افزایش مقیاس اکسترودر تک پیچ به کمک روش بنیادین

عابدین ظفری[1] ، محمد حسین کیانمهر[2] ، کامل قادر نژاد[1]

1 -دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران

2 -دانشیار گروه فنی ماشین های کشاورزی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران

abedinzafari@ut.ac.ir

چکیده

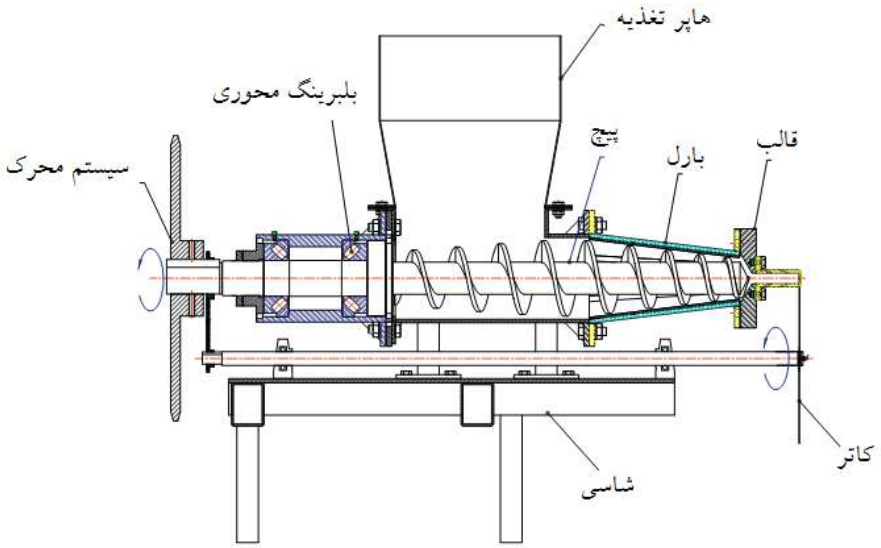
فشرده سازی مواد زیست توده که غالبا دارای چگالی پایین هستند، روشی مناسب برای افزایش چگالی، کاهش هزینه های حمل و نقل، تسهیل کاربرد و انبارداری این قبیل مواد می باشد . در سال های اخیر پیشرفت های چشم گیری در زمینه ی تولید دانش مرتبط با دستگ اه های فشرده ساز به ویژه اکسترودر درکشورصورت پذیرفته که اکثراً در قالب پایان نامه، گزارش، مقاله و در نهایت به صورت پتنت منتشر شده است . متاسفانه اکثر این فعالیت ها در این مرحله متوقف شده و به مرحله نیمه صنعتی و صنعتی نرسیده و نتوانسته در ارتقاء صنعتی و تجار ی کشور مفید اثر واقع گردند . افزایش مقیاس روشی ست که امکان انتقال دانش بدست آمده از یک نمونه ی آزمایشگاهی کوچک به نمونه با ابعاد صنعتی را فراهم می کند . با توجه به اهمیت موضوع قوانین و تئوری های زیادی برای افزیش مقیاس و تعیین فاکتورهای مقیاس ارائه شده است . روش بنیادین، روشی است که در آن بر مبنای معادلات حاکم بر موازنه جرم، حرارت و مومنتم، روند مناسب برای افزایش مقیاس تعیین می شود . هدف این تحقیق استفاده از روش بنیادین برای افزایش مقیاس یک اکسترود آزمایشگاهی می باشد که برای تولید پلت از کود کمپوست تهیه شده از زباله های آلی شهری طراحی و ساخته شده است . در این تحقیق با ثابت فرض کردن مصرف انرژی ویژه، زمان اقامت و نرخ برشی که عوامل تاثیر گذار بر پارامترهای کیفی پلت هستند و حل همزمان معادلات، فاکتورهای مقیاسی برای افزایش مقیاس اکسترودر بدست آمد . فاکتورهای مقیاس ضرایبی هستند که مدل آزمایشگاهی و مدل واقعی را به هم مرتبط می سازد.

