تعيين و بهينه‌سازي عامل‌هاى موثر بر كيفيت چاپ كاغذهاي بسته‌بندي با استفاده از روش طراحي آزمايش‌ها

مقصود اميري[١]، محمد امين اديبي*[٢]، شادمان پورموسي[٣]
[١] استاديار دانشكده مديريت و حسابداري دانشگاه علامه طباطبائي، تهران، ايران
[٢] دانش‌آموخته كارشناسي‌ارشد مهندسي صنايع دانشگاه آزاد اسلامي واحد قزوين، ايران
[٣] عضو هيئت علمي دانشگاه آزاد اسلامي واحد كرج و دانشجوي دكتري دانشكده منابع طبيعي دانشگاه آزاد اسلامي واحد علوم و تحقيقات تهران، ايران
(تاريخ دريافت: ٨٧/٦/٢٥، تاريخ تصويب: ٨٨/٣/١٠)

چكيده

به منظور تعيين عامل‌هاى بهينه موثر بر كيفيت چاپ در كاغذهاي بسته‌بندي، آزمايش هايي در سطوح مختلف از زبري كاغذ و همچنين گرانروي و گرايندومتر جوهر با ويژگي‌هاي متفاوت به صورت تصادفي اجرا شده است. چگالي چاپ و ميزان كيفيت پوشش جوهر در هر آزمايش با دستگاه چگالي‌سنج و شاخص لوپ تعيين شده است. تاثير اين عامل‌ها به روش تحليل واريانس بررسي و تابع‌هاى چگالي چاپ و ميزان كيفيت پوشش جوهر بر پايه عامل‌ها تاثيرگذار استخراج شده است. با بهره‌گيرى از روش آنتروپي وزن هر كدام از دو خروجي تعيين شده و به منظور بيشينه نمودن آن‌ها مسأله در قالب يک برنامه‌ريزي رياضي چند هدفه فرموله و سپس با بهره‌گيرى از روش فازي حل وسطوح بهينه تعيين شده است. نتايج نشان مي‌دهد سه عامل زبري كاغذ، گرانروي و گرايندومتر جوهر و اثرگذارى توأم آنها به جز اثر توأم زبري كاغذ و گرايندومتر جوهر بر ميزان پوشش جوهر تاثيرگذار بودند. اما تنها دو عامل گرانروي و گرايندومتر جوهر بر چگالي چاپ تاثير مي‌گذارند. همچنين مشخص شد كه كاغذ با زبري پايين و جوهر با گرانروي بالا و گرايندومتر پايين باعث مي‌شود هدف اول يعني بيشينه سازي ميزان پوشش جوهر صد درصد برآورده شود و هدف دوم يعني چگالي چاپ تا ٩٢ درصد به حد بيشينه خود برسد.

واژه‌هاي كليدي: چاپ و بسته‌بندي[١]، طراحي آزمايش‌ها[٢]، روش آنتروپي[٣]، برنامه‌ريزي رياضي[٤]، تصميم سازي چند هدفه[٥]

* نويسنده مسئول: تلفن: ٠٩١٩-٢٢١٦٥٨١ فاكس: ٠٢٦٢-٤٣٨٣٥٩٣ E-mail: amin_adibi@yahoo.com

١- Packaging
٢ - Design Of Experiments
٣- Entropy Method
٤- Mathematical Programming
٥- Multi-objective Decision Making

مقدمه

صنعت بسته‌بندي يکي از مولفه‌هاي پيشرفت و ترقي اقتصادي يک کشور مي‌باشد. به‌علاوه، از آنجا که پيشرفت صنعت بسته‌بندي در هر کشور رابطه مستقيمي با پيشرفت ديگر صنايع دارد، لذا با توجه به سطح توانايي فناوري هر کشور براي ساخت و عرضه کالاهاي گوناگون، صنعت بسته‌بندي که جزو جداناپذير صنايع است نيز رشد مي‌کند. طراحي و ساخت بسته‌بندي‌هاي لازم براي کالاهاي جديد توليدي به منظور رقابت در بازارهاي داخلي و خارجي، امکانات و ابتکاراتي به‌وجود مي‌آورد که با کسب تجربه‌های جديد در بازار، باعث رقابت‌هاي پوياتر و کارامدتر مي‌شود.

