
- **سود :** کل درآمد منهای هزینه‌ها
- **نرخ پذیرش سفارشات :** نسبتی از سفارشات که پذیرفته شده‌اند.
- **تحویل به موقع :** اندازه‌گیری عملکرد تحویل محصول، سفارش یا نوع جنس.
- **سفارش برگشتی / کمبود موجودی :** اندازه‌گیری عملکرد در دسترس بودن محصول، سفارش یا نوع جنس.
- **زمان واکنش به مشتری :** زمان بین دریافت سفارش مشتری تا زمان تحویل سفارش.
- **زمان سررسید تولید کننده :** کل زمان مورد نیاز برای تولید یک دسته یا یک قلم خاص.
- **خطاهای حمل و نقل :** تعداد اشتباهات در ارسال سفارشات.
- **شکایات مشتری :** تعداد شکایات ثبت شده مشتریان.

3-3- انعطاف‌پذیری

برخی از مزایای سیستمهای زنجیره تامین انعطاف‌پذیر عبارتند از :

- کاهش تعداد سفارشات برگشتی
- کاهش تعداد فروش از دست رفته
- کاهش تعداد سفارشات ارسالی با تاخیر
- افزایش رضایت مشتری
- توانایی واکنش و هماهنگی با تغییرات تقاضا، مانند تغییرات فصلی.
- توانایی واکنش و هماهنگی در دوره‌های تولید پایین (خراب بودن ماشین‌آلات)

- توانایی واکنش و هماهنگی در دوره‌های عرضه پایین
- توانایی واکنش و هماهنگی در دوره‌های کاهش میزان تحویل
- توانایی واکنش و هماهنگی در هنگام ایجاد محصولات جدید، بازارهای جدید یا رقبای جدید.

انعطاف‌پذیری، که به ندرت در تجزیه و تحلیل زنجیره تامین استفاده می‌شود، می‌تواند توانایی سیستم در هماهنگی با نوسانات در زمان و حجم سفارش از سوی عرضه‌کننده، تولید کننده و مشتریان را اندازه‌گیری کند. در حقیقت، انعطاف‌پذیری برای موفقیت زنجیره تامین ضروری می‌باشد، چراکه نامعینی در هر محیطی وجود دارد. Slack (1991) دو نوع انعطاف‌پذیری را تعریف نموده است : انعطاف‌پذیری محدوده (range) و انعطاف‌پذیری واکنش (response). انعطاف‌پذیری محدوده نشان می‌دهد که عملیات را تا چه حد می‌توان تغییر داد. انعطاف‌پذیری واکنش نشان می‌دهد که کدامیک از عملیاتها را راحت‌تر می‌توان تغییر داد.

برای مثال، کاهش منابع سیستم ممکنست تاثیر منفی بر روی انعطاف‌پذیری زنجیره تامین داشته باشد. یک زنجیره تامین ممکنست در حال حاضر به صورت کارا از منابعش استفاده نماید، و خروجی مطلوبی تولید نماید، اما آیا این زنجیره می‌تواند خود را با تغییرات آتی از قبیل: تقاضای محصول، نامطمئن بودن تولید، ایجاد محصولات جدید، یا کوتاهیهای عرضه‌کننده وفق دهد؟ بنابراین، انعطاف‌پذیری نقش بسیار مهمی در عملکرد زنجیره تامین دارد.

4- یک رویکرد کمی برای اندازه‌گیری انعطاف‌پذیری

شاخصهای انعطاف‌پذیری بسیاری برای سیستمهای تولید انعطاف‌پذیر (FMSs) در سطح ماشین و کارخانه وجود دارد و مطالعه شده‌اند.