کلمات کلیدی : افزایش مقیاس، اکسترودر تک پیچ، روش بنیادین، مواد زیست توده

مقدمه

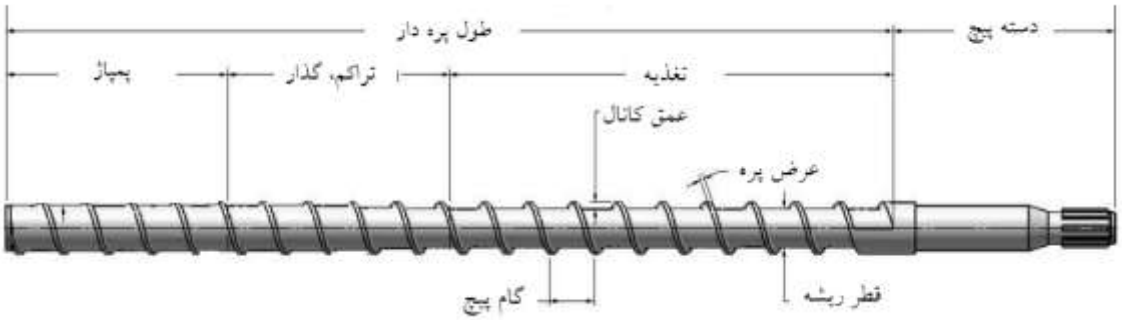
افزایش جمعیت و روند رو به رشد تولید زباله شهری در بسیاری از کشورهای دنیا به یک بحران تبدیل شده است . حدود ٪70 زباله ها ی تولید شده در شهرهای ایران دارای منشا آلی بوده و قابلیت تبدیل به کمپوست را دارند (گیتی، 1389). به منظور استفاده بهتر از زباله، روش های مختلفی چون سوزاندن، دفن کردن، بازیافت و تبدیل به مواد قابل استفاده مانند کمپوست را می توان به کار گرفت. در مرحله فرآوری، تبدیل مواد آلی زباله های شهری به کمپوست از اهمیت زیادی برخوردار است، چون که می توان از ماده ای به ظاهر بی ارزش همانند زباله آلی، ماده - ای با ارزش همانند کمپوست را به دست آورد که کاربرد گسترده ای به خصوص در کشاورزی و باغداری دارد (Mavaddati, et al. 2010). کمپوست تهیه شده از ضایعات آلی یک ماده موثر در بهبود شرایط فیزیکی و

شیمیایی خاک است. یکی از عوامل محدود کننده ی استفاده مناسب کمپوست جرم مخصوص پایین این ماده می باشد که حمل و نقل , ذخیره و کاربرد این مواد را مشکل ساخته و افزایش هزینه ها را به دنبال دارد . تکنولوژی فشرده سازی و تولید پلت کود کمپوست روشی مناسب برای رفع این مشکل ها است. فشرده سازی مواد زیست توده به معنی استفاده از نوعی فشار مکانیکی برای کاهش حجم این مواد و تبدیل آن ها به شکل جامد است که برای حمل و نقل و ذخیره سازی آسان تر می باشد (Erickson and Prior, 1990). فرایند فشرده سازی ایده ی جدیدی نیست و روش های مختلفی برای آن وجود دارد. دو نمونه ماشین برای تبدیل کود به پلت وجود دارد, یک نوع پلت ساز دیسکی (روش قالب‌گیری خشک) و نوع دیگر اکسترودر (روش قالب گیری تر) است. درماشین های پلت ساز دیسکی کمپوست م ابین دیسک ها یا غلتک ها تغذیه شده و همراه با چرخش آن ها به داخل حفره های قالب رانده شده و تولید پلت می کند. ماشین های قالب‌گیری از نوع اکسترودر شامل یک بارل هستند و مواد خام توسط یک پیچ در داخل آن به جلو رانده می شود. سپس توسط قالب نصب شده در انتهای ماشین به پلت تبدیل می شوند (Munoz-Hernandez et al. 2006). ساختار اساسی یک اکسترودر تک پیچ شامل اجزای زیر می باشد (شکل -1).



