

# Monte Carlo Simülasyonu ile Makine Arızalarının Tahmini: Döküm Sanayisinde Bir Uygulama

*Mechanical failure prediction with Monte Carlo simulation method: An application in casting industry*

**Mehmet KARAHAN**

Yrd. Doç. Dr., Fırat Üniversitesi, İİBF İşletme Bölümü, (m.karahan@firat.edu.tr)

**Özgür ÜTKÜR**

Dicle Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü (ozgur.utkur@msb.gov.tr)

## ÖZ

### Anahtar

### Kelimeler:

Makine arıza tahmini, Monte Carlo Simülasyonu, Tahmin yöntemleri

Bir işletmede hangi makinenin ne zaman arıza yapacağını bilmek müşteri memnuniyeti, işletmenin rekabet edebilirliği ve zararlar meydana gelmeden, tedbirler alarak önüne geçilebilmesi bağlamında oldukça önemlidir. İşletmeler bu zararların önüne geçebilmek ve makinelerinden maksimum fayda elde edebilmek için makinelerine günlük, aylık, yıllık, periyodik bakım-onarım ve parça değişimleri yaparak, makinelerinin zamansız duruşlarını önlemeye çalışmaktadırlar. Ancak ne yazık ki üretim sürecindeki öngörülemez bazı sebeplerden dolayı, makineler bazen sorunlar çıkarabilmektedir. Bu sorunlar; çalışmakta olan mevcut makinelerin geçmişteki durumlarına bakılarak tahmin edilebilir. Yapılan bu tahminler; gerekli planlamalarda ve bütçe oluşturulması süreçlerinde işletmelere önemli faydalar sağlamaktadır. Çalışmada, benzer uygulamalarda yaygın olarak kullanılan tahmin yöntemlerinden biri olan Monte Carlo Simülasyon tekniğinin kullanılmasına karar verilmiş ve çalışmanın yapıldığı işletmenin geçmiş yıllardaki arıza verileri ele alınarak, gelecekte ortaya çıkması muhtemel arızalar tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bu değerlendirmeler sonucunda, işletmenin tahmin yöntemi sonuçlarından faydalanarak üretimini aksatmadan faaliyetlerini sürdürebilmesi öngörülmüştür. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, önceki yıl 920 dakika olarak gerçekleşen toplam makine arıza süresi, gelecek 392 gün için toplam 840 dakika olarak tahmin edilmiştir. Yani toplam arıza süresinde 80 dakika (% 8,70 oranında) azalma olacağı tahmin edilmiştir.

## ABSTRACT

### Keywords:

Machine Malfunction Forecasting, Monte Carlo Simulation, Forecasting Methods

In a business, it will be useful to know which machine will have a malfunction and when- in terms of customer contentment, the competitiveness of the management and taking precautions before the damages come into being. For avoiding from loss and getting the maximum benefits from the machines, business managements are trying to prevent from the unexpected stops of the machines by periodic; daily, monthly or yearly maintenance-repairs and renewal of the parts. But unfortunately, due to some unforeseen reason the production process, the machine can sometimes cause problems. These problems, which can be estimated by looking at the past work of the current machine status. These estimates provide significant benefits to the company in the process of establishing their production planning and budget. In this study, it was decided to use the Monte Carlo simulation technique is one of estimation methods commonly used in similar applications. Then, using the data that the application fault made in the past years the company has tried to forecast possible malfunctions to occur in the future. As a result of this evaluation, it is thought that the business may continue its activities without disrupting the production by taking the advantage of the results of our forecasting method and take necessary precautions. According to the results obtained from the study, the overall machine downtime 920 minutes in the prior year, was estimated at a total of 840 minutes for the next 392 days. That failure time would be a reduction in the total duration of 80 minutes (rate 8.70%) were estimated.

## 1. GİRİŞ

Günlük hayatın birçok anında tahminler yürütülür. Örneğin sokağa çıkmadan havanın nasıl olacağını, işe giderken binilen aracın nerelerde yavaşlayıp, nerelerde duracağını, kırmızı ışığın ne zaman yanacağını, iş yerine varınca hangi işlerle karşılaşılacağı, öğle yemeğinin kiminle yeneceği, akşam eve kaçta varılacağı gibi, hemen hemen her konuda tahminde bulunulur. Tahminlerde bulunmak her zaman faydalıdır, çünkü hiç tahmin yapmamak yerine yanlışta olsa bir tahmin yapmak ve zaman içerisinde doğru tahminler elde etmek mümkün olabilmektedir. Hasta muayene eden bir doktorun kesin teşhis koymadan, ihtimaller üzerine konuşması pek istenmeyen bir durum olsa da, işletmeler için ihtimallerden bahsetmek tam tersine istenen bir durumdur. Çünkü işletmeler hayatta kalıp, kârlarını arttırmak için bütün ihtimallere karşı hazırlıklı olup; satrançta

olduğu gibi kim daha ilerideki hamleleri görürse oyunu onun kazanacağını bilerek, ne zaman savunmaya, ne zaman saldırıya geçeceklerinin planlarını önceden yapmak isterler. Çalışmanın amacı da bu süreçte işletmelere geçmişlerinde yaşadıkları deneyimlerden ders alarak, gelecekte olabilecekleri matematiksel modeller yardımıyla tahmin ederek gösterebilmektir.

Tahmin, gelecekte meydana gelebilecek olayların belli bir dönem için sonuçlarının hesaplanmasıdır. Bu hesaplamalar geçmişteki olaylardan elde edilen veriler değerlendirilerek yapılır. İşletmeler hedeflerine ulaşabilmek için, ancak etkili bir tahmin yaparak optimum kâr seviyesine ulaşabilirler. Bu yüzden Bolt, (1981), ‘tahminler işletme kaynaklarının düzenleyicisidir’ demiştir. Günümüzde karar problemlerinin karmaşıklaşması, problemler arasındaki ilişkilerin karmaşıklığı, tecrübe ve sezgiye dayanan yöntemlerin yetersiz kalması sebebiyle istatistiksel metotlarla tahmin yapılmasını neredeyse zorunlu kılmıştır (Kobu, 1994). İstatistiksel metotlar; işletmenin geçmişine ait verilerinden hareketle gelecekte ortaya çıkması muhtemel gelişmelerin, planlamaların önceden yapılmasını mümkün kılan metotlardır (Tenkorong, 2006).

İşletme bilim dalında tahmin çalışmaları genellikle kapasite ve talep tahminleri şeklinde yapılmakla birlikte, işletme kültürünün gelişmesi sonucunda artık arıza tahminlerinde de kullanılmaya başlanmıştır. İşletmeler açısından her ne kadar önleyici bakım planlamaları yapılsa da, arızalarla sürekli beklenmedik zamanlarda karşılaşılması konunun önemini artmış, hesaplamalar için gerekli istatistiksel kayıtlara ulaşılması durumunda, daha doğru ve tutarlı tahminlerin yapılabilmesi işletmelerin olası olumsuzluklar karşısında hazırlıklı olmasını mümkün kılmıştır.

Çalışmada, istatistiksel tahmin yöntemlerinden Simülasyon metodunun, Monte Carlo simülasyon yöntemi hakkında bilgiler verilmiş ve MS Excel programı yardımıyla tasarlanan bir MC simülasyon modeli sayesinde bir fabrika arıza tahmin problemi çözümlenmesi yapılmıştır. Bu tahminler yardımıyla işletmenin gelecekte karşılaşacağı olumsuzluklar karşısında hazırlıklı olması, tedbirler alması mümkün kılınmaya çalışılmıştır.

