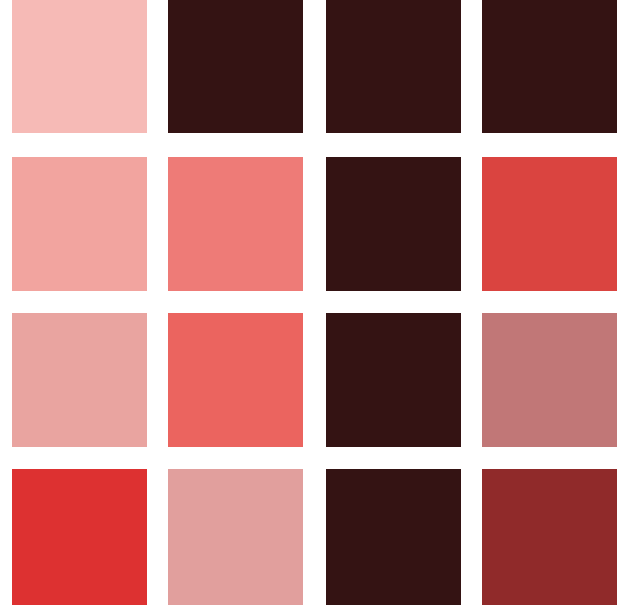




SEKTÖR RAPORU · SAYI 2 · EKİM 2026 · TEKNİK RAPOR

Merkezi Hammadde Besleme Sistemlerinde Verimlilik ve Kalite

Hız, hat tasarımı, makine yanı-merkezi seçimi ve hammadde zincirinin parça kalitesine etkisi — kaynaklı sayılar ve açıkça gösterilen veri boşluklarıyla.

YÖNETİCİ ÖZETİ

Merkezi beslemede hız verimi, kapalı zincir kaliteyi belirler

15–20 m/s

Granül için alma noktası hava hızı bandı; altı tıkar, üstü aşındırır

~6 kat

Hız iki katına çıkınca aşınma (hızın 2,5'inci kuvveti veya fazlasıyla artar)

2 kat

Yalnız 0,5 bar vakumda hat içi hava hızındaki artış

10 kat

Basınçlı havanın kullanım noktasında eşdeğer elektriğe göre maliyeti

Plastik enjeksiyon tesisinde hammaddenin depodan makinenin besleme boğazına kadar izlediği yol hem enerjiyi ve emeği hem de parça kalitesini belirler. Verim tarafında merkezi hammadde besleme sisteminin performansı, pompanın büyüklüğünden çok **alma noktasındaki hava hızının doğru banda (granül için yaklaşık 15–20 m/s) oturtulmasına**, hattın eşdeğer uzunluğunu şişiren dirsek ve hortumların azaltılmasına ve sistemin görünmeyen kaçaklarının kapatılmasına bağlıdır. Hız bu bandın altına düşerse hat tıkanır; üstüne çıkarsa aşınma hızın yaklaşık 2,5'inci kuvvetiyle artar, dirsekler melek tozu ve toz üretir, filtreler dolar ve pompa daha çok malzeme değil daha çok hava taşır.

Vakum altında hava genleştiği için hız hat boyunca kendiliğinden yükselir; yalnız 0,5 bar vakum bile hat sonunda hızı iki katına çıkarır, bu yüzden "hat sonunda yetsin" diye büyütülen pompa, sistemin en pahalı hatasıdır. Enerji tarafında en güçlü bağımsız dayanağı olan kaldırıcı basınçlı havayla taşımamaktır; mesafeye uygun pompa tipi, hız kontrolü ve pompa kademelendirmesi onu izler. Taşınan ton başına kWh için **bağımsız, ölçülmüş bir sektör kıyaslaması yayımlanmış değildir** ve dolaşan tasarruf yüzdelerinin neredeyse tamamı üretici beyanıdır.

Kalite tarafında belirleyici olan tek bir ekipman değil **zincirin kapalılığıdır**: reçine üreticileri kalıntı nem sınırlarını föyde verir (PA66 için %0,2, TPU için %0,05, PBT için %0,04), bir kısmı makinenin kapalı bir taşıma sistemiyle beslenmesini açıkça ister ve kurutulmuş granülün eşige dakikalar ölçeğinde döndüğünü gösterir; ince tane ve kötü kırma erimemiş granül ve nokta, düşük oranlı masterbatchte gram mertebesindeki dozaj hatası renk sapması üretir.

Sahada "yandan çekirtme" diye anılan makine yanı bağımsız yükleyici ile merkezi sistem arasındaki seçim bu iki eksenin kesiştiği yerdedir: merkezi sistemin enerji ve fire üstünlüğüne dair rakamlar üretici beyanıdır ve ikisini karşılaştıran bağımsız bir ölçüm yoktur; savunulabilir üstünlük kapalı ve kuru taşıma, yanlış malzemenin engellenmesi, oktabin ve forkliftin üretim alanından çekilmesi ve

bakımın tek noktaya toplanmasıdır. Yayımlanmış tek nicelikli geri dönüş vakasında da gerekçenin ana kalemi enerji değil, vardiya başına bir malzeme personelinin ve yanlış malzeme, kirlenme ve hatalı kurutmadan doğan hurdanın ortadan kalkmasıdır.

Bu rapor, bu ilişkileri kaynaklı sayılarla kurar, veri boşluklarını açıkça gösterir ve tasarım ile işletme için doğrudan kullanılabilecek bir kontrol listesi, hata tablosu ve ölçüm seti önerir.

%0,2 - %0,05 - %0,04

PA66, TPU ve PBT için reçine üreticisinin föyde verdiği kalıntı nem sınırı

30 dakika

Kurutulmuş polimerin işlenmesi için sektör yazılarındaki pratik süre

14-16 ay

Yayımlanmış tek nicelikli vakada beklenen geri dönüş (250.000 \$ yatırım; müşteri ve tedarikçi beyanı)

Editorial not. Her sayının kaynağı satır içinde verilmiştir. Ekipman üreticisinin kendi ürünü veya sistemi hakkındaki ifadeleri "üreticinin beyanı" olarak işaretlenmiştir. Web kaynaklarının tamamı 30.09.2026'da açılıp ilgili ifade kaynak metninde aranmıştır; canlı adresi açılmayan sayfalar web.archive.org kopyasından okunmuş ve "arşiv kopyası" olarak işaretlenmiştir; kaynağında bulunamayan ifadeler rapordan çıkarılmıştır. Yönetici özetindeki sayıların kaynakları ilgili bölümlerde verilmiştir. Bu rapor için kaynak verilerden türetilmiş örnekler "Teknik Part hesabı" olarak işaretlenmiştir; bunlar ölçüm değil, yöntemin gösterimidir; kaynaklardan yapılan yorumlar "Teknik Part çıkarımı" veya "Teknik Part yorumu", ölçüme dayanmayan saha bilgisi "Teknik Part saha gözlemi" olarak işaretlenmiştir.

Kapsam: rapor, hammaddenin depolamadan makinenin besleme boğazına kadar geçtiği merkezi besleme eksenini (taşıma, kurutma, dozajlama ve harmanlama, kırma, metal ayırma, kodlama ve yanlış malzeme önleme) ele alır ve parça kalitesini bu zincir üzerinden değerlendirir; kalıp sıcaklık kontrolü (şartlandırma) ile soğutma ve chiller sistemleri kapsam dışıdır ve ayrı bir raporun konusudur. İnç-pound birimleri kaynaktaki gibi verilip SI karşılığı parantez içinde eklenmiştir (1 ft/dk = 0,00508 m/s; 1 mph = 0,447 m/s; 1 inHg ≈ 33,9 mbar).

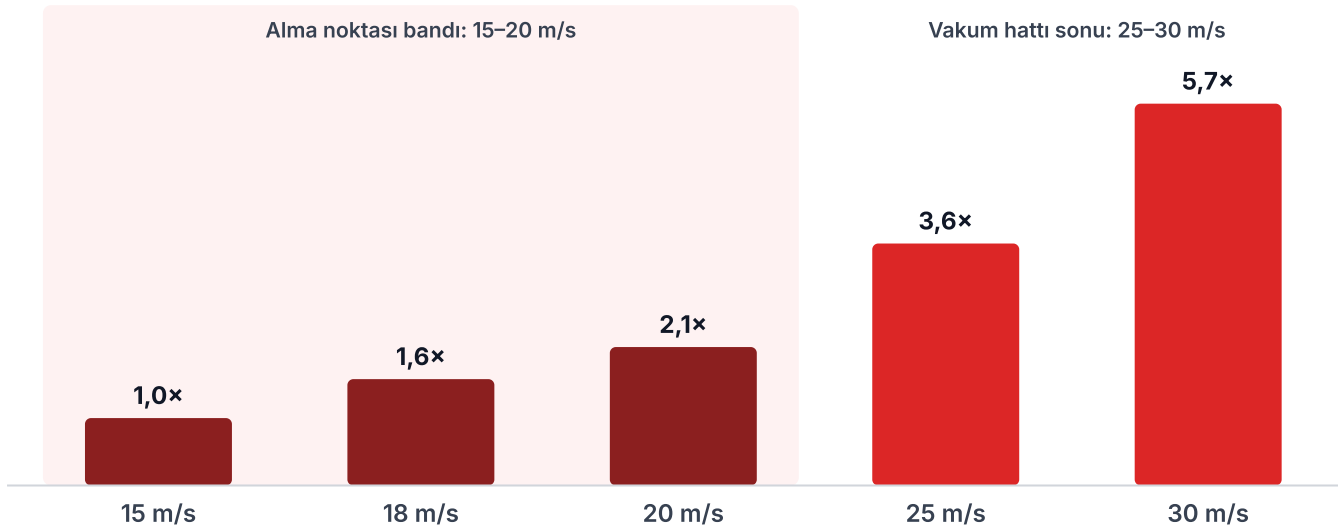
1 · HIZ

Alma hızı 15–20 m/s: altı tıkar, üstü aşındırır

Enjeksiyon tesislerindeki merkezi besleme fiilen **seyrelik faz** taşımaz; granül hava akımında askıda taşınır. Seyrelik fazda katı/hava yükleme oranı tipik olarak kg hava başına 15 kg katıya kadar çıkar; granülün yoğun fazda (tıkaç akışı) taşınmasında bile oran nadiren 30'u aşar (Powder & Bulk Solids, D. Mills^[1]). Belirleyici büyüklük, malzemenin hatta alındığı noktadaki hava hızıdır. Sektör yayınlarında çoğu plastik için alma hızı **yaklaşık 3.000–4.000 ft/dk ($\approx 15\text{--}20\text{ m/s}$)** olarak verilir; PE (yığın yoğunluğu $\approx 560\text{ kg/m}^3$) için yaklaşık 3.000 ft/dk ($\approx 15\text{ m/s}$), PET ($\approx 880\text{ kg/m}^3$) için yaklaşık 3.500 ft/dk ($\approx 18\text{ m/s}$) önerilir (Plastics Technology, Put the Oomph Back in Your Vacuum System^[2]). Aynı dergide bir ekipman üreticisi mühendisi kabul edilebilir bandı **35–45 mph ($\approx 15,6\text{--}20,1\text{ m/s}$)**, çoğu granül için minimumu 35 mph olarak verir (Plastics Technology, Put the Brakes on Resin Conveying Speed^[3]). Bağımsız bir mühendis kaynağı da döner valfli düşük basınçlı (pozitif basınçlı) tipik bir sistem için yaklaşık 2.500 ft/dk ($\approx 12,7\text{ m/s}$) başlangıç ve 6.000 ft/dk ($\approx 30\text{ m/s}$) hat sonu hızı verir (Blower & Vacuum Best Practices, H. Van Ormer^[4]).

Alanın temel başvuru kitabı aynı çerçeveyi verir. David Mills'e göre seyrelik fazda hat girişi hava hızı ince toz için yaklaşık **12 m/s**, **ince granül malzeme için yaklaşık 16 m/s** civarındadır ve bu değerler hattın *girişindeki* hızdır (Mills, *Pneumatic Conveying Design Guide*, 2. baskı, Elsevier/Butterworth-Heinemann, 2004, s. 6^[5]); seyrelik fazın işletme aralığı en az yaklaşık 15 m/s ile en fazla yaklaşık 30 m/s arasındadır (Mills, 2004, s. 185^[5]). Kitaptaki yaklaşık 4 mm'lik PE pellet deneyinde (50 m hat, 53 mm çap, dokuz adet 90° dirsek, basınçlı blow tank ile) seyrelik faz için minimum hız **yaklaşık 15 m/s** bulunmuştur; aynı pellet 3 m/s'ye kadar düşük hızlı yoğun fazda da taşınabilmiş ama debi o kadar düşük kalmıştır ki yazar bunu ekonomik bulmaz (Mills, 2004, s. 269–270 ve s. 292–293^[5]). Mills, hesapta küçük bir hatanın bile tehlikeli olduğunu gösterir: 101,6 mm yerine gerçek iç çap olan 106,1 mm ile hesap yapılmazsa hız yaklaşık %9 düşer (16 → 14,6 m/s) ve hat tıkanabilir (Mills, 2004, s. 104^[5]); hat girişi hızına **yaklaşık %20 güvenlik payı** önerir (Powder & Bulk Solids, D. Mills^[1]; Mills, 2004, s. 359^[5]).

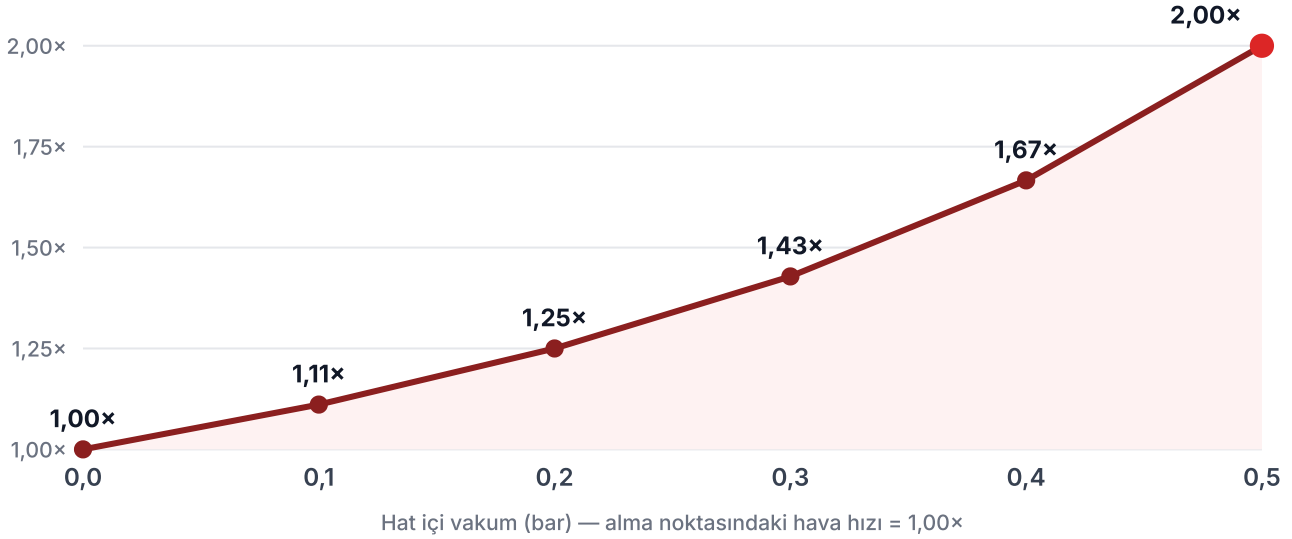
Hızın öbür yüzü aşınmadır ve bu ilişki doğrusal değildir. Bağımsız bir mühendislik kaynağına göre aşındırıcı aşınma **hızın 2,5'inci kuvveti veya daha fazlasıyla** artar; hız iki katına çıkarsa aşınma yaklaşık altı katına çıkar (Chemical Engineering, Rules of Thumb for Pneumatic Conveying Pipelines^[6]). Bir üretici bunu sahaya çevirir: hava hızındaki her +10 mph ($\approx +4,5\text{ m/s}$) artışta dirsek servis ömrü yaklaşık yarıya iner, streamer (şerit) üretimi 45 mph tabanına göre her +10 mph'de yaklaşık %55 artar (üreticinin beyanı, Plastics Technology, Put the Brakes...^[3]). İki kaynak birbirini destekler: 35'ten 45 mph'ye yaklaşık %29'luk hız artışı, 2,5 üs kuralıyla yaklaşık 1,9 kat aşınma demektir (Teknik Part hesabı). Mills de hem aşınmanın hem malzeme bozunmasının hızla **üstel biçimde** arttığını yazar (Mills, 2004, s. 428^[5]).

Şekil 1 Alma hızı penceresi ve hıza bağlı göreceli aşınma (15 m/s = 1,0)

Hava hızı — sütun: göreceli aşınma endeksi (15 m/s = 1,0; aşınma hızın 2,5'inci kuvvetiyle artar)

Teknik Part hesabı: aşınmanın hızın 2,5'inci kuvvetiyle arttığı kuralından^[6] türetilmiş endeks; ölçüm değildir. Alma hızı bandı 15–20 m/s^[2,3], vakum hattı sonu 25–30 m/s^[7]. Hız iki katına çıktığında endeks $\approx 5,7$ (kaynaktaki ifadeyle yaklaşık altı kat).

Vakumlu sistemin özgün tuzağı, hızın hat boyunca sabit kalmamasıdır. Hava vakum altında genleştiği için **yalnız 0,5 bar vakumda hat içindeki hava hızı iki katına çıkar**; Mills bu nedenle vakum sistemlerinde kademeli (çapı hat boyunca büyüyen) hatları "dikkate değer" bulur ve aşınma, bozunma ve performans kazancı öngörür (Mills, 2004, s. 481^[5]). Sektör yayınlarında da PE/PP için ideal ortalama hız yaklaşık 4.000 ft/dk (≈ 20 m/s), vakum hattının sonunda ise 5.000–6.000 ft/dk (≈ 25 –30 m/s) verilir (Plastics Technology, Avoid Those Devilish 'Angel Hairs'^[7]). Pratik sonuç açıktır: ayar alma noktasına göre yapılır. Alma noktası 15–18 m/s'ye ayarlanan bir hat, sonunda zaten 25–30 m/s'ye çıkar; hat sonunda "yetsin" diye büyütülen pompa, son dirseklerde ve yükleyici girişinde gereksiz aşınma ve melek tozu üretir (Teknik Part yorumu, Mills 2004^[5] ve Plastics Technology verilerinden). Bir üretici, çift çaplı (kademeli) hatla yüksek vakumda düşük hızda çalışarak "%50 veya daha fazla" debi, kontrollü hava kaçağıyla da sistem hava hızını %30'a varan oranda azaltmayı beyan eder (üreticinin beyanı, Plastics Technology, Put the Brakes...^[3]).