کيفيت انواع بسته‌بندي شامل کارتن، ظرف‌هاي فلزي، ظرف‌هاي شيشه‌اي، ظرف‌هاي پلاستيکي، فيلم‌ها، ظرف‌هاي چوبي و مقوايي به شدت متأثر از دانش فني، عمر تجهيزات و فناوري توليد مي‌باشد.

به‌طور کلي کيفيت چاپ يکي از عامل‌های مهم در بسته‌بندي کالا است که در جذابيت آن نقش مهمي ايفا مي‌کند. در صنايع کارتن سازي، به‌عنوان يکي از زير شاخه‌هاي صنعت بسته‌بندي، صرفه نظر از فناوري بکار رفته در فرايند چاپ، ويژگي و کيفيت مواد اوليه نيز تاثير بسزايي در برآورده نمودن هدف‌های پيش‌بيني شده دارد. چه بسا بي‌توجهي به چنين نکاتي باعث ارائه بسته‌بندي‌هاي نامطلوب مي‌شود که از لحاظ اقتصادي و حتي بهداشتي اثرگذاری نامطلوبي در پي دارد.

بنابراين مي‌توان گفت مسأله گزينش مواد اوليه با ويژگي‌هاي مناسب از مهم‌ترين چالش‌هاي پيش روي صنعت به منظور دستيابي به کيفيت مطلوب چاپ مي‌باشد. به‌گونه‌اي که حتي ارائه راهکارهايي به منظور شناسايي و تجزيه و تحليل عامل‌های موثر از مباحث مورد توجه پژوهشگران در هر دو سوي دانشگاه و صنعت بوده است. در اين خصوص مي‌توان به پژوهش (۹) اشاره کرد که پذيرش جوهر بر روي کاغذ و ويژگي‌هاي کاغذ را مورد بررسی قرار داده است. Bülow (۲۰۰۲) عمق نفوذ و توزيع رنگدانه را با اتو زني کاغذ مورد بررسي قرار داده است. جداپذيری رنگ برای ارزيابي کيفيت چاپ در پژوهش (۵) ارائه شده است. ساخت اکريلات اتيل سلولز براي بهبود ويژگي‌هاي جوهر با UV با (۸) صورت گرفته است. Heard (۲۰۰۴) توزيع جوهر در چاپ کاغذهاي پوشش‌دار با بهره‌گيری از روش متمرکزکردن اشعه های يونی را مورد بررسی قرار داده است. Dushmantha (۲۰۰۶) اثرگذاری متقابل کاغذ و مايع در طي برخورد قطره روي سطوح کاغذ را بررسي کرده است.

از طرف ديگر، عامل‌های بيشماري وجود دارند که از نقطه نظر مواد اوليه و کيفيت بر چاپ روي کاغذ بسته‌بندي تاثير مي‌گذارند. برخي از اين عامل‌ها شامل ضخامت، چگالي (دانسيته) کاغذ، مقاومت به عبور هوا، زبري، براقيت، جذب آب و غيره مي‌باشند. اين عامل‌ها به يکي از ارکان چاپ يعني کاغذ چاپ مربوط مي‌شوند. جوهر ماده ديگر به کار رفته در فرايند چاپ مي‌باشد که ويژگي‌هاي آن نيز مي‌تواند بر نتايج خروجي اثر گذارد. از جمله‌اين ويژگي‌ها گرانروي (ويسکوزيته)، قطر ذرات جوهر حل نشده در آب (گرايندومتر) و pH آن مي‌باشند. روش‌هاي مختلف چاپ نيز مي‌توانند بر کيفيت آن موثر باشند. براي بررسي کيفيت چاپ مي‌توان از شاخص Lab، چگالي چاپ و ميزان پوشش جوهر بهره برد.

در اين پژوهش اثر سه عامل زبري کاغذ، گرانروي و گرايندومتر جوهر (با فرض ثابت بودن ديگر عامل‌ها) بر روي چگالي چاپ و ميزان پوشش جوهر بررسي شده است. علت ثابت فرض نمودن ديگر عامل‌ها، ارائه مواد اوليه با سطوح ثابت، مانند جذب آب، در حد استاندارد صنعتي مي‌باشد.