## 2. SİMÜLASYON KAVRAMI

Simülasyon en geniş anlamıyla gerçeğin temsil (benzeşim) edilmesi demektir. Simülasyon; gerçeğin sözel, şekilsel veya sembolik olarak temsil edilmesidir. Günümüzde kullanıldığı şekliyle simülasyon, işletme yönetimi alanında karşılaşılan problemleri çözmek amacıyla bilgisayar kullanılması öngören, matematiksel modeller aracılığıyla gerçek bir sistemin temsil edilmesini sağlayan bir tekniktir. Simülasyon, işletmelerin karşılaştıkları problemleri kolayca çözmek ve sistemin sorunsuz işlenmesini sağlamak amacıyla tasarlanırlar. Tasarlanan bu modeller, üzerinde denemeler yapma imkânı sunduğundan hataların büyük zararlara neden olması engellenmiş olur (Tekin, 2010). Simülasyon bir sistemi gözlemlemek ve bilgi toplamaktan daha fazla avantajlar sunar. Simülasyon, yapılan ve sistemde uygulanabilenin işlemlerin ötesinde, farklı senaryolar oluşturma imkanları sunarak süreçlerin ayrıntılı analizini geliştirebilme avantajlarını da sunar (Aktepe vd., 2009). Simülasyon, bir faaliyetin veya sistemin esasını modellemenin bir yoludur. Modellemenin amacı, zaman içinde sistemin davranışını veya tepkisini değerlendirmek için deneyler yapabilmesini sağlamaktır. Doğrusal programlama gibi optimize edici bir yöntem değildir, ancak basit matematikle çözülemeyecek kadar karmaşık veya basit matematikle çözülmeye elverişli olmayan problemlere yaklaşma imkânı sunar (Monks, 1996).

Simülasyon, durağan olmayan karmaşık sorunların çözümünde kullanılan sistemli bir deneme-yanılma yöntemidir. Geniş anlamda benzetim, gerçeğin örneğini oluşturmaktır. Simülasyonu gerçek hayatta var olan bir sistemin ya da önerilerin kabulü ile var olabilecek bir sistemin uygulanma imkânının incelenmesi için herhangi bir modelden yararlanmaktır. Modeller gerçekleri yansıtır. Simülasyon ise gerçeği taklit eder. Simülasyon gerçeğin canlı bir resmini yansıtır (Hiller ve Liebermann, 1970).

Benzetim, sistemin modelinin kurulması ve bu model üzerinde denemeler yapılması anlamındadır. Benzetim, iki farklı açıdan incelenebilir. Bunlardan birincisi “benzeştirme” dir. Benzeştirme, fiziksel bir sistemin aynısının laboratuvar ortamında oluşturulması ve bu ortam üzerinde denemelerin yapılması anlamındadır. İkincisi ise matematiksel benzetimdir. Matematiksel benzetim, sistemin matematiksel modelinin oluşturularak bilgisayar ile analizinin yapılması anlamındadır. Bu anlamıyla benzetim, işletme problemlerinin çözülmesinde sıkça kullanılan bir tekniktir (Düzakın, 2005). Simülasyon var olan bir sistemin, birebir olmasa da buna yakın davranışlarını çok kısa sürede taklit eden, gelecekte neler ile karşılaşılacağını bildiren sihirli bir küredir. Simülasyon’un amacı, gerçek dünya sistemini girdi ve çıktılarıyla matematiksel olarak ifade etmek, kurulan model üzerinden tanıyıp araştırmak, değişik kararları ve seçenekleri gerçek sistemde hiçbir değişiklik yapmadan deneyebilmektir (Aktan, 2007).

### 2.1. Monte Carlo Simülasyonu

Monte Carlo (MC) metodu, ilk defa II. Dünya Savaşı sırasında atom bombasının geliştirilmesi ile ilgili problemlere uygulanmıştır. Günümüzde, matematikte numerik integrasyon problemlerinden, iktisatta faiz oranlarının olasılıksal modellenmesine kadar çok yaygın olarak kullanılan bir metottur. MC, rastgele değişkenlerin simülasyonu ile matematiksel problemlerin çözümünde kullanılan numerik bir metottur. Yaygın bir numerik teknik olan MC metodu bilgisayarların yaygınlaşmasıyla gelişmiştir ve yeni nesil bilgisayarların üretimi ile birlikte kullanım alanı genişlemiştir. MC metodu, gerçek güvenilirlik problemlerinin çözümünde oldukça yararlıdır.

MC metodu, sistemin rastgele davranışlarının ve gerçek süreçlerin benzetimlerinde güvenilirlik indislerini tahmin eder. MC yönteminde her eleman için rastgele sayılar üretilir ve üretilen rastgele sayılar için sistemin sağlanıp sağlanmadığı incelenir. Rastgele sayıların üretimi için çeşitli matematiksel yöntemler kullanılabilir gibi elle uygulanabilen pratik yöntemler ve daha önceden hazırlanmış tablolar da kullanılabilir. Çözümünecek sistemin durumuna göre, uygun rastgele sayı üretme yöntemlerinden biri kullanılır (Çavuş vd., 2003).

Aktan, (2007) yaptığı çalışmada, MC problemlerinin ihtimal dağılımları ile modellenebileceğini ifade etmiştir. Bazı sistemlerin analizini zorlaştıran, sistem verilerinin çok karmaşık bir yapıda ve rassal olmalarından ileri gelmektedir. Bu nedenle benzetim daha çok ve sıklıkla olasılığa dayalı benzetim şeklini almıştır. Bu aşamada benzetim ile analiz yapılabilmesi için rassal sayılara ihtiyaç vardır. MC yöntemi, ihtiyaç duyulan rassal sayıların bir olasılık dağılımının içerisinden seçilmesi için sıkça kullanılan bir tekniktir. MC yöntemi bir benzetim yöntemi olmayıp, benzetimle beraber kullanılan matematiksel bir süreçtir. Rassal sayıların seçiminde kullanılan bu yöntemin MC ismini almasının nedeni, Monaco'daki kumar oynanan yerlerde kullanılan ruletlerden kaynaklanmaktadır. Çünkü rulet diskleri, üzerlerinde sayılar barındırır ve çevrildikten sonra rastgele bir sayıda durur. İşte bu yüzden benzetimde kullanılması gereken sayıların da tamamıyla rastgele olması gerekir (Düzakın, 2005).

MC metodu, düzgün dağılımdan rassal değişkenler elde etmek ve bunları uygun bir şekilde ilgilenilen dağılıma taşımaktır. Bir düzgün dağılım, değişken değerlerinin özel bir alanla sınırlandırılmış olması ve eşit şanslara sahip olması durumunda veya aynı olasılıklara sahip olması durumunda mevcuttur. Çoğunlukla bu düzgün rassal değişkenlerden rassal sayılar olarak bahsedilir. MC örnekleme bir simülasyondan ziyade olasılıklı simülasyon modelleri ile birleşik olarak kullanılan bir yöntem veya metottur. MC metodunu gerçek bir durumun stokastik modelini oluşturup, bu model üzerinden örnekleme deneyleri hazırlama tekniği olarak tanımlayabiliriz. Bu tip simülasyonlar, stokastik yapıda birbiriyle ilişkili çok sayıda değişkene sahip sistem çıktılarının çalışılmasında kullanılmaktadırlar (Öztürk 2004).