Şekil 2 Vakum altında hava genleşir: hat boyunca hava hızı çarpanı

Teknik Part hesabı: sabit sıcaklıkta hava hızı mutlak basınçla ters orantılıdır (çarpan = $1 \div (1 - \text{vakum})$); 1 bar atmosfer basıncı varsayılmıştır. 0,5 bar vakumda hızın iki katına çıkması Mills 2004, s. 481'de verilir^[5].

Düşük yığın yoğunluklu malzeme bu dengeyi sertleştirir. Geri dönüştürülmüş PET üzerine bir üretici mühendisinin verisine göre pul (flake) için yükleme oranı en fazla 5:1, chip için 15:1'e kadardır; saatte 10.000 lb chip taşıyan ekipman pulda yalnız 4.000 lb taşır ve 3 inç boruda 6.000 lb/h chip taşıyan sistem pul için 3½ inç boru ister (Plastics Technology, Looking to Handle More rPET?^[8]). Enjeksiyon kırması rPET pulu değildir; ama bu veri, aynı hattın kırmada granüle göre belirgin daha az taşıyacağı ve çap seçiminde kırmanın ayrıca hesaba katılması gerektiği yönünde güçlü bir işarettir. Enjeksiyon kırması için yayımlanmış özel bir alma hızı değeri bulunamamıştır.

2 · HAT GEOMETRİSİ

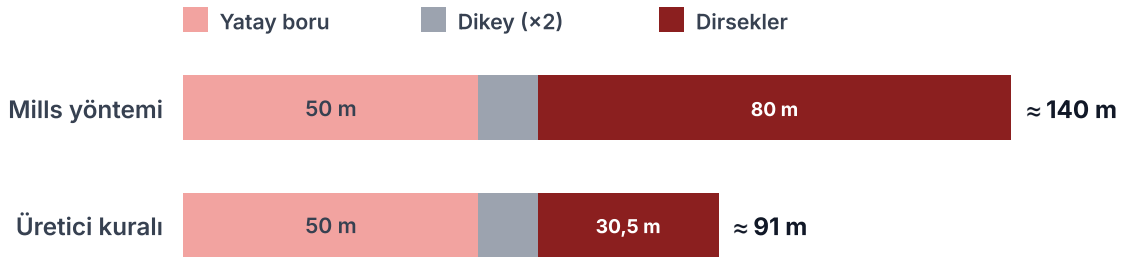
Dirsekler, dikey ve hortum hattın gerçek uzunluğunu belirler

Pompa, hattın metre cinsinden uzunluğunu değil **eşdeğer uzunluğunu** görür. Bir üreticinin kuralına göre 1 ft yatay 1 ft, 1 ft dikey 2 ft, bir 90° dirsek 20 ft ($\approx 6,1$ m) ve 1 ft esnek hortum 3 ft sayılır; pompa eşdeğer mesafe ve istenen debiyle pompa eğrisinden seçilir (üreticinin beyanı, Novatec: System Vacuum Pumps^[9]). Başka bir üretici de pompa seçiminde fiziksel mesafe yerine eşdeğer mesafenin hesaplanmasını öğütler (üreticinin beyanı, Conair: 12 Do's and Don'ts^[10], arşiv kopyası). Aşağıda görüleceği gibi dirsek eşdeğeri kaynaktan kaynağa belirgin biçimde değişir; bu yüzden tek bir "doğru" eşdeğer uzunluk yoktur, kullanılan pompa eğrisinin hangi kuralla hazırlandığı üreticiden öğrenilmelidir.

Dirsek eşdeğeri kaynaklar arasında en geniş dağılan değerdir, çünkü hıza bağlıdır. Kaba değerlendirme kaynaklarında 90° dirsek 5 m düz boru, başka bir ders kitabında 7,5 m sayılır ve ikisi de ayrıntılı tasarım için önerilmez (powderprocess.net, Pipe equivalent length^[11]). Mills'in barit ve çimento ölçümlerinin ortalamasında dirsek başına eşdeğer uzunluk düşük hızlı yoğun fazda 4 m/s'de yalnız **yaklaşık 2 m** iken seyreltik fazda 15 m/s'de **yaklaşık 16 m**'ye çıkar (Mills, 2004, s. 336^[5]); buğday unuyla yapılan bir ölçümde 16 m/s'de dirsek başına yaklaşık 130 mbar kayıp, yani yaklaşık 23 m eşdeğer uzunluk bulunmuş (Mills, 2004, s. 338^[5]), kitabın kendi barit ölçümlerinde dirsek başına 50–170 mbar aralığı görülmüştür (Mills, 2004, s. 256 ve 333^[5]). Bu değerler toz ve ince taneli malzemelerden (barit, çimento, un) türetilmiştir; kitap plastik granül için ayrı bir dirsek eşdeğeri vermez ve değerler granüle doğrudan aktarılırken bu fark akılda tutulmalıdır. Mills'in eşdeğer uzunluk formülü $Le = h + 2v + N \cdot b$ 'dir; dikey yukarı bölümler iki ile çarpılır ve bu katsayı seyreltik ve yoğun faza "evrensel olarak" uygulanır (Mills, 2004, s. 390^[5]).

Bu, tipik bir fabrika içi hatta dirseklerin mesafe kadar belirleyici olabileceği anlamına gelir. 50 m yatay, 5 m dikey ve beş adet 90° dirsekli, 15–16 m/s'de çalışan bir hat Mills yöntemiyle $Le \approx 50 + 2 \times 5 + 5 \times 16 \approx 140$ m eder; aynı hat üretici kuralıyla (dirsek 6,1 m) yaklaşık 91 m eder (Teknik Part hesabı). İki hesap da dirseklerin eşdeğer uzunluğun üçte biri ile yarısından fazlası arasında pay aldığını gösterir (Teknik Part hesabı; Mills'in dirsek değeri toz malzemelerden türetilmiştir). Ölçüm tarafında bir veri, çap büyütmenin etkisini gösterir: 2 inç (~50 mm) vakum hattında 100 ft (~30 m) hat yaklaşık 1 inHg (~34 mbar), 300 ft (~91 m) yaklaşık 3 inHg (~100 mbar) tüketir; 3 inç (~76 mm) çapa geçmek bu basınç kaybını **yaklaşık %50** azaltır (Plastics Technology, Put the Oomph Back...^[12]). Başka bir üretici yalnız havanın 2 inç hatta 100 ft'ta yaklaşık 0,75 inHg düşüş yarattığını, malzemeyi taşıyacak "kullanılabilir vakum"un pompa vakumu eksi hava kaybı olduğunu, 1.000 ft'lik hatta standart pozitif deplasmanlı pompada yalnız 2,5 inHg kaldığını yazar (üreticinin beyanı, Novatec: Overcoming Long Conveying Distances^[12]).

Şekil 3 Aynı hattın iki kurala göre eşdeğer uzunluğu (50 m yatay, 5 m dikey, beş 90° dirsek)



Teknik Part hesabı. Mills yöntemi: $Le = h + 2v + N \cdot b$, dirsek ≈ 16 m (15 m/s, toz malzemelerden türetilmiş değer)^[5]. Üretici kuralı: dikey $\times 2$, 90° dirsek 20 ft $\approx 6,1$ m (üreticinin beyanı)^[9].

Dirsek geometrisi ise enerjiden çok aşınma ve toz tarafında belirleyicidir. Mills'e göre dirsek eşdeğer uzunluğu D/d oranı yaklaşık 4 ile 40 arasında geometriye pek bağlı değildir; çok kısa yarıçaplı dirseklerde ve özellikle kör T'de çok daha büyüktür (Mills, 2004, s. 390^[5]). Bağımsız bir mühendislik kaynağı R/D = 8–10 uzun yarıçaplı dirseklerin daha düşük basınç kaybı verdiğini, dirsek içinde katı

hızının %5–50 düştüğünü, malzeme beslemesinden sonra hızlanma için en az 20 ft (~6 m) yatay düz hat bırakılmasını önerir (Chemical Engineering, Rules of Thumb^[6]). Bir reçine üreticisinin polyolefin rehberi dirsekleri 5–10 D arasında tutmayı, 10 D'nin üzerinde kayma ve şerit oluşumunun arttığını belirtir (INEOS: Fines, Angel Hair and Streamers^[13]). İki bulgu birlikte okunduğunda büyük yarıçapın asıl kazancının basınç kaybında değil aşınma ve malzeme bozunmasında olduğu, ama yarıçapın sınırsız büyütülmesinin de yumuşak granülde sürtünme temasını uzattığı sonucuna varılır (Teknik Part yorumu). Arka arkaya konmuş dirsekler malzemenin hava akımından düşmesine yol açtığı için aralarına düz boru bırakılması önerilir; ideal hat "cıvatalı kaplin, yön değiştirici, dirsek ve esnek hortum olmayan tek düz boru" olarak tarif edilir (Plastics Technology, Follow These Steps to More Efficient Central Pneumatic Conveying^[14]).

Esnek hortum için kaynaklı bir sabit oran bulunamamıştır, ancak yön açıktır. Mills'in çimento ve baritle (53 mm, 40 m test hattı) yaptığı testlerde kauçuk hortum düşük hızlı yoğun fazda borudan pek farklı değildir; hız arttıkça hortumdaki basınç kaybı belirgin biçimde artar, çünkü partiküller hortum duvarından az geri sekip yeniden hızlandırılmak zorunda kalır; buna karşılık hortum esnekliği sayesinde erozyon ve partikül bozunmasına karşı avantajlıdır (Mills, 2004, s. 114–115^[5]). Bir üretici makine yanı yükleyici debilerini 15 ft (4,5 m) esnek hortum koşulunda verir, en fazla 30 ft (9 m) yatay boru ve bir dirsek eklenebileceğini, ilave dikey, dirsek veya hortumun önerilen debiyi düşüreceğini açıkça yazar (üreticinin beyanı, Novatec VLP Data Sheet^[15]; VLP toz ve tozlu kırma için tasarlanmış bir yükleyicidir). Kaplin istasyonlarındaki fazla hortum ve kıvrılmış halkalar azaltılmalıdır (Plastics Technology, Follow These Steps...^[14]).

3 · TOZ, AŞINMA VE SIZINTI

Melek tozu, aşınma ve sızıntı sistemin kendi ürettiği kayıplardır

Melek tozu (angel hair), şerit (streamer) ve ince toz dışarıdan gelmez; taşıma sistemi kendisi üretir. Bir reçine üreticisi tanımları net koyar: ince toz, yüksek hızda pürüzlü yüzeylerde granülün yırtılmasından; şerit, pürüzsüz yüzeylerle uzun süreli temasın (uzun yarıçaplı dirsekler) sürtünme ısısından; melek tozu kısa temastan doğar ve bunlar sonra silo ve makine hunilerine düşer (INEOS^[13]). Aynı kaynak polyolefin seyreltik faz taşımada hızı çökme hızının rahatça üzerinde ama **en fazla yaklaşık 5.500 ft/dk (~28 m/s)** tutmayı, uzun hatların son üçte birinde çapı bir kademe büyütmeyi (ör. 3→4 inç), taşıma havasını tercihen 90–100 °F, en fazla 130 °F (~54 °C) tutmayı ve pürüzlendirilmiş (bilyeli veya kumlanmış) boru kullanmayı önerir; bu değerler silo transferi ölçeğindeki basınçlı sistemler içindir (INEOS^[13]). Mills naylon, PE ve polyester pelletlerin askıda taşımada erimeye yatkın olduğunu, pürüzlendirilmiş boru yüzeyinin kaymayı önleyerek sorunu "önemli ölçüde" azalttığını yazar (Mills, 2004, s. 52^[5]).

Pürüzlendirilmiş borunun yeniden işlenmeden önce en az bir yıl dayanması beklenir (Chemical Engineering, Rules of Thumb^[6]). Bir üreticiye göre standart bir dirsek, 100 ft yatay boru kadar şerit üretir (üreticinin beyanı, Plastics Technology, Convey Pellets Around Corners...^[16]).

Önlem sırası maliyetle birlikte okunmalıdır. Sektör yazılarında ilk adım hava kaçırma (bleed-off) valfiyle katı/hava oranını ayarlamaktır ve maliyeti 0–200 \$ olarak verilir; fazla hava granülü duvara sürterek şerit üretir. Basınçlı üfleyicilerin havayı 100–200 °F'ye ısıttığı sistemlerde hava-hava eşanjörü 10.000–25.000 \$ tutar, son çare yoğun faza geçmektir (Plastics Technology, Six Tips to Prevent Those Annoying Streamers^[17]). Basınçlı sistemlerde hava sıcaklığı psi başına 12–14 °F artar (Plastics Technology, Avoid Those Devilish 'Angel Hairs'^[17]); enjeksiyon tesislerinin vakumlu hatlarında bu ısınma daha sınırlıdır, orada melek tozunun baskın sebebi hız ve dirsek sürtünmesidir (Teknik Part yorumu). Bu nedenle enjeksiyon tesisi için öncelik sırası hız kontrolü, dirsek tipi ve yüzeyi, son olarak kullanım noktasında toz ve şerit ayırıcıdır. Hava yıkama prensibiyle çalışan toz ayırıcıların (deduster) yükleyici ile makine hunisi arasına, kullanım noktasına monte edilebildiği üreticiler tarafından belirtilir (üreticinin beyanı, Piovan: DeDuster^[18]).

Cam elyaflı ve mineral dolgulu malzemelerde ilk ve en ucuz önlem yine hızdır; dirsek malzemesi seçimi hız optimizasyonundan sonra gelir. Bir üretici, %40 cam elyaflı naylon için tasarlanmış dirseklerde yüzey sertleştirilmesiyle 304 paslanmazın sertliğini 29'dan 65 HRC'ye çıkardığını ve seramik/emaye kaplamanın aksine pul pul dökülüp aşağı akış ekipmanına zarar vermediğini beyan eder (üreticinin beyanı, Plastics Technology, Conveying Elbows Handle 40% Glass-Filled Nylon^[19]). Seramik astarlı dirsekler de aşındırıcı malzeme için sunulmaktadır (üreticinin beyanı, US Systems, Ceramic-Backed Elbows^[20]). Borosilikat cam dirsekler, bir boru üreticisinin kataloğunda iletkenlik için yapıştırılmış bakır şeritle sunulur; aşınmaya dayanıklı versiyonun paslanmaz 1.4301'e göre "önemli ölçüde daha uzun" ömürlü olduğu ise sayısal oran verilmeden beyan edilir (üreticinin beyanı, Michel Tube Türkçe ürün kataloğu 2025, s. 10–11^[21]). Paslanmaz, sertleştirilmiş, cam ve seramik dirsekleri mm/yıl veya ton başına aşınmayla karşılaştıran bağımsız bir ölçüm bulunamamıştır.

Kırma malzemede toz üretiminin bir kısmı hattın montajından gelir. Bir reçine üreticisi, kırma sistemlerinde ilk olarak boru kaplinlerine bakılmasını ister: hizasız bir boru, partikülden ince toz koparan keskin bir basamak oluşturur; aşağı akış taraflarının pahlanması önerilir (INEOS^[13]). Bir boru üreticisi de paslanmaz borularda düzleştirilmiş iç dikiş ve "kırıksız" bükülmüş dirsekleri vurgular (Michel Tube Türkçe ürün kataloğu 2025, s. 9–11^[21]).

Sızıntı, vakum sisteminin en sinsi kaybıdır. Mills'in uyarısı açıktır: vakum sistemlerinde içeri sızan hava görülmez ve fabrika gürültüsünde duyulmayabilir; hat girişini havasız bırakıp tıkanmaya yol açabilir (Mills, 2004, s. 61 ve 481^[5]). Sektör kaynaklarında kaçakların tipik olarak esnek hortum, kaplin, conta ve valflerde olduğu, sistemin "malzeme yerine hava emdiği", gözle kontrol veya duman testiyle bulunabileceği yazılır (Plastics Technology, How to Set Up & Maintain an Efficient Resin Handling System^[22]). Bir ekipman üreticisinin kullanım kılavuzu mekanizmayı somutlaştırır: aynı hatta birden fazla yükleyici bağlıysa pasif yükleyicinin çek valfi vakum sızdırmaz kapanmalıdır; kapanmazsa diğer yükleyicilerde vakum kaçağı oluşur ve "malzeme taşıma kapasitesini kaybeder" (Ferlin MOVAC mikroişlemci kontrol kılavuzu V1.00, s. 14^[23]); kılavuz yükleyici contalarının (v-ringler ve kapak altı kauçuk) aylık, vakum vanasının yıllık kontrolünü ister (aynı kılavuz, s. 12). Kontrolsüz kaçağın kWh/ton veya debi kaybı olarak nicel etkisini veren bir kaynak bulunamamıştır.

Kontrollü kaçak ise bilinçli bir araçtır ve kontrolsüz kaçakla karıştırılmamalıdır. Emme problemlerinde üst deliklerden alınan ikincil hava ayarlanabilir ve doğru çalışma için önemlidir (üreticinin beyanı, Doteco: Suction lances^[24], arşiv kopyası; ürün sayfası artık yayında değil); akış sınırlayıcılar büyük bir pompayla birden çok alıcının aynı anda yüklenmesine izin verir, aksi halde "açık" bir hat vakumu düşürür ya da tek alıcı yüklenirken hız fazla yükselip reçineye zarar verir (US Patent 10179708^[25]).

4 · POMPA VE ENERJİ

Pompa tipi mesafeye, enerji talebe göre seçilir

Plastik granül taşımada dört mekanik vakum kaynağı kullanılır ve her birinin doğal bir çalışma bölgesi vardır. Sektör yazılarında tek kademeli yan kanal (rejeneratif) üfleyici yaklaşık 8 inHg'ye (~270 mbar), iki kademeli 10–12 inHg'ye (~340–410 mbar), pozitif deplasmanlı (lob) 14–16 inHg'ye (~475–540 mbar) kadar çıkabilir ama çoğu 12 inHg (~405 mbar) için boyutlandırılır; pençe (claw) pompa 22 inHg'ye (~745 mbar) kadar çalışır ve 1.000 ft (~305 m) ve üzerindeki eşdeğer mesafelere uygundur (Plastics Technology, Put the Oomph Back...^[2]). Bir üretici tek kademeli rejeneratif pompayı 6,5–8,5 inHg ve en fazla 2,5 inç hat, standart pozitif deplasmanlı pompayı 11–12 inHg ve 4 inç'e kadar hat için verir (üreticinin beyanı, Novatec: Overcoming Long Conveying Distances^[12]). Bir pompa üreticisine göre yan kanal üfleyici yüksek debili, yağsız, görece ucuzdur ama yük arttıkça debisi düşer; roots üfleyici temassız ve yağsızdır ancak 500 mbar fark basıncıyla sınırlıdır; paletli pompa en derin vakumu verir ama yağlıdır ve düzenli bakım ister; pençe pompa yağsız ve temassız sıkıştırma ile derin vakum sağlar (üreticinin beyanı, Busch, Vacuum Pumps for Pneumatic Suction Conveying^[26]). Mills de pozitif deplasmanlı üfleyicinin basınç oranının yaklaşık 2 ile sınırlı olduğunu, dolayısıyla vakum görevinde en fazla yaklaşık 0,5 bara inebildiğini yazar (Mills, 2004, s. 54^[5]).