در اين پژوهش علاوه بر بررسي اثرگذاری‌های سه عامل زبري کاغذ، گرانروي جوهر و گرايندومتر جوهر و اثر متقابل آنها بر چگالي چاپ و ميزان پوشش جوهر، رابطه بين عامل‌های تاثيرگذار و سطوح پاسخ در قالب يک تابع غيرخطي ارائه شده است. سپس اين دو تابع در يک ساختار برنامه‌ريزي رياضي غيرخطي چند هدفه فرموله شده است و با وزن‌هاي بدست آمده از روش آنتروپي، به کمک روش فازي سطوح بهينه هر کدام از عامل‌ها تعيين مي‌شود.

مواد و روش ها

به منظور بررسي تاثير عامل‌هاي مورد بررسي، آزمايش ها در قالب طرح فاكتوريل شامل سه عامل زبري (R)، گرانروي (ويسكوزيته) جوهر (V) و گرايندومتر جوهر (G) هر كدام در دو سطح مختلف طراحي و با سه تكرار به صورت تصادفي اجرا شد. عامل‌ها و سطوح مختلف هركدام در جدول شماره ١ آورده شده است.

بعد از تنظيم هر طرح، براي انجام چاپ درآغاز دو قطره از جوهر با گرانروي و گرايندومتر منطبق بر طرح مورد آزمايش تهيه و بر كاغذ مربوطه چكانده شد. سپس اپليكاتور به طرف آزمايشگر كشيده شد. در ادامه چگالي چاپ (D) و ميزان پوشش جوهر (L)، به عنوان دو سطح پاسخ، با دستگاه چگالي سنج (دانسيته متر) و شاخص لوپ (امتيازي بين صفر تا بيست) اندازه گيري شد. نتايج در جداول ٢ و ٣ آمده است.

جدول ١- سطوح عامل‌هاى مختلف

سطح عامل	گرانروي (**V**) (شاخص دستگاه فورد كاپ)	زبري كاغذ (**R**) (**µm**)	گرايندومتر(**G**) (**µm**)
-١	٢٥-٣٠	٦/٣	٢
+١	٥٠-٥٥	١١/٢	٨

جدول ٢- مقادير مختلف ميزان پوشش دهي جوهر به ازاء سطوح مختلف عامل‌ها

گرانروي (شاخص دستگاه فورد كاپ)		٥٠-٥٥						٢٥-٣٠					
گرايندومتر (µm)		٨			٢			٨			٢		
زبري كاغذ (µm)	٦/٣	٢٠	٢٠	٢٠	٢٠	١٩	٢٠	١٤	١٤	١٤	٢٠	١٩	١٩
	١١/٢	١٠	١٠	١٠	١٤	١٤	١٤	١٢	١٢	١٢	١٤	١٢	١٢

جدول ٣- مقادير مختلف ميزان چگالي چاپ به ازاء سطوح مختلف عامل‌ها

گرانروي (شاخص دستگاه فورد كاپ)		٥٠-٥٥						٢٥-٣٠					
گرايندومتر (µm)		٨			٢			٨			٢		
زبري كاغذ (µm)	٦/٣	٢/٠٨	٢/٠٧	٢/٠٧	٢/٠٧	٢/١٠	٢/٠٩	٢/٤٢	٢/٤٣	٢/٤٥	٢/٥٥	٢/٥٤	٢/٥١
	١١/٢	٢/٠٦	٢/٠٢	٢/١٠	٢/٠٥	٢/٠٩	٢/٠٧	٢/٤٣	٢/٣٨	٢/٤٨	٢/٤٩	٢/٤٣	٢/٤٢

نتايج

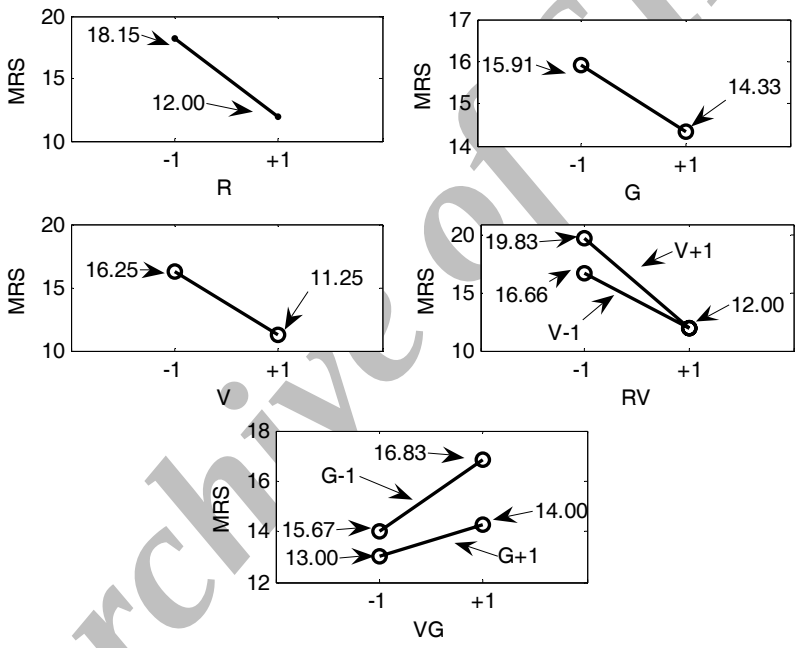
اثرگذاری عامل‌های R، VوG و همچنين اثرگذاری متقابل آنها بر روي دو سطح پاسخ L و D مورد تجزيه و تحليل قرار گرفته و نتايج در جدول ۴ ارائه شده است.