## 2.2. Monte Carlo Simülasyon Yöntemi İle Problem Çözümü

Monte Carlo Simülasyonu (MCS) öncelikle sistemde yer alan değişkenlerin olasılık dağılımlarının belirlenmesini gerekli kılar. Bu dağılımlardan hareketle olasılıklı sayılar kullanılarak yapılan örnekleme yoluyla sistemin davranışlarına ilişkin veriler toplanır. Analizde yer alan tesadüfi değişkenlerin zaman içinde alacakları değerler bir dizi rassal sayı kullanılarak belirlenir. Rassal sayılar yoluyla oluşturulan olaylar, yapay nitelikte olmakla birlikte gerçek durumu yansıtan özelliktedir.

MCS'de gerçek durumu yansıtan rassal model oluşturulur ve model üzerinde örnekleme deneyleri gerçekleştirilir. Bu teknik yoluyla gerçek durumda derlenmesi çok uzun süre alacak çok miktarda veri derlenebilir. Verilerin türetilmesini takiben analitik işlemler yapılabilir ve söz konusu probleme ilişkin sonuçlar türetilir (Şenel, 1990). Bir sistemi meydana getiren elemanların o sistemin davranışlarına bağlı olduğu durumlarda MCS'nin kullanılması daha uygundur. MCS, rastgele örnekleme ve şans faktörü veya ihtimale bağlı olarak yapılan hesaplamalara dayanır.

## 3. LİTERATÜR TARAMASI

Literatürde arıza tahmini ile ilgili pek çok uygulama bulunmamakla birlikte, özellikle MCS tekniği ile sosyal bilimlerde istatistik, iktisat, işletme gibi bilim dallarında çokça uygulamaya rastlanmıştır. Ayrıca, fen bilimleri alanında başta fizik, endüstri mühendisliği ve matematik gibi bilim dallarında ise konuya ilişkin daha çok çalışma bulunduğu bilinmektedir. İşletme bilim dalında genellikle bu çalışmalar kapasite ve talep tahminleri için yapılmaktayken, işletme kültürünün gelişmesi sonucunda arıza tahminlerinde de kullanılmaya başlanmıştır. İşletmeler açısından her ne kadar önleyici bakım çalışmaları yapılsa dahi, işletmelerin arızalarla sürekli karşılaşılması münasebetiyle konunun önemi artmıştır. Bu hesaplamalar için gerekli istatistiksel kayıtlara ulaşılması durumunda, daha doğru ve tutarlı tahminler yapılarak işletmelerin olası olumsuzluklar karşısında önceden hazırlıklı olması mümkün olabilmektedir.

Beyhan, (2006)'ın yaptığı çalışmada hücresele üretim mantığına göre kurulmuş bir gerçek üretim sisteminin, bir hücresi ele alınarak bu hücrenin çifte kaynak kısıtı altındaki performansı simülasyon modeli yardımı ile incelenmiş ve sonucunda hücrenin daha az işçi ile aynı üretimi yapabileceği ileri sürülmüştür.

Öztürk, (2004)'ün yaptığı çalışmada AB iplik fabrikasındaki makineler gözlenerek veriler toplanmıştır. Bu veriler doğrultusunda MC simülasyon modeli sayesinde optimal kopça değiştirme süresinin 13 gün olduğu tespit edilip, gözlem değerleri ile beklenen değerler arasında çok fazla fark olmadığı belirlenmiştir.

Yıldız ve Tunalı (2001)'nin yaptığı çalışmada video kaset üreten bir fabrikanın bant sarım bölümündeki sarım hatlarında, taşıma işlerinin Otomatik Kılavuzlu Araçlarla (OKA) yapılması durumunda, günlük üretim miktarında ne gibi bir iyileştirme olabileceği araştırılmış ve bu amaçla tasarlanan model kullanılarak yapılan testlerde 37 saniyelik işlem süreleri için hali hazırdaki sistemin otomatik kılavuzlu araçlardan daha avantajlı olduğu, ancak daha düşük işlem süreli (daha hızlı) durumlarda OKA'lar ile çalışmanın daha kârlı olacağı tespit edilmiştir.

İlkay ve Aslan (2008)'in Erciyes Üniversitesi "Yeni Öğrenci Kayıt Sisteminin Simülasyonu" adlı çalışmalarında, mevcut sistemin yeterli sayıda öğrencinin kaydını yapabildiği, ancak kaynakların kullanım oranlarının düşük olduğunu tespit etmişler ve alternatif olarak geliştirdikleri öğrenci kayıt sisteminin ise, daha kısa sürede kayıt yapabildiğini ifade etmişlerdir. Yeni kayıt sistemi, kaynak kullanımını minimum kılarak, banka veznelerinde %40, kayıt masalarında %52 oranında işlem süresini azaltarak, kayıt sisteminde geçirilen ortalama süreyi % 2-10 arasında tahammül edilebilir bir artışla karşılaşılmakta olup, süreç verimliliğini arttırmayı başarmışlardır.

Büyükyazıcı ve Taşar (2011)'in yaptıkları çalışmada, MCS ile optimal saklama payı seviyesi hesabında bazı durumlarda analitik çözümler elde edilebileceği, bazı durumlarda ise çözüm elde edilemeyeceği ifade edilmiş, analitik çözümün elde edilemediği durumlarda ise optimal saklama payının MC stokastik optimizasyonu ile elde edilebileceğini ileri sürmüşlerdir.

Gür (2006)'ün yaptığı çalışmada, PERT metoduyla proje süresinin optimizasyonu sürecinde WinQSB programıyla proses model simülasyonu yapılmıştır. Bu çözümlene sürecinde, simülasyon sayısı arttırıldıkça projenin tamamlanma süresinin de beklenen değere gittikçe yaklaştığı gözlemlenmiştir. WinQSB paket programı, MCS faaliyet sürelerine göre belirli aralıklarda rassal değişkenler ürettiği için birbirinden farklı yüzlerce kritik yol hesaplayabilmektedir. İşletme olasılık dağılımlarına göre yapılan bu simülasyon sonuçlarına göre; proje tamamlama süresini, kaynakların aktarılmasını, kritik kararların alınmasını, müşteri memnuniyetini artırmasını sağlayabilmekte ve bir sonraki projeye başlama tarihinin atanmasında da dikkate değer destekler alabilmektedir.

## 4. PİK DEMİR FABRİKASINDA ARIZA TAHMİNİ UYGULAMASI

Çalışma Adana ilinde Pik demir üreten bir fabrikada 2013 yılında yapılmıştır. Verilerin elde edilme sürecinde öncelikle fabrika yöneticilerinden gerekli izinler alınmış ve daha sonra üretim sürecinde sürekli çalışan makinelerin bakım ve onarımından sorumlu kişilerle görüşülerek bunlardan gerekli bilgiler ve kayıtlar alınmıştır.