شکل 1- اجزای اصلی یک اکسترودر تک پیچ

پیچ قسمت مرکزی اکسترودر است که تغذیه مواد در دهانه تغذیه، انتقال، عمل آوری و اعمال نیرو به مواد به واسطه مقاومت قالب را انجام می دهد. پیچ اکسترودر به به سه قسمت تقسیم شده است (شکل-2) نام هر قسمت متناسب با عملی است که انجام می دهد.



شکل 2- اجزای اصلی پیچ اکسترودر

با اطمینان می توان اعلام نمود که پیشرفت های چشم گیری در زمینه تولید علم و دانش درکشورصورت پذیرفته که اکثرا در قالب پایان نامه، گزارش، مقاله و در نهایت به صورت پتنت منتشر شده است، اما اکثر فعالیت ها در این مرحله متوقف شده و به مرحله نیمه صنعتی و صنعتی نرسیده و نتوانسته است در ارتقاء صنعتی و تجاری کشور مفید اثرواقع گردد. با نگاهی گذرا به فعالیت های انجام شده در مراکز دانشگاهی، تحقیقاتی و صنعتی کشور، می توان به اهمیت و ضرورت تکنیکهای تغییر مقیاس واحدهای فرایندی در مقطع کنونی پی برد. افزایش مقیاس روشی به منظور انتقال دانش به دست آمده از نمونه کوچک آزمایشگاهی از تجهیزات به نمونه بزرگ با ابعاد واقعی است. اصلی ترین هدف از تغییر و افزایش مقیاس رسیدن به ظرفیت تولید مورد نظر براساس پیش بینی تقاضای بازار و بررسی های اقتصادی است. روشهای متعددی جهت تغییر مقیاس وجود دارد. یکی از کارامد ترین روش های افزایش مقیاس روش بنیادین می باشد . در ا ین روش بر مبنای تع یین معادلات حاکم برای موازنه جرم)معادلات انتقال جرم) موازنه حرارت (معادلات انتقال حرارت) و موازنه مومنتم (معادلات مومنتم) روند لازم برای تغییر مقیاس تعیین می شود. تمام معادلات در قالب روابط تئوریک دقیق بیان شده و با حل همزمان آنها می توان مدل جامعی از فرآیند را تیین نمود و طراح ی مناسب را برای ظرفیت مد نظربه انجام رسانید. این روش بسیار دقیق و کارآمد است، و با تع یین مدل دقیق فرآیند و معادلات مربوطه می توان با دقت بسیار بالایی تغییر مقیاس مناسب را بر سیستم اعمال نمود. کارلی و مک کلوی اولین کسانی بودن که افزایش مقیاس را برای اکسترودر و فرایند اکستروژن به کار بردند و پارامترهایی برای افزایش مقیاس اکسترودر های پلاستیک با قطر پیچ 2 و 20 اینچ را براساس تشابه هندسی، پیش بینی کردند (Carley and McKelvey, 1953). آنها سرعت پیچ، خروجی اکسترودر و مصرف توان اکسترودر را انداز ه گیری کرد ه و روابط خوبی برای سرعت، ظرفیت، فشار و توان پیدا کردند. پیرسون افزایش مقیاس را با تقسیم اکسترودر به سه ناحیه تغذیه، ناحیه مذاب، و ناحیه تنظیم و ارائه مدل ریاضی برای هر سه ناحیه انجام داد (Pearson, 1976). رائوندال از آنالیز ابعادی به عنوان یک روش اساسی در افزایش مقیاس اکسترودر استفاده کرد (Rauwendaal, 1987). او دو دسته پارامتر اولیه و ثانویه را به منظور افزایش مقیاس اکسترودر معرفی کرد . پارامترهای اولیه براساس کیفییت محصول در رابطه با مقیاس و شرایط عملکردی انتخاب شدند. عمق کانال(D)، طول پیچ (L)، زاویه هلیس(φ) و سرعت پیچ (N) به عنوان پارامترهای اولیه انتخاب شدند. پارامتر های ثانویه تغییرات فیزیکی ومکانیکی بوسیله مقیاس را که باید برای دستیابی به یک افزایش مقیاس موفقیت آمیز درک شوند، توصیف می کنند(Levine, 1989).