Şekil 4 Pompa tipine göre ulaşılabilen vakum (mbar)

Yan kanal, tek kademeli	~270 (8 inHg)
Yan kanal, iki kademeli	~340–410 (10–12 inHg)
Pozitif deplasmanlı (lob)	~475–540 (14–16 inHg)
Pençe (claw)	~745 (22 inHg)

Kaynak: Plastics Technology^[2]. Sütunlar aralığın üst ucunu gösterir. Pozitif deplasmanlı pompaların çoğu 12 inHg (~405 mbar) için boyutlandırılır; pençe pompa 1.000 ft (~305 m) ve üzeri eşdeğer mesafelere uygundur.

Mills'in ikinci önemli uyarısı derecelendirmeye ilgilidir: vakum pompası serbest havaya göre değil, **pompa girişindeki hacimsel debiye** göre derecelendirilir; bu yüzden hat girişi hızı vakum seviyesine göre ayrıca hesaplanmalıdır (Mills, 2004, s. 481^[5]). Türkiye için buna bir düzeltme eklenir. Sektör

kaynaklarına göre sistemler **50 Hz'de veya yüksek rakımda yaklaşık %17 düşük kapasite** verir (Plastics Technology, How to Set Up & Maintain an Efficient Resin Handling System^[22]). 50/60 Hz oranı yaklaşık 0,83'tür ve bu düşüşle tutarlıdır; 60 Hz'e göre yayımlanmış bir pompa eğrisiyle Türkiye'de sistem boyutlandıran bir tasarımcı, frekans düzeltilmesi yapmazsa hat girişi hızını tıkanma sınırına indirebilir (Teknik Part yorumu). Aynı kaynak, pompa gücü ile hat çapı arasında kaba bir eşleştirme verir: 5 hp pompa için 1,75–2 inç, 15 hp için 3 inç, 25 hp için 4 inç dış çaplı hat (Plastics Technology, How to Set Up...^[22]).

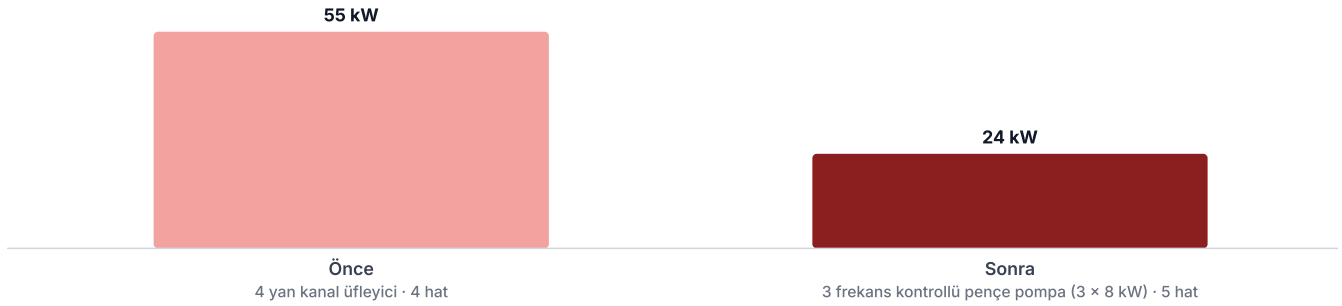
Taşınan ton başına kWh için güvenilir bir sektör kıyaslaması **yoktur**. Bağımsız bir kamu kılavuzu, plastik işleme tesislerinin tipik enerji dağılımında "malzeme taşıma"yı ayrı bir kalem olarak gösterir ama yüzde vermez (UK Good Practice Guide 292, Energy in plastics processing^[27]); bir sektör derneğinin enerji yönetimi rehberi de taşımaya sayısal pay vermeden taşıma sistemlerinin "talebe göre" çalıştırılmasını ve mümkünse yerçekiminden yararlanılmasını önerir (rehberin vakum pompalarına frekans sürücüsü önerisi profil ekstrüzyonundaki vakum kalibrasyon tankları içindir) (BPF/Tangram, Energy Management in Plastics Processing^[28]). Aynı yönde bir ticari dergi dizisi (R. Kent, 2006), enjeksiyonda tüketilen enerjinin yalnız %5–10'unun polimere gittiğini, kalan %90–95'inin makineyi çalıştırmaya harcadığını yazar ve taşıma sistemlerinin makine çalışmasına bağlanarak "talebe göre" çalıştırılmasını önerir; taşımanın tesis enerjisindeki payı için bir yüzde vermez (PlasticsToday, Part 3: Reducing energy costs^[29], arşiv kopyası). Mertebe fikri vermek için yöntem şudur: pompanın saatlik enerjisi taşınan tonajla bölünür. Örneğin 5,5 kW'lık bir pompa saatte 1.500 kg taşıyor ve sürekli çalışıyorsa yaklaşık 3,7 kWh/t, talebe göre çalışıp zamanın %35'inde yükte kalıyorsa yaklaşık 1,3 kWh/t eder (Teknik Part hesabı; varsayımsal değerler, ölçüm değildir). Bu hesabın asıl mesajı tek bir sayı değil, çalışma oranının kWh/t'yi doğrudan belirlemesidir.

Enerji tasarrufunda en güçlü ve bağımsız dayanaklı ilke, **basınçlı havayla taşımamaktır**. Kamu kılavuzu basınçlı havanın kullanım noktasında eşdeğer elektrikten **on kat** pahalı olduğunu, basit ve ucuz iyi işletme önlemleriyle %30'a kadar tasarruf sağlanabileceğini yazar ve açık bir eylem maddesi verir: "Granül veya ürün taşımak için basınçlı hava kullanmayın" (GPG 292, Bölüm 4.3^[27]). Sektör kuralına göre 80 psig'de yaklaşık 1 bhp ancak 4 scfm üretir ($\approx 0,75$ kW'a karşılık $\approx 6,8$ m³/h) (Plastics Technology, Follow These Steps...^[14]). Bağımsız bir danışmanın basınçlı (pozitif basınçlı) bir taşıma sistemi için yaptığı değerlendirmede, taşıma hattı 55–60 psia ana hava beslemesiyle çalıştırılabilirse birincil basınçlı hava girişinde ortalama 112 kW azalma olacağı, 8.500 saat/yıl ve 0,10 \$/kWh ile bunun yaklaşık 95.200 \$/yıl tasarruf edeceği hesaplanmıştır (öngörü; uygulama sonrası ölçüm verilmemiştir); yazar enerji verimliliği için her zaman elektrik motorlu merkezi vakum pompası önerir (Blower & Vacuum Best Practices, Van Ormer^[4]). Bu vaka genel bir dökme malzeme tesisindedir, plastik enjeksiyona özgü değildir. Kamu kılavuzu ayrıca taşıma sistemlerinin hiç ürün taşımazken büyük enerji kullanabildiğini, talebe göre çalışan sistemlerin tercih edilmesini önerir (GPG 292^[27]).

Pompa değişimi ve hız kontrolü için mevcut sayıların tamamı üretici vakalarıdır. Bir pompa üreticisinin vakasında dört ekstrüzyon hattını besleyen toplam 55 kW'lık dört yan kanal üfleyici yerine önce 50 Hz'de her biri 8 kW olan iki, beşinci hat eklendiğinde üçüncü frekans kontrollü pençe pompa kurulmuş

(taşınan malzeme yumuşak PVC); ilk pompa 500 mbar, ek pompalar 700 mbar mutlak basınçta devreye giriyor, 1.000 L tampon hacim kullanılıyor; tesis bir önceki yıla göre 160.000 kWh daha az tüketmiş; vakaya "%70'e kadar enerji tasarrufu" başlığı verilmiştir, ancak metinde bu oranın hesabı yoktur (üreticinin beyanı, Busch, Up to 70 percent energy savings^[30]). Kurulu güç 55 kW'tan 24 kW'a, yani yaklaşık %56 düşmüştür; bu karşılaştırmada yeni tarafın beş hattı beslediği de unutulmamalıdır (Teknik Part hesabı). Vaka ekstrüzyondadır, enjeksiyona doğrudan taşınmamalıdır. Başka bir üretici, çok kademeli rejeneratif pompasının (frekans sürücüsü opsiyoneldir) benzer boyutlu pozitif deplasmanlı pompaya göre eşit debide kendi düşük hızlı taşıma yönteminde %50'ye, standart çalışmada %25'e kadar enerji tasarrufu sağladığını beyan eder (üreticinin beyanı, Plastics Technology, Conveying: Pump is Quiet, Powerful, Energy-Efficient^[31]); aynı üreticinin vana ünitesinde bir uygulamada dolum süresinde %70'e varan kısalma beyanı vardır (üreticinin beyanı, Plastics Machinery & Manufacturing^[32]). İlk pompa üreticisi değişken hızlı sürücülü pompası için sabit devirli vakum pompasına göre %50'ye varan enerji tasarrufu beyan eder (üreticinin beyanı, Busch Variable Speed Vacuum Pumps^[33], arşiv kopyası; ürün sayfası artık yayında değil). Santrifüj makinelere özgü "küp yasası" pençe ve roots gibi pozitif deplasmanlı pompalara uygulanmaz; bunlarda güç devirle yaklaşık doğrusal düşer (Teknik Part yorumu).

Şekil 5 Bir pompa değişimi vakasında kurulu güç: önce ve sonra (kW)



Kaynak: üreticinin beyanı^[30]; yaklaşık %56'lık düşüş Teknik Part hesabıdır. Vaka ekstrüzyondadır (yumuşak PVC), enjeksiyona doğrudan taşınmamalıdır. Tesis bir önceki yıla göre 160.000 kWh daha az tüketmiştir.

Pompayı talep yokken durdurmanın bir sınırı vardır. Bir ekipman üreticisinin kontrol kılavuzu, son yükleyici emişini bitirdikten sonra pompanın ayarlanan süre boyunca bekleme vanasıyla sahte hava çekerek boşa döndüğünü ve pompanın **saatte 10'dan fazla kalkmamasını** öğütler (Ferlin MOVAC mikroişlemci kontrol kılavuzu V1.00, s. 7^[23]). Başka bir üretici de boşa çalışma vanası ve zamanlayıcı seçeneğiyle pompa motorunun sık dur-kalkının önlendiğini beyan eder (üreticinin beyanı, Conair RG Series^[34], arşiv kopyası). Enerji ile motor ömrü arasındaki bu takas, bekleme süresinin fabrika talep profiline göre ayarlanmasını gerektirir. Paralel pompa kademelendirmesi ve tampon hacim bu takası yumuşatır; bir üretici birden çok vakum ünitesinin ihtiyaca göre otomatik açılıp kapandığı kalıcı vakum sistemini tanımlar ama sayı vermez (üreticinin beyanı, Piovan Permanent Vacuum System^[35]).

Filtre, pompanın emişinde seri bir dirençtir. Sektör kaynaklarına göre filtreler iki yerededir, pompanın toz toplayıcısında ve her alıcıda; tıkanmış filtre kapasiteyi fazla dirsek kadar düşürür (Plastics Technology, How to Set Up...^[22]); iyi bırakma özellikli büyük filtre ve doğru darbe ayarı basınç düşümünü ve güç tüketimini azaltır (Plastics Technology, Follow These Steps...^[14]). Alıcının halka kanalındaki yukarı hava hızı 250–300 ft/dk, alma hızının %10'undan azdır (Plastics Technology, Put the Oomph Back...^[2]). Bir üreticinin kılavuzu merkezi filtrenin tozlu malzemede, birden fazla yükleyicili sistemlerde ve 3 kW ve üzeri pompalarda kullanılmasını, filtre gövdesini çökmeye karşı koruyan emniyet ventilinin 500 mbar'a ayarlı olduğunu ve filtre temizliğinin kapatılmamasını belirtir (Ferlin MOVAC Merkezi Filtre kılavuzu, s. 5–6^[36]); aynı üretici torbalı filtrelerin 500 mbar'a çekilip ani atmosfer basıncıyla "vurularak" temizlendiğini ve sistemin kapasitesini koruduğunu beyan eder (üreticinin beyanı, Ferlin Product Guide, 2024, s. 11^[37]). Temiz ve kirli filtre basınç düşümünün mbar ve kWh cinsinden etkisini veren bir kaynak bulunamamıştır. Gürültü tarafında bir üretici çift cidarlı hatla en az 12 dB azalma beyan eder (üreticinin beyanı, motan Central conveying^[38]).

5 · MAKİNE YANI VE MERKEZİ

Makine yanı yükleyiciden merkezi sisteme geçişin kazancı enerjiden çok zincirdedir

Sahada "yandan çekirme" diye anılan düzen, her makinenin yanında duran oktabin, çuval veya kutudan malzemeyi kendi motorlu yükleyicisiyle çeken **makine yanı bağımsız yükleyicidir**. Teknik Part'ın saha gözlemine göre küçük ve orta ölçekli tesislerde yaygın düzen budur; bunu ölçen bir anket veya sektör verisi bulunamamıştır. Teknik Part'ın saha gözlemine göre bu yükleyicilerin çoğu tek fazlı, kollektörlü (kömür fırçalı) motor kullanır; incelenen föylerde güçler **yaklaşık 0,46–1,32 kW**, kapasiteler 15–400 kg/h aralığındadır. Bir üreticinin serisinde 0,46–1,32 kW ile 30–400 kg/h verilir, ama bu kapasiteler 0,65 kg/L granül ve **4 m dikey + 1 m yatay** taşıma içindir (üreticinin beyanı, Shini SAL-U kullanım kılavuzu, s. 10^[39]); başka bir üreticinin fırçasız tek fazlı serisinde 0,87–1,1 kW ile 15–200 kg/h, **5 m mesafe ve 3 m yükseklik** koşulunda geçerlidir (üreticinin beyanı, motan METRO SG broşürü, s. 11^[40]). Bir üçüncü üretici bağımsız yükleyicinin malzemeyi "yaklaşık 15 ft" ($\approx 4,6$ m) taşıdığını yazar (üreticinin beyanı, Novatec: Self Contained Loader^[41]). Föy değerlerinin 4–5 m için verilmesi, kaynak kabın makinenin bir iki metre yanında durmak zorunda olmasının fiziksel nedenidir (Teknik Part çıkarımı). Tek bir makineyi uzaktan beslemek için ise merkezi sistem şart değildir: bir üretici, ayrı üç fazlı yan kanal üfleyiciyle (tablodaki tipler 1,3–7,5 kW, üfleyici seçenekleri 11 kW'a kadar) tek makine beslemesinde **100 m'ye kadar** taşıma yolu ve sürekli çalışmaya uygunluk beyan eder (üreticinin beyanı, Koch-Technik Einzelfördergeräte, s. 3–4^[42]).

Kollektörlü motorun fırçası bir sarf parçasıdır ve bağımsız yükleyicinin asıl bakım kalemidir. Bir üretici fırçaların **yaklaşık 300 çalışma saatinde** değiştirilmesi gerektiğini, kendi fırçasız motorunun fırçalıya göre 4–5 kat uzun dayandığını yazar (üreticinin beyanı, sponsorlu makale, Plastics Technology: Which

Self-Contained Loader Is Best?^[43]); başka bir üreticinin kontrolünde fırça değişim alarminin varsayılan eşikleri **800, 900 ve 1.000 çalışma saatidir** (üreticinin beyanı, Shini SAL-U kullanım kılavuzu, s. 25^[39]). İki değer farklı şeyleri anlatır (biri değişim sınırı, öteki ayarlanabilir alarm varsayılını); savunulabilir okuma, fırça ömrünün **birkaç yüz ile yaklaşık 1.000 çalışma saati** arasında olduğudur. Motoru makine çalışma süresinin %30'unda dönen bir yükleyici, yılda 7.000 saat çalışan bir makinede yılda yaklaşık 2.100 saat döner; bu, yükleyici başına yılda 2–7 fırça değişimi, on makinelik bir atölyede yılda 20–70 servis müdahalesi demektir (Teknik Part hesabı; %30 çalışma oranı varsayımdır, kaynaklı değer bulunamamıştır). Fırçasız ve üç fazlı bağımsız tipler bu kalemi kaldırır ama makine yanı düzenin diğer özelliklerini değiştirmez.

Enerji tarafındaki sayısal iddiaların tamamı üreticilerden gelir. Bir üretici merkezi taşıma sisteminin makineye bağlı bağımsız sistemlere göre **yaklaşık %80 daha az enerji** kullandığını, hesap yöntemini açıklamadan beyan eder (üreticinin beyanı, motan METRO G sistem çözümleri, s. 17^[44]); başka bir üretici bağımsız yükleyicileri "yüksek enerji tüketicisi" olarak niteler (üreticinin beyanı, Novatec: Why Utilize a Central Plastics Conveying System^[45]); bir üçüncüsü en büyük enerji faydasının "enerji açısından obur" küçük bağımsız yükleyiciler yerine merkezi pompa ve boru sistemi kurmaktan geldiğini söyler (üreticinin beyanı, Conair, Ways to save energy in plastics processing^[46], arşiv kopyası). Bir üreticinin pompaların ihtiyaç anında birlikte çalışmasıyla tek hatlı sisteme göre %50'ye varan tasarruf beyanı ise bağımsız yükleyiciyle değil, merkezi mimariler arasındaki bir kıyastır (üreticinin beyanı, motan, Why to use a central vacuum system^[47]). Mertebe için kurulu güç karşılaştırılabilir: 1,15 kW'lık birer bağımsız yükleyiciyle beslenen on makine 11,5 kW kurulu motor gücü taşır; saatte 60'ar kg tüketen on makinenin toplam yaklaşık 600 kg/h ihtiyacı ise föylerde 3–5,5 kW sınıfındaki tek bir üç fazlı yan kanal üfleyicinin kapasite aralığındadır (Koch-Technik, s. 3–4^[42]). Bu kaba kıyasta kurulu güç oranı yaklaşık 2–4 kat çıkar ($11,5/5,5 \approx 2,1$; $11,5/3,0 \approx 3,8$) (Teknik Part çıkarımı; tüketim değil kurulu güçtür, föy kapasiteleri kısa mesafe içindir ve merkezi hattın uzunluğu kapasiteyi düşürür). Üreticinin %80'i bu oranın üstündedir; fark çalışma oranı, dur-kalk ve motor verimi varsayımlarından gelebilir ve doğrulanamaz. Taşımanın tesis enerjisindeki payı zaten küçük olduğundan, bu geçişin asıl kazancı enerjide değil aşağıdaki kalemlerdedir (Teknik Part çıkarımı).

Şekil 6 On makine için kurulu motor gücü: makine yanı yükleyiciler ve tek merkezi üfleyici (kW)

10 × bağımsız yükleyici		11,5 kW (10 × 1,15 kW)
Merkezi üfleyici, üst sınıf		5,5 kW · oran ≈ 2,1
Merkezi üfleyici, alt sınıf		3,0 kW · oran ≈ 3,8

Teknik Part çıkarımı; üretici föylerinden^[39,42]. Tüketim değil kurulu güçtür; ~600 kg/h toplam talep içindir, föy kapasiteleri kısa mesafe içindir ve merkezi hattın uzunluğu kapasiteyi düşürür.