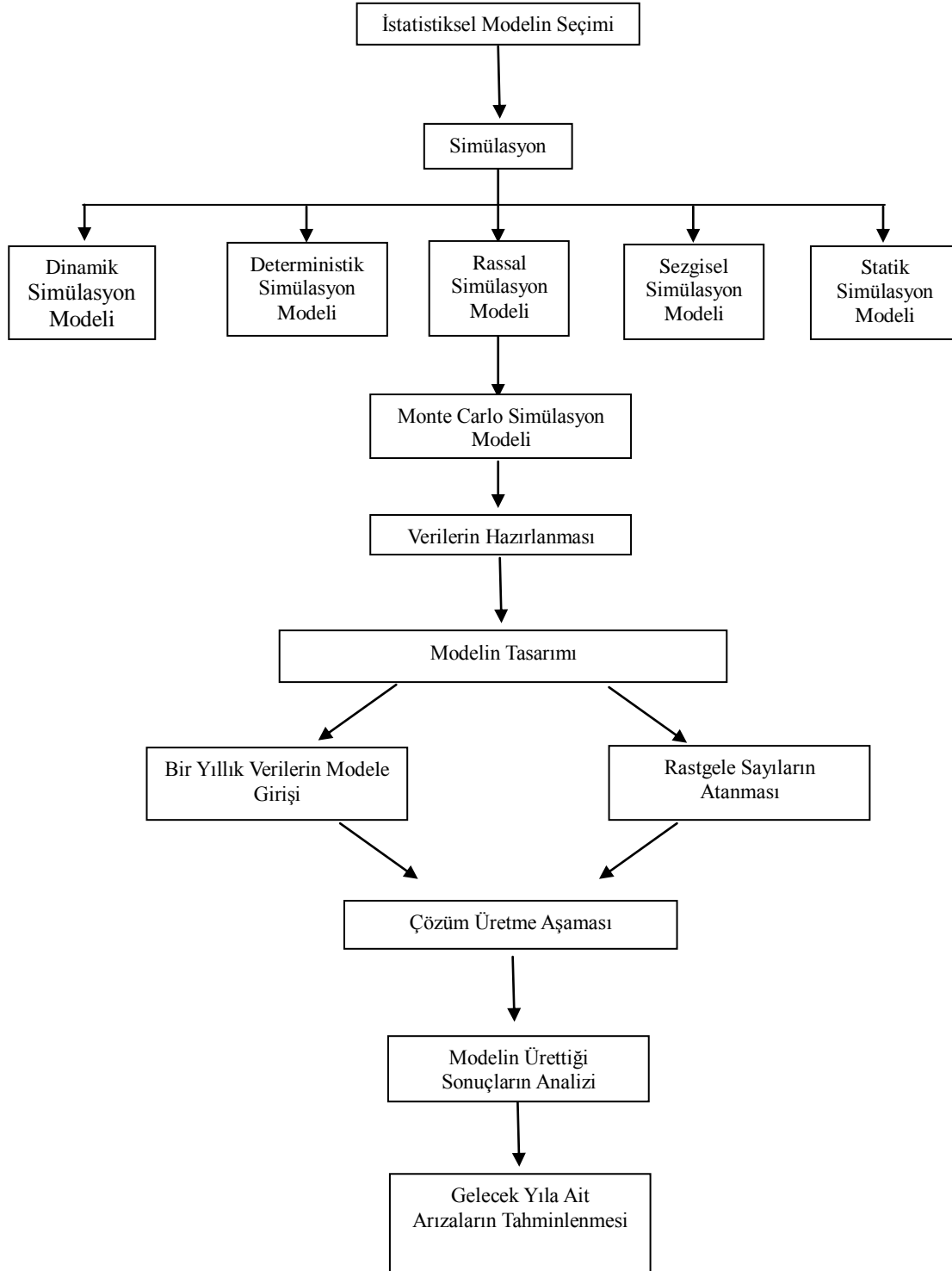
### 4.1. MCS Modelinin Tasarımı

Uygulamada kullanılan MCS modelinin tercih edilmesinin sebebi, yapılan literatür araştırması sonucunda benzer problemlerin çözümünde bu metottan oldukça tutarlı sonuçlar elde edilmesi ve güvenilirliğinin yüksek olmasıdır. İşletmenin geçmiş yıllarda aylık olarak karşılaştığı arıza sayıları ve arıza sürelerine ait veriler işletmenin kayıtlarından elde edilip, düzenlendikten sonra Excel ortamında MCS modeli tablo olarak hazırlanmış ve formüller ilgili hücrelere yazılmıştır. Çalışmada geçmiş yıllara ait bu verilerden yararlanılarak fabrikanın bir sonraki yılda ne kadar arıza ile karşılaşacağı tahmin edilmiştir. MCS modelinin Excel programı ile formüle edilmesi sayesinde matematiksel işlemler, otomatik olarak yapılabilmekte ve sonuçlar daha kolay analiz edilebilmektedir. Şekil 1'te modelin tasarım sürecinde izlenen yol, adım adım şematize edilmiştir.

### 4.2. Verilerin Hazırlanması

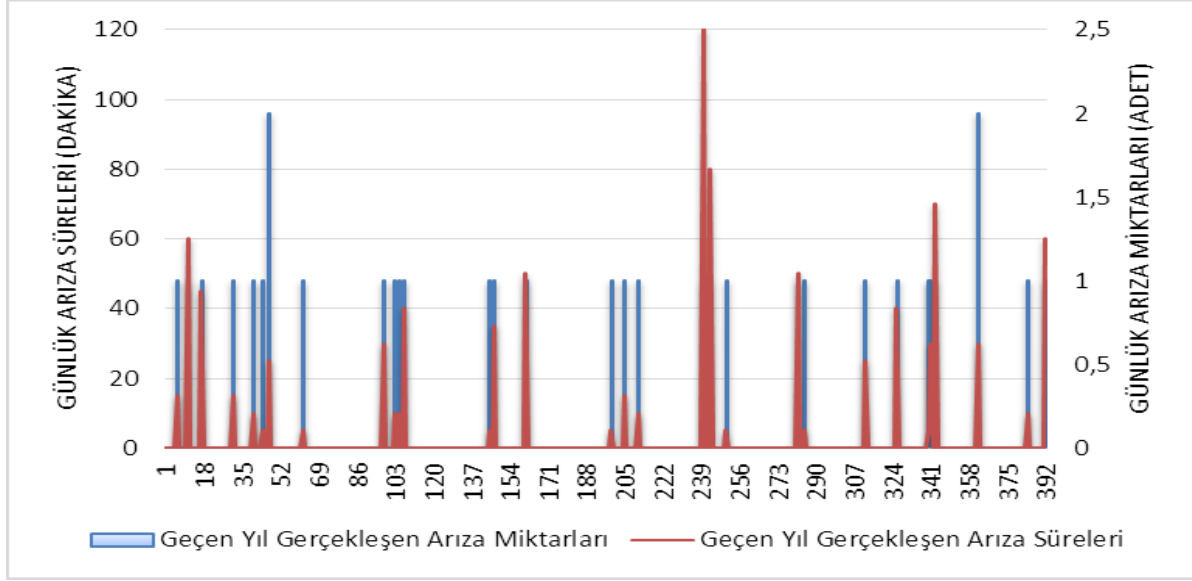
Uygulama için seçilen fabrikada en fazla zaman kaybına sebep olan, fabrikayı duraksamalarla en fazla zarara uğratan "Kaynak, CNC İşleme, Torna, Freze ve Matkap" makineleri seçilerek bu makinelerle ilgili arıza kayıtları incelenmiş ve bu bilgiler veri setlerine dönüştürülmüştür. Belirlenen bu makinelerin dışındaki diğer makinelerde meydana gelen arızalar bu çalışmada dikkate alınmamıştır. İşletmede, arıza takibi için tutulan kayıtlar arıza tahmini için yeterli olsa da, bu kayıtların ileriki zamanlarda daha detaylı ve sürekli tutulması elde edilecek sonuçların tutarlılığını arttırabilecektir.

