اویل ایندااستری
Oilindustry.ir
CLICK HERE

# اکسترودر
# Extruder

## 7-1- شرح و توصيف

يكي از مهمترين ويژگي پليمرها و به ويژه پلاستيك‌ها سهولت شكل‌پذيري آنهاست. در بعضي حالات، قطعات نيمه‌كاملي نظير ورقه‌ها يا ميله‌هاي توليد شده، متعاقباً با استفاده از روشهاي متداول ساخت، مانند جوشكاري يا ماشين‌كاري به قطعه نهايي تبديل مي‌شود. اما در بسياري مواقع، قطعه نهايي، عليرغم برخورداري از شكلي كاملاً پيچيده، طي يك مرحله توليد مي‌شود.

عمليات حرارت دادن، شكل دادن و خنك كردن ممكن است( مانند توليد لوله به روش اكستروژن[8] ) به دنبال يكديگر و بدون وقفه(Continuous) انجام شود و يا ممكن است طي مراحلي ناپيوسته، زمانگير و تكرار شونده ( مثل عمليات توليد تلفن خانگي به روش قالبگيري تزريقي) صورت پذيرد كه در اكثر موارد، فرايند به طور خودكار انجام شده براي توليد انبوه بسيار مناسب است. طيف وسيعي از روشهاي شكل‌دهي براي پلاستيك‌ها و پليمرهاي شكل‌پذير كاربرد دارد. در بسياري از حالات انتخاب روش به چگونگي شكل نهايي قطعه و گرما نرم يا گرما سخت بودن ماردون بستگي دارد. بنابراين در عمليات طراحي، آگاهي طراح از روش‌هاي متنوع شكل‌دهي، حائز اهميت است زيرا اشكال ناجور و نامناسب قطعه و يا مسائل جزئي كار طراحي، ممكن است محدوديت‌هايي در انتخاب روش قالبگيري براي طراح ايجاد كند.

## 7-2- دسته‌بندي اكسترودرهاي متداول

اين دسته بندي شامل گونه‌هاي زير مي‌شود:

1- اكسترودر تك‌ماردونه

2- اكسترودر دو ماردونه

### 7-2-1- مشخصه‌هاي عمومي اكسترودر تك‌ماردونه

يكي از متداولترين روشهاي شكل‌دهي پلاستيك‌ها، اكستروژن است كه از يك ماردون در داخل محفظه‌اي تشكيل شده است. پلاستيك‌ها معمولاً به صورت دانه‌اي‌شكل يا خاكه‌نرم از قيف به ماردونه تغذيه مي‌شود. آنگاه در حال حمل به وسيله ماردون در طول محفظه، در اثر هدايت حرارت از طرف گرمكننده‌هاي محفظه (Barrel Heaters) و برش ناشي از حركت بر روي لبه‌هاي ماردون گرم مي‌شود. عمق معبر (Channel-Depth) در طول ماردون كاهش يافته موجب فشرده شدن مواد مي‌شود. در انتهاي محفظه اكسترودر، مذاب با عبور از حديده اي به شكل مورد نظربراي محصول نهايي در مي آيد.همانطوركه بعداً خواهيم ديد،به دليل امكان استفاده از حديده‌هاي مختلف، اكسترودر يعني مجموعه محفظه و ماردون را مي‌توان به عنوان بدنه و واحد اصلي توليد قطعاتي با اشكال مختلف به كاربرد اكسترودر ماردونه سه قسمت مجزا دارد:

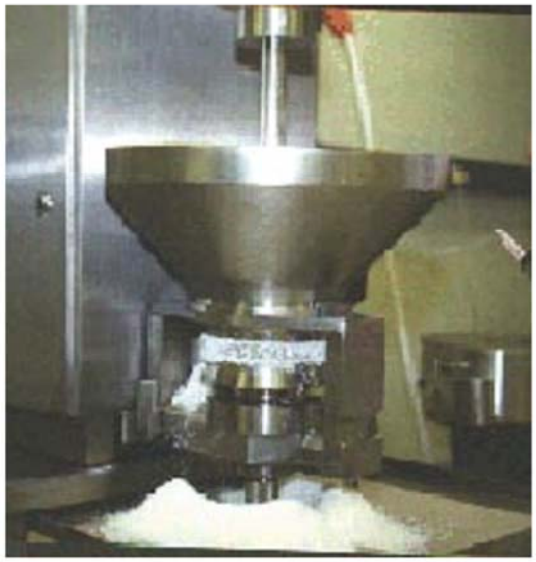
الف) ناحيه تغذيه (Feed Zone):