İşçilik ve lojistik tarafında fark yapısalıdır. Bağımsız yükleyici yalnız birkaç metre taşıdığı için kaynak kap üretim alanında durmak zorundadır; bir üretici bunu oktabinler ve onları taşıyan forkliftlerle tıkanmış bir üretim alanı olarak tarif eder ve merkezi sistemin malzeme kaplarını üretim alanından çıkardığını yazar (üreticinin beyanı, Novatec: Why Utilize a Central Plastics Conveying System^[45]); başka bir üretici merkezi sistemle üretim alanında ek makine için yer açıldığını, makinede filtre temizliğinin ve hammaddeyi makineye getirme ihtiyacının kalktığını beyan eder (üreticinin beyanı, motan METRO G, s. 17^[44]). Aynı üretici merkezi sistemde döküntü ve kirlenmenin azalmasıyla **en az %1-2 hammadde tasarrufu** beyan eder (motan METRO G, s. 17^[44]); ancak aynı rakam aynı üreticinin makine başı basit yükleyici broşüründe de, bu kez döküntüsüz otomatik yüklemenin kazancı olarak verilir (üreticinin beyanı, motan METRO SG, s. 12^[40]). Dolayısıyla %1-2'nin büyük kısmı elle kovadan otomatik yüklemeye geçişe aittir; zaten otomatik olan bağımsız yükleyiciden merkezi sisteme geçişte kalan fire kazancı daha küçüktür (Teknik Part çıkarımı). Makine yanında açık duran kap iki kalite riski daha taşır: emme probunun yanlış kaba daldırılması tek bir insan hatasına bağlıdır ve higroskopik malzeme salon havasıyla temas eder; reçine üreticilerinin kurutulmuş malzemenin açık hunide bekletilmesine karşı uyarıları aşağıdaki kalite bölümünde verilmiştir. Merkezi sistemde yanlış malzeme riski kaplin istasyonuna taşınır ve kodlamayla kapatılabilir; kurutucuya bağlı hatta kuru havayla kapalı taşıma ve hat boşaltma mümkündür, makine yanı bağımsız yükleyicide bu seçenek yoktur (üreticinin beyanı, motan METRO SG, s. 7^[40]).

Gürültü ve ısı için ölçülmüş veri yoktur. Üreticiler ses yalıtımlı motor kapağını özellik olarak öne çıkarır, ama incelenen föylerin hiçbirisi makine başında ölçülmüş bir dB(A) değeri vermez (motan METRO SG, s. 5^[40]; Shini SAL-U 2022 broşürü^[48]); bir üreticinin fırçasız modelini "üç fazlı vakum ünitesi kadar sessiz" diye tanıtmayı, fırçalı motorun daha gürültülü olduğunu dolaylı olarak kabul eder (üreticinin beyanı, Moretto KASKO Brushless^[49]). Isı tarafı fiziktir: motorun çektiği elektrik gücü sonunda ortama ısı olarak geçer. On adet 1,15 kW'lık yükleyici %30 çalışma oranında üretim salonuna sürekli yaklaşık 3,5 kW ısı verir (Teknik Part hesabı; çalışma oranı varsayımdır). Merkezi pompa ayrı bir mahalde toplandığında bu ısı ve gürültü kaynağı üretim salonundan çıkar (Teknik Part çıkarımı).

Merkezi sistemin yapısal zayıflığı tek hata noktasıdır: bağımsız düzende bir motor arızası tek makineyi durdururken yedeksiz merkezi pompanın arızası bağlı bütün makineleri durdurur (Teknik Part çıkarımı). Üreticilerin standart çözümü otomatik devreye giren yedek pompadır; bir üretici pompa arızasında kontrolün üretimde duruş olmadan yedek üfleyiciye geçtiğini beyan eder (üreticinin beyanı, motan METRO SG, s. 7^[40]). Kontrol başına alıcı sayısı tek istasyonlu küçük sistemde 8'dir (aynı belge, s. 4 ve 7-8), büyük sistemlerde 99 yükleyici ve 8 taşıma hattına kadar çıkar (üreticinin beyanı, motan METRO G, s. 15-16^[44]); sonraki bölümde gösterildiği gibi bu kontrol kapasitesidir, pompa kapasitesi değildir. Yedek pompanın devreye girme süresi ve merkezi sistemin gerçek erişilebilirlik oranı için kaynak bulunamamıştır.

Seçim için yayımlanmış tek sayısal eşik bir üreticiye aittir: bağımsız yükleyiciler **altı makinenin altında ve kısa mesafede** malzeme taşıyan işleyiciler için en uygundur (üreticinin beyanı, Novatec: Ultimate Guide to Self-Contained Loaders^[50]). Bu bir başparmak kuralıdır; mesafe, malzeme sayısı ve merkezi

kurutma ihtiyacı eşikten daha belirleyicidir, çünkü merkezi kurutucu kurulduğu anda taşıma zaten merkezileşir (Teknik Part yorumu). Seçim ikili de değildir. Bir üretici bağımsız ve basit çözümleri sonraki bir sistem çözümüne "ilk adım" olarak sunar ve bu birimlerin sistem çözümlerine entegre edilebildiğini yazar (üreticinin beyanı, motan METRO SG, s. 2 ve 12^[40]); bir başkası birkaç cihazın ortak bir kumanda birimine bağlanarak "küçük bir merkezi malzeme taşıma sistemi" kurulabildiğini beyan eder (üreticinin beyanı, Wittmann FEEDMAX basic basın bülteni, 2018, s. 2^[51]). Bu ürün kademelerinden beş adımlı bir geçiş yolu çıkar: elle kovadan makine yanı bağımsız yükleyiciye, oradan tek istasyonlu ve sekiz alıcılık küçük bir merkezi sisteme, sonra kaplin istasyonlu ve yedek pompalı tam merkezi sisteme, son olarak otomatik malzeme dağıtımına (Teknik Part çıkarımı, üretici ürün kademelerinden türetilmiştir). Hibrit düzen de kurulabilir: ana reçine merkezi hattan, tek makinelik özel malzeme, masterbatch veya kırma makine başı küçük yükleyiciyle beslenir; bunu açıkça öneren bir üretici cümlesi bulunamamıştır, düzen mevcut ürünlerden türetilmiştir (Teknik Part çıkarımı). Tarihsel bir referans olarak, 2006'da bir ekipman tedarikçisi ABD'li kalıpcıların yaklaşık %55'inin merkezi malzeme taşıma kullandığını, yalnız %3–5'inin hem taşımayı hem kurutmayı merkezileştirdiğini tahmin etmiştir (tedarikçi tahmini, Plastics Technology, 2006^[52]).

Bu karşılaştırmanın temel sınırı açıktır: **makine yanı bağımsız yükleyici ile merkezi sistemi enerji, işçilik, gürültü, fire veya kalite açısından karşılaştıran bağımsız bir ölçüm yayımlanmamıştır.** Aşağıdaki tablo kaynaklı bulguları ve Teknik Part çıkarımlarını ayrı etiketleriyle bir arada verir.

Tablo 1 Makine yanı bağımsız yükleyici ve merkezi sistem

Ölçüt	Makine yanı bağımsız yükleyici	Merkezi sistem	Kaynak / dayanak
Tahrik	Makine başına tek fazlı, çoğunlukla kollektörlü motor (Teknik Part saha gözlemi), ~0,46–1,32 kW; fırçasız ve üç fazlı tipler var	Bir veya birkaç üç fazlı pompa; ayrı mahalde toplanabilir	Üretici föyleri: Shini ^[39] , motan ^[40]
Mesafe	Föy kapasiteleri 4–5 m için; üç fazlı yan kanallı tek makine beslemesi 100 m'ye kadar	Eşdeğer mesafe ve pompa tipine göre (pompa bölümü)	Novatec ^[41] , Koch ^[42] (üretici)
Kurulu güç, 10 makine	~11,5 kW (10 × 1,15 kW)	Aynı ~600 kg/h talep için 3–5,5 kW sınıfı tek üfleyici; oran ~2–4 kat	Teknik Part hesabı; Koch föyü
Enerji iddiası	—	~%80 daha az (yöntem açıklanmamış)	motan ^[44] (üretici)
Bakım kalemi	Fırça, birkaç yüz~1.000 çalışma saati; makine başında filtre	Pompa, merkezi filtre, conta ve valf; tek noktada	PT/Novatec ^[43] , Shini ^[39] (üretici)
Kaynak kabın yeri	Üretim alanında, makinenin yanında; forklift trafiği	Depo, asma kat veya silo; üretim alanı dışında	Novatec ^[45] , motan ^[44] (üretici)
Hammadde firesi	Döküntüsüz otomatik yükleme için %1–2 tasarruf beyanı bu düzen için de verilir	Aynı %1–2 beyanı; bağımsız yükleyiciye göre ek kazanç daha küçük	motan SG, s. 12 ^[40] , motan G, s. 17 ^[44] (üretici); Teknik Part çıkarımı

Ölçüt	Makine yanı bağımsız yükleyici	Merkezi sistem	Kaynak / dayanak
Yanlış malzeme	Probun yanlış kaba daldırılması tek insan hatasına bağlı	Kaplin istasyonunda renk, RFID veya otomatik kodlama	Teknik Part çıkarımı; motan ve Wittmann (üretici, mimari bölümü)
Higroskopik malzeme	Açık kap, salon havası; kuru havayla taşıma yok	Kuru havayla kapalı taşıma ve hat boşaltma mümkün	motan ^[40] (üretici); DuPont, Covestro (kalite bölümü)
Gürültü	Ölçülmüş dB(A) yok; motor makine başında	Ölçülmüş dB(A) yok; pompa salon dışına alınabilir	Üretici föyleri; Teknik Part çıkarımı
Salona verilen ısı	~3,5 kW sürekli (10 × 1,15 kW, %30 çalışma)	Pompa ayrı mahaldeyse salon dışında	Teknik Part hesabı
Arıza etkisi	Yalnız o makine durur	Yedeksiz pompada bağlı tüm makineler durur; yedek pompa otomatik devreye girebilir	motan ^[40] (üretici); Teknik Part çıkarımı
Ölçeklenme	Her yeni makineye yeni yükleyici	Pompa ve kontrol kapasitesine kadar alıcı eklenir	motan, Wittmann ^[51] (üretici)
Uygun alan	Altı makinenin altı, kısa mesafe	Çok makine, uzun mesafe, merkezi kurutma, çok malzeme	Novatec ^[50] (üretici); Teknik Part yorumu

6 · MİMARİ VE BOYUTLANDIRMA

Merkezi mimari tepe talebe ve kaynak paylaşımına göre boyutlandırılır

Tipik bir merkezi zincir depolamadan (silo, oktabin, konteyner, kurutucu hunisi) emme probu veya alma kutusuna, oradan kaplin veya dağıtım istasyonuna, malzeme hattına ve seçme valflerine, makine üstü vakum alıcılarına, vakum hattına, filtreye ve pompaya uzanır; hepsini merkezi kontrol sıralar. Sıralama valfi her alıcının ne zaman malzeme çekeceğini belirler ve alıcılar sistemi aşırı yüklememek için sırayla çeker (üreticinin beyanı, Novatec: Ultimate Guide to Vacuum Receivers^[53]); merkezi kontrol tüm alıcıları ve üfleyicileri izleyerek makine hunilerini dolu tutacak biçimde programlanır (US Patent 10179708^[25]). Alıcı hacimleri tipik olarak 0,1–6 ft³ (≈3–170 L) aralığındadır (Plastics Technology, Follow These Steps...^[14]); bir üreticinin yükleyici serisi 1–40 L hazne hacmi kapsar (Ferlin MOVAC mikroişlemci kontrol kılavuzu V1.00, s. 13^[23]). Kırma ve düzensiz malzemede alıcıda daha büyük boşaltma çapı veya köprü kırıcı gerekebilir (üreticinin beyanı, Novatec^[53]).

Boyutlandırmanın kilidi, pompanın saatlik zaman bütçesidir ve bu bütçe ortalama değil tepe talebe göre kurulmalıdır. Sektör kaynağı alıcının makine tüketimini karşılayacak büyüklükte olmasını ve küçük alıcıların daha büyükleriyle değiştirilerek saatlik dolun çevriminin azaltılmasını önerir (Plastics Technology, Follow These Steps...^[14]). Bunun aritmetiği şöyledir: saatlik gerekli çevrim $n = Q / (\rho \cdot V \cdot f)$; burada Q makine tüketimi (kg/h), ρ yığın yoğunluğu (kg/L), V alıcı hacmi (L), f doluluk oranıdır. Saatte 60 kg PP tüketen bir makine ($\rho \approx 0,55$; $f \approx 0,8$ varsayımı) 6 L'lik alıcıyla saatte yaklaşık 23 çevrim ister. Her

çevrim taşıma ve boşaltmayla pompayı 25 s meşgul ediyorsa (varsayım), bu makine saatte yaklaşık 570 s pompa zamanı tüketir; aynı pompaya bağlı on makine yaklaşık 5.700 s ister ve bu 3.600 s'lik saate sığmaz. Alıcı 12 L'ye büyütülünce çevrim saatte yaklaşık 11'e iner, on makinenin toplamı yaklaşık 2.850 s olur ve pompa zamanının yaklaşık %79'unda meşgul kalır (Teknik Part hesabı; tüm girdiler varsayımdır). Hesabın öğrettiği şey, alıcı büyütmenin pompa büyütmekten daha ucuz bir kapasite kaldırıcı olabileceği, ama yüksek doluluk oranının tepe anında (birkaç makinenin aynı anda boşalması) hiç pay bırakmadığıdır. Bir tedarikçi en sık tasarım hatalarından birinin ortalama yerine eşzamanlı tepe talebe göre tasarlamamak olduğunu belirtir; kataloğun varsayılan yığın yoğunluğu yerine gerçek yığın yoğunluğuna göre boyutlandırma ve çok reçineli tesislerde sabit devirli motor yerine frekans sürücüsü önerir (WIJAY Systems^[54]; aynı yazıdaki hız değerleri bu raporda kullanılmamıştır). Üretici kaynaklarında eşzamanlılık katsayısı veya "makine hunisi kaç dakikalık tüketimi tutmalı" sorusu için yayımlanmış bir kural bulunamamıştır; bir merkezi hattın aynı vakum kaynağıyla aynı anda 10'a kadar yükleyiciyi besleyebildiği, tek hatlı sistemde ise bir anda yalnız bir yükleyicinin çektiği belirtilir (üreticinin beyanı, motan^[47]). Merkezi sistemlere tipik olarak 8, 16, 32 veya 64 alıcı bağlanır (US Patent 10179708^[25]); bu kademeler kontrol kapasitesidir, pompa kapasitesi değildir (Teknik Part yorumu).

Ortak malzeme hattı tasarımının gizli bedeli hat boşaltmadır. Hat boşaltma (purge / malzeme kesme) valfi çevrimin son saniyelerinde malzemeyi keser ve hatta yalnız hava verir; böylece kurutulmuş veya harmanlanmış malzeme hatta beklemes. Ancak bir sektör yazısına göre hat boşaltma kullanıldığında kaynağın makineye uzaklığına bağlı olarak **sistem kapasitesinde yaklaşık %50'ye varan kayıp** olabilir ve pompa, hatta yalnız bir atımın taşındığı "kayıp süreyi" karşılayacak büyüklükte seçilmelidir (Plastics Technology, Follow These Steps...^[14]). Bu bir kalite-kapasite takasıdır: PA, PET ve PC gibi higroskopik ve kurutulmuş malzemede zorunludur, kurutma gerektirmeyen PE ve PP'de gereksiz yere açık tutulursa kapasiteyi yarıya indirebilir (Teknik Part yorumu).

Malzeme karışıklığını önlemek, merkezi sistemin en çok küçümsenen kazancıdır. Bir üreticiye göre manuel taşıma sistemlerinde kodsuz kaplinin elle değiştirilmesi gizli bir hata kaynağıdır ve yanlış malzeme makineye giderse pahalı sonuçlar doğurur (üreticinin beyanı, motan: Coded material assignment with RFID^[55]); başka bir üretici, yanlış malzeme hatasının çoğu durumda hemen fark edilmediğini ve çok sayıda hatalı parça ürettiğini vurgular (üreticinin beyanı, Wittmann CODEMAX bülteni, 2021^[56]). Burada bir maliyet-güvenlik merdiveni vardır: renk kodlama yalnız görsel hatırlatıcıdır ve hatayı engellemez; RFID kodlu kaplin bağlantıyı kontrolle karşılaştırır, yanlış veya açık bağlantıda taşımayı durdurur ve çoğu zaman mevcut dağıtıcılara sonradan eklenebilir; otomatik kaplin istasyonları ise insan adımını tamamen kaldırır (Teknik Part yorumu, üretici tanımlarından). Yanlış malzeme olaylarının sıklığı veya maliyeti hakkında bağımsız istatistik bulunamamıştır.

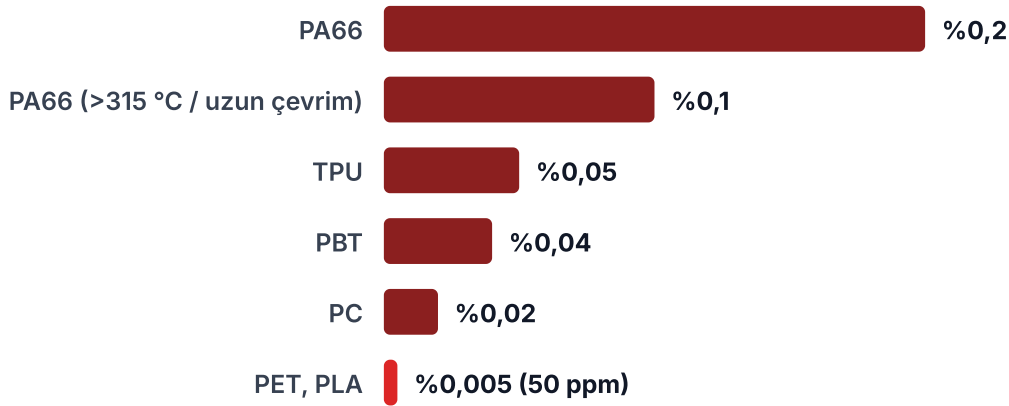
7 · HAMMADDE ZİNCİRİ VE KALİTE

Hammadde zinciri parça kalitesini belirler: nem, tane, oran ve metal

Parça kalitesi kalıpta görünür, ama kusurların önemli bir kısmı hammadde besleme boğazına varmadan oluşur: nem, ince tane, oran sapması, kirli kırma ve metal. Bu bölüm zincirin her halkasını mümkün olan her yerde ekipman üreticisinin değil, reçine üreticisinin kendi sınırıyla ölçer.

