

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**CEVHER HAZIRLAMA VE ZENGİNLEŞTİRME
TESİSLERİNİN SİMÜLASYON YÖNTEMİYLE
VERİMLİLİĞİNİN ARTIRILMASI**

Ş. Erkan YERSEL

Temmuz, 2012

İZMİR

**CEVHER HAZIRLAMA VE ZENGİNLEŞTİRME
TESİSLERİNİN SİMÜLASYON YÖNTEMİYLE
VERİMLİLİĞİNİN ARTIRILMASI**

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Doktora Tezi

Maden Mühendisliği Bölümü, Cevher Hazırlama Anabilim Dalı

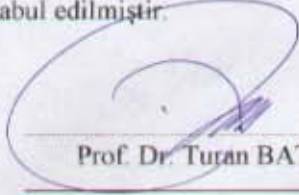
Ş. Erkan YERSEL

Temmuz, 2012


İZMİR

DOKTORA TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

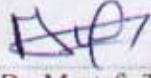
ŞEYHMUS ERKAN YERSEL, tarafından PROF. DR. TURAN BATAR yönetiminde hazırlanan "CEVHER HAZIRLAMA VE ZENGİNLEŞTİRME TESİSLERİNİN SİMÜLASYON YÖNTEMİYLE VERİMLİLİĞİNİN ARTIRILMASI" başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir doktora tezi olarak kabul edilmiştir.


Prof. Dr. Turan BATAR

Yönetici


Doç. Dr. Mehmet TANRIVERDİ

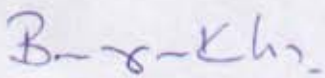
Tez İzleme Komitesi Üyesi


Doç. Dr. Mustafa TOPARLI

Tez İzleme Komitesi Üyesi


Prof. Dr. Yakup CEBECİ

Jüri Üyesi


Doç. Dr. Bayram KAHRAMAN

Jüri Üyesi


Prof. Dr. Mustafa SABUNCU

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Çalışmamın doktora tezi olarak hazırlanmasında yardımlarını esirgemeyen, yol gösterici olan, büyük bir hoşgörü ve sabırla bu tezin tamamlanmasında desteğini gördüğüm ve doktora eğitimi boyunca bilgisinden faydalandığım, çalışmamın not için değil, öğrenmek için olduğunu idrak ettiren ve insani ve ahlaki değerleri ile de örnek edindiğim, yanında çalışmaktan onur duyduğum Saygıdeğer Hocam Prof. Dr. Turan BATAR'a en içten teşekkürlerimi sunarım. Konu ile ilgili bilgilerini benimle paylaşan ve katkı sağlayan Maden Mühendisliği bölümü hocalarından Sayın Doç. Dr. Bayram KAHRAMAN, Sayın Yrd. Doç. Dr. Ahmet Hamdi DELİORMANLI ve Sayın Öğretim Görevlisi M. Baran TUFAN ve isimlerini tek tek sıralayamadığım çok sayıda kişiden yakın ilgi ve yardım gördüm, kendilerine teşekkür ederim.

Bu günlere gelmemde büyük pay sahibi olan eşim Figen'e, kızım Büşra Ece'ye, aileme ve dostlarıma desteklerinden dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Şeyhmus Erkan YERSEL

CEVHER HAZIRLAMA VE ZENGİNLEŞTİRME TESİSLERİNİN SİMÜLASYON YÖNTEMİYLE VERİMLİLİĞİNİN ARTIRILMASI

ÖZ

Bir ülkenin gelişmesi ve kalkınması, yeraltı ve yerüstü kaynaklarının doğru bir şekilde değerlendirilmesine, bilimsel ve ekonomik yöntemlerle işletilmesine ve üretilmesine bağlıdır. Çünkü hayatı aktif ve fonksiyonel hale getiren araç ve gereçlerin çoğu doğal kaynaklardan, özellikle de madenlerden sağlanmaktadır.

Bu tezin amacı, cevher hazırlama ve zenginleştirme tesislerinde verimliliğin artırılmasında simülasyon programlarından yararlanılmasına ilişkin örnekler vermektir. Dünyada simülasyon yöntemiyle çalışmalar 1960'lı yıllarda başlamış ve günümüze kadar gelişmeler göstererek gelmiştir. Bu gelişmelerle birlikte simülasyon çok yaygın bir hal almıştır. Çalışmamızda Aggflow Simülasyon Paket Programı (ASPP) kullanılarak cevher hazırlama ve zenginleştirme tesis tasarımı “what-if, olursa ne olur” senaryoları ile demir cevheri, bor cevheri ve agrega akım şemaları çizilerek çeşitli kriterlere, parametrelere göre hesaplamalar yapılarak tesis performans verileri elde edilerek durum değerlendirmeleri yapılmıştır.

Simülasyon, sistemlerin gerçekçi modellerini oluşturup davranışlarını izleme tekniğidir. Diğer bir ifade ile simülasyon terimi, gerçek sistemin işleyen bir modeli olarak tanımlanabilir.

Kavramsal ifadelerin simülasyon modellerini oluşturup yatırım öncesi sistemin nasıl çalışacağı, nerelerde tıkanma olacağı gözlemlenebilir. Mevcut bir sistemin simülasyon modelini hazırlayarak bu sistemdeki tıkanma bölgelerini, bu sistemdeki problemleri teşhis etme amacı ile simülasyon modelleri kullanılmaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken husus, simülasyon tekniğinin hiçbir zaman bir çözüm üretim yöntemi olmadığı bilinmesidir. Simülasyon modelleri üretildikten sonra, çözümlerinin de üretilmesi gerekmektedir. Yani, üretilen çözümlerin doğruluğu simülasyon modelleri üzerinde test edilmelidir.

Üretim sisteminde, simülasyon tekniği kullanılarak yapılan çalışmaların maliyetinin daha düşük ve ucuz olması, simülasyon yöntemlerinin kullanılmasını

teşvik etmektedir. İşletme bazında, gerçek durumda yapılan deneme çalışmalarının her açıdan maliyeti, simülasyon tekniğine göre çok daha yüksektir. Simülasyon, yapılacak değişikliklerle yatırım öncesinde tesisin çıktılarını ortaya koyacak; muhtemel sorunlara çözüm yollarının bulunmasını sağlayabilecektir.

Bu tez kapsamında, demir, bor ve agrega olmak üzere 3 farklı ASPP uygulaması verilmekte olup bu uygulamalara ait tesislerin modelleme çalışmaları irdelenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Simülasyon, cevher hazırlama, tesis dizayn, verimlilik.

INCREASING PRODUCTIVITY OF MINERAL PROCESSING PLANTS BY SIMULATION METHOD

ABSTRACT

The development and progression of a nation is dependent on the proper evaluation of its underground and over ground sources with economic and scientific management and production. In that, the equipment and devices that makes life functional and active are made of natural resources, especially minerals.

The aim of this project is the use of simulation programs in recovery enhancement of mineral processing plants and exemplifying. The simulation method has been found in early 1960's in the world and progressed till today. The simulation methods become widespread with rapid developments in this field. The Aggflow Simulation Packaged Software (ASPS) is used to apply "what-if" scenarios in mineral processing plants such as iron, boron ores and aggregates. Different criterion and parameters are applied on different flow sheets of processing plants to collect and evaluate performance data.

Simulation is a technique to create realistic modeling of systems and observing the changes. In other words, the term "simulation" can be described as the working model of a real system.

The simulation of conceptual expressions provides to analyze the system prior to investment. The simulation of an already working system provides the analysis and diagnosis of zones of challenge, conflict or blockage. The point to be taken account is that, the simulation method is never a solution generating method. The solution models should be generated after simulation methods and tested again on simulation model.

The use of simulation method is encouraged since the application of simulation method in production systems results in lower operating costs. The diagnosis of operating costs and revision is much more costly while the system starts operating compared to simulation studies prior to operation. The benefits of the plant can be presented prior to investment by simulation method and solutions may be generated.

Three different applications of ASPS in iron, boron and aggregates are given in this thesis and evaluated due to the related processing plant model.

Keywords: Simulation, mineral processing, plant design, productivity.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
DOKTORA TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜRLER	iii
ÖZ	iiv
ABSTRACT	vi
BÖLÜM BİR GİRİŞ	1
1.1 Araştırmanın Amacı	4
BÖLÜM İKİ CEVHER HAZIRLAMA ve ZENGİNLEŞTİRME TESİS	
TASARIMI	10
2.1 Tesis Tasarımı	10
2.2 Akım Şemaları.....	11
2.2.1 Laboratuar Testleri ve Akım Şeması Geliştirme.....	11
2.2.2 Akım Şeması Öğeleri ve Gösterimi.....	13
2.3 Fizibilite Çalışmaları	14
2.3.1 Ön Fizibilite Çalışmaları	14
2.3.2 Son Fizibilite Çalışmaları	15
2.4 Tesis Ekonomisi	15
2.4.1 Yatırım Değeri.....	16
2.5 Kırma-Eleme Devrelerinin Tasarımı	16
2.5.1 Kırma.....	17
2.5.1.1 Kırma Devreleri.....	18
2.5.2 Eleme.....	18
2.6 Öğütme - Sınıflandırma Devrelerinin Tasarımı	19
2.7 Zenginleştirme Birimlerinin Tasarımı	19
2.8 Katı-Sıvı Ayrımı Birimlerinin Tasarımı	21
2.9 Stoklama Alanı Tasarımı	23

BÖLÜM ÜÇ ASPP İLE CEVHER HAZIRLAMA-ZENGİNLEŞTİRME	
UYGULAMALARI.....	24
3.1 ASPP ile Ferrocom Demir Cevheri Zenginleştirme Uygulaması	27
3.1.1 Demir Cevheri Zenginleştirme Tesisi Akım Şeması Çalışma Prensibi ..	27
3.2 ASPP ile Agregat Hazırlama Uygulaması.....	40
3.2.1 Agregat Hazırlama Tesisi Akım Şeması Çalışma Prensibi	40
3.3 ASPP ile Bor Cevheri Zenginleştirme Uygulaması	52
3.3.1 Bor Cevheri Zenginleştirme Tesisi Akım Şeması Çalışma Prensibi.....	52
BÖLÜM DÖRT SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	63
BÖLÜM BEŞ SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	66
KAYNAKLAR	72
EKLER.....	75

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

Son yıllarda, cevher hazırlama ve zenginleştirme işlemlerinin bilgisayar simülasyon tekniği ile analiz ve dizaynı araştırmacıların çalışma konusu haline gelmiştir. Bir sistemin simülasyonu, bu sistemi temsil edebilecek bir modelin oluşturulmasıdır. Simülasyon, gerçek modelinin tasarlanması ve bu model ile sistemin işletilmesi amacıyla yönelik olarak; sistemin farklı stratejilerini değerlendirebilme sürecidir. Simülasyon aynı zamanda, geliştirilen veya yeniden düzenlenen süreci tamamlamada ve deneme çalışmalarını yürütmede ve süreçlerin hata zamanlarını tahmin etmede yapılan deneysel çalışmaları da kapsamaktadır (King, 2001).

Ülkemiz sahip olduğu maden potansiyeli ve son yıllardaki olumlu ve hızlı gelişimine rağmen, gelmiş olduğu nokta yeterli değildir. Dünya madencilik pazarında daha etkin rol oynayabilecek bir ülke konumuna gelmelidir. Bu nedenle de maden endüstrisinde yeni teknolojik atılımlar kaçınılmaz hale gelmiştir.

Bu tez kapsamında, cevher hazırlama ve zenginleştirme tesislerinin bilgisayar destekli projelendirilmesi için geliştirilen bilgisayar yazılımı Aggflow Simülasyon Paket Programı (ASPP) kullanılmış ve bu programın sağlayacağı yararlar araştırılmıştır. ASPP, üretim planlamasına bağlı olarak, uygun makine ve ekipman seçimi ve maliyet analizini yapmak üzere geliştirilmiş bir bilgisayar yazılımıdır. Yazılımın amacı; kurulacak olan cevher hazırlama tesislerinde verimin en iyi şekilde sağlanması ve buna bağlı olarak yatırım maliyetlerinin en aza indirilmesidir. ASPP, gerekli verileri kullanıcıdan aldıktan sonra yine bu veriler analiz edilerek, sonuçlar kullanıcıya verilmektedir. Özellikle günümüz teknolojisinde çok kullanılmakta olan bilgisayar destekli projelendirme yöntemini esas aldığı için hızlı ve güvenilir çözümleri kısa sürede üretebilmekte ve cevher hazırlama sektörü için büyük bir yenilik ve avantaj sağlamaktadır (Aggflow, 2009).

Madencilik endüstrisinde doğru üretim teknolojilerinin kullanılması, yerli sanayi ağırlıklı uygun makine-ekipman üretiminin sağlanması önem arz etmektedir. Madencilik endüstrisindeki lider ülkelerle rekabetin sürdürülmesi teknoloji ve bilgi

üretimi ile mümkündür. Tez kapsamında bu gerçekler dikkate alınmış ve bilgisayar yazılım teknolojisi kullanılarak kurulacak cevher hazırlama tesisleri için uygun makine-ekipman seçimini ve maliyet analizini gerçekleştirmek için geliştirilen bilgisayar yazılımı incelenmiştir. ASPP, kurulacak cevher hazırlama tesislerinde verimin en iyi şekilde sağlanması, yatırım maliyetlerinin en aza indirilmesini hedeflemektedir. Özellikle yatırım projelendirme çalışmalarında benzer yazılımların kullanımı, kısa zaman içerisinde elde edilen sonuçlar nedeniyle tercih edilmektedir.

Günümüzde endüstriyel çaptaki yatırımlarda, bilgi-işlem ve iletişim teknolojilerini içeren yazılımlar yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Bu yazılım teknolojilerinde en çok kullanılan yöntemler modelleme, simülasyon, yapay sinir ağları, uzman sistemler ve veri tabanlı diğer sistemler olarak sayılabilir. Kısa ve uzun dönemli mühendislik planlamalarında kullanılan bu tür yazılımlar özellikle madencilik gibi yüksek risk içeren sektörlerde gün geçtikçe daha fazla önem kazanmaktadır. Söz konusu yazılımlar, planlama ve yatırım için gerekli çalışmalarda, mühendisler kısa zamanda değişik stratejileri geliştirmeleri konusunda alternatifler üreterek farklı bir bakış açısı sağlamaktadır. Madencilik faaliyetleri olarak gerek maden işletme gerekse cevher hazırlama ve zenginleştirme tesislerinin planlanmasında bu amaçla kullanılan birçok yazılım mevcuttur (Deliormanlı, 2005).

Dünyada lider ülkeler arasında bulunup rekabet edebilmenin birinci faktörü doğru yatırımlar yaparak üretim maliyetini düşük tutmak ve ürün kalitesindeki sürekliliği sağlamaktır. Bu da ancak iyi bir mühendislik projesini gerekli kılmaktadır. İyi bir pazar araştırması, doğru makine ve ekipman seçimi, uygun iş gücünün tayini bu süreci etkileyen unsurlar olarak kabul edilmektedir. Özellikle de doğru pazar planlaması yapılmadan faaliyete geçen birçok tesis, kapasitesi çok yüksek makine ve ekipmanla çok düşük verimlerle faaliyet göstermektedir. Bu unsurların doğru tespit edilmesi, hesaplanması ve alternatiflerin ortaya konması zaman ve maliyet gerektiren çalışmalardır. ASPP'nin amacı meydana çıkabilecek tüm bu olumsuzlukları büyük oranda ortadan kaldırıp fizibilite etütlerinde mühendis ve yatırımcılara çözüm alternatiflerini en kısa zamanda, doğru şekilde sunabilmektir. Özellikle kırma, eleme, öğütme, yıkama, ayırma, katı-sıvı ayrımı gibi cevher hazırlama ve zenginleştirme tesislerinde alternatif simülasyon modelleme içerisinde en uygun seçimi yapmak

mümkündür. Bu tür programlar, hızlı analiz yapmayı ve zamandan tasarruf ederek çözüm üretmeyi, tesislerde verimliliği artırmayı farklı ekonomik alternatifler perspektifinde sağlamaktadır. Simülasyon programları yardımıyla ön çalışmaların yapılması, tesislerde tasarım sırasında olabilecek muhtemel eksiklik ve yetersizlikleri, darboğazları, problemleri daha kolay görmemizi sağlar ve büyük zararların önlenmesine de yardımcı olur. Doğru makine ve ekipman seçimi ile üretim kayıpları en aza indirilerek tesis tasarım süreci hızlandırılmış olur.

Özellikle son 30 yılda, artan madencilik talepleri, azalan şirket karları, düşük cevher fiyatları ve düşük tenörlü cevherleri zenginleştirme ve kazanma zorunlulukları nedeniyle birim maliyetleri düşürmek için çok yüksek kapasitede alternatif tesis kombinasyonlarının tasarlanması zorunlu hale gelmiştir. Alternatif kombinasyon taleplerini karşılayabilmek için de çok büyük kapasitelerde makinelere gereksinim duyulmuştur. Bu büyümeye paralel olarak, işletme giderlerinin ana girdisi olan elektrik tüketiminde de büyük artışlar olmuştur. En çok elektrik tüketen kırıcı ve değirmen gibi ekipmanların yer aldığı tesislerin optimizasyonu ve tasarımında simülasyon programlarının kullanımı büyük bir ekonomik fayda sağlamaktadır. Simülasyon ve modelleme yöntemiyle tesis kurulum sürecinin kısaltılması ve ekonomik katkı sağlanmasının yanı sıra verimlilikte de performans artışı sağlanmış olacaktır (Merks, 1991; Nikkhah ve Anderson, 2001).

Tesis tasarım ve optimizasyon amaçlı bir çok cevher hazırlama ve zenginleştirme devre akım şemalarının etkin simülasyon programları ile çizilmesi, çalışmalara büyük bir hız kazandırmıştır. Ancak hala simülasyon paket programlarının flotasyon, separasyon ve kuru öğütme gibi devrelerde eksiklikleri ve yetersizlikleri bulunmaktadır. Bu eksiklik ve yetersizlikler, kullanıcıların istekleri doğrultusunda yazılım uzmanları tarafından iyileştirme yapılarak güncellenmekte ve daha kullanışlı hale getirilmeye çalışılmaktadır. Ancak en gelişmiş bir simülasyon programı bile yalnız başına basit bir cevher hazırlama ve zenginleştirme tesisi planlamasını yapamamaktadır. Bir tesisin başarılı bir şekilde tasarımı sonrasında üretime geçilebilmesi için ne zaman ve nerede simülasyon teknolojisini kullanılmasının bilinmesi birinci esastır (Wills ve Napier-Munn, 2006).

Bilgisayarların son 30 yıllık dönemde hızlı bir gelişme gösterip, endüstrinin her alanında kullanılmaya başlamasından, madencilik faaliyetleri de etkilenmiştir. Bunun sonucu olarakta çeşitli maden mühendisliği problemlerinin çözümünde yardımcı olacak yazılımlar geliştirilmiştir. Bu tür yazılım türlerinden biri de kömür yıkama tesislerinin simülasyonunda kullanıma yöneliktir. Sadece kömür hazırlamaya yönelik olarak geliştirilip literatürde yer alan iki simülasyon paketi bulunmaktadır. Bunlardan biri A.B.D. Enerji Bakanlığı ve Pennsylvania Üniversitesi tarafından geliştirilmiş COPREP ve Exxon Research and Engineering Company tarafından hazırlanan SHSP'dir. COPREP bu konuda ortaya çıkmış ilk simülasyon paketi olup SHSP bu pakette ve diğer genel cevher hazırlama paketlerinde yer alan modüllerin birleştirilmesinden oluşmuştur. COPREP ilk önceleri büyük bilgisayarlar için dizayn edilmiş, daha sonra mikro bilgisayarların yaygınlaşması üzerine bunlara da uyarlanmış ve COPREP2 olarak adlandırılmıştır.

Bunun dışında genel olarak cevher hazırlama işlemleri için hazırlanmış simülasyon paketleri bulunmaktadır. Bunlardan bazıları MODSIM, Utah MODSIM, SPOC, SIMPLANT, JKSimHet, CAMP, GSIM, MINDRES, METSIM ve USIMPAC olup, bu paketlerin özellikleri çeşitli çalışmalarda verilmiştir. Bu paketler içinde sadece kömür hazırlamada kullanılan bazı ekipmanlarla ilgili modüller yer almakla birlikte, bir kömür yıkama tesisinde yer alabilecek bütün birim işlemleri içermemektedirler (Ersayın ve İçli, 1992).

Üretim kaynaklarının en iyi şekilde değerlendirilmesi ve bu kaynaklardan kısa sürede arzu edilen faydanın sağlanması, yatırımların belirli bir plan dâhilinde yapılması ile mümkün olabilmektedir. Bunun için de en dinamik araç, yatırım projesi çalışmalarıdır. Diğer bir bakışla yatırım projeleri, belli faaliyetleri minimum kaynak kullanımıyla gerçekleştirmek ve faaliyetler sonunda oluşan kapasiteden maksimum faydayı sağlamak amacı ile hazırlanan bir plan olarak da nitelendirilebilir. Genellikle bütün yatırımlar bir projeye dayanır veya bir projeyi gerektirir (Deliormanlı, 2005).

1.1 Araştırmanın Amacı

Bu tez kapsamında cevher hazırlama tesislerinin bilgisayar destekli projelendirilmesi için geliştirilen ASPP'nin sağlayacağı yararlar irdelenmiştir.

Çağımız mühendislik projelerinin yapımında çok kullanılmakta olan bilgisayar destekli projelendirme yöntemini esas aldığı için ASPP hızlı ve güvenilir çözümleri kısa sürede üretebilmekte ve madencilik ve özellikle de cevher hazırlama sektörü için büyük bir yenilik ve avantaj sağlamaktadır. ASPP üretim planlamasına bağlı olarak uygun makine-ekipman seçimini ve maliyet analizini yapmak için geliştirilmiş bir bilgisayar yazılımıdır. Üretim planlaması ASPP'nin temel veri yapısını oluşturduğu için iyi bir pazar araştırmasının yapılmasının önemi büyüktür. Bu bilgisayar yazılımının amacı; kurulacak olan cevher hazırlama tesislerinde verimin en iyi şekilde sağlanması ve buna bağlı olarak yatırım maliyetlerinin en aza indirilmesidir. ASPP'nin, gerekli verileri kullanıcıdan aldıktan sonra yine bu veriler doğrultusunda sonuca gidip fizibilite sonucunu kullanıcıya sunmaktadır. ASPP sürekli güncellenen bir veri dosyası yapısına sahiptir. Bu avantajı ile yeni üretilen makine ve ekipmanların sistem içerisine alınması oldukça kolay olabilmektedir. Ayrıca mevcut kapasitelerin yeniden belirlenmesi, üretim kapasitelerinin artırılması durumunda da rahatlıkla kullanılabilen yazılımdır.

Birçok cevher hazırlama tesisinde; girişimciler tesiste tam olarak gerçek kapasitede ne kadar malzeme üretebileceği konusunda yetersiz bilgiye sahipler. Bu nedenle birçok cevher hazırlama tesisi gerçek kapasitenin çok altında verimsiz bir şekilde çalıştırılmaktadır.

Simülasyon yöntemiyle hesaplanan sonuçlar ile gerçek tesis sonuçları karşılaştırılarak ASPP kullanıcılarının tesis verimliliğini maksimize etmesi ve optimum üretim devre akım şemalarına ulaşmak için daha sonra doğru potansiyel değişiklikleri, tesis darboğazları ve verimsizlikleri belirlemek mümkündür.

Simülasyon malzeme ve ekipman seçiminin doğru yapılabilmesi için cevher hazırlama tesisi hakkında temel varsayımlar gereklidir. Donanımın yük durumu, tesise beslenen tüvenan cevherin ıslak veya kuru olması, cevherin sert veya yumuşak olması gibi unsurların dikkate alınarak ASPP'nin tüm tesis bileşenleri ve temel varsayımları çok iyi etüd edilmelidir

Cevher hazırlama tesisleri tasarım ekibi, verimlilik ve maliyet etkinliğini en üst düzeye çıkarmak için işletme parametreleri ve tasarım kriterlerinin dikkatle

hesaplanması ve uygulanması gerekir. Bilgisayar ve simülasyon yazılımlarının olmadığı eski zamanlarda haftalar veya aylarca süren cevher hazırlama tesis hesaplamalarını basit ve hızlı bir şekilde vaktinde yapmak neredeyse imkansızdı. Günümüzde cevher hazırlama endüstrisi devasa tesislerinin besleme miktarları, cevher tenörleri ve ekipman tasarım kriterleri dikkate alınarak elde edilen verilere göre tesis performansının simülasyon yöntemleri ile değerlendirilerek hızlıca sonuca ulaşmak mümkündür. Simülasyon programı kullanımı ile bilgisayar üzerinde “what-if, olursa ne olur” seneryolarının uygulanmasıyla, devam eden bir süreç için gelişmeleri izleme kolaylığı sunması, tesis ekipmanlarının zarar görme ve üretimin kesintiye uğraması gibi riskleri önler. Proje deneyimi göstermiştir ki, simülatör ile yapılan çalışmalarda tesis devreye alınmadan önce kontrol sistemi sayesinde tasarım hatalarının % 80'i ortadan kaldırılabilceği belirlemiştir (Lynch ve Morrison, 1999).

Deneyim kazanmanın ya da deneyin gerçek sistem yerine bir model ile yapılması gerektiği durumlarda simülasyon gerekli olmaktadır (Ören, 2006). Bu durumlar özetle;

- Gerçek sistemin olmaması,
- Gerçek sisteme erişimin kolay olmaması,
- Gerçek sistemle deneyin tehlikeli olması,
- Gerçek sistemle deneyin rahatsız edici olması,
- Analitik çözüm tekniklerinin olmaması veya zor olması,
- Sistemin çok yavaş veya çok hızlı olması ve
- Ekonomik nedenler.

Günümüzde simülasyonun kullanıldığı alanlar işlem sıklığına göre sıralandığında;

üretim, planlama, mühendislik, finans, Ar-Ge, pazarlama, veri işleme ve personel işleri şeklinde uygulama alanları bulmaktadır.

Klasik iyileştirme projelerinde önce problem belirlenir. Daha sonra ise alternatif çözüm önerileri ortaya konur. Bir problemi çözmek için, alternatif çözümlerden biri seçilir ve uygulamaya geçilir. Simülasyon modeli tam da bu noktada çözüm önerilerini sıralayarak gerekli deneme ve tetkikleri üretir. Daha sonra bu denemelerden alınan sonuçlara göre en uygun çözümü seçip uygulamaya geçilir (Banks ve Carson, 1988).

Başarılı bir simülasyon projesinin adımları ise aşağıdaki gibidir;

- Simülasyon programını ileri düzeyde kullanabilme bilgisine sahip olunmalıdır. Programlama için sadece bilgi yeterli değildir,
- Simülasyon her şeyden önce başlı başına bir projedir ve her projede olduğu gibi ihtiyaç duyulan ön bilgilerin temini,
- Elde edilen bu verilerin, modelleme öncesinde değerlendirilmesi olarak sıralanmaktadır.

Başarılı bir simülasyon projesinin aşamaları ise;

- Problemin belirlenmesi,
- Amaçların belirlenmesi,
- Sistemin tanımlanması ve varsayımların sıralanması,
- Alternatif çözümlerin oluşturulması,
- Sistem hakkındaki bilgilerin ve verilerin toplanması, girdi analizi,
- Simülasyon modelinin oluşturulması,
- Modelin geçerliliğinin kontrol edilmesi,
- Alternatif çözümlerin test edilmesi,
- Çıktı analizi,

- Raporlama (Sözen, 2007).

Simülasyon ve modellemenin önemi;

- Gerçek hayatta oluşturulması güç, pahalı veya imkansız ortamların daha kolay bir şekilde oluşturulması,

- Yapılabilecek deneme-yanılma testlerinin sınırsız olması ve tekrarlanabilir olması,

- Maliyetin daha ucuz olması,

- Can ve mal riskinin olmaması,

- Eğitim kaybının olmaması,

- Yakıt ve fiili kullanım masrafının olmaması,

- Amortisman ve işletme maliyetinin çok düşük olması,

- Sosyal ve ekolojik çevreye zarar vermemesi,

- Kontrol altında tutulabilir olmasıdır.

Simülasyon projelerini başarısız kılan etmenler ise;

- Amacın net olarak belirlenememesi,

- Proje çıktısına etki edebilecek ilgili kişilerin projeye dâhil edilmemesi,

- Proje zamanının ve bütçesinin aşılması,

- Girdi verilerinin yanlış ya da eksik olması,

- Gerekinden fazla detayın eklenmesi,

- Sisteme çok az etkisi olan değişkenlerin dâhil edilmesi,

- Modelin geçerliliğinin ispatlanamaması,

- Kararların modelin tek bir çalışmasından alınan gözlemlere dayandırılması,
- Model çıktısı gerçekte çevrimsel iken ortalama değerlere göre karar verilmesi
- Proje, üst yönetime sunulurken fazla teknik detaya girilmesi (Centeno, 1996).

ASPP, sabit veya mobil tesislerdeki akış halindeki cevherin kütlesi ve su dengelerini hesaplama imkânı da sunar. Sonuç olarak, simülasyon yöntemiyle tesis optimizasyonu yaparak istenilen ürün veya ürünleri en ideal şekilde üretmeyi ve verimliliği artırmayı sağlamak mümkündür. Simülasyon ve modelleme, cevher hazırlama ve zenginleştirme tesislerinde ayrıca verimliliği artırarak ton başına maliyeti de azaltmayı sağlamaktadır. Günümüzde cevher hazırlama ve zenginleştirme devrelerinin büyük, karmaşık ve yatırım ile işletim maliyetlerinin pahalı olması nedeniyle; tesislerin optimizasyon ve tasarım problemlerinin çözümünde, simülasyon yöntemlerinin kullanımı zorunluluk haline gelmektedir (Aggflow, 2009).

BÖLÜM İKİ

CEVHER HAZIRLAMA ve ZENGİNLEŞTİRME TESİS TASARIMI

2.1 Tesis Tasarımı

Genel olarak tesis tasarımı, yeni bir tesisin kurulması, var olan bir tesisteki yapılacak değişiklikler veya kapasite artırımı için gerekli olan tüm mühendislik çalışmalarını ifade etmektedir. Teknik açıdan bakıldığında tesis tasarımı, tanımlanmış özellikteki ürün veya ürünleri üretmek için en uygun akım şemalarının çizilmesi, gerekli makine-ekipmanların ve kapasitelerinin belirlenmesi ve akım şemasındaki kütle ve enerji balanslarının hesaplanması olarak düşünülebilir. Ancak tesis tasarımı endüstriyel bir uygulamayı amaçladığı için, tesis tasarımında tesis ekonomisi, yatırım ve işletme maliyetleri de önem arz etmektedir (Mular, Halbe ve Barratt, 2002).

Bir maden yatağı bulunduğunda; söz konusu maden yatağına yatırım yapmadan önce bir takım ekonomik ve teknik incelemeler yapılması gerekmektedir. Söz konusu cevhere ve tesise ait çok kısıtlı sayıda bilgiden ve genellikle de sağlıklı varsayımlardan oluşan verilerle proje çalışmalarına başlanmaktadır. Projenin daha ileriye götürülmesi yönünde olumlu sonuçlar alındığında ise, ilk aşamalardaki varsayımların yerini, detaylı mühendislik çalışmalarından elde edilen gerçek veriler almaktadır. Tesis tasarımı için gerekli veri tabanını oluşturan bilgi kaynakları aşağıda verilmektedir:

- Daha önce işletmeye alınmış benzer tesislere ait bilgiler, teknik literatür ve proje çizimleri,
- Maden yatağından alınan temsili cevher numuneleri ile yapılan laboratuvar ve pilot ölçekli testler ve elde edilen sonuçlar,
- Kurulması düşünülen yeni tesise ait teknik çizimler, mühendislik hesaplamaları, tesis makine ve ekipman listeleri, teknik özelliklerinin hazırlanması ve fiyat tekliflerinin toplanması uzun zaman alan ve daha çok harcama gerektiren detaylı mühendislik verileri şeklindedir.

Bu veriler “fizibilite etütleri” denilen çalışmaların alt yapısını oluşturur. Elde edilen bu verilerle, çalışmanın amacına uygun bir veri tabanının oluşturulması sağlanır. Yeni kurulacak bir cevher hazırlama ve zenginleştirme tesisi için üç başlık altındaki verilerin tümüne ayrı ayrı ihtiyaç vardır. Mevcut bir tesiste kapasite artırımına gidilmesinin tesis üzerindeki etkisini, ne gibi değişikliklerin yapılması gerektiğini ve farklı çözüm seçeneklerinin maliyetini karşılaştırmak durumunda olanlara, tesisin daha önceki performans kayıtlarından ve kendi deneyimlerinden yararlanarak bir veri tabanı oluşturabilir.

Sonuç olarak fizibilite çalışmalarında, varsayımlardan oluşan bir veri tabanına göre hesaplanan tesis maliyetinin gerçek değerden sapma oranı yüksek olmaktadır. Ancak detaylı mühendislik verilerine göre hesaplanan tesis maliyetinin doğruluktan sapma oranının ise daha düşük olduğu proje çalışmaları ile saptanmıştır (Mular ve Bhappu, 1980).

2.2 Akım Şemaları

Cevher hazırlama ve zenginleştirme tesislerinin tasarımda ilk aşamada kullanılacak akım şemalarının belirlenmesi önemli bir husustur. Ancak akım şemaları belirlendikten sonra makine ve ekipmanların menşei (yerli veya ithal), modeli, kapasitesi ve güçleri gibi ihtiyaç duyulan özelliklerin belirlenmesi önem arz etmektedir (Merritt, 1984).

2.2.1 Laboratuvar Testleri ve Akım Şeması Geliştirme

Farklı bölgelerdeki cevher yatakları birbirinin aynı olmadığı gibi, aynı cevher yatağının farklı bölgelerindeki mineral yapıları da birbirinden farklı özellikler gösterebilir. Daha da önemlisi, cevher içindeki her bir mineralin özellikleri aynı yatak içerisinde bile değişik olabilir. Bundan dolayı cevher hazırlama ve zenginleştirme akım şemalarının geliştirilmesi süreçlerinde her bir cevher için laboratuvar testlerinin yapılması gerekmektedir. Bazı durumlarda, laboratuvar testlerinin doğruluğunun pilot ölçekteki çalışmalarla desteklenmesi gerekebilir. Tüm cevher yatağını temsilen alınan numuneler ile yapılan laboratuvar çalışmalarında aşağıdaki veriler elde edilebilir.

- Metalürjik randıman,
- Konsantre/konsantrelerin kalitesi,
- Tesis tasarımı, yatırım ve işletme maliyetlerinin tahmini için gerekli olan işletme parametrelerinin elde edilmesi,
- Makine ve ekipman kapasitelerinin seçilmesinde kullanılmak üzere akım şeması kütle dengesi.

Laboratuar çalışmaları öncesinde gerekli olan veriler ise aşağıda özetlenmiştir:

- Cevher yatağının coğrafik konumuna ait bilgiler, tesis için yeterli su kaynağı olup olmadığı ve su kalitesi, iklim koşulları, personel istihdam, ulaşım ve taşıma imkanları vb.,
- Madendeki üretim hızı, madencilik yöntemi, kazı ve taşıma makinelerinin büyüklüğü,
- Cevherin tane iriliği, kimyasal analizi, değerli ve gang mineralleri, cevherin yapısal özellikleri, cevher numunesinin temsili olması ve fiziksel veya kimyasal özellikleri açısından bozunmamış olması,
- Tesisten elde edilecek ürünler ile ilgili güncel veya daha sonraki yıllarda oluşabilecek kalite spesifikasyonları özellikle de istenmeyen safsızlıklar ile ilgili kıstaslar, pazar potansiyeli ve pazarlama koşulları,
- Tesisin artık ve atıkları ile ilgili çevre koruma yasalarının getirdiği, uyulması zorunlu koşullardır.

Laboratuar çalışmalarının öncelikle başarısı kanıtlanmış, bilinen cevher hazırlama ve zenginleştirme yöntemleri ile başlatılması, cevher bu yöntemler ile zenginleştirilemediği takdirde standart dışı yöntemlerin denenmesi önerilmektedir. Çünkü denenmemiş bir sürecin beklenilenden daha pahalı olması ve tesis ölçeğinde başarılı olamama tehlikesi vardır.

Laboratuar ve gerektiğinde pilot tesis deneylerinin sonuçlarının değerlendirilmesini takiben süreç akım şeması hazırlanır ve deney sonuçları süreç tasarım verileri haline dönüştürülür. Kütle denklığı hesaplamaları yapılarak akım şemasında her bir akımdaki malzeme, katı ve sıvı akış miktarları bulunur. Böylece gerekli makine ve ekipmanların kapasite seçimleri yapılabilir.

Bazen birden fazla olası akım şeması seçenekleri üzerinde durulabilir. Daha önce de vurgulandığı gibi akım şemasının ve tesis tasarımının son halinin kabulünü, istenilen ürün kalitesini sağlamak koşuluyla, projenin karlılığı belirlemektedir. Diğer seçeneklere göre en iyi metalürjik sonuçları veren fakat daha yüksek yatırım maliyeti gerektiren bir akım şeması, eldeki cevher yatağı rezervlerinin küçüklüğü nedeniyle kısa ömürlü olacak bir tesis için en iyi seçim olmayabilir. Kısa ömürlü tesisler daha basit akım şemalarını gerektirir. İşletme ömrü 20 yıl ve üzerinde olan projeler için ise daha pahalı yatırımlara gidilebileceği öngörülmektedir (Wills ve Napier-Munn, 2006).

2.2.2 Akım Şeması Öğeleri ve Gösterimi

Süreç akım şemaları bir tesiste kullanılan işlemlerin sıralarının ve malzeme akışının görsel olarak anlaşılmasına yardımcı olan çizimlerdir. Cevher hazırlama ve zenginleştirme akım şemaları genelde aşağıda verilen bir dizi temel işlemlerden oluşur. Bunlar ufalama, eleme, öğütme, sınıflandırma, zenginleştirme, katı-sıvı ayırımıdır. Bu temel işlemlerin yanı sıra tesis tasarımında yer alması gerekli bazı yardımcı işlemler ise sırasıyla aşağıda verilmektedir:

- Numune alma ve tartım,
- Malzeme nakliyesi, kuru malzeme için bantlı konveyörler; ince taneli pülpler için boru hatları, pompalar, oluklar; iri taneli sulu malzeme için kovalı elavatörler,
- Stoklama, stok sahaları, silolar, pülp havuzları,
- Atık depolanması ve tesis suyu geri kazanımıdır.

Yeterli stoklama ve ara depolama birimleri, tesiste oluşabilecek herhangi bir arıza nedeniyle tesisin diğer bölümlerindeki operasyonların da kesintiye uğramaması için gereklidir. Genel olarak gereksinim duyulan stoklama veya depolama noktaları şunlardır:

- Ocaktaki üretimin kesikli olması nedeniyle ocak ile cevher hazırlama ve zenginleştirme tesisi arasında açık veya kapalı bir stok alanı,
- Kırma ve öğütme devrelerinin bağımsız çalışmasını sağlamak için kırılmış cevherin depolanabileceği silolar,
- Zenginleştirme devresine düzgün besleme yapabilmek için pülp havuzu,
- Flotasyon devrelerinde kondisyonlama yapabilmek için karıştırma mekanizmalı tanklar.

Akım şeması ile birlikte hazırlanması gereken iki önemli çizelge vardır. Bunlardan birincisi, akım şemasına uygun olarak kütle denkliği çizelgesi diğeri ise makine ve ekipmanların tanımlanması ve tesise teslim maliyetlerini gösteren bir çizelgedir (O'Bryan, 1987).

2.3 Fizibilite Çalışmaları

Tasarım öncesi yapılması gerekli etütler fizibilite etütleridir. Fizibilite çalışmaları ön ve son fizibilite çalışmaları olarak birbirini izleyen iki aşamada yapılır.

2.3.1 Ön Fizibilite Çalışmaları

Yeni bir cevher hazırlama ve zenginleştirme tesisinin tasarımı için gerekli ön deneyler yapıp yeterli düzeyde tasarım veri tabanı oluşturulduktan sonra akım şeması genel hatları ile kesinleştirilir. Daha sonra yapılan teknik ve ekonomik değerlendirmelerin bir ön fizibilite raporu halinde sonuçlandırılmasına çalışılır. Bir ön fizibilite raporunda bulunması önerilen konular şu başlıklar altında toplanabilir:

- Tesisin coğrafi yeri
- Projenin tanımı
- Çalışma özeti ve varılan sonuçlar
- Jeolojik veriler, muhtemel cevher rezervleri
- Ön laboratuvar test çalışmalarına dayanan metalürjik sonuçlar
- Teknik yönden madencilik planı
- Üretim planı, ürünlerin satış değeri
- Maden sahasının haritası, yüzeydeki tesislerin ve yardımcı tesislerin planı
- Malzeme balansları ile tesisinin akım şeması
- Proje makine ve ekipman listeleri ve mali kaynaklar
- Sabit sermaye tahmini
- İşletme maliyeti tahmini
- Çevre ile ilgili dikkate alınacak hususlar
- Önerilen projenin ekonomik olarak değerlendirilmesi

2.3.2 Son Fizibilite Çalışmaları

Son fizibilite etütleri 5 ile 8 ay sürebilen ve uzun bir zaman alabilen çalışmalardır. Son fizibilite çalışmalarının maliyeti de genellikle tüm sermaye maliyetinin % 0.5 - 1.5 arasında değişir. Bu çalışmalar, genellikle konu üzerinde ihtisaslaşmış uzman şirketlere yaptırılır.