همان طور كه ديده مي‌شود، با در نظر گرفتن خطاي نوع اول $\alpha = 0.01$، به غير از اثر متقابل RG، اثر ديگر عامل‌ها بر ميزان پوشش جوهر رد نمي شود. در خصوص چگالي چاپ تنها اثر V وG رد نشده و ديگر عامل‌ها شامل R و اثر متقابل آنها بي‌اثر هستند. در شكل هاي ١ و ٢ ميزان تغيير در ميانگين سطح پاسخ[1] (MRS) به ازاء سطوح مختلف هر عامل به تصوير كشيده شده است.

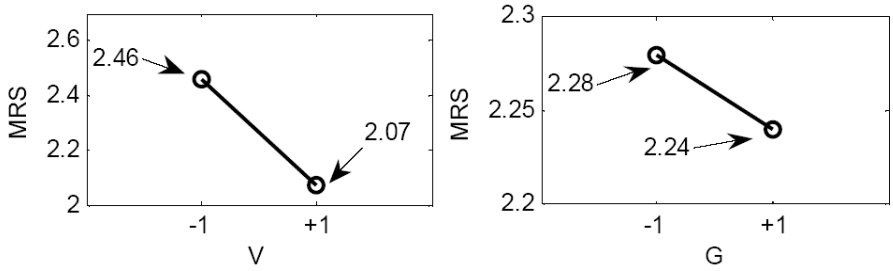
١- Mean response surface

جدول ۴- نتايج جدول تحليل واريانس مربوط به ميزان پوشش جوهر و چگالي چاپ

عامل	**p-value** آزمون عامل‌هاي تاثيرگذار بر چگالي چاپ	**p-value** آزمون عامل‌هاي تاثيرگذار برميزان پوشش جوهر
R	۰/۰۱۶۲	۰/۰۰۰۱
V	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱
G	۰/۰۰۶۷	۰/۰۰۰۱
RV	۰/۲۷۴۶	۰/۰۰۰۱
RG	۰/۰۶۵۲	۰/۰۴۹۹
VG	۰/۰۸۴۶	۰/۰۰۰۱
RVG	۰/۱۳۹۴	۰/۰۰۰۱



شكل ۱- اثر عامل‌هاي زبري (**R**)، گرانروي جوهر (**V**)، گرايندومتر (**G**)، اثرگذاری متقابل زبري و گرانروي (**RV**) و گرانروي و گرايند و متر (**VG**) بر ميزان پوشش جوهر



شكل ۲- اثر عامل‌هاي گرانروي (**V**) و گرايندومتر (**G**) بر چگالي چاپ

علاوه بر جدول تحليل واريانس، با محاسبه مقابله (Contrast) عامل‌ها، مي‌توان اثر هر عامل را نيز محاسبه نمود (۴ و ۱۱). با تقسيم اثر هر عامل بر دو مي‌توان ضريب آن عامل در تابع سطح پاسخ برحسب سطوح عامل را بدست آورد. بايد توجه داشت كه عرض از مبدا هر تابع، همان ميانگين كل سطح پاسخ خواهد بود. ميزان مقابله‌ها، اثرگذاری و ضريب‌ها براي هر خروجي (سطح پاسخ) در جداول ۵ و ۶ آورده شده است.