Reçine üreticileri nem sınırını ve kapalı taşımayı föyde şart koşar

Merkezi besleme lehindeki en güçlü kalite argümanı hammadde üreticisinden gelir. Bir PA66 üreticisi kalıplama için nemin **ağırlıkça %0,2'nin altında** olmasını, bu değerin üstünde dayanım ve tokluğun düştüğünü, 315 °C'yi aşan eriyik sıcaklığında veya uzun çevrimde **%0,1'e** kadar düşük nem gerekebileceğini yazar; fazla nem buhar oluşturarak gümüşü çizgi (splay) yapar ve eriyik viskozitesini düşürerek çapak riskini artırır (DuPont Zytel & Minlon Molding Guide, s. 3 ve 7^[57]). Bir PBT üreticisi işlemede nemin **%0,04'ün altında** olmasını ister ve ön kurutmanın kural olduğunu, makinenin **kapalı bir taşıma sistemiyle** beslenmesi gerektiğini föyünde açıkça yazar (reçine üreticisi, BASF Ultradur B4521 PRO işleme föyü^[58]). Bir TPU üreticisi **%0,05 veya altına** kurutmayı önerir; fazla nem yüzeyde kabarcık ve iz bırakır (Covestro, Processing of TPU by Injection Molding, s. 7^[59]). PC için enjeksiyonda en fazla %0,02 kalıntı nem verilir (reçine üreticisi, Covestro Makrolon product range^[60]). Bağımsız bir uzmana göre kozmetik kaygılı higroskopik malzemeler %0,05–0,10'da işlenebilirken performans kaygılı polimerler %0,02'nin üstünde işlenmemelidir; PET ve PLA'da **50 ppm** düzeyi gerekebilir, naylon doyumlukta %8–9 su alabilir (Plastics Technology, M. Sepe: Why (and What) You Need to Dry^[61]); PET kurutma üzerine bir sektör yazısı da hedef nemi %0,005 (50 ppm) olarak verir (Plastics Technology, How to Dry PET for Container Applications^[62]). Nemin sonucu yalnız yüzey kusuru değildir: aynı PA66 üreticisi yüksek nemli granül veya uzun bekleme yüzünden gevrekleşmiş parçaların ıskartaya ayrılmasını, kırılıp geri kullanılmamasını ister (DuPont, s. 32^[57]). Bu föy cümleleri kapalı ve kuru taşımayı bir tercih olmaktan çıkarıp malzeme şartnamesinin parçası yapar (Teknik Part çıkarımı).

Şekil 7 Reçine üreticilerinin işleme için verdiği en yüksek kalıntı nem (ağırlıkça %)

Kaynak: DuPont (PA66)^[57], Covestro (TPU^[59], PC^[60]), BASF (PBT)^[58], PET ve PLA için Plastics Technology^[61,62].

Kurutulmuş granül eşiği dakikalar ölçeğinde döner

Kurutmanın sonucu, granül huniden çıktığı andan besleme boğazına ulaşana kadar geçen sürede korunur ya da kaybedilir. TPU üreticisinin kılavuzundaki nem alma grafiği, kurutulmuş ester ve eter bazlı granülün 23 °C ve %50 bağıl nemde %0,05'lik işleme eşiğine doğru yükselişini **0–16 dakikalık** bir ekseninde çizer; aynı kılavuz sıcak kurutulmuş granülün açık havada soğumaya bırakılmamasını ve makine hunisinin kapalı tutulmasını ister (Covestro TPU kılavuzu, s. 6–7^[59]). Grafiğin eşiği hangi dakikada kestiği metinden okunamadığı için bu raporda bir dakika değeri verilmemiştir; kesin olan, üreticinin bu alımı saat değil dakika ölçeğinde çizmesidir. PA66 üreticisi de orta nem düzeyinde nem alma hızının, ayrı bir kurutucuda kurutulup açık huniye konan reçinede üniform kalıplamayı zamanla engelleyecek kadar hızlı olabileceğini yazar; bu yüzden elle aktarmalı tepsi fırınları önerilmez, huni kurutucular tercih edilir (DuPont, s. 7–8^[57]). Aynı kaynak kırmanın ham reçineden daha çok ve daha hızlı nem aldığını, kapalı kaplarda tutulmasını ve soğuk depodan gelen kabın yoğunlaşmayı önlemek için açılmadan ortam sıcaklığına getirilmesini ister (DuPont, s. 6 ve 32^[57]). Sektör yazılarındaki pratik kurallar aynı yöndedir: kurutulmuş polimer genellikle **30 dakika içinde** işlenmeli (Plastics Technology, J. Bozzelli: You Must Dry Hygroscopic Resins^[63]) ve kurutulmuş reçine atölye havasıyla değil kuru havayla taşınmalıdır (Plastics Technology, Central Drying Made Simple^[64]). TPU grafiğinin dakika ölçeği, en hassas malzemelerde 30 dakikalık kuralın bile iyimser olabileceğine işaret eder (Teknik Part çıkarımı). Ölçülmüş eğriler açık hunide ve ortam havasında bekleyen granül içindir; pnömatik taşıma hattının içinde granülün ne kadar nem aldığını ölçen bağımsız bir çalışma bulunamamıştır.

Kuru hava ile taşımanın üç düzeni tanımlanmıştır: taşıma havasının kurutma hunilerinin dönüş hattından çekildiği ve pompa egzozunun kurutucudan hemen önce dönüş hattına geri verildiği kapalı döngü, dönüş havasını kullanmayan klasik kapalı döngü ve bağımsız bir nem alıcıyla tek geçişli açık döngü; sonuncusu ortam çiy noktasının yalnız yaklaşık 30 °F (≈17 K) altına inebildiği için nemli tesislerde dikkat ister (Plastics Technology, Central Drying Made Simple^[64]). Aynı makale, taşıma sırasındaki nem geri alımının her çevrimden sonra hat boşaltma ve malzemenin huniden çıktığı andan

makineye ulaşana kadar kuru hava örtüsüyle çözüldüğünü, PET ve PA 6'ya göre daha az hassas olan ABS için bile kuru malzeme çevrimlerinden sonra kuru havayla hat boşaltmanın önerildiğini aktarır (Central Drying Made Simple^[64]). Sorunun asıl noktası çoğu zaman makine hunisidir: taşımadan sonra malzeme orada uzun süre bekleyebilir; çözüm bekleme süresini kısaltmak (büyük makine hunisi yerine küçük makine yükleyicisi) veya huniyi kuru hava örtüsü altında tutmaktır (Teknik Part yorumu; kuru hava örtüsü için Central Drying Made Simple^[64]). Bu, alıcı boyutlandırmasıyla doğrudan çatışır: pompa zaman bütçesi için büyütülen alıcı, kurutulmuş malzemenin bekleme süresini uzatır. Kurutulmuş malzemeyi besleyen hatlarda alıcı ve huni hacmi, kapasite hesabından önce yukarıdaki 30 dakika kuralına göre kontrol edilmelidir (Teknik Part yorumu). Merkezi sistemin bir işletme kazancı da buradadır: makine başı malzeme değişimi (boşaltma, temizlik, yeniden doldurma, kurutma) 5 saate kadar sürebilirken yeni merkezi sistemlerde birkaç dakikaya iner (üreticinin beyanı, Central Drying Made Simple^[64]).

Kurutma enerjisi taşıma tasarımıyla etkilenir. Bir üreticinin 100 lb/h'e normalize edilmiş test tablosunda PC için vakum kurutucu 3,71, tekerlekli 6,18, membranlı 4,41, çift yataklı 7,11 kWh/100 lb (çift yataklı için $\approx 0,157$ kWh/kg) ölçülmüştür (üreticinin test verisi, Plastics Technology, How to Compare Dryers^[65]; vakum ve membranlı kurutucular ayrıca basınçlı hava kullanır ve bu tüketim kWh değerine dahil değildir); aynı makalede kurutma hunisi çıkışından ısı geri kazanımının yüksek sıcaklıkta kurutmada enerjiyi %25'e kadar düşürebileceği aktarılır. Merkezi sistemde huni çıkış çiy noktası giriş çiy noktasına eşitlenince hava valfinin kapatılması, naylonun aşırı kurutulmasını önler (üreticinin beyanı, Central Drying Made Simple^[64]). Tekerlekli ve çift yataklı kurutucuların enerji üstünlüğü konusunda üretici beyanları birbiriyle çelişir (Canadian Plastics: The Drying Game^[66], arşiv kopyası); PA, PET ve PBT için bağımsız kWh/kg kıyaslaması yoktur.

Kurutmanın öbür ucu da kusur üretir. PA66 üreticisi yüksek sıcaklıkta uzun kurutmanın bazı katkılarının kaybına ve granülde renk değişimine yol açabileceğini, kurutma süresi uzayacaksa sıcaklığın düşürülmesini ve 105 °C üstündeki kurutmada huninin ve hava taşıma hatlarının yalıtılmasını ister (DuPont, s. 8^[57]). Naylonda yaklaşık 12 saati aşan kurutmada viskozitenin sürekli arttığı ve prosesin sürekli ayar gerektirdiği de aktarılır (UL Prospector: Overdrying of Resins^[67], arşiv kopyası; aynı yönde bir ekipman üreticisi: Novatec, Overdrying Nylon^[68]). Merkezi sistemde fazla kurutmanın tipik kaynağı tüketime göre büyük seçilmiş kurutma hunisidir; huni hacmi tüketim ile kurutma süresinin çarpımına göre boyutlandırılmalı, rejenerasyon çiy noktası ve sıcaklıkla kontrol edilmelidir (Teknik Part çıkarımı).

Oran, ince tane ve kırma kalitesi rengi ve erimeyi bozar

Dozajlama tarafında kural açıktır: karışım, işleneceği yere ne kadar yakında yapılırsa o kadar homojen kalır. Sektör yayınında makineden yaklaşık 200 ft (≈ 60 m) uzakta harmanlanıp taşınan karışımın gözle görülür biçimde ayrıştığı (ham malzeme ve renk), makinenin yanındaki harmanlayıcının ise homojen karışım verdiği fotoğrafla gösterilmiştir; ideal olan harmanlamanın doğrudan besleme boğazında ya da hemen üstündeki asma katta yapılmasıdır (Plastics Technology, Five Quick Steps Toward Better Blending^[69]). Kırmanın yığın yoğunluğu ve tane boyu büyük ölçüde değişir; küçük ve hafif partiküller

iri ve ağır pelletlerden ayrışarak besleme boğazında katmanlaşır (Five Quick Steps^[69]). Yükleyici üzerindeki oransal valfler malzemeyi yalnız yaklaşık oranlarla yükleyiciye katmanlar; gerçek karışma olmaz ve sonuç son derece düzensizdir (Plastics Technology KC: Blender Alternatives^[70]). Güncel parti tipi gravimetrik harmanlayıcılarda bileşen başına dozaj toleransı varsayılan olarak parti ağırlığının %0,05'i olup %0,02'ye kadar indirilebilir; sürekli (kayıp ağırlıklı) harmanlayıcılar hedef debiyi $\pm\%0,5$ içinde tutar, ancak 0,25 kg/h gibi çok düşük debilerde hata $\pm\%2$ 'ye çıkabilir (harmanlayıcı üreticisi yazarı, Plastics Technology, Understanding Gravimetric Blender Accuracy & Payback^[71]). Bir uygulama önerisi de kırma haznesi seviyesine bağlı çift reçetedir (hazne doluyken %40 kırma/%60 ham, azken %20/%80), böylece kırma tüketimi üretimiyle eşleşir (Five Quick Steps^[69]). Mimari sonuç, merkezi sistemin tek bileşenleri makine üstü gravimetrik harmanlayıcıya taşınması, karışımın ise uzun hatta taşınmamasıdır; özellikle %1–4 oranındaki masterbatch ve kırma için (Teknik Part yorumu).

Dozaj hatasının kalite etkisi masterbatch oranı düştükçe büyür. Bir masterbatch üreticisinin örneğinde $\pm 0,1$ g'lık dozaj hatası %1 oranında $\pm\%10$, %3 oranında $\pm\%3,3$ görel sapma demektir (masterbatch üreticisi, Colourhouse Masterbatch, Addition rates explained^[72], arşiv kopyası); bu aritmetik, masterbatch oranını düşürmek isteyen bir işletme için dozaj hassasiyetinin ön şart olduğunu gösterir (Teknik Part çıkarımı). Renk kabulünde sektörün geçer/kalır ölçütü $\Delta E = 1$ 'dir; masterbatch anlaşılan oranda dozlandığı halde renk değişiyorsa olası kök neden zayıf dağılımdır (ticari yayın, Interplas Insights, Understanding Colour Variation^[73]). Bu nedenle renk sapmasının iki kaynağı ayrılmalıdır: oranın atımdan atıma değişmesi (dozaj ve ayrışma, yani hammadde zinciri) ve oran doğruyken eriyikte karışmama (vida, karıştırıcı ve taşıyıcı uyumu); merkezi besleme ve makine üstü dozaj yalnız birincisini çözer (Teknik Part çıkarımı). TPU üreticisi masterbatch dozajını tipik %1–4 olarak verir, adaptördeki statik karıştırıcının renk dağılımını belirgin iyileştirip renklendirici miktarını azalttığını ve poliolefin ya da PVC taşıyıcılı renk granüllerinin TPU'ya uygun olmadığını yazar (Covestro TPU kılavuzu, s. 8^[59]). Dozaj sapmasını ölçülmüş ΔE 'ye, harmanın ayrışmasını hat uzunluğuna bağlayan bağımsız bir çalışma bulunamamıştır; ayrışmaya dair elimizdeki kanıt yukarıdaki nitel fotoğraftır.

Şekil 8 $\pm 0,1$ g dozaj hatasının masterbatch oranına göre görel sapması



Kaynak: masterbatch üreticisinin örneği^[72]. Oran düştükçe aynı gramlık hata renkte daha büyük görel sapma üretir.

Kırmanın taşıma sorunlarının kökü çoğunlukla kırıcıdadır. Kırmanın ham pelletle uyumlu, düzgün bir tane boyuna öğütülmesi ve karışımın her çevrimde aynı yığın yoğunluğunda verilmesi iyi uygulamadır (Plastics Technology, Smart Handling of Re grind^[74]). Toz ve ince partiküller kırıcı boşaltma haznelerinde köprüleme ve fare deliği oluşturur, besleme hunisinde birikir ve taşıma kapasitesini düşüren tıkanmış filtrele yol açar; proseste ince partiküller ham pelletten daha hızlı erir ve bozunarak siyah noktalara, dolayısıyla hurda ve muayene maliyetine yol açar; kaynakları körelmiş ve yanlış ayarlı bıçaklar, tıkanmış elekler, fazla rotor hızı ve küçük elek delikleridir (Plastics Technology, Eliminate Dust, Fines and Longs For Better Re grind Quality^[75]).

İnce tanenin zarar mekanizması vida besleme bölgesindedir. Bağımsız bir uzmana göre ince taneler normal granülden çok daha hızlı ve erken erir, bu da normal granüllerin erimesi için gereken sürtünmeyi azaltır; sonuç erimemiş granül ile siyah ve beyaz noktalardır (Plastics Technology, J. Bozzelli: Why Pellet Size and Shape Are Important^[76]). PA66 üreticisi kırma tanelerinin taze granül boyunda olmasını (yaklaşık 5 mm elek ile yaklaşık 3 mm tane), ince tanelerin yaklaşık 2,5 mm elek ile ayrılmasını ister ve ince tanelerin hızla nem alıp vakum yükleyici filtrelerini tıkadığını yazar (DuPont, s. 32^[57]). Böylece ince tane zincire üç yoldan zarar verir: erimeyi bozar, nem taşır ve filtreyi tıkayarak yükleyici kapasitesini düşürür (Teknik Part çıkarımı). Kabul edilebilir ince tane oranı için yayımlanmış bağlayıcı bir sınır bulunamamıştır; minimal kesmeli ve rotasyonel kalıplama mikro-pelletlerine ait bir patent granülün %1'den az, tercihen %0,1'den az toz içermesini tercih eder (patent iddiası, sektör sınırı değildir — US Patent 8,969,435^[77]). Taşıma hızının sınırlandırılması ince tanenin üretimini, makine üstündeki toz ayırıcı ise son aşamada ayrılmasını sağlar.

Reçine üreticileri kırmayı yüzdeden çok kaliteyle sınırlar. PA66 üreticisi kırmanın yalnız üretildiği hızda, ham malzemeyle en fazla **%50, tercihen %25** oranında kullanılmasını önerir ve nihai özelliklerin kırma yüzdesinden çok kırmanın kalitesine bağlı olduğunu yazar; mekanik yük taşıyan parçalarda kırma yalnız nadiren kullanılmalı, kabul edilebilir miktar parça bazında testle belirlenmeli, rengi bozulmuş veya gümüşü çizgi gösteren parçalar kırmaya girmemelidir (DuPont, s. 31-32^[57]). TPU üreticisi geri dönüştürülmüş malzeme payının **%30'u** geçmemesini ve yalnız temiz, ayrıştırılmış hurdanın kullanılmasını ister (Covestro TPU kılavuzu, s. 15^[59]). Kırma birikimli de işler: bağımsız bir uzmanın örneğinde %20 hurda veren bir süreçte 1.000 lb'lik parti ilk geçişte 200 lb hurda verir; bu hurda ikinci geçişte %100 kırma olarak işlenince 40 lb, üçüncü geçişte 8 lb hurda kalır ve yazar son 8 lb'nin satılmasını önerir; sektördeki uygulama aralığı %0 ile %100 arasındadır, medikalde tipik cevap "hiç"tir (Plastics Technology, J. Bozzelli: Another Way to Deal with Re grind^[78]). Bu kurallar kırma oranının bir ayar değil bir sistem çıktısı olduğunu gösterir: tane boyu kırıcıda, ince tane ayırıcıda, nem kapalı kapta, oran gravimetrik dozajda belirlenir (Teknik Part çıkarımı).

Metal ayırma son halkada, besleme boğazında tamamlanır

Metal ayırma kademeli bir savunmadır ve son halka makinenin besleme boğazıdır. Bir manyetik ayırıcı üreticisinin önerdiği yerleşim, depoya ilk girişte hat içi mıknatıs ve metal dedektörü, silo çıkışında çekmeceli veya hat içi mıknatıs, kalıplama hattında dedektör, huni içinde ızgara mıknatıs, çekmeceli

mıknatıs veya makineye monte tüm metal ayırıcı ve kırma/geri dönüşüm döngüsünde ayrı ayırıcılardan oluşur (üreticinin beyanı, Bunting: Metal Separator Locations in a Plastics Plant^[79]). Mıknatıslar yalnız ferromanyetik metali tutar; alüminyum ve paslanmaz gibi manyetik olmayan metaller için tüm metal ayırıcı gerekir (üreticinin beyanı, motan: Metal separator^[80]). Serbest metalin öğütme etkisiyle vida ve kovanda ciddi aşınma ve kırılmaya yol açtığı patent literatüründe belirtilir (US Patent 5,427,249^[81]). Kirlenme merkezi ayırıcılardan sonra da (kırma, elle yükleme, hat aşınması) sisteme girebildiği için besleme boğazındaki son nokta koruması vazgeçilmezdir (Teknik Part yorumu). Vida ve kovan hasarının maliyetine dair güvenilir yayımlanmış bir rakam bulunamamıştır. Metalin parça kalitesine etkisi dolaylıdır: sıcak yolluk memesi veya geri akış valfinin tıkanması ya da hasarı dengesiz dolum ve eksik baskı, vida ve kovan aşınması atım tutarsızlığı üretir (Teknik Part çıkarımı; bu zinciri sayısallaştıran bir kaynak bulunamamıştır).