Şekil 1: Simülasyon İle Problem Çözümü Akış Şeması



Makine bakım kartlarından, haftalık ve aylık periyotlar ile yapılan bakımlarının zamanı ve süreleri hakkındaki bilgiler, bakım dışında belirsiz zamanlarda gerçekleşen tamiratlarla ilgili bilgiler, makinelerin duruş sürelerine ait bilgiler, makine bazında değil de fabrikanın tümü ele alınarak belirlenmiş ve elde edilen bu bilgiler tablo haline getirilmiştir. Elde edilen veriler 25.03.2012 tarihi ile 20.04.2013 tarihleri arasında kapsamakta olup, bu veriler toplam 392 güne aittir. Şekil 2’de ilgili dönemdeki makine arızalarına göre hazırlanan arıza sayısı ve arıza sürelerini gösterilmiştir.

Şekil 2: Günlük Makine Arıza Dağılımı



Şekil 2’de görüldüğü gibi geçmiş yıla ait arıza sayısı ve arıza sürelerini günlük olarak gösteren grafik incelendiğinde, günlük arızaların sene başında ve sene sonunda daha çok meydana geldiğini söylemek mümkündür. Grafik arıza süresi açısından incelendiğinde ise senenin ortalarında ortaya çıkan arızaların daha uzun süreli olduğu, fabrikadaki maksimum arıza süresinin 240’ıncı günde meydana gelen arızada 120 dakika olduğu görülmektedir.

İşletmede en uzun süre arıza yapan makineler sırasıyla; Torna-1 (240 dk.), CNC İşleme Merkezi (230 dk.), Torna-2 (160 dk.), Matkap (155 dk.), Freze (90 dk.) ve Kaynak (45 dk.) makineleridir. Toplamda en sık arızalanan makineler ise sırasıyla: Matkap (10 adet), Torna-1 (7 adet), Kaynak (5 adet), Torna-2 ve CNC İşleme Merkezi (4 adet) ve Freze (3 adet) makineleridir. En yüksek arıza katsayısına sahip Torna makinesini ikame edebilecek ek bir Torna makinesinin bulunması, işletmede boş geçen toplam zamanları azaltmakla birlikte, çok pahalı ve bir o kadar da önemli olan CNC makinesinin duruşlarını ve tamir maliyetlerini azaltacaktır.

#### 4.3. Monte Carlo Simulasyonu ile Arıza Tahmininin Excel Çözümlemesi

MCS yöntemiyle yapılan hesaplamaları daha pratik bir şekilde yapabilmek üzere bu konuda etkin kullanıma sahip olan Excel programından yararlanılmıştır. Öncelikle ilgili formüller Excel hücrelerine yazılarak Şekil 3’de görüldüğü üzere, en sağda “L” sütununda “=EĞER(I2="" ; "" ; (DÜŞEYARA(I2 ; \$J\$2 : \$K\$1001 ; 2)))” formülü yazılarak, alttaki “L1001” sütununa kadar kopyalandıktan sonra “L1002” hücresine toplama işlemi yapacak olan “=TOPLA(L2:L1001)” formülü yazılmıştır. İşlem sonucunun alınıp, programın tutarlılığını gözlemlemek için rastgele sayı aralıkları, göz ile de kontrol edilmiştir. Yapılan bu işlemler ve sonuçları Şekil 3’de gösterilmiştir.

Şekil 3’de görüldüğü gibi önceki yıl 920 dakika olarak gerçekleşen toplam makine arıza süresi, gelecek 392 gün için toplam 840 dakika olarak tahmin edilmiştir. Yani toplam arıza süresinde 80 dakika (% 8,70 oranında) azalma olacağı tahmin edilmiş ve bir önceki aşamada olduğu gibi arıza miktarı artmamış, tam aksine işletme için olumlu bir durum öngörülmüştür. Şekil 3’de görülen tablodaki toplama bölme gibi matematiksel işlemler otomatik olarak formüllerde belirtildiği gibi yapıldığından işlem sonuçları program tarafından otomatik olarak yuvarlanmaktadır. Bu nedenden işlem sonuçları görsel olarak farklı görülse de genel toplamlar kontrol edilmiştir.

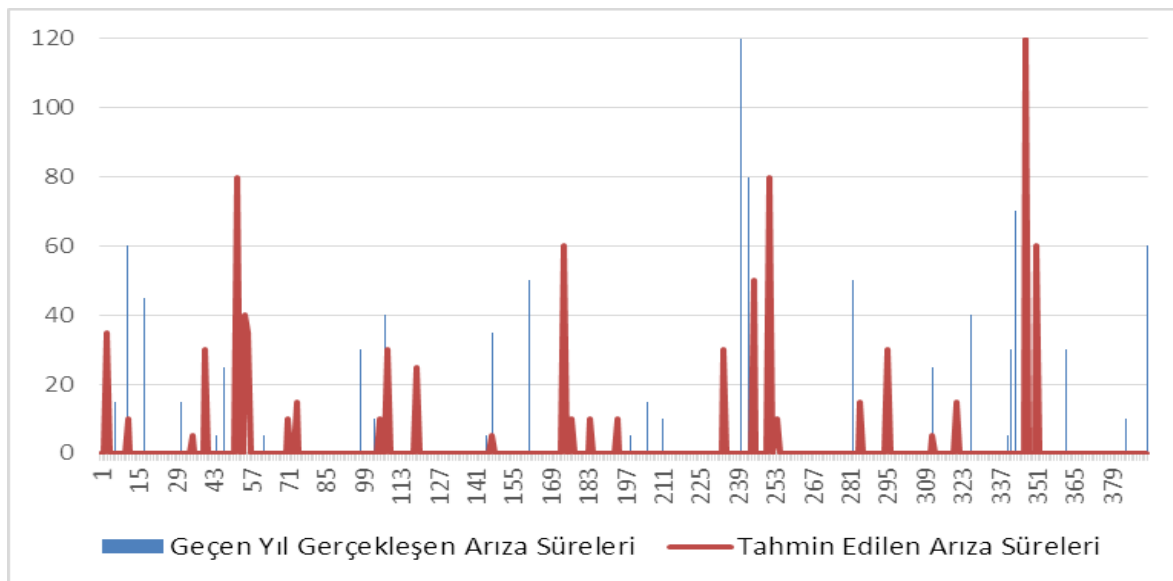
Şekil 4’de önceki yıl gerçekleşen arıza süresi ile tahmin edilen arıza sürelerinin birbirleri ile karşılaştırıldığı grafik yer almaktadır. Şekil 4’de görüldüğü üzere, önceki yıl gerçekleşen arıza süresi ile gelecek yıl için tahmin edilen 392 günlük muhtemel arıza süreleri birbirine yakın değerlerdir. Bu değerlerin birbirine yakınlığı, gerçek ile tahmin edilenin karşılaştırması olduğundan, tahminin tutarlılığına işaret etmektedir.