كار اين ناحيه، دادن گرماي اوليه به پلاستيك و انتقال آن به نواحي بعدي است. طراحي اين ناحيع حائز اهميت است. زيرا عمق ثابت ماردون طوري انتخاب شود كه مواد لازم و كافي را به ناحيه اندازه گيري (Metering Zone) تغذيه

---

[8] Extrusion

كند؛ به طوري كه نه دچار گرسنگي شود و نه در اثر زياد بودن مواد، لبريز و پس زده شود. طراحي مناسب (Optimum) و متعادل، به طبيعت و شكل مواد تغذيه‌شونده Feedstock))، شكل هندسي (Geometry) ماردون و خواص اصطكاكي پلاستيك نسبت به ماردون و محفظه بستكي دارد. رفتار اصطكاكي مواد تغذيه شده، تاثير قابل توجهي بر آهنگ ذوب شدن مواددارد.شكل شماتيك اين ناحيه را مي توان در زير ديد:



شكل 7-1ـ ناحيه تغذيه

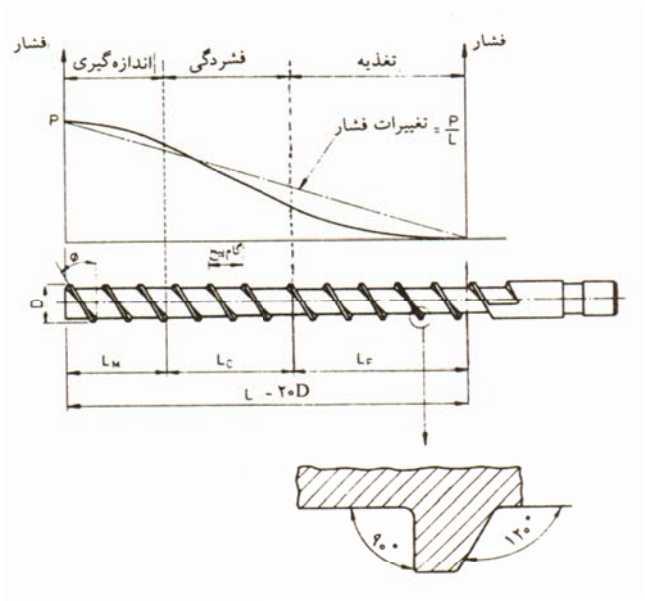
ب) ناحيه تراكم و فشردگي (Compression Zone):

در اين ناحيه، عمق ماردونه به تدريج كاهش مي‌يابد كه موجب متراكم شدن و فشردگي پلاستيك مي‌شود. اين فشردگي دو نقش عمده ايفا مي‌كند؛ يكي آنكه هواي محبوش در داخل مواد را به ناحيه تغذيه مي‌راند و ديگر آنكه انتقال حرارت را با كاهش دادن ضخامت مواد بهبود مي‌بخشد.

ج) ناحيه اندازه‌گيري و سنجش:

در اين ناحيه، عمق ماردونه يكسان و ثابت، اما بسيار كمتر از عمق ناحيه تغذيه است. در اين ناحيه، مذاب به صورت همگون و يكنواخت در مي‌آيد به طوري كه با آهنگ ثابتي، در درجه حرارت و فشار يكسان و ثابت، به حديده تغذيه مي‌شود. اين ناحيه به سهولت و سادگي تحليل و ارزيابي مي‌شود؛ زيرا مشتمل بر جريان مذاب گرانروان در داخل مجرايي با عمق و ابعاد ثابت است.

تغييرات و چگونگي پيدايش فشار (Build up) در طول ماردونه در شكل زير نشان داده شده است.

