



مطالعه شبیه سازی و تجربی بالانس جریان در قالب های تزریق پلاستیک چند حفره ای

مهدی صادقی¹، عباس ذوالفقاری^{2*}، حمید باصری³

1- کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل

2- استادیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل

3- دانشیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل

* صندوق پستی 484، zolfaghari@nit.ac.ir

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی کامل

دریافت: 26 دی 1395

پذیرش: 26 اسفند 1395

ارائه در سایت: 03 اردیبهشت 1396

کلید واژگان:

قالب چند حفره ای

راهگاه

بالانس جریان

شات کوتاه

آزمون کشش

چکیده

مسئله مهم در طراحی قالب های چند حفره ای، بالانس جریان بین حفره ها است. هر انحراف در پر شدن نابالانس حفره ها مشکلاتی را در فرآیند تزریق و کیفیت قطعات تزریق پلاستیک ایجاد می کند. در این مقاله، بالانس جریان در یک قالب تزریق پلاستیک دو حفره ای با حجم های نابرابر (به اصطلاح قالب های خانوادگی معروف هستند) بررسی شده است. نرم افزار مولدفلو برای پیش بینی فاز پر شدن قالب به کار گرفته شد. قطرهای راهگاه های مربوط به هر حفره برای دستیابی به یک جریان بالانس تنظیم شد. بالانس جریان بوسیله قالب گیری تزریقی با شات کوتاه و اندازه گیری وزن هر حفره ارزیابی شد. پلی اتیلن سنگین به عنوان ماده پلاستیکی در این تحقیق استفاده شد. نتایج نشان داد که انطباق خوبی بین شبیه سازی و تجربی وجود دارد. همچنین، در این مقاله قطر یکی از راهگاه ها در حین قالب گیری تزریقی می تواند به وسیله قرارگیری یک اینسرت در راهگاه موردنظر تغییر یابد. اثر بالانس جریان روی خواص کششی قطعات تزریق شده بررسی شد. نتایج آزمون کششی نشان داد که قطعات به دست آمده از قالب بالانس استحکام کششی و تغییر طول تا نقطه شکست بالاتری به ترتیب 14% و 18% نسبت به قالب نابالانس دارند. اندازه های قطعات تزریق شده اندازه گیری شد. این نتیجه به دست آمد که اختلافی بین انقباض نمونه های به دست آمده از قالب بالانس و نابالانس مشاهده نشد.

An experimental and simulation study of flow balance in multi-cavity plastic injection molds

Mehdi Sadeghi, Abbas Zolfaghari*, Mehdi Sadeghi

Mechanical Engineering, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran

* P.O.B. 484, Babol, Iran, zolfaghari@nit.ac.ir

ARTICLE INFORMATION

Original Research Paper
Received 15 January 2017
Accepted 16 March 2017
Available Online 23 April 2017

Keywords:
Multi-cavity mold
Runner
Flow balance
Short shot
Tensile test

ABSTRACT

The main concern in the design of multi-cavity molds is flow balance between cavities. Any departure in flow balancing of the cavities can result in difficulties in processing and quality of injected parts. In this paper, flow balance in a two-cavity plastic injection mold with different sizes (or family-cavity mold) was investigated. Moldflow software was implemented to predict the filling phase through the cavities. Diameters of runners related to each cavity were adjusted to attain a balanced flow. Evaluation of the flow balance was conducted by injection molding as short-shot and measuring the weight of each cavity. A high density polyethylene (HDPE) was applied as plastic material in this research. Good agreement was observed between experimental and simulation results. Moreover, in this paper one of the runners could be resized while injection molding via an insert located in the mold. The effect of flow balance on the tensile properties of the injection molded specimens was investigated. The results indicated that the parts obtained from the balanced mold exhibit a higher tensile strength and elongation at break up to 14% and 18%, respectively. The dimensions of injected parts were measured. It was found that there are not any differences between the shrinkage of specimens obtained by balanced and unbalanced mold.

1- مقدمه

طراحی قطعات و قالب های تزریق پلاستیک به دلیل برخی ملاحظات مانند هزینه، الزامات کارکردی قطعه و نرخ تولید فرآیندی پیچیده می باشد. در صنعت تزریق پلاستیک، از قالب های چند حفره ای برای افزایش تیراژ تولید و بهره وری استفاده فراوانی می شود. اما مشکلی که در این نوع قالب ها وجود دارد این است که حفره های نزدیک تر به اسپرو به دلیل این که طول جریان کمتری دارند زودتر پر می شود در حالی که حفره های دیگر هنوز پر نشده اند.