Şekil-3: Excel İle Gelecek Bir Yıllık Makine Arıza Sürelerinin Tahmini

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
	Yinelenen Arıza Süreleri	Frekanslar	Arıza İhtimalleri	Kümülatif İhtimal	Rastgele Sayı Aralığı	Rastgele Sayılar	Kümülatif İhtimal	Yinelenen Arıza Süreleri	Tahmin Edilen Arıza Süreleri		
1	0	361	0,9209	0,0000	0,000 - 0,921	0,511	0,000	0	0		
2	5	7	0,0179	0,9209	0,922 - 0,939	0,176	0,921	5	0		
3	10	5	0,0128	0,9388	0,940 - 0,952	0,972	0,939	10	35		
4	15	3	0,0077	0,9515	0,953 - 0,959	0,051	0,952	15	0		
5	25	2	0,0051	0,9592	0,960 - 0,964	0,169	0,959	25	0		
6	30	3	0,0077	0,9643	0,965 - 0,972	0,140	0,964	30	0		
7	35	1	0,0026	0,9719	0,973 - 0,974	0,570	0,972	35	0		
8	40	2	0,0051	0,9745	0,975 - 0,980	0,808	0,974	40	0		
9	45	1	0,0026	0,9796	0,981 - 0,982	0,857	0,980	45	0		
10	50	2	0,0051	0,9821	0,983 - 0,987	0,758	0,982	50	0		
11	60	2	0,0051	0,9872	0,988 - 0,992	0,949	0,987	60	10		
12	70	1	0,0026	0,9923	0,993 - 0,995	0,808	0,992	70	0		
13	80	1	0,0026	0,9949	0,996 - 0,997	0,912	0,995	80	0		
14	120	1	0,0026	0,9974	0,998 - 1,000	0,097	0,997	120	0		
15			1,0000	1,0000		0,114	1,000		0		
16						0,229			0		
1002	<b>Toplam</b>	<b>392</b>	<b>1,000</b>						<b>840</b>		

Aşağıda Şekil 4’de görüldüğü gibi, geçen yılın arıza süreleri ile tahmin edilen arıza süreleri karşılaştırıldığında; maksimum arıza sayısı olan 120 dakikalık arıza süresinin üç ay gecikmeli olarak tekrar gerçekleşeceği, geçen yıl bir sefer gerçekleşen 80 dakikalık arızanın da gelecek yıl iki defa ortaya çıkacağı tahmin edilmiştir. Geçen yıl 70 dakika olarak gerçekleşen arızanın tekrarlanmayacağı ve yine geçen yıl 60 dakika olarak gerçekleşen iki adet arızanın gelecek yıl tekrarlanacağı tahmin edilmiş, geri kalan daha küçük süreli arızaların da önemli düzeyde azalma göstereceği tahmin edilmiştir.

Şekil 4: Geçen Yıl Gerçekleşen ile Tahmin Edilen Arıza Sürelerinin Karşılaştırması



Şekil 4’de tahmin edilen arıza süreleri ile gerçekleşen arıza sürelerinin karşılaştırmalı olarak gösterildiği bir grafik sunularak, gelecek yıl içerisinde muhtemelen ortaya çıkacak arızalar ve bu arızaların üretim sürecini durduracağı zaman miktarlarının görsel olarak inceleme imkânı sunulmuştur. Bu sayede arızalar ortaya çıkmadan önce, gerekli önlemlerin alınması fırsatının oluşturulması amaçlanmıştır. Yukarıda anlatılan işlem ve formüller Excel programına girilerek yıllık makine arıza sürelerinin tahmini, bu program sayesinde daha pratik ve kolayca elde edilebilir yapılmaya çalışılmıştır.

Bir Excel çalışma sayfasında oluşturulan formda “A” sütununda; geçmiş yıllarda meydana gelen arıza sayılarına ait verilerin yazıldığı bir sütun oluşturulmuştur. Bu sütunda herhangi bir formül bulunmamakta, yalnızca işletmeden elde edilen veri girişleri yapılmaktadır.

Çalışma sayfasının “B” sütununda; işletmedeki makinelerde meydana gelen arızaların tekrar sayılarının girildiği bir sütundur. Bu sütunda da herhangi bir formül bulunmamakta, yalnızca işletmeden elde edilen veri girişleri yapılmaktadır.

Oluşturulan formun “C” sütununda; manüel olarak yapılan MC tahmin tablolarındaki gibi, frekans sütunu oluşturulmuş ve formülü yazılmıştır. “D” sütununda arıza ihtimalleri sütunu, “E” sütununda Kümülatif ihtimal formülüzasyonu, “F” sütununda rastgele sayı aralığının Excel tarafından otomatik olarak üretildiği formülüzasyon yapılmıştır. “I” sütununda üretilen rastgele sayıların gösterildiği bir sütun oluşturulmuştur. “J” sütununda kümülatif ihtimal hesabı için gerekli formülüzasyon yapılmış, “K” sütununda tekrarlanan arıza miktarları ileriki hesaplamalar için tekrar bu sütuna formülle yazdırılmıştır.

Excel formunun en son “L” sütununda, nihai olarak hedeflediğimiz tahmini arıza sayısının belirlenmesi aşamasına geçilmiştir. Bu sütunda her bir satır için tahminlenen arıza sayıları yazdırılmakta ve en son 1002’inci satırda da 1001 adet veriye ait tahmini arıza sayılarının toplamları alınmaktadır. Programın çalışması için gerekli olan verilerin “A” ve “B” sütunlarına girilmesinden sonra, program otomatik olarak tahminlerini üretecek ve karar vericilere geleceği planlama adına önemli destekler sağlayacaktır.