شاخصهای انعطاف‌پذیری از شاخصهای خروجی و منابع، کاملا مجزا می‌باشند. Slack (1983) نشان داده است که انعطاف‌پذیری رفتار بالقوه را اندازه‌گیری می‌کند، در حالیکه سایر اهداف عملیاتی واقعا به وسیله رفتار (عملکرد) عملیاتی سیستم اثبات می‌شود. Slack (1983) عوامل مشکل‌آفرین در اندازه‌گیری انعطاف‌پذیری یک سیستم تولید جامع را شناسایی کرده است. این عوامل عبارتند از : 1) انعطاف‌پذیری یک شاخص بالقوه است. 2) انعطاف‌پذیری باید برای سایر اهداف تولید از قبیل حجم یا زمان تحویل قابل استفاده باشد. 3) انعطاف‌پذیری چندبعدی می‌باشد (محدوده و واکنش). پیچیدگی ارزیابی انعطاف‌پذیری سیستم، باعث توسعه شاخصهای متعدد انعطاف‌پذیری در سیستمهای تولیدی شده است. Slack (1991) انعطاف‌پذیری سیستم را انعطاف‌پذیری کل عملیات تعریف نموده است. همچنین چهار نوع انعطاف‌پذیری سیستم را تعریف نموده است که در جدول 4 نشان داده شده است. هر یک از انواع انعطاف‌پذیری را می‌توان بر حسب محدوده و واکنش اندازه‌گیری نمود.

جدول 4- انواع انعطاف‌پذیری سیستم

نوع انعطاف‌پذیری	تعریف
انعطاف‌پذیری حجم	توانایی تغییر سطح خروجی محصولات تولید شده
انعطاف‌پذیری عرضه	توانایی تغییر برنامه تحویل
انعطاف‌پذیری ترکیب	توانایی تغییر تنوع محصولات
انعطاف‌پذیری محصول جدید	توانایی ایجاد و تولید محصولات جدید

هر یک از انواع انعطاف‌پذیری سیستم در سیستمهای زنجیره تامین قابل استفاده می‌باشد. البته هر کدام مناسب هر نوع زنجیره تامین نمی‌باشد. آزمایش داده‌های تاریخی برای سیستم نشان می‌دهد که کدام نوع انعطاف‌پذیری برای سیستم مناسب می‌باشد. جدول 5 مشخصات زنجیره تامین و نوع انعطاف‌پذیری متناسب را نشان می‌دهد.

جدول 5- مشخصات سیستم زنجیره تامین و نوع انعطاف‌پذیری مرتبط

نوع انعطاف‌پذیری	مشخصات سیستم زنجیره تامین
انعطاف‌پذیری حجم	تقاضای متغیر
انعطاف‌پذیری عرضه	زمان تحویل تغییر می‌کند و هزینه ناشی از آن برای شرکت به‌صرفه نمی‌باشد.
انعطاف‌پذیری ترکیب	تقاضای ثابت برای چند نوع محصول
انعطاف‌پذیری محصول جدید	محصولات با دوره عمر کوتاه

4-1- انعطاف‌پذیری حجم (F_v)

Sethi and Sethi (1990) اشاره داشته است که عمومی‌سازی انعطاف‌پذیری حجم برای اندازه‌گیری محدوده حجم سودآور برای سازمان می‌باشد. برای سیستمهای تولیدی، توسعه شاخصهای انعطاف‌پذیری حجم معمولا به عنوان هزینه‌های مرتبط با تغییرات حجم ملاحظه می‌شود. برای توسعه یک شاخص انعطاف‌پذیری حجم زنجیره تامین، باید بدانیم که در چه حجمی از تولید، سازمان منتفع می‌شود.

شاخص انعطاف‌پذیری حجم، F_v، مقداری از تقاضا که به وسیله سیستم زنجیره تامین قابل دست یافتن است را اندازه‌گیری می‌کند. ابتدا، فرض می‌کنیم که حجم تقاضا (D) یک متغیر تصادفی با توزیع نرمال می‌باشد، یعنی : $D \approx N(\mu_D, \sigma_D^2)$، و $O_{\min}$ و $O_{\max}$ را به عنوان حداقل و حداکثر حجم خروجی سودآور در طول هر دوره تعریف می‌کنیم. حال، فرض کنید زنجیره تامین مورد نظر داده‌های کافی مرتبط با حجمهای تقاضا را دارد. به این ترتیب میانگین تقاضا و واریانس تقاضا را می‌توان به صورت زیر تخمین زد:

$$\overline{D} = \frac{\sum_{t=1}^{T} d_t}{T} \qquad (1)$$

و

$$S_D^2 = \frac{\sum_{t=1}^{T} (d_t - \overline{d})^2}{T-1} \qquad (2)$$

که d_t تقاضا در دوره t، و T تعداد دوره‌های مورد نظر است.