جدول ۵- ميزان مقابله، اثر و ضريب عامل‌های موثر بر روي ميزان پوشش جوهر

		سطح زبري كاغذ	سطح گرانروي جوهر	سطح گرايندو متر جوهر	كيفيت چاپ در اجراي اول	كيفيت چاپ در اجراي دوم	كيفيت چاپ در اجراي سوم	جمع سطوح پاسخ
طرح	١	-١	-١	-١	٢٠	١٩	١٩	٥٨
	r	-١	-١	+١	١٤	١٤	١٤	۴٢
	v	-١	+١	-١	٢٠	٢٠	١٩	٥٩
	rv	-١	+١	+١	٢٠	٢٠	٢٠	۶٠
	g	+١	-١	-١	١٢	١٢	١٢	٣۶
	rg	+١	-١	+١	١٢	١٢	١٢	٣۶
	vg	+١	+١	-١	١٤	١٤	١۴	۴٢
	rvg	+١	+١	+١	١٠	١٠	١٠	٣٠
		عامل						
		R	V	G	RV	RG	VG	RVG
طرح	١	-	-	-	+	+	+	-
	r	+	-	-	-	-	+	+
	v	-	+	-	-	+	-	+
	rv	+	+	-	+	-	-	-
	g	-	-	+	+	+	-	-
	rg	+	-	+	-	-	-	+
	vg	-	+	+	-	+	+	+
	rvg	+	+	+	+	-	+	-
مقابله		-٧٥	١٩	-٢٧	-١٩	٣	٥	-٢٩
اثر		-۶/٢٥	١/٥٨	-٢/٢٥	-١/٥٨	-	٠/۴١٧	-٢/۴١٧
ضريب متغير		-٣/١٢٥	٠/٧٩	-١/١٢٥	-٠/٧٩	-	٠/٢٠٨	١/٢٠٨

جدول ۶- ميزان مقابله، اثر و ضريب عامل‌هاي موثر بر روي چگالي چاپ

		سطح زبري كاغذ	سطح گرانروي جوهر	سطح گرايندو متر جوهر	چگالي چاپ در اجراي اول	چگالي چاپ در اجراي دوم	چگالي چاپ در اجراي سوم	جمع سطوح پاسخ
طرح	١	-١	-١	-١	٢/٥۴	٢/٥١	٢/٥٥	٧/۶
	r	-١	-١	+١	٢/۴٥	٢/۴٢	٢/۴٣	٧/٣
	v	-١	+١	-١	٢/٠٩	٢/٠٩	٢/١٠	۶/٢٨
	rv	-١	+١	+١	٢/٠۴	٢/٠٧	٢/٠٨	۶/١٩
	g	+١	-١	-١	٢/۴٢	٢/۴٣	٢/۴٩	٧/٣۴
	rg	+١	-١	+١	٢/۴٨	٢/٣٨	٢/۴٣	٧/٢٩
	vg	+١	+١	-١	٢/٠٧	٢/٠٩	٢/٠٥	۶/٢١
	rvg	+١	+١	+١	٢/٠۶	٢/١٠	٢/٠٢	۶/١٨
		عامل						
		R	V	G	RV	RG	VG	RVG
طرح	١	-	-	-	+	+	+	-
	r	+	-	-	-	-	+	+
	v	-	+	-	-	+	-	+
	rv	+	+	-	+	-	-	-
	g	-	-	+	+	+	-	-
	rg	+	-	+	-	-	-	+
	vg	-	+	+	-	+	+	+
	rvg	+	+	+	+	-	+	-
مقابله		-٠/٣٨	-۴/۶۴	-٠/۴۶	٠/١۶	٠/٢٨	٠/٢۶	-٠/٢٢
اثر		-	-٠/۴٠	-٠/٠٤	-	-	-	-
ضريب متغير		-	-٠/٢٠	-٠/٠٢	-	-	-	-

بنابراين خواهيم داشت:

$$L=١٥/١٢٥-٣/١٢٥R+٠/٧٩V-١/١٢٥G-٠/٧٩RV+٠/٢١VG+١/٢٠٨RVG \quad (١)$$

$$D=٢/٢۶٧-٠/٢V-٠/٠٢G \quad (٢)$$

براي محاسبه وزن n شاخص (سطح پاسخ) با داشتن m مشاهده از هر شاخص، روش آنتروپي به‌اين صورت مورد بهره‌گيری واقع مي‌شود كه درآغاز براي مشاهده i از j امين شاخص (o_{ij})، مقدار نرمال شده r_{ij} از راه رابطه ٣ محاسبه مي‌شود (١ و ١٢):