Şekil 5: MC Tahmin Sürecinin Excel Formuna Formüle Edilmesi

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Verilen Arıza Miktarları	Yinelenen Arıza Miktarları	Frekanslar	Arıza İhtimalleri	Kümülatif İhtimal	Rastgele Aralık	Rastgele Sayı	Rastgele Sayılar	Kümülatif İhtimal	Yinelenen Arıza Miktarları	Tahmin Edilen Arıza Miktarları	
1	0	=EĞER(B2' ='';EĞE 2'=';C2/ RSAY(A:A; B2)))	=EĞER(C 2'=';C2/ SC\$1002)	0,000	0,000 -	=E3	=EĞER( A2=';( S_SAYI ÜRET0))	=E2	=EĞER(B2 '=';B2)	=EĞER(D2=' (DÜŞEYARA 2;' 1;2)))	
2	1	=EĞER(B3' ='';EĞE 3'=';C3/ RSAY(A:A; B3)))	=EĞER(C3 ='';EĞE 3'=';C3/ SC\$1002)	=EĞER(D2 ='';EĞE 3'=';C3/ SC\$1002)	=E4	=E4	=S_SAYI	=E3	=EĞER(B3 '=';B3)	=EĞER(D2=' (DÜŞEYARA 3;' 1;2)))	
3	2	=EĞER(B4' ='';EĞE 4'=';C4/ RSAY(A:A; B4)))	=EĞER(C4 ='';EĞE 4'=';C4/ SC\$1002)	=EĞER(D3 ='';EĞE 4'=';C4/ SC\$1002)	=E5	=E5	=S_SAYI	=E4	=EĞER(B4 '=';B4)	=EĞER(D2=' (DÜŞEYARA 4;' 1;2)))	
4	0	=EĞER(B5' ='';EĞE 5'=';C5/ RSAY(A:A; B5)))	=EĞER(C5 ='';EĞE 5'=';C5/ SC\$1002)	=EĞER(D4 ='';EĞE 5'=';C5/ SC\$1002)	=E6	=E6	=S_SAYI	=E5	=EĞER(B5 '=';B5)	=EĞER(D2=' (DÜŞEYARA 5;' 1;2)))	
5	0	=EĞER(B6' ='';EĞE 6'=';C6/ RSAY(A:A; B6)))	=EĞER(C6 ='';EĞE 6'=';C6/ SC\$1002)	=EĞER(D5 ='';EĞE 6'=';C6/ SC\$1002)	=E7	=E7	=S_SAYI	=E6	=EĞER(B6 '=';B6)	=EĞER(D2=' (DÜŞEYARA 6;' 1;2)))	
6	1	=EĞER(B7' ='';EĞE 7'=';C7/ RSAY(A:A; B7)))	=EĞER(C7 ='';EĞE 7'=';C7/ SC\$1002)	=EĞER(D6 ='';EĞE 7'=';C7/ SC\$1002)	=E8	=E8	=S_SAYI	=E7	=EĞER(B7 '=';B7)	=EĞER(D2=' (DÜŞEYARA 7;' 1;2)))	
7	0	=EĞER(B8' ='';EĞE 8'=';C8/ RSAY(A:A; B8)))	=EĞER(C8 ='';EĞE 8'=';C8/ SC\$1002)	=EĞER(D7 ='';EĞE 8'=';C8/ SC\$1002)	=E9	=E9	=S_SAYI	=E8	=EĞER(B8 '=';B8)	=EĞER(D2=' (DÜŞEYARA 8;' 1;2)))	
8	0	=EĞER(B9' ='';EĞE 9'=';C9/ RSAY(A:A; B9)))	=EĞER(C9 ='';EĞE 9'=';C9/ SC\$1002)	=EĞER(D8 ='';EĞE 9'=';C9/ SC\$1002)	=E10	=E10	=S_SAYI	=E9	=EĞER(B9 '=';B9)	=EĞER(D2=' (DÜŞEYARA 9;' 1;2)))	
9	0	=EĞER(B10' ='';EĞE 10'=';C10/ RSAY(A:A; B10)))	=EĞER(C10 ='';EĞE 10'=';C10/ SC\$1002)	=EĞER(D9 ='';EĞE 10'=';C10/ SC\$1002)	=E11	=E11	=S_SAYI	=E10	=EĞER(B10 '=';B10)	=EĞER(D2=' (DÜŞEYARA 10;' 1;2)))	
10	0	=EĞER(B11' ='';EĞE 11'=';C11/ RSAY(A:A; B11)))	=EĞER(C11 ='';EĞE 11'=';C11/ SC\$1002)	=EĞER(D10 ='';EĞE 11'=';C11/ SC\$1002)	=E12	=E12	=S_SAYI	=E11	=EĞER(B11 '=';B11)	=EĞER(D2=' (DÜŞEYARA 11;' 1;2)))	
11	1	=EĞER(B12' ='';EĞE 12'=';C12/ RSAY(A:A; B12)))	=EĞER(C12 ='';EĞE 12'=';C12/ SC\$1002)	=EĞER(D11 ='';EĞE 12'=';C12/ SC\$1002)	=E13	=E13	=S_SAYI	=E12	=EĞER(B12 '=';B12)	=EĞER(D2=' (DÜŞEYARA 12;' 1;2)))	
12	0	=EĞER(B13' ='';EĞE 13'=';C13/ RSAY(A:A; B13)))	=EĞER(C13 ='';EĞE 13'=';C13/ SC\$1002)	=EĞER(D12 ='';EĞE 13'=';C13/ SC\$1002)	=E14	=E14	=S_SAYI	=E13	=EĞER(B13 '=';B13)	=EĞER(D2=' (DÜŞEYARA 13;' 1;2)))	
13	0	=EĞER(B14' ='';EĞE 14'=';C14/ RSAY(A:A; B14)))	=EĞER(C14 ='';EĞE 14'=';C14/ SC\$1002)	=EĞER(D13 ='';EĞE 14'=';C14/ SC\$1002)	=E15	=E15	=S_SAYI	=E14	=EĞER(B14 '=';B14)	=EĞER(D2=' (DÜŞEYARA 14;' 1;2)))	
	<b>Toplam</b>	=TOPLA(C 2:C1001)	=TOPLA( D2:D1001)	=EĞER(D 1001'=' E1001+D 1001)						=TOPLA(D2:L1 001)	
1002											

## 5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Simülasyon, var olan bir sistemin gerçeğe yakın davranışlarını çok kısa sürede taklit eden, gelecekte nelerle karşılaşılacağını bildiren sihirli bir küredir. Simülasyonun doğru işler için doğru veriler ile kullanılması, doğru ve tutarlı tahminler yapılmasını sağlayarak karar vericilere önemli faydalar sağlayacaktır. Gerçeğe yakın tahminler yapabilmek için makine arıza kayıtlarının düzenli bir şekilde tutulması, yani tahmin modeline eksiksiz veriler sağlanması önemlidir. Böylelikle makinelerin ve alt sistemlerinin hangi problemlerle karşı karşıya kaldığı, makineyi arıza esnasında kimin kullandığı, arızanın ne sıklıkla ortaya çıktığı, makineyi tamir için hangi yedek parçaların gerekli olduğu, tamir ve bakım onarım maliyetlerinin ne kadar olacağı gibi, bilgiler kayıt altına alınabilecektir. Bu bilgiler çerçevesinde, makine duruşlarının sebepleri kestirilebilecek, hatta makinelerdeki problemler ortaya çıkmadan gerekli bakım-onarım planlamaları yapılabilecektir. Bu bağlamda işletmelerin bu tür verileri kayıt altına almaları ve saklamaları önem arz etmektedir.

Seçilen örneklerle kestirilen parametre tahminleri ana kütle hakkında bilgi verdiğinden, elde edilen örnek bilgilerinin gerçeğe çok yakın olması beklenir. Bu nedenle tahminlemede hassaslık, istatistiksel çıkarsamada önemli bir kavramdır. Tahmin yapmak için genellikle tahmin edicinin yansız olması istenir (Haki, 2012).

Bu çalışmada Adana ilinde faaliyet gösteren ve Türkiye sanayinde önemli yeri olan, bir döküm fabrikasının geçmiş yıllarına ait veriler dikkate alınarak, gelecek bir yılda karşılaşması muhtemel arızalarının tahmini MCS metoduyla yapılmaya çalışılmıştır. MCS metodu, ilgili fabrikadan elde edilen kısıtlı veriler çerçevesinde işletmenin gelecekte karşılaşacağı belirsizlikleri ve riskleri tahmin ederek işletme yöneticilerine önceden haber verme açısından oldukça faydalı olabilmekte (Patır ve Yıldız, 2003), gelecekte olması muhtemel arıza sayılarını tespit ederek yöneticilere başarılı bir risk yönetim planı yapma imkanı sunmaktadır.

Yapılan yazın taramaları sonucunda benzer çalışmalarda kullanılan, uygulamalarda tutarlı sonuçlar elde edilen MCS metodunun bu çalışmada da kullanılmasına karar verilmiştir. Monte Carlo Simülasyon metodunun birçok kritik konunun analizinde yaygın olarak kullanılıp tahmin için ek bilgi gerektirmemesi; özellikle orta ve uzun dönemlerde tahmin başarısının yüksek olması, ilgili yazında kabul gören bir metod olması seçiminde önemli etkenlerdir. MCS'nin kullanımındaki pratik göz önünde bulundurularak çalışmadaki tahmin için MCS'yi MS Excel programı ile modellenmiş olup, sonuçlarının tutarlılığı teyit edildikten sonra gerekli değerlendirilmeler yapılmıştır.

MS Excel programı aracılığıyla geliştirilen MCS modeli ile örnek seçilen fabrikada gelecek bir yıllık süre içerisinde meydana gelebilecek arıza sayısı ve arıza süresi tahminleri yapılmıştır. Elde edilen arıza sayısı tahmini değerleri, işletmenin geçmiş yıldakinden farklı olarak bulunmuştur. Yapılan tahmin çalışması sonucunda; gelecek yılda ortaya çıkması muhtemel arıza sayısının 33 adetten, 35'e çıkacağı, yani % 6,06 oranında bir arıza artışı yaşanacağı tahmin edilmiştir. Buna karşılık, makine arıza süreleri için yapılan tahminlerde ise geçen yıl gerçekleşen 920 dakika olan arıza süresinin 80 dakika azalarak, gelecek yıl 840 dakikaya düşeceği, yani %8,70 oranında bir azalma yaşanacağı tahmin edilmiştir. Elde edilen bu sonuçlar doğrultusunda, geçmiş ve gelecek yıllara ait arıza sayı ve sürelerine ait grafikler hazırlanarak karar vericilere gerekli planlamaları için önemli bir bilgi sağlanmıştır. Yöneticiler kolaylıkla bu grafiklerin görsel olarak karşılaştırmalarını yaparak fabrikalarındaki makinelerin hangi ay ne sayıda ve sürede durabileceğini, ne çözümler bulabileceklerini değerlendirme imkanı bulacaklardır.