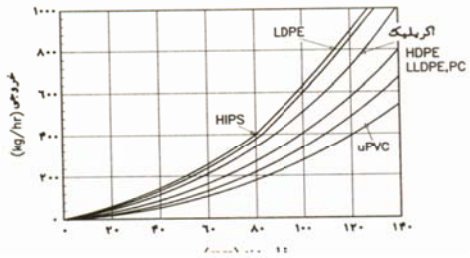



شكل 7-2ـ چگونگي تغييرات فشار در طول اكسترودر

طول نواحي سه‌گانه ماردون خاص، بستگي به ماده‌اي دارد كه تحت اكستروژن قرار مي‌گيرد. براي نمونه نايلون خيلي سريع ذوب مي‌شود، به طوري كه تراكم و فشردگي مذاب در طول يك گام از ماردون نيز قابل تامين است. اما پلي‌وينيل كلراید، به حرارت بسيار حساس است و لذا طول ناحيه فشردگي براي آن برابر با طول ماردون است.

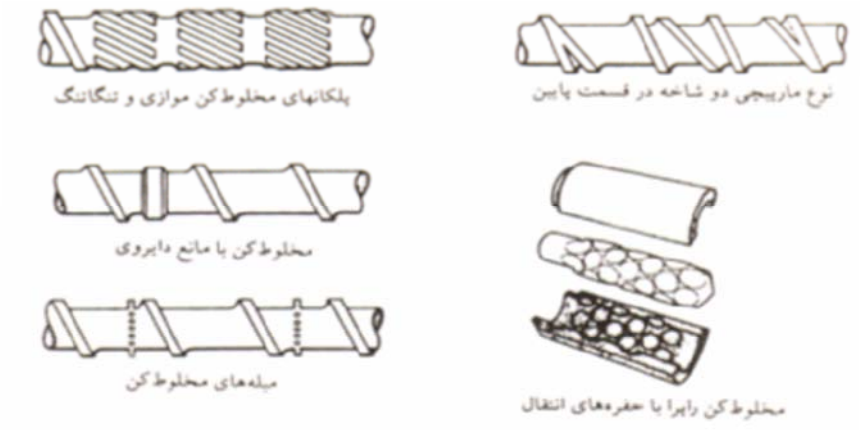
از آنجا كه پلاستيك‌ها داراي گرانروي‌هاي متفاوت هستند، رفتار آنها در خلال اكستروژن نيز متفاوت است. شكل زيرآهنگ وزني خروجي را براي پلاستيك‌هاي گوناگون در اكسترودرهايي با قطرهاي مختلف، نشان مي‌دهد.

شكل 7-3- آهنگ وزني خروجي در خلال اكستروژن




اين نمودار به عنوان ايده‌اي از رتبه‌بندي مواد به كار مي‌رود. آهنگ وزني خروجي واقعي25% ± با آنچه نشان داده شده اختلاف نشان مي‌دهد كه بستگي به دما، سرعت ماردون و غيره دارد.

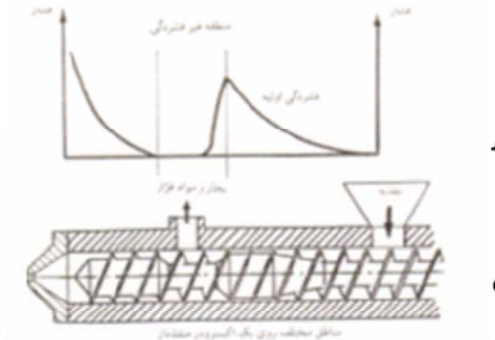
در اكسترودرهاي تجاري، نواحي اضافي براي بهبود كيفيت محصول به ماردون افزوده مي‌شود. به عنوان نمونه، ناحيه اختلاطي (Mixing Zone) مشتمل بر پلكان‌هايي(Flights) با گام كمتر يا معكوس، به منظور كسب اطمينان از يكنواختي مذاب و كافي بودن آن در منطقه اندازه‌گيري، استفاده مي‌شود. شكل زير برخي از طراحي‌هاي مختلف را براي ناحيه اختلاط روي ماردون اكسترودر نشان مي‌دهد.