$$r_{ij} = o_{ij} \Big/ \sum_{i=1}^{m} o_{ij} \; ; j = ١,٢,...,n \quad (٣)$$

حال آنتروپي شاخص j ام از طريق رابطه ۴ محاسبه مي‌شود:

$$E_j = -k\sum_{i=1}^{m} r_{ij} \ln r_{ij} : \; j = ١,٢,...,n \quad (۴)$$

به طوري كه:

$$k = 1 \Big/ \ln m \quad (٥)$$

در ايـن صـورت وزن شـاخص j ام (w_j) از راه رابطـه ۶ بدست مي‌آيد:

$$w_j = \frac{(1-E_j)}{\sum_{j=1}^{n}(1-E_j)} \quad ; j = ۱,۲,...,n \qquad (۶)$$

با انجام اين مراحل، اوزان چگالي چاپ (w_L) برابر ۰/۸۸ و ميزان پوشش جوهر (w_D) برابر۰/۱۲ مي‌باشد.

حال با در دست داشتن تـابع‌هـای هـدف، وزن‌هـا و علـم به‌اينكه هر كـدام از متغيـرهـاي تـصميم (عامـل‌هـا) تنهـا مي‌توانند يكي از دو سطح خـود (۱يـا۱-) را اختيـار كننـد، مسأله بهينه‌سازي دو هدفه به‌منظور بيشينه سـازي مقـادير L وD، به صورت زير خواهد بود (۲):

Max L=۱۵/۱۲۵-۳/۱۲۵R+۰/۷۹V-۱/۱۲۵G-۰/۷۹RV+۰/۲۱VG+۱/۲۰۸RVG

Max D=۲/۲۶۷-۰/۲V-۰/۰۲G

به‌طوري‌كه:

$$R = y_۱ - y_۲$$
$$V = y_۳ - y_۴$$
$$G = y_۵ - y_۶$$
$$y_۱ + y_۲ \geq ۱$$
$$y_۳ + y_۴ \geq ۱$$
$$y_۵ + y_۶ \geq ۱$$

آزاد در علامت: R,V,G صـــفر و يـــک: $y_۱,y_۲,y_۳,y_۴,y_۵,y_۶$

در ايـن مـسأله برنامـه‌ريـزي رياضـي $y_i;i=۱,۲,...,۶$ متغيرهاي صفر و يک مي‌باشند كـه تفاضـل دو بـه دو آنهـا مي‌تواند تنها اعداد مثبت يک، صفر يا منفـي يـک را توليـد كنند. اما از آنجا كه ميزان صفر بي معناست با بهره‌گيری از سه محدوديت نامساوي در مدل از توليد ميزان صـفر بـراي متغيرها خودداري مي‌شـود. بـا ايـن توصـيف هـر كـدام از متغيرهاي R، V و G تنها مي‌توانند ميزان منفي يـک يـا مثبت يک (سطح بالا يا پائين خود) را بگيرند.

به منظور حل اين مسأله برنامه‌ريزي رياضي دو هدفـه، بـه كمک روش فازي و با بهره‌گيری از وزن‌هـای بدسـت آمـده خواهيم داشت (۳):

Max $Z = ۰/۸۸l_۱ + ۰/۱۲l_۲$

به‌طوري كه:

$$۱۵/۱۲۵ - ۳/۱۲۵R + ۰/۷۹V - ۱/۱۲۵G - ۰/۷۹RV + 0.21VG + ۱/۲۱RVG \geq ۲۱/۹۵۵ - (۲۱/۹۵۵ - ۹/۴۵۵)(۱ - l_۱)$$
$$۲/۲۶۷ - ۰/۲V - ۰/۰۲G \geq ۲/۴۷۸ - (۲/۴۷۸ - ۲/۰۴۷)(۱ - l_۲)$$
$$R = y_۱ - y_۲$$
$$V = y_۳ - y_۴$$
$$G = y_۵ - y_۶$$
$$y_۱ + y_۲ \geq ۱$$
$$y_۳ + y_۴ \geq ۱$$
$$y_۵ + y_۶ \geq ۱$$

آزاد در علامت: R,V,G صـــفر و يـــک: $y_۱,y_۲,y_۳,y_۴,y_۵,y_۶$, $۰ \leq l_۱,l_۲ \leq ۱$

اعداد ۲۱/۹۵۵ و۲/۴۷۸ میزان تابع هدف بهینه‌سازي توابع L وD در مسأله یک هدفه و ۹/۴۵۵ و ۲/۰۴۷ مقادیر تابع هدف کمینه سازي تابع‌های L وD در مسأله یک هدفه مي‌باشند. متغیرهاي l_1،l_2 نیز میزان برآورده شدن هر یک از هدف‌ها مي‌باشند.