Geçen yılın arıza miktarları ile tahmin edilen arıza miktarları karşılaştırıldığında, arıza miktarı bakımından yılın ilk iki ayında, aynı oranda yığılma dikkat çekmekle birlikte tahmin edilen arıza miktarlarında, yılın son dört ayında başka bir yığılma daha olacağı konusunda tahmin modeli bizi uyarılmaktadır. Ayrıca geçen yıl karşılaşılan aynı günde iki makine arızasının, gelecek yıl için üçe çıkacağı da tahmin edilmiştir.

Genel olarak geçen yılın arıza süreleri ile tahmin edilen arıza süreleri karşılaştırıldığında, maksimum 120 dakikalık arıza süresinin gelecek yıl üç ay gecikmeli olarak gerçekleşeceği, geçen yıl gerçekleşen 80 dakikalık bir arızanın gelecek yıl iki defa yaşanacağı sonucunu çıkarmak mümkündür. Şekil 4'deki grafik incelendiğinde, geçen yıl gerçekleşen 70 dakikalık bir arızanın gelecek yıl gerçekleşmeyeceğini, geçen yıl 60 dakika olarak gerçekleşen iki adet arızanın gelecek yıl yineleneceğini ve geri kalan daha küçük süreli arızaların da önemli oranda azalacağını söylemek mümkündür.

Geliştirilen model ile yapılan bu tahminler sayesinde; fabrikanın aylık, haftalık ve günlük periyodik bakım aralıkları tahmine uygun olarak yeniden düzenlenerek, alınan tedbirler sayesinde olası iş, zaman ve para kayıplarının önüne geçilecek, makine duruşlarının azaltılmasına yardımcı olunabilecektir. Tahmin yöntemleri sayesinde üretim süreçleri bir bütün olarak değerlendirilebilecek, üretim-işlemler yönetimi daha bilimsel olarak yapılabilecektir. Üretim bandındaki duruş adedi ve süresinin tahmin edilmesi, işletmenin yöneticileri kadar, işletmeye yatırım yapacak sermayedarlarında yatırım kararlarını vermelerine destek olacaktır. Bu sayede işletme kültürü de gelişecek, modern yöntemlerle tahmin yapmanın önemi ve gereği daha iyi kavranacaktır. Bu sayede işletmelerin bu tür çalışmalara kaynaklık edecek verileri, istatistiki kayıtları, kayıt altına alma alışkanlıkları da geliştirilebilir.

Çalışmanın; üretim yapan işletmelerin bilimsel çalışmalara ve tahmin çalışmalarına güvenlerinin artırılması bağlamında

yararlı olacağı, döküm sektöründe faaliyet gösteren ilgili firma yöneticilerine, sektöre yatırım yapmayı düşünen kişilere, üretim planlamacılarına önemli katkılar sağlaması beklenmektedir. İleride yapılacak çalışmalarda, modelin daha da geliştirilerek, daha büyük boyutlu problemlere çözüm sunacak tahmin çalışmaları yapılabilir.

## KAYNAKÇA

- AKTAN, B. (2007). Ticarî Bankalarda Risk Yönetimi ve Monte Carlo Simülasyon Yöntemiyle Portföy Riskinin Hesaplanması. Doktora Tezi, Adnan Menderes Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Aydın.
- AKTEPE, A., PINARBAŞI, M. ve YÜZÜKIRMIZI, M. (2009). Bilgisayar Bütünleşik İmalat (CIM) Parametrelerinin OC (Operating Characteristic) Eğrilerine Etkileri. Üretim Araştırmaları Sempozyumu Bildiri Kitapçığı, s.549.
- BEYHAN, B. (2006). Hücrel Üretim Sistemlerinde Çifte Kaynak Kısıtları Altında Sistem Performansını İyileştirme, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- BÜYÜKYAZICI, M. ve TAŞAR, E. (2011). Monte Carlo Stokastik Optimizasyonu İle Optimal Saklama Payı Seviyesi Hesabı, İstatistikçiler Dergisi, Sayı 4.
- BOLT, G.J. (1981) *Market and Sales Forecasting, A Total Approach*, Second Edition, London, Kogan Page Limited.
- ÇAVUŞ, T.F., YANIKOĞLU, E., Yılmaz, A.S. (2003). Paralel Sistemlerin Monte Carlo Yöntemi İle Güvenilirlik Analizi Elektrik - Elektronik - Bilgisayar Mühendisliği 10. Ulusal Kongresi.
- DÜZAKIN, Erkut (2005). İşletme Yöneticileri İçin Excel İle Sayısal Karar Verme Teknikleri, (1.Baskı), Kare Yayınları.
- GÜR, İlknur (2006). Proje Yönetiminde Pert/Cpm' in Proses Modeli İle Simüle Edilmesi ve Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Gebze.
- HAKİ, Duygu (2012). İstatistiksel Tahminlemede Sıralı Küme Örnekleme ve Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- HİLLER, Frederick S. and LİEBERMANN, Gerald J. (1970). *Introduction to Operation Research*. (6.Baskı). Golden Day Inc. San Fransisco.
- İLKAY, M.S. ve ARSLAN, E. (2008), Erciyes Üniversitesi Yeni Öğrenci Kayıt Sisteminin Simülasyonu, VIII. Üretim Araştırmaları Sempozyumu.
- KOBU, Bülent (1994). *Üretim Yönetimi*, 8. Baskı, İstanbul, Avcıol Basım-Yayım.
- MONKS, Joseph G (1996). İşlemler Yönetimi Teori ve Problemler. (Çeviren: Sevinç Üreten). Ankara: Nobel Yayın Dağıtım.
- ÖZTÜRK, L. (2004). Monte Carlo Simulasyon Metodu ve Bir İşletme Uygulaması, Fırat Ün. Doğu Anadolu Bölgesi Araştırma ve Uygulama Merkezi Cilt 3- Sayı 1 (Ekim 2004).
- PATIR, Sait ve YILDIZ, Selami (2003). Talep Tahmininde Monte Carlo Simulasyonunun Uygulaması, EKEV Akademi Dergisi, Yıl 7, Sayı: 17, (Sonbahar 2003), s.327-336.
- ŞENEL, Ö. Sezai (1990). Risk ve Belirsizlik Düzeyinde Maliyet Hacim Kâr Analizlerine Simülasyon Yaklaşımı ve Bir İmalat İşletmesinde Uygulama, Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Eskişehir.
- TENKORANG, F.A. (2006) "Projecting World Fertilizer Demand in 2015 and 2030", Yayınlanmamış Doktora Tezi, USA, Purdue University, West Lafayette, Indiana.
- TEKİN, M. (2010). Sayısal Yöntemler Konya, Günay Ofset.
- YILDIZ, G. ve TUNALI, S. (2001). Bir İmalat Firmasında Otomatik Kılavuzlu Araç Kullanımına İlişkin Benzetim Modelleme Çalışması, Endüstri Mühendisliği Dergisi, Cilt: 12, Sayı:2.