شكل 7-4- طراحي نواحي مختلف اختلاط در اكسترودر

برخي از اكسترودرها ناحيه هواگيري (منفذ خروج هوا) وجود دارد. وجود اين ناحيه به اين دليل است كه برخي پلاستيك‌ها جاذب رطوبت (Hygroscopic) هستند يعني از محيط اطراف خود رطوبت جذب مي‌كنند و اگر به همين صورت مرطوب در اكسترودر فاقد ناحيه هواگيري استفاده شوند، كيفيت محصول نهايي خوب نيست؛ زيرا در داخل مذاب، بخار آب محبوس مي‌شود. براي رفع اين مشكل راه‌حل آن است كه مواد تغذيه‌شونده به اكسترودر را قبلاً خشك كنيم. اين روش گران و پر هزينه است و امكان آلودگي نيز در مواد ايجاد مي‌كند.

روش دوم، استفاده از محفظه‌هاي منفذدار (Vented Barrels) است. همانطور كه در شكل زير مشاهده مي‌شود، در اولين قسمت ماردون، مواد كه به صورت دانه‌بندي است، پس از ورود ذوب شده، سپس به طريق معمول فشرده و همگن مي‌شود.



شكل 7-5- چگونگي استفاده از محفظه هاي م

آنگاه با ورود به ناحيه غير فشردگي (e محيط كاهش مي‌يابد؛ اين عمل، امكان خروج و داخل مذاب را از طريق منفذ تعبيه شده در بدنه اكسترودر فراهم مي‌كند. انتهاي مذاب در طول محفظه به ناحيه دوم فشردگي هدايت مي‌شود تا از محبوس شدن هوا در مذاب ممانعت به عمل آيد.

دليل دفع بخار اين است كه در دمايي برابر با C250 °، بخار آب موجود در پلاستيك مذاب داراي فشاري برابر 4 $MN/m^2$ است كه موجب خروج آسان آن از مذاب و گريز از منفذ خروج مي‌شود. توجه كنيد كه چون فشار محيط تقريباً 0.1 $MN/m^2$ است، استفاده از مكش خلاء (Vacuum) در منفذ خروجي، اثر ناچيزي در خروج بخار و مواد فرار دارد.

يكي ديگر از اجزاي مهم اكسترودر، صافي(Gauze Filter) پس از ماردون و پيش از حديده است. اين صافي به صورت كاملاً موثري هرگونه مواد ناهمگون و ناخالصي‌ها را از مذاب جدا مي‌كند. عدم وجود آن حتي ممكن است موجب انسداد حديده گردد. اين صفحات صاف و غربال‌كننده معمولاً مذاب را تا مقياس µm150-120 صاف و تصفيه مي‌كنند. اما شواهد موجود نشان مي‌دهد كه ذراتي كوچكتر از مقياس فوق، موجب شروع ايجاد ترك‌هاي مويين در توليدات پلاستيكي نظير لوله‌هاي تحت فشار پلي‌اتيلني مي‌شود. براي چنين مواردي صافي‌هاي بسيار ظريفي در مقياس µm45 به كار مي‌رود كه به گونه‌اي موثر و جالب توجه، كيفيت و عمر مفيد محصول را بهبود مي‌بخشد.

از آنجا كه اين صافي‌هاي ظريف آسيب‌پذير است، توسط صفحه سرعت شكني (Breaker plate) هدايت مي‌شود. اين صفحه تعداد زيادي سوراخهاي مماس بر يكديگر و بسيار تنگاتنگ دارد كه بدون اينكه به ذرات جامد سوخته (Dead-Spots) احتمالي همراه با مذاب اجازه ورود دهد، مذاب را عبور مي‌دهد. اين صفحه سرعت شكن همچنين جريان مذابي را كه پس از خروج به صورت حلزوني در آمده است خطي مي‌كند. چون منافذ اين صافي‌هاي ظريف به تدريج بسته مي‌شود، پي در پي باز شده، تعويض مي‌شود. در بسياري از اكسترودرهاي پيشرفته با صافي‌هاي ظريف، كار تعويض آنها بدون نياز به توقف اكسترودر صورت مي‌گيرد. همچنين بايد خاطر نشان كنيم كه اگرچه اين وظيفه اصلي صفحه سرعت‌شكن و صاف نيست؛ اما به ايجاد فشار معكوسي كه موجب بهبود اختلاط مذاب مي‌شود كمك مي‌كن. چون فشار در حديده حائز اهميت است، شيري (valve) پس از صفحه سرعت‌شكن در اكسترودر وجود دارد كه امكان تنظيم لازم را فراهم مي‌آورد.