با حل مسأله بالا با نرم افزار LINGO®، در نهایت میزان های بهینه بدست مي‌آیند. این نتایج در جدول (۷) آمده اند:

جدول ۷- مقادیر بهینه بدست آمده از حل مدل ریاضي

متغیر	l_1	l_2	R	V	G
مقدار	۱	۰/۹۲	-۱	۱	-۱

این نتایج بدان معناست که به‌منظور دستیابی به بهترین نتیجه بایستي از کاغذي با زبري ۶/۳، گرانروي جوهر ۵۵-۵۰ با گرایندومتر ۲ بهره‌گیری کرد.

بحث

به منظور تعیین عامل‌های تاثیرگذار بر کیفیت چاپ در کاغذ بسته‌بندي سه عامل زبري کاغذ، گرانروي و گرایندومتر جوهر و اثرگذاری توأم آنها به کمک روش تحلیل واریانس مورد بررسي قرار گرفتند و مشخص شد که همه عامل‌ها و همچنین اثرگذاری توأم آنها به جز اثر توأم زبري کاغذ و گرایندومتر جوهر بر میزان پوشش جوهر به عنوان یکي از مشخصه‌هاي کیفیت چاپ، تاثیرگذار هستند. این در حالي بود که تنها دو عامل گرانروي و گرایندومتر جوهر بر چگالي چاپ به‌عنوان مشخصه دیگر کیفیت چاپ، تاثیرگذار هستند. همچنین با محاسبه مقابله و اثر عامل‌ها، ضریب تاثیر هر عامل بر میزان پوشش جوهر و چگالي چاپ محاسبه شد و تابع این خروجي‌ها برحسب عامل‌های تاثیرگذار بدست آمد. از طرف دیگر با بهره‌گیری از روش آنتروپي وزن هر کدام از خروجي‌ها را بدست آورده و با بهره‌گیری از آنها و همچنین توابع موجود، مسأله بهینه‌سازي در قالب یک مسأله برنامه ریزي ریاضي دو هدفه فرموله شد. هدف از حل این مسأله ریاضي، تعیین سطوح عامل‌ها به‌گونه‌اي که هر دو خروجي میزان پوشش جوهر و چگالي چاپ به صورت همزمان بیشینه شوند، بود. به کمک روش فازي این مدل دو هدفه به یک مسأله برنامه ریزي ریاضي یک هدفه تبدیل شد. براي این منظور دو متغیر جدید l_1 و l_2 تعریف شدند که نشان دهنده میزان برآورده شدن هدف‌ها تا حد میزان بهینه خود در حل مسأله تک هدفه بودند. پس از حل مسأله بهینه‌سازي مشخص شد که کاغذ با زبري پایین و جوهر با گرانروي بالا و گرایندومتر پایین باعث مي‌شود هدف اول یعني بیشینه سازي میزان پوشش جوهر به طورکامل برآورده شود ($l_1 = 1$) و هدف دوم یعني چگالي چاپ تا ۹۲ درصد به اندازه بیشینه خود برسد ($l_2 = 0.92$).

با مرور دوباره ادبیات پیرامون این بحث مي‌توان دریافت که بررسی‌های صورت گرفته به طورمعمول به بررسي عامل‌های تاثیرگذار به‌صورت جداگانه پرداخته‌اند و هر بار نیز تنها از یک خروجي بهره‌گیری کرده‌اند. در حالي که روش پیشنهادي توانسته است علاوه بر تعیین عامل‌های تاثیرگذار بر کیفیت چاپ از جهت‌های گوناگون و به‌صورت توأم، روابط مفیدي از چگونگي این تاثیرگذاري نیز ارائه دهد. این روابط برای تعیین سطوح بهینه عامل‌های تاثیرگذار مورد بهره‌گیری قرار گرفتند. در این خصوص مي‌توان به پژوهش (۶) اشاره نمود که تنها عمق نفوذ جوهر را به‌عنوان شاخص در نظر گرفته است. وي اندازه رنگدانه‌ها را در عمق نفوذ جوهر در کاغذ تاثیرگذار دانسته است. Dushmantha (۲۰۰۶) نیز با در نظر گرفتن عمق نفوذ جوهر به‌عنوان شاخص، حجم قطرات و زاویه برخورد قطرات به کاغذ را تاثیرگذار دانسته است.