Toz halindeki malzemelerde (toz masterbatch, toz katkı) tablo değişir: vakumlu taşıma yanıcı tozlar için tercih edilen kapalı süreçtir, 10 µm altındaki partiküller günlerce havada kalabilir ve iletken filtreler ile ters jet temizleme gerekir (tedarikçi yazarı, Plastics Technology, Seven Key Factors When Vacuum Conveying Powders^[82]). Kaynak ABD standartlarına atıf yapar; Türkiye ve AB'de ilgili çerçevenin ATEX mevzuatı olduğu bilinmekle birlikte bu çalışmada ATEX'e özgü kaynak incelenmemiştir ve toz taşıma projelerinde ayrıca değerlendirilmelidir.

Bu bölümdeki kalite argümanının bir sınırı vardır: **merkezi besleme veya merkezi kurutmaya atfedilmiş, bağımsız ölçülmüş bir ıskarta azalması yüzdesi bulunamamıştır**. Yayımlanmış vakada önceki hurdanın nedenleri sayılır ama sonraki ıskarta oranı verilmez (Plastics Technology, 2006^[52]). Kalite gerekçesi bu yüzden ıskarta vaatlerinden değil, reçine üreticilerinin föy şartlarından kurulmalıdır. Tablo 2 bu şartları zincirdeki kök neden ve önleyici uygulamayla eşleştirir.

Tablo 2 Hammadde zincirinden doğan kusurlar

Kusur	Zincirdeki kök neden	Önleyen ekipman / uygulama	Eşik ve kaynak
Gümüşi çizgi (nem izi), kabarcık, gevreklik	Yetersiz kurutma; kurutulmuş granülün açık hunide veya ortam havasıyla taşınırken nem alması	Huni tipi kurutucu, kuru havayla kapalı taşıma, hat boşaltma, küçük alıcı ve huni hacmi, kapalı huni	PA66 ≤ %0,2, gerekirse %0,1 (DuPont ^[57]) · PBT < %0,04 (BASF ^[58]) · TPU ≤ %0,05 (Covestro ^[59]) · PC ≤ %0,02 (Covestro ^[60]) · PET/PLA ~50 ppm (Sepe ^[61])
Viskozite kayması, çapak veya eksik dolum dalgalanması	Nem dalgalanması (PA'da nem viskoziteyi düşürür) veya fazla kurutma	Çiy noktası ve sıcaklık kontrollü kurutma; tüketime göre huni boyu	DuPont, s. 7 ^[57] ; ~12 saat üstü kurutmada viskozite artışı (UL Prospector ^[67] , arşiv kopyası)
Renk değişimi, katkı kaybı	Yüksek sıcaklıkta uzun kurutma	Uzun kurutmada sıcaklığı düşürmek; 105 °C üstünde huni ve hat yalıtımı	DuPont, s. 8 ^[57] (nitel)
Erimemiş granül, siyah veya beyaz nokta	İnce tane, melek tozu, kırma tozu	Taşıma hızı sınırı, makine üstü toz ayırıcı, kırmada eleklerle ince tane ayırma	~2,5 mm elek (DuPont, s. 32 ^[57]); < %1 toz, tercihen < %0,1 (patent, bağlayıcı değil)

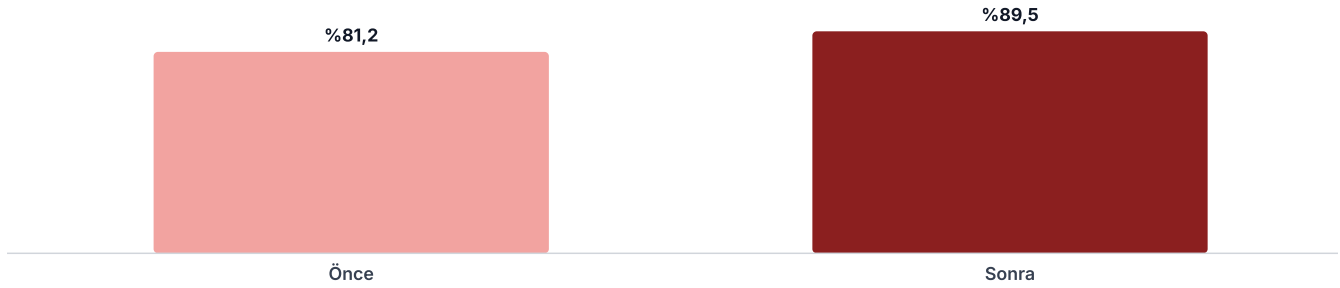
Kusur	Zincirdeki kök neden	Önleyen ekipman / uygulama	Eşik ve kaynak
Renk sapması, renk izi	Dozaj sapması, harmanın uzun hatta ayrışması; ya da dağılım ve uyumsuz taşıyıcı	Makine üstü gravimetrik dozaj, statik karıştırıcı, uyumlu taşıyıcı	$\pm 0,1$ g hata %1 oranda ± 10 (Colourhouse ^[72] , arşiv kopyası) · $\Delta E = 1$ geçer/kalır (Interplas ^[73])
Mekanik özellik düşüşü	Yüksek veya düzensiz kırma oranı; bozunmuş, nemli ya da kirli kırma	Kırmayı üretildiği hızda gravimetrik oranlama, kapalı kap, taze granül boyunda tane	PA $\leq$ %50, tercihen %25 (DuPont, s. 31 ^[57]) · TPU $\leq$ %30 (Covestro, s. 15 ^[59])
Karışık malzeme, yabancı nokta	Yanlış kap veya kaplin, kirli kırma	RFID kodlu veya otomatik kaplin, kapalı hat, hat boşaltma	Sayısal eşik yok (motan, Wittmann; üretici)
Vida, meme veya çek valf hasarı; atım tutarsızlığı	Metal parçacık	Kademeli manyetik ve tüm metal ayırıcı, besleme boğazında son nokta koruması	Sayısal eşik yok (Bunting ^[79] ; üretici)

8 · GERİ DÖNÜŞ

Geri dönüş emek ve hurdadan gelir, enerji ek kazançtır

Yayımlanmış ve sayısal verisi olan en güçlü vaka, 21 enjeksiyon presi (90–720 ton), 20'ye kadar farklı malzeme ve 30'dan fazla renkle çalışan bir ABD'li kalıpcıya aittir. Malzeme taşıma ekipmanı ve asma kat yenilemesi için **250.000 \$** yatırım yapılmış, beklenen geri dönüş **14–16 ay** olarak verilmiştir; **vardiya başına bir tam zamanlı malzeme taşıma personeline gerek kalmamış**, 27 depo lokasyonu ve makine yanı stok kaldırılmış, toplu alımla hammaddede 3–5 ¢/lb, daha iyi taşıma ve kurutmayla toplamda yaklaşık 20 ¢/lb tasarruf beyan edilmiştir. Önceki hurdanın nedenleri kirlenmiş malzeme, yanlış malzeme kullanımı, hatalı kurutma ve renk karışımı olarak sayılmış; forklift trafiği azalınca iş güvenliği artmıştır; tek merkezi kurutucu sekiz kurutma hunisini besler (Plastics Technology, Material Handling and Drying Are a Molder's 'Central' Issue, 2006^[52]). Rakamlar dergi haberinde yer alır ama müşteri ve tedarikçi beyanıdır; 250.000 \$ ve 14–16 ay, aylık yaklaşık 15.600–17.900 \$ net tasarrufa karşılık gelir (Teknik Part hesabı). Vakanın dersi, geri dönüşün ana kalemlerinin enerji değil **emek ve malzeme kaybı** olmasıdır.

İkinci vaka, 70 enjeksiyon makineli bir medikal tesiste 192 RFID etiketli bağlantıyla doğru malzemenin doğru makineye gitmesinin güvenceye alındığı ve yaklaşık 4 mil boru hattı kurulduğu bir projedir; tesisin OEE'si %81,2'den %89,5'e çıkmıştır (Plastics Technology, Medical Molder Boasts Showpiece Material-Handling System, 2021^[83]). Bu OEE artışı tesis geneli bir göstergedir ve yalnız malzeme sistemine atfedilemez. Sık alıntılanan üçüncü bir vakada, bir kalıpcının her makineye monte 30 yağlı paletli vakum pompasını iki merkezi pompa ve tampon tanklarla değiştirip enerjide %75 düşüş beyan ettiği aktarılır (Plastics Technology, Switch to Centralized Vacuum Supply..., 2018^[84]); ancak metin bu vakumun kalıp boşluğunu tahliye etmek için kullanılan proses (kalıp) vakumu olduğunu açıkça belirtir. Bu nedenle bu vaka **hammadde besleme vakası olarak kullanılamaz**; yalnız "makine başı pompalar yerine merkezi vakum kaynağı" argümanı için sınırlı bir emsal değerindedir.

Şekil 9 70 makineli medikal tesiste OEE: malzeme sistemi projesinden önce ve sonra

Kaynak: Plastics Technology^[83]. Tesis geneli bir göstergedir; artış yalnız malzeme sistemine atfedilemez.

Bağımsız ölçüm ve doğrulama (M&V) içeren, önce/sonra enerji verili bir merkezi hammadde besleme vakası yayımlanmış değildir; Türk ticari basınında da adı verilmiş ve rakamlı bir proje bulunamamış, bulunanlar sayısal vaka içermeyen satıcı sayfalarıdır (Hastek^[85]; Polmak^[86]). Türk kalıpcısı için yatırım gerekçesi bu yüzden kendi verisiyle kurulmalıdır: (kaldırılan malzeme personeli sayısı × yıllık tam yüklü işçilik maliyeti) + (azalan hurda × hammadde fiyatı) + (yanlış malzeme ve kirlenme olaylarının önlenmesi maliyeti) + (enerji farkı), yatırımla karşılaştırılır (Teknik Part yöntemi, vaka kalemlerinden türetilmiştir). Genel bir "şu kadar ayda döner" iddiası kaynaklıdır ve bu raporda kullanılmamıştır.

UYGULAMA

Uygulama araçları: kontrol listesi, hata tablosu ve ölçüm seti

Aşağıdaki kontrol listesi, önceki bölümlerdeki kaynaklı bulgulardan Teknik Part tarafından derlenmiştir; her satırın dayanağı ilgili bölümde verilmiştir. Tablolardaki bölüm numaraları rapordaki başlık sırasını izler (1 hız, 2 hat geometrisi, 3 toz-aşınma-sızıntı, 4 pompa ve enerji, 5 makine yanı yükleyici ve merkezi sistem, 6 mimari ve boyutlandırma, 7 hammadde zinciri ve kalite, 8 geri dönüş).

Tablo 3 Tasarım ve devreye alma kontrol listesi (Teknik Part derlemesi)

Aşama	Kontrol edilecek	Dayanak
Veri toplama	Her makinenin gerçek tüketimi (kg/h), eşzamanlı tepe talebi ve malzemenin gerçek yığın yoğunluğu (katalog değeri değil) ölçüldü mü?	Bölüm 6; WIJAY (boyutlandırma ilkesi)
Veri toplama	Hangi malzemeler kurutuluyor, hangileri kırma ya da dolgulu/cam elyafli, hangileri toz?	Bölüm 3, 7
Düzen seçimi	Makine sayısı, mesafe, malzeme sayısı ve kurutma ihtiyacına göre makine yanı, küçük merkezi veya tam merkezi düzen seçildi mi; geçiş kademeli planlandı mı?	Bölüm 5
Makine yanı yükleyici	Kaynak kap föydeki 4–5 m koşulu içinde mi; fırça çalışma saati izleniyor mu; higroskopik malzeme açık kapta bekliyor mu?	Bölüm 5, 7

Aşama	Kontrol edilecek	Dayanak
Merkezi sistem	Otomatik devreye giren yedek pompa var mı; pompa üretim salonu dışında konumlanabilir mi?	Bölüm 5
Hat güzergâhı	Eşdeğer uzunluk hesaplandı mı (yatay + 2 × dikey + dirsek sayısı × dirsek eşdeğeri + hortum)? Kullanılan pompa eğrisinin hangi eşdeğer uzunluk kuralıyla hazırlandığı üreticiden alındı mı?	Bölüm 2; Mills 2004 ^[5]
Hat güzergâhı	Dirsek sayısı en aza indirildi mi, ardışık dirsekler arasında düz boru var mı, beslemeden sonra ~6 m düz hızlanma bölgesi bırakıldı mı?	Bölüm 2; Chemical Engineering
Hat güzergâhı	Esnek hortum yalnız kaplin ve makine bağlantısında mı, kıvrılmış halkalar kaldırıldı mı?	Bölüm 2
Hız	Alma noktasında hız granül için ~15–20 m/s bandında ve %20 güvenlik payıyla mı hesaplandı, gerçek boru iç çapı kullanıldı mı?	Bölüm 1; Mills 2004 ^[5]
Hız	Hat sonu hızı ~30 m/s'yi aşıyor mu? Aşıyorsa kademeli hat, hız kontrolü veya kontrollü hava kaçağı düşünüldü mü?	Bölüm 1
Pompa	Pompa tipi eşdeğer mesafe ve gereken vakuma uygun mu (yan kanal / çok kademeli / lob / pençe)?	Bölüm 4
Pompa	60 Hz'e göre verilmiş eğrilerde 50 Hz kapasite düşüşü (~%17) hesaba katıldı mı?	Bölüm 4; Plastics Technology
Pompa	Pompanın saatlik zaman bütçesi tepe talepte 3.600 s'ye sığıyor mu, pay var mı?	Bölüm 6 (Teknik Part hesabı)
Pompa	Kalkış sayısı sınırı (ör. saatte ≤10) ile bekleme süresi uyumlu mu? Paralel pompa veya tampon hacim gerekli mi?	Bölüm 4
Filtre	Merkezi filtre tozlu malzemeye ve pompa gücüne uygun mu, otomatik temizleme ve toz haznesi erişilebilir mi?	Bölüm 4
Kurutma	Kurutulmuş malzeme kuru havayla mı taşınıyor, her çevrimden sonra hat boşaltılıyor mu? Alıcı/huni hacmi 30 dakikalık tüketimi aşıyor mu?	Bölüm 7
Kurutma	Hat boşaltmanın kapasite kaybı (~%50'ye varan) pompa boyutlandırmasına dahil edildi mi; kurutma gerektirmeyen hatlarda gereksiz yere açık mı?	Bölüm 6
Kurutma	Her reçine için kalıntı nem sınırı reçine üreticisinin föyünden alındı mı; makine hunisi kapalı mı; kurutma hunisi tüketime göre büyük seçilip fazla kurutmaya yol açıyor mu?	Bölüm 7; DuPont, BASF, Covestro
Dozaj	Karışım makine üstünde mi yapılıyor; uzun hatta harmanlanmış karışım taşınıyor mu?	Bölüm 7
Dozaj	Düşük oranlı (ör. %1) masterbatchte dozaj doğruluğu görelî sapmaya çevrildi mi; renk kabulü (ΔE) dozaj ve dağılım ayrı ayrı izlenerek mi yapılıyor?	Bölüm 7
Kırma	Kırma oranı reçine üreticisinin sınırı içinde mi (ör. PA ≤ %50, tercihen %25; TPU ≤ %30); kırma üretildiği hızda ve kapalı kaptı mı tüketiliyor; ince tane eleklerle ayrılıyor mu?	Bölüm 7; DuPont, Covestro
Kırma	Kırmanın tane boyu ve toz içeriği kırıcıda kontrol ediliyor mu; kırma hattının çapı granüle göre ayrıca değerlendirildi mi; alıcı boşaltma çapı yeterli mi?	Bölüm 1, 7
Metal	Silo girişi, silo çıkışı, kırma döngüsü ve besleme boğazında kademeli ayırıcı var mı; manyetik olmayan metal riski için tüm metal ayırıcı gerekli mi?	Bölüm 7
Yanlış malzeme	Kaplin istasyonunda kodlama (renk / RFID / otomatik) seviyesi hata maliyetine göre seçildi mi?	Bölüm 6

Aşama	Kontrol edilecek	Dayanak
Aşınma	Cam elyafı/dolgulu hatlarda önce hız düşürüldü mü, sonra aşınmaya dayanıklı dirsek seçildi mi?	Bölüm 3
Montaj	Boru uçları hizalı ve pahlı mı, kaplinler vakum sızdırmaz mı, cam hatlarda topraklama var mı?	Bölüm 3
Genişleme	Kontrol, dağıtıcı ve pompa kapasitesinde gelecekteki makineler için pay bırakıldı mı?	Bölüm 6 (üreticilerin sonradan genişletme tasarımından çıkarım)

Aşağıdaki tablo, kaynaklarda belgelenmiş tasarım ve işletme hatalarını, sonuçlarını ve düzeltme yolunu bir araya getirir.