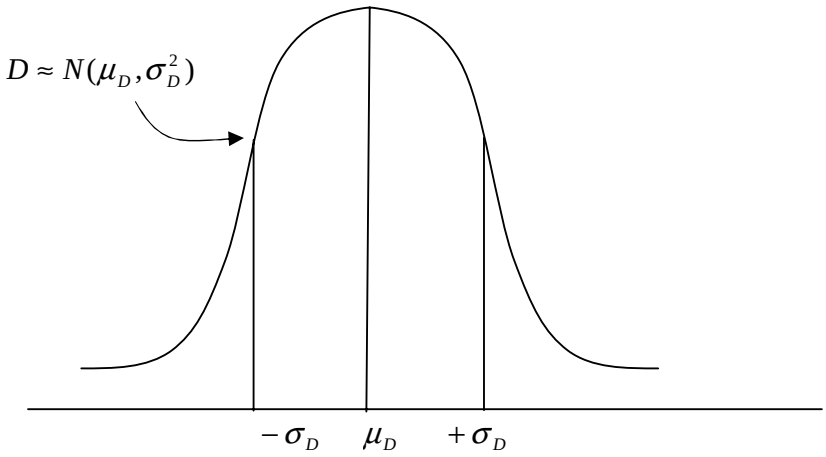
به این ترتیب انعطاف‌پذیری حجم (F_v) را می‌توان به صورت زیر تعریف نمود :

$$F_v = P\left(\frac{O_{\min} - \overline{D}}{S_D} \le D \le \frac{O_{\max} - \overline{D}}{S_D}\right) \qquad (3)$$

یا

$$F_v = \phi\left(\frac{O_{\min} - \overline{D}}{S_D}\right) - \phi\left(\frac{O_{\max} - \overline{D}}{S_D}\right) \qquad (4)$$

که $F_v \in [0,1]$، و F_v مقداری از تقاضا می‌باشد که در بلندمدت سیستم زنجیره تامین سودآور می‌شود. این ارتباط در شکل 3 نشان داده شده است، که تقاضا استاندارد شده و به وسیله یک منحنی نرمال استاندارد نشان داده شده است که میانگین آن μ_D و انحراف استاندارد آن σ_D می‌باشد.



شکل 3 – توزیع تقاضای نرمال استاندارد شده

4-2- انعطاف‌پذیری تحویل (F_D)

توانایی تغییر زمان تحویل برنامه‌ریزی شده به سمت جلو ممکنست در مدیریت زنجیره تامین بسیار مهم باشد. این توانایی، زنجیره تامین را برای هماهنگی با سفارشات ناگهانی و خاص توانا می‌سازد. فرض کنید، t^* دوره زمانی فعلی، L_j تاریخ سررسید دوره برای کار j، و E_j زودترین زمان دوره که بتوان کار j را تحویل داد، باشند. اگر $j = 1,2,...,J$ کار در سیستم موجود باشد، در این صورت کل زمان لازم برای همه کارهای j به وسیله مقدار $\sum_{j=1}^{J}(L_j - t^*)$، و حداقل زمان تحویل برای همه کارهای j عبارتست از $\sum_{j=1}^{J}(E_j - t^*)$. بنابراین F_D، انعطاف‌پذیری تحویل، را می‌توان به عنوان کمبود در کل کارهای j، اندازه‌گیری کرد و فرمول آن به صورت زیر است:

$$F_D = \frac{\sum_{j=1}^{J}((L_j - t^*) - (E_j - t^*))}{\sum_{j=1}^{J}(L_j - t^*)} = \frac{\sum_{j=1}^{J}(L_j - E_j)}{\sum_{j=1}^{J}(L_j - t^*)} \qquad (8)$$

4-3- انعطاف‌پذیری ترکیبی (F_m)

انعطاف‌پذیری ترکیبی، F_m، اغلب در هنگام تغییر همزمان فرایند و کار استفاده می‌شود. معمولا، انعطاف‌پذیری ترکیبی، هم محدوده انواع مختلف محصولات که در طول دوره زمانی تولید می‌شوند و هم زمان واکنش بین تغییرات ترکیب محصولات را اندازه‌گیری می‌کند. به طور خاص، Slack (1991) انعطاف‌پذیری ترکیبی را به