مواد و روشها

برای استخراج قواعد افزایش مقیاس تمام پارامترهای مورد نظر به وسیله یک رابطه توانی به نسبت قطرها مرتبط شدند. نسبت قطر اکسترودر بزرگ D_1 به قطراکسترودر کوچک D_2، d نشان داده شده است . تمامی پارامترهای اصلی با حروف بزرگ و فاکتور های مقیاس با حروف کوچک نمایش داده شده اند . رابطه ی بین پارامترها در اکسترودر بزرگ به پارامترها در اکسترودر کوچک می تواند به صورت زیر بیان شوند:

$$D_2 = D_1 d^1 \quad (1)$$

$$H_2 = H_1 d^h \quad (2)$$

$$L_2 = L_1 d^l \quad (3)$$

$$W_2 = W_1 d^w \quad (4)$$

$$\varphi_2 = \varphi_1 d^\beta \quad (5)$$

$$N_2 = N_1 d^v \quad (6)$$

زاویه ی هلیس مطلوب برای انتقال مواد جامد و پمپاژ مواد معمولاً مستقل از قطر پیچ بوده و مقدا ر مطلوب آن بین 17 تا 22/5 درجه قرار دارد (Rauwendaal, 1984). در نتیجه زاویه ی هلیس در طول افزایش مقیاس تغییر نکرده و فاکتور مقیاس[1] زاویه هلیس برابر صفر خواهد بود ($\beta = 0$). عرض کانال نیز بطور مستقیم متناسب با نسبت قطر ها می باشد($W_2 = W_1 d^1$).

نرخ برش در کانال اکسترودر با استفاده از رابطه ی زیر بدست می آید :

$$\dot{\gamma} = \frac{\pi DN}{H} \quad , \quad \dot{\gamma} \propto d^{1+v-h} \quad (7)$$

ویسکوزیته نیز با استفاده از رابطه ی زیر بیان می شود:

$$\mu = m\left(\frac{\pi DN}{H}\right)^{n-1} , \ \mu \propto m(d^{1+v-h})^{n-1} \quad (8)$$

زمان اقامت[2] مواد در اکسترودر وابسته به طول پیچ و سرعت انتقال مواد در داخل اکستر ودر می باشد و با استفاده از رابطه ی زیر بیان می شود:

$$t_r = \frac{L}{\pi DN} \quad (9)$$

با استفاده از روابط 1 تا 6 می توان زمان اقامت را به صورت زیر نوشت:

$$t_r = d^{l-1-v} \quad (10)$$

نرخ انتقال مواد جامد به صورت زیر بدست می آید:

$$Q = \rho HWN \ , \ Q \propto d^{h+2+v} \quad (11)$$

توان مصرفی پیچ اکسترودر با استفاده از سطح پیچ، πDL، تنش برشی عمال شده بر سطح بارل، τ، و سرعت بارل، v_b، بدست می آید (رابطه 12):

1- Scale factor
2- Residence time

$$P \cong \pi D L \tau v_b \quad (12)$$

تنش برشی نیز با استفاده از معادله ی قانون توان و رابطه ی زیر بیان می شود:

$$\tau = m\left(\frac{v_b}{H}\right)^n \quad (13)$$

با استفاده از روابط 12 و 13 و همچنین روابط 1 تا 6 می توان توان مصرفی پیچ اکسترودر را به صورت تابعی از پارامترهای اولیه نوشت (رابطه14):

$$P \propto d^{l+n+2+nv+v-nh} \quad (14)$$

مصرف انرژی ویژه اکسترودر نیز از تقسیم توان مصرفی پیچ بر نرخ انتقال مواد جامد بدست می آید (رابطه 15) که بر اساس پارامترهای اولیه، به صورت زیر بیان می شود (رابطه 16) :

$$SEC = \frac{P}{Q} \quad (15)$$

$$SEC \propto d^{l-h+n+nv-nh} \quad (16)$$

نتایج و بحث

نرخ برش، زمان اقامت و مصرف انرژی ویژه پارامترهای اصلی اثر گذار بر کیفیت محصول هستند (Levine,1989; Dhanasekharan and Kokini, 2000). با توجه به رابطه های 7، 10 و 16 برای ثابت بودن نرخ برش، زمان اقامت و مصرف انرژی ویژه لازم است که:

$$1 + v - h = 0 \quad (17)$$

$$l - 1 - v = 0 \quad (18)$$

$$l - h + n + nv - nh = 0 \quad (19)$$

مقدار فاکتور مقیاس v به شرایط کاری اکسترودر وابسته است و مقدار آن، سایر فاکتورهای مقیاس رانیز تحت تاثیر قرار می دهد با فرض ثابت بودن سرعت دورانی پیچ در اکسترود کوچک و بزرگ، فاکتور مقیاس v برابر صفر و تحت این شرایط $h = l = 0$ خواهد بود.