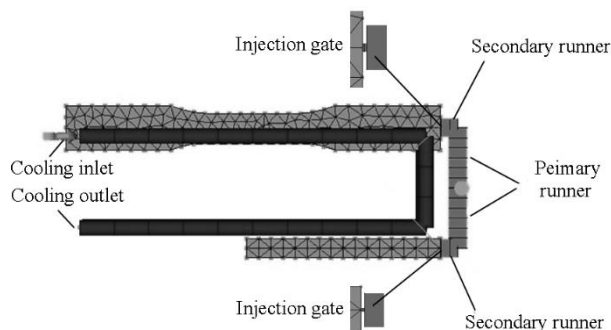
مهمترین عاملی که در قالب های چند حفره ای می بایست رعایت شود بالانس¹ (تعادل) جریان بین حفره ها است. بدین معنی که تمامی حفره ها می بایست در یک زمان مشابه با مذاب پلاستیک پر شوند. یک جریان بالانس شده بین حفره ها فشردگی بیش از اندازه در یک حفره را حذف می کند. اگر حفره ای نسبت به سایر حفره ها بیش از اندازه تحت فشار مذاب قرار گیرد امکان ایجاد پلیسه در خط جدایش، بیشتر شدن تنش های پسماند و تغییر اندازه قطعه

¹ Balance

دسته دیگری از قالب‌های چند حفره‌ای به نام قالب خانوادگی^۴ وجود دارد. همه حفره‌ها در این قالب در اندازه و شکل یکسان نیستند. این قالب‌ها در صنایع مختلفی مخصوصاً در ساخت اسباب بازی‌ها به کار برده می‌شود. در این قالب همه قطعات یک محصول با یک قالب و در یک شات تزریق تولید می‌شود. بنابراین، بهره‌وری بالاتر و هزینه پایین‌تر از جمله مزیت‌های قالب خانوادگی است. با توجه به این که حجم هر حفره یکسان نیست، بالانس کردن جریان ضروری می‌باشد. بالانس جریان در این قالب‌ها به کمک تنظیم قطر راهگاه انجام می‌شود. به‌طوری که قطر راهگاه‌های متصل به حفره بزرگ‌تر می‌بایست بزرگ‌تر باشد. با استفاده از تحلیل بالانس کردن قطر راهگاه^۵ در نرم‌افزار مولدفلو می‌توان به جریانی بالانس شده برای قالب‌های چند حفره‌ای رسید [1]. تاکنون هیچ کار تحقیقاتی روی بالانس کردن جریان در قالب‌های خانوادگی در منابع تحقیقاتی توسط نویسندگان مشاهده نشده است. اکثر قالب‌های چند حفره‌ای برای قطعات یکسان طراحی شده‌اند. بنابراین، در این مقاله یک قالب خانوادگی با دو حفره به منظور بالانس جریان با تنظیم قطر‌ها طراحی، ساخته و سپس تزریق شده است. توسط آزمایش‌های تجربی مقدار تعادل جریان بررسی شده است. همچنین اثر بالانس جریان بر روی

- ¹ Viscous heating
- ² Runner balancing
- ³ Moldflow
- ⁴ Family mold
- ⁵ Runner balancing

شکل 1 اندازه حفره‌ها: نمونه‌های آزمون (a) کشش، (b) خمش (ابعاد به میلی‌متر هستند)