2.4 Tesis Ekonomisi

Endüstriyel tesislerin amacı kazanç elde etmektir. Tesisten elde edilecek kazanç, tesis için yapılan sermaye yatırımına göre tesisin büyüklüğü veya yapılan yatırımın

değerini belirler. İşletmenin üretime geçebilmesi için gerekli yatırım miktarının hesaplanması gerekmektedir. Fizibilite etüdlerinde, işletmenin kurulması (binaların inşası, makine ve donanımının satın alınması ve montaj) ve işletmenin üretime geçebilmesi için gerekli harcamaların toplamına toplam yatırım tutarı adı verilir. Yatırım tutarları, sabit sermaye tutarı, işletmeye alma giderleri, beklenmeyen giderler, yatırım dönemi faizleri ve işletme sermayesi olarak gruplanmaktadır (Köse ve Kahraman, 1992). Bu nedenle tesis tasarım aşamasında;

- Sermaye yatırımının
- Tesis işletme giderinin
- Ürün satış fiyatlarının
- Yatırım değerlerinin tahmini gerekir. Tesis tasarım ve ekonomik değerlendirme süreçlerinin birbirlerini etkileyen kavramlar olduğu unutulmamalıdır.

2.4.1 Yatırım Değeri

Tasarlanan bir tesis veya herhangi bir proje için yatırım işletme maliyetlerinin tahmininden sonraki aşama, bu yatırımdan elde edilecek kazancın gerekli yatırım ile karşılaştırıldığında projenin gerçekleştirilmesine değer olup olmadığının incelenmesidir. Bu değerlendirmenin her ülkenin kendine özgü koşulları altında sadece mali değil sosyal kıstasları da (iş sahası açmak, stratejik bir ürünü elde etmek gibi) içeren biçimde yapılması da mümkündür.

2.5 Kırma-Eleme Devrelerinin Tasarımı

Ufalama devrelerinin yatırım tutarlarının ve işletme giderlerinin tüm cevher hazırlama ve zenginleştirme tesisinin maliyeti ve işletme giderleri içindeki payının genellikle çok yüksek olması nedeniyle, belirli bir cevher için uygun bir ufalama devresinin seçimi cevher hazırlama tesislerinin tasarımı aşamasında alınması gereken en önemli kararlardan biridir.

Ufalama devrelerinin tasarımında gözönünde bulundurulması gereken etkenler cevher türlerindeki değişkenlikler kadar geniş bir yelpaze içinde olmakla birlikte, uygun makine ve ekipmanların seçimi için aşağıdaki tasarım parametrelerinin bilinmesi gerekmektedir:

- Kırılacak malzemenin tanımı
- Malzemenin yığın yoğunluğu ve özgül ağırlığı
- Beslenen malzemenin kırma, öğütme ve aşındırma endeksleri
- Nem miktarı, kil içeriği gibi sorun oluşturabilecek cevhere özgü nitelikler
- Kırma-öğütme devrelerine giren malzemelerin ve istenilen ürünlerin tane boyu limitleri (% 80 geçen)
- Tesise özgü parametreler, kapasite, iklim koşulları ve yeterli suyun bulunabilmesi gibi.

Bu parametrelere ek olarak madendeki üretim programları ve miktarları, madencilik yöntemleri ve maden makinelerinin büyüklükleri gibi etkenler de, özellikle kırma makinalarının cinsinin ve boyutlarının seçiminde, kırıcıların çalışma saatlerinin belirlenmesinde, tesis yeri seçiminde ve stoklamanın gerekli olup olmadığı konusunda belirleyici unsurlardır (Lynch ve Bush, 1977).

2.5.1 Kırma

Madencilikte patlayıcılar veya kazıyıcılar kullanılarak ana kayaktan koparılan cevher parçalarının öğütme devresine beslenmeleri için uygun bir tane iriliği aralığında ürün elde etmek için gerekli ilk işlem kırmadır. Değirmenlere malzeme hazırlayan kırma devrelerinde amaç mümkün olduğunca ince taneli bir kırma yapmaktır. Çünkü kırma işlemi öğütme işlemine göre daha ucuzdur. Eğer amaç yüksek tenörlü demir cevherinde olduğu gibi parça cevher üretmek ise kırma devreleri parça cevher üretimini artırıcı yönde tasarlanmalı ve işletilmelidir. Çünkü parça cevherin birim satış fiyatı genellikle daha yüksektir.

2.5.1.1 Kırma Devreleri

Bir kırma devresi için seçilecek kırıcılar ve eleklerin tipi, sayısı bir sonraki aşamada yapılacak işlemlere bağlıdır. Madende üretilen ham cevherin boyu, cevherin sertliği ve kırılabilirlik derecesine bağlı olarak iki veya üç kademeli bir kırma devresi gerektirebilir. Genel olarak çubuklu değirmenler için ham cevherin 14-19 mm'nin altına, bilyalı değirmenler için ise 10-13 mm'nin altına kırılması yeterli görülmektedir. Ayrıca agrega üretiminde ise devre tasarımı yine istenilen boya ve kapasiteye göre yapılmaktadır.

2.5.2 Eleme

Elekler tanelerin geometrik boyutlarına göre ayırım yapan aygıtlardır. Endüstriyel elekler sabit veya hareketli olabilirler. Titreşimli elekler cevher hazırlama tesislerinde en çok kullanılan elek türleridir. 25 cm - 250 mikron aralığında kuru veya sulu elemelerde tek, iki veya üç katlı olarak kullanılırlar.

Endüstriyel uygulamalarda eleme amaçları aşağıdaki gibidir:

- Kırma devrelerinde kırıcı öncesi kırıcının üst boyundan küçük malzemeyi ayırıp kırıcı kapasitelerini ve verimini arttırmak.
- Kapalı devre çalışan kırıcılarda iri taneleri ayırıp tekrar kırıcıya geri gönderilmesini sağlamak.
- Belli tane boyu aralığında sınıflandırılmış ürünler elde etmek.

Titreşimli eleklerin ölçülerinin seçimi için gerekli olan tasarım kriteri, söz konusu eleme koşullarında gerekli olan toplam elek alanıdır. Elek yapımcıları belirli standart ölçülerde elekler yaparlar ve elek türüne göre standart eleme koşullarında elek birim alanı için ampirik kapasite grafikleri verirler. Tasarım eleme koşullarının standart koşullardan olabilecek farklılıklarını gidermek üzere kullanılacak bazı düzeltme faktörlerinin değerleri de tablolar halinde yapımcı kataloglarında bulunabilir. Elek genişliği ile uzunluğu arasındaki bazı optimum oranlar da gözetilerek elek ölçüleri ve sayısı belirlenir.

Toplam alanın belirlenmesinden önce eleklerle beslenecek malzemenin tane dağılımını göz önünde bulundurarak tek veya iki, hatta üç katlı elek kullanmamızın yararlı olup olmayacağına karar vermek gerekebilir. Örneğin, besleme içerisinde ayırım yapmayı düşündüğümüz boyuttan çok daha iri parçalar var ise bunların iki katlı bir eleğin üst katına yerleştirilmiş çok daha sağlam yüzeyli bir elekten ayrılması uygun olur.

Toplam elek alanının hesaplanması için yapımcılar tarafından verilen eşitlikler ya eleğe beslenen toplam malzeme ya da besleme içindeki elek altı malzeme esasına göredir. Eleğin üzerinden geçen malzeme kalınlığının, kabul edilebilir bir kalınlıkta olması gerekir. Bunun için tavsiye edilen değer, eleği terk eden malzemenin kalınlığı elek açıklığının en fazla 4 katı olmasıdır. Örneğin, 12.7 mm açıklıklı eleği terk eden malzemenin kalınlığı = $12.7 \times 4 = 50.8$ mm olmalıdır. Diğer bir önemli nokta ise, elek açısıdır. Genellikle titreşimli elekler kırma tesislerinde 20° - 25° açıyla yerleştirilir. Elekler ne kadar dik yerleştirilirse malzeme o kadar hızlı akar, bu da istenmeyen bir durumdur.

2.6 Öğütme - Sınıflandırma Devrelerinin Tasarımı

Öğütme devrelerinin amaçları;

- Kırma devresinden elde edilen ürünün mineral tanelerinin serbestleşmesini sağlamak üzere optimum serbestleşme derecelerine ulaşılması.
- Cevherin veya herhangi bir ürünün belli bir tane boyu veya özgül yüzey alanı özelliğine kavuşturulması.

Öğütme devrelerini oluşturan ana ekipmanlar arasında, değirmenler, sınıflandırıcılar, pompa, oluk ve boru hattı gibi malzeme taşıyıcı ekipmanlar sayılabilir.

2.7 Zenginleştirme Birimlerinin Tasarımı

Boyut küçültme, kırma - eleme - öğütme - sınıflandırma sonucunda birbirlerinden teknik ve ekonomik olarak istenilen derecede serbestleşmiş olan mineral tanelerinin

fiziksel, fizikokimyasal ve kimyasal özelliklerindeki farklılıklardan yararlanarak yapılan ayırma işlemleri zenginleştirme olarak adlandırılır.

Herhangi bir zenginleştirme işlemi için en uygun akım şemasının ve zenginleştirme aygıtlarının seçimi cevher içindeki değerli ve değersiz tüm minerallerin cinsine, fiziksel, fizikokimyasal ve kimyasal özelliklerindeki farklılıklara ve serbestleşme boyutlarına bağlıdır. Çok benzer mineralojik bileşimleri bile olsa, hiçbir cevherin birbirinin aynı olmadığı ve standart zenginleştirme işlemlerinin birebir uygulanamayacağı da bilinen bir gerçektir.

Boyut küçültme işlemleri sırasında cevheri oluşturan mineraller bazı yapısal (dayanıklılık, kırılış şekli, dilinim vb.) özelliklerine bağlı olarak farklı büyüklük ve şekilde kırılabilirler. Bazen değerli mineral iri kalırken değersiz mineral fazla ufalanabilir, bazen de bunun tersi olur. Her iki durumda da boyuta göre sınıflandırma ile değerli mineral belirli ölçülerde zenginleştirilebilir. Örneğin;

- Sedimanter oluşumlu yumrulu demir, mangan ve fosfat cevherleri boyut küçültmeye tabi tutulduklarında, yumrular iri kalırken çimentoyu oluşturan kalker daha fazla ufalanır.

- Killi cevherlerin kırılması ve dağıtılması sırasında kil mineralleri çok küçük boyutlara indiği halde, diğer mineraller iri kalır (örneğin bor cevherleri).

- Mika, nabit Au, Ag, Cu gibi levha şeklinde kırılan mineraller, birlikte buldukları diğer minerallere göre daha iri boyutta kalırlar.

- Kömür, yan taşlarına göre daha fazla ufalanır.

Boyuta göre sınıflandırma, cevher özelliklerine bağlı olarak, ya doğrudan doğruya boyut küçültmeden sonra ya da yıkama ve dağıtma gibi işlemleri izleyerek uygulanmaktadır.

Dağıtıcı olarak kullanılan aygıtlar:

1- Karıştırma ile dağıtma yapan aygıtlar

- Yalaklı yıkayıcı (maksimum cevher boyutu 10 cm)

- Pervaneli dağıtıcı (Attrition Scrubber): 4 - 5 mm' nin altındaki cevher % 70 - 80 katı içeren pülp halinde beslenmektedir.

- Kütüklü dağıtıcı: Besleme boyutu 7 - 8 cm

2- Aktarılan ortamda dağıtma yapan aygıtlar

- Aktarma tamburu: Besleme boyutu 10 cm fakat özel tiplerde 25 cm'ye kadar olabilmektedir.

- Döner elekli (tromel) yıkayıcı

3- Basınçlı su ile çalışan dağıtıcılar

Yıkayıcı ve boyutlandırıcı olarak kullanılan aygıtlar şunlardır:

Kavisli elek

Tromel elek

Titreşimli elek

Taraklı ve spiralli klasifikatörler

Hidrosiklonlar

(Mular, Halbe ve Barratt, 2002)

2.8 Katı-Sıvı Ayrımı Birimlerinin Tasarımı

Cevher hazırlama ve zenginleştirme işlemlerinin büyük bir çoğunluğu katı-su karışımlarını içermektedir. Bu suyun kısmen veya tamamına yakın bir bölümünün cevher hazırlama ve zenginleştirme sürecinin herhangi bir aşamasında, katı taneciklerinden mekanik yöntemlerle ayrılması gerekmektedir. Suyun veya genel anlamıyla sıvının kısmen uzaklaştırılması, süreç içerisinde bir sonraki işlem için gerekli besleme katı-sıvı oranının; tamamına yakın bir bölümünün uzaklaştırılması ise son ürünün katı-sıvı oranının sağlanması bakımından önemlidir.

Katı-sıvı ayırma yöntemlerini aşağıdaki gibi sınıflandırmak mümkündür:

a- Eleme ile katı-sıvı ayrımı

b- Çöktürme ile katı-sıvı ayrımı

- İri taneli malzemelerin çöktürülmesi
- İnce taneli malzemelerin çöktürülmesi
- Çok ince taneli malzemelerin flokülasyon yolu ile çöktürülmesi
- Santrifüjlü çökeltme

c- Süzme (filtrasyon) yolu ile katı-sıvı ayrımı

d- Kurutma ile katı-sıvı ayrımı

Bunların arasından yapılacak doğru seçim;

- Karışımın çökeltme ve süzme özelliklerine
- Karışımın hacmine
- Süzüntü berraklığına
- Katı ürün içinde kalan sıvı miktarına
- Ayrım sonunda elde edilecek katı ve sıvının niteliklerine bağlıdır.

Ancak etkin bir katı-sıvı ayrımı iki veya daha fazla cihazın seri olarak kullanılmasıyla mümkündür. Cevher zenginleştirme tesislerinde konsantrenin istenilen nem miktarına susuzlandırılmasında ve tesise geri çevrilecek nitelikte su elde edilmesinde normal koşullarda, koyulaştırma ve vakum veya basınç altında çalışan kek oluşumlu süzme yeterli olmaktadır. Eğer çok ince tanelerin kazanılması önemli değil ise, süzme işleminden vazgeçilerek daha ucuz olan susuzlandırma elekleri, hidrosiklonlar, santrifüjler veya bunların uygun kombinasyonları kullanılabilir. Artık ise genellikle artık barajında çökelmeye bırakılmakta, bazı durumlarda da daha önce bir koyulaştırıcıdan geçirilmektedir (Wills ve Napier-Munn, 2006).

2.9 Stoklama Alanı Tasarımı

Genel olarak tesiste, ocağın ve birincil kırmanın kesikli çalışması, harmanlama yapılması ve cevherin kurutulması durumlarında ocakla kaba kırma arasında ara stok sahasına ihtiyaç vardır. Diğer durumlarda cevher direkt birincil kırıcıya beslenebilir.

Kırma ünitesinin 8 saat, öğütme ünitesinin ise 24 saat çalışması durumunda kırma ile, öğütme arasında da ara stok yapılır.

Stok herhangi bir yere açık veya kapalı olarak yapılabilir. Kırıcıların optimum şekilde çalışması için sabit bir besleme yapılması gerekir.

Konsantratörlerin verimli bir şekilde çalışması için ise hem sabit bir besleme yapılması hem de tenörün sabit olması gerekir. Bunun için hem madenle primer kırma arasında hem de kırma ile konsantratör arasında bir ara yığma yapılması gerekir.

Herhangi bir stok sadece düzgün bir besleme yapılmasını sağlamıyor aynı zamanda harmanlama yaparak cevherin tesise sabit bir tenörde beslenmesini de sağlıyor. Hatta bazı durumlarda zenginleştirme işlemlerinin (kuru) herhangi bir aşamasında veya zenginleştirme işlemlerinden sonra elde edilen konsantrenin veya artığında stok edilmesi gerekebilir.

Ara Stokların Avantajları:

Cevher hazırlama tesisinde ara stok yerlerinin olması tesis veriminin artmasına yardımcı olur. Dolayısıyla ekonomik olarak ara stok yerleri hazırlamanın yararları açık olarak ortadadır.

Verim artışıyla, kapasitenin yükselmesi ile birim üretim maliyeti düşmektedir. Dolayısıyla fazla makine-ekipman ve insan gücüne gerek kalmamaktadır. Malzemenin ucuz nakliyesi için tesise bir konveyör bant ünitesi kurmak yeterlidir. Aynı zamanda enerji gereksinimi de önemli ölçüde düşürülmektedir(Wills ve Napier-Munn, 2006).

BÖLÜM ÜÇ

ASPP İLE CEVHER HAZIRLAMA-ZENGİNLEŞTİRME

UYGULAMALARI

Cevher hazırlama-zenginleştirme teknolojisinde simülasyon ve modelleme, devrelerin tasarımı ve optimizasyonu ile ilgilidir. Simülasyon ve modelleme, cevher hazırlama tesislerinde mineral kazanma veya verimliliği artırma yoluyla ton başına maliyeti azaltmayı da sağlamaktadır. Günümüzde cevher hazırlama ve zenginleştirme devrelerinin, daha büyük, karmaşık, inşaat ve operasyon maliyetlerinin çok daha pahalı olması nedeniyle; tesislerin zor optimizasyon ve tasarım problemlerinin çözümünde, simülasyon yöntemleriyle en iyi ve en ucuz şekilde üstesinden gelmek mümkündür. Simülasyon programlarını kullanan uzmanların, modellerin güçlü ve zayıf yanlarını iyi bir şekilde kavramaları ve tasarım esnasında müdahalelerini zamanında ve yerinde yapmaları önem arz etmektedir.

ASPP ile cevher hazırlama ve zenginleştirme tesislerinin tasarlanmasında ilk aşama kullanılacak akım şemalarının belirlenmesidir. Ancak akım şemaları belirlendikten sonra kullanılacak makine-ekipman seçilebilir ve bu makine-ekipmanın kapasitesi, güç ihtiyacı gibi karakteristikleri ASPP veri kütüphanesinden yararlanarak belirlenebilir. Genel anlamda tesis tasarımı, yeni bir tesisin kurulması ya da var olan bir tesiste yapılacak değişiklikler veya kapasite artırımı için gerekli olan tüm mühendislik çalışmalarını içerir. Teknik açıdan baktığımızda tesis tasarımı, belli bir ürünü veya ürünleri elde etmek için en uygun akım şemasının geliştirilmesi, gerekli donatıların ve kapasitelerinin belirlenmesi ve akım şemasındaki kütle ve enerji denklıklarının hesaplanması olarak algılanabilir. Ancak tesis tasarımı endüstriyel bir uygulamayı amaçladığı için, tesis tasarımında yatırım ve işletme maliyetleri de önemli bir yer tutmaktadır.

Bu tez kapsamında cevher hazırlama tesislerinin bilgisayar destekli projelendirilmesi için geliştirilen bilgisayar yazılımı Aggflow'un tanıtımı ve kullanılması sonucu sağlayacağı yararlar vurgulanmaya çalışılmıştır. Çağımız mühendislik projelerinin yapımında çok kullanılmakta olan bilgisayar destekli projelendirme yöntemini esas aldığı için Aggflow hızlı ve güvenilir çözümleri kısa sürede üretebilmekte ve cevher hazırlama sektörü için büyük bir yenilik ve avantaj

sağlamaktadır. Aggflow üretim planlamasına bağlı olarak uygun makine-ekipman seçimini ve maliyet analizini yapmak için geliştirilmiş bir bilgisayar yazılımıdır. Üretim planlaması Aggflow'un temel veri yapısını oluşturduğu için iyi bir pazar araştırmasının yapılmasının önemi büyüktür. Bu bilgisayar yazılımının amacı; kurulacak olan cevher hazırlama tesislerinde verimin en iyi şekilde sağlanması ve buna bağlı olarak yatırım maliyetlerinin en aza indirilmesidir. Aggflow, gerekli verileri kullanıcıdan aldıktan sonra yine bu veriler doğrultusunda sonuca gidip fizibilite sonucunu kullanıcıya sunmaktadır. Aggflow sürekli güncellenen bir veri dosyası yapısına sahiptir. Bu avantajı ile yeni üretilen makine ve ekipmanların sistem içerisine alınması oldukça kolay olabilmektedir. Ayrıca mevcut kapasitelerin yeniden belirlenmesi, üretim kapasitelerinin artırılması durumunda da rahatlıkla kullanılabilen yazılımdır.

Birçok cevher hazırlama tesisinde; girişimciler tesisi kurar fakat tesiste tam olarak gerçek kapasitede ne kadar malzeme üretebileceği konusunda yetersiz bilgiye sahipler. Bu nedenle birçok cevher hazırlama tesisi gerçek kapasitenin altında verimsiz bir şekilde çalıştırılmaktadır.

Simülasyon yöntemiyle hesaplanan sonuçlar ile gerçek tesis sonuçları karşılaştırılarak Aggflow kullanıcılarının tesis verimliliğini maksimize etmesi ve optimum üretim devre akım şemalarına ulaşmak için daha sonra doğru potansiyel değişiklikleri, tesis darboğazlarını ve verimsizlikleri belirlemek mümkündür.

Simülasyon çalışmaları sırasında makine ve ekipman seçiminin doğru yapılabilmesi için cevher hazırlama tesisi hakkında temel varsayımlar gereklidir. Donanımların kapasitelerinin tam yüklü veya kapasitenin altında yüklü olması, tesise beslenen tüvenan cevherin ıslak veya kuru olması, cevherin sert veya yumuşak olması gibi unsurların dikkate alınarak Aggflow simülasyon paket programının (ASPP) tüm tesis bileşenlerinin değerlendirilmesiyle daha iyi simülasyon yeteneği sağlanmaktadır.

Simülasyon yöntemi mucizevi bir sistem değildir. Yani simülasyon yöntemini kullanan uzmanın bilgisi, deneyimi ve uygulamalarındaki başarı ile cevher hazırlama tesislerinde en iyi sonuçları elde etmek mümkündür. Tesiste bu konuda çalışan

uzmanların kabiliyeti, pratik ve teorik bilgileri, simülasyon denemeleriyle tesisteki hata ve sapma durumlarını belirlemeleri ve gerekli değişikleri yapmaları tesis yöneticileri ve mühendisleri hatalar, sapsmalar hakkında ne yapılması gerektiği hususunda bilgilendirmesi, simülasyon “what-if, olursa ne olur” senaryoları ile birçok simülasyon çalışmaları ve denemeleri yaparak alınan doğru sonuçları tesiste uygulayarak verimliliği hızlı bir şekilde artırmak esas hedeftir. Simülasyon programı önerilen tesis yerleşimini optimize etmede uygun makine-ekipman seçmek ve yeni tesislerin tasarımında ideal bir araçtır (Hartge ve diğer., 2006).

Cevher hazırlama tesisleri tasarım ekibi, verimlilik ve maliyet etkinliğini en üst düzeye çıkarmak için işletme parametrelerini ve tasarım kriterlerini dikkatle hesaplamaları ve uygulamaları gerekir. Bilgisayar ve simülasyon yazılımlarının olmadığı eski zamanlarda haftalar veya aylarca süren cevher hazırlama tesis hesaplamalarını basit ve hızlı bir şekilde vaktinde yapmak neredeyse imkansızdı. Günümüzde cevher hazırlama endüstrisi devasa tesislerinin besleme miktarı, cevher tenörleri ve ekipman tasarım kriterleri dikkate alınarak veriler üretilir. Elde edilen verilere göre, tesis performansını simülasyon yöntemleri ile değerlendirmek bir düğmeğe basmakla bir kaç dakikada hızlıca sonuca ulaşmak mümkündür.

Simülasyon programı kullanımı ile bilgisayar üzerinde “what-if, olursa ne olur” seneryolarının uygulanması, devam eden bir süreç için gelişmeleri izleme kolaylığı sunmakta ve aynı tesis makine ve ekipmanlarının zarar görmesini veya üretimin kesintiye uğraması gibi riskleri önlemektedir.

Bu bölümde; ASPP'nın uygulamasını özellikle demir cevheri, agrega ve bor cevheri üzerinde yoğunlaştırarak, tezimizin asıl konusu olan cevher hazırlama akım şemalarının simülasyonla modellenmesi detaylıca değerlendirilmiştir. Aggflow Simülasyon Paket Programı (ASPP) ile akım şeması çizilen tesislerin üzerinde farklı “what-if, olursa ne olur” senaryoları planlanarak her üç tesisin çalışma koşulları incelenmiştir. Aşağıdaki bölümlerde, her tesis için ASPP ile yapılan farklı senaryolara göre program çıktıları alınarak sonuçlar ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

3.1 ASPP ile Ferrocom Demir Cevheri Zenginleştirme Uygulaması

3.1.1 Demir Cevheri Zenginleştirme Tesisi Akım Şeması Çalışma Prensipleri

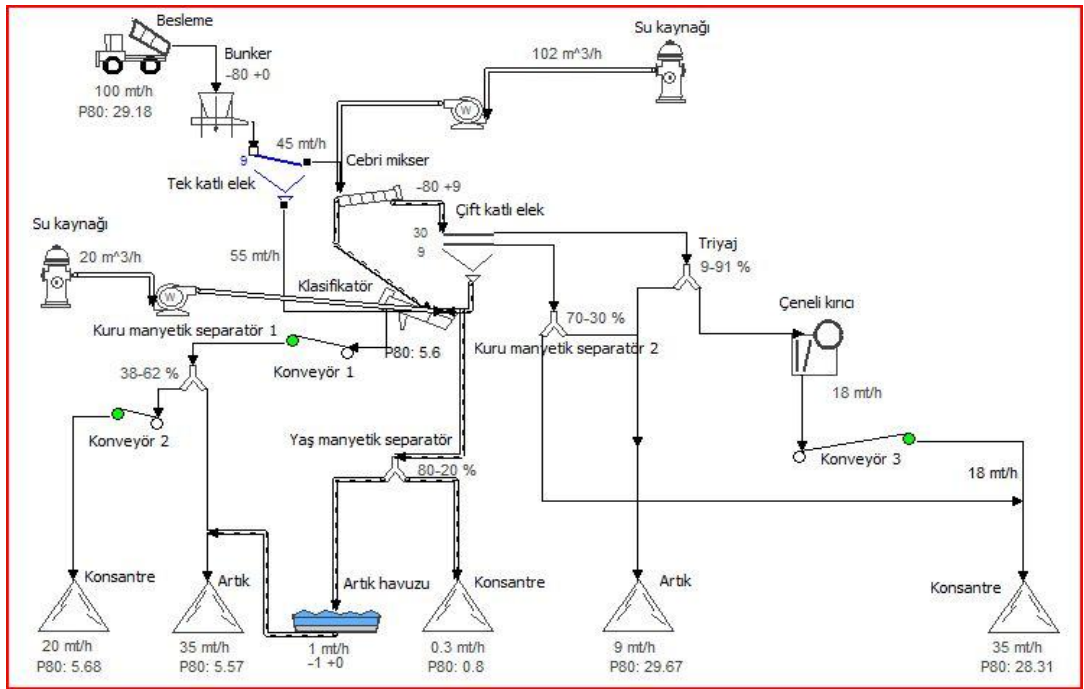
Besleme kapasitesi 100 t/s olan devre akım şemasına göre demir cevheri bunkerden tek katlı eleğe beslenmektedir (Şekil 3.1). Şekil 3.1'deki besleme koşulları referans koşul (R) olarak adlandırılmıştır. Elek üstü iri malzeme cebri mikserde yıkanarak kilinden uzaklaştırılmakta ve çift katlı eleğe verilmektedir. Çift katlı elek üstü triyaj bandına gönderilerek artık ayrılır. Ayıklanan iri konsantre çeneli kırıcıda kırılarak iri konsantre silosuna gönderilir. Çift katlı elek arası (30 + 9 mm) demir cevheri 2 nolu kuru manyetik seperatörde ayırmaya tabi tutularak artık ve konsantre ayrı ayrı alınır. Çift katlı ve tek katlı elek alt çıkışları (9 mm) aynı klasifikatöre beslenir. Klasifikatör taşanı (+0.5 mm) yaş manyetik seperatöre beslenerek ince manyetik malzeme mikronize silosuna alınırken manyetik olmayan ince malzeme artık havuzuna beslenir. Klasifikatörden taşınan iri fraksiyon ise (9 +0.5 mm) konveyör ile 1 nolu kuru manyetik separatöre beslenerek artık ve konsantre ayrılır. Kuru manyetik ayırıcılarda zenginleştirilen cevherin nem oranı % 10 civarındadır. Cevherin yaklaşık % 85'i manyetit geri kalanı ise hematittir. Elde edilen konsantreler manyetit içerir. Hematit oran olarak az olduğu için artıkta işletme sahasında stoklanmaktadır.

Bu tezde kullanılan demir cevheri numuneleri; deneysel çalışmalarda kullanmak üzere, 80 mm boyutun altında yaklaşık 500 kg cevher, Ferrocom Maden San. ve Tic. A.Ş. Taşlıtepe-Divriği-Sivas açık ocaklarından Dokuz Eylül Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Cevher Hazırlama ve Zenginleştirme Laboratuvarlarına getirilmiştir.

Cevherin tamamı tanklarda bileşik tanelerin dağılması için su içerisinde 2 gün bekletilmiştir. Bu süre içerisinde tank içindeki malzeme, periyodik olarak karıştırılarak dağılması sağlanmıştır. Daha sonra tüm malzemenin elek analizi yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda; -80 mm fraksiyonu +30, 30-9, 9-0.5 mm olarak sınıflandırıldıktan sonra zenginleştirilmesi uygun görülmüştür.

Elek analiz sonuçları incelendiğinde, malzemenin yaklaşık % 75'i 500 mikronun üzerinde, geriye kalan malzemenin (% 25) ise 500 mikronun altında olduğu saptanmıştır.

Elek analizi sonrasında verilen her bir tane sınıfının kimyasal analizleri ile birlikte tane sınıflarının ayrı ayrı zenginleştirilebilirliği, zenginleştirme sonrası besleme malı, konsantre ve artıklarının % Fe tenörleri tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçların Ferrocom Maden San. ve Tic. A.Ş.'nin izni alınmadığından ve gizlilik açısından tezimizde açık olarak yer verilmemiştir. Ancak yapılan tüm bu teknolojik test ve analiz verileri esas alınarak, halen faaliyetini sürdüren Ferrocom Maden San. ve Tic. A.Ş. tesisinin rehabilitasyonu ile kurulması planlanan ikinci yeni bir tesisin devre akım şeması simüle edilmiştir.



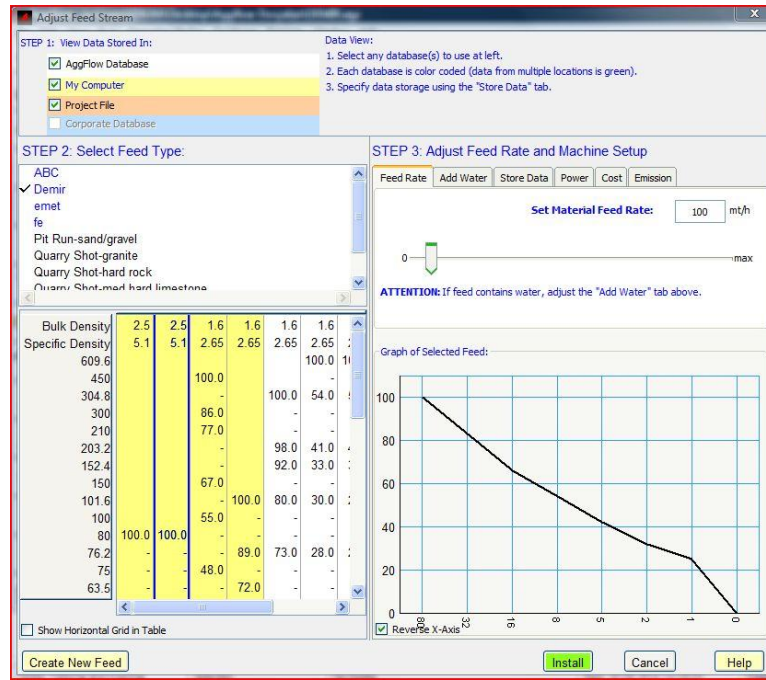
Şekil 3.1 Referans koşul 100 t/s kapasiteli demir cevheri zenginleştirme tesisi akım şeması.

Aggflow Simülasyon Paket Programı (ASPP) ile akım şeması çizilen gerçek bir tesis üzerinde farklı senaryolar planlanarak tesis çalışma koşulları incelenmiştir. Aşağıda ASPP ile yapılan farklı senaryolara göre program çıktıları alınarak sonuçlar ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Tesiste besleme miktarı, ızgara ve elek açıklıkları,

konveyör kapasiteleri, triyaj oranları, kırıcı giriş ve çıkış ayarları gibi farklı parametrelere ait değerler değiştirilerek tesisin çalışabilirliği test edilmiştir. Her bir parametreye ait farklı değerler de ayrıca denenmiştir. Oluşturulan tesis kombinasyonu için ASPP'nin farklı senaryoları uygulanarak elde edilen çıktılar yardımıyla tesisin hata uyarıları değerlendirilerek çözüm önerileri sunulmuştur. Söz konusu demir cevherine ait farklı parametreler yardımıyla çok sayıdaki değişkenden oluşan ASPP çıktıları aşağıda verilmiştir:

1.Senaryo: Tesise referans koşul 100 t/s demir cevheri beslenmesi durumunda elde edilen sonuçlar.

ASPP ile akım şeması çizilen demir cevheri zenginleştirme tesisine 100 t/s cevher beslenerek yapılan çalışmada; tesis hata uyarısı alınmadan çalışmaktadır (Şekil 3.1). Cevhere ait besleme malı ile ilgili özellikler ASPP ara yüzey görüntüsü Şekil 3.2'de verilmiştir.

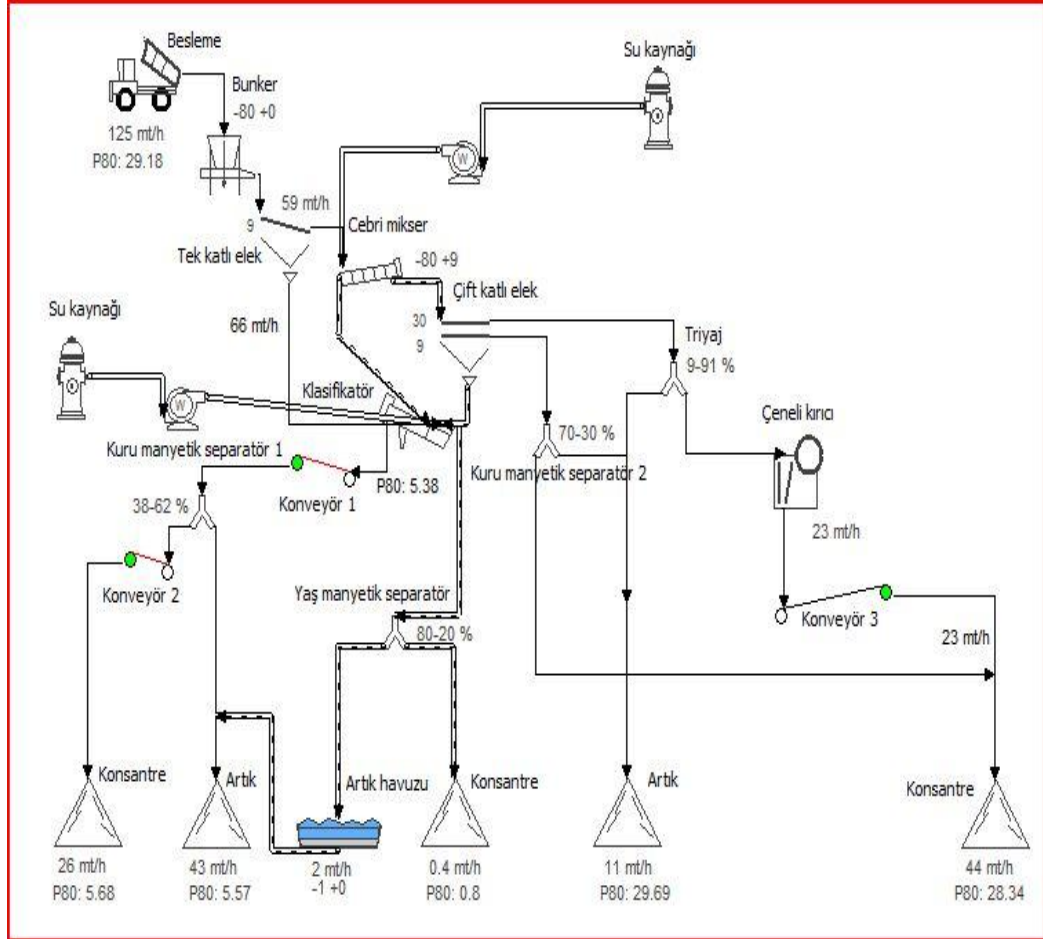


Şekil 3.2 BM elek altı ASPP ara yüzey görüntüsü

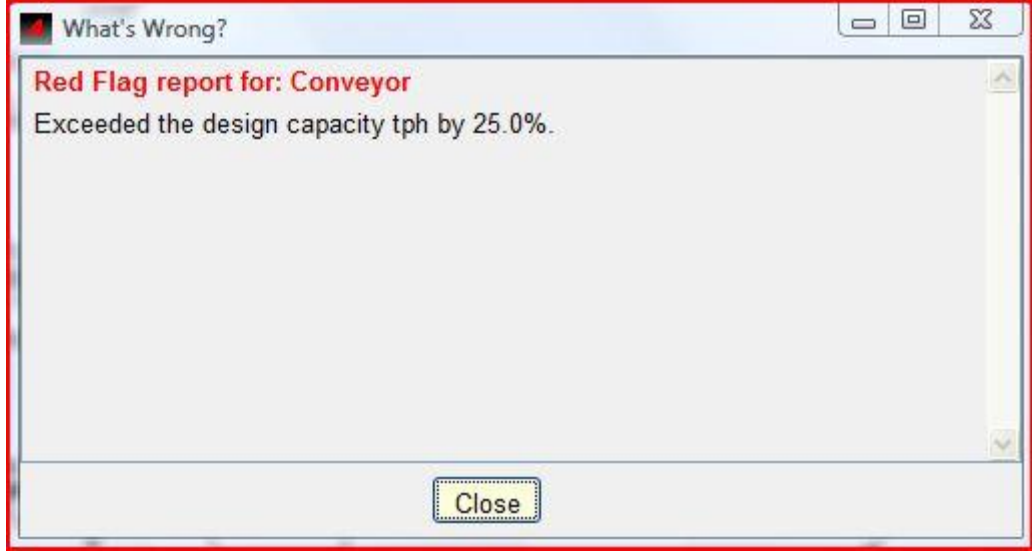
2.Senaryo: Tesise 125 t/s demir cevheri beslenmesi durumunda elde edilen sonuçlar.

Besleme miktarı 100 t/s'tan 125 t/s'e çıkarıldığında, 1 ve 2 nolu konveyör kapasiteleri yetersiz kalmakta ve Şekil 3.3'te görüldüğü üzere programda hata uyarısı

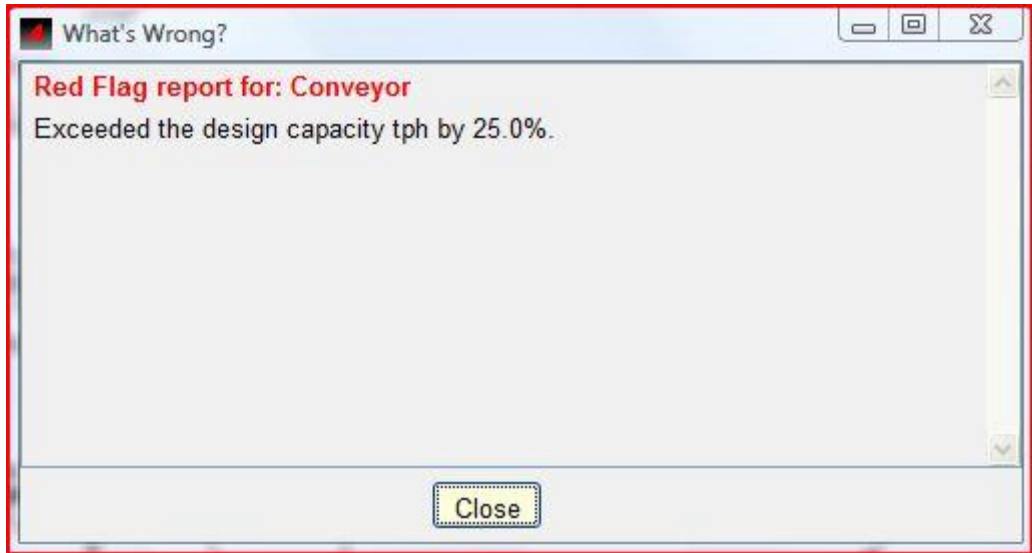
verilmektedir. 1 ve 2 nolu konveyörlerde kapasitenin yetersiz kaldığı ve % 25 oranında kapasite aşımı olduğu tespit edilmiştir (Şekil 3.4 ve Şekil 3.5). ASPP, 1 ve 2 nolu konveyör kapasitesinin % 25 ve üzerinde ayarlanmasını öngörmektedir. Öngörüye uygun olarak konveyör seçiminin yapılması halinde ASPP hata uyarısı vermeyecektir.