صورت زیر تعریف نموده است: 1) تعداد محصولات مختلفی که در طول دوره زمانی تولید می‌شوند، 2) زمان مورد نیاز برای تولید یک ترکیب جدید محصول. محدوده انعطاف‌پذیری ترکیبی محصول به صورت زیر نشان داده می‌شود :

$$F_m(t) = N(t) \qquad (9)$$

که در آن $N(t)$ تعداد انواع محصولات مختلفی است که در طول دوره زمانی t تولید می‌شوند، و $t > 0$ و $N(t) \in I^+$. به همین ترتیب، واکنش انعطاف‌پذیری ترکیبی محصول را به صورت زیر می‌توان محاسبه نمود :

$$F_m(i, j) = T_{ij} \qquad (10)$$

که در آن T_{ij} زمان مورد نیاز برای تغییر ترکیب از تولید محصول i به تولید محصول j می‌باشد، $T_{ij} \geq 0$ برای هر i و j.

4-4- انعطاف‌پذیری محصول جدید (F_n)

انعطاف‌پذیری محصول جدید، F_n، محصولات جدیدی هستند که به سیستم وارد می‌شوند. ایجاد محصولات جدید معمولا شامل زمان مورد نیاز برای توسعه و راه‌اندازی می‌شود. Sethi and Sethi (1990) در مورد اندازه‌گیری انعطاف‌پذیری محصول بر حسب زمان یا هزینه مورد نیاز برای افزودن محصولات جدید به عملیاتهای تولید موجود بحث کرده است. انعطاف‌پذیری محصول جدید مبتنی بر زمان به صورت زیر بیان می‌شود :

$$F_n = T \qquad (11)$$

که در آن T زمان مورد نیاز برای افزودن محصولات جدید می‌باشد، و $T \geq 0$. به طور مشابه، انعطاف‌پذیری محصول جدید مبتنی بر هزینه به صورت زیر بیان می‌شود :

$$F_n = C \qquad (12)$$

که در آن C هزینه مرتبط با افزودن محصولات جدید می‌باشد، و $C \geq 0$.

خلاصه و نتیجه‌گیری

انتخاب شاخص عملکرد یک گام کلیدی در طراحی و ارزیابی هر سیستم می‌باشد. معمولا، سیستم بزرگتر و پیچیده‌تر در هنگام ارزیابی موثر، چالش بیشتری خواهد داشت. در حالیکه مدلهای زنجیره تامین ارائه شده در مقالات در حال افزایش است، در مورد شاخصهای ارزیابی عملکرد زنجیره تامین انتخاب چندانی نداریم. بدین لحاظ، شاخصهای عملکرد مورد استفاده در مدلهای موجود معمولا نامناسب، غیرکارا و محدود می‌باشند (جامع نیستند). البته، استفاده از شاخص عملکرد ساده، وسوسه‌انگیز است، ولی به راحتی در مدلهای عددی اجرا می‌شود. با محدود کردن دامنه اندازه‌گیری عملکرد، این مدلها سبک و سنگین کردن عملکرد را نادیده می‌گیرند. تاثیر سبک و سنگین کردن عملکرد هنگامی اهمیت بیشتری می‌یابد که زنجیره تامین براساس سیستم اندازه‌گیری غیرجامع مجددا ترکیب بندی شود. به منظور بهبود اثربخشی مدلهای زنجیره تامین، شاخصهای عملکرد باید انتخاب شوند تا امکان تحلیل دقیق‌تر و کامل‌تر فراهم شود.