شكل 2 جیدمان قالب

⁶ ASTM D638 (type III) & ASTM D790
⁷ Alathon H5618

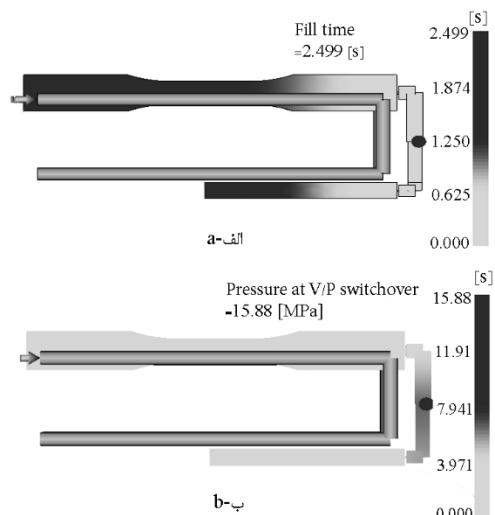


Fig. 4 Representation of contours a) filling and b) pressure in balanced mold

شکل 4 نمایش کانتورهای الف) پر شدن و ب) فشار در قالب بالانس

یکسان شود [8,7]. دو اینسرت با قطرهای 10.89 mm و 9.16 mm در این تحقیق استفاده شده که در راهگاه بزرگتر قرار می‌گیرد. با استفاده از اینسرت اول قالب به‌صورت بالانس شده عمل کرده و در صورتی که قالب نابالانسی مدنظر باشد از اینسرت دومی استفاده می‌شود. "شکل 5" صفحه حفره، دو اینسرت و شماتیکی از نصب اینسرت‌ها را در راهگاه نشان می‌دهد.

3- آزمایش‌ها

یک دستگاه ماشین تزریق پلاستیک با نیروی قفل 86 تن در این تحقیق استفاده شده است. از بین مواد موجود در بازار ایران، پلی اتیلن با چگالی بالا³ ساخته شده توسط پتروشیمی اراک مورد استفاده قرار گرفت. این پلاستیک دارای شاخص جریان مذاب 20 gr/10 min است که مشابه با پلاستیک استفاده شده در شبیه‌سازی‌ها می‌باشد. از آزمایش‌های ابتدایی، دمای مذاب و قالب به ترتیب 190 °C و 50 °C، فشار تزریق و نگهداری 35 MPa و زمان

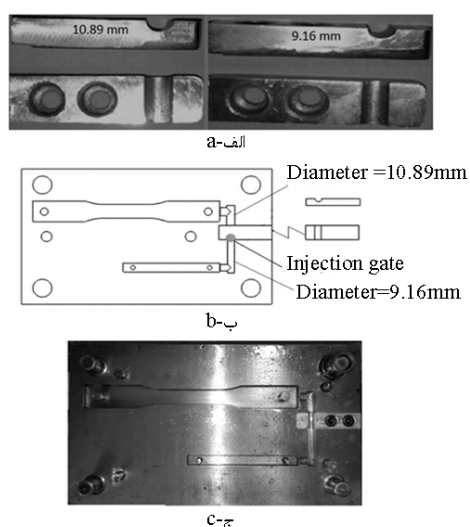


Fig. 5 The manufactured a) inserts b) cavity plate and c) installation method of inserts

شکل 5 الف) اینسرت‌ها، ب) صفحه حفره و ج) روش نصب اینسرت‌ها

دمای 190 °C براساس استاندارد¹ می‌باشد. دمای مذاب 220 °C، دمای سطح قالب 30 °C و دبی حجمی 27.6 cm³/s مطابق با پیشنهاد تامین کننده مواد در مولدفلو تنظیم شد. همان‌طوری که در "شکل 2" نشان داده شده است، چیدمان راهگاه قالب از دو بخش اصلی و فرعی تشکیل شده است. در ابتدا، قطرهای هر دو راهگاه 12 mm در نظر گرفته شد. "شکل 3" نتایج پر شدن هر دو حفره را نشان می‌دهد. همان‌طوری که در "شکل 3-a" نشان داده شده است حفره کوچک‌تر پر شده در حالی که حفره بزرگتر در حال پر شدن است. اختلاف در زمان پر شدن بین حفره‌ها 0.15 s است. در "شکل 3-b" فشار تزریق در انتهای تزریق نشان داده شده است. اختلاف فشار بین دو حفره 4.4 MPa است. برای دستیابی به یک قالب بالانس اختلاف فشار بین دو حفره می‌بایست بسیار ناچیز باشد. روش پیشنهادی برای بالانس جریان اختصاص دادن راهگاه با مقطع بزرگتر برای حفره بزرگتر است. مولدفلو می‌تواند به‌صورت خودکار قطر مناسب راهگاه برای هر حفره را جستجو نماید. برای استفاده کردن از تحلیل بالانس جریان در مولدفلو یک فشار هدف که همانند فشار تزریق است می‌بایست مشخص شود. این فشار 18 MPa تنظیم شد. قطرهای راهگاه به‌دست آمده بوسیله مولدفلو برای حفره‌های کوچک و بزرگ به ترتیب 9.16 mm و 10.89 mm است. "شکل 4-a" نشان می‌دهد که با این راهگاه‌ها حفره‌ها در یک زمان پر می‌شوند. در "شکل 4-b" مشاهده می‌شود که اختلاف فشار در پایان تزریق 0.1 MPa است.