Şekil 3.3 125 t/s besleme kapasitesinde oluşan ASPP hata uyarıları.



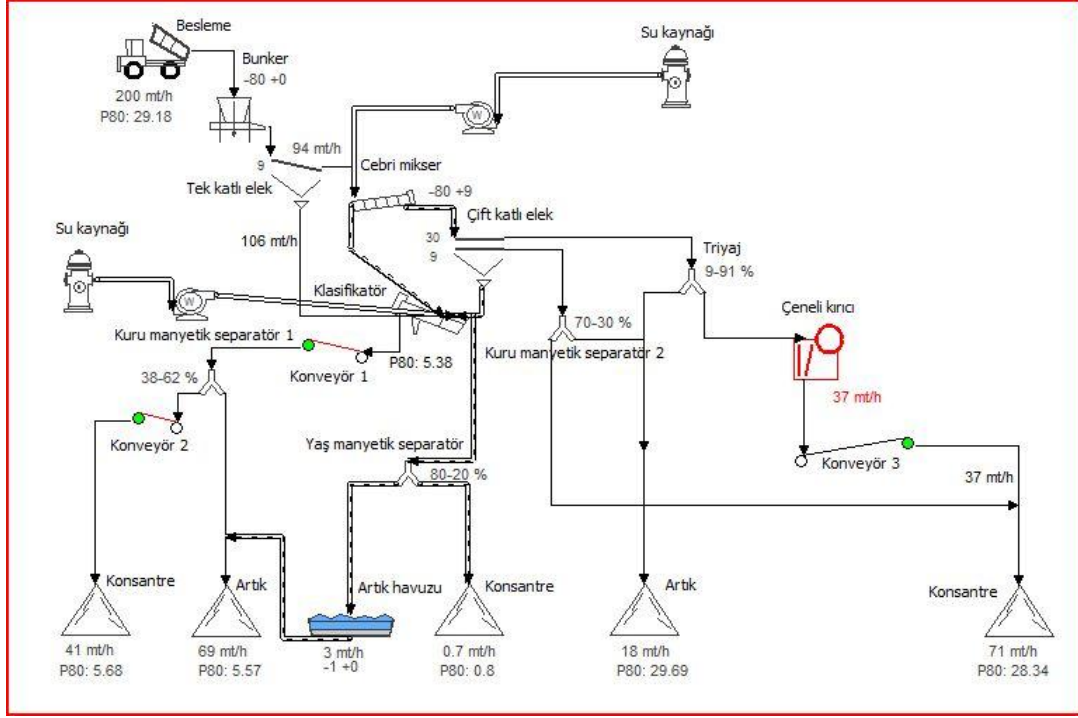
Şekil 3.4 125 t/s beslemede 1 nolu konveyörde oluşan ASPP hatası ve çözüm uyarısı.



Şekil 3.5 125 t/s beslemede 2 nolu konveyörde oluşan ASPP hatası ve çözüm uyarısı.

3.Senaryo: Tesise 150 t/s demir cevheri beslenmesi durumunda elde edilen sonuçlar.

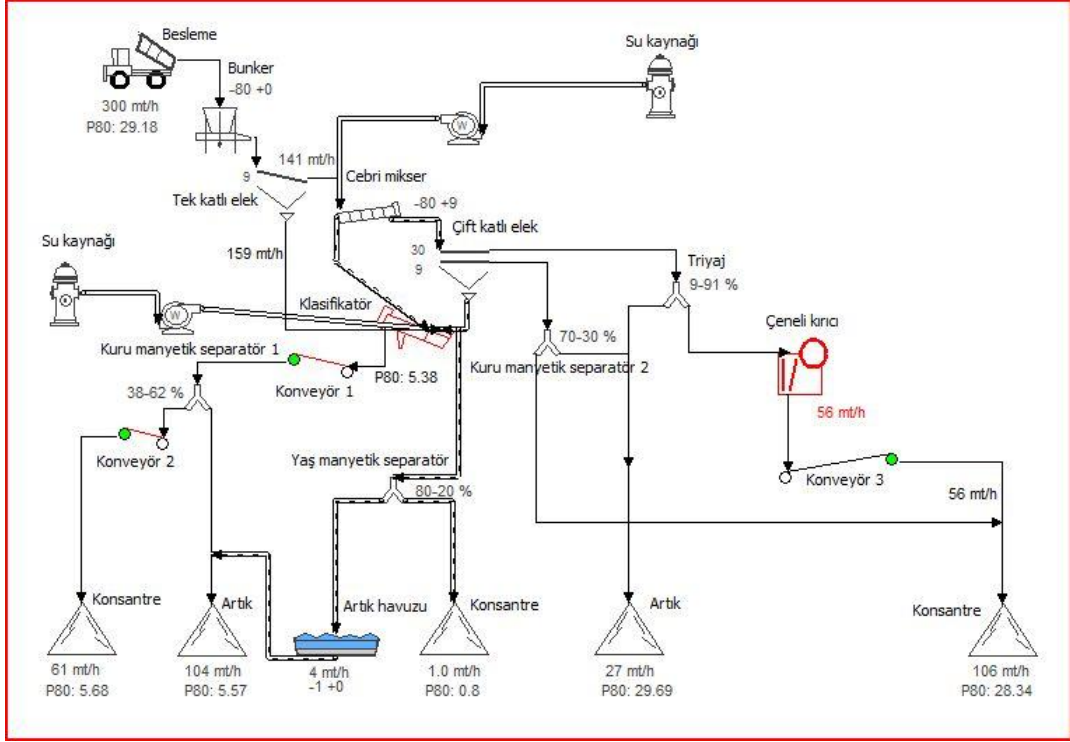
Besleme miktarı 100 t/s'tan 150 t/s'e çıkarıldığında, çeneli kırıcı kapasitesi, 1 ve 2 nolu konveyör kapasiteleri yetersiz kalmakta ve Şekil 3.6'da görüldüğü üzere programda hata uyarısı verilmektedir. Cedarapids JC 1016 model çeneli kırıcı kapasitesi % 11.1 aşıldığı, 1 ve 2 nolu konveyörlerde % 50 oranında kapasite aşımı



Şekil 3.7 200 t/s besleme kapasitesinde oluşan ASPP hata uyarıları.

5.Senaryo: Tesise 300 t/s demir cevheri beslenmesi durumunda elde edilen sonuçlar.

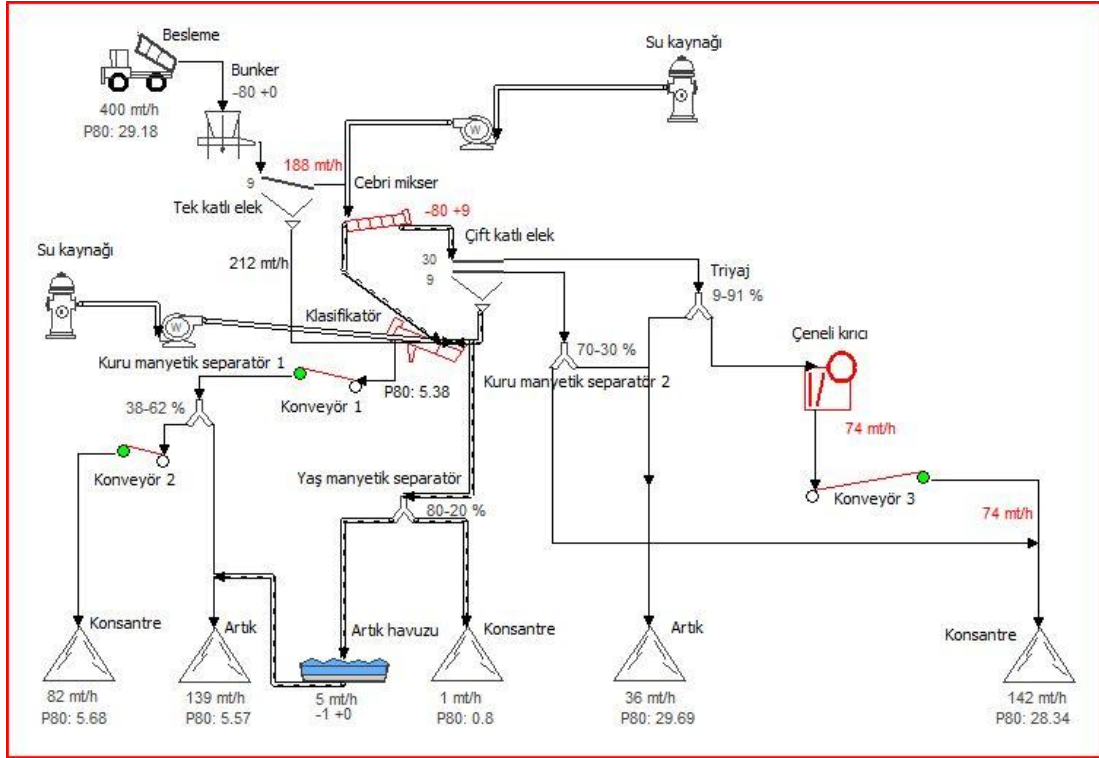
Besleme miktarı 100 t/s'tan 300 t/s'e çıkarıldığında, klasifikatör kapasitesi, çeneli kırıcı kapasitesi, 1 ve 2 nolu konveyör kapasiteleri yetersiz kalmakta ve Şekil 3.8'de görüldüğü üzere programda hata uyarısı verilmektedir. Kolberg single 5072-35 model klasifikatör ve Cedarapids JC 1016 model çeneli kırıcı kapasiteleri aşıldığı, 1 ve 2 nolu konveyörlerde % 199.9 oranında kapasite aşımı olduğu tespit edilmiştir (Ek 7, Ek 8, Ek 9, ve Ek 10). ASPP, 300 t/s besleme miktarına cevap verecek sayıda paralel klasifikatör devresi oluşturulması ve daha yüksek kapasiteli bir çeneli kırıcı seçimi yapılmasını, 1 ve 2 nolu konveyör kapasitelerinin ise % 200 ve üzerinde ayarlanmasını öngörmektedir. Öngörüye uygun olarak klasifikatör, çeneli kırıcı ve konveyör kapasitelerinin seçilmesi durumunda tesis ASPP hata uyarısı vermeyecektir.



Şekil 3.8 300 t/s besleme kapasitesinde oluşan ASPP hata uyarıları.

6.Senaryo: Tesise 400 t/s demir cevheri beslenmesi durumunda elde edilen sonuçlar.

Besleme miktarı 100 t/s'tan 400 t/s'e çıkarıldığında, cebri mikser kapasitesi, klasifikatör kapasitesi, çeneli kırıcı kapasitesi, 1, 2 ve 3 nolu konveyör kapasiteleri yetersiz kalmakta ve Şekil 3.9'da görüldüğü üzere programda hata uyarısı verilmektedir. Kolberg 8048-35 model cebri mikser kapasitesi % 18, Cedarapids JC 1016 model çeneli kırıcı kapasitesi % 196.7, Kolberg single 5072-35 model klasifikatör kapasitesi % 1.5, 1 ve 2 nolu konveyör kapasiteleri % 299.7 ve 3 nolu konveyörde ise kapasitenin % 5.8 aşıldığı ASPP çıktısı ile saptanmıştır (Ek 11, Ek 12, Ek 13, Ek 14, Ek 15 ve Ek 16). Hata veren üniteler ASPP'nin sorunlara ait çözüm önerisi doğrultusunda besleme miktarına uygun makina kapasiteleri, ayarları ve seçimleri yapıldığı takdirde tesis düzgün ve hatasız çalışacaktır.



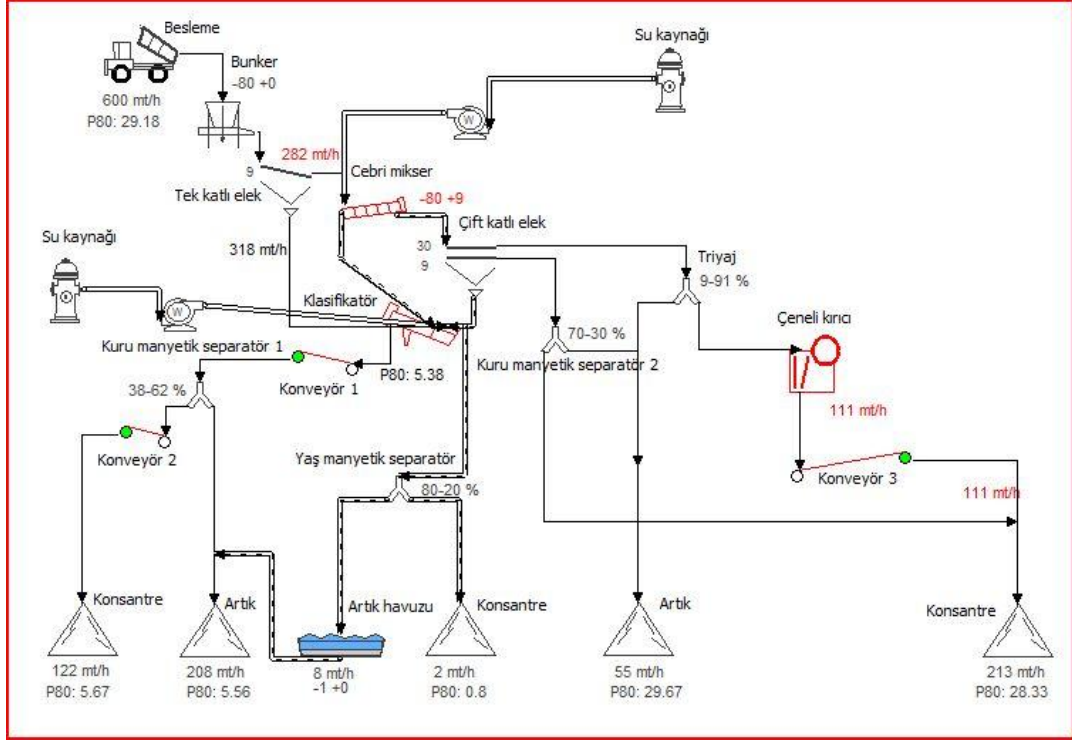
Şekil 3.9 400 t/s besleme kapasitesinde oluşan ASPP hata uyarıları.

7.Senaryo: Tesise 600 t/s demir cevheri beslenmesi durumunda elde edilen sonuçlar.

Besleme miktarı 100 t/s'dan 600 t/s'e çıkarıldığında, cebri mikser kapasitesi, klasifikatör kapasitesi, çeneli kırıcı kapasitesi, 1, 2 ve 3 nolu konveyör kapasiteleri yetersiz kalmakta ve Şekil 3.10'da görüldüğü üzere programda hata uyarısı verilmektedir. Kolberg 8048-35 model cebri mikser kapasitesi % 77, Cedarapids JC 1016 model çeneli kırıcı kapasitesi % 345.1, Kolberg single 5072-35 model klasifikatör kapasitesi % 52, 1 ve 2 nolu konveyör kapasiteleri % 498.7 ve 3 nolu konveyörde ise kapasitenin % 58.6 aşıldığı ASPP çıktısı ile saptanmıştır (Ek 17, Ek 18, Ek 19, Ek 20, Ek 21 ve Ek 22). Hata veren üniteler ASPP'nin sorunlara ait çözüm önerisi doğrultusunda besleme miktarına uygun makina kapasiteleri, ayarları ve seçimleri yapıldığı takdirde tesis düzgün ve hatasız çalışacaktır.

Ek 19'da görüldüğü üzere, kapasitenin 600 t/s'e çıkarılmasına bağlı olarak, Kolberg single 5072-35 tip klasifikatöre beslenen su miktarının yetersiz olduğu görülmektedir. ASPP, soruna çözüm önerisi olarak da 74 mikronun altındaki

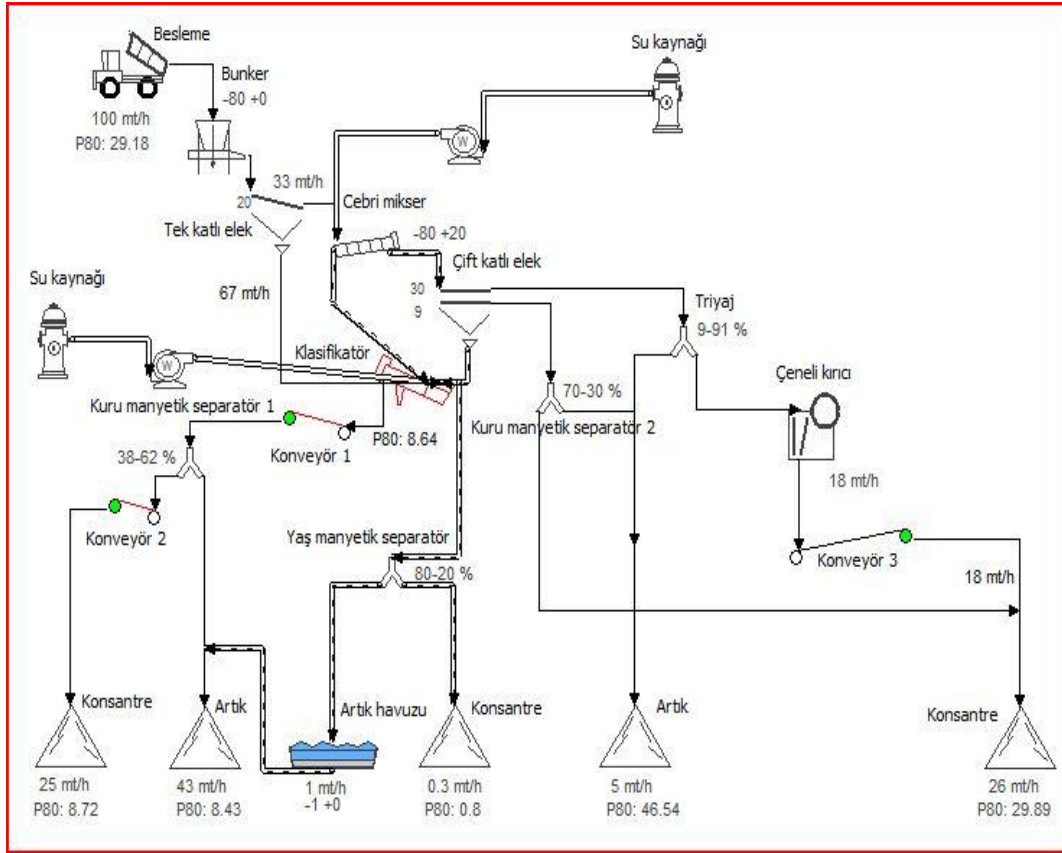
boyuttaki ince malzemenin taşınmasının mümkün olmadığı için $47 \text{ m}^3/\text{s}$ su ilavesinin yapılmasını öngörmektedir. Öngörüye uygun olarak su dengesinin yapılması halinde ASPP hata uyarısı vermeyecektir.



Şekil 3.10 600 t/s besleme kapasitesinde oluşan ASPP hata uyarıları.

8.Senaryo: Tek katlı elek 20 mm ayırma boyunda olması halinde elde edilen sonuçlar.

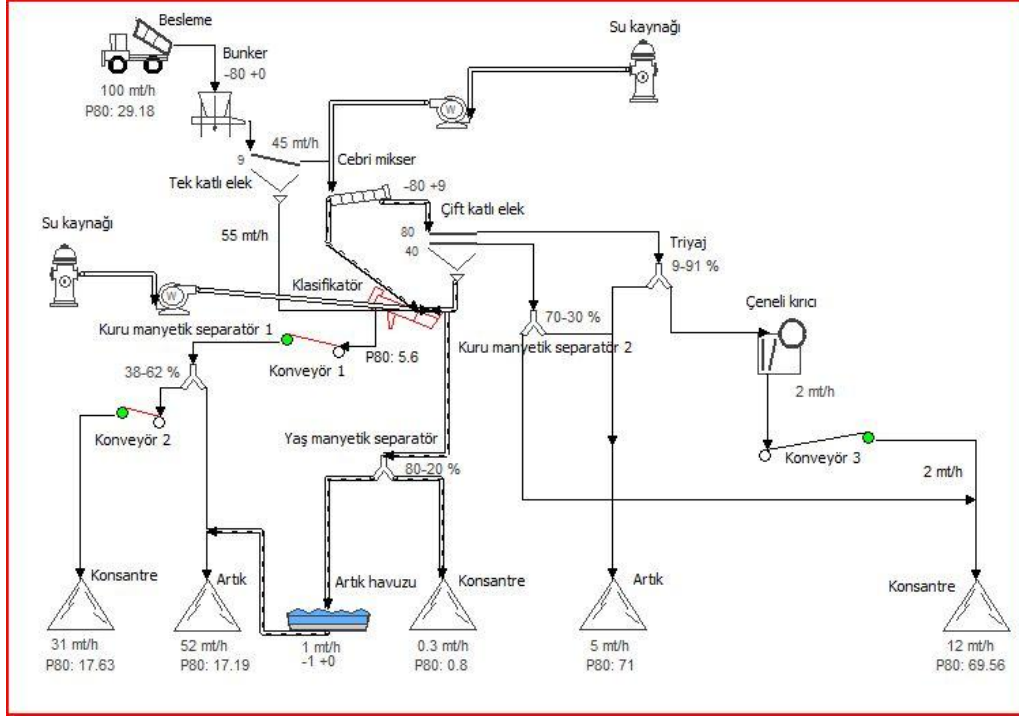
Tek katlı elek açıklığı 20 mm'ye ayarlandığında, klasifikatör, 1 ve 2 nolu konveyörlerde hata oluşmaktadır (Şekil 3.11). Ek 23'te görüldüğü üzere, Kolberg single 5072-35 tip klasifikatörün 9.53 mm'den daha iri cevherle çalıştırılması uygun değildir. Burada ASPP'nin klasifikatöre beslenen cevherin 9.53 mm'nin altında olacak şekilde bir elemeye tabi tutulması halinde sorun giderilmiş olur ve tesis hata ve uyarı vermeden çalışır. 1 ve 2 nolu konveyör kapasiteleri % 24.3 aşıldığı ASPP çıktısı ile saptanmıştır (Ek 24 ve Ek 25). ASPP'nin sorunlara ait çözüm önerisi doğrultusunda besleme miktarına uygun 1 ve 2 nolu konveyör kapasiteleri, ayarları ve seçimleri yapıldığı takdirde tesis düzgün ve hatasız çalışacaktır.



Şekil 3.11 20 mm ayırma boyunda tek katlı elek açıklığında oluşan ASPP hata uyarıları.

9.Senaryo: Çift katlı elek alt çıkış 40 mm ayırma boyunda olması halinde elde edilen sonuçlar.

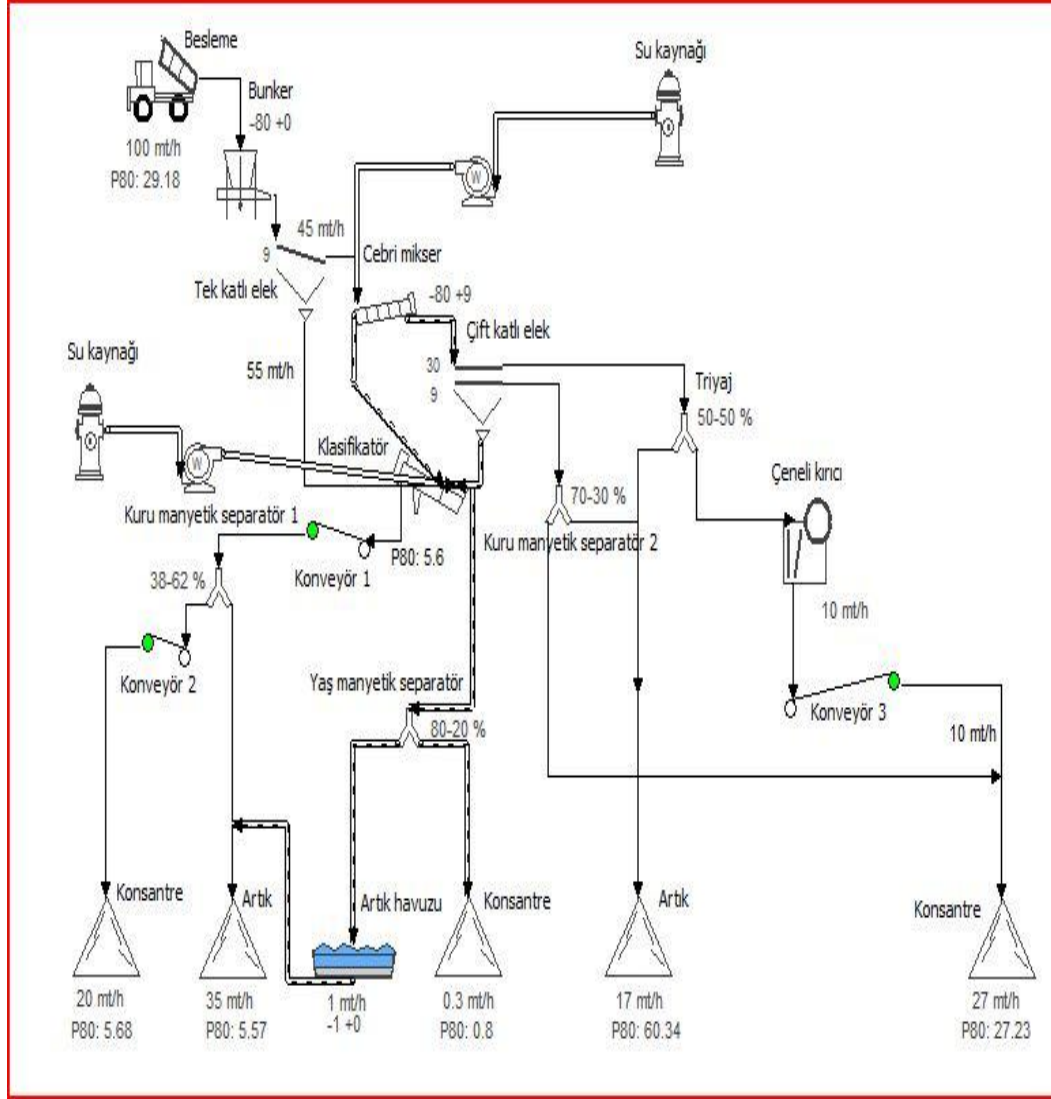
Çift katlı elek açıklığı 40 mm'ye ayarlandığında, klasifikatör, 1 ve 2 nolu konveyörlerde hata oluşmaktadır(Şekil 3.12). Ek 26'da görüldüğü üzere, Kolberg single 5072-35 tip klasifikatörün 9.53 mm'den daha iri cevherle çalıştırılması uygun değildir. Burada ASPP'nin klasifikatöre beslenen cevherin 9.53 mm'nin altında olacak şekilde bir kırma - elemeye tabi tutulması halinde sorun giderilmiş olur ve tesis hata ve uyarı vermeden çalışır. 1 ve 2 nolu konveyör kapasiteleri % 52.4 aşıldığı ASPP çıktısı ile saptanmıştır (Ek 27 ve Ek 28). ASPP'nin sorunlara ait çözüm önerisi doğrultusunda besleme miktarına uygun 1 ve 2 nolu konveyör kapasiteleri, ayarları ve seçimleri yapıldığı takdirde tesis düzgün ve hatasız çalışacaktır.



Şekil 3.12 Çift katlı elek açıklığı değişimi ile oluşan ASPP hata uyarıları.

10.Senaryo: Triyajda artık ve konsantre miktarları % 50-50 olması halinde elde edilen sonuçlar.

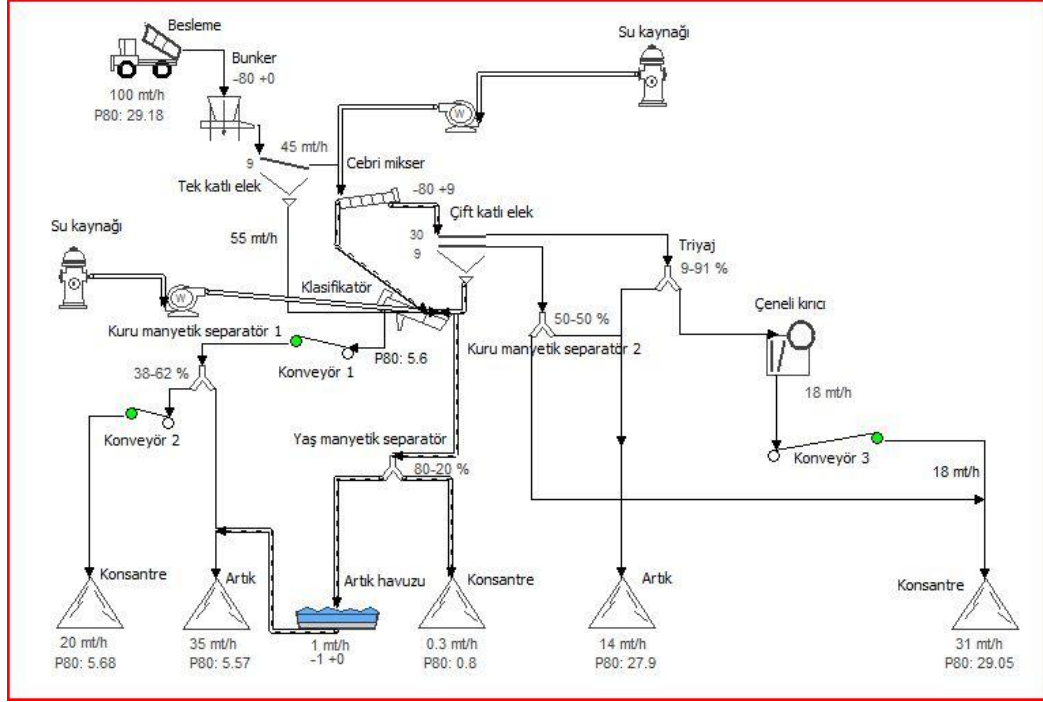
Besleme kapasitesi ve elek açıklıklarından sonra tesiste uygulanan diğer bir değişken ise triyajdaki konsantre (k), artık (a) yüzdelerinin değiştirilmesidir. Yukarıda verilen tüm tesis uygulamalarında k ve a, % 91 ve 9 olarak alınmıştır. Tesise 100 t/s besleme yapılması durumunda, artık ve konsantre triyaj oranlarının da eşit olması halinde, ASPP hata uyarısı vermemektedir (Şekil 3.13).



Şekil 3.13. Triyajla zenginleştirmede artık ve konsantre % 50-50 ile oluşan ASPP hata uyarıları.

11.Senaryo: 2 nolu kuru manyetik seperatörden alınan k ve a yüzdelerinin değiştirilmesi ile elde edilen sonuçlar.

Diğer bir değişken ise, 100 t/s cevher besleme koşullarında, 2 nolu kuru manyetik seperatörden alınan k ve a yüzdelerinin değiştirilmesidir. Konsantre ve artık yüzdeleri eşit olarak (%50-50) alındığı kabul edildiğinde ASPP'nin hatasız çalıştığı görülmektedir (Şekil 3.14).



Şekil 3.14 Referans ve % 50 artık, % 50 konsantre koşullarında oluşan ASPP çıktısı.

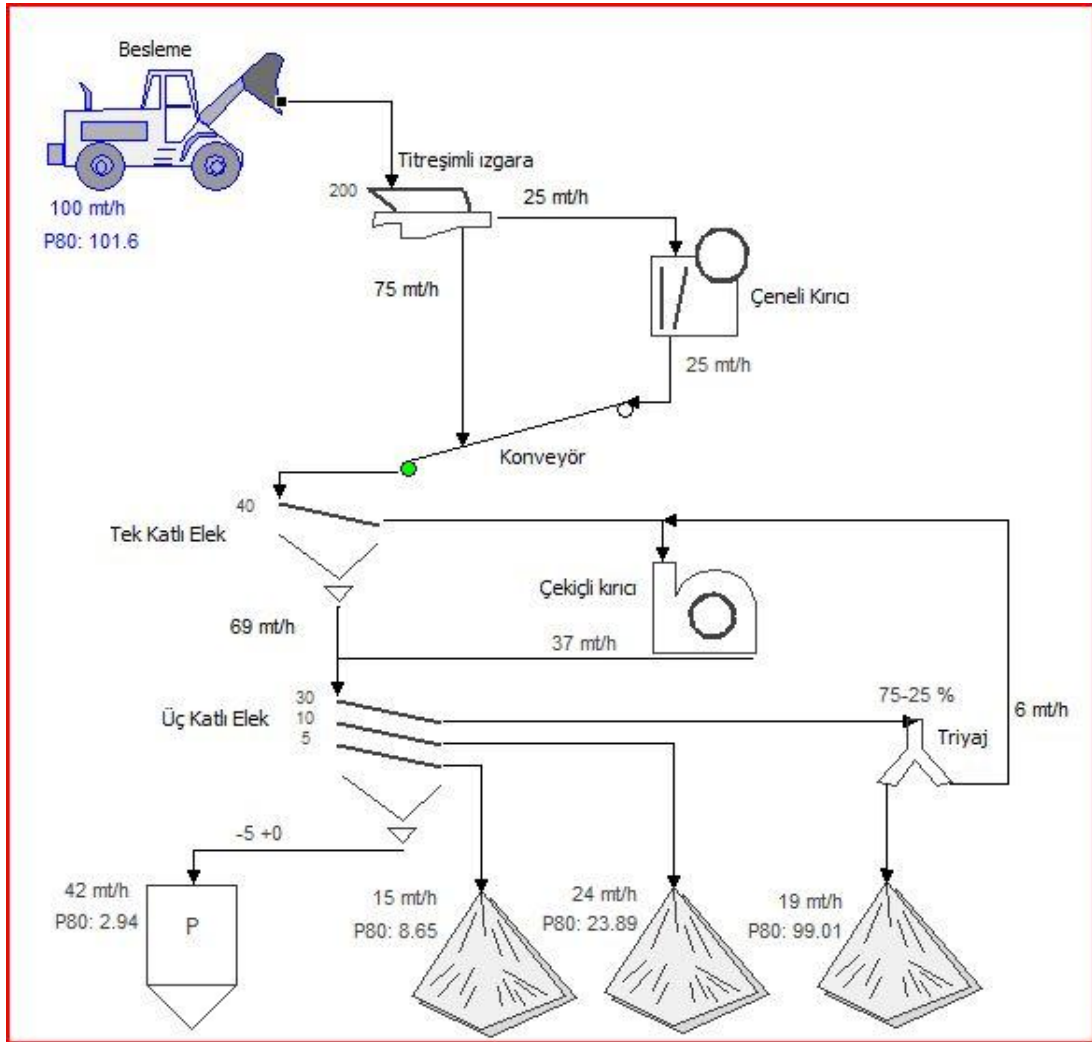
Genel olarak tesiste hata veren makine ve ekipmana ait parametreler aşama aşama yeniden yapılandırılarak ASPP'nin hata uyarısı vermeden çalışması sağlanır. Simülasyon yönteminin cevher hazırlama tesislerinde kullanılması ile alınması gerekli önlemler ve doğru cihaz seçimi konusunda hızlı karar verilmesiyle zaman ve ekonomi açısından tasarruf sağlanacağı bu örneklerden açıkça anlaşılmaktadır.

3.2 ASPP ile Agrega Hazırlama Uygulaması

3.2.1 Agrega Hazırlama Tesisi Akım Şeması Çalışma Prensipli

Şekil 3.15'te kaynaklardan (Drew ve Roberts, 2002; Köse, 2010) yararlanarak modifiye ederek geliştirdiğimiz akım şemasında; 100 mm'den iri kalker agrega titreşimli ızgaradan çeneli kırıcıya beslenerek kırılır ve titreşimli ızgara altı ürünle birlikte tek katlı eleğe beslenir. Tek katlı eleğin üstü çekiçli kırıcıya beslenir. Çekiçli kırıcıda kırılan ürün ve tek katlı eleğin altı üç katlı eleğe beslenir. Üç katlı eleğin üstü triyaj yapılır. Çok iri malzeme çekiçli kırıcıya gönderilir. +30 mm'lik bir ürün yığını elde edilir. Ayrıca, -30 +10 mm ve -10 +5 mm'lik ürünler elde edilir. -5 mm'lik ürün

nihai ürün silosunda toplanır. Genel olarak 5 mm'nin altındaki ürün ince agrega ve 5 mm'nin üstündeki ürünler ise iri agrega olarak değerlendirilir. Agrega tesisinden elde edilen tüm ürünler ekonomik değer taşır. Kırmataş sanayi, madencilik sektöründe katma değeri çok yüksek ve önemli bir yere sahiptir. Şekil 3.15'deki besleme koşulları referans koşul (R) olarak adlandırılmıştır.

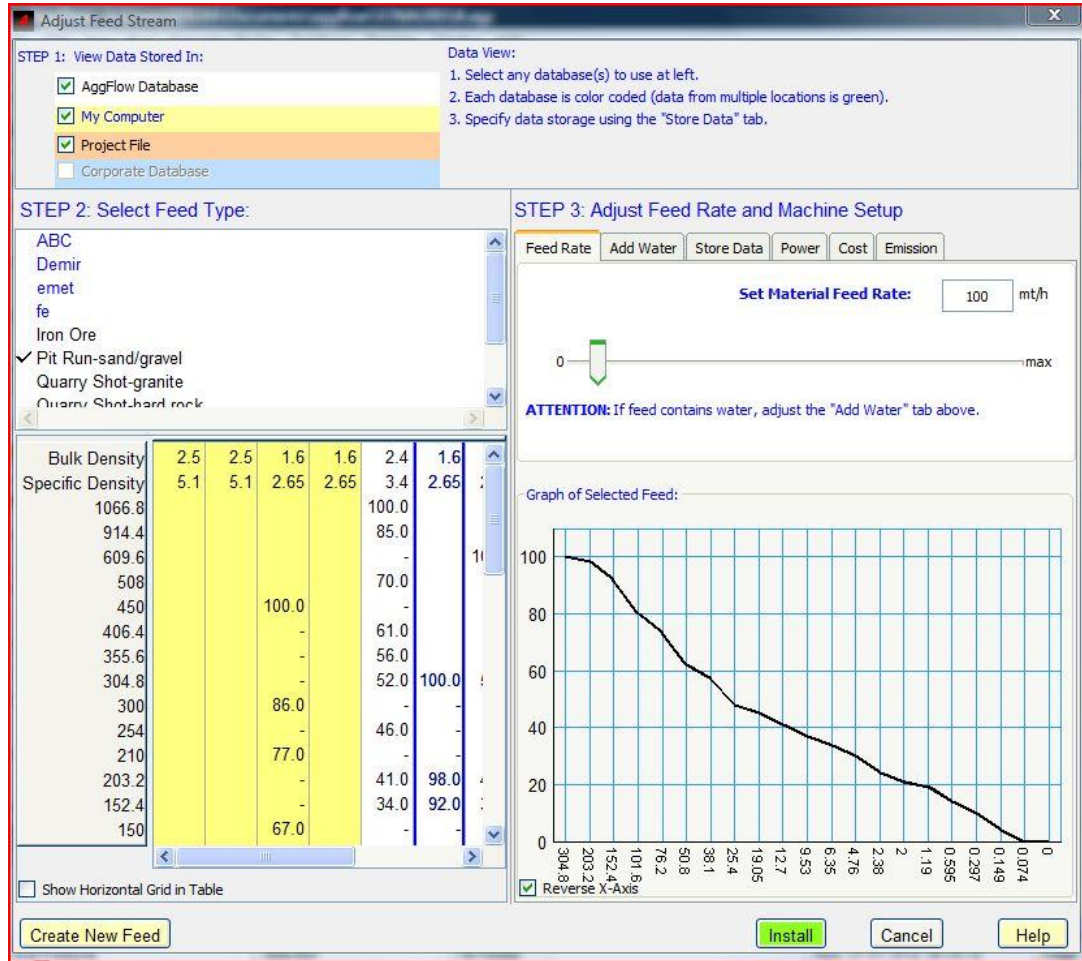


Şekil 3.15 Agrega tesisi akım şeması referans koşul.

Aggflow simülasyon paket programı(ASPP) ile çizilen akım şeması üzerinde farklı senaryolar planlanarak tesis çalışma koşulları incelenmiştir. Aşağıda ASPP ile yapılan farklı senaryolara göre program çıktıları alınarak sonuçlar ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

12.Senaryo: Tesise referans koşul 100 t/s agrega beslenmesi durumunda elde edilen sonuçlar.