### 7-2-1-1- چگونگي جريان (Mechanism of flow)

پلاستيگ با حركت در طول ماردون به صورت زير ذوب مي‌شود. نخست لايه نازكي(Thin Film) از ماده مذاب در جداره محفظه تشكيل مي‌شود. با چرخش ماردون اين لايه از جداره محفظه كنده شده به قسمت جلوي پيكان ماردون انتقال مي‌يابد و وقتي كه به سطح خود ماردون (Core of screw) مي‌رسد، دوباره به طرف بالا جاروب مي‌شود. بدين ترتيب حركت چرخشي در جلوي پيكان ماردون (پيشاني ماردون ) به وجود مي‌آيد. در آغاز، پلكان ماردون حاوي دانه‌هاي جامد است كه در اثر حركت چرخشي به داخل حوضچه مذاب جاروب مي‌شود. با استمرار چرخش ماردون، مواد بيشتري به داخل حوضچه مذاب ريخته مي‌شود. تا اينكه در نهايت فقط مواد مذاب است كه پلكانهاي ماردون اكسترودر وجود دارد. در اثناي گردش ماردون در داخل محفظه، حركت مواد در راستاي طول ماردون بستگي به چسبندگي مواد به ماردون يا محفظه دارد. به طور نظري در مرز افراط و تفريط (Extremes) وجود دارد. در يكي فقط مواد به درون ماردون چسبيده است، در نتيجه ماردون و مواد مانند استوانه توپر و جامدي در داخل محفظه مي‌چرخد. در اين حالت نامناسب هيچ خروجي وجود ندارد. در حالت دوم، مدار روي ماردون مي‌لغزد و مقاومت زيادي در برابر گردش ماردون در داخل محفظه به وجود مي‌آورد. در اين حالت حركتي در جهت محور دستگاه براي مذاب فراهم مي‌شود كه بهترين حالت ممكن است. در عمل، رفتار واقعي، حالتي بين دو واحد است

زيرا مواد هم به ماردون و هم به بدنه اكسترودر مي‌چسبد. خروجي مناسب ناشي از به وجود آمدن جريان كشنده و جلو برنده‌اي (Drag flow) در اثر چرخش ماردون و سكون محفظه است كه به حركت سيال گرانروان بين دو صفحه موازي شباهت دارد كه در آن صفحه‌اي ثابت و صفحه ديگر داراي حركت است. علاوه بر اين، جريان ديگري هم ناشي از اختلاف فشار بين دو انتهاي ماردون است وجود دارد و به اين دليل كه حداكثر فشار در انتهاي اكسترودر به وجود مي‌آيد، جريان فشاري(Pressure flow) خروجي را كاهش مي‌دهد. همچنين به دليل فاصله(Clearance) كه بين پلكانهاي ماردون و بدنه اكسترودر وجود دارد اجازه نشتي به مواد در جهت عكس امتداد ماردون داده، به طور موثري خروجي گاز را كاهش مي‌دهد. فرار و گريز مواد به سمت عقب ماردون در حالتي كه ماردون فرسوده(Worn) باشد بيشتر است.