با استفاده از قطرهای راهگاه به‌دست آمده، قالب تزریق ساخته شد. به‌عنوان یک نوآوری در طراحی، قالب طوری ساخته شده است که بتوان جریان نابالانس را با آن به‌وجود آورد. به این منظور یک اینسرت² در راهگاه بزرگتر قرار گرفته شد تا به‌صورت موضعی قطر راهگاه را کاهش دهد. شکل پروفیل سرعت در کانال‌های قالب تزریق به رئولوژی مذاب پلاستیک وابسته است. بنابراین تغییر دادن مذاب پلاستیک می‌تواند بالانس قالب را بر هم بزند. از طرفی با همین روش می‌توان قالب تزریق را برای محدوده وسیعی از مواد پلاستیکی به‌کار برد. مکانیزم مشابهی برای قالب‌های اکستروژن پلاستیک نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد تا به‌صورت موضعی در خروجی دای سرعت مواد

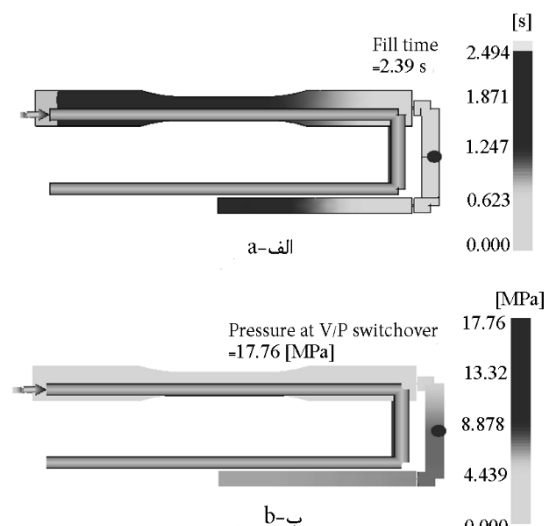


Fig. 3 Representation of contours a) filling and b) pressure in unbalanced mold

شکل 3 نمایش کانتورهای الف) پر شدن و ب) فشار در قالب نابالانس

¹ ASTM D1238

² Insert

³ HDPE5620EA

مقایسه بین نتایج تجربی و شبیه‌سازی در حالت شات کوتاه 56% انجام شده است. "شکل‌های 8 و 9" این مقایسه را برای نتایج تجربی و شبیه‌سازی به ترتیب برای قالب‌های بالانس و نابالانس نشان می‌دهد.

شکل‌ها نشان می‌دهد که تطابق خوبی بین نتایج شبیه‌سازی و تجربی حاصل شده است.

مشخصات کششی نمونه‌های بالانس و نابالانس در جدول 2 نشان داده شده است. یک نمونه از منحنی تنش-کرنش نیز در "شکل 10" نشان داده شده است. نمونه‌های تزریق شده از یک قالب بالانس نسبت به نمونه‌های به دست آمده از یک قالب نابالانس استحکام و چقرمگی بالاتری دارند. استحکام کششی و تغییر طول تا نقطه شکست آن‌ها حدود 14% و 18% بیشتر است. از طرفی مساحت سطح زیر نمودار تنش-کرنش نشان‌دهنده مقدار جذب انرژی قطعه می‌باشد. این مساحت برای قطعه بالانس حدود 40% بالاتر از قطعه نابالانس است.

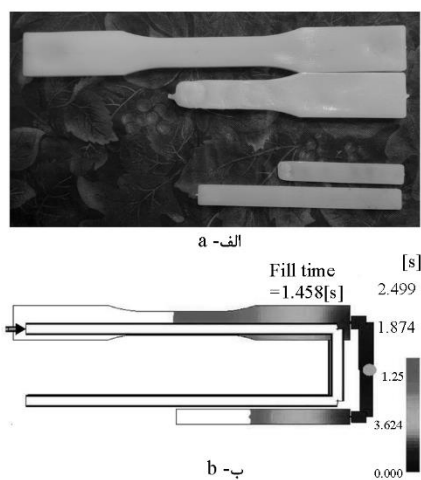


Fig. 8 Comparison between a) experimental and b) simulation results at short-shot 56% in balanced mold