ASPP ile akım şeması çizilen agrega hazırlama tesisine 100 t/s beslenerek yapılan çalışmada; tesis hata uyarısı alınmadan çalışmaktadır (Şekil 3.15). Agregaya ait besleme ile ilgili özellikler ASPP ara yüzey görüntüsü Şekil 3.16'da verilmiştir.

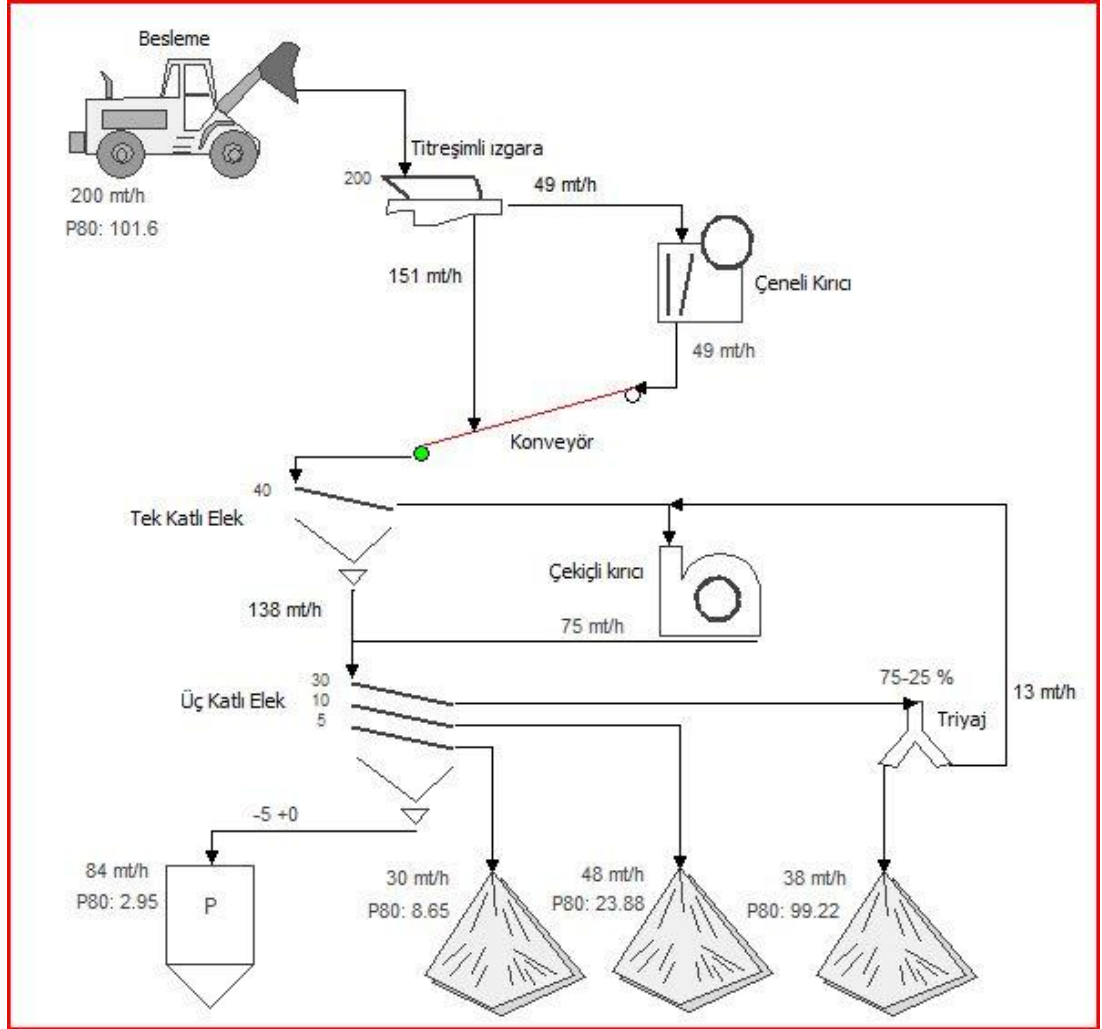


Şekil 3.16 BM elek altı ASPP ara yüzey görüntüsü besleme 100 t/s.

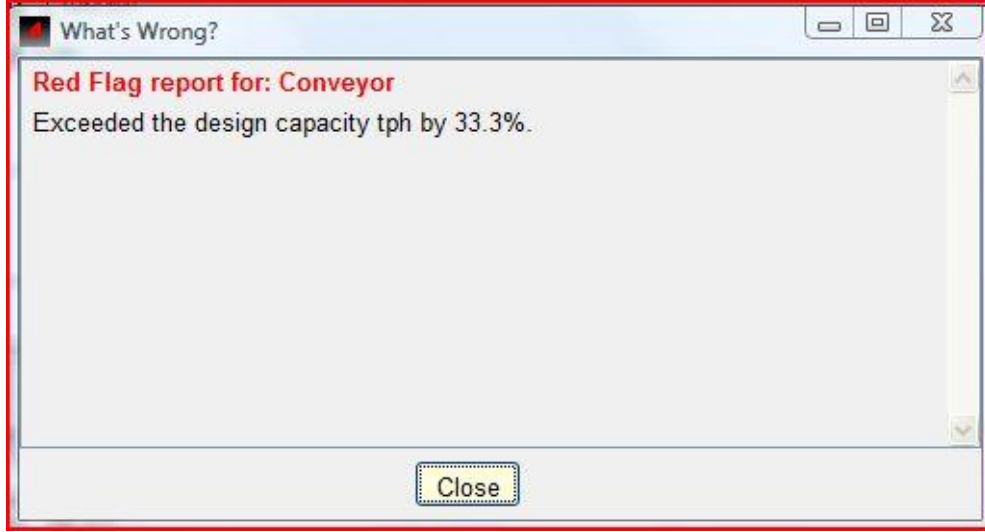
13.Senaryo: Tesise 200 t/s agrega beslenmesi durumunda elde edilen sonuçlar.

Besleme miktarı 100 t/s'tan 200 t/s'e çıkarıldığında, konveyör kapasitesi yetersiz kalmakta ve Şekil 3.17'de görüldüğü üzere programda hata uyarısı verilmektedir. Konveyörde kapasitenin yetersiz kaldığı ve % 33.3 oranında kapasite aşımı olduğu tespit edilmiştir (Şekil 3.18). ASPP, konveyör kapasitesinin % 33.3 ve üzerinde

ayarlanmasını öngörmektedir. Öngörüye uygun olarak konveyör seçiminin yapılması halinde ASPP hata uyarısı vermeyecektir.



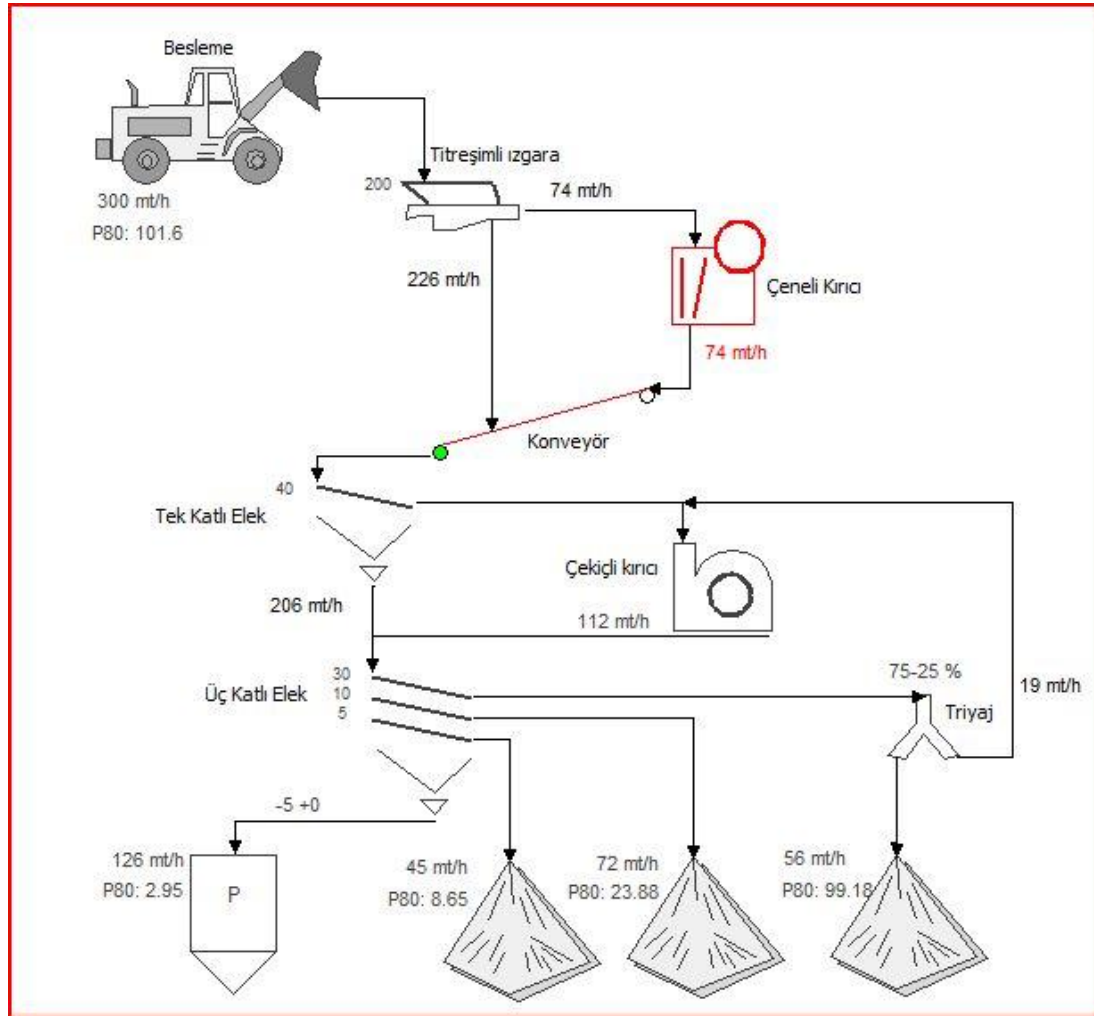
Şekil 3.17 200 t/s besleme kapasitesinde oluşan ASPP hata uyarıları.



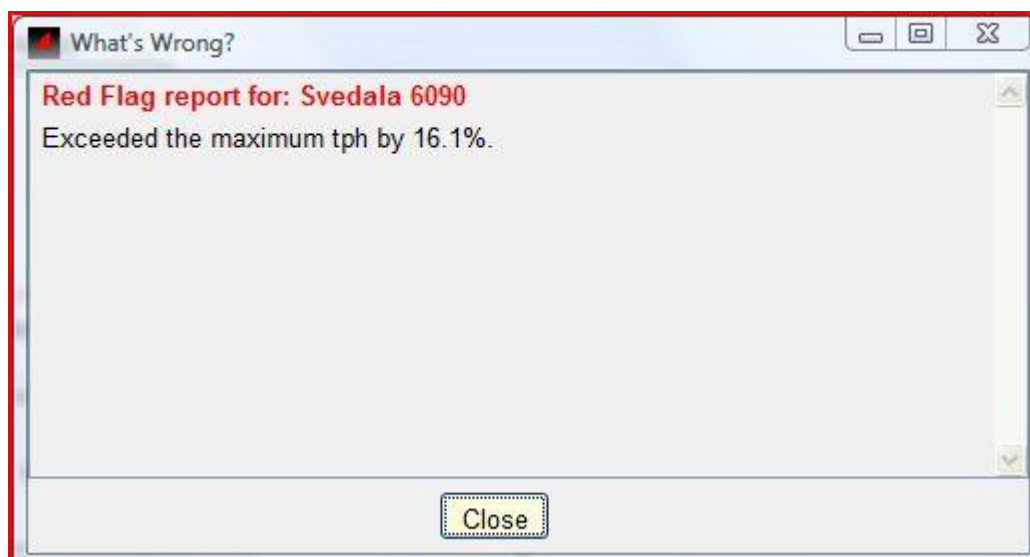
Şekil 3.18 200 t/s beslemede konveyörde oluşan ASPP hatası ve çözüm uyarısı.

14.Senaryo: Tesise 300 t/s agrega beslenmesi durumunda elde edilen sonuçlar.

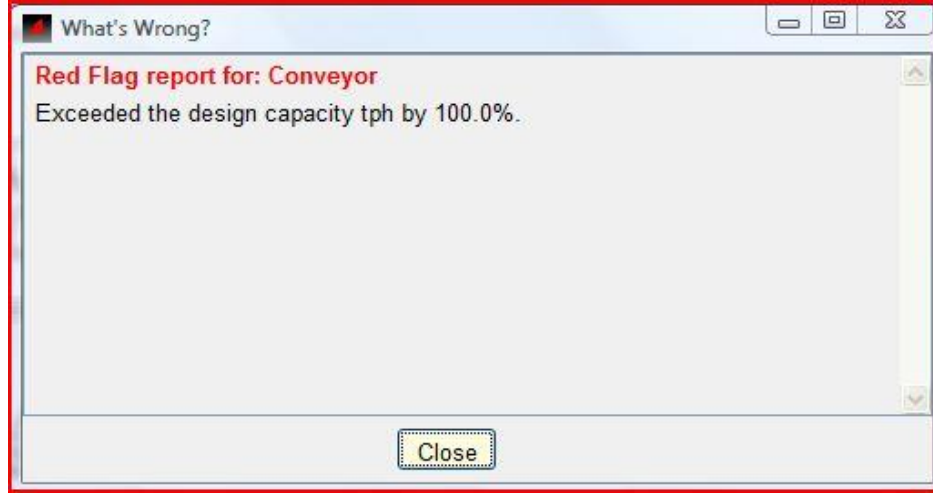
Besleme miktarı 100 t/s'tan 300 t/s'e çıkarıldığında, çeneli kırıcı ve konveyör kapasiteleri yetersiz kalmakta ve Şekil 3.19'da görüldüğü üzere programda hata uyarısı verilmektedir. Svedala 6090 tip çeneli kırıcıda kapasite % 16.1 aşıldığı saptanmıştır (Şekil 3.20). Konveyör kapasitesinin yetersiz kaldığı ve % 100 oranında kapasite aşımı olduğu tespit edilmiştir (Şekil 3.21). ASPP'ye göre konveyör kapasitesinin % 100 ve Svedala tip çeneli kırıcının kapasitesi % 16.1'in üzerinde seçilmesini öngörmektedir. Öngörüye uygun olarak çeneli kırıcı ve konveyör kapasitelerinin seçilmesi durumunda ASPP hata uyarısı vermeyecektir.



Şekil 3.19 300 t/s besleme kapasitesinde oluşan ASPP hata uyarıları.



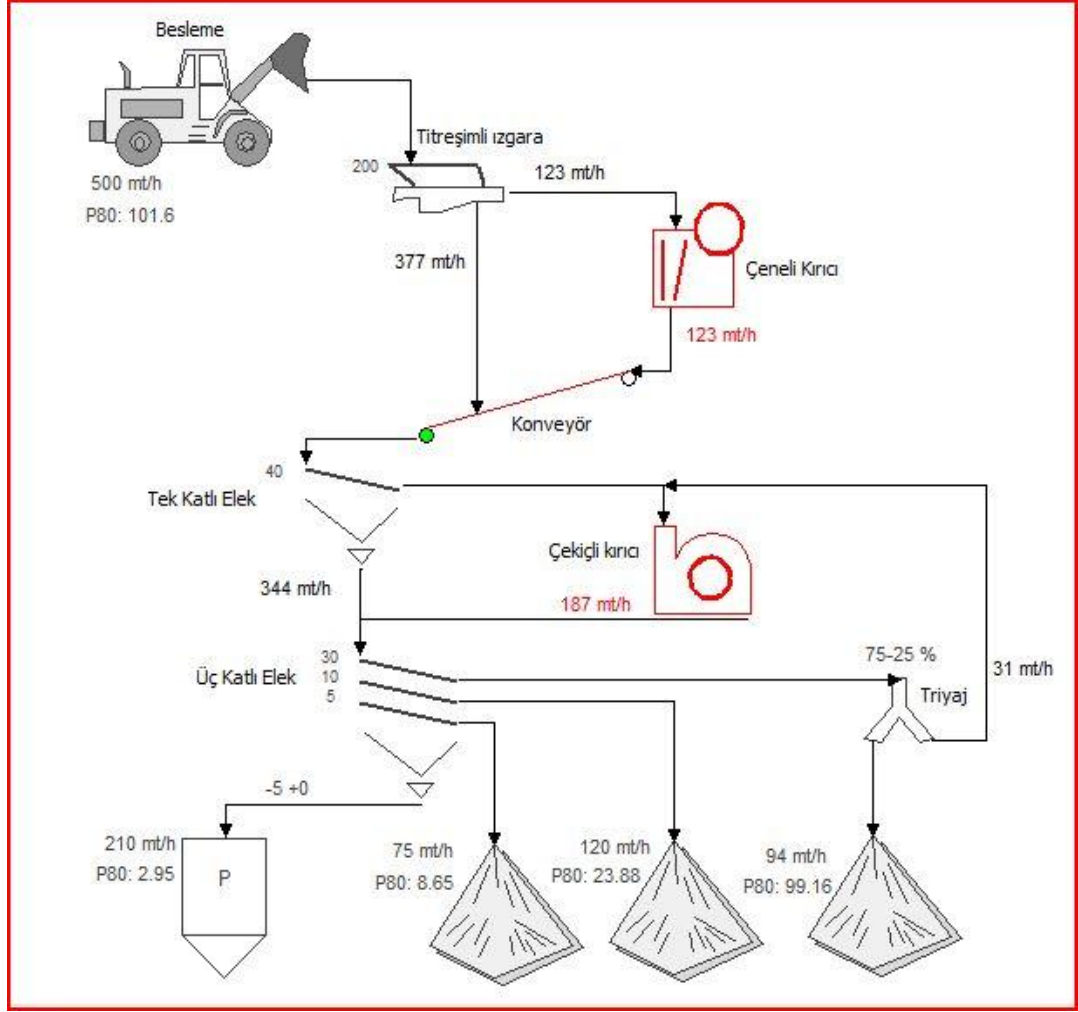
Şekil 3.20 300 t/s beslemede çeneli kırıcıda oluşan ASPP hatası ve çözüm uyarısı.



Şekil 3.21 300 t/s beslemede konveyörde oluşan ASPP hatası ve çözüm uyarısı.

15.Senaryo: Tesise 500 t/s agrega beslenmesi durumunda elde edilen sonuçlar.

Besleme miktarı 100 t/s'tan 500 t/s'e çıkarıldığında, çeneli kırıcı, konveyör ve çekiçli kırıcı kapasiteleri yetersiz kalmakta ve Şekil 3.22'de görüldüğü üzere programda hata uyarısı verilmektedir. Kapasite aşımı sırasıyla; Svedala 6090 model çeneli kırıcıda % 93.5, konveyörde % 233.3 ve Generic Hammermill tip çekiçli kırıcıda % 25 oranında olduğu saptanmıştır (Ek 29, Ek 30 ve Ek 31). ASPP göre Svedala 6090 model çeneli kırıcı kapasitesinin % 93.5, konveyör kapasitesinin % 233.3 ve Generic Hammermill tip çekiçli kırıcının kapasitesinin % 25'in üzerinde seçilmesini öngörmektedir. Öngörüye uygun olarak çeneli kırıcı, konveyör ve çekiçli kırıcı kapasitelerinin seçilmesi durumunda ASPP hata uyarısı vermeyecektir.

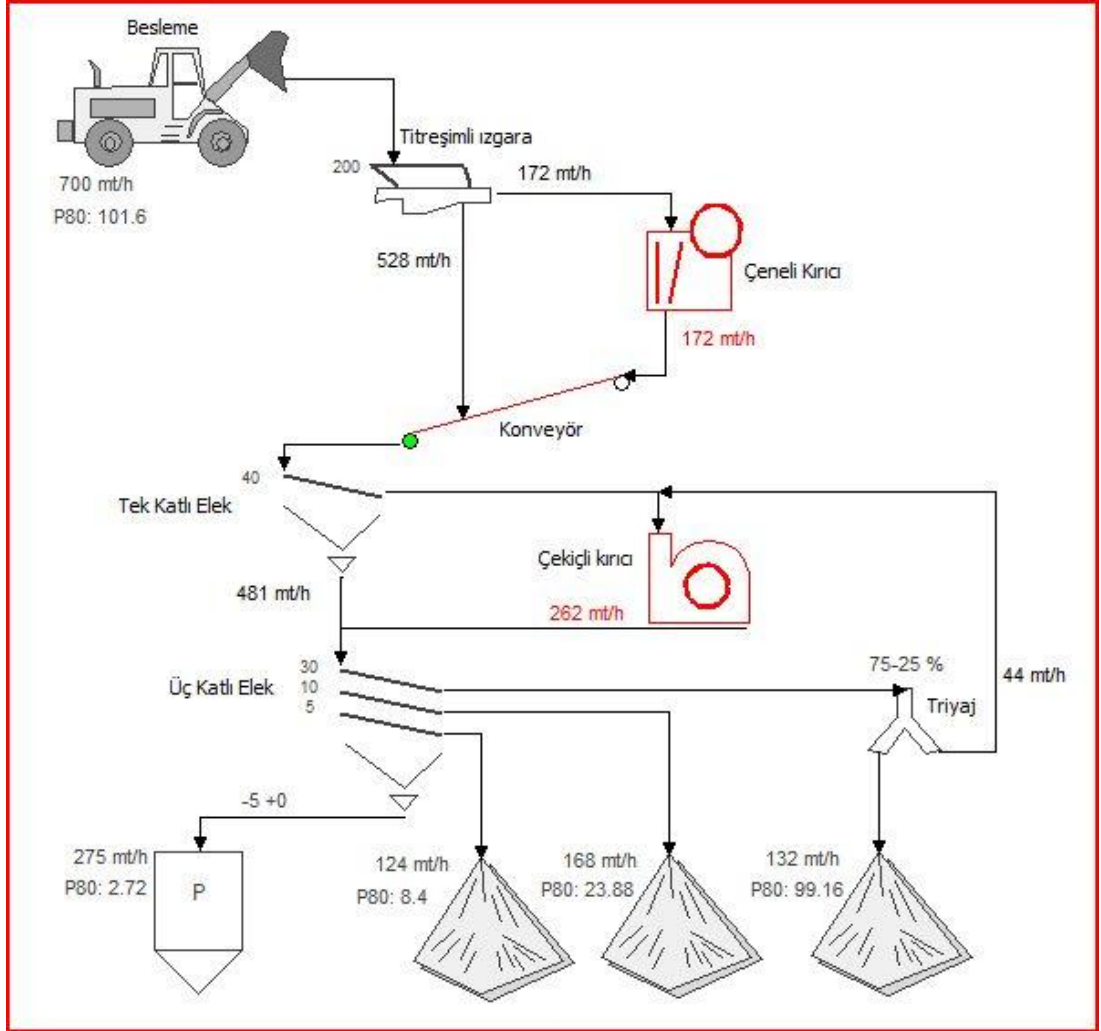


Şekil 3.22 500 t/s besleme kapasitesinde oluşan ASPP hata uyarıları.

16.Senaryo: Tesise 700 t/s tüvenan agrega beslenmesi durumunda elde edilen sonuçlar.

Besleme miktarı 100 t/s'tan 700 t/s'e çıkarıldığında, çeneli kırıcı, konveyör ve çekiçli kırıcı kapasiteleri yetersiz kalmakta ve Şekil 3.23'te görüldüğü üzere programda hata uyarısı verilmektedir. Kapasite aşımı sırasıyla; Svedala 6090 model çeneli kırıcıda % 170.9, konveyörde % 366.7 ve Generic Hammermill model çekiçli kırıcıda % 75 oranında olduğu saptanmıştır (Ek 32, Ek 33 ve Ek 34). ASPP göre cihaz kapasitelerinin sırasıyla; Svedala 6090 model çeneli kırıcı % 170.9, konveyörün % 366.7 ve Generic Hammermill model çekiçli kırıcının % 75'in üzerinde seçilmesini öngörmektedir. Öngörüye uygun olarak çeneli kırıcı, konveyör

ve çekiçli kırıcı kapasitelerinin seçilmesi durumunda ASPP hata uyarısı vermeyecektir.

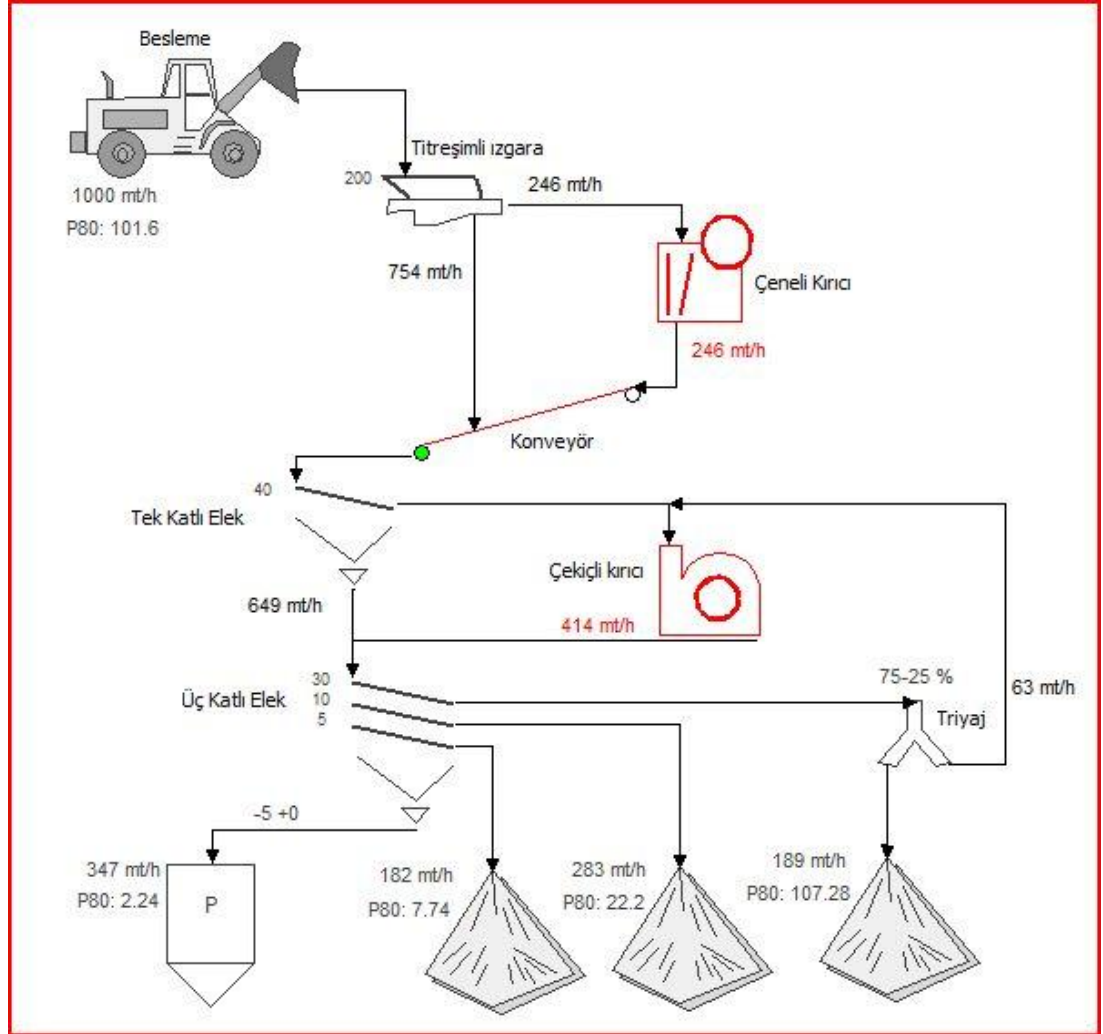


Şekil 3.23 700 t/s besleme kapasitesinde oluşan ASPP hata uyarıları.

17.Senaryo: Tesise 1000 t/s tüvenan agrega beslenmesi durumunda elde edilen sonuçlar.

Besleme miktarı 100 t/s'tan 1000 t/s'e çıkarıldığında, çeneli kırıcı, konveyör ve çekiçli kırıcı kapasiteleri yetersiz kalmakta ve Şekil 3.24'te görüldüğü üzere programda hata uyarısı verilmektedir. ASPP çıktıklarına göre kapasite aşımı sırasıyla; Svedala 6090 model çeneli kırıcıda % 287, konveyörde % 566.7 ve Generic Hammermill model çekiçli kırıcıda % 176.2 oranında olduğu saptanmıştır (Ek 35, Ek

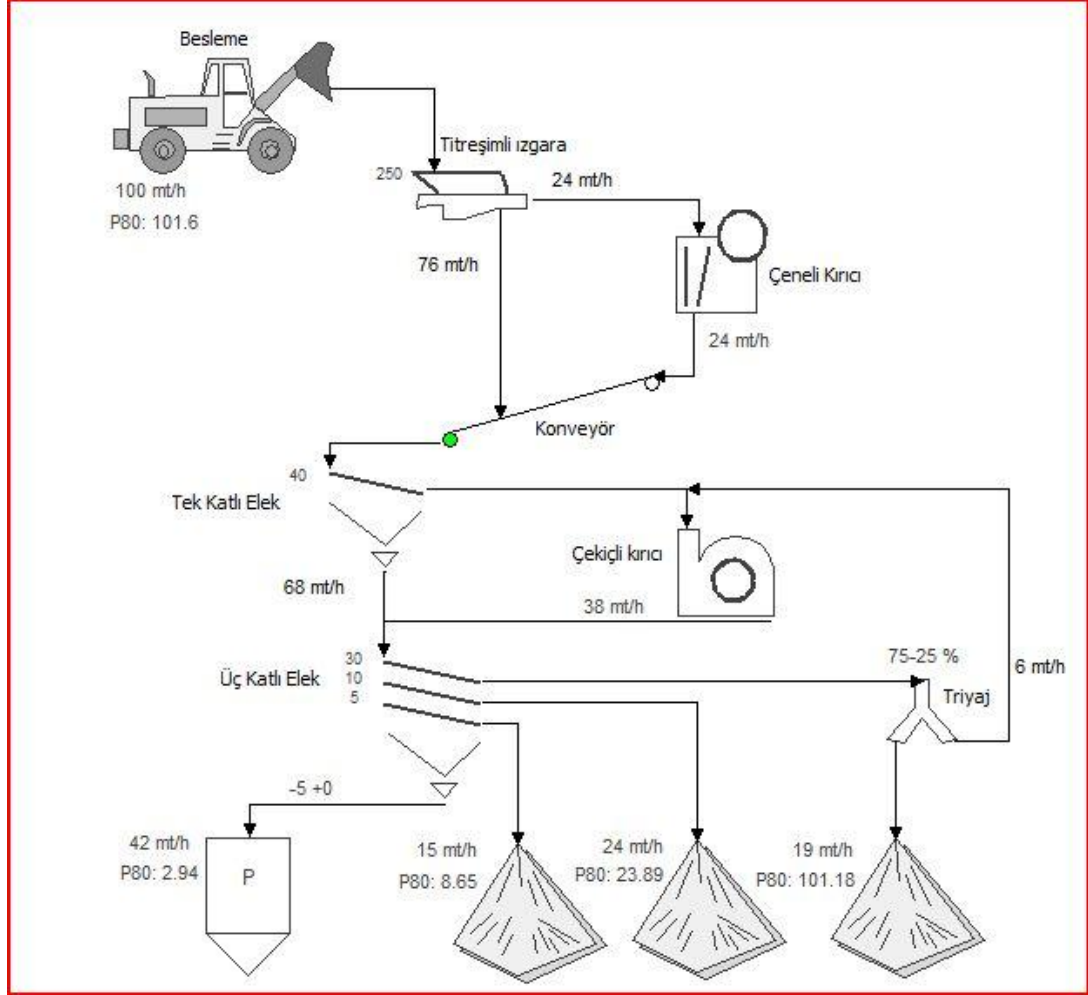
36 ve Ek 37). ASPP'na göre cihaz kapasitelerinin sırasıyla; Svedala 6090 model çeneli kırıcı % 287, konveyörün % 566.7 ve Generic Hammermill model çeneli kırıcının % 176.2'in üzerinde seçilmesini öngörmektedir. Öngörüye uygun olarak çeneli kırıcı, konveyör ve çeneli kırıcı kapasitelerinin tesis çalışma koşullarına göre uygun seçilmesi durumunda ASPP hata uyarısı vermeyecektir.



Şekil 3.24 1000 t/s besleme kapasitesinde oluşan ASPP hata uyarıları.

18.Senaryo: Titreşimli ızgara açıklığı 250 mm'ye ayarlanması halinde elde edilen sonuçlar.

100 t/s besleme yapılarak sadece titreşimli ızgara açıklığı 250 mm'ye ayarlandığı durumda tesiste ASPP'na göre hata oluşmamaktadır (Şekil 3.25).

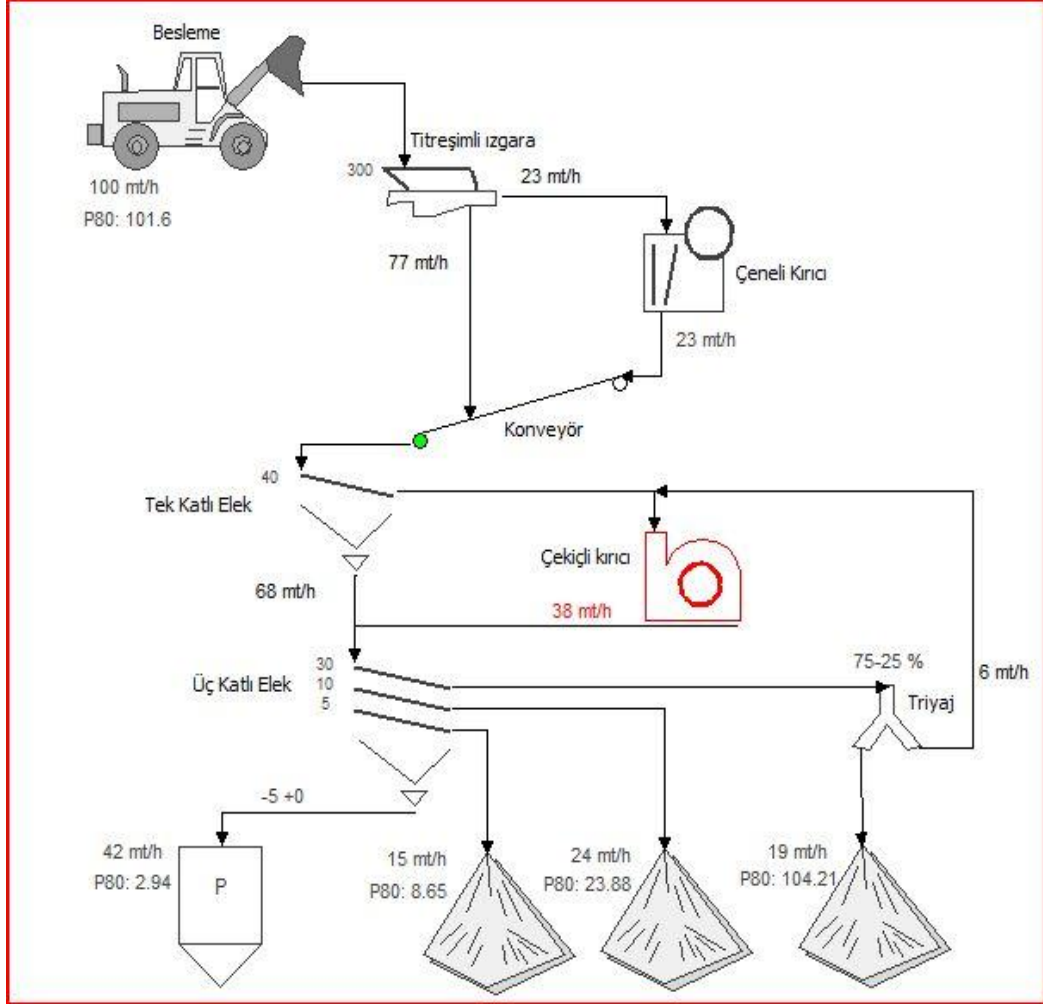


Şekil 3.25 100 t/s beslemede titreşimli ızgara açıklığı 250 mm de oluşan ASPP hata uyarıları.

19.Senaryo: Titreşimli ızgara açıklığı 300 mm'ye ayarlanması halinde elde edilen sonuçlar.

100 t/s besleme yapılarak sadece titreşimli ızgara açıklığı 300 mm'ye ayarlandığı durumda tesiste ASPP'na göre hata oluşmaktadır (Şekil 3.26). Generic Hammermill model çekiçli kırıcıya 300 mm boyutunda agrega beslenmesi durumunda ASPP göre hata oluşmaktadır. Çekiçli kırıcı maksimum besleme boyutu 250 mm olmasından

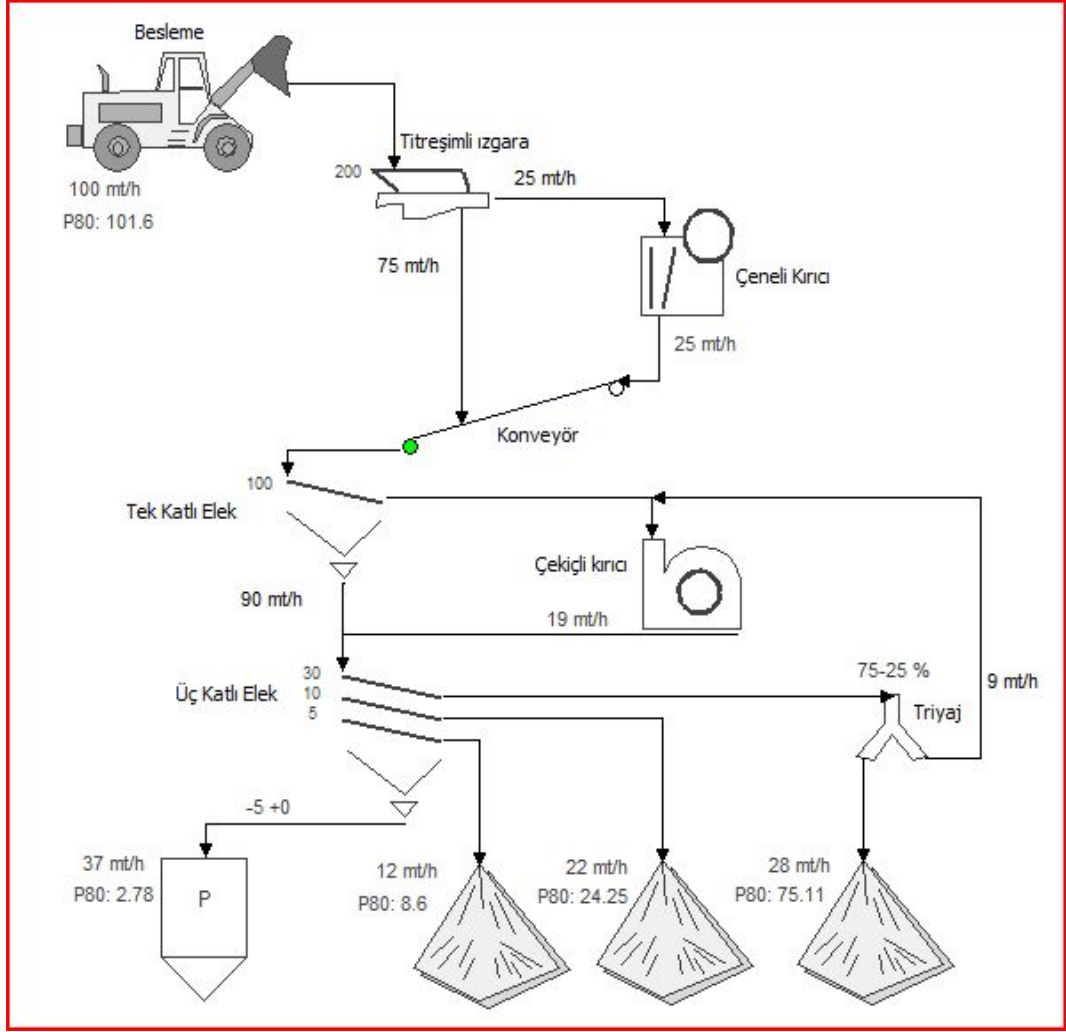
dolayı tesiste 300 mm boyuta uygun bir konik kırıcı seçimi yapılması halinde tesis çalışacaktır (Ek 38).



Şekil 3.26 100 t/s beslemede titreşimli ızgara açıklığı 300 mm de oluşan ASPP hata uyarıları.

20.Senaryo: Tek katlı elek açıklığı 100 mm ayırma boyunda olması halinde elde edilen sonuçlar.

100 t/s besleme yapılarak sadece tek katlı elek açıklığı 100 mm'ye ayarlandığı durumda tesiste ASPP hatası görülmemektedir (Şekil 3.27).