Tablo 4 Sık yapılan hatalar → sonuç → çözüm

Hata	Sonuç	Çözüm	Kaynak
Pompayı "hat sonunda yetsin" diye büyütme, alma hızını 20 m/s'nin çok üstüne çıkarmak	Aşınma hızın ~2,5'inci kuvvetiyle artar; dirsek ömrü her +4,5 m/s'de ~yarıya iner (üreticinin beyanı); melek tozu ve toz	Hızı alma noktasına göre ayarla; hız kontrolü, akış sınırlayıcı, kademeli hat	Chemical Engineering; Plastics Technology; Mills 2004 ^[5]
Alma hızını sınırdan tutmak, gerçek iç çap yerine nominal çapla hesaplamak	Yatayda çökme, dikeyde ve dirsek sonrasında tıkanma	%20 hız payı; gerçek iç çap	Mills 2004 ^[5] ; Powder & Bulk Solids
Dirsek eşdeğerini hesaba katmamak, ardışık dirsek kullanmak	Eşdeğer uzunluk fiziksel uzunluğun çok üstüne çıkar; malzeme akıştan düşer	Güzergâhı sadeleştir, dirsekler arasına düz boru koy	Mills 2004 ^[5] ; Plastics Technology
Fazla esnek hortum, kıvrılmış halkalar	Yüksek hızda belirgin ek basınç kaybı, debi düşüşü	Hortumu kısalt, rijit boru kullan	Mills 2004 ^[5] ; Novatec VLP (üretici)
60 Hz pompa eğrisini 50 Hz şebekede düzeltmeden kullanmak	~%17 düşük kapasite, hedef hızın altında çalışma	Frekans düzeltmesi yap, üreticiden 50 Hz eğrisi iste	Plastics Technology
Ortalama tüketime göre boyutlandırmak	Tepe anında huniler boşalır, "malzeme yok" alarmı	Tepe talep ve pompa zaman bütçesiyle boyutlandır; alıcı hacmini optimize et	WIJAY; Plastics Technology; Teknik Part hesabı
Kurutulmuş malzemeyi atölye havasıyla taşımak, büyük makine hunisinde bekletmek	Nem geri alımı; kurutma yatırımının boşa gitmesi	Kuru hava ile taşıma, hat boşaltma, en fazla 30 dakikalık tüketimi tutan alıcı/huni	Plastics Technology (Bozzelli; Central Drying Made Simple)

Hata	Sonuç	Çözüm	Kaynak
Kurutma gerektirmeyen hatlarda hat boşaltmayı açık tutmak	~%50'ye varan kapasite kaybı	Hat boşaltmayı yalnız higroskopik/kurutulmuş ve harmanlanmış malzemede kullan	Plastics Technology
Karışımı merkezde yapıp uzun hatta taşımak	Renk ve kırma ayrışması, katmanlaşma	Makine üstü gravimetrik harmanlama	Plastics Technology
Kırmayı oransal valfle "harmanladığını" varsaymak	Kaba ve düzensiz oran	Kırmayı ayrı taşı, gravimetrik dozajla	Plastics Technology KC
Hizasız boru kaplini	Kırmadan ve granülden ince toz koparma	Hizala, aşağı akış ucunu pahla	INEOS
Kodsuz manuel kaplin	Yanlış malzeme, geç fark edilen hatalı parça	RFID kodlu veya otomatik kaplin istasyonu	motan, Wittmann (üretici)
Pasif yükleyicinin çek valfinin sızdırması, aşınmış conta	Diğer yükleyicilerde kapasite kaybı; görünmeyen vakum kaçağı	Aylık conta, yıllık vakum vanası kontrolü; duman testi	Ferlin MOVAC kılavuzu; Mills 2004 ^[5] ; Plastics Technology
Filtre bakımını ihmal etmek, filtre temizliğini kapatmak	Kapasite düşüşü; en kötü durumda filtre gövdesinin çökmesi	Haftalık toz haznesi boşaltma, darbe ayarı, emniyet ventili kontrolü	Ferlin MOVAC kılavuzları; Plastics Technology
Pompayı çok sık durdurup başlatmak	Motor ve pompa ömründe kısalma	Bekleme süresini kalkış sınırıyla ayarla	Ferlin MOVAC kılavuzu
Kurutulmuş malzemeyi açık hunide bekletmek, tepsi fırından elle aktarmak	Dakikalar ölçeğinde nem alımı; gümüşü çizgi, gevreklik	Huni kurutucu, kapalı huni, kuru havayla taşıma	DuPont; Covestro
Kurutma hunisini tüketime göre büyük seçmek, uzun ve sıcak kurutmak	Katkı kaybı, renk değişimi, viskozite kayması	Huni hacmini tüketim × kurutma süresine göre seçmek; uzun kurutmada sıcaklığı düşürmek	DuPont; Teknik Part çıkarımı
Kırmayı elek ve toz ayırma olmadan kullanmak	Erimemiş granül, nokta, filtre tıkanması	Taze granül boyunda tane, ~2,5 mm elekten ince tane ayırma, toz ayırıcı	DuPont; Bozzelli
Kırma oranını sabit bir ayar sanmak, bozunmuş parçayı kırmak	Mekanik özellik düşüşü	Üretildiği hızda, üretici sınırı içinde gravimetrik oranlama; bozunmuş parçayı ayırmak	DuPont; Covestro
Makine yanı yükleyicide fırça saatini izlememek	Beklenmeyen duruş, makinenin boş kalması	Fırça alarmı ve planlı değişim; fırçasız tip	Novatec, Shini (üretici)
Yedeksiz tek merkezi pompa	Tek arıza bağlı tüm makineleri durdurur	Otomatik devreye giren yedek pompa	motan (üretici)

Hata	Sonuç	Çözüm	Kaynak
Granülü basınçlı havayla (venturi) taşımak	Kullanım noktasında elektriğin ~10 katı maliyet	Elektrik motorlu merkezi vakum	GPG 292; Van Ormer
Besleme boğazında metal koruması olmamak	Vida ve kovan hasarı	Kademeli ayırıcılar + son nokta koruması	Bunting (üretici); ABD patent literatürü

Ölçüm tarafında sektör için yayımlanmış bir KPI kıyaslaması bulunamamıştır. Aşağıdaki set Teknik Part tarafından, kaynaklarda geçen ölçülebilir büyüklüklerden türetilmiştir; hedef değerler, tesis kendi taban değerini ölçene kadar bilinçli olarak verilmemiştir.

Tablo 5 Önerilen KPI seti (Teknik Part tarafından türetilmiştir; sektör kıyas değeri yoktur)

Alan	Gösterge	Nasıl ölçülür	Neyi gösterir
Enerji	Taşınan ton başına kWh	Pompa enerji sayacı ÷ aynı dönemde işlenen hammadde	Pompa tipi, hız ve çalışma oranı verimi
Enerji	Pompa yükte çalışma oranı	Yükte saat ÷ toplam çalışma saati	Boşta dönen kapasite, kademelendirme ihtiyacı
Enerji	Filtre temizliği ve vanalar için basınçlı hava	Nm ³ /vardiya (ayrı sayaç veya hesap)	Gizli basınçlı hava maliyeti
Kapasite	Alıcı dolum süresi	Her alıcı için saniye, taban değere göre eğilim	Sızıntı, filtre tıkanması, hız kaybı (erken uyarı)
Kapasite	Alıcı başına saatlik çevrim ve pompa zaman bütçesi doluluğu	Kontrol kayıtları; $\Sigma(\text{çevrim} \times \text{süre}) \div 3.600 \text{ s}$	Tepe talepte kalan pay
Kapasite	Hat boşaltmanın kapasite payı	Boşaltma süresi ÷ toplam çevrim süresi	Gereksiz boşaltma
Güvenilirlik	"Malzeme yok" alarmı / vardiya	Kontrol alarm kaydı	Boyutlandırma ve tepe talep yeterliliği
Güvenilirlik	Hat tıkanması ve filtre alarmı / ay	Alarm ve bakım kaydı	Hız marjı, filtre bakımı
Güvenilirlik	Filtre fark basıncı	mbar, periyodik okuma	Filtre durumu, temizleme ayarı
Kalite	Yanlış malzeme olayı / yıl	Kalite kaydı	Kaplin kodlama seviyesinin yeterliliği
Kalite	Besleme boğazında kalıntı nem (reçine üreticisi sınırına oranı)	Boğazdan alınan numunede nem ölçer	Kurutma ve taşımının birlikte sonucu; sınırın aşıp aşılmadığı
Kalite	Kurutucu çıkış/dönüş çiy noktası ve huni bekleme süresi	Çiy noktası sensörü; huni hacmi ÷ tüketim	Kurutma yeterliliği ve fazla kurutma riski
Kalite	Kırmada ince tane oranı	Elek analizi, ağırlıkça %	Kırıcı bıçak ve elek durumu; nokta ve filtre riski
Kalite	Kırma ve masterbatch fiili oranı	Gravimetrik dozaj kaydı; hedeften sapma %	Oran kararlılığı

Alan	Gösterge	Nasıl ölçülür	Neyi gösterir
Kalite	Renk farkı (ΔE)	Spektrofotometre, parti bazında	Dozaj ve dağılımın birlikte sonucu
Kalite	Toz ve melek tozu miktarı	Toz ayırıcı veya filtre haznesinden toplanan g/ton	Hız ve dirsek kaynaklı bozunma
Kalite	Metal ayırıcıda tutulan parça / ay	Ayırıcı kontrol kaydı	Kirlenme kaynağı ve eğilimi
Organizasyon	Malzeme değişim süresi	Dakika, değişim başına	Merkezi sistemin esneklik kazancı
Organizasyon	Makine yanı elle besleme adam - saati ve forklift hareketi	Vardiya kaydı	Emek tabanlı geri dönüşün izlenmesi
Bakım	Dirsek ve boru değişim aralığı	Atım veya ton başına değişim	Aşınma ve hız ayarının etkisi
Bakım	Makine yanı yükleyicide fırça çalışma saati ve yıllık değişim sayısı	Kontrol sayacı, bakım kaydı	Bağımsız yükleyicinin gizli bakım yükü
Güvenilirlik	Yedek pompanın devreye girme sayısı	Kontrol alarm kaydı	Ana pompanın durumu, tek hata noktası riski

YÖNTEM

Veri boşlukları ve yöntem notu

Bu raporun sınırları açıkça belirtilmelidir. Birincisi, **merkezi vakum taşıma için bağımsız, ölçülmüş bir kWh/ton kıyaslaması yoktur**; kamu kılavuzları malzeme taşımayı enerji kalemi olarak sayar ama yüzde veya kWh/t vermez, dolaşan rakamlar kaynaksız tedarikçi yazılarından gelir ve bu raporda kullanılmamıştır.

İkincisi, fabrika içi 40–60 mm'lik vakum hatları için **bağımsız kg/h–mesafe tabloları bulunamamıştır**; Mills'in ölçümleri çoğunlukla 53 mm ve üzeri çaplı, basınçlı beslemeli (blow tank, rotary valf) test hatlarındadır, üretici kapasite tabloları ise yalnız kendi ekipmanları ve kendi eşdeğer uzunluk kurallarıyla geçerlidir.

Üçüncüsü, raporun yerel arşivinde **Ferlin MOVAC pompa ve yükleyicileri için kapasite–mesafe eğrileri, pompa kW–m³/h–mbar eğrileri ve frekans konvertörü bilgisi bulunmamaktadır**; bu veriler Teknik Part arşivinde yer almıyor ve üreticiden teknik föy olarak istenmelidir.

Dördüncüsü, **makine yanı bağımsız yükleyici ile merkezi sistemi enerji, işçilik, gürültü, fire veya kalite açısından karşılaştıran bağımsız bir ölçüm yoktur**; merkezi sistem lehine dolaşan %80 enerji ve %1–2 hammadde tasarrufu rakamları üretici beyanıdır ve ikincisi aynı üretici tarafından makine başı basit yükleyici için de verilmiştir. Makine başında ölçülmüş dB(A) değeri, fırçalı motorun bağımsız arıza oranı, yedek pompanın devreye girme süresi ve Türkiye'de makine yanı düzenin yaygınlığına dair anket verisi de bulunamamıştır.

Beşincisi, kalite zincirinde reçine üreticileri açık hunide ve ortam havasında nem alma eğrisi verir, ama **pnömatik taşıma hattının içinde granülün ne kadar nem aldığını ölçen bir çalışma yoktur**; aynı şekilde **harmanın ayrışmasını hat uzunluğuna bağlayan nicel veri**, reçine üreticisinden bağlayıcı bir ince tane sınırı, dozaj sapmasını ölçülmüş ΔE 'ye bağlayan bir çalışma ve merkezi besleme veya kurutmaya atfedilmiş bağımsız bir ıskarta azalması ölçümü bulunamamıştır.

Altıncısı, esnek hortumun rijit boruya göre sabit bir basınç kaybı oranı, dikey metrenin yatay eşdeğeri üzerinde üreticiler arası uzlaşma, filtre basınç düşümünün enerji etkisi, kontrolsüz kaçağın nicel bedeli, kırmanın alma hızı, dirsek malzemelerinin karşılaştırmalı aşınma hızı ve yanlış malzeme olaylarının sıklığı konusunda kaynaklı veri bulunamamıştır.

Yedincisi, Türkiye'de adı verilmiş, rakamlı bir merkezi besleme projesi yayımlanmamıştır.

Kapsam dışı bırakılan kalıp sıcaklık kontrolü, soğutma ve chiller sistemleri bu raporda değerlendirilmemiştir; bu yüzden tesis enerjisinin soğutma tarafına ilişkin hiçbir sonuç bu rapordan çıkarılmamalıdır.

Kaynaklar hakkında: ticari dergi yazılarının önemli bir kısmı ekipman üreticisi çalışanlarınca yazılmıştır ve metinde bu durum belirtilmiştir. David Mills, *Pneumatic Conveying Design Guide*, 2. baskı (Elsevier/Butterworth-Heinemann, 2004) basılı kitap sayfalarıyla verilmiştir; kitabın 3. baskısı 2015/2016'da yayımlanmıştır (ISBN 978-0-08-100649-8) ve değerlerin bu baskıda değişip değişmediği kontrol edilmemiştir. Mills sayfa numaralarının tamamı kitabın basılı sayfa numaralarıdır ve sayfa başlıklarıyla tek tek doğrulanmıştır. Ferlin MOVAC kullanım kılavuzları ve Michel Tube kataloğu gibi üretici belgeleri Teknik Part'in temsil ettiği firmalardan edinilmiş dokümanlardır; bu belgelerdeki ifadeler de üretici bilgisi niteliğindedir; Ferlin ve Michel Tube belgelerinde sayfa numaraları belgenin basılı sayfa numarasıdır. Kalite bölümündeki reçine üreticisi sınırları (DuPont, Covestro) üreticilerin yayımladığı işleme kılavuzlarının PDF sayfalarından okunmuştur; sayfa numaraları PDF sayfasıdır. Nem alma hızına dair kaynağı belirsiz ikincil iddialar ve malzeme sistemine atfedilemeyen genel ıskarta iyileştirme vakaları bilinçli olarak kullanılmamıştır. Proje teklifleri ve müşteri belgeleri bu çalışmada kullanılmamıştır.

TEKNİK PART

Teknik Part'in bu alandaki çözümleri

Teknik Part bu raporda ele alınan zincirin aşağıdaki halkalarında temsil ettiği markaların ürünlerini sunar. **Ferlin MOVAC**: makine yanı bağımsız yükleyiciler (MOVAC Easy), merkezi sistem için makine üstü vakum alıcıları, vakum pompaları, merkezi filtre üniteleri, dağıtım masaları ve kaplin istasyonları. **Michel Tube**: paslanmaz, alüminyum, aşınmaya dayanıklı ve borosilikat cam borular ve dirsekler (farklı dirsek yarıçapı seçenekleriyle), boru ve hortum kaplinleri, taşıma hortumları, emme problemleri, malzeme dağıtıcıları, renkli kodlama ve hat içi manyetik ve tüm metal ayırıcılar. **Mensink**: manyetik separatörler.

Ferlin EasyDry ve Digicolor: hammadde kurutma sistemleri; **Digicolor** ayrıca kırma makineleri. **Ferlin GRAVIMIX:** makine üstü gravimetrik dozajlama sistemleri. Bu ürünlerin teknik verileri için ilgili ürün sayfalarına ve üretici föylerine başvurulmalıdır; bu rapordaki genel mühendislik bulguları belirli bir ürünün performans iddiası değildir.

SONUÇ

Sonuç

Bu çalışmanın vardığı en önemli sonuç, merkezi beslemede hem verimin hem kalitenin bir ekipman özelliği değil, bir **ayar, kapalılık ve bakım disiplini** olduğudur. Verim tarafında sayısal kanıtın en sağlam olduğu yerler, fizik kitabının ve bağımsız mühendislik kaynaklarının konuştuğu yerlerdir: hız bandı, aşınmanın hıza üstel bağlılığı, vakumda hızın hat boyunca katlanması, dirseklerin eşdeğer uzunluktaki ağırlığı ve basınçlı havanın maliyeti. Kalite tarafında ise en sağlam kanıt ekipman üreticilerinden değil hammadde üreticilerinden gelir: nem sınırı, kapalı taşıma şartı, açık hunide dakikalar ölçeğinde nem alımı ve kırma oranı sınırları reçinenin kendi föyündedir. Bu, merkezi besleme yatırımının gerekçesini değiştirir. Makine yanı yükleyiciden merkezi sisteme geçişi bir enerji yüzdesiyle savunmak, bağımsız ölçümü olmayan bir üretici rakamına yaslanmaktır; aynı geçişi "reçine üreticisi kapalı taşıma istiyor, biz ise kurutulmuş malzemeyi açık kaptaki bekletiyoruz" cümlesiyle savunmak, doğrulanabilir bir şartnameye yaslanmaktır.

İkinci çıkarım, verimlilik ile kalitenin aynı zincirde birbirini sınırladığıdır. Pompa zaman bütçesi alıcıyı büyütmeyi, kurutulmuş malzemenin nem hassasiyeti küçültmeyi ister; hat boşaltma kaliteyi korur ama kapasiteyi yarıya kadar düşürebilir; büyük kurutma hunisi kapasite güvencesi verir ama fazla kurutur; kırma oranını artırmak hammadde tasarrufu sağlar ama ince taneyi ve oran sapmasını kaliteye taşır. İyi tasarım bu çatışmaları malzeme bazında çözer: higroskopik, harmanlanmış ve düşük oranlı masterbatch kullanan hatlarda kaliteye, kurutma gerektirmeyen yüksek hacimli malzemede kapasiteye öncelik verir; makine yanı düzenden merkezi sisteme geçişi de tek adımda değil, en hassas malzemedan başlayarak kademeli kurar. Bu alandaki en büyük açık, Türkiye'deki tesislerden ölçülmüş verinin yokluğudur: besleme boğazındaki kalıntı nem, kırmadaki ince tane oranı, alıcı dolum süresi ve ton başına kWh birkaç gerçek tesiste bir kez ölçüldüğünde, bu raporun kaynaklarının çoğundan daha değerli bir kıyas zemini oluşacaktır.

KAYNAKÇA

Kaynaklar

Web kaynaklarına son erişim: 30.09.2026. Yerel belgeler Teknik Part arşivindendir; sayfa numaraları basılı sayfa numarasıdır. Numaralar metindeki ilk geçiş sırasını izler.