شکل 8 مقایسه بین نتایج (الف) تجربی و (ب) شبیه‌سازی در شات کوتاه 56% در قالب بالانس

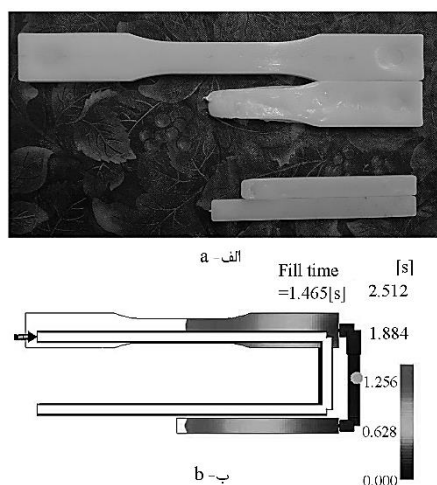


Fig. 9 Comparison between a) experimental and b) simulation results at short-shot 56% in unbalanced mold

شکل 9 مقایسه بین نتایج (الف) تجربی و (ب) شبیه‌سازی در شات کوتاه 56% در قالب نابالانس

اعمال فشار نگهداری 90 ثانیه انتخاب شد. برای ارزیابی بالانس جریان، از آزمون‌های شات کوتاه استفاده شد. سیلندر دستگاه تزریق تا 56% کل حجم آن پر می‌شود. سپس، وزن حفره‌هایی که به‌طور جزئی پر شده‌اند اندازه‌گیری می‌شود. در این مقاله وزن قطعه جزئی پر شده به کامل پر شده وزن نسبی نامیده شده است. اگر وزن‌های نسبی حفره‌ها یکسان باشد، بنابراین قالب بالانس است. نمونه‌های غیربالانس از قرار دادن اینسرت 9.16 mm به‌دست می‌آید. بنابراین دو دسته از آزمایش‌ها با دو اینسرت انجام شده است. در این تحقیق همچنین آزمون‌های کششی روی نمونه کششی به‌منظور بررسی اثر بالانس روی خواص کششی انجام شده است. یک ماشین آزمون کشش سنتام با ظرفیت 500 kg مورد استفاده قرار گرفت. سرعت کشش 50 mm/min تنظیم شده است. از هر آزمایش سه قطعه تولید شد که میانگین و انحراف معیار آن‌ها در نتایج آورده شده است. "شکل 6" یک نمونه شکسته شده تحت آزمون کشش را نشان می‌دهد.

4-نتایج و بحث

نمونه‌های به‌طور کامل تزریق شده در "شکل 7" نشان داده شده است. وزن نمونه‌های کششی و خمشی به ترتیب 36 و 4 گرم اندازه‌گیری شده است. وزن نسبی مربوط به دو دسته از آزمایش‌ها در جدول 1 آمده است. همان‌طوری که مشخص است در حالت بالانس، مقدار درصد وزن نسبی برای هر حفره یکسان و به مقدار 50% اندازه‌گیری شد. اختلاف شش درصدی بین شات کوتاه و مقدار اندازه‌گیری شده، مربوط به حجم اسپرو و راهگاه می‌باشد. در حالت نابالانس مشخص است که نمونه خمشی زودتر پر می‌شود.

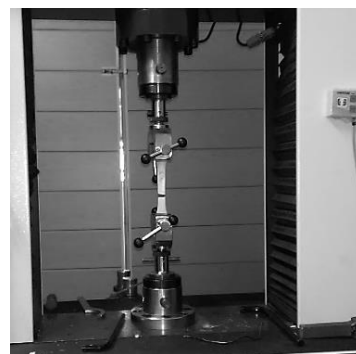


Fig. 6 Tensile test

شکل 6 آزمون کشش



Fig. 7 Full-shot specimens

شکل 7 نمونه‌های به‌طور کامل پر شده

جدول 1 وزن نسبی نمونه‌ها

Table 1 The relative weights of the specimens

آزمایش	قطر راهگاه اینسرتی (mm)	وزن نسبی نمونه کششی %	وزن نسبی نمونه خمشی %
1 (قالب بالانس)	10.89	50	50
2 (قالب نابالانس)	9.16	44	75

جدول 2 نتایج آزمون کشش

Table 2 Results of tensile test

آزمایش	استحکام کششی (MPa)	تغییر طول تا نقطه شکست %
1	24.5±0.5	18±1
2	21.5±2.2	16±0.3