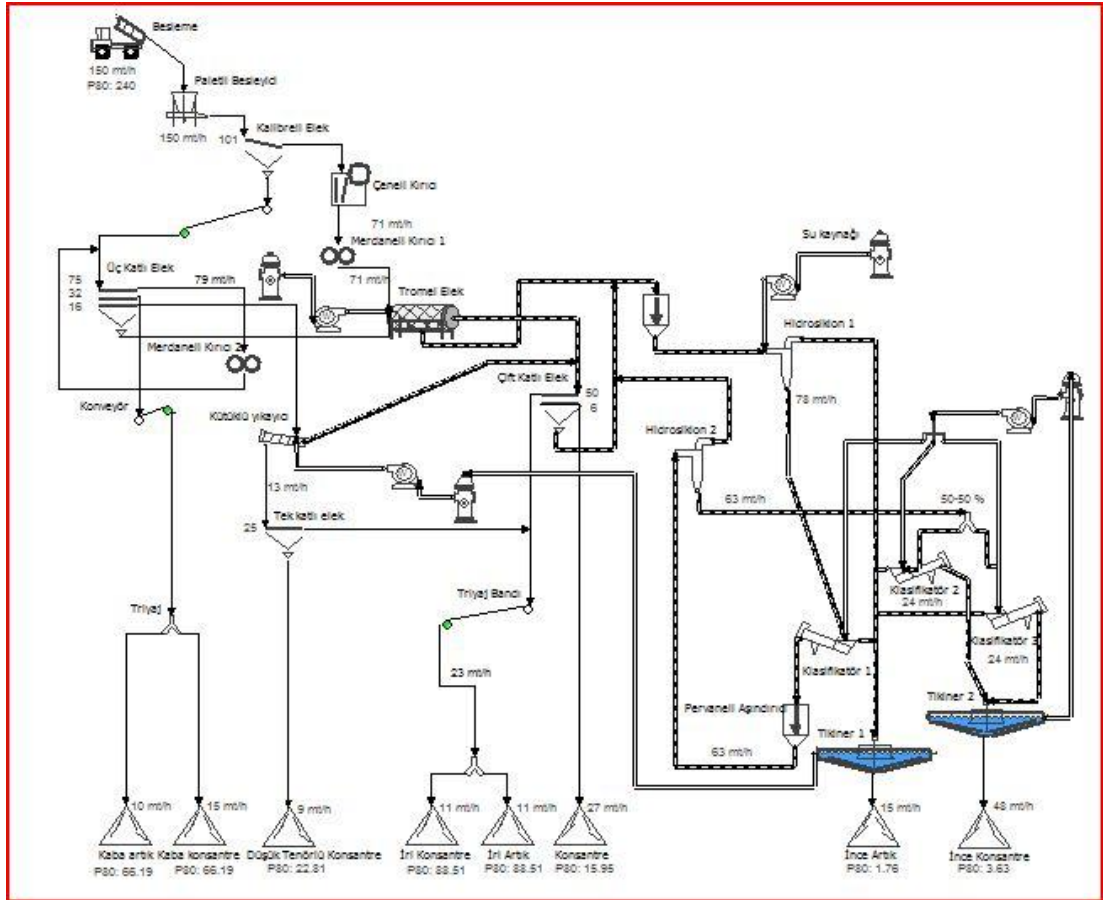
Şekil 3.27 100 t/s beslemede tek katlı elek açıklığı 100 mm de oluşan ASPP hata uyarıları.

3.3 ASPP ile Bor Cevheri Zenginleştirme Uygulaması

3.3.1 Bor Cevheri Zenginleştirme Tesisi Akım Şeması Çalışma Prensipleri

Simülasyon çalışmamızda modifiye edilerek geliştirilen bor tesisi akım şeması Şekil 3.28’de verilmektedir. Tüvenan cevher (kolemanit) paletli besleyici vasıtasıyla kalibreli eleğe beslenir. - 101 mm.’ye elenir. -101 mm.’lik cevher üç katlı elek ile elenir ve eleğin üstü +75 mm merdaneli kırıcı 2’de kırılır ve kütüklü yıkayıcıya beslenir. Elekten alınan -75 +32 mm’lik kısmı triyaj ile zenginleştirilerek kaba artık ve kaba konsantre olarak alınır. -32 +16 mm’lik kısmı ise kütüklü yıkayıcıya beslenir. -16 mm’lik cevher tromel eleğe sevk edilir. + 101 mm kalibreli elek üstü, çeneli kırıcıda -200 mm’ye kırıldıktan sonra merdaneli kırıcı 2’ye beslenir ve -100

mm'ye kırılır. -100 mm' ye kırılmış cevher tromel elekte yıkanıp çift katlı eleğe beslenir. - 100 + 50 mm tane sınıfındaki cevher triyajı tabi tutulur. Triyaj ile iri konsantre ve iri artık elde edilir. -50 +6 mm arası konsantre olarak alınır. - 6 mm elek çıkışı ile tromel eleğin çıkışı birleştirilerek hidrosiklon 1'e beslenir. Hidrosiklon 1 üst akımı tikiner 1'e beslenerek ince artık olarak alınır. Hidrosiklon 1 alt akımı klasifikatör 1'e beslenir. Klasifikatör 1 geri dönüş yükü pervaneli karıştırıcıya aşındırmak üzere beslenir. Buradan da hidrosiklon 2'ye beslenir. Hidrosiklon 2 alt akımı klasifikatör 2 ve klasifikatör 3'e eşit oranda olacak şekilde beslenir. Hidrosiklon 2 üst akımı hidrosiklon 1'e beslenir. Klasifikatör 1, klasifikatör 2 ve klasifikatör 3 taşıyan tikiner 1'e sevk edilerek buradan da ince artık olarak alınır. Şekil 3.28'deki besleme koşulları referans koşul (R) olarak adlandırılmıştır (Özkan ve Yersel, 1994).

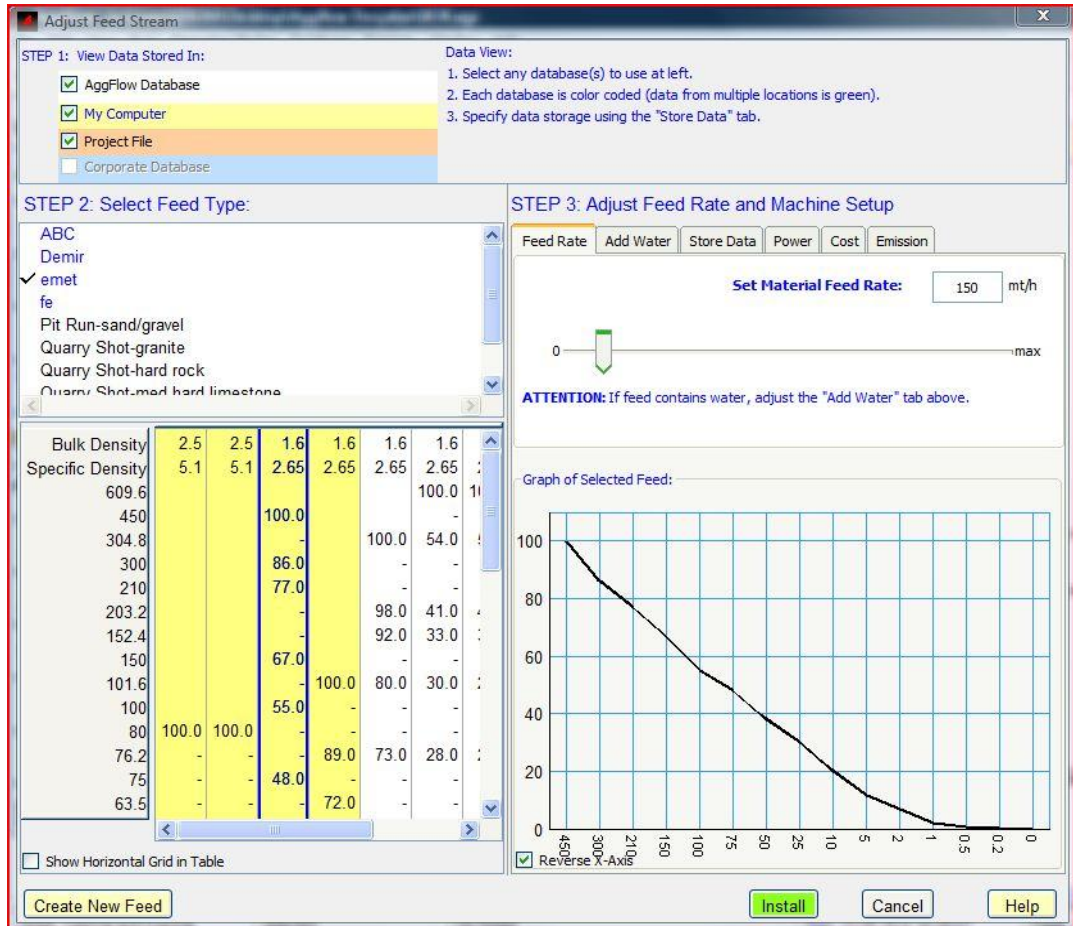


Şekil 3.28 150 t/s kapasiteli bor cevheri zenginleştirme tesisi akım şeması referans koşul.

Aggflow Simülasyon Paket Programı (ASPP) ile akım şeması çizilen bor tesisi üzerinde farklı senaryolar planlanarak tesis çalışma koşulları incelenmiştir. Aşağıda ASPP ile yapılan farklı senaryolara göre program çıktıları alınarak sonuçlar ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

21.Senaryo: Tesise 150 t/s bor cevheri beslenmesi halinde elde edilen sonuçlar.

ASPP ile akım şeması çizilen bor cevheri zenginleştirme tesisine 150 t/s cevher beslenerek yapılan çalışmada; tesis hata uyarısı alınmadan çalışmaktadır (Şekil 3.28). Cevhere ait besleme ile ilgili özellikler ASPP ara yüzey görüntüsü Şekil 3.29'da verilmiştir.

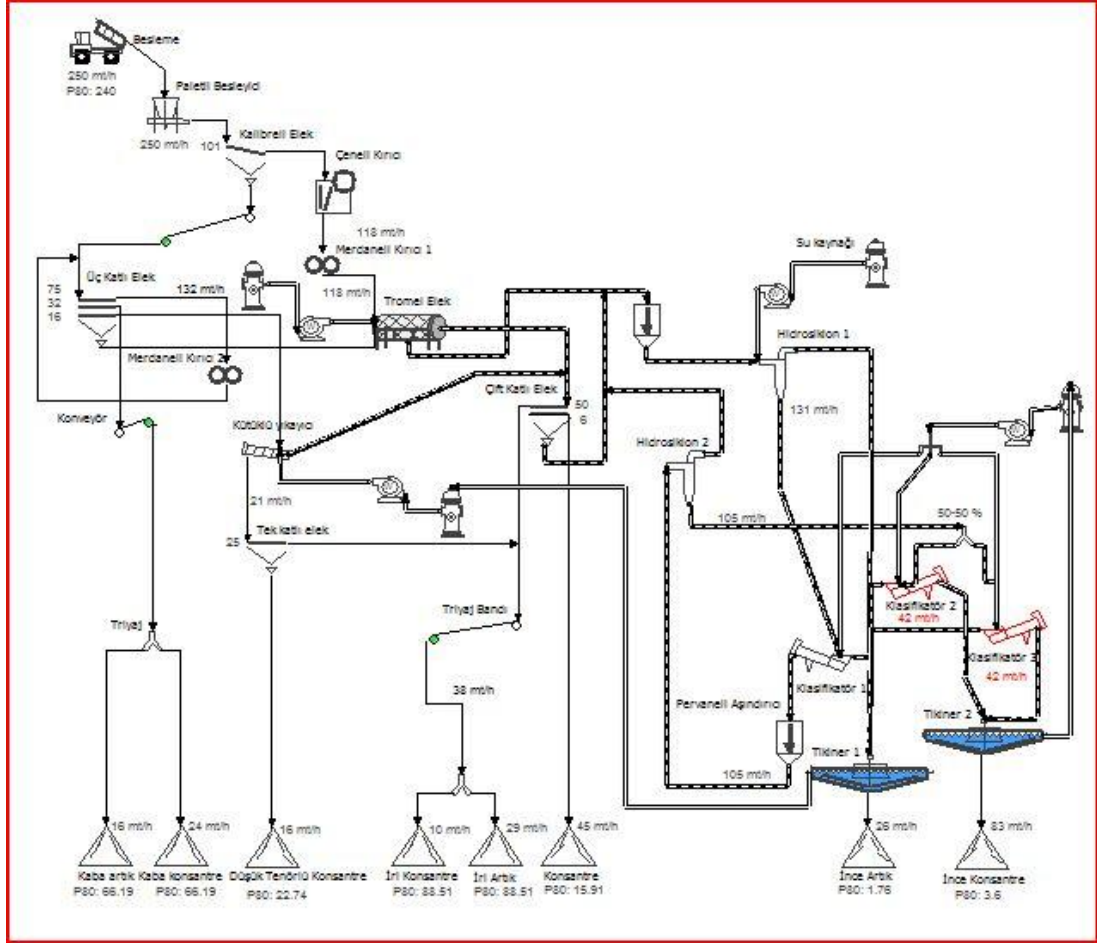


Şekil 3.29 BM elek altı ASPP ara yüzey görüntüsü besleme 150 t/s.

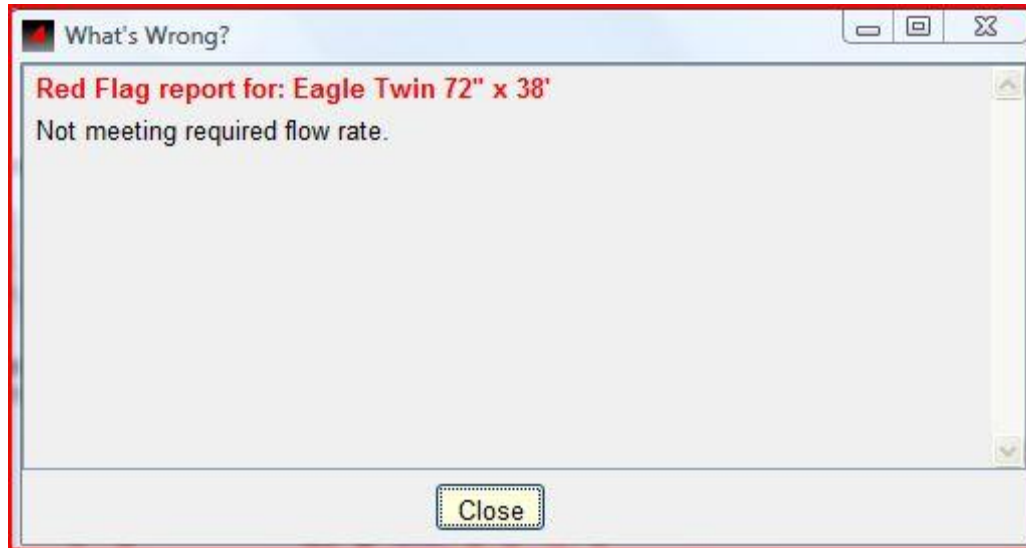
Tesiste besleme miktarı, elek açıklıkları, konveyör kapasiteleri, triyaj oranları, kırıcı giriş ve çıkış ayarları, hidrosiklon ayarları gibi farklı parametrelere ait değerler değiştirilerek tesisin çalışabilirliği test edilmiştir. Her bir parametreye ait farklı değerler de ayrıca denenmiştir. Oluşturulan tesis kombinasyonu için ASPP çıktıları yardımıyla tesisin hata uyarıları değerlendirilerek çözüm önerileri sunulmuştur. Söz konusu bor cevherine ait farklı parametreler yardımıyla çok sayıdaki değişkenden oluşan ASPP çıktıları aşağıda verilmiştir.

22.Senaryo: Tesise 250 t/s bor cevheri beslenmesi halinde elde edilen sonuçlar.

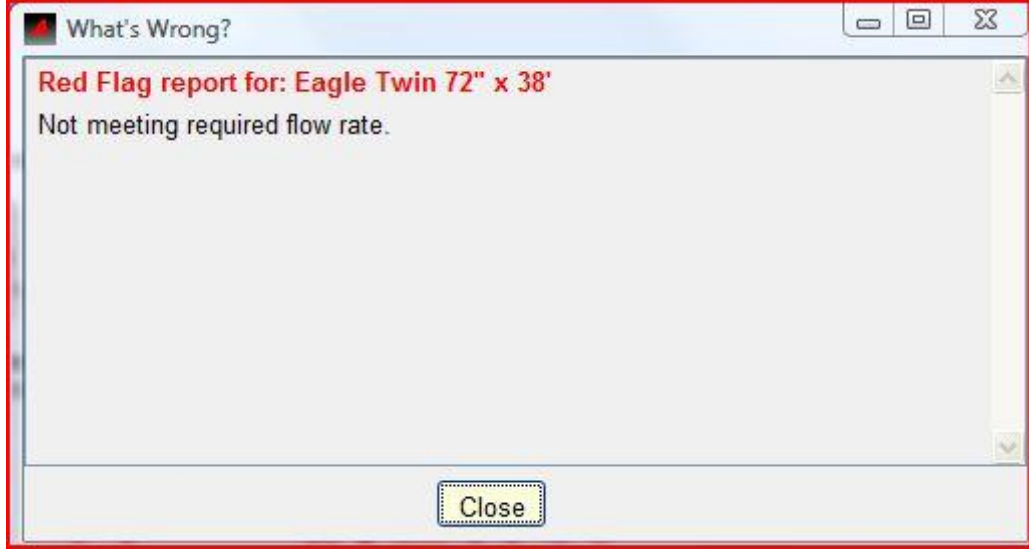
Besleme miktarı 150 t/s'tan 250 t/s'e çıkarıldığında, 2 ve 3 nolu klasifikatör kapasiteleri yetersiz kalmakta ve Şekil 3.30'da görüldüğü üzere programda hata uyarısı verilmektedir. 2 ve 3 nolu Eagle Twin 72"x38' klasifikatörlerde kapasitenin yetersiz kaldığı tespit edilmiştir (Şekil 3.31 ve Şekil 3.32). ASPP, 2 ve 3 nolu klasifikatör kapasitesinin öngörüye uygun olarak seçiminin yapılması veya gerekli miktarda sisteme paralel klasifikatör ilavesi halinde ASPP hata uyarısı vermeyecektir.



Şekil 3.30 250 t/s besleme kapasitesinde oluşan ASPP hata uyarıları



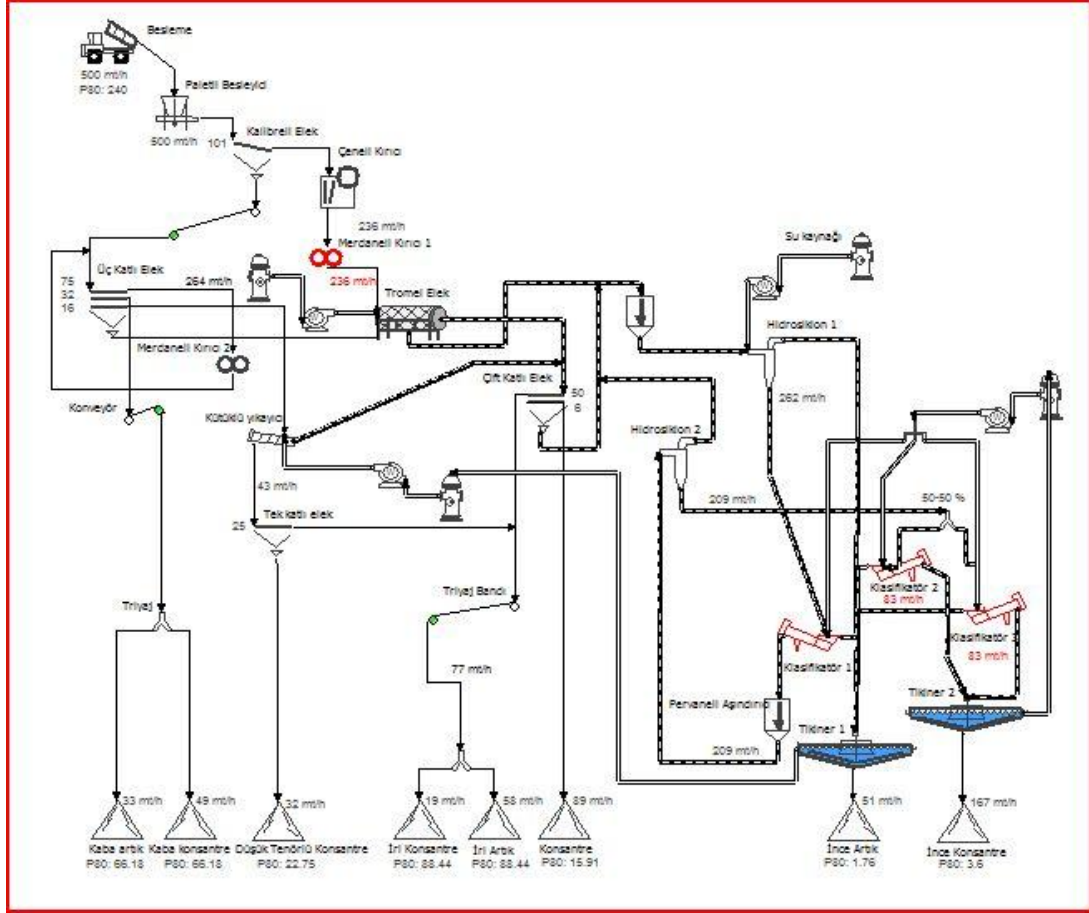
Şekil 3.31 250 t/s beslemede 2 nolu klasifikatörde oluşan ASPP hatası ve çözüm uyarısı.



Şekil 3.32 250 t/s beslemede 3 nolu klasifikatörde oluşan ASPP hatası ve çözüm uyarısı.

23.Senaryo: Tesise 500 t/s bor cevheri beslenmesi halinde elde edilen sonuçlar.

Besleme miktarı 150 t/s'tan 500 t/s'e çıkarıldığında, 1 nolu merdaneli kırıcı, 1, 2 ve 3 nolu klasifikatör kapasiteleri yetersiz kalmakta ve Şekil 3.33'te görüldüğü üzere programda hata uyarısı verilmektedir. 1 nolu Generic Twin model merdaneli kırıcıda % 57.6 kapasite aşımı olduğu ASPP çıktısı ile saptanmıştır (Ek 39). ASPP, merdaneli kırıcı kapasitesinin % 57.6'nın üzerinde seçilmesini öngörmektedir. Öngörüye uygun olarak merdaneli kırıcı seçiminin yapılması halinde ASPP hata uyarısı vermeyecektir. 1, 2 ve 3 nolu Eagle Twin 72"x38' klasifikatörlerde kapasitenin yetersiz kaldığı tespit edilmiştir (Ek 40, Ek 41 ve Ek 42). ASPP, 1, 2 ve 3 nolu klasifikatör kapasitesinin öngörüye uygun olarak seçiminin yapılması veya gerekli miktarda sisteme paralel klasifikatör ilavesi halinde ASPP hata uyarısı vermeyecektir.

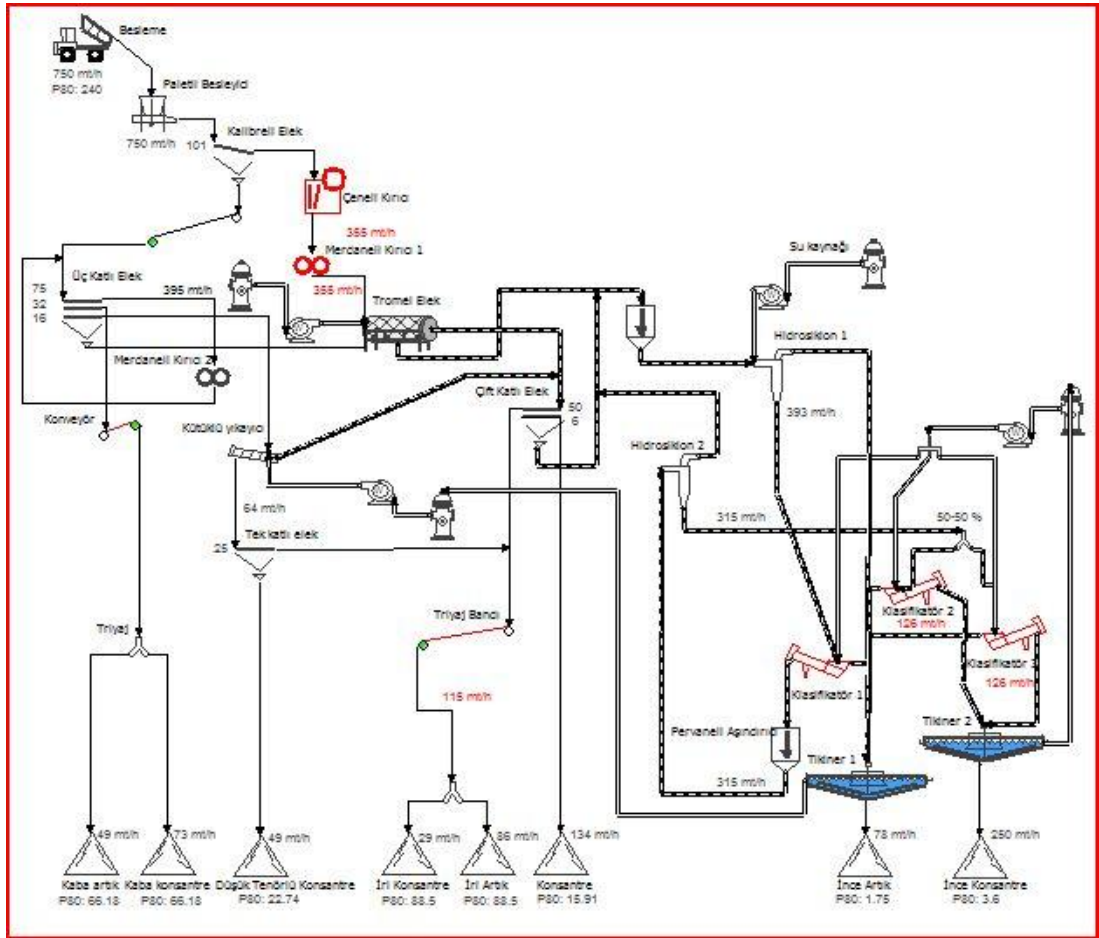


Şekil 3.33 500 t/s besleme kapasitesinde oluşan ASPP hata uyarıları.

24.Senaryo: Tesise 750 t/s bor cevheri beslenmesi halinde elde edilen sonuçlar.

Besleme miktarı 150 t/s'tan 750 t/s'e çıkarıldığında, çeneli kırıcı, 1 nolu merdaneli kırıcı, konveyör, triyaj bandı, 1, 2 ve 3 nolu klasifikatör kapasiteleri yetersiz kalmakta ve Şekil 3.34'te görüldüğü üzere programda hata uyarısı verilmektedir. Jaques JV 55 model çeneli kırıcıda % 27.1 kapasite aşımı olduğu ASPP çıktısı ile saptanmıştır (Ek 43). ASPP, çeneli kırıcı kapasitesinin % 27.1'in üzerinde seçilmesini öngörmektedir. Öngörüye uygun olarak çeneli kırıcı seçiminin yapılması halinde ASPP hata uyarısı vermeyecektir. 1 nolu Generic Twin model merdaneli kırıcıda % 136.4 kapasite aşımı olduğu ASPP çıktısı ile saptanmıştır (Ek 44). ASPP, merdaneli kırıcı kapasitesinin % 136.4'ün üzerinde seçilmesini öngörmektedir. Öngörüye uygun olarak merdaneli kırıcı seçiminin yapılması halinde ASPP hata uyarısı vermeyecektir. Konveyörde % 22 ve triyaj bandında % 15.3 kapasite aşımı olduğu ASPP çıktısı ile saptanmıştır (Ek 45 ve Ek 46). ASPP,

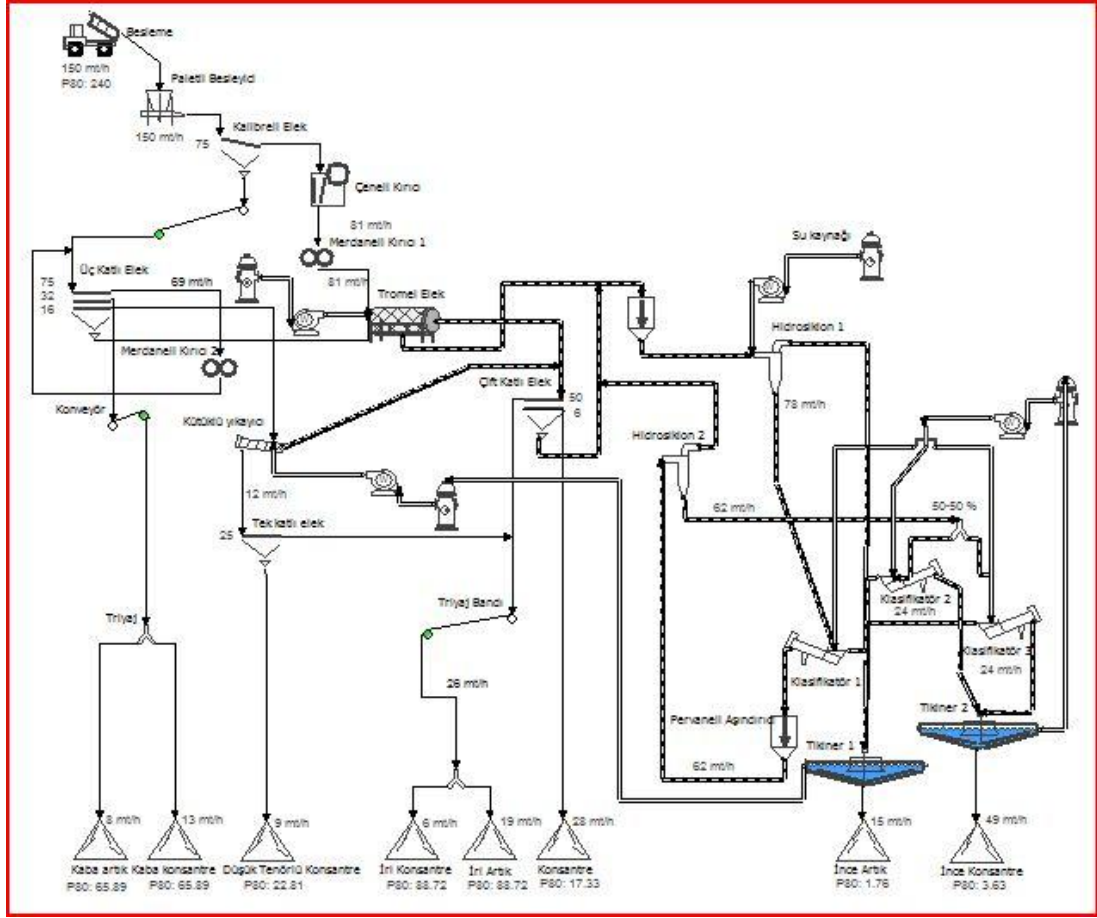
kapasitenin konveyörde % 22 ve triyaj bandında % 15.3 üzerinde seçilmesini öngörmektedir. Öngörüye uygun olarak kapasitelerin seçilmesi durumunda ASPP hata uyarısı vermeyecektir. 1, 2 ve 3 nolu Eagle Twin 72"x38' klasifikatörlerde kapasitenin yetersiz kaldığı tespit edilmiştir (Ek 47, Ek 48 ve Ek 49). ASPP, 1, 2 ve 3 nolu klasifikatör kapasitesinin öngörüye uygun olarak seçiminin yapılması veya tesis kapasitesine uygun gerekli miktarda sisteme paralel klasifikatör ilavesiyle ASPP hata uyarısı vermeyecektir.



Şekil 3.34 750 t/s besleme kapasitesinde oluşan ASPP hata uyarıları.

25.Senaryo: Kalibreli elek ayarı 75 mm'ye ayarlanarak yapılan ASPP hesaplamasında elde edilen sonuçlar.

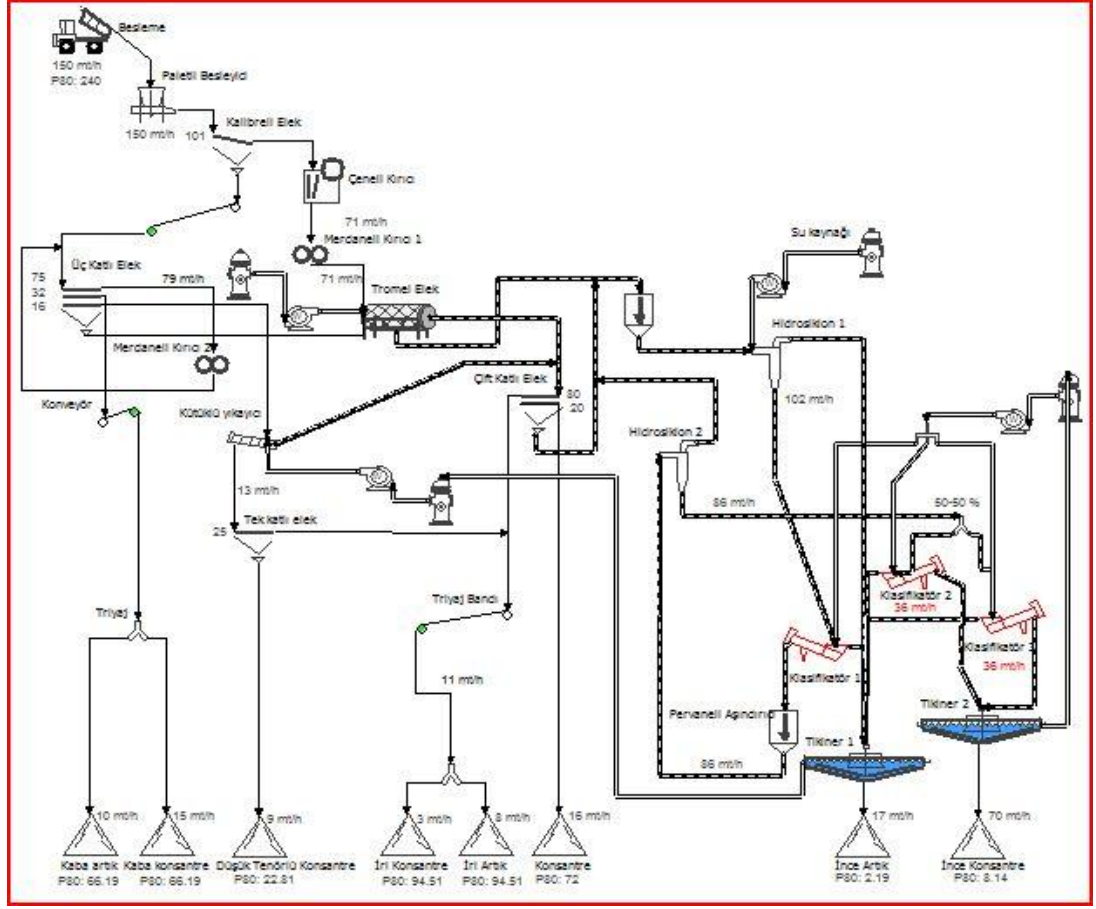
Şekil 3.35'te tesisin kalibreli elek ayarı 75 mm'ye ayarlanarak yapılan ASPP hesaplamasında tesiste hata oluşmamaktadır.



Şekil 3.35 150 t/s beslemede kalibreli elek açıklığı değişimi ile oluşan ASPP hata uyarıları.

26.Senaryo: Çift katlı elek üst açıklığı 80 mm ve alt çıkış açıklığı 20 mm'ye ayarlandığında elde edilen sonuçlar.

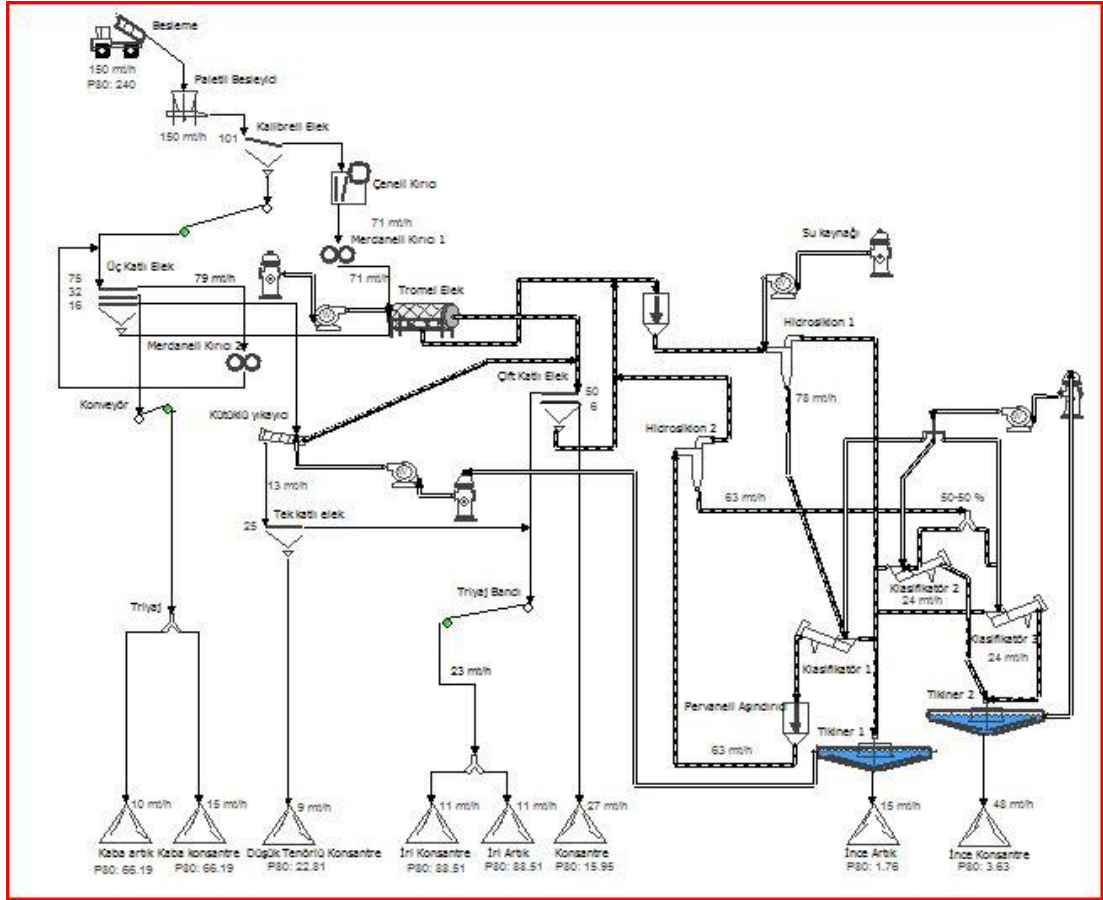
Çift katlı elek üst açıklığı 80 mm ve alt çıkış açıklığı 20 mm'ye ayarlandığında, 1, 2 ve 3 nolu klasifikatörler ASPP hata ve uyarısı vermektedir (Şekil 3.36). Eagle twin 72"x38' model klasifikatörlerin 9.53 mm'den daha iri cevherle çalıştırılması uygun değildir (Ek 50, Ek 51 ve Ek 52). Burada ASPP'nin klasifikatöre beslenen cevherin 9.53 mm'nin altında olması gerekirken alt çıkış -20 mm civarında ve altında malzeme içermesi Eagle twin 72"x38' model klasifikatörlerin çalışma koşulları dışında olması nedeniyle ASPP hata ve uyarısı oluşmaktadır. ASPP'nin sorunlara ait çözüm önerisi doğrultusunda besleme boyutuna uygun 1, 2 ve 3 nolu klasifikatörlere cevher beslenmesi durumunda tesis düzgün ve hatasız çalışacaktır.



Şekil 3.36 Çift katlı elek açıklığı değişimi ile oluşan ASPP hatası ve uyarıları.

27.Senaryo: Triyajla zenginleştirmede artık ve konsantre miktarları % 50-50 olması halinde elde edilen sonuçlar.

Besleme kapasitesi ve elek açıklıklarından sonra tesiste uygulanan diğer bir değişken ise triyajdaki konsantre (k), artık (a) yüzdelerinin değiştirilmesidir. Yukarıda verilen referans koşul akım şemasında k ve a, % 25 ve 75 olarak alınmıştır. Tesise 150 t/s besleme yapılması durumunda, artık ve konsantre triyaj oranlarının da % 50-50 eşit olması halinde, ASPP hata uyarısı vermemektedir (Şekil 3.37).



Şekil 3.37. Triyajla zenginleştirmede artık ve konsantre % 50-50 ile oluşan ASPP hata uyarıları.

BÖLÜM DÖRT

SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

ASPP yöntemi ile gerçek tesis sonuçları karşılaştırılarak; tesisin verimliliği, maksimizasyonu, optimum kapasitede üretimi ve esnek üretim sağlanarak tesis darboğazlarının önceden tespiti mümkündür.