- [1] Powder & Bulk Solids, "Pickup Velocity for Pneumatic Conveying", David Mills, 13.01.2010, <https://www.powderbulksolids.com/pneumatic-conveying/pickup-velocity-for-pneumatic-conveying>
- [2] Plastics Technology, "Put the Oomph Back in Your Vacuum System", Chuck Thiele, 24.06.2013, <https://www.ptonline.com/articles/put-the-oomph-back-in-your-vacuum-system>
- [3] Plastics Technology, "Put the Brakes on Resin Conveying Speed to Minimize System Maintenance", Jim Zinski (Novatec), 29.12.2014, <https://www.ptonline.com/articles/put-the-brakes-on-resin-conveying-speed-to-minimize-system-maintenance>
- [4] Compressed Air Best Practices / Blower & Vacuum Best Practices, "Material Conveying with Pneumatic and Vacuum Systems", Hank Van Ormer, 29.12.2010, <https://www.blowervacuumbestpractices.com/industries/conveying/material-conveying-pneumatic-and-vacuum-systems>
- [5] Mills, D. (2004). *Pneumatic Conveying Design Guide* (2. baskı). Oxford / Burlington, MA: Elsevier Butterworth-Heinemann. ISBN 0-7506-5471-6. [İlk baskı 1990; 3. baskı 2015/2016, ISBN 978-0-08-100649-8; bu raporda 2. baskı kullanılmıştır.]
- [6] Chemical Engineering, "Rules of Thumb for Pneumatic Conveying Pipelines", Amrit Agarwal, 01.05.2012, <https://www.chemengonline.com/rules-of-thumb-for-pneumatic-conveying-pipelines/?printmode=1>
- [7] Plastics Technology, "Avoid Those Devilish 'Angel Hairs'", Chuck Thiele, 23.08.2011, <https://www.ptonline.com/articles/avoid-those-devilish-angel-hairs>
- [8] Plastics Technology, "Looking to Handle More rPET? Don't Overlook Your Conveying System", Joseph Lutz, 01.10.2021, <https://www.ptonline.com/articles/looking-to-handle-more-rpet-dont-overlook-your-conveying-system>
- [9] Novatec, "System Vacuum Pumps", yazar belirtilmemiş, 09.08.2024, <https://www.novatec.com/knowledge-center/plastics-conveying/system-design/system-vacuum-pumps/>
- [10] Conair, "Design Effective Vacuum Loading & Conveying Systems: 12 Do's and Don'ts", yazar belirtilmemiş, 18.08.2021, <https://www.conaigroup.com/resources/resource/design-effective-vacuum-loading-conveying-systems-12-dos-and-donts/> (canlı adres bot engeli veriyor; arşiv kopyası 10.09.2025)
- [11] powderprocess.net, "Pipe equivalent length (pneumatic conveying)", yazar ve tarih belirtilmemiş, https://powderprocess.net/Pneumatic_Transport/Pipe_Equivalent_Length.html
- [12] Novatec, "Overcoming Long Conveying Distances", Greg Washburn (Ask the Expert), 09.08.2024, <https://www.novatec.com/knowledge-center/plastics-conveying/system-design/overcoming-long-conveying-distances/>
- [13] INEOS Olefins & Polymers USA, "Fines, Angel Hair and Streamers" (teknik bülten), yazar ve tarih belirtilmemiş, <https://www.ineos.com/globalassets/ineos-group/businesses/ineos-olefins-and-polymers-usa/products/technical-information--patents/ineos-fines-angel-hair-and-streamers.pdf>
- [14] Plastics Technology, "Follow These Steps to More Efficient Central Pneumatic Conveying", Joseph Dziedzic, 01.07.2019, <https://www.ptonline.com/articles/follow-these-steps-to-more-efficient-central-pneumatic-conveying>
- [15] Novatec, "VLP Vacuum Loader Data Sheet", 2020, <https://www.novatec.com/wp-content/uploads/2020/08/VLP-DataSheet.pdf>
- [16] Plastics Technology, "Convey Pellets Around Corners Without Generating Dust and Fines", Matthew Naitove, 01.04.2005, <https://www.ptonline.com/articles/convey-pellets-around-corners-without-generating-dust-and-fines>
- [17] Plastics Technology, "Six Tips to Prevent Those Annoying Streamers", Bruce Spencer III, 01.04.2022, <https://www.ptonline.com/articles/six-tips-to-prevent-those-annoying-streamers>
- [18] Piovan, "DeDuster®", 01.10.2024, <https://www.piovan.com/product/deduster/>

- [19] Plastics Technology, "Conveying Elbows Handle 40% Glass-Filled Nylon", Tony Deligio, 01.05.2019, <https://www.ptonline.com/articles/conveying-elbows-handle-40-glass-filled-nylon>
- [20] US Systems, "Ceramic-Backed Elbow", yazar belirtilmemiş, 15.05.2024, <https://unitedstatessystems.com/ceramic-backed-elbow/>
- [21] Michel Tube Engineering GmbH, *Boru ve Hortum Sistemleri — Plastik Endüstrisi* (Türkçe ürün kataloğu), 04/2025, s. 9–11.
- [22] Plastics Technology, "How to Set Up & Maintain an Efficient Resin Handling System", Doug Brewster, 29.12.2010, <https://www.ptonline.com/articles/how-to-set-up-maintain-an-efficient-resin-handling-system>
- [23] Ferlin Plastics Automation B.V., *MOVAC Granules Transport System — Microprocessor control for 8 VC-hopper loaders and pump system* (kullanım kılavuzu, V1.00), 2016, s. 7, 12–14.
- [24] Dotec, "Suction lances", tarih belirtilmemiş, <https://web.archive.org/web/20250122185840/https://www.doteco.com/products/suction-lances/> (arşiv kopyası, 22.01.2025; canlı sayfa kaldırılmış)
- [25] US Patent 10,179,708, "Air flow limiter...", Stephen B. Maguire, <https://image-ppubs.uspto.gov/dirsearch-public/print/downloadPdf/10179708> (metin: <https://patents.google.com/patent/US10179708B2/en>)
- [26] Busch Vacuum Solutions, "Vacuum Pumps for Pneumatic Suction Conveying", yazar ve tarih belirtilmemiş, <https://www.buschvacuum.com/us/en/news-media/vacuum-pumps-for-pneumatic-suction-conveying.html>
- [27] ETSU / Energy Efficiency Best Practice Programme, "Energy in Plastics Processing – A Practical Guide" (Good Practice Guide 292), yazar belirtilmemiş, 1999 (tahmini), <https://tangram.co.uk/wp-content/uploads/GPG-292-Energy-in-Plastics-Processing.pdf>
- [28] British Plastics Federation, "Energy Management in Plastics Processing – A Signposting Guide", Robin Kent, 2011 (tahmini), <https://tangram.co.uk/wp-content/uploads/BPF-Energy-Management-in-Plastics-Processing.pdf>
- [29] PlasticsToday, "Part 3: Reducing energy costs – Focus on injection molding", Robin Kent, 01.07.2006, <https://www.plasticstoday.com/injection-molding/part-3-reducing-energy-costs-focus-on-injection-molding> (canlı adres bot engeli veriyor; arşiv kopyası 13.02.2025)
- [30] Busch Vacuum Solutions, "Up to 70 Percent Energy Savings Thanks to Modern Vacuum Technology for Material Feed", yazar ve tarih belirtilmemiş, <https://www.buschvacuum.com/au/en/news-media/up-to-70-percent-energy-savings-thanks-to-modern-vacuum-technology-for-material-feed.html>
- [31] Plastics Technology, "Conveying: Pump is Quiet, Powerful, Energy-Efficient", editör, 29.04.2020, <https://www.ptonline.com/products/conveying-pump-combines-quiet-operation-with-long-distance-conveying-power-energy-savings>
- [32] Plastics Machinery & Manufacturing, "Conair conveying system has new valve unit", editör, 18.04.2018, <https://www.plasticsmachinerymanufacturing.com/home/article/13003125/conair-conveying-system-has-new-valve-unit>
- [33] Busch Vacuum Solutions, "Variable Speed Vacuum Pumps", tarih belirtilmemiş, <https://web.archive.org/web/20250907172533/http://www.buschvacuum.com/us/en/products/vacuum-pumps/variable-speed-vacuum-pumps/> (arşiv kopyası, 07.09.2025; canlı sayfa 404)
- [34] Conair, "RG Series Vacuum Pump", tarih 05.03.2018, <https://www.conairgroup.com/product/rg-series-vacuum-pump/> (canlı adres bot engeli veriyor; arşiv kopyası)
- [35] Piovan, "Permanent Vacuum System", 10.11.2021, <https://www.piovan.com/product/permanent-vacuum-system/>
- [36] Ferlin Plastics Automation B.V., *MOVAC Central Filter* (kullanım kılavuzu), 2021, s. 5–6.
- [37] Ferlin B.V., *Product Guide* (kurumsal ürün kataloğu, İngilizce), 2024, s. 11.
- [38] motan, "Central conveying", tarih belirtilmemiş, <https://www.motan.com/us/products/conveying/central-conveying/>
- [39] Shini, "Self-contained Hopper Loader SAL-U" kullanım kılavuzu, https://www.shini.com/en/downfile_manual_Self-contained-Hopper-Loader---SAL-U_mjphcbb5d3_en.pdf
- [40] motan-colortronic, "METRO SG – Simple Solutions" broşürü (V007_2025-01), https://salesapp.motan-group.com/fileadmin/data/products/pdf/conveying/metro-sg-hos/en_METRO-SG-HOS.pdf
- [41] Novatec, "Self Contained Loader", 06.08.2024, <https://www.novatec.com/knowledge-center/plastics-conveying/system-operation/self-contained-loader/>

- [42] Koch-Technik (Plasma Kunststofftechnik), "Einzelfördergeräte" broşürü, tarih belirtilmemiş, https://www.plasma-kunststofftechnik.de/fileadmin/user_upload/produkte/foerdergeraete/Produktbilder/Einzelfoerdergeraete/Koch-Technik_Einzelfoerdergeraete.pdf
- [43] Plastics Technology (sponsorlu içerik, Novatec), "Which Self-Contained Plastic Vacuum Loader is Best?", 25.08.2021, <https://www.ptonline.com/articles/which-self-contained-plastic-vacuum-loader-is-best>
- [44] motan-colortronic, "METRO G – System solution conveying" broşürü (V008, 29.04.2025), https://salesapp.motan-group.com/fileadmin/data/products/pdf/conveying/metrolink/en_web_METRO-G_System-solution_conveying_20-page_A4_V008_2025-04-29.pdf
- [45] Novatec, "Why Utilize a Central Plastics Conveying System", 06.08.2024, <https://www.novatec.com/knowledge-center/plastics-conveying/system-economics/why-utilize-a-central-plastics-conveying-system/>
- [46] Conair, "Ways to Save Energy in Plastics Processing", 02.09.2021, <https://www.conairgroup.com/resources/resource/ways-to-save-energy-in-plastics-processing/> (canlı adres bot engeli veriyor; arşiv kopyası 13.05.2025)
- [47] motan, "Why to Use a Central Vacuum System", tarih belirtilmemiş, <https://www.motan.com/en/why-to-use-a-central-vacuum-system/>
- [48] Shini USA, "SAL-U Vacuum Loaders" broşürü, 2022, https://www.shiniusa.com/wp-content/uploads/2022/11/SAL-U-Vacuum_Loaders-2022.pdf
- [49] Moretto USA, "KASKO Brushless – Hopper Loaders", <https://www.moretto.com/us/products/conveying/hopper-loaders/kasko-brushless>
- [50] Novatec, "The Ultimate Guide to Self-Contained Loaders for Plastics Processing", 28.02.2025, <https://www.novatec.com/knowledge-center/plastics-conveying/vacuum-loaders/the-ultimate-guide-to-self-contained-loaders-for-plastics-processing/>
- [51] Wittmann, "FEEDMAX basic" basın bülteni, 2018, https://www.wittmann-group.com/sites/default/files/2020-10/Witt-NR-10-2018_FEEDMAX-basic.pdf
- [52] Plastics Technology, "Material Handling and Drying Are a Molder's 'Central' Issue", Mikell Knights, 01.03.2006, <https://www.ptonline.com/articles/material-handling-and-drying-are-a-molders-central-issue>
- [53] Novatec, "The Ultimate Guide to Vacuum Receivers for Plastics Processing", 10.03.2025, <https://www.novatec.com/knowledge-center/plastics-conveying/components/vacuum-receivers/the-ultimate-guide-to-vacuum-receivers-for-plastics-processing/>
- [54] WIJAY Systems, "Plastic Pellet Conveying Systems: Engineering Guide for Plant Engineers", Haris Haider, 21.05.2026, <https://wijaysystems.com/plastic-pellet-conveying-systems-selection-sizing-and-troubleshooting-for-plant-engineers/>
- [55] motan-colortronic, "Coded material assignment with RFID-technology" (basın bülteni), tarih belirtilmemiş, <https://www.motan-group.com/us/news/press-releases/details/coded-material-assignment-with-rfid-technology/>
- [56] Wittmann, "CODEMAX" basın bülteni, 2021, https://www.wittmann-group.com/sites/default/files/2021-03/witt-nr-01-2021_codemax.pdf
- [57] DuPont (Distrupol dağıtım), "Zytel® and Minlon® Nylon Resins Molding Guide", https://www.distrupol.com/Zytel_and_Minlon_Nylon_Resin_Molding_Guide_GNE-A11218-00-A1216_050117_OM.PDF
- [58] BASF, "Ultradur® B4521 PRO" ürün/işleme föyü, https://download.basf.com/p1/8a8082587fd4b608017fd64db2535cb0/en/ULTRADUR%3Csup%3E%C2%AE%3Csup%3E_B4521_PRO
- [59] Covestro, "Processing of TPU by Injection Molding" (kılavuz), <https://solutions.covestro.com/-/media/covestro/solution-center/brands/downloads/imported/1557310236.pdf>
- [60] Covestro, "Makrolon® Product range – Typical values", <https://solutions.covestro.com/-/media/covestro/solution-center/brands/downloads/imported/1556888808.pdf>
- [61] Plastics Technology, "Why (and What) You Need to Dry", Michael Sepe, 24.04.2014, <https://www.ptonline.com/articles/why-and-what-you-need-to-dry>
- [62] Plastics Technology, "How to Dry PET for Container Applications", Pete Stoughton, 24.11.2014, <https://www.ptonline.com/articles/how-to-dry-pet-for-container-applications>
- [63] Plastics Technology, "Injection Molding: You Must Dry Hygroscopic Resins", John Bozzelli, 23.12.2010, <https://www.ptonline.com/articles/you-must-dry-hygroscopic-resins>

- [64] Plastics Technology, "Central Drying Made Simple", Chuck Thiele, 29.12.2011, <https://www.ptonline.com/articles/central-drying-made-simple>
- [65] Plastics Technology, "How to Compare Dryers? A Complex Challenge With No Simple Answers", Matthew Naitove, 01.06.2007, <http://www.ptonline.com/articles/how-to-compare-dryers-a-complex-challenge-with-no-simple-answers>
- [66] Canadian Plastics, "The Drying Game", tarih belirtilmemiş, <https://www.canplastics.com/features/the-drying-game/> (canlı adres yanıt vermiyor; arşiv kopyası 08.08.2024)
- [67] UL Prospector, "Overdrying of Resins & Its Prevention", 02.02.2007, <https://www.ulprospector.com/knowledge/1210/pe-overdrying-resins/> (canlı adres bot engeli veriyor; arşiv kopyası 11.03.2025)
- [68] Novatec, "Overdrying Nylon: The Hidden Danger Sabotaging Your Parts", 06.02.2025, <https://www.novatec.com/knowledge-center/resin-moisture-drying/resin-drying-basics/overdrying-nylon-the-hidden-danger-sabotaging-your-parts/>
- [69] Plastics Technology, "Five Quick Steps Toward Better Blending", Jonathan Fowler, 26.08.2014, <https://www.ptonline.com/articles/five-quick-steps-toward-better-blending>
- [70] Plastics Technology Knowledge Center, "Comparing Blender Alternatives", <https://www.ptonline.com/kc/blending-feeding/blending-basics/blender-alternatives>
- [71] Plastics Technology, "Understanding Gravimetric Blender Accuracy & Payback", Dana Darley, 26.10.2012, <https://www.ptonline.com/articles/understanding-gravimetric-blender-accuracy-payback>
- [72] Colourhouse Masterbatch, "Addition rates explained", 27.03.2023, <https://web.archive.org/web/20260412170531/https://colourhousemasterbatch.co.uk/news/addition-rates-a-jargon-free-explanation> (arşiv kopyası, 12.04.2026; canlı sayfa 404)
- [73] Interplas Insights, "Understanding Colour Variation and How It Occurs", Tony Bestall, 05.06.2017, <https://interplasinsights.com/plastic-industry-insights/understanding-colour-variation-and-how-it-occurs/>
- [74] Plastics Technology, "Smart Handling of Regrind Can Improve Your Bottom Line", Samuel L. Belcher, 01.03.2006, <https://www.ptonline.com/articles/smart-handling-of-regrind-can-improve-your-bottom-line>
- [75] Plastics Technology, "Eliminate Dust, Fines and Longs For Better Regrind Quality", Robert Harrison, 01.02.2007, <https://www.ptonline.com/articles/eliminate-dust-fines-and-longs-for-better-regrind-quality>
- [76] Plastics Technology, "Injection Molding: Why Pellet Size and Shape Are Important", John Bozzelli, 25.09.2015, <https://ptonline.com/columns/injection-molding-why-pellet-size-and-shape-are-important>
- [77] US Patent 8,969,435, "Method and apparatus for enhanced minimal shear molding...", <https://image-ppubs.uspto.gov/dirsearch-public/print/downloadPdf/8969435> (metin: <https://patents.google.com/patent/US8969435B2/en>)
- [78] Plastics Technology, "Injection Molding: Another Way to Deal with Regrind", John Bozzelli, 29.12.2014, <https://www.ptonline.com/articles/injection-molding-another-way-to-deal-with-regrind>
- [79] Bunting, "Metal Separator Locations in a Plastics Plant", 14.10.2019, <https://buntingmagnetics.com/blog/metal-separator-locations-in-a-plastics-plant>
- [80] motan, "Metal separator", <https://www.motan.com/en/products/conveying/metal-separator/>
- [81] US Patent 5,427,249, "Ferrous metal separator for use with a screw extruder and method", <https://image-ppubs.uspto.gov/dirsearch-public/print/downloadPdf/5427249> (metin: <https://patents.google.com/patent/US5427249A/en>)
- [82] Plastics Technology, "Seven Key Factors to Consider When Vacuum Conveying Powders", 26.03.2018, <https://www.ptonline.com/articles/seven-key-factors-to-consider-when-vacuum-conveying-powders>
- [83] Plastics Technology, "Medical Molder Boasts Showpiece Material-Handling System", Matthew Naitove, 01.09.2021, <https://www.ptonline.com/articles/medical-molder-boasts-showpiece-material-handling-system>
- [84] Plastics Technology, "Switch to Centralized Vacuum Supply Saves Molder Energy, Boosts Production", Jim Callari, 29.08.2018, <http://www.ptonline.com/articles/switch-to-centralized-vacuum-supply-saves-molder-energy-boosts-production>
- [85] Hastek Plastik, "Merkezi Besleme Sistemleri", <https://www.hastek.com.tr/urunler/incele/merkezi-besleme-sistemleri>
- [86] Polmak Plastik, "Merkezi Hammadde Besleme Sistemleri", <https://www.polmakplastik.com/tr/urundetay-merkezi-hammadde-besleme-sistemleri-182.html>



Teknik Part, plastik enjeksiyon makineleri, yan ekipmanlar ve yedek parçada Türkiye'nin teknik çözüm ortağıdır. Sektör raporları, sahada karar verenlere tarafsız ve kaynaklı veri sunmak için hazırlanır; tam metin ve kaynakça teknikpart.com.tr'de yayımlanır.