در این تحقیق در مورد اهمیت سیستم زنجیره تامین به منظور دسترسی همزمان به سطح بالای کارایی، سطح بالای ارائه خدمات به مشتری، و توانایی واکنش مناسب به تغییرات محیطی بحث شد. کار قبلی در اندازه‌گیری عملکرد معمولا متمرکز بود بر : 1) توسعه شاخصهای عملکرد جدید برای کاربردهای خاص، 2) بنچ‌مارکینگ، 3) دسته‌بندی شاخصهای عملکرد فعلی. این مقاله کارهای قبلی که در این زمینه انجام شده بود را نشان داد و همچنین زمینه توسعه چارچوبی جامع برای انتخاب شاخصهای عملکرد سیستمهای زنجیره تامین را ایجاد نمود. دسته‌بندی شاخصهای عملکرد زنجیره تامین منجر به شناسایی سه نوع شاخص عملکرد شد که اجزاء ضروری در هر سیستم اندازه‌گیری عملکرد زنجیره تامین هستند : منابع، خروجی و انعطاف‌پذیری. بیشتر شاخصهای عملکرد زنجیره تامین موجود در مورد منابع و خروجی هستند، و تعداد شاخصهای انعطاف‌پذیری مورد استفاده در زنجیره تامین بسیار کم می‌باشند. این مقاله همچنین شاخصهای انعطاف‌پذیری تحویل و انعطاف‌پذیری حجم را برای زنجیره‌های تامین توسعه داد، و شاخصهای موجود برای انعطاف‌پذیری ترکیبی و انعطاف‌پذیری محصول جدید را نشان داد. مدلهای زنجیره تامین که از این چارچوب استفاده می‌کنند می‌توانند به صورت کاملتر سیستم زنجیره تامین و در نتیجه تاثیرات ترکیب‌بندی مجدد را بیان کنند، بنابراین می‌توانند مدلهایی را توسعه دهند که کامل‌تر، دقیق‌تر و کارآتر باشند.

منابع و مآخذ

[1] Altiok, T. and Ranjan, R. (1995), Multi-Stage, Pull-Type Production/Inventory Systems, *IIE Transactions*, Vol. 27, pp. 190-200.

[2] Arntzen, B.C, Brown, G.G, Harrison, T.P. and Trafton, L.L. (1995), Global Supply Chain Management at Digital Equipment Corporation, *INTERFACES*, Vol. 25, pp. 69-93.

[3] Barker, R.C. (1996), Value Chain Development: An Account of Some Implementation Problems, *International Journal of Operations and Production Management*, Vol. 16 No. 10, pp. 23-36.

[4] Beamon, Benita M. (1996), Performance Measures in Supply Chain Management, *Proceedings of the 1996 Conference on Agile and Intelligent Manufacturing Systems*, Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, New York, October 2-3.