Ferocom demir cevheri gerçek verileri, agrega ve bor cevheri için yaklaşık değerler esas alınarak; ASPP ile “what-if, olursa ne olur” yüzlerce alternatif senaryolar uygulanarak hesaplamalar yapılmıştır. Bölüm 3’te ASPP senaryoları detaylı olarak verilmiş olup demir, agrega ve bor cevheri tesislerine ait geliştirilen referans koşul tesis akım şemaları simüle edilerek hesaplamalar yapılmış ve simülasyon modellerinin referans koşulda hatasız çalıştığı saptanmıştır (Şekil 3.1, 3.15 ve 3.28).

Bu tez kapsamında demir cevheri, agrega ve bor cevheri tesislerinin akım şemaları üzerinde uygulanan yüzlerce ASPP “what-if” senaryoları ile bu senaryolardan elde edilen sonuçların bir bölümü Tablo 4.1’de toplu olarak verilmiştir. Burada besleme miktarları tedrici olarak artırılmış ve ortaya çıkan tıkanma, hata ve sapmalar kaydedilmiştir.

Değişen besleme miktarlarından başka, makine ve ekipman ayarları değiştirilerek simülasyon çalışmaları uygulanmış ve elde edilen sonuçların tesis verimliliğine etkisi yorumlanmıştır. Tesisin çalışmasında münferit hata veren her bir makine ve ekipmanının yetersiz kapasite veya yanlış seçimden kaynaklı sorunları ayrı ayrı giderilmiştir. Bu aşamada, kapasitelerin yetersiz kaldığı durumlarda ASPP veri bankasındaki 3000’in üzerinde cihaza ait minimum ve maksimum boyuttaki makine ve ekipmana ait bilgilerden faydalanılarak program çalışır hale getirilmiştir.

Bazı durumlarda birim operasyonlarda kapasitelerin yetersiz olması halinde daha büyük kapasiteli cihazlar seçilmesine rağmen yine de istenen kapasite değerlerine ulaşamamıştır. Benzer durumlarda, makine-ekipman sayıları artırılarak tesis kurulu kapasitesi de artırılmış ve programın çalışması sağlanmıştır. Kapasite artırımına bağlı değişen koşullar ve yeni durumlar Bölüm 3’te değerlendirilmiştir.

Tablo 4.1 Demir, Agrega ve Bor Tesisleri ASPP “What-If” Senaryoları ve Tüm Sonuçları

S ^(*)	Tesise Bes. Mal	Simülasyon(ASPP) İşlemi	Hata	Makine-Ekipman Hata Raporu
1.S.	Demir C ^(**) .	100 t/s referans koşul	yok	Hata yok
2.S.	Demir C.	125 t/s besleme	var	Şekil 3.4 ve 3.5
3.S.	Demir C.	150 t/s besleme	var	Ek 1, 2 ve 3
4.S.	Demir C.	200 t/s besleme	var	Ek 4, 5 ve 6
5.S.	Demir C.	300 t/s besleme	var	Ek 7, 8, 9 ve 10
6.S.	Demir C.	400 t/s besleme	var	Ek 11, 12, 13, ..., 16
7.S.	Demir C.	600 t/s besleme	var	Ek 17, 18, 19, ..., 22
8.S.	Demir C.	20 mm tek katlı elek	var	Ek 23, 24 ve 25
9.S.	Demir C.	40 mm çift katlı elek	var	Ek 26, 27 ve 28
10.S.	Demir C.	Triyaj oranı %50 k., %50 a.	yok	Hata yok
11.S.	Demir C.	2.K.Man. S.%50 k., %50 a.	yok	Hata yok
12.S.	Ag ^(***) .	100 t/s referans koşul	yok	Hata yok
13.S.	Ag.	200 t/s besleme	var	Şekil 3.18
14.S.	Ag.	300 t/s besleme	var	Şekil 3.20 ve 3.21
15.S.	Ag.	500 t/s besleme	var	Ek 29, 30 ve 31
16.S.	Ag.	700 t/s besleme	var	Ek 32, 33 ve 34
17.S.	Ag.	1000 t/s besleme	var	Ek 35, 36 ve 37
18.S.	Ag.	250 mm titreşimli ızgara	yok	Hata yok
19.S.	Ag.	300 mm titreşimli ızgara	var	Ek 38
20.S.	Ag.	100 mm tek katlı elek	yok	Hata yok
21.S.	Bor C.	150 t/s referans koşul	yok	Hata yok
22.S.	Bor C.	250 t/s besleme	var	Şekil 3.31 ve 3.32
23.S.	Bor C.	500 t/s besleme	var	Ek 39, 40, 41 ve 42
24.S.	Bor C.	750 t/s besleme	var	Ek 43, 44, ...,49
25.S.	Bor C.	75 mm. kalibreli elek	yok	Hata yok
26.S.	Bor C.	20 mm. çift katlı elek	var	Ek 50, 51 ve 52
27.S.	Bor C.	Triyaj oranı %50 k, %50 a	yok	Hata yok

S^(*): Senaryo, C^(**):Cevher, Ag^(***):Agrega

Sonuç olarak, ASPP simülasyon modelleme yardımıyla, değişen besleme miktarlarına göre mevcut yükleri taşıyacak en uygun makine ve ekipman seçimini mümkün kılması nedeniyle mühendislik problemlerine optimal çözüm sunmaktadır. Günümüz küresel rekabet ortamında, bu tip optimizasyon problemlerine alternatif çözümlerin üretilmesi büyük bir gelişme olarak değerlendirilmektedir. Bu bakımdan simülasyon ve modelleme tekniğinin, cevher hazırlama ve zenginleştirme tesis tasarımı ve sistem analizine getireceği disiplin ve pozitif bakış açısı, yaygın olarak kullanılması gereğinin yeterli bir nedeni olarak görülmektedir.

BÖLÜM BEŞ

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tezde gerçekleştirilen çalışmanın temel amacı, değişen besleme miktarları ve makine-ekipman parametreleri yardımıyla simülasyon yöntemiyle en uygun makine-ekipman seçimi için çözümler aramaktır. Çalışmanın diğer bir amacı ise tesis verimliliğini artırmak gayesiyle tesis tasarımının simülasyon tekniği ile yapılması halinde zaman ve ekonomi açısından faydaları simülasyon üzerinde görmek olmuştur. Bu temel amaçlar doğrultusunda ASPP incelenmiş ve programa bağlı kalarak bilgisayar ortamında modeller oluşturulmuştur. Simülasyon modelleri oluşturulduktan sonra, demir cevheri için deneysel verilerle test edilerek sonuçlar irdelenmiştir. Benzer çalışmalar bor ve agrega için yapılmamıştır. Ayrıca, simülasyon modeli performans artırmak amacıyla yapılan deneysel çalışmaların sonuçlarına benzer girdi değerleri kullanan simülasyon sonuçları ile karşılaştırılmış ve sonuçlar arasında paralellikler görülmüştür. Yapılan bu çalışmada son olarak tesise beslenen demir cevheri, agrega ve bor cevheri miktarları artırılarak veya tesis akım şemalarında kullanılan makine ve ekipman ayarları değiştirilerek cevher hazırlama tesislerinde ortaya çıkabilecek olumsuzluklar, tıkanmalar, arızalar ve hatalar saptanmıştır. ASPP'nin hata uyarı raporlarından elde edilen sonuçlar ve mesleki bilgilerin kombinasyonu ile sorunları giderilerek geliştirilen akım şemalarının çalışması sağlanmıştır. Ayrıca makine ve ekipman özelliklerinin alt ve üst çalışma sınırlarının değiştirilmesiyle ortaya çıkan yeni durumların simülasyon sonuçlarına etkisi değerlendirilmiştir. Oluşturulan simülasyon modelleri üzerinde yeni tasarım fikirleri geliştirilebilmesi amacıyla birçok fiziksel parametre, modele girdi veya değişken olarak tanımlanarak yüzlerce senaryo üretilmiş ve ASPP sonuçları farklı açılardan incelenerek yorumlanmıştır. Yüzlerce senaryo incelenmiş olmakla birlikte sadece demir cevheri, agrega ve bor cevherine ait olan 5, 15 ve 26. senaryolar ayrı ayrı irdelenerek ASPP sonuç ve yorumları aşağıda verilmiştir.

5.Senaryo: Tesise 300 t/s demir cevheri beslenmesi durumunda elde edilen sonuçlar:

Besleme miktarı 100 t/s'dan 300 t/s'e çıkarıldığında, klasifikatör kapasitesi, çeneli kırıcı kapasitesi ile 1 ve 2 nolu konveyör kapasiteleri yetersiz kalmakta ve Şekil

3.8’de görüldüğü üzere programda hata uyarısı verilmektedir. Kolberg single 5072-35 model klasifikatör ve Cedarapids JC 1016 model çeneli kırıcı kapasiteleri aşıldığı; 1 ve 2 nolu konveyörlerde % 199.9 oranında kapasite aşımı olduğu tespit edilmiştir (Ek 7, 8, 9 ve 10). ASPP, 300 t/s besleme miktarına cevap verecek sayıda paralel klasifikatör devresi oluşturulması ve daha yüksek kapasiteli bir çeneli kırıcı seçimi yapılmasını; 1 ve 2 nolu konveyör kapasitelerinin ise % 200 ve üzerinde ayarlanmasını öngörmektedir. Öngörüye uygun olarak klasifikatör, çeneli kırıcı ve konveyör kapasitelerinin seçilmesi durumunda tesis ASPP’nin hata uyarısı vermeyeceği görülmektedir.

15.Senaryo: Tesise 500 t/s agrega beslenmesi durumunda elde edilen sonuçlar:

Besleme miktarı 100 t/s’den 500 t/s’e çıkarıldığında, çeneli kırıcı, konveyör ve çekiçli kırıcı kapasiteleri yetersiz kalmakta ve Şekil 3.22’de görüldüğü üzere programda hata uyarısı verilmektedir. Kapasite aşımı sırasıyla; Svedala 6090 model çeneli kırıcıda % 93.5, konveyörde % 233.3 ve Generic Hammermill tip çekiçli kırıcıda % 25 oranında olduğu saptanmıştır (Ek 29, Ek 30 ve Ek 31). ASPP göre Svedala 6090 model çeneli kırıcı kapasitesinin % 93.5, konveyör kapasitesinin % 233.3 ve Generic Hammermill tip çekiçli kırıcının kapasitesinin % 25’in üzerinde seçilmesini öngörmektedir. Öngörüye uygun olarak çeneli kırıcı, konveyör ve çekiçli kırıcı kapasitelerinin seçilmesi durumunda ASPP hata uyarısı vermeyecektir.

26.Senaryo: Çift katlı elek açıklıklarının 80 ve 20 mm olduğunda elde edilen sonuçlar:

Çift katlı elek üst açıklığı 80 mm. ve alt çıkış açıklığı 20 mm’ye ayarlandığında; 1, 2 ve 3 nolu klasifikatörler ASPP hata ve uyarısı vermektedir (Şekil 3.36). Eagle twin 72”x38’ model klasifikatörlerin 9.53 mm’den daha iri cevherle çalıştırılmasının uygun olmadığı görülmüştür (Ek 53, 54 ve 55). Burada ASPP’nin klasifikatöre beslenen cevherin 9.53 mm’nin altında olması gerekirken alt çıkış -20 mm civarında ve altında malzeme içermesi, Eagle twin 72”x38’ model klasifikatörlerin çalışma koşulları dışında olması nedeniyle ASPP hata ve uyarısı oluşmaktadır. ASPP’nin sorunlara ait çözüm önerisi doğrultusunda besleme boyutuna uygun 1, 2 ve 3 nolu klasifikatörlere cevher beslenmesi durumunda tesis düzgün ve hatasız çalışacaktır.

Görüldüğü üzere esnek çalışma koşullarında kapasite artırımı halinde ortaya çıkabilecek sorunlar önceden tespit edilebilmektedir. Çözüm olarak da, ASPP'nin hata uyarısı verdiği makine ve ekipmanlarla ilgili uyarı gereğince düzenleme yapılması yeterli olmuştur.

Yukarıda verilen örneklerden de anlaşılacağı üzere simülasyon modelleri sayesinde mevcut sistemleri geliştirmek veya tamamen alışılmıştın dışında bir sistem tasarlanmak istendiğinde öncelikli olarak değişikliklerin oluşturulan bu modelle test edilmesi sayesinde tasarım maliyeti, süresi, yeni tasarım fikirlerinin üretilmesi ve tasarıma yön verilmesi konusunda büyük bir katkı sağlanabileceği görülmektedir.

Simülasyon yöntemiyle cevher hazırlama-zenginleştirme tesis üretim ve işletme verimliliğinin artırılmasına yönelik bu çalışmanın sonuçları aşağıda özetlenmiştir:

Simülasyon senaryoları rastgele seçilmiştir. Ancak, simülasyon senaryoları demir, agrega ve bor cevher hazırlama tesislerini temsil edecek şekilde seçilmiştir.

ASPP'ında tüm veriler tek bir simülasyon adımıyla kullanılmıştır.

ASPP simülasyon modeli hem tasarım hem uygulamalardaki oluşan etkilerin değerlendirilmesinde tek başına tesiste tasarımla uğraşan teknik uzman, cevher hazırlama mühendisleri ve teknisyenlerin birçok ihtiyacını karşılayabilecek durumda olduğu senaryo çalışmaları ile test edilmiştir.

- Simülasyon tekniklerinin uygulanması çok yeni ve orijinal bir konu olup, cevher hazırlama, maden işletme ve diğer sektörlerdeki kullanımı her geçen gün artmaktadır.
- Çalışmalarında simülasyon tekniğini analiz etmeğe çalışan uzmanlar daha genel ve daha geniş düşünmeye başlar.
- Simülasyon yöntemi herhangi bir cevher hazırlama prosesinin içsel etkileşimlerini inceleme ve bunlar üzerinde deneyler yapma olanağı verebilir. Değişen koşullar ve yeni durumlar altında cevher hazırlama tesisinin göstereceği davranış, akım şemaları üzerinde simüle edilerek incelenebilir.

- Cevher hazırlama tesislerinde veriler yetersiz olduğunda ya da olmadığında simülasyon yöntemleri bu boşluğu kapatabilir. Simülasyon için gerekli veriler çoğu kez çok kolay elde edilir.
- ASPP yöntemi mevcut olan teorik ya da fiziksel bir sistemin bilgisayar ortamında modellendikten sonra farklı koşullar altında vereceği sonuçları gerçek sistemle karşılaştırma, alternatif senaryolar geliştirerek üretimde verimliliği yakalayabilme imkanı tanımaktadır.
- Günümüz iş dünyasında rekabet avantajı sağlayabilmek için cevher hazırlama tesislerinde arıza ve aksaklıkları en kısa sürede, en doğru ve en etkin bir şekilde bulmak gerekir. ASPP, cevher hazırlama tesislerinin performansının bir çok faktöre bağımlı olarak nasıl değiştiğinin gözlemlenmesine olanak sağlar. Simülasyon yöntemini kullanarak cevher hazırlama tesislerinde birbirlerine bağlı olan çalışanların iş gücü, süreç hata oranları, işlemlerin gerçekleşme süreleri, cevherin tesise beslenmesi ve nihai ürünlere(artık, ara ürün ve konsantre) dönüştürülme durumlarını, maliyet ve gelirler, üretim hedefleri, personel ve makina kullanım yüzdeleri gibi değişkenleri, kolayca inceleyip süreç iyileştirilmesi yapılabilir. Bunun yanında alternatif senaryolar geliştirerek yeni yatırım yapılabilecek alanları belirlemek ve risk faktörünü de gözönünde bulundurarak önerilen bir maden üzerinde fizibilite çalışması yapmak da ASPP'nın diğer bir yönünü oluşturmaktadır.

Günümüzde simülasyon hemen hemen her sektörde uygulanabilir konuma gelmiş ve simülasyonun kullanıldığı alanlar ana hatları ile şu şekilde sıralanabilir: Üretim planlama, Ar-Ge, süreç iyileştirilmesi, yatırım analizi, kapasite analizi, kaynak kullanım analizi, makine-ekipman ve personel planlaması, maliyet analizi ve bu başlıkların altında; mevcut cevher hazırlama tesisinin üretim kapasitesi, mevcut kaynakları kullanarak üretim miktarını artırma senaryolarını ve efektif kullanım yüzdelerini, üretim sırasında meydana gelen arızaların tesisi hangi ölçüde etkilediğini veya etkileyeceğini, cevherin tesiste akarken hangi kısımda ne kadar beklediğini, akım şemalarının akışında oluşan tıkanmaları ve bu tıkanmaları çözme yollarını, yeni bir üretim ünitesi kurulduğunda veya mevcut sistem üzerine bir değişikliğe gidilmesi

durumunda bu değişimin üretim miktarına ne kadar katkıda bulunacağıının fizibilitesi, en etkin vardiya sayısının ne olduğu ve üretim stratejisinin ne oranda işlediği gibi bir çok konuyu detaylı olarak inceleme ve uygulama fırsatı elde edilebilir. Bütün bu çalışmaların amacı, mevcut üretim sisteminde en optimum şartları sağlayabilmek ve buna bağlı olarak üretimde verimliliği maksimize ederek karlılığı artırabilmektir. Tesis tasarımına bir disiplin ve sistemin bütününe iyi bir bakış açısı getirmesi dahi simülasyon yazılımlarını kullanmak için yeterli bir sebeptir.

Son yıllarda Ar-Ge faaliyetlerinde yaygın olarak kullanılmaya başlanılan bilgisayar destekli agflow cevher hazırlama simülasyon yazılımına benzer, diğer mühendislik yazılımları ile yapılan çeşitli sektörlere ait proje ve uygulamaları piyasada daha sık görmek mümkündür.

Sonuç olarak ülkemizde simülasyon tekniklerinin uygulanması çok yeni ve orijinal bir konu olup, cevher hazırlama, maden işletme ve diğer sektörlerdeki kullanımı her geçen gün artmaktadır. ASPP’ında tüm veriler tek bir simülasyon adımında kullanılmaktadır. ASPP simülasyon modeli hem tasarım hemde uygulamalardaki oluşan etkilerin değerlendirilmesinde tek başına tesiste tasarımla uğraşan teknik uzman, cevher hazırlama mühendisleri ve teknisyenlerin birçok ihtiyacını karşılayabilecek durumda olduğu alternatif senaryo çalışmalarını ile test edilmiş ve bundan sonra cevher hazırlama konusunda yapılacak simülasyon çalışmalarında kullanılması ve özellikle daha dar bir çerçevede tesis birim operasyonlarının tasarımında detay projelerin istenmesi durumunda da faydalı çalışmalar yapılabileceğine kanaat hasıl olmuştur.

Cevher hazırlama tesisleri tasarım ekibi, verimlilik ve maliyet etkinliğini en üst düzeye çıkarmak için işletme parametrelerini ve tasarım kriterlerini dikkatle hesaplamaları ve uygulamaları gerekir. Bilgisayar ve simülasyon yazılımlarının olmadığı eski zamanlarda haftalar veya aylarca süren cevher hazırlama tesis hesaplamalarını basit ve hızlı bir şekilde vaktinde yapmak neredeyse imkansızdı. Günümüzde, devasa cevher hazırlama tesislerinin besleme miktarları, cevher tenörleri ve ekipman tasarım kriterleri dikkate alınarak elde edilen verilerin ışığında

tesis performansını simülasyon yöntemleri ile değerlendirmek bir düğmeğe basmakla bir kaç dakikada süratle sonuca ulaşmak mümkündür.

Ayrıca simülasyon programı kullanımı ile bilgisayar üzerinde koşul “what-if, olursa ne olur” analizi seneryolarının uygulanmasıyla, devam eden bir süreç için gelişmeleri izleme kolaylığı sunması, tesis ekipmanlarının zarar görmesini veya üretimin kesintiye uğraması gibi riskleri önler.

Proje deneyimi göstermiştir ki, simülatör ile yapılan çalışmalarda tesis devreye alınmadan önce kontrol sistemi sayesinde tasarım hatalarının yüksek oranda ortadan kaldırılabileceği belirlenmiştir. Birçok şirket ekonomi ve zamandan tasarruf ettiğini fark edince simülasyon yöntemleri ile çalışmalar yapmayı tercih eder hale gelmiştir. Genel anlamda günümüzde cevher hazırlama ve zenginleştirme, maden işletme veya diğer sanayi dallarında sistemleri pratik bir şekilde tasarlamak için simülasyon yazılımları bir gereklilik haline gelmiştir. Simülasyon yazılımlarının çok fazla sayıda değişkeni tek bir modelde toplayabilme özelliği, bugünkü karmaşık entegre sistemlerin tasarımı için vazgeçilmez bir araç olmasını zorunlu kılmaktadır.

KAYNAKLAR

Aggflow, B. Software, LLC. (2009). Welcome to Aggflow the industry standard program for optimizing plant production. Aggflow: Optimize, maximize and profitize. April 25, 2011. <http://aggflow.com/> , http://aggflow.com/help/getting_started.htm. Copyright 2009 BedRock Software LLC all rights reserved.

Banks, J. ve Carson, J. S. (1988). Applying the simulation process. *Winter Simulation Conference*, Atlanta, Georgia. 52-55.

Centeno, M.A. (1996). An introduction to simulation modelling, Department of industrial and systems engineering college of engineering and design, *Florida International University*, Miami, Florida, U.S.A.

Deliormanlı A.H. (2000). *Marble processing plant design with the aid of the computer simulation*. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.

Drew, A.ve Roberts, N. (Eds.). (2002). *Optimising the efficiency of primary aggregate production*. UK: Minerals industry sustainable technology.

Ersayın, S. ve İçli, H. (1992). Kömür yıkama ekipmanlarının benzetişimi, *Zonguldak: 8.Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı*. 195-210

Hartge, E. U., Pogodda, M., Reimers, C., Schwier, D., Gruhn, G. ve Werther, J. (2006). Flowsheet simulation of solids processes, Institute of Solids Process Engineering and Particle Technology, Technical University Hamburg, Germany. 146-158.

King, R. P. (2001). *Modelling and Simulation of Mineral Processing Systems* (1st Pub.). USA: Department of Metallurgical Engineering University of Utah.

Köse, H. ve Kahraman, B. (1992). *Maden İşletme Ekonomisi*. İzmir: DEÜ Mühendislik Fakültesi Yayınları.

Köse, S. (2010). *Bir agrega-kırmataş işletmesinde kırma-eleme tesisindeki enerji tüketimlerinin formasyonlara bağlı olarak incelenmesi*. İstanbul: İÜ, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Bitirme Ödevi.

Luyben, W. L. (1990). *Process Modelling, Simulation and Control for Chemical Engineers*. Mc Graw Hill.

Lynch, A. J. ve Bush, P. D. (1977). *Mineral Crushing and Grinding Circuits: Their Simulation, Optimisation, Design and Control*, Asarco Inc. Silver Bell Unit, Elsevier Scientific Pub. Co.

Lynch, A. J., Morrison, R. D.(1999). Simulation in Mineral Processing History, Present Status and Possibilities, *The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy*

Merritt, P. C. (1984). *Book of Flowsheets*, McGraw-Hill, Mining Information Services

Mular, A. L., Halbe, D. N. ve Barratt, D. J.(2002). *Mineral Processing Plant Design, Practice and Control*, SME, Littleton.

Nikkhah, K., Anderson, C.(2001). Role of Simulation Software in Design and Operation of Metallurgical Plants: A Case Study, *SME Annual Meeting*, Denver Colorado

O'Bryan, K. (1987). Crushing Flowsheet Simulation: Increased Productivity and Improved Flowsheet Design, Process Machinery Division, Nordberg Inc., *Twentieth International Symposium on the Application of Computers and Mathematics in the Mineral Industries*. Johannesburg. 167 - 178.

Ören, T. (2006). *Benzetim Temel Kavramlar ve İlerlemeler*, Türkiye Bilişim Ansiklopedisi, Papatya Yayıncılık, İstanbul.

Özkan, Ş. G., Yersel, Ş. E. (1994). *Etibank emet kolemanit işletmesi müessesesi atık probleminin araştırılması*. İzmir: Bor Araştırma Daire Başkanlığı, Yayın no: 21.

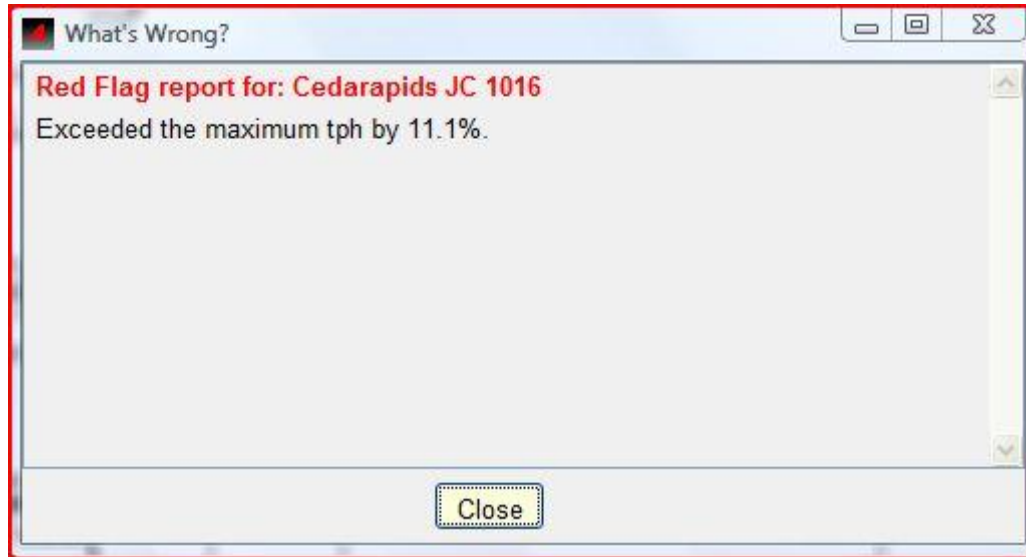
Sözen, A. (2007). *Hız kesicilerin trafik yüklemesi altındaki dinamik simülasyonu*. Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, *Yüksek Lisans Tezi*.

Wills, B.A. ve Napier-Munn, T. J. (Eds.). (2006). *Mineral processing technology*, Seventh edition, UK: Published by Elsevier Ltd.

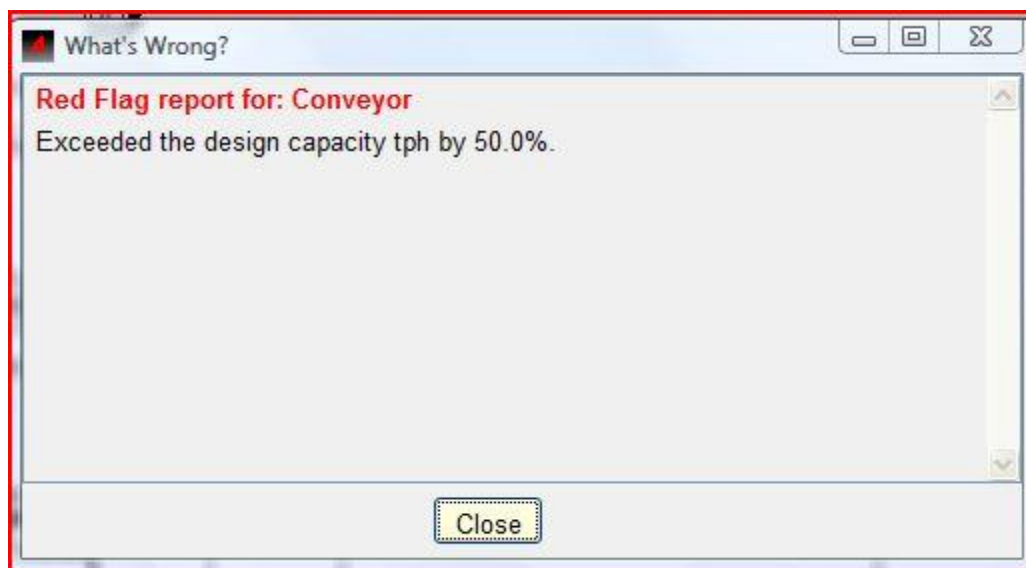
EKLER

Demir cevheri simülasyon senaryo çıktıları:

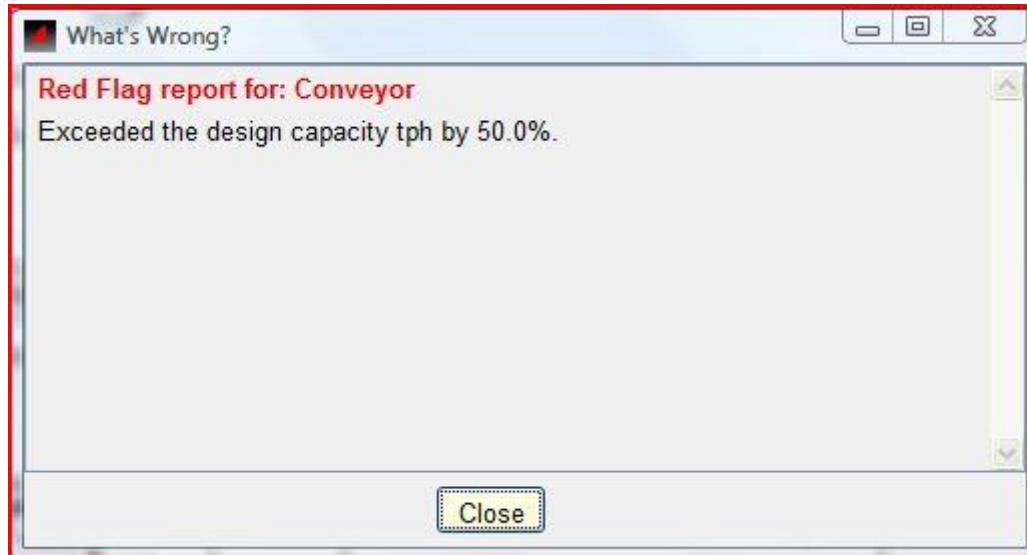
Ek 1: 150 t/s beslemede çeneli kırıcıda oluşan ASPP hatası ve çözüm uyarısı



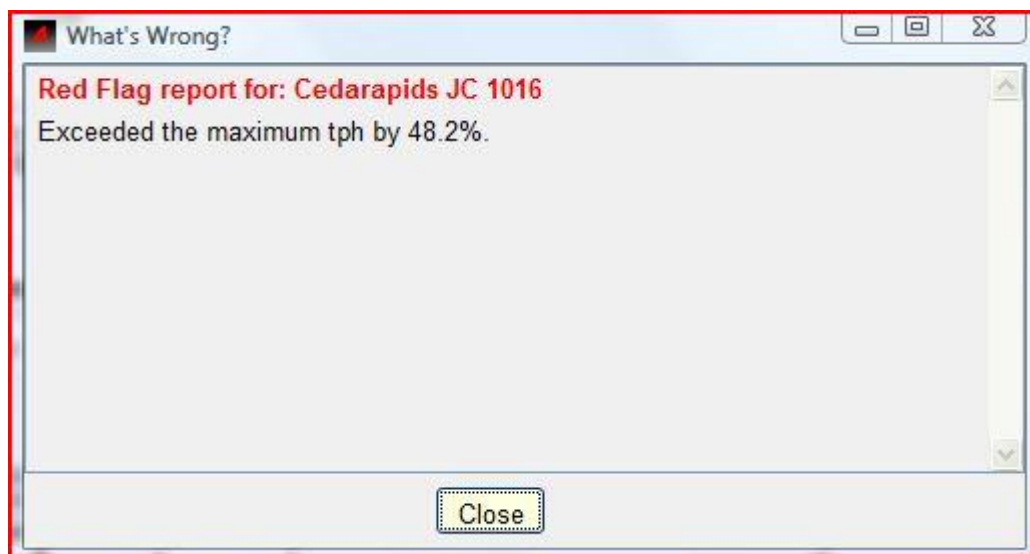
Ek 2: 150 t/s beslemede 1 nolu konveyörde oluşan ASPP hatası ve çözüm uyarısı



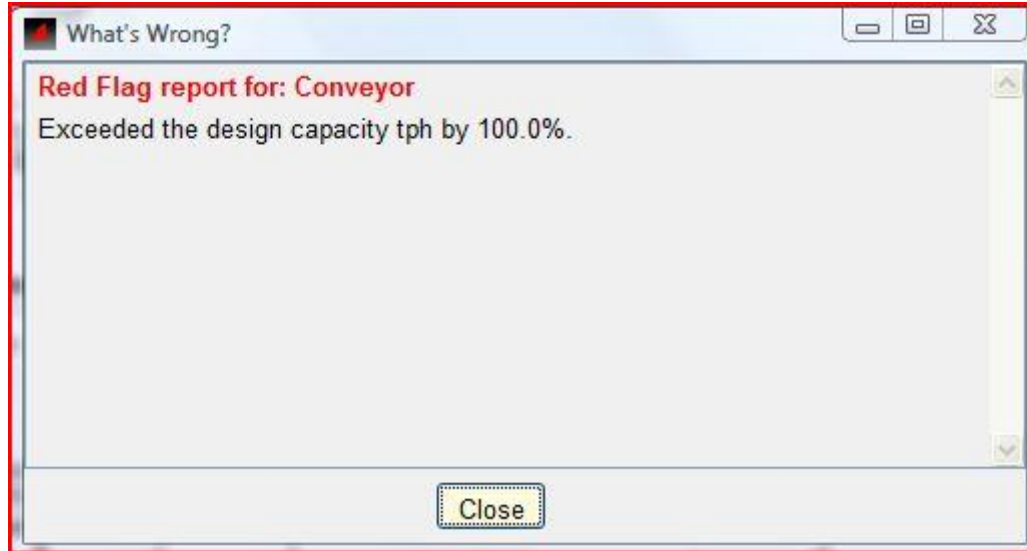
Ek 3: 150 t/s beslemede 2 nolu konveyörde oluşan ASPP hatası ve çözüm uyarısı



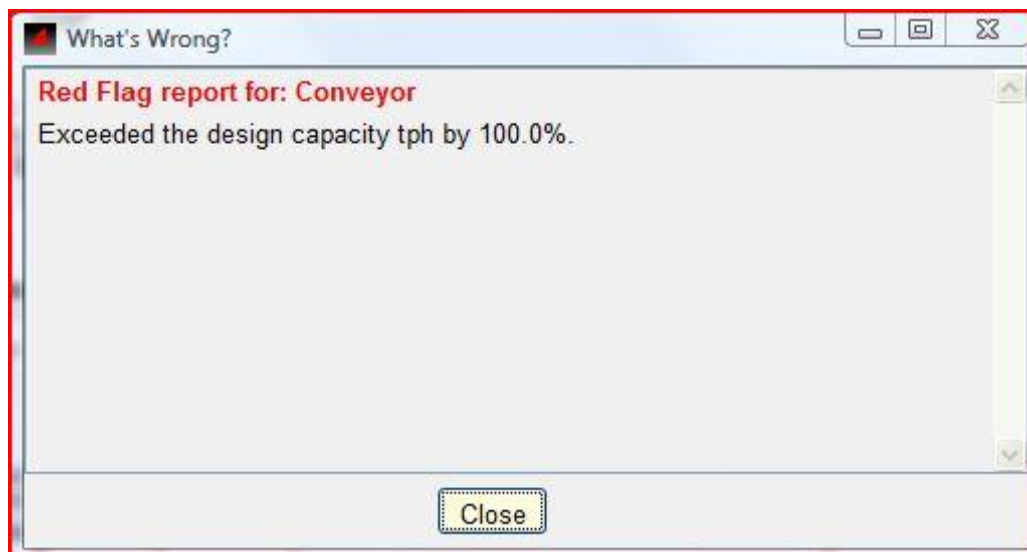
Ek 4: 200 t/s beslemede çeneli kırıcıda oluşan ASPP hatası ve çözüm uyarısı



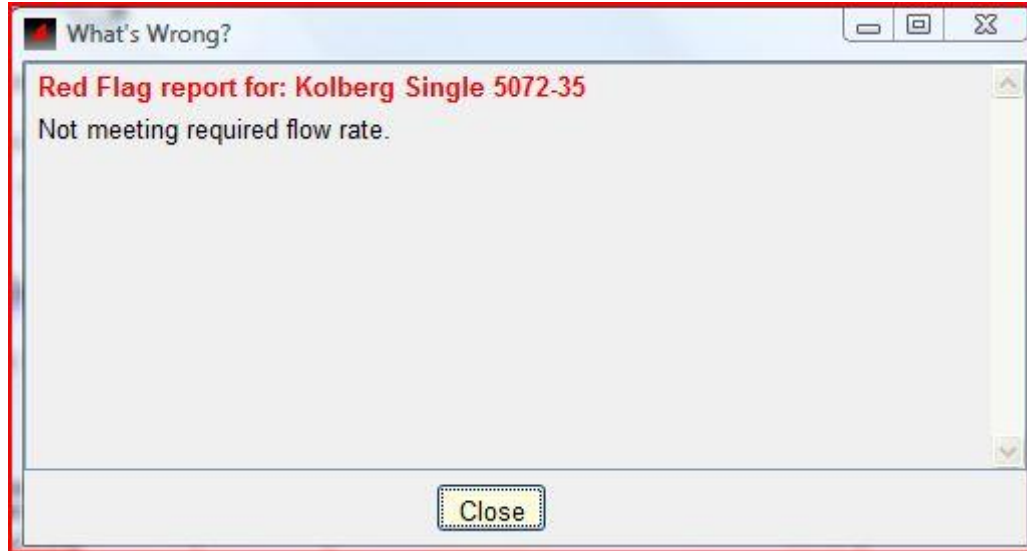
Ek 5: 200 t/s beslemede 1 nolu konveyörde oluşan ASPP hatası ve çözüm uyarısı



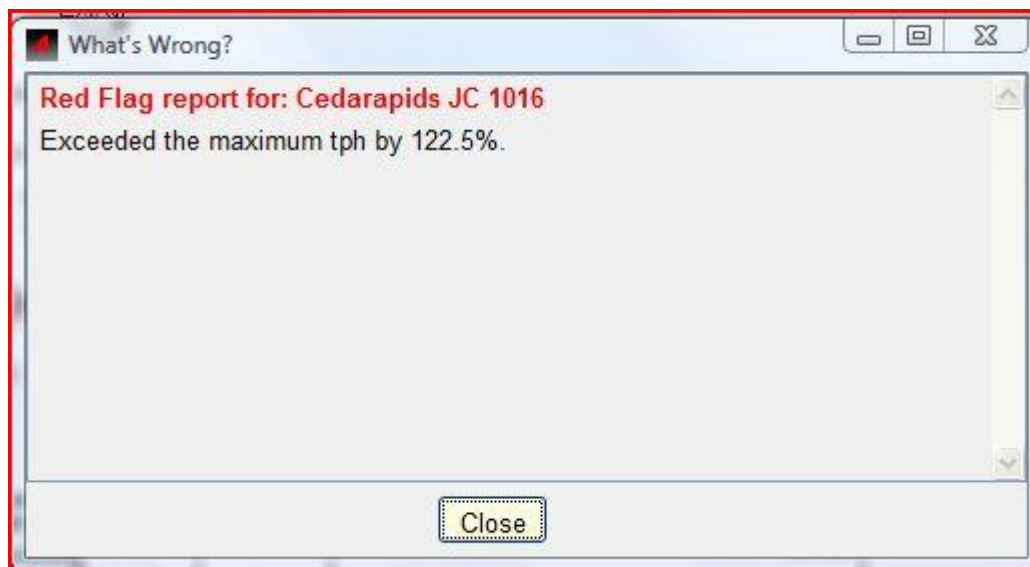
Ek 6: 200 t/s beslemede 2 nolu konveyörde oluşan ASPP hatası ve çözüm uyarısı



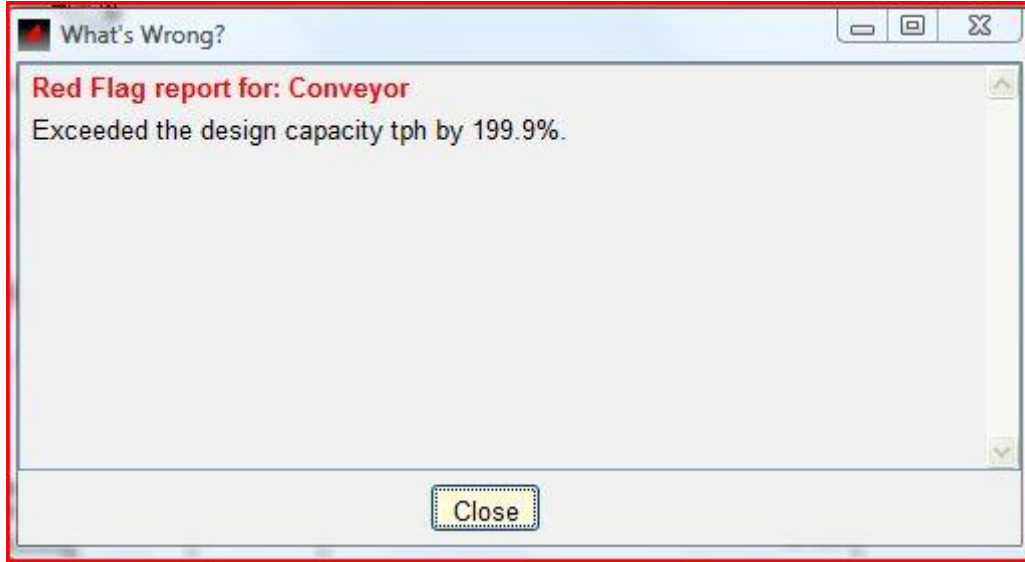
Ek 7: 300 t/s beslemede klasifikatörde oluşan ASPP hatası ve çözüm uyarısı