نتایج حاصل از محاسبه ی فاکتورهای مقیاس در جدول 1 آورده شده است . تغییر مقیاس های ایجاد شده در اکسترودر بزرگ نیز در جدول 2 نشان داده شده است.

جدول 1- فاکتورهای مقیاس برای اکسترور تک پیچ

پارامترها	روابط پایه	فاکتورهای مقیاس
عمق کانال	h	1
عرض کانال	w	1
طول پیچ	l	1
زاویه ی هلیس	β	0
سرعت پیچ	v	0
نرخ برش	$1+v-h$	0
زمان اقامت	$l-1-v$	0
نرخ انتقال مواد جامد	$h+2+v$	3
توان مصرفی پیچ	$l+n+2+nv+v-nh$	3
مصرف انرژی ویژه	$l-h+n+nv-nh$	0

چدول 2- پارامترهای اکسترودر بزرگ پس از اعمال قوانین افزایش مقیاس

پارامترها	اکسترودر کوچک	اکسترودر بزرگ
قطر پیچ	D_1	D_2
عمق کانال	H_1	$H_1 d^1$
عرض کانال	W_1	$W_1 d^1$
طول پیچ	L_1	$L_1 d^1$
زاویه ی هلیس	φ_1	$\varphi_1 d^0$
سرعت پیچ	N_1	$N_1 d^0$
نرخ برش	$\dot{\gamma}_1$	$\dot{\gamma}_1 d^0$
زمان اقامت	t_{r1}	$t_{r1} d^0$
نرخ انتقال مواد جامد	Q_1	$Q_1 d^3$
توان مصرفی پیچ	P_1	$P_1 d^3$
مصرف انرژی ویژه	SEC_1	$SEC_1 d^0$

$$d = \frac{D_2}{D_1}$$

منابع

Carley, J. F., & McKelvey, J. M. (1953). Extruder Scale-Up Theory and Experiments. Industrial and Engineering Chemistry, 45(5), 989-992.

Dhanasekharan, K. M., & Kokini, J. L. (2000). Viscoelastic Flow Modeling in the Extrusion of a Dough-Like Fluid. Journal of Food Process Engineering, 23 , 237-247.

Erickson, S. and Prior, M. (1990). The Briquetting of Agricultural Wastes for Fuel. FAO Environment and energy paper 11. FAO, Via delle Terme di Caracalla, 00100 Rome,Italy.

Gity, A. (2011). Sustainable management of soil and compost refining environment, first printing, Tehran University Press. P 113. (In Farsi).

Levine, L. (1989). Scale-Up, Experimentation, and Data Evaluation. In C.

Mavaddati, S., Kianmehr. M. H., Allahdadi, I. and Chegini , G . R. (2010). Preparation of Pellets by Urban Waste Compost. Int. J. Environ. Res **4**(4)**,** 665.

Munoz-Hernandez, J. Dominguez-Dominguez, and O. Alvarado-Mancilla. (2006). An Easy Laboratory Method for Optimizing the Parameters for the Mechanical Densification Process: An Evaluation with an Extruder. Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal. Manuscript PM 06 015. Vol. VIII.

Pearson, J. R. A. (1976). On the scale-up of single-screw extruders for polymer processing. Plastics and Rubber.

Rauwendaal C. (1994). Polymer Extrusion. Hanser /Gardner Publication, inc.

Rauwendaal, C. (1987). Scale-up of single screw extruders. Polymer Engineering & Science, 27(14), 1059-1068.

Rauwendaal, C. (1987). Scale-up of single screw extruders. Polymer Engineering & Science, 27(14), 1059-1068.