گرما يا سرماي خارج اكسترودر نيز نقش مهمي در نحوه ذوب شدن مواد ايفا مي‌كند. در اكسترودرهايي كه داراي خروجي زيادي هستند، مواد، طول محفظه اكسترودر را سريع مي‌كند. در نتيجه گرماي ذوب شدن كامل در اثر عمل برش توليد مي‌شود و به استفاده از حرارت‌دهنده‌هاي خارجي محفظه اكسترودر نيازي نيست. بنابراين در اين حالت اگر گرماي زيادي در مذاب به وجود آمده باشد سرد نگه داشتن محفظه حائز اهميت است. در برخي مواقع خنك كردن ماردون اكسترودر نيز لازم است كه البته اثري بر درجه حرارت مذاب ندارد. اما اثر مالشي(اصطكاكي) بين پلاستيك و ماردون را كاهش مي‌دهد. در همه اكسترودرها خنك كردن محفظه اكسترودر در ناحيه تغذيه ضروري است و لازم است تا بتوان اطمينان كاملي از تغذيه بدون درد سر مواد به اكسترودر به دست آورد.

طبيعت و حالت گرمايي مذاب در اكسترودر با دو حالت ترموديناميكي مقايسه مي‌شود. اولي حالت بي در رو(Adiabatic) است؛ به اين مفهوم كه سيستم كاملاً مجزا از محيط خارج است و هيچ جذب و دفع حرارتي در آن رخ نمي‌دهد. اگر اين حالت مطلوب در اكسترودر حاكم نباشد، فقط مقداري كار لازم است روي مذاب انجام شود تا گرماي معين توليد كند كه به ازاء آن هيچ ضرورتي به گرم يا سرد كردن دستگاه نباشد. حالت مطلوب دوم، به همدما(Isothermal) موسوم است كه در اين حالت، درجه حرارت در تمام نقاط مذاب يكسان است و در نتيجه محفظه به گرم كردن و سرد كردن مستمر و دائمي براي جبران هرگونه اتلاف يا اخذ حرارت از مذاب براي ثابت ماندن دما نياز دارد. در عمل، عمليات حرارتي در اكسترودرها بين دو حالت مرزي فوق قرار دارد. اكسترودرها ممكن است بدون هيچ حرارت‌دهنده يا سرد كننده خارجي كار كنند. ليكن در واقع در اين صورت بي در رو نيست؛ زيرا اتلاف حرارت به وقوع مي‌پيوندد. از طرف ديگر با حالت همدما در تمام طول اكسترودر مواجه نيستيم زيرا دانه‌هاي جامد نسبتاً سردي به اكسترودر تغذيه مي‌شود. اما برخي از نواحي اكسترودر ممكن است خيلي نزديك به حالت همدما باشد. معمولاً ناحيه اندازه‌گيري در بحث و تحليل همدما در نظر گرفته مي‌شود.

در حالت كلي:

جريان خروجي از اكسترودر را برآيند سه مولف مي‌دانيم

1- جريان جلو برنده و كشنده

2- جريان فشاري
3- جريان نشتي(Leakage flow)

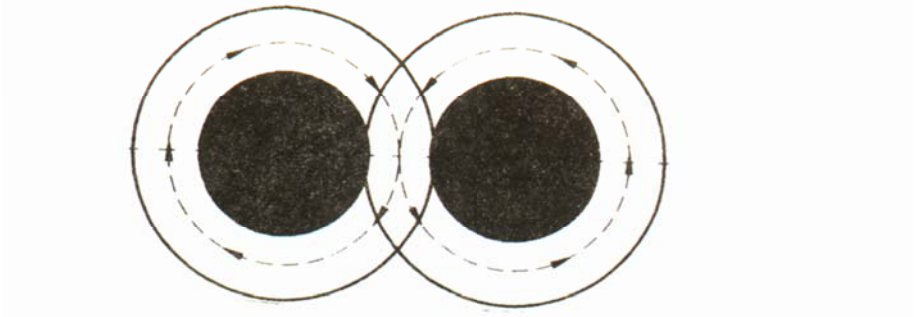
## 7-2-2- مشخصه‌هاي عمومي اكسترودر دوماردونه

در سالهاي اخير استفاده از اكسترودرهاي دوماردونه كه در داخل محفظه داغ اكسترودر حركت چرخشي دارد، افزايش يافته است. اين دستگاه‌ها در مقايسه با اكسترودرهاي تك‌ماردونه تفاوتهايي در آهنگ خروجي، بازده اختلاط، حرارت توليد شده و نظاير آن نشان مي‌دهد. خروجي اكسترودر دوماردونه معمولاً سه برابر اكسترودر تك‌ماردونه‌اي با همان قطر و سرعت است.در زيرطرحي ازاكسترودردوماردون آمده است:

شكل 7-6- نمونه اي از اكسترودر دوماردون

اگرچه اصطلاح "ماردون دوقلو" اصطلاحي بين ا... دستورهاي دو ماردونه است؛ اما دو ماردون لزوماً يكسان نيستند. در واقع انواع گوناگوني از اين دستگاه موجود است. برخي از آنها را كه داراي ماردن‌هايي با گردش در جهت مخالف يا موافق يكديگر است نشان مي‌دهدو به علاوه ماردونها ممكن است به صورت جفت شده(Conjugated) يا جفت نشده(Non-Conjugated) باشند. در حالت جفت نشده، بين پلكان‌هاي ماردون فضاي خالي وجود دارد كه امكان حضور مواد را نيز فراهم مي‌كند.

در اكسترودر دو ماردونه‌اي با جهت چرخش مخالف يكديگر، مواد دچار برش و فشردگي مي‌شوند(نظير آنچه در غلتكراني رخ مي‌دهد) يعني مواد بين غلتك‌هايي با جهت چرخش متفاوت، فشرده مي‌شود. در اكسترودر حاوي دو ماردون با جهت چرخش يكسان، مواد از يك ماردون به ديگري در مسيري به شكل 8 منتقل مي‌شود(نظير شكل 7-8)



اين گونه ... رايس براي مواد حساس به حرارت كامل مناسب است؛ زيرا مواد در اكسترودر به سرعت منتقل مي‌شود بدون اينكه كمترين احتمال ماندگار شدن موضعي(Entrapment) مواد وجود داشته باشد. حركت مواد در اطراف ماردون‌هاي جفت نشده كمتر (كندتر) است ولي نيروي جلوبرنده(Propulsive) بزرگتر است. در

جدول زير اكسترودرهاي تك‌ماردونه و دوماردونه با گردش همجهت و غيره همجهت مقايسه شده است:

| نوع | تك‌ماردونه | ماردون با گردش همجهت | | **دوماردونه با گردش خلاف جهت** |
|---|---|---|---|---|
| | | با سرعت كم | با سرعت زياد | |
| اصل | اصطكاك بين استوانه و مواد، همچنين بين ماردون و ماده | اصولاً به اثر اصطكاك و وابسته است نظير آنچه در اكسترودر تك‌ماردونه اتفاق مي‌افتد. | | **انتقال نيروي مكانيكي بر اساس پمپ دنده‌اي** |
| بازده انتقال | كم | متوسط | متوسط | **زياد** |
| بازده اختلاط | كم | متوسط/زياد | متوسط/زياد | **زياد** |
| اثر برشي | زياد | متوسط | زياد | **كم** |
| اثر خود پاك‌كنندگي | ناچيز | متوسط/زياد | زياد | **كم** |
| بازده انرژي | كم | متوسط/زياد متوسط/زياد | زياد | **زياد** |
| توليد گرما | زياد | متوسط | زياد | **كم** |
| توزيع درجه حرارت | گسترده | متوسط باريك | زياد | **باريك** |
| حداكثر سرعت گردش | 100-300 | 25-35 | 250-300 | **35-45** |
| **حداكثر اندازه مفيد ماردون L/D** | **30-32** | **7-18** | **30-40** | **10-21** |

جدول 1- ويژگي‌هاي مهم اكسترودرهاي مختلف

## 7-3- روش‌هاي شكل‌دهي با استفاده از اكسترودر

اكستروژن روشي بسيار انعطاف‌پذيري است و با استفاده از حديده مناسب مي‌توان طيف وسيعي از توليدات را تهيه كرد. برخي از اين روش‌هاي بسيار متداول را در اينجا ذكر مي‌كنيم:

الف) توليد دانه‌گونه(Granule production)

ب) توليد پروفيل(Profile production)
ج) توليد ورقه‌هاي بسيار نازك به طريقه دمشي(Film blowing)
د) قالبگيري دمشي (Blow Molting)