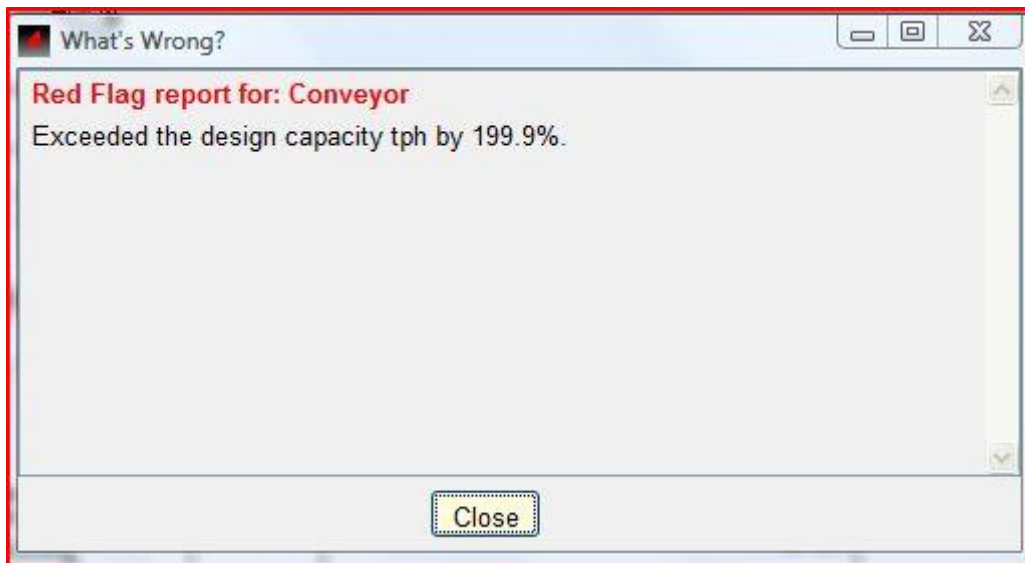
Ek 8: 300 t/s beslemede çeneli kırıcıda oluşan ASPP hatası ve çözüm uyarısı



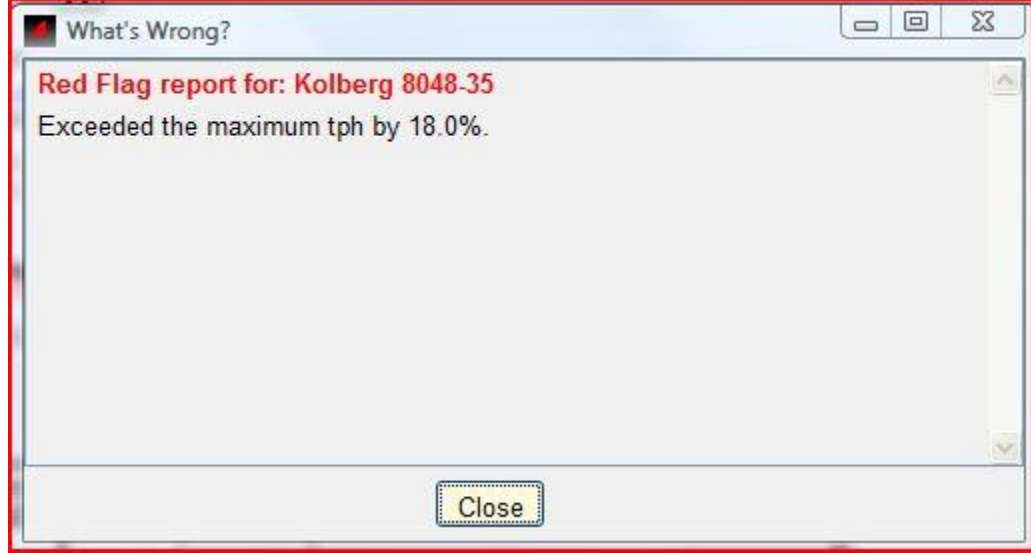
Ek 9: 300 t/s beslemede 1 nolu konveyörde oluşan ASPP hatası ve çözüm uyarısı



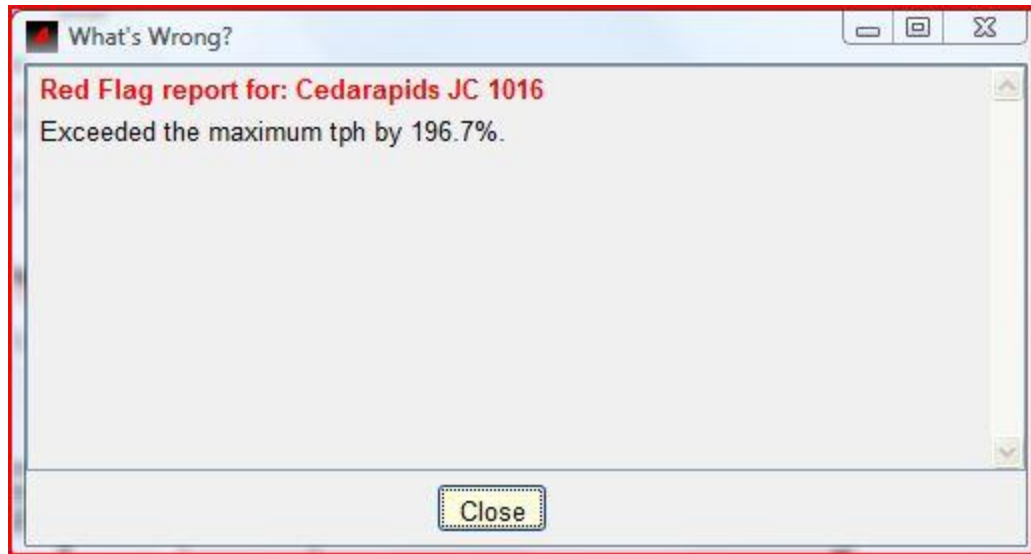
Ek 10: 300 t/s beslemede 2 nolu konveyörde oluşan ASPP hatası ve çözüm uyarısı



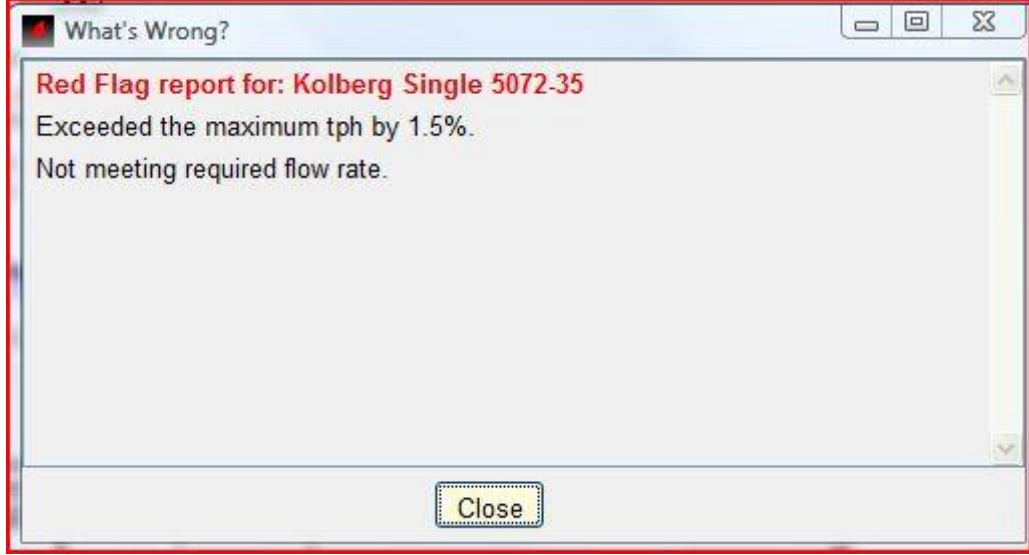
Ek 11: 400 t/s beslemede cebri mikserde oluşan ASPP hatası ve çözüm uyarısı



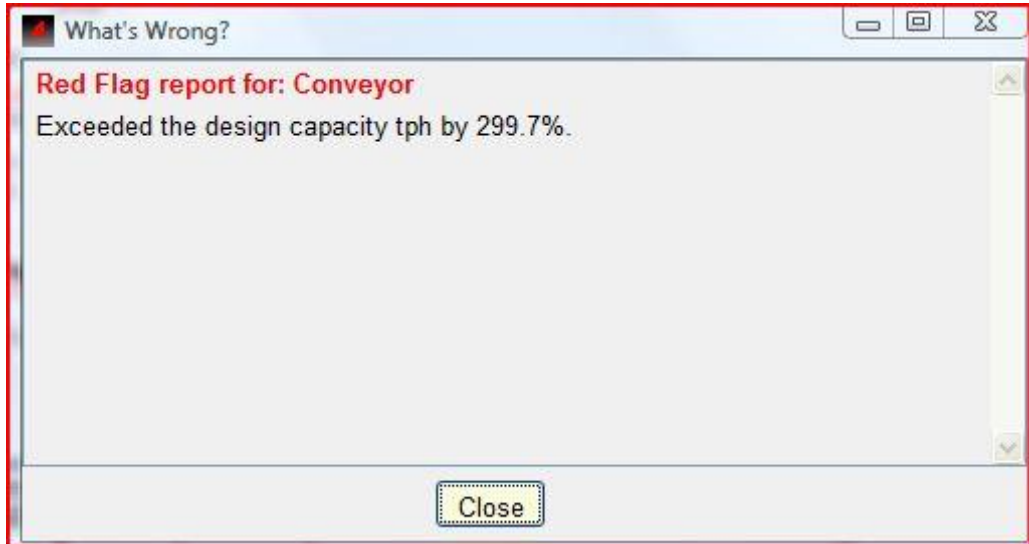
Ek 12: 400 t/s beslemede çeneli kırıcıda oluşan ASPP hatası ve çözüm uyarısı



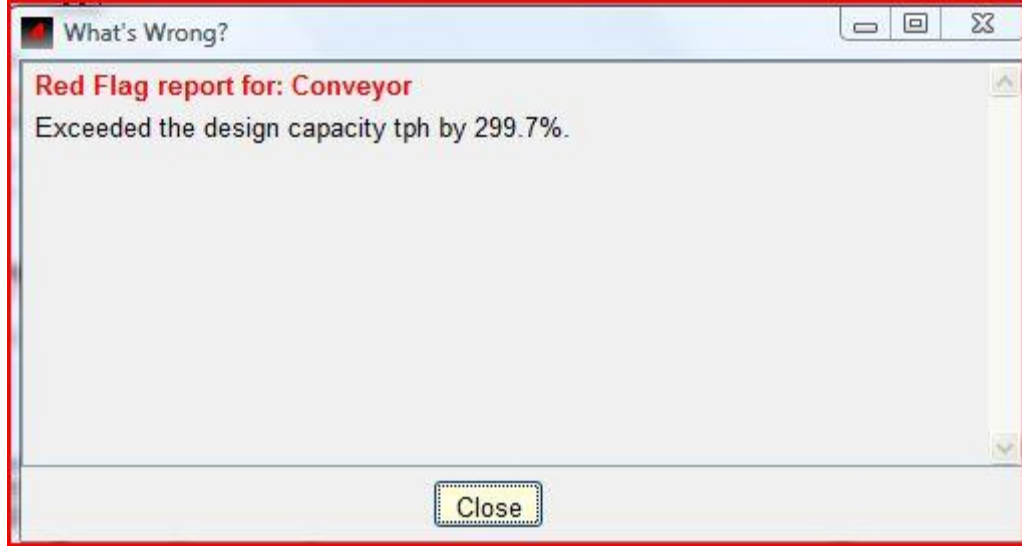
Ek 13: 400 t/s beslemede klasifikatörde oluşan ASPP hatası ve çözüm uyarısı



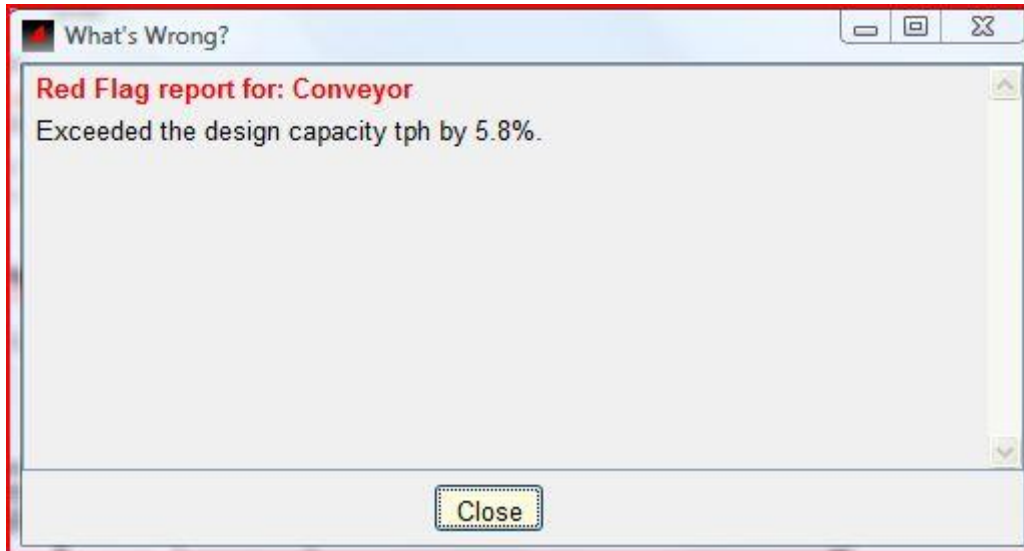
Ek 14: 400 t/s beslemede 1 nolu konveyörde oluşan ASPP hatası ve çözüm uyarısı



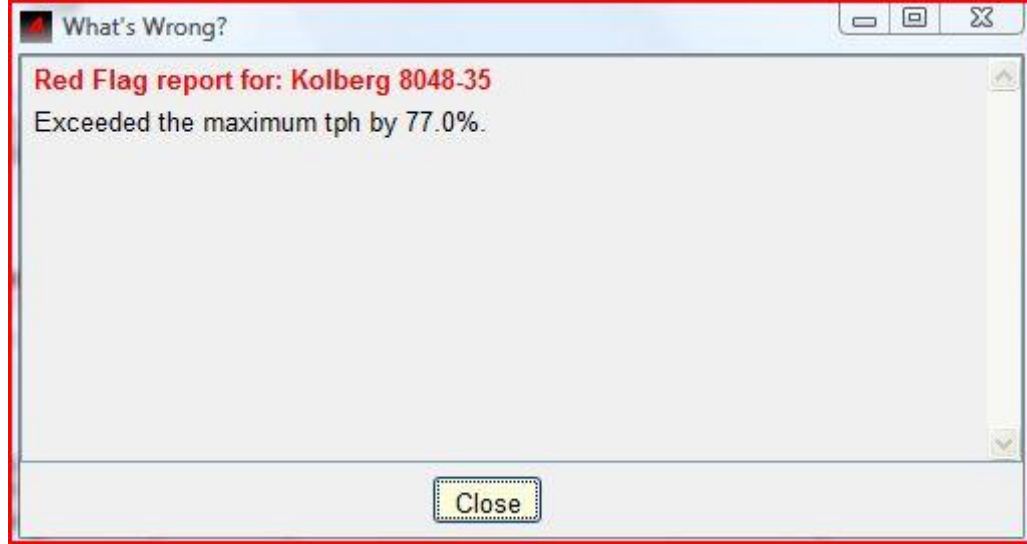
Ek 15: 400 t/s beslemede 2 nolu konveyörde oluşan ASPP hatası ve çözüm uyarısı



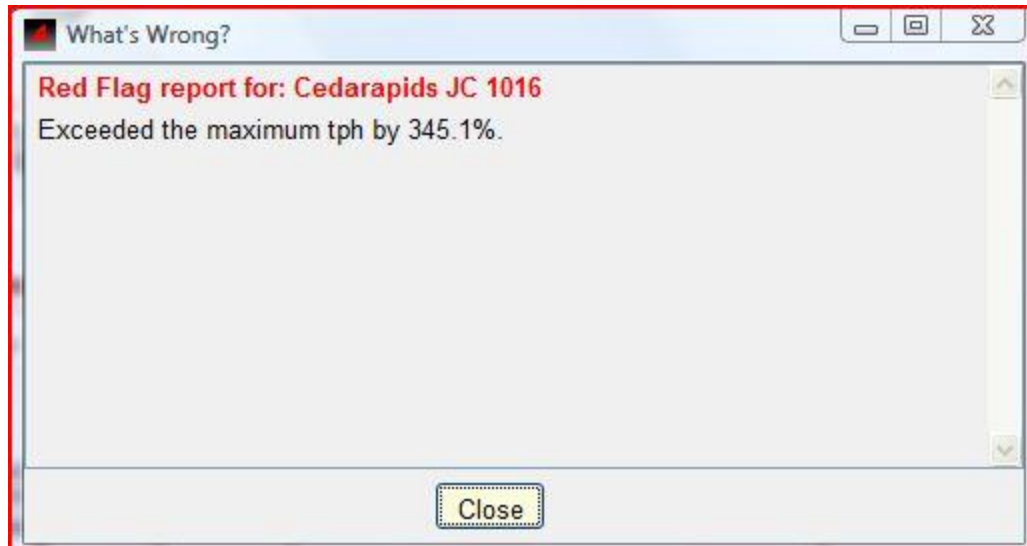
Ek 16: 400 t/s beslemede 3 nolu konveyörde oluşan ASPP hatası ve çözüm uyarısı



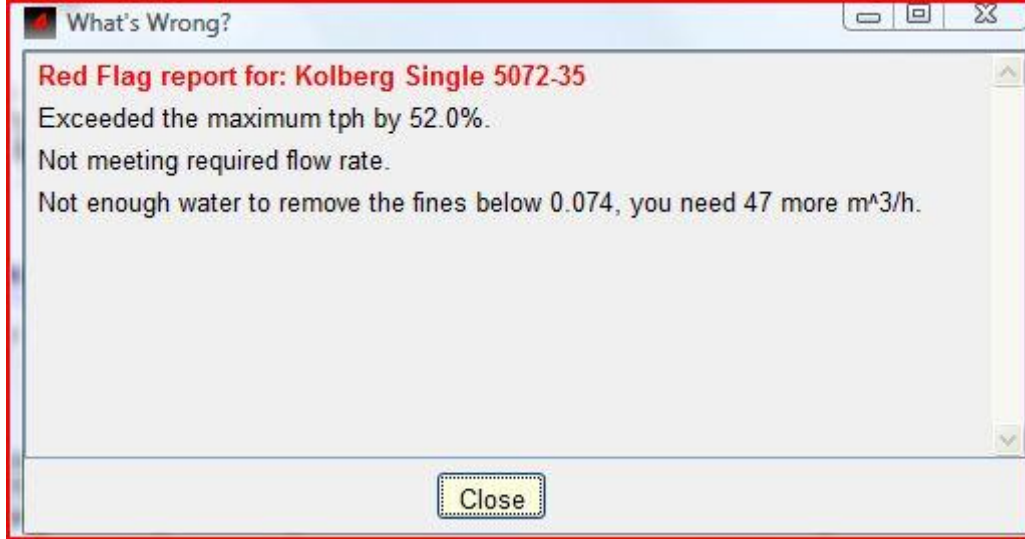
Ek 17: 600 t/s beslemede cebri mikserde oluşan ASPP hatası ve çözüm uyarısı



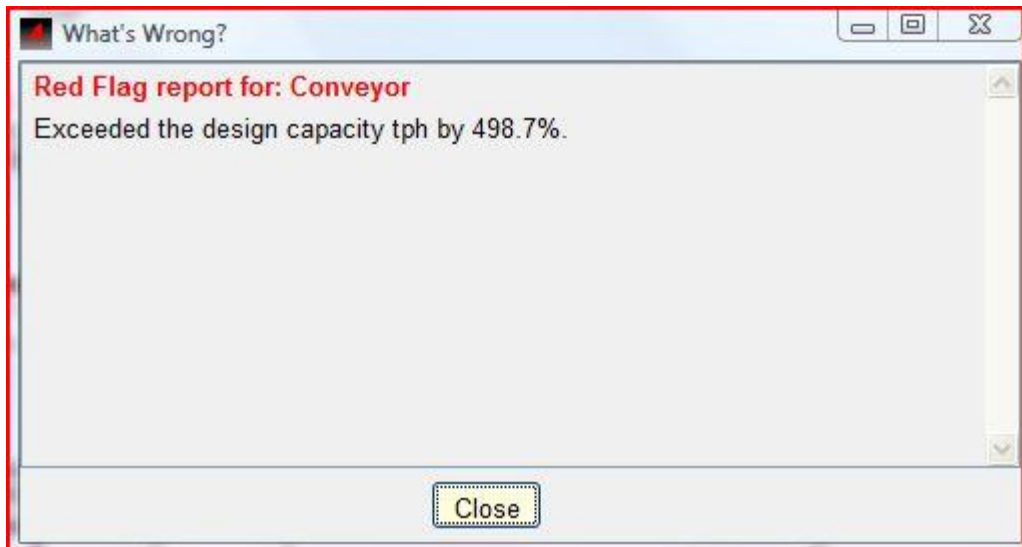
Ek 18: 600 t/s beslemede çeneli kırıcıda oluşan ASPP hatası ve çözüm uyarısı



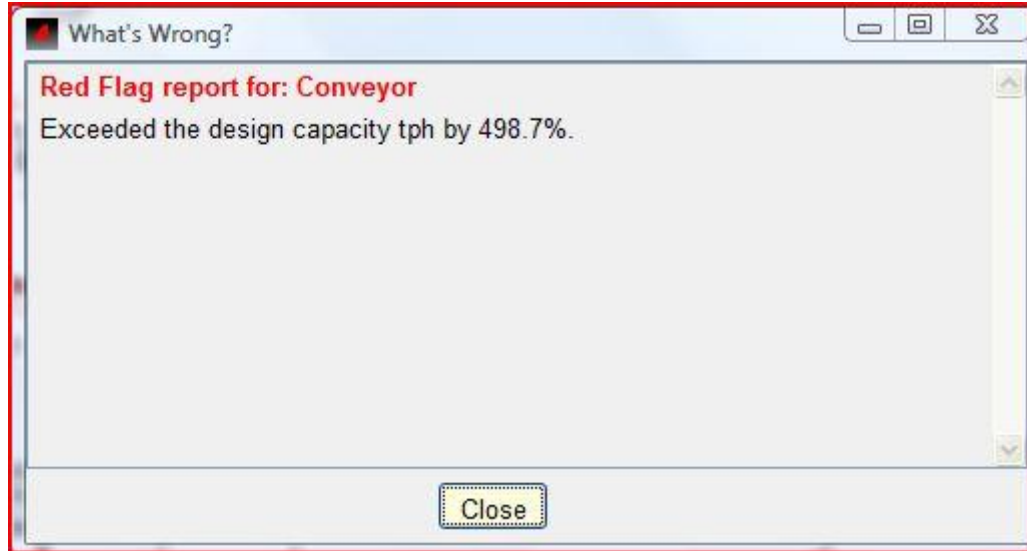
Ek 19: 600 t/s beslemede klasifikatörde oluşan ASPP hatası ve çözüm uyarısı



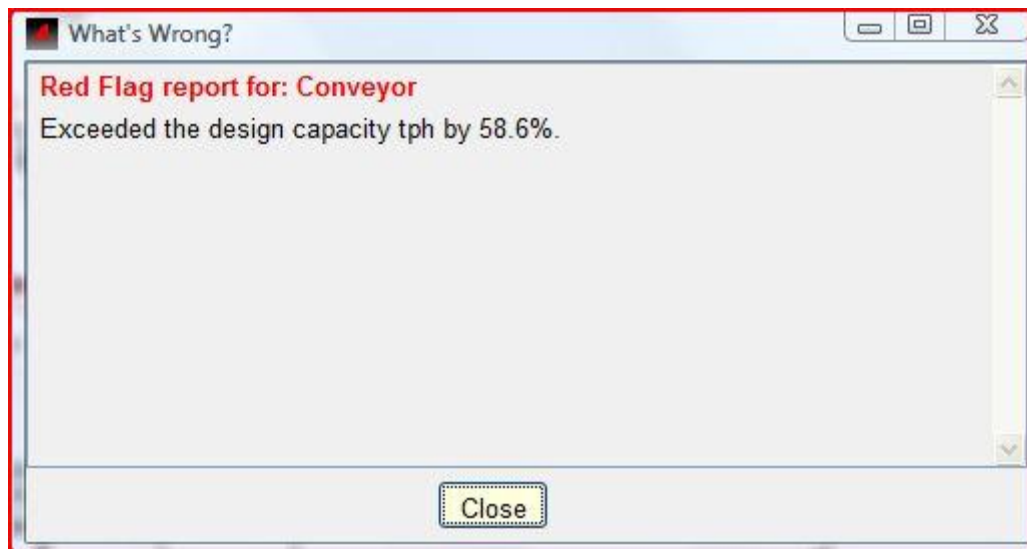
Ek 20: 600 t/s beslemede 1 nolu konveyörde oluşan ASPP hatası ve çözüm uyarısı



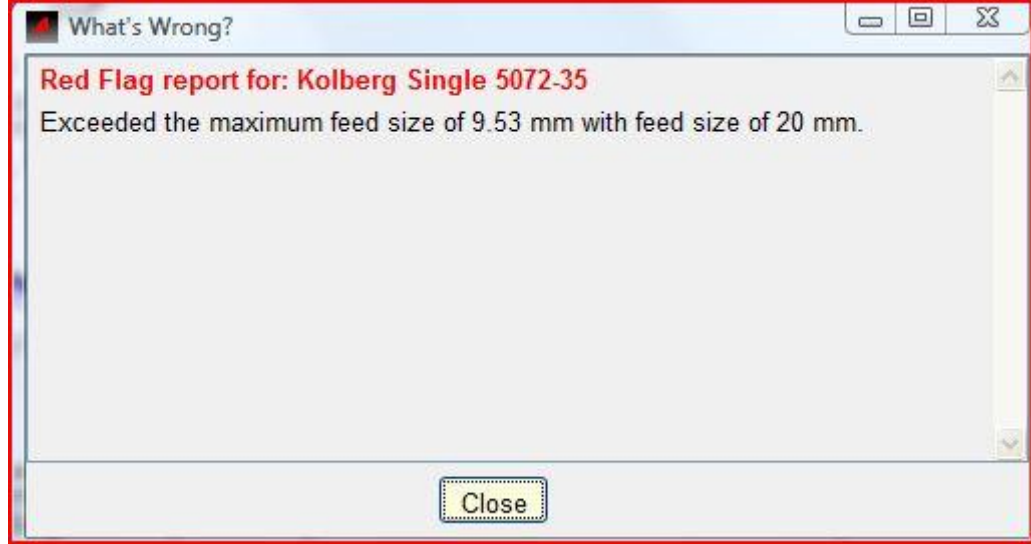
Ek 21: 600 t/s beslemede 2 nolu konveyörde oluşan ASPP hatası ve çözüm uyarısı



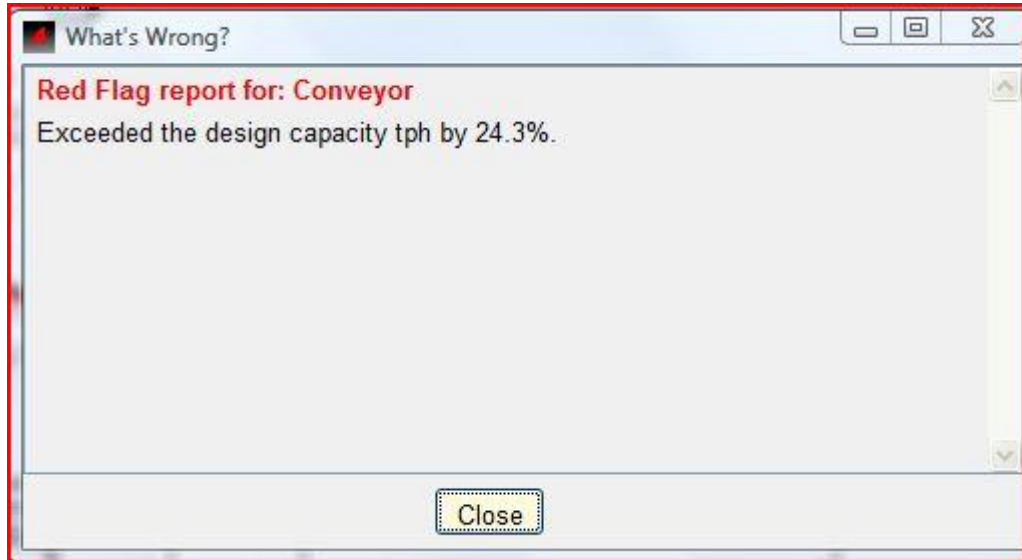
Ek 22: 600 t/s beslemede 3 nolu konveyörde oluşan ASPP hatası ve çözüm uyarısı



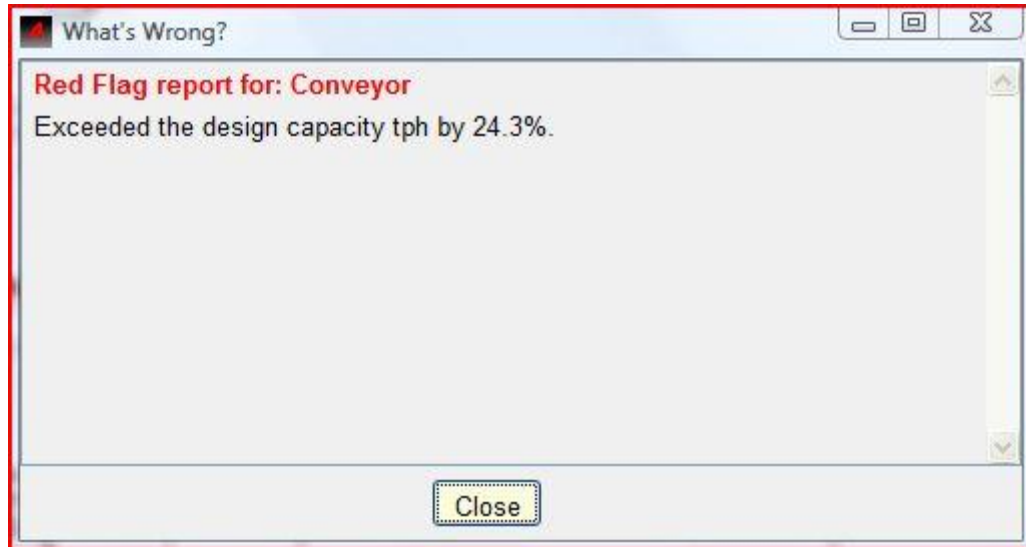
Ek 23: -20 mm. beslemede klasifikatörde oluşan ASPP hatası ve çözüm uyarısı



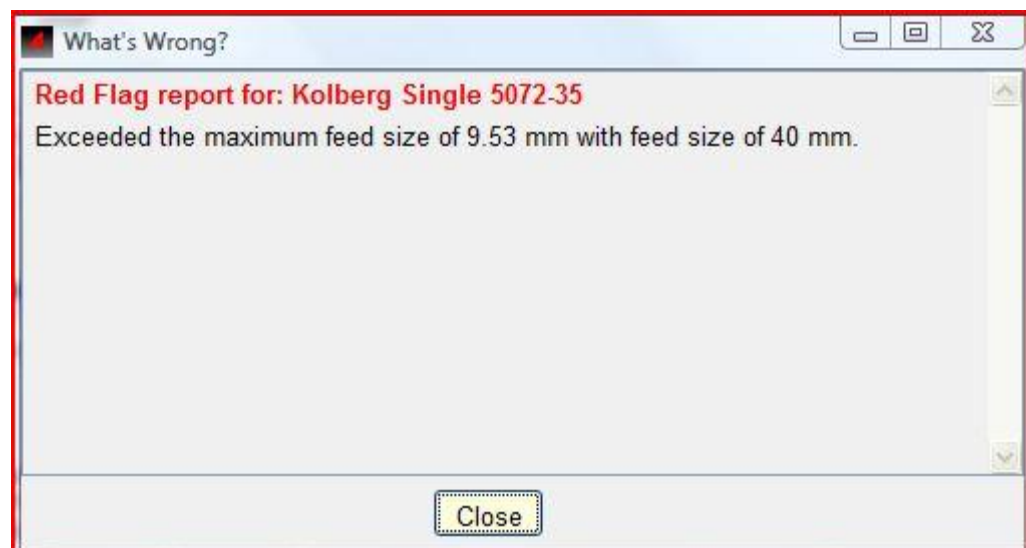
Ek 24: -20 mm. beslemede 1 nolu konveyörde oluşan ASPP hatası ve çözüm uyarısı



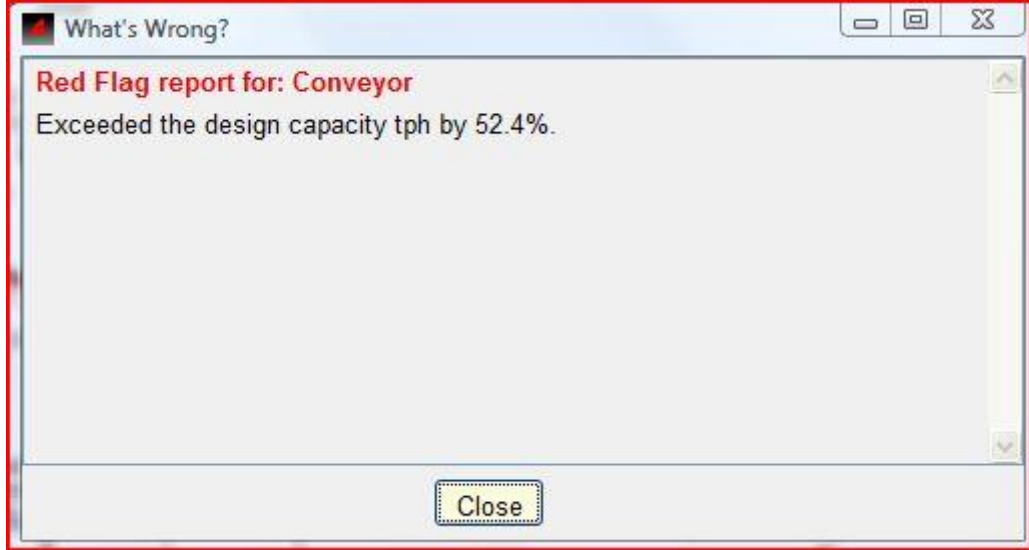
Ek 25: -20 mm. beslemede 2 nolu konveyörde oluşan ASPP hatası ve çözüm uyarısı



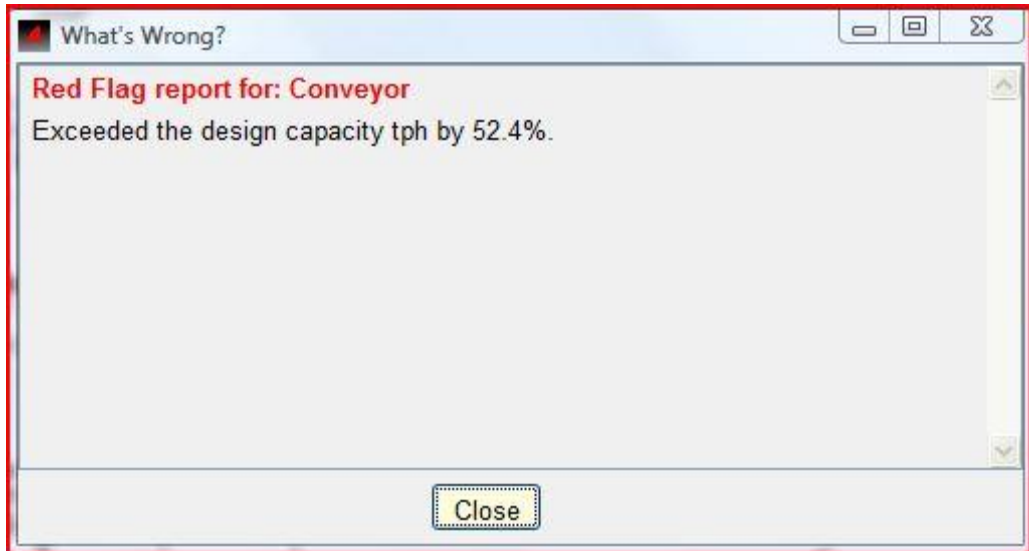
Ek 26: -40 mm. beslemede klasifikatörde oluşan ASPP hatası ve çözüm uyarısı



Ek 27: -40 mm. beslemede 1 nolu konveyörde oluşan ASPP hatası ve çözüm uyarısı

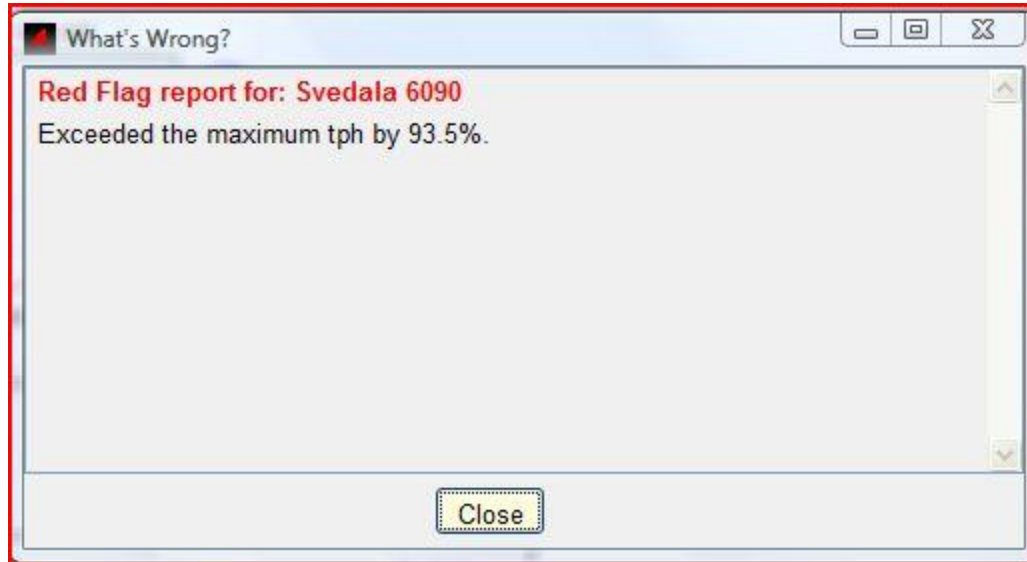


Ek 28: -40 mm. beslemede 2 nolu konveyörde oluşan ASPP hatası ve çözüm uyarısı

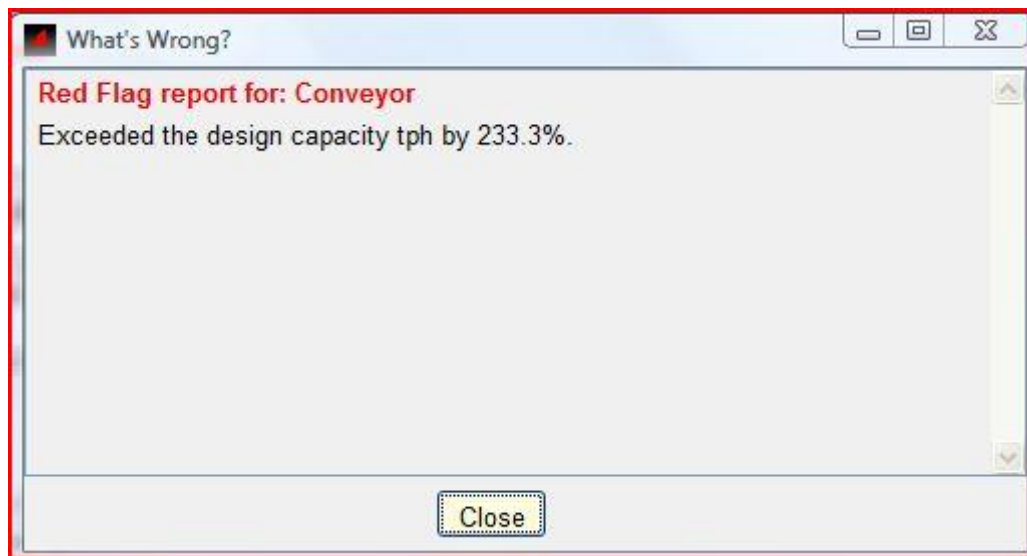


Agrega simülasyon senaryo çıktıları:

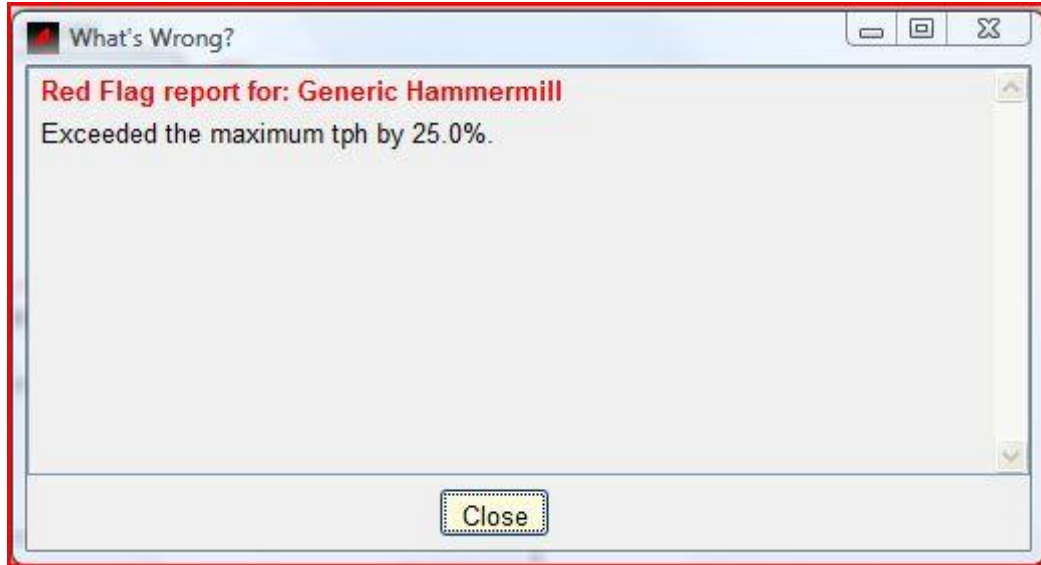
Ek 29: 500 t/s beslemede çeneli kırıcıda oluşan ASPP hatası ve çözüm uyarısı



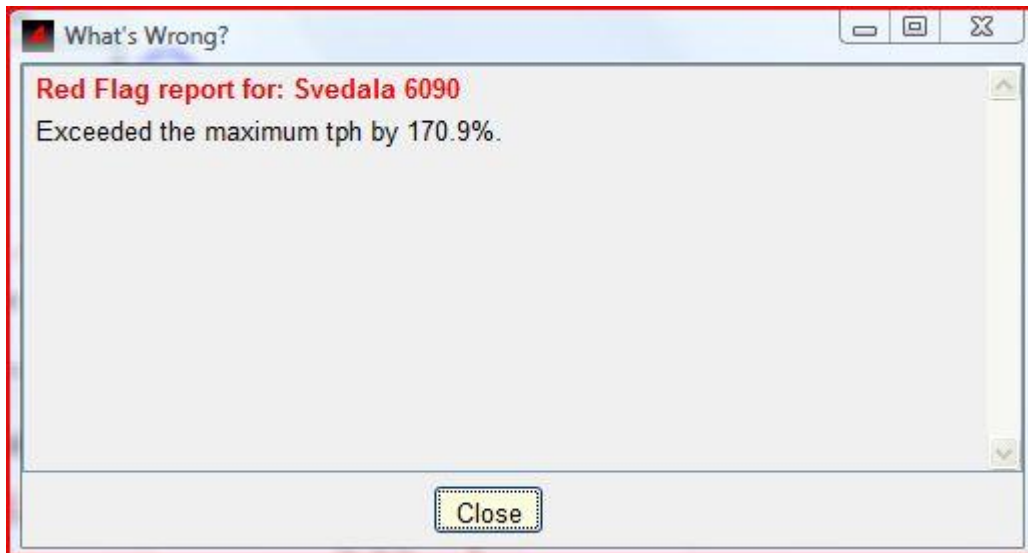
Ek 30: 500 t/s beslemede konveyörde oluşan ASPP hatası ve çözüm uyarısı



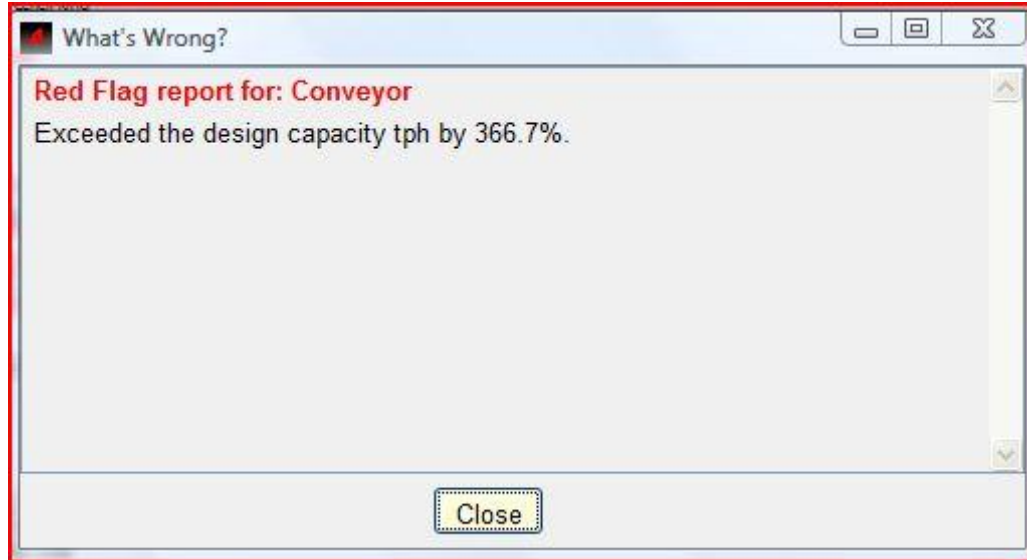
Ek 31: 500 t/s beslemede çekimli kırıcıda oluşan ASPP hatası ve çözüm uyarısı



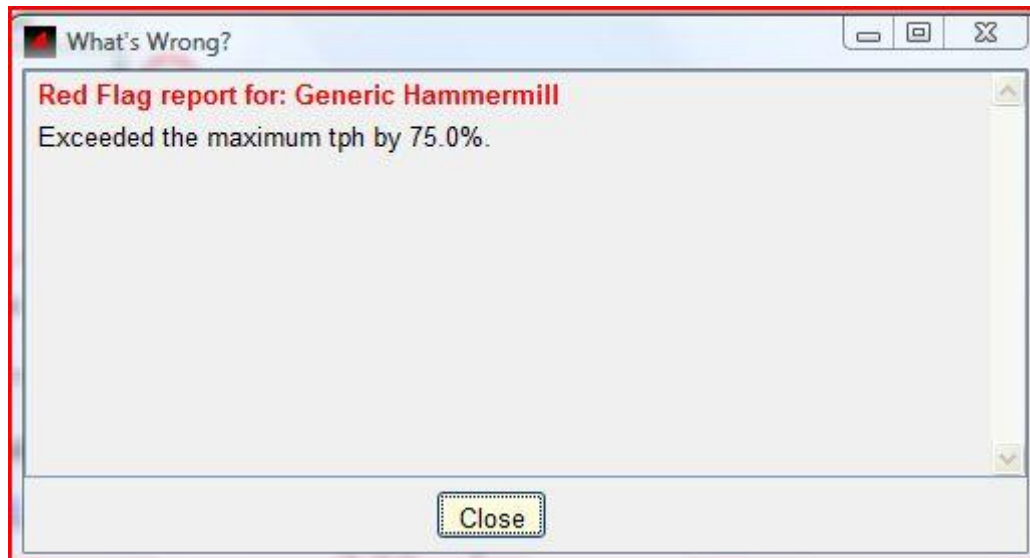
Ek 32: 700 t/s beslemede çeneli kırıcıda oluşan ASPP hatası ve çözüm uyarısı



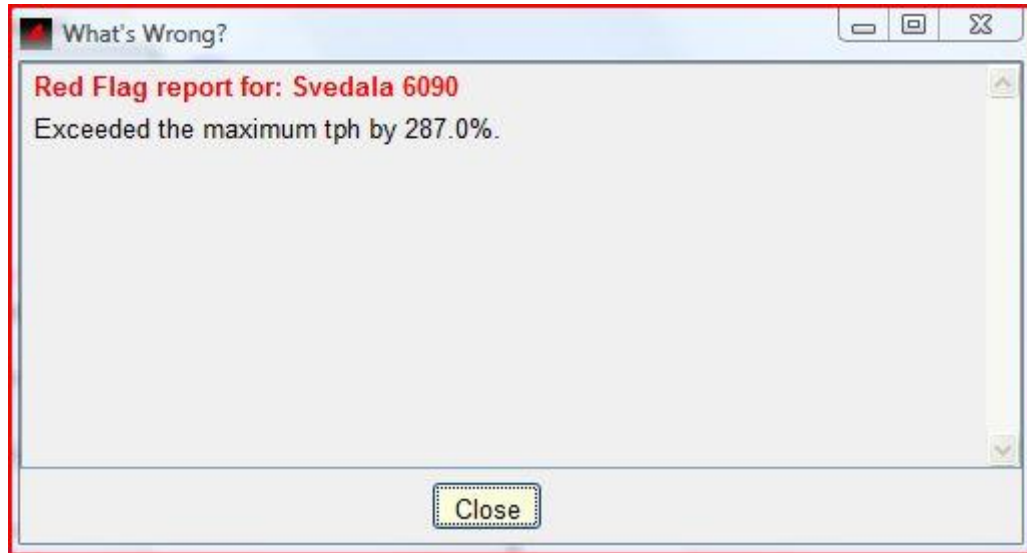
Ek 33: 700 t/s beslemede konveyörde oluşan ASPP hatası ve çözüm uyarısı



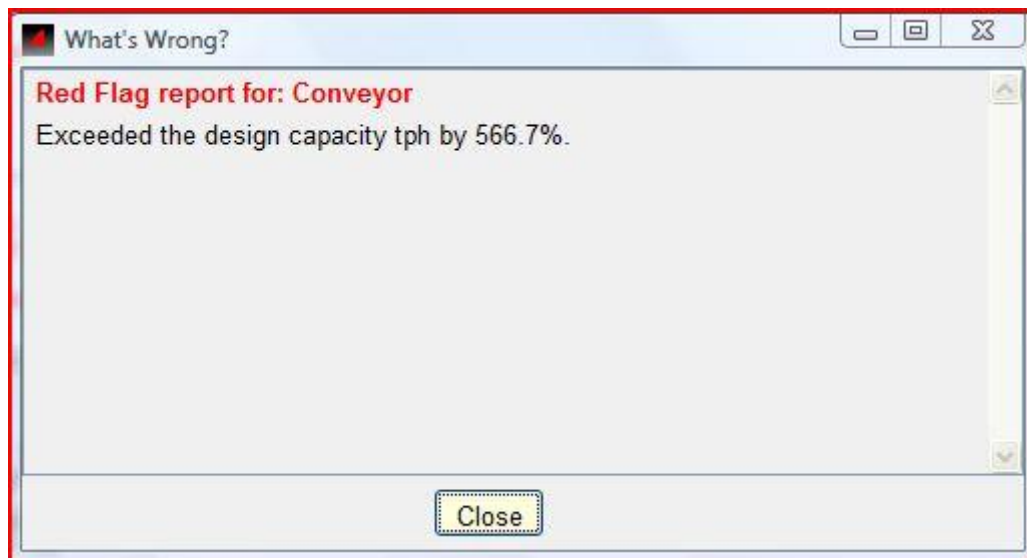
Ek 34: 700 t/s beslemede çekimli kırıcıda oluşan ASPP hatası ve çözüm uyarısı



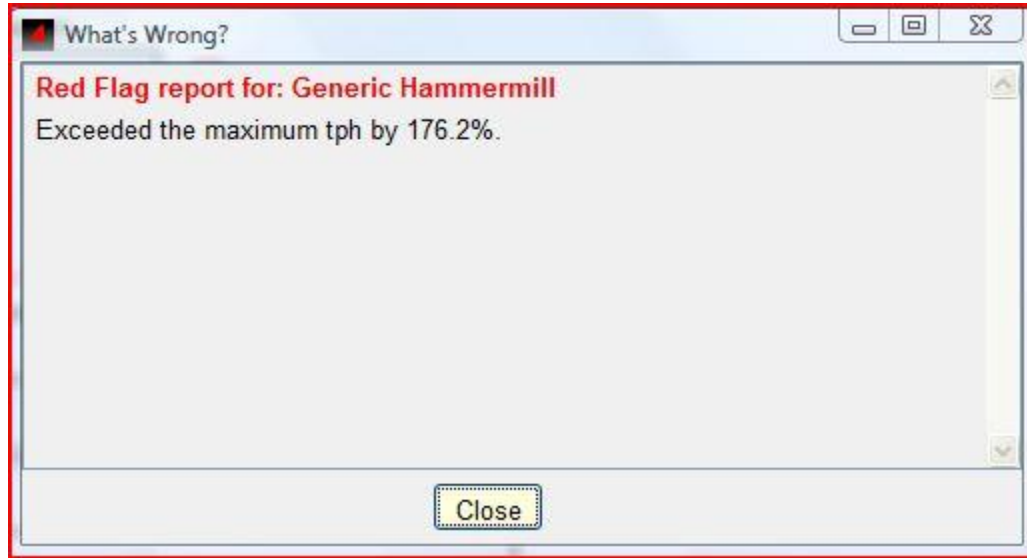
Ek 35: 1000 t/s beslemede çeneli kırıcıda oluşan ASPP hatası ve çözüm uyarısı



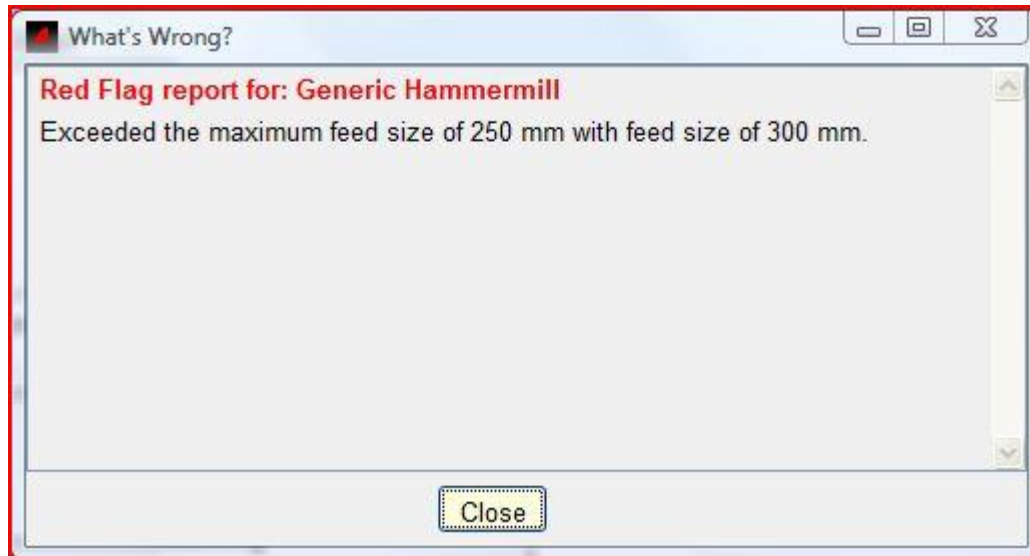
Ek 36: 1000 t/s beslemede konveyörde oluşan ASPP hatası ve çözüm uyarısı



Ek 37: 1000 t/s beslemede çekiçli kırıcıda oluşan ASPP hatası ve çözüm uyarısı

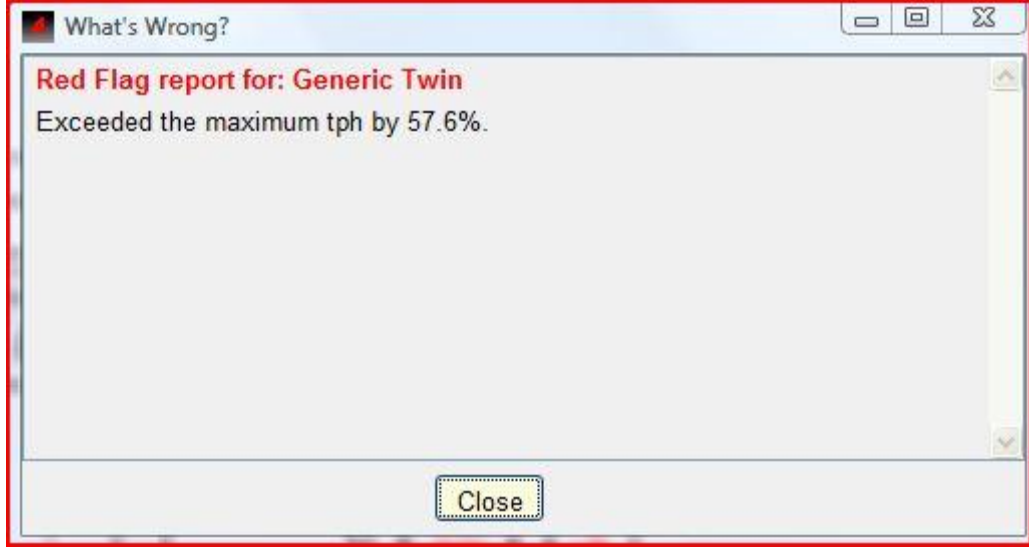


Ek 38: Titreşimli ızgara açıklığı 300 mm'de çekiçli kırıcıda oluşan ASPP hatası ve çözüm uyarısı

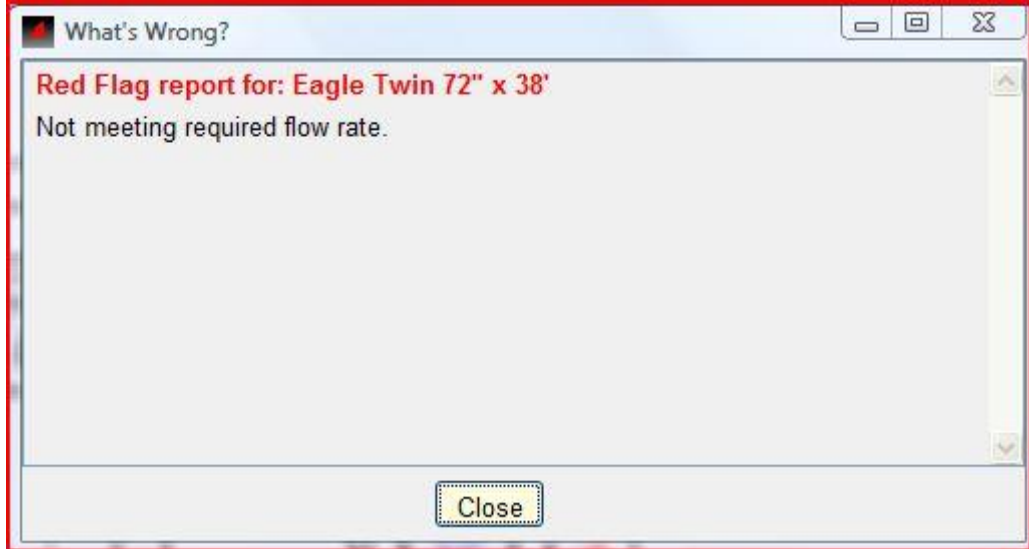


Bor cevheri simülasyon senaryo çıktıları :

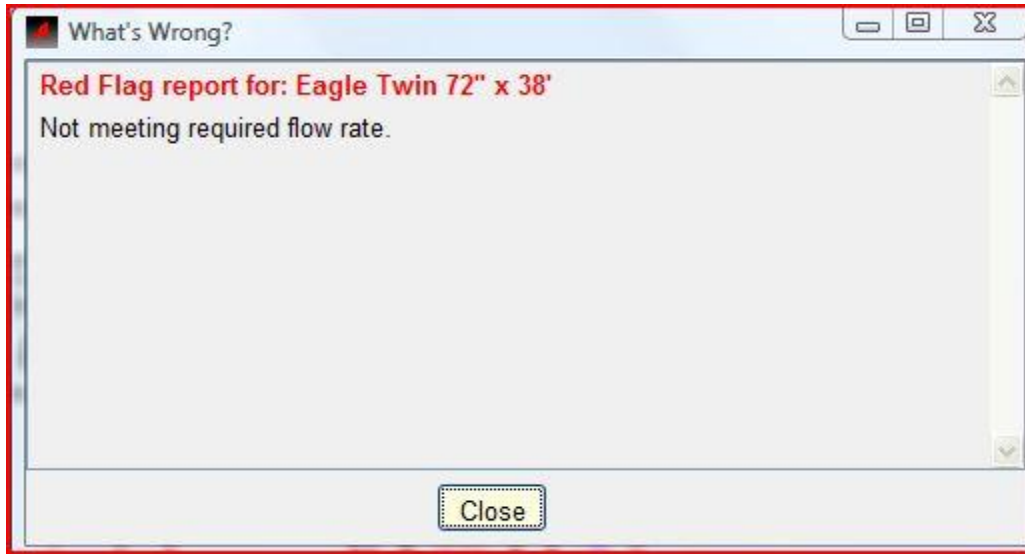
Ek 39: 500 t/s beslemede 1 nolu merdaneli kırıcıda oluşan ASPP hatası ve çözüm uyarısı



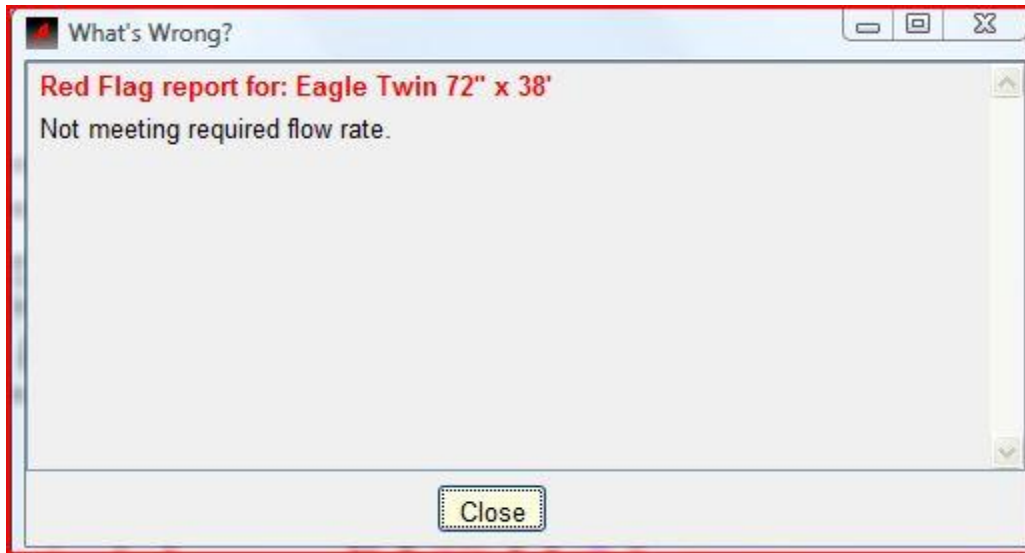
Ek 40: 500 t/s beslemede 1 nolu klasifikatörde oluşan ASPP hatası ve çözüm uyarısı



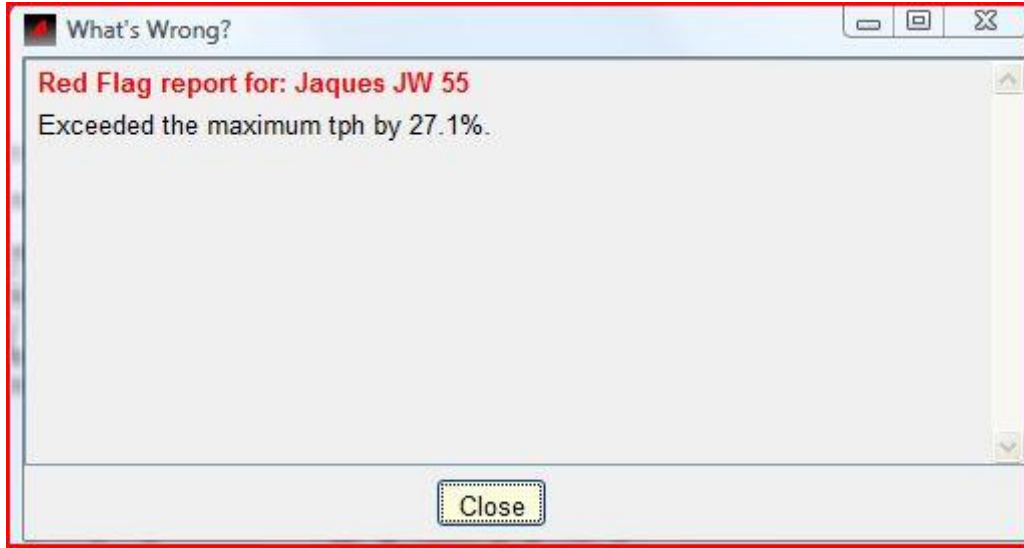
Ek 41: 500 t/s beslemede 2 nolu klasifikatörde oluşan ASPP hatası ve çözüml uyarısı



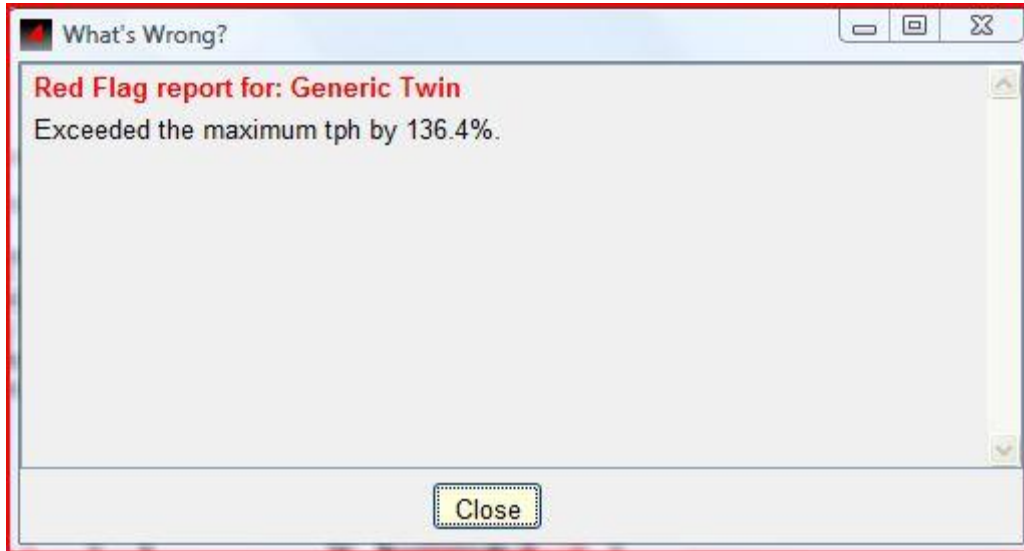
Ek 42: 500 t/s beslemede 3 nolu klasifikatörde oluşan ASPP hatası ve çözüml uyarısı



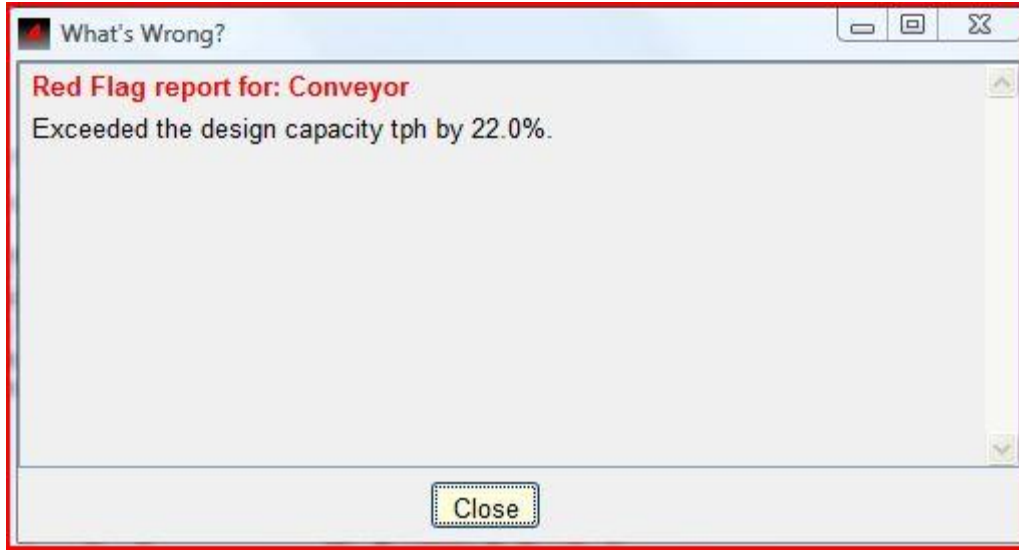
Ek 43: 750 t/s beslemede çeneli kırıcıda oluşan ASPP hatası ve çözüm uyarısı



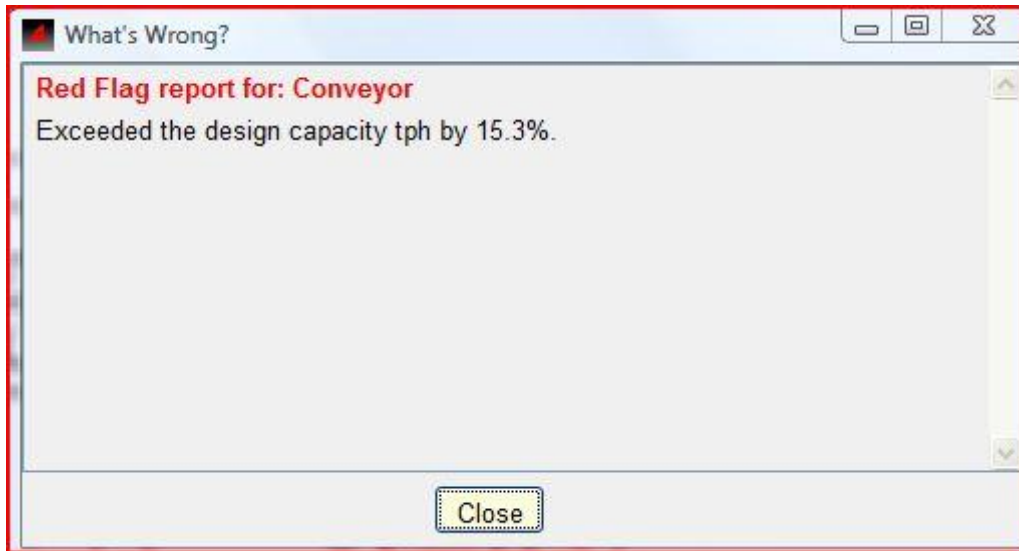
Ek 44: 750 t/s beslemede 1 nolu merdaneli kırıcıda oluşan ASPP hatası ve çözüm uyarısı



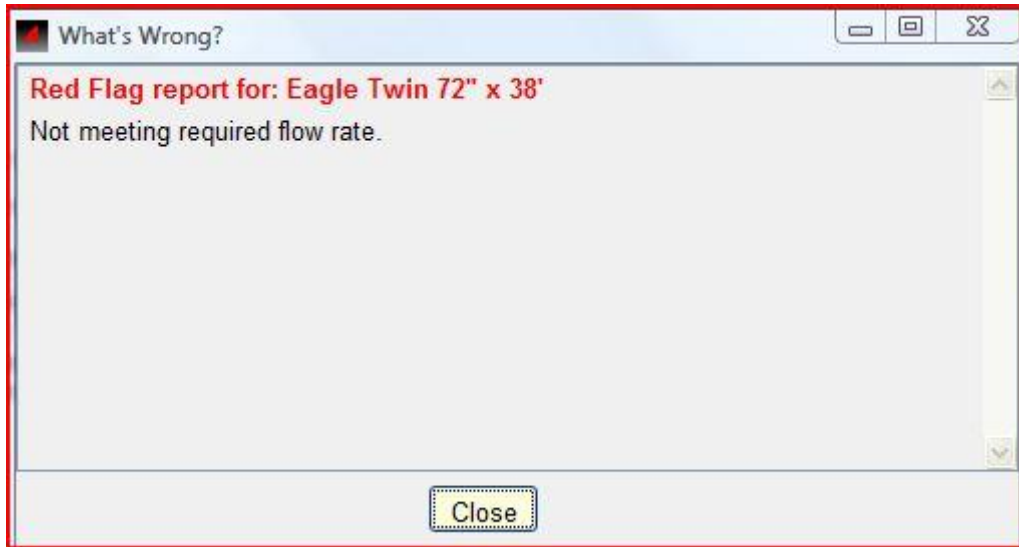
Ek 45: 750 t/s beslemede konveyörde oluşan ASPP hatası ve çözüm uyarısı



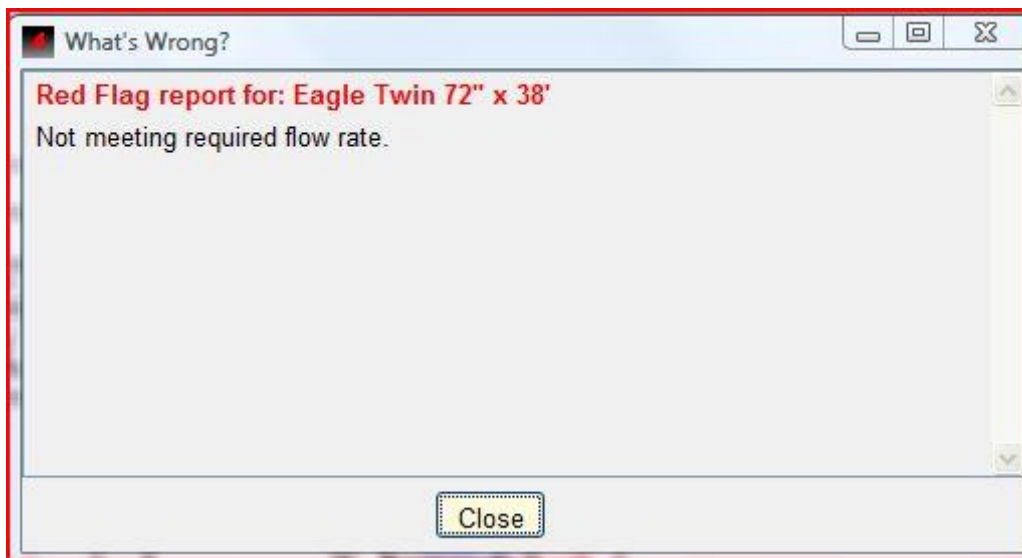
Ek 46: 750 t/s Beslemede triyaj bandında oluşan ASPP hatası ve çözüm uyarısı



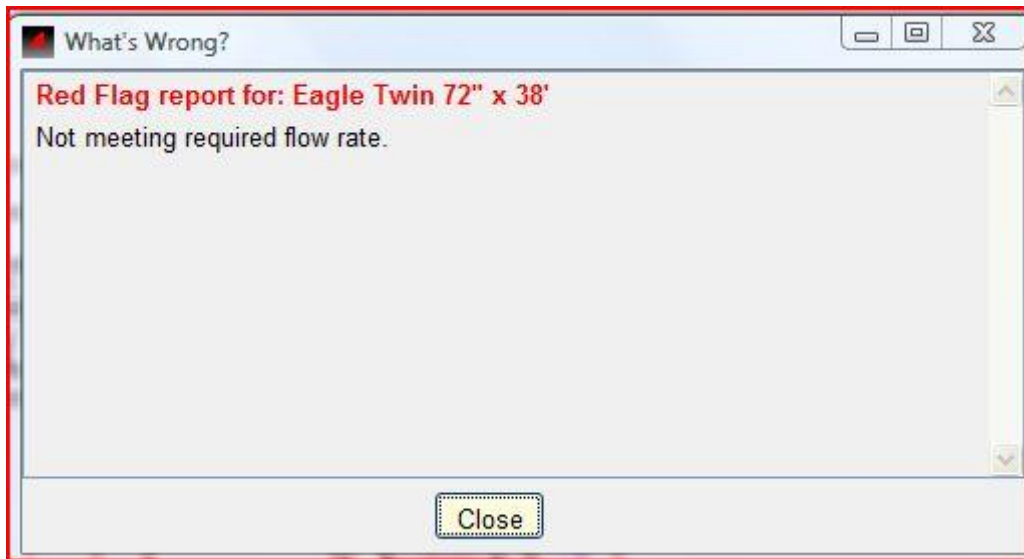
Ek 47: 750 t/s beslemede 1 nolu klasifikatörde oluşan ASPP hatası ve çözüm uyarısı



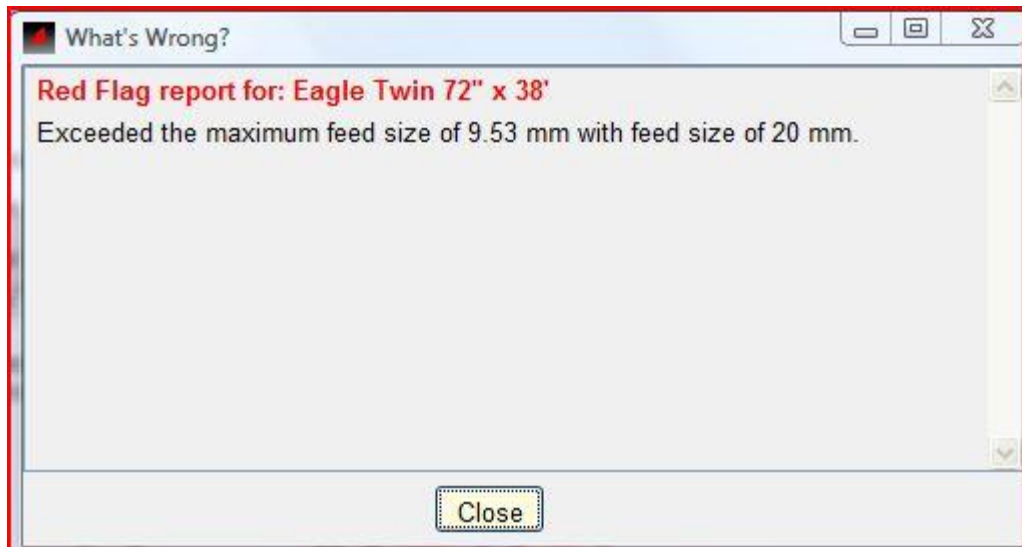
Ek 48: 750 t/s beslemede 2 nolu klasifikatörde oluşan ASPP hatası ve çözüm uyarısı



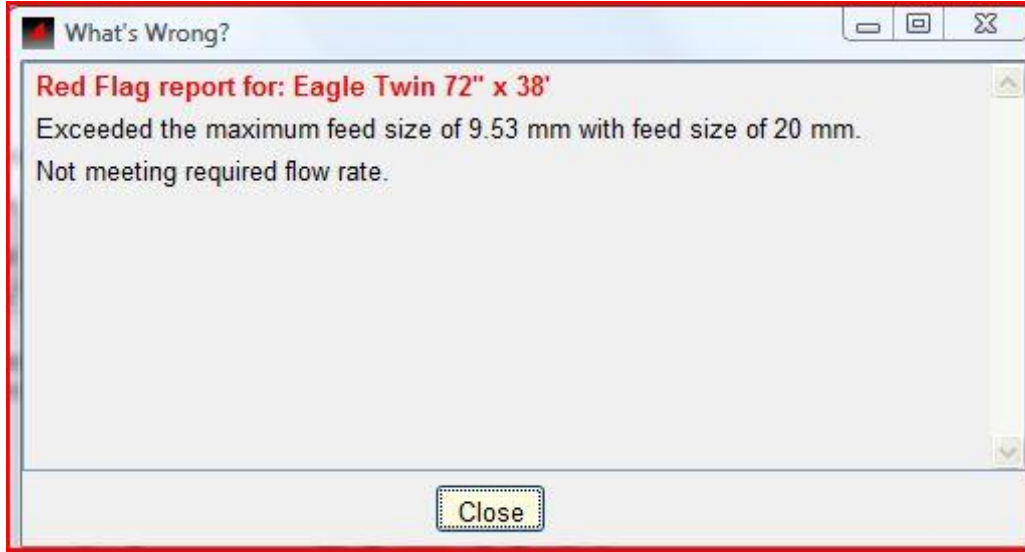
Ek 49: 750 t/s beslemede 3 nolu klasifikatörde oluşan ASPP hatası ve çözüm uyarısı



Ek 50: Çift katlı elek açıklığı değişimi ile 1 nolu klasifikatörde oluşan ASPP hatası ve çözüm uyarısı



Ek 51: Çift katlı elek açıklığı değişimi ile 2 nolu klasifikatörde oluşan ASPP hatası ve çözüm uyarısı



Ek 52: Çift katlı elek açıklığı değişimi ile 3 nolu klasifikatörde oluşan ASPP hatası ve çözüm uyarısı