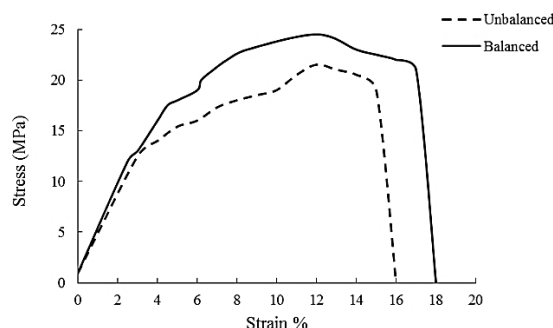


Fig. 10 Stress-strain curve in tensile test

شکل 10 منحنی تنش-کرنش در آزمون کشش

انقباض قطعات نیز بررسی شد. اما تفاوتی بین قطعات در حالت بالانس و نابالانس وجود نداشته است. یکی از دلایل این را می‌توان به نوع پلاستیک مورد استفاده شده در این تحقیق که دارای انعطاف‌پذیری بالایی است، نسبت داد. به‌عنوان پیشنهاد تحقیق می‌توان آزمایش‌ها با این قالب را برای مواد دیگر مانند پلاستیک‌های پر شده و یا تقویت شده با الیاف توسعه داد.

5- نتیجه‌گیری

یک بررسی شبیه‌سازی و تجربی روی بالانس جریان در یک قالب تزریق خانوادگی با دو حفره انجام شد. بالانس با روش تنظیم کردن قطر راهگاه‌ها توسط نرم‌افزار مولدفلو انجام شد. مقایسه نتایج تجربی و شبیه‌سازی نشان داد که نرم‌افزار مولدفلو می‌تواند قالب‌های چند حفره‌ای با حجم‌های نابرابر را به

درستی بالانس کند. همچنین مکانیزم عمل اینسرت قرار داده شده در راهگاه بزرگتر نشان داد که می‌تواند روی بالانس جریان تاثیر بگذارد. استحکام کششی، تغییر طول تا نقطه شکست و جذب انرژی با استفاده از بالانس کردن بهبود می‌یابد. این می‌تواند به ساختار داخلی نمونه‌ها بر گردد. به هر حال، تحقیقات بیشتری در این رابطه نیاز است. نتایج این تحقیق به‌طور واضح نشان می‌دهد که بالانس جریان در قالب‌های چند حفره‌ای بر روی خواص کششی قطعات اثرگذار است. موردی که تاکنون تحقیقی بر روی آن گزارش نشده است.

6- مراجع

- [1] I. W. M. Chan, M. Pinfold, C. K. Kwong, W. H. Szeto, A review of research, commercial software packages and patents on family mould layout design automation and optimisation, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 57, No. 1, pp. 23-47, 2011.
- [2] J. Kim, S. Ahn, S. V. Atre, S. J. Park, T. G. Kang, R. M. German, Imbalance filling of multi-cavity tooling during powder injection molding, *Powder Technology*, Vol. 257, pp. 124-131, 2014.
- [3] L. W. Seow, Y. C. Lam, Optimizing flow in plastic injection molding, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 72, No. 3, pp. 333-341, 1997.
- [4] M. Zhai, Y. C. Lam, C. K. Au, Runner sizing in multiple cavity injection mould by non-dominated sorting genetic algorithm, *Engineering with Computers*, Vol. 25, No. 3, pp. 237-245, 2009.
- [5] K. Alam, M. R. Kamal, Runner balancing by a direct genetic optimization of shrinkage, *Polymer Engineering & Science*, Vol. 44, No. 10, pp. 1949-1959, 2004.
- [6] R. G. W. Pye, *Injection Mold Design*, New York: Longman Scientific & Technical, pp. 169-170, 1988.
- [7] A. Zolfaghari, A. H. Behraves, A. Adli, M. T. Sarabi, Continuous glass fiber reinforced wood plastic composite in extrusion process: Feasibility and processing, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, Vol. 32, No. 1, pp. 52-60, 2013.
- [8] A. Zolfaghari, A. H. Behraves, E. Shakouri, E. Soury, Flow balancing in die design of wood flour/HDPE composite extrusion profiles with consideration of rheological effect, *Polymer Engineering & Science*, Vol. 50, No. 3, pp. 543-549, 2010.