در پژوهش‌های آتي مي‌توان اثرگذاری عامل‌های بیشتري را به‌صورت همزمان بر روي شاخص‌هاي خروجي بررسي نمود.

منابع

١- اصغرپور، محمد جواد، ١٣٧٧. تصميم گيري چند معياره، انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ص ٣٩٨.

٢- اصغرپور، محمد جواد، ١٣٨١. تحقيق در عمليات پيشرفته، انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ص ۴۶۰.

٣- شوندي، حسن، ١٣٨٥. نظريه مجموعه فازي و كاربرد آن در مهندسي صنايع و مديريت، گسترش علوم پايه، ص ٢٩۴.

۴- مونتگموري، داگلاس، ١٣٨۶. طراحي و تحليل آزمايش ها، ترجمه رسول نورالنسا، دانشگاه علم و صنعت ايران، ص ٥١٢.

5- Bergman, L., A. Verikas & M. Bacauskiene, 2005. Unsupervised colure image segmentation applied to printing quality assessment. Image and Vision Computing, Volume 23, Issue 4: 417-425.

6- Bülow, K., P. Kristiansson, B. Schüler, E. Tullander, S. Östling, M. Elfman, K. Malmqvist, J. Pallon & A. Shariff, 2002. The penetration depth and lateral distribution of pigment related to the pigment grain size and the calendaring of paper. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, Volume 189, Issues 1-4: 308-314.

7- Dushmantha, K., H. Zhang & W. Shen, 2006. Liquid-paper interaction during liquid drop impact and recoil on paper surfaces. Colloids surf. A Physicochem. Eng. Asp, vol. 280, no1-3: 203-215.

8- Granat, P., M. Pudas, O. Hormi, J. Hagberg & S. Leppavuori, 2004. Synthesis of acrylated ethyl cellulose for UV-curing ink. Carbohydrate Polymers, Volume 57, Issue 2: 225-228.

9- Havlinova, B., L. Hornakova, Z. Brezova, J. Kindernay & V. Jancovicova, 2000. Ink receptivity on paper-characterization of paper material. Physicochemical and Engineering Aspects, Volume 168: 251-259(9)

10- Heard, P. J., J. S. Prestons, D. J. Parsons, J. Cox & G. C. Allen, 2004. Visualization of the distribution of ink components in printed coated paper using focused ion beam techniques. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, Volume 244, Issues 1-3: 67-71.

11- Montgomery, D. C., 2005. Design and analysis of experimental. John Wiley & Sons. NJ. US.

12- Zou Z., Y. Yun & J. N. Sun, 2006. Entropy method for determination of weight of evaluating indicators in fuzzy synthetic evaluation for water quality assessment. Journal of Environmental Sciences, Volume 18, Issue 5: 1020-1023

Evaluating and optimizing effective factors on packaging paper print quality using design of experiments

M. Amiri[1], M. A. Adibi[*2] and Sh. Pourmousa[3]
[1]Assistant Prof., Allameh abatabaee University, Tehran, I.R.Iran
[2]MSc. Graduate, Islamic Azad University, Qazvin, I.R.Iran
[3] Scientific staff, Islamic Azad University of Karaj and Ph. D. Student, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, I.R.Iran.
(Received: 15 September 2008, Accepted: 31 May 2009)

Abstract

To evaluate effective factors on packaging paper print quality, random experiments were designed and tested at different level of ink and paper characteristics. Then print density and ink covering were measured using densitometer and loop criterion respectively. At the next step, each factor on output values; print density and ink covering was calculated. Employing entropy method, weight of each output was obtained. To optimize output values, the problem was formulated as a multi-objective non-linear integer mathematical programming and was solved using fuzzy method. As a result, effective factors on print density and ink covering were identified. Also the optimum value for any factor was obtained so that print density and ink covering get 100 and 92 percent of their maximum value respectively.

Keywords: Packaging industry, Design of Experiments, Entropy method, Mathematical programming, Multi-Objective Decision Making

*Corresponding author: Tel: +98 919 2216581 , Fax: +98 282 2562135 , E-mail: amin_adibi@yahoo.com