[5] Beamon, Benita M. (1998), Supply Chain Design and Analysis: Models and Methods, *International Journal of Production Economics*, to appear.
[6] Camp, R.C. (1989), *Benchmarking--The Search for Industry Best Practices that Lead to Superior Performance*, ASQS Quality Press, Milwaukee, WI.
[7] Christopher, Martin (1994), *Logistics and Supply Chain Management*, Richard D. Irwin, Inc, Financial Times, New York, NY.
[8] Christy, D. P. and Grout, J.R. (1994), Safeguarding Supply Chain Relationships, *International Journal of Production Economics*, Vol. 36, pp. 233-242.
[9] Cohen, M.A. and Lee, H.L. (1988), Strategic Analysis of Integrated Production-Distribution Systems: Models and Methods, *Operations Research*, Vol. 36 No. 2, pp. 216-228.
[10] Cohen, M.A. and Lee, H.L. (1989), Resource Deployment Analysis of Global Manufacturing and Distribution Networks, *Journal of Manufacturing and Operations Management*, Vol. 2, pp. 81-104.
[11] Cohen, M.A. and Moon, S. (1990), Impact of Production Scale Economies, Manufacturing Complexity, and Transportation Costs on Supply Chain Facility Networks, *Journal of Manufacturing and Operations Management*, Vol. 3, pp. 269-292.
[12] Cook, R.L. and Rogowski, R.A. (1996), Applying JIT Principles to Continuous Process Manufacturing Supply Chains, *Production and Inventory Management Journal*, First Quarter, pp. 12-17.18
[13] Corbett, Lawrence M. (1992), Delivery Windows - A New View on Improving Manufacturing Flexibility and On-Time Delivery Performance, *Production and Inventory Management Journal*, Vol. 33 No. 3, pp. 74-79.
[14] Davis, Tom (1993), Effective Supply Chain Management, *Sloan Management Review*, pp. 35- 46.
[15] Gupta, Y.P. and Goyal, S. (1989), Flexibility of Manufacturing Systems: Concepts and Measurements, *European Journal of Operational Research*, Vol. 43 No. 2, pp. 119-135.
[16] Ishii, K, Takahashi, K, and Muramatsu, R. (1988), Integrated Production, Inventory and Distribution Systems, *International Journal of Production Research*, Vol. 26 No. 3, pp. 473-482.
[17] Lee, H.L. and Billington, C. (1992), Managing Supply Chain Inventory: Pitfalls and Opportunies, *Sloan Management Review*, Vol. 33, pp. 65-73.
[18] Lee, H.L. and Billington, C. (1993), Material Management in Decentralized Supply Chains, *Operations Research*, Vol. 41 No. 5, pp. 835-847.
[19] Lee, H.L. and Feitzinger, E. (1995), Product Configuration and Postponement for Supply Chain Efficiency, *Institute of Industrial Engineers, Fourth Industrial Engineering Research Conference Proceedings*, pp. 43-48.
[20] Maskell, Brian H. (1991), *Performance Measurement for World Class Manufacturing*, Productivity Press, Portland, Oregon.
[21] Neely, A, Gregory, M. and Platts, K. (1995), Performance Measurement System Design, *International Journal of Operations and Production Management*, Vol. 15 No. 4, pp. 80-116.
[22] Newhart, D.D, Stott, K.L. and Vasko, F.J. (1993), Consolidating Product Sizes to Minimize Inventory Levels for a Multi-Stage Production and Distribution Systems, *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 44 No. 7, pp. 637-644.
[23] Nicoll, Andrew D. (1994), Integrating Logistics Strategies, *Annual International Conference Proceedings.American Production and Inventory Control Society*, pp. 590-594.
[24] Pyke, D.F. and Cohen, M.A. (1993), Performance Characteristics of Stochastic Integrated Production-Distribution Systems, *European Journal of Operational Research*, Vol 68 No. 1, pp. 23-48.
[25] Pyke, D.F. and Cohen, M.A. (1994), Multi-Product Integrated Production-Distribution Systems, *European Journal of Operational Research*, Vol. 74 No. 1, pp. 18-49.
[26] Sethi, A.K. and Sethi, S.P. (1990), Flexibility in Manufacturing: A Survey, *International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, Vol. 2 No. 4, pp. 289-328.
[27] Shank, J.K. and Govindarajan, V. (1992), Strategic Cost Management and the Value Chain, *Journal of Cost Management for the Manufacturing Industry*, Vol. 5 No. 4, pp. 5-21.
[28] Slack, Nick (1983), Flexibility as a Manufacturing Objective, *International Journal of Operations and Production Management*, Vol. 3 No. 3, pp. 4-13.
[29] Slack, Nick (1991), *The Manufacturing Advantage*, Mercury Books, London.
[30] Towill, D.R. (1991), Supply Chain Dynamics, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 4, 4, pp. 197-208.

[31] Towill, D.R, Naim, M.M. and Wikner, J. (1992), Industrial Dynamics Simulation Models in the Design of Supply Chains, *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, Vol. 22 No. 5, pp. 3-13.
[32] Tzafestas, S. and Kapsiotis, G. (1994), Coordinated Control of Manufacturing/Supply Chains Using Multi-Level Techniques, *Computer Integrated Manufacturing Systems*, Vol. 7 No. 3, pp. 206-212.
[33] Voudouris, Vasilios T. (1996), Mathematical Programming Techniques to Debottleneck the Supply Chain of Fine Chemical Industries, *Computers and Chemical Engineering*, Vol. 20 Suppl. Pt. B, pp. S1269-S1274.
[34] Waters-Fuller, Niall (1995), .JIT Purchasing and Supply: A Review of the Literature, *International Journal of Operations and Production Management*, Vol. 15 No. 9, pp. 220-236.
[35] Wikner, J, Towill, D.R. and Naim, M. (1991), Smoothing Supply Chain Dynamics, *International Journal of Production Economics*, Vol. 22 No. 3, pp